

创新奇迹 与 创新史话

陈季香 王桂秋 邵颖 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是一本以世界上著名的创新奇迹发展为创新案例和主线来介绍隐藏在这些创新奇迹背后的创新启迪的创新课程教材。本书介绍了航空母舰、火箭与飞船、空间站、北斗卫星导航、海上大桥、天文望远镜、三峡水坝、哥达基线隧道、巨无霸运输机、核动力潜艇、广州塔、希思罗机场、豪华邮轮、洋山港、海上风力发电、破冰船、核动力潜艇、蛟龙探海、深水钻井平台、巴拿马运河、中国高铁等一系列人造奇迹的创新故事，并着重介绍这些创新得以实现的历程、思维及其方法；此外也介绍了创新在科技和产业中发挥的作用。

本书可以作为创新课程的参考教材，也可以成为创新发明爱好者的启蒙手册，更是一本有关世界著名人造奇观精彩创新发展的系列故事书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。举报：010-62782989，beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目（CIP）数据

创新奇迹与创新史话 / 陈季香，王桂秋，邵颖主编.— 北京：清华大学出版社，2023.3
ISBN 978-7-302-62901-6

I. ①创… II. ①陈… ②王… ③邵… III. ①创新工程—教材 IV. ①T-0

中国国家版本馆CIP数据核字（2023）第037894号

责任编辑：朱红莲

封面设计：傅瑞学

责任校对：赵丽敏

责任印制：宋 林

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦A座 邮 编：100084

社 总 机：010-83470000 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：三河市君旺印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm × 260mm 印 张：24.5 字 数：470千字

版 次：2023年3月第1版 印 次：2023年3月第1次印刷

定 价：77.00元

产品编号：098025-01

前 言

创新改变世界，创新使世界更加精彩纷呈。创新是人类进步和现代文明的源泉，创新也是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力。人类社会发展的历史，就是一部创新的历史，就是一部创造性思维实践、创造力发挥的历史。创新思维对我们培养能力强、素质高的人才具有不可替代的作用。

创新是一种态度，它改变了我们的思维与生活方式。本着事事可创新，处处可创新的思想，本书设计的内容既深入浅出、通俗易懂，又蕴涵着丰富的创新思维和创新精神。在分析众多世界奇迹的创新启示中，采用讲故事的方式介绍了许多生动的创新案例。

本书是我校开设的五门创新课程的配套使用教材，这五门课程是：现代十大创新奇迹、航空母舰创新百年、海上奇观的创新启迪、航天与飞船创新史话、创新无限。在过去几年中，每学年选修这五门课程的学生总计都在千人以上。

目前全国已有 82% 的高校开设增加了创新创业课程。编写本书的目的是希望总结在讲授创新课程方面的教学内容和实践经验，并将在教学中所使用的笔记、讲义、习题等资料汇总在一起，满足这五门创新课程的使用。编者一直从事高校创新课程的讲授工作，积累了丰富的文字资料和教学素材，希望能够与同行分享交流在讲授创新课程中的经验和心得，也希望学习创新课程的广大青年学生受益。这些内容以不同专题或课程内容的形式编写出来，满足学习创新课程的需要。

本书具有以下主要特色：①内容选择注重实用性，不仅可以作为教材使用，也可以作为工具书进行查阅参考，为有志创新的年轻人提供理论和实践动力；②内容上深入浅出，案例生动丰富、通俗易懂；③以课程为依托，利用专题的形式进行编写，便于独立学习使用和查询。

本书共分为 5 章。第 1 章介绍了海上大桥、天文望远镜、三峡水坝、哥达基线隧道、巨无霸运输机、核动力潜艇、广州塔、空间站、希思罗国际机场的创新故事，并着重介绍这些创新得以实现的历程；第 2 章介绍了百年航母的起源、太平洋战争中的航母及美国、英国、法国、苏联和俄罗斯、日本、印度及中国航母的发展之路，着重介绍了航母发展史上的创新之举；第 3 章介绍了豪华邮轮、洋山深水港、海上风力发电、破冰船、核动力潜

艇、蛟龙探海、深水钻井平台、巴拿马运河等海上创新奇观带来的创新启迪；第4章介绍了航天科技中火箭的发明与发展、载人航天以及外太空探索的历史，着重介绍世界航天发展和我国神舟飞船的主要创新方法、创新途径和创新点；第5章介绍了创新点亮世界、专利对创新的保护、知识产权成为国际竞争中的制高点、世界知识产权（world intellectual property organization, WIPO）与专利合作协定（patent cooperation treaty, PCT）、PCT为企业带来的崛起与荣耀、创新的基石之科学精神与知识力量、创新土壤之大学的使命、创新环境之政府的责任、创新保障之创新的资本、创新的核心之创造者的力量，重点介绍创新在科技和产业中发挥的作用。在每章的最后，是该章对应的创新课程的选择题和创新简答题。

本书第1章由陈季香、李磊、王轶卓编写；第2章由陈季香、尹淑慧、刘大军编写；第3章由仲海洋、栾玲、张希珍编写；第4章由邵颖、车丽、薛晓红编写；第5章由王桂秋、孙敏、夏文文编写。

在本书的编写过程中，我们还参考了国内外出版物（见本书后面的“参考文献”）中的部分观点和内容，在此谨向这些编著者致以真诚的谢意。本书配套教学资源完善，选用本书开设创新课程的同行可以向出版社或编者索取相关教学资源。

创新其实不难，重要的是拥有创新的勇气、创新的意愿。本书就是一本以创新案例分析为主线的创新课程教材，一部世界著名人造奇观的精彩创新发展史话，一场欣赏人类创新发明创造之旅，一场充满创新启迪的创新思维与方法的盛宴。翻开本书，您就步入了创新的殿堂。从现在做起，从我做起，让创新改变世界。

编者

2022年10月

目 录

第 1 章 现代创新奇迹篇 / 1

- 1.1 创新改变世界 / 1
- 1.2 吊桥的创新奇迹 / 8
- 1.3 港珠澳大桥的创新奇迹 / 16
- 1.4 天文望远镜的创新奇迹 / 22
- 1.5 水库大坝的创新奇迹 / 28
- 1.6 隧道的创新奇迹 / 33
- 1.7 运输机的创新奇迹 / 41
- 1.8 电视塔的创新奇迹 / 48
- 1.9 空间站的创新奇迹 / 55
- 1.10 机场的创新奇迹 / 62
- 课程习题 / 71

第 2 章 航空母舰创新百年篇 / 82

- 2.1 航空母舰的起源 / 83
- 2.2 第二次世界大战中的航空母舰大海战 / 88
- 2.3 美国航空母舰的发展 / 97
- 2.4 英国航空母舰的发展 / 109
- 2.5 苏联和俄罗斯航空母舰的兴衰 / 116
- 2.6 独树一帜的法国航母 / 122
- 2.7 日本航空母舰的乔装发展 / 127
- 2.8 印度航空母舰的二手之路 / 133
- 2.9 中国的航母梦 / 140
- 2.10 辽宁舰的前世今生 / 143
- 2.11 国产航空母舰的发展 / 151
- 课程习题 / 159

第3章 海上奇观创新启迪篇 / 176

- 3.1 豪华邮轮 / 176
- 3.2 洋山深水港 / 181
- 3.3 海上风力发电 / 187
- 3.4 破冰船 / 192
- 3.5 核动力潜艇 / 197
- 3.6 蛟龙探海 / 203
- 3.7 深水钻井平台 / 209
- 3.8 巴拿马运河 / 214
- 课程习题 / 221

第4章 航天与飞船创新史话篇 / 236

- 4.1 苏美太空争霸 / 236
- 4.2 现代火箭的发展及其缔造者们 / 240
- 4.3 中国火箭与导弹的发展 / 245
- 4.4 苏美载人航天史 / 248
- 4.5 人类登月与空间站 / 252
- 4.6 中国载人航天工程 / 258
- 4.7 神舟飞天 / 262
- 4.8 神舟六号~七号 / 267
- 4.9 神舟八号与天宫一号 / 271
- 4.10 神舟九号~十号 / 275
- 4.11 神舟十一号~十三号与中国空间站 / 278
- 4.12 中国北斗走向世界 / 283
- 4.13 飞向月球 / 288
- 课程习题 / 296

第5章 创新无限篇 / 316

- 5.1 创新点亮世界 / 316
- 5.2 创新的保护——专利 / 321
- 5.3 知识产权——国际竞争的制高点 / 324
- 5.4 WIPO 与 PCT / 327
- 5.5 PCT 企业的崛起与荣耀 / 329
- 5.6 创新的基石——科学精神与知识力量 / 334

5.7 创新的土壤——大学使命 / 340

5.8 创新的环境——政府责任 / 348

5.9 创新的资本 / 352

5.10 创造者的力量 / 359

课程习题 / 363

参考文献 / 379

第1章

现代创新奇迹篇

英国著名哲学家、心理学家和经济学家约翰·穆勒曾经说过一句名言：“现在的一切美好事物，无一不是创新的结果。”如果你环顾一下周围的一切，你一定会发现，在如今的世界，创新无处不在。构筑我们这个世界的一切元素，无一不充满了人类的创造力。

创新是一个民族进步的灵魂，是人类发展的不竭动力。一个没有创新的民族，难以屹立于世界先进民族之林。因此，我们只有注重创新，才能让我们的人生不断向前迈进，才能让我们的民族拥有进步的灵魂，才能让我们的国家拥有兴旺发达的不竭动力。

中国的伟人邓小平曾经说过“创新是第一生产力”。

1.1

创新改变世界

自人类文明诞生以来，创新无处不在。

尤其人类近代文明进步的历史，就是一部关于创新的历史。在工业革命以前，英国的挖煤业完全依靠人力，不但效率低，而且容易造成安全事故。工业革命中发明了挖煤机后，煤炭产量上涨了50倍，成本也大为下降。拥有无数创新专利的英国，最终在18世纪称雄。

由此可见，创新对于一个国家是多么重要。依靠创新，一个小家也能拥有巨大的实力和伟大的成就；依靠创新，再大的困难面对知识的时候也会低头；依靠创新，再贫穷的社会也能创造出巨大的财富。

1876年，英国的贝尔发明了电话，为人类缩短了通话的距离；1879年，美国的爱迪生创新发明了电灯，为人类带来了光明；1886年，德国卡尔本兹制造了第一辆汽车，使交通更加快捷；1903年，莱特兄弟创新发明了飞机，使人类插上了翅膀翱翔蓝天；1942年，

美国数学家埃克特·莫奇利创新发明了计算机，为以后的世界创造了数不胜数的科技奇迹；2007年，第一部苹果手机诞生……

在如今的世界，创新更是迸发出了巨大的能量。乔布斯的苹果公司曾经与微软是无法比拟的，无论是资金还是技术、人才都相差甚远，苹果公司的产品甚至遭到过微软公司的嘲笑。但在拥有了极有创新精神的领导者和公司文化后，他们的产品拥有了别具一格的外形和出类拔萃的性能，受到了很多人的喜爱。苹果公司在市值上超过了微软，销售额达到上千亿美金。拥有了创新精神的公司，生产出的不仅是销路好的商品，更是伟大的产品。拥有了创新意识的人，也能受到人们的尊重与敬佩。大到国家政府，小到公司个人都需要依靠创新来进步和发展。没有了创新也就没有了发展进步的源泉和动力。

中华民族具有悠久的创新历史。在中国的史书上更是记载了无数的创新发明。如今，中国的创新正方兴未艾。中国的高校积极开展创新创业教育，持续深化科教融合，推动创新创业教育融入人才培养全过程，目前有上千所高校开设了创新创业课程，参与创新创业训练计划的学生达50万人。

1.1.1 什么是创新

创新指的是以现有的思维模式提出有别于常规或常人思路的见解为导向，利用现有知识和物质，在特定环境中，本着理想化的需要或为满足社会需求，而改进或创造新的事物、方法、元素、路径、环境等，并且能获得一定有益效果的行为。

创新是以新思维、新发明和新描述等为特征的概念化过程。它起源于拉丁语，有三层含义：第一，更新；第二，创造新东西；第三，改变。

创新是人类所特有的认识能力和实践能力，它是人类主观能动性的高级表现，是推动民族进步和社会发展的不竭动力。一个民族要想走在世界前列，就一刻也不能没有创新思维，一刻也不能停止创新。本质上说，创新是创新思维蓝图的外化、物化。

由于创新中存在的不确定与风险性因素非常多，所以失败的可能性也很大，即使在一些知名的国际公司里，他们也承认其一半的产品或创新都失败了。如著名的吉列（Gillette）公司承认，每三个上市产品中只有一个能够取得市场成功，而这三个产品也是从100项前期技术研究中得到的。可见，创新的风险有多大。而且创新的不确定和风险性与创新主体的期望值成正比，期望值越高、规模越大，风险也就越大。正如现代管理学之父德鲁克所说，“绝大多数创新思想不会产生有意义的结果。创新思想正好像青蛙所产的卵一样，孵化1000个只能成熟一两个。因此，那些具有创新思想的人员应该仔细思考一下，为了把创新思想变成一种产品、一种生产程序、一项业务或一种工艺技术，需要做些什么工作。”

德鲁克这里提到的创新是指通常意义上的创新，他要求人们重视并探究创新过程。

1.1.2 创新思维

思维是指人脑利用已有知识，对记忆的信息进行分析、计算、比较、判断、推理、决策等的动态活动过程，它是获取和运用知识来求解问题的根本途径。

创新思维也称创造性思维，它是创造者利用已掌握的知识与经验，从某些事物中寻找新的关系、新的答案，创造新的成果的高级、综合、复杂的思维活动。它有三层涵义：第一层是创造性思维基础，即知识和经验；第二层是创造性思维的结果，即创新；第三层是创造性思维，它是一种高级的、综合的、复杂的思维活动。

1. 创新思维的特征

创新思维有五个特征，介绍如下。

(1) 对传统的突破性。第一，突破性体现为创造者突破原有的思维框架；第二，突破性还体现为突破已有的思维定势；第三，突破性也体现在超越人类既存物质文明和精神文明的成果上。注意：突破有风险，要有胆识、有勇气，甚至要有以付出生命为代价的准备。

(2) 思路上的新颖性。创新思维是以求异、新颖、独特为目标的。

(3) 程序上的非逻辑性。这指的是创造性思维往往是在超出逻辑思维，出人意料地违反常规的情形下才出现。它具有跳跃性，省略了逻辑推理的中间环节。

(4) 视角上的灵活性。表现为：视角能随条件的变化而转变，能摆脱思维定势对它的消极影响；善于变换视角看待同一问题，善于变通与转化，并重新解释信息。它反对一成不变的教条框架，会根据不同的对象和条件，具体情况具体对待，灵活运用各种思维方式。

(5) 内容上的综合性。创新活动并不是从头开始，也不是全部都是全新的成果，而是在前人的基础上进行，综合利用已有的成果。

2. 创新思维的障碍

创新思维有三大障碍，介绍如下。

(1) 思维固化。主要表现为钻牛角尖和从众心理，原因是我们不能跳出原来思维的框框，不敢去多想一步，结果让思维在原地打转，无法突破或者太容易受到其他人的观点影响，没有自己的主见，结果就是让自己也陷入其中。这种情况最好的解决办法是在工作与生活中心细观察，保持好奇心，不断拓宽自己的思路。

(2) 思维定势。主要表现为在解决问题时，一直采取此前惯用的思维逻辑，也就是用

老的经验来判断和解决新问题，往往达不到好的效果。最好的克服方法是先不去考虑以前是如何做的，而是看一看有没有新的解决办法，或者以原有经验为基础，以新的方式来解决。

(3) 封闭思维。有这种障碍的人，往往听不进去别人的意见，自己也没思路，做事情顾虑重重，所以不能达成创新的结果。在创新活动中，要敢于去尝试，不要过多担心发生错误，有时候，创新就是一个试错的过程，如果不敢去做，又怎知效果好不好呢。

1.1.3 创新方法

创新方法一直为世界各国所重视，在美国它被称为创造力工程，在日本它被称为发明技术，在俄罗斯它被称为创造力技术或专家技术。我国学者则认为创新方法是科学思维、科学方法和科学工具的总称。其中，科学思维是一切科学研究和技术发展的起点，它始终贯穿于科学研究和技术发展的全过程中，是科学技术取得突破性、革命性进展之先决条件。科学方法是人类进行创新活动的创新思维、创新规律和创新机理，它是科学技术实现跨越式发展和提高自主创新能力的重要基础。科学工具则是开展科学研究和实现创新的必要手段和媒介，是最重要的科技资源。所以，创新方法既包含实现技术创新的方法，也包含实现管理创新的方法。

人类的创新活动有着悠久的历史，最早创新方法的出现可以追溯到公元 4 世纪的启发法。目前已有的创新方法据统计可以达到 300 多种。按发展的时间顺序，可以大体将其分为三个阶段：创新方法发展的远古阶段、近代阶段和现代阶段。创新方法发展的远古阶段是公元 4 世纪到 19 世纪，主要的创新方法为启发法。启发法的内涵实质上就是“单凭经验的方法”、有根据的推测、直觉的判断或者只是常识性的理解，典型的启发法就是试错法。创新方法发展的近代阶段是 20 世纪初到 20 世纪 50 年代，主要的创新方法有头脑风暴法、形态分析法、综摄法、检核表法、TRIZ 与属性列举法等。创新方法发展的现代阶段是指从 20 世纪 60 年代至今。主要的创新方法有中山正和法、信息交合法、六顶思考帽法、公理化设计法等。

创新方法虽然多达 300 多种，但概括来说，根据各阶段主要技术创新方法的特性和创新视角的分析可以总结为 8 种类型：基于经验的方法、基于智力交流激励的方法、基于组合的方法、基于类比的方法、基于设问的方法、基于解决矛盾的方法、基于变化思维角色的方法、基于公理的方法。本教材重点推荐的创新方法有如下 16 种。

(1) 灵感创新发明法。哲学家说：灵感是大脑的一种特殊机理，是思维发展到最高级阶段的产物，是人认识的一种质的飞跃。心理学家说：所谓灵感，是指人在进行创造性活动过程中显意识和潜意识相互通融、交互作用后所出现的心理高潮，并能使创新性活动产

生飞跃的独特的思维现象。灵感是灵感思维的结果，灵感思维是指人们长期思考某个问题不得其解时，由于某些偶然因素的激发，突然想出了解决办法的一种思维方式。灵感创新发明法就是利用灵感思维进行创新发明的方法。

(2) 移植组合创新发明法。移植组合创新法，就是将某一领域已见成效的发明原理、功能、方法、结构、材料等，部分或全部引进到其他领域再进行重新组合，或者在同一领域、行业中，把某一产品的原理、构造、材料、加工工艺和试验研究方法等，引用到新的发明创新或革新项目上，得到新成果的创新发明方法。

(3) 想象创新发明法。想象是指人在头脑中把已经获得的知识、经验和信息（记忆中的表象）等加以重新组合，产生新思想、新方案、新方法，即创造新形象的思维过程。其实整个创新发明的过程，我们都可以简单地认为是由想象过程和实现过程组成的。想象过程可称为一次创造过程，实现过程可称为二次创造过程。由此可见，创造发明过程中的想象步骤是成果实现的先导。没有发明想象这先导的一步，就不可能有发明成果。

(4) 问题创新发明法。有问题就会有创新和发明。创新和发明的过程就是质疑问题、发现问题、提出问题和解决问题，这其中关键是要有寻求问题、提出问题、解决问题的意识和方法。问题创新发明法是指人们在好奇心和求知欲的驱动之下，从对客观事物的观察中发现问题，提出问题，分析问题存在的原因，探求解决问题的过程和方法，继而最终实现创新发明的方法。

(5) 确定目标创新发明法。确定具有创新发明和创造价值的目标，从而集中精力和智慧向目标进攻，最终取得创新发明的成功。所谓确定目标创新发明法，就是从众多设想和思考所得到的新设想、新方法、新方案中，判断和确定具有发明和创造价值的目标，然后围绕这个确定的目标进行思考、构想、设计和试验等，最终获得有价值的创新发明成果。

(6) 类比推理创新发明法。类比是一种科学的推理方法，是指通过比较个体事物之间在某一方面存在相似性或类似性，进而做出它们在其他特征上也可能存在相似的结论。类比推理创新发明法是指将陌生事物与熟悉事物，或者未知事物与已知事物进行比较，从而推断出它们之间的异同点，然后采取模仿来解决问题的创新发明方法。

(7) 模拟创新发明法。人类通过模仿向大自然借鉴学习了许多东西。对于发明者来说，只要善于模仿，就可能从大自然中的各种事物或他人所创造的事物中找到发明的契机点。模拟创新发明法，是指通过模仿生物或其他事物的结构、特征或功能原理等而进行发明创新的发明方法，也称为模仿创新发明法。从模仿入手，进行再创造，这也是人类历史上流传最久、最古老的一种创造方法。

(8) 希望点列举创新发明法。希望是发明创新的最强大动力，世界上许多发明创新，

都是根据人的希望创造出来的。希望点列举创新发明法就是指发明创新者从个人愿望或广泛收集到的社会需求出发，通过把希望的事物应该具有的属性、功能、特点等逐一列举出来，以寻求新的创新目标、创新方向、确定发明创新项目的一种创新发明方法。

(9) 缺点列举创新发明法。找出已有事物的缺点，进而克服或改进这些缺点，这项活动就意味着发明创新。缺点列举创新发明法，就是抓住事物的缺点和不足（如不方便、不美观、不便宜、不安全、不实用、不省料、不轻巧、不环保、不节能等），将它们一一列举出来，从而针对这些缺点和不足确定发明创新的方向和目标，最终达到发明目的。

(10) 观察创新发明法。观察，就是审视、视察、察看，是指人们通过自身的感觉器官或借助其他科学仪器，有目的、有计划地感受客观事物或现象所产生的各种刺激，借此产生并形成对周围现象与事物的印象，从而获得有关观察事物知识信息的一种方法。在发明创新活动中，观察往往具有先决性和前提性，只要拥有思考的大脑和仔细观察的感官，善于把看和想有机地结合起来，就有可能实现发明与创新。

(11) 联想创新发明法。联想能够帮助我们将不同的事物联系起来，达到由此及彼，触类旁通，产生认识的飞跃，从而实现发明创新。联想创新发明法，是人们在头脑中把一种事物的形象与另外一种事物联系起来，或者由某一概念引起其他相关的概念，研究它们之间有无共同的或类似的规律，举一反三，从而实现创新与发明。

(12) 智慧激励创新发明法。智慧激励创新发明法是一种依靠集体的智慧和力量的创新发明方法，也被称为头脑风暴法、集体思考法、畅谈会法、互激设想法、头脑震荡法等。尽管其名称各异，但核心内容是一致的，那就是像刮风一样，使人的大脑处于一种激荡和奔放的氛围之中，把人的想象力激发到最为活跃的状态，从而激励出尽可能多的创意。

(13) 兴趣调动创新发明法。兴趣是由爱好而产生的愉悦情绪。从心理学角度看，人如果对某件事物产生了浓厚的兴趣，就会在大脑中形成强势兴奋中心，从而使注意力高度集中，并且能维持相当长的时间。因为探究的是自己心中向往和喜欢的东西，所以就会呈现情绪饱满、充满自信、联系丰富等这些最佳状态。通过激发发明创新的兴趣来进行创新活动，不仅是推动人们积极从事科技创新工作的驱动力，还能使人在艰辛、烦琐、枯燥的科学研究中，体会到享受的快乐，并乐此不疲，孜孜以求。

(14) 直觉创新发明法。直觉是指人脑对于突然出现的新事物、新现象、新问题，不经过必要烦琐的逻辑分析和逻辑推理，而是运用自己的直接经验，迅速把握其本质，做出整体合理的判断、猜想或领悟的思维方法。而所谓直觉创新发明法，就是利用直觉直接洞察出事物的本质与规律，从而迅速解决问题，最终实现发明创新。

(15) 逆向创新发明法。逆向思维是指人们沿事物的相反方向，用反向探索的方式对

产品、课题或方案等进行思考，从而提出新的设计或完成新创造的思维方法。而逆向创新发明法，就是发明者在发明创新过程中跳出常规框架，运用逆向思维从反面寻求解决问题的新方法和新思路，从而实现发明创新。

(16) 意外创新发明法。意外创新发明法是指通过对料想不到、意料之外的事物与现象的观察、分析中取得有价值的发现和发明创新的发明方法，又可称为偶然发明法或捕捉机遇法。

1.1.4 如何进行创新

关于如何创新，在此只做概括性的介绍，因为本书的主要内容就是通过创新案例来具体展示如何创新，在此暂不详细说明和展开。

1. 创新要有创造意识和科学思维

1) 强化创造意识

(1) 创造意识要在竞争中培养。

(2) 要敢于标新立异：第一要有创新精神；第二要有敏锐地发现问题的能力；第三要有敢于提出问题的勇气。

(3) 要善于大胆设想：第一要敢想；第二要会想。

(4) 创新的源泉：第一要有兴趣；第二要适合所从事的事业。

2) 确立科学思维

科学思维包括：相似联想、发散思维、逆向思维、侧向思维、动态思维。

2. 开拓创新要有坚定的信心和意志

(1) 坚定信心，不断进取。

(2) 坚定意志，顽强奋斗。

(3) 当创新活动误入歧途，需要调整方向时，能够强迫自己“转向”或“紧急刹车”。

在本书后边的章节中，我们会结合人类历史上曾经出现过的创新奇迹案例，来具体诠释如何进行开拓创新。

我们将以世界上著名的创新奇迹发展为创新案例和主线，介绍隐藏在这些创新奇迹背后的创新点、创新思维和创新方法，希望读者在通过这些创新案例的分析和学习之后，为自己的创新思维掀开新的一页。同时也希望这些人类历史上的创新奇思妙想，为大家带来层出不穷的创新灵感，再结合自身实际情况的需求，选择适宜的创新方法，提高创新的成

功率，也为将来的创新探索和创新方法应用打下基础。

跟随我们，走进一个发现创新的旅程。在创新的时间隧道里，我们探索创新的普遍规律。

创新，塑造了人类文明；创新，带来繁荣与活力；创新，改变着人类的福祉；创新，决定着国家的战略与未来。

我们，就是未来。从这里开始，为你的头脑风暴找到创新灵感和出路。这就是创新的魅力，因为，创新改变世界，创新者既改变世界也改变人生。创新可以带来前所未有的改变，创新是成功的唯一途径。

1.2

吊桥的创新奇迹

明石海峡大桥是全球最繁忙的水路之一，它位于日本的神户和人口密集的地段之间，是贯穿神户—淡路—鸣门线路上的重要桥梁，也是本州四岛联络道路中的组成之一。明石海峡大桥建成后，极大地改善了神户市及淡路岛的交通运输状况，原来神户至淡路岛之间的航运需要 270 分钟，明石大桥通车后，运输时间缩短到 90 分钟，为原来的三分之一。

明石海峡大桥是全球最长的吊桥，为了打造这座足以跨越明石海峡这条鸿沟禁区的桥梁，日本人真正将科技创新发挥到了极限。明石海峡大桥的修建，为特大悬索桥的设计施工提供了宝贵的成功经验，其设计中采用的独特创新做法，对大跨径悬索桥的建设具有重要的指导作用。

明石海峡大桥是桥梁工程学的顶峰之作。它之所以能建造成功，得益于历史上 6 座地标性桥梁中的重大工程学的创新突破，而其中每一座都蕴含着重大的创新科技，使得工程师们建出的桥梁跨度日益升级。正是这独具匠心的七大创新突破，使桥梁规模不断扩大，最终成就了全球最长的吊桥——明石海峡大桥。

1.2.1 赛文河铁桥的创新：首次使用铸铁建造拱桥

位于英国什罗普郡的赛文河铁桥峡谷，作为工业革命的发源地而闻名于世。1986 年，赛文河铁桥峡谷被收录为世界文化遗产，这是世界上第一例以工业遗产为主题的世界文化遗产。18 世纪的英国，见证了用一种全新建筑材料打造的长仅 30 米的赛文桥（图 1.2.1）。

1779 年的英国在工业革命的影响下进行着轰轰烈烈的变革。然而在什罗普郡，当地的发展却受到了赛文河的阻碍。出现的问题是：实业家的大部分工厂和原料分隔在深邃湍

急的赛文河两岸，当时的渡轮已经不足以应付两岸暴增的人货往来，切实可行的解决办法就是建一座桥，但这并不容易办到。虽然这条河只有30米宽，对当时的造桥者而言，却是难以跨越的距离。

在过去，跨越这样一条河的传统方式是建造一座石拱桥，这个古老方法源自罗马时代。但对石拱桥而言，30米几乎就是

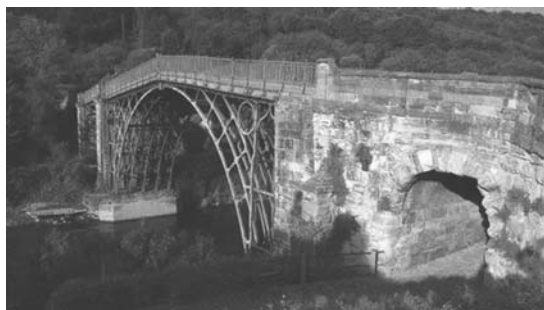


图 1.2.1 英国赛文河铁桥

极限值。为了达到这样长的桥梁跨度，桥的拱要加宽，桥梁的高度也得增加。如果要保证桥梁的强度，桥拱必须达到一定的厚度，可是这样做的代价太大，因为桥拱的尺寸翻一倍，建桥所用的石材就得增加七倍，造成的结果就是桥拱承受的重量太大，桥梁注定会被自己的重量压垮。既要保证质量，又要提升桥梁的规模，最好的办法是找到新的建材，既具有石材的强度和承重力，而质量又轻，同时又容易处理的材料。

当时人们已经在制造厨具等小玩意儿时用到了—种颇具潜力的新型材料，即加热后融化成液体状的铁。把融化的金属倒进模子里，冷却后脱模就成形了。利用这个过程造出来的创新材料叫作铸铁。但这种铸铁并不适合造桥，因为送进火炉的焦炭含有杂质，烧出的铁太脆，容易折断。后来什罗普郡—家铸造厂发现，当地的焦炭质量好、炼出的铁强度高，用途很广泛，可以制造任何机器，例如蒸汽机等，所以用来造桥也没任何问题。

1779年，全球第一座铸铁桥开始动工，这座桥由1700块预铸铁建造而成，其30米长的中央桥拱由5条半圆形的拱肋构成。由于铁格取代了石块，整座桥的质量仅为380吨。建成后人们将这座桥命名为铁桥，但看上去它更具有木桥的风范，结果令人惊艳。原因是它运用了典型的大规模细木工连接法，只不过这里是用铸铁取代了木材，取得了巨大的成功。赛文河铁桥的建造手法，在当今许多创纪录的结构中仍然能够见到。

1.2.2 梅奈桥的创新：世界上第一座现代吊桥的杰作

19世纪，威尔士的梅奈海峡是人们前往爱尔兰时最可怕的障碍。接受横越这条诡谲水道任务的工程师叫特尔福德，是一位62岁自学成才的苏格兰人。特尔福德到梅奈海峡勘察时已经有了英国最佳土木工程师的美誉，所以英国政府将改善英国和爱尔兰之间运输路线的艰巨任务交给他非常合适。

特尔福德最初考虑用铸铁建造这座拱桥，可是如果这样做的话，在施工过程中肯定会用到脚手架来支撑桥拱，几条繁忙水道的往来船只便会受到阻拦。政府不接受这个做法，

特尔福德只好从原始的桥梁设计中寻找创新灵感。绳桥自古就被当成过河的工具，任何形式的桥梁，最大的关键都是锚固点，少了这些锚固点，建造起来的桥梁就非倒不可。合理地绑住绳索就能形成一座坚固的大桥。但问题是这样的绳桥马车可绝对没法在上面跑。如果铺垫上厚木板来充当桥面，过桥就会容易得多；再换上铁链，桥梁的荷载力便能增加。可是尽管如此，桥面仍然处于下陷状态，要建造真正的现代吊桥，工程师必须设法将下陷的桥面拉平。

创新解决的办法是用石塔吊桥，将绳索往下拉，把桥面拉平。但问题是如何在两端固定铁链，因为如果想把铁链往下拉，铁链迟早会撑不住，除非锚固得很扎实，而这就是特尔福德的挑战。特尔福德不能把铁链固定在树上，必须锚固在海峡两端的岩岸深处。为了实现他这一创新的想法，工人们将岩石炸穿，炸出一个 18 米长的地道，在地道的末端架设好坚固的铁构架，把铁链的末端穿入地道，用 3 米长的螺栓固定在构架上，金属杆把螺栓和构架牢牢卡在洞穴底部，除非岩石松动，这个锚具才可能出问题。

特尔福德的创新方法奏效了，这座新桥使伦敦到都柏林的路程时间缩短了 9 小时。他设计的锚具使 177 米的大桥屹立不倒超过 180 年。如今每周仍有数千辆汽车往来其上，这座桥是现代吊桥的第一件杰作，也为未来的桥梁发展照亮了曙光。

1.2.3 尼加拉瀑布大桥的创新：利用铁丝构成的缆索来承重

特尔福德在梅奈海峡桥上用的大铁链看起来确实坚硬无比，但薄弱的环节也会令铁链强度变得有限。1845 年，在英格兰某城镇发生的一场意外，可以很好地证明这一点。当时，观看表演的 300 多名观众，为了争相观看在桥梁一侧的表演，全都蜂拥挤到了桥的一边，重量突然转移，造成铁链负荷过重，铁链一下子就断裂了，结果桥面坠到河里，造成 79 人溺水身亡的悲剧。

1851 年，美国工程师在修建一座吊桥来横跨尼加拉瀑布 250 米宽的峡谷时，面临更加巨大的困难。他们的吊桥必须能够承载一列 360 吨重的火车在桥上通过，因此桥梁的强度和长度一样重要，所以负责在尼加拉瀑布峡谷建桥的工程师需要比铁链更加坚固的材料来支撑桥面。他们想到如果将铁拉成一股细丝，强度就会增加。因为把物质拉长变成一条线，其内部的成分会排列成一条线。例如只是把棉球扯开，强度非常非常低。可是如果在制造过程中把棉花的成分拉成一条线，就可以做成棉线，强度就会大为增加。通过实验测试的结果显示，金属杆遭受大约 1500 牛顿的拉力就会断裂，而细丝则坚固得多，拉力达到 1900 牛顿才会断裂。

尼加拉瀑布大桥的工程师计算后得知大约 3500 条铁丝构成的缆索已足以承受住桥梁

和火车的重量了。可是工人们根本吊不起来 900 吨重的缆索，工程师想出了一次运送两股铁丝的办法，将一圈铁丝用滑轮拉到峡谷对岸，一到对岸就把铁丝拴在锚具上，然后把滑轮送回来，再挂上一圈铁丝。运送完 1820 趟后，一条铁缆才得以制成。每条铁缆由 3640 条铁丝构成，要 4 条铁缆才能吊住大桥。1855 年尼加拉大桥通车，第一辆美国通往加拿大的火车顺利通过。这座桥现在早就经历过翻新，可后人仍在继续沿用和效仿用缆索支承桥面的创新做法。

1.2.4 布鲁克林大桥的创新：利用沉箱进行水下施工

钢缆越强有力，工程师建造的桥梁单一跨度就越大。可是有的水路实在太宽，单跨桥梁不可能实现，支撑的索塔就得建到河中央，深入到河床中。

19 世纪的纽约是全美发展最快的城市之一，然而城市的快速扩张，受到了群岛地理特点的限制。1874 年，工程师计划兴建一座大桥，连接布鲁克林与曼哈顿。可是在桥下的激流中，锚固桥墩却是个大难题。必须盖一座横跨 600 米宽的桥梁。单跨桥梁根本跨不过去如此的长度，因此不得不在河中建桥墩。

这条湍急的河流在曼哈顿这边深达 9 米，岩床上方压着层层淤泥和污物，在污泥上兴建桥塔，塔基会很不稳定。为了穿过淤泥，凿开底下的岩床，工人必须 24 小时在水底工作。工程师想出了一个叫沉箱（沉箱法施工是我国土木工程师茅以升创新发明的，最早用于钱塘江大桥桥墩的建设。这种方法为中国几十年间的桥梁建设贡献巨大。它对机械化的程度要求低，而且不影响通航。）的创新解决方案，将以厚木板打造的翻转的巨大箱型结构坐落在河床上，为 125 位工人提供作业空间。箱型结构的壁面会往下逐渐变细，最下部的边缘非常锐利，专门用来切开淤泥。先在陆地上建好沉箱，再用强大的拖船将其拖入河中。工程师用数吨重的花岗岩砌块，让沉箱下沉到河底。但在工人进入沉箱施工之前，必须把沉箱里的水抽干，避免河水再度涌入。13 台巨大的压缩机为沉箱灌入空气，避免河水涌入。沉箱里的环境仍非常恶劣，工人们虽然可以呼吸，但在沉箱里施工的感觉并不好，经常处于炎热、潮湿的环境，工作非常辛苦。工人们一旦挖到了岩床，就会出来为沉箱灌注混凝土，这样一来沉箱就构成了上面巨塔的塔基。

1883 年 5 月 24 日，布鲁克林大桥建成了，当时构成纽约天际线的其他建筑，高度大多比不过这座桥的桥塔。这座连接曼哈顿与布鲁克林的大桥将大都会和它的劳动人口紧紧绑在了一起，并协助造就了现代的纽约市。每天有超过 14 万辆车经过布鲁克林大桥，数千名行人在桥上通行。这座大桥至今仍是一件工程系杰作，和 100 多年前相比，其重要性丝毫未减。

1.2.5 金门大桥的创新：钢材竖井蜂巢结构桥塔

沉箱挖得越深，桥梁就能建得越长，不过要横越 1.6 千米宽的金门海峡，连接旧金山市和邻近的玛林县，造桥者还得设法盖出更高的桥塔才行。海峡的恶劣气候使渡海的危险性很高，但人们仍然在想办法用渡轮把车子运到对岸。

第一次世界大战后的 10 年间，旧金山的交通流量暴增了 7 倍，渡轮已经无法应付暴涨的交通流量，于是工程师在 1934 年开始规划兴建全球最长的吊桥（图 1.2.2）。

吊桥要达到最佳平衡，缆索就必须形成某种弧度。为了维持这个形状，工程师要加长车道，桥塔的高度也得相应增加。从一座相对短的吊桥变成一座相对长的吊桥，桥塔增加的高度大约和桥长成正比，



图 1.2.2 美国金门大桥

如果桥的长度是原先的两倍，桥塔大约也要升到两倍的高度，极其复杂的工程学挑战随之而来。

如果桥的跨度是 1280 米，工程师就得把缆索悬挂在桥面以上 152 米，而支撑的桥塔必须高达 227 米。如果利用石材建造桥塔，修长的石塔会被自己的重量压变形。另一个选择是把桥塔盖得厚实一些，可是任何能抗变形的石塔底部都至少宽 50 米，结果势必会阻碍船只的往来，也会影响桥梁的美观。无疑，这座桥的桥塔的建造需要更坚固、更轻盈的建材。造桥者最终没有选择石砌块，而是换成了钢板来建造桥塔。他们创新地把四块钢板结合，构成一个 11 米高的竖井，这样做成的建筑砌块既坚固，又比实心钢轻盈得多。将竖井拼在一起构成坚固的蜂巢结构，再用起重机将蜂巢结构吊定位，完成一段之后，起重机会自行提升，继续吊装。由于以空心的竖井取代了实心的石块，桥塔可以从头到尾保持修长。钢材增加了桥塔的柔韧度，使其不会被缆索压变形。

不过桥塔升高，建造的风险也随之增加，蜂巢结构要接合固定好，需要安装 100 多万枚铆钉。钢铁工人冒着死亡和重伤的风险，悬吊在桥塔之外施工，承受着强烈的太平洋暴风。这是造桥者有史以来第一次戴着安全帽、安全面罩、吊着安全索进行作业。尽管有种种预防措施，建造这座桥仍旧夺走了十几条人命。

1.2.6 维拉扎诺海峡大桥的创新：开放式格状钢结构箱型保护罩

建造更高的桥塔能让吊桥跨越更远的距离，但随着桥面加长，桥梁扭曲和折弯的风险也随之增加，因此桥梁的设计必须经受住大自然的某种摧毁力，即风的考验。

1940年，华盛顿州横跨塔科马海峡的新桥建成通车后，即使风势不大，桥面也会上下摆动，后来甚至开始发生扭曲，以至于最后整座桥都倒塌了。工程师分析了结构失灵的原因，即空气动力的不稳定性和风吹过桥梁时遭遇的结构形状息息相关。桥面平坦的侧边，会对风造成阻碍。当侧风吹向桥梁时，气流受到干扰，桥面上下就会产生旋涡。各个区域由于压力不同，会承受向上或向下的不同作用力，一旦桥面开始移动，桥梁也会随之弯曲。风和建筑结构的移动其实是相对作用，这是一种共振，一旦振幅达到某种程度，连塔科马大桥这样巨型的建筑也会被摧毁。

创新解决的方法是将桥面两侧的轮廓设计成流线型，这样风从中间被切开，会完全地吹向路面上下。1946年工程师考虑用这种设计建一座更长的新桥，新桥横跨纽约港1.6千米宽的入口，穿越维拉扎诺海峡。

由于预计往来车流会很大，设计的桥梁便包含了12条车道，分成上下两层桥面。但工程师深知双层桥的流线型边缘或许并不能安全引开风势，反而会造成气流相撞，产生进一步的干扰。因此他们决定为桥面加固防风屏障，以免桥面扭曲或弯折。最有效的加固方法是用一个大箱子来包裹桥面，但桥梁的钢缆绝对无法承受2千米长钢制箱型物的重量，于是工程师想到用纤细的钢杆组装成一个个的轻质钢骨架组件，再将75个组件接合成一个巨型的开放式格状钢结构，让风在桥梁里通行无阻。这个独特创新的设计，足以抵抗住强大的大西洋暴风，支撑12车道的车流也不成问题。

维拉扎诺海峡大桥是当时最长的也是最重的桥梁，标识出了纽约港的出入口，是纽约市的地标式建筑之一。维拉扎诺海峡大桥是美国造桥工程的一个伟大时代的巅峰之作，在1964年完工之初，成为全世界最长的悬索桥。

1.2.7 七大创新荟萃：明石海峡大桥

创新一：栅格状的预铸铁组件建成

日本工程师规划新建全球第一大吊桥时知道，必须尽量让桥梁保持轻盈。于是他们像当年的铁桥建造者一样，创新采用栅格状的预铸铁组件，建成了明石大桥。可是由于规模

巨大，桥梁仍然用了 25 万多吨的钢材，而且钢还有一个很大的缺点，会生锈。结构工程师很清楚这座桥的弱点。这里每年都有台风经过，由于位于海上，生锈变成了一个很大的问题。为了维护大桥的安全，专门有机器人看守员负责将桥上生锈的地方找出来，由机器人油漆工重新为这些受损部分刷好漆。桥下吊着三个龙门架，工人可以方便地在桥下展开维修，而车流也不会受到干扰。

创新二：金属构架固定厚重的桥梁钢缆

为明石海峡大桥进行锚固，日本工程师面临的挑战更为艰巨。明石大桥的悬索用的不是铁链，而是厚重的钢缆。和梅奈海峡不同，这里没有坚固的岩石可供固定，只能在海岸线上打造锚固点。他们先挖了一个巨大的洞来打造桥基，往里面灌了 23 万立方米的混凝土。接着又运来巨大的金属构架，这些构架必须牢牢固定住锚固桥梁的钢缆，所以必须用混凝土包裹。工人们分别浇灌了 5 个混凝土砌块，砌块之间的缝隙利于散热，避免混凝土龟裂。等凝固之后再进一步用混凝土填满空隙，最后浇铸的实心砌块高度超过了 50 米。

创新三：直升机把组成钢缆的钢丝运送到对岸

明石大桥缆索的强度承受 90 座尼加拉桥的重量绝无问题，明石大桥使用的一段钢缆，直径超过了 1 米，是由数千根钢丝组合而成。为了把钢丝运到对岸，日本工程师使用了直升机，由机上附带的导引绳将一捆捆钢丝拉到对岸。每捆钢丝有 127 根，一共运了 290 捆，厚实的钢缆才得以制成。每一条钢缆重约 25000 吨，用到的钢丝足以环绕地球 7 圈。

创新四：两层立面沉箱

日本明石海峡大桥（图 1.2.3）对索塔建造难度要求更高，必须在 60 米深的明石海峡中打造塔基。塔基由沉箱构成，沉箱有 70 米高、80 米宽，是由钢材而非木材制成的。由于体积太大，每只沉箱要动用 12 艘拖船，才能在挖开的海床上定位。沉箱创新采用外墙和内墙两层立面设计，墙壁间的缝隙构成充满空气的环形分隔舱，使沉箱得以浮在海面上。为了使沉箱下沉，工程师会逐渐把分隔舱里注入海水。一旦在海床上定位，中央密封层的海水便会立即排出，注入潮湿的混凝土，这种特制的混凝土在水中也能保持凝聚力。最后在沉箱上做好混凝土加



图 1.2.3 日本明石海峡大桥

盖，整根墩柱就完成了，随时可以作为塔基使用。

创新五：在工厂焊接好组件，用螺栓在现场接合

如今全球最高的吊桥索塔非日本明石海峡大桥莫属，其高度达 300 米，比金门大桥的索塔都高出了 70 米，每座桥塔都由 30 段组件架构而成。工程师把所有组件的顶部和底部都打磨平坦了，当起重机把组件层层叠起，形成 100 层楼高的桥塔时，塔身仍百分之百垂直，蜂巢状结构使桥塔轻盈坚固。先在工厂里将这些钢板焊接好，然后再用螺栓现场接合，先进的机器人焊接技术和 150 万颗优质的老式螺栓，将桥塔牢牢地接合在一起。

创新六：开放式箱型格状结构防止弯曲

由于设计精良，工程师仍采用开放式箱型物来为明石海峡大桥的桥面加固。加固大梁基本上是三角形、由钢杆构成的格状结构，这样整座建筑很难发生弯曲。

创新七：通过吸收震动和 20 个巨大阻尼器来防震

日本为全球地震活动最频繁的地区之一，每年都会发生数百次地震。由于地质非常不稳定，工程师认为日本并不适合兴建全球最长的吊桥。如果吊桥下的地底因地震而摇晃，最严重的情况，整座桥塔都会倾倒，这样肯定会造成巨大的灾难。

明石海峡大桥应对地震的第一层防护就是桥塔本身。以钢材打造的桥塔十分柔韧，一旦发生地震，钢塔会随地面移动，吸收震动。第二层防护则在每座桥塔的内部，每座桥塔内部安装有 20 个巨大的摆锤，它们被称为阻尼器。10 吨重的阻尼器悬挂在支架上，如果地震使桥塔摇向一边，巨大的液压式阻尼器就会往反方向摆动，可抵消晃动的力量，防止桥塔倒塌。工程师安排了 100 多个工人，让他们同时移向一侧，模拟地震，在这场人造地震中，阻尼器的摆动维持了桥塔的稳定。

1995 年 1 月 17 日，这种防震技术受到了真正的考验。明石海峡大桥北岸的神户发生了一场里氏七级的大地震，地震造成 6000 多人死亡，十几万栋建筑物倒塌。但明石海峡大桥却靠阻尼器逃过了一劫，那不幸的一天留下的伤痕至今仍然存在。地震打开了桥梁正下方的海床断层线，造成地面和桥塔的位移，使桥梁裂开了一米多的大缝。工程师加铺了面板，填补了桥面的这段空隙，这场地震使全球最长的吊桥又加长了一小截。险恶的环境证明了明石海峡大桥创新设计的牢固程度，200 多年的创新和工程突破，在这里达到了最高峰。1998 年 4 月明石海峡大桥开始通车，至今这座桥仍是全球最长最高的吊桥。

1.3

港珠澳大桥的创新奇迹

港珠澳大桥是中国境内连接香港、广东珠海和澳门的桥隧工程，为珠江三角洲地区环线高速公路南环段。大桥于2009年12月15日开工建设；于2017年7月7日实现主体工程全线贯通；于2018年2月6日完成主体工程验收，同年10月24日开通运营。港珠澳大桥设计创新点包括：

(1) 针对跨海工程低阻水率、水陆空立体交通线互不干扰、环境保护以及行车安全等苛刻要求，港珠澳大桥采用了桥、岛、隧“三位一体”的建筑形式。

(2) 大桥全路段呈S形曲线，桥墩轴线方向和水流的流向大致取平，既能缓解司机驾驶疲劳，又能减少桥墩阻水率，同时还能提升建筑美观度。

(3) 斜拉桥具有跨越能力大、造型优美、抗风性能好以及施工快捷方便、经济效益好等优点，往往是跨海大型桥梁优选的桥型之一。结合桥梁建设的经济性、美观性等诸多因素以及通航等级要求，港珠澳大桥主桥的三座通航孔桥全部采用斜拉索桥，由多条8~23吨重、具有1860兆帕超高强度的平行钢丝巨型斜拉缆索从约3000吨重主塔处张拉，承受约7000吨重的梁面。

(4) 整座大桥具有跨径大、桥塔高、结构稳定性强等特点。

港珠澳大桥是世界上最长的跨海大桥，工程师共花费长达近9年的时间完成这座巨型建筑。其间他们每天要避开4000艘海船和1800多架航班的密集通行，共耗费33万吨钢材和233万吨钢筋混凝土，在深海水下打造世界上最长的沉管海底隧道，启用世界最大的巨型震锤来完成人工岛的建造。同时要全力抵抗台风和地震向大桥的挑战，对环境保护的苛刻要求也前所未有。所有这些努力都是为了完成一个几代人的梦想。

1.3.1 港珠澳大桥创新奇迹之一：修建海底隧道加跨海大桥设计方案

要建一座从香港横跨30多千米的南海伶仃洋水域、直接贯通到珠海和澳门的跨海大桥，需要解决很多问题。如果完全复制杭州湾的造桥经验要容易得多。但现实情况是，这里并不是杭州湾，这里是全球最重要的贸易航道，同时密集复杂的海床结构让施工难度大大增加。每年南海的台风几乎都经过这里，所以在这里修建大桥要做好足够的心理准备。除此之外，工程师还要面对一个不可超越的数字，即10%。伶仃洋是一个典型的弱洋流水域，每年都会从珠江口夹杂着大量的泥沙涌入海洋。大桥的桥墩就像一个阻挡泥沙的篱笆，

超过 10% 的阻水率，泥沙就可能被阻挡、沉积，从而阻塞航道，让伶仃洋变成一片冲积平原。

伶仃洋水域靠近香港方向，有一个重要的深水航道——伶仃洋航道，它是大型运输船只在这片海域通行的唯一通道，所以这座大桥的修建将关系到这个重要航道的生死。对伶仃洋航道的通航等级的要求非常高，现在是 10 万吨，远期将考虑 30 万吨的油轮可以通行。要满足 30 万吨巨轮的通行，就必须修建一座桥面高度超过 80 米、桥塔高度达到 200 米的超级大桥，这给设计师出了很大的难题，因为这段深海航道不能够修建任何超级大桥，如果找不到解决的办法，那就只有选择停工。

一个疯狂又创新的想法，在即将陷入僵局时提了出来，这个想法非常大胆，那就是放弃在海面以上修建桥梁，而在海面以下修建一座超长的海底隧道。2009 年，在中国跨海大桥历史上最具想象与创新力的方案被批准实施。在这片海域上，将要建成一座 6.7 千米长的海底隧道和一条 22.9 千米长的跨海大桥。这是目前在中国修建的最大、最长也是最复杂的一座跨海大桥。这座大桥建成后，从珠海或澳门抵达香港的陆路交通时间由 4 小时缩短到 30 分钟。

1.3.2 港珠澳大桥创新奇迹之二：圆钢管围岛和内胆定型进行拼接

虽然中国的工程师已经有了建造跨海大桥的经验，但还从来没有在海中修建过规模如此巨大的海底隧道，所以珠港澳大桥建设对他们来说无疑是一场史无前例的创新挑战。

摆在工程师面前的第一个难题就是要解决桥梁和海底隧道的贯通，就是找到一座岛屿，把它们连接在一起。但没有任何岛屿可以使用，唯一的办法是修建人工岛。在这片海床上建岛是一个难以想象的巨大工程，因为筑岛的地方下面有一层大约 15 ~ 20 米厚的淤泥。如果采用常规的方法在这片淤泥上施工的话，只要把抛石或者沉箱一放到淤泥上去，它在淤泥上无法站稳就会滑出去。常规的方法就是把这块淤泥挖掉，或者先用排水固结的方法使之变干，然后才能使抛石或者沉箱坐稳。如果把淤泥挖掉，超过 800 万立方米的淤泥将要被移走，相当于可以堆砌 3 座 146 米高的胡夫金字塔，这样的工程对海洋将是毁灭性的污染。

时间有限，建造工程必须按照计划在一年内完成，工程师要想出更好的创新办法。一个大胆的设计方案被提出来，那就是圆钢管围岛的计划。这个方案非常巧妙，用一组巨型圆钢管直接固定在海床上，然后在中间填土形成人工岛。这个计划将不用移走天文数字般的淤泥，对海洋环境来说也是最好的选择。120 个超级大的圆钢管形成隧道两端的人工岛，

这在中国是史无前例的。每个圆钢筒的直径达到 22.5 米，几乎和篮球场一样大，高度 55 米，相当于 28 层楼的高度，重达 550 吨，相当于一架 A380 空中客车的重量（图 1.3.1）。



图 1.3.1 港珠澳大桥人工岛围护钢圆筒

第一个难题终于解决，但另一个非常棘手的问题又摆在设计团队的面前，那就是该如何在长达 6.7 千米的深海航道区修建海底隧道。工程师首先想到的就是采用

盾构技术。中国的盾构技术已经非常成熟，最大的盾构机能够承担在 45 米深的地下挖掘 15 米直径的隧道。但在这里只能放弃这个成熟的技术，因为要面对 10% 阻水率的挑战。在 10% 阻水率的苛刻要求下，1000 米是不能接受的长度。唯一可以采取的就是沉管隧道技术，这样做直接的结果就是改变了人工岛的长度。从环境保护角度来看，每个人工岛减少近 400 米的长度，将大大改善对海洋环境的影响。但这项技术对工程难度提出巨大的挑战。每节沉管长 180 米、宽 33 米、高 11 米，由两个三车通道和两个工程通道组成，重达 76000 吨，相当于一艘航空母舰的重量。它们从西人工岛到东人工岛，依次沉入海床以下，并在海下进行无人对接。要一次成型长 180 米、重达 76000 吨的钢筋混凝土隧道是一个非常大的挑战，实际的施工难度远远超出工程师的想象。工程师采用了创新办法，把 180 米长的隧道再划分成 8 个小单元，然后将这些单元在工厂里拼接成一个整体。

模块化方案终于解决了沉管隧道制造的难题。开工第一步是制造出这些巨大的圆钢筒，这对中国的工程师来说还是第一次。这项任务被交给了中国最大的钢结构制造中心——上海振华，它位于距上海市中心 30 千米的长兴岛上。这座巨大的钢结构生产基地，每天吞吐数以万吨的钢材，为来自全球各地的建筑商打造属于他们梦想中的巨无霸。工人们必须在 8 个月完成 120 个圆钢筒，这并不是是一件容易的事情，没有任何一个卷板机和模具能够一次完成这个巨大圆钢筒的制作，他们必须想出其他的新办法。最终圆钢筒被分解成 72 个单元，一组组拼装完成。但分解的数量越多，拼接误差就越大，而圆钢筒的制作要求误差不能超过 3 厘米，这对于一个 18 层楼高的庞然大物来说绝对是一个超级挑战。

工程师又想出了一个创新办法——内胆，一个能够控制圆钢筒外形的钢结构支架。在内胆的定型下进行拼接，误差终于降到了要求的范围内。

1.3.3 港珠澳大桥创新奇迹之三：自动化模板系统生产海底隧道沉管

建造一条 6.7 千米长的海底隧道，这是史无前例的，其消耗 33 万吨钢筋和 200 万吨混凝土，这些材料足以建造 8 座 828 米高的迪拜塔。建造一个迪拜塔花费 5 年的时间，但是沉管隧道不允许用那么长时间，工程计划必须要在一年半的时间里生产所有的沉管隧道（图 1.3.2）。



图 1.3.2 港珠澳大桥海底隧道沉管

这个难题让工程师必须要想出新的办法，最初他们打算采用世界级制造模板专家——德国工程师的建议。他们是欧洲最长的海底隧道纪录——欧雷松德大桥的制造者，经验非常丰富。他们建议是使用一种快速完成拼接的模板设备，其非常精密、自动化效率非常高，能够大大提高工程效率。这套设备可以确保模板在 20 分钟之内顺利就位，保证按时完工。

但购买一套模板设备的价格远远超出工程预算，别无选择，工程师需要自己来完成这个高难度模板的制作。中国的工程师再次接受了这个挑战，来完成世界上精度最高的自动化模板的制造。整个模板用钢量达到 3000 多吨，能够留给工人们的时间只有短短几个月，这对于一个从未制作过模板的团队来说是很大的挑战。

经过 6 个月的时间，最后一批钢模板构件已经在紧张的装配当中，工人们必须在 3 天的时间完成所有的组装和测试工作。3 天以后这块模板会被再次拆解，分装到运输船上，运往 1600 千米之外的沉管隧道制造工厂——桂山岛。这座超级工厂是在 100 天的时间里建造，它的任务是生产 33 根世界最长的海底沉管隧道。这一工程足足占用了 10 个足球场的面积，挖去 300 万立方米的土石，每个月能够生产两根 76000 吨重的沉管隧道。

与此同时，在 1900 千米之外的海滨城市大连进行了一项非常重要的实验，实验的结果告诉工程师如何顺利安装巨大的沉管隧道。实验模拟最恶劣环境下，洋流对沉管隧道运输和安装的影响。得到的数据告诉工程人员采用多大的钢板才能够安全地牵引重达 76000 吨的沉管隧道，实验数据必须是精确可行的，否则后果不堪设想。如果实验不够精确，一旦现场牵引沉管的钢管发生断裂，沉管隧道就有可能在巨大的洋流中倾覆而沉入海底，那是价值上亿元的沉管，甚至还有可能造成人员伤亡。最终 3 年多的努力终于有了成果，大连的实验有助于工程人员掌握采用何种方案才能够更加安全合理地控制体积庞大的沉管隧道。

1.3.4 港珠澳大桥创新奇迹之四：8个节段拼接成33个巨大的沉管

沉管预制厂内港珠澳大桥海底隧道两节180米长的标准管节预制完成，预制管节不仅尺寸刷新了世界之最，其生产工艺也是国内首创。每一个标准管节都是由8个长22.5米的小节段拼接而成。每一个小节段的钢筋笼重量超过了900吨，在浇筑完成之后，总质量超过了9000吨。港珠澳大桥海底隧道长6.7千米，最大水下深度达46米，是迄今为止世界上埋深最深、规模最大的海底公路沉管。整个隧道由33个管节组成，在管节制造工厂标准化预制，这是目前国内首例，世界第二例采用工厂流水线法进行海底隧道的管节预制。

面对两个这么巨大的沉管，怎么样把它们顶推到浅坞区，也是一大挑战，港珠澳大桥的建设者们自有创新妙招。他们利用先进的设备，巧妙地撼动了这两条500千克的巨龙。每个单个管节底下有192个千斤顶，安装在管节底部，然后在整个滑移梁上进行顶推，就相当于一艘大的轮船，循序渐进地往前顶推。工人们对这两个标准管节进行第一次舾装，将管节两端封闭，管内安装水箱，相当于将管节变成一个钢筋混凝土结构的巨型潜水艇。

经历了5天的施工，克服了天气变化莫测以及海况复杂等因素，港珠澳大桥海底隧道首节沉管成功实现对接。经过86小时连续施工，港珠澳大桥首节隧道沉管与新人工岛成功对接。整个沉管的安放完成是在2015年年底，为期3年，整个接头的贯通是在2016年年初。

工期比计划足足提前了1个月，它将再次刷新世界纪录。沉管预制的长度是22米，厚是11.94米，宽是37.95米，要求一次浇筑是24小时，养护3天然后顶推出去。

1.3.5 港珠澳大桥创新奇迹之五：高阻尼橡胶减震抵挡地震的威胁

伶仃洋蕴藏着强大的能量，台风巨浪，每一个力量都直接威胁港珠澳大桥的安全。其实，这里还隐藏着一种人们所无法看到的威胁。桥墩最大的威胁不全是来自风浪，还有一种看不见的危险——氯盐。于1987年就放在海边的一个钢筋混凝土试件，经过20多年之后，可以看到氯离子已经渗到了钢筋表面，引起了钢筋的锈蚀，如果时间再延长，那么整根钢筋都会锈蚀，造成膨胀，混凝土就会开裂，甚至剥落，这个结构就失效了。氯盐对于这座使用寿命长达120年的大桥来说是一个巨大的威胁。工程师和他的实验团队必须要找到一个好的创新办法抑制氯盐的锈蚀，这个问题的解决是解决港珠澳大桥120年使用寿命一个最重要的问题。20年的测试数据最终为桥梁如何抵抗氯盐找到一个好的创新方法，那就是一种高性能混凝土技术，它抵抗氯离子的能力比普通混凝土提高数倍以上。

港珠澳大桥是有史以来最大规模地使用钢材建造的桥梁，22千米的桥梁使用了50万吨钢材，虽然全钢的桥梁比传统混凝土桥梁轻了很多，但它依然要面临一个严峻的挑战——地震。对于普通橡胶，自由落体以后它还会再弹起来，但是对于高阻尼的创新橡胶材料，它落下去以后的能量在分子之间的力中进行了消散。工程师在大桥正式开工之前找到了最佳的橡胶减震方案。

在港珠澳大桥横穿伶仃洋的水域，为保证每天4000多艘船只的顺利通行，除6.7千米的海底隧道之外，还设置了三座通航桥梁。从来没有一座桥横跨在三个国际机场的航线上，而且离得那么近，最危险的是离口岸最近的九洲大桥，其距离澳门机场仅有几米，飞机起飞不到一分钟就将飞越大桥的上空。在常规施工过程中，吊装设备要远高于桥塔本身，但这一经验却让工程师在这里无计可施。航空部门要求在大桥的整个建设期间，不能有任何设备的高度超过大桥桥塔，大桥的桥塔已经达到120米，设计师必须找到新的施工方案。一种创新的吊装方案被设计出来，这是一种富有创意的安装方法，工人们将桥梁的索塔直接在陆地上预制完成，然后通过底座上的连接轴进行连接，通过巨大的钢缆牵引，整座塔从水平到90度垂直一次完成。

新的桥塔施工方案让人新奇，但能否实施还需要通过另一个考验，那就是风。伶仃洋水域是台风多发地，每年超过6级以上风速的时间接近200天，韧性强的钢梁会在风力的作用下自然摆动，一旦频率相同，就会产生共振，后果不堪设想。上海同济大学通过一个关键的实验，试图利用风洞模型来找到解决共振的办法。他们发现了一些不利的涡振现象，这会对行人、驾驶员、坐在车上的人员造成不舒适的感觉，甚至于会导致桥梁结构的疲劳。解决涡振现象是这个实验的重点，必须让涡振消失。创新想法是加上50多厘米高、1米宽的一个溢流板以后，可以使得原来在7级风作用下的40厘米大的振幅，降到只有6厘米。

1.3.6 港珠澳大桥创新奇迹之六：重新规划航道

30千米长的海域却是世界上最繁忙的航道，港珠澳大桥一旦开始施工，每天4000多艘船只和工程船只的交叉通行将是巨大的麻烦。工程师必须想到办法来确保万无一失。他们和海上交通警察、海事局合作，在30千米的海面上重新规划航道，这是中国最大规模的一次航道改造工程。

将巨大的圆钢筒运送到远在1600千米之外的上海振华重工圆钢管施工现场，也并非想象中那么简单。开始的时候，5名工人在高空中连续工作10小时，才能够将8根圆钢管装到运输船上。这是一次对体力和耐力的挑战。一艘7万吨的运输船最多能够装载8根圆钢管，4000吨的圆钢管对于7万吨的集装箱货轮来说似乎并不难，但高度45米的圆钢管

直接挡在了驾驶室的正前方。有 20 年航海经验的船长也是第一次遇见这种困局，这是一次非常有挑战性的航行。他们须在船两边不停地来回穿插走动，才能从两侧看见一点点过往的船舶。最终振华号载着这 8 个巨大圆钢筒启航了，驶向南部 1600 千米之外的伶仃洋。

1.3.7 港珠澳大桥创新奇迹之七：GNSS 数据处理中心精确定位

这是一个极有挑战的工作，将 550 吨重、45 米高的巨型圆钢筒放置在规定坐标内的海床上，且允许的误差只有 2 厘米。

能胜任这个任务的是世界上最大的八向震锤，这是为了建造人工岛而定制的超级武器。它能够轻易吊起 1600 吨的重物。550 吨重的圆钢筒被吊起，但没有人知道误差只有 2 厘米的点在哪里。在 2 万千米的高空，GPS 卫星不断地传递数据，进入到大桥 GNSS 数据处理中心。这是大桥建立的一个 GPS 基站，任务就是确保在工程范围内的施工精度。GNSS 信号被传到了工程现场，550 吨重的圆钢筒逐渐下沉，它要穿透 37 米的海床，达到指定位置。

经历长达 28 年的准备，中国的工程师终于建造出世界上最长的跨海大桥。他们用超级大的圆钢筒来修建两座人工岛，生产 33 根航母般巨大的沉管来建造世界上最长的海底隧道，首次挑战地质复杂的海床，建立世界最长的钢铁大桥，并不断挑战新的工程极限。

1.4 天文望远镜的创新奇迹

400 多年前，当伽利略把他自制的望远镜指向天空的那一刻，人们就开始为探索宇宙而努力。现在，巨大望远镜早已存在，通过它们可以观测到光谱中人类肉眼所看不见的部分，从红外以下的低频无线电波到紫外以上的高频伽马射线。

然而，没有哪个传统光学望远镜可以与大型双筒望远镜（LBT）相提并论。它价值 6000 万英镑，是亚利桑那大学格雷厄姆山国际天文台最宝贵的明珠。2004 年架设至今已近 20 年，是继赫兹次毫米波望远镜和梵蒂冈尖端技术望远镜以来建于 10500 英尺高的格雷厄姆山顶上的第三台望远镜。

大型双筒望远镜的两个凹镜直径均达 8.4 米，总面积加起来达 110 平方米。两面凹镜片的表面加工精度非常高，它们安装在一个整体框架上，可以同时对准要观察的目标天体。借助光的干涉原理，所获图像的清晰度可与 23 米直径的镜片相当。它是一个单一整体，因此称为世界上最大的单个望远镜。而有些庞大的射电望远镜是由许多台小望远镜组成的

阵列，所以并非单个望远镜。

大型双筒望远镜是全世界最大的光学望远镜，它是一系列历史性工程突破的终极跨越，是300年工程学的巅峰之作。它的成功要归功于望远镜世界的5个历史性创新进步与跨越：牛顿的反射望远镜、胡克望远镜、海尔望远镜、经纬台式巨型望远镜、大型双筒望远镜。每个创新跨越都是重大的技术革新，让天文学家得以建造出更大的望远镜。400多年来，人们为探索宇宙不断地完善望远镜，从消除色差、消除球差，到口径越来越大、图像越来越清晰。今天，人们探索宇宙的渴望没有消减，它将继续引领人们前进，永不停止。

1.4.1 牛顿的创新：反射望远镜

回顾一下天文学家建造越来越大的天文望远镜来观察遥远太空的历史，最重大的创新出现在17世纪的英国，其主角是一项惊天动地的发明——反射望远镜。

1669年，在英国剑桥大学，26岁的聪明数学家牛顿爵士开始思索宇宙。毫无疑问，他是历史上最优秀的科学家之一，他有研究问题的能力，对某个问题一想就是数月甚至数年，很多人不是觉得无聊就是放弃了，但他却有着不凡的毅力。这时的牛顿开始研究物理学的几个关键问题了，其中之一就是望远镜的性能。

天文学家一直渴望研究太阳系的行星，但当时的望远镜却无法胜任这项工作。要看到夜空中这些模糊而遥远的星体，望远镜必须能捕捉到更多的光，为此就需要更大的镜片。望远镜中，镜片的作用是将光集中在一点，但大的镜片为早期的天文学家带来了许多问题。牛顿发现光穿透玻璃会发生弯曲，并分成不同的颜色，但每一种颜色的光焦点的位置都不同，这些不同的焦点使影像变得模糊，而且镜片越大，影像失焦模糊就越严重。

在剑桥研究期间，牛顿认为他已经解决了这个问题，他有办法做出影像清楚而且颜色不模糊的望远镜。他取出了问题镜片，创新放入了一种截然不同的东西，制成世界上第一部反射望远镜。1671年，年轻的牛顿爵士的作品看起来似乎很简陋。他在剑桥的房间里使用当时唾手可得的材料：纸板做的管子、调整用的木球，但他采用镜子取代了镜片。牛顿的镜子是一片被磨凹的金属片，它能将遥远物体发出的光反射至一点，第二面较小的镜子接着将光反射至接收目镜，由于光没有穿过厚镜片，所以颜色不会分离，影像也不会模糊。牛顿通过反射望远镜，得到了当时世界上最清晰的影像。

1672年1月，牛顿制作的望远镜让皇家学会的成员们啧啧称奇，因为它更强大，与传统的6英尺长的望远镜相比，它的影像更清晰。从这时起，望远镜的演化便以镜子越来越大为中心，而镜片已不再是主角。在望远镜的世界里，大即是好，因为镜子越大，捕捉的光就越多，成像也就越明朗清晰。

1.4.2 胡克的创新：大口径望远镜

在富商约翰·胡克的赞助下，口径为100英寸的反射望远镜于1917年在威尔逊山天文台建成（图1.4.1）。在此后的30年间，它一直是世界上最大的望远镜。为了提供平稳的运行，这架望远镜的液压系统中使用的是液态水银。1919年阿尔伯特·迈克耳孙为这架望远镜装了一个特殊装置——干涉仪，这是光学干涉装置首次在天文学上得到应用。

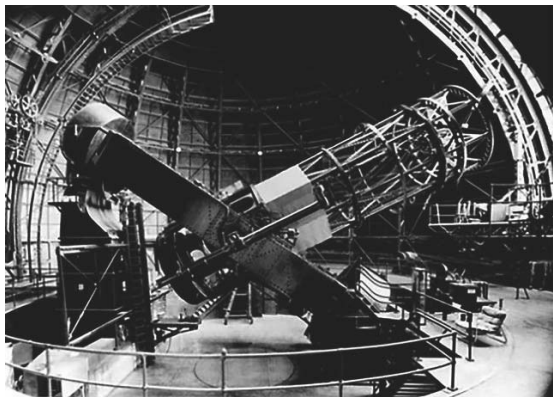


图 1.4.1 胡克大口径望远镜

迈克耳孙用这台仪器精确地测量了恒星的大小和距离；亨利·诺里斯·罗素使用胡克望远镜的数据制定了他对恒星的分类准则；埃德温·哈勃使用这架100英寸望远镜完成了他的关键计算，他确定许多所谓的“星云”实际上是银河系外的星系，在米尔顿·赫马森的帮助下，他认识到星系的红移，说明宇宙是在膨胀的。

1.4.3 海尔的创新：高山上的望远镜

美国天文学家海尔成功说服并得到了华盛顿的卡内基协会赞助，监制了威尔逊山天文台的望远镜，在1908年建造了口径为1.5米的望远镜，并在1917年建造了口径为2.5米的望远镜。在20世纪30年代初期，海尔选择了位于加州圣地亚哥高1700米的帕洛马山作为观测点，它是美国最好的场所，几乎完全不会受到洛杉矶等城市中心日渐增长的光污染影响。康宁玻璃工厂选择以新的玻璃完成制造200英寸镜片这个艰巨的任务。从1936年开始施工，其间受到第二次世界大战的影响而中断，望远镜直到1948年才完成。

海尔望远镜14.5吨重的镜片是20世纪工艺技术的一项重大突破，它几乎是接近单一镜片但仍能保持其刚性的最大极限。大的镜片在望远镜转到不同的位置时，会因本身的重量而有轻微的下垂，改变表面形状的精确度，而镜片的精确度必须维持在二百万分之一英寸内（25纳米）。后续成功建造的镜片，使用不同于传统的创新设计，解决了这个问题。使用单一的轻薄镜片或是许多灵活的小镜片组成镜子群，它的形状可以用计算机控制的伺服机系统自动控制。海尔望远镜使用的望远镜架台的形式是赛路里桁架，这是加州理工学院的马克·赛路里在1935年发明的。

具有装饰艺术的海尔望远镜圆顶在黄昏中开启。每一个天空晴朗的夜晚，来自加州理

工学院、康奈尔大学和喷射推进实验室的天文学家和共同经营的伙伴们，都会使用它来进行持续的研究工作。海尔望远镜装备了现代的光学和红外线阵列影像、光谱仪和调适光学系统，使得它的解析力在某些项目的观测上逼近理论上的极限值。如今，它依然保有单片玻璃制作的第二大望远镜的头衔。

1.4.4 俄罗斯的创新：经纬台式大型望远镜（BTA）

目前，在俄罗斯的6米望远镜——经纬台式大型望远镜是苏联建造的大型望远镜，它的主镜直径达6米，自从其建成之后至1992年凯克望远镜完工，一度是世界上口径最大的光学望远镜。现如今，它仍然是欧洲大陆上口径最大的光学望远镜。在其建造过程中创造了许多大型望远镜设计、建造的先例。然而，由于其选址和望远镜的制造质量问题，经纬台式大型望远镜的实际成像能力一直受到西方天文学家的质疑。

1950年，苏联科学院决定建造一台新的大型望远镜以超过口径为5米的海尔望远镜。这台新望远镜的口径被确定为6米，这差不多是单面固体望远镜的最大极限了。在其之后建设的口径更大的望远镜，都采用了多面镜片拼接的工艺。该望远镜的镜片由列宁格勒光学机械联合体，也就是著名的LOMO制造。主镜直径6米，焦距为26米，结构质量800吨，高度约为42米。用于支撑的支架和容纳望远镜的观测室的质量也分别达到了300吨和1000吨。与之前的大型望远镜相比，经纬台式大型望远镜采用了许多创新技术。首先，正如其名字所示，它使用的是经纬台式架台，与赤道仪相比结构简单、造价低，但定位复杂，需要依靠计算机装置辅助。它还使用了水平式焦点结构，这种结构使得主镜所聚焦的成像被反射到镜筒侧面。这样光学胶片或是CCD装置可以装置在主镜外，利于减轻总重。

虽然其口径非常巨大，但实际成像能力和科研能力却并不高。首先，巨大的单一镜片非常沉重。受自重和热胀冷缩的影响，镜片很容易发生变形。实际上，1975年所安装的主镜在使用后不久就发生了破裂，结果导致其成像能力只有设计值的六成左右。1978年苏联又用了一面新的派热克斯玻璃替换了它。其选址也并不利于天文观测，该天文台所在地常有大风，温度变化也极为不稳定。近年来，该望远镜更换了膨胀率更低的玻璃并加装了CCD成像系统。

1.4.5 六大创新荟萃：大型双筒望远镜（LBT）

创新一：收集光的巨大主镜

大型双筒望远镜的镜子是迄今为止最大的，这部望远镜有两面8.4米的主镜，它们能

收集落在地球上的星光，并将光聚焦，这样人们才能捕捉一些极其遥远的物体发出的微弱信号。采用并排两面镜子后（图 1.4.2），天文学家便能得到两倍的光，视野也开阔了许多，光被镜面反射至单一的焦点上，接着两部价值均超过百万的高感光度数码相机负责接收这些光，再经过微调的两部相机，分别侦测全部颜色的一半，而不是收集整个光谱的光，结合两部相机的影像得到的最终画面，清晰度远远超过了单一相机。LBT 时代已经大大有别于牛顿用肉眼观察天体的时期了。

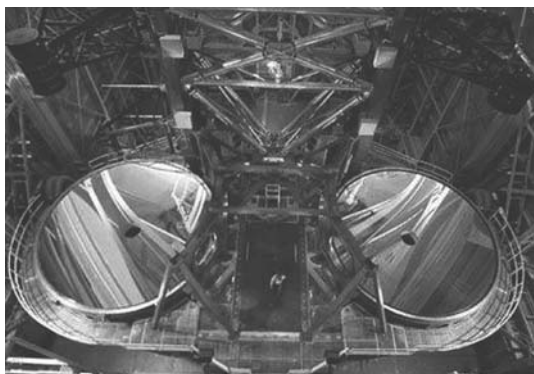


图 1.4.2 大型双筒望远镜 (LBT)

创新二：平滑无比的抛物面镜

大型双筒望远镜巨大的外壳由亚利桑那大学团队负责建造，要试图创新做出有特定曲线的镜子，即抛物面镜。用玻璃做抛物面镜十分容易，先融合玻璃再旋转就可以了。但为了能做出大型抛物面镜，镜子实验室的技术人员建造了一个巨大的旋转熔炉，并在里面放了 21 吨玻璃，光学技师必须检查每块玻璃是否有瑕疵。在加热融化玻璃的同时，熔炉每分钟还要旋转 7 次，离心力会把融化的玻璃推成一个抛物面。为了在玻璃冷却时保持这种抛物面形状，熔炉必须坚持旋转 12 周的时间，接着抛光镜子制作出完美表面。直到今天抛光工具仍要模仿人手的随机动作，在最终阶段，抛光工具每次磨掉的镜子只有 100 个原子厚。最后要为玻璃铺上一层薄薄的铝，这样表面才会反射光。工程师把玻璃放入一个巨大的钟罩内，强大的气泵可以吸出所有空气，制作出真空状态。钟罩旁边的干锅会以超高温加热少量的铝，液体蒸发后，铝分子飘过钟罩，凝结在玻璃表面。真空状态可以确保分子平均地散布在整个表面，制造出完美无瑕的反光镜。经过近 4 年的抛光与测试，两面镜子终于完成了。

创新三：稳定润滑的转动追踪

大型双筒望远镜在安装两个巨大的镜子之前，工作团队必须先将底座准备好，这样才能准确无误地移动望远镜，通常的做法是在轴承间加上一层润滑油就可以了。但极重的大型双筒望远镜会将油挤出来，于是工程师创新地把 C 形支架装在 4 个大垫子上，并用高压喷嘴向上朝望远镜喷油，以这种方式能持续补充被挤出的油，并形成一层薄而滑的膜，让

望远镜漂浮在上面。

创新四：巨大镜子的登山之旅

2003年10月23日，LTB的天文学家焦急地等待着巨大镜子的到来，工作团队要把它们送到海拔3000多米高的山顶。通往山顶的道路十分狭窄，山路迂回而且两旁都是树木。负责搬运的工人不能砍掉树木以方便前行，他们计算出结果，创新地让镜箱呈60度角倾斜，宽度能容纳于树干之间，高度也不会碰到上方的树枝。然而坡度陡峭，这个危险角度本身就有问题，镜箱重心这么高，稍微倾斜就可能会翻倒并压扁树木，也会毁掉价值上千万的镜子。为了维持拖车平稳，工作团队为车轮安装了液压活塞。在攀登陡峭道路时，随时调整拖车的角度，让镜子时时处在正确的角度，整个过程中没有树木受损。

创新五：克服温度的影响

由于温度的变化会造成镜面的变形，因而会造成成像的清晰度受到影响。美国亚利桑那州冬天温度会降低到 -15°C 左右，而且还有强风，夏天则温度较高，为 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。与其冷却望远镜所在的整栋建筑，不如只冷却镜子。工程师创新地把镜子后方做成蜂巢状的凹穴，用小型喷嘴将冷空气喷入这些凹穴，从内部冷却镜子，使镜子保持恒温，并预防前方镜面发生弯曲，这样就可可在短时间内与周围环境达到平衡。

创新六：抵消大气造成的扭曲

由于大气的流动干扰，在地面拍摄的太空图片会发生扭曲。而LTB的工程师却有办法拍到太空清晰照片。他们的创新构想是测量光被大气扭曲的程度，并谨慎调整第二面镜子，以抵消扭曲。光波经过折射在相机镜头里聚焦，就形成完美的平行同相光波了，就像大气不存在一样，这使得LTB的成像质量比哈勃太空望远镜（图1.4.3）清晰10倍。除了看到遥远的恒星，他们还能看到绕恒星运行的行星。

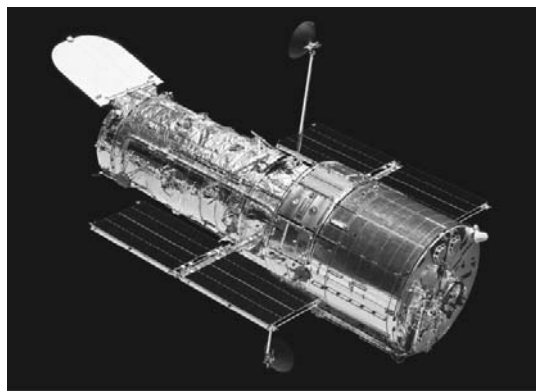


图 1.4.3 哈勃太空望远镜

美国大型双筒望远镜自2005年10月12日开始部分运作，当时只有一面镜片投入使用，用以观测仙女座中的螺旋星云，它于2007年捕获了首批图像。2008年，当两面镜片同时投入使用后，大型双筒望远镜变得前所未有的强大，天文学家可以使用新设备以前所未有

的精确度探测宇宙的过去。它的两面直径 27 英尺的镜片使其拥有了相当于单个直径 39 英尺的镜片的聚光能力，与直径 75 英尺的望远镜的解析度。

1.5

水库大坝的创新奇迹

自古以来，在华夏土地上的水利建设，就一直受到各族人民的重视。人们经过几千年百折不挠的努力，取得了辉煌的成就，陆续修建起千千万万的水利设施，如郑国渠、灵渠、都江堰等。最早提出长江三峡工程设想的是孙中山先生。

中华人民共和国成立以后，经过了长期、广泛的论证，全国人大终于在 1992 年 4 月 3 日通过了《关于兴建长江三峡工程的决议》。从此，中国历史上最大的水利枢纽工程进入了具体实施阶段，经过两年的准备工作，三峡工程于 1994 年 12 月 14 日正式开工。1997 年 11 月 8 日，三峡工程截流成功，2003 年 6 月 1 日正式下闸蓄水，于 2009 年全部完工。三峡工程在工程规模、科学技术和综合利用效益等许多方面都堪为世界级工程的巅峰之作。它不仅为中国带来巨大的经济效益，还为世界水电利技术和相关科技的发展作出有益贡献。

三峡水电站是迄今为止世界上规模最大的水电站，也是中国有史以来建设的最大型的工程项目。而由它所引发的移民搬迁、环境保护等诸多问题，使得它从开始筹建的那一刻起，便始终与争议相伴。三峡水电站的功能有 10 多种，包括航运、发电、种植等。三峡水电站大坝高程 185 米，蓄水高程 175 米，水库长 2335 米，静态投资 1352.66 亿元人民币，安装了 32 台单机容量为 70 万千瓦的水电机组。三峡电站最后一台水电机组，2012 年 7 月 4 日投产，这意味着装机容量达到 2240 万千瓦的三峡水电站，已成为全世界最大的水力发电站和清洁能源生产基地。三峡工程在充分发挥防洪、航运、水资源利用等巨大综合效益前提下，电站累计生产 1000 亿千瓦·时绿色电能。

三峡工程主要有三大效益，即防洪、发电和航运，其中防洪被认为是三峡工程最核心的效益。三峡大坝是全球最大的混凝土结构，共用了 4 万名工人，历经 17 年兴建，是大坝工程的杰作。三峡大坝的成功得益于 4 座地标水坝，每一座水坝都意味着一次重大的技术创新。正是这些巧妙的技术创新，使得水坝越建越大，规模足以向上攀升，发电量不断提升，最终打造出三峡大坝。

1.5.1 马维日水坝的创新：河川改道

1914 年第一次世界大战爆发，煤田遭德军侵占，法国陷入严重能源危机。法国人被迫从国外高价进口煤炭，供应发电厂所需维持国家的运作。后来他们决定用水力发电，建造水坝，提高国家的电力供应。不过要在湍急的多敦河中兴建一座混凝土水坝，可不是一件容易的事。

在多敦河，没办法直接把混凝土往河中央浇灌。在这里要盖水坝，就要盖三座。首先要盖一座临时水坝，叫作围堰，用来挡住河水。光挡水是不够的，河水会从顶上漫过去，除非另辟蹊径，做一条引水道。为了阻止河水回流，盖第二座围堰，围堰之间的水可以排出。多敦河工程师在岩层上炸出两条隧道，输送改道的河水，把装满岩石的钢笼投入河中，打造临时围堰。接着用混凝土强化，这时水坝后面的河水开始上涨，经过引水隧道排出。为了阻挡河水回流，工程师兴建第二座围堰，一旦围堰之间的河床抽干就出现一块干燥的地方。兴建主坝的工程师运气很好，因为围堰中间的这一段河床其实是坚硬的岩石，他们可以直接在上面修建巨大的混凝土建筑，从河床一层层上升到 30 层楼高。随后工程师关闭引水隧道，让水库的水上涨淹没围堰，任务就完成了。最后把轮机的闸门打开，开始发电。

马维日水坝完工后，发电量达 1 亿 2800 万千瓦，能发动一班开往里昂的列车，并为 400 千米外的巴黎市供电。

1.5.2 胡佛水坝的创新：混凝土降温

胡佛水坝位于科罗拉多河的内华达州与亚利桑那州之间的黑色峡谷之中，是美国西南地区最大的水利枢纽工程。千百年来，科罗拉多河在每年的春季及夏初，由于大量的融雪径流汇入，致使河流两岸低洼地区泛滥成灾，公众生命财产遭受严重损失，但到了夏末秋初，河流又会干涸得像一条细流，无法引水灌溉农田。

1928 年，国会通过了峡谷工程法案，授权建设胡佛水坝。该坝是以美国第 31 任总统赫伯特·胡佛命名的。胡佛水利枢纽的建筑费用达 1.65 亿美元，大坝始建于 1931 年，并于 1935 年 9 月 30 日完成（提前 2 年），是一座混凝土浇筑量为 260 万立方米的拱形混凝土大坝，其坝高 221.3 米，坝顶长 379.2 米，坝顶宽 13.7 米，坝底宽 201.2 米。胡佛水力发电厂位于坝后，共安装了 19 台机组，其中 2 台自用。1936 年 10 月第一台商业机组发电，1961 年最后一台商业机组投入运行。该电站现在的装机容量为 208 万千瓦，年发电量 40 亿千瓦·时，是世界上最大水力发电站之一，其装机容量居美国之首。

胡佛水利枢纽有灌溉、商业供水、电力、休闲等经济和社会效益，因此它在世界水利

工程行列中占有重要的地位。此外，还能将河水引进科罗拉多河的某些低洼地区，为当地和外来的野生动物提供保护区或滞水区，用以恢复由于修建胡佛大坝而消失的生态环境。

1.5.3 大谷力水坝的创新：防止洪水侵蚀

水库满溢，水坝就会爆裂。1889年5月30日，宾夕法尼亚州约翰小镇，遭遇了史上最大的暴雨，整个小镇被淹。1933年，美国工程师开始兴建大谷力水坝，它横跨美国西北部的哥伦比亚。大谷力水坝消耗的混凝土和横跨的距离，都是胡佛水坝的三倍。

工程师建造大谷力水坝时，必须确保约翰镇的悲剧不会在这里上演。冲过水坝的河水，可能很快会侵蚀河床，酿成灾难。工程师在建大谷力水坝时，创新地把坝底设计成一道混凝土斜坡。水流朝排水口倾斜出去，形成翻滚的旋涡，销蚀其中的能量。当水从斜坡泄漏，破坏力也销蚀大半。斜坡建好之后，工程师就能安全运转美国最大的水力发电水坝了。

1.5.4 克拉斯诺亚尔斯克水坝的创新：保持船只通行

为了修建横跨浩瀚的叶尼塞河水坝，工程师必须设法阻挡河水，同时保持船只通行。20世纪60年代苏联想提升国内的工业力量，计划兴建一系列大型水坝，克拉斯诺亚尔斯克水坝正是其中第一批。它长达整整1千米，横跨叶尼塞河，年发电量高达60亿瓦特。这条河也是前往西伯利亚的主要航运路线，水坝将会阻碍这条航道。

为了保持航运继续，工程师想出一个绝妙的创新计划，他们兴建了一条足以容纳船只的钢槽。接着把钢槽和船只推上坝顶，在这里把整个装置倒转，把水坝的另一侧下放到河面上。为了移动7000吨的载重，他们使用了液压泵。工程师用加压的液体举起船只，闸室墙壁里装有强大的压力泵，利用巨大的压力，把液压油挤压到安装在底部的一系列马达上。马达驱动巨大的钢嵌齿，沿着一条导轨推动钢槽。马达所产生的强大牵引力，在短短90分钟内就能把船舱从河面吊上水库。这个机械创新奇迹是当时世界第一大坝的至高荣耀。

克拉斯诺亚尔斯克水坝电站装机12台，单机容量50万千瓦，总装机600万千瓦，年平均发电量204亿千瓦·时。工程具有发电、航运和供水等综合经济效益。工程于1955年开工，1963年3月截流，1967年第一台机组发电，1972年全部工程建成（图1.5.1）。



图 1.5.1 克拉斯诺亚尔斯克水坝

1.5.5 六大创新荟萃：三峡大坝

创新一：发电量大

三峡大坝（图 1.5.2）有 32 台发电机，每台发电机造价大约 5000 万美元。工程师利用浩瀚长江的力量驱动发电机。在大坝后面的水库，水位上升到河床以上 60 层楼高，利用巨大的混凝土隧道，往下把水送往发电机。轮机在激流的河水冲击下转动，由此带动发电机的轴轮。这里装了大块磁铁，磁铁经过



图 1.5.2 三峡大坝

外壳上的铜线圈发电。其中一台机器的发电量就相当于一座小型核能发电厂，32 台发电机的总发电量，足以供 6000 万中国人使用。这项工程为国际水利发电工业立下了一个全新的基准点，与世界第二大水利工程伊泰普水坝相比，三峡工程的规模大了将近一倍。

创新二：河川改道巧妙

长江全长 6000 多千米，有时河宽好几千米，是中国第一大河。水坝工程师要面对许多后勤上的严峻挑战。当长江水在三峡大坝背后上涨时，将会淹没沿岸 15 万亩（1 万公顷）的土地，因此 100 多万人必须离开水坝背后的土地。所以事先必须建好几千栋房子，来安置迁居的居民，然后才能建坝拦河。兴建围堰所需要的岩石和预铸混凝土砌块在三峡工程施工期间，用来控制河水。如何控制河水，使这项巨大工程得以实施，这显然是一个特别重要的问题。因为长江水流快、河床深，因此兴建围堰，保证大坝安全施工在这里是一项重大考验。所以工程师认为这是在水利工程史中，最大也是最艰难的引水工程。他们着手修建一系列石围堰，挡住一部分长江河道，同时开放一条河道，让剩余的河水流过。他们在干河床上兴建前两段主坝，接着向河中抛下数以吨计的泥土，并在上面再建一座围堰，这次建造的是混凝土围堰。河水被挡住了，这时终于能兴建最后一段水坝。接着必须拆除围堰，好让河水流过主坝的轮机。围堰建得非常结实，拆除围堰可是一大挑战。在前两个阶段，围堰是用大石块打造，可以用相当传统的大型挖掘设备处理，不过在最后阶段，要拆除一道实心混凝土墙，就得有创新想法了。不同于马维日水坝的围堰，三峡大坝的围堰太高，无法弃置原地，因此工程师们建围堰时，预留了放置炸药的孔洞。2006 年 6 月 6 日，他们在孔洞中放入 190 吨炸药，几个月的辛苦劳动，几秒钟内就烟消云散，围堰崩塌

了，后面蓄积的河水被释放出来，这是对三峡大坝的最后测试，水坝经受住了考验，屹立不动。

创新三：混凝土冷却方法均匀快速

三峡大坝使得混凝土建筑更上一层楼。坝底的混凝土很厚实，足足有 180 米高，2 千米长，混凝土的用量极其惊人。三峡大坝使用的混凝土比胡佛水坝多了 10 倍，因此工程师必须想办法让水坝保持冷却。他们采用的创新做法是先冷却骨料、建材、砂石，然后再把这些放进混合物中，加入冰块。他们在混凝土自行升温前要绞尽脑汁把温度降得最低，因为这里的夏天特别热，他们甚至还用了喷雾系统，等于在坝顶上喷了一层水雾，目的就是阻挡太阳辐射在混凝土内堆积，避免内部产生热气。

创新四：降低大水冲下的力道以防止洪水破坏

三峡大坝的工程师必须确保大坝不被冲过的洪水损坏。基本上大坝在汛期挡住了大量河水，三峡大坝可以阻挡 220 亿立方米的水，然后以人为控制的方式泄出。排水系统有 46 个排水闸门和下面的导槽。这种排水口的设计必须能应付水流的冲力。水从 100 多米高的地方冲下，在坝底达到极大的速度。为了抵消大水冲下的力道，三峡大坝采用和大谷力水坝相同的创新方法。当水位上升时，工程师打开一系列闸门，把洪水排出库。但是如果让大水笔直倾斜而下，可能会破坏大坝的坝基，因此工程师在排水口设计安装了混凝土坝基导槽。与大谷力水坝的水底斜坡不同的是，三峡大坝的导槽能把水射向空中，射到空中的水裂成小水珠，这样就会失去不少破坏性能量，落在 100 多米以外的下游处，无法造成任何损害，因此打开排水口闸时，人们根本不用担心会破坏坝基。

创新五：保持航运通畅

三峡大坝的修建要面临巨大的交通问题。三峡大坝坐落于亚洲最繁忙的河川之一，从沿岸的上海通往九江，一路来到重庆，每年运输大约上万吨货物。100 多米高的大坝，每天有 160 ~ 180 艘船只经过，对工程师来说，这可是个严峻的挑战。为了配合世界第一大坝的建设，他们的创新解决之道是建造全球第一大闸。船只在坝底进入船闸，闸门关闭，灌入河水，把船只抬高到下一段船闸。船只必须通过 5 段船闸才能开到坝顶，这要耗费 4 个小时。这个速度货船还能接受，但对于往来于长江的许多客轮而言，这个速度实在太慢。为了让客船运输更有效率，工程师创新地打造了升船机系统，船只大约 36 分钟就能通过。三峡大坝的升船机就像电梯一样，船只可以笔直往上升，成功的秘诀就藏在混凝土墙壁中。工程师安装了一系列巨大的平衡锤，承担大部分的吊举作业。16 个千吨以上

的混凝土砌块用缆索连接到钢槽，钢槽承载着船只和使船只上浮的水。当平衡锤落下，就会把钢槽向上举起，让船只升上坝顶。这座升船机高 113 米，可以运输重达 3000 吨的船只，是全球第一大升船机。

创新六：运用洪水的力道清除淤泥

修建三峡大坝的主要原因之一是防止严重的水患，大坝挡住了致命的洪水，蓄积在水库中的水，在人为控制下泄出。但管理洪水的同时也会对环境产生一定的影响。长江淤泥，因为水坝而无法流动，被困在水库里流速缓慢的水中，很快就会沉到河床堆积。长江的淤塞问题非常棘手，每年共有 5 亿吨的沉淀量。万一淤泥一直困在水坝后面，下游数百英里的农民、渔民和野生动物就无法获得水中的养分。另外，数以吨计的沉淀物或沉淀淤泥可能堆积在水库里，危及水库本身的安全。而且落入水库中的沉淀物会缩小水库的容量，最后还可能影响到运转轮机的能力。三峡水坝的工程师，巧妙创新地运用了洪水的力道，把水库的沉淀物冲往下游。他们在大坝深处安装水闸门，每个闸门有一辆公共汽车那么重，需要强劲的液压活塞才能拉开。当操纵员开启阀门时洪水快速冲过，混在下面的沉淀物就会从水坝冲出去。工程师希望通过这种方式使累积的沉淀物至少在 100 年之后才会影响大坝的发电量。但是，即使是这个精巧的净化系统也无法彻底清除大坝的沉淀物，至于会留下多少沉淀物，相关的科学评估认为，大概为 30% ~ 60%。

1.6

隧道的创新奇迹

哥达基线隧道是世界最长隧道之一，位于瑞士中南部阿尔卑斯山中，山口海拔 2112 米，自古为中、南欧交通要道，在国际交通上起着重要的作用。

瑞士的阿尔卑斯山地貌复杂，地势险峻，将山区与苏黎世、米兰、图灵等文化、经济枢纽相连，绝非易事。由于瑞士汽车量的增长以及意大利逐渐成为一个受欢迎的度假地，所以瑞士决定建造哥达基线隧道。

2015 年 8 月 24 日，瑞士政府在隧道内召开新闻发布会，宣布隧道基本完工。隧道的运行测试于 2015 年 10 月 1 日启动。2016 年 12 月 11 日，全长 57 千米的瑞士哥达基线隧道正式运营。它使意大利与瑞士两国之间的铁路旅程缩短 1 个小时（从瑞士苏黎世到意大利米兰车程缩短至 2 小时 50 分），同时还大大缓解瑞士公路的货运压力。

为保持山体稳固、保障隧道内部安全，这条穿越阿尔卑斯山的隧道在 17 年的建造过

程中遭遇了诸多挑战和难题。哥达基线隧道的成功建设主要归功于5条重要的隧道的创新积累，每一条隧道都是一次技术上的重大创新，从而让工程师将隧道越钻越深。一条接一条，规模越来越大。得益于这5次巧夺天工的大跨越，让宏伟的哥达基线隧道最终成为世界最长的隧道，令人叹为观止。

1.6.1 泰晤士隧道的创新：隧道盾牌防止塌方

19世纪，伦敦的工程师打算在泰晤士河下修建世界上第一条水下隧道，他们首先要考虑的是防止隧道被河流冲垮。

伦敦的交通问题已不足为怪，19世纪这里是全球最繁忙的港口，当时的英国是强大的殖民统治国，因此大多数贸易都要经过伦敦港口。泰晤士河上常挤有多只要过河的高桅船，高桅船使水上交通严重堵塞，要把这边的货物送到对岸，还不如用马车送到苏格兰来得快。更麻烦的是，跨越泰晤士河的大桥严重堵塞，修建新桥并不能解决问题，要从河的一边到对岸去建桥困难重重。问题就在于这里全是高桅船，要从桥下通过，桥梁必须建得非常高，一条坡道有好几米长，所以不能靠桥梁解决问题。

法国工程师麦克·布鲁内尔希望能修建一条穿越泰晤士河的隧道，他也知道修建这样一条隧道面临的危险，因为泰晤士河下的地质非常不牢固，但麦克·布鲁内尔认为他有办法解决，他的创新灵感来源实在出人意料。

布鲁内尔在查塔姆造船厂工作，造船厂四周到处都是木材，船就是木制的。他发现了一种很小的软体动物叫船蛆，它能钻进木头里。令他感到惊讶的是，船蛆是如何钻进去的，钻进去之后为何不会被压垮。船蛆是一种蛤，头部有外壳，外壳的边缘呈锯齿状。当船蛆渐进时，即便是最坚硬的木材也能被它钻透。然而有一个问题，潮湿的木头久了会膨胀，可能将通道封住，把船蛆压扁。于是船蛆有个聪明的绝招来避免这种情况的发生。它会分泌出一种黏液状物质，在它柔软的身体外部添加了一层坚硬的保护壳。当船蛆前行时，这层坚硬的外壳可以防止通道崩塌。布鲁内尔的做法跟历史上许多人一样，发现一个问题和自己的问题大同小异，只要能复制几个关键部分，就能有办法成功解决问题。他发现船蛆正在解决它所面临的问题——船蛆钻过的地方可能随时压下来。

布鲁内尔创新修建了一台能将船蛆所使用的技巧放大的机器，称之为隧道盾牌。这台机器由36个铁框架组成，每一个框架里都配有一个安装衬垫的工人，用木板为他们挡住随时有可能坍塌的工作面。他们每次移开一块木板就挖出10厘米厚的泥土，一旦挖出了一整块泥土，就会用起重机把框架往前推，露出很窄的一块泥土，没有任何支撑。布鲁内尔模仿船蛆趁隧道倒塌前快速铺好衬垫，用砖和水泥建成一条坚固的双孔隧道，这台机器

由此成为泰晤士河下开凿隧道的重要设备。

布鲁内尔的泰晤士河隧道技术一直沿用至今。布鲁内尔的盾构可以防止隧道塌方，但无法隔离泰晤士河底下的污秽。在当时这就像一个大排水沟，工人每次只能工作两个小时，因为河底腐烂的物质释放出沼气，有些人会感到身体不适，最可怕的是挖开那些东西时工人连指甲都会腐烂。

如今通过隧道只需 45 秒，而建成隧道却花费了布鲁内尔团队 12 年的辛苦劳作。如果没有机械船蛆的创新，隧道的建造是不会成功的。

1.6.2 博克斯隧道的创新：火药爆破开凿

1825 年，布鲁内尔的隧道盾构为工程学开创了新局面，然而隧道仍要靠徒手挖掘，进度极为缓慢。为了让隧道挖掘的进展再迈进一个新台阶，必须解决进度慢这个问题。为了让更长的 3 千米博克斯隧道穿越坚硬的石灰岩，必须找到迅速挖掘的办法。

1833 年，决定建一条布里斯托港通往伦敦的铁路，以促进贸易发展，承担此重任的是麦克·布鲁内尔的儿子伊桑巴德·金德姆·布鲁内尔，他不到 30 岁就已经参与建设全国最大的铁路工程了。布鲁内尔勘察了一条 200 千米的路线，它位于伦敦和布里斯托港之间，是一条最平坦的路段。就在完工前他遇到了一个难以对付的障碍，这就是博克斯山。山坡太过陡峭，火车无法翻越。如果铁轨绕过博克斯山，就未免太绕路。于是布鲁内尔选择第三个创新方案，就是让火车隧道穿越博克斯山。

博克斯山是石灰岩构成的，很难用镐和铲凿开。布鲁内尔为了加快速度，决定用火药向大山宣战。火药成了布鲁内尔的最佳武器。他先从两头把博克斯山炸开，以加速隧道挖掘的进度。为了进一步加速，他也设计沿着隧道的预定路线，在博克斯山开钻了八口深井。这些深井在博克斯山深处增加 16 条隧道口，这样可以派更多工作人员从不同方向把山炸开。但这种爆破会产生严重的副作用，火药爆炸时会产生大量的气体，如蒸气、氢气、硫化物、二氧化硫和一氧化碳等。一氧化碳毒性很强，如果在固定空间内像这样爆破数次，毒气量会累积，长时间吸入过多有毒气体，人就会昏迷甚至死亡。布鲁内尔每周使用一吨火药，所以在隧道工作的人很可能丧失生命。

博克斯隧道的开通使它成为当时全世界最长的火车隧道，但有 100 多人为了修建隧道而献出了自己的生命。

1.6.3 默西河隧道的创新：隧道镗床挖掘隧道

1841年博克斯隧道向人们证明了爆破可以加快挖隧道的速度，但也足以致命。为了在默西河下开凿一条约4千米的隧道，而不炸伤工作人员，隧道挖掘人员必须靠机器。

19世纪末，利物浦是英国最繁忙的城市之一，但许多工作人员上下班通勤却很辛苦，他们必须靠轮渡横越默西河口，在1877年就有2600万名乘客搭乘轮渡，他们需要以更快的方式渡河。于是在1879年，工程师弗朗西斯·福克斯带领700名工作人员开始在河口下面钻一条隧道。他们想办法炸开一个大洞，顶上只有几英尺厚的岩石，再上去就是默西河口了。这项工程的总工程师是弗朗西斯·福克斯，他每晚在夜班结束之前都下去一趟，查看一切是否正常，工人有没有敷衍了事。工人们整天都胆战心惊的，担心在默西河下的爆破终将会酿成灾难，因为河口底下的岩石到处都是断层，他们担心炸药产生的震波可能使这些断层破裂，使默西河水倾斜到他们的头上。

弗朗西斯·福克斯必须保持工程进度，同时又要保护工作人员的安全，于是他创新引进了钻开隧道的机器。机器的正前方是一个巨大的旋转臂，上面装有锋利的铁齿。铁齿切入岩石层，将其分割成多个碎块，当机器向前推进时，碎石就会掉到一条输送带上，然后用叉车把它们送出隧道。为了把钻头向前移动，采用液压式起重机把机器的上半部抬高地面，接着机架继续向前滑行，之后整个过程会再进行一次。这台镗床的确为挖掘默西河隧道发挥了重要作用，一周最多可挖60米。

1886年2月1日，默西河隧道正式通车，大约36000人穿过隧道，如今隧道已是横渡默西河最便捷的方式了。

1.6.4 辛普朗隧道的创新：连通两条隧道用巨型风扇通风

随着隧道越来越长，一个新问题出现了，为了挖掘贯穿瑞士阿尔卑斯山19千米长的辛普朗隧道，必须设法把新鲜空气送到大山深处，以免工作人员窒息。

19世纪是铁路时代，像东方快车这种代表性的火车，不到三天就把乘客从巴黎送到了伊斯坦布尔。国际旅行方兴未艾，只是缺少一条连接北欧至意大利的快速交通干线，因为途中有一个巨大的阻碍，那就是阿尔卑斯山，火车必须要克服险恶陡峭、曲折蜿蜒的地形才能翻过阿尔卑斯山脉。为了避免走陡峭的爬坡山路，工程人员决定开凿一条通道，直接贯穿至阿尔卑斯山，这就意味着要修建一条世界上最长的隧道。

负责这项庞大工程的是一位来自汉堡的工程师勃兰特，他知道在阿尔卑斯山下开凿隧道一个最大的致命因素就是通风不良。他想出一个简单而极具想象力的创新办法来解决通

风问题，即修建两条较小的隧道，在一个入口处安装风力极强的风扇，在山里 200 米深处的地方，用一条横坑将两条隧道连在一起。山上的新鲜空气形成了一股强风推进其中的一条隧道，把空气从另一条隧道推出去。每隔 200 米就建一条横坑来连接隧道。当挖掘工人慢慢地深入阿尔卑斯山时，就会把身后的横坑封起来，把新鲜空气重新引入，工作人员就可以呼吸得更顺畅了。勃兰特的创新双隧道系统毫无疑问是工作人员的救星。

1905 年辛普朗隧道竣工，成为当时世界上最长的火车隧道，抵达威尼斯的路程缩短了 12 小时，事实证明勃兰特的创新通风办法非常实用。

1.6.5 英吉利海峡隧道的创新：利用激光来引导隧道镗床

自工业革命以来工程师们一直梦想通过一条海底大隧道来连接英法两国。随着隧道越来越长，又出现了新的问题。要修建一条连接英法的、长约 50 千米的隧道，英吉利海峡两岸的工程师在精确度上必须更上一层楼，才能确保双方在中间能顺利汇合。有一个地方最能激发隧道修建者的想象力了，那就是长 34 千米、将英国和欧洲大陆分割开来的英吉利海峡。

1987 年，这个梦想终于成真了。英吉利海峡隧道正式动工，长 50 多千米，位于海床下 120 米的隧道，是 20 世纪工程学面临的最艰巨的挑战。隧道开凿者为了修建隧道，必须找到理想的地质环境。灰泥质白垩岩是一种延展性强却很坚固的石灰岩，同时它的防水性也很好。地质学家在海峡底下发现了一层这种梦幻般的材质，结实而且成块。但白垩岩也给工程师们出了个难题，横越英吉利海峡最简单的办法，就是从两端开始沿直线挖掘隧道，让两条隧道在中间汇合。但隧道必须要在白垩岩层内，而白垩岩是可能上下弯曲的，因此英吉利海峡隧道不可能是直的，必须经常变换路线。所以沿着白垩岩，要确保两条隧道能在中心点顺利汇合，是个很大的挑战。

在地面上很容易勘察出一条精确的路线，而在地下勘察路线则极为困难。隧道的主要问题是看不出自己的方向，因此勘察人员承担了艰巨的任务，要一路沿着灰泥质白垩岩前进。一条 50 千米长的隧道，稍有不慎会导致很严重的后果，所以勘察人员必须设法避免隧道脱轨。

首先工程师请地质学家把探测器放在海床之下，用以测试白垩岩层的深度。接着工程师画出一条贯穿白垩层中央的路线，把方位输入一台激光器里，把光束打在隧道镗床前进的方向。勘察人员如果要改变路线就要重新定位辐射器，指向新的方向。沿着这条光的路径，隧道两头应该能在中间汇合。创新采用的激光引导的隧道镗床，让英吉利海峡隧道的挖掘人员能够精确地协调工作人员。

当隧道两边于1990年12月1日汇合时，差距不到2厘米，这是自冰河时期以来，英国第一次可以经由陆路前往欧洲大陆。

1.6.6 六大创新荟萃：哥达基线隧道

由于穿过阿尔卑斯山的公路只有4条，日益增多的交通流量使得它们全部都拥堵。瑞士政府决定改变这个现状，办法就是修建一条隧道，来解决中欧地区最严重的交通问题，将瑞士第一大城市苏黎世和意大利北部的米兰连接起来。但要让它成为现实，要克服一个极大的困难，那就是必须要穿越2000多千米高的哥达山口。2017年隧道建成后，乘坐高速铁路列车通过这段200千米的路程会比乘飞机还要快。

瑞士人对做到这一点充满信心，因为他们有着多年来隧道挖掘的经验。13年来，工作人员和机器设备都在日夜无休地打造他们的作品——哥达基线隧道。

创新一：压力喷浆快速强化隧道外壁

哥达基线隧道仍沿用布鲁内尔的高明想法，原来在外面工作的施工队也会马上强化隧道外壁，只是要喷一种能快速硬化的创新制成的特殊混凝土来代替砖块，它叫作压力喷浆。压力喷浆沿着隧道四周形成一个笔直的管道，防止隧道塌方压在工人身上，这是布鲁内尔机械船蛆的终极化身。但施工队开凿的地质层有时很糟糕，质地非常松软，仅靠压力喷浆无法完成任务。这种岩石会封闭隧道并向下挤压，往下挤压的松软岩石很容易导致隧道塌方，因此必须采用钢拱架。而且为了能承受住大山的重力，这些钢拱必须要经过专门的创新设计，如果还是采用长钢梁制成的钢拱可能无法承受这座山的重力。于是工程师采用许多小段组成的拱，每一段和两侧相互重叠，用钳夹固定，但拱段仍然可以来回滑动。当大山向下挤压钢拱时，拱段之间的摩擦力就会越来越大，直到它们最后紧紧扣在一起。待大山下压的趋势停止，就用压力喷浆加固钢拱。负责哥达基线隧道的工程师们吸取了经验教训，防止隧道塌方的关键并不是与大山形成对抗力，而是与其形成合力。

创新二：巨无霸机器来操控实现精确爆破

修建哥达基线隧道时，炸药的威力和安全性都超过了以前所用的火药弹。自布鲁内尔时代以来，钻井和爆破的方法并未改变，工作人员必须把炸药准确地放在指定位置，否则隧道最后会变形。钻井和爆破的方法可谓是一门艺术，因为岩石不是一种统一的材质，有各种不同的裂缝等，工程师得设法炸出一个大小精准的洞，或是大小差不多的洞，如果把炸药放错了地方，最后会炸出许多大块岩石，就不是一个好的结果，因为得把洞填满，这

会耗费更多材料，或是炸的洞不够大，最后只好再炸一次。但哥达基线隧道的修建者不会出错，因为他们创新使用了一台神奇的机器——巨无霸用来钻洞放炸药，这个巨无霸有三根计算机控制的激光导引钻臂，把隧道精准的尺寸和方位输入计算机，两分钟就能钻出一个四米深的洞，误差只有几厘米。巨无霸创作出了钻孔的完美模式，保证爆破工人引爆炸药时，一定能命中目标。

创新三：装有切割转盘的隧道挖掘机

在哥达基线隧道面向乘客首次通行之前，修建者必须挖出 2000 多万吨的岩石。为了完成这项艰巨的任务，工程师们创新地为隧道镗床做了升级。他们用的镗床有 420 米长，还有个宽近 10 米的切割转盘。这个金属怪物（图 1.6.1），每天能前进 40 米，正前方的切割刀片从隧道表面刮下岩石。钻头边缘的铲斗舀起废渣，放到输送带



图 1.6.1 哥达基线隧道挖掘机

带上，运出隧道后再进行回收利用。切割转盘后面的机械臂把保护的钢网螺栓咬合在隧道壁上，机器人用压力喷浆机把钢管固定好。液压式底脚把机器向前推动，跟上前面的切割转盘。接着工人们就会铺上铺设火车轨道所用的混凝土垫层，在这条生产线的末端就是成品了。隧道镗床是钻掘隧道最后一步用的机器，即使是除去地球上最坚硬的岩石也能用到它。钻花岗岩是一场消耗战，但哥达基线隧道的镗床捷报频传，如果没有这台机器，要用 30 年才能打通这条隧道。

创新四：用冷水通过冷却器降温

哥达基线隧道的工程师仍采用勃兰特的办法，也用两条隧道横坑连接，让工人们能呼吸到新鲜空气。不过哥达基线隧道的工程师还有一个问题需要解决，从地心冒出的热气不停地烘烤隧道，头顶上的巨大岩石使热气回旋在山里，隧道里的温度可高达 45 摄氏度。工作人员要来到隧道施工地需要 2 小时，里面温度越来越高，就像坐在火炉一样，所以如何让工人保持凉爽，是哥达基线隧道工程的首要任务。最初安装了 30 台巨大的冷冻机来制造冷空气，给工人们降温。然而冷冻机的发动机在运转过程中发热可能会抵消冷却效果，于是瑞士人创新采用一种自然资源——水来解决问题。他们用多达 1000 立方米的水，把冷水输入隧道，通过冷却器，然后送出隧道，再重新冷却。隧道的施工作业在冷却上就耗费一半的能量。最后瑞士工程师修建了一个巨大的冷却管线网，它可以通到隧道的每个角

落。管线让冷水通过冷却器，冷水将吸收来的多余热能送出隧道，这就是最初的冷气机，没有它哥达基线隧道就无法建成。

创新五：创新方法取出被困的镗床

修建哥达基线隧道时，工程师们每天都为精确度大伤脑筋。为了避开地质断层线，隧道必须蜿蜒前进。在凿开松软多变的岩石时，隧道镗床经常会偏离预定路线。隧道镗床的驾驶员必须架设钢拱，因为这座山不断压下来，哥达基线隧道深处潜藏的意外危险，就连钢拱也应对不了。2005年6月，一台镗床开进一条隐藏在岩石间的断层线时，困在重达数吨的碎石下。为了挽救昂贵的机器，修建者计划从隔壁的隧道炸开一条交通竖井，从后面解决断层线的问题。但他们担心交通竖井的顶部可能会不牢固，甚至坍塌。于是他们直接从侧面凿开第二条隧道，从这里把混凝土注入分崩离析的岩石深处，凝固后形成一个实心砌块，阻止岩石向下塌陷，才终于可以安全地把落下的碎石炸开，拿出隧道镗床。

创新六：修建两座紧急火车站

现在修隧道几乎是想要多长就有多长，不过要达到隧道工程发展的最后阶段，还得克服最后一个问题，那就是隧道越长，发生事故时人们逃生的难度也就越大。所以瑞士工程师在设计让哥达基线隧道穿越高山时，必须同时确保发生事故时能把人救出来。2001年，不幸发生了。就在哥达基线隧道工地前方不远处，两辆卡车在哥达基线隧道相撞，随后爆炸。隧道里的气温高达上千摄氏度，瞬间成了一个大熔炉。大火持续了近24个小时，11人不幸遇难。哥达基线隧道的修建者明白，必须驱散人们对隧道的恐惧，保证这条世界最长隧道的绝对安全。在这样一条隧道里，等待救援是没有用的，即使等到救援人员赶来，可能也为时已晚。因此一旦发生紧急状况，受困乘客必须依靠内部救援。哥达基线隧道的工程师在大山深处创新设计建了两座紧急火车站，车站有两个救援站台，由一条防火逃生隧道连接。如果一列火车发生火灾，驾驶员就可以在最近的车站停车，打开防火门，以便让乘客进入逃生隧道。火灾时还必须防止浓烟窜入乘客的逃生路线，创新解决方案就是在隧道上方800米处，通过风扇的强风吸入阿尔卑斯山的新鲜空气，再向下释放到逃生隧道里，强风把浓烟驱散到隧道里，远离逃生的乘客。乘客随即跨越到另一边的站台，和火灾现场维持一段距离，以保证安全。

1.7

运输机的创新奇迹

安托诺夫设计局一直以来都是重型运输机的摇篮，安托诺夫 124 运输机，绰号“鲁斯兰”重型运输机就是一个代表作，其最大起飞质量为 400 吨，可载质量 229 吨。安托诺夫 124 是 20 世纪 70 年代为了满足苏联空军对超重型运输机的需求而研发的，主要用于运输坦克、导弹、桥梁等大型军用设备。

1972 年苏联通过了安托诺夫 124 项目研制决议，责令位于基辅的安托诺夫设计局启动研制工作。它的特点是采用了一系列在苏联这个级别的飞机上从来没有用过的尖端技术，包括为提高其性能而采用了超临界机翼、电传操纵飞行控制系统；为减轻重量而采用制造大尺寸机体结构部件的先进加工方法和材料；此外，该机采用了全新的发动机——伊夫琴科前进设计局的 D-18T 涡扇发动机，这是苏联第一次设计和制造这种类型的发动机。

安托诺夫 124 运输机身躯庞大，却能无视重力限制，加速飞上天空。它容量很大，可以将坦克、火车甚至另一架飞机运至全球任意角落。它是翱翔于浩瀚蓝天的最大运输机，也是航空工程的顶尖作品。这架硕大飞行器的诞生，应归功于近百年来航空技术的创新纪录，六款在飞机设计史上具有重大意义的卓越飞机，每一款所蕴藏的核心巧夺天工的技术飞跃和突破，使得运输机越造越大，世界之最——安托诺夫 124 运输机终于横空出世。

1.7.1 俄罗斯穆罗梅茨号的创新：增加引擎及尾部方向舵

回顾历史，我们得以了解安托诺夫 124 运输机为何可以建得这么大。为了提高货物运载能力，早期飞机的动力必须加强。设计师解决了这个问题，造出了这架具有突破意义，起飞质量为 5 吨的穆罗梅茨号。

第一次世界大战期间，人类首度在空中与地面同时作战。战争前期，俄国飞行员伊戈尔·西科斯基就预料到，可以载运炸弹的大型飞机一定能在新成立的俄国空军那里找到市场。但当时世界首架具备动力的飞机也不过在 10 年前刚问世。这些早期飞行器只能勉强承担一位飞行员的重量，根本不可能再装载炸弹。为了向俄国空军提供第一架真正的轰炸机，西科斯基需要造出推进力更大的飞机。

但即使是当时最大的飞机引擎也不能满足这种要求，所以西科斯基只能找寻别的创新途径。他需要更大的升力，升力要大，动力就必须加强。所以他采取了一个很大胆的创新做法，增加引擎的数目，不是只增加两具，而是在机翼上加装四具引擎。这在现在看来不足为奇，但在当时，在飞机上装设四具引擎可是前无古人的壮举，是非常了不起的主意。

西科斯基打算把四具引擎装在机身两边，但是早期飞机的引擎性能实在太不可靠，如果装在同一边的两具引擎同时发生故障，剩下的引擎会让飞机不停打转从而失控。西科斯基敏锐地认识到引擎的位置越靠近机翼外侧，两具引擎发生故障时让飞机转圈的力量就越大，所以他就尽量把引擎装在最靠近机身的位置，这样就算同一侧的两具引擎都发生故障，剩余引擎的转向力量也仍然在驾驶员的可控范围之内，飞机仍然能继续飞行。但是西科斯基还是无法确定这是否能保证飞机不会失去控制而发生不停地转动。所以他又做了最后一项创新改变，在穆罗梅茨号尾部加上一个巨大的方向舵，并在舵上多加两个叶片。飞行员凭借脚踏板来操控叶片的角度，从而改变飞机的行进方向。所以就算有两具引擎同时发生故障，飞行员也能抵消掉不平衡的推力，将飞机导正使之回到原来的轨道。

1915年3月10日，俄军指挥官在穆罗梅茨号上装了45颗炸弹，在这次大胆的空袭行动中，飞行员将这些炸弹全部投到了德国的火车站上，目标被完全摧毁，穆罗梅茨号的成功设计使得战争中炸弹时代自此揭开序幕。

1.7.2 容克斯 G-38 号的创新：厚单翼型机翼

如果想载送大量的信件和包裹，设计师就要为起飞质量达20多吨的容克斯 G-38 号飞机装上创新型的机翼。20世纪20年代，欧洲开始空运递送邮件，航空邮件自此诞生。

德国飞机设计师雨果·容克斯打算造出一架崭新的大型飞机，来应付柏林与伦敦间日益增多的邮件载运需求。但要造出这样大的飞机是一项艰巨的考验。

像穆罗梅茨号这样的早期飞机是双翼飞机，为了构成较坚固的结构，两片机翼是连接在一起的，因为当时工程师的能力无法造出足以承担飞机整体质量的单片机。当时的机翼设计相当粗糙，木头支架基本上只能为整架飞机提供一定程度的支撑力，而且两片机翼必须连在一起，上方的机翼会产生达到足以让飞机飞离地面的升力，所以钢缆在飞行中是完全绷紧、硬邦邦的状态。这些保证双翼飞机足够坚固的结构，一旦升入天空，就会给飞机带来其他问题。这些连接双翼飞机机翼的支柱和钢缆整体表面积出乎意料得庞大，这为飞机在空中飞行带来了很大的阻力。为了载送更多的货物，机翼必须扩大，这需要更多的支柱和钢缆，产生的阻力也会变大。多余的阻力，让大型双翼飞机很难承受笨重的货物。

雨果·容克斯凭直觉认为厚度足够的单翼应该可以产生大于双翼的升力及较小的阻力。于是他开始证明他的猜测。当时容克斯已经能通过风洞实验证明较厚的单翼效果优于较小的双翼。容克斯创新地将双翼合并为一体，把所有必要的支撑结构藏入内部。容克斯在厚厚的单翼上包覆上铝皮。虽然机翼超过两米，但流线型的机翼在划过空气时，会产生很小的阻力，同时带来巨大的升力。这些特点使这架飞机载运6吨邮件的需求得到了满足。容

克斯这架被命名为 G-38 号的飞机在 1929 年首度启航升空，它的机翼厚到可以在内部加装乘客座椅，在前方加装窗户。

容克斯是非常有远见的人，许多想法都走在时代的前端，他利用厚机翼搭载乘客和货物的概念，也是如今最优秀的设计师正在钻研的构想。

1.7.3 波音飞剪号的创新：把飞机按照船来设计

为了说服想横越大西洋的乘客搭乘起飞质量达 38 吨的波音飞剪号，工程师必须确保这架飞机的安全。20 世纪 30 年代的美国，航空业已经变成了一项热门生意，商用飞机同时搭载乘客和邮件，创造了丰厚的利润。但是商用飞机一直无法攻克一条最重要的航线，那就是横越大西洋，连接美国与欧洲的航线。

泛美航空下决心要经营第一个横跨大西洋的航班，其中的困难并不仅是需要造出飞跃如此远距离的飞机，最主要的问题是，那时的航行并不像如今这么安全。以今天的标准而言，那时引擎的安全性简直难以让人认同。所以如果能让这条航线取得成功，就必须让大众相信，这趟旅程不但是种享受，而且就算发生了一些合理范围内的小差错，乘客也会安全无忧。

1936 年，泛美航空发函给美国所有的飞机制造商，向他们提出一项挑战，泛美将为符合以下严格规定的飞机设计者颁发奖金：这架飞机要能载运 4.5 吨货物和 70 名旅客；并能在风速达到每小时 50 千米时以 240 千米的时速逆风飞行；它的航程必须达到横越大西洋所需的 3100 千米，这样中途就不必停下；为了不让乘客因全程飞行于海洋上空而深感恐惧，它必须是全天下最安全的飞机。这些要求如此高端，以至于有些公司根本无法交出设计图。

但是波音公司的工程师却凭借非传统的创新做法达到了泛美航空的要求。他们把飞机当成一艘船来设计，把客舱变成了最时髦奢华的场所。里面不但设置了空调，还有分开的吧台。在甲板之下，设计师在两层基底外壳之间设置了 11 个水密舱。这样就算外层机壳出现裂缝，水也不会穿透内层机壳，从而使“船”沉没。他们甚至为这架飞机配置了锚和救生艇，当然他们也帮它装了机翼，所以这艘“船”无论是在空中还是在水上，都能愉快地胜任。20 世纪 40 年代，波音飞剪号水上飞机（图 1.7.1）是国际航线的热门选择，同时也是那个商用飞行黄金时代最奢



图 1.7.1 波音飞剪号水上飞机

华的空中旅行选择之一，它的翼展为 46 米，长度为 32 米，总质量将近 40 吨，最大航程可以达到 5000 千米。

1.7.4 梅塞施密特巨人号的创新：减震防弹起降轮

飞剪号虽然能安全地航越最广阔的海洋，但是起降都得在水面上进行，所以工程师在建造起飞质量达 43 吨的梅塞施密特巨人号时，尤其注重解决它在陆地上降落的问题。

1941 年德国在非洲沙漠和冷飕飕的苏联大草原两条阵线上同时展开作战，他们迫切地需要一架大型的运输机，用来为前线部队载送重型装备。德国空军最大的飞机是 ME321 巨型货运滑翔机。起飞时 ME321 需要先架设在可脱离的台车上，靠三架战斗机拖曳到跑道上，但这样的动力仍不足以让它起飞离地。为了制造更大的推力，工程师还为机身装上了活动火箭。这架飞机如此重，以至于在着陆时不得不用两对滑橇代替机轮，让飞机质量分散在较大的触地面积上。但这架滑翔机有一项致命的缺点，只要一着地，没有台车和其他飞机的牵引，ME321 就如龙困浅滩一般动弹不得。一架 ME321 在侵略行动中预计执行一次单程任务。每名飞行员都配备了爆破装置，用于着陆后摧毁飞机，因为滑翔机根本不可能胜任多次载货飞行的任务。

如果能把这种滑翔机改装成使用的运输机，工程师不仅要为它配上引擎，还要把滑橇换成耐久的起降轮。但是这么重的飞机，肯定需要特别的悬吊系统。而一般的弹簧能吸收撞击的能量，然后在反弹时将能量释放出来。而飞机最怕的就是在撞到地面后，像弹簧高跷一样再弹回空中。德国设计师从意想不到的地方——火车前端的减震器那里获得了解决问题的创新方案。减震器在受到撞击后，火车并不会反弹，而是会逐渐停下来，撞击的能量会被一个称为摩擦弹簧的特殊装置吸收。此装置由一系列边缘带有较多金属环的弹簧所构成，这些金属环会相互摩擦挤压，从而产生摩擦力，让瞬间碰撞的能量转化为热能，毫无损害地消散于空气中。

1.7.5 C5 银河号的创新：原机身上方加装第二个密封机身

工程师在设计起飞质量达 349 吨的 C5 银河号时有另一个不寻常的挑战要面对，他们必须找到在空中卸货的好方法。

20 世纪 60 年代初期，美军需要大型飞机将大量军方装备运送到远方。除了要载运沉重的货物，这种飞机还要能在敌军环绕的地区进行卸货，也就是说要能空投货物。但是在飞行途中打开大大的货舱门，本身就是一件很危险的事。为了解决这个问题，工程师需要

强化机体，他们创新采用在原有机身上方加第二个密封机身的办法，使之成为整架飞机的坚固骨干。这样下方机身的舱门，即使在飞行途中开启也没有关系。

1989年6月7日，C5银河号飞机从北卡罗来纳州布拉格堡起飞，以测试飞机空投物资的最大能力。它的后货舱门打开后，四辆谢里登坦克以及73名作战部队士兵靠降落伞安全降落到地面。这次空投在当时为史上规模最大的一次。C5银河号取得了巨大的成功，它不仅性能极佳，载货量巨大，续航距离超远，而且也一直不曾退役。

C5银河号运输机采用悬臂上单翼，后来C5A机翼大量出现裂纹，所以C5B采用新的高强度耐腐蚀铝合金。C5银河号运输机的动力系统采用4台通用电气公司的涡扇发动机，单台最大推力为191.2千牛，每台发动机长度约8.2米、重3555千克，4台发电机的发电可供应5万人口城市的用电需要。该发动机还可以提供逆推力，增加飞机在空中的降落率，减少在地面的滑行距离。C5银河号运输机货舱长36米、高4米、宽6米，为头尾直通型，飞机上有货物空投和伞兵空降设备，机舱分上下两层，具有很高的运输灵活性。现阶段有项正在实施的计划就是以更新它的整体系统为目的，好让它今后还能继续服务多年。

1.7.6 五大创新荟萃：安托诺夫 124

创新一：涡轮风扇引擎

安托诺夫 124 运输机（图 1.7.2）的起飞质量是西科斯基设计的穆罗梅茨号的 80 倍。苏联工程师奥列格·安托诺夫 1976 年设计的这款飞机是用来为苏联空军载送坦克车及军方补给。因为想让西方各国的飞机相形见绌，对苏联而言，安托诺夫 124 运输机的庞大尺寸正象征着他们认为拥有的优势。想让这架庞然大物满载货物升空离地必须为其提供巨大的动力。这一项重



图 1.7.2 安托诺夫 124 运输机

任只有一种引擎可以担负，这种能让全副武装的战斗机助跑 300 米即可起飞的引擎就是喷射引擎。为了产生大量动力，喷射引擎需要燃烧大量燃料。安托诺夫 124 运输机需要长途飞行，而且中途不加油，所以它的引擎不仅要有力，还要相当有效率。它不是一般的喷射引擎，引擎前面有个大风扇，后面有个较小的风扇，叫涡轮风扇引擎。涡轮风扇引擎内部有一具普通的用于产生推力的喷射引擎。喷射引擎向后喷射的热空气，会让小风扇转动。

小风扇带动滚轴引擎，前端的大风扇相应地也会开始转动。前端的大风扇有螺旋桨的功能，转动时能吸入空气，增加额外的推动，所以涡轮风扇引擎其实是螺旋桨和喷射引擎的合体，既能比传统喷射引擎省油，又能产生惊人的动力。安托诺夫 124 运输机在起飞过程中产生的推力比 10 架战斗机都要大，就算载了一列车厢，安托诺夫 124 运输机的涡轮风扇引擎仍能发挥惊人效率，使整架飞机从德国飞往印度德里时，中途不必加油，也能完成全程。

创新二：利用计算机来操控金属的均匀冷却

安托诺夫 124 运输机机翼超过了 70 米长，就算 8 辆双层巴士头尾相连地停放在上面也绰绰有余。要造出如此巨大、坚固到足以支撑飞机满载货物后的重量的机翼，是一项艰巨的工程挑战，因为机翼是铝制的。金属工锻造铝条时必须确保整体冷却均匀，否则内部的压力会让铝的强度减弱。但是这么长的铝条很难保证各处的冷却速率相等。在安托诺夫 124 运输机建成以前，金属制造商只能生产较短的铝制大梁，然后再用螺栓把大梁固定到一起，给机翼提供支撑。这意味着会产生多处接合点，每一处接合点就是一个弱点。安托诺夫 124 运输机的机翼不能靠一段段短机件连接而成，所以苏联工程师建造了一座铝工厂，有史以来第一次创新采用计算机来操控金属的冷却过程。这座工厂可生产长达 8 米的巨型铝质长梁，而且保证这些长梁冷却均匀、强度足够，这样工程师只需要连接 4 根长梁就能达到安托诺夫 124 运输机的机翼长度，机翼的坚固程度足以承担最大的载重。

创新三：特殊的起落架

由于装载了一列地铁车厢，安托诺夫 124 运输机在降落时绝不能出现一点儿颠簸震荡，如此平缓地着陆，全靠创新特殊设计的起落架才能实现。起落架由 24 个轮子做成，轮子上方的活塞称为支撑杆，能吸收巨大的冲击力，在这些支撑杆上的压力极为庞大。这架飞机着陆时的质量可达 330 吨。这 330 吨的质量一开始都是由主起落架上的 10 个支撑杆来承担的，这相当于每个支撑杆上都放置了 33 辆 1 吨的汽车。每一具活塞都会与机上的一个轮子连接，活塞里有一层空气、一层油，还有一块儿中间带小孔的金属隔板。飞机着陆时，活塞将油从小孔推出，使空气压缩后如弹簧一般吸收掉着陆带来的冲击力。等飞机完成着陆，被压缩的空气又会发生膨胀，把活塞推回去，迫使油穿越小孔流回，这样活塞的动作就会减慢，不至于快速回弹。这套装置可以保证就算经历再猛烈的着陆，安托诺夫 124 运输机载运的货物也不会摇晃震荡。

创新四：跪姿卸货

和C5银河号一样，安托诺夫124运输机也能从它的巨大后舱门空投货物。不过将列车这种长型货物从这么大的飞机上卸下也绝对不是一件易事。这架苏联设计的飞机原本就是用来载运坦克、超重型装甲运兵车等超重型车辆的。安托诺夫124运输机的设计师必须找出方法，降低货仓的地板高度，使长的车辆能够轻松进入舱内。结果他们居然采用了一个异想天开的创新方式，让安托诺夫124运输机跪下来。首先，两只绰号叫“象脚”的可以延伸的腿会往下伸出。接着前方的起落架会开始折叠起来，这样的跪姿能使货舱地板降到足以让长的车辆经斜坡卸下的高度。如果安托诺夫124运输机不具备下跪的能力，地铁车厢几乎不可能从机上卸下。尽管如此，卸货过程还得小心进行。行动的精准是最重要的，稍有疏忽就可能招致大祸。技术人员让列车从坡道缓慢下滑，沿着特别铺设的列车轨道前进，靠两个绞盘防止列车滑走，整个过程耗时长达7小时。把列车装上飞机，从德国运到印度德里，只需10个小时，这是安托诺夫124运输机又一项了不起的功绩。

创新五：巨型货物空运

为了运输巨大的苏联暴风雪号航天飞机，设计师必须为起飞质量达392吨的安托诺夫124运输机稍作修改，让它变得更大，发射升空。苏联唯一有能力生产暴风雪号航天飞机的高科技工厂在莫斯科，但发射地点位于哈萨克斯坦的偏远沙漠地带。所以，工程师必须想办法把航天飞机运到2000千米之外。运这么大的飞行器不可能靠陆运，因为实在太庞大了，不可能带着它通过桥下，也不可能开到较小的路上，而且还得开得非常慢，这样太花时间。于是只剩下一种选择，空运航天飞机。但就算采用史上最大的运输机，这也仍非易事。这架航天飞机无法装进安托诺夫124运输机中，工程师可以把机身扩大，但是尺寸需要扩大到20米宽、17米高，机身这么大，飞机会重到根本无法起飞。也可以像拖滑翔机一样拖曳航天飞机，但航天飞机并不适合拖曳，于是他们决定把暴风雪号装载到安托诺夫124运输机的顶上。但即使是史上最大的运输机也没有达到能将航天飞机背在背上的程度。

安托诺夫公司的工程师将飞机机身扩展了7米，又在机翼的底端用螺栓组接上了两段新加的机翼组件以制造空间，加装两具引擎，最后设计师又加了8个轮子来承担多出来的重量，史上最大的运输机变得更大了。但是如果不在飞机的方向舵上做最后一项变更，它还是无法载运暴风雪号航天飞机。飞机顶上载运着大型物体，方向舵仍然在转，但却并没有什么效果，显然这是个问题。因为机身上方负载的航天飞机会阻碍气流通过，使机身后方产生乱流，气流会从各种不同方向推击方向舵，使其无法操控方向。为此安托诺夫124

运输机的设计师创新地将方向舵一分为二，将两个方向舵都设置在机翼没有乱流的地方，也就是航天飞机的两侧。两侧的气流畅通无阻，方向舵也能有效地操控飞机航向，史上最大的飞机可以直线飞行了。

1989年5月3日，苏联工程师将暴风雪号航天飞机驾到了新改良的安托诺夫124运输机顶上（图1.7.3）。这架世所罕见的最大飞机背上载着60吨重的航天飞机呼啸着飞上了蓝天，它在空中飞行的情景壮观无比。它有六具引擎，还有巨大的机尾结构，这么大的飞机飞起来却如此惊人得优雅，真是空中的一大绝妙美景。



图 1.7.3 载运暴风雪号航天飞机的安托诺夫 124 运输机

时至今日，安托诺夫124运输机仍然称得上是货真价实的运输机之王。

1.8

电视塔的创新奇迹

广州塔又称广州新电视塔，昵称“小蛮腰”，位于中国广东省广州市海珠区赤岗塔附近。塔身主体高454米，天线桅杆高146米，总高度600米，总建筑面积114054平方米，是中国第一高塔。广州塔于2005年11月动工兴建，2009年9月竣工，2010年9月30日正式对外开放。广州塔是广州市的地标工程，塔身采用特一级的抗震设计，可抵御8级地震、12级台风，设计使用年限超过100年。广州塔塔身处设有蜘蛛侠栈道，是世界最高、最长的空中漫步云梯；设有旋转餐厅，是世界最高的旋转餐厅；设有摩天轮，是世界最高摩天轮；设有极速云霄速降游乐项目，是世界最高的垂直速降游乐项目。

广州塔由钢筋混凝土内核心筒和钢结构外框筒以及连接两者之间的组合楼层组成。钢结构网格外框筒由24根钢管混凝土斜柱和46组环梁、钢管斜撑组成。外框筒用钢量达4万多吨，总用钢量约6万吨。

广州塔的创新技术设计特色有：

(1) 三维空间测量技术。广州塔由于体型特殊，结构超高，测量精度要求高。为满足钢结构安装定位需要，确定了以GPS定位系统进行测量基准网的测设，进行构件空中三维坐标定位。空间测量基准网由5个空间点和1个地面点组成。

(2) 综合安全防护隔离技术。广州塔钢结构安装为超高空作业，由于楼层的不连续，必须进行超高空悬空作业。高空坠物带来的伤害风险也随着高度增加。制定了以垂直爬梯、水平通道、临边围栏、操作平台和防坠隔离设施组成的安全操作系统。

(3) 异型钢结构预变形技术。由于广州塔具有偏、扭的结构特征，因此结构在施工过程中，不仅会产生压缩变形、不均匀沉降，也会发生较大的水平变形，因此必须进行预变形控制。否则，即使初始安装位置精确，但在后续荷载的作用下，也会发生较大的累积变形，使得节点偏离原设计位置。所以广州塔制定了以阶段调整、逐环复位为特点的预变形方案，进行钢结构在恒载作业下的变形补偿。

广州塔，一个钢铁与混凝土浇筑的巨人，有着模特般纤细细腰，它是高达 600 多米的全球最高的电视塔，是一个建筑奇迹，也表明了中国正日益成为工业强国。这座东方奇观的拔地而起，得益于国际上一系列著名高塔的 4 项巧夺天工的重大技术创新发明。

1.8.1 华盛顿纪念碑塔的创新：挖隧道用混凝土加固扶正倾斜塔身

19 世纪的美国华盛顿市急需建造一座宏伟的纪念碑，来纪念一位开国元勋。人们计划兴建一座巨大的石塔，设计成为当时全球最高的建筑。

1836 年的华盛顿经历着快速发展，市民们计划在首都市中心修建一座纪念碑，以纪念美国第一任总统乔治·华盛顿。他们打算从美国各地运来石材，建造一座细长的针状石塔。这座石塔不仅要高过欧洲所有大教堂和埃及的金字塔，也将成为当时史上最高的建筑。这项宏大的工程完全依靠捐款，募捐者希望立即动工。工程师想赶快把塔基建好，然后就能在上面建造塔身，好让美国民众看到他们的捐款用在哪里。

5 年后，塔基上的纪念碑盖了 50 米，到 1861 年美国陷入南北战争，近 20 年间没有再动过一块石头。很多人认为国家的面子都丢光了，只盖出这么一个矮小的石墩，当时的人都叫它“烟囱”。为了挽回国家颜面，政府找来顶尖的军事工程师托马斯·凯西。凯西到工地视察的时候发现，石塔只盖了不到三分之一，而且向一边倾斜。人们从塔底挖了一条隧道进入塔基才找到问题所在，原来它坐落在一层松软的黏土和沙土上，使得塔基极不稳定。如果继续盖下去，世界可能会迎来又一座斜塔，或者更糟，这座塔根本无法建成。塔身重达 3 万吨，因此修复塔基是一项浩大的工程。

凯西必须设法把纪念碑扶正，矫正倾斜的塔身。创新设计打算修复塔基，先挖走一边的土壤，让纪念碑恢复垂直，然后在塔基下面开挖隧道，地道通向地下坚硬的黏土层，接着用混凝土将地道填满，最后用大型扶壁连接塔身和新塔基，这样才能安全地建成纪念

碑。凯西必须小心翼翼，不能让现有的石块破裂。当工人们挖隧道，浇筑混凝土时，他则密切监视着下陷的情况，要是发现石塔往哪一边倾斜，他会在哪一边增加混凝土，以便支撑石塔。

凯西的计划顺利完成，新的塔基极为牢固，动工 36 年之后，整座华盛顿纪念碑终于竣工。但塔基曾经出现的问题，留下了抹不去的阴影。可以看到纪念碑上的颜色不同，因为施工期拖得太长，所用石材并不完全一样。在凯西的努力下，华盛顿纪念碑轰动一时。到了 1888 年，每月约有 55000 多名游客兴奋地登上当时全球最高的建筑物。

1.8.2 埃菲尔铁塔的创新：利用沙箱使铁塔不倾斜

华盛顿纪念塔证明，只要塔基足够坚固，石塔就可以盖得很高。不过随着塔越盖越高，石材的性能发挥到了极限。要想使高塔的建筑高度是华盛顿纪念碑的两倍，法国建筑师就必须采取革命性的创新施工技术。

1889 年巴黎即将举办世界博览会，用以庆祝法国大革命胜利 100 周年。为了吸引游客并展示国家的工业实力，法国政府决定广泛征集方案，在法国巴黎市战神广场上，靠近塞纳河兴建一座 300 多米高的高塔，这也是当时的世界第一高塔。一位名叫古斯塔夫·埃菲尔的建筑设计师提出了一项大胆的创新设计。多年来埃菲尔建造了许多铁桥，他认为金属是兴建高塔的最佳材料。埃菲尔梦想着把他的高塔盖得像一座垂直的铁桥。要用铆钉把数千个基础组件固定在一起，组装成四个巨型支架，然后再把这些支架互相连接，搭建起一个水平基座，进而在基座上建造一座巨大的金属尖塔。

然而埃菲尔的设计引发争执，民众觉得这座塔很丑陋，是一个金属怪物，会玷污这座美丽的城市。当时很多人喜欢另一个设计，以砖石砌成，被称为“太阳塔”。两座高塔的设计使得巴黎陷入关于石材与金属的争论之中。埃菲尔决定采取攻势，声称一座 300 多米高的石塔根本不可能建成。

100 多年后，结构工程师卡尔·布鲁克斯证实了埃菲尔的说法。布鲁克斯的团队在计算机上一砖一瓦地建造“太阳塔”，以验证这个方案是否可行。他证明了埃菲尔是对的，建造如此高的石塔并不现实，石塔重达 15 万吨，如果当初真的动工一定会以失败收场。埃菲尔在这场争论中胜出，他让评委们相信，铁仍是最佳的选择。铁塔不仅坚固，而且非常轻盈。虽然熟铁是金属，而且很重，但是如果像埃菲尔这样组合起来，整座建筑将极为轻盈。

方案通过之后，埃菲尔面临着一个巨大的挑战。他只有两年的时间，要锻造 1.8 万个铁质部件，并将它们正确地组装起来。为了确保铁塔不会倾斜，他必须精确地摆放 4 个巨

大的支架，埃菲尔利用了一个巧妙的、叫作沙箱的创新发明法。把沙子从沙箱排出，并且一定要非常小心，因为没有办法把沙子再放回去。他几乎是一粒一粒地排沙，慢慢地移动到位，一旦4根支架等高，就有了他所要的完美的基座。这种方法虽然很原始，却是埃菲尔心目当中最理想的做法。

埃菲尔用了一年多的时间建造这4座支架，很快他发现时间所剩无几。1888年3月第一阶段完工，只剩下一年来完成其余的两个阶段。在高塔上用铆钉固定几千根铁梁相当费时，但是埃菲尔早有计划。他的团队在工厂里完成了大部分铆钉装配工作，然后把完成的部件运到工地，只有三分之一的铆钉在现场组装。250万枚铆钉，1.8万个铁质部件，仅仅动用了130人来组装。埃菲尔把预制的部件从工厂运到塞纳河左岸的工地，然后用蒸汽动力绞盘和起重机把巨大的部件吊上铁塔。在铁塔最高的部分，让两架起重机背靠着背前进。随着铁塔的升高，千斤顶把起重机向上抬，慢慢地塔越建越高。竣工后，埃菲尔巧妙地把起重机轨道改成升降梯轨道。由于采用塔式起重机与合理的组装流程，铁塔得以按时完工。

1889年3月30日，铁塔正式竣工。第二天，埃菲尔带领着一群政要一口气爬上了1710节台阶，直接登顶。他们看到了前所未见的景象，从300多米的高空俯瞰巴黎。

埃菲尔铁塔（图1.8.1）初始高度312米，现高330米，铁塔总质量10100吨，其中金属框架质量7300吨。一楼高57米，面积4415平方米；二楼高115米，面积1430平方米；三楼高276米，面积250平方米。从广场到二楼有五部电梯，从二楼到顶层有两部双人电梯。铁塔设有广场、一楼、二楼、顶层、花园五个区域，每年接待游客700万人次。



图 1.8.1 埃菲尔铁塔

1.8.3 西恩塔的创新：钢筋混凝土的竖井增加强度

1889年，埃菲尔向世界证明，轻盈是打造高层建筑的关键。不过随着大楼越盖越高，工程师必须对付新的挑战——风。加拿大多伦多市决定兴建全球最高的建筑，必须让建筑物经得起风雨侵袭。

20世纪70年代，多伦多市遇到一个难题，遍布城市的摩天大楼扰乱了电视信号，因此要建造更高的天线，人们决定兴建一座当时全球最高的建筑——西恩塔。但建筑师要面对一个难缠的力量，那就是风。塔底的风不会有任何危害，但到了塔顶却会变得非常危险，风势极大，尖塔落成以后测量到的最大风速约为每小时120千米。以这种速度行进的风，

会以数千吨的力量推起高塔。

为了使西恩塔足够坚固，工程师决定创新使用钢筋混凝土。他们组装了一台巨大的混凝土铸模，有 30 层楼高。工人从顶部灌入混凝土，混凝土流入下面的模具中，在混凝土凝固的同时，液压式千斤顶把铸模往上抬，如此浇铸出完美无缺的竖井。进展顺利时，西恩塔一天之内就能升高 5 米。

但仅靠混凝土是无法抵御多伦多的强风的。尽管混凝土是一种绝佳的建筑材料，已经使用了 1000 多年，不过它有一大缺点，那就是建筑物如果遭遇侧向载荷，则很容易弯曲，弯曲会造成一边被挤压，另一边被拉长，混凝土打造的高塔被拉长的一边就会出现断裂，然后倒塌。为了使高塔更加坚固，就要用钢条把混凝土连接起来。如果把两者结合起来，钢条承受张力，混凝土承受压力。这种钢缆与混凝土的完美结合，正是增加西恩塔强度的关键创新措施。在设定好的楼层上，工人把钢缆穿过混凝土竖井，一直通向底部，再用液压式千斤顶把钢缆拉紧，固定在塔基上。西恩塔需要近 1000 千米长的钢缆，才能防止被强风吹歪。

西恩塔的混凝土核心筒在 1973 年动工，为了赶上进度，工人要在寒冬里继续作业。但是气温骤降至零下 18 摄氏度时，工程师遇到了一个难题，如果混凝土冻结，就可能导致水泥和沙砾无法黏合到一起。为了避免混凝土开裂，施工者必须设法保温，所以他们在西恩塔底部的一个车间里搅拌混凝土，把水加热到 57 摄氏度，并且把沙子加热到 55 摄氏度，以确保工作温度有利于混凝土的黏合。为了避免温热的混凝土遭遇寒风，要在核心筒内部把混凝土一桶一桶地吊上去，核心筒内部有丙烷加热器，用于给混凝土加温。

随着西恩塔越盖越高，钢缆穿过混凝土墙壁直到塔基。利用钢缆加固高塔抵挡强风，因此混凝土不会因为强风而开裂，或是被它的自身重量所压垮。为了给西恩塔封顶，施工者找了一架直升机，它精确地堆砌着塔顶的 44 个构件。

1975 年 3 月，最后一个构件装配到位，创造历史的西恩塔就此竣工。西恩塔塔高 553.33 米，共 147 层，圆盘状的观景台远看像是飞碟，现为世界上第五高的自立式建筑物。塔内装有多部高速外罩玻璃电梯，只需 58 秒就可以将游客从电视塔底层送至最高层，每年吸引超过 200 万人次参观。

1.8.4 四大创新荟萃：广州塔

广州塔（图 1.8.2）上有各种令人称奇的设施，人可以在观景平台欣赏风景，在旋转餐厅享受美食，还有塔顶的摩天轮，供敢于冒险的游客乘坐。广州塔的兴建仅耗时三年，这是一项惊人的成就。建造广州塔的主要困难之一在于它非常纤细，同时又很高。因为纤

细修长，所以必须有足够的强度，以免建筑物不够稳定。在塔顶真的能感觉到它总是在摇晃，建造这样一座高塔是建筑学上一个巨大的挑战。

创新一：混凝土浇筑的竖井和一道环形混凝土梁建造塔基

广州塔的高度和重量是华盛顿纪念碑塔的3倍以上，这个钢铁与混凝土浇筑的庞然大物需要极为坚固的塔基。同华盛顿纪念碑一样，广州塔的选址也有问题，附近有一条河距离很近，因此挖出的地基要承受很大的水压，建筑师必须分两个阶段打造地基。为了支撑混凝土芯墙，要把巨大的混凝土底座直接建在基岩上，而且为了固定高塔的外部钢结构，就必须朝地下挖得更深。工人们在混凝土芯墙周围挖了很多竖井，挖井的同时创新采用环形混凝土梁加固潮湿的土壤。竖井挖掘几米后，就用混凝土浇筑，最后在顶部架起环形混凝土，彼此连接竖井。每一根钢柱都有一根桩向下深入基岩，大约有20~40米深，直径有4~5米。工作过程中基本上是徒手挖掘，偶尔使用钻机和铲车，建广州塔30米深的塔基用了整整一年。



图 1.8.2 广州塔

创新二：把钢环梁集中在最纤细的地方支撑强度

与100多年前的埃菲尔一样，广州塔的设计师也想打造一座与众不同的建筑。传统的电视塔就像是一根带有圆形观景台的长针，工程师马克·海默尔的想法则完全不同。大多数瞭望塔像甜甜圈，如果想有一些创新，就必须想办法改变这种布局。他的设计理念很简单，就是两个圆形或者是椭圆形，用钢柱连接起来。下一步就是把两个圆形反向旋转，顿时就会意外地出现纤细细腰的效果。把这一大胆的设计化为现实，对工程师来说是一项巨大的挑战。为了达到效果，必须同时利用混凝土和钢材的强度，并在高塔中间建造一座混凝土空心圆柱来容纳电梯和楼梯。这里会分成5个空间，作为观景走廊和设备的楼层。为了固定中心的混凝土圆柱，工程师用钢柱保护，以产生他们想要的效果。但纤细的腰身有一个缺点，它可能会在这里变形。工程师担心如此独特的高塔，其建造难度会非常大。起初工程师很怀疑这个设计，因为它是先收紧再变宽，看起来非常不符合逻辑。纤细细腰是建筑设计师的梦想，却是工程师的噩梦。

不过马克很有信心，因为他之前见过这种设计。在设计这一作品的过程中，他深受自然界的影——人类骨骼的结构，它和高塔的功能非常类似。人的大腿骨就像广州塔，两

端宽阔，中间狭窄。不过中间的骨密度结实得多，因而更加坚固。人类可以向大自然学到很多的诀窍，就是在需要的地方让结构更加紧密。广州塔中间必须很坚固，同时底部和顶部要更加轻盈，去掉更多的材料。工程师创新地在圆柱内侧增加了钢环梁，形成坚固的格栅结构，制造环梁集中在最纤细的地方，以此增加强度，就像人类的大腿骨一样。这样，有着纤纤细腰的高塔就变得非常坚固。

广州塔由 4000 多个构件组成，为了装配这些构件，工程师借用了埃菲尔的几个绝招，像埃菲尔那样，用起重机把铁构件吊上去，然后在固定位置工人把铁构件焊接起来，形成无缝的骨架。同埃菲尔的施工团队一样，工人用千斤顶把起重机往上抬。如果没有埃菲尔的创新发明，广州塔恐怕无法成为现实。短短 23 个月后，广州塔爬升至 610 米的高空。尽管工程师曾忧心忡忡，但纤纤细腰获得了巨大成功，优雅而坚固。开放式阶梯一路盘旋而上，游客可以感觉到微风拂面。

创新三：格栅开放式结构和水槽减震器对抗台风

广州塔惊人的高度和纤纤细腰看起来弱不禁风，但这座塔的一项特殊设计使它足以抵御强风。当强风吹过，传统的高塔是会形成螺旋状的风旋涡，旋涡会把高塔拉向一侧，导致高塔面临倒塌的危险。但广州塔弯曲的不规则造型扰乱了旋涡。由于广州塔外部采用开放式格栅结构（图 1.8.3），进一步打乱了旋涡，因此强风不会对高塔产生任何威胁。



图 1.8.3 广州塔格栅开放式结构

尽管开放式结构使广州塔免受强风吹袭，但它依然有一个极具威胁的劲敌——台风。特大暴风雨每年都在这一带肆虐，最大风速达到每小时 200 多千米，可以轻易吹倒高楼大厦。不过在广州塔塔顶隐藏着一个对抗台风的利器，那就是两台装满了超过 10 万升水的矩形水槽。当强风吹来，会造成建筑物摆动，如果摆动频率和建筑物的自然频率差不多，一个大问题就出现了，长此以往，这座建筑必将倒塌。将塔顶灌满水，由于液体不断地晃动，撞击着周围，每一次撞击都抵消建筑物的摇晃，这是一个简单而又高明的创新办法。广州塔的水槽也叫做减震器，可以沿着轨道系统左右移动。遭遇强烈台风时，水槽可以移动 1 米左右，以吸收风的能量，从而维持广州塔的稳定。这些水槽甚至可以确保餐厅里的顾客饮用葡萄酒时一滴都不会洒。

创新四：设计三道防线避免火灾

2000年8月27日中午，全莫斯科的电视都没有画面，因为奥斯坦金诺电视塔发生了火灾，大火在欧洲第一高楼内迅速蔓延，消防人员无法进入火场，四人受困于塔中不幸遇难。这一悲剧告诉我们，细长的管状建筑一旦发生火灾，后果不堪设想。

广州塔高达600多米，每天接待8000多名游客，会有几百人同时聚集在观景台。身处高空，为了避免发生火灾，广州塔创新设计了三道防线。

塔顶巨大的水槽配了一个神奇的发明——负责守卫大厅的消防机器人。当大火突然燃起，机器人的红外感应器会在几秒钟内侦测到，并打开水龙头，向火焰喷射出强劲的水柱，将大火熄灭。当机器人感应到大火已经熄灭，就会关闭水龙头，以免水量过多损坏建筑物。

灭火是保证安全的第一步，但大火本身未必是最大的危险。火灾发生的时候，浓烟才是最危险的。因此电梯前方的大厅必须经过加压，楼梯也一样，必须让游客迅速离开公共区域，进入核心筒的楼梯间。因此，广州塔的第二道防线就是智能通风系统。要避免浓烟窜入楼梯井和重要的出口，有一个方法就是把空气吹进去。楼梯井周围的房间一旦发生火灾，绝不能让出口浓烟弥漫。但如果把空气吹进去，浓烟就会马上从楼梯间散出去。最关键的事情就是尽快让浓烟散出去，这样人们就可以迅速地从建筑物中疏散出去。这个方法非常有效，这是因为位于出口区域的通风机可以使周围的气压上升，因此里面的浓烟会向外扩散。不过更重要的是，建筑物里别处产生的浓烟不会蔓延进去。因此出口处不会有浓烟。广州塔的核心筒有很长的通风导管，贯穿整座疏散楼梯，如果发生火灾，强大的风扇会吸入空气通过导管吹出。

人们顺着楼梯进入第三道防线，分布在整座电视塔的避难区。每层的顶部都有这样的区域，人们顺着楼梯往下来到这个避难区，消防员可以从这里救援，把人直接送到楼下去。这些设施让广州塔即使深陷火海，也能使游客的安全得到保障。

广州塔把工程学的潜力发挥到了极致，并且唤起了人类对高层建筑的向往。广州塔是目前向公众开放的最高的电视台。

1.9

空间站的创新奇迹

国际空间站是空中最大的人造物体，一天环绕地球16圈，距离地面350千米，生活着一个由10名航天员组成的小组，他们正在进行各种实验，研究如何能让生命迁出地球，

他们的工作或许将来能让我们在月球或是火星上生存。国际空间站利用地面无法提供的空间零重力状态的有利条件，可以使科学家们进行一系列科学实验。

国际空间站由美国、俄罗斯、日本、欧洲航天局成员国、加拿大和巴西等共同建造，耗资超过 630 亿美元。国际空间站计划最早是美国提出的，当时名为国际自由号空间站计划，并于 1984 年得到美国总统里根的批准。但随着时间的推移和数十亿美元的耗费，这项计划并没有取得进展。1993 年，克林顿入主白宫，提出将自由号空间站计划由美国独自建造改为国际合作建设，使这一计划得以生存下来。1993 年 11 月 1 日，美国国家航空航天局与俄罗斯宇航局签署协议，决定在和平号轨道站的基础上建造一座国际空间站，命名为阿尔法（俄罗斯加入空间站计划后，反对使用这个名字，因为俄罗斯 1971 年发射的礼炮 1 号才是世界上第一座空间站。故现在国际空间站没有名字）。1998 年 1 月 29 日，来自 15 个国家的代表在美国华盛顿签署了关于建设国际空间站的一系列协定和三个双边谅解备忘录。美国、俄罗斯、日本、加拿大以及欧洲航天局的 11 个成员国（德国、意大利、比利时、丹麦、瑞典、瑞士、法国、荷兰、挪威、西班牙和英国）的科研部长或大使在文件上签字。这些文件的签署标志着国际空间站计划的正式启动。

国际空间站的建成，意味着一个共同探索和开发宇宙空间时代的到来。它成功的背后隐藏着四架跨时代的航天器，每一架航天器的建造完成都依赖于一次重大的科技突破和巧妙的技术飞跃，这些突破让工程师可以建造出更大的宇宙飞船，一架接着一架，让空间站的规模越建越大，直至建成世界上最大的空间站。

1.9.1 苏联礼炮号空间站的创新：可控喷射推进器

为了建造世界上第一个空间站——礼炮号，苏联工程师需要克服的第一个问题就是地球引力。

科学家不知道人类是否能长时间待在外太空这个极端的环境中，因此他们决定在太空里设置一个实验室。礼炮号搭载三名航天员，加压的隔间舱将包含一间控制室和宿舍。他们计划让航天员在太空中生活三个星期，在执行任务期间，时速必须达到 2.8 万千米。如果速度不够快，航天员就会从太空中掉下来，只有达到轨道速度，加速度产生的力才刚好可以抵消地球引力。当这两种力一样大的时候，物体才不会被吸向地球或是它正在绕行的星体。

为了达到时速 2.8 万千米的轨道速度，苏联人为礼炮号设置了一枚质子火箭，一旦进入轨道，礼炮号会与火箭脱离，之后它就可以一直保持这个速度。太空中是真空，因此不会有空气阻力使速度降低。但这个真空并非什么都没有。原则上说，如果没有任何摩擦力，

航天器一旦进入轨道，就会留在轨道上。不过地球被大气层包裹着，即使是在数百千米的高空，仍会有一些空气分子。就算与礼炮号撞击的是空气分子，也可以产生阻力，从而降低航天器的速度。而一旦航天器的速度低于轨道速度，地球引力便会把航天器拉回地球，后果将不堪设想。因此空间站和其他航天器需要定期被推进。点燃火箭引擎，把轨道再次向上推移，可以抵消阻力产生的效应。但用火箭推进礼炮号的风险很高。火箭发射时会产生一个猛烈的推力，而且燃料维持的时间也很短。一次无控制的喷击可能会使礼炮号冲进太空深处，工程师需要的是他们能控制的火箭。

问题的答案来自一个令人意想不到的地方，即朝鲜战争期间出现的一个创新发明——火箭背包。这个由工程师创新设计出的火箭背包，可以让一个人从地面升入空中并进行移动。火箭人之所以能在空中盘旋是因为喷射器的动力来自一种易于控制的化学反应。化学马达使火箭背包成为可能，苏联则采用类似的马达安装在他们的空间站上，航天员就可以给宇宙飞船施加一个可以人为控制的动力，让宇宙飞船加速，这样航天员就能绕行地球23天，刷新世界纪录了。

1.9.2 美国天空实验室的创新：利用通信飞机保持与地面通信

推进器让礼炮号空间站得以在轨道上运行23天，美国人下决心要打破这项纪录，开工兴建一个巨大的实验室，但是首先他们得想办法让实验室可以与地球保持联系。

20世纪60年代末，美国国家航空航天局的科学家计划在太空进行一系列特别的实验，实验室是一个重达百吨的空间站，名为天空实验室（图1.9.1），有3名航天员成为实验对象。科学家想查明在零重力环境中生活，对人体造成的重大伤害。他们将通过一条通信链，在地球上对整个实验进行监控。



图 1.9.1 美国天空实验室外观

天空实验室任务能否成功的关键在于科学家是否能够在地球上监控航天员的生命迹象。可问题出现了，休斯敦航天中心计划用无线电波和天空实验室保持联系，不过无线电波只能直线传播。天空实验室绕行地球一圈需要90分钟，因此在地面的科学家只有短短6分钟的时间可以监控从休斯敦上空飞过的航天器，时间太短，无法搜集到所需的资料。因此，航天总署在全球建造了另外11座地面中心，以协助休斯敦航天中心。

然而大片的海洋上仍然没有接收器，于是他们想在一艘船的甲板上安装几个接收器，追踪从海面上空飞过的空间站。不过，一艘船负责的海域很大，没有一艘船的航行速度能赶得上天空实验室。美国国家航空航天局需要机动性更高的无线电接收器，于是他们创新地把接收器安装在航空器上。由于飞机本身的特性使然，可以被开到世界上的任何地方。这样就可以依循航天器的轨道与航天员保持全天候不间断的实时通信了。飞机最前端安装了一个直径两米的无线电波接收盘，电子马达可以让接收盘转到不同角度以瞄准天空中的任意一点。当空间站从上空经过时，飞机内部的操作员就可以调整接收盘的角度，接收来自天空实验室的无线电信号了。当天空实验室脱离一架飞机的接收范围后，就会有另一架飞机连上。这种方法需要 8 架飞机环绕地球飞行，才能和天空实验室的航天员保持不间断的联系。

1.9.3 阿波罗联合号空间站的创新：利用减压舱实现成功对接

1975 年，美国和苏联做出一项震撼世界的宣言，双方将汇集资源，合作打造一座空间站。

计划是这样的，苏联在哈萨克斯坦的拜科努尔发射场发射联合号宇宙飞船，同时美国从卡纳维拉尔角发射一艘阿波罗宇宙飞船。飞船在 220 千米上空的轨道上对接，美国航天员在这里与苏联航天员会合，双方将联手执行历史上第一次国际太空任务。

一项艰巨的工程学挑战出现了。苏联和美国的宇宙飞船在机械设计上是完全不同的，双方对对方的飞船都十分不了解。在一个关键问题上，两艘飞船完全不同，那就是气压。苏联联合号宇宙飞船上的气压和地球上的气压一样，而在美国的阿波罗号上，航天员呼吸的是纯氧，储藏纯氧所需的压力低很多。一旦美国人打开舱门，气压突然改变，就可能会对苏联航天员产生毁灭性的影响。平时溶解在他们血液中的氮气会重新变成气泡，而这些气泡可能会要了航天员的命。例如深海潜水员过快浮上水面，也会出现同样的惨状。但是坐在减压舱里慢慢适应气压降低，可以防止这种情况出现。

于是，工程师创新地借用这个办法，把一个减压舱固定在阿波罗宇宙飞船正前方。一旦两艘宇宙飞船结合，美国航天员将离开阿波罗号进入减压舱。他们将在那儿等上 3 个小时，直到减压舱气压与联合号内部的气压相当，接着航天员就能进入苏联太空舱了。

1.9.4 苏联和平号空间站的创新：脐带式求生索与活动式背包

为了建造更大的空间站，苏联宇航员必须掌握太空漫步的艺术。1986年2月，一枚苏联火箭载着一架巨大飞行器的第一个组件发射升空。和平号空间站（图1.9.2）一旦建成，质量达130吨，无法靠一枚火箭送上太空，因此必须分成6个部分分别运送。建造工程要依靠会太空漫步的航天员完成，这是一个极大胆的想法。

第一项挑战是在险峻的舱外环境实施作业，那里的温度向阳时会达到135摄氏度甚至更高，背向太阳时则会降至零下170摄氏度。早期的航天服是通过一条很长的脐带式求生索，把为航天员降温的液体、呼吸所需的氧气以及维持身体运动的电力，从空间站输送到航天服。对于建造和平号的航天员来说，这条求生索十分不便，它不但限制了他们在空间站附近活动的灵活度，而且一旦求生索被缠住产生漏洞，后果不堪设想。

设计师为了克服这个问题，除去了脐带式求生索，创新改用活动式背包取而代之。背包里面有氧气、充电电池、冷却液壶、加热液，可以直接注入航天服中。每一种成分设计师准备了两份，以防其中一份失灵。但是无论航天员怎样低头，都看不见胸口的控制仪表盘，因此设计师贴心地提供一面内置镜子，使得这一问题得到圆满解决。

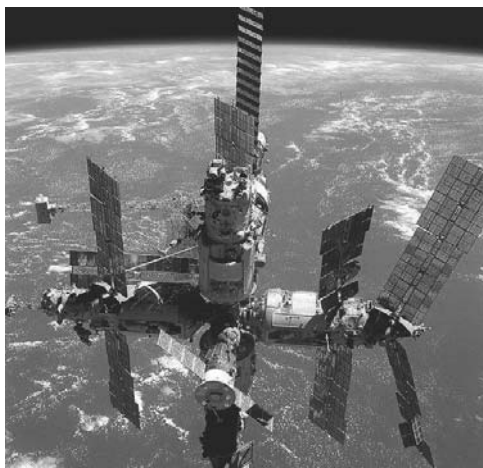


图 1.9.2 苏联和平号空间站

1.9.5 五大创新荟萃：国际空间站

创新一：陀螺仪校对位置

国际空间站（图1.9.3）不是使用自备的推进器，而是使用成功对接的飞行器搭载推进器，比如航天飞机。空间站还需要经常校对位置，以便让太阳能板可以一直面向太阳，太阳能板会提供空间站所需的一切动力。要做到这些微调，航天员靠的不是火箭的推动力，而是陀螺仪。工程师在国际空间站创新设计安装了四个



图 1.9.3 国际空间站

陀螺仪，当在地面的工程师调整这些转动着的陀螺的倾斜角度时，就会产生一个力，使空间站发生转动。陀螺仪需要经常做出微调以确保飞行器的太阳能板能永远面向太阳，为航天员进行实验提供动力。

创新二：利用通信卫星与地面保持通信

科学家已经研究出航天员每天必须运动 2.5 小时，才能保持肌肉的健康。不过在这个绕地球运行的实验室里，航天员本身已不再是科学实验的主要对象，航天员也要研究在无重力环境中应该如何种植农作物、饲养动物等，而天空实验室的地面专家会与航天员经常保持接触。今天他们不是通过飞机，而是创新使用卫星实现通信。在空间站上方数千千米，有 9 颗人造卫星环绕地球运转，卫星被锁定在地球赤道周围上空的轨道定点上，任务控制中心依靠这些卫星间的合作与下方轨道上的空间站保持几乎不间断的联系。每当空间站发出信号，距离最近的人造卫星便会接收信号传送到地球，然后发射到位于休斯顿的任务控制中心。

创新三：高效废水循环利用系统

近 10 年来，一直都有人生活在空间站上，这主要归功于工程师，是他们想出了一个创新的办法，循环使用人类最宝贵的资源——水。在亚拉巴马州的马歇尔太空飞行中心，科学家建造了一个空间站舱的实体模型，用于研究如何使最新的水源循环技术更加完美。他们让平民义工进入密封的隔间舱，过着和航天员一样的生活。这个隔间舱可以产生真正的废水，尽可能重现航天员在空间站会产生的废水。抽风机吸入浸满汗水的温暖空气，收集从湿衣服上蒸发的汗水，科学家给这种汗液取了个文雅的名称——“湿气浓缩物”，他们还要设法回收尿液中的水分。因为尿液受到的污染比湿气浓缩物更严重，因此工程师要先进行初步的蒸馏，尿液固有的水分有 85% 可以被回收，空间站的回收系统可以回收高达 94% 的由航天员产生的废水。回收后的水，航天员不但要喝进肚子里，还要吸进鼻子。在空间站的生命维持系统内部，电流贯穿了再生水的水槽，这股电流把水分解成两种化学物质——氢和氧，泵可以通过贯穿飞行器的按键，把维持生命的气体氧气输送给组员，这是用汗水和尿液生产的新鲜空气。这项技术对于未来执行载人登陆火星的任务十分重要。火星任务来回可能需要两年时间，期间 4 名组员要使用 36000 多升的水。因此，太空科学家必须找到方法循环使用每一滴水，让组员机载的水量降到最低。

创新四：机械肢臂协助太空施工

国际空间站安装新舱的时候，即预制科学实验室之前，航天员要在地球上接受 200 多

个小时的密集训练。约翰逊航天中心的水槽为航天员接受训练创造了一个几乎无重力的环境。工程师把这个设施叫作“中性浮力实验室”，因为在水里穿的服装基本上与太空漫步时穿的太空装一样。负责协助的潜水员会在航天员的航天服上加上重物，达到中性浮力，那种感觉很像无重力。主水槽底下有个空间站的复制品，航天员可以在水底学会如何在壳体附近灵活行动。他们穿着太空装，灵活度受到了限制，甚至连转动扳手这种最简单的动作也变得极为困难。回到真正的空间站，航天员的首要任务是从航天飞机上卸下新舱。10吨重的实验室在太空或许轻若无物，但要搬动这麻烦的家伙，还需要一个帮手。加拿大航天局创新研发出一种特制的手臂（图1.9.4），由7根机械肢臂组成，手臂牢牢地固定在空间站壳体的舱口，一只可拆卸的手可以把东西举起来，协助建造施工。航天员用这只手臂把实验室调出货舱，手臂弯曲让舱体与连接口对齐，然后航天员亲手把实验室固定好。

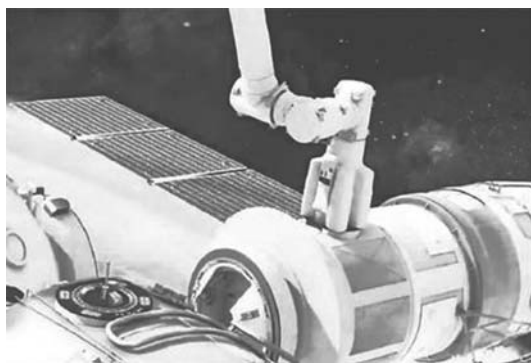


图 1.9.4 机械肢臂协助航天员太空施工

创新五：凯夫拉分层保护罩

国际空间站这么大的建筑物，由于体积庞大，很容易成为意外撞击的目标。十几万片火箭与人造卫星的碎片散布在空间站的轨道上，国际空间站经常要面对被飞行物击中的威胁。美国国家航空航天局用雷达追踪最大的残骸，引导空间站避开危险。但最大的威胁却是来自肉眼看不到的，像一粒沙子那么小的碎片，它们在以轨道速度运行时本身具有的冲击力足以穿透空间站的壳体，导致空间站压力降低，站里的人会一命呜呼。约翰逊航天中心的科学家可以复制这种碎片撞击的情景，他们把一小块儿碎片放进一把特制的手枪中，以2.5万千米的时速发射，小碎片以高速喷出，就像一枚手榴弹。如果空间站里面有人员，碎片喷出可能会对他们造成极其严重的伤害。工程师发现一块厚重铝片提供的保护还不如两张间隔一定距离的薄片。碎片从第一张薄板进入速度很快，穿过这层薄板发生振荡，会使微粒碎裂，微粒从这里出来速度就会减慢，形成一阵碎片云，它很像一种由微粒物质组成的气球。碎片云向外散开，等到它击中我们想要保护的墙壁时，已经散开很多了。为了强化这种保护板，工程师创新地在空隙外加垫了制作防弹背心用的材料——凯夫拉。如果有物体穿透了外层，凯夫拉可以消除碎片云的杀伤力，使内层完好无缺。工程师把空间站最脆弱的地方，逐一加上保护罩，甚至为窗户装上窗门，在不用时对窗户加以保护。将来可以运用这种科技保护月球和火星上的前哨站，与地球完全不同，那里几乎没有大气层可

以吸纳落尘或陨石造成的冲击。有了铝片和凯夫拉的安全防护，宇航员就可以在新的哥伦布实验室里工作了。

国际空间站为人类移居其他星球做了准备，是不折不扣的终极宇宙飞船。

1.10 机场的创新奇迹

第一次世界大战以后，伦敦希思罗国际机场的所在地是一座空军基地。到了20世纪30年代，这座机场被命名为“大西方机场”，作为飞机零件组装和测试之用。第二次世界大战后，它转由英国民航局管理。

希思罗国际机场为伦敦最主要的联外机场，也是全英国乃至全世界最繁忙的机场之一。由于机场有众多的跨境航班，因此以跨境的客流量计算，希思罗国际机场的客流量是全球最高的。希思罗国际机场为全球90家航空公司所用，可飞抵全球170余个机场，2008年旅客吞吐量已达6700万人次，其中11%为英国国内乘客，43%为短程国际旅客，46%为长程国际旅客。

到目前为止机场共有5座航站楼及一座货运大厦。其中5号航站楼于2008年3月27日开放使用，造价超过80亿美元，用时19年。5号航站楼是由3栋巨大的建筑组成的，主航站楼堪称是摩天航站楼，总高度达40米。这栋航站楼里有旅客签到台等设施，还有零售商店和各种客服设施，建筑下面还有3个大型火车站，一切设施都要协调运作，5号航站楼每年能为3000万名旅客提供服务。

伦敦希思罗国际机场是全球最繁忙的国际机场，每年在这里起降的飞机有近50万班次，旅客流量相当于全英国的人口数。希思罗国际机场能演变得这么大，全依靠一连串重大的技术创新和7座具有划时代意义的机场，每座航空巨型机场都利用一项新技术创新来增加机场的旅客流量，让旅客能安全、快速又舒适地通关。七项具有开创性的发明，让机场变得愈来愈大，最终使伦敦希思罗国际机场跃升为世界最大的机场。

1.10.1 伦敦克罗伊登机场的创新：首次实施航空管制

1920年，克罗伊登机场是伦敦的主要机场，当时航空业刚刚开始，航空技术尚未成熟，当时的飞行员全凭感觉驾驶飞机，他们利用地标辨别方位，例如海岸线、河川、大型城镇和道路等，但人的视力有时候并不可靠。

为了防止飞机碰撞事故的发生，克罗伊登机场创新发明了一项高明的新技术，即所有

朝机场前进的飞机都要发出无线电波报。克罗伊登机场的无线电接收机会测量这些信号的角度，这样就能知道飞机是从哪个方位飞来的。但光靠飞机方位无法确定飞机的确切位置，于是克罗伊登机场又创新设置了两座无线电台，并锁定了无线电台的接收器。只要知道飞机的坐标位置，就可以指引飞机安全地降落在机场，航空管制也因此诞生。

1.10.2 伦敦盖特威克机场的创新：蜂巢形航站楼——全世界第一座运营的机场航站楼

当机场塞满了飞机，旅客就很难安全登机和下机了。伦敦盖特威克机场，如果要为 2 万名旅客提供服务，就必须拉近飞机和旅客之间的距离，但同时也要适时地将他们隔开。

在 20 世纪 20 年代，乘客们必须穿过很大的停机坪才能上飞机。莫里斯·雅克曼想为盖特威克机场的旅客提供一项创新的设施，也就是航站楼，但他一直想不出该把航站楼设计成什么形状。他考虑了各种变量，想到飞机该如何停放，如何在跑道上滑行，规划飞机的停放位置。对比来说方形建筑不行，因为一架飞机停在这里，另一架就出不去，空间还会闲置。在父亲的启发下，他想到将航站楼设计成圆形就可以解决这个问题，他所创新设计建成的蜂巢形建筑，至今仍然屹立在那里。

雅克曼的创新设计十分新颖，盖特威克机场航站楼的形状对旅客和飞机都有利，每架飞机都可以快速滑行到其登机门，让旅客下机，加油，再让旅客登机。旅客可在蜂巢形航站楼内舒适地候机，直到通往飞机舱门的伸缩式遮棚架设好。盖特威克机场蜂巢形航站楼是全世界第一座运营的机场航站楼。

盖特威克机场 1958 年建成通航；1988 年机场北航站楼启用；1998 年盖特威克机场主跑道延长至 3316 米；2012 年盖特威克机场升格为 4F 级机场。2018 年，盖特威克机场共完成旅客吞吐量 4607 万人次，货邮吞吐量 11 万吨，飞机起降 28 万架次。据 2020 年 7 月机场官网统计，盖特威克机场的两座航站楼，北航站楼面积 9.8 万平方米，南航站楼面积 16 万平方米；民航站坪共设 119 个机位，其中 62 个为近机位；有 2 条跑道，均为 45 米宽，长分别为 3316 米和 2565 米。

1.10.3 芝加哥奥黑尔国际机场的创新：滑模混凝土摊铺机铺设坚固跑道

位于美国芝加哥的奥黑尔国际机场是全球最繁忙的机场之一（图 1.10.1）。这里每天要起降 2700 次航班，每年大约有 7200 多万名乘客经该机场来往穿梭于世界各地。奥黑尔国际机场是美国联合航空公司和美利坚航空公司的中转枢纽，在这里工作的员工共有 5 万



图 1.10.1 芝加哥奥黑尔国际机场

多人，占地达 7700 英亩，拥有 4 座航站楼、182 个登机门、7 条跑道和一个庞大的候机楼。

航站楼的出现加快了旅客登机 and 飞机整备的速度，不过螺旋桨飞机开始应对不了不断增多的旅客。但后来有一样东西的出现改变了一切，那就是喷射机。喷射机可运载更多的旅客，但也带来了新的问题。

为了建造可容纳更多旅客的机场，芝加哥修建机场需大幅改善跑道的设计。

20 世纪 50 年代的航空公司很喜欢新型喷射机，喷射机比最先进的螺旋桨飞机飞得更快更远。但这种新型飞机需要新型的机场。波音 707 客机的发动机比 DC3 螺旋桨飞机重 3 倍多，燃油装载量比 DC3 螺旋桨飞机多 19 倍，载客量则多 8 倍，一架 707 的重量等于 13 架 DC3，传统的跑道无法应对庞大的喷射机。芝加哥计划为喷射机时代建造新机场，工程人员知道，必须将跑道升级才能应对喷射机。

芝加哥奥黑尔国际机场的工程师为提高跑道强度，创新将钢制框架埋在了混凝土中，但他们只能人工制作小块跑道，方法耗时又昂贵。后来他们发现，有种奇妙的机器，它铺混凝土的速度比人快，那就是滑模混凝土摊铺机。滑模混凝土摊铺机可以连续铺设长长的跑道，速度极快，而且铺好的混凝土跑道平滑无暇又坚固，结果对于工程师和喷射机来说都很理想。

1.10.4 达拉斯爱田机场的创新：全世界首条机场电动通道

达拉斯爱田机场位于美国得克萨斯州达拉斯，1974 建成启用，它是达拉斯地区的主要机场，是西南航空的公司总部所在地和维珍美国航空的主要枢纽之一。

喷射机的出现提高了飞机的载客量，为航空公司节省了成本。但喷射机需要的空间比螺旋桨飞机大，因此航站楼必须跟着变大。登机就成为一种体力考验，乘客得走很远的路去登机。为了服务 300 万名旅客，达拉斯爱田机场必须加快旅客登机的速度。

机场在 20 世纪 60 年代开始扩建，以便能容纳大型喷射机，但机场在变大的同时并没有考虑旅客的感受。从外地来的旅客开始抱怨，他们得走很远的路才能登机。例如芝加哥的奥黑尔国际机场，旅客转机时，如果必须从最远的登机门走到另一头的登机门，而且时间很紧迫，即使跑过去，也未必能赶得上飞机，因为机场的面积实在太大了。达拉斯爱田机场，在建造一条 500 米长的走廊时，他们意识到必须让旅客更轻松地登机。

加利福尼亚的一座采石场给他们带来了创新的灵感，这座采石场通过长达 15 千米的全世界最长的输送带将石块运送到水塔。橡胶如果能运送岩石，自然也能运送人。爱田机场的工程师于是在走廊上安装了一条橡胶输送带，在橡胶输送带下的轨道上放置了木质拖板，好让旅客踩在坚固的平台上。他们把这个输送带叫作“电动通道”，由单一电动机驱动输送带，就能轻松地将旅客送到登机门。

爱田机场启用时，航空公司对创新装设的电子通道表示肯定和满意，因为这样旅客就可以更快速地抵达航站楼了，而且旅客对机场服务的满意度也会提升。如今输送旅客的问题不仅仅局限于机场内部，将旅客送抵航站楼是输送链中最薄弱的一环。

1.10.5 亚特兰大国际机场的创新：金属探测器

亚特兰大国际机场共有 7 座航站楼，总面积 63 万平方米，共设 247 个登机廊桥，是达美航空的机场总部，达美干线航班占据亚特兰大机场所有航空公司班次的 30% 以上，同时也是边疆航空和西南航空的基地机场。2009 年机场旅客吞吐量 8803 万人次，飞机起降 97 万架次。

自从电动通道加快了机场内旅客的移动速度之后，越来越多人选择乘坐飞机旅行。但在 20 世纪 60 年代末期，劫机者察觉到飞机是理想的攻击目标，极容易下手。亚特兰大机场为了维持 1400 万人次的旅客量，不得不大幅加强安全措施。“以枪对付枪”不是什么好办法，必须在劫机者登机之前将他们留在机场。这项做法给全球最繁忙的亚特兰大机场带来了严重的问题。

这座机场因此承担了重大的责任，要从 1400 多万名旅客中揪出有不良意图的人，唯一保险的做法就是对所有旅客搜身，但这样会造成机场运作严重停摆。他们急需找出可以更快揪出劫机者的方法，结果他们居然从锯木厂找到解决问题的创新方法。价值上千美元的圆木锯刀片是最重要的伐木工具，如果木材里藏有小型金属物，可能会弄坏刀片，让锯木作业停摆。如果有 20 人等待更换原木锯刀片，这样坐着没事儿干，会带来很大的损失。因此在将木材送入原木锯之前，他们必须先用金属探测器检查木材。任何可疑物体都会触动探测器。金属探测器通过巨大电圈产生电磁脉冲，电磁脉冲遇到金属物时会反射电磁回波。传感器接收到这类信号时，会触动警铃。这不仅适用于木材装置，也同样适用于旅客，现在机场不用对所有人搜身了。

1.10.6 洛杉矶国际机场的创新：条形码处理行李

洛杉矶国际机场建于 1948 年，拥有 4 条跑道，1 个主体航站楼，9 个航厦，排列成马

蹄形。除旅客航厦外，洛杉矶国际机场另有占地 18 万平方米的货运设施，并设有一个直升机起降场。2001 年旅客吞吐量为 6161 万。

随着飞机安全性的提高，更多人乘坐飞机出行，这又给机场带来了另一个难题，那就是行李数比旅客数还要多。如果洛杉矶国际机场想保持行李的流动，就必须大幅革新运送行李的技术。

1975 年，洛杉矶国际机场每年要为近 2400 万名旅客提供服务，并处理两倍于旅客数的行李，这对行李运输工来说简直是个梦魇。多年来机场一直希望能分类运送行李，但找不到能读取行李标签的机器。1974 年夏天，一包口香糖带动了行李分类作业的进步。口香糖是最先采用条形码这种新技术的产品，产品相关信息通过黑白线条来加密，这些线条会反射激光扫描仪的光，有一部传感器能接收反射的光，然后计算机译码显示该产品的价格，这似乎是解决机场行李分类问题的最佳方法。

但西方航空将条形码技术引入洛杉矶国际机场之后，却引发了一个问题。这就是标签可能在行李的任何地方出现，甚至可能在底部，因此机器要从各个角度对行李发射激光，甚至还会从底部发射。这需要对机器进行创新。

中央计算机处理卷标上的数据，然后把行李分别送到正确的飞机上。有机器能读取行李标签，加快了处理行李作业的速度。但机器并非万无一失，因为机场还是得靠人力处理行李，因此目前美国的航空公司每年仍会误送 300 多万件行李。

1.10.7 七大创新荟萃：伦敦希思罗国际机场

创新一：航空管制之新塔台的建造

如今，希思罗国际机场每小时有多达 100 个航班的飞机起降。航空管制员引导飞机降落，然后将飞机交给地面管制员，地面管制员必须保证亲眼看见跑道上的所有飞机。这也是建造 5 号航站楼会带来问题的原因。5 号航站楼的建筑很高，挡住了地面管制员的视线，使他们看不到远处的飞机，所以需要建一座较高的新塔台，塔台的位置必须在机场正中央，也就是希思罗国际机场最忙碌的十字路口上。在这里进行工程建设会让机场现场混乱。

唯一的解决办法是在机场的边缘建造新塔台，再将整座塔台迁移到预定位置。但塔台有 1000 吨重，要把它运送到机场里面，要花几个月的时间做详细的规划，这是一项艰巨的挑战，因为不能让机场作业停摆，也不能更改任何航班的起降时间。工程师决定在傍晚将塔台运入机场。他们要做的就是拆掉围栏，然后把塔台运上停机坪。塔台是靠 3 部用来

运送航天飞机的传送机运送的，工作人员要在机场重新开放之前，用不到5个小时的时间将塔台运送到目的地，前进的速度是每小时3.22千米。把塔台安全地放置在基地上之后，工程师用千斤顶托起塔台，实际高度变成了87米。现在希思罗国际机场的航管人员终于可以在塔台上工作，而不会受到5号航站楼的影响了。

创新二：长方形吐司架型的航站楼

希思罗国际机场将快速整备的概念发挥得淋漓尽致，飞机在再次起飞之前，极少会在地面上待90分钟以上，在这里每分每秒都很重要。应对如此繁忙的一座机场，圆形航站楼的容量很快就达到了极限。较大的圆形航站楼能让更多飞机停靠在外面，但这样的设计会导致一大半的内部空间闲置。如果能把许多小型圆形航站楼连接在一起就可以节省空间，但只要有一架飞机出现故障，就会导致很多架飞机动弹不得。

希思罗国际机场5号航站楼创新采用了吐司架型建筑模式（图1.10.2），这个长方形建筑群通过地铁相连，以保持滑行道的畅通。这样即使发生特殊状况，飞机也能绕过去，省下宝贵的时间。希思罗国际机场5号航站楼的设计看似简单，但实施起来却是相当复杂。5号航站楼的工地面积相当于伦敦海德公园的面积，首席建筑师麦克·戴维斯设计了一座40米高的航站楼，为更好地利用其内部空间，为航站楼



图 1.10.2 希思罗国际机场长方形吐司架型的5号航站楼

加上了一座单跨屋顶，屋顶的面积与5座足球场的面积相当，但吊起这座巨大的屋顶成了工程团队最艰难的任务。一块屋顶部件的重量就超过了六架大型喷气式客机的重量总和，想用塔式起重机把它吊到40米高的地方，可说是困难重重。起重机非常高，因此会干扰希思罗机场雷达系统。雷达天线平台的高度只比5号航站楼高3米，工程师不能在那个区域放置高大的起重机，因为这样可能会打到飞机的起落架，所以他们必须设法在地面上建造屋顶。工程团队利用几部小型起重机在地面上组装屋顶截面，然后用一种巧妙的吊运技术，将屋顶吊离地面。这项技术叫作“爬升千斤顶吊运”。他们用钢绞线吊起屋顶截面，这些钢绞线穿过多股钢绞线，成千斤顶。水锤泵十分强大，每部的起重量高达185吨，16步爬升千斤顶，辛苦地把屋顶截面吊到10楼。工程团队花了近一年的时间，才吊好所有的屋顶截面，制造这些屋顶截面共用了1800吨钢。

创新三：新型混凝土建造跑道

希思罗国际机场5号航站楼将面临从波音747客机问世以来，喷射机体积最大幅的增加。全球最大的客机空中客车A380高度相当于7层楼，比大型喷气式客机重200吨。A380的560吨的重量会对混凝土造成压迫，这款飞机考验了混凝土技术的极限。

铺设5号航站楼的停机坪时，工程师不能使用一般的混凝土。一般的混凝土含有水分，无法与混合料中的石头黏合，笨重的A380客机碾过时混凝土会裂开。唯一的解决办法就是铺设近1米厚的混凝土，但连最先进的铺设机都做不到这一点。5号航站楼周围的路面面积超过100座足球场的总和，所需的混凝土量超过62000辆车的装载量，超出了预算和后勤能力，于是工程师决定创新采用一种新型混凝土建造5号航站楼。这种混凝土用一种类似肥皂的液体取代水，以提高混凝土的黏合性。这种混凝土可以承受A380的碾压，而厚度只要60厘米。新型混凝土为整个工程节省了近28万吨的混合料。现在航站楼四周的路面已经足够坚固，可以承受A380客机的碾压。

但喷射机又给机场带来了另一个难题，再先进的飞机也不是十全十美的，所有的喷射机都有一个弱点，那就是飞机的发动机和地面贴得太近，因此容易吸入跑道上的物质，这种情形可能会导致机毁人亡。2000年7月25日，航空史上最具代表性的飞机——协和飞机，因为在跑道上吸入了一小块金属而失事坠毁，有114人在这场空难中丧生。为了维护喷射机的安全，机场的跑道必须保持干净，每年有50万架次的飞机在这两条跑道上起降，使用率高达99%。这两条跑道的安全全靠两个人来维持，检查小组的成员要在有飞机在跑道上起降时检查跑道上有无异物，希思罗国际机场的两条跑道可能是全英国最干净、最宝贵的柏油路了。

创新四：运输系统PRT（个人快速公交系统）

如今输送旅客的问题不仅仅局限于机场内部，将旅客送抵航站楼是输送链中最薄弱的一环。因此希思罗国际机场5号航站楼装置了一套创新而且极具试验价值的运输系统，叫作PRT，也就是个人快速公交系统（图1.10.3）。这种智能机器人装备机载计算机，可以感受周围的状况，工程师先利用测试轨道测试PRT，再把它装设在5号航站楼里。



图 1.10.3 希思罗国际机场个人快速公交系统

PRT的概念完美到令人难以置信，以电

池驱动的小型快速轨道电动车，每三秒可送四名旅客。小型快速轨道电动车不需要驾驶员，也不会相互碰撞，激光装置每秒会测量路缘与小型快速轨道电动车的距离几千次，接着有一部计算机会推动车轮，让小型快速轨道电动车保持在轨道中央。轨道上的金属回路会侦测每辆车的确切位置，这样如果有小型快速轨道电动车太接近前方的车子，PRT 的计算机就会命令这辆车停下来。

希思罗国际机场会先安装少量机器人车辆，18 辆小型快速轨道电动车将快速运送旅客往返于收费停车场和 5 号航站楼之间。当这套系统遍及整座机场时，每天可运送成千上万名旅客。从运送旅客数量上来看，小型快速轨道电动车几乎可说是天下无敌。如果拿小型快速轨道电动车跟公交车相比，公交车有 50 个座位，但公交车每五分钟才能发车一次，一小时只能运送 600 人。而只有四个座位的小型快速轨道电动车，每三秒发车，每小时可运送 1200 多人，所以这套系统的载客量很大，运转方式却十分缓和。如果 PRT 在希思罗国际机场试验成功，将来或许还能延伸到机场外，协助舒缓市区的拥堵交通。

创新五：X 光扫描拱道侦测器

适用于木材装置的金属探测器，也同样适用于旅客。现在机场不用对所有人搜身，也能查出安全隐患。但金属探测器无法解决所有的安全问题，反而引发了反恐与恐怖主义之间的科技竞赛。用于检测的机器在不断改良，而罪犯也在不断设法钻空子。2001 年 12 月 22 日，联邦调查局逮捕了一名企图在飞机上引爆自制炸弹的男子，他在鞋子里放了塑料炸弹，并且通过了安检顺利登机。

现在有一种创新技术可以对付在鞋子里放置炸弹的做法——拱道侦测器。拱道侦测器利用空气喷流移除头发和衣物上的粒子，然后将粒子吸入连微量爆裂物都能侦测到的侦测器，通过只能穿透衣物无法穿透皮肤的反散射 X 光机，显示旅客身上是否藏有可疑物品。如今机场最注重的是安全，攻击机场不仅会伤害民众，还会危害国家的经济。5 号航站楼创新装设了特殊的 X 光扫描仪，每天能检查 8 万多名旅客。X 光扫描仪利用多束 X 光测量每件行李的原子量，然后自动显示可疑物品，进而加快了扫描作业的速度，这样旅客在登机之前能有更多时间自由支配。20 世纪 70 年代开始实施的安检措施，再次向旅客证明了乘坐飞机是安全的。

创新六：早期行李储存设备

希思罗国际机场 5 号航站楼每一小时能处理 4000 多件行李，各种形状、大小的行李要分别送上飞往不同目的地的数百架不同的飞机，这是一项非常艰难的物流作业。

5 号航站楼拥有全球最大的行李系统，这座巨大的迷宫就藏在航站楼内部，并拥有

近 8 千米长的高速行李轨道和 18 千米长的输送带。这套创新设计的系统造价近 5 亿美元，整座航站楼是以行李系统为中心来建造的。行李系统建筑师花了 13 年研发这套系统，最后又花了 8 个月对它进行测试，每小时 12000 件行李是这套系统的最大处理量。

5 号航站楼的行李处理机器异常复杂，但促成这场发明的，却是一种非常简单的设施——高速签到台。按传统机场的平面配置，行李输送带是设在签到台后方的，这样会挡住旅客的行走路线。5 号航站楼内的输送带装置在签到台的下一层，行李升降机会把行李从签到台往下送。这项高明的创新规划，让旅客可以直接穿过签到台，加快了数百万名旅客的登机速度。其他机场是将旅客汇集在某一处，5 号航站楼则让旅客直接登机。但如此先进的系统还是得靠传统条形码扫描仪来运作。条形码扫描仪可以辨别行李，供中央计算机追踪控制行李的流向，行李系统随时可以掌控行李的下落，寻找行李所有者的身份。如果系统测试失败了，可能会连带拖累整座航站楼无法正常运行。

1993 年，丹佛机场开始采用全自动行李处理系统，但原本预期能成功的装置却引发了一场灾难，不断有行李从输送带上飞出，卡住机器。丹佛机场不得不延后一年启用。希思罗国际机场为了以防万一，5 号航站楼设置了两套行李系统，两套系统的规模一样大。

希思罗国际机场还要处理一个特殊的行李问题，那就是过境机场的旅客行李。希思罗国际机场有近三分之一的旅客是过境旅客，行李系统规模庞大。这套系统叫作“早期行李储存设备”，就是一项科技创新奇迹。早期行李储存设备可容纳 4000 件行李，由机器人操作，机器会自动取回行李，然后将行李送上飞机。为确保行李能赶上飞机，机器会把慢速输送带上的行李放到平台车上。平台车会把行李送到位于航站楼地下室的卫星楼。平台车靠磁加速器前进，速度可达每小时 30 多千米，这套系统的目标是在 15 分钟内将行李从签到台送上飞机。

创新七：极高的可塑性

100 年前航空业的出现，一开始就是为了给富豪名流提供冒险的机会。如今，航空业已经成为全球的产业，现在旅客到很多机场时，要连续到好几个柜台办理手续，常常感到很困惑。机场在发展的同时也失去了自己的灵魂，希思罗国际机场 5 号航站楼的建筑师，希望他们设计的航站楼能恢复航空业原有的魅力。旅客来到希思罗国际机场时会清楚自己在哪里，这里只有一个房间，是一个相当简单的空间。旅客站在这里，可以清楚地看到航站楼周围 16 架飞机的情况。

5 号航站楼是一座高科技建筑，其内部空间的可塑性极高，能随时顺应将来机场内部的作业形态的变化，其简单的形状也会成为未来其他机场仿效的对象。

课程习题

第1课 创新改变世界

【创新学习简答题】

1. 创新简介。
2. 简述如何创新。

【选择题】

- 1-1** 日本明石海峡大桥坐落在日本神户市与淡路岛之间，是世界上目前最长的 ____。
- A. 吊桥 B. 跨海大桥 C. 双层桥
- 1-2** 港珠澳大桥把香港、珠海、澳门连接在一起，是世界上目前最长的 ____。
- A. 海底隧道桥 B. 跨海大桥
C. 双层桥
- 1-3** 大型双筒望远镜（LBT）是世界上最大的 ____，也是 300 多年工程学上的创新巅峰之作。
- A. 太空望远镜 B. 射电望远镜
C. 光学望远镜
- 1-4** 中国三峡大坝长度达到 2 千米，有 60 层楼高，由 4 万名工人历经 17 年修建，是世界上规模 ____ 的水利工程。
- A. 最大 B. 第二大 C. 第三大
- 1-5** 哥达基线隧道穿过阿尔卑斯山脉，连接苏黎世和米兰，隧道长度达到 ____ 千米，是瑞士人创造的隧道工程史上的巅峰之作。
- A. 46 B. 57 C. 63
- 1-6** 世界上最大的运输机是 ____，它起飞质量高达 392 吨，是运输机中当之无愧的巨无霸。
- A. 安托诺夫 124 运输机
B. C5 银河号运输机
C. 梅塞施密特运输机
- 1-7** 美国海军最大的潜艇（俄亥俄级潜艇）是 ____ 核潜艇，可以在 250 米水下无声航行 6 个月。
- A. 鹦鹉螺号 B. 乔治华盛顿号
C. 宾夕法尼亚号
- 1-8** 有着模特般纤细细腰的中国广州塔高达 600

多米，是全球最高的 ____，是一个建筑奇迹，表明中国正日益成为工业强国。

- A. 摩天大楼 B. 电视台 C. 观景塔

- 1-9** 国际空间站是空中最大的人造物体，距离地面 350 千米，造价高达 ____ 亿美元，是人类历史上最昂贵的建筑工程。

- A. 1000 B. 2000 C. 3000

- 1-10** 英国希思罗国际机场，造价高达 80 亿美元的新航站楼，____ 航站楼，通过 19 年建造得以完成，主航站楼堪称摩天航站楼。

- A. 4 号 B. 5 号 C. 6 号

- 1-11** 美国尼米兹号航空母舰是第一艘尼米兹级核动力航空母舰，时速可超过 55 千米，可以航行 ____ 而无须补充燃料。

- A. 10 年 B. 15 年 C. 20 年

第2课 吊桥的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 灵感创新发明法简介。
2. 日本明石海峡大桥的建造集成了哪些历史上的创新成就？

【选择题】

- 2-1** 1779 年，在英国的什罗普郡，为了跨越宽度达 30 米的赛文河，桥梁建造者采用的创新建造方法是 ____。

- A. 建造石拱桥 B. 建造铸铁拱桥
C. 建造细木工连接法的木拱桥

- 2-2** 日本明石海峡大桥采用栅格状的预铸铁组件建成，采用钢铁建造有一个很大的缺点和弱点，那就是 ____。

- A. 质量会很大 B. 会生锈
C. 容易发生扭曲震颤

- 2-3** 世界上第一座现代吊桥的杰作是 ____。

- A. 布鲁克林大桥 B. 梅奈桥
C. 尼加拉瀑布桥

- 2-4** 在设计建造世界上第一座现代吊桥时，英国最佳土木工程师托马斯·特尔福德灵感来源是 ____。

A. 绳桥 B. 拱桥 C. 铁链桥

2-5 在建造尼加拉瀑布大桥时, 为了能够承载 300 吨重的火车通过, 采用的创新方法是 _____。

A. 利用新材料制造铁链来承重
B. 利用铁丝构成的缆索来承重
C. 在桥中央建造辅助桥墩来承重

2-6 在建造明石海峡大桥时, 为了把组成钢缆的钢丝运送到对岸, 日本工程师特地使用了 _____ 来进行运输。

A. 直升机 B. 滑轮
C. 电动导引绳

2-7 纽约曼哈顿岛与布鲁克林之间需要建造一座横跨 600 米宽东河的桥梁, 单跨桥梁不可能跨越, 设计师想出的创新设计方案是 _____。

A. 水下隧道与吊桥相结合
B. 拱桥与吊桥相结合
C. 在河中建造辅助桥墩

2-8 在建造布鲁克林大桥时, 为了能够在水下施工, 工程师想出的创新方法是 _____。

A. 利用圆钢管 B. 利用围墙 C. 利用沉箱

2-9 在建造金门大桥时, 为了能够建造出更高的桥塔来建成当时世界上最长的吊桥, 工程师采用的创新方法是 _____。

A. 厚实坚固的石桥塔
B. 钢铁浇灌铸造桥塔
C. 钢材竖井蜂巢结构桥塔

2-10 明石海峡大桥的 300 米高的桥塔成为世界之最, 每个桥塔都由 30 段组件架构而成, 采用的创新建造方法是 _____。

A. 一次组装成型后再运送到现场
B. 在工厂焊接好组件, 然后用螺栓在现场 接合
C. 在现场沉箱内逐层焊接组合而成

2-11 1940 年, 美国华盛顿州新建的一座吊桥, _____, 由于桥面形状设计不合理, 导致风与桥面形成共振, 最终导致吊桥被风摧毁。

A. 塔科马大桥 B. 华盛顿大桥
C. 弗兰克斯大桥

2-12 1946 年, 为了使双层的维拉扎诺海峡大桥能够抵抗住强大的大西洋暴风, 采用的是 _____ 创新设计, 使得这座桥成为当时世界最长、最重的吊桥。

A. 将桥面两侧的轮廓设计成流线型
B. 封闭型钢结构箱型保护罩
C. 开放式格状钢结构箱型保护罩

2-13 明石海峡大桥对付地震的第一道防线是桥塔本身, 钢材打造的柔韧桥塔在地震时会随地面移动, 通过 _____ 来防震。

A. 吸收震动 B. 阻尼震动
C. 弯曲变形

2-14 明石海峡大桥用来抵抗地震的第二道防护是在每座桥塔的内部安放了 20 个巨大的摆锤来防震, 他们被称为 _____。

A. 平衡摆 B. 阻尼器 C. 减震锤

第 3 课 港珠澳大桥的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 培养与激发灵感的方法和途径。
2. 港珠澳大桥的建造有哪些主要的创新之处?

【选择题】

3-1 港珠澳大桥在世界桥梁长度排名上是 _____。

A. 第一长 B. 第二长 C. 第三长

3-2 港珠澳大桥在建造中必须面对来自珠江口的泥沙问题, 桥墩超过 _____ 的阻水率, 泥沙就可能被阻挡沉积, 从而阻塞航道。

A. 5% B. 10% C. 15%

3-3 为了保障伶仃洋航道能够满足 30 万吨油轮的通行, 港珠澳大桥采用的创新设计方案是 _____。

A. 修建桥塔高度达到 200 米的大桥
B. 修建桥面高度超过 80 米的高桥
C. 修建海底隧道 + 跨海大桥

3-4 为了在松软的海底上修建人工岛, 港珠澳大桥的工程人员采用的创新方法是 _____。

A. 将海底淤泥全部移走后建岛
B. 将海底淤泥全部固结后建岛

- C. 圆钢管围岛
- 3-5** 为了解决阻水率的苛刻要求,港珠澳大桥的工程人员在修建海底隧道采用的创新方法是____。
- A. 水下盾构技术 B. 沉管隧道技术
C. 水下浇筑技术
- 3-6** 为了建造围岛所需直径 22.5 米、高 55 米超级巨大圆钢管,工程人员采用的创新方法是____。
- A. 用新型卷板机制作
B. 用新型模具一次铸造完成
C. 用内胆定型进行拼接
- 3-7** 为了能够按照工程计划在 1 年半的时间里生产铺设港珠澳大桥的海底隧道沉管,最后由德国专家帮助创新设计的快速拼接方案是____。
- A. 自动化模板系统
B. 钢结构拼装系统
C. 自动化倒模灌注
- 3-8** 为了能够安全铺设港珠澳大桥海底隧道重达 76000 吨的巨大的隧道沉管,在大连理工大学进行创新实验的目的是测量____。
- A. 海浪对大桥的冲击破坏力
B. 最恶劣环境下洋流对隧道的影响
C. 采用多大的钢缆才能够安全地牵引隧道沉管
- 3-9** 港珠澳大桥的海底隧道是由长 180 米巨大的管节拼接而成,在建造每段管节时采用的创新方法是____。
- A. 利用模具一次灌注成型
B. 建造大型施工平台进行逐层搭建
C. 用 8 个小节段拼接而成
- 3-10** 港珠澳大桥的海底隧道 6.7 千米长,是世界上最长的海底沉管隧道,是由____个巨大的沉管管节拼接而成。
- A. 28 B. 33 C. 38
- 3-11** 在海洋环境下的工程建设,对于工程质量造成最大、最长期影响的是____问题。
- A. 洋流 B. 泥沙 C. 氯盐
- 3-12** 为了使得港珠澳大桥能够抵挡住地震的威胁,采用的创新减震方法为____。
- A. 高阻尼橡胶减震 B. 全钢结构防震
C. 分模块拼接减震
- 3-13** 为了使得港珠澳大桥能够抵挡住强风的威胁,大幅降低桥面的振动幅度,需要创新解决的重点问题为____。
- A. 共振 B. 涡振 C. 扭摆
- 3-14** 为了保证港珠澳大桥跨越的 30 多千米的海域中工程船只和其他通航船只的安全通航,工程师与海上交通警察和海事局合作,采用的创新管理方法是____。
- A. 重新规划航道
B. 为工程船只指定航道
C. 进行通航管制
- 3-15** 为了把建造港珠澳大桥的巨大的圆钢管运送到 1800 千米外的伶仃洋,需要创新解决的最大问题是____。
- A. 4000 吨重的圆钢管对于运输船来说有些过重
B. 圆钢管的高度过大遮挡在了驾驶室正前方
C. 如何把圆钢管吊运到运输船上安放
- 3-16** 建造港珠澳大桥人工岛的巨大圆钢管要放置在规定坐标内海床上,所允许的误差只有____。
- A. 2 厘米 B. 5 厘米 C. 10 厘米
- 3-17** 为了建造港珠澳大桥人工岛时把巨大圆钢管下放穿透 37 米的海床土层里,所定制的世界最大的、能够吊起 1600 吨重物的超级武器是____。
- A. 四向震锤 B. 六向震锤 C. 八向震锤
- 3-18** 在建造港珠澳大桥的工程中,为了确保工程范围内的施工精度,采用的创新方式是利用____进行精确定位
- A. GNSS 数据处理中心
B. GPS 数据处理中心
C. GMDSS 数据处理中心
- 3-19** 港珠澳大桥全长约____千米,为世界上最长的跨海大桥。

A. 48 B. 55 C. 61

3-20 港珠澳大桥为世界首次海外筑岛，利用 _____ 个巨型钢圆筒直接固定到海床上直接插入海底，中间填土建成人工岛。

A. 100 B. 120 C. 180

3-21 港珠澳大桥的设计使用寿命为 _____ 年，能抗 8 级地震，抵御 16 级台风。

A. 90 B. 100 C. 120

第 4 课 天文望远镜的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 移植组合创新发明法简介。
2. 大型双筒望远镜（LBT）的建造集成了哪些历史上的创新成就？

【选择题】

4-1 为了解决传统望远镜的影像失焦模糊的问题，牛顿采用的创新方法是 _____，从而获得了令人啧啧称奇的清晰影像。

- A. 利用新工艺磨制更薄的透镜
B. 增加一面新的补偿镜
C. 利用凹面镜子来反射聚集光

4-2 大型双筒望远镜（LBT）创新地利用两个 _____ 负责接收反射光，他们分别侦测全部颜色的一半，结合后得到更高的清晰度。

- A. 8.4 米的主镜
B. 高感光度数码相机
C. 巨大的镜筒

4-3 由于帕森斯望远镜的镜片太大，无法用手工磨制，为了制作更大的镜片采用的创新方法是 _____。

- A. 利用蒸汽机来机械研磨
B. 利用创新工艺进行拼接
C. 利用旋转抛物水面进行冲刷

4-4 大型双筒望远镜（LBT）采用巨大的抛物面镜，用来制造巨大镜子的创新方法是 _____。

- A. 旋转融化玻璃的方法
B. 大型磨具一次熔铸
C. 巨大玻璃块逐层打磨

4-5 为了能够持续稳定地锁定追踪一颗恒星，建造胡克望远镜的工程师采用的创新方法是 _____。

- A. 利用高速旋转的陀螺来保持方向不变
B. 利用液压驱动可旋转框架
C. 用时钟机器来驱动可旋转框架

4-6 为了能够使大型双筒望远镜（LBT）平滑稳定转动来锁定追踪天空目标，采用的创新方法是 _____。

- A. 利用润滑型滚珠轴承
B. 利用高压喷油 C 型支撑架
C. 利用两片玻璃之间夹一层油膜

4-7 为了把海尔望远镜的巨大镜片从纽约州运送到加州，采用的创新运输方法是 _____。

- A. 设计特殊车厢用火车运送镜片
B. 制造特殊拖车用汽车运送镜片
C. 用巨型运输飞机吊装运送镜片

4-8 为了保护环境，既不砍伐路边树木，也不触及树木，运送大型双筒望远镜（LBT）镜片去往山顶采用的创新方法是 _____。

- A. 利用直升机调运镜片
B. 搭设高空轨道运送镜片
C. 把镜箱呈 60 度倾斜安放在拖车上

4-9 为了能够保持经纬台式大型望远镜的温度恒定，使得获得的影像不发生扭曲，苏联科学家采用的创新方法是 _____。

- A. 在镜子后方建造蜂巢状凹穴，喷入冷气从内部冷却镜子
B. 冷却望远镜所在整栋建筑来保持恒温冷却镜子
C. 利用冷却机冷却空气后，再泵入圆顶冷却镜子

4-10 为了保持大型双筒望远镜（LBT）的镜子维持在恒温的夜间温度状态，采用的创新做法是 _____。

- A. 在镜子后方建造蜂巢状凹穴，喷入冷气从内部冷却镜子
B. 冷却望远镜所在整栋建筑来保持恒温冷却镜子

- C. 利用冷却机冷却空气后再泵入圆顶冷却镜子
- 4-11** 望远镜建造在山顶，只能解决一部分大气的问题，为了解决大气的问题，哈勃望远镜采用的创新方法是_____。
- A. 把哈勃望远镜安放在美国最高的高山顶上
B. 把哈勃望远镜的镜子变小、镜筒加长
C. 把哈勃望远镜送入高 500km 的外太空
- 4-12** 为了解决大气造成的相差问题，大型双筒望远镜（LBT）采用的创新做法是_____。
- A. 利用两面巨大的反射镜来抵消大气造成的扭曲
B. 调整第二对镜子的镜面来抵消大气造成的扭曲
C. 调整两个数码相机来抵消大气造成的扭曲

第5课 水库大坝的创新奇迹

【创新学习简答题】

- 想象创新发明法简介。
- 中国三峡大坝建造集成了哪些重大创新成就？

【选择题】

- 5-1** 在 19 世纪英国的诺森伯兰，醉心于发明的企业家阿姆斯特朗勋爵在他的庄园里创先使用的发电方法是_____。
- A. 水力发电 B. 火力蒸汽发电
C. 马拉转动发动机发电
- 5-2** 三峡水坝创造了世界上规模最大的水利发电站，共有_____台发电机，发电总量足以供 6000 万人使用。
- A. 25 B. 32 C. 40
- 5-3** 在法国修建马维日水坝发电站时，采用了河水改道的方法来排水建造，为了防止河水回流，采用的方法是_____。
- A. 修建地下排水隧道
B. 修建左右两边穿山排水隧道
C. 修建围堰来挡水
- 5-4** 三峡大坝在修建时，为了把水排开进行施工，采用的方法是_____。
- A. 把长江水改道

- B. 开放河道的一部分，另外部分用围堰围起来进行施工
C. 修建沉箱型水下空间进行施工
- 5-5** 利用混凝土修建大坝，会在内部产生大量的热量，为了能够尽快散热，兴建胡佛大坝的美国工程师法兰克·科洛采用的创新方法是_____。
- A. 先冷却骨料、建材、砂石，再混合冰块进行提前冷却降温
B. 用小砌块进行堆砌并在内部铺设水管灌水降温
C. 整体一次性灌注完毕，但在内部铺设大量水管灌水降温
- 5-6** 为了能够尽快散去巨大混凝土建筑的内部热量，三峡大坝的建造者采用的创新方法是_____。
- A. 先冷却骨料、建材、砂石，再混合冰块进行提前冷却降温
B. 用小砌块进行堆砌并在内部铺设水管灌水降温
C. 整体一次性灌注完毕，但在内部铺设大量水管灌水降温
- 5-7** 如果水库漫溢，水坝就会因为堤趾冲刷的破坏而爆裂，1933 年美国工程师在兴建大谷力水坝时，采用的防范方法是_____。
- A. 把坝底设计成一道混凝土斜坡来销蚀水下冲的能量
B. 加长水坝的落水坡来消减落水的破坏力
C. 在排水口安装了混凝土导槽，把水射向空中裂成小水珠
- 5-8** 为了确保三峡大坝不被冲过的洪水造成堤趾冲刷的损坏，并能够有效销蚀落水下冲的能量，采用的创新防护方法是_____。
- A. 把坝底设计成一道混凝土斜坡来销蚀水下冲的能量
B. 加长水坝的落水坡来消减落水的破坏力
C. 在排水口安装了混凝土导槽，把水射向空中裂成小水珠
- 5-9** 克拉斯诺亚尔斯克水坝，会阻挡叶尼塞河上

的航运交通，为了让船只继续通行，工程师采用的创新方法是_____。

- A. 利用垂直升船机把船只从坝底升到坝顶
- B. 利用快速垂直升船机和船闸举起船只
- C. 利用液压斜坡钢槽把船只从坝底推到坝顶

5-10 长江是中国很重要的航运水路，为了保持航运畅通，三峡大坝采用的创新做法是_____。

- A. 利用垂直升船机把船只从坝底升到坝顶
- B. 利用快速垂直升船机和船闸举起船只
- C. 利用液压斜坡钢槽把船只从坝底推到坝顶

5-11 即使有好几台轮机还没有启动，三峡大坝的发电量仍稳居世界之冠，兴建三峡大坝的主要原因是_____。

- A. 管理洪水，防治严重的长江水患
- B. 提供干净的能源
- C. 保护长江流域的生态环境

5-12 三峡大坝会形成数以吨计的沉淀淤泥或沉淀物，危及水库本身安全并影响下游生态环境，采用的创新解决方法是_____。

- A. 利用洪水的力道把沉淀物冲往下游
- B. 利用清淤船只来运走淤泥或沉淀物
- C. 每十年定期清理一次淤泥或沉淀物

第6课 隧道的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 问题创新发明法简介。
2. 哥达基线隧道建造集成了哪些重大创新成就？

【选择题】

6-1 在19世纪英国的伦敦，在泰晤士河下修建泰晤士隧道时，为了防止挖掘过程中的塌方，工程师布鲁内尔采用的创新方法是_____。

- A. 隧道盾牌
- B. 利用结实的黏土层
- C. 压力喷浆

6-2 在哥达基线隧道的挖掘过程中仍然使用工程师布鲁内尔的技术，此外为了快速强化隧道外壁，采用的创新方法是_____。

- A. 长钢梁制成的钢拱

B. 利用钢架与大山形成对抗力

C. 压力喷浆

6-3 1833年，在修建博克斯隧道时，为了穿过博克斯山坚硬的石灰岩，工程师布鲁内尔采用的创新方法是_____。

- A. 在山两头爆破挖掘
- B. 开钻深并向两头爆破挖掘
- C. A+B

6-4 在哥达基线隧道的挖掘过程中，为了能够实现精确爆破，不出现失误，采用的钻洞放炸药的方法是_____。

- A. 利用定向爆破来控制
- B. 利用巨无霸机器来操控
- C. 利用激光控制爆破挖掘方向

6-5 在19世纪末的利物浦，在修建默西河隧道时，为了在挖掘中保护工人的安全，工程师弗朗西斯·福克斯采用的创新机械是_____。

- A. 隧道巨无霸机器
- B. 隧道盾构机
- C. 隧道镗床

6-6 在哥达基线隧道的挖掘过程中，在隧道挖掘机上最主要的挖掘部件是宽度接近10米的_____。

- A. 钻头机械臂
- B. 切割刀片
- C. 切割转盘

6-7 1905年瑞士在修建辛普朗隧道时，为了保障良好通风，工程师勃兰特采用的创新方法是_____。

- A. 开凿竖井用巨型风扇通风
- B. 沿着隧道铺设管道用巨型风扇通风
- C. 连通两条隧道用巨型风扇通风

6-8 在哥达基线隧道的挖掘过程中，隧道内的温度高达45摄氏度，为了降温，他们最终所采用的有效方法是_____。

- A. 用冷水通过冷却器降温
- B. 安装冷冻机降温
- C. 开凿竖井用巨型风扇通风

6-9 1987年，在英法两国从两边同时挖掘英吉利海峡隧道时，为了保持在白垩岩层内挖掘，并在中部精确会合，采用的创新方法是_____。

- _____。
- A. 利用超声波来引导隧道镗床
B. 利用 GPS 来引导隧道镗床
C. 利用激光来引导隧道镗床
- 6-10** 2005 年 6 月，在哥达基线隧道的挖掘过程中，一台镗床开进一条断层线，被困在碎石之下，他们最终所采用的创新解决方法是_____。
- A. 放弃镗床，重新改变挖掘路线
B. 先将碎石凝固，然后爆破取出镗床改道而行
C. 先将碎石凝固，然后爆破后令镗床继续前进
- 6-11** 哥达基线隧道中，为了在火车发生火灾时乘客能够安全逃生，他们所采用的创新方法是_____。
- A. 修建两座紧急火车站
B. 每隔 2 千米修建一个逃生竖井
C. 两条隧道之间每隔 1 千米有一个逃生通道
- 6-12** 在哥达基线隧道中，在发生火灾的情况下，为了防止浓烟伤害乘客的生命，他们所采用的创新解决方案是_____。
- A. 在逃生通道安装巨大的排气风扇
B. 在逃生通道配备足够的防毒面具
C. 向逃生通道释放强风

第 7 课 运输机的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 确定目标创新发明法及其主要特点。
2. 安托诺夫 124 运输机的建造集成了哪些重大创新成就？

【选择题】

- 7-1** 为了提高飞机的推力，伊戈尔·西科斯基在世界上第一架运输机穆罗梅茨号上采用的创新方法是_____。
- A. 改进引擎
B. 增加引擎
C. 改变机翼的外形
- 7-2** 为了防止引擎出故障后导致飞机盘旋失控，

除了让引擎更靠近飞机外，西科斯基还采用_____的方法。

- A. 在飞机尾部加装方向舵
B. 增加应急备用引擎
C. 改变机翼的外形
- 7-3** 大型双翼飞机的钢缆结构会带来巨大的空气阻力，为了解决这种问题，雨果·容克斯创新设计了_____型飞机“容克斯 G-38 号”。
- A. 双扑翼型
B. 双翼分装型
C. 厚单翼型
- 7-4** 世界上最大的安托诺夫 124 运输机，机翼长度超过了_____米长，制造的材料采用的是_____。
- A. 60，钢
B. 70，铝
C. 80，钛
- 7-5** 为了能够保障横越大西洋航线的“飞剪号”飞机乘客的安全，泛美航空公司采纳了波音公司的非传统设计方案是_____。
- A. 双扑翼型
B. 为乘客配备了水上救生衣
C. 把飞机按照船来设计
- 7-6** 1947 年，波音公司设计的“飞剪号”飞机受到了真正的考验，在横越大西洋的途中迫降在海上之后，在风暴中仍然漂浮了_____。
- A. 24 小时
B. 36 小时
C. 48 小时
- 7-7** 德国创新制造的世界最大的运输机梅塞施密特巨人号，在设计飞机降落时的减震防弹起降轮时所获得的创新灵感来自_____。
- A. 火车前端的减震器
B. 轮船靠岸时的减震器
C. 汽车橡胶轮胎的减震作用
- 7-8** 安托诺夫 124 运输机之所以能够在承载重物时平稳降落，全靠特殊的起落架才能实现，起落架上最主要的缓冲装置是_____。
- A. 支撑杆活塞
B. 支撑杆弹簧
C. 24 个轮子的橡胶轮胎
- 7-9** 为了能够实现大型运输机在空中打开舱门空投货物，并能够保障机身不被风力损毁，C5 银河号运输机采用的创新设计方案是_____。
- A. 机舱采用分仓设计提供内部支撑

- B. 在机身内部安装支撑龙骨
C. 在原机身上方加装第二个密封机身
- 7-10** 为了能够把火车车厢从高大的安托诺夫 124 运输机顺利平稳地装上和卸下, 采用的创新装卸方法是 _____。
- A. 利用巨型滑轮车组
B. 让安托诺夫 124 运输机采用跪姿
C. 把安托诺夫 124 运输机舱底整个卸下
- 7-11** 1989 年, 为了能够空运巨大的暴风雪号航天飞机, 安托诺夫 124 运输机采用的创新载运方案是 _____。
- A. 加大机舱容积来运送航天飞机
B. 利用牵引绳拖运航天飞机
C. 把航天飞机架在安托诺夫 124 运输机的背上空运
- 7-12** 在安托诺夫 124 运输机空运航天飞机时, 为了能够避开航天飞机造成的空气乱流, 并利用方向舵有效操控飞机航向, 采用的创新方案是 _____。
- A. 把方向舵转移到机尾的下方
B. 把方向舵在机尾的原位置之上加高
C. 把方向舵一分为二设置在尾部乱流之外

第 8 课 电视塔的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 模拟创新发明法简介。
2. 广州塔的建设集成了哪些重大创新成就?

【选择题】

- 8-1** 华盛顿纪念碑塔最初建造的 50 米高度, 由于塔基之下地质相对松软, 造成塔身倾斜, 军事工程师托马斯的后续建造方案为 _____。
- A. 保持倾斜加固塔基, 继续造世界上第二座斜塔
B. 挖走一边的土壤, 把塔扶正后继续建造
C. 挖走一边的土壤把塔扶正, 再在塔基下开挖隧道用混凝土加固
- 8-2** 广州塔的高度比华盛顿纪念碑高 3 倍以上, 广州塔的塔基建造的独特创新之处在于

_____。

- A. 塔基建造得更深, 底座直接建在基岩上
B. 塔基的四周建造了很多扶壁来加固塔身
C. 在混凝土芯墙周围环绕建造很多用混凝土浇铸的竖井和一道环形混凝土梁
- 8-3** 在巴黎建造埃菲尔铁塔的初期, 为了铁塔不倾斜, 必须精确地摆放 4 个巨大的支架, 工程师埃菲尔采用的创新方法是 _____。
- A. 巧妙地利用沙箱
B. 巧妙地利用水漏
C. 巧妙地利用液压平衡
- 8-4** 在建造埃菲尔铁塔的最高部分时, 埃菲尔采用的向高处运送钢铁部件的创新方法是 _____。
- A. 利用滑轮组逐级向上运送部件
B. 在塔旁边建造辅助建筑来传递部件
C. 两架起重机背靠背衔接并逐渐升高
- 8-5** 广州塔之所以既拥有纤细细腰又拥有足够的支撑强度, 设计师的创新灵感是来自自然界中 _____ 的启发。
- A. 大树
B. 竹子
C. 人类的腿骨
- 8-6** 为了增加广州塔纤细细腰部分的支撑强度并更加坚固, 建筑工程师所采用的创新方法是 _____。
- A. 钢圆柱内侧增加钢环梁形成格栅结构
B. 把钢环梁集中在最纤细的地方
C. 把纤细细腰部分的钢圆柱加粗
- 8-7** 高速行进的风, 会以数千吨的力量推挤高塔, 为了使得西恩塔足够坚固, 工程师决定创新使用 _____ 来建造。
- A. 钢铁格栅结构
B. 钢铁和坚固的石材组合
C. 钢筋混凝土
- 8-8** 为了增加西恩塔的抗风强度, 设计者采用的创新方法是 _____。
- A. 在塔的中心建造钢筋混凝土核心筒
B. 用长长的钢缆穿过混凝土竖井通向塔底拉紧

- C. 先建造好格栅状钢架结构然后用混凝土灌注
- 8-9** 拥有纤细细腰的广州塔虽然看起来弱不禁风,但一项特殊设计使它足以抵御大自然的强风,那就是_____。
- A. 它的不规则造型和格栅开放式结构
B. 建造在顶部的巨大的摆锤减震器
C. 环绕广州塔四周的钢圆柱
- 8-10** 台风对广州塔来说也是一个巨大威胁,在广州塔的顶部隐藏着一个对抗台风的利器,即_____。
- A. 巨大的摆锤减震器 B. 水槽减震器
C. 油压阻尼器
- 8-11** 为了避免火灾,广州塔共设计了三道防线,在大火燃起时,第一道防线会采用_____进行灭火。
- A. 灭火机器人喷水
B. 红外感应喷头喷水
C. 感应灭火器喷射干冰
- 8-12** 为了避免火灾,广州塔共设计了三道防线,在有浓烟产生时,第二道防线是_____系统,会把浓烟吹出逃生核心筒通道。
- A. 智能排风 B. 智能驱烟
C. 智能通风
- 8-13** 为了避免火灾,广州塔共设计了三道防线,在火灾发生时,逃生的人可以顺着楼梯进入第三道防线,_____,等待救援。
- A. 快速逃生滑梯 B. 应急逃生通道
C. 分布在塔内每层的避难区
- A. 利用火箭推动 B. 利用喷气推动
C. 利用螺旋桨推动
- 9-2** 为了给国际空间站提供动力,空间站需要经常校对位置,使得太阳能板保持面向太阳,做到这些微调所采用的方法为_____。
- A. 火箭推动力 B. 航天飞机的推动力
C. 陀螺仪
- 9-3** 美国天空实验室需要与休斯顿航天中心保持不间断通信,美国国家航空航天局采用的创新方法是_____。
- A. 利用分布在全球的11个通信基站
B. 利用陆上的通信基站和海上通信船
C. 利用通信飞机
- 9-4** 在今天的国际空间站,与地面保持不间断通信的方法为_____。
- A. 利用分布在全球的11个通信基站
B. 利用陆上的通信基站和海上通信船
C. 利用地球通信卫星
- 9-5** 1975年美苏太空合作开始,两国的宇宙飞船将在太空进行对接,为了完成两艘飞船间的压强过渡,采用的创新方法为_____。
- A. 美国飞船内缓慢过渡增压
B. 苏联飞船内缓慢过渡降压
C. 两艘飞船间安装一个减压舱
- 9-6** 美苏两国的宇宙飞船在太空成功对接之后,宇航员在两艘飞船间进行压强过渡需要等待的时间大约为_____。
- A. 2小时 B. 3小时 C. 4小时
- 9-7** 在空间站中,航天员用水的主要来源是废水回收循环利用,空间站的回收系统,可以回收高达_____的由航天员产生的废水。
- A. 85% B. 94% C. 98%
- 9-8** 在国际空间站中,航天员呼吸所需要的氧气的来源是_____。
- A. 化学分解二氧化碳
B. 航天飞机运送来的压缩液态氧
C. 电解水
- 9-9** 苏联和平号空间站的质量达130吨,无法用火箭一次发射升空,为了能够成功建造,苏

第9课 空间站的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 希望点列举创新发明法。
2. 国际空间站的建造集成了哪些重大创新成就?

【选择题】

- 9-1** 苏联的礼炮号空间站是世界上第一个空间站,为了使空间站的速度保持轨道速度,从而保持高度,苏联采用的创新方法为_____。

联采用极其大胆的创新方案是_____。

- A. 分3部分分别运送,由航天员进行太空拼接
- B. 分4部分分别运送,由航天员进行太空拼接
- C. 分6部分分别运送,由航天员进行太空拼接

9-10 空间站的组装需要航天员经常出仓作业,为了解决脐带式航天服的限制和不足,苏联的设计师采用的创新方案是_____。

- A. 利用活动背包取代脐带式求生索
- B. 特制的航天服不再需要脐带
- C. 利用太空座椅取代脐带式求生索

9-11 国际空间站由于体积巨大,会更容易受到太空垃圾碎片的撞击,对于大块的垃圾碎片,美国国家航空航天局的做法是_____。

- A. 用雷达追踪,并引导空间站及时打开防护盾板
- B. 给空间站外部增加一层保护罩
- C. 用雷达追踪,并引导空间站避开

9-12 国际空间站由于体积巨大,会更容易受到太空垃圾碎片的撞击,对于微小的垃圾碎片,不容易被发现,采取的保护方法是_____。

- A. 给空间站外部增加分层保护罩
- B. 给空间站外部增加一层坚固的保护罩
- C. 给空间站的玻璃窗户安装了窗门

第10课 机场的创新奇迹

【创新学习简答题】

1. 缺点列举创新发明法。
2. 英国的希思罗国际机场的建造集成了哪些重大创新成就?

【选择题】

- 10-1** 1920年,克罗伊登机场为了避免飞机空中碰撞事故的发生,创新发明了航空管制技术,要求所有朝机场前进的飞机都要必须_____。
- A. 发出无线电波报
 - B. 发出闪烁灯光信号

C. 发出红绿黄三色灯光

10-2 希思罗国际机场5号航站楼的建筑很高,需要在机场正中央建造新的更高的地面瞭望塔台,为了不影响繁忙机场运行,采用的创新建造方法是_____。

- A. 把新塔台直接建造在5号航站楼之上
- B. 在机场外分块建造新塔台,然后再到预订位置组装
- C. 在机场外建造新塔台,然后再整体迁移到预订位置

10-3 世界上第一座运营的机场航站楼是莫里斯·雅克曼为伦敦盖特威克机场的旅客创新设计的_____航站楼。

- A. 长方形
- B. 椭圆形
- C. 蜂巢形

10-4 为了应对机场的繁忙并且能够保证飞机通航彼此不影响,希思罗国际机场5号航站楼采用的创新设计形状为_____。

- A. 一个巨大蜂巢圆形
- B. 把6个小型圆形航站楼连接在一起
- C. 长方形的吐司架形

10-5 传统的飞机跑道无法满足喷射式飞机的要求,芝加哥奥黑尔国际机场为了提高飞机跑道的强度,最初采用的费时且昂贵的方法为_____。

- A. 将钢制的框架埋在了柏油跑道下
- B. 将钢制的框架埋在了混凝土中
- C. 利用滑膜混凝土摊铺机

10-6 全球最大的客机空中客车A380满载时,质量可达560吨,一般的混凝土会被A380碾裂,希思罗国际机场采用的创新跑道铺设方法为_____。

- A. 将跑道铺设的厚度达到1米以上
- B. 将铺设跑道的钢筋密度增加一倍
- C. 用新型混凝土来建造跑道

10-7 机场越建越大,达拉斯爱田机场为了能够把旅客快速运送到航站楼,首次安装使用了电动通道,创新灵感来自_____。

- A. 挖煤场
- B. 采石场
- C. 淘金矿厂

10-8 为了能够把旅客快速运送到航站楼,希思罗

- 国际机场 5 号航站楼装设了一套创新而且极具实验价值的运输系统 PRT，也就是 _____。
- A. 旅客快速运送系统
B. 个人快速公交系统
C. 智能快速电动客运系统
- 10-9** 为了提早制止劫机者，保护飞机乘客安全，亚特兰大机场从锯木厂获得启发，创新使用了 _____ 来探测乘客携带的危险物品。
- A. X 光机
B. 红外感应器
C. 金属探测器
- 10-10** 现代有一种技术可以对付非金属炸弹，拱道侦测器利用 _____ 来发现并检测出乘客身上的微量爆裂物。
- A. 空气喷流
B. X 光机
C. 感应电子鼻
- 10-11** 由于行李数比旅客数还多，洛杉矶国际机场为了大幅革新运送行李的技术，终于找到了能够分类运送行李的有效方法，即 _____。
- A. 条形码识别分类技术
B. 莫尔斯码识别分类技术
C. 红外激光双重识别分类技术
- 10-12** 希思罗国际机场 5 号航站楼每小时能够处理 4000 多件行李，行李系统规模庞大，极具创新发明科技奇迹的 _____，可以在 15 分钟就能将行李从签到台送上飞机。
- A. 高速签到台
B. 高速行李系统
C. 早期行李储存设备
- 10-13** 100 年前，航空业的出现，一开始就是为了 _____，现在航空业已经成为全球产业，机场在发展的同时已经失去了这个灵魂。
- A. 给富豪名流提供冒险的机会
B. 给交通运输提供更快的途径
C. 让更多人实现飞上蓝天的梦想
- 10-14** 希思罗国际机场 5 号航站楼是一座高科技建筑，但其简单的形状可能会成为其他机场效仿的对象，其内部空间的 _____ 极高，可以随时顺应将来机场内部的作业形态的变化。
- A. 可塑性
B. 整合性
C. 灵活性

第 2 章

航空母舰创新百年篇

航空母舰，简称“航母”，是一种以舰载机为主要作战武器的大型水面舰艇，可以提供舰载机的起飞和降落。现代航空母舰是高科技的产物，是以舰载作战飞机为主要武器，并整合通信、情报、作战信息、反潜、反导装置及后勤保障为一体的大型海上战斗机移动基地平台。航空母舰的舰体通常拥有巨大的甲板和舰岛，舰岛大多坐落于右舷。

在战争中，航空母舰一般总是一支航空母舰战斗群的核心舰船。舰队中的其他船只为其提供保护和供给，而航母则提供了空中掩护和远程打击能力。航空母舰大致可分为攻击型航空母舰和多用途航空母舰，第二次世界大战结束后，随着科技的进步和作战思想的改变，美国把航母的作战类型全部综合到一艘航母上，即多用途航空母舰；按排水量的大小来划分的话，可分为大型航母（排水量 6 万吨以上），中型航母（排水量 3 万 ~ 6 万吨）和小型航母（排水量 3 万吨以下）；按动力装置来划分，可分为核动力航空母舰和常规动力航空母舰。

发展至今，航空母舰已经成为现代海军中不可或缺的武器，也是海战最重要的舰艇之一。依靠航空母舰，一个国家可以在远离其国土的地方、在不依靠当地机场的情况下施加军事压力和进行作战。航空母舰已是现代海军不可或缺的利器，也成为一个国家综合国力的象征。经过 100 多年的发展，许多国家已经拥有了航母。现在拥有航母数量最多的还是美国，除美国之外，俄罗斯、意大利、巴西、印度、西班牙、泰国、中国也都拥有不同型号的航母。另外，截至 2021 年，法国是除美国外唯一拥有核动力航母的国家。这 100 多年来，航空母舰到底是怎样一步步发展蜕变，直到发展成今天这个样子的？这 100 年来，人们又是怎么看待航母的呢？

2.1

航空母舰的起源

人类关于航空母舰的最初梦想来自一向富有创意的法国人。1909年法国人克雷曼·阿德第一次向世界描述了飞机与军舰结合这个颇具想象力的创新梦想。他在1909年出版的《军事飞行》一书中首次提出了航母的基本概念和制造航母的初步设想，并第一次使用了航空母舰这一概念。

1910年11月14日，美国人开始尝试着实践这一创新的设想。军方的实验小组在轻型巡洋舰伯明翰号的前甲板上铺设了一条长25.3米、宽7.3米的木质飞行跑道。飞行员尤金·伊利驾驶一架单人双翼飞机在这条特制跑道上迎风而起。1911年1月18日，还是飞行员尤金·伊利驾驶飞机，在重巡洋舰宾夕法尼亚号上完成了成功降落。这两次起飞与降落试验的成功，奠定了航空母舰作为一种新型舰种的技术基础。

1917年是航空母舰发展史上十分重要的一年，这一年英国海军决定建造航空母舰。百眼巨人号是英国造船商为意大利造的一艘客轮，开工不久即被英国海军买下，准备将其改建成一艘航空母舰。改建工作自1917年开始，船上原有的烟囱被拆除，设计人员重新设计出从主甲板下面通向舰尾的水平排烟道，从而清除了妨碍飞机起降的最大障碍——烟囱。飞机跑道前后贯通，形成了全通式的飞行甲板，极大地方便了舰载机的起降作业。这种结构的航母被称为平原型。百眼巨人号初显了现代航母的雏形，但在改建过程中遇到的最大难题就是不定常涡流的问题。正当英国的造船专家们无计可施之时，一名海军军官想出一个奇妙的创新办法，这个办法就是把舰桥、桅杆和烟囱统统合并到上层建筑中去，然后把整个建筑的位置，从飞机甲板的中间线移到右舷上去，这样起飞甲板和降落甲板就能连为一体，而不定常涡流的影响也将不复存在。这位海军军官把自己的高招称为岛式设计。1918年5月，百眼巨人号的改装工程彻底完工。百眼巨人号的标准排水量为14450吨，最大航速20节，可搭载飞机20架。百眼巨人号的舰载机采用了一种原来在陆地起降的鱼雷攻击机，它有折叠式的机翼，能携带450千克重的457毫米鱼雷，具有很强的进攻能力。1918年9月，该舰编入皇家海军的作战训练。然而由于当时第一次世界大战已经接近尾声，匆忙服役的百眼巨人号尚未来得及接受战火的洗礼，战争便已经结束了。

而世界上第一艘真正意义上的航空母舰，却是被日本海军捷足先登。1922年12月日本建成的凤翔号航空母舰，由于它不是改装的，因此被认为是世界上设计制造的第一艘航空母舰。这种全通式飞行甲板、上层建筑岛式结构的航空母舰成为后来各国航空母舰的样板，这一时期可以说是航空母舰的初创阶段。

所以人类最初的航母梦想是由法国人提出，经过美国、英国、日本等国的大胆实践，

最终成型。从航母的起源以及后期的发展来看，航空母舰的发展一直都贯彻了需求牵引和技术推动这两个特点。第一次世界大战有了军事需求，拉动了这样的航空业的发展。

2.1.1 英国的创新改装航母

航空母舰最早的雏形——水上飞机母舰

在第一次世界大战前，水上飞机首先被用于海上侦察。各国海军都喜欢使用这种飞机，因为它能非常方便地在水面上进行起飞和降落。但是水上飞机的装载和运输一直是一个大问题。因为早期的水上飞机只能被置于船的后边，由船只来牵引拉动，所以一旦遇上恶劣天气，缺少保护的水上飞机就有进水、发生倾覆的危险。1912年，英国海军把一艘老旧的巡洋舰改装成了世界上第一艘可容纳飞机的船只。后来英国海军又征用了3艘在英吉利海峡营运的渡轮，并把它们全部改装成可以装载水上飞机的军舰，这种船只后来被称为水上飞机母舰。它是航空母舰最早的雏形。

暴怒号

在第一次世界大战中，英国是唯一拥有舰载水上飞机的参战方。英国军方提出将水上飞机用于作战，并要搭配保护它的战斗机。由于有这种需求的拉动，就不能再只使用没有飞行甲板、无法供空战能力更强的战斗机起飞的水上飞机母舰，必须重新设计另一种新军舰，这即是后来出现的航空母舰。1917年6月，英国皇家海军暴怒号巡洋舰在建造过程中改变原有设计，将舰艏部分上层建筑全部移除，转而铺设69.5米长的甲板供飞机起飞，这使暴怒号成为第一艘可以起降固定翼飞机的船只（图2.1.1）。不过起飞后的飞机无法再返回母舰，只能去陆地的机场寻求着陆。



图 2.1.1 1918 年二次改造完成后的暴怒号航空母舰

1917年8月2日，英国海军少校、暴怒号海军航空兵指挥官欧内斯特·邓宁驾驶“幼犬”战斗机，创新采用与军舰平行飞行、侧滑着陆的方式降落到航行中的暴怒号前甲板上，地勤人员抓住了机翼后缘使飞机停了下来。这成为世界上首次飞机在航行中的军舰上成功降落的尝试。几天之后，当邓宁少校再次试图尝试这种危险的降落方法时，飞机失控翻出军

舰，坠入海中，邓宁不幸溺死海中以身殉职。1918年4月，英国对暴怒号完成了二次改装，将其后主炮和后桅拆除，在后部加装了86.6米长的飞行甲板。这样，以中部上层建筑为界，前部甲板用于飞机起飞，后部甲板用于飞机降落，飞机可以互不干扰地同时进行起降作业。尽管如此，暴怒号仍然不具有全通飞行甲板，飞机降落仍然十分困难。所以，当时的暴怒号还是一艘很不完善的航空母舰。

百眼巨人号

历史上第一艘安装全通飞行甲板的航空母舰是由一艘建造中的客轮卡吉林号改建的英国百眼巨人号航空母舰。它的改造于1918年9月完成。飞行甲板长168米，甲板下是机库，有多部升降机可将飞机升至甲板上。1918年7月19日，7架飞机从百眼巨人号航空母舰上起飞，攻击德国停泊在同德恩的飞艇基地。这是历史上第一次从母舰上起飞飞机对敌方进行的攻击。

竞技神号

1917年7月，英国开始建造一艘具有“纯正血统”的航空母舰，并将其命名为竞技神号（又译作赫尔墨斯号，图2.1.2），用来纪念航母的鼻祖——世界上第一艘水上飞机母舰竞技神号。其完工服役日期晚于日本的风翔号航空母舰。英国在第一次世界大战中大伤元气，后来又选择了两艘大型巡洋舰勇敢号和光荣号作为被改装成航母的军舰。1930年，英国建造的“皇家方舟号”航空母舰采用了全封闭机库、一体化的岛式上层建筑、强力飞行甲板、液压弹射器，被誉为“现代航母的原型”。



图 2.1.2 英国竞技神号航空母舰

2.1.2 美国航母的早期发展

兰利号

美国的第一艘航空母舰是1922年3月22日正式启用的兰利号航母。兰利号其实并不是一开始就以航空母舰为用途所建造的舰艇，其前身是1913年下水的木星号运煤船。

1917 美国海军看上它运载煤炭用的腹舱容量充足，因此最终将其改装为航空母舰。在改装中，木星号煤仓上甲板的上层建筑及起重机被全部拆除，从舰首至舰尾架设了 13 个单位桁架，在上面铺设了长 165.3 米、宽 19.8 米的全通飞行甲板。在甲板中心设置了一台飞机升降机。兰利号的机舱设置在军舰的尾部，原有的 6 个煤仓中的 4 个被改成飞机库，其余的被改成航空汽油库、弹药库和升降机械室。

第一次世界大战后，1922 年各海军强国签署的《华盛顿海军条约》严格控制了战列舰的建造，但条约准许各缔约国利用 2 艘战列舰改建为排水量 3.3 万吨的航空母舰。当时，作为东道主的美国正在建造 6 艘排水量为 43200 吨的南达科他级战列舰。而美国在太平洋战场上的潜在对手——日本海军对这一举动非常敏感。所以在条约签署时，日本的主要目的就是让美国放弃这 6 艘战列舰。经过反复讨价还价，美国被迫做出让步，暂停这几艘战列舰的建造。但作为交换条件，日本也必须同时放弃在建的两艘排水量 41000 吨的天城级战列舰。此次谈判导致了两国第一代大型攻击航母的诞生——日本的赤城级航母和美国的列克星敦级航母。美国的列克星敦级的两艘航母（CV2 列克星敦号和 CV3 萨拉托加号）、日本的赤城号、加贺号两艘航母，以及英国的勇敢号、光荣号、暴怒号，并称为世界七大航母。1936 年《华盛顿海军条约》期满失效后，各海军列强又展开了新一轮军备竞赛。在这一轮军备竞赛的过程中，具有军事变革思想、那些看到未来技术发展的国家坚持大力发展航空母舰的军事战略，而思想保守落后的国家却继续坚持“大炮巨舰致胜”的思想，大力发展以战列舰为主的军事战略。美国的约克城级航空母舰、日本的翔鹤级航空母舰、英国的光辉级航空母舰正是这一时期的杰作。

埃塞克斯级

航母一直不断地在创新、发展变化之中，从它诞生之初最初的样子——艏尾两段式的航母，到兰利号和百眼巨人号全通式的甲板，再到约克城级的航母，这个时候它的舰岛已经移到了船的右舷侧。

埃塞克斯级的航母是美国在历史上建造数量最多的一级航母，可以说它为盟军夺取在太平洋上的制海权，最后直逼日本的本土，起到了巨大的作用。第二次世界大战爆发前，美国已有 5 艘航空母舰。当时的战列舰仍被视为海上力量的中坚，航空母舰只是一种海上浮动机场，从上面起降的是侦察机和尚未证明其威力的攻击机。但是随着欧洲战事的爆发和日本的扩张，美国深感有加强航空母舰建造的必要。

在罗斯福总统的大力支持下，美国国会计划于 1940 年建造 11 艘埃塞克斯级航空母舰，1941 年再造两艘埃塞克斯级航空母舰。然而由于种种原因，等到日本偷袭珍珠港、太平洋战争爆发时却只有 5 艘开工。珍珠港事件导致了美国海军战略思想的彻底变化，美国国

会和政府做出了加速建造航母的决定，优先建造埃塞克斯级航空母舰。

埃塞克斯级航空母舰的标准排水量为 27500 吨，舰长 267.2 米，宽 28.4 米，舰体长宽比为 8 : 1，飞行甲板为长方形状，长 246 米。在飞行甲板前部和中后部设有升降机拦阻系统，在舰尾和舰艏各设一组拦阻索，能阻拦降落重量达 5.24 吨的舰载机。埃塞克斯级航空母舰的主要作战兵力是舰载机，机库有近百架飞机，此外还可在飞行甲板上停放飞机。军舰可搭载飞机 100 多架，编制舰员 3442 人，其中军工 382 人。埃塞克斯级航空母舰的水下防护和对空火力都有所加强，舰体分割更多的水密舱室。这种结构使埃塞克斯级航空母舰在第二次世界大战后期虽然遭受日本的鱼雷、炸弹和自杀飞机的轮番攻击，绝大部分都保存了生存能力，而且没有一艘被日军击沉，创造了海战史上的一个奇迹。

2.1.3 日本航母的起步发展

信心满满的英国海军由于拥有了世界上第一艘航母，他们完全有理由认为：他们将建成世界上第一艘纯种航母。然而皇家海军忽视了一个正在日益崛起的对手，航空母舰发展史上的又一个“后起之秀”——日本海军。日本海军之所以具有较高的发展速度，其中一个重要原因在于善于向先进的海军强国学习，善于跟踪海军建设中的最新浪潮，一旦看准就不惜血本地大力建造。

凤翔号

日本是最早关注海军航空兵和航空母舰发展的国家之一，早在 1913 年时，日本海军就曾将商船改装为水上飞机母舰，日本也成为最早拥有水上飞机母舰的国家之一。

在 1919 年 12 月 16 日，日本海军开工建造了本国第一艘航空母舰凤翔号（图 2.1.3）。凤翔号航空母舰是完全按照英国的竞技神号的思路开始设计的，改变了过去航空母舰的平原型结构，设置了一个小型右弦岛式上层建筑，并且上层建筑后方的三个矮烟囱在飞机进行起飞作业时可以被放倒。

凤翔号于 1922 年 12 月 27 日在横须贺海军船厂竣工，编入日本海军服役。由于该舰在航空发展史中第一次使用了岛式上层建筑，因而被称为第二代航母，以区别于第一代平

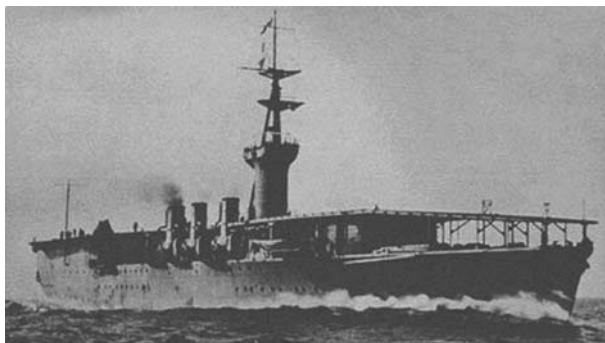


图 2.1.3 日本凤翔号航空母舰

原型航母。它在外形上已经与现代的航空母舰十分相似，这也是人类历史上第一艘专门设计制造的航空母舰。

凤翔号航空母舰的标准排水量为 7470 吨，满载排水量为 10600 吨，舰长 168.25 米，宽 18 米，飞行甲板长 168.25 米，宽 22.7 米。凤翔号的动力装置为 8 座锅炉和 2 台蒸汽机，最大航速为 25 节，可搭载舰载机 20 架，有 4 座 140 毫米火炮，2 座 80 毫米火炮。凤翔号航母的设计理念在当时是十分先进的，创新采用了岛式上层建筑。但是飞行员对于这一设计却很不满意，因为在本就狭窄的飞行甲板上安装岛式上层建筑，对于飞机的起飞造成了影响。鉴于此，在 1922 年下半年凤翔号航母上的岛式上层建筑被拆除，改装成了和英国百眼巨人号、美国兰利号一样的直通式甲板。在 1936 年时，凤翔号航空母舰后方的三个矮烟囱已被改成了固定式结构。在第二次世界大战中的太平洋战场上，因为凤翔号被作为训练舰来使用，没有直接参加战争，所以没有被击沉，在日本第二次世界大战战败投降后，凤翔号于 1947 年被拆除。

2.2

第二次世界大战中的航空母舰大海战

航空母舰的出现改变了海上作战的样式。过去的作战，就是两个舰队相遇的时候，一定要在自己的视距之内作战。航母的出现改变了这个作战理念，双方航空母舰不再见面，只有飞机见面，这个从来没有过。过去在战略舰时代，空中是没有用的，航空母舰的出现使战争的层面多出一个维度——空中，这个创新完全改变了海军的作战方式。

1941 年 12 月 7 日，从日本航空母舰上起飞的 183 架飞机偷袭了美国在太平洋上最大的军事基地——珍珠港。之前，虽然美军曾数次发现日本的潜艇和飞机，但未引起重视，而且竟然误认为是己方飞机，未加防范。日本偷袭珍珠港取得了巨大成功，使美国人遭到了沉重打击。由于日本做到了出其不意，致使美国的各艘战舰瞬间丧失了战斗力。亚利桑那号爆炸，俄克拉荷马号倾覆，加利福尼亚号和西弗吉尼亚号沉没，内华达号、田纳西号和宾夕法尼亚号全都受到了不同程度的重伤。日军飞机还摧毁了停在机场上的大量飞机，使美军造成重大伤亡。整个偷袭珍珠港期间，日本海军共出动 6 艘航空母舰，400 多架飞机。攻击行动使美国海军太平洋舰队共有 18 艘军舰被击沉或遭重创，188 架飞机被炸，159 架飞机严重损坏，美国海军官兵死亡 2403 人，失踪和受伤 2233 人。所幸的是，当时美国太平洋舰队的航空母舰并不在珍珠港内，而日本飞机的轰炸又漏掉了海军船坞里的油库和潜艇，否则美国海军的损失还要更大一些。

珍珠港事件是美国航空母舰作战史上的重要事件，由于日军创新采用了航空母舰长途偷袭的战法，取得了这次战役的成功。此时，美国战略舰部队已经不复存在，不可能再采用传统的巨舰大炮的海军战略战术，最后唯一的选择也只有被迫采用纯粹的航空母舰战术。美国海军尽管没有正式颁发文件，实际上已彻底放弃了用战略舰来作为舰队的主力舰种，转而组建的是航空母舰特混舰队。

几个月后美国的航母特混舰队就与日本人在海上遭遇了。珍珠港偷袭得手后，日本海军继续南下，准备攻占莫尔兹比港和图拉吉岛，从而控制珊瑚海处的澳大利亚。而遭到打击的美军为了给日本还以颜色，不顾海上的兵力不足，迅速向日军发起了复仇的反击。

2.2.1 珊瑚海大海战

珊瑚海大海战是人类海战史上第一次双方完全靠航空母舰的舰载机，在超视距的距离之下展开的海空大战。它是此前的巨舰大炮时代相互之间以战列舰火炮对攻的方式与此后的航空母舰互相靠舰载机之间对攻的海战模式的一个转折点，是现代海战方式与过去的分水岭。

日军偷袭珍珠港得手后，在太平洋上处于进攻态势，因而决定于1942年4月深入所罗门群岛进攻新几内亚，主要战略目标是要切断澳大利亚与美国之间的联系。日军擅于强调进攻上的先发制人，为此联合舰队司令山本五十六在进攻舰队组成上下了血本，他专门抽调日本海军最新最大的翔鹤号与瑞鹤号两艘航空母舰组成第五航空战队，参与珊瑚海海战。而美国方面这个时候虽然经过此前的一系列的海空反击战，在整个太平洋战场上，美军还没有能够扭转由于珍珠港败局所导致的极端被动的局面，主动权仍然在日本海军手里。对日本即将展开的向珊瑚海方向的进攻作战，当时美国新任海军太平洋舰队司令的切斯特·尼米兹海军上将事先就获悉了这个情报。因为在此之前的一次意外海上遭遇战中，日本的一条潜艇在布雷过程中被美军击沉了，美军在这条潜艇上获得了日军当时的密码本，也就破译掌握了日军进攻新几内亚的作战计划。所以这次日军是处在明处，美军是处在暗处。但当时美海军手中的兵力捉襟见肘，太平洋舰队拥有的五艘大型航空母舰中，萨拉托加号刚被日本潜艇击成重伤，正在美国本土维修，几个月内不可能修好，企业号和大黄蜂号航空母舰去执行轰炸东京的任务还没有回来。但反击决心已定的尼米兹派出了手中仅有的列克星敦号与约克城号两艘航母组成第17特混舰队，由弗莱彻海军少将统一指挥前往珊瑚海，迎战来势汹汹的日军，人类海战史上第一次超视距海战由此正式打响。

珊瑚海大海战中的超视距对攻

海战的第一天。1942年5月7日，珊瑚海海战的第一天，美日双方的主力部队都在茫茫大海上寻找着对方。尽管双方航空母舰都派出了侦察机进行大范围的侦查，但双方都没能发现彼此，即双方作战主力没有打到一块。战争伊始，日军出动的舰载机偶然发现并击沉了美军作为补给舰船的一艘大型油船以及一艘护航的驱逐舰。而美军也未能找到日军第五航空战队的主力航母翔鹤号与瑞鹤号，但却意外发现了为日军登陆作战部队担任护航任务的翔凤号轻型航空母舰。美军第17特混舰队牢牢抓住战机，从列克星敦号与约克城号两艘大型航母上分别派出数批舰载机发起进攻。这是美军在太平洋上第一次发现日本人的航空母舰，也是第一次对日军航母发起进攻。凭借明显的实力优势，美军两艘大型航母对翔凤号轻型航母大开杀戒，创造了第一次击沉日本航母的纪录。

海战的第二天。1942年5月8日上午，日本航空母舰翔鹤号上起飞的侦察机发现了美国第17特混舰队，双方的航母大战——航母舰载机的彼此攻击由此拉开序幕。美军列克星敦号上起飞的43架飞机和约克城号起飞的39架飞机攻击日军航母，翔鹤号不幸命中三枚炸弹，受到严重破坏，被迫退出战场。但瑞鹤号航母的受攻击结果就完全不同，因为它所在区域的天空乌云密布，导致美军舰载机始终没能有效发现目标并进行攻击，这让瑞鹤号航母在整个战斗结束后几乎毫发未损。与此相对的受到日军舰载机攻击的两艘美国航母结局就很悲惨，列克星敦号与约克城号两艘航母的上空都是晴空万里，这为发起攻击的日军68架舰载机创造了极为有利的进攻条件。经受了数番打击后，列克星敦号航母命中两枚鱼雷、两枚炸弹，并引发了舰身的强烈爆炸。到下午美军不得不自己发射5枚鱼雷将其炸沉。约克城号航母也被日军舰载机击成重伤。所以在5月8号的战斗中，日军的战果是远远超过美军的。

从战术角度来讲，日本人毫无疑问是占了便宜的。日军以损失了一艘翔凤号轻型航空母舰为代价，把对方的两艘大型航空母舰列克星敦号和约克城号一艘击沉、一艘重创，而自己仅有翔鹤号被击伤，瑞鹤号几乎毫发未损。所以这个时候的日本海军是有能力继续追歼，甚至全歼美国海军的第17航空特混舰队的。但是日本海军的战场指挥官缺乏“宜将剩勇追穷寇”的作战理念和作战精神，而是以匆匆退出了珊瑚海而结束了这场战役。

珊瑚海大海战中的得与失

珊瑚海海战结束之后，日军方面的战果相对更胜一筹。但在接下来的中途岛海战中，直接导致日军兵败的主要原因是日军在修理受伤战舰、补充舰载机以及补充战斗人员方面与美军比存在巨大的差异。

日军方面：珊瑚海海战结束后，受伤的翔鹤号航母接受修理要用几个月的时间，不能参加战斗。其实航母本身没有问题，但在战斗中它损失的舰载机及飞行员却无法在短期内得到补充，导致它在数月内无法有效参战，而在日军进攻中途岛的计划中，这两艘航母按照原计划是担当重任的。日本有限的修理及战时供应能力，让南云忠一在即将开展的中途岛决战中损失了三分之一的兵力。

美军方面：美国方面的情况则完全不同于日军。遭受重创的约克城号航母艰难返回珍珠港后，尼米兹上将就命令修理及后勤部门全面动员奋力抢修。在正常状态下修理好受到重创的约克城号航母通常需要3个月的时间，结果美国人仅用3天时间便修理好了约克城号，让其回归大海，重返战斗岗位。虽然美国方面在战术上表面看来是处于劣势，但凭借着强大的造船能力和修理能力，让他在即将展开的中途岛海战中，在与日军的兵力对比上创造了一个最佳的条件。

2.2.2 中途岛大海战

中途岛是夏威夷和珍珠港的西大门，控制了中途岛才能保证珍珠港和夏威夷的安全，而有了珍珠港和夏威夷才能保证美国本土西海岸的安全，也正因为如此，日本选择了中途岛作为攻占的目标。

由于中途岛的重要地理位置，美国方面是绝对不会放弃的，所以一旦日本人集中主力进攻中途岛，美国一定会全力来救，这就促成了日本歼灭美国太平洋舰队主力最后的有利战机。所以山本五十六才会不惜以辞职相威胁，也要强行通过进攻中途岛的战略计划。就在日本军队各方力量在为是否实施攻打中途岛的计划而争论不休之时，美国为报复日军偷袭珍珠港事件而制订轰炸东京的报复计划已经开始实施。美国海军由企业号航母护航，由大黄蜂号航母搭载的轰炸机中队，开始了执行轰炸东京的行动。

美军之所以在中途岛海战的决战时刻能够集中绝对优势的兵力，一举击沉了日军的大型航空母舰，很重要的一个原因就是他的战场侦察能力。美军战场侦察的组织远胜于日军，这绝对不仅是密码的问题，日军在这方面确实明显不足，他不太重视战场情报信息的获取，不太重视战前战役侦察和战术侦察的组织和实施。从中途岛海战双方的总体兵力对比来看，日军无论是航空母舰、战列舰还是作战飞机的数量上都是占有绝对优势的，但双方投入战场侦察的兵力、侦察机，尤其是航程比较远的陆基侦察机，日军的数量远远少于美国人。日本离开自己的基地远征去打中途岛，那里对他们来说是生疏的地形、生疏的海防，如果不注重组织战场侦察，就必然会吃亏。

美军空战中的创新战法——“萨琪穿梭”

“萨琪穿梭”创新战法产生的背景。在太平洋天空中，日本的零式战斗机一直占据着霸主的地位。美军航母上的 F-4F 野猫战斗机和零式战斗机比起来，无论是在速度、机动性、爬升速率比及活力等方面都毫无优势，这些对战机来说都是很重要的因素。

当时美军一个野猫飞行中队中队长吉米·萨琪非常清楚，敌人的零式战斗机比他的野猫占据更明显的优势，他们创新想出以团队战术来弥补单机的不足的战法。经过研究，萨琪发现团队合作是战机飞行员的重中之重，在战术上更是如此。最初他用火柴在桌子上研究各种飞行战术，很快他发现将两组飞机的小队并肩排列，两组间隔一个转弯之间的距离，如果敌人从正面进攻，他只能选择其中一个小组作为攻击目标，所以在这组战机能够正面迎战的同时，另一组飞机就可以转弯到敌机侧面进攻。如果敌机从后面袭击，两组飞机可以相互对转，没有受到攻击的一组就可以正面攻击敌人。这样受攻击者不但可以让同伴来帮你，而且会把敌人引入自己的炮口之下。而且两组飞机穿越交叉点后还可以调头，再继续交叉穿梭飞行，实施新一轮正面攻击。这种穿梭迎战的创新战法后来被称为“萨琪穿梭”。

“萨琪穿梭”创新战法的实施。新战术的想法产生后，萨琪很想上天测验他的新队形。1942年6月4日，机会终于来了，野猫飞行中队中队长吉米·萨琪带着4架 F-4F 野猫战斗机从约克城号航母起飞，护送12架 TBD 破坏鱼雷轰炸机，准备去轰炸日军赤城号航空母舰。当他正在1700米的高度缓慢飞行时，日本航母编队很快发现了他们，从舰队中发射出的防空炮在萨琪身边炸开，紧接着40多架日本零式战斗机很快出来迎战。开始零式战斗机还是相当致命的，美军袭击日本航母的29架 TBD 破坏鱼雷轰炸机很快就被击落了25架。紧接着萨琪编队中的一架野猫战斗机被敌机击中，这让萨琪很懊恼，而且另一群大约10架零式战斗机的编队也向萨琪编队开火了。零式战斗机采取了环形编队战术，这种战术能让每一架零式战斗机都有把握瞄准野猫战斗机，并射击，而不用担心会挡住其他队友的路径，这样萨琪的野猫战斗机就很难发动攻击。萨琪不得不要求大家全力防守，而零式战斗机也在全神贯注地追击。就在这时萨琪发现最后一架零式战斗机离开得慢了一点，他赶紧抓住机会掉头猛冲过去，并瞬间对这架零式战斗机发动了进攻。这架零式战机体上马上冒出了白烟，很快就坠落下去。萨琪又紧急呼叫另外两架 F-4F 野猫战斗机立即排成萨琪穿梭队形来迎战，而此时其他零式战斗机也呼啸而至，然而他们太过于专注地盯住其中一架 F-4F 野猫战斗机，完全没有看到穿梭而来的另一架野猫战斗机已经冲自己开火了。这些零式战斗机还没有弄明白是怎么回事，就化成了火球。由于 F-4F 野猫战斗机不断转弯，空中数十架零式战斗机竟然一时找不到合适的位置射击，这让萨琪的飞行中队有

了开火的机会，他们又连续击落了两架敌机。此时他们已经身处日军舰队的腹地，不过他知道由于数量悬殊，自己被击落是迟早的事。而此时被护航的 TBD 破坏鱼雷轰炸机也仅剩了两架，因此萨琪感到非常挫败。就在这时一直盘旋在周围的零式战斗机群突然高速飞离战场，萨琪往上张望，看到了零式战斗机群追逐的目标——另外一队美军的俯冲轰炸机正在呼啸着向日本航母展开猛烈轰炸。

“萨琪穿梭”创新战法的功效。正是因为萨琪发明的萨琪穿梭战术，让战局发生了转变，可是当时萨琪还不知道，当日本的零式战斗机将目标对准自己的时候，高空飞来的美国俯冲式轰炸机已经如入无人之境，畅通无阻了。这时萨琪和他的队友们就可以安全返航了，轰炸日本航母的事情就交给美国俯冲式轰炸机了。

中途岛海战的意义

规模庞大的中途岛海战，以美国的全胜画上了句号。海战的结果，参战的日军 4 艘大型航空母舰赤城号、加贺号、苍龙号、飞龙号被美军一战全部击沉，而美军只付出了约克城号航空母舰被最终击沉这一个损失。中途岛海战之所以被称为太平洋战场的转折之战，就是因为美国通过这一战，以劣势兵力彻底击败了优势兵力日军的进攻，重新夺取了太平洋战场的制空权、制海权，当然也夺取了太平洋战场的主动权。

2.2.3 马里亚纳海空大战

马里亚纳群岛的战略位置

1944 年 2 月，美日双方在太平洋上的战争结束，这场人类历史上最为血腥的战争，以美军取得胜利结束。为了乘胜追击，太平洋舰队尼米兹上将开始计划着一步步逼近日本本土。

马里亚纳群岛由大小近百个岛屿组成，从马里亚纳群岛到日本本土的距离只有 2000 多千米。如果美军攻下此地，日本本土就将处在美军飞机的轰炸半径范围之内。为了防止遭到攻击，日本以本土为圆心画了一个半径为 2000 多千米的圆形防御区，马里亚纳群岛就在其中。1944 年日本将这个区域称为“绝对国防圈”，他们更是在马里亚纳群岛上布下了重兵，要死死保住此片海域。尽管日军将马里亚纳群岛守到了连一只苍蝇也飞不进去，但罗斯福总统决心已下，不管有多难，一定要拿下马里亚纳群岛。

马里亚纳海空大战

大凤号航空母舰的沉没。1944年6月19日上午8点，美军青花鱼号潜艇意外发现了日本引人注目的新型装甲航空母舰大凤号(图2.2.1)。这是当时日本刚刚建造完成的一艘大型航空母舰。为了防止被炸毁，日军在建造大凤号航母时特地创新加强了甲板装甲。大凤号的甲板能够承受500千克级炸弹的袭击，因此它被誉为“不沉的航母”。大凤号航母一个月前才刚刚服役，这一次是它的首次出征。美军青花鱼号潜艇发现大凤号时，日军飞机正在小泽治三郎的指挥下前往攻击美军舰队。就在这关键时刻，一名刚刚驾驶鱼雷机从大凤号上起飞升空的日本飞行员发现了射向大凤号航母的鱼雷。为了保护大凤号免遭攻击，他毅然决然奋不顾身地俯冲下来，采取自杀式撞击行动，用自己驾驶的飞机和其中一颗鱼雷同归于尽。然而即便是这样，仍旧有一枚鱼雷命中了大凤号航母，随后发生了大爆炸，碎片纷纷抛向大海，把日军士兵掀到半空。这艘还没来得及真正开始战斗的大凤号航空母舰便就此沉没了。



图 2.2.1 日本大凤号航空母舰

日军飞机进攻的瓦解。在小泽治三郎的命令下，第一机动舰队派了300多架各式各样的飞机，准备分4个攻击波，向美军舰队发动攻击，来完成史上最大规模的航空母舰大决战。在日军飞机距离美军舰队只有130千米时，美军飞机才刚刚起飞，此时的美机根本没时间爬升到足够的高度。就在如此紧要的关头，日军飞行员却由于经验不足，不熟悉战斗队形，要在空中盘旋重新进行编队。很快10分钟过去，就因为有了这10分钟，美军的飞机全部升到了足够可以与日军飞机展开决战的高度。很快，日军的飞机进攻几乎就这样被瓦解了。

看到日军飞机送死般的进攻，美国将领斯普鲁恩斯十分兴奋，他焦急地等待着日军下一波攻击的到来。果然，日军没有让斯普鲁恩斯等太久，几十分钟后，日军的第二波飞机如约而至。日军攻击机群在离美军舰队还很远的时候，美军舰队上的雷达就响彻天空。在激烈的空战中，看着天空中到处是摇摇欲坠的日本飞机，一位名叫普罗罗斯·马歇尔的美国海军情不自禁地在无线电里面激动地大声喊起来：“嘿，这多么像古代猎杀火鸡的场面呐！”

马里亚纳海空大战，美军击沉日军三艘航母：大凤号、翔贺号和飞鹰号；击落日本飞机共380架，重创了千代田号、瑞鹤号、隼鹰号三艘航母。美军成功切断了日军给马里亚纳群岛上的支援，日军舰队也彻底失去了中太平洋的制海权和制空权。

2.2.4 莱特湾大海战

莱特湾的战略重要性

美军攻下马里亚纳群岛后，决定乘胜追击，向莱特湾推进，意在夺取莱特岛。因为如果拿下莱特岛，日本在东南亚的资源补给线将被彻底切断。为了确保此次进攻万无一失，美军决定由海陆两军协同作战。

美日力量对比。美国陆军方面麦克阿瑟派出了他的手下爱将金凯德指挥第七舰队支援在莱特岛上的登陆部队。海军方面尼米兹派出了素有“蛮牛”之称的哈尔西率领第三舰队。哈尔西的任务是击毙随时可能出现的日本联合舰队。这一次美国共出动了17艘航空母舰、18艘护卫航空母舰、12艘战列舰和1500架飞机，如此规模是史无前例的。

日本舰队却只拿得出9艘战列舰、200架飞机和最后仅剩的4艘航空母舰。日本人很清楚，如此悬殊的兵力，硬碰硬显然不行。

日军的“调虎离山”之计。日本海军决定搞一个创新战法，造成美军的判断失误来出奇制胜。他们决定用最后的这4艘航母去当诱饵，调离哈尔西指挥的航母舰队，然后再偷袭金凯德指挥的战力比较弱的第七舰队和莱特岛上的登陆部队。

于是小泽治三郎率领日军最后的4艘航空母舰开始在莱特湾招摇过市，他甚至下令用明码发报故意暴露自己的位置来引起美军的注意。然而几个小时过去了，美军却没有做出任何反应，于是小泽治三郎怀疑他们的计谋被哈尔西识破了。事实上，美军并没有发现日军航母舰队的踪影，只是因为哈尔西太过自信，他认定日军不敢有什么作为，甚至都没有派出一架侦察机在海上搜寻日军的踪影。

日本爱宕号的沉没。日军派出的诱饵一直没有引起哈尔西的注意，更不幸的是，反而正在小心翼翼准备偷袭美军的日军战舰——爱宕号却被美军发现了。

时年55岁的栗田健男是在日本海军服役时间最长的指挥官，在被美军潜艇发现时，他正在爱宕号重巡洋舰上举行出击前的晚宴。忽然他感到脚底下一阵巨大猛烈的轰响声，接着爱宕号冒出了乌黑的浓烟，在一阵阵爆炸声中，爱宕号随之沉没。栗田健男只得狼狈逃命。之后他将司令部转移到了大和号战列舰上，并当即下令重整编队继续前进，而此时美军潜艇早已把栗田舰队所在的位置报告给了哈尔西。

莱特湾大海战的过程

序幕。1944年10月20日上午十点，美舰载攻击机向莱特湾袭来，莱特湾海战拉开了序幕。整整一天，美军对日军实施了5次大规模的空袭，60%的美军都对准了武藏号

战列舰。武藏号战列舰是日本海军建造的历史上最大的超级战列舰之一，它标准排水量64000吨，满载排水量72816吨。武藏号战列舰遭到了美军舰载机的5次轮番攻击，被20个鱼雷和17枚重磅炸弹击中，晚上七点，武藏号翻转着263米长的庞大身躯，带着遍体鳞伤沉入海底，舰上1300多名日本士兵随之葬身大海。

哈尔西中计。已经被喜讯冲昏头脑的哈尔西迅速下令率领第三特混舰队高速北上，全力追击小泽治三郎舰队。为了保证自己能够彻底消灭小泽治三郎的舰队，哈尔西带走了他手中的全部兵力，并没有给他应守住的这片海域留下一兵一卒。更可怕的是，哈尔西甚至没有和他的搭档金凯德打一声招呼。此时此刻，哈尔西终于离开了他应该保护的登陆滩头，一门心思地在追击日军，还没有意识到自己是中了日军的调虎离山之计，而之前狼狈撤离的栗田健男已经趁着夜色卷土重来，向着莱特湾扑来了。

日军成功偷袭美军护航舰队。小泽治三郎的调虎离山之计终于奏效了，日本的战列舰编队如入无人之境，栗田健男兴奋至极，此时他只需要集中精神给予金凯德指挥的登陆部队最后一击了。

然而，就在金凯德被栗田健男的舰队攻击到穷途末路之际，奇迹却意外出现了，日军竟然意外停止了进攻，之前惨烈的战斗在瞬间突然就结束了。原因是无计可施的金凯德面对日军的狂轰滥炸，十分惊慌，他甚至不顾日军截获，用明码发出了痛苦的请求：立即派哈尔西舰队前来营救。栗田健男从这封电报的内容上判断，前面肯定已经发出了很多封，如果再不尽快撤走，很可能被返回的哈尔西切断了后路。所以他最后选择放弃即将到手的莱特湾，全速后撤。

日本航母舰队的覆灭。哈尔西的回返救援行动出奇得缓慢，直到下午四点才回到莱特湾海区，而此时的栗田舰队已完全驶出这片海域，再也不见踪影。看到莱特湾风平浪静，金凯德的登陆部队也暂无危险，哈尔西的心又重新扑到了小泽治三郎舰队身上。此刻哈尔西留下继续追击的舰队对日军舰队进行了猛烈的攻击，没过多久瑞鹤号便摇摆着扎入了海底。随后在美军的强大攻势下，日军最后3艘航空母舰也全部沉没。

莱特湾大海战的战略意义

莱特湾大海战是迄今为止，人类历史上海战规模最大、参战舰艇数量最多、吨位最大的一场海空战。海战从1944年10月20日开始，一直持续至10月26日。在这6天的时间里，盟军和日本方面共投入了航空母舰39艘、战列舰21艘、巡洋舰47艘、舰载和岸基飞机2000余架。战役结果，日军被击沉航空母舰4艘、战列舰3艘、巡洋舰9艘、驱逐舰9艘，共计30.6万吨。美军被击沉航空母舰1艘、护航航空母舰2艘、驱逐舰2艘，共计3.7万

吨。日本联合舰队不仅未能达成作战前的既定目标，反而自身遭到致命损失，再也无法实施大规模海上作战了。莱特湾海战是太平洋战争中的最后一次大战。至此，显赫一时的日本海军走向了覆灭。

2.3

美国航空母舰的发展

美国是世界上头号航空母舰大国，关于航母的改装和建造起步早、实战多，因而为后期的进一步创新发展和完善积累了丰富的经验。美国的首艘航空母舰于1912年开始研制，它由民用运煤舰改装而成，到了1920年又以民用船的身份退役，所以并不能称之为严格意义上的航空母舰。1921年美国开始建造完全用于军事作战的列克星敦级航母，太平洋战争爆发后，美国为扩张势力范围，将更多精力投入到军事装备，建造了独立级的克里夫兰级航母和中途岛级航母。这些航母的建造极大地提升了美国的防空军事能力，使得美国有了更多领海权，即便拥有数量如此庞大的航母舰队，美国依然继续着手打造新一级超级航母。

第二次世界大战结束之后一直到现在，美国创新发展了三加三共六代航空母舰。所谓的三加三就是先后创新发展了三代常规动力航空母舰和三代核动力航空母舰。三代常规动力航空母舰分别是战后的第一代中途岛级、战后第二代福莱斯特级和战后第三代小鹰级。在三代常规动力航空母舰之后，以企业号核动力航空母舰为标志，美国海军又先后创新发展了三代核动力航母，第一代就是企业号，也可以叫企业级，第二代是大批量建造的尼米兹级，第三代是现在已经下水的福特级航空母舰。尼米兹级航母目前仍然是美国海军的现役主力航母。

2.3.1 尼米兹号航空母舰的七大创新飞跃

尼米兹号航空母舰（图2.3.1）能搭载多达90架飞机，一次攻击就能发射300多吨的炸药，是第一艘尼米兹级航空母舰，是全世界最大的战舰。这全要归功于造船技术的种种创新发明。史上具有里程碑意义的7艘航空母舰的设计，每艘船舰都有一项重大的技术创新，使得航空母舰变得越来越大，



图 2.3.1 美国尼米兹号航空母舰

一艘接着一艘向更高的等级迈进。回顾创新的历史，可以了解尼米兹号是如何集大成而最终成为历史上最强大的战舰的。

创新飞跃一：高压蒸汽弹射起飞

人类学会飞行后不久，就在尝试驾驶飞机从一艘船的甲板上起飞，这艘船就是 16000 吨的美国北卡罗来纳号战舰。要达到起飞速度需要一条很长的跑道，但是战舰甲板上安装了各式各样的武器和雷达，并没有留出铺设起飞跑道的空间，所以工程师必须想办法让飞机可以在较短的跑道上达到起飞速度。问题的根本涉及物理学的一个基本定律，要想在较短的距离或时间内把一个较大质量的物体发射出去，就必须让它快速获得一定的能量，这是一项有着几千年历史的技术。

飞机之父莱特兄弟在思索这个问题时，受到了弹弓技术的启发，提出了创新的解决办法，他们在 1903 年成功实现了第一次动力飞行，然后自行研发出了弹射器。他们的设计包含一座 6 米高的木塔，并用绳子吊着一个重物，重物向下坠时，绳子拉着飞机沿着轨道滑行以达到起飞速度。莱特兄弟将这一创新发射系统提供给了美国海军。但是让重物吊着然后重重地下落砸在甲板上，并不是个好主意，海军只得从头开始。他们受到启发，想出一个更好的办法，另一种可以在船上获得能量的创新方法，就是利用安装在战舰上用来发射飞机的压缩空气——用压缩空气把飞机从战舰上发射出去。

1916 年军方在战斗巡洋舰美国北卡罗来纳号上对这个想法进行了测试，工程师在船尾建造了一条 30 米长的钢铁轨道，通过压缩空气推动其钢铁的活塞，活塞沿着绳索轨道拉动飞机。但是只靠压缩空气无法拉动 800 千克重的飞机。为了使飞机尽快加速，他们创新使用滑轮组增加施加在飞机上的力，使速度提高到原来的 7 倍。经过多年的失败与尝试，他们终于找到了一个有效的方法。在那之前，战舰舰队决定着一个国家的军力是否强大，但此刻从航空母舰甲板上升空的那架单薄的双翼飞机，却能击沉装备最好的战舰，航空母舰的时代就此来到了。

如今，弹射器就相当于美国尼米兹号的“心脏”，没有弹射器，飞机便无法升空。弹射器就像一个巨大的弹弓，发射员的任务是调整弹射器，综合考虑飞机的重量以及在甲板上的排列方式，然后确定弹射器的推进设定，从而把一架架的 F12 战斗机从甲板上弹射出去。

弹射器能把一辆凯迪拉克弹飞到 1000 米以外，弹射器力量如此之大的秘密就藏在甲板之下。那里不再有复杂的滑轮缆组，取而代之的是跑道下的一对气缸，气缸内有活塞，活塞通过气缸顶部的窄缝与飞机相连，气缸内充满了高压蒸汽。将活塞和飞机向前推，为

为了避免蒸汽溢出，工程师创新组装了两条活动金属条，活塞经过后，便将窄缝重新封起来。F18战斗机（图 2.3.2）在地面上升空，需要 1500 米以上的距离，但是有了蒸汽弹射器，只要不到 100 米的距离，飞机就会成功起飞。



图 2.3.2 美国 F18 战斗机

现在的核航母共设有 4 个飞机弹射器。每个弹射器长 91 米，由两个并排气缸内的活塞组成。每个活塞的动力冲程跟橄榄球

场那么长，活塞与一个活动的滑梭连接在一起，装配在甲板跑道的沟槽内。当飞行员和飞机准备就绪后，飞机滑行至指定位置，设备操作员或者“绿衣人”引导飞机的前轮——前起落架，然后把飞机用挂钩挂到滑梭上，牵引释放杆负责将飞机固定就位，直到弹射完成为止。舱内的核反应堆加热蒸汽发生器，直到弹射器的蒸汽储蓄器充满气体为止。射手密切监控着弹射器的蒸汽压力，压力必须根据飞机的重量进行调整，这样才能确保弹射器以正确速度弹射。如果压力太低，飞机很难弹射升空，但压力太大，前起落架就会被折断。弹射开始前，工作人员会升起飞机后方的喷流偏向板，牵引释放杆保持飞机就位，飞行员启动引擎，射手随即按下弹射按钮，牵引释放杆脱离蒸汽。弹射器推动飞机快速向前移动。它就像一个火箭弹弓，在短短的两秒内就能使 F18 战斗机从静止达到时速 265 千米。

创新飞跃二：舰岛安置在右舷，舰岛是控制塔

1916 年的航空母舰北卡罗来纳号有个很大的缺陷，就是没有地方供飞机降落，每次飞行完毕都要用绞盘把飞机吊上甲板，如果是在战争中这种做法会很实用。在船上降落飞机需要很长的甲板，以及可以运搭飞机的超大船舰。1917 年 8 月，英国皇家海军飞行员邓宁首度尝试成功证明了在甲板上降落飞机是可能的，但 5 天后的又一次尝试让他付出了生命的代价。

要想在甲板上安全降落，就需要重新设计船舰的上层建筑。邓宁就是因为上层建筑的问题才降落失败的。一项创新提议是将上层建筑一分为二，分置于飞行甲板的两侧，但空间几乎不够飞机降落，造船工程师也担心这种设计会让飞行员感到害怕。他们考虑去掉一边的上层建筑，但这会造成船体的倾斜。于是造船工程师必须寻找新的降落方法，而且还要使船身保持平衡。他们将左舷的油箱装满燃油，而右舷的油箱只装一半。但是当燃油越用越少之后，船便又失去平衡而开始发生倾斜了。接着他们试着把整个飞机棚移向左舷，

原来飞机棚的空间被船员和装备占据了，但是如果这样，船身又开始向右舷倾斜。最后他们决定将船身左舷向外延伸，并保持船身平衡。

经过了 20 年的努力，他们最终取得了一项真正的革命性的创新设计。英国海军舰队皇家方舟号在 1937 年开始服役，皇家方舟号是现代航空母舰的模板，皇家方舟号的舰岛在右舷，为飞行甲板让出了空间，此后的航空母舰都是以这种创新设计为样板的。尼米兹号跟皇家方舟号一样，也是一个漂浮的机场，位于右舷的舰岛是控制塔，是航空母舰的耳目与大脑。负责飞行甲板的军官在一楼的神经中枢内，他的上面是雷达和气象室，五楼是舰长的舰桥，舰长在这里运筹帷幄，指挥全舰的战略。飞行甲板被称为世界上危险性最高的工作场所，甲板上的地勤人员要在造价数百万美元的战斗机上进行加油装弹，小心地避开机翼、螺旋桨和飞机。工程师利用飞行甲板模型记录每架飞机的来去，这是真正的螺栓与螺母式的创新科技。尼米兹号运载的飞机比其他航空母舰都要多，可以搭载 90 架战斗机。

创新飞跃三：强大的拦截索系统

在 1938 年，英国最大的航空母舰皇家方舟号只能处理大约 50 架飞机。当时的美国海军想使航空母舰的载机数量加倍，但是飞机棚里却放不下，所以多出来的飞机就要停放在甲板上。如果飞机降落在甲板后没有停下来，就会与甲板上停放的飞机发生碰撞，后果将是灾难性的。

这个问题直到许多年后才得到解决，创新的答案就体现在 34000 吨的美国大黄蜂号（图 2.3.3）上。自从航空母舰出现后，工程师们就开始实验拦截索。最早的方法是把绳索连在一堆沙包上，当然光靠一堆沙包并不能让飞机停下来，所以飞机在飞行甲板上前进时要接连钩住一堆堆的沙包，直到阻力大到能让飞机停下来为止。这个方法过于简单朴素，所以必须发明一个更加复杂的拦截系统。例如在美国大黄蜂号上，船员必须



图 2.3.3 美国大黄蜂号航空母舰

设法在 45 米之内停下时速为 135 千米、质量 8000 千克的战斗机。在飞机触地时会尽力使飞机钩住一个钩子，向前拉就会带动甲板下的撞锤，撞锤压紧装满液体的气缸，就会降下飞机的动能。但在现实中，要想钩住其中的一条拦截索对飞行而言有些困难，于是工程师又增加了几条绳索，以增加成功钩住的机会，就算这样仍然无法保证一定可以成功。要是

一条都没钩到，就会有前方设置的戴维斯障碍撞上起落架，将飞机停下来，虽然很管用，但是这些戴维斯障碍通常都会让飞机翻置。

之后 60 多年来，拦截索系统的原理从未改变，但尼米兹号将其刹车力量推到了极限，它必须让时速 225 千米，质量达 5000 千克的 F18 战斗机在 100 米以内停下来，这大约是一个足球场的长度。就算有 4 条拦截索，飞行员有时仍一条也不能扑中，那样的话就必须重新起飞，然后再次降落。他们把这种情况叫作脱缰。脱缰就是放下钩子准备降落，而飞机却没有停下来，有很多原因会造成脱缰。为了让脱缰的飞行员有机会全身而退，尼米兹号的整个甲板在设计上创新采用向海上延伸的方法，让脱缰的飞机远离那些停在甲板上的飞机。

创新飞跃四：处在层层高科技的保护罩之下

拦截索让飞机能够在拥挤的甲板上安全降落，但是在第二次世界大战期间，甲板本身就是敌轰炸机的目标。1945 年 6 月 19 日发生了一场海上灾难，日军的炸弹炸沉了美国富兰克林号航空母舰的木质飞行甲板，并在甲板下方的飞机棚内爆炸，724 名美国海军和空军因此丧生。美国海军下定决心绝不让这种事情再次发生。把木板换成钢板听起来十分简单，但是这对舰设计师来说是一个巨大的挑战。把木制甲板换成装甲钢板，会让舰显得头重脚轻，这会降低舰的稳定性。为了让舰更稳定，舰身必须更宽，但舰身越宽，阻力也就越大，不利于舰在水中运动。为了保持原有的速度，需要把舰身做成流线形，这可以让舰身更加修长，美国中途岛号便是用这种想法创新设计的舰，它几乎是上一代航空母舰大黄蜂号的两倍。第二次世界大战之后的 10 年间，中途岛号是全世界最大的舰，它的长度近 300 米，总质量达 61000 吨，拥有近 12000 平方米的 9 厘米厚钢板，保护着飞行甲板。中途岛号耐用而且保养得好，它服役了 50 多年。

尼米兹号也是钢铁材质的，但并没有覆盖重甲板，因为它不需要。没有攻击可以离近向它投射炸弹，因为它处在层层高科技的保护之下。远程雷达扫描空中有无狙击者，如果有则派出 F18 战斗机进行拦截和摧毁。如果导弹逃过了飞机的拦截，就会启动下一道防线，准确配有导弹的战舰，这种导弹可摧毁方圆 8 千米的任何目标，所以远方和近处的威胁都逃不过它的点防御系统。

创新飞跃五：用镜子反射光引导协助飞机降落

装甲甲板为中途岛号提供了它所需的防护，但是舰上所搭载的飞机却已经过时了。20 世纪 50 年代的海军指挥官希望在航空母舰上配备喷气式飞机，但是这种更大更快的飞机却无法在航空母舰上安全降落。又过了 10 年，一个巧妙的创新点子诞生了。

1945年12月，一架喷气式飞机首次成功降落在3000吨的美国佛瑞斯塔号航空母舰上，由艾里克·布朗驾驶，他是英国皇家海军的王牌试飞员。现在，最主要的问题是喷气式飞机的速度加快了，而飞行员则要在更短的时间内找到正确的进场角度，如果角度太大飞机会重击甲板，而进场角度太小，飞机起落架就有可能钩到船尾。工程师创新地发现，安全降落最理想的进场角度是3度，但让飞行员每次都以这个角度进场几乎是不可能的。过去，驾驶较慢的战斗机时，飞行员有时间响应飞行甲板上人员的指示，他们用圆板协助引导飞机降落。如果指示员认为飞行员角度太高了，就会给信号，飞行员就会减小油门，稍微降低一些，如果指示员认为太低了，飞行员就会再加点油门，这样就能达成合适的角度。而在飞行员即将接触跑道时，指示员做出关掉的手势，飞行员就把油门全关，优雅地降落在甲板上。

这个程序其实很危险，许多飞行员曾因此丧命，这远远超过了战争中被敌人杀死的人数。惊叹于这一重大损失，英国飞行员尼克·古德哈特自己想出了一个简单而实用的创新做法，让飞行员可以自行找到正确的角度。他把一面镜子放在航空母舰的甲板上，镜子中间画出一条红线。飞行员看着手电筒的光，只要慢慢让光点对齐红线，很自然就能保持正确的降落角度。放到航空母舰上，这种办法就是把手电筒变成了固定在甲板上的4个灯，前面是镜子，一排灯带就相当于红线。飞机进场时，甲板上的光束以3度角反射向飞行员，如果飞行员能让反射光维持在镜子中间，就能得到正确的降落角度。但实际情况却没有那么简单，船在海浪中摇晃，光束会随之一起晃动，这样搞不好就会造成灾难性的后果。为了稳定住光束，他们创新地把镜子装在了回转仪上，光束的方向不再随着船身摇晃。这样无论海浪多大，飞机都能保持正确的下降路线。

古德哈特创新发明的光学结构导引方法十分成功，适用于各种大小与速度的飞机，使得新一代的超音速战斗机和轰炸机在航空母舰上降落成为可能，使佛瑞斯塔号变成了名副其实的全球超级航空母舰。

现在尼米兹号上使用的是古德哈特上将辅助工具的改良版，飞行员把这排灯中间的那个称为“肉球”，那上面装有特殊的镜片，进场飞行员只有在角度正确时才会看到亮灯。

创新飞跃六：核动力

传统的采用化石燃料的航空母舰大约3天就会把油用光。中途加油的航空母舰离不开速度缓慢的油轮，油轮更容易遭到敌军飞机和潜艇的攻击，所以需要找到一个更好的方法来为航母提供能源，这个方法就是原子分裂时释放的巨大能量——核能。

科学家发现把中子射向铀原子时，会发生裂变反应来释放出能量，而传递的连锁反应

能释放出巨大的热能。这些热能可以用于产生蒸汽，然后蒸汽通过涡轮使涡轮叶片高速旋转，这样便会带动涡轮相连的齿轮组产生动能，从而带动螺旋桨。这些螺旋桨产生的推力足以推动几万吨的金属船舰，以每小时 15 千米的速度在水上前进。但是使用核动力也有一定的危害——辐射，为了避免致命的辐射危害舰船人员的安全，工程师需要用成千上万吨的铅罩住核反应堆。但是超级航空母舰需要 8 个反应堆，在汹涌的大海上，在船身中部多出来的重量可能会造成龙骨弯折。于是工程师创新采用蜂窝状的钢材结构设计，加强龙骨的强度，这样龙骨就能承受反应堆的重量，全球最大的航空母舰也由此诞生。美国企业号 1961 年 11 月下水，舰上装设 8 个核反应堆，当时是全世界最大的核电设施，足以为人人口是 50 万的城市提供照明电。与传统的航空母舰相比核动力航母的巨大优势是它可以航行 3 年而不需补充燃料。

现在的尼米兹号超级航空母舰，每隔 20 年才需补充燃料，而且只需两个核反应堆就能提供同样的动力。原本用于储存引擎战斗的空间，现在用来储存飞机所需的燃料与弹药。尼米兹号反应堆产生的电力通过 1510 米长的电线，为这名副其实的海上城市 6000 人使用。过去 30 年中，这个漂浮的城市向世人展示了自己的实力，在全球各地的冲突中，空中无敌，直击敌人的心脏。

核动力航空母舰也有它自身的问题。其一就是造价很贵，远远高于常规动力航空母舰。另外一个更重要的问题，就是在当时的技术条件下，核动力舰艇本身在战时可能被击中，或者是被击穿，造成大量的核泄漏。从第二次世界大战中的海战可以看出，没有哪条航空母舰可以保证在战时不会被击中。核动力航母一旦被击中造成巨大的核泄漏，甚至引发核爆炸，这一直是拥有核动力航母国家的梦魇。

虽然存在种种弊端，但是今天航母仍然是海军的主战兵器，也是世界海战史上出现的最大装备，它的地位在相当长一段时间内还是其他兵器无可替代的。

创新飞跃七：分模块制造后再焊接组合的建造方法

第一艘尼米兹级航空母舰于 1975 年开始服役，尼米兹级航空母舰十分优秀，以至于美国海军又建了 9 艘。但是第一艘花了漫长的 7 年才得以建造完成，而且全美国只有一个干船坞可以装下 99000 吨的尼米兹航空母舰。要建造剩余的航空母舰需要找到更快的方法。

在 1981 年之前，美国海军都是用传统工法建造航空母舰的，这就意味着造船的过程十分缓慢。在干船坞上机械的建造过程需要很长时间，电工可能会妨碍水管工的工作，而水管工在这拥挤的隔间里也会妨碍焊接工作，所以原来建造一艘航空母舰需要 3300 万的工时。现在他们创新采用在码头边分段制造尼米兹级航空母舰，然后再焊接组合的方法。

各工种的工人轮流工作，由于彼此不再互相妨碍，建造进度也就快了许多。原来在传统船厂要花3小时完成的工作，现在用创新的模块工作方法只需1小时。

终于在施工3年后，造船公司引水注入到这个巨大的干船坞，完成了最新也是最后一艘尼米兹级航空母舰，美国布什号下水。它是近百年来航空母舰设计创新的集大成之作，甲板运载最新一代的隐形战斗机，特制的球形船身大大降低了阻力，更新的合成建材使美国布什号不愧是造价60亿美元的超级军舰。

2.3.2 第二次世界大战后美国三代常规动力航母的发展

中途岛级

1942年8月中途岛号登记注册，1945年9月服役，当时第二次世界大战已经结束，中途岛号也因此成为美国战后的第一代常规动力航母（图2.3.4）。中途岛级航空母舰最初三条舰命名是中途岛号、珊瑚海号、莱特湾号，这都是用第二次世界大战时期美军在太平洋战场跟日军几次著名大海战——而且是决战决胜的大海战的名字来命名的。根据英国航空母舰的作战经验和太平洋战争初期美国航空母舰受损的情况，美国海军决定建造加强飞行甲板防护、增加舰载机数量的大型航空母舰。



图 2.3.4 美国中途岛号航空母舰

尽管中途岛号没有参加第二次世界大战，却作为主力参加了侵朝战争、中东危机以及海湾战争。作为美国海军战后的第一代航空母舰，中途岛级排水量59000吨，舰体长295米、宽41.5米，相当于两块足球场的面积，人员编制4000人，能搭载舰载机137架。

福莱斯特级

中途岛级航空母舰作为美国战后的第一代航空母舰，它并没有适应第二次世界大战后期的一些设计思想，虽然经过了几次大规模的改装，但是到了战后，美国已经开始考虑设计建造一条完全体现战后航空母舰发展理念的全新以及更新的常规动力航空母舰了，这就是美国战后的第二代常规动力航母——福莱斯特级。

福莱斯特级航空母舰先后一共建造了4艘：福莱斯特号（图2.3.5）、萨拉托加号、突

击者号和独立号。福莱斯特级航空母舰面世时是惊闻于天下，因为在此之前的人类海战史上和人类武器装备发展史上，还从来没有过这么大的航空母舰。福莱斯特级航母的标准排水量是 59000 多吨，满载排水量 79000 多吨。福莱斯特号航母在 1955 年 10 月服役，标志着世界上第一艘专门为喷气式飞机建造的航母诞生。虽然 6 万吨的排水量在今天的超级航母面前稍显逊色，但它的斜角甲板和蒸汽弹射器能够弹射起飞 32 架喷气式飞机。它的舰载机的数量也是惊人的，能搭载 90 多架喷气式飞机。折算一下，放在第二次世界大战的时候，它是可以带 200 多架螺旋桨式飞机的，所以它被称为超级航母，是当之无愧的。



图 2.3.5 美国福莱斯特号航空母舰

小鹰级

福莱斯特级超级航空母舰的下水并没有让美国的航母建造停止，美国海军在 4 艘福莱斯特级航母的服役过程中仍发现了一些不足，于是在 1956 年建造第 5 艘，美国海军对其进行了大幅改进，并连续建造了 4 艘升级后的新型航母，称之为小鹰级。它是美国建造的最后一级常规动力航空母舰，也是世界上最大的一级常规动力航母。小鹰级航空母舰的建造已经跟美国的第一代核动力航空母舰企业号中间发生了交叉。小鹰级航空母舰曾经先后建造了 4 艘：小鹰号、星座号、肯尼迪号和美国号。小鹰级的后两条舰是第一代核动力航空母舰企业号建成之后才建造的，这也是小鹰级的一个特色。小鹰级航空母舰，是作为福莱斯特级航空母舰的升级版或者是放大版来建造，它的排水量跟福莱斯特级航空母舰相比都是略有放大，载机量也跟福莱斯特级航空母舰相差不多，它所体现的主要是对美国海军的战后第二代福莱斯特级航空母舰的设计进行进一步的创新优化。

小鹰号航母（图 2.3.6）在建造过程中优化了整体结构，创新采用了封闭式加强飞行甲板，舰体至飞行甲板形成整体。为提高航空治理能力，对升降机布局进行了调整，各项作业互不干扰，具有极强的发



图 2.3.6 美国小鹰号航空母舰

电能力，发电总量2万千瓦，可供整个纽约市的照明。所以小鹰号航空母舰是它的前一级很多经验和教训的总结，是更优化、更升级的一个版本。也正如此，通常人类航空母舰发展史上都把小鹰级航空母舰称为常规动力航空母舰发展的巅峰之作。

2.3.3 第二次世界大战后美国三代核动力航母的发展

企业级

1963年夏天的一个早晨，大西洋蔚蓝的海面上出现了一支规模庞大的舰队。位于中心的舰船甲板上清晰地写着爱因斯坦的著名质能方程公式，这是由身着白色水兵服的舰员列队排出的。他们脚下那艘军舰是世界上第一艘核动力航空母舰，这支舰队展开了名为“海轨行动”的环球巡航任务，途中无须加油和再补给，历时64天，总航程3万多海里，这是史无前例的一次环球航行。

核动力航母企业号的建造过程可以说神速。它的开工时间是1958年2月，1960年9月就下了水，1961年11月服役，前后不过三年多的时间。在航空母舰的建造史上，不要说一条核动力航空母舰，即便是一条常规驱逐舰，3年的建造周期，只有在战争情况下才会出现。

随着核动力航母企业号的服役，世界海军史进入了一个全新的时代——核动力航母时代。有了这样的武器，在世界上任何一个热点地区都能见到美国军队的身影。1962年8月古巴导弹危机，核动力航空母舰企业号（图2.3.7）参与了美国海军封锁古巴的行动；1968年美国海军电子侦察船普韦布洛号被朝鲜海军捕获，当时企业号



图 2.3.7 世界第一艘核动力航空母舰——企业号

受命前去示威；企业号还曾参与越战的空袭行动，并参与了1975年的西贡撤退。此后企业号常年在西太平洋与印度洋活动，20世纪90年代被调到大西洋舰队。在两伊战争中企业号上的A-6E舰载攻击机还曾与伊朗海军快艇有过较量，1998年12月美英对伊拉克进行的“沙漠之狐”军事打击主要就是靠企业号航母战斗群实施空袭的。2001年9月11日美国本土遭到恐怖分子袭击后，企业号参与了日后阿富汗战争的持久自由作战行动，实施了针对塔利班目标的首波打击。这艘颠沛半生的企业号在2013年初被第三代核动力航空母舰取代，一共在海上奔驰了52年。

尼米兹级

第一条核动力航母企业号在建造完成之后，在包括整个环球航行的过程和几年的实验过程中又不断地出现了一系列的问题，导致当时美国国内军方的决策层对究竟是继续建造核动力航空母舰还是仍然回到常规动力航母，犹豫不决。

几经反复之后，最终美国海军还是确定了要坚定地走核动力之路，这个时候美国海军战后核动力航母的第二代，也可以说是创新的集大成者尼米兹级航空母舰就横空出世了。尼米兹级航空母舰是美国第二代核动力航空母舰，可搭载70~100架舰载飞机，可控制25万平方千米的海域和空域，每天可出动200架次执行作战任务，装弹量是企业号的2~3倍。

1968—2009年美国共建造了10艘尼米兹级航空母舰。曾经在很长时间内，尼米兹级核动力航空母舰，一直被人们认为是地球上最大、最强、最先进的武器，在海上其他战舰很难与它发生正面较量。1999年空袭南联盟的科索沃战争中，美国海军先后动用了第六舰队的35艘舰艇参战，其中包括1艘尼米兹级核动力航空母舰罗斯福号。以美国海军为首的北约海军在海上无所作为，只能以巡航导弹和飞机攻击岸上目标，航母只是更多地作为一种威慑存在。里根号航母是美国打造的

第九艘尼米兹级核动力航母（图2.3.8），航母舰体长度为334米，相当于美国帝国大厦的高度，所有舰载设施不仅是当时最先进的技术配备，而且价格不菲，里根号航母的总造价为45亿美元。从排水量可以做一个清晰的对比，小鹰级、福莱斯特级常规动力航母是航母的巅峰之作，标准排水量6万多吨，满载排水量8万吨，这已经到了



图 2.3.8 美国里根号航空母舰

巅峰状态。而尼米兹级核动力航空母舰首舰尼米兹号、二号舰、三号舰，它们的标准排水量就已经是7万多吨，满载排水量超过了9万吨，从它的四号舰开始，满载排水量就已经开始接近10万吨，从它的第五条舰斯坦尼斯号开始，满载排水量就超过了10万吨。

福特级

美国海军的尼米兹级核动力航空母舰，已经是这个世界上最大、最强、最先进的核动力航母。但即便是这样，在2013年1月，美国海军又设计开工建造了自己的第三代核动力航空母舰。正式建造完成以后，它的首舰的名字为CVN78——福特号（图2.3.9），也被命名为福特级。



图 2.3.9 美国福特号航空母舰

与现在已经是海上霸主的尼米兹级核动力航空母舰相比，福特级有了更新的发展，它采用了很多尼米兹级核动力航空母舰从来没有采用过的创新技术。首先是隐形技术，10万吨级的海上巨无霸，如果要让它具有一定的隐形能力，这将是一种多大的技术突破，作战方式也会发生巨大的改变。福特级核动力航空母舰上创新采用电磁弹射器，电磁弹射器跟蒸汽弹射器相比，完全是枪和弹弓的区别。电磁弹射器能更高效地弹射飞机，既能弹几十吨的大飞机，也可以弹更小吨位的舰载无人机。另外福特级航母舰载机也升级换代，第四代战斗机 F35（图 2.3.10）替代了以前的机型，并创新装备无人作战飞机 X47B（图 2.3.11），这些无人机将实现人类在电影中梦想的战斗场面。此外正在研制的下一代核动力航空母舰上装备电磁轨道炮、高能激光、高能射线等新概念武器。而且福特级航母上舰员的个人生活空间也有所增大，每艘航母上的配置人员数量不超过 5000 人，将低于现役尼米兹级航母近 6000 人的配置量。在军舰上减少一个工作岗位，就意味着技术的提升。一次减少 1000 人，可以想象各方面技术进步有多大。



图 2.3.10 美国 F35 战斗机



图 2.3.11 美军隐身无人机 X47B

2.4

英国航空母舰的发展

从大约 1692 年到第二次世界大战期间，英国皇家海军是世界上最大、最强海军，并帮助英国成为 18—19 世纪最强盛的军事及经济强国，也是把大英帝国的影响力投射至全世界的重要工具。在百年航母的发展史上，英国不愧是航母技术的创新引领者，航空母舰的很多著名的创新和改进都来自英国。

(1) 全通式甲板的创新发明。1918 年 9 月，世界第一艘全通式甲板航母——英国百眼巨人号由客轮改装而成。这是第一艘真正意义上具有航空母舰外形的船舰，但其并非作为航空母舰而设计，只能说具有现代航母的雏形，属于第一代航母——典型的平原型航母。这一时期的航母都是来自改装，大多由商船、货船经过改装实验而来。1918 年，英国将一艘巡洋舰暴怒号改装，以甲板中部的上层建筑为界，前部甲板供飞机起飞，后部减半供飞机降落。“暴怒”号因此成为最早由军舰改装，并最早具备飞机起降功能的航空母舰。

(2) 舰岛和封闭式舰艙的创新发明。1922 年日本建造了第一艘按航母设计的“纯血统”航母——凤翔号，也被认为是第一艘现代意义上的航母。不过凤翔号不仅后来拆除了舰岛，更没有采用封闭式舰艙。因此 2 年后服役的英国竞技神号航母，实际上成为第一艘具有现代意义的航母。它开创性地创新采用了封闭式舰艙和岛式建筑，确立了现代航母的雏形，右侧舰岛的设计也成了普遍共识和效仿的对象。

(3) 斜角甲板的创新发明。第二次世界大战时期的航母，都拥有全通甲板，但是这个飞行甲板基本相当于一个长方形——前部起飞，后部降落，这样就造成起飞和降落互相影响。早期的螺旋桨飞机降落速度只有 70 ~ 80 节^①，而喷气式飞机降落速度超过了 100 节，且尾流干扰更大，这种影响就越发强烈，因此斜角甲板的创新应运而生。1951 年英国海军提出斜角甲板的创新理念设想，并于 1952 年成功运用在了 2 万吨的竞技神号航母上。不过由于财政等其他因素，美国海军的埃塞克斯级航母——安提坦号，于 1952 年 9 月至 1953 年 1 月完成斜角甲板改装和验收实验，成为世界上第一艘装备斜角甲板的航母。

(4) 拦阻索的创新发明。1924 年，英国人诺登和巴思成功地创新设计了较为完善的液压式拦阻索。不过，在 1927 年，美国将这一成果引进，并最先安装在列克星敦号航母上进行试验。随后由美国航空局设计并建造了世界第一代真正的液压拦阻索，并成功安装在突击者号航空母舰上。

(5) 弹射器和垂直起降的创新发明。随着喷气式飞机的发展，飞机起飞重量不断增加，

^① 一节就是每小时一海里，约等于每小时 1.852 千米。

对于起飞方式有了新的要求，1951年，英国海军司令米切尔率先提出研制蒸汽弹射器的设想，他当年就将其研制成功，并装备在海军莫仙座号航空母舰上。不过后来随着美国对于蒸汽弹射器的垄断，英国逐渐放弃了这种起飞方式。而且英国还创新采用了短距垂直起降方式，并成功研发了“鹞”式垂直起降战斗机。

(6) 双舰岛形式的创新发明。除了英国建造的伊丽莎白女王级航空母舰，还没有其他哪个国家发展设计双舰岛概念的航空母舰，就连身为超级大国的美国也没有发展双舰岛这一型号的航空母舰。

2.4.1 英国第一代竞技神号航空母舰

1913年5月英国皇家海军对一条原来标准排水量为5700吨的轻巡洋舰——竞技神号首次进行了大规模的改装，拆除了竞技神号舰艏和舰尾的重型火炮。舰艏安装了飞行甲板，作为水上飞机起飞的平台，军舰的后半部作为水上飞机的停机平台。在军舰舰桥上层建筑的后部和主桅杆的下面，用帆布临时搭成了一个活动机库，用于搭载当时英国皇家海军的主力机型——肖特式水上飞机。为了使船舰搭载更多的飞机，肖特式的机翼已经做了折叠。就这样轻巡洋舰竞技神号摇身一变成了世界海军史上的第一艘水上飞机航母。

作为世界第一艘以搭载水上飞机为使命的竞技神号航空母舰，在水下服役不久就赶上了第一次世界大战的爆发。当时，没有任何反潜能力的竞技神号在英吉利海峡遭到了德军U27号潜艇的伏击，被德军两枚鱼雷击沉。皇家海军这个时候已经感觉到了水上飞机航母是一个必不可少的舰种，因此马上就改装了另外一艘——皇家方舟号，来顶替了竞技神号。此时，英国皇家海军已经不满足于水上飞机和水上飞机航母了，他们开始考虑要改装，或者是新建真正意义上的航空母舰，即能够搭载并非水上飞机，而是真正意义上的作战飞机的航空母舰。

2.4.2 英国第二代竞技神号航空母舰

皇家海军在第一次世界大战前改建的世界上第一艘水上飞机母舰——竞技神号从一开始就是按照标准的作战舰艇来设计的。在它巨大的全通式飞行甲板上，有一个环绕着烟囱的大型舰岛被配置在舰体的右舷，给舰载机的起降过程造成很多麻烦。如果不采用一个适当的创新办法来解决这个问题，航母在使用过程中就会带来很多不便。第二代竞技神号航母的创新之处可概括如下。

(1) 岛式结构。英国皇家海军在建造第二代竞技神号航母时，在原来平原型航母的结

构上又加了一个创举——采用了岛式的结构。在军舰的全通式甲板右舷，出现了一个岛式结构的上层建筑。而这个岛式结构的上层建筑，集合了飞行甲板上面的重要的元素，包括舰桥、指挥塔围杆和烟囱。英国在设计建造这条竞技神号的时候，创新巧妙地把它们融合在了一起，形成了一个舰桥、指挥塔、桅杆与烟囱一体化的岛式结构。岛式结构的航空母舰成为现代意义上航空母舰的一个标准样板，后来的所有航母无一例外都采用这种样式。

(2) 强大火力。竞技神号首次在航空母舰上配备了前所未有的强大火力。在此之前的水上飞机母舰建造时，考虑的主要作战任务是攻击飞机，很少顾及军舰自身的防御火力问题。竞技神号则是装配了四门140毫米火炮，既可用于对海射击，又可用于对空射击。竞技神号是第一艘没有把对舰作为它的主要火力针对目标，而是把对付来自空中的威胁作为它的主要使命的舰，这一创新想法和设计非常前卫。

(3) 封闭舰艙和全通甲板。竞技神号在结构上采用了封闭式舰艙和全通式甲板，并将两者完美地结合起来。全通飞行甲板从百眼巨人号就开始了，但是封闭式的舰艙是从竞技神号开始的。此前的很多航空母舰由于是改装的，所以舰艙通常不是封闭的。开放式舰体结构在北大西洋、英吉利海峡这种风高浪大的海区作战，就会带来很大的不便。竞技神号是世界上最早的一条采取封闭式舰艙加全通式飞行甲板的岛式结构的航空母舰，正是考虑到了这种战场环境的需求而建造的。

竞技神号在1923年7月建成服役之后，经历了第一次世界大战与第二次世界大战之间20年的和平年代，就在它宝刀渐老的黄昏时代，第二次世界大战爆发了。在日军攻击之下，它连续被命中，随后沉没在印度洋的波涛之中。

第二代竞技神号航母成为英国皇家海军历史上的第一条真正意义上的新建航母，并且成为此后各航母大国在建造航母过程中仿效的一个现代航母的样板。

2.4.3 英国第三代竞技神号航空母舰

第三代竞技神号航母在刚刚建成服役下水的时候，是按照大型的舰队航母，或者按照当时的划分标准——攻击型航母来建造的，它是有弹射器的，是可以带固定翼的作战战斗机和攻击机的。但是此后随着皇家海军航母和舰载机海军航空兵部队规模不断缩水，在几次改装中，它的用途也不断地发生变化。第三代竞技神号进行过三次大的改装。

(1) 1971—1973年的第一次改装。把原来的攻击型航母改装成了一条以支援两栖作战为主要任务的两栖突击型航母，甚至拆掉了专门供大型固定翼作战飞机起降的弹射器。

(2) 1976年的第二次改装。这一次改装在保持原有的两栖作战能力的情况下，将第三代竞技神号航母改装成一条以反潜作战为主要使命的反潜航母。

(3) 1981—1982年的第三次改装。第三次进行的大规模改装，主要改装的项目是在舰艏加装了一段7.5度的滑跃起飞甲板，这是后来英国2万吨轻型航母的一个标准的舰艏。借助这样一个滑跃起飞甲板，海鹞式舰载机就可以在竞技神号上搭载，并且能够轻松地实现起降。也正是这样一个创新的改装，使竞技神号再一次恢复了能够搭载固定翼舰载机的能力，尽管它搭载的不是弹射起飞的常规舰载机，而是滑跃起飞的海鹞式垂直起降飞机（图2.4.1）。



图 2.4.1 海鹞式垂直起降战斗机

这一创新改造非常重要，因为它直接决定了一年之后，当1982年马岛战争突然爆发的时候，竞技神号才有能力搭载着海鹞式飞机与无敌号双剑合璧，前往南大西洋参战。

整个马岛战争期间，竞技神号对于维持英军特混舰队在南大西洋，特别是马岛海域的制空权和制海权这样一个作战需求，作用是绝对无法替代的。它是马岛战争中英军特混舰队的核心。

2.4.4 英国四代皇家方舟号航空母舰

1. 第一代皇家方舟号航空母舰

皇家方舟号初建时是一艘运煤船，排水量为7450吨。皇家海军在改装时对其动力部分进行了重新设计，将烟囱和舰桥移向舰艏，从而腾出了一块长约40米的空间作为飞行甲板。这艘新型母舰集中了以往所有改装和实验的长处，可搭载10架水上飞机，有正规的机库、修理车间和大型吊车。

2. 第二代皇家方舟号航空母舰

第二代皇家方舟号是英国海军在第二次世界大战爆发的前夜兴建的一艘大型的舰队航空母舰，也是英国皇家海军历史上的第二艘全新设计建造的航空母舰。

1922年2月美、英、法、意、日五个海军强国在华盛顿签订了《美英法意日五国关于限制海军军备条约》。1936年年底条约失效，美日两国便放开了手脚，第二次航母建造浪潮随之而起。这次的主旋律不再是改装，而是新建。英国作为老牌航母大国，自然会重

振旗鼓要设计出一艘当时最先进的航空母舰，第二代皇家方舟号航母由此产生。其标准排水量为 22000 吨，最高航速 31.8 节。设计师在不增加排水量的条件下，为给航母提供最大面积的飞行甲板，创新地在舰艏和舰尾都安装了轮廓明显的外伸甲板，使得整个飞行甲板比舰体的水线长出了约 24.4 米。由于军方要求能搭载超过 60 架飞机，设计师只能把原来的机库增加了一层，使舰载机提高到了 70 架以上。

考虑到北大西洋风高浪急，舰艏被设计成封闭式。封闭舰艏、高干旋双层机库、全封闭外伸甲板，再加上液压弹射拦阻索，这一系列的性能特点综合在一起，就是皇家方舟号为什么会被此后许多国家航空母舰都争相仿效的一个现代航母的样板的原因。不过为了追求最大化的载机量，这艘皇家方舟号航母只能以牺牲装甲防护为代价，而这也为它在今后的实战中埋下了隐患。

第二代皇家方舟号航母在交舰服役不到一年之后，第二次世界大战的欧洲战场全面打响，皇家方舟号航母被开往北大西洋执行反潜作战任务。在围歼俾斯麦号的过程，英国 H 舰队中的第二代皇家方舟号航母立下汗马功劳。随后一年之中，它先后参加了多次作战。在 1941 年的 11 月，皇家方舟号航母将 37 架飓风式战斗机从本土运到马尔他岛，返航过程中，意外地遭到德军 U81 潜艇的一次致命的鱼雷攻击，造成大量进水，主机停转，机舱发生大爆炸。皇家方舟号航母沉入了地中海。

3. 第三代皇家方舟号航空母舰

随着第二次世界大战结束后建材技术的发展，为了能搭载最新的战舰，这一代航空母舰在设计建造过程中结构做了很大的创新修改。最终建造完成时，它已经是一艘拥有蒸汽弹射器和斜角飞行甲板的真正意义上的大型船舰。在漫长的冷战岁月里，第三代皇家方舟号航空母舰先后经历了四次大规模的改装。1967—1970 年的第四次改装规模最大，改造后的皇家方舟号满载排水量达到了 53435 吨，全长 257.6 米，飞行甲板宽 50.6 米，吃水 10.9 米，最高航速 31.5 节。载有 12 架战斗机、14 架攻击机、4 架预警机和 6 架直升机。第三代皇家方舟号航空母舰是一艘名副其实的多功能的具有空中预警、对空作战、对海对岸攻击和反潜作战等多种作战能力的大型多用途的航空母舰。它的性能，在当时的世界各国海军中是仅次于美国的。遗憾的是第二次世界大战后英国政府大量裁减国防经费。1978 年第三代皇家方舟号航母被迫退出服役，英国皇家海军的大航母时代就此结束。

4. 第四代皇家方舟号航空母舰

第三代皇家方舟号航母全部退役之后，皇家海军转而发展无敌级轻型航空母舰。无敌级型航空母舰造了三条，首舰是无敌号，二号舰是卓越号，三号舰被重新命名为第四代皇



图 2.4.2 英国第四代皇家方舟号航空母舰

家方舟号，这也是皇家方舟号能够得以四世传家的原因所在。在 1982 年马岛战争之后的几十年中，第四代皇家方舟号航母对于维持英国皇家海军有限的远洋作战能力起到了核心和骨干的作用。它曾经先后参加过多次重大的军事行动，例如 1988 年到 1989 年科索沃的军事行动、1999 年前后的科索沃战争、北约轰炸科索沃的行动、配合美国海军于 2003 年参加对伊拉克的袭击等。通过这些实战，检验了这艘航母的作战能力，同时也再次像马岛战争一样暴露了这种轻型航空母舰作战能力上的极大局限性。

2010 年 11 月，英国女王伊丽莎白二世登上皇家方舟号，向这位战功累累的老兵道别，同时庆祝它服役 25 年。2010 年 12 月 3 日，皇家方舟号完成了它的最后一次巡航任务，2011 年 1 月 22 日皇家方舟号正式退役。

2.4.5 英国无敌级航空母舰

战后的英国再也无力建造像美国那样大气的核动力航母，所以只能折中研发一种类似于巡洋舰的常规动力航母，使用全通甲板来进行舰载机的起降。这款航母主要的作用是用来代替传统的舰队型航空母舰，无敌级轻型航母就此诞生了。英国之所以要研发折中的航母还有一个很重要的原因，就是当年的英国的海鹞式垂直起降飞机已经研发成功，所以其航母上面也能够很好地解决战机的起降问题。

英国的无敌级航空母舰的布局和常规航母是一样的，其上层建筑集中于右舷侧，里面布置有飞行控制室和各种雷达天线。由于当时建造的时候，英国设计团队设计的目标不再是以重量控制为标准，而是改成了以舰体容积为主要的控制因素，所以无敌级航母的设计方法相比于以前改进了很多。机库以下的甲板和机库以上的公共舱室都采用了扩大版的设计，大大提高了海军人员的舒适性标准，并且舰上采用了很多现代化的武器设计理念。舰体的结构重量也减轻了不少，因此才有了后来轻型航母的新概念。无敌级航母率先创新采用直通式飞行甲板和前部上翘的滑跃甲板相组合的设计方法，但由于使用曲面甲板代替了平面甲板，因此这一部分甲板无法停靠飞机，减少了飞机甲板的停机面积。

无敌级航母的设计理念更多的是一种类似于巡洋舰的理念，因此动力上面就使用了特别适用于反潜巡洋舰的新型燃汽轮机作为动力，这也是世界上首次将燃汽轮机作为航母的

主机来使用。无敌级航母飞行甲板长度为168米，宽32米，动力配置能将这款满载排水量20600吨的航母推到最高28节航速，可以携带的最大载机量为24架。

研发出来之后，无敌级航母于1982年参加了马岛战争，暴露出了预警能力不足的缺点。后来优化增加预警机之后，作为北约海军力量之一，协助美国海军抵抗苏联的潜艇。作为现代旗舰航母的先驱，无敌级航母率先使用了垂直短距起降飞机，使航母的设计大幅简化，作战灵活，能在局部海上冲突中发挥重要的作用，可以说是开创了航空母舰发展的新方向。

2.4.6 英国伊丽莎白女王级航空母舰

1998年12月，英国国防部决定自行建设航空母舰，这款现代航空母舰就是英国伊丽莎白女王级航空母舰（图2.4.3）。

伊丽莎白女王级航空母舰2017年12月7日正式服役，全长280米，宽70米，满载排水量为6万吨，是英国海军有史以来吨位最大的航空母舰。在设计方面，延续了一贯的双舰岛的设计。舰上的装甲防护并没有做得很强大，这主要是因为英国的经费问题。英国伊丽莎白女王级航空母舰并没有安装直接用于防御敌方炮弹的装甲，而是创新采用点防卫武器取代。伊丽莎白女王级航空母舰上配有从美国特别购买的密集阵近程防御武器。舰体的重要部分跟美国人一样加装了凯夫拉复合材料，用来抵御一般弹片造成的损伤。因为它的双舰岛的设计，所以可以避免多种电器设备的互相干扰，能大大降低一个舰岛受伤后导致航母完全丧失作战能力的风险。伊丽莎白女王级航空母舰前部的舰岛主要安装有航海导航、远程探测和警戒，远程雷达。后部的舰岛有航空指挥、飞机通信、电子对抗的设备，负责飞行控制和航空管制的任务。伊丽莎白女王级航空母舰有一个夹角为12度的滑跃式甲板，用来提供固定翼飞机的起飞。起飞区域长162米，宽18米，占据甲板一半的空间。



图 2.4.3 英国伊丽莎白女王级航空母舰

跟尼米兹航空母舰不同的是，它没有配备特别强大的拦阻索系统，这跟它的舰载机的选择有关。伊丽莎白女王级航空母舰最多能容纳36~40架舰载机，舰载机以配备美国的F35战斗机为主，并且滑跃式甲板被拆除，换上了弹射器。在动力方面，伊丽莎白女王级航空母舰采用了两台燃汽轮机，提供电力总功率可以达到108兆瓦以上。由于其动力输出

略有不足，伊丽莎白女王级航空母舰的最快航速只能达到 27 节。目前伊丽莎白女王号的各种配置和作战实力可以算是出色的航空母舰之一了。

2.5

苏联和俄罗斯航空母舰的兴衰

基辅号、明斯克号、瓦良格号、戈尔什科夫号等大名鼎鼎的航母曾经都是苏联海军引以为豪的骄傲。但是在今天，它们或者已经退役，或者被卖往别国，有的甚至被半道拆毁，“胎死腹中”。如今只剩下库兹涅佐夫号一艘航母在俄罗斯冰冷的海面上孤独地游弋。

2.5.1 苏联海军早期的航母梦

苏联最早发展航母的计划还是比较早的，可以追溯到十月革命之前的沙俄时代，但是当时沙俄国力是不可能完成建造航空母舰的计划的。苏联有两次契机，但是很不幸，这两次机会都被错过了。

(1) 错失的第一次机会。第二次世界大战时期苏联的直接对手德国早在 1935 年就开始了航母建造，至 1938 年 12 月 8 日，德国建造的齐柏林号航空母舰下水，随后爆发的战争不但终止了苏联的航母建造计划，也毁灭了德国的航母梦。随着德国败局已定，为了不让齐柏林号航母落入苏军之手，1945 年 4 月 25 日，齐柏林号被德军沉入海底。苏联攻占德国之后，在占领区立即把齐柏林号航空母舰从水里打捞出来。在风高浪大的北海海域拖曳的过程中，这条船中间又沉了一次，最终苏军历尽艰辛才把齐柏林号拖回本国。到了苏联之后，对这条船做了深刻的解剖和分析，才把它彻底地拆解掉。

(2) 错失的第二次机会。1953 年，斯大林去世后，苏联的航母建造计划被停止，随后上台的赫鲁晓夫不但对发展建造航母毫无兴趣，还极尽讽刺地将航母称为“海上活靶子”和“活棺材”。在战时长期担任苏联海军总司令的库兹涅佐夫，那时已经被授予苏联海军元帅军衔，在这个问题上，他跟赫鲁晓夫之间发生了巨大的争执和冲突。库兹涅佐夫很强硬，也很执着，他认为要捍卫苏联的海权，要保卫国家的海洋权益，没有航母是不行的，所以始终坚持自己的观点。

1955 年底库兹涅佐夫被赫鲁晓夫解除了苏联海军总司令的职务，一代名将的航母之梦自此完全破灭。而在第二次世界大战中因为建造航母而占尽先机的美国，却不失时机地向苏联展开了“航母无用论”的宣传，而自己却在背后大兴土木，建造航母。赫鲁晓夫正是听信了美国的“航母无用论”，认为航母是“浮动的钢铁棺材”，在未来核战争中中看不

中用，所以苏联坚持走上了“导弹制胜论”的道路。

戈尔什科夫的机会

库兹涅佐夫海军总司令被免职之后，继任上来的也是很有名的苏联海军名将——戈尔什科夫海军元帅（图 2.5.1），他在冷战时期的绝大部分时间是担任苏联海军总司令的。在发展航空母舰的问题上，戈尔什科夫是一个跟库兹涅佐夫一样的航空母舰的坚决拥护者和支持者。但戈尔什科夫跟库兹涅佐夫不一样的是，他是一个很有理智、很有策略的发展航空母舰的苏联海军领导者。此时，一场前所未有的国际危机却似乎在帮助戈尔什科夫。



图 2.5.1 苏联海军元帅库兹涅佐夫和戈尔什科夫

1962年10月，加勒比海地区发生了震惊世界的古巴导弹危机——苏联在古巴部署导弹，此举立即引起了美国的警觉和恐慌。美国当局立即成立以总统肯尼迪为首的国家安全执行委员会，并做出对加勒比海实施封锁的决定。1962年10月24日，美国集结了第二次世界大战结束后最庞大的登陆部队，马上进入战备状态。此时，双方都退了一步，但是苏联做的退步更大，毕竟它没有一支以航空母舰为核心的远洋海军，而战略导弹核潜艇又派不上用场。最后，在美国以航空母舰编队为核心对古巴建立的强大的海上封锁面前，驶向古巴海岸的苏联运输远洋船队最终只能把已经运到古巴的所有导弹撤了出来。而且撤的过程中，在经过美国封锁线的时候，无奈地打开船舱让美军悉数检查，作为两强之一的苏联无疑蒙受了奇耻大辱。面对这种情况，任何人都不得不承认，没有一支远洋海军，苏联是不能立足的。

2.5.2 苏联第一代航空母舰——莫斯科级直升机航母

古巴导弹危机最终以苏联做出较大的让步而结束，其结果让首先挑起事端的赫鲁晓夫又羞又气。戈尔什科夫趁机向赫鲁晓夫传递了拥有航母重要性的信息。不过为了不触怒性格乖张的赫鲁晓夫，戈尔什科夫还是尽量表现得小心翼翼。他建议发展反潜力量以保护苏联的战略导弹核潜艇，以这个借口，把赫鲁晓夫给说动了。经过多次反复地做工作，赫鲁晓夫终于同意开工建造戈尔什科夫所描述的反潜舰船。

1967年，苏联的第一代航母莫斯科号终于诞生了，此时赫鲁晓夫已经下台。但是戈

尔什科夫并没有喜形于色，而是继续采取了低调迂回的方式。他没有把莫斯科号叫“航空母舰”，而是叫“大型反潜巡洋舰”。

莫斯科级航空母舰，即莫斯科级直升机航母一共建造了两艘：首舰莫斯科号，二号舰列宁格勒号。从外形看，莫斯科级直升机航母实际上是巡洋舰和直升机航母这两种舰型的综合体。它的舰体的前半部是巡洋舰的舰体，因为上面装载有大量的各种型号的导弹，而后半部全是直升机的起降甲板，最多可以携带十几架 KA05 系列的反潜直升机。当然，从它的排水量来看，已经不是一般巡洋舰的吨位了，它的标准排水量是 14600 多吨。舰上搭载有各种型号的反潜直升机将近 20 架，已经具有相当强的反潜作战能力了。

此时美苏两个世界大国的军备竞赛在航母建造计划上得到了最充分的体现。1967 年莫斯科号直升机航母服役，但是早在两年前美国海军的第一艘核动力航母——企业号已于 1965 年 7 月至 10 月进行了中途无补给的环球航行，开通了航母发展的新时代。两强对比，强弱明显。面对巨大的技术差距，不甘落后的苏联海军开始了奋起直追的航母革新之路。拥有了莫斯科级直升机航母的苏联此时也遇到了航母建造技术的“瓶颈”，那就是仍然没有掌握蒸汽弹射技术。没有弹射技术，常规起降作战飞机就无法起飞，这就等于造出了航母也同样没有用。

但就在山穷水尽的时候，一种新型飞机的出现给苏联的航母发展带来了转机，那就是苏联发展的雅克系列的垂直起降作战飞机——雅克 36，后来的雅克 38（图 2.5.2），最后发展到雅克 141。这种雅克系列的垂直起降作战飞机，或者叫短距起降作战飞机，相当于英国的海鹞，既可以垂直起降，也可以滑行一段短距起降。正是这种



图 2.5.2 雅克 38 垂直起降作战飞机

飞机的出现，使得苏联海军，尤其是担任总司令的戈尔什科夫海军元帅看到了可以开工建造第二代常规动力并且可以搭载垂直起降战机航空母舰的空间和余地。他抓住了这个契机，把准备开工的莫斯科级航母的三号舰停止不造，马上立项开工苏联的第二代航空母舰。

2.5.3 苏联第二代航空母舰——基辅级

1975 年 1 月排水量高达 4 万多吨的基辅级航空母舰横空出世。基辅级航空母舰（图 2.5.3）先后一共建造了 4 艘：首舰基辅号，二号舰是明斯克号，三号舰是新罗西斯科号，四号舰为巴库号，后更名为戈尔什科夫号。

基辅级这几架航母的外形，可以用“鸟中蝙蝠”来形容。基辅级垂直起降航母的飞行甲板占了很大面积，而且在左舷有一个斜角飞行甲板。它的前半部仍然装载着传统的巡洋舰才装备的各种型号的反舰导弹、防空导弹和反潜导弹。它所装备的这些导弹的型号与前任莫斯科级相比有了更新的发展，实现了中远程和中近程、高空和中低空的一种防空的组合。另外新航母还装备远程的反舰导弹和反潜火箭，在保留着巡洋舰这些远程攻击能力的同时，还携带着十几架作战飞机，所以更像一艘航空母舰。



图 2.5.3 苏联基辅级航空母舰

因为基辅级航母是苏联海军历史上建造数量最大的一批航空母舰，4艘基辅级航母被分别放置于苏联海军的北方舰队和太平洋舰队服役，每个舰队放置2艘。4艘航母总共只用了17年时间就全部建成服役，这个建造速度在当时并不低于西方国家航母的建造速度。

2.5.4 苏联第三代航空母舰——库兹涅佐夫级

苏联时代唯一留存的、也是今天俄罗斯唯一的航母——库兹涅佐夫号（图 2.5.4），排水量接近7万吨级，已经基本上达到、甚至超过了美国战后发展的常规动力航空母舰中途岛号。此外，它上面搭载的不再是前一代基辅级航母上搭载的雅克系列的垂直起降作战飞机，而是真正意义上的常规起降作战飞机——苏27的改进型苏27K。后来这种型号经过改进之后，就是现在的苏33舰载战斗机。



图 2.5.4 苏联库兹涅佐夫号航空母舰

库兹涅佐夫级航空母舰的舰艏不再是水平的，而是一个带有十几度倾斜角的滑跃甲板。这样就可以使飞机获得在水平甲板上所不可能获得的起飞速度。性能强劲的双发战机，再配合着滑跃甲板，库兹涅佐夫级航空母舰实现了世界航空母舰发展史上第一次的创新突破——没有装备弹射器的航空母舰可以起降常规的作战飞机。

库兹涅佐夫号航空母舰详情

苏联的航空母舰可以说是属于混血型的航母，因为它在建造初期就被设计为全方位的、具备单独行动能力的武器。苏联库兹涅佐夫航空母舰建造于20世纪80年代，跟大部分苏联生产的航空母舰一样，其主要实力不仅仅是舰载机本身，它本身也有相当的威力，跟美国的航空母舰相比更加硬汉。

库兹涅佐夫号航空母舰是苏联海军史上第一艘真正意义上的航空母舰，其飞行甲板长306.45米，宽71.95米，整舰满载排水量达到了6万多吨。这样的大型舰体可以实现24架大型俯冲舰载机以及12架苏33战斗机的配备，具备非常强大的领空打击能力。可惜的是没有用上核动力，而是使用了常规动力。

苏联的库兹涅佐夫航母充分具备了现在主要海洋作战装备的反击能力。这款航母的火力已经超越了巡洋舰的配置，它自身的防御火力超过了美国尼米兹级航母，因此它足以有效地抵抗大数量、多频次、多方向的炮火攻击。即使是没有军舰护航的情况下，库兹涅佐夫航空母舰仍具有强大的攻击能力，更适合于中近海的空中火力支援。

库兹涅佐夫级航母与尼米兹级航母之比

苏联海军发展到库兹涅佐夫级，已经到了巅峰状态。但即便是这条排水量达到67500吨级的大型常规起降航空母舰，它的作战能力跟美国海军尼米兹级核动力超级航空母舰相比，差距还是很大的。苏27K飞机的飞行品质、飞行性能是非常好的。在冷战刚刚结束之后，苏27和美国当时的主战飞机F15曾经进行过正面交锋，苏27是完胜的。但是因为库兹涅佐夫级航空母舰的舰艏没有弹射器，只靠十几度的滑跃甲板起飞，极大地限制了舰载作战飞机本身的载油量和载弹量，性能大打折扣。而尼米兹级核动力航空母舰，不仅舰载机的数量是库兹涅佐夫级航母的几倍，更主要的优势是它有两条蒸汽弹射器。所以仅就这两者的作战飞机在实战条件下空中对抗的性能结果来看，库兹涅佐夫级航母所搭载的苏33战斗机和尼米兹级航空母舰所搭载的FA18大黄蜂战斗机两者之间对抗的结果，苏33战斗机是占下风的。

2.5.5 瓦良格号航空母舰的命运和乌里扬诺夫斯克号航空母舰的命运

苏联海军声誉鹊起，并正准备实施更宏伟的巨舰建造计划的时候，命运再次给了苏联航母重重的一击。1991年苏联解体了，这一年库兹涅佐夫号航母刚刚下水。苏联的所有

大型水面舰艇的造船工业都集中在乌克兰著名的、位于黑海的尼古拉耶夫造船厂，所有苏联的几大航空母舰都是在这里造出来的，库兹涅佐夫号也不例外。它下水服役之后，乌克兰已经是另外一个国家了。还好，当时俄罗斯军方国防部部长的头脑还是相当清醒的，以他所兼任的独联体国防部长的名义下令：调刚刚下水服役的，甚至是还很不完善的库兹涅佐夫号航空母舰，马上驶离黑海，加入俄罗斯北方舰队的训练，最终使得俄罗斯侥幸拥有了库兹涅佐夫号航空母舰。

但是作为工程已经完成将近70%的库兹涅佐夫级二号舰——瓦良格号，命运就没有它的首舰那么幸运了。乌克兰不需要这样一艘船，而俄罗斯又没有能力继续支付这样庞大的建造费用。瓦良格号后来流落到了中国，名为辽宁舰。

受苏联解体影响的远不止瓦良格号，苏联海军的第四代巨型核动力航母——已经完成建造近30%的乌里扬诺夫斯克号也被推到了风口浪尖上。当时乌里扬诺夫斯克号虽然尚未建造完工，但是已经进入了船台建造状态，是很有希望建成的。尚未建成的乌里扬诺夫斯克号核动力航空母舰，与美国海军的尼米兹级核动力航空母舰已经很像了，它配备的舰载固定翼预警机是雅克144。这种舰载固定翼预警机，按照苏联的设计方案，既可以用弹射器弹射，也可以在不满载的情况下用滑跃甲板起飞。由于它出色的空中机动能力，在正常情况下击败FA18大黄蜂应该还是比较正常的结果。

遗憾的是，由于苏联的突然解体，乌里扬诺夫斯克号的命运变得凶险难测。这个时候，隔岸观火的西方世界终于出手了，一个围绕乌里扬诺夫斯克号的生死、堪称耐人寻味的故事也就此发生了。

就在俄罗斯和乌克兰双方争执不下的时候，西方国家开始出面来打破了这个僵局。首先出面到尼古拉耶夫船厂的是一家挪威的造船公司，他们下订单造6条大型商船。商船很大，以至于只能在尼古拉耶夫船厂零号船台建造。另一家美国旧钢铁公司恰好也找上门来，提出要收购废旧钢铁，而且开价每吨450美元，这远远高于当时国际废钢铁的收购价格。乌克兰人唯一能做的选择，就是把这条完工30%的苏联海军第一代核动力航空母舰彻底解体，当作废钢铁卖掉。

就在解体工作基本完成，但还没有完全完成的时候，两边两家公司都变卦了。最后的结果是：这两个皮包公司在付出了为数几乎可以忽略不计的违约金的情况下，就把苏联海军的一代杰作——已经在船台上开建了30%的乌里扬诺夫斯克号给拆掉了。乌里扬诺夫斯克号航母的最终陨落，标志着苏联几十年航母梦的彻底终结。

2.6

独树一帜的法国航母

虽然法国海军在两次世界大战中都没什么作为，但法国海军接触航母和舰载机的时间其实非常早。1920年法国海军代表团参观了英国新建的百眼巨人号航母之后就决定将第一次世界大战期间开建的诺曼底级战列舰的五号舰——贝亚恩号，改建为法国第一艘航空母舰，以此作为航母和舰载机技术的开发平台。贝亚恩号满载排水量2.9万吨，载机40架，在当时的海军列强已建成的航母中位居前列。直到贝亚恩号退役，它的舰载机还从来没执行过任何作战任务，但它仍然是当时世界上寿命最长的航母，平安渡过了两次世界大战。

法国海军曾规划在20世纪30年代后期建造标准排水量2.5万吨级的正规舰队航母，但当时法国最大的假想敌德国正受到凡尔赛和约制裁，意大利也没有建航母计划，法国自身财政也困难，又有华盛顿海军条约的限制，所以最终没有付诸实施。直到1939年得知德国海军开始建造齐柏林伯爵级航母后，法国海军才决定建造2艘霞飞级舰队航母，满载排水量2万吨，载机40架。因为设计理念的偏差以及航母实际运用经验的不足，霞飞级舰队航母即使建成，也面临配套舰载机尚未投产的尴尬局面。之后，法国航空母舰的发展历史走出了一条完全创新的租借之路，先后从英国和美国租借了4艘航母。但法国一向坚持自主国防政策，在获得足够的航母运作经验并且国力得到恢复后，于1955年和1957年分别开工建造了2艘克莱蒙梭级中型航母，它们6年后相继服役。

2.6.1 法国航母的创新起步

百眼巨人号开工建造之前，法国人就开始琢磨建造航空母舰了。1914年，法国人开工建造贝亚恩号，但是由于工程进度太慢了，所以被英国人拔得头筹。贝亚恩号航空母舰是法国的第一艘航母，始建于1914年4月，最初以诺曼底级战列舰来设计建造。该舰1923年年底开始服役，经过三年的改造后成为轻型航母。其排水量为28400吨，长182.6米，宽27.1米，航速21.5节，舰员875人，机库可搭载40架飞机。投入服役后，贝亚恩号航母首先被派遣到地中海轻型舰队，1935年被派遣到大西洋舰队。由于航速太慢，该航母被降级为训练平台。之后，贝亚恩号航母被送到美国进行现代化改装，并没有参加军事行动。1945—1946年，在参加了短暂的中印战役之后，它最终被当作服务平台使用，于1967年退役并拆除。

从20世纪40年代中期开始，法国进入租赁航母阶段。先后从英国和美国租借了4艘航母：巨人号、贝劳伍德号、兰利号和迪克斯缪德号。

2.6.2 法国航母的独立创新建造——克莱蒙梭级航空母舰

从最初的改建航母，到后来从英国、美国租用航母，法国人积累了两方面的经验，第一是使用航母的经验，第二为它日后自己独立建造航母积累了宝贵的经验。

第二次世界大战后，美国发展的是8万至10万吨级的大型航母，英国等发展的是2万吨左右的轻型航母，只有主张国防独立的法国独树一帜，建的是4万吨级左右的中型航母。20世纪60年代法国先后建成了两艘功能设备比较完善的克莱蒙梭级航母，分别是克莱蒙梭号和福煦号。这两艘航母的建成，也成为当时法国海军的旗舰。

克莱蒙梭号

首舰克莱蒙梭号于1955年11月开工，1961年11月服役。该航母全长265米，宽31.27米，两台蒸汽轮机功率92600千瓦，航速32节，标准排水量27300吨，满载排水量32780吨。编制人数1821人，载机40余架。克莱蒙梭航母飞行甲板分为两个部分：一部分是舰前部的轴向甲板，长90米，设有一部蒸汽弹射器，可供飞机起飞；另一部分是斜角甲板，长163米、宽30米。甲板斜角设有一部蒸汽弹射器和四根拦阻索，可供飞机起飞和降落。

该舰先后进行了三次创新改装。1977年进行第一次改装，主要是对舰上各种设备进行大修，改装了弹药库；1985年这艘航母进行了第二次改装，加强了弹射器和升降机的性能；此后还对克莱蒙梭号作战系统进行了进一步的现代化改装工作。改装后的克莱蒙梭号航母参加了法国海军几乎所有的军事行动，展示了该舰很强的战斗力。但毕竟它已经超期服役，虽经数次现代化改装，也有力不从心之处。例如，克莱蒙梭号航母没有预警飞机，这在现代化战争中就显得落后了。

克莱蒙梭号已于1997年7月退役，但它的最终归宿却显得有些难堪。由于船体有大量对人体有害的物质，这艘航母到处寻找可以对它实施拆除的船厂。几经周折直到2019年，英格兰东北部的一个基地才最终收留了它，并最终将其拆解。

福煦号

福煦号航母是克莱蒙梭级航空母舰中的第二艘，是以法国历史上著名将领福煦元帅的名字命名的。福煦号航母于1957年2月建造，1960年7月下水，1963年7月正式服役。采用蒸汽轮机常规动力装置。这艘航母也进行过三次大的创新改装。第一次是在1964年和1967年，对舰载机进行替换，采用了美国的F81战斗机和超级军旗攻击机。第二次是在1980年7月至1981年8月，主要对设备，包括飞行甲板、战术指挥系统、飞行通信系

统等进行改进。第三次是在 1987 年至 1988 年，主要对武器装备、舰载作战系统进行现代化改装。

经历三次改装之后，福煦号可搭载有 40 架各型飞机，具有了较强的对岸对海攻击能力、较强的制空能力，但它的反潜能力一般。

福煦号航母同样参加了法国海军几乎所有的军事行动。虽然该舰的作战能力远不如美国的超级航母，但它同样具有航母固有的机动灵活性、变换攻击能力、方式和响应快的优点，是法国海军赖以生存的核心，是执行对外政策的有力工具，不仅能制空制海，而且能支援对陆作战。2010 年 11 月，该航母卖给巴西，巴西海军将其改名为圣保罗号继续服役。

中型航母和大型航母比有两个优势：第一，它的舰载机数量少，人员少，建造和维护的费用低；第二，现在海军正在转型，想要大幅提高海军以海制陆的能力，最基本的条件就是在安全的情况下尽量地靠近陆岸。所以中型航母有可能、也有潜力进一步向海岸靠近，能够为舰载机攻击更远距离的内陆目标创造更好的条件。

2.6.3 法国独立建造核动力航母——戴高乐号

作为世界上唯一的不属于美国海军的核动力航母——戴高乐号，它透着法兰西浪漫主义风格，颇有大家风范。该航母长 261.5 米，宽 31.5 米，飞行甲板最宽 64.4 米，吃水 8.5 米，标准排水量 35500 吨，满载排水量 39680 吨，两座核反应堆 8.3 万马力，航速 27 节，加一次燃料可以工作五年以上，全员编制 1700 人。

戴高乐号航母的综合作战能力要比克莱蒙梭级的常规动力航母至少强六倍。综合起来优势主要表现在以下几个方面：

(1) 超乎寻常的创新隐身设计。保护自己消灭敌人的机械隐身设计，在建筑设计中显得越来越重要。上层建筑外壁找不到一个垂直平面，都被设计成倾斜十度的封闭结构，并在舰体上涂有吸收作用的油漆涂料，使雷达反射面积比传统航母要减少 60%。

(2) 攻击能力提高。戴高乐号上搭载的作战飞机数量达到 40 架，能用于执行空战和对地攻击任务，主要用于如海湾战争这样的中等规模的区域任务以及维和任务。舰载机上有激光制导炸弹，还可以携带远距离弹药和反舰导弹。

(3) 空防能力提高。改革了克莱蒙梭号的舰载防空武器，包括创新采用四座垂直发射防空导弹、八门 20 毫米防空机关炮、两座近程防空导弹发射架及雷达干扰机系统等近程防御及电子对抗系统。戴高乐号航母编队中的护航舰艇和航母上的阵风战斗机则负责中远距离的保护，而且它拥有高度协调的指挥自动化能力。戴高乐号航母的作战指挥系统安装在舰桥内的指挥控制中心，该系统的核心部分是信息处理系统，可以保证航母战斗群与法

国海军总部以及法国政府之间进行联系。高度自动化使该机舰上的人员编制大为减少，与以往的同类航母相比，舰员减少了 1/3 以上。

戴高乐号航空母舰是一艘隶属于法国海军的核动力航空母舰，是法国海军的旗舰（图 2.6.1）。可以用三个关键词来概括戴高乐号航母的主要创新和性能：核动力心脏、隐身外形、攻防均衡。



图 2.6.1 法国戴高乐号核动力航空母舰

2.6.4 法国核动力航母建造中的购买与移植

戴高乐号航母在使用和建造过程中，有很多问题令人啼笑皆非，例如舰上人员讲法语不讲英语，但是法国必须要买美国制造的发动机，因为自己造不出来。从美国购买的弹射器要 1200 万美元一个，比它在美国报价高很多（美国国内大概 400 万美元一个）。除弹射器之外，现在的 E2C 预警机也是从美国购买的。预警机好似航空母舰的一只眼睛，现在很多中小型航母用的是直升预警机。而直升预警机的速度太慢、距离太近，所以它的预警范围、预警时间、包括雷达同时跟踪目标的数量、发现目标的距离都要大打折扣。但 E2C 固定翼的预警机如果要上戴高乐号，前提还是要从美国购买，因为只有美国有这种 E2C 预警机。当法国人提出要买它的时候，价钱又翻了好几倍——2.5 亿美元一架。

但无论如何，法国人确实还是做到了走出一条属于他们自己的中型航母之路，而且还把中型航母和核动力结合到一块了。

法国人把核动力和中型航空母舰结合到一起的这个创新想法，有运气的成分，也有想象的力量。他们采取的是水下水上结合的方法，把水下潜艇用的核反应堆移植到了戴高乐的大型水面舰艇上。其实一开始法国人是特别想为戴高乐号专门建造一座专门用的反应堆，但是整个工期由于技术太复杂，延期很厉害，再加上 1992 年金融危机，法郎大幅贬值，整个建造计划基本停止了。但是不久好消息来了，1993 年法国的凯旋号战略导弹潜艇下水了，凯旋号用的是核反应堆，在它试航过程中，反应堆工作状态非常好，所以造航母的工程师就想到把它的两个核反应堆改装后放到戴高乐上。

1995 年法国人真把 K15 核反应堆做好了，而且满足了戴高乐号上的需要，两座 K15 核反应堆就安装到了戴高乐航母上。其中，法国人实际上采用的是一种移植创新法。现在

法国人的雄心壮志依然在延续，除了他们造出了美国之外的第一艘核动力航母之外，下一代的航母他们也提上了议事日程，现在正在做着相关的规划和研究。

法国核动力航母的舰载机

戴高乐级航空母舰服役之后，它上面究竟搭载什么样的舰载机，成为又一个非常吸引人眼球的问题。

法国海军的第一代克莱蒙梭级航空母舰发展的时候，它的舰载攻击机可以国产化了，即超级军旗战斗机，但是舰载战斗机还要从美国进口。但是到了第二代戴高乐级核动力航空母舰建造的时候。法国就下决心要把舰载机主要的作战飞机全部实现国产化，确实它也实现了。

当第二代戴高乐级航空母舰服役的时候，这艘4万吨级的核动力航空母舰上带的主要作战飞机已经全部实现了国产化。它的主要的攻击机的型号是超级军旗战斗攻击机的改进版，而它的战斗机是当今世界上仍处于相当先进地位的阵风M型舰载战斗机（图2.6.2）。阵风M型战斗机和超级军旗攻击机两种机型混装，戴高乐航空母舰的舰载机的数量一共可以达35架，确实实现了中型核动力航母相当强的作战能力。戴高乐级航空母舰舰载预警机采用的是从美国进口的E2C鹰眼，共引进了4架。引进法国之后，它的型号改为E2F，也就是专门给法国用的型号。所有这些就配置完备了戴高乐级航空母舰整个的作战体系。有着多架各型舰载战斗机组成的戴高乐级航空母舰的舰载航空兵联队，是法国新一代海军航空兵远洋作战的主力。



图 2.6.2 法国阵风 M 型舰载战斗机

2.6.5 法国下一代航母的设计理念

按照法国海军传统，两艘航空母舰编制，可以确保一艘航母维修时，还有一艘可以执行任务。但由于戴高乐号刚建不久，法国政府暂无打算独自再建造一艘同级船舰。法国的航母发展一直遵照务实自主的原则，战后法国在经济情况欠佳的情况下选择了租赁，而非独自开发航母，如今同样因为经济问题暂不考虑建造第二艘航母。

然而法国继续发展航母的规划从来没有停止，由于建造航母花费巨大，法国有意与英国合作建造航母，英国方面对此也有积极响应，支持合作计划。据悉法国有意在建造下一艘航母时回归常规动力，戴高乐号服役以来接连发生各种故障，证明法国核动力航母技术上不如美国成熟稳定，实现海上无故障航行仍有困难。此外戴高乐号虽然采用了核动力，但航速并未提高，27节的航速不仅低于克莱蒙梭级航母，也低于其舰队中的主要护卫舰。另外核动力航母费用高和辐射剂量超标的问题也无法妥善解决，回归常规动力应当是一个务实的选择。

有关资料显示，法国下一代PA2航母上配备的弹射器数量和弹射方式均与戴高乐号基本保持不变，仍仅有两部弹射器和40架舰载机配置。满载排水量近8万吨，几乎是戴高乐号的两倍，但是造价却控制在与戴高乐号相当的水平。同时PA2航母搭载战机的能力也大大提高，它可同时携带32架阵风舰载战斗机、3架预警机和5架反潜直升机。此外PA2航母也被赋予强大的对地功能，它的两座席尔瓦垂直发射装置可装填16枚，射程500多千米的战略巡航导弹，安装有复杂的综合指导系统，能达到比美国导弹更好的打击效果。美国安全专家曾说PA2航母自身攻防能力兼备，没有美国现役航母重防轻攻的弱点。更令人称赞的是现役航母都是采用单舰岛，而PA2采用双舰岛设计，即拥有两个指挥台，变成前后两个位于右舷的舰岛。前者主要负责航母本身的航行操控，后者则以舰载机起降控制为主，从而使各自功能更加专业化。

作为军事强国的第二梯队，这种从核动力向常规动力的回归，再一次反映了法国的务实精神。因为法国现在面临着一个很重要的选择——要排名，还是要一个好用、能用的航空母舰。它选择和英国人联合建造下一代航母，这样做可以节省很多设计费、材料费。另外，通过改用常规动力方式，也能在中小强度的冲突中发挥作用。

2.7

日本航空母舰的乔装发展

世界上第一艘真正意义的航空母舰是日本1922年12月27日竣工的凤翔号航空母舰。该舰虽然在开工时间上要晚于英国的竞技神号，但由于日本建设速度较快，赶在竞技神号之前完工了，使得凤翔号成为世界上第一艘真正意义上的航空母舰。

作为第二次世界大战的战败国，日本是不被允许拥有进攻性武器装备的。但随着国际局势的变化以及日本自身雄厚的科技工业实力，使得它在很多进攻性武器发展方面采取“打擦边球”“挂羊头卖狗肉”的方式。第二次世界大战后，日本在航空母舰发展上就

是典型的案例，他们以发展直升机护卫舰的名义为掩护，实则是在发展航空母舰。

2.7.1 第二次世界大战时期日本航母的显赫地位

日本在经历了第二次世界大战之后，制定的和平宪法要求它是不能拥有军队的，所以日本的防卫力量目前叫作“自卫队”。在世界航空母舰的发展史上，日本曾经有过非常显赫的地位。作为一个资源匮乏的海岛国家，日本完全依靠外国资源来维持本国经济。海上交通舰是维持生存的生命舰，为此日本在发展海上兵力方面不遗余力。

回顾历史可知，1868年明治维新后，日本就拥有了自己真正意义上的海军。1894年在扩张野心的驱使下，日本凭借强大的海军力量，悍然发动甲午战争入侵中国，一跃成为亚洲霸主。此后它越发致力于建立本国海军，1906年下水的萨摩号战列舰是当时排水量最大的战列舰。在舰艇的武装配备上，日本海军率先在金刚号战列舰上创新使用了356毫米的大口径主炮。到了大和号超级战列舰，满载排水量已超过了7万吨，甚至装备了460毫米的主炮，这在世界海军史上可谓空前绝后。日本也尤其重视发展航空母舰。英国是世界上第一个建造航母的国家，但比英国晚开工两年多的日本奋起直追，1922年的凤翔号是世界上第一艘非改装而完全新建的航空母舰。太平洋战争开始时，日本海军已经拥有10艘航空母舰，组成了当时世界上最大、最先进的航母舰队。

第二次世界大战期间日本疯狂地建造了20多艘航母和各种巨型战舰，其军舰总吨位居世界第三。到了战后，昔日日本联合舰队的航空母舰全部葬身在太平洋战争的战火之中，最后残存的几艘在战争结束时也都被解体。

2.7.2 第二次世界大战后日本航母梦的破灭

战后以自卫队名义恢复重新建立起的日本防卫力量，尤其是海上防卫力量，即所谓的“海上自卫队”，在航母的历史上是以一种另类的态度发展的。

1952年的《新日本海军再建案》

1945年第二次世界大战结束，日本在1952年，就重新开始考虑要建造航空母舰。当时在日本战时曾经担任日本海军军令部军务局局长的海军少将山本善雄的主持下，日本制定了一份《新日本海军再建案》。其中赤裸裸地提出要建造四条排水量为8000吨级的航空母舰，这是日本在战后第一次动了造航母的念头。但由于各方面势力的反对，这个提案只能不了了之。

1959年的《第二次防卫力量整備计划》

随着战后的重建，日本经济实力得到迅速恢复，1959年利用当时日本制定《第二次防卫力量整備计划》的机会，再次有人提出要建造航空母舰，而且这次的排水量已经提高到了14000吨级。当然日本对外解释这不是航空母舰，不是为了要去重新发展一支航空母舰为主的远洋海军，而是为了护航，但它其中的用意所在显而易见。此次计划在各方力量的封杀之下未能成行。

2.7.3 日本海上自卫队的八八舰队

在冷战的后期至冷战结束之后，日本的这只名义上叫作自卫队的海上自卫队，打着各种名目就开始一步一步地走出了自己的另类航母发展之路。

八八舰队的组成及最初使命

日本海上自卫队成立于1954年，其主要任务是防护日本领海，兵力约为44000人，共有各式舰艇160多艘。它的核心是4支八八舰队，所谓八八舰队就是由8艘主力舰、8架舰载直升机组成的一支综合海上编队。这样的配置是日本在长期的作战训练中总结出来的。目前日本有4支这样的八八舰队，在未来可能会发展成为九九舰队，或者十九舰队，也就是10舰9机。

尽管第二次世界大战后制定的日本国宪法规定：海上自卫队不能配备战略攻击舰及核潜艇等。但无论是八八舰队或十九舰队，它就像是一支微缩版的美国海军。从对现在日本海上自卫队，即八八舰队的作战能力进行分析可以看出，日本最初构建八八舰队的时候，主要的作战使命是针对苏联巨大的潜艇威胁。到了战时可封锁日本列岛的诸岛链，从而封堵苏联海军的潜艇通过日本列岛进入西太平洋的战略通道。所以日本首要的作战使命就是反潜。8艘驱逐舰中有5艘都是反潜驱逐舰，8架舰载直升机全部是用于反潜任务的直升机，所以不难看出8舰8机的八八舰队最初就是因为反潜而生的。

冷战结束前后，日本在水面舰艇的发展上一步一步地继续向大型化、综合化、信息化水平发展。典型标志就是日本通过从美国引进先进的技术，成为世界上几乎是除美国之外第二个拥有宙斯盾导弹驱逐舰的国家。

宙斯盾作战系统

宙斯盾作战系统是美国海军为自己构筑的一道坚固盾牌，它的反应速度非常快，主雷达从搜索方式转为跟踪方式仅需0.05秒，能有效对付掠海飞行的超音速反舰导弹。这套

系统自 1981 年成功研制后，先后装备了美国 27 艘提康德罗加级巡洋舰。日本海军新一代金刚级驱逐舰上也配置了从美国采购的宙斯盾。宙斯盾作战系统代表了当今世界最先进的技术，每套作战系统的造价高达 2 亿美元。

拥有了这种宙斯盾导弹驱逐舰（图 2.7.1）之后，整个八八舰队，不仅反潜能力得到进一步加强，更主要的是它拥有了相当强的远洋舰队防空能力。以金刚级和两艘爱宕级宙斯盾导弹驱逐舰服役为标志，日本未来的十九舰队不仅拥有相当强的反潜作战能力，而且具有相当强的防空作战能力，甚至具有抗空中炮火打击的能力。这意味着它在反潜作战能力方面和防空作战能力方面，已经完全达到了美军一个航母战斗群中护航舰艇的水平。



图 2.7.1 日本宙斯盾导弹驱逐舰

2.7.4 日本的另类航母乔装起步

长期以来，日本都有一种浓厚的航母情结。早在航空母舰刚刚问世时，日本就萌发了成为航母大国的强烈冲动。

大隅号

第二次世界大战惨败后，日本人的航母梦并未熄灭，尽管战后受到种种制约，但日本军方一直在谋求恢复联合舰队的规划。1996 年 11 月 18 日，日本海军战后最大的坦克登陆舰大隅号下水，1998 年它正式服役。大隅号采用全通甲板、右舷岛式结构，标准排水量达 8900 吨，舰长 178 米，舰宽近 26 米，两台柴油机，最大航速为 22 节。

大隅号的建成创造了战后日本海军舰艇史上的几个创新奇迹：舰体长度第一；作战舰艇中标准排水量第一；在两栖舰船中首次采用隐形设计；前开门可搭载直升机和气垫登陆艇；并装备两座密集阵近防炮。当全世界都惊呼这是航母时，日本人却平静地说他们造的是新型运输舰。从大隅号目前所拥有的主要战术技术性能参数来看，它还有相当强的发展空间。即便大隅号不做更大的改进，例如不加装滑跃起飞甲板，但海鸥式垂直起降飞机也完全可以在大隅号上起降。当然如果对舰艏做适当的改动，完全可以进行滑跃起飞。所以从这个角度看，大隅号完全可以改变为一艘轻型的航空母舰。

日向号

如果航速只有 22 节的大隅号可以定位为两栖攻击舰，那么日本以舰载机驱逐舰名义发展的日向号，就更值得关注了。

2004 年日本海上自卫队开始建造日向级大型直升机驱逐舰，首舰日向号，2007 年 8 月下水，2009 年 3 月服役。伊势号也于 2009 年 8 月下水，2012 年编为日本海上自卫队的作战序列。日向号舰长 197 米，宽 33 米，标准排水量 13500 吨，满载排水量 18000 吨，比小型航母都要大。作为拥有舰队指挥功能的大型战舰，日向号配备了完善的综合指挥系统，可搭载 11 架直升机，不仅可执行反潜、扫雷等任务，还有条件承担对陆攻击和对岸投射任务。

虽然日向号和伊势号的外形酷似航母，但日本海上自卫队官员一直坚称它们不具备搭载战斗机的能力，所以不能称为航母。

2.7.5 日本海上自卫队的 1000 海里护航战略

日本海上自卫队在冷战后期一直秉持的理念和发展方向，就是未来要维护日本 1000 海里的海外战略航线，这也是日本海上自卫队未来作战的范围。回顾历史可以看出日本为什么会提出这样一个口号。日本在第二次世界大战时期被美国潜艇打得损失惨重，美国潜艇有效地封锁了日本的物资补给，日本从海外各个占领区进口的能源原材料，基本上逐渐地陷于枯竭的状态。这直接导致此后日本国内军工生产的大幅下降，使其在太平洋战争中巨大的损失无法得到有效补充，从而间接促成了太平洋战争转折点的尽快到来。正是有了这个惨痛的教训，日本人知道隐蔽在水下的潜艇对一个国家，特别是像日本这种经济“两头在外”，资源贫乏的国家意味着什么。面对这种巨大的威胁，日本战后的海上自卫队才提出要具备护航 1000 海里海外航线的作战使命和作战要求。日本在近海不太需要考虑空中掩护的问题，但要到 1800 千米之外去维护自己的海上战略航线，日本就必须建造军舰。作为未来十九舰队的核心，日向级两条舰已经下水服役，首舰 181 舰是日向号，二号舰 182 是伊势号。

2.7.6 变本加厉造航母

战后重建的日本海上自卫队，急迫要造航母，是和第二次世界大战的惨败有密切关系的。日本海军奇袭珍珠港，取得了辉煌的战绩，然而却疏漏了一个重要的契机，使得本该停泊在这里的三艘美军航母逃过一劫，成为日后美国海军发起反击的重要依靠。作为日本

海上自卫队前身的日本海军联合舰队，跟美国海军在浩瀚的太平洋上展开了人类海战史以来空前的，到目前为止也是绝后的一幕又一幕，以航空母舰编队为核心的海空大战。

在太平洋战争中，美日双方使用的战术几乎都围绕航母部署展开，所能投入的舰载机数量成了决定胜败的关键因素。埃塞克斯级航空母舰的出现，彻底扭转了整个太平洋地区的形势。埃塞克斯级航空母舰载机规模可以达 80 多架，大大增加了航空力量。截至战争结束，美国共有 15 艘埃塞克斯级航空母舰投入使用。具备超强生产能力、能够迅速补给各种船舰的美国，最终打破了日本的海上优势。太平洋战争见证了航空母舰的巨大威力，从此它取代战列舰成为新一代的海洋霸主。

作为失败的一方，现在的日本海上自卫队仍对当年那只拥有几十艘航空母舰的强大的日本海军联合舰队有着始终挥之不去的留恋。

日本海上自卫队发展的日向级 16DDH，只是它走向远洋计划的开始，下一代直升机驱逐舰 22DDH，则更易看出它的用意之所在。

就在世界各国对日本的所谓直升机驱逐舰日向号和伊势号津津乐道而又表示怀疑之际，日本很快又有了新动作。2010 年，也就是平成 22 年，正式开工建造编号为 22DDH 的舰船。新的 22DDH 舰长 248 米，宽 39 米，排水量超过 24000 吨，与第二次世界大战期间的埃塞克斯级航母相比，很难再用驱逐舰来称呼这艘舰艇。日向级的首舰舰艏有一个密集的舰炮，会影响固定翼作战飞机的起降，如果不拿掉，F35B 就起降不了。但是到了 22DDH，舰艏已经是全空出来的全通甲板。另外还有一点不同，16DDH 的两个升降机是分别部署在飞行甲板的前中部和后中部的，而 22DDH 的这两个升降机已经被挪到了舰体右舷舰岛的后部，把整个甲板的主要部分已经全部让出来了。显然让出甲板不是仅仅为了起降直升机的需求。以前的日本海上自卫队是被除掉了航空母舰和攻击性核潜艇的微缩版的美国海军，现在以 22DDH 为核心的日本海上自卫队的十九舰队，完全有可能成为 2 万吨级的、可搭载 F35B 短距垂直起降固定翼作战飞机的重型载机舰。

2.7.7 日本航母出云号下水

日本第二次世界大战后建造的最大型战舰 22DDH 驱逐舰，正式命名为出云号。日本建造出云号直升机航母的计划始于 2009 年，2011 年日本政府批准了这个预算，2015 年 3 月此舰服役。这艘所谓的驱逐舰其实是日本海上自卫队拥有的第一艘航空母舰，因为它具有航母的特征：排水量 2 万多吨，而且设置有通长甲板。重要的是它具有航母最关键特征：以搭载舰载机作为主要的作战武器。所有的这些特征都体现出它不是驱逐舰，而是一艘航母，准确的定义是以直升机为主要作战武器的反潜型的航母。

日本出云号驱逐舰（图 2.7.2）的下水，引起国际社会一片哗然。出云号长达 248 米，满载排水量 2.7 万吨，能搭载 14 架直升机，理论上可配备短距起飞垂直降落战斗机。只需要简单地改装，出云号就具备搭载 F35B 垂直起降作战飞机的能力。尽管出云号驱逐舰并不能与大中型航母相比，但已经是日本海上自卫队作战能力的一大突破，即以此作为契机，进行航母编队指挥系统以及舰载机自动化指挥引导系统的研制，这对于缺少相关经验的日本海上自卫队是非常有意义的。出云号上配备有源相控阵雷达、V-22 鱼鹰运输机。日本还计划把鱼鹰运输机改造成舰载预警机和舰载运输机，以此来完善出云号作为航母的作战和领导能力。



图 2.7.2 日本出云号直升机驱逐舰

2.8

印度航空母舰的二手之路

1947 年，英属殖民地独立，印巴分治之后分成印度和巴基斯坦两个国家。1957 年印度开始克服重重困难，一艘又一艘，前赴后继地不断购买二手航母，要建立起一支以二手航母为核心的远洋海军。其中的原因离不开印度的决策层（包括军方），对印度本身战略环境的认识和对印度洋的认识。印度整个的国土面积，大概有 2/3 以上都是深入印度洋的。而且它的海岸线非常漫长，以至于只要是来自海上的威胁，对于印度来讲几乎都是防不胜防。所以独立之后的印度，针对自己这种独特的地理环境，急切想要构建一支强大的海军，特别是远洋海军。

印度共和国第一任总理尼赫鲁在 1957 年就授意印度军队从英国购进了维克兰特号航母，因此印度也一跃成为亚洲第一个拥有航母的国家。维克兰特号在第三次印巴战争中扬名世界。之后，尝到胜利滋味的印度海军 1986 年又向英国以 5000 万英镑的价格买下曾经参加过马岛战争的老舰——后改名为维兰特号，至此完成了双航母战斗群的部署。此后，从俄罗斯购买基辅级航母戈尔什科夫号的过程，更是艰难曲折。

50 多年来，有志于发展航母的印度海军，在取得辉煌业绩的同时，也饱尝了寄人篱下、仰人鼻息的滋味。正是这种复杂多变的国际政治环境和极其险恶的国际军火市场，促使印

度下决心建造自己的航母。印度这种发展远洋海军的决心和执拗的理念，是任何一个作为未来海洋大国的国家，都必须认真去思考和借鉴的。

2.8.1 印度航空母舰的发展

位于亚洲南部的印度，是南亚次大陆最大的国家。它向来视印度洋为其内海，因此控制印度洋一直是印度海军的战略目标。为了实现这一目标，印度一直孜孜不倦地走在追求航母的路上。

20世纪50年代起，印度就一直坚持走购买、改造和自主研发航母的发展之路。印度制造大型海上作战平台的水平非常缺乏，长期以来的军购政策也限制了本国造船工业的发展，而一味向外求购，就会丧失创新的空间和机会。历史经验说明，从国外要想真正买到有较强作战能力的航空母舰，是不太可能的。

印度首艘国产航母建造计划起源于1999年，当时印度议会批准了造新航母维克兰特号的计划。虽然号称是国产航母，但这艘航母却真正地实现了国际化生产。该航母由法国设计，动力系统来自美国，火炮系统主要采用意大利的，雷达系统来自德国，而舰载机主要是俄罗斯的米格29战斗机。维克兰特号于2009年2月28日举行了龙骨安装仪式，2011年12月29日，维克兰特号航母从造船厂出厂下水，不过此次下水是为了把船厂让给其他船舶的建造。2022年9月印度政府在科钦为维克兰特号航母举办了服役仪式。

除此之外，2004年，俄罗斯表示可以无偿向印度提供基辅级戈尔什科夫海军上将号航母，但前提是印度方面需要承担航母现代化改装的费用。印度将该航母命名为维克拉玛蒂亚号，改装费用初定为15亿美元，后来一路高升至23.4亿美元，其中包括现代化改装和所搭载的米格29舰载机费用。当时双方表示力争2008年交付，但由于改装工程进展缓慢、事故频频，导致交付日期被一再推迟，直到2012年年初改装才基本结束。

印度现在面临的问题是：从英国进口的竞技神号，即改名后的维拉特号，已经服役了50多年，很难再担任大量的作战任务；而从俄罗斯引进的维克拉玛蒂亚号不断产生新的问题；自己打造的国产航母下水后，还会遇到许多技术“瓶颈”问题。

2.8.2 印度的海洋发展战略——“东进、西出、南下”

从20世纪90年代开始，印度海军就提出了全新的发展思路，概括为“东进、西出、南下”的战略。所谓东进，就是印度海军以孟加拉湾为依托，出马六甲海峡进入南中国海，甚至西印度、西太平洋，把印度海军的实力由印度洋向东伸入太平洋；西出是印度海军的

另外一个发展方向，以阿拉伯海为依托，向西经苏伊士运河、红海进入东地中海，甚至穿直布罗陀海峡进入大西洋；作为未来想成为印度洋主宰者的印度，它更主要的一个发展方向，就是全力南下，以印度次大陆作为一个永不沉没的航空母舰，远洋海军以此为依托，全力南进，一直到印度洋的最南端。从这个角度来看，印度海军的发展战略，既可以使其进入太平洋，也可以使其进入大西洋。

2.8.3 印度购买的首艘航母——维克兰特号

第一艘二手航母——维克兰特号

为了凸显印度在亚洲的大国地位，1957年尼赫鲁授命印度军方从英国购进了本国的第一艘二手航母维克兰特号，它的到来使印度成为亚洲第一个拥有航母的国家。

维克兰特号航母原为英国尊严级的大力神号。标准排水量16000吨、满载排水量19500吨、最大航速24.5节、可搭载海鹞垂直起降飞机和反潜机等各型舰载机22架。这条航母引进到印度之后，在漫长的历史阶段长期服役，一直是作为印度海军的主力舰来使用的。

印巴分治方案

作为被英国统治了190年的英属殖民地，在英国最后一任驻印度总督蒙巴顿的干预下，英属印度便被分成两部分。这个貌似平和的印巴分治方案，却给印度和巴基斯坦两国人民带来惨重灾祸，包括先后有50多万人在宗教仇杀中丧生。印度和巴基斯坦独立建国开始就围绕着领土争端——特别是克什米尔领土的争端，连续打过三次大战。其中在1947年和1965年，印度和巴基斯坦就因为克什米尔问题爆发了两次战争，双方均没有获得想要达到的军事意图和政治目的。

第三次印巴战争

1957年后拥有了维克兰特号的印度海军信心大增。1971年11月21日印度海军向巴基斯坦发起突然进攻，第三次印巴战争爆发。这一战终于让维克兰特号找到了一个真正扬名世界的机会。第三次印巴战争战火一打响，印度海军以维克兰特号航母为核心，组成特混舰队北上，直接进入孟加拉湾，对巴基斯坦东部的的主要海岸港口实施了全面封锁。在这期间，维克兰特号航空母舰30多架舰载机先后出动了近4000次，对巴基斯坦海军发起攻击，击沉多艘巴基斯坦海军的主要作战舰船。在封锁的整个过程中，还先后击沉、击伤、

俘获巴基斯坦用于海上运输的商船 40 余艘。整个作战效果就是完全切断了东巴与西巴本土主力的海上联系。最终导致聚首东巴地区的巴基斯坦守军陷入内无粮草、外无救兵的困境窘境，在印度军队的围攻之下，惨遭失败。战争的最终结果是印度成功实现了肢解巴基斯坦，东巴独立，成为新的孟加拉国。

印度在这次战争中之所以能够达到这样非常有效肢解对方的战略企图，以维克兰特号航空母舰为核心的特混舰队对巴基斯坦东西两部分之间的海上封锁，起到了重要的、不可或缺的作用。

2.8.4 印度购买的第二艘航母——维兰特号

第三次印巴战争结束之后，印度这条二手航母发展之路是决心一定要走下去了。这时，打算在阿拉伯海和孟加拉湾各部署一个航母编队的印度海军又把目光投向了老东家——英国。

鉴于英国两艘航母在马岛战争中的良好表现，战争结束后不久，印度海军就购买了其中没有受到攻击、已经面临退役的老航母竞技神号。这条皇家海军的老舰先在英国船厂进行现代化的改装，适合印度的需求之后，再开回印度。这也充分说明印度国内的军火工业非但不具备建造大型作战舰艇的能力，甚至连改装、维修、保养的能力都不具备。

竞技神号航母被卖到印度之后，改名为维兰特号（图 2.8.1）。维兰特号航母标准排水量为 23900 吨、满载排水量可达 28700 吨、最大航速为 28 节，可搭载海鹞垂直起降飞机和海王反潜直升机等各型舰载机 20 架。又一条二手航母的加盟，让印度海军终于完成了双航母战斗群的部署。但是这个格局没有能够维持多长时间，岁月无情，曾在第三次印巴战争中立下战功的维克兰特号已经“病入膏肓”“老态龙钟”，到了该退役的年龄了。



图 2.8.1 维兰特号航空母舰

2.8.5 印度购买的第三艘航母——维克拉玛蒂亚号

维克兰特号退役之后，印度又只剩下孤零零的一条维兰特号航空母舰了。所以印度准备再去购买一条航母，补上自己的缺憾，仍然要保持双航母编队的海军远洋力量格局。

天大的“馅饼”——戈尔什科夫号航母

这时从另外一个方向掉下来一个天大的“馅饼”，砸到了印度头上，这就是俄罗斯的基辅级航母戈尔什科夫号。戈尔什科夫号是基辅级航母的第四艘舰，由于它在排水量、整个舰载电子设备、导弹火力等发面都与前三艘舰有着很大的区别，是该级别航母中设施最先进的一艘。戈尔什科夫号航母的标准排水量为32000吨、满载排水量37100吨、最大航速32节、可搭载雅克38垂直起降飞机和反潜直升机等各型舰载机30余架。这艘舰在俄罗斯海军服役没有多长时间，就发生了几次重大的事故，包括火灾、爆炸，马上就要成了一条废船，不能再继续服役下去了，俄罗斯海军也没有力量把它再重新修复起来，所以准备出手。

俄罗斯总理普京在访问印度的时候就给印度带来了一个天大的大礼包——把废弃的戈尔什科夫号免费送给印度，并提出愿意有偿帮助印度改装戈尔什科夫号，但另外附加的条件是这艘航母上要搭载俄罗斯生产的米格29战斗机。印度综合考虑之下最终接受了，毕竟这个时候从其他的军火市场上没有这么合适的二手航母。更何况戈尔什科夫号作为基辅级航母的第四艘舰，排水量达近4万吨级，基础硬件条件还是很好的，比起此前印度的两条都是2万吨级的航母，跨越了一大步。

无偿赠送背后的商业欺诈

没想到从此印度就进入了一个深度套牢的状态，刚开始俄罗斯提出的改装费用为10亿美元，这其实已经不算便宜了。但10亿美元买一条4万吨级的都改装好的航空母舰，而且是采用常规起降滑跃起飞，印度人认为值得。但很快这个价格就增长到了15亿美元，其后一路增长，最终的造价已经到了近25亿美元。印度购买戈尔什科夫号的事例，一方面展现了国际军火市场的险恶，另一方面也可以看出印度对于航空母舰为核心的远洋海军的执着。

俄罗斯改装工期一再拖延

俄罗斯一次又一次地推迟交货，这恰恰是它的悲哀。自己造出的航空母舰交船的时间和工期一拖再拖，主要原因就是俄罗斯海军早已不是昔日的苏联海军。俄罗斯现在能够造船的船厂，在苏联时代都是造核潜艇和中型水面舰艇的，所以它没有建造航空母舰的任何技术储备和经验。俄罗斯实际上是在拿着印度的钱，通过给印度改装戈尔什科夫号航空母舰这一过程，再重新学习、积累制造航空母舰方面的经验，重新进行技术储备。

维克拉玛蒂亚号交付使用后，印度海军从2万吨级的维克兰特号和维兰特号时代进入

到了4万吨级的维克拉玛蒂亚号时代；而它的航空舰载机也从海鹞的垂直起降时代进入到米格29的滑跃起飞时代。

2.8.6 维克拉玛蒂亚号航母入军演

最终在经历了一番波折之后，2013年维克拉玛蒂亚号航母终于来到了印度。改造后的维克拉玛蒂亚号航母排水量4.5万吨、长283米、宽60米、最高时速为30节、可以搭载30架飞机，其中包括米格29K战斗机等。军方表示该航母将在印度海军服役30~40年。

印度洋海面上的首次亮相

2014年1月，维克拉玛蒂亚号航母首次在印度洋海面上亮相，印度也因此实现了自1992年之后第一次的双航母编队。印度方面还特别报道了编队建制：其中航母战斗群中除了两艘航母外，还有三艘驱逐舰、五艘护卫舰、三艘巡逻舰、一艘油轮和两艘机动舰。美国人则认为：没有固定翼预警机，维克拉玛蒂亚号航母的能力就远远无法与戴高乐级这样的航母相提并论。此外由于其前身——戈尔什科夫号航母在设计上搭载的是雅克38垂直起降飞机，因此进一步降低了该舰甲板的起降效率。而且印度航母编队的防空能力也非常有限，舰载防空导弹最大射程不超过35千米。所以印度双航母编队的名头虽然响亮，但是该编队的存在，更多在于它的象征性意义。

阿拉伯海域的联合海上军演

2015年在阿拉伯海域举行的海上联合演习中，印度现役的两条航母——维兰特号和维克拉马蒂亚号双双上场，这次参演标志着维克拉马蒂亚号航母战斗群已经初步具备了战斗能力。本次演习是在完全数字化的条件下进行的。除航母之外，包括护卫舰、导弹驱逐舰在内的印度多型国产新战舰以及印度空军的战机均参加了本次军演。由于印度有着一定的航母使用经验，因此维克拉玛蒂亚号航母的战斗力形成速度相对较快。在这次演习过程中，维克拉玛蒂亚号航母配备的米格29K战斗机、海鹞式舰载机、反潜机和海军陆战队一起进行了协同作战演练。期间，印度国防部长再次强调表示，印度海军必须保持在印度洋地区的优势兵力。

尽管印度军演让人们看到了维克拉玛蒂亚号航母已经投入使用，但由于这艘航母在改造的过程当中经历了太多的问题，有太多的波折，因此至今质疑声不断。对于这艘航母的战斗力，有观点声称：估计维克拉玛蒂亚号能够使用的舰载机种类和数量都非常有限。

2.8.7 印度决心建造国产航母——蓝天卫士号(新维克兰特号)

20世纪90年代,印度就开始酝酿提出要国产建造自己的航空母舰。

先进的隐形舰体技术

在印度的科钦船厂建造的印度第一艘国产的航空母舰——4万吨级的蓝天卫士号的方案,几乎与戈尔什科夫号如出一辙。但是由于它是全新建造的航空母舰,舰体的结构已经考虑到了90年代以后世界隐形舰体技术的发展。整个上层建筑安装了大量的电子战和信息战雷达探测设备。由于整体的外形考虑了隐形的设计,所以与现在的维克拉玛蒂亚号相比,它是更为前卫、更为先进的一艘中型航空母舰。

建造中的各种尴尬问题

不过这条自建航母的道路却丝毫不让印度省心。首先印度从来没有建造过排水量在1.8万吨以上的船只,要直接建造设计排水量为4万吨级的航母,其困难可想而知。因此印度曾计划将自建航母的规格缩小到1万吨级左右,但遭到军方强烈反对。其次印度自建航母的核心技术装备和载机全部依赖进口,为此印度不得不花费高价分别从以色列、法国购建防空系统;从俄罗斯和英国引进米格29和海鹞战机。另外航母一旦建成,就必须跟进配套舰艇,但以印度目前的舰艇配置看,现役驱护舰还不够分配给科尔什科夫号和维克兰特号航母编队使用的,如果再加上新成员——蓝天卫士号,就更是捉襟见肘了。最现实的问题是因为解决不了弹射器问题——这艘航母的舰载机依然只能采用滑跃式起飞,这就意味着与目前世界最先进的电磁弹射技术没有可比性,就是与蒸汽弹射器比较也相距甚远。随着一个个难题的接踵而至,蓝天卫士号下水服役的时间也一再拖延。

一再拖延的服役时间

1999年,印度议会批准了蓝天卫士号航母建造计划,直到2004年11月,印度政府才拨款300亿卢比动工,但是由于各种原因,这艘航母直到2006年才开始动工。2013年8月12日,印度国产航母蓝天卫士号终于下水,但这次下水并不代表交付和能使用,这艘下水的航母只是个空壳,仅完工30%。印度政府随后对外宣布:2015年就让这艘航母服役。2015年5月25日,这艘航母在万人期待下再次下水,这是蓝天卫士号航母第三次下水,不过它这次又令众人失望了,刚到水里就发生了故障,亮相草草收场,服役计划再次搁浅。2018年7月19日,印度新闻局对外称,有望在2021年交付新维克兰特号航母,并宣称这艘航母将在2021年年底或2022年年初服役。磕磕绊绊,终于在2022年9月印度政府

为这艘航母举办了服役仪式。

2.8.8 印度的核动力航母计划

印度试图在国产航母研制项目框架内，加快已被本国海军命名为维沙尔号的最大航母的设计和建造速度。据悉这艘 6.5 万吨级航母优先考虑核动力装置，并研制装配美国的电磁弹射系统，以提高战役能力。此外为了打造南海海军，印度莫迪政府还批准建造 7 艘隐形护卫舰和 6 艘攻击型核潜艇，预计耗资 160 亿美元。

近年来，印度的双航母战斗群公开亮相——维克拉玛蒂亚号和维兰特号航母“双剑合璧”，格外吸引世界的关注。在演习中两艘航母分别频繁起降包括米格 29K 在内的舰载战机，以检验印度海军航母部队战斗力。更重要的是连续宣布庞大的造舰计划，则说明印度并非只注重航母力量的打造，其他主宰力量也是印度海军的重点。除了正在后续完善中的国产航母维兰特号外，印度还正在设计更为先进的国产航母——核动力航母维沙尔号（图 2.8.2）。



图 2.8.2 印度维沙尔号核动力航空母舰

2.9

中国的航母梦

海权是一个沿海国家生存和发展的重要权利，也是一个国家的核心利益之一，只有在海权的安全与发展的前提下，才有国家的安全与发展。然而，当代中国海权还存在严重问题，在海洋领土主权、海洋经济权利、海防力量、海上维权等方面仍存在不同程度的危机。海权危机问题既是历史遗留问题，也是当前我国与周边国家在海上多重矛盾叠加的结果。20 世纪 70 年代以来，随着中国海上实力的快速发展，周边国家也加快向海洋扩张，并将其势力范围深入中国主权海域，从而开启了中国海权危机的时代。

20 世纪初期，当航空母舰刚刚问世的时候，就有一些思想进步的中国人想到了要发展航空母舰。1945 年，第二次世界大战结束的时候，英国人曾经主动表示要赠送给中国

一艘航空母舰，可惜最终航空母舰还是与中国擦肩而过。

虽然中国海军在过去的历史上从来未曾拥有过航空母舰，但中国人对航空母舰却是情有独钟。随着新中国在世界东方的崛起，每个中国人都希望能够重振昔日海上力量的辉煌，走向远洋，走向深蓝。航空母舰也无疑成为一种民族的期盼和复兴的希望。

中国航海技术在古代是先进的，一直到明朝后期才被西方赶超，并且出现海权危机。中华民国建立后中国海权虽然没有得到根本改善，外国军舰仍然游弋中国沿海和内河，但是至少海权没有进一步被削弱，随着民主革命的发展，收回海洋权益，反对帝国主义、殖民主义的思想在兴起，抗战胜利收回了台澎，也确立对南沙的主权。联合政府成立后，在面临海上封锁威胁下，仍废止了很多允许外国军舰在中国沿海和内河自由航行、侵犯中国海权的不平等条约，并且开始建立增强新式海军，保护中国的海权。

如今，中国在全球有公海航行自由是建立在中国现在有了强大海军的基础上，也是中国人民艰苦奋斗获得的成果，是中国各民族团结、国内凝聚力强的结果。

一个国家的全球性地位，都是随着这个国家海权的兴衰而变化的。一个国家对海权控制得如何，在一定程度上也就真实体现了这个国家的经济和军事实力。目前我国所面临的国家海洋安全问题主要有：岛屿的主权、海域的划分和海洋权益的维护。

2.9.1 旧中国的航母梦

在15世纪以前，中国不仅曾经是一个超级大国，同时更是一个海上强国。当郑和率领庞大的船队七下西洋的时候，欧洲人还从没见过如此巨大的郑和宝船，更不知道罗盘可以在没有任何参照物的茫茫大海之上指引航向。

从1928年陈绍宽提出航空母舰的发展规划，到1945年英国要赠送航母的设想，再到1985年对墨尔本号航母的考察，中国人一直都不缺乏关于航空母舰的梦想！直到俄罗斯的“明斯克号”被拖入深圳、“基辅号”被安置在天津、“瓦良格号”被开进大连港，中国人才第一次实现了登上航母和改造航母的梦想。虽然这些航母尚且只能被称为“四不像”，它们与美国的航空母舰相差甚远，但毕竟中国人已经开始走近航母！

2.9.2 与航母擦肩而过

抗日战争爆发后，日本海军航空母舰舰载机对上海、浙江进行轰炸，为开通进入长江中下游地区的航线，航母舰载机对江阴一线进行大规模轰炸，防守封锁线的国民党海军第一舰队所有舰艇几乎都被炸沉。日本航空母舰在配合陆地战场作战中发挥了重要作用，这

让陈绍宽再一次感受到发展航空母舰刻不容缓的使命和责任。

1943年11月，陈绍宽代表海军部再次提出海军建设的规划。1945年8月，他拉上军政部部长陈诚，在上次海军装备发展规划的基础上，结合海军舰艇装备现状，制订了《海军分防计划》。1945年抗日战争胜利后，中国作为战胜国，缴获了日本海军的部分军舰。同时，英国、美国也赠予中国一部分军舰，使国民党政府组建了一支相当强大的海军，其舰船之先进、舰队规模之庞大和战斗力之强都是战前中国海军所无法比拟的。但中国当时没有可以与之相适应的港口、码头和基地，所以这些舰船并不适合中国海军使用。经过权衡，美国政府同英国政府商议，请英国政府在赠送国民党政府一批战舰的同时，向国民党政府赠送一艘护航航母。

陈绍宽认为，中国虽然需要航空母舰，但可以自行研制和建造。如果英国政府希望中国建立一支现代化的海军并愿意予以协助的话，希望英国能赠予中国几艘潜艇，这样更有利于中国海军的建设和需要。蒋介石对陈绍宽易航母为潜艇的决策非常震怒，最终导致了陈绍宽的下台。

陈绍宽被罢免后，陈诚以参谋总长的身份兼任海军总司令，继续与英国人谈判赠送航母的问题。英国方面提出，中国应该准备有相应能力的官兵和相关的物资及海军基地。鉴于当时中国刚从抗战的废墟中走出，陈诚与英方签订了5年的长期协定。协定的内容是：中国在5年的时间内，人员方面，要积极培训准备担任航母人员的军官和军士，并选拔骨干前往英国学习，英方派出顾问进行指导。设备方面，要在旅顺、烟台、宁波、厦门、海南等地建设适合航母使用的基地，并配备足够的物资。中国方面应该在5年时间内训练舰载机飞行员，具体飞机型号在5年后根据情况由中英商议。由中国向英国购买英国提供的航空母舰，是1943年下水的轻型护航航母“半人马座号”（图2.9.1），中国把这艘航母命名为“伏威号”。同时，英国也为中国提供了一批现役舰船担任航空母舰的护航舰艇，其中包括著名的“重庆号”“灵甫号”巡洋舰。中国拟定的航母舰长人选是海军上校胡敬端，当时他担任中国海军最先进的“长治号”炮舰的舰长。



图 2.9.1 半人马座号航空母舰

但是，整个赠舰计划并没有按照预期进行。1946年6月，蒋介石发动了对解放区的进攻，大规模的内战全面爆发，接收英国航母的准备工作被搁置。1949年，“重庆号”“灵

甫号”等国民党军舰相继起义投向了人民海军，引起英国的不满。1949年12月，英国照会国民政府，单方面终止了赠给中国航空母舰的整个计划。民国海军就这样与中国的第一艘航空母舰擦身而过。

2.9.3 购买废旧航母

1985年，广东省中山市拆船公司从澳大利亚购买了一艘2万吨级的轻型航空母舰“墨尔本号”。面对一艘破旧不堪的“二战”航母，许多人却曾经赞叹不已，热血沸腾，但却也流露出些许遗憾之情，毫无疑问，大家都在盼望着中国什么时候也该拥有自己的航空母舰。

1995年，俄罗斯“明斯克号”航母被当作废金属卖给了韩国，1998年韩国陷入金融危机，“明斯克号”航母被转让。1998年春，中国一家公司以废旧金属的价格购买了这艘航母。1998年10月8日，这艘饱经沧桑的“明斯克号”被拖船拖离韩国丽水港，进入广州文冲造船厂进行改装。“明斯克号”航母在苏联时代，作为苏联太平洋舰队的主力战舰，经常率领编队到我国黄海、东海和南海游弋。

俄罗斯“基辅号”航母，刚刚服役了十几年就于1994年退役。退役后不断向世界各国兜售，2000年8月，在美国、印度等9个买家中，中国一家拆船公司以7000万元人民币竞买成功。2001年5月21日，“基辅号”被拖到秦皇岛山海关船厂，经过两年多的维修和改装，于2003年9月14日从山海关船厂8号码头起航，由拖船拖至天津国际游乐港，作为中国第二个航母主题公园，对外开放供人参观游览。

而“瓦良格号”航母进入中国的旅程，则更是一波三折，艰难无比。

2.10

辽宁舰的前世今生

说起中国的航母发展史，就不得不提我国的第一艘航母——辽宁舰。正是它为我国的航母事业开了一个好头，让我国的航母事业至少提速了20年，辽宁舰航母的诞生，使我国的航母从无到有，具有划时代的意义。

辽宁舰航母原本是苏联航母瓦良格号。瓦良格号是苏联的第三代库兹涅佐夫级航母。1983年开始动工建造，1988年11月下水。瓦良格号出身高贵，曾经是苏联国防重点工程，国家的宠儿。但是却生不逢时，命运多舛，才完成了68%，就遇到了苏联解体，瓦良格

号航母的所属国乌克兰无力再继续建造，只好把它交给船厂。而船厂为了生计，只好把它出售。

瓦良格号航母出售的消息，引起了我国的注意。以我国现有的造船能力，建造航母技术难度较大。而购买瓦良格号航母不仅可以大大缩短建造周期，而且可以为日后发展具有自主知识产权的国产航母装备打下良好的科研和训练基础。经过多方考察、论证及一系列的资金筹备，2002年3月3日，历尽千辛万苦的瓦良格号航母终于抵达中国辽宁大连港（图 2.10.1）。



图 2.10.1 刚到大连港时锈迹斑斑的瓦良格号

2.10.1 中国首艘航母辽宁舰交付海军

2012年9月25日，中国第一艘航空母舰正式由中国船舶重工集团公司大连造船厂交付海军。经中央军委批准，中国第一艘航空母舰命名为“中国人民解放军海军辽宁舰”，舷号为16。

交接入列之后辽宁舰则继续开展相关科研试验和军事训练的工作。从2011年7月中国宣布正在改造旧航母以来，历时一年多，辽宁舰经过多次海试，按照既定计划开展了各项科研试验。辽宁舰使得我们国民的整个海洋意识被唤醒，更重要的意义是：它是摇篮，会诞生中国未来的舰载机的优秀的载体——后续的航母。

航母走出船厂以后，最重要的就是航母的母港建设、航母编队的部署、现有的建设和维修平台情况。航母母港的规模一定要庞大，要能驻扎众多的人员和较多的舰艇。而且港湾的设施、配套的资源设备要足够，例如周边的各种修理工厂与航母的配合很重要。2011年7月27日，中国国防部新闻发言人耿雁生大校首次称：中国首艘航母用于科研试验训练，其定位为训练舰。

航母在工厂经过了工厂试航，确保它的机器和各种子系统的正常运行以后，就可以交付军方服役了。接下来的工作就是部队进行互相之间的熟悉，然后各兵种进行协同训练，把航母从一个工业品变成一个真正的作战平台。

航母交付军队以后，至少还要经过三个阶段：第一阶段是航母舰载机和航母本身的磨合试训的过程，这是一个最起码的阶段；第二阶段是编队的试训，即整个航母编队彼此之间的联系，作战系统，必须要经过这种编队试训；第三阶段难度更大，即航母必须与其他

军种资讯连接试训。

如何去适合中国需要，建设中国特色的航母平台，这中间要有一些创新，同时也是一个巨大的挑战。

2.10.2 中国未来航母编队的可能舰艇构成

世界各国航母战斗群的构成是不尽相同的，但都需要多艘舰只，为航母及其空中编队提供支援，这一点始终不变。

052C 型导弹驱逐舰

目前，中国正在服役的 052C 导弹驱逐舰（图 2.10.2）是海军第一艘安装四面有源相控阵雷达和采用防空导弹舰载垂直发射系统的战舰，被誉为“中华神盾”。中国第五艘和第六艘 052C 型中华神盾导弹驱逐舰的关键用途就是保卫航母。中华神盾 052C 型导弹驱逐舰共装载 48 枚防空导弹，并装备了两座四联装反舰巡航导弹，具备区域防空能力。



图 2.10.2 中国 052C 型导弹驱逐舰

052D 型导弹驱逐舰

这种新型战舰是一种 6000 吨级的燃气轮机驱动的隐身战舰，拥有 64 个垂直发射单元。和前辈驱逐舰相比，052D 舰体稍微加长，长 160 米、宽 18 米、排水量超过 6000 吨，装备了有源相控阵雷达和长波雷达。值得注意的是，052D 装备了两套 32 单元的垂直发射系统，能发射防空导弹、反舰导弹和反潜导弹，是中国航母的“守护神”。相对来说，052D 在保护航母的防空任务、本身的作战能力来看，比 052C 更强。052D 武器装备规模比不上美国的伯克级驱逐舰和提康德罗加级巡洋舰，但仍能够在亚洲附近海域地区冲突中发挥致命作用。

中国海军的部署

中国研制的东海巡航导弹，有效射程为 1500 ~ 2500 千米，毁伤能力超过美国的战斧式巡航导弹。据统计，截至 2020 年年中，中国海军已经部署了 20 艘现代化的宙斯盾型

驱逐舰，另有 11 艘较旧的非宙斯盾型驱逐舰。这 20 艘现代化的宙斯盾型驱逐舰由 6 艘 052C 型、13 艘 052D 型和 1 艘 055 型组成。中国 052C 型驱逐舰的数量取决于航母战斗群的规模。以美国航母战斗群为例，一个航母舰队至少需要配备 2 艘提康德罗加级巡洋舰、2~4 艘伯克级驱逐舰。如果少于这一标准，针对的防空体系就有漏洞。

据此推测，中国海军未来将部署 3~4 艘航母，未来 20 年内有可能建造 12~16 艘 052 型防空导弹驱逐舰。中国首个航母舰队的构成是这样的：1~2 艘高级 093 型核动力攻击型潜艇（图 2.10.3）、1~2 艘现代级导弹驱逐舰；水下方面，汉级核潜艇性能一般，它的噪声较大，不适合水下护航，而作为参考的是新型 093 高级核潜艇和 094 级核潜艇。中国海军 093 型高级攻击核潜艇装备新型鱼雷，最大射程达到 50 多千米，攻击精度高，具备立体打击能力。未来，中国航母编队配备的这款 093 攻击核潜艇，一定会在水下发挥非常重要、积极的作用。



图 2.10.3 中国 093 型核动力攻击型潜艇

2.10.3 航母辽宁舰的核心——舰载机

中国航母辽宁舰台长约 300 米、宽 70 米、标准排水量 5.5 万吨、满载排水量 6.7 万吨，属于典型的中型航母舰载战斗机平台。所能搭载的反潜直升机和预警直升机的总数量在 50 架左右，具备较强的制空和制海作战能力。

中国首艘航母辽宁舰的甲板上已经停放了代号为歼 15 的战机。歼 15 战机外形类似俄罗斯苏 33 战机，有远程攻击能力。

未来，歼 31（图 2.10.4）可能与歼 15 竞争航母舰载机。



图 2.10.4 中国歼 31 隐身战斗机

不管辽宁舰配备是哪一型的舰载机，极其关键的问题是：舰载机的发动机是不是国产的。早期的歼 15 战机使用的是俄罗斯的 AL-31F 发动机，但是最新批次的歼 15 战机已经换装了我国最新研制的 WS-10B 发动机。它的安装使歼 15 战机的动力进一步有了提升。

但是因为我国现役的两艘航母是滑跃起飞，并不是弹射起飞，所以要保证歼 15 战机从滑跃甲板上起飞，它的最大起飞重量就要减小，这在一定程度上限制了歼 15 的战力。不过相信下一艘 003 航母装备了电磁弹射器后，歼 15 的战力还会有很大的提升。

2.10.4 辽宁舰航母首次靠泊青岛航母军港

2013 年 2 月 26 日，辽宁舰离开大连前往青岛军港。自 2012 年 11 月 25 日进行舰载机首次着舰训练归港后，辽宁舰在大连港停泊休整了近 3 个月。完成航母舰载机的起降训练还是比较初级的科目，在此基础上舰载机飞行员还要完成相当多的试验和训练科目。正式进驻海军基地是舰艇服役和形成战斗力之间的重要阶段。而这次正式进驻海军基地，则意味着中国海军完全从造船厂手中接过了这艘航母，这也是辽宁舰正式担负作战序列的标志性的时间节点。此外辽宁舰首次靠泊青岛军港，标志着我国新建成的航母军港已经具备航母靠泊保障能力了。

辽宁舰离开造船厂进入青岛军港靠泊，表明航母在舰体、动力系统、电子设备、舾装等方面，已经达到了要求，不再需要造船厂进行调试。进入青岛军港后，辽宁舰需要一个全面适应的过程。因为航母战斗群编队，绝对是一个海上庞大的立体体系。整个作战体系，不仅是航母本身，还有驱逐舰、核潜艇、综合基建等为它保驾护航，每个舰都靠泊在自己的位置。各方面的指挥官，还要为航母编队做好生活上的保障。另外还要注意装备，包括各种水、电、油、弹药的补充；维修保障设施是否都一应俱全、又相对比较隐秘、还要有一定的防御能力。所以这是一个非常庞大、复杂的立体体系。

2.10.5 青岛航母军港介绍

“突堤”式码头结构

站在高处俯瞰青岛航母码头，仿佛正把辽宁舰如孩子般轻轻地揽在军港。这座码头采用技术含量高、施工难度大的“突堤”式码头结构。这种结构能够有效地利用水域面积，提高码头的舰艇驻泊能力。这座军港可以同时停靠多艘大型的军舰航母，军港防波堤国内最长，能抵御百年一遇的台风。自建成以来，它已经经受了四次强台风的考验。站在防波堤顶端，可看见海浪不断地撞击，但大堤内波澜不兴。其中的主要原因是：防波堤和码头下的沉箱重达 7000 多吨。

混凝土浇筑的创新

在建设中，工程师机智攻关，创新攻克了超大沉箱的预制。为了保证工程质量，航母军港新建了全国最大的砂石土，为使砂石在任何气象条件下温度和湿度均保持稳定，工程师把它置于重混凝土中，经过上千次试验，摸索出大型混凝土浇筑裂缝控制配方，并获得国家发明专利。自开工以来，海军先后组织了近 20 次工程质量巡检，已竣工项目质量全部优良。

航母军港的特点

航母军港是一座现代化的超大物流中心。军港码头修建了铁轨、大型塔吊、大型万伏高压变电站、能源站、大型储油设施等。通过这些设施，物资能源将源源不断地输送到辽宁舰。航母需要保障的物资种类繁多，例如由于航母上搭载多型战机，使用的航空煤油、机油就多达数十种。普通航母军港要具有三大特点：

(1) 规模大。航母军港首先要拥有驻泊多支航母编队的空间，所以航母军港码头大多建成能插入水域深处的“突堤”式码头结构，从而尽可能多地布置各类军用舰。而且航母母港，海域面积要求很大——一般都是几百万平方千米，吃水要求深，所以它绝对和其他的驱逐舰码头不一样。

(2) 健全的后勤保障和日常维修能力。航母军港要具备健全的后勤保障体系，能够对各舰种集中行动而带来的庞大数量的舰员提供保障基础。航母每年用三分之一时间维护，因此航母军港必须具备良好的日常维修能力，拥有成套的修理设施，能够完成舰载机以及母舰的维修。

(3) 种类多、环节复杂。母港还要具备便捷的生活设施，为航母编队官兵提供所需的生活保障。而且航母的母港和一般的军港有着很大差异的地方在于，在航母的母港周边必须要有数个机场，航母编队靠泊码头之后，航母上的飞机才能分门别类地飞到不同的航空站。

2.10.6 辽宁舰靠泊青岛后训练的内容

舰载机挂弹起飞训练

辽宁舰靠泊青岛军港，为未来全力进行相关武器装备试验及编队联合训练奠定了基础。虽然辽宁舰成功完成了舰载战斗机的试飞，但是航母和舰载机、航母和其他类型的舰艇还需要进行一系列的训练，比如舰载机的挂弹起飞和降落。舰载机挂弹后滑跑的距离和

操控的感觉会滞后，飞机的灵敏度也会下降。虽然我国航母舰载机歼 15 在挂弹难度上比一般飞机小得多，但是仍然要经过反复的磨合才能达到实战效果。

美国拥有大批舰载机飞行员，有众多基地可供一艘航母进行起降训练，还有一套海军官兵熟悉的训练模式。从航母建造开始，美海军飞行员就开始跟班作业。但即便如此，美国航母服役后，仍然需要在两三年内才能形成战斗力。

航母各系统及编队的协同训练

现代航母平台是由动力系统、起降和弹射系统、舰载机、舰用火器系统、通信指挥系统、预警平台等一系列系统所组成的一个完整的海上作战平台。作为大型水面舰艇的航母，在科研实验训练中不仅各类装置、电子系统、武器系统等需要调试，内部各个系统之间也需要磨合。而且航空母舰从来都不单独行动，要形成航空母舰战斗群才能行动，所以编队中其他舰艇的协同同样需要训练。通常，舰载机、飞行员、训练舰协同等都需要较长时间才能完成。美国海军新的航母编队训练最快也在半年左右。辽宁舰完成舰载机训练后，重点是进行航空协同编队训练。由于辽宁舰训练缺少可借鉴的经验，需要从头摸索，所以用了两三年的时间才完成舰机和连队的联合训练。

2.10.7 辽宁舰航母编队赴南海训练

赴南海试训的意义

2013 年 11 月 26 日，我国第一艘航空母舰——辽宁舰，从山东青岛军港解缆启航，在海军导弹驱逐舰沈阳舰、石家庄舰和导弹护卫舰烟台舰、潍坊舰的伴随下赴南海，并在南海附近海域开展科研试验和训练。这次组织跨辖区、长时间的训练，是年度科学试验以及训练工作的一个必经阶段，是计划当中的内容。主要有三个方面的意义：

- (1) 通过长时间、跨辖区的航行，对装备的性能进行连续工作条件下的考验；
- (2) 对部队的训练水平进行长时间航行条件下的考验和锻炼；
- (3) 对不同气象水温条件下装备的性能进行进一步试验，这是后续训练任务必须的一个过程。

赴南海试训的原因

辽宁舰交付海军以来，各项试验和训练活动稳步推进，先后完成舰载战斗机阻拦着舰和短距滑跃起飞、复杂气象条件下连续起降、舰载战斗机飞行员和着舰指挥员成功通过航母资格认证等试验训练，取得了一系列成果，为后续试验和训练打下坚实基础。而此次赴

南海试验，也是在辽宁舰试验和训练计划之内的。

党的十八大报告中提出要建设一个海洋强国，我国海军必须要从原来的褐色海军走向深蓝色。我国海军现在面临的两个作战区域，一个是东海，一个是南海，所以辽宁舰要从东海跨区域到南海去进行训练，也要适应南海的战场环境。南海的战场环境和东海的战场环境是不一样的，它具有高温、高盐、高湿的特点，在这种情况下，它的训练就会更加复杂一些。另外现在除了在青岛有一个航空母舰的母港，在南海三亚又有了一个航空母舰的母港，航空母舰也要到三亚——它的新母港里去适应。

赴南海试训的航母编队情况

航空母舰编队从执行作战任务的角度来看，首先要具有能够防空、对舰和反潜的基本作战能力。编队会根据执行的任务不同进行搭配，也就是航母作为 1，需要加上 N —— N 是根据作战需要和任务来搭配的。这次试训的航母编队是由两艘 051C 型驱逐舰和两艘 054A 型护卫舰进行的混合编队，从青岛港出发，到了南海的三亚军港。作为一个航母编队只有两艘驱逐舰作为它的防空能力，这显然是不够的。在未来的时候，会根据防空的需求，增加驱逐舰的数量。而且作为反潜，两艘 054A 型的护卫舰也是不够的，还要增加巡逻机以及反潜直升机。另外这次航线是沿着我国的海岸线行走的，如果要出远海，一定要有大型的综合补给舰。因为这么多的大型舰艇在一起航行的时候，对后勤保障的要求是很高的。再有就是不但要有护卫舰，还需要核潜艇。因为核潜艇不但具有反潜的能力，还具有对舰攻击的能力。而且两栖作战的时候，应该还有两栖登陆舰或者船坞登陆舰。

2.10.8 舰载机批量生产对中国航母发展的意义

航母要形成战斗力，舰载机是非常关键的作战要素，因为舰载机是航空母舰的主要作战手段之一，是在海洋战场上夺取和保持制空权、制海权的重要力量。

由中航工业沈阳飞机设计研究所设计，中航工业沈飞公司制造的歼 15 舰载战斗机已经开始批量生产，并交付部队使用。与此前的歼 15 不同，批量生产的歼 15 采用标准的海军蔚蓝色涂装，机头及垂直尾翼有正式编号。歼 15 的批量交付，进一步加快了辽宁舰的训练进度，提高了辽宁舰的训练水平。

歼 15 飞机在航空母舰上试飞成功对世界产生重大震撼。因为西方国家，包括美国在内，根本也没有想到中国的航母入列还不到一年，它的舰载机就能够在这艘航母上进行起降、飞行训练。尽管当时飞机的数量还很少，但是已经体现出我国海军训练的速度和质量，这是一件非常了不起的事情。现在，飞机已经批量生产，就意味着这种飞机已经逐渐地开

始形成战斗力，一旦需要就可以在辽宁舰上提交。另外开始批量生产歼 15 飞机，还意味着会有新的航空母舰入列和服役，中国航母的建设发展会有巨大的进步。

2.10.9 守护辽宁舰的最后一道防线——1130 近防炮

在现代的海战中，反舰导弹是现代军舰的最大威胁之一。这种反舰导弹出现之后，如何对付它就成了各国广泛探讨研究的课题。

目前各国纷纷着手研究新一代的防空武器，比较主流的是一种小口径的舰炮，发射高速密集的炮弹来拦截反舰导弹。而我国的 1130 近防炮，可以算得上是火力比较凶猛的。

1130 近防炮是我国创新研制的一款 30 毫米口径的加速射炮，是之前 1030 近防炮的改进版。1130 近防炮上的近程防御武器系统配有雷达、红外线追踪系统等。这款近防炮拥有 11 个炮管、2 个弹仓，一次性可锁定 40 多个目标，在最大火力每分钟 1 万发的射速下，几乎可以拦截大部分的目标。我国的这款 1130 近防炮的射程是 3~5 千米。

1130 近防炮作为我国先进的自动化武器，可以自动向来袭目标射击。不过由于体型、重量的原因，只能搭载在航空母舰上，用来完善防空体系，它是航空母舰的最后一道防线。我国 1130 近防炮首次亮相是在 2011 年，当时中国的辽宁舰航母上至少安装了两部 1130 近防炮。

尽管目前近程反导防御系统越来越偏爱导弹，例如美国就尽量使用海拉姆导弹代替近防炮。但是海拉姆导弹的成本大约是 45 万美元，和近防炮相比，费用是相当昂贵的。因此目前大多数现代航空近防武器采用类似于 1130 近防炮导弹系统，用于构成航母的最后一道防线。

2.11

国产航空母舰的发展

2012 年，我国第一艘航母辽宁舰正式入列，与此同时，另外一艘航母的建造也已经提上了日程。这就是我国第一艘完全自主设计建造的航母——山东舰，也是我国真正意义上的首艘国产航母。山东舰从 2013 年开工建设到 2019 年交付海军，经历了 6 年时间，这是我国国防装备建设的一个重大里程碑。

2017 年 4 月 26 日，备受瞩目的山东舰提前一个月下水，接受大海的洗礼。然而这只是迈出了成功的第一步。接下来建造人员要面临更加严苛的挑战，这就是系泊试验。2018 年 5 月 13 日清晨，巨大的山东舰缓缓驶离码头，踏上了首次海上航行试验的旅程。经过

5天的航行，多项国产化设备得到了进一步测试，达到了预期目的，使这艘国产航母向成为一艘真正意义上的作战舰船又迈出了坚实的一步。

山东舰是举全国之力、聚全国之智的巨大系统工程，参研、参建、参试单位多达532家。创新突破了船体结构、动力核心设备这两项制约我国航母事业发展的重大技术“瓶颈”。山东舰的成功建造彰显了我国的工业实力，承载着国人几十年的梦想终成现实。

2.11.1 中国首艘国产航母与辽宁舰的区别

中国首艘国产航母下水后，一直是大家关注的热点。对于这艘完全由中国自主设计建造的新航母，外界总要把它和中国第一艘航母辽宁舰进行对比，甚至有观点认为，从外观和动力上看，首艘国产航母和辽宁舰没有太大区别，存在一定的相似性。

其实首艘国产航母并非山寨辽宁舰，辽宁舰是在瓦良格号的基础上研制成功的，当时的船体是现成的，是一个空壳子，而国产航母是重新设计的产品。之所以说中国首艘国产航母并非山寨辽宁舰，首先体现在这两艘航母的设计理念有着根本的不同。辽宁舰是我国第一艘可以搭载固定翼飞机的航空母舰，其前身是苏联海军的库兹涅佐夫级航空母舰。不过从俄罗斯方面看，库兹涅佐夫级建造时并非航母，而是巡洋舰，之所以把它称为航母，最重要的原因就是它本身的武器装备达到了一艘大型巡洋舰的水平。库兹涅佐夫级航母不仅在前部飞行甲板的下方安装有12枚花岗岩反舰导弹垂直发射系统，还拥有强大的防空火力，总共备弹192枚，射程15千米。但是在拥有强大火力的同时，库兹涅佐夫级航母却在一定程度上弱化了其作为航空母舰的主要功能——载机。

中国首艘国产航母，是依存航母的理念进行设计和建造的，在设计理念上与巡洋舰航母有着本质的不同。在武器配备上中国首艘国产航母取消了俄式航母上200多枚导弹，以国产近程防空系统替代。同时大量导弹的取消，也为航母增加了更多的内部空间。首艘国产航母在设计时，对机库甲板的总体布局进行了统一规划，并结合实际使用经验，对机库空间进行了创新的优化设计，使得新航母的机库空间比辽宁舰更大，布局也更加合理，可以有效提高机库的运转效率。我国首艘国产航母可以搭载32~36架歼15战机，是辽宁舰的1.5倍。

总体而言，首艘国产航母的综合作战能力比辽宁舰有了大幅提升，其使用方式、作战武器的理念也与辽宁舰有着本质的不同。首艘国产航母在进行建造的时候，去掉了很多反舰导弹等远程打击武器，转而以搭载舰载机为主。建首艘国产航母山东舰的时候，为了体现我们自己的理念——更多地发挥舰载机的作用，它的飞行甲板面积、机库的容积都相应地增加了。舱室的分配更合理了，主要包括舰岛的面积进行了缩小。舰身进行隐身设计，

凸显一体化，兼容性也更好。所以山东舰和辽宁舰有很大的不同，它是辽宁舰一个新的升级版。

2.11.2 首艘国产航母的舰岛

现代航母在设计上都会遵循一个统一的模式——把舰桥、烟囱等都集中在飞行甲板的一侧，就好像一个小岛，它就是舰岛。舰岛一般在飞行甲板的右侧，整个舰岛建筑集成了航母的指挥塔、飞行控制室、航海室、雷达和通信天线等。目前采用双舰岛设计的航母并不多，比如英国的伊丽莎白女王号，而大部分航母都只有一个舰岛，这也包括我国首艘国产航母山东舰和中国第一艘航母辽宁舰。

山东舰的舰岛和辽宁舰的舰岛相比，不仅外形有了一定的改变，布局也显得更加简洁合理。与辽宁舰相比，山东舰的舰岛长度有所缩短，高度明显增加，外观更显挺拔。创新采用在整体上纵向拔高、横向缩短的方式，既抬升了相控阵天线的安装位置，又增加了内部空间，也减少了甲板占用面积。特别是山东舰舰岛的位置还往右侧甲板边缘进行了移动，准备区的面积得以进一步拓宽，这一点对于采用滑跃起飞模式的航母而言可谓意义重大。飞行甲板面积的增加，不仅可以提升舰载机的出动效率，还能增大工作区面积，有效调整准备工作的效率和工作人员的安全性。不仅如此，国产航母舰岛的整体布局也简洁了许多，不再像俄式舰艇那样在上层甲板拥挤着各式雷达天线，这充分显示出中国海军在电子设备整合能力上的飞跃。而舰岛上雷达、电子设备布局的调整，有助于提高航母的隐身性能。这种采用隐形化设计、调整电子设备布局、提高空间利用率等的创新实践，都将有助于增强国产航母的实战能力。

总之，山东舰舰岛的显著变化可以总结出四点：

- (1) 对飞行甲板的占用面积少了；
- (2) 高度增加以后，雷达探测的距离会更远，能更早发现目标；
- (3) 指挥舱室发生分离之后可以使航海和航空管制部门不会相互干扰；
- (4) 隐身性比原来的辽宁舰大大提高。

2.11.3 首艘国产航母起飞甲板的创新设计

在航母技术的发展上，我国遵循小步快跑的战略，而这种战略在山东舰的设计建造上得以充分体现。例如，尽管山东舰在舰载机起飞方式上还是采用和辽宁舰一样的滑跃起飞方式，不过山东舰甲板的上翘角度和辽宁舰相比有所调整，从14度创新设计成了12度，

这是航母舰载机一系列使用经验的总结。

滑跃起飞模式的航母滑跃甲板上翘的角度直接决定了舰载机的助跑距离和挂载能力。在合适范围内尽可能使用角度更大的起飞甲板，可显著缩短舰载机的助跑距离，并可以增大燃油和武器挂载量。不过滑跃角度也并非越大越好，如果甲板上翘角度过大，舰载机就必须要进一步加强机体结构，才能承受起飞的压力，这就会挤占一部分燃油和武器挂载量。所以首艘国产航母的滑跃甲板上翘角度定为 12 度，是根据舰载机上舰之后一系列试飞所获得的数据，这也是辽宁舰高强度训练得出的科研成果。山东舰滑跃甲板上翘的角度从 14 度调整到 12 度，尽管肉眼很难分辨出这样的变化，但角度的改变确实可以对航母的性能带来一定的提升，对于国产航母来说具有非常大的意义，因为它可以增加夜间起飞的安全性。山东舰的两条滑行跑道分别长 105 米和 195 米，舰载机可以腾出更多空间来装载航空燃料、弹药和零备件，因此中国海军根据辽宁舰的实际使用经验微调飞行甲板上翘角度并不奇怪。

航母的滑跃甲板上翘，实际上要解决航母由于飞行甲板短给飞机起飞带来的困难。上翘角最开始是由英国人发明，他们当时采用上翘角 13 度。结果在飞行甲板距离不变的情况下，可以给飞机增加 20% 的升力。再增加这个角度，就会出现相应的问题：飞机长度可能会受到一定的影响、对飞行员的视觉效果也会产生很大的冲击，所以现在通常是选择在 13 度上下。山东舰从 14 度调到 12 度，可能升力会有所降低，但降得很小，微乎其微。而通常飞行员要把飞机的速度从零提升到每小时 260 千米才能正常地起飞，在这么短的距离内，他会看到这个甲板像一面墙迎过来，感觉会撞上自己。调整降低甲板上翘角之后，会使飞行员的这种感觉有所降低。另外适当降低甲板上翘角，可以增加飞机的长度。因为如果甲板是平的，固定翼的飞机不会发生蹭飞机尾巴的这种现象。所以经过权衡之后，认为降低一点儿角度会有更多的长处和优越性。

2.11.4 国产航母的相控阵雷达

航母上最主要的电子设备莫过于指挥系统、通信系统以及雷达系统，而这当中最引人注目的是大型相控阵雷达。随着中国首艘国产航母的亮相，可以看到它上面安装的四面相控阵雷达的位置有了一定的提高，这对提升雷达的探测距离有很大的帮助。安装在我国首艘国产航母山东舰上的这种雷达可以涵盖 360 度搜索扇区，对空最大的探测距离将不会低于 400 千米，能赋予航母强大的远程对空探测以及多目标监视跟踪的能力。

随着中国首艘国产航母的亮相，航母上的电子设备也引起了人们的关注，尤其是舰岛上硕大的中华神盾有源相控阵雷达的面板十分引人注目。相比于辽宁舰，国产航母舰岛上

最明显的标志是它采用了不同的相控阵雷达罩。辽宁舰上雷达的弧形外罩已经被巨型平板天线替代，同时雷达天线正面布局也由正转偏。作为中国第一艘航母，辽宁舰在改造的过程中，电子系统最大的创新变化就是将中华神盾驱逐舰上的有源相控阵雷达移植到了航母上，因此赋予了航母极强的远程目标探测、监视和跟踪能力，使得辽宁舰的远程预警探测能力大大优于其原型瓦良格号。不过首艘国产航母山东舰上安装的则是更加先进的创新改进的有源相控阵雷达，它在各个方面的性能都比辽宁舰上的雷达更为强大。从外形上看安装在辽宁舰上的雷达圆弧形防护罩在新航母山东舰上变成了平整的平板，雷达天线形状趋近为正方形，取消了原来的弧形外罩，雷达天线总体面积也进一步提升，为整个舰队形成了一个有效的防控障。首艘国产航母山东舰上搭载的这些有源相控阵雷达（图 2.11.1），是目前世界上最尖端的舰载雷达，它无论是在探测距离、火力冲撞、精度还是抗干扰能力方面，都已经远远超过美军现役的宙斯盾雷达，更是领先日本十多年。



图 2.11.1 中国首艘国产航母的相控阵雷达

这种创新改进的升级版有源相控阵雷达，可以检测更远和捕捉更多的目标，为未来的电子对抗提供更好的反干扰能力。

2.11.5 中国海军水面舰艇发展现状

近些年来中国海军正处于高速发展阶段，各种大型舰艇更是在一段时间内接连下水。作为中国第一艘航空母舰辽宁舰的总设计师，朱英富院士对中国海军舰艇的发展前景形象地描述为实现了“弯道超车”。朱英富表示中国水面舰艇研制水平及能力已经进入世界先进行列，中国的新型舰艇会以创新精神引领，融合军民智慧，抢占舰船装备新技术的制高点，实现“弯道超车”。近年来正如朱英富所说，中国的新型水面舰艇已取得跨越式的提升，在国际上属于先进水平。

其中最为引人关注的当数我国首艘新型万吨级大型驱逐舰下水的消息。2017年6月28日上午，海军新型驱逐舰055型首舰——南昌舰的下水仪式在上海江南造船集团有限责任公司举行，该型舰是我国完全自主研发的新型万吨级驱逐舰，是海军现实战略转型发展的标志性战舰，该舰下水标志着我国在驱逐舰发展上迈上一个新的台阶。

就在这条消息发布前不到一小时，中船重工也发布了一则好消息，最新一艘 052D 型导弹驱逐舰已在此前两天，也就是 6 月 26 日成功下水，作为中国海军驱逐舰建造数量最多的一次，052D 型已成为我海军水面舰艇的核心力量。同样也是在 2017 年 6 月，我国最新一艘 071 型船坞登陆舰已按照计划在上海顺利下水。071 型船坞登陆舰是中国海军最新型的大型多功能两栖作战舰艇，目前已有 8 艘陆续服役，分别是南海舰队 5 艘、东海舰队 3 艘。由此可知，通过近年来的超速发展，中国海军已成为世界上发展速度最快、质量提升最明显的海军力量之一。

中国人民解放军海军发展武器装备，有 3 个比较明显的特点：（1）数量多；（2）吨位在增加；（3）信息化程度在提高。总体来说发展舰艇，是为了形成海军整体的体系对抗能力。为了能够适应未来的战争，同时适应中国海军战略的变化——从近海防御转为远海护卫，肯定要造大吨位的舰艇。现代战争是信息化条件战争，我国现在很多老旧的舰艇已不符合信息化条件下战争的需求。而且过去我国海军只注重作战的舰艇，而不太注重辅助的舰艇，如登陆舰、远洋综合补给舰、电子侦察船等，这都是我们要补齐的短板和空白。

2.11.6 首艘国产航母的动力系统测试

下水是航母研制的重要节点之一，完成下水后，首艘国产航母山东舰依然需要在船厂内进行后续的设备安装和测试工作。其中动力系统试验主要是为了测试它在静态的状态下，动力设备运转起来是不是正常。这期间航母不动，外界给它一个动力之后，看看它的工作是否正常。主要检验内容包括：航母的动力系统、机械本身、供电的设施及启动的设施等。这种静态下的测试是属于一种验证的阶段，或者是属于一种检验各种设备的调试阶段。从下水到进行动力系统建造测试，大概用了 3 个月时间，国产第一艘航母山东舰比辽宁舰要快不少。

2.11.7 中国的大国担当

中国海军军力的增强格外引人关注。作为世界强国，拥有航空母舰是必要的。中国拥有航母，这意味着国家的快速发展。随着经济发展，军事实力也不断提高，中国正在为实现国家发展而努力奋斗。

中国的实力也会给世界带来稳定，中国不侵略其他国家，亚太地区也因此得到和平。中国海军力量的发展，特别是大型水面舰艇的创新建设设计思想与设计理念始终瞄准国际前沿：吨位不断增长，远洋航行环境进一步优化，舰艇的信息感知能力、火力精准度、隐

身技术等显著提高。在技术和能力体系上，中国海军已经与世界海军强国站在了同一梯队上。目前，世界上能够独立建造航空母舰的国家屈指可数，中国首艘国产航母山东舰完全是靠我们独立自主、自力更生力量完成的。航母上的舰载机起降设施、雷达、通信设施、无线电设施等技术都很过硬，这说明中国国防工业水平有很大提升。更重要的是首艘国产航母虽然不是世界上最先进的航空母舰，但它符合我国国情的需求。

中国海军于1949年4月23日成立，那个时候海军所有的舰艇的总吨位还不到5万吨，数量级很小。而今天我们海军一艘航空母舰的吨位就达到了5万吨以上，再加上现代化的程度，这都是海军装备的巨大变化。而海军的发展是和我国的综合国力发展平行的，我国综合国力发展了，我们海军才能相应地得到如此大力的发展。习主席说：“享受和平是中国人民的福祉，而保卫和平是中国人民解放军的职责。中国在地区事务、世界事务中要担起大国的责任。”中国海军要保卫国家的安全主权，保卫国家海上的利益。所以，有了航空母舰这样的武器平台，就可以更好地执行这个任务，这既是中国海军的荣誉，也是他们的责任。

中国的担当，就是在地区事务、世界事务中，要担起一个大国的责任，而不能像有些国家那样，体现的只是霸权、是世界警察、只管别人、不管自己。因而，中国有了航空母舰，将可以大大地增加其远海维护能力，这有利于地区的稳定，特别是南海方向的稳定，有利于世界的和平。

2.11.8 国产002型、003型航母

我国建造这艘6万吨的002型航母——山东舰的进度可以用快来形容，综合能力已经达到世界第二。弹射型的歼15B已经交付舰载机部队。002型虽然是滑跃起飞航母，但考虑与003型航母搭配作战的需要，将直接使用弹射器飞行的舰载机。我国第一艘国产航母002山东舰已于2019年年底在海南三亚军港交付海军。

2022年6月17日，中国第三艘航空母舰003型国产航母在上海正式下水，经中央军委批准，被命名为中国人民解放军海军福建舰，舷号18，简称福建舰，这是中国完全自主设计建造的首艘弹射型航空母舰。它有三大创新亮点。

(1) 亮点一：平直通长飞行甲板。福建舰采用了平直通长飞行甲板，和美国现役核动力航母设计类似，这也是大型航母的标志性设计，相比山东舰和辽宁舰的滑跃式起飞甲板，平直飞行甲板的优势是全方位的，其技术更为复杂，难度更高。

(2) 亮点二：电磁弹射和阻拦装置。这在全世界范围内都属于十分前沿的军事技术，现在只有美国海军的福特号航母采用了该技术。中国海军在短时间内跨过了蒸汽弹射，直



接实现了电磁弹射技术的突破进展。

(3) 亮点三：满载排水量 8 万余吨，仅次于美国的福特级和尼米兹级核动力航母，领先于中国海军的山东舰和辽宁舰，以及俄罗斯库兹涅佐夫号、英国伊丽莎白级和法国的戴高乐号核动力航母，是当之无愧的世界头号常规动力航母。

如果说辽宁舰让中国开启了航母之旅，那么首艘国产航母山东舰的设计建造则真正让中国完全掌握了航母的全部秘密。到了 003 型航母福建舰的时候，中国的航母实力已开始与美国并驾齐驱。这是中国海军真正成为全球海军的时候，也是中国开始在上发挥领导作用的开端。

课程习题

第1课 航空母舰的起源

【创新学习简答题】

1. 创新简介。
2. 航空母舰起源历史中具有代表性的航空母舰的创新之处简介。

【选择题】

- 1-1** 1910年11月14日,美国人尤金·伊利驾驶一架柯蒂斯双翼轻型飞机,从轻型巡洋舰_____上成功起飞,这是人类历史上首次飞机从军舰上起飞。
A. 坎帕尼亚号 B. 伯明翰号
C. 宾夕法尼亚号
- 1-2** 百年航空母舰的历史起源于1911年1月18日,美国人尤金·伊利成功实现了飞机在重巡洋舰_____上的起飞和降落,标志着航空母舰时代的开始。
A. 坎帕尼亚号 B. 伯明翰号
C. 宾夕法尼亚号
- 1-3** 世界上第一艘真正意义的航空母舰,是1922年12月建成的_____号航空母舰,是世界上第一艘专门设计制造的航空母舰。
A. 美国的兰利号
B. 英国的百眼巨人号
C. 日本的风翔号
- 1-4** 在航空母舰的发展过程中,尤其在技术还不成熟的情况下,_____二字对于一个国家是非常必要的,只有这样,才知道合不合适,才会逐渐获得比较满意的结果。
A. 创新 B. 改装 C. 实用
- 1-5** 1917年,英国终于改装出了世界上第一艘具有全通式飞行甲板的航空母舰_____。
A. 兰利号 B. 暴怒号
C. 百眼巨人号
- 1-6** 1919年,美国终于开始了改装航空母舰的工程,改装后的美国海军历史上第一条航空母舰就是_____,编号为CV1。
A. 兰利号 B. 暴怒号
C. 百眼巨人号
- 1-7** 1940年,英军决定采用航空母舰奇袭意大利塔兰托港,派去执行偷袭任务的航空母舰是_____。
A. 百眼巨人号 B. 暴怒号
C. 卓越号
- 1-8** 英军奇袭意大利塔兰托港,旗开得胜,重创了意大利海军,这一仗的意义在于_____。
A. 创新是战争中取胜的关键
B. 这是航空母舰第一次参加战争
C. 人们真正意识到了航空母舰的巨大威力
- 1-9** 美国建造的第一级航空母舰是约克城级航母,创新之处主要在于_____。
A. 全通甲板
B. 全封闭舰艏、机库和升降机
C. 舰岛安置在右舷
- 1-10** 美国建造的第二级航空母舰是埃塞克斯级航母,与第一级约克城级航母相比,创新之处主要在于_____。
A. 甲板开始用装甲且批量生产
B. 升降機在船舷外侧
C. 安装了雷达
- 1-11** 日本开工建造的第一艘航空母舰是_____,于1922年12月27日竣工,这也是人类历史上第一艘专门设计制造的航空母舰。
A. 凤翔号 B. 暴怒号 C. 卓越号
- 1-12** 日本开工建造的航空母舰凤翔号,在航母的发展史中第一次采用了岛式上层建筑,因此成为_____航空母舰开始的标志。
A. 第一代 B. 第二代 C. 第三代
- 1-13** 航空母舰的起源和发展给我们带来的启示:航空母舰的出现_____。
A. 改变了海上作战的平台
B. 使得远海作战成为现实
C. 改变了海上作战的样式
- 1-14** 如今,世界上最强大的一级航空母舰为_____核动力航空母舰。
A. 尼米兹级 B. 戴高乐级 C. 福特级

第2课 第二次世界大战中的航空母舰大海战

【创新学习简答题】

1. 智慧激励创新发明法简介。
2. 以珊瑚海海战和中途岛海战为例来介绍海上作战样式的创新改变。
3. 智慧激励创新发明法的实施原则。
4. 在马里亚纳群岛的大海战中，美国海军的统帅斯普鲁恩斯采取了哪些创新举措击败了日军？

【选择题】

- 2-1** 1942年5月发生在美日之间的珊瑚海大海战，从创新角度讲，是一次_____。
- A. 开创了航空母舰之间火炮对攻的海战
B. 巨舰大炮结合航母舰载飞机对攻的海战
C. 从战列舰之间火炮对攻到航母飞机对攻海战模式的转折点和分水岭
- 2-2** 珊瑚海大海战中，美国海军参战的两艘航空母舰为_____，日军参战的航空母舰是翔鹤号、瑞鹤号和翔凤号。
- A. 萨拉托加号和中途岛号
B. 企业号和大黄蜂号
C. 约克城号和列克星敦号
- 2-3** 1942年5月7日，美军飞机发现了日本航空母舰_____，并创造了第一次对日军航母发起进攻、第一次击沉日本航母的纪录。
- A. 翔鹤号 B. 瑞鹤号 C. 翔凤号
- 2-4** 1942年5月8日，是人类战争史上第一次航空母舰之间的对决，在这次海战史上第一次超视距对攻中，日本飞机击沉了美军_____航空母舰。
- A. 萨拉托加号 B. 列克星敦号
C. 约克城号
- 2-5** 珊瑚海大海战中，虽然美国方面在战术上吃了亏，但是由于它_____，反倒抢了先手，为后来的中途岛海战创造了最佳条件。
- A. 强大的飞机制造能力
B. 强大的补给运输能力
C. 强大的造船能力和修理能力
- 2-6** 珊瑚海海战之后，日本海军司令山本五十六坚决要发动向中途岛的进攻战役，目的在于_____。
- A. 完全获得制海权
B. 削弱美国海军的主力
C. 拔掉中途岛这个眼中钉
- 2-7** 1942年4月18日，美军16架B-25轰炸机从_____号航母起飞，对日本东京进行了轰炸，这也促成了日军中途岛海战计划的通过。
- A. 企业号 B. 大黄蜂号 C. 约克城号
- 2-8** 美军之所以在中途岛海战的决战时刻，能够集中绝对优势的兵力一举击沉日军四艘大型航空母舰，主要原因在于美军的_____远胜于日军。
- A. 战场侦察能力
B. 舰载机的作战能力
C. 密码的破译能力
- 2-9** 中途岛海战的第一轮交锋实际上是来自_____的飞机，与来自日军航空母舰的飞机之间的彼此攻击。
- A. 中途岛的岸基航空兵
B. 美国3艘航空母舰
C. 中途岛上和美军航母上
- 2-10** 中途岛海战第一轮交锋的结果，从美日海军各自的航空母舰来看_____。
- A. 美军损失1艘航母
B. 日军损失1艘航母
C. 双方航母均无损失
- 2-11** 在太平洋战争初期，美军的F-4F野猫战斗机与日军的零式战斗机相比，无论是速度、_____、爬升速率以及火力都毫无优势。
- A. 机动性 B. 续航能力 C. 灵活性
- 2-12** 在中途岛海战中，虽然美军的野猫战斗机与日军的零式战斗机相比毫无优势，但是美军采用创新发明的_____战术，扭转了战局。
- A. 环形编队战术 B. 交互掩护战术
C. 萨琪穿梭战术
- 2-13** 在1942年6月6日的中途岛海战中，一天

- 之内美军的飞机一共击沉了日军 ____ 艘大型航空母舰, 取得了决定性的胜利。
- A. 2 B. 3 C. 4
- 2-14** 美国通过中途岛海战, 以劣势兵力彻底击败了日军优势兵力的进攻, 重新夺取了太平洋战场的制空权和制海权, 从而夺取了 ____。
- A. 主动权 B. 海军的优势
C. 向日本本土进攻的契机
- 2-15** 中途岛海战中, 日军仅击沉了美军一艘航空母舰, 为 ____。
- A. 企业号 B. 约克城号 C. 大黄蜂号
- 2-16** 从整个太平洋战争三次大海战的作用看, 中途岛海战确实是整个太平洋战争至关重要的 ____。
- A. 决胜点 B. 起始点 C. 转折点
- 2-17** 如果美军攻占了马里亚纳群岛, 日本本土就将处在美军飞机的轰炸范围内, 1944 年, 日本划定半径 2000 千米的区域为 ____, 马里亚纳群岛就在其中。
- A. 绝对安全区 B. 誓死保卫圈
C. 绝对国防圈
- 2-18** 为了保护马里亚纳群岛上的登陆部队, 美国海军统帅斯普鲁恩斯创新采用了美军历史上绝无仅有的 ____ 阵型, 只守不攻。
- A. 航母和战列舰主次颠倒
B. 航母和战列舰交替排列
C. 航母在战列舰外围排列
- 2-19** 1944 年 6 月 19 日, 美军青花鱼号潜艇向日本航空母舰 ____ 发射了鱼雷, 成功将这艘刚刚下水服役一个月的大型装甲航母击沉。
- A. 翔鹤号 B. 瑞鹤号 C. 大风号
- 2-20** 马里亚纳海空大战中, 看着天空中到处摇曳而坠的日本飞机, 美军海军少尉托马斯·马歇尔激动地大喊: 这多像古代 ____ 的场面啊!
- A. 射杀飞禽 B. 围杀猎物 C. 猎杀火鸡
- 2-21** 就在小泽治三郎等待捷报传来时, 美军潜艇刺鳍号发现了日军航空母舰 ____, 并发射了 6 颗鱼雷将其击沉。
- A. 翔鹤号 B. 瑞鹤号 C. 大风号
- 2-22** 在马里亚纳“猎火鸡大赛”取得了决定性胜利后, 美军乘胜追击, 又击沉日军航空母舰 ____, 并且同时重创日军另外三艘航母。
- A. 飞鹰号 B. 千代田号 C. 隼鹰号
- 2-23** 马里亚纳大海战之后, 美军成功切断了日军给马里亚纳群岛上的支援, 日军也彻底失去了 ____ 的制海权和制空权。
- A. 北太平洋 B. 中太平洋 C. 南太平洋
- 2-24** 1944 年 6 月, 美军攻下马里亚纳群岛后, 向莱特湾迅速推进, 一旦攻占莱特岛, 就会 ____。
- A. 彻底切断日本在东南亚的资源补给线
B. 建立一个在东南亚的前进基地
C. 阻断日本海军向东南亚进军
- 2-25** 日军深知自己面对美军悬殊的实力对比, 不能硬碰硬只能智取, 决定利用日军最后的 4 艘航空母舰充当 ____。
- A. 诱饵来调离哈尔西指挥的航母舰队
B. 奇兵来偷袭金凯德指挥的莱特岛登陆部队
C. 主力来偷袭哈尔西航母舰队
- 2-26** 莱特湾大海战第一天中, 哈尔西共动用了 250 余架舰载机, 对栗田舰队实施了五次大规模空袭, 最后成功击沉了世界上最大的超级战列舰 ____。
- A. 大和号 B. 武藏号 C. 爱宕号
- 2-27** 莱特湾海战中, 小泽治三郎航母编队的 75 架舰载机抱着必死的决心向美军航母舰队发动攻击, 目的在于 ____。
- A. 吸引美军航母舰队前来攻击
B. 保护栗田舰队进入莱特湾
C. 偷袭美军的航母舰队
- 2-28** 在强大的栗田健男战列舰编队的猛攻之下, 金凯德不得不无奈地让出了通往莱特岛的航线, 此时摆在栗田健男面前的就是 ____。
- A. 哈尔西的航母舰队
B. 莱特湾内美军最后的驱逐舰队
C. 莱特湾内脆弱的运输舰、两栖舰艇和沙滩上的万名士兵

- 2-29** 日军栗田健男的战列舰队彻底击败了金凯德的轻型航母护航舰队，就在金凯德等待末日降临之时，日军_____。
- A. 被哈尔西的航母舰队及时赶到击败
B. 被金凯德的烟幕弹欺骗而撤退
C. 被金凯德的电报误导，误判军情而撤退
- 2-30** 美军哈尔西海军中将接到金凯德的求救电文后，大感意外，在与参谋们分析后，决定_____。
- A. 立即返航支援金凯德的护航舰队
B. 加速追击日军航母，毫无回师救援打算
C. 留一半追击日军航母，一半返航
- 2-31** 在马里亚纳群岛最后的海战中，美军一举击沉了日军的最后4艘航空母舰，其中包括当初偷袭珍珠港的6艘航母中最后的幸存者_____。
- A. 翔鹤号 B. 瑞鹤号 C. 苍龙号

第3课 美国航空母舰的发展

【创新学习简答题】

1. 观察创新发明法。
2. 第二次世界大战之后，美国常规动力航母三代发展的主要创新之处简介。
3. 联想创新发明法简介。
4. 第二次世界大战之后，美国核动力航母三代发展的主要创新之处简介。

【选择题】

- 3-1** 让飞机能够在舰船上起飞，是一个非常大胆的创新设想，最先用来创新尝试让飞机起飞的战舰是_____。
- A. 加利福尼亚号 B. 北卡罗来纳号
C. 佐治亚号
- 3-2** 如今，弹射器相当于尼米兹号航空母舰的心脏，推动弹射器把飞机弹射升空是利用_____。
- A. 高压蒸汽 B. 电磁力 C. 核动力
- 3-3** 现在的核动力航空母舰上一共设有_____个飞机弹射器，每个弹射器长91米。

A. 2 B. 4 C. 6

- 3-4** 核动力航空母舰上的蒸汽弹射器如一个火箭弹弓，具有巨大的推力，在短短的两秒内，就能使F18战斗机从静止达到时速_____。
- A. 235千米 B. 265千米 C. 300千米
- 3-5** 为了让飞机能够在甲板上降落，就需要重新设计舰舰的上层建筑，现代航空母舰之母皇家方舟号的创新设计为_____。
- A. 舰岛在左舷，为飞行甲板让出了空间
B. 舰岛在右舷，为飞行甲板让出了空间
C. 舰岛分在两舷，中间为飞行甲板让出了空间
- 3-6** 尼米兹号航空母舰的舰岛安置在右舷，舰岛是_____，是航空母舰的耳目与大脑。
- A. 控制塔 B. 雷达气象室
C. 主飞行控制室
- 3-7** 在美国大黄蜂航空母舰上，为了在45米距离之内让时速135千米降落的重8000千克的战斗机停下来，采用的方法是_____。
- A. 勾住连接到甲板下液压撞锤的12道拦截索
B. 勾住连接到一组沙包的12道拦截索
C. 勾住连接到5道戴维斯障碍的12道拦截索
- 3-8** 尼米兹号航空母舰把拦截索的刹车力量推至了极限，能够让时速225千米、重25000千克的F18在_____米内停下来。
- A. 45 B. 75 C. 100
- 3-9** 飞机在航空母舰甲板上进行降落时的重头戏是依靠甲板上的3条拦截索实现_____降落，拦截索为直径5厘米的复合钢缆。
- A. 拖止降落 B. 捕获降落 C. 钩止降落
- 3-10** 把航空母舰上的木制甲板换成钢铁甲板，既是创新、也是对舰舰设计师的巨大挑战，因为钢铁甲板会_____。
- A. 降低航空母舰的稳定性
B. 降低航空母舰的速度
C. 降低航空母舰的灵活性
- 3-11** 尼米兹号航空母舰的甲板也是钢铁材质的，但并没有覆盖厚厚的装甲板，原因是_____。
- A. 新型材料的钢铁甲板能够抵挡任何轰炸
B. 处在层层高科技的保护罩之下

- C. 有远程雷达早发现入侵者并拦截
- 3-12** 1970年1月,美国中途岛号航空母舰的第二次现代化改造是为了适应_____的需要。
A. 更换钢铁甲板
B. 大幅增加舰载机数量
C. 喷气式飞机上舰
- 3-13** 美国海军五星上将欧内斯特·金关于航母的创新理念是:海军的作用并不仅限于保障海上供应线和攻击海上目标,海军的使命是要攻击那些火力所能及的_____。
A. 海岸目标 B. 陆地目标 C. 空中目标
- 3-14** 为了解决飞机能够在航空母舰上起飞和降落同时进行的问题,老牌的英国皇家海军的重大创新发明是_____。
A. 把甲板加宽到两条飞机跑道宽
B. 舰岛移到了甲板的右舷
C. 斜角飞行甲板
- 3-15** 第二次世界大战之后,美国航空母舰的创新发展过程可以概括为_____共6代航空母舰。
A. 3+3(常规动力+核动力)
B. 2+4(常规动力+核动力)
C. 4+2(常规动力+核动力)
- 3-16** 第二次世界大战之后,美国的第一代常规动力航空母舰为_____。
A. 中途岛级 B. 弗莱斯特级 C. 小鹰级
- 3-17** 美国的福莱斯特号航空母舰在1955年10月服役,标志着世界上第一艘专门为_____建造的航母诞生了。
A. 喷气式飞机
B. 最多种类的机器和致命武器
C. 蒸汽弹射器
- 3-18** 美国的福莱斯特级航空母舰可以携带喷气式飞机多达_____架,所以被称为“超级航母”是当之无愧的。
A. 60多 B. 90多 C. 120多
- 3-19** 美国的第三代常规动力航空母舰,称为_____,也是世界上最后一级常规动力航母。
A. 星座级 B. 肯尼迪级 C. 小鹰级
- 3-20** 小鹰号航空母舰在建造过程中,优化了整体结构,创新采用了_____飞行甲板,也是世界上最后一级常规动力航母。
A. 电磁弹射式 B. 滑跃式
C. 封闭式加强
- 3-21** 在过去,为了能够让飞行速度较慢的螺旋桨飞机在航空母舰上成功降落,最先采用的引导方法是_____。
A. 用灯光引导协助飞机降落
B. 用镜子反射光引导协助飞机降落
C. 用圆板引导协助飞机降落
- 3-22** 为了能够让高速飞行的喷气式飞机在航空母舰上成功降落,英国皇家飞行员尼克·古德哈特创新发明的引导方法是_____。
A. 用灯光引导协助飞机降落
B. 用镜子反射光引导协助飞机降落
C. 用圆板引导协助飞机降落
- 3-23** 从常规动力航母到核动力航母,是航母动力的巨大创新飞跃,美国第一代核动力航空母舰为_____。
A. 企业号 B. 尼米兹号 C. 福特号
- 3-24** 美国的第一艘核动力航空母舰服役后,就展开了名为_____的环球巡航,历时64天,总航程3万多海里。
A. 环球行动 B. 海啸行动 C. 海轨行动
- 3-25** 尼米兹级航空母舰为美国的_____,是航空母舰创新发展的集大成者。
A. 第一代核动力航母
B. 第二代核动力航母
C. 第三代核动力航母
- 3-26** 目前,世界上除美国拥有核动力航空母舰外,仅有_____还拥有1艘核动力航母。
A. 法国 B. 俄罗斯 C. 英国
- 3-27** 核动力航母上核反应堆会在船身中部产生巨大重量,造成龙骨弯折,采用创新解决方法为_____。
A. 把核反应堆一分为二
B. 把核反应堆分散成8个
C. 用蜂窝状钢材结构加强龙骨

- 3-28** 通过创新改进，超级核动力航空母舰尼米兹号 20 年才需要更换燃料，具有更大的动力，船上的核反应堆变为 _____。
- A. 2 座 B. 4 座 C. 8 座
- 3-29** 核动力航空母舰具有更大的机动性和续航力，但在造价上很昂贵，而最致命的问题是 _____。
- A. 核辐射的防护非常困难
B. 更换核燃料非常麻烦
C. 被击中后会造核泄漏或核爆炸
- 3-30** 美国第一艘尼米兹级航空母舰的建设历经 7 年的时间，为了更快速地建造航空母舰，美国人采用的创新技术是 _____。
- A. 分模块制造后再焊接组合
B. 在干船坞内建造
C. 各个工种的工人同时开工
- 3-31** 美国尼米兹航空母舰的最新一艘是 _____，造价 60 亿美元，配备了隐形战斗机和球形船身，是美国第二代核动力航母的创新集大成者。
- A. 里根号 B. 布什号 C. 福特号
- 3-32** 作为航空母舰创新的最高成就，美国第三代核动力航空母舰的首舰是 _____。
- A. 奋进号 B. 弗莱斯特号 C. 福特号
- 3-33** 美国第三代核动力航空母舰采用了很多第二代航母中从来没有采用过的创新技术，在外观设计上创新采用 _____ 设计。
- A. 超流线技术 B. 隐形技术
C. 超级防护技术
- 3-34** 美国第三代核动力航空母舰，在起飞方式上创新采用了 _____ 设计。
- A. 蒸汽弹射起飞 B. 滑跃起飞
C. 电磁弹射起飞
- 3-35** 根据美国的规划和部署，到 2020 年，美国在太平洋游弋的军舰会达到其全部军舰的 _____。
- A. 50% B. 60% C. 70%
- 3-36** 美国第七舰队是美国最大的海外前进配置武装力量，它具有三大杀手锏：_____，乔

治·华盛顿号航母，提康德罗加级导弹巡洋舰。

- A. 蓝岭号作战指挥舰 B. 企业号航母
C. 宙斯盾系统

- 3-37** 美国尼米兹级核动力航空母舰一共建造了 _____ 艘，分三个批次生产，每一个批次都进行了优化和升级。

- A. 10 B. 11 C. 12

- 3-38** 在尼米兹级核动力航空母舰船体的内部和飞行甲板下方，都是创新采用了 _____，以 X 型构造连结，在受到武器命中时，能够吸收冲击能量，降低对舰体内部的破坏。

- A. 凯夫拉装甲 B. 双层舰壳
C. 钢质装甲

- 3-39** 美国第三代核动力航空母舰福特号，凭借一系列技术创新，获得最强航母称号，在舰载机降落的拦阻系统，创新采用了 _____ 设计。

- A. 气流阻碍式拦阻 B. 滑轮缓冲式拦阻
C. 电磁式拦阻

- 3-40** 航空母舰福特号排水量达到 11.2 万吨，内置 2 台新型 A1B 压水式核反应堆，发电量为尼米兹级的 _____ 倍。

- A. 2 B. 3 C. 4

第 4 课 英国航空母舰的发展

【创新学习简答题】

1. 兴趣调动创新发明方法简介。
2. 英国对世界航空航母的创新发展有哪些主要的贡献？

【选择题】

- 4-1** 1913 年 5 月，英国皇家海军对一条排水量为 5700 吨的轻巡洋舰 _____ 首次进行了大规模改装，成为世界海军史上第一条水上飞机航母。
- A. 竞技神号 B. 皇家方舟号
C. 百眼巨人号
- 4-2** 英国皇家海军的第一艘竞技神号航空母舰在下水服役不久，就参加了第一次世界大战，最后归宿为 _____。

- A. 被德军的齐柏林飞艇击沉
B. 被意大利的水上飞机击沉
C. 被德军 U27 号潜艇鱼雷击沉
- 4-3** 英国第二代竞技神号航空母舰之所以成为现代意义上的航空母舰标准模板, 主要创新之处在于 ____。
- A. 全通式甲板 B. 舰岛设计
C. 滑跃起飞甲板
- 4-4** 英国第二代竞技神号航空母舰, 从 1923 年 7 月下水服役, 到 1942 年舰龄将近 20 年, 最后的归属是 ____。
- A. 被日军飞机击沉
B. 被日军潜艇鱼雷击沉
C. 被德军潜艇鱼雷击沉
- 4-5** 英国第三代竞技神号航母于 1944 年 6 月开工建设, 到最后建成服役, 历时 ____ 年, 并且后期又经历了多次用途上的大规模改装。
- A. 3 B. 8 C. 12
- 4-6** 从 1981—1982 年, 英国第三代竞技神号航母经历了最后一次大规模改装, 主要的改装项目是 ____。
- A. 两栖攻击航母 B. 反潜艇功能
C. 滑跃起飞甲板
- 4-7** 1986 年, 舰龄已经 30 多年的英国第三代竞技神号航母的最后归宿是 ____。
- A. 退役封存 B. 卖给印度海军
C. 在马岛战争中被击沉
- 4-8** 在第一艘竞技神号航母不幸被德军潜艇击沉后, 英国皇家海军又改装了第一代皇家方舟号水上飞机航母, 之前是一艘 ____。
- A. 客船 B. 运煤船 C. 军舰
- 4-9** 英国第二代皇家方舟号航母创新设计为封闭舰艏高干舷、双层机库全封闭、外伸甲板、液压弹射拦阻索, 获得了 ____ 的称号。
- A. 真正的航空母舰 B. 巅峰航母
C. 现代航母的原型
- 4-10** 1941 年 5 月 24 日, 首次出征的德军俾斯麦号战列舰在丹麦海峡与英国皇家海军两艘战列舰相遇并发生炮舰对决, 击沉了英军 ____ 战列舰。
- A. 胡德号 B. 威尔士亲王号
C. 罗德尼号
- 4-11** 在围击俾斯麦号的过程中, 唯一能够拦住俾斯麦号逃向法国海岸的舰队只有 ____ 舰队, 统领舰队的萨默维尔海军中将明智地决定采用航母战术展开攻击。
- A. 英国本土 B. 英国 H C. 英国先遣
- 4-12** 在英国海军成功猎杀德军被称为“永不沉没”的俾斯麦号战列舰过程中, 起到最关键作用的是 ____。
- A. 罗德尼号战列舰上的主炮
B. 胡德号战列舰上的巨炮
C. 皇家方舟号航空母舰
- 4-13** 1941 年 11 月 13 日, 第二代皇家方舟号航母被 ____, 造成大量进水, 主机停转, 最终沉入了地中海。
- A. 德军 U81 潜艇发射的鱼雷击中
B. 德军俾斯麦号战列舰的巨炮击中
C. 被己方谢菲尔德巡洋舰误击中
- 4-14** 1955 年建成服役的第三代皇家方舟号航母转变了设计思路, 建造完成时拥有蒸汽弹射器和斜角飞行甲板, 成为真正意义上的 ____, 缔造了英国的大航母时代。
- A. 两栖登陆型航空母舰
B. 直升机型航空母舰
C. 大型舰队航空母舰
- 4-15** 皇家方舟号第三代大型航母全部退役后, 英国转而发展 ____ 轻型航空母舰, 并把其三号舰命名为第四代皇家方舟号。
- A. 皇家方舟级 B. 无敌级
C. 伊丽莎白女王级
- 4-16** 无敌级航空母舰作为现代轻型航母的先驱, 率先创新使用了 ____ 结构设计, 使航母的设计大为简化。
- A. 垂直 / 短距起降飞机
B. 直升机型航空母舰
C. 左舷外飘跑道甲板
- 4-17** 无敌级航空母舰在世界上第一次将 ____ 用

作航母的动力装置，具有划时代的意义。

- A. 电力驱动轮机 B. 混合动力轮机
C. 燃气轮机

4-18 英国伊丽莎白女王级航空母舰是英国有史以来最大的航母，结构设计上，延续了英国航母 _____ 设计。

- A. 单舰岛 B. 双舰岛 C. 三舰岛

4-19 英国伊丽莎白女王级航空母舰的第二艘是 _____ 航空母舰，暂时以超大型的两栖攻击舰服役。

- A. 查尔斯王子号 B. 威尔士亲王号
C. 大不列颠号

第 5 课 苏联和俄罗斯航空母舰的兴衰

【创新学习简答题】

1. 如何培养创新兴趣？
2. 俄罗斯航母的发展经历了哪些主要阶段？

【选择题】

5-1 如今的俄罗斯，只剩下 _____ 一条航空母舰，在俄罗斯冰冷的海面上孤独地游弋着。

A. 明斯克号 B. 戈尔什科夫号
C. 库兹涅佐夫号

5-2 德国于 1938 年建造下水了航空母舰 _____，但是由于第二次世界大战爆发，于 1940 年 5 月终止建造，战后苏联获得。

- A. 齐柏林号 B. 基辅号 C. 海狼号

5-3 1967 年，在经历了古巴导弹危机之后，苏联的第一代航空母舰 _____ 终于诞生了，却被称为大型反潜巡洋舰。

- A. 戈尔什科夫号 B. 莫斯科号
C. 赫鲁晓夫号

5-4 在第一代直升机航母之后，苏联发展航空母舰遇到“瓶颈”之际，新型 _____ 战机的出现，为发展第二代航母提供了空间和契机。

- A. 雅克系列垂直起降战机
B. 海鹞系列垂直起降战机
C. AV-8 系列垂直起降战机

5-5 苏联第二代航母为 _____，先后建造了 4 艘，

是苏联海军历史上建造数量最大的一批航空母舰。

- A. 基辅级 B. 明斯克级
C. 新罗西斯克级

5-6 苏联海军研究专家库津在 _____ 一书中感慨写道：海军的命运就这样被这些对海军一知半解、却又自以为是的权势人物任意支配，一误再误。

- A.《水面舰艇文集》 B.《航空母舰文集》
C.《海军文集》

5-7 苏联的第三代航母为 _____，满载排水量 67500 吨，具有滑跃式甲板，可以起降常规作战飞机，成为航母发展史上的突破。

- A. 戈尔什科夫级
B. 库兹涅佐夫级
C. 瓦良格级

5-8 作为苏联唯一留存的航母，俄罗斯库兹涅佐夫号航母搭载的是真正意义上的常规起降作战飞机，目前搭载的是 _____ 舰载战斗机。

- A. 苏 27 B. 苏 27K C. 苏 33

5-9 库兹涅佐夫航空母舰的服役，是世界海军中首次出现了 _____ 这一新颖的航母起降方式，具有里程碑意义。

- A. 垂直起飞和降落
B. 短距起飞和垂直降落
C. 滑跃起飞和拦阻降落

5-10 采用滑跃起飞方式、滑越甲板以及甲板的上翘角技术，是 _____ 针对航母的一项非常实用的创新发明。

- A. 英国 B. 美国 C. 日本

5-11 在苏联解体后，库兹涅佐夫级二号舰， _____ 航空母舰方才建造完成 70%，由于国家实力的衰败，就再也不可能建造完成了。

- A. 瓦良格号 B. 乌里扬诺夫斯克号
C. 戈尔什科夫号

5-12 在苏联解体时，苏联海军的第四代巨型核动力航母 _____ 方才建造完成 30%，从此，这艘航母的命运也走到了尽头。

- A. 瓦良格号 B. 乌里扬诺夫斯克号

- C. 戈尔什科夫号
- 5-13** 仅仅建造完成 30% 的苏联海军的第四代核动力航空母舰——乌里扬诺夫斯克号航母的最终命运是_____。
- A. 被挪威整体收购
B. 被中国收购改建辽宁舰
C. 拆解为废钢铁卖给美国
- 5-14** 见证了苏联几代航母下水的尼古拉耶夫船厂老厂长马卡洛夫哀叹说：这不仅是一艘航母的终结，它更是俄罗斯航母时代的终结，是伟大强国_____的终结。
- A. 实力与地位
B. 国运与繁荣
C. 骄傲与威严
- 5-15** 俄罗斯的库兹涅佐夫号航母充分具备现在主要海洋作战装备的反击能力，其自身的防御火力，超过了美国_____航母，具有强大的抗打击能力。
- A. 福特级
B. 尼米兹级
C. 福莱斯特级
- 5-16** 俄罗斯的库兹涅佐夫号航母采用常规动力，可以使得航行速度达到_____节，只能实现 7100 千米的续航里程，可以满足中远程远海作战。
- A. 28
B. 30
C. 32

第6课 独树一帜的法国航母

【创新学习简答题】

- 移植组合创新发明法简介。
- 法国航空母舰发展的独树一帜创新之路简介。

【选择题】

- 6-1** 在法国航空母舰的建造历史上，改建的第一艘航母是_____，始建于 1914 年。
- A. 巨人号
B. 贝亚恩号
C. 克莱蒙梭号
- 6-2** 在法国改建完第一艘航母之后，法国的航空母舰历史走出了一条完全创新的租借之路，先后从英国和美国租借了_____艘航母。
- A. 2
B. 4
C. 5
- 6-3** 20 世纪 50 年代，法国海军独立创新建造的第一级航空母舰是_____，是能够起飞固定翼飞机的中型航空母舰。
- A. 霞飞级
B. 克莱蒙梭级
C. 福煦级
- 6-4** 法国独立建造航母走的是一条独树一帜的创新道路，非常有个性地选择了建造_____，体现了法国在航母建造上务实和独立的精神。
- A. 小型航母
B. 中型航母
C. 大型航母
- 6-5** 法国独立建造的第二艘航空母舰是_____，于 1963 年 7 月正式服役，具有较强的对岸对海攻击能力，兼有较强的制空能力，但只具备一般的防潜能力。
- A. 霞飞号
B. 戴高乐号
C. 福煦号
- 6-6** 法国独立建造航母创造性地选择了走中型航母的道路，中型航母与大型航母相比较，具有建造维护费用低和_____高的两种优势。
- A. 以海制陆能力
B. 稳定性
C. 降落安全性
- 6-7** 法国的核动力航空母舰戴高乐号在外形上所采用的创新设计是_____。
- A. 双岛结构
B. 全甲板封闭型
C. 隐身外形
- 6-8** 法国核动力航空母舰戴高乐号与美国核动力航空母舰尼米兹号相比较，其主要突出的特点是_____。
- A. 攻防均衡
B. 小而强
C. 隐身外形
- 6-9** 由于技术水平的限制，法国第一艘核动力航空母舰上配备的弹射器是从美国花高价购买的_____弹射器，价格达到 1200 万美元。
- A. 滑跃式
B. 蒸汽
C. 电磁
- 6-10** 同样由于技术水平的限制，法国第一艘核动力航空母舰上配备的预警机也是从美国花高价购买的_____预警机，价格达到 2.5 亿美元。
- A. F18 型
B. FA18EF 型
C. E2C 型
- 6-11** 法国核动力航空母舰戴高乐号上的核反应堆，是从_____上的核反应堆创新移植而来。
- A. 核电站
B. 核动力飞机
C. 战略导弹潜艇
- 6-12** 法国的戴高乐核动力航空母舰上的舰载机中，战斗机是法国完全独立国产的_____舰

载战斗机，性能达到了3代半战斗机水平。

- A. 超级军旗型 B. 阵风 M 型
C. E2F 鹰眼型

6-13 由于技术水平限制，法国的戴高乐核动力航空母舰上的舰载预警机从美国购买了4架____预警机，配齐了航空母舰的整个作战体系。

- A. 超级军旗型 B. 阵风 M 型
C. E-2F 鹰眼型

6-14 法国在核动力航空母舰戴高乐号之后，下一艘航空母舰的设计理念是_____。

- A. 大型核动力航母 B. 中型核动力航母
C. 常规动力航母

6-15 法国的下一代航空母舰 PA2 设计前卫务实，采用了_____设计，功能更加专业化，凸显其强海强国的理念。

- A. 封闭式单舰岛 B. 双舰岛
C. 三舰岛

第7课 日本航空母舰的乔装发展

【创新学习简答题】

1. 直觉创新发明方法简介。
2. 日本在世界航空母舰发展历史上的创新之处简介？

【选择题】

7-1 亚洲太平洋地区近些年来之所以航空母舰云集，主要是因为_____几个方面交互作用的结果。

- A. 大国战略博弈和矛盾聚合
B. 日韩独岛争端、南海争端、日俄北方四岛争端
C. 需求、安全态势以及技术能力

7-2 亚洲太平洋地区目前已成国际社会关注度最高的一个地缘板块，美国高调宣示其_____战略，俄罗斯持续加大亚太战略投入，印度积极“向东”望太平洋，日本_____抬头趋势越发明显。

- A. 海上安全稳定，航母称霸

B. 制约亚太发展，海上军事大国

C. 亚太再平衡，军国主义

7-3 2007年8月，日本的一艘排水量18000吨的大型驱逐舰在横滨市下水，这就是日本自第二次世界大战后的第一艘准航母_____。

- A. 伊势号 B. 出云号 C. 日向号

7-4 日本在世界海军发展史上书写了多个第一，尤其重视航空母舰的发展，太平洋战争开始时，日本海军已经拥有_____艘航母，组成了当时世界上最大最先进的航母舰队。

- A. 6 B. 10 C. 20

7-5 第二次世界大战结束后不久，1952年，日本就重新考虑建航母，在山本善雄的主持下，提出了要建造_____艘_____级航空母舰的新日本海军再建案。

- A. 4, 8000吨 B. 2, 14000吨
C. 2, 20000吨

7-6 第二次世界大战时日本对美国珍珠港的偷袭成功，彻底改变了各国海军一直奉行了300多年的以_____制胜的近战模式。

- A. 飞机大炮 B. 大炮巨舰
C. 潜艇巨舰

7-7 1959年，日本利用_____的机会，再次提出了要建造排水量14000吨级的航空母舰。

- A. 战后重建初步完成
B. 经济迅速恢复
C. 制订二次防卫计划

7-8 日本海上自卫队成立于1954年，目前兵力约为44000人，拥有各式舰艇160多艘，其核心是_____。

- A. 4支八八舰队 B. 8支八八舰队
C. 4支九九舰队

7-9 未来，日本的八八舰队可能发展成为九九舰队或者十九舰队，十九舰队指的是_____。

- A. 19支舰艇 B. 10舰9飞机
C. 10舰9潜艇

7-10 冷战结束后，日本在水面舰艇的发展上向着大型化、综合化、信息化水平发展，其典型代表标志为引进了美国先进的技术，成为世

- 界上第二个拥有 _____ 的国家。
- A. 宙斯盾导弹驱逐舰
B. 宙斯盾反潜驱逐舰
C. 宙斯盾反潜直升机
- 7-11** 1996年11月日本 _____ 坦克登陆舰下水，创下第二次世界大战后日本海军舰艇史上的几个第一，舰长178米，最大航速22节，首次采用了 _____。
- A. 大隅号，隐形设计
B. 出云号，一体设计
C. 伊势号，前开门设计
- 7-12** 最大航速为22节的日本大隅号，采用全通甲板，可以搭载直升机和气垫登陆艇，可以定位为 _____。
- A. 直升机航母
B. 轻型航母
C. 两栖攻击舰
- 7-13** 日本海上自卫队之所以制定1000海里护航战略，主要原因是由于 _____。
- A. 保卫领海的需要
B. 海上称霸的需求
C. 对来自潜艇巨大威胁的恐惧
- 7-14** 1943年，第二次世界大战中美军的潜艇对日军舰船进行了1000余次的袭击，击沉了300多艘日军舰船，共计 _____ 吨，造成了日本船舶总吨位的锐减，日本海军越来越力不从心。
- A. 100万
B. 180万
C. 240万
- 7-15** 日本的“日向号”直升机驱逐舰甲板设计了一个具有十几度斜角的滑跃甲板，从而使得 _____ 可以起降，因此“日向号”成为一艘名副其实的短距起降航空母舰。
- A. 直升机
B. 短距起降飞机
C. 垂直起降飞机
- 7-16** 第二次世界大战后期， _____ 航空母舰的出现，彻底扭转了整个太平洋地区美日海上的形势，美军彻底打破了日本的海上优势，成为新一代的海上霸主。
- A. 埃塞克斯级
B. 约克城级
C. 尼米兹级
- 7-17** 日本编号为22DDH的直升机驱逐舰的舰长248米，排水量超过 _____，庞大的身躯已经可与第二次世界大战时的埃塞克斯级航母相比。
- A. 18000吨
B. 24000吨
C. 40000吨
- 7-18** 未来以22DDH为核心的日本海上自卫队的十九舰队，如果再搭载了F35B作战飞机，将会成为傲视整个东亚地区，甚至在全球也是数一数二的最为强大的一支 _____。
- A. 海上自卫队
B. 航母编队
C. 常规潜艇作战部队
- 7-19** 在亚洲，日本是航空母舰设计制造水平最高的国家，制造22DDH出云号直升机航母仅用了短短的 _____ 时间，造航母实力不容小觑。
- A. 2年
B. 3年
C. 4年
- 7-20** F35B垂直起降战斗机具有较好的 _____ 性能，空战能力强，可以大大提高海自机动编队的对空防御能力和对海对地目标的突击能力。
- A. 起降
B. 攻击
C. 隐身
- 7-21** 日本计划在出云号上部署 _____ 运输机，并计划将其改造成舰载预警机和舰载运输机，来完善出云号作为航母的作战和领导能力。
- A. V-22鱼鹰
B. C-17空中霸王
C. Me323巨人

第8课 印度航空母舰的二手之路

【创新学习简答题】

1. 运用直觉进行发明创新的三种方法简介。
2. 简述印度航空母舰的发展之路。

【选择题】

- 8-1** 印度向来视印度洋为其内海，因此，印度海军一直以来的战略目标为 _____。
- A. 拥有3艘航母
B. 控制印度洋
C. 打造亚洲第一航母大国
- 8-2** 印度设计制造的第一艘航母，虽然号称国产航母，但却真正实现了国际化生产，由 _____ 国设计、动力系统来自 _____ 国、火炮系统来自意大利。

- A. 德国, 法国 B. 法国, 美国
C. 俄罗斯, 英国
- 8-3** 从 20 世纪 90 年代开始, 印度海军就提出了全新的发展思路, 概括为 ____。
- A. 东进、西出、南下
B. 积极向东发展
C. 打造亚洲第一航母大国
- 8-4** 利用印度洋这个天然的屏障和通道, 印度在建国初期便推行了维护大国地位和国家安全的 ____ 政策。
- A. 东进、西出、南下 B. 非暴力非同盟
C. 不结盟
- 8-5** 印度从英国购买的第一艘航母维克兰特号原为英国尊严级航空母舰 ____。
- A. 无敌号 B. 竞技神号 C. 大力神号
- 8-6** 印度购买的第一艘航母维克兰特号按照其排水量应该被划入 ____ 的行列。
- A. 轻型航母 B. 中型航母 C. 重型航母
- 8-7** 1971 年, 印度利用以“维克兰特”号航空母舰为核心的特混舰队, 在 ____ 战争中大获全胜, 使得印度海军二手航母之路越来越坚定地走了下去。
- A. 第一次印巴战争 B. 第二次印巴战争
C. 第三次印巴战争
- 8-8** 印度从英国购买的第二艘航母维兰特号原为英国航空母舰 ____。
- A. 无敌号 B. 竞技神号
C. 贝尔格拉诺号
- 8-9** 印度购买的第二艘航母维兰特号之所以先留在英国的船厂进行现代化改装是因为 ____。
- A. 要安装从英国购买的武器装备
B. 印度造船工业不具备建造大型作战舰艇的能力
C. 印度的军工产业不具备改装、维修、保养航母的能力
- 8-10** 第二艘航空母舰的维兰特号的加盟, 终于使得印度海军完成了 ____ 的部署。
- A. 双航母战斗群
B. “东进、西出、南下” 战略
C. 完全控制印度洋
- 8-11** 印度从俄罗斯购买的第三艘航母维克拉玛蒂亚号原为俄罗斯基辅级航空母舰 ____ 号。
- A. 乌里扬诺夫斯克 B. 库兹涅佐夫
C. 戈尔什科夫
- 8-12** 俄罗斯答应把旧航空母舰免费送给印度, 前提是要放在俄罗斯有偿改装, 附加条件是该航空母舰上要搭载俄罗斯生产的 ____ 常规起降战斗机。
- A. 米格 29K B. 苏 33 C. 海鹞式
- 8-13** 俄罗斯最开始提出的改装航空母舰费用为 10 亿美元, 后来几经增长加价, 最后达到 ____ 美元。
- A. 15 亿 B. 23.4 亿 C. 29 亿
- 8-14** 俄罗斯方面为什么要一次又一次地推迟交货的工期, 主要原因是由于 ____。
- A. 俄罗斯目前的造船厂没有建造航空母舰的任何技术储备和经验
B. 原材料和施工成本一直涨价导致入不敷出
C. 把印度的改装钱大部分转用到制造核潜艇和其他中型水面舰艇
- 8-15** 一旦维克拉玛蒂亚号航空母舰交付使用, 印度海军将从 2 万吨级航母时代进入 ____ 吨级航母时代, 同时航空舰载机也将从垂直起降时代进入 ____ 时代。
- A. 3 万, 蒸汽弹射起飞
B. 4 万, 滑跃起飞
C. 5 万, 电磁弹射起飞
- 8-16** 印度希望极力发展远洋海军, 美国是海洋头号霸主, 印度最终之所以未能从美国引进退役航母 8 万吨级的小鹰号, 原因可能与美印之间 ____ 的微妙关系所决定。
- A. 亚太再平衡所造成
B. 既要拉拢, 又互相防范
C. 关于亚太地区利益消长
- 8-17** 印度维克拉玛蒂亚号航母上携带的预警机是 ____ 预警机, 因此军事专家表示: 印度海军的战力没有真正质变。
- A. 美国 E2D B. 直升机

- C. 英国鹞式
- 8-18** 由于维克拉玛蒂亚号航母是一艘改建航母，所以其甲板上的升降机一次只能运载_____米格 29K，并且机库的尺寸也略有不足。
A. 1 架 B. 2 架 C. 3 架
- 8-19** 印度设计制造的国产航母蓝天卫士号的排水量为_____吨级，甲板设计采用了_____甲板。
A. 3 万，蒸汽弹射起飞
B. 4 万，滑跃起飞
C. 5 万，电磁弹射起飞
- 8-20** 印度国产航母蓝天卫士号的舰岛上层建筑不仅安装了大量的电子战、信息战、雷达探测设备，而且整体外形也考虑到了_____外形设计。
A. 隐形 B. 可移动 C. 抗打击
- 8-21** 印度国产航母的核心技术、装备和舰载机将全部依靠进口，因此不得不花高价从以色列和法国购进了_____，从俄罗斯和英国购进了战斗机。
A. 防空系统 B. 导弹制导系统
C. 导航系统
- 8-22** 印度加快了自己第二艘国产航母建设规划，计划在第二艘国产航母维沙尔号是使用核动力推进和_____起飞方式。
A. 滑跃 B. 蒸汽弹射 C. 电磁弹射
- C. 12000, 3000
- 9-3** 之所以导致如今激烈的海域争端，是由于中国历史上_____。
A. 缺乏海洋国土意识
B. 缺乏海洋公约法的保护
C. 对海权及海军力量的忽视
- 9-4** 在中国的周围，有_____个国家拥有航空母舰，有_____个国家拥有准航母。
A. 3, 2 B. 2, 4 C. 3, 3
- 9-5** 第一个提出要在中国制造航空母舰的人是_____。
A. 李鸿章 B. 陈绍宽 C. 蒋介石
- 9-6** 20 世纪 50 年代，反复阻止中国收复台湾的是_____。
A. 苏联波罗的海舰队
B. 日本太平洋舰队
C. 美国海军第七舰队
- 9-7** 历史上最短命的航空母舰是第二次世界大战时排水量最大的日本装甲航母_____。
A. 瑞鹤号 B. 信浓号 C. 大和号
- 9-8** 中国的南沙群岛的岛礁中，被越南侵占的有_____个。
A. 15 B. 24 C. 29
- 9-9** 1993 年 7 月，美国军舰和飞机在波斯湾羁绊中国货轮 10 天强令进行化学武器原料检查，制造了令中国感到非常窝囊的_____事件。
A. 波斯湾 B. 银河号 C. 违禁品
- 9-10** 1994 年 10 月，美国_____航母在中国领海边界，缠住中国海军一艘汉级核攻击潜艇驶入中国领海，又制造了一起挑衅事件。
A. 企业号 B. 尼米兹号 C. 小鹰号
- 9-11** 2005 年，中国开始对从乌克兰购买的旧航空母舰_____进行改造，将用于科研实验和训练。
A. 基辅号 B. 明斯克号 C. 瓦良格号
- 9-12** 瓦良格号航母于 1988 年 11 月 25 日下水成功，满载排水量为_____，舰长_____，舰宽 70 米，吃水 10 米。
A. 9 万 7 千吨，352 米

第 9 课 中国的航母梦

【创新学习简答题】

- 意外创新发明方法简介。
- 中国的航母之梦简介。

【选择题】

- 9-1** 按照国际公约法，中国除了拥有 960 万平方千米的土地面积，还有总计_____多万平方千米的海洋国土。
A. 200 B. 300 C. 400
- 9-2** 中国的海洋国土包括：_____海里的海岸线，还有_____多个岛屿。
A. 18000, 6000 B. 14000, 5000



B. 5万7千吨, 262米

C. 6万7千吨, 302米

- 9-13 瓦良格号航空母舰的飞行甲板采用_____甲板,平台最多可以搭载36架苏-33舰载机,14架卡-27PL反潜直升机,2架电子战直升机和两架搜救直升机。
- A. 滑跃式
B. 电磁弹射式
C. 蒸汽弹射式

- 9-14 至1991年12月苏联解体时,瓦良格号航母才完工_____,剩下的建造至少需要_____美元。
- A. 60, 3亿
B. 68, 2.5亿
C. 75, 1.8亿

- 9-15 1985年,中国购买的第一艘旧航母为_____航母。
- A. 澳大利亚的“墨尔本”号
B. 苏联的“明斯克”号
C. 苏联的“基辅”号

- 9-16 中国之所以购买瓦良格号旧航母,是因为瓦良格号有着非常优秀的血统,为俄罗斯现役_____航母的基础之上改进制造的。
- A. “乌里扬诺夫斯克”号
B. “库兹涅佐夫”号
C. “基辅”号

- 9-17 航空母舰的发展大多由改装起步的,第二次世界大战时苏联航母的起步,就是参照缴获的德国_____航母的基础之上改进制造的。
- A. “V-2”号
B. “齐柏林”号
C. “基辅”号

- 9-18 印度的“维克拉马蒂亚”号航空母舰是由原俄罗斯的_____航母的基础之上改装的,并必须装备俄制舰载机。
- A. “戈尔什科夫海军上将”号
B. “乌里扬诺夫斯克”号
C. “库兹涅佐夫”号

- 9-19 2011年8月10日,对于中国这样的海权大国是历史性的一刻,中国的第一艘航母“瓦良格”号(辽宁舰)正式进行_____,几代

人的航母梦得以实现。

A. 下水实验

B. 接入入列

C. 出海航行实验

- 9-20 有国外媒体称,瓦良格号航母(辽宁舰)将成为世界上_____最强的水面战斗舰艇。
- A. 攻击能力
B. 空中打击
C. 近防能力

- 9-21 中国东风-21D反舰弹道导弹,被西方媒体称为_____。
- A. 船舰克星
B. 空中利剑
C. 航母杀手

- 9-22 中国东风-21D反舰弹道导弹的首度公开亮相时间是2015年9月3日的_____,为中国独有、全球第一种反舰弹道导弹。
- A. 中苏联合军演
B. “胜利日”大阅兵
C. 美菲双航母军演

- 9-23 美国第三代核动力航空母舰福特号的造价是至今为止最昂贵的,达到了_____。
- A. 80亿美元
B. 120亿美元
C. 150亿美元

- 9-24 中国东风-21D中远程反舰弹道导弹的有效射程可以达到_____,就是为了不让航母在距离海岸线较近的距离活动。
- A. 600千米
B. 900千米
C. 1500千米

第10课 辽宁舰的前世今生

【创新学习简答题】

1. 逆向创新发明法简介。
2. 中国首艘航母辽宁舰简介。

【选择题】

- 10-1 中国首艘航母辽宁舰于2012年9月25日入列交付海军,命名为“中国人民解放军海军辽宁舰”,舷号为16,定位为_____。
- A. 近海防卫型舰
B. 攻击作战型舰
C. 科研试验训练舰
- 10-2 对于航母本身来说,走出船厂以后,最重要的就是航母的_____,航母编队的部署必须考虑现有的建设和维修平台等情况。
- A. 维护
B. 续航能力
C. 母港

- 10-3** 航母交付军队后，至少还要经过三个阶段：
①舰载机与航母的磨合；② _____；③与其他军种资讯连接试训。
A. 编队的试训 B. 战术演练试训
C. 武器装备试训
- 10-4** 中国江南造船厂制造的 052D 型 _____ 已经下水，是 6000 吨级燃气轮机驱动的隐身战舰，有望成为中国航母的守护神。
A. 导弹驱逐舰 B. 护卫舰
C. 两栖登陆舰
- 10-5** 目前中国正在服役的 052C 导弹驱逐舰是海军第一艘安装四面有源相控阵雷达，以及采用防空导弹舰载垂直发射系统的战舰，被誉为 _____。
A. 宙斯盾 B. 中华神盾
C. 航母守护神
- 10-6** 中国海军 093 型商级潜艇是属于 _____，隐蔽性能强，装备“鱼-6”新型鱼雷，最大射程达到 50 多千米，还装备了潜射反舰导弹，具备立体打击能力。
A. 核动力巡航潜艇
B. 常规动力攻击潜艇
C. 核动力攻击潜艇
- 10-7** 辽宁号航母属于中型航母，能够搭载的舰载战斗机、反潜直升机和预警直升机的总数量在 _____ 架左右，具备较强的制空及制海作战能力。
A. 20 B. 30 C. 50
- 10-8** 辽宁号航母采用的是滑跃式甲板起飞，在舰载机方面，主要面临的难题是 _____。
A. 舰载战斗机 B. 反潜直升机
C. 固定翼预警机
- 10-9** 专家指出，_____，是舰艇服役和形成战斗力之间的重要阶段，这也是辽宁舰正式担任作战训练任务前的一个标志性的时间节点。
A. 正式交接入列
B. 正式进驻海军基地
C. 载机着舰训练
- 10-10** 辽宁舰离开造船厂进入青岛军港靠泊，表面航母在舰体、动力系统、电子设备、_____等方面，已经达到了要求，不再需要造船厂进行调试。
A. 舾装 B. 武器装备 C. 舰载机
- 10-11** 青岛航母军港码头，采用技术含量高，施工难度大的 _____ 结构，能够有效利用水域面积，提高码头的舰艇驻泊能力。
A. 内凹式码头 B. 顺岸式码头
C. 突堤式码头
- 10-12** 与普通军港保障相比，航空母舰军港的保障具有规模大、_____、环节复杂三大特点，是一座现代化的超大物流中心。
A. 种类多 B. 人员庞大 C. 保密性强
- 10-13** 美国拥有大批舰载机飞行员，还有一套海军官兵成熟的训练模式，但即使如此，美国航母服役后，仍然需要在 _____ 年内才能形成战斗力。
A. 1 B. 2~3 C. 3~4
- 10-14** 从经验看，美国海军新的航母编队训练，最快也需要 _____ 时间左右方可。航空母舰要形成航母战斗群才能行动。
A. 半年 B. 一年 C. 二年
- 10-15** 2013 年 11 月，辽宁舰航母编队首次赴南海训练，编队中包括两艘 _____ 和两艘 _____，在南海海域、近海海域开展一系列试验和训练。
A. 导弹驱逐舰、导弹护卫舰
B. 导弹驱逐舰、核潜艇
C. 导弹护卫舰、综合补给舰
- 10-16** 航空母舰编队从执行作战任务的角度来讲，首先要具有能够防空、对舰和 _____ 的基本作战能力。并且编队会根据执行的任务不同进行搭配。
A. 反潜 B. 预警 C. 攻击
- 10-17** 中国首艘航母辽宁舰上搭载的舰载战斗机是 _____，目前已经实现批量生产，标志着我国航母舰载机已经形成了战斗力。
A. 歼 15 B. 歼 18 C. 歼 31
- 10-18** 反舰导弹是现代军舰的最大威胁之一，辽

宁舰最后一道防反舰导弹的防线采用的是 _____，是近程防御系统，配备有雷达和红外线追踪系统等。

- A. 1130 近防炮
- B. FL-3000N 反导弹系统
- C. 海拉姆导弹

第 11 课 国产航空母舰的发展

【创新学习简答题】

1. 如何运用逆向创新发明法实现发明创新。
2. 中国国产航空母舰发展简介。

【选择题】

- 11-1** 中国首艘国产航母在舰载机的容量上，与航母辽宁舰相比较，相当于辽宁舰的 _____。
- A. 相同大小
 - B. 1.5 倍
 - C. 2 倍
- 11-2** 2017 年 4 月 26 日，中国首艘国产航母下水，它与航母辽宁舰的最大区别之处在于 _____。
- A. 航母的外形不同
 - B. 舰载机的起飞方式不同
 - C. 使用方式上的作战武器理念的不同
- 11-3** 首艘国产航母的舰岛和辽宁舰的相比，不仅外形有了一定的改变，布局也显得更加 _____ 和合理，外观更显挺拔。
- A. 高大
 - B. 简洁
 - C. 厚重
- 11-4** 中国首艘国产航母的舰岛变化很大，采用 _____、调整电子设备布局、提高空间利用率等，都将有助于增强国产航母的实战能力。
- A. 双舰岛设计
 - B. 隐形化设计
 - C. 相控阵雷达
- 11-5** 首艘国产航母的起飞滑跃甲板的上翘角度调整为 _____，是根据舰载机上舰后一系列试飞获得的数据。
- A. 8 度
 - B. 12 度
 - C. 14 度
- 11-6** 带有上仰角的滑跃甲板在上仰角为 13 度的时候，在飞行距离不变的情况下，可以给舰载机增加 _____ 的升力。
- A. 10%
 - B. 15%
 - C. 20%
- 11-7** 安装在我国首艘国产航母上的相控阵雷达可以涵盖 360 度搜索扇区，对空探测距离不低于 _____ 千米，具有强大的远程多目标监视跟踪能力。
- A. 300
 - B. 400
 - C. 500
- 11-8** 首艘国产航母上安装的新型有源相控阵雷达的性能大幅提升，是目前世界上最尖端的相控阵雷达，已经远远超过美军现役的 _____ 雷达，领先日本 10 年以上。
- A. 宙斯盾
 - B. 阿拉贝尔
 - C. 格塞恩
- 11-9** 美国媒体称中国海军排名世界第 _____，军事专家认为中国是当之无愧的。
- A. 二
 - B. 三
 - C. 四
- 11-10** 美国国际海事中心称，中国的军舰数量会于 _____ 年超越美国成为世界第一，中国海军的发展让美国感到压力。
- A. 2020
 - B. 2023
 - C. 2025
- 11-11** 辽宁舰的总设计师朱英富院士把中国海军舰艇的发展前景形象地描述为将实现 _____。中国水面舰艇发展在世界上属于先进水平。
- A. 多头并进
 - B. 加速发展
 - C. 弯道超车
- 11-12** 2017 年，除了首艘国产航母下水，我国还有另外三艘大型舰艇下水，即首艘国产新型万吨级驱逐舰 055、052D 型导弹驱逐舰、_____。
- A. 高级核潜艇
 - B. 071 型船坞登陆舰
 - C. 井冈山两栖登陆舰
- 11-13** 在美国排出的最新世界海军前五名排行榜中，排在第四位的是 _____。
- A. 法国
 - B. 英国
 - C. 日本
- 11-14** 在美国排出的最新世界海军前五名排行榜中，紧跟第四名排在第五位的是 _____。
- A. 法国
 - B. 英国
 - C. 日本
- 11-15** 首艘国产航母在下水 3 个月后进行动力系统测试试验，目的主要是测试航母在 _____ 的状态下动力设备运转是否正常。
- A. 静态
 - B. 直行
 - C. 转弯
- 11-16** 习近平主席曾经说过：_____ 是中国人民的

福祉，而 _____ 是中国人民解放军的职责。中国在地区事务、世界事务中要担起大国的责任。

- A. 享受和平，保卫和平
- B. 和平稳定，捍卫海权
- C. 国家强盛，维护领土完整

11-17 国产 002 型航母虽然是滑跃起飞航母，但考虑未来与 003 型航母搭配作战的需要，将直接使用 _____ 型的舰载机。

- A. 垂直起降
- B. 滑跃起飞
- C. 弹射起飞

11-18 国产 003 型航母满载排水量为 _____ 。

- A. 7 万吨级
- B. 8 万吨级
- C. 10 万吨级