



普通高中教科书

通用技术

选择性必修

科技人文融合
创新专题

人民教育出版社

人民教育出版社

普通高中教科书

通用技术

选择性必修

科技人文融合
创新专题

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

人民教育出版社

· 北京 ·

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

总 主 编：褚君浩

副 主 编：朱志勇

本册主编：林 铁

编写人员：林 铁 孟祥建

责任编辑：施 彦

美术设计：胡白珂

普通高中教科书 通用技术 选择性必修 科技人文融合创新专题

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

出版发行 人民教育出版社

（北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081）

网 址 <http://www.pep.com.cn>

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条中有关规定，我们已尽量寻找著作权人支付报酬。
著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由全景网、视觉中国等图片网站提供。

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

通用技术是一门联系科学规律和技术应用的课程。人类在生产实践和科学实验的过程中，获得了知识，掌握了规律，形成了技术，进而在工程任务中利用技术，提升生产实践和科学实验的水平。实践—认识—再实践—再认识，这样的过程循环反复，人类的科学技术不断提升，社会生产力不断发展。

世界是物质的，物质是运动的。在我们周围充满着物质的多种多样的运动形式，除了常见的机械运动，还有光、声、热、电、磁、分子、原子、基本粒子、生命运动等。人们在观察和研究物质的这些运动形式时，发现了规律，运用规律发明了技术，相应产生了机械技术、光技术、声技术、热技术、电技术、磁技术、分子技术、核技术、生物技术等。这些技术分别或者集成起来在多类工程任务中得以应用，涉及机械工程、土木工程、热力工程、电子工程、光学工程、能源工程、环境工程、生物工程、航空航天工程、海洋工程、地质工程等。典型的工程，包括南浦大桥、世博会的中国馆、虹桥枢纽屋顶上的太阳能发电站、C919大飞机、风云四号等大工程，也包括制造服装、烹饪菜肴、室内装修、三维打印零件等小工程。工程任务完成后制造出各类产品，应用于社会方方面面不同领域，为社会创造财富。从事这些工作的勤奋踏实而富有创新精神的劳动者，成为了基础扎实的工程师和精益求精的工匠，他们是我们学习的楷模。

我国古代人民的发现和发明造就了中国科学技术的辉煌历史，不仅有指南针、造纸术、印刷术、火药等重要发明，还有以都江堰水利工程、传统木建筑的榫卯结构等为代表的水利、天文、建筑、铸造、纺织、陶瓷、冶金、航海等古代科学技术，这些杰出的技术是中国古代科技文明的精粹，对人类文明发展和社会生产力的进步产生了巨大推动作用和深远影响。

技术是人类利用自然规律实现某种功能和目标的一种能力，它的背后是科学规律，它的前面是工程任务。工程任务有明确目标，技术在完成工程任务中实现它的价值。例如，根据牛顿第三定律可以利用作用力的反作用力推进物体，这一原理可以用于火箭工程，再运用万有引力定律，可以发射地球卫星，甚至把嫦娥四号送到月球背面。技术的价值在工程任务中得到充分体现。

把技术应用于工程，就要遵循工程的规范。实现技术的应用，完成一项工程任务，首先要明确这项工程的具体目标，提出完整可行并有创新的设计方案。设计方案又涉及工程目标物的结构、工艺流程、组成系统、设计意图控制等。方案的具体内容要用技术语言和图样表达出来，根据图样来操作加工，最后实现方案，完成工程任务。工程实施过程中的经验和教训，需要同行互相交流；是否完成了预期的目标要求，需要由外部专家和使用者的评价。工程交付后，还要经受时间和应用的评判。

同学们，新时代已经来临！新工业革命正在悄悄向我们走来。如同18世纪以机械化为特征的第一次工业革命、19世纪以电气化为特征的第二次工业革命、20世纪以信息化为特征的第三次工业革命，21世纪人类将开启以智能化为特征的第四次工业革命。人类

总是先在观察或实践中发现规律，在此基础上发明了技术，进而推动技术的应用与发展。人们发现了质能关系，发明核技术；发现了受激辐射规律，发明激光技术；发现了光纤中光传输规律，发明光通信技术；发现了电磁波规律，发明无线通信技术；发现了半导体光跃迁规律，发明半导体照明技术；等等。先进技术为构建人类绚丽文明打下基础。谁掌握了规律，谁发明了技术，谁就获得了主导权。智能制造是新工业革命的重要特征，而通用技术是智能制造的基础课程之一。同学们，机遇和挑战在等待着我们！

通用技术课程必修内容包括“技术与设计1”“技术与设计2”2个模块，它们分别从技术和设计的角度阐述通用技术的一般概念，并通过实践来帮助同学们体验技术与设计的内涵。选择性必修内容包括“技术与生活”“技术与工程”“技术与职业”和“技术与创造”4个系列11个模块。整体框架由图0-1表示。学习这门课程要注重掌握概念和加强实践，尤其要通过动手实践，来培养自己的技术意识、工程思维、创新设计、图样表达和物化能力等核心素养。

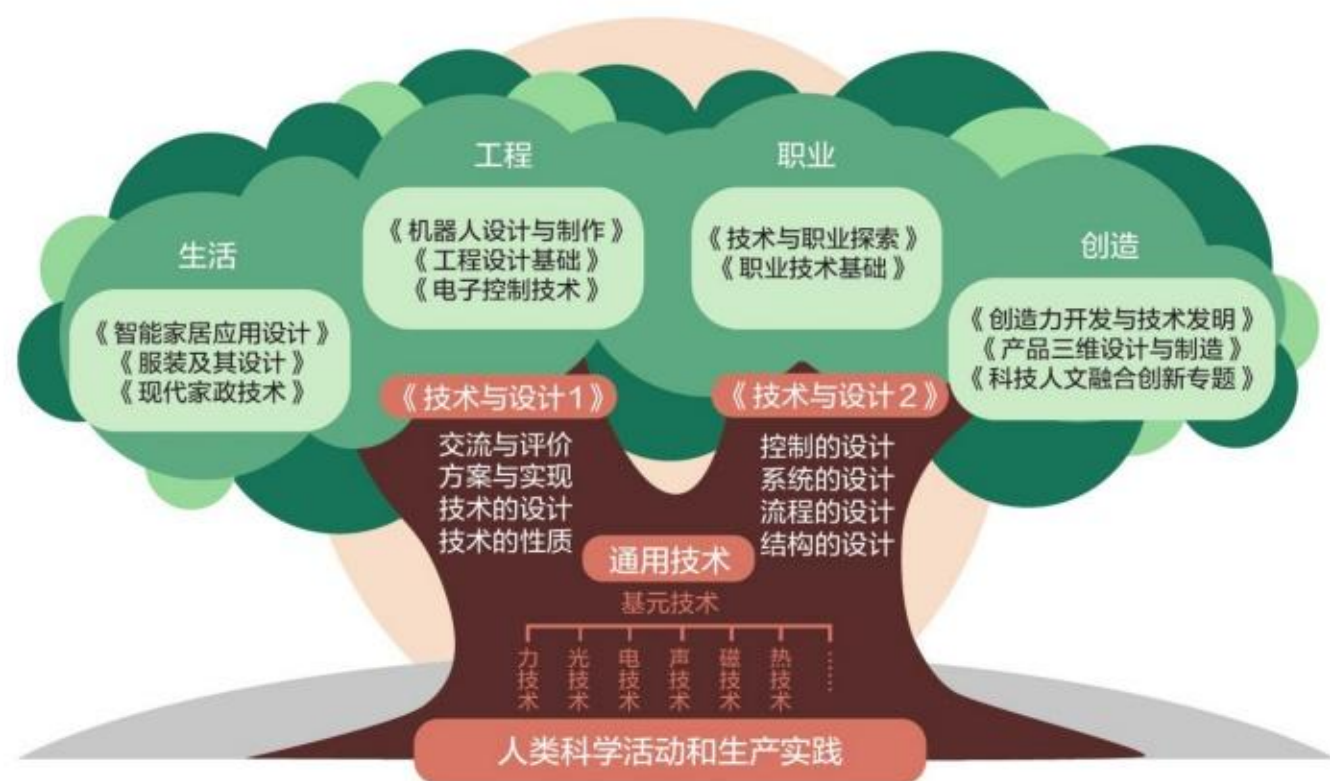


图 0-1 课程内容整体框架

同学们学习《科技人文融合创新专题》，能促进学科融合视野的形成，学会综合运用多学科的知识、方法和技能，系统地分析和解决现实中的科学、技术、工程、数学、艺术、社会等问题，提升设计与创新能力，形成整体性的世界观、系统的方法和工程思维，养成团队合作意识和能力。

第一章	科技人文融合创新概述	1
第 1 节	科技人文融合创新的发展历程	2
第 2 节	科技人文融合创新的结构分析	8
第 3 节	科技人文融合创新结构元素的综合运用	13
第 4 节	科技人文融合创新项目活动的基础	20
第 5 节	科技人文融合创新项目活动的一般过程	27
第二章	科技人文融合创新专题实践	41
第 1 节	桥梁设计	42
第 2 节	交通工具设计	48
第 3 节	飞行器设计	53
第 4 节	医疗器械设计	58
第 5 节	矿山工程设计	64

第一章 科技人文融合创新概述

全面建设社会主义现代化国家，科技是第一生产力，创新是第一动力。社会创新驱动发展的核心在于科技创新，科技创新的同时必须与人文交相辉映、融合发展。例如，汽车设计不仅要依据科学知识和技术方法来优化车辆性能，还要兼顾美观、环保等人文内容，甚至衍生出了相应的汽车文化。

那么科技人文融合创新的理念是如何形成的？其结构是怎样的？科技人文融合创新项目活动的基础有哪些？一般过程是怎样的？

本章将帮你找到这些问题的答案，并且通过一个具体案例向你展示科技人文融合创新的过程。

第1节 科技人文融合创新的发展历程

第2节 科技人文融合创新的结构分析

第3节 科技人文融合创新结构元素的综合运用

第4节 科技人文融合创新项目活动的基础

第5节 科技人文融合创新项目活动的一般过程



第 1 节 科技人文融合创新的发展历程



学习目标

1. 了解 STS、STEM 和 STEM+ 研究和教育理念。
2. 体会多学科融合对创新的影响。

中华民族是勇于创新、善于创新的民族。我国历史上有许多发明创造是科技人文融合的产物，例如浑天仪（图1-1）使用大量技术演示了天体运动等科学内容，还兼具艺术、社会等人文元素。当今世界，经济社会发展越来越依赖于理论、制度、科技、文化等领域的创新，科技人文融合创新的相关理念也在不断发展与完善。本节简要阐述 STS、STEM 和 STEM+ 研究和教育理念的产生和发展，以及对创新的影响。



图 1-1 上海科技馆前的浑天仪模型

1.1 科技与人文的内涵

科技，是科学技术的简称。科学，是人们在实践活动基础上形成的运用范畴、定理、定律等思维形式，反映自然、社会、思维等的客观规律的分科的知识体系。技术，是人类在认识自然和利用自然的过程中积累起来并在生产劳动中体现出来的经验和知识，也泛指其他操作方面的技巧。

人文，指强调以人为主，尊重人的价值，关心人的利益的思想观念，同时也指人类社会的各种文化现象。

当今科技迅猛发展，日益渗入社会生活的方方面面，一方面成为推动社会发展的第一生产力，另一方面也出现因应用不当给人类生活带来负面影响的情况，例如环境污染、生态破坏、能源短缺等。因此社会发展需要的是科技与人文融合的创新。

拓展阅读

英语 science，源于拉丁语 scientia，含义为“学问”或“知识”，但单纯的知识并不是近代意义上的“科学”。德语 wissenschaft，指有系统的学问，或“知识的集成”，是对知识的整理、提炼和系统化，又称“知识学”，更接近近代所指的“科学”的含义。16世纪以后，西方传教士把 science 的说法引入我国，中文译为“格致”。日本明治维新初期（1870年前后），日本学者将西方称

为 science 的分门别类的学问体系和领域概括为诸“科”之“学”，创用“科学”一词。约在1890年之后，现代意义的“科学”一词从日本传入我国，在康有为的《日本书目志》、梁启超的《变法通议》等书籍中都有使用。1914年任鸿隽等创建科学社，1915年《科学》月刊在上海出版，该杂志在发刊词中对“科学”作了较为全面的论述。

在科技与人文相互融合理念影响下，“科学、技术与社会”（Science, Technology and Society，以下简称STS）、“科学、技术、工程与数学”（Science, Technology, Engineering and Mathematics，以下简称STEM）、“科学、技术、工程、艺术与数学”（Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics，以下简称STEAM）等研究和教育理念陆续提出。

1.2 “科学、技术与社会”研究和教育理念

一、“科学、技术与社会”研究介绍

“科学、技术与社会”（STS）研究，致力于探索和揭示科学、技术、社会三者之间的复杂关系，如图1-2，分析科技对社会产生的正面和负面影响。其目的是改变科学与技术分离、科技与社会脱节的状态，使科学、技术与社会有机结合，更好地造福人类，特别是使科学、技术持续健康发展，促进社会进步。

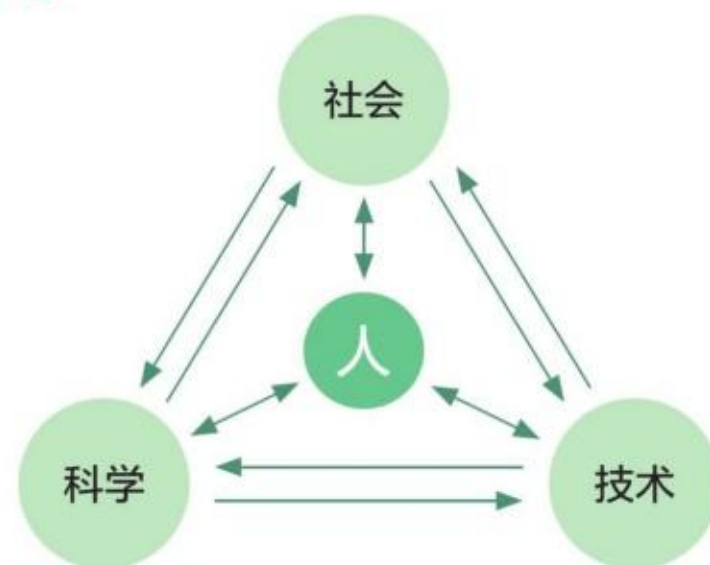


图1-2 STS研究中科学、技术、社会的相互作用关系

二、“科学、技术与社会”研究的出现和发展

20世纪60年代以来，科技迅猛发展，给人们生活带来许多积极影响。无数新产品进入人们生活，例如彩色照相机、微波炉、洗衣机等，方便了人们的生活。但是也有一些科技的滥用对人类社会的发展产生了负面影响，例如毒气弹、核武器、污染环境的农药等。人们对科学的价值、技术的作用产生了疑虑和困惑，社会上掀起对科技与社会问题关系的热烈讨论，研究者纷纷思考：如何能既充分发挥科技的正面作用，又预防和克服由于科技应用不当对人类社会造成负面影响。在这样的时代背景之下，STS研究应运而生，并在多个国家广泛传播。

案例

海上垃圾收集

一名少年去潜水时发现海里的塑料垃圾比鱼还多。经过调查，他了解到塑料购物袋需要近20年才能完全降解，降解塑料瓶需要大约450年。还在上高中的他开始对清理海洋垃圾产生了兴趣，把清理海洋垃圾当作一个独立课题开始研究和实验。在此之前也有人尝试过处理海洋垃圾，大多数是做

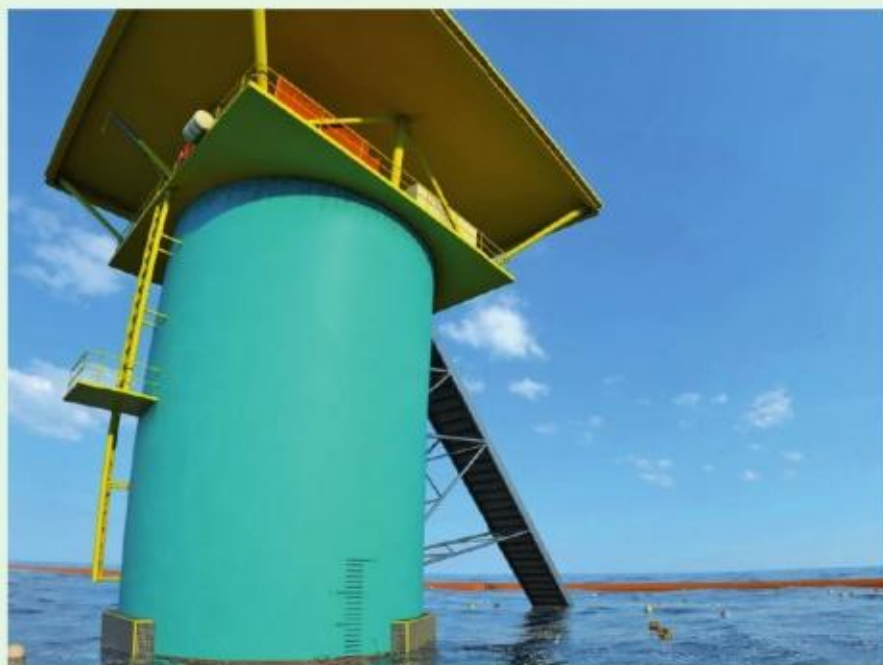


图1-3 海上垃圾收集器

一个类似钓鱼的装置来捕捞海里的垃圾，这种方法费时费力。这名少年想：为什么不能直接让海水把垃圾送过来？他构思的方案是在海上设置一道屏障，洋流和海洋生物可以从屏障下方通过，而漂浮的塑料垃圾却会被集中留下，然后被回收利用。少年将自己的想法不断进行实验并完善，在网络上进行演讲、宣传，让越来越多的人关注、支持他，为他提供资金。如今这名少年设计出的海上垃圾收集器已经投入使用，如图1-3，并且不断被改进。

20世纪80年代STS研究和教育理念在我国兴起，陆续有教育行政部门、科研院所、高校、中小学开展了相关工作，清华大学、北京大学等学校还专门设立了“科学技术与社会”的研究机构。进入21世纪以来，如何在具体实践情境下建构本土STS研究理论框架已成为我国相关研究者和教育学家关注的重点。

讨论 & 交流

查阅资料，了解科学、技术与社会三者关系的历史演进，并阐述自己对科技人文融合创新的认识。

1.3 “科学、技术、工程与数学”研究和教育

理念

一、“科学、技术、工程与数学”研究介绍

“科学、技术、工程与数学”（STEM）研究，探讨科学、技术、工程、数学学科的交叉融合，但并不是将科学、技术、工程、数学知识简单叠加，而是强调要将四门学科内容融合形成有机整体。

案例

隧道工程

为了跨过地理环境的障碍，通常会修建隧道，如图1-4。在山脉过于陡峭不便通车的地方，或者为了减少行驶路程，可以把山体打通建造山岭隧道。遇到有河流但不好建造桥梁的地方，可以在水下建造水底隧道帮助车辆通行。在交通拥堵路段可以修建地下隧道，让车辆分流。

修建隧道虽然有很多好处，但是在设计过程中需要考虑的因素有很多。科学方面来说，线路标准、地形、地质是必须考虑的因素。辅助坑道的位置、运营通风的位置、洞口的位置等要仔细推导和计算才能得出。就技术而言，在隧道开挖



图1-4 隧道建造

过程中须选择合适的技术。目前已有的隧道开挖技术有钻爆法、盾构法、掘进机等。钻爆法，简单来说就是在工作面上钻孔，孔内装上炸药，爆破后挖掘隧道的施工方法，此方法主要适用于坚硬岩层。盾构法，是指用带防护罩的大型机械（称盾构机）挖掘隧道的施工方法，此方法主要适用于松软岩层或土层，施工安全。掘进机法，是指利用掘进机挖掘隧道的施工方法，此方法扰动小，速度快，需要的操作人员少。整个隧道的建造是在既定目标驱使下，经过初步勘察，通过科学分析、数学计算，制订方案，选择一些技术进行施工，完成整个工程。

二、“科学、技术、工程与数学”研究的出现和发展

20世纪80年代，人们首次提出了将科学、技术、工程、数学学科进行综合考量的研究理念，但简称并不为STEM，到20世纪90年代“科学、技术、工程与数学”研究以STEM为简称的做法逐渐稳

定下来。这种理念主要应用在教育领域，倡导培养学生理解科学、技术、工程、数学等不同学科之间的联系，鼓励学生基于现实问题进行探究式学习，能综合运用所学知识解决现实生活中的复杂问题。

总的来说，STEM教育理念的重点是从四个方面加强学生的教育。第一，科学素养，即了解科学知识及对社会与个人的影响，知道基本的科学方法，并具备运用它们处理实际问题、参与公共事务的能力。第二，技术素养，即使用、管理、理解和评估技术的能力。第三，工程素养，即理解技术工程设计和开发过程，并能评价与反思的能力。第四，数学素养，即发现、表达、解释、解决多种情境下的数学问题，并进行分析、判断和有效交流思想的能力。

1.4 “科学、技术、工程与数学+”研究理念

在STEM研究和教育理念不断发展的基础上，又有人提出“科学、技术、工程、艺术与数学”（STEAM）研究，强调在STEM中融入美术、音乐、社会、语言等人文社会科学内容。后续，该理念进一步衍生出了“科学、技术、工程与数学+”研究，强调各学科之间、自然科学和人文社会科学之间的融合，简称STEM+。这里的“+”代表着其他一切可能的学科，特别是艺术、社会、信息技术等方面的学科。



案例

老房子的“花式”平移

2018年6月1日，上海虹口区海南路84号一幢至今已有近百年历史的房屋完成了整体平移，如图1-5。该房屋建于1920~1930年，原有建筑面积为587 m²，加建部分建筑面积为109 m²，总高约14.71 m，为三层砖木结构的德式外廊式建筑，作为文物，保护价值较高。为了与周边建筑形成整体，也为了展现这座老建筑的艺术价值，政府决定对其进行整体平移，并将这座房屋最美的一侧与现在的道路朝向保持一致。虽然此前上海已经有过多个建筑整体平移的案例，但是此次平移工程重点在建筑“转圈”，难度非常大。房屋的横截面是矩形，平移一般采用直线移动，受力均匀，如果旋转移动，不仅非常容易受力不均，影响房屋结构安全，而且移过去的角度也不容易保证正确。为解决这一难题，施工单位在正式平移之前，首先通过科学测量和数学计算，初步确定了施工方案，然后进行了三维建模，对房屋的平移路线进行模拟。施工过程中采用了自主研发的房屋自动平移装置，让千斤顶

可以自己跟着向前“走”，将传统平移的速度提高了2~3倍，降低了人工成本，同时降低了由于安装顶铁造成的施工风险。

为了不断实现人民对美好生活的向往，城市在不断调整规划和布局，然而老建筑作为宝贵的文化遗产同样需要保护，虹口区海南路84号建筑的平移工程，充分体现了科学、技术、工程、数学、艺术、社会等多学科的融合。



图1-5 建筑平移施工现场



拓展阅读

人工智能是一门新兴的学科，研究、解释和模拟人类智能、智能行为及其规律，主要研究领域包括智能机器人、知识获取和处理、自动推理和搜索等。在人工智能创新和发展中，尤其需要科技与人文的融合，研究者必须懂得计算机、数学、哲学以及心理学等。虽然人工智能是计算机学科的一个分支，但实际涉及内容已经远远超出计算机学科，它几乎是所有自然科学以及人文社会科学的融合。

目前来说，“人工”这一目标大部分已实现，计算机可以承担许多人类无法完成或者运算量非常大的计算，相关设计也越来越注意包含艺术元素，如图1-6，但是“智能”的目标还有很长的路要走。智能意味着可以学习，可以记忆，可以思考，可以作出判断，可以作出人性化的反馈，现在人工智能的发展还没有达到这样的水准。要想人工智能进一步趋向人类智能，必须考虑人文元素。例如：人工智能能不能带有情感，能不能对外界的

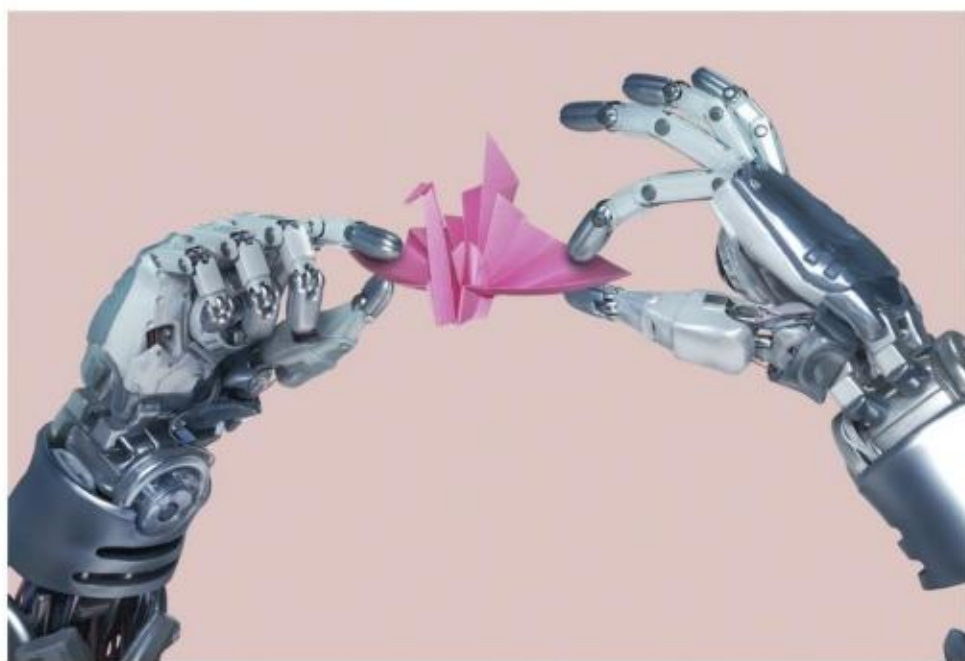


图1-6 折叠纸鹤的机器人

刺激作出和人类一样细腻的反应，能不能在信息处理之后给出带有情绪的反馈，能不能有独立的意识，等等。如果人工智能解决了上述相关问题，人工智能应被划分为“人”还是会思考的机器，它们和人类是怎样的关系，如何定义属于它们的责任、权利以及义务，这些都是人工智能发展道路上需要考虑的问题。



讨论 & 交流

分别举出生活中体现STS、STEM和STEM+研究理念的例子。

第 2 节 科技人文融合创新的结构分析



学习目标

1. 了解科技人文融合创新的结构元素。
2. 了解科技人文融合创新结构元素间的区别与联系。
3. 了解科技人文融合创新的重要性。

科技人文融合创新涉及科学、技术、工程、数学、艺术、社会等结构元素。本节将比较和分析各元素之间的区别与联系，讨论科技人文融合创新的重要性。

2.1 科技人文融合创新的结构元素

科技人文融合创新主要是指基于真实的问题情境，综合运用科学、技术、工程、数学、艺术、社会等学科的知识、方法和技能，解决问题，作出创新。

自然科学和人文社会科学多个领域的综合运用才能促成科技人文融合创新。科学、技术、工程、数学、艺术、社会等具体学科元素构成了科技人文融合创新的基本结构，这些学科就是科技人文融合创新的结构元素。

在科技人文融合创新中，不同学科内涵与作用各不相同。科学侧重于认识世界，解释现象和规律；技术侧重于合理开发和利用物质或装置、工艺方法、知识技能等；工程侧重于有组织地、高效且正确地应用科学技术；数学侧重于为应用科学、技术、工程和艺术等提供分析和判断的工具；艺术侧重于满足人们审美需求；社会侧重于从主导价值取向、激发创新动力、提高思维水平等方面对科技创新起到引领作用。



案例

上海外滩观光隧道

上海外滩观光隧道是我国第一条越江行人隧道，全长约646.7 m，建筑面积 17 500 m²左右。该

隧道建设不仅引入了许多先进的科学技术和系统工程,例如全自动无人驾驶、索引式封闭车厢、连续式缆车轨道系统,而且大胆融入了丰富的人文元素,利用大型多媒体技术和空间结合,在隧道中营造出如梦如幻的光影特效,让人身临其境地感受一个个文化、历史、科技的故事,如图1-7所示。

上海外滩观光隧道建设本身是一项系统工程,需要工程相关知识,例如明确工程任务,综合考虑功能、照明、消防等方面需求,结合技术水平、资金、项目时间等给出设计和施工方案,并根据方案进行施工、管理等活动。

隧道建设中需要运用到大量科学知识。例如在工程初期,需要进行隧道勘测,勘测工作要依据丰富的地理学知识。在隧道设计过程中,隧道的线路选择,要考虑地质以及边坡、仰坡的稳定,避免塌方,涉及地理学以及结构力学等科学知识。

隧道建设中也需运用到大量技术。例如:建设中要应用大量测绘技术,以控制中线的偏差;在不同情况选择不同的挖掘技术,遇坚硬岩层使用钻爆法,遇松软岩层启用盾构法。

在这些工程、科学和技术中都包含大量数学元素。工程任务中过江的输送量、过江时间等需要准确的数字描述,照明和消防等也需要准确量化。隧道勘测中土壤包含的水分、硬度、酸碱度等也需要数字描述。地形特点需要几何学来描述。隧道设计中用到的结构力学也离不开向量、矩阵等大量数学语言。

上海外滩观光隧道的创新还在于对艺术、社会等人文元素的融合。光影和空间相结合,在隧道当中进行文化、历史、科技知识的介绍,并配有相应的背景音乐,这时的隧道已经不仅是用于交通的隧道,而且有了更加深层次的意义——在展示科技的同时推动人文知识教育,科技与人文在相互融合的过程中开出了新的“花朵”。



图1-7 上海外滩观光隧道

2.2 科技人文融合创新结构元素间的关系

科技人文融合创新的顺利开展,不仅需要了解其结构元素,还需要了解各结构元素之间既有区别又互相联系的关系。下面以月球探测工程为例,讨论科技人文融合创新各结构元素之间的关系。

月球探测是一项庞大的系统工程,这项工程中存在多种科技人文融合创新结构元素,它们各有区别。

月球探测工程中有科学元素，例如运载火箭工作的基本原理是基于牛顿第三定律，即相互作用的两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。这种科学定律是自然界客观存在的规律，是人类运用各种科学方法揭示出来的，必须通过实验进行验证才能确定其正确性。

月球探测工程中有数学元素，例如牛顿第三定律中相互作用的力可以用向量进行定量描述。向量是数学中为了方便描述像力这样既有大小又有方向的量而引入的。不同于科学定律，数学定理可以从公理和定义等推导、论证出来，不直接描述客观世界，不需要实验验证。

月球探测工程中有技术元素，例如运载火箭通过尾部喷射燃烧的推进剂获得反作用力，抵抗地球引力，实现将物体推进到太空。这种技术是人们根据实践经验和科学原理而发展出的。

月球探测本身是一项具体的工程任务，该任务有明确的目标，以及为完成该目标而进行的设计、制作、管理等相关活动。月球探测工程利用运载火箭技术将航天器推进到太空，逐步实现绕月探测、月面软着陆和巡视勘察、月面采样返回等任务。

月球探测工程中科技人文融合创新各结构元素之间又互相联系。数学是科学的工具，科学定律需要数学语言来准确描述，例如用向量描述力的大小和方向，用曲线方程描述物体运动轨迹等。科学是现代技术的基础，必须依靠科学知识，才能开发出相关技术。古代也有火箭技术，但飞行高度、运载能力有限，火箭技术发展缓慢。依据牛顿第三定律，建立描述火箭运动规律的公式，得到影响运载火箭飞行速度、运载能力等性能的关键参数，从而能开发出适用的运载火箭技术。工程则需要综合利用科学、技术和数学，完成相关任务。月球探测工程需要空间科学、材料学等科学知识，需要运载火箭、航天测控、空间通信等技术，这些科学知识、技术又包含大量数学元素。

不仅科技元素之间相互联系，人文元素也和科技元素相互联系。月球探测工程，源于人类“飞天”“奔月”的梦想，是人们精神活动的产物。我国月球探测工程被命名为“嫦娥工程”（图1-8），月球车则用“玉兔”命名，空间站名为“天宫”，自主研发的全球卫星导航系统名为“北斗”，这些名称来源于我国古代文化。使用这样的名称，一方面起到了传承中华优秀传统文化、坚定文化自信的作用，另一方面让航天工程更通俗、亲切，提高人们对国家航天事业的关注，加强了科学知识的传播，推动科技创新。



图 1-8 嫦娥四号着陆器

2.3 科技人文融合创新的重要性

在科技人文融合创新中，自然科学与人文社会科学交叉、渗透、融合，能够打破传统学科划分与局限，从而获得更广阔的视野和更深层次的理解与思考，促进创新的产生。

当今国际发展竞争日趋激烈，我国发展动力也正在转换，必须把发展基点放在创新上，通过创新培育发展新动力，塑造更多发挥先发优势的引领型发展。创新驱动发展的核心在于科技创新，科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑。同时科技创新离不开人文基础。“科技是车，人文是刹车和方向盘。”要妥善应对科技应用中可能对环境、生态、食品安全、信息安全等带来的负面影响，必须注重科技创新与人文精神的良性互动，推动富有人文精神的科技创新。



案例

让科技拥有美

从工业革命以来技术创新演进的历史来看，无论是设计、生产、销售产品还是提供服务，其中的艺术、社会元素越来越丰富和明显。科技本身可以制造出优秀的产品，但真正伟大的产品必须包含人文元素。

有一家著名的电子公司，其创始人十分重视科技与人文的结合，关注产品带给消费者的审美享受和心理满足，即使在公司困难时期，也努力坚持这一理念，不断研究消费者的心理，通过改善外观设

计将原来滞销的产品变成了畅销产品，扭转了公司资金困境，进而得以进一步研发和改进产品，完善产品销售和服务。在接下来的几年里，他们的产品成为时尚的象征，在市场上供不应求，创造出了巨大的经济价值。

讨论 & 交流

请举出生活中科技人文融合创新的例子，并分析其中包含的结构元素。

第 3 节 科技人文融合创新结构元素的综合运用

学习目标

1. 了解科技人文融合创新结构元素之间相互制约的关系。
2. 了解科技人文融合创新结构元素之间相互促进的关系。
3. 了解在科技人文融合创新中要综合考量各结构元素之间的关系。

科技人文融合创新各结构元素通常是综合在一起的，既相互制约，又相互促进。要想进行融合创新，达到预定的工程要求，需要综合考量各结构元素之间的关系。本节将讨论科技人文融合创新结构元素是如何综合运用的。

3.1 元素之间的制约

科技人文融合创新结构元素在相互融合时可能存在互相制约的关系。

科技发展离不开人文的约束，否则在应用中可能危害人类社会。以人类基因编辑技术为例，人类基因编辑（图 1-9）是通过基因技术，精准地在 DNA 链上引入或者消除一段基因，从而达到改变生命体特征的目的，比如增强记忆力、延长寿命、获得某种疾病的免疫能力。从科技进步的角度来说，无疑是种创新，但在创新的过程中是对伦理以及社会秩序的挑战。如果通过基因编辑产生新的人类，从出生起就比正常繁衍的人类有诸多优势，会导致社会分歧以及不稳定，所以从人文的角度来说，这样的科学研究必须严格控制。

工程设计往往受当前技术水平限制，无法达到最理想的目标。以太阳能飞机（图 1-10）为例，太阳能飞机是指利用太阳的辐射作为动力能源，将太阳能转化为电能来



图 1-9 基因编辑技术示意



图 1-10 太阳能飞机

推动飞行的飞机。这种飞机依靠清洁、可持续的能源，因而非常有利于人类可持续发展。不过地球接收到的太阳辐射经过大气层的反射、折射、吸收之后密度会变得很低，而且当前的太阳能电池技术水平有限，还会进一步降低能量转化率。因此即使在机翼上铺设尽可能多的太阳能电池，保证足够大的光照面积以推动飞机飞行，太阳能飞机的动力依旧无法满足实际载重需要。此外，在气动设计方面也有许多技术有待突破。例如，太阳能飞机为了获得更大动力，必须采用大而轻的机翼。这种气动设计虽然可以减少能耗，但也降低了飞机的稳定性，飞机在飞行中容易受到气流的干扰而难以操控。由此可见，想要实现真正低碳环保出行，还需要科技进一步发展。

科学发展也会受到技术水平限制。以核聚变为例，核聚变原料来源丰富，主要原料重水可以直接从海水中提炼，核聚变反应的过程及产物均不会对环境造成污染，也不会造成核泄漏的危害，安全可靠，目前被认为是人类可持续发展的最理想能源。但是如果核聚变反应不受控制，会出现类似于“氢弹爆炸”的效果，不仅无法稳定地输出能量，还会释放出有害的中子。对核聚变已知的控制方法有磁约束法和惯性约束法，但要真正实现有效控制，要满足非常苛刻的条件。20世纪80年代开始由包括我国在内的十几个国家和地区

共同设计推出了国际热核聚变实验堆合作项目，希望集成国际上受控磁约束核聚变的主要科学和技术成果，早日实现核聚变的和平利用。经过几十年的努力，该项目已取得了许多成果，例如我国自主研发的世界领先水平的磁约束装置（图1-11）。不过核聚变离实际应用于人类日常生活还有很长的一段路要走。



图1-11 中国科学院的磁约束装置

3.2 元素之间的互促

科技人文融合创新结构元素在相互融合时也可能存在相互促进的关系。

显微镜的发展是典型的科学与技术相互促进的例子。显微镜的发明推动了无数科学研究的进步，而科学的进步又让显微镜的功能变得更加强大，从最开始的光学显微镜到偏光显微镜、电子显微镜、

便携式显微镜，发展到如今的数码显微镜（图1-12）。显微镜的进步反过来还会进一步推动科学研究的进步。



图1-12 数码显微镜

再以纺织为例。人体舒适感是家纺制品首要考虑的问题。面料的舒适程度受面料纤维组成的影响，还和面料结构有关。面料结构的形成是一个科学、技术、数学与艺术等相互补充的过程。纺织面料时张力不能太大，否则会使面料太紧，降低舒适度。在纺织面料的过程中通过数学计算调整经线和纬线的密度，打纬^①时力的大小也通过纬向密度进行控制，以确保面料结构松紧适宜。想要面料变得蓬松，要考虑更有层次的结构。在相同材料的前提下，蜂巢结构的面料，如图1-13，带来的蓬松感比平纹面料要高许多。面料的染色过程也是科学、技术与艺术等的结合。染出的面料既要不容易褪色，又要颜色鲜艳，只有在一定科学和技术支持下，这些要求才能在面料上一一体现。



图1-13 面料蜂巢结构微观示意

还有著名的黄金分割原则。人们发现把一条线段分为两部分，使其中一部分与全长的比等于另一部分与这部分的比，比值约为0.618时，在造型上会比较美观，这种分割也因此称为黄金分割。在古希腊，黄金分割原则在建筑设计中得到了广泛应用，如图1-14。这一原则体现在建筑物宽度和高度的比例，甚至是建筑物柱子之间的间距。很多著名的绘画作品中也体现了黄金分割原则。甚至在舞台表演中，演员站立的位置，也会考虑这一原则。

① 打纬是指在纺织时将纬线打入两组经线交会处的动作。

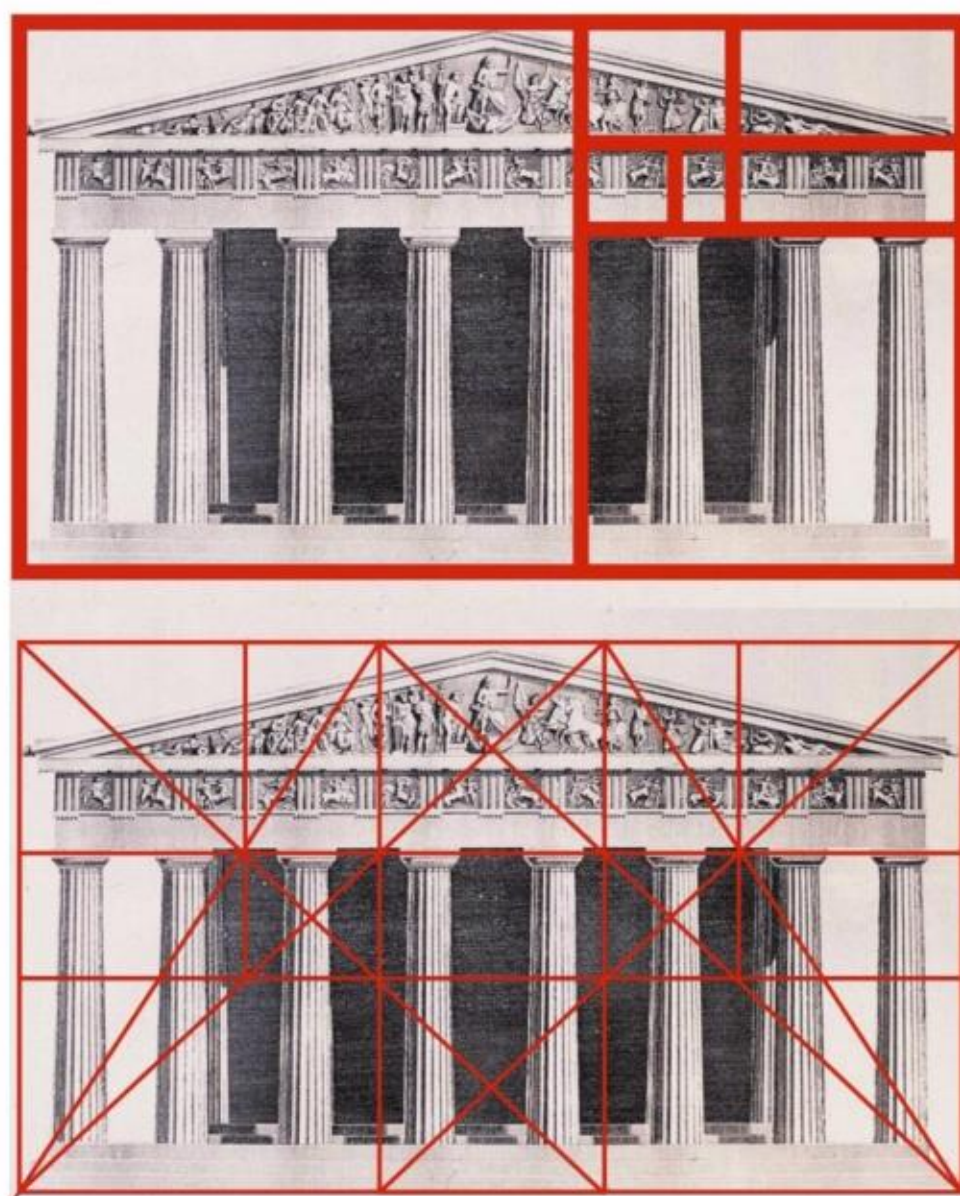


图1-14 体现黄金分割原则的建筑

自然科学领域也有体现黄金分割原则的地方，例如贝类生长的螺纹线就体现了黄金分割的比例关系，如图1-15。黄金分割的原则在现代建筑、工农业生产和科学实验等方面都有着广泛而重要的应用。

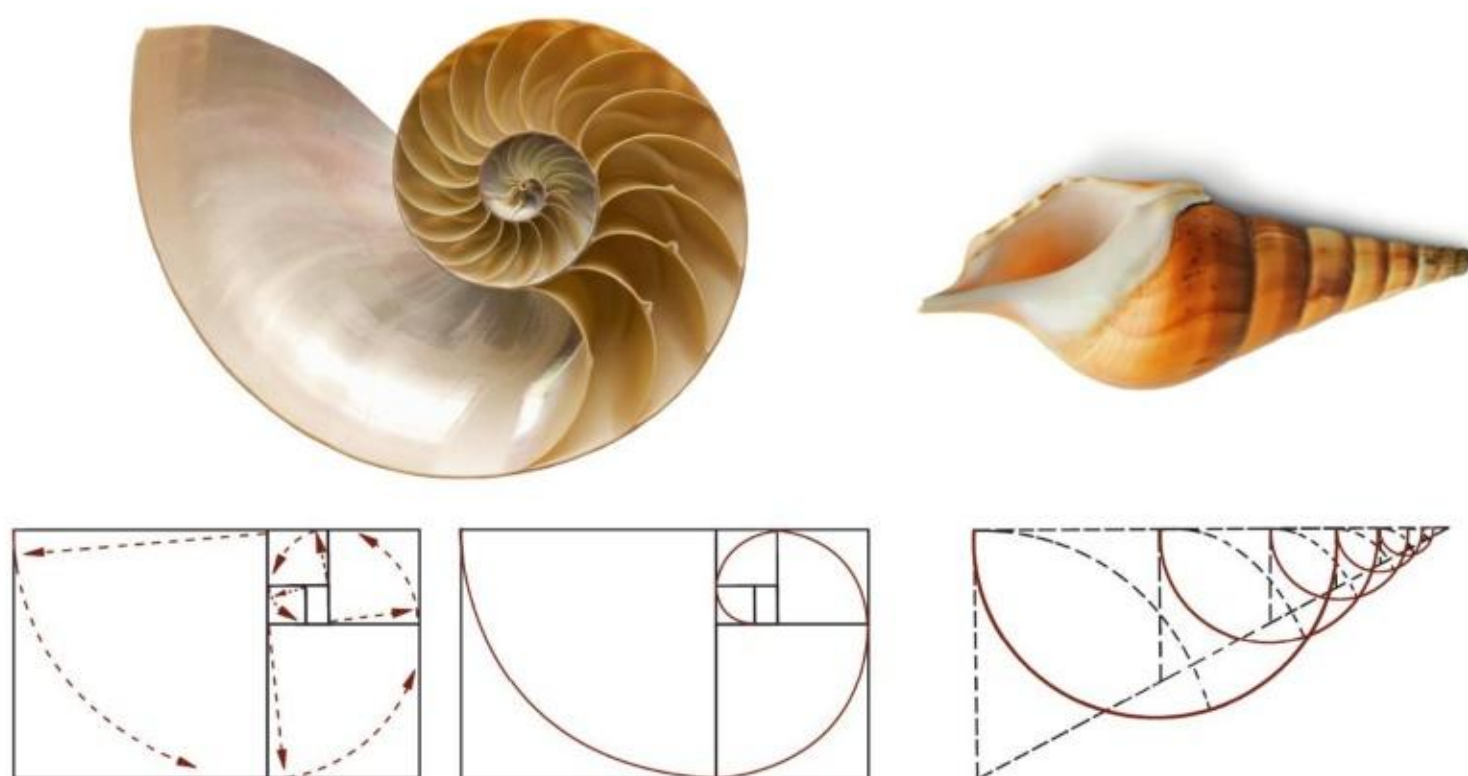


图1-15 贝类生长的螺纹线体现的黄金分割比例关系

黄金分割原则始于数学与艺术的互通，继而影响了科学、技术、工程以及社会等方面的发展。

3.3 元素的综合运用

通过综合运用科学、技术、工程、数学、艺术、社会等结构元素，才有可能发展出科技人文融合创新。这种创新不是各结构元素相互妥协的结果，而是考虑到各结构元素之间可能存在的制约或互促关系，对各结构元素进行综合考量后形成的兼有各结构元素优点的创新。

以上海中心大厦的设计和建造为例，分析该科技人文融合创新方案中对各结构元素的综合考量。

上海中心大厦，与上海金茂大厦、上海环球金融中心呈“品”字形排列，共同组成了上海浦东陆家嘴金融贸易区核心区地标建筑群，如图1-16。

高度需求方面，上海中心大厦最终选择632 m的建筑高度，是在设计和计算时考虑：与旁边上海金茂大厦、上海环球金融中心形成一定的高度差，在视觉上呈现出最美的顶部上升弧线；同时也与东方明珠、外滩建筑群、人民广场等重要建筑、城市空间达到遥相呼应的效果。大厦的高度确定后，工程师们经过大量勘测和数据分析、计算、试验，在原有工艺的基础上，研发了超高层桩基和基坑、超高层巨型混凝土结构建造等关键技术，攻克了在深厚软土地基且高层建筑众多的陆家嘴地区建造600 m以上超高层建筑的诸多难题。

外形设计需求方面，上海中心大厦的设计理念希望体现中国螺旋式上升的发展过程。然而，上海属于沿海城市，常年有大风，同时大厦属于超高层建筑，风荷载对建筑结构设计的影响显著。为了实现设计理念，同时使结构受力经济合理，上海中心大厦外立面的基本几何图形决定采用倒圆角的三角形，三角形沿竖向自下而上旋转角度 120° 并缩进至底部尺寸的55%，如图1-17。此不规则、不对称的空气动力外形可达到建筑美学与结构工程学的最佳结合点，有效降低约24%的横风向荷载，结构柱更小，从而大大降低造价。为了保证建筑的实用和美观，大厦选择相对轻巧、通透性和观赏性俱佳的玻璃作为外层幕墙，但是大厦旋转向上的外形决定了每一块外层幕墙都不



图1-16 陆家嘴建筑群



图1-17 上海中心大厦

一样，建造和施工安装难度很大。涵盖了结构、材料、机械、幕墙、测量等诸多方面的技术专家团队经过大量计算、比选研究，创造性地采用“分区段悬挂的柔性幕墙支撑结构系统”，自主研发了专用于上海中心大厦的滑移支座，解决了施工难题，更有效控制了工程造价和工期。



图 1-18 上海中心大厦玻璃幕墙

功能需求方面，上海中心大厦需要满足办公、酒店、购物、观光、文化休闲娱乐等多种活动功能，同时还要确保生态多样、节能环保、舒适安全。为了克服玻璃外层幕墙热损失巨大的缺点，大厦在内部设计了内层幕墙，如图 1-18，两层幕墙之间形成一个温度缓冲区，像一层隔热毯将建筑包裹起来，减少了大厦内部与外界热交换，有效控制了内部温度，从而降低能耗，节约能源。两层幕墙之间的空间形成“空中大堂”，设置餐厅、银行、商店等基本的配套设施，为楼层人员提供服务，丰富了大厦内部的功能，提高了建筑的运营效率。由于大厦楼层高、系统复杂、人流量大，大厦的防火分区、安全疏散、烟气控制、结构保护、消防设施配置都是设计的重点。为了在火灾等灾害发生时最大程度保护楼内人员安全撤离以及减少财产损失，大厦一共配有 11 部疏散楼梯，并经过专业的火灾疏散软件模拟，确定可以满足火灾发生时人员疏散的需求。大厦另设有 13 部消防电梯以及 4 个避难层，消防电梯自带电源，防水防火防烟，并且有报警系统，火灾发生时可以自动报警寻求救援。

上海中心大厦另一个值得称道的设计是“上海慧眼”。“上海慧眼”是一个质量达到 1 000 t 的建筑消能阻尼器，作用是减少由风、地震、移动荷载和动力设备等引起的大厦晃动。很多高层建筑有阻尼器，但是“上海慧眼”从结构到造型都与众不同。结构上，“上海慧眼”采用电磁原理，与传统的机械阻尼器相比，调节和后期维护更方便，使用寿命更长，而且几乎无摩擦、无振动、无噪声，让大楼里的人感觉更加舒适。造型上，“上海慧眼”设计灵感来自《山海经》“烛龙之眼”，与周围空间整体设计，像一只“慧眼”，上可仰望“苍穹”（顶部圆形天窗），下可俯瞰“山河”（下部水波纹平台），如图 1-19。“上海慧眼”所在的 126 层，还被设计成为观光层，可容纳 200~300 名观众，配备优质音响设备，既能展示“上海慧眼”这一

高科技成果，又可举办艺术展览和视听表演活动，将科技与人文融合在一起。但是电磁阻尼器的施工非常复杂，一方面要确保阻尼器的使用性能，另一方面要保证阻尼器所在的观光层的整体施工工期。技术团队经过分析研究，放弃了造价高昂的进口设备方案，自主研发了多项施工技术，顺利完成施工安装，并且显著降低了阻尼器以及周围空间结构的造价。

上海中心大厦的设计、建造充分体现了科学、技术、工程、数学、艺术、社会等结构元素的融合，同时也反映出科技人文融合创新项目活动中，诸多结构元素需综合考量、统筹安排，共同作用、融合，促进项目需求的实现。



图 1-19 “上海慧眼”

讨论 & 交流

1. 试着举出一个工程项目，分析其中包含的科技人文融合创新结构元素之间的关系。
2. 小组讨论交流在上述工程项目中这些结构元素是如何综合运用的。

第4节 科技人文融合创新项目活动的基础



学习目标

1. 了解从事科技人文融合创新项目活动的基础条件。
2. 知道科技人文融合创新项目活动的技术要素。
3. 了解科技人文融合创新项目活动中的工程问题分析方法。

了解科技人文融合创新意义和结构之后，在生活、学习中要主动产生科技人文融合创新意识，积极动手实践，参与科技人文融合创新项目活动。科技人文融合创新项目活动的开展需要一定的前提和基础，本节将讨论科技人文创新项目活动需要哪些基础条件、技术要素和工程问题分析方法。

4.1 科技人文融合创新项目活动的基础条件

影视作品中经常有一些可爱的智能机器人，给人们留下深刻的印象，许多人也想设计和制造出类似的机器人，比如会跳舞的机器人（图1-20），不过这种融合科技和人文的创新活动不能仅凭美好愿望，必须具备一定的基础条件。下面以舞蹈机器人设计和制作为例，讨论科技人文融合创新项目活动需要哪些基础条件。



图1-20 舞蹈机器人

积极的活动主体：科技人文融合创新项目活动应是一项团体活动，需要多个积极的活动主体，而且需要活动主体具有跨学科知识储备和专业技能，以实现不同学科知识、方法以及看问题视角的互通互补，为团队带来更为广泛的知识基础和更富创意的主张等。以舞蹈机器人项目为例，活动主体应该涵盖具有机械、电子、计算机、艺术、文学等相关学科知识和资源的人员。团队成员分工不同、各负其责，如设计者、施工者、评估者、测试者等，以使整个项目更顺利有效地完成。

明确的目标和评估机制：科技人文融合创新项目活动起始于确定要解决什么样的问题，即有明确的活动目标。目标的设定应结合具体情境分析活动是为了满足什么样的对象在什么时间、地点下的什么需求，要满足到什么地步，可以通过改善现有产品还是要全新创意才能实现，等等。目标的设定还要兼顾科技和人文元素，不仅是解决问题，而且要考虑是否价值取向正确，符合人们审美需求，有利于社会可持续发展，等等。除了要确定项目活动的目标，还要建立相应的评估机制，评价项目执行、完成实际情况，以及与预期的差距，并分析原因，从完成过程中吸取经验教训，为日后项目开展提供参考。明确的目标是项目活动开展的出发点，相应的评估机制促进了项目活动开展水平的提高。

大量的硬件条件：科技人文融合创新项目活动离不开物质材料、工具设备、场地等硬件条件。例如，舞蹈机器人可能需要类似人体头颅、躯干、手臂、腿等部件，如图1-21，还需要马达、齿轮等驱动和传动装置，以及很多电子元件。如果有些零部件无法在市场上买到，就需要利用机床等设备进行加工制作。机器人设计和制作也离不开计算机等设备，例如通过计算机编程，将代码烧录进机器人的芯片中，才能形成机器人“智慧的大脑”。制作机器人也离不开螺丝刀、钳子、焊枪等组装工具。场地也是要考虑的重要硬件条件，机器人制作过程如需使用焊枪等有一定危险的工具，需要在具有相应安全防护措施的工作间中进行。机器人的调试和展示，也需要一定场地。



图 1-21 一个机器人的身体部件

可以提供交流、协作的平台：科技人文融合创新项目活动过程中，会遇到各种问题，为了找到解决问题的最佳方案，需要广泛调研，并和他人交流讨论，开阔思路。调研和交流讨论不能局限于项

项目组内部，因此项目活动需要可以提供对外交流的平台。设计和制作过程中也有部分工作可能无法独立完成，例如在制作过程中如果需要用到身边没有的大型加工机床，借助平台就可能找到相关的资源。项目活动完成后，还可以利用平台进行展示，并发表制作经验、心得，甚至科技报告和科技论文，为其他从事相关项目的人们提供参考，共同进步。

适合的项目活动完成时间：项目活动需要有一定的时间来完成。项目活动的方案需要根据时间确定规模，并要按照时间进行项目规划和实施。为了保障项目活动能按时完成，活动中的流程和步骤，如分析需求、收集信息、制订方案、物化方案等，都要确定所需时间，并按照时间安排进行项目管理。

4.2 科技人文融合创新项目活动的技术要素

在具备各种基础条件后，就可以结合多种技术要素，更加有效地开展活动。科技人文融合创新项目活动主要要考虑的技术要素有以下几点。



图 1-22 工具

工具：工具这里泛指进行生产劳动时所使用的器具。现代人类各种生产活动都离不开工具。以汽车制造为例，如今设计阶段基本都需要制图、建模，分析动力、气动特性等，计算量大，离不开计算机和相关软件的支持，计算机和软件都是工具。在制作过程中也需要各种工具，小到用来装配的螺丝刀、扳手等（图 1-22），大到用来加工零部件的机床。在进行科技人文融合创新项目活动时充分利用这些工具，提高工作效率，避免低效、无意义的劳动，将活动时间集中在有意义、有价值的创新活动中。

材料：材料是可以直接制作成成品的东西，也可以是在制作等过程中消耗的东西。人类生产活动必须有材料。选择材料时应综合考虑材料特性、应用环境和成本等因素。例如：家用玩具主体材料常选用塑料，轻便，制作简单；矿山等特定环境中工作设备常选用钢铁等金属材料，耐磨、稳定。有些材料可能用量不大，但很关键，比

如被称为工业“维生素”的稀土。因此，在进行科技人文融合创新项目活动时要合理选材，充分准备，避免项目活动因缺少材料或选材不当陷入停滞。



案例

工业“维生素”——稀土

稀土，是17种化学元素的总称。稀土具有仅次于碱金属和碱土金属的强还原性，能将铁、钴、镍、铜等许多金属的氧化物还原。稀土是重要的战略性资源，因能与其他材料组成性能各异、品种繁多的新型材料，显著提高产品的质量和性能，有工业“维生素”甚至工业“黄金”之称，在冶金、化工、原子能、航天航空、农业及医药等方面具有广泛的用途。例如，现代物联网建设需要大量电子传感器感知外界光、电、磁等信号，这些电子元器件中往往只要添加极少量的稀土元素，如图1-23，就能具有极其优异的光、电、磁性能。要是缺少了这些稀土元素，电子元器件的性能就会大大下降，物联网甚至会“聋”“盲”。



图1-23 稀土磁体和磁体制作的元器件

要是缺少了这些稀土元素，电子元器件的性能就会大大下降，物联网甚至会“聋”“盲”。

图样：图样由图形、符号、文字和数字等组成，是表达设计意图和制造要求以及交流经验的技术文件，常被称为工程界的语言。许多工程周期长、工作量大，一旦出现错误需要返工，就会费时费力。有些错误源于设计不合理，应该在设计阶段排除。图样可以用规范的方式，更形象地让设计师看到工程构想，帮助设计师发现并修正错误，完善设计方案。图样也可以帮助制作工人更好地理解设计师的思路，更加准确地施工。以汽车设计为例，汽车通常需要组合大量结构零部件，制作时设计师要给出车辆总体图样，如图1-24。考虑到汽车部分零部件非常精细、复杂，设计师还必须给出这些零部件的图样。现在有大量计算机辅

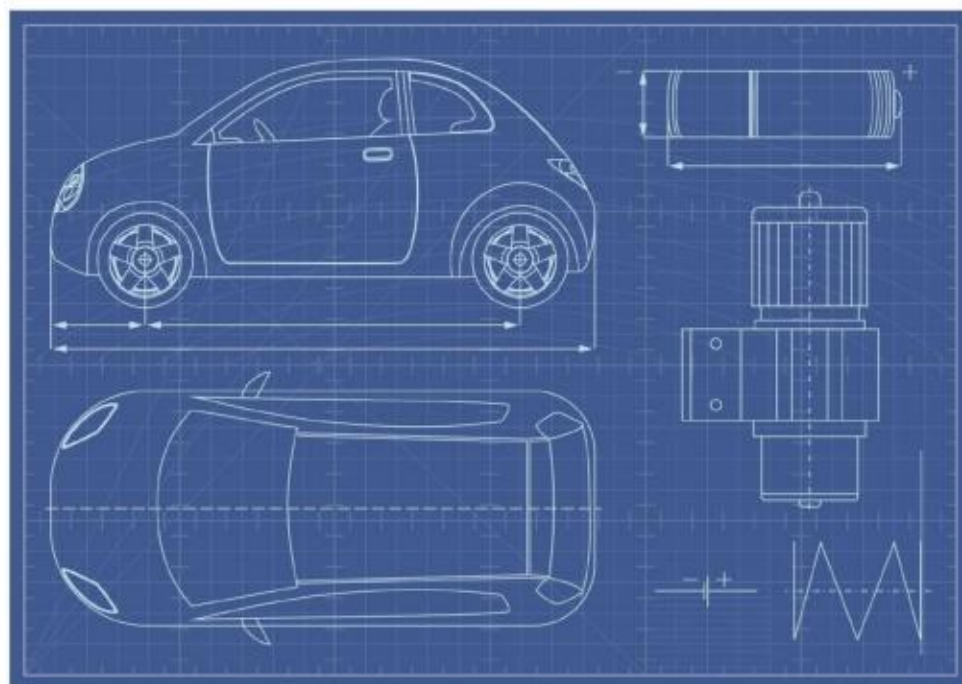


图1-24 汽车设计图样

助设计软件，可以更加方便实现制图，甚至可以绘制三维图形，并帮助检查一些错误。进行科技人文融合创新项目活动可以充分利用这些条件完成图样设计工作。

工艺：工艺指利用生产工具对原材料、半成品进行加工或处理成产品的各种方法、技术等。不同工艺达到的可用性是不同的。例如，电子设备中电子元件连接工艺，有接插、焊接、导电胶粘连等几种。接插方式方便快捷，但稳定性差、有脱落风险，而且元件电学接触差，电路容易引入噪声。焊接方式最稳固，电学接触最好，电路噪声小，但需要一个高温过程，对于某些元件可能不合适。导电胶粘连方式可以避开高温过程，电学接触性能良好，但粘连过程有化学试剂参与，可能会与电子元件材料发生化学反应，破坏这些电子元件。选择工艺时还要考虑数量、质量、成本等因素。再以汽车为例，车内的某些塑料零件，精度要求不高，可以采用压塑成型方法制备，一些精度要求较高的塑料零件，采用注塑成型的工艺会取得更好的效果。不过注塑成型工艺在生产单个零件时模具成本和人工成本远高于压塑成型工艺，只有在零件量产到一定程度时成本才会低于压塑成型。可见，创新项目活动设计时要依据项目需要合理选择工艺。

试验：试验指的是测试、检验项目工程的结果或产品性能、效果等的活动。当设计、制作完成之后，试验是检验产品性能最终的、唯一的途径。设计理念和制作工艺再好，无法通过试验的都是失败的产品。试验的最重要目的是反馈试验结果，改进设计。例如设计舞蹈机器人，在初期实验中可能出现站立不稳的情况，这时候

就必须对机器人的稳定性进行分析，考查机器人重心位置和支撑部位受力关系，重新改进设计，并再次进行试验。也可以进行局部试验，单独验证某个模块设计（图1-25）。例如，机器人控制芯片的程序设计，可以采用电学仪表等工具单独检测控制芯片的信号处理结果，验证功能，并反馈结果给控制芯片程序设计师。局部试验可以帮助更有效地排除错误。试验不仅是创新项目活动最后的检验方法，也是创新项目活动设计不可缺少的环节。



图1-25 机器人试验

4.3 科技人文融合创新项目活动中的 工程问题分析方法

完成各种基础条件和技术要素准备，就可以在工程问题分析方法的帮助下进行项目活动的方案设计和优化。

工程问题分析方法是对工程项目进行分析、调查，找出其中浪费、不均衡、不合理的地方，进而有针对性地进行改进的方法。科技人文融合创新项目是一种工程项目，在方案设计、分析、优化以及实现的过程中，可能会用到需求分析法、生命周期法、标杆管理法、逆向工程法、系统优化法等工程问题分析方法。

需求分析法：该方法主张为了解决预期问题，需要明确在产品功能、性能、开发周期、开发方式及软硬件配置等具体方面需要满足哪些要求。例如，希望制造出可以对话的机器人，需要对语音识别准确率（即机器人听到人的语音后转换成文字的正确率）、语义解析准确率（机器人解析文字、判断语义的正确率）以及机器人响应时间等具体性能要求进行明确。

生命周期法：该方法强调工作要有科学的步骤和标准的表达方式。整个工程可以分成若干相互联系、相互衔接的工作阶段。每个阶段都要有明确的起点、任务、成果、终点。每个阶段完成后通过审定才能进入下一阶段的工作。成果的表达形式应当是标准的、统一的、能够有效沟通的。生命周期法一般把整个工程过程至少分为系统分析、系统设计、系统实施、运行维护四个阶段。

标杆管理法：该方法主张通过寻找同类中最好的或者公认的优秀产品或做法作为参照物，对照分析，发现自身的不足，找到提升的路径和方法，从而改善自身产品或做法。这种对照分析到改善的过程应是系统的、持续性的。

逆向工程法：有时候想对某些成功产品进行研究学习以优化自身设计方案，但这些产品的生产信息被保密，无法轻易获得，这时可以采用逆向工程法对产品进行拆卸、测量、分析研究等，反推出其设计数据。逆向工程法源于商业及军事领域中的硬件分析，目前在其他领域也广泛应用。例如：对同类产品零件进行复制（图1-26），从而对自身产品进行高效、节约的调试和改造；在考古现场进行三维扫描，复原遗址，修复与复制文物；制造假肢，帮助人们恢复肢体功能；等等。

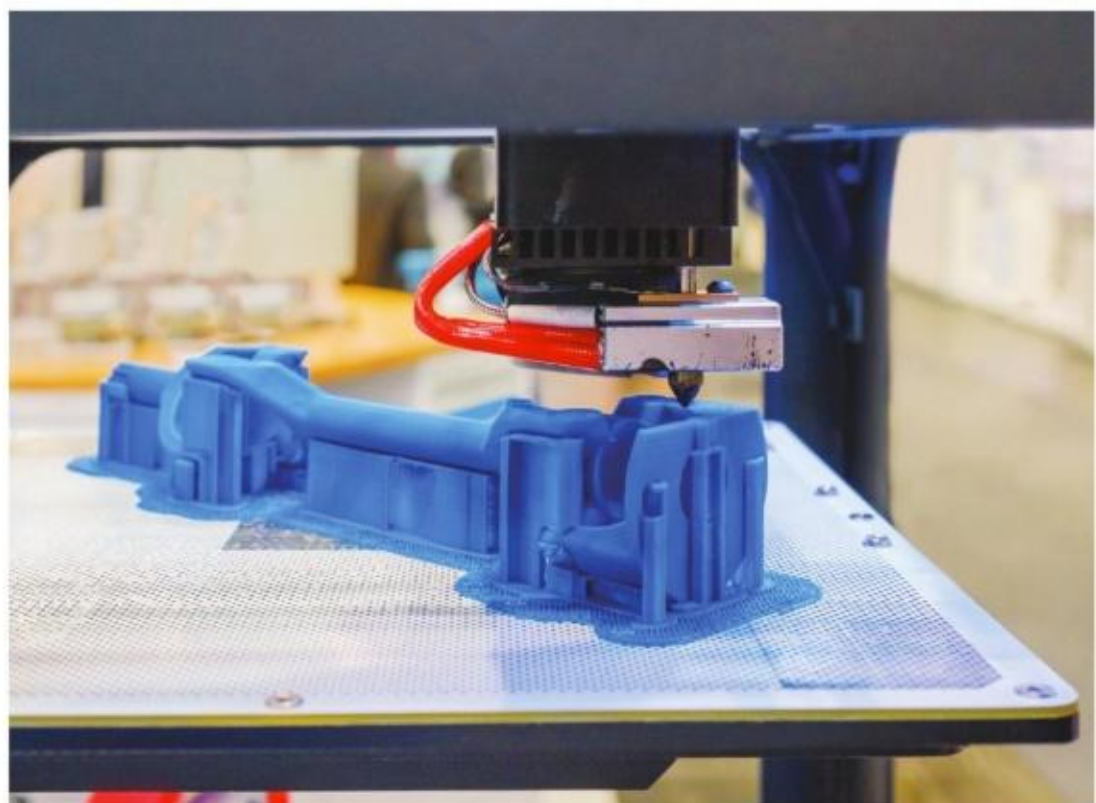


图1-26 通过三维扫描立体打印复制零件模型

除了具体实物，逆向工程法在计算机软件开发中也有很多应用，例如借助反汇编阅读源码的方式获得某软件设计方案特点，为优化自身软件产品提供借鉴。

系统优化法：该方法主张为了达到系统功能的最恰当的发挥，在给定的条件下，根据需求和可能，采用最优化技术对系统进行开发、设计和实施。系统优化的一般过程如图1-27。

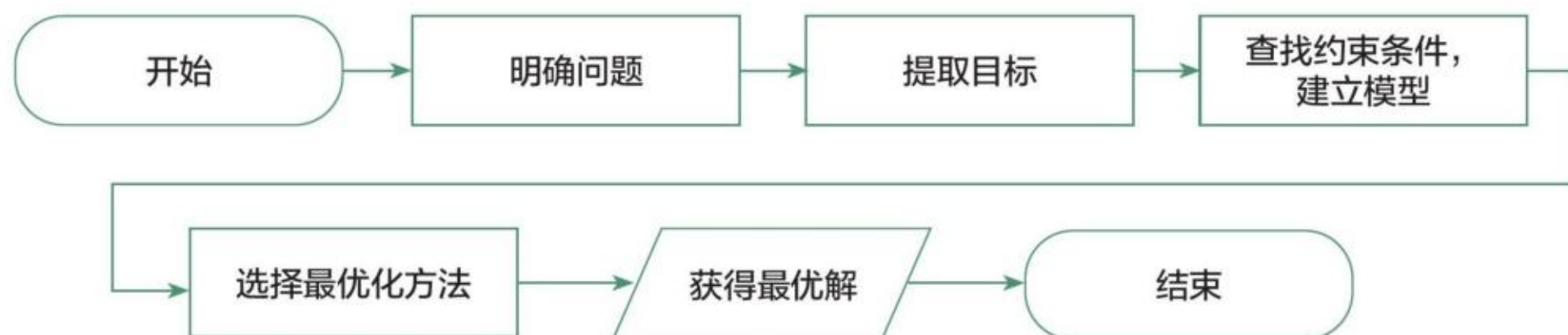


图1-27 系统优化的一般过程

讨论 & 交流

1. 以生活中科技人文融合创新项目活动的例子，分析其中的基础条件、技术要素和采用的工程问题分析方法。
2. 逆向工程法也可能被用于抄袭，小组讨论逆向工程法的两面性。

第 5 节 科技人文融合创新项目活动的一般过程



学习目标

1. 能提取和分析技术与工程问题中的科技人文融合创新结构元素。
2. 能基于 STEM+ 提出解决问题的综合方案，并进行分析、制作、测试、调整和评价。
3. 知道科技人文融合创新项目活动的一般过程。

科技人文融合创新项目活动一般需要经历利用科学和数学进行建模分析，融合艺术、社会视角，提出综合解决方案，使用技术进行制作，通过工程模型进行测试，进一步调整完善等一系列过程。本节将通过水火箭设计和测试来阐述科技人文融合创新项目活动的一般过程。

5.1 设计和制作水火箭要解决的问题

我国载人航天、探月探火、卫星导航等航天工程取得了辉煌成就，这些成就离不开各种先进的航天器。运载火箭是运送航天器的重要工具，设计出性能优良的运载火箭对航天工程至关重要。运载火箭设计需要大量专业知识，但其基本工作原理是牛顿第三定律，根据这个定律，可以设计和制作出水火箭（图 1-28）。

参与水火箭的设计和制作，可以直观地了解运载火箭发射升空、回收的过程，丰富航天科学相关知识，体验航天工程的精妙，激发探索科学、宇宙的兴趣，增强民族自信和爱国情感。同时和其他



图 1-28 水火箭升空

火箭模型相比，水火箭清洁、安全，并且可以采用废弃物进行制作，节约环保。本节将通过水火箭的设计和制作，演示科技人文融合创新过程。

用于培养科学探索兴趣的水火箭，和运载火箭不同，在设计和制作中不需要考虑运载能力、推力等参数，但要具有一定观赏性，即要有一定的飞行高度。因而本项目要解决的主要问题是设计出飞得尽可能高的水火箭。

5.2 水火箭相关信息的收集

在明确需求后，要进行相关信息的收集与处理，例如水火箭的工作原理。

根据牛顿第三定律，相互作用的两个物体之间作用力和反作用力大小相等、方向相反，并且作用在同一条直线上。火箭就是利用该定律，通过喷射燃烧的推进剂产生反作用力实现推进的飞行器。它可以工作在大气层内，也可以工作在太空环境中。水火箭则利用压缩空气的压强喷射水产生反作用力，实现升空。

5.3 水火箭的结构设计

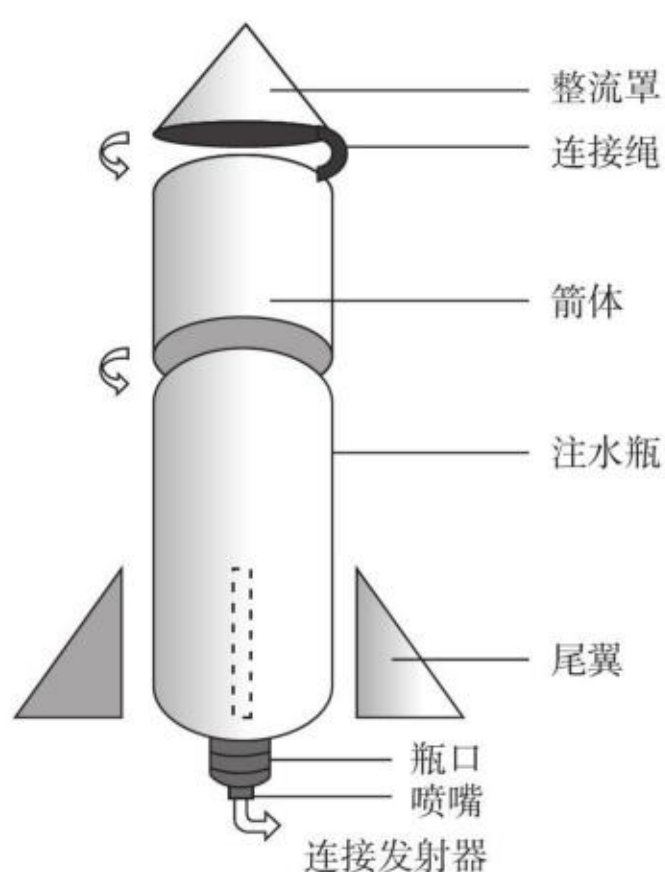


图 1-29 水火箭结构

水火箭主要由整流罩、箭体、注水瓶、尾翼、喷嘴等部分组成，如图 1-29。水火箭的结构设计主要考虑减小空气阻力和姿态控制。

水火箭运动时会推动前方空气，增大前方空气压强，同时拖拉后方空气，减小后方空气压强，前后方空气压强差产生压差阻力。同时，水火箭运动时，由于空气具有黏性，与水火箭表面之间存在摩擦，产生摩擦阻力。如果水火箭设计不对称，流过水火箭不同侧面的气流速度、压强也不对称，还会产生诱导阻力。空气阻力的成因还有很多，综合来看，水火箭在空气中运动，受到的总空气阻力可以表示为

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_a A v^2 \quad (1-1)$$

其中， C_d 是空气阻力系数， ρ_a 是空气密度， A 是水火箭在运动方向的最大截面积， v 是水火箭运动速度。在结构设计方面可以优化的参数是 A 和 C_d 。从减少截面积角度考虑，要尽可能选择细的容器。



图 1-30 流线型设计风格的上海虹桥建筑

另一个参数 C_d 取决于水火箭气动外形、水火箭表面与空气之间的摩擦等，具体理论计算比较复杂，但可以借鉴流线型设计减小压差阻力，从而减小 C_d 。

流线型设计主要原则是采用曲率半径大的圆弧替代棱角，外形圆滑、线条流畅，如图 1-30。流线型设计可以减小水火箭前后方空气压强差，从而减小压差阻力。如果打算采用废弃的饮料瓶作为火箭主体的注水瓶，要选择流线型外型的饮料瓶，如果瓶底不符合流线型设计原则，可以在瓶底增加整流罩，以减小空气阻力。为了减小空气摩擦阻力，还要求饮料瓶的表面光滑，并去掉瓶身包装纸，以减小水火箭与空气的摩擦。

水火箭结构设计还要考虑水火箭姿态控制。理想的水火箭是喷嘴始终向下，但喷出的水流可能产生扰动，空气也会产生扰动等，这些因素会导致水火箭偏离竖直状态，最终失去控制。可以利用空气阻力来提高稳定性。水火箭受到的空气阻力不仅会影响水火箭运动速度，还可能产生一个力矩使得水火箭绕其重心转动。可以将水火箭受到的总空气阻力看作都作用到水火箭的某个点上，同时产生的力矩也相同，该点就是气压中心点。要实现水火箭稳定飞行，气压中心点必须在水火箭重心正后方，否则水火箭会偏航，甚至翻滚。如图 1-31，如果气压中心点位于水火箭前方，水火箭将发生翻转，如左侧灰色箭头所示；如果气压中心点位于水火箭后方，如右侧绿色箭头所示，空气阻力可以让水火箭从偏航状态中恢复，从而使水火箭整体保持稳定。重心和气压中心点还必须有一定距离，距离越大，水火箭稳定性越高。

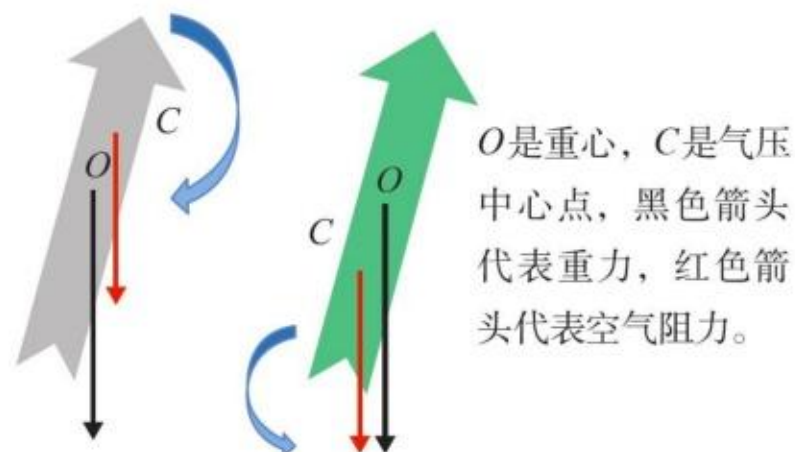


图 1-31 气压中心点和稳定性

增加尾翼是控制水火箭姿态常用的方法。尾翼使得火箭尾部面积大幅增加，尾部空气摩擦阻力增强，这样气压中心点后移，从而提高水火箭的稳定性。尾翼数量越多、面积越大，水火箭稳定性就越高。但增加尾翼同时也增加空气阻力，影响水火箭飞行高度，因此尾翼数量也不能无限增加。增加尾翼也会使得水火箭重心后移，又会影响稳定性。为此尾翼必须选用密度低的材料，以减少重心后移距离。也可以在整流罩中填充一些重物，让重心前移，提高稳定性。

考虑到气压中心点要在水火箭重心正后方，这要求尾翼和整流罩安装必须满足对称原则。为了计算方便，项目采用圆底形饮料瓶，这样重心就位于饮料瓶的中轴线上。所增加的整流罩采用圆锥形状，并且整流罩中轴线和饮料瓶重合。多个尾翼对称分布，每个尾翼面和中轴线共面，从水火箭正后方角度看，呈星形对称结构。

准确计算气压中心点非常复杂，需要借助专业流体力学软件。也可以进行简单估算，然后再通过实验验证。估算方法如下。

和计算重心方法相同，气压中心点处等效力不仅要等于水火箭受到的空气阻力之和，而且相对于任意空间任意的一个点，气压中心点处等效力产生的力矩也要等于水火箭所有表面受到的空气阻力产生的力矩。因此不仅要估算出水火箭各个表面受到的空气阻力，还要估算它们产生的力矩。依据力和力矩等效原则就可以估算出气压中心点的具体位置。

首先估算水火箭受到的空气阻力。不同成因的空气阻力受多种因素影响，情况复杂，直接分析非常困难，需要进行一些简化。水火箭采用流线型设计，能大大减小压差阻力；水火箭的对称设计也能消除诱导阻力。因此，估算时只要考虑水火箭表面与空气之间的摩擦阻力。为了简化估算，假定水火箭某处表面的空气阻力正比于该处的面积，同时这些力的方向都平行于水火箭的运动方向，这样水火箭受到的总空气阻力就正比于水火箭的表面积。

接着考虑水火箭空气阻力产生的力矩。为了简化，这里直接给出等效的计算方法。由于设计水火箭时考虑了轴对称原则，所以气压中心点一定位于水火箭中轴线上。以火箭整流罩锥体顶点为参考点，过该参考点且垂直中轴线的平面为参考平面。将水火箭表面积与这些表面到参考平面距离的乘积求和，再除以水火箭表面积，就可以获得气压中心位置。

在实际估算中，可以将水火箭分解成各种规则图形进行计算。如图1-32所示，可以将整流罩看作圆锥体，仅考虑其侧表面的面积，该部分的气压中心点在距离圆锥顶 $\frac{2}{3}$ 高的中轴线处。箭体与注水瓶可以看作圆柱体，仅考虑其侧表面面积，该部分的气压中心点

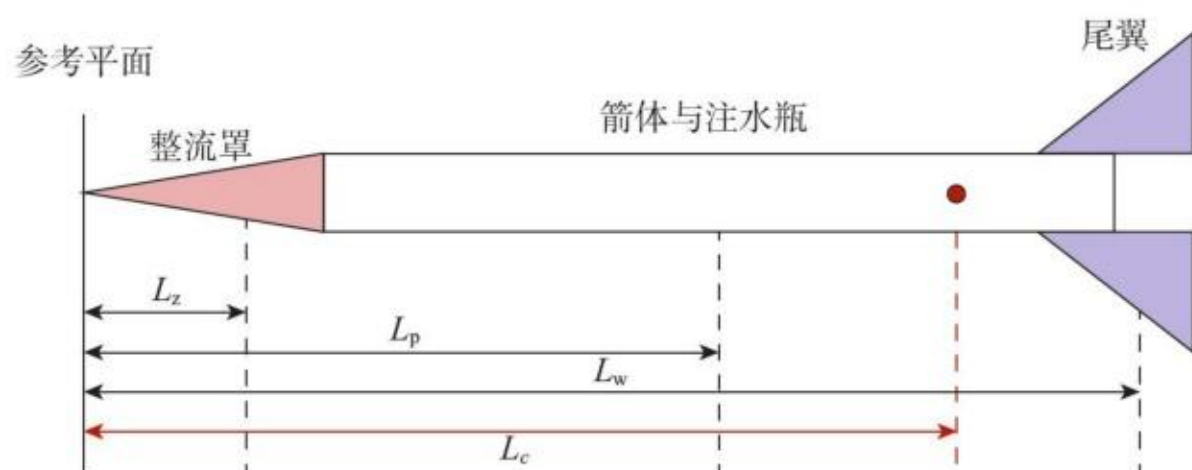


图 1-32 水火箭气压中心估算方法示意图

在圆柱体中心位置。^①尾翼通常是材质均匀的平面图形，气压中心点就是重心位置。可以根据公式（1-2）计算水火箭的气压中心点位置

$$L_c = \frac{A_z L_z + A_p L_p + A_w L_w}{A_z + A_p + A_w} \quad (1-2)$$

这里， A_z 是整流罩侧面积， A_p 是箭体与注水瓶侧面积， A_w 是所有尾翼面积之和，注意每个尾翼都要计算两个面的面积。 L_z 、 L_p 、 L_w 分别是整流罩、箭体与注水瓶、尾翼的气压中心点与参考平面的距离。 L_c 就是所估算的水火箭气压中心点与参考平面的距离。

水火箭其他部分作用如下：瓶口是水火箭的发动机；喷嘴大小会影响最大飞行高度；箭体主要负责存放一些配件，比如降落伞、控制电路等，如果没有负载要求，也可以不设计箭体。

5.4 水火箭的飞行特性和动力机制

为了让水火箭飞得高，在方案设计时还需要考虑水火箭的飞行特性和动力机制。

首先查看水火箭的飞行特性。水火箭的飞行包含两个阶段。第一阶段是喷射推进剂的发射过程，在这个阶段，水火箭通过喷水获得动力，速度不断提升，在喷射结束时速度达到极值。如果把这个过程看作匀加速运动，则这个过程上升的高度是

$$h_1 = \frac{1}{2} v_m t \quad (1-3)$$

其中， h_1 是第一阶段飞行高度， t 是该阶段飞行时间， v_m 是水火箭喷射结束后的速度，此处称为发射速度。飞行特性如图 1-33。

飞行第二阶段是推进剂喷射结束后的惯性上升过程，如果忽略空气阻力，水火箭则做匀减速运

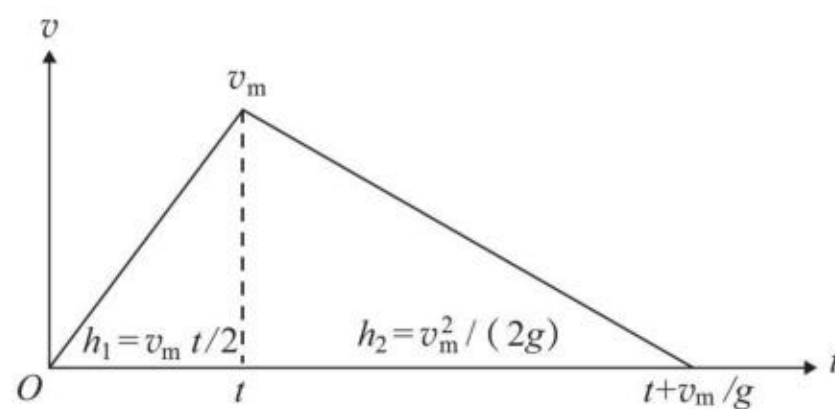


图 1-33 飞行特性示意图

^① 这里忽略圆柱体底部空气阻力贡献，如果要考虑其贡献，可以单独计算。

动，上升高度为

$$h_2 = \frac{v_m^2}{2g} \quad (1-4)$$

其中， h_2 是第二阶段增加的高度， g 是重力加速度。总飞行高度为

$$h_t = h_1 + h_2 = \frac{1}{2} v_m t + \frac{v_m^2}{2g} \quad (1-5)$$

可以看出， v_m 对飞行总高度影响很大。因此增加 v_m 是水火箭提升飞行高度关键。

接着分析水火箭动力机制，以了解提升水火箭发射速度的途径。先从能量转化角度分析。水火箭能量存储形式是推进剂的形变势能。物体存储的形变势能等于物体压强乘物体形变体积。由于水形变系数非常小，即使施加高压，形变体积也非常小，所以水无法存储形变势能。相反，空气可以被大幅度压缩，所以水火箭所需的形变势能只能存储在压缩空气中。因此从能量守恒角度，水火箭应该携带压强、体积尽可能大的压缩气体。但在发射过程中，水火箭所存储的形变势能不仅会转化为水火箭的动能，也会转换成推进剂的动能，这就影响到水火箭的发射速度。形变势能的转换效率则必须从动量传递角度分析。

如果忽略发射阶段水火箭所受重力，并忽略空气阻力，则水火箭和推进剂的动量守恒，可以获得火箭发射速度近似公式

$$m_e v_m + (m_0 - m_e)(v_m - u) = 0 \Rightarrow v_m = u \left(1 - \frac{m_e}{m_0} \right) \quad (1-6)$$

其中， m_0 是水火箭初始质量， m_e 是喷射结束后水火箭质量， u 是推进剂相对火箭的喷射速度，它和推进剂所在容器中的压强有关，压强越大，推进剂喷射速度 u 越大。从公式(1-6)可以看出，发射速度不仅正比于推进剂喷射速度，还和水火箭质量改变相关，质量改变越大，发射速度就越大。考虑到空气密度非常小，喷射空气基本不会产生质量改变，也就不会增加水火箭速度。这样水火箭中的水一旦喷完，水火箭就不再获得动力，发射阶段就结束了。因此从动量角度考虑，水火箭应该多携带水，并以尽可能高的速度将所携带的水全部喷射完。

能量守恒和动量守恒两方面都要求推进剂所在容器中的压强尽可能大，不过由于容器强度有限，压强必须小于容器能承受的最大压强。增大压强的另一途径就是增加空气和水，即采用尽可能大的容器。考虑到容器最大承受压强不变情况下，容器壁厚基本不变，这样容器质量和容器面积成正比，而容器所能携带的推进剂质量和容器体积成正比。因此更大的容器就意味着能携带能量更高、质量

更大的推进剂，可以产生更大的发射速度。

一旦压强和容积都确定，那么空气体积和水的体积就成为相互制约的因素。因此压缩空气和水的比例是需要优化的参数之一。

通过联合能量守恒、动量守恒、气体状态方程（描述压缩空气压强随其体积变化关系），并采用计算机进行计算，可以获得发射速度和初始空气体积占比的关系，如图1-34。从图中可以发现，最佳数值约为0.63，即2/3左右。因此项目将采用2/3空气体积占比作为初始值，再用实验方式进行优化。

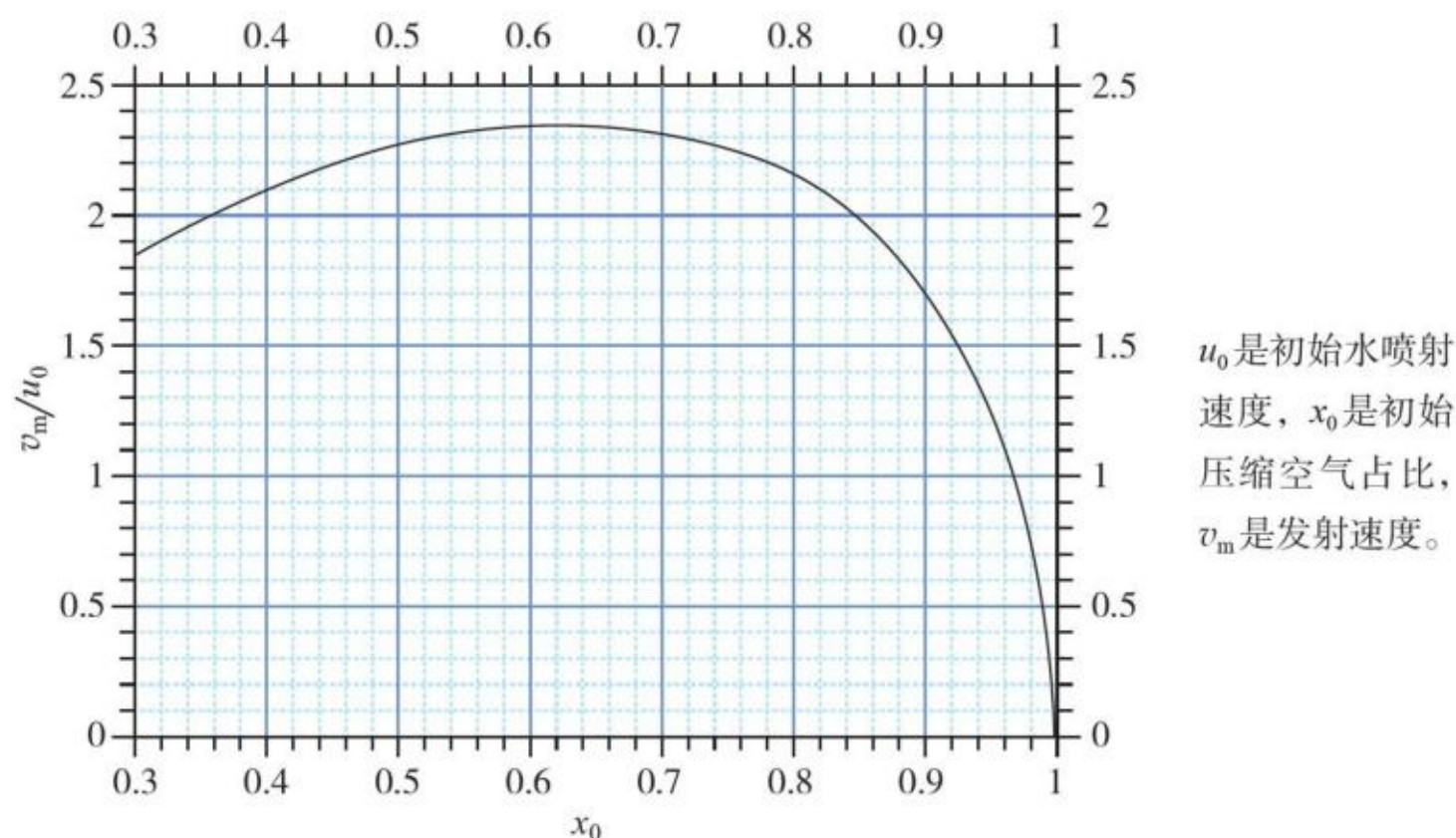


图1-34 忽略重力和空气阻力情况下，2 L 饮料瓶的发射速度与压缩空气体积占比关系

拓展阅读

发射阶段水火箭飞行高度不仅和发射速度有关，还和喷水时长 t 有关。从 (1-3) 公式上看，喷水时间 t 越大，第一阶段获得高度 h_1 就越大。喷水时长为

$$t = \frac{V(1-x_0)}{S\bar{u}}$$

其中 V 是注水瓶容积， S 是喷嘴面积， x_0 是初始空气体积比， $\bar{u}$ 是平均喷射速度。由于 V ， x_0 已经确定，而 $\bar{u}$ 与 S 无关，那么 t 和 S 成反比。如果这样的话，我们把喷嘴弄成无穷小，就可以得到无限大的 h_1 。但实际情况显然不是这样的。这是因为公式 (1-6) 忽略重力作用。如果喷嘴直径很大，产生的反作用力远大于重力，那么这个公式是可以成立的。但如果喷嘴较小，就必须考虑重力的影响了。我们重新定义 v_m 是

无重力情况下的发射速度，在有重力情况下，极限速度可以修正为

$$v_{m,g} = v_m - gt$$

则

$$h_1 = \frac{(v_m - gt)t}{2} = \frac{v_m^2}{8g} - \frac{(v_m/2 - gt)^2}{2g}$$

获得最佳喷水时长、第一阶段飞行高度和总体飞行高度为

$$t_m = \frac{v_m}{2g}, \quad h_{1,m} = \frac{v_m^2}{8g}, \quad h_{t,m} = \frac{5v_m^2}{8g}$$

所以最佳喷嘴面积为

$$S_m = \frac{V(1-x_0)}{t_m \bar{u}}$$

由此计算最佳喷嘴直径为

$$d_m = \sqrt{\frac{4S_m}{\pi}}$$

可以看到，即使经过优化，第一阶段飞行高度也只占整个飞行高度的1/5，所以发射速度是

影响飞行高度的主要参数，喷水时长是次要参数。也就是说压缩空气占比是最主要优化对象，喷嘴大小是次要优化对象。

5.5 水火箭的制作和发射

在明确了水火箭的结构、飞行特性和动力机制等问题后，可以正式开始水火箭的制作。主要制作过程如图1-35，制作步骤如下。

1. 准备材料：选用塑料饮料瓶作为注水瓶和箭体，废旧硬纸板作为尾翼材料，用过的打印纸作为整流罩材料。选用软木塞作为瓶口密封材料，自行车轮胎气门嘴作为单向阀，用来给注水瓶充气。另准备一个带有气压计的打气筒。



图1-35 水火箭主要制作步骤示意

2. 准备注水瓶：去除饮料瓶包装和瓶盖，检查外观是否完好，检查密封性是否良好。

3. 制备箭体：如果考虑要携带负载，就需要箭体。选用一个饮料瓶作为注水瓶，将另一个饮料瓶从尾部切出适当长度的瓶身，该长度

要保证可以放置负载。将切开的饮料瓶用胶带固定到注水瓶尾部，要注意箭体必须和注水瓶同轴，负载分布也要形成轴对称。

4. 制备整流罩：将打印纸卷成圆锥形状，用剪刀修剪，让锥底稍大于饮料瓶底。用胶带将整流罩固定到箭体上，保持和注水瓶轴对称。如果需要增加水火箭头部质量，可以将一些重物固定在底部，重物分布也要保持轴对称。如果箭体中带有气压计，则要在箭体底部中心上开孔，保证箭体内部气压和外部相同，同时考虑在整流罩顶端处留一小孔，确保内外气压一致。

5. 制备尾翼：首先确定尾翼数量和面积，要确保气压中心点在注水后水火箭的重心正后方，用记号笔在注水瓶上标记安装位置。（注水后水火箭的重心计算要考虑未安装尾翼的水火箭、尾翼和注水瓶中水等三部分贡献。尾翼和水可以借助几何知识确定它们各自的重心。未安装尾翼的水火箭重心可以借助实验方法确定，即用绳子环绕注水瓶或箭体，水平吊起，通过观察吊起后水火箭失衡情况，不断修正，确定其重心位置。最后结合这三部分的质量，确定注水后水火箭的重心。）将硬纸板剪成几个三角形作尾翼，形状、大小、质量完全相同。用胶带将尾翼固定到箭尾，尾翼面要和注水瓶同轴。用胶带将尾翼外露部位全部粘好，提高水火箭光滑程度。

6. 制备喷嘴：修剪软木塞，确保能够密封饮料瓶口。用钻头辅助，将气门嘴穿过软木塞中轴。

至此，水火箭制作完成，可以准备发射。

发射过程主要包括注水和充气两个步骤。注水，以 $\frac{1}{3}$ 水量为参考。考虑到饮料瓶不规则，可以先用量筒确定目标水量。封上软木塞，接上打气筒充气。充气过程要注意防护，防止注水瓶爆炸。在压力作用下，软木塞会被顶出，水火箭开始发射。也可以用绳子辅助固定软木塞，等到气压计显示到达指定数值，再剪断绳子，发射水火箭。

5.6 水火箭测试、完善和评估

飞行测试要选择合适天气和场地。天气要求晴朗，无风或者微风，以减小偏航距离。场地要选择宽阔人少的区域，方便观测水火箭飞行过程。要注意水火箭是具有动力的飞行器，如果姿态控制失当，可能会造成周围人员伤害。如果在公园等公共场所，还要先咨询相关管理人员是否允许。

塑料瓶本身质量30~35 g，考虑到水火箭其他部分，项目取水

火箭质量为 50 g。这种材料最大可承受压强为 $1.01 \times 10^6 \text{ Pa}$ ，为了安全起见，采用 $7.07 \times 10^5 \text{ Pa}$ 作为初始压强。利用能量守恒、动量守恒和气体状态方程，在不考虑空气阻力情况下，可以计算出最大飞行高度可以达到 493 m，其中第一阶段飞行高度 98.7 m。如果考虑空气阻力，实际飞行高度要比 493 m 小很多。

水火箭测试的实验数据是飞行高度。可以在箭体内放置带有气压计模块的单片机记录高度和时间关系。高度计算的原理是通过测量气压获得物体的海拔高度，即

$$h - h_0 = CT \ln \frac{p_0}{p} \approx CT \left(\frac{p_0 - p}{p_0} \right) \quad (1-7)$$

其中，常数 $C = 29.27127 \text{ m/K}$ ， T 是绝对温度（单位是 K）， p_0 是地面气压， h_0 是地面海拔高度， h 是气压计的海拔高度， p 是气压计测量得到的气压。估算对气压计性能要求，先考虑量程，假设气温 $T = 300 \text{ K}$ ，考虑到飞行高度不超过 500 m，按 500 m 计算，根据公式可以获得最大变化气压为 5 751 Pa，这个量程市场上大部分气压计模块都能满足。接着考虑高度分辨率，1 m 高度变化只产生 11.5 Pa 的压强变化，为了达到 1 m 精度，要求气压计气压分辨率达到 10 Pa。

待水火箭回收后，通过读取气压和时间关系曲线，绘制高度与时间关系图，确定最大飞行高度。飞行速度可以通过计算高度与时间关系曲线的斜率获得。这样也可以确定发射速度以及两个阶段飞行高度。

最大飞行高度也可以通过直接观察方法获得，让观测者离开发射地点一定距离，通过观察角度计算水火箭最大飞行高度。考虑到水火箭达到最大高度时速度为 0，水火箭开始做自由落体运动，下落 1 m 时间约 0.45 s，观测者要在这个时间内确定角度，才不会有太大偏差。为了防止水火箭偏航带来影响，可以考虑在另一方向上增加一位观测者，通过两位观测者的两个角度，结合两位观测者距离获得水火箭高度，如图 1-36。增加更多观测者，通过平均数值可以获得更准确的飞行高度。此外，考虑天空背景为淡蓝色，为了便于观察，应该选用深色的饮料瓶，或者给水火箭进行涂装。

最后分析水火箭性能。如果采用气压计方式采集高度信息，还可以评价水火箭气动特性。如果没有空气阻力，由发射速度就能确定第二阶段的飞行高度，但因空气阻力的存在，导致该高度减少。可以通过自由落体公式计算获得的高度与第二阶段实际飞行高度之差来评价气动特性，差额越小，说明空气阻力越小，气动特性越好。可以参考表 1-1 对实验数据进行记录。

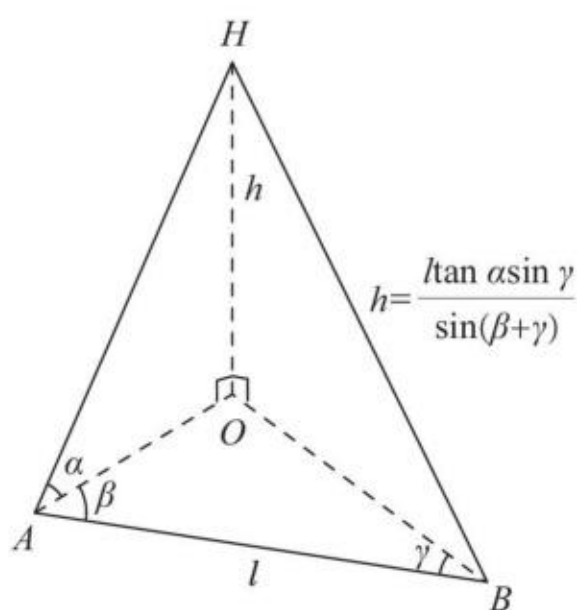


图 1-36 两位观测者测量水火箭飞行高度

表1-1 水火箭实验数据记录表

实验次数编号	水火箭结构参数（注水瓶容积、尾翼面积和个数、喷嘴尺寸等）	压缩空气体积占比	姿态稳定性（是否翻滚、偏航距离）	最大飞行高度/m	发射速度/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	第二阶段飞行高度与自由落体模型高度之差/m
①						
②						
③						

科技人文融合创新项目活动的一般过程可以总结为表1-2，在具体的活动中，可以参考该表，从总体上把握项目活动的开展。

表1-2 科技人文融合创新项目活动过程表

序号	阶段	考查要点
①	明确问题	（明确问题，同时能提取和分析项目活动中要考虑的科学、技术、工程、数学、艺术、社会等结构元素）
②	信息收集和处理	（设计和选用适当工具来收集、记录、分析信息与数据）
③	提出综合方案	（应用科学、技术、工程、数学知识、方法和技能，并系统考虑艺术、社会元素，提出解决问题的综合方案）
④	制作工程模型	（制作并使用工程模型进行测试、生成数据来解释和预测现象）
⑤	完善解决方案	（依据科学证据、技术试验结论，完善解决方案）
⑥	比较和评估	（用科学观点、经验证据、逻辑论证等，比较和评估同一问题的不同技术解决方案）

实践 & 练习

- 1. 设计并制作水火箭。
- 2. 测试几种水火箭，比较制作方案，分析其中影响飞行高度的因素。



本章小结

本章通过介绍科学人文融合创新发展历程，揭示了其重要意义；讨论了科学人文融合创新的内在结构，体会多学科融合重要性；分析了科技人文融合创新中各结构元素的综合运用；介绍了科技人文融合创新项目活动需要的基础条件、技术要素和工程问题分析方法；通过水火箭设计和制作来演示科技人文融合创新项目活动的一般过程。通过本章学习，同学们可以了解综合运用科技人文知识、方法和技能，对系统地分析和解决现实中的各种问题、提高创新能力有重要帮助。

本章学习评价表

学科核心素养代号：① 技术意识；② 工程思维；③ 创新设计；④ 图样表达；⑤ 物化能力。

课程目标/ 实践项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
科技人文融合创新的发展历史	讨论科学、技术和社会三者关系的历史演进，理解科技人文融合对创新的意义①			
	分别举出生活中体现STS、STEM和STEM+研究理念的例子①			
科技人文融合创新的结构分析	举出生活中科技人文融合创新的例子①			
	分析上述案例中包含的科技人文融合创新结构元素①			
科技人文融合创新结构元素的综合运用	举出一个工程项目，分析其中包含的科技人文融合创新结构元素之间的关系①			
	讨论在上述工程项目中各结构元素是如何综合运用的②③			
科技人文融合创新项目活动的基础	以生活中的科技人文融合创新项目活动为例，分析其中的基础条件、技术要素和采用的工程问题分析方法①②			
	根据生活和学习中具体需求，提出一个工程项目，讨论所需的基础条件、技术要素和拟采用的工程问题分析方法②③			
科技人文融合创新项目活动的一般过程	设计并制作一个水火箭①②③④⑤			
	测试水火箭，比较各种制作方案，分析其中影响飞行高度的因素①④			
	根据生活和学习中具体需求，提出一个工程项目，给出该项目活动流程图②③④			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进。

第二章 科技人文融合创新专题实践

第一章介绍了科技人文融合创新的理论知识，以及科技人文融合创新项目活动的过程。本章将通过五个工程项目，演示综合运用科技人文知识、方法和技能，系统地分析和解决实际工程问题，进一步帮助形成工程思维，提高创新能力，发展综合素养。

第1节 桥梁设计

第2节 交通工具设计

第3节 飞行器设计

第4节 医疗器械设计

第5节 矿山工程设计



第 1 节 桥梁设计



学习目标

1. 理解桥梁建筑与艺术、社会的关系。
2. 了解桥梁建筑的结构、材料等主要技术要素。
3. 初步掌握桥梁设计的基本原理和方法。

“一桥飞架南北，天堑变通途。”新中国成立以来，几代人逢山开路、遇水架桥，建成了交通大国，正在加快建设交通强国。交通成为中国现代化的开路先锋，其中桥梁工程是重要内容。桥梁设计不仅要综合科学、技术、工程方面内容，还和艺术、社会等关系密切。本节将通过一座人行天桥的设计，演示综合运用结构、材料、社会等知识，形成初步的桥梁设计方案。

1.1 项目需求与信息收集

一、项目需求

2018年10月港珠澳大桥（图2-1）正式通车。这座连接香港、珠海和澳门的超大型跨海通道，是迄今为止世界最长的跨海大桥，被誉为“国之重器”。港珠澳大桥极大缩短了三地间的时空距离，加强了人员、文化交流和经贸往来等，为推进粤港澳大湾区建设，支持香港、澳门更好融入国家发展大局发挥了重要作用。



图2-1 港珠澳大桥

港珠澳大桥从设计、建设到通车前后历时十几年的时间，解决了无数技术问题，应用了许多新材料、新结构、新技术，创造了一个又一个世界之最。大桥不仅造型美观，寓意美好，还兼顾生态环境保护。

桥梁设计、建造涉及大量科学、技术、工程、数学、艺术、社会等知识，初学者可以从解决简单的交通需求入手，进行桥梁设计，体验其中基本的原理和方法。例如，某学校坐落于一干道旁，往来车辆很多，学校上学和放学期间行人和车辆更为密集。为了提高交通出行效率以及交通安全，计划在干道上设计、修建一座人行天桥。确定桥梁造型是项目设计的重要内容。为了合理选择桥梁造型，有必要先了解桥梁的类型、结构和主要建筑材料等相关项目信息。

二、项目信息收集

按桥梁结构和受力特点，桥梁可以分为梁式桥、拱桥、刚架桥等。梁式桥是最早出现的类型，结构较为简单。下面以梁式桥为例，介绍桥梁结构。

桥梁一般由四个基础部分组成，如图2-2，即上部结构、下部结构、支座和附属设施。

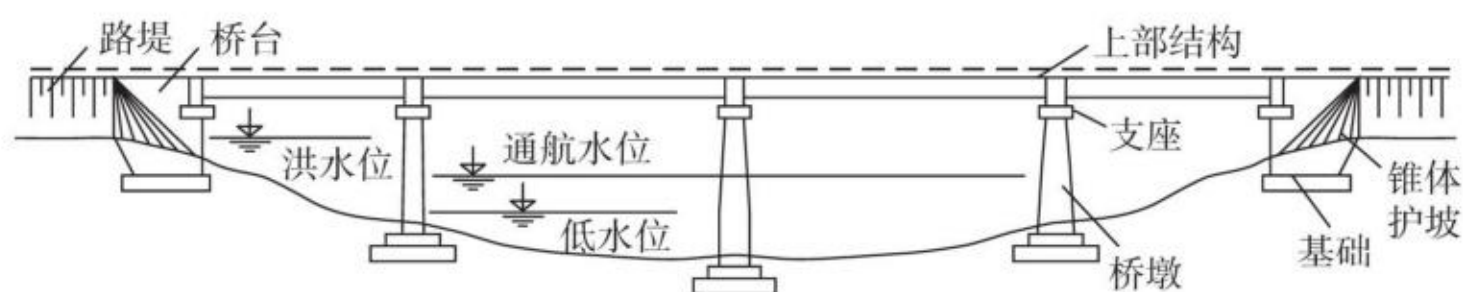


图2-2 梁式桥的桥梁组成结构

上部结构，又称桥跨结构，是桥梁结构的主体，主要作用是让行人和车辆跨越障碍，它直接承受桥上车辆和其他荷载。上部结构也是桥梁外观主要部分，不仅要满足工程上承重需要，还要外形美观，和周围环境融为一体，符合当地风土人情。

下部结构是由桥墩、桥台和基础组成。桥墩和桥台是支承上部结构并将结构重力和车辆等荷载作用传至基础的建筑物。一座桥梁的桥台通常只有两个，设在桥的两端；而桥墩可以不设，或在桥台之间设一个到数个。桥台除了支承上部结构，还与路堤相衔接，以抵御土压力，防止路堤坍塌。桥墩和桥台底部与地基相接触的结构部分称为（墩台）基础，它是确保桥梁能安全使用的关键。

梁式桥在上部结构与桥墩或桥台的支承处所设的传力装置，称为支座，它不仅要传递很大的作用效应，并且要保证上部结构能产

生一定的变位。

桥梁的基本附属设施有桥面系、伸缩缝、锥形护坡等。

梁式桥结构简单，是最早的人造桥梁类型。最初往往只是利用自然倒下的树木或者石材搭建，后来慢慢发展出很多外形精美的桥梁。以我国现存最早的跨海梁式桥福建泉州的洛阳桥（图2-3）为例，洛阳桥不仅实现了跨越洛阳江障碍的目标，而且桥梁具有很高的艺术价值，桥上带有大量石像、石刻，以及被誉为书法、记文、雕刻“三绝”的宋碑，等等。

梁式桥的最大缺点是跨度不能太大，否则承重后桥面发生弯曲，最终可能会危害桥梁安全。拱桥的出现弥补了梁式桥的这个缺点。拱桥是在上部结构下增加一道拱作为桥梁承重结构，和三角支架受力原理相似，拱形减缓了桥面的形变，这样就可以增加桥的跨度。赵州桥（图2-4）就是拱桥的代表，它只用单个孔，就实现了37 m多的跨度。拱桥造型优美，和环境能和谐搭配，也是我国古代常见的桥梁类型。



图2-3 洛阳桥



图2-4 赵州桥

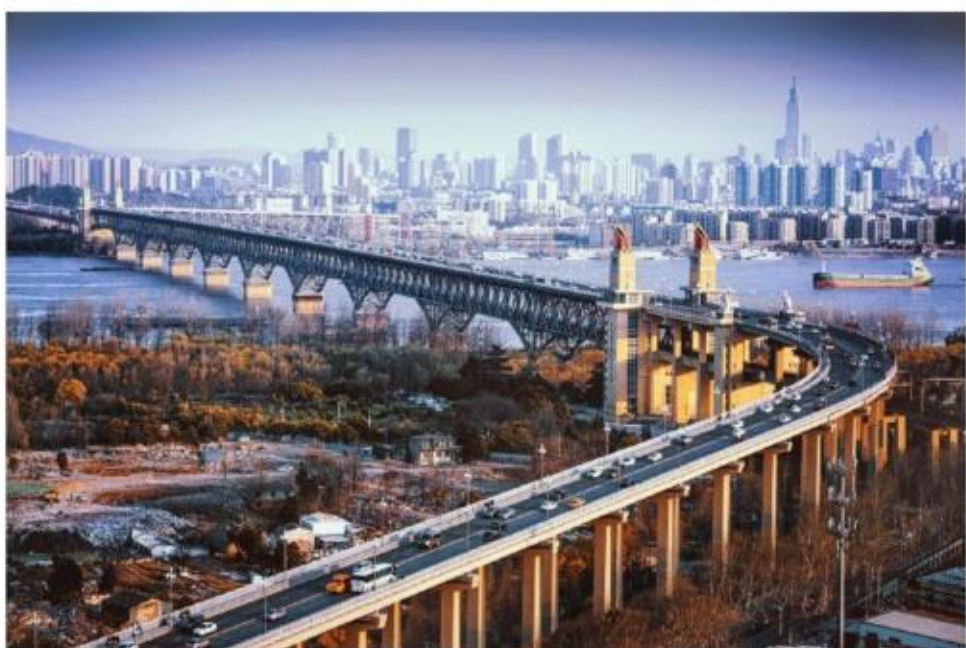


图2-5 南京长江大桥

拱桥虽然能够增加跨度，但拱形结构会影响桥下空间。刚架桥则是另一个提高桥梁跨度的类型。它把上部结构和桥墩固定在一起，形成一个整体，靠桥墩的水平形变来抵抗上部结构的上下形变。刚架桥桥墩有水平受力，对材料要求较高。南京长江大桥（图2-5）就是我国著名的刚架桥。

讨论 & 交流

1. 拱桥不仅造型优美，其承重能力也比梁式桥有很大提升。请结合所学的受力分析，讨论拱桥承重能力提升的力学原理。

2. 设计实验，理解梁式桥、拱桥和刚架桥的承重能力。提示，可以选用几张打印纸作为桥面，书本作为桥墩，分别搭建梁式桥、拱桥和刚架桥。搭建刚架桥时，可以用夹子或图钉将打印纸与书本固定在一起。桥面施加重物，检测承重能力，如图2-6所示。

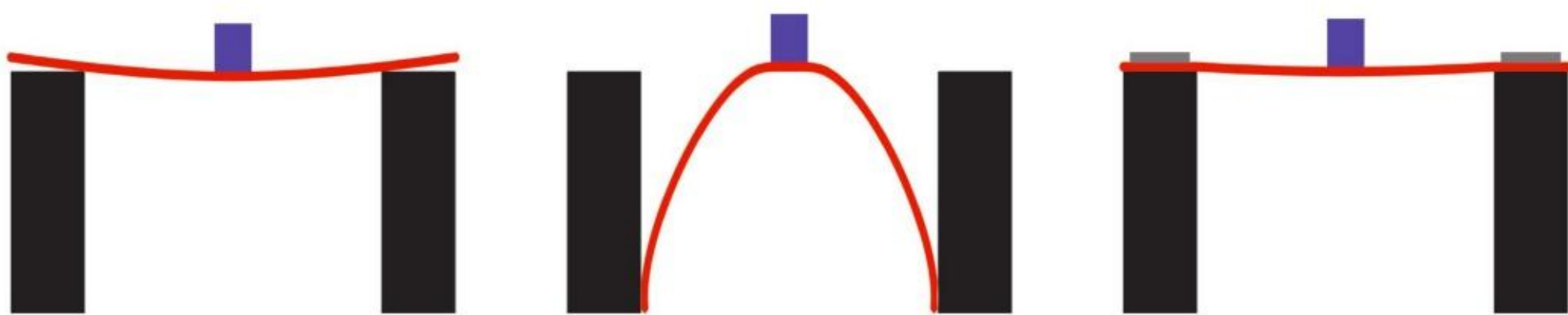


图2-6 梁式桥、拱桥和刚架桥的承重实验示意图

黑色是桥墩，红色是桥面，紫色是重物，灰色是用来固定桥面和桥墩的物品（本例中夹子或者图钉等）

建筑桥梁主要采用的材料有以下几种。

木、竹等。木、竹等材料容易取材，加工方便，成本较低，但容易腐蚀，通常只用作建设临时性桥梁的材料。

混凝土。混凝土主要由石头、沙子、水泥、添加剂和水等材料组成，其中石头和沙子起到骨架作用，水泥、添加剂和水混合后填充石头和沙子的缝隙，硬化后形成一块整体，如图2-7。混凝土原料丰富，取材方便，价格相对便宜，是建筑工程最主要的材料之一。不过混凝土只能承受压力，不能承受很大拉力和切应力^①。



图2-7 混凝土

钢材。钢材需要高温冶炼，先从铁矿石中获取铁，再按需求掺入碳元素。有些特殊钢材还需要掺入其他元素，例如不锈钢需要掺入铬。钢材韧性强，不仅可以承受压力，还可以承受较大拉力和切应力。因为需要高温冶炼，所以钢材成本比混凝土高。不过钢材和混凝土之间具有良好的黏结力，在建筑工程中，可以将混凝土浇筑

① 相切于给定平面的应力分量称为切应力。

到钢筋上，形成坚固的钢筋混凝土，如图2-8，由混凝土承受压力，钢筋承受拉力和切应力，材料成本也大大减少。

除了这些传统材料，现在还发展出多种新型材料，例如纤维增强塑料（图2-9）。相对传统材料而言，纤维增强塑料质量小、强度高、抗腐蚀性好，还可以和传统材料组合使用。



图2-8 钢筋混凝土

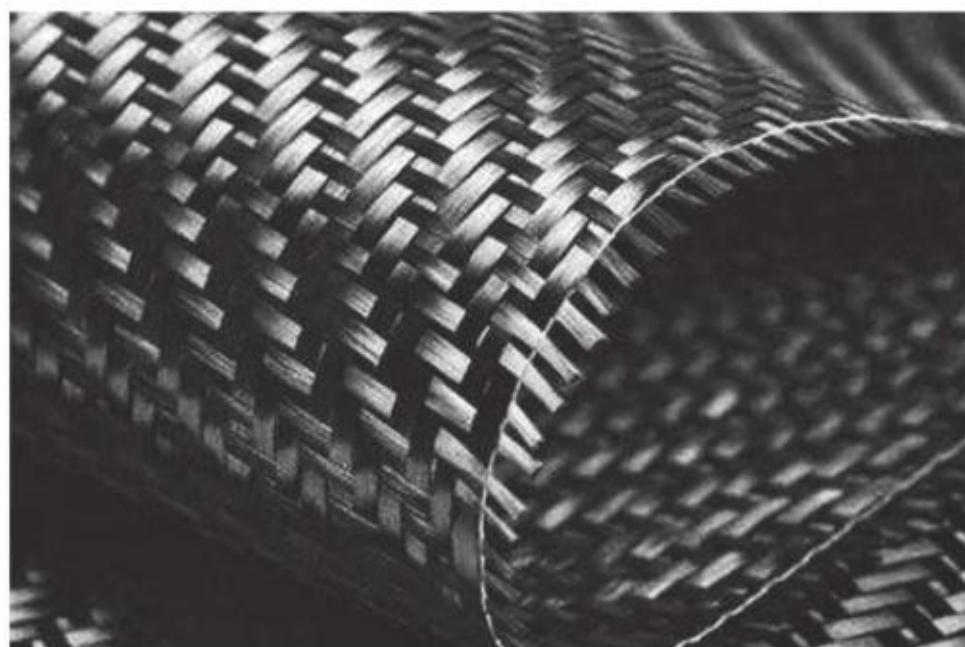


图2-9 纤维增强塑料



课外实践

调研木材、混凝土、钢材等材料的取材、加工流程，了解其成本、加工周期等，比较各种材料的优缺点。

1.2 设计方案

经调研发现，干道宽度为31 m，一般需要穿越该干道的人流量为每小时2 000~3 000人次，大部分是老人和儿童。为此计划设计满足人流量为每小时3 600人次的通行需求，考虑到老人和儿童生理特点，该桥不能太陡，同时人行天桥样式必须和周围建筑、环境融合。

在了解项目需求和收集相关信息后，可以开始方案设计。

在材料选用方面，由于干道交通繁忙，建设桥梁必然要影响通行，为此桥梁施工周期应尽可能短，同时要尽量减少后期维护的问题。木、竹等材料容易腐蚀，给后期维护带来困难。混凝土浇筑、养护需要较长时间。在项目资金充足的前提下，项目计划桥梁主体采用钢材。

在结构设计方面，考虑到项目要设计的桥梁下方有车辆行驶，因而不能选择拱桥类型。为了不影响下方干道交通，项目只能设计为单跨结构，考虑到跨度要大于31 m，项目考虑采用刚架桥结构。

人行天桥跨度只有31 m，可以只在道路两边设置两个桥墩，避免对干道车辆行驶造成影响。针对老人、儿童较多的情况，要求桥梁坡度较缓，不超过0.14，即竖直方向升高1 m，行人在水平方向需要走7 m以上。为了保证干道大型车辆通行不受影响，要求桥高4.5 m，以保证绝大部分车辆能够通过，这样行人在水平方向需要步行至少32 m。

下面还要对引桥进行设计，考虑三种方案：直线形、多圈螺旋形和半圆形。三种方案的主要优缺点见表2-1。

表2-1 三种引桥方案比较

优缺点	直线形	多圈螺旋形	半圆形
优点	结构简单，使用材料多为直线型，加工简单	占地面积最小	造型优美，稳定性高
缺点	稳定性不高，线条直，不优美	稳定性不高，曲率较大，不适合老年人群体	占地面积最大

经过综合考虑，引桥采用半圆形。采用这种结构，桥梁在地面上支点分布较宽，稳定性更高；造型优美，更容易和周围融合；还兼顾了老人不适应大曲率运动特点。最终设计方案如图2-10，从空中俯视，引桥像字母C。

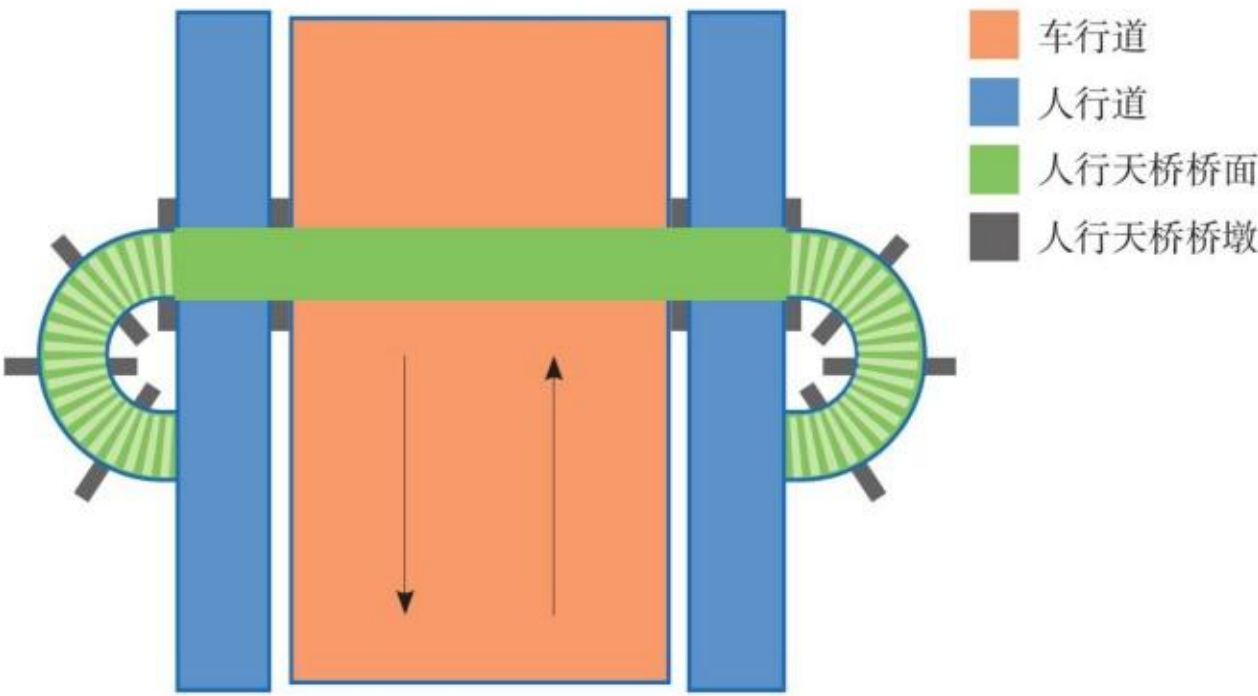


图2-10 人行天桥设计方案空中俯视图

实践 & 练习

1. 考察本地区的一些桥梁，了解影响设计方案的因素。
2. 根据本地区具体需求，设计一座桥梁。

第 2 节 交通工具设计

学习目标

1. 理解常见能源、交通、环境、社会之间的关系。
2. 了解节能技术、交通工具系统的构成。
3. 初步掌握交通工具的基本结构和设计方法。

古人常用“日行千里”来描述行进速度之快，但当时交通工具落后，“日行千里”只是一种幻想，无法实现，在外地工作的人常常花费数月才能回家一趟，因此产生了大量表达乡愁的诗词。现代交通工具大大提高了人们的出行效率，是科技进步的重要体现之一，也改变了人们的生活方式。交通工具涉及多门学科知识，不仅与能源、交通相关，还和环境、社会息息相关。本节将通过太阳能汽车设计，演示综合运用能源与动力、机械与结构、节能与环保等知识，形成初步的车辆设计方案。



图 2-11 复兴号



图 2-12 神舟飞船

2.1 项目需求与信息收集

一、项目需求

交通关系国计民生，服务亿万人民。近年来，我国四通八达的综合运输网络逐步完善，建成了世界最大的高速铁路网、高速公路网、世界级港口群，航空航海通达全球。交通工具相关制造技术高质量发展，例如“复兴号”动车组（图 2-11）跨江穿隧，实现对 31 个省（区、市）全覆盖，联通全国；神舟系列飞船（图 2-12）将人类送上太空，联通“天地”。

人们日常生活中利用较多的交通工具之一是汽车。汽车扩大了人们的日常出行范围，缩短了出行时间，降低了天气对出行的影响，人们可以更方便地去更远的地方工作或者访友。汽车在发展中还衍生出了汽车艺术、汽车文化等。可以说汽车影响了社会发展，改变了

人们的生活方式，也改变了城乡结构、社会关系和文化习俗等。

汽车对社会发展最直接的影响体现在交通方面。随着科技发展，汽车制造成本越来越低，售价不断下降，购买汽车的人越来越多。大量的汽车行驶在道路上，给交通带来很大压力，许多地区出现道路拥堵状况，如图2-13。城乡交通体系规划也因此受到新的挑战，不仅要保障交通可达性，还要保障交通的效率和公平。



图2-13 城市堵车

汽车涉及多门学科知识，例如力学、热力学、空气动力学、电子电路等，包含大到底盘、小到螺钉等几千种不同零部件，从毛坯加工到整车装配多种加工工艺。考虑到目前全球资源短缺，而汽车使用越来越普及，要积极推进交通领域清洁低碳转型的要求，项目计划以能源和动力为侧重点，设计一辆节能环保的汽车，用于上下班通勤。



图2-14 汽车底盘

二、项目信息收集

项目开始前，首先要了解汽车工作原理。汽车主要由四个部分组成：底盘、发动机、车身、电气设备。

底盘（图2-14）相当于车辆的骨骼，是车辆主要承重部件，绝大部分汽车零部件都是组装在底盘上。底盘还负责传动、行驶等任务，将发动机的动力传输到轮胎上，保证车辆安全正常行驶。



图2-15 汽油发动机

发动机相当于车辆的“心脏”，是将其他形式能源转化成机械能的设备。目前，家用车辆中常见的汽油发动机（图2-15），是将汽油的化学能转化成车辆的机械能（还有大部分化学能转换成热能）。电动汽车如今发展迅速，它的发动机是电动机，可以直接将电能转换成车辆机械能。

车身是车辆用来装载的部分，也为司机和乘客提供安全保障，以免他们在意外中受到伤害。车身的造型对车辆受到的空气阻力影响很大。车身也是车辆的主要外观，体现车辆艺术风格和文化。车身

是汽车设计的重要内容。

车辆还装备大量电气设备，包括电源系统、起动系统、点火系统、照明系统、信号系统等。



课外实践

拆卸一辆电动玩具汽车，观察玩具汽车各个结构，理解其机械动力机制。

通过了解汽车组成，可以发现当今汽车存在燃油汽车和电动汽车两大类型。目前燃油汽车的优点在于续航能力强，是很多人驾车长途旅行的首选。但在短途行驶中，燃油汽车优势不明显，特别在拥堵路段，车辆经常走走停停，燃油汽车的发动机处于低速运转，工作效率低下。而电动汽车的发动机能一直保持高工作效率，在停车等待阶段甚至可以不消耗电能。因此如果作为上下班通勤使用的汽车，电动汽车可以满足需求而且更加节能。



图2-16 酸雨对环境的影响

从环境保护角度考虑，燃油汽车会排放造成环境污染的尾气，特别是在拥堵路段，由于发动机低速运转，汽油燃烧不充分，大量的污染物排入空气，与降雨、降雪结合，容易形成酸雨，给城乡设施和农作物等带来伤害，如图2-16。燃油汽车还排放微颗粒物，会长期悬浮在空气中，影响人们的呼吸系统。电动汽车在道路上行驶的时候可以达到零排放，不过电动汽车需要的电能在我国主要还是火力发电厂用石油或者煤炭作为燃料生产

出来的，这个过程依然有污染物排放，对环境仍有影响。如果汽车采用太阳能作为动力，则可以解决污染物排放问题。

2.2 设计方案

在了解项目需求和收集相关信息后，确定设计一辆太阳能驱动的汽车，通勤距离20 km，计划通勤速度60 km/h。

首先估算太阳能汽车驱动力情况。目前市场上硅晶体太阳能电池板每平方米发电功率140~150 W，不过这是太阳光垂直照射下的情况。实际上因为太阳角度、天气状况等，太阳能电池板的发电功率往往达不到这个水平，为了估算方便，发电功率按每平方米100 W计算。一

辆汽车可以加装太阳能电池板的面积大约 8 m^2 ，再考虑电动机工作效率为 95%，这样太阳能电池板可以产生的动力为 760 W。经调研发现，目前一辆电动汽车质量 1~2 t，项目决定以 1.5 t 进行计算。假设滚动摩擦系数为 0.02，取重力加速度为 9.8 N/kg ，则摩擦力大约为 290 N，这样车速不超过 2.6 m/s （约 9.4 km/h ），再考虑空气阻力，速度要更低，显然不符合通勤需求。

提高速度有两个途径：一是减小车身质量，从而减小摩擦力；二是增加蓄电池，收集汽车停放时太阳能电池板产生的能量，增加续航里程。

首先考虑减小车身质量。太阳能汽车相对燃油汽车而言，可以省略内燃机、散热器、排气管、冷却水系统等。可以考虑直接将电动机动力传输给传动系统，车速由电动机直接控制，进一步减少离合器、变速箱、传动轴等组件。还要考虑汽车动力回收系统问题。有无动力回收系统的优缺点见表 2-2。

表 2-2 动力回收系统方案的优缺点

优缺点	无动力回收系统方案	有动力回收系统方案
优点	结构简单，成本低，可靠性高	能回收下坡、制动时的机械能，续航里程增加 10%~30%，减轻机械制动系统负担，延长机械系统寿命
缺点	不能回收下坡、制动时的机械能，仅靠机械制动，制动系统损坏大，容易过热影响制动效果	需要可逆电动机、超级电容器等部件，传动系统、能量收集电路复杂，成本高

动力回收系统须配备可逆电动机，此外因为蓄电池充放电速度较慢，常采用超级电容器来收集可逆电动机产生的电能，还要增加相应的能量收集电路，并必须考虑该电路与太阳能电池板、蓄电池等电路协调性。因此增加动力回收系统大大增加了设计难度，也增加了许多成本。为了简化，本方案将不考虑动力回收系统。这样传动系统中只保留制动与转向系统，如图 2-17。

经调研发现，目前市面上 1.5 t 左右质量的电动汽车车辆，不含电池部分质量大约 1 t。按照本项目方案，可以省略 0.1 t 左右的配件质量，但需要增加的 8 m^2 太阳能电池板质量大约 0.1 t，因此本项目方案中车身质量预计是 1 t。

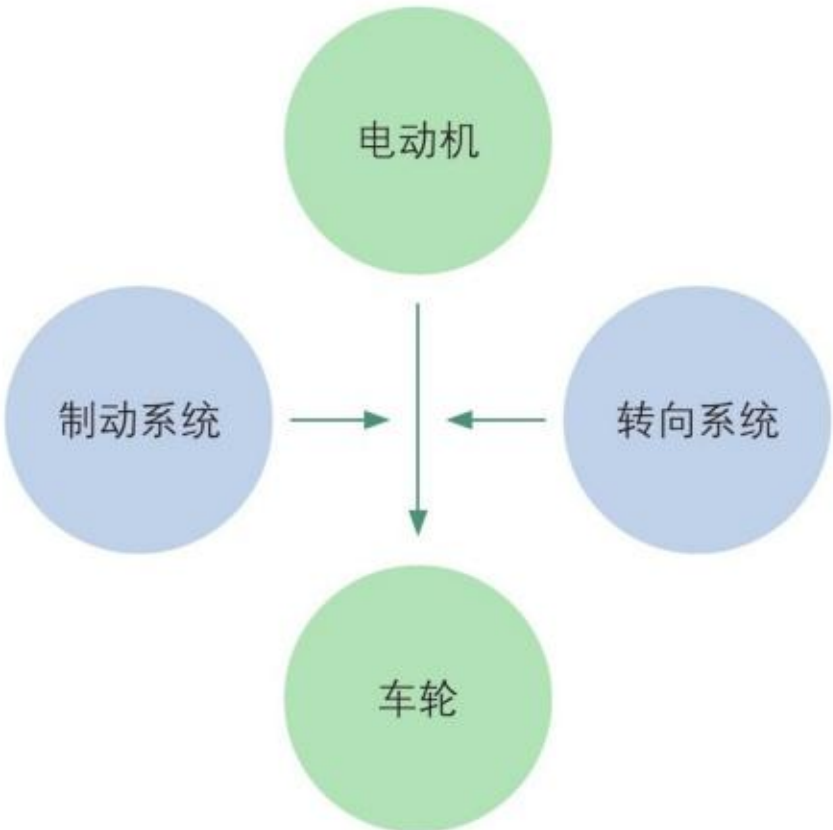


图 2-17 太阳能汽车传动系统组成图

其次考虑增加蓄电池。市场上的电动汽车电池质量达几百千克，这是因为它们要满足较长续航里程。本项目中只要考虑存储停放时间内太阳能电池板产生的能量，满足单程通勤需求即可。按工作8 h计算，停放时间产生的能量约21.9 MJ。目前蓄电池储能密度为0.648 MJ/kg，这样蓄电池质量大约为34 kg。这个质量和车身相比可以忽略不计。

下面讨论方案在能耗与动力方面的可行性。车身质量按1 t计算，滚动摩擦力大约为196 N。假设车速是60 km/h，车横截面积是 2.8 m^2 ，空气阻力系数为0.35，空气密度取 1.29 kg/m^3 ，则由（第一章第5节）公式（1-1）可得空气阻力约为176 N，和摩擦力相当。通勤距离为20 km，则需要能量7.44 MJ。停放时间产生的能量是21.9 MJ，考虑蓄电池电路效率为95%，电动机效率为95%，则太阳能汽车可以提供动力的能量为19.8 MJ。显然该方案可以满足项目需求。考虑到本方案中没有动力回收系统，蓄电池富余的能量将用于上坡、拥堵时加减速等方面的消耗。动力方面，车辆时速为60 km时，消耗功率6.4 kW，考虑上坡、加速等因素，应该选用7.5 kW规格的电动机。

因此，本项目的方案是通过精简车辆动力和传动系统，减小车身质量，增加一个34 kg左右的蓄电池，用于收集车辆停放时太阳能电池板产生的能量。太阳能汽车动力系统框架如图2-18。当车辆停驶，由太阳能电池板通过充放电控制电路对蓄电池充电。当车辆行驶，由太阳能电池板和蓄电池通过充放电控制电路共同驱动电动机。当车辆行驶，由太阳能电池板和蓄电池通过充放电控制电路共同驱动电动机。

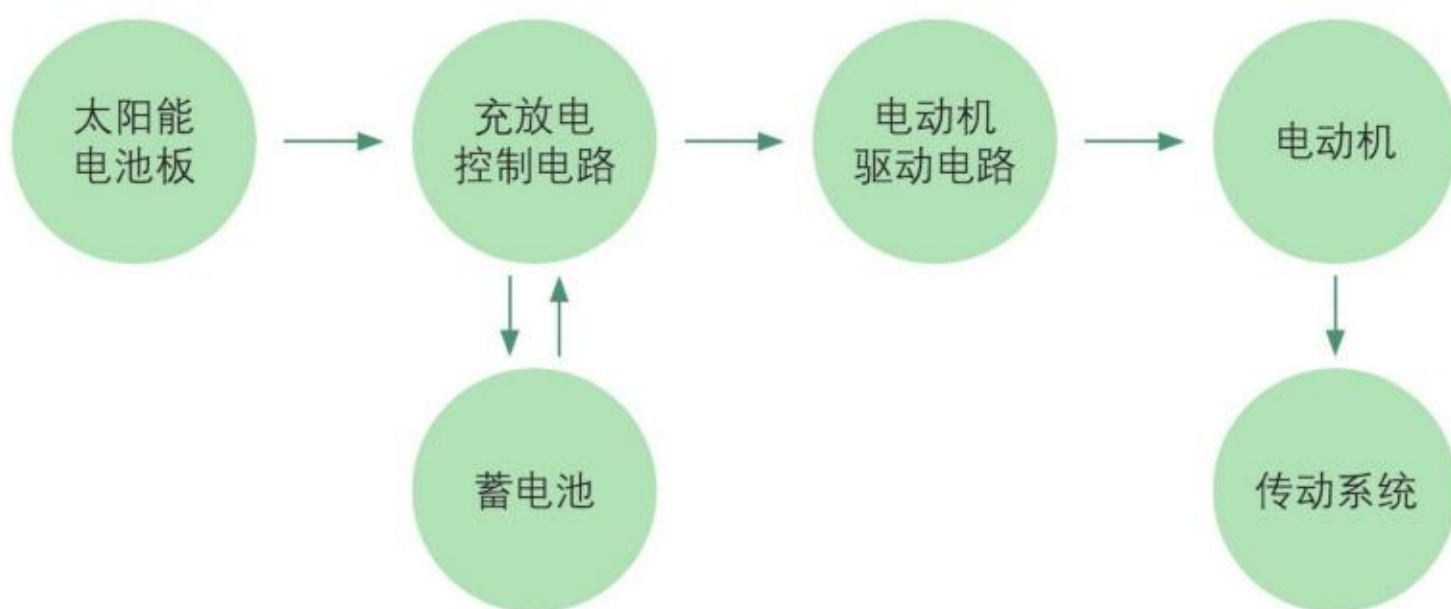


图2-18 太阳能汽车动力系统框架图

实践 & 练习

1. 依据本地区具体条件，考察一种交通工具，了解其能源与动力、机械与结构、节能与环保等方面的原理。
2. 将一辆电池供电的玩具汽车改装成太阳能电池板供电，给出设计方案，并比较各种方案优缺点。需要注意，电动玩具汽车型号较多，在不改变汽车动力性能情况下，需要考虑增配的太阳能电池板的大小、是否配置蓄电池等因素。

第 3 节 飞行器设计



学习目标

1. 理解空气动力学原理。
2. 了解常见飞行器结构。
3. 初步掌握一种飞行器的简单设计和制作方法。

在古代，人们看到鸟儿在空中自由飞翔，于是萌生了像鸟儿一样可以飞天的想法，并进行了许多尝试，但由于不懂飞行器工作原理，这些尝试都失败了。经过了漫长的探索，人类才开始打破重力的束缚，自由翱翔在蓝天上。本节将通过无人机设计，介绍空气动力学原理，说明常见飞行器结构，并展示一种飞行器的简单设计和制作方法。

3.1 项目需求与信息收集

一、项目需求

2017年5月5日，中国自主研发的喷气式大型客机C919(图2-19)在浦东机场成功试飞，标志着我国民用飞机研发技术实现集群式突破，成为世界上少数几个拥有研制大型客机能力的国家。C919采用了一系列先进技术和材料，保证飞机舒适性、安全性和可靠性。包括大型客机在内的飞行器研制涉及流体力学、固体力学、计算数学等多门学科知识，不过最基本的原理是空气动力学。在各种各样的飞行器中，无人驾驶飞行器（以下简称无人机）目前在救灾、测绘、农业、媒体拍摄等领域发展迅速。某学校为报道校庆活动，计划设计一部滞空时间达到20 min以上、可以进行直播的无人机。



图2-19 C919大飞机

二、项目信息收集

设计直播无人机，首先要了解几类飞行器的基本工作原理。

所有物体都受到重力作用，离开地面飞行就要产生向上的力来抵抗重力。常见的飞行器有固定翼飞机、直升机和火箭，其具体的工作原理各不相同。

固定翼飞机是由于飞机飞行时，上下空气相对飞机的运动速度不同，产生对飞机的升力。根据伯努利方程可知，流体在运动时，压强和流速相关，流速快的地方压强小，流速慢的地方压强大，如图2-20。如果飞机外形设计恰当，飞机在飞行时，飞机上方的空气相对飞机的流速较快，而下方的流速较慢，飞机下方空气有相对大的压强，飞机获得升力，抵抗重力，从而飞向蓝天。

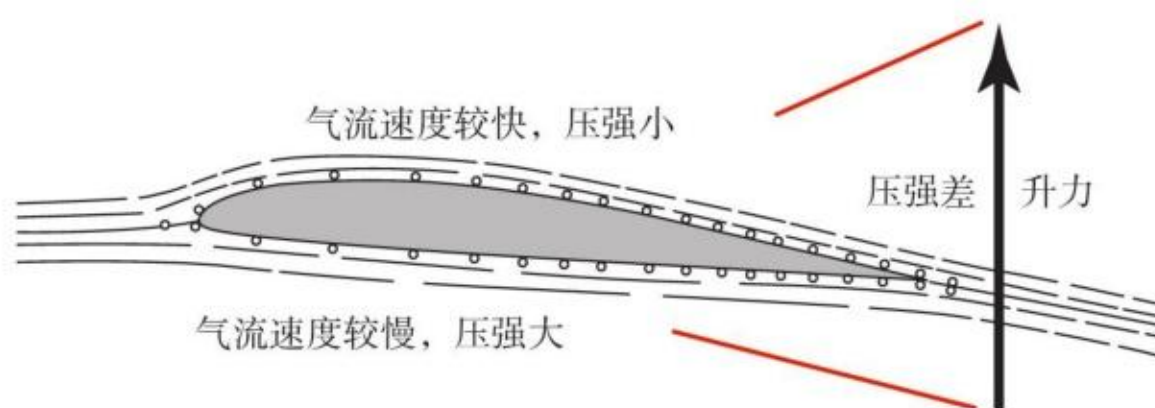


图2-20 伯努利方程解释飞机升力



拓展阅读

不仅在飞机上可以体现伯努利方程，生活中也可以看见这种现象。比如在地铁进站时，靠近地铁的空气被带动，压强减小，靠近地铁站立的乘客会受到一个向地铁的力，如果不注意就可能被推向地铁，所以乘客被要求在等候时要保持安全距离。另一个例子就是足球运动中的“香蕉球”。运动员将足球踢向球门，故意让足球高速旋转，这样足球两边的空气相对足球流速不同，就会产生一个力，从而改变足球运动方向，如图2-21，让守门员难以判断进攻方向，提高射门成功率。

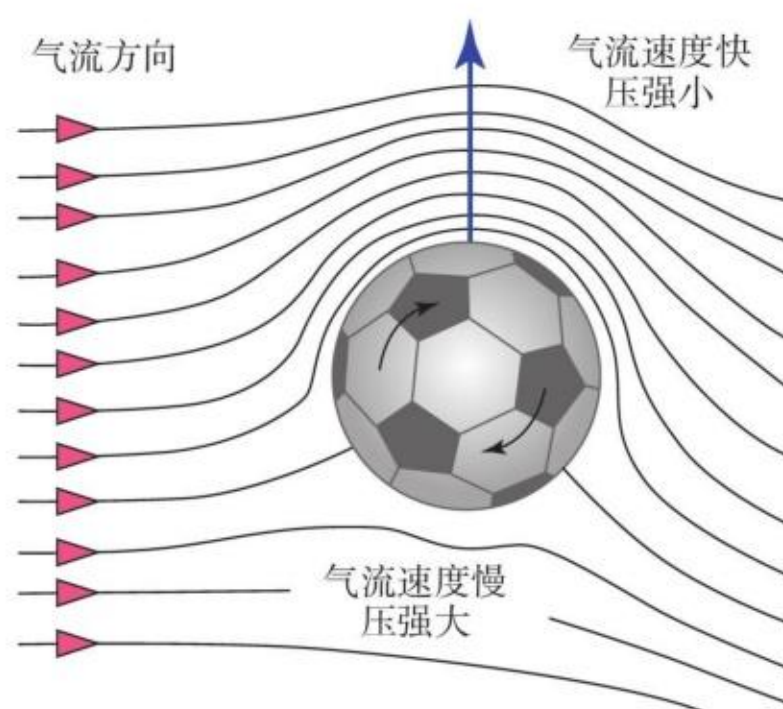


图2-21 伯努利方程解释“香蕉球”

设计固定翼飞机不仅要考虑如何获得升力，还必须考虑让空气阻力产生的气压中心点落在重心正后方（见第一章第5节），这样飞机在水平方向上才能保持稳定。这就要合理布局机翼，增加尾翼等。



设计 & 操作

纸飞机是利用空气升力进行飞行的。开展纸飞机飞行实验，对纸飞机结构进行优化，延长纸飞机的滞空时间。

直升机（图2-22）则和电风扇原理相同，通过快速转动的旋翼将空气压向地面，从而获得升力。为了产生较大升力，旋翼需要高速旋转，达到每分钟几百甚至上千转。高速旋转的旋翼具有很大的角动量，根据角动量守恒定律，直升机机身可能发生旋转。增加尾桨可以抵消该角动量，同时还能控制飞行方向。也可以配备多个对称旋翼，如图2-23，两旋翼旋转方向不同，相互抵消角动量，避免让机身发生旋转。直升机由于存在高速旋转部件，对制作材料要求很高；飞行时旋翼上方空气运动非常复杂，给飞机设计带来挑战；旋翼高速旋转消耗更多能量，所以飞行距离和飞行速度也小于固定翼飞机。但直升机的优点是起飞不需要滑行，对机场依赖少，适合在各种地形下使用，可以实现悬停等动作。



图2-22 直升机



图2-23 双旋翼直升机

火箭则是通过燃烧自身携带的推进剂，从尾部喷出气体，产生升力，如图2-24。根据这个原理，火箭飞行可以不依赖空气在太空飞行。火箭的飞行速度不仅与燃气喷射速度有关，还和推进剂质量相关。因此合理选择推进剂类型，计算携带推进剂数量是火箭设计的一个主要问题。火箭设计不仅要考虑升力，还要考虑保持稳定性。在空气中飞行的火箭有两个途径保持稳定。一个是利用空



图2-24 火箭发射

气阻力来提高稳定性，方法是增加尾翼，将气压中心点移到火箭尾部，在火箭重心正后方；另一个是飞行中适当调整尾翼形状和方向，纠正火箭飞行姿态。如果有多个喷嘴，还要调整这些喷嘴的喷射量，达到控制火箭姿态的目的。

3.2 设计方案

在了解项目需求和收集相关信息后，可以开始方案设计。

考虑到直播时需要悬停功能，设计方案决定采用旋翼无人机。如上所述，旋翼会产生很大的角动量，需要采用额外措施消除这个角动量，这个措施决定了旋翼无人机主要结构。常见的旋翼无人机结构有单旋翼、共轴双旋翼和对称多旋翼等。通过调研，对比出三种常见的旋翼无人机的优缺点，见表2-3。

表2-3 三种旋翼无人机的优缺点

优缺点	单旋翼	共轴双旋翼	对称多旋翼
优点	结构简单，旋翼工作效率高，载重、续航性能好	旋翼工作效率高，容易操控，动作灵活，载重、续航、抗风性能好	结构较为简单，零部件市场化程度高、成本低，容易操控，动作较为灵活
缺点	需要增加尾舵，影响机体尺寸，飞行控制系统复杂，难以操控，动作灵活性差	对传动轴要求高，上下旋翼气动布局要求高，成本高	旋翼工作效率低，多旋翼需要工作空间较大，载重、续航、抗风性能差

旋翼工作效率和旋翼尺寸有关，尺寸越大，工作效率越高。单旋翼和共轴双旋翼可以充分利用无人机上方空间，增加旋翼尺寸，所以效率较高，从而提高无人机载重、续航等能力。共轴双旋翼几乎可以完美消除旋翼产生的角动量，比单旋翼更容易操控，但传动轴需要同时带动上下旋翼进行不同方向旋转，对传动轴加工有很高要求，导致成本大大增加。此外上下旋翼气动会互相干扰，也需要大量时间进行研究和优化。对称多旋翼为了防止各个旋翼互相干扰，必须保证旋翼之间有一定距离，旋翼越多，所需工作空间越大；或者缩短旋翼尺寸，从而会降低旋翼工作效率。但是对称多旋翼无人机零部件市场化程度高，技术比较成熟，成本最低。综合上述各种因素，本项目计划采用对称多旋翼结构。

为了增加旋翼个数提高无人机稳定性，同时控制机身质量和工作空间，本项目计划采用最简单的对称多旋翼结构——四旋翼结构，

如图2-25，这样就确定了旋翼数量。

下面考虑旋翼类型选择。旋翼由电动机和桨叶组成，不同类型的电动机和桨叶质量相差不大，但不同类型旋翼产生的升力和消耗的功率却不同。另外，通常设计原则是总升力大于等于重力2倍以上，这样多余的升力可以用于爬升、控制姿态、抵抗微风等动作。

表2-4中罗列了市面上一些四旋翼无人机的升力、功率等参数，其中单个旋翼质量都为0.35 kg，蓄电池储能密度为0.648 MJ/kg，滞空时间均能达到20 min。根据滞空时间要求，可以计算出需要的总能耗（总能耗=4×滞空时间×旋翼功率），确定需要的蓄电池质量（蓄电池质量=总能耗/蓄电池储能密度），从而确定系统质量。取重力加速度为9.8 N/kg，可计算获得无人机的重力，最终确定升力重力比（即升力/重力）。



图2-25 四旋翼无人机

表2-4 旋翼参数

旋翼类型	升力 / N	功率 / W	总能耗 / MJ	蓄电池质量 / kg	系统质量 / kg	重力 / N	升力重力比
1	10.8	96	0.46	0.71	2.61	25.6	1.69
2	18.0	192	0.92	1.42	3.32	32.6	2.21
3	23.0	288	1.38	2.13	4.03	39.5	2.33
4	28.2	384	1.84	2.84	4.74	46.5	2.42
5	35.8	576	2.76	4.27	6.17	60.4	2.37

注：市场上的旋翼升力常以kg为单位，需要乘以重力加速度获得升力。

总体上第1种类型不满足要求，最佳的是第4种类型。不过考虑到第2种类型也满足要求，而且质量轻巧，容易携带，项目最终考虑采用第2种类型。

? 实践 & 练习

1. 依据本地区具体条件，考察一种飞行器，了解其结构和相关的空气动力学原理。
2. 目前市场上对称多旋翼的旋翼个数通常为4、6、8等偶数个。请结合所学知识思考并讨论2个旋翼是否能让无人机工作，3、5、7等单数个旋翼的无人机是否可以工作。

第 4 节 医疗器械设计

学习目标

1. 了解医疗器械分类和重要价值。
2. 初步了解常见医疗器械涉及的科学、技术、工程和社会等方面问题。
3. 体验应用结构、电子、控制、系统等相关专业知识设计一种医疗器械。

针灸、刮痧、拔罐等是我国中医常用的治疗疾病的手段，它借助针、刮痧板、火罐等医疗器械在特定人体部位作用形成疗效。医疗器械与人民健康密切相关，人民健康是民族昌盛和国家强盛的重要标志。本节将通过医疗器械设计，介绍医疗器械分类和重要价值，分析常见医疗器械涉及的科学、技术、工程和社会知识，展现多学科知识综合运用。

4.1 项目需求与信息收集

一、项目需求

现代医疗技术离不开医疗器械。小到手术刀、注射器，大到伽马刀（图2-26）、核磁共振设备，医疗器械在疾病诊断、治疗方面都起到不可替代的作用。在医疗器械帮助下，人类治愈了许多疑难杂症，延长了平均寿命，提升了生活质量。



图2-26 伽马刀设备

血压是身体健康的重要指标，血压计（图2-27）是生活中常见的医疗器械。经常监测血压对于高血压患者非常必要。尽管医院和社区提供了不少测量血压的设备，但对于一些血压不稳定，可能在某个时刻会突然出现血压异常，影响健康甚至危及生命的人群而言，还是希望可以一天24小时随时检测血压，给自己预警。为此项目计划设计一个小巧的电子血压计。



图2-27 常见的血压计

二、项目信息收集

考虑到医疗器械与人体健康、生命息息相关，我国根据其安全性、有效性对医疗器械管理进行了分类。

第一类是通过常规管理就可以保证其安全性、有效性的医疗器械。这类器械包含一部分外科手术刀具（图2-28）、医用听诊器、创口贴、绷带、导引器、夹板、采血笔、氧气吸入器、牵引器、火罐、刮痧板、医用超声波清洗器等。这些器械人们在生活中常见，不需要特殊培训也能正常使用，售卖时也不需要许可和备案。



图2-28 外科手术刀、组织钳等

第二类是具有中度风险，需要严格控制管理以保证其安全性、有效性的医疗器械。这类器械有血压计、体温计、透视摄影X射线机、显微镜、生化分析仪器等。第二类中也有一些是人们在生活中常用的，比如体温计、血压计，这些医疗器械风险不大，不过如果使用不当，会得到错误信息，影响对身体健康的判断。这类器械售卖采取备案制度。

第三类包含一些植入人体的，或者用于支持、维持生命的器械，这些器械潜在风险大，有必要对它们实施严格监控。此类中有注射

器、输液连接管路、体外除颤设备、急救用呼吸机、一部分彩超影像诊断设备（图2-29）、激光手术设备等。这类器械售卖需有相关部门许可。

医疗器械对判断病情、治疗疾病有着重要作用。以判断病情为例，我国传统医学采用“望”“闻”“问”“切”等方式判断病情，取得了巨大成就，通过大量实践建立了独特的中医体系，不过对一些症状的描述并不能形成精确记录，同时记录的信息内容也十分有限，对医疗经验共享、病情诊断造成一定影响，对医生个人能力、经验提出很高的要求。例如：如果没有体温计，无法获得体温信息，只能依赖个人对温度的敏感度来判断是否高热；没有血压计，无法获得血压信息，也就无法建立血压与人体健康关系的规律，自然就无法发现高血压病。

借助医疗器械，现代医学技术发展迅速，实现了人体器官移植、断肢再植等以前被认为是幻想的手术。得益于人体健康参数的准确采集，医疗系统积累了大量数据，借助于大数据技术，人工智能辅助诊断已在一些地区应用，机器人（图2-30）也能进行一些手术操作。总之医疗器械对人类的健康福祉发挥着越来越重要的作用。



图2-29 彩超影像诊断设备



图2-30 手术机器人

血压测量方法和测量导管中液体压力方法类似。最初人们是在动脉打开缺口，外接导管，通过测量导管压力获知血压。但这种方法要通过手术，并且有创伤，不能用于日常血压测量。目前常用的血压测量方法是听诊法，通过测量肱动脉血压来反映中心动脉血压。它的工作原理，如图2-31，首先通过外部压力挤压肱动脉，用听诊器查看动脉产生的声音。当肱动脉被挤压到完全断流，听诊器中就完全没有了声音。然后缓慢减小压力，当听诊器开始听到声音时，这时对应动脉收缩压。继续减小压力，肱动脉血液流量增加，听诊

器听到的声音会越来越大，达到一个极值后声音强度会缓慢下降，直至听到很平稳、较正常的脉搏声，这时对应动脉舒张压。听诊法是间接测量血压的方法，准确度不如创测量法高，但它使用方便，是目前常用的血压测量方法。

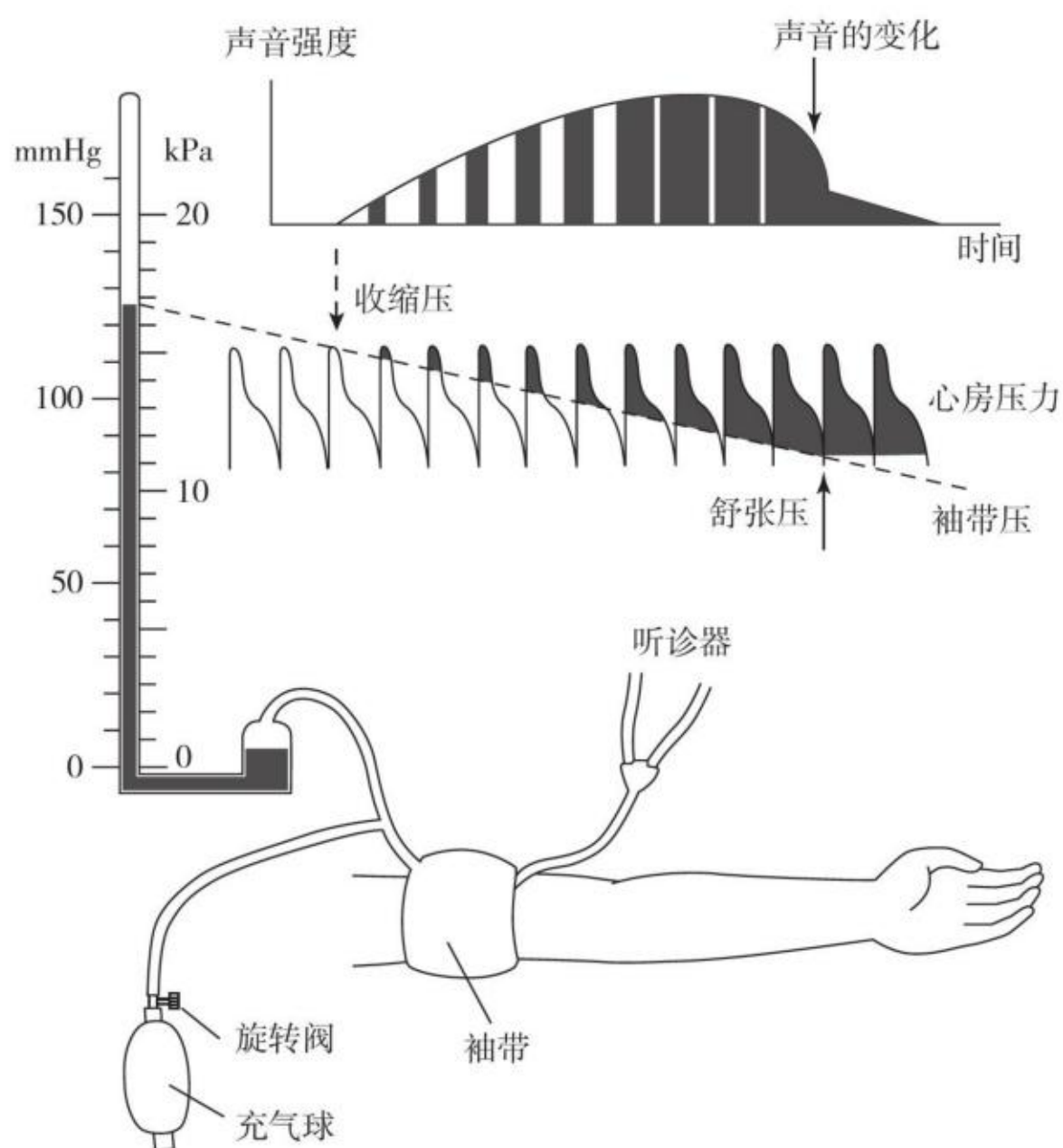


图2-31 听诊法

另外一种常用的血压测量方法是示波法，是电子血压计常用的工作原理之一。与听诊法类似，示波法也是通过挤压肱动脉，观察血液流动情况。不同的是示波法记录的是动脉血管内血压的波动变化，而不是动脉中血流发出的声音。因为示波法要记录的数据量大，通常需要电子化设备采集数据。

听诊法和示波法一般测量臂膀处肱动脉的血压，目前也有测量手腕处桡动脉的电子血压计。在手腕处测量比在手臂测量方便许多，但部分人群的桡动脉血压与中心动脉血压差比肱动脉的更大一些，因此桡动脉血压测量准确性相对较低，需要对桡动脉血压测量结果进行校正。

实践 & 练习

1. 考察本地区医院中的一部医疗设备，了解其分类、价值以及所涉及的科学、技术、工程、社会等知识。
2. 和同学一起使用水银血压计测量血压，查看测量结果，理解经验对听诊法的重要性。

4.2 设计方案

在了解项目需求和收集相关信息后，可以开始方案设计。

根据项目需求，首先要确定血压测量方法。表2-5显示了常见的三种血压测量方法的优缺点。

表2-5 三种血压测量方法比较

优缺点	肱动脉听诊法	肱动脉示波法	桡动脉法
优点	原理与传统水银血压计方法相同，可以借鉴传统经验，设备能较快完成校正程序	测量分析压力信号，频率较低，对测量电路以及数据处理等要求较低	在手腕处测量，不受衣着影响
缺点	需要测量、分析振动（声音）信号，频率较高，对测量电路以及数据处理等要求较高	不能借鉴听诊法的经验，设备需要较长时间完成校正程序	可能需要进行校正，需要桡动脉与肱动脉对应的数据库支持

通过比较这三个方案，可以发现桡动脉方案最难实现，因为桡动脉与肱动脉的差别因人而异，甚至同一个人在不同情况下差别也很大，目前这方面数据还不完善，这样测量结果就会有较大差异，所以决定不予采用此种方案。肱动脉听诊法测量脉搏振动信号，由于人体差异，振动频率也存在差异，因此需要较为复杂的测量电路，数据处理要求较高，增加了设计难度。肱动脉示波法测量的是压力信号，而不是传统方法中的声音信号，需要新的公式对测量的压力信号进行处理。不过目前已经有许多文献报道相关处理算法，项目可以借鉴这些文献，完成相关计算。电子血压计研制完成后，还可以通过水银血压计进行校正，进一步提高血压测量准确度。因而项目最终决定采用肱动脉示波法。

肱动脉示波法测量血压，需要充气泵产生压力充入袖带挤压肱动脉，压力传感器测量脉搏压力并转换成电信号，再通过滤波放大器放大输入单片机中，还必须有外围按键电路，用来进行操作。此外需要显示器显示测量得到的血压，另外针对老人视力差等问题，需增加语音播报系统。

所设计的电子血压计工作流程为：（1）开机，进行系统初始化；（2）开始测量，驱动充气泵，迅速增加袖带压力，挤压肱动脉直到动脉脉搏完全消失；（3）按3~5 mmHg/s 速率放气，监测脉搏，直到完全放气完成；（4）通过数据处理获得收缩压和舒张压；（5）为提高测量精度，再重复测量两次，取平均值；（6）结果输出到显示器，同时进行语音播报，测量结束。

压力传感器测量到的信号是充气后袖带压强与脉搏压强的叠加，袖带压强从0变化到160 mmHg左右，而脉搏压强最大也只有几个毫米汞柱。用来判断收缩压和舒张压的脉搏信号最弱，为此需要在探测精度上提高要求。项目希望能探测到0.1 mmHg变化，这意味着压力传感器必须达到约 $0.1/160=0.0625\%$ 相对精度。这不仅要求压力传感器和滤波放大器具有较高信噪比，还要求单片机中的模数转换器（ADC）具有较高位数，可以计算 $\log_2(160/0.1)=10.6$ ，也意味着必须选用至少具有16位ADC的单片机。（单片机中ADC通常都是8、16、32位等类型。）

除了硬件要求，还必须通过软件处理获得脉搏信号。考虑到充气泵以恒定速度放气，压力曲线是一条直线叠加脉搏信号。人的脉搏基本上是周期信号，频率为1 Hz以上，可以通过数值滤波方法分别获得心率信号和充气泵压力，再经过数值处理程序获得收缩压和舒张压。电子血压计结构框架如图2-32。

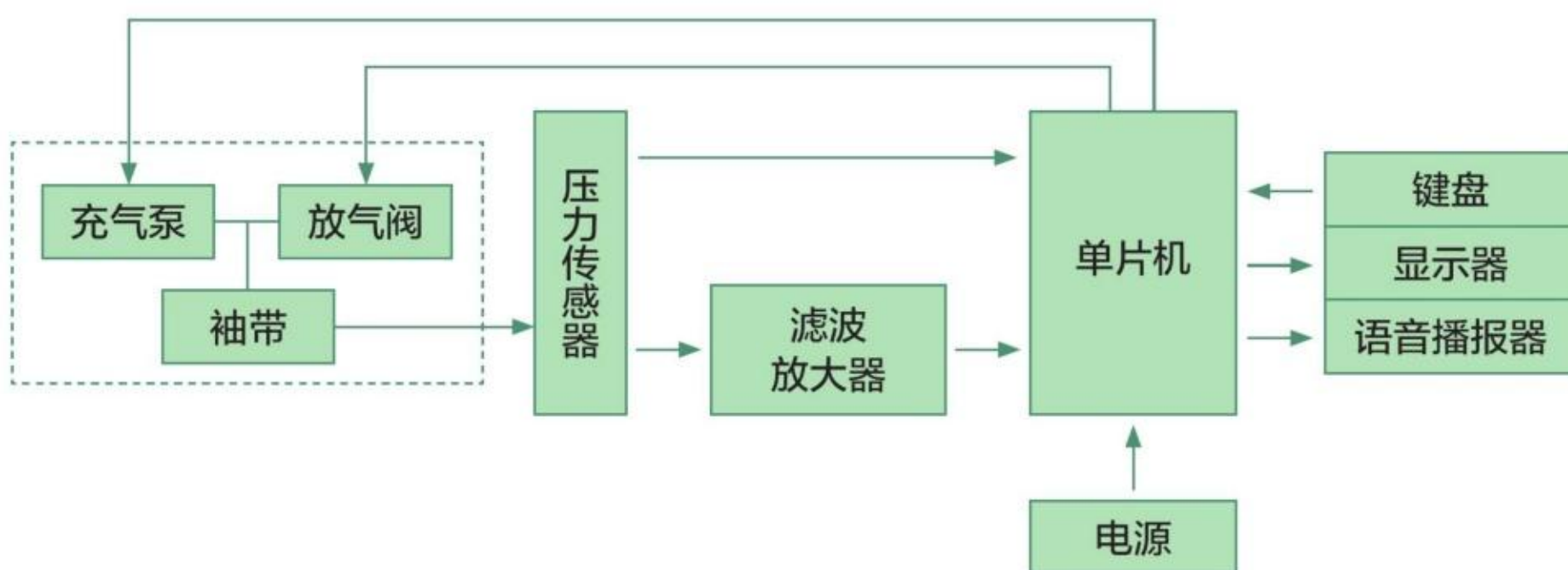


图2-32 电子血压计结构框架图



设计 & 操作

采用逆向工程法研究市面上一种电子血压计，获得其工作原理和结构框架图，并依据个人具体需要，进行个性化改装。

第 5 节 矿山工程设计

学习目标

1. 理解矿山地面工程、地下工程之间协同性。
2. 了解矿山工程设计中涉及的科学、技术、工程、数学和社会等方面问题。
3. 体验相应工程结构设计和测试。

“千淘万漉虽辛苦，吹尽狂沙始到金”描述了古代淘沙取金的辛苦和收获。采矿活动为人类社会提供了大量的物质基础，例如各种金属、燃料、岩石等资源。本节将通过矿山工程设计，介绍矿山地面工程、地下工程的协同性，以及其中相关的科学、技术、工程、数学和社会等方面问题，并展示相应的工程结构设计和测试。

5.1 项目需求与信息收集

一、项目需求

矿山为人类提供各种各样的资源，是人类社会发展的重要原材料基础。但矿山本身是不可再生资源，许多矿山一旦开采完成，就被闲置和废弃。因此节约矿山资源、提高矿山工作效率、降低采矿成本是矿山工程设计的主要内容。要达到这些目的，需分析矿山的各个组成部分，观察它们之间协同性规律，找到背后存在的问题，最终获得安全、高效的生产方案。现在假设某矿山有主、副矿井各一，需要进行规划，实现协同生产。

二、项目信息收集

首先来了解矿山工程的主要组成以及它们的协同性。

以煤矿为例，煤炭生产流程图如图 2-33。



图 2-33 煤炭生产流程图

首先是在地下利用掘进设备、采矿设备开采矿石，通过地下井巷（图2-34）将矿石运输到矿井底部，接着由绞车（图2-35）等提升设备将矿石输送到地面，然后再运输到选厂（图2-36）进行加工。选厂将矿石按各种成分进行分类、分离，获得精矿（即煤炭成分富集的产品），最后将产品运出矿山。

除了开采、运输、提升、加工等生产系统，矿山还需要通风、排水等系统。地下环境恶劣，空气不适合劳动生产，需要建设通风系统，为地下作业工人送去新鲜空气，并把地下有害及易燃易爆气体迅速带走。矿井深度常达几百米，甚至上千米，在开采过程中，会有各种来源的水不断涌入矿井中，不仅会影响生产，还会威胁地下作业工人健康和安全，需要排水设备将水及时排送到地面。此外，还需要在地下建设一些硐室（图2-37），用来存放地下作业设备、材料，供工人休息，并在发生危险时作为地下作业工人避难场所。



图2-34 井巷



图2-35 绞车



图2-36 煤矿选厂

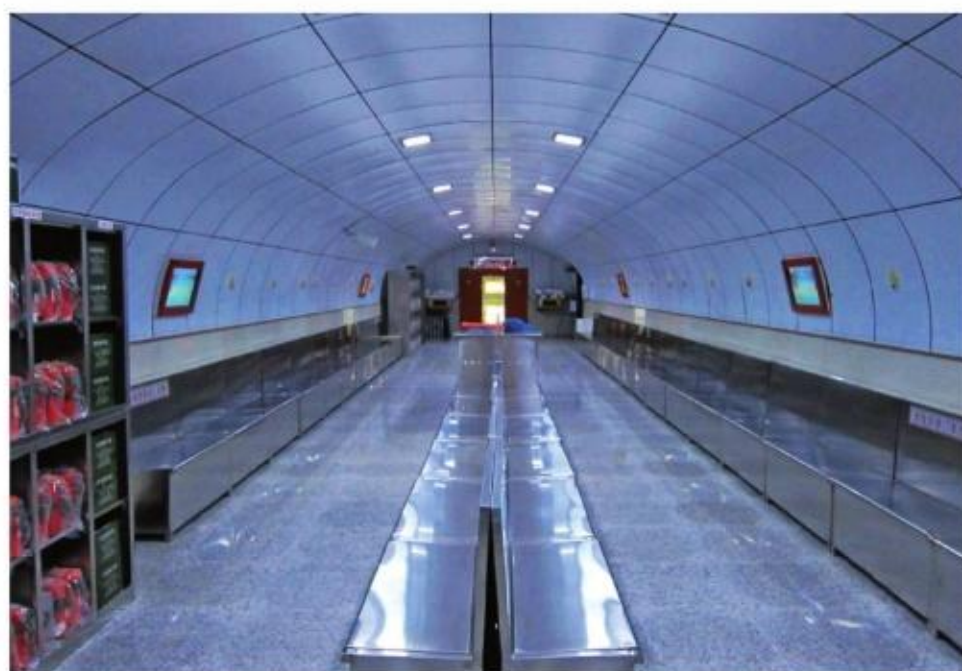


图2-37 硐室

可见煤矿生产具有非常复杂的系统，需要许多设施、设备。但从工程建设角度，总体可以将矿山工程分成地面和地下两部分。地面工程主要包括矿用机械设备及设施，例如选厂、井塔（图2-38）、绞车、通风机（图2-39）、压风机（即空气压缩机）等。地下工程主要包括井巷、硐室及部分安装工程等。工程建设时，不仅要每个工程自身角度进行优化，还要考虑到每个工程和其他工程之间的协同性。



图2-38 井塔



图2-39 通风机

例如，选厂设计要充分考虑矿山开采能力，同时选厂的位置要尽可能靠近矿井，减少地面运输成本。再例如，井巷不仅是地下矿石运输通道，也是地下通行、通风的重要部分。井巷设计除了要考虑井巷所在位置的地质情况、矿石运输量需求，还要依据地下井巷网络结构，合理设置避难硐室个数、位置，确保避险人员在最短时间内可以进入硐室避难。巷道布置对通风性能有很大影响。通风网络各个支路的通风阻力必须合理搭配，否则通风阻力较小的支路会占用大部分通风量，影响通风阻力较大的支路通风。依据井巷形成的通风网络特点，合理布置通风口，选择合适的通风机，才能得到理想的地下通风效果。

矿山工程设计不能仅以提高效率为目标，而应多考虑安全生产。矿山重大事故不仅可能直接造成地下作业工人伤亡，让受害者家庭承受重大精神、物质伤害，也会对其他工人及其家属产生重大心理影响，引发畏惧、逃避、抵触等情绪，从而对矿山安全、有效生产造成影响。矿山重大事故也会引起社会民众恐慌，对社会稳定造成一定影响。因此矿山工程设计要优先设计合理的通风系统、应急救援系统等，确保安全生产。

矿山工程设计也要充分考虑建筑美学。矿山通常地下环境恶劣，缺少阳光、照明，容易让人产生抑郁情绪；地面环境也可能不

佳，地理位置较偏僻，交通不便，配套设施落后，工人生活比较单调。这些因素也会影响工人情绪，从而影响生产。矿山工程设计时可以充分结合一些美学因素，提振工人情绪。例如，优化厂区布局，增加矿山绿化，设计造型优美的地面工程建筑，为建筑外表选择明亮色彩，增加霓虹灯装饰等，让长时间身处地下的工人在出矿井后，感受到美好的生活气息，进而实现更安全、更有效的生产。

实践 & 练习

生活中有许多事无法由一个人独立完成，而要多人组成团队进行。考察生活中的相关事例，例如团队游戏等，了解其中的协同性问题。

5.2 设计方案

在了解、收集相关信息后，考虑项目的主要工程设计。首先考虑地下工程。矿石开采经常受到地质条件、设备工作情况等影响，产出速度不稳定，运输和提升系统需要作业的工程量也会随之变化。要使采掘产出速度快，需要设计较大的井巷和较大提升能力的提升系统。但当采掘产出速度降低时，井巷运输和提升系统的能力就会闲置，造成资源浪费。可以考虑在地下增加一个临时仓库，当采掘产出速度较高时，将无法运出地面的矿石存储在临时仓库中。但增加临时仓库也有缺点，例如需要配备额外的仓库设施，此外还增加了一次作业流程，增加了生产流程复杂程度。表2-6是增加地下临时仓库方案优缺点。尽管从节约成本角度看，增加地下临时仓库更好，但考虑到井巷是通风网络的一部分，更大的井巷可以改善通风环境，为地下工程进一步开拓延伸提供发展空间，而更大提升能力的设备也可以在应急救援中发挥更好作用，所以本项目在地下工程部分不设置临时仓库，直接按最高产出速度设计井巷和提升系统。

表2-6 增加地下临时仓库方案优缺点

优缺点	增加地下临时仓库	不增加地下临时仓库
优点	减小井巷运输、提升设备工作压力，降低地下工程建设成本	简化生产流程，更大的井巷降低通风系统压力，更大提升力的设备可以在应急救援中发挥更好作用
缺点	需要额外建设仓库，配套相应仓库设施；增加一次地下作业，增加了生产流程复杂度	需要较大的井巷、更大提升能力的设备，增加地下工程建设成本

选厂设计也受到采掘产出速度不稳定的影响。如果也按照最高产出速度设计，将会给选厂增加许多成本。可以增加地面临时仓库来解决这个问题。建设地面仓库的成本相比地下的要低很多，除了增加一次地面作业，没有其他影响。因此项目决定在地面建设临时仓库，根据两个矿井平均产出速度设计选厂加工能力。按这个方案，设计的矿山工程结构如图2-40。

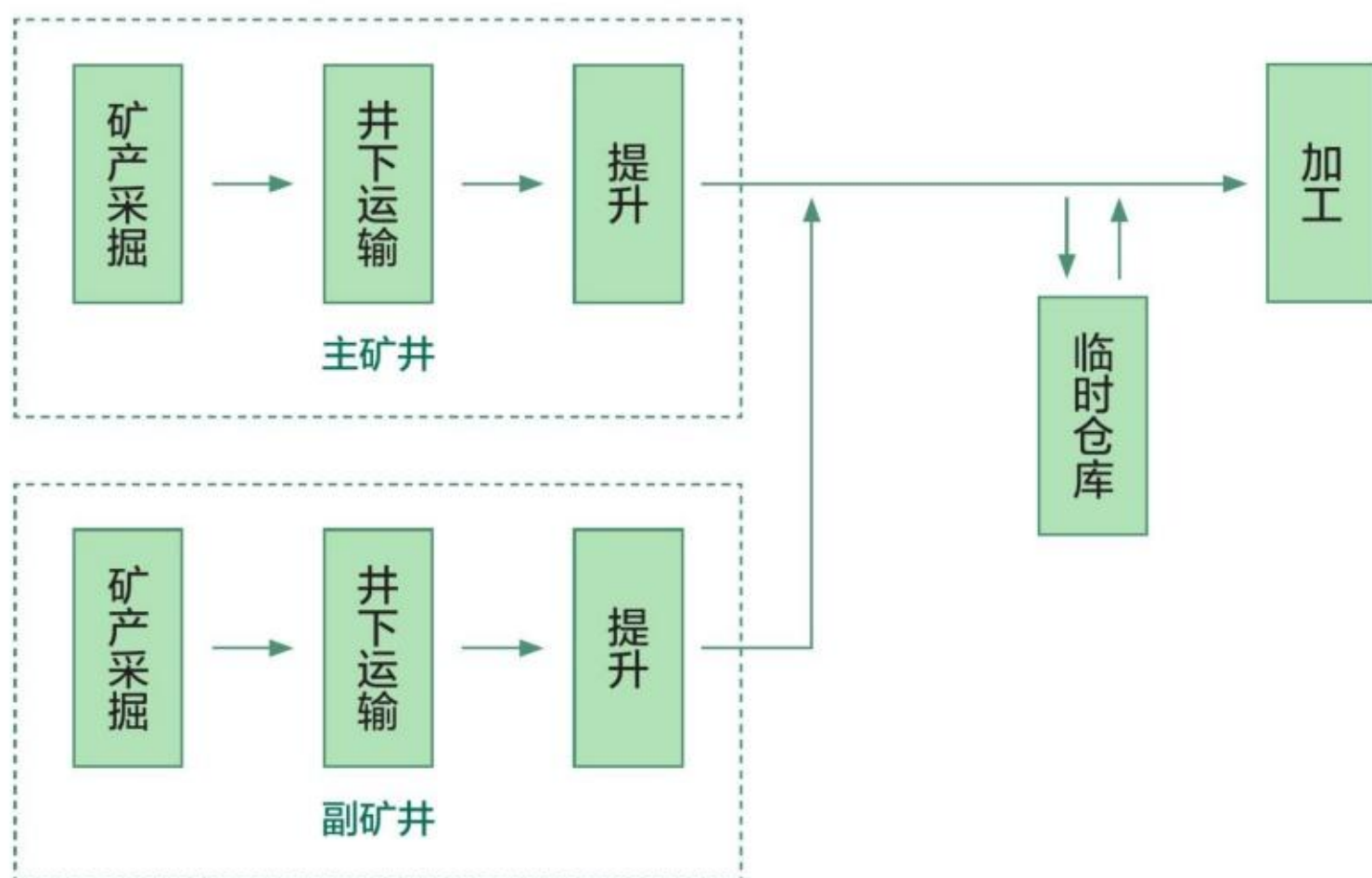


图2-40 矿山工程结构图

经过调研发现，主矿井生产能力是每年600 000 t，副矿井生产能力是每年450 000 t，每年生产300 d，每天10 h。可以计算出主、副矿井每小时产出分别是200 t和150 t，所设计的选厂加工能力应为350 t。现模拟两个矿井产出随机波动，估测地面仓库需要设计的最大容量，以及选厂设备闲置情况。

随机波动可以用掷骰子产生，骰子1到6分别代表矿井当前产出是平均产出的85%、90%、95%、105%、110%、115%。用两个骰子模拟两个矿井产出波动。如果产出大于选厂加工能力，则将多余部分存入临时仓库。如果产出小于选厂加工能力，则从临时仓库提出库存补足。如果临时仓库库存不够，则造成选厂加工能力闲置，记录本次选厂闲置资源（即不足的矿石质量）。每组进行3 000次掷骰子实验（即一年工作时间），记录临时仓库出现的最大库存，并将3 000次中每次选厂闲置资源进行累积求和，代表选厂一年的闲置资源。

实验结果见表2-7。总体上，最大库存不超过10 000 t，可以设计临时仓库为10 000 t。此外可发现选厂闲置资源最多约8 000 t。不

过每组实验只按一年时间进行，如果延长实验时间，即上一年度库存可以在下一年度加工，那么选厂闲置资源将会被进一步减少，所以选厂闲置率对方案影响不大。由此，本项目方案基本实现了矿山工程协同生产。

表2-7 地面仓库容量和选厂设备闲置实验结果

单位：t

一年的闲置资源	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	第6组
最大库存	3 930	8 570	4 200	2 900	6 440	3 310
累计选厂闲置资源	2 740	890	3 290	6 080	2 620	7 460

实践 & 练习

- 1. 考察本地区矿产资源，了解矿山地面、地下工程之间协同性。
- 2. 通过实验研究矿井产出波动加大、矿井数量增加对临时仓库容量需求的影响。



本章小结

本章通过五个具体工程项目，演示了综合运用科学、技术、工程、数学、艺术、社会等多学科知识、方法和技能进行设计的过程。通过本章学习，同学们可以初步掌握和应用具体领域相关理论知识，了解结构与功能、权衡与优化、设计与创新等技术思想与方法，进一步提高科技人文融合创新能力。

本章学习评价表

学科核心素养代号：① 技术意识；② 工程思维；③ 创新设计；④ 图样表达；⑤ 物化能力。

课程目标/ 实践项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
桥梁设计	结合所学的受力分析，讨论拱桥承重能力提升的力学原理①④			
	设计实验，理解梁式桥、拱桥和刚架桥的承重能力①④⑤			
	调研木材、混凝土、钢材等材料的取材、加工流程，了解其成本、加工周期等，比较各种材料的优缺点①			
	考察本地区的一些桥梁，了解影响设计方案的因素①②			
	根据本地区具体需求，设计一座桥梁②③④			
交通工具设计	拆卸一辆电动玩具汽车，观察玩具汽车各个结构，理解其机械动力机制①②④			
	考察本地区常见的一种交通工具，了解其能源与动力、机械与结构、节能与环保等方面的原理①②④			
	将一辆电池供电的玩具汽车改装成太阳能电池板供电，给出设计方案，并比较各种方案优缺点①②③④			
飞行器设计	开展纸飞机飞行实验，对纸飞机结构进行优化，延长纸飞机的滞空时间①③⑤			
	依据本地区具体条件，考察一种飞行器，了解其结构和相关的空气动力学原理①②			
	结合所学知识思考并讨论2、3、5、7个旋翼的无人机是否可以工作①③④			
医疗器械设计	考察本地区医院中的一部医疗设备，了解其分类、价值以及所涉及的自然科学和人文社会科学知识①②			
	和同学一起使用水银血压计测量血压，查看测量结果，理解经验对听诊法的重要性①⑤			
	采用逆向工程法研究市面上一种电子血压计，获得其工作原理和结构框架图，并依据个人具体需要，进行个性化改装①②③④⑤			
矿山工程设计	考察生活中的相关事例，例如团队游戏等，了解其中的协同性问题①②			
	考察本地区矿产资源，了解矿山地面、地下工程之间协同性①②			
	通过实验研究矿井产出波动加大、矿井数量增加对临时仓库容量需求的影响①④⑤			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进。

本册教科书根据教育部颁布的《普通高中通用技术课程标准（2017年版）》编写，2020年经国家教材委员会专家委员会审核通过。

编写过程中，上海市通用技术教学研究基地（上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地）及基地所在单位华东师范大学、中国科学院上海技术物理研究所等单位给予了大力支持。张晓雨、伍帅琴、邵倩倩、姜亦杨等人参与了本册教科书提纲和内容的讨论。

在此感谢所有为本册教科书编写提出修改意见，提供过帮助与支持的单位以及专家、学者、教师和社会各界朋友！

本册教科书投入使用后，我们根据各方意见作了修订，真诚希望广大师生和家长继续提出宝贵意见！

联系方式

电 话：010-58758327

电子邮箱：jcfk@pep.com.cn

编者



PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
TONGYONG JISHU



绿色印刷产品

ISBN 978-7-107-37054-0



9 787107 370540 >