



ISBN 978-7-5349-9652-8



9 787534 996528 >

定价：6.88 元



普通高中教科书

通用技术

选择性必修

工程设计基础

普通高中教科书

# 通用技术

## 工程设计基础

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社



河南科学技术出版社

中原出版传媒集团  
中原传媒股份公司

河南科学技术出版社

普通高中教科书

# 通用技术

## 工程设计基础

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社

河南科学技术出版社  
· 郑州 ·



总主编：傅水根

本册主编：贺献宝

核心编者：刘海青 李敏 范高峰 张逸群

张晓媛 张蕾

责任编辑：李晓慧 卢正阳

美术编辑：张伟

责任校对：徐小刚

普通高中教科书·通用技术（选择性必修）

工程设计基础

高中二年级

河南省基础教育教学研究室 组编  
河南科学技术出版社

★

河南科学技术出版社出版发行

（郑州市郑东新区祥盛街27号）

邮政编码：450016 电话：（0371）65737028

河南日报报业集团有限公司彩印厂印刷

全国新华书店经销

★

开本：890mm×1240mm 1/16 印张：6 字数：150千字

2020年3月第1版 2020年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5349-9652-8

定价：6.88元

著作权所有，请勿擅用本书制作各类出版物，违者必究  
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

电话：（0371）65788609 65721407

# 前言

尊敬的老师们，亲爱的同学们：

你们好！

新版的“通用技术”系列教材与大家见面了。这套新教材是在习近平新时代中国特色社会主义思想 and 社会主义核心价值观指导下，遵循教育部 2017 年新颁布的课程标准编写的。

高中阶段为什么要开设通用技术课程呢？

通用技术是与专业技术有所区别的技术，在当代技术体系中较为基础，在日常生活与生产中应用较为普遍。通用技术课程以立德树人、提高学生的技术学科核心素养为主旨，是一门来自生活与生产、面向全体学生、立足实践、注重创新、体现综合、科学技术与人文相统一的课程，着眼于培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。每本教材的编写，都有高中教师的积极参与。

纵观我国科技的发展，从群钻的发明、人工合成牛胰胰岛素，到治疗疟疾的青蒿素，再到为世界粮食安全做出重大贡献的超级水稻，以及为我国通信安全做出重大贡献的量子通信卫星，都说明我们中国人在科技领域开始走在世界的前列。要使我国由制造大国转变为制造强国，为中华民族的振兴和世界的繁荣做出更大的贡献，我们的基础教育和高等教育还需要深化改革，以培养出更多高素质、强能力和富于创造性的年轻一代。

当前，我国社会主义建设进入新时代。应用本套教材，我们将深刻理解技术，初识并感受设计的魅力，体验设计的创造乐趣；我们将认识设计中采用的 CAD/CAM 等软件和图样表达技术，在物化过程中采用的车工、铣工、钳工等常规制造工艺技术，先进的数控加工技术、激光雕刻技术、三维打印技术、机器人技术、无人机技术和智能家居技术等，会接触到互联网、大数据、云计算、物联网、人工智能和绿色生态技术。从难以忘怀的学习和历练中，同学们会受到创新意识、工程思维、工程素养和工匠精神的感染与熏陶，提高服务国家和人民的社会责任感，增强勇于探索的创新精神和解决复杂问题的能力。

通过情景导入、思维导图和设计任务引领，本教材充分展现“做中学”与“学中做”这一教育改革理念，并为此特意增添了“做中学”栏目。这里的“学”是在核心素养指导下，亲身经历将创意转化为设计的过程，培养学生在实践基础上的动手能力、实践能力或物化能力；而其中的“做”，就是“设计结合实践”。这种“做”

不是盲目的，而是在完成具体项目的复杂过程中，以学生为中心，以教师为主导，体现出团队合作与交流，旨在实现从思维创意到设计，再到产品物化的不间断的、系统的、完整的迭代与优化。在学生的亲身经历和体验中，既有丰富、活跃、探究式的深度学习与能力转化过程，也有进一步思考与挖掘技术背后隐含的设计思想、思维方法和价值观等问题。

学生亲身经历的、与“项目”或“任务”密切关联的实践活动，在人才培养中具有非常重要的多种转化功能，即将知识转化为能力，将潜力转化为实力，将自疑转化为自信，将历练转化为素质，将聪明转化为智慧。那么，如何实现这些转化呢？那就是在实践中观察，在观察中思考，在思考中领悟，在领悟中成长。

本教材将“技术意识、工程思维、创新设计、图样表达、物化能力”这一核心素养贯穿始终，力求在实践中做到：符合现代科技发展的实际情况；体现学科交叉与融合的时代特征；与丰富的生活紧密联系，结构合理，满足学生多样化发展的需要；立足融合科学、工程、数学、技术、人文和社会的视野，体现劳动教育，突出创新精神、创新思维、实践能力和工程素养的培养。

在科技发展日新月异的今天，具备良好的核心素养、知识视野、实践能力和创新思维，是未来攻坚克难，成为国家栋梁的必备基础。我们会发现，身边到处充满着技术与设计的应用，到处展现着创造与发明的魅力，到处都有新时代青年施展才华的舞台。

本分册以丰富的工程事例，日常生活中的情景，生动的图文内容，系统地阐述了工程、工程特性、工程设计、工程师、工程设计方法、工程评价、工程材料、工程建模、工程图样、工程管理、工程管理方法等方面的基础知识。其内容注重古今传承，从中国大运河到南水北调工程，从青铜铸造到三维建模，从历史与时代潮流中典型工程到讲述工程设计的演化与发展。在展示古代工程辉煌的同时，也紧跟时代潮流，涉及当代先进的工程设计理念、技术、观点，立体地展现出工程设计的魅力，引导学生想象、学习、探讨和实践工程设计。

尽管本套教材的编者付出了极大努力，但囿于编者水平，仍会存在不足甚至错误之处，恳请广大师生在教与学的过程中，运用批判性思维方法，积极思考，发现问题，提出宝贵意见，以便在修订时加以改进与完善。

编者

2019年3月

# 目 录

<b>第一章 工程设计概述</b> .....	1
第一节 无所不在的工程 .....	2
一、工程的定义 .....	2
二、工程的分类 .....	3
三、工程的发展 .....	3
四、工程的特性 .....	5
五、工程对人类生存和生活的影响 .....	7
第二节 工程设计 .....	9
一、什么是工程设计 .....	9
二、工程设计的重要性 .....	10
三、工程设计的重点 .....	10
四、工程设计的各项技术要素 .....	12
第三节 工程师 .....	15
一、工程师的工作标准 .....	16
二、工程师的特点和职业要求 .....	16
三、工程团队的重要性 .....	19
四、工程团队的建设 .....	20
第四节 如何获得设计对象的工程特性 .....	21
一、标杆分析法 .....	21
二、逆向工程法 .....	22
三、质量功能配置 .....	24
<b>第二章 工程设计过程</b> .....	27
第一节 面向 X 的工程设计方法 .....	28
一、面向制造的设计 .....	28
二、面向装配的设计 .....	29
三、面向环境保护的设计 .....	32



第二节	工程设计中的评价指标 .....	36
一、	工程设计的标准化 .....	36
二、	工程设计的安全性 .....	36
三、	工程的可靠性 .....	38
四、	工程的经济性 .....	39
第三节	工程材料 .....	40
一、	工程材料概述 .....	40
二、	金属材料 .....	40
三、	非金属材料 .....	43
四、	复合材料 .....	44
第四节	工程设计一般过程 .....	46
一、	概念设计 .....	46
二、	方案设计 .....	47
三、	详细设计 .....	48
<b>第三章</b>	<b>工程设计建模</b> .....	<b>50</b>
第一节	工程设计建模概述 .....	51
一、	建模的概念 .....	51
二、	工程建模的重要性 .....	51
三、	建模技术在工程设计中的应用 .....	52
四、	工程设计模型的类型 .....	52
第二节	识读和绘制简单的工程图样 .....	54
一、	识读简单的工程图 .....	54
二、	绘制工程图 .....	58
第三节	计算机建模和仿真 .....	60
一、	软件建模的优越性 .....	60
二、	常用的建模软件 .....	61
三、	简易工程建模 .....	61
<b>第四章</b>	<b>工程决策与管理</b> .....	<b>67</b>
第一节	工程评价和决策 .....	68
一、	决策的基本知识 .....	68

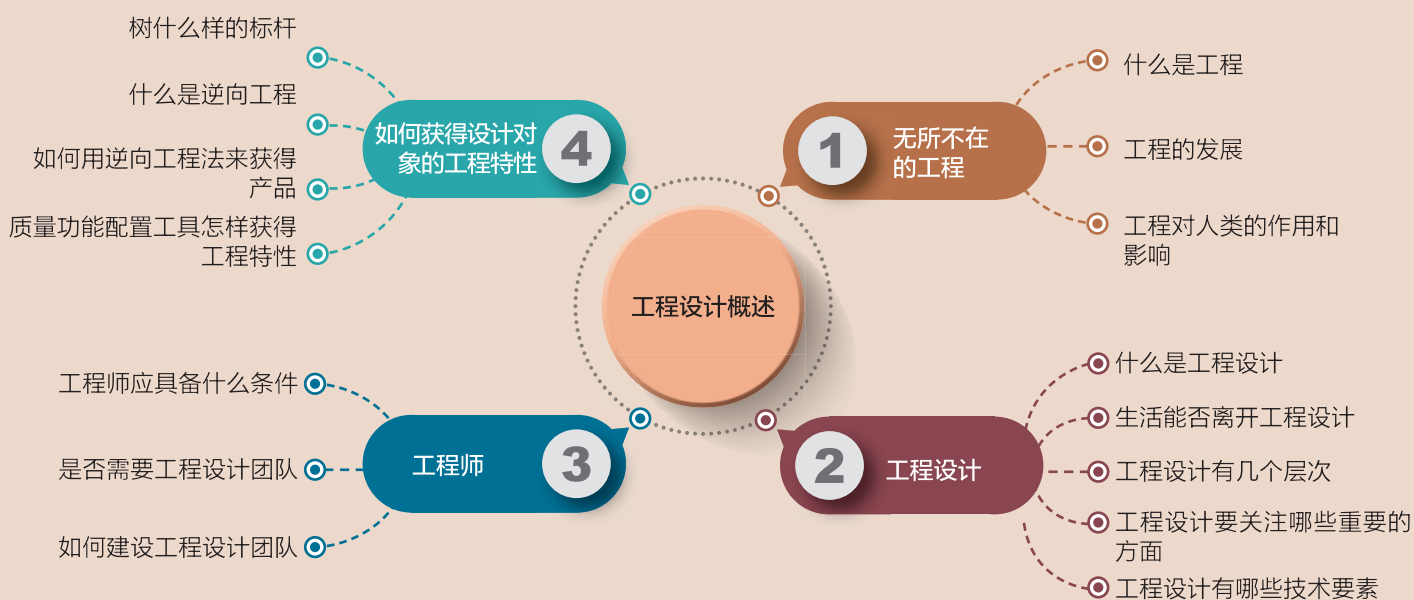
二、决策模型 .....	69
第二节 工程管理方法 .....	75
一、甘特图 .....	75
二、关键路径法 .....	76
三、成本估算法 .....	78
第三节 工程管理 .....	79
一、工程管理的内容 .....	80
二、工程项目进度管理 .....	81
三、工程项目质量管理 .....	81
四、职业健康安全和环境管理 .....	84
五、工程项目竣工验收管理 .....	84
附录 部分中英文词汇对照表 .....	86

# 第一章 工程设计概述

## 导 言

随着科技的发展、社会的进步，人们的生活节奏日益加快，车在生活中扮演着越来越重要的角色。如果考虑用生活中常见的材料设计制作一辆能在确定位置停下来的小车模型，为了保证稳定性，小车的整体结构需要如何设计？要让小车动起来，又需要采用什么动力系统？要让小车模型在确定的位置停下来，制动系统该如何设计？这些问题都和工程设计息息相关。那么，什么是工程设计呢？

## 思维导图



## 第一节 无所不在的工程



### 学习目标

1. 理解工程的定义及工程对人类生存和生活的影响。
2. 理解工程的特性。

我们每天接触的交通工具多种多样，自行车、公交车、小汽车等，它们都是由多个零部件组成的，都具备动力系统和制动系统，每一类交通工具的制造过程都可以看成是一项工程。

### 一、工程的定义

工程是将自然科学的理论应用到具体工农业生产部门中形成的各学科的总称。如土木工程、水利工程、化学工程、生物工程等。在现代社会中，“工程”一词有广义和狭义之分。就狭义而言，工程被定义为“以某组设想的目标为依据，应用有关的科学知识和技术手段，通过一群人的有组织活动将某个（或某些）现有实体（自然的或人造的）转化为具有预期使用价值的人造产品过程”。就广义而言，工程则被定义为由一群人为达到某种目的，在一个较长时间周期内进行协作活动的过程。工程的本质内涵（图 1.1）可以被理解为各种工程要素的集成过程、集成方式和集成模式的统一。

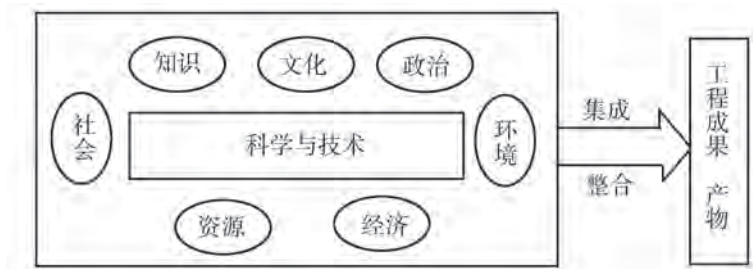


图 1.1 工程的本质内涵



### 探究与交流

1. 公元前 5600—前 4900 年新郑裴李岗文化时期的石磨盘和石磨棒（图 1.2）是否算作工程？
2. 名噪天下的秦兵马俑（图 1.3）是否算作工程？若是，对工程的发展又有什么意义？思考并交流兵马俑与石磨盘的异同点。





图 1.2 石磨盘和石磨棒图



图 1.3 秦兵马俑

## 二、工程的分类

工程的范围、领域、学科、分支和专业等在不断增加和扩大。随着知识的发展和学科的分化、合并及新学科的产生，工程的分支逐渐从土木、机械、化工、电气和电子工程衍变而来。工程中不同学科的研究内容及其次学科的分支举例如表 1.1 所示。

表 1.1 工程中不同学科的研究内容及其次学科的分支举例

学科	研究内容及次学科的分支举例
土木工程	实体结构和基础设施的设计与施工 建筑工程：建筑结构的设计、创建与管理 岩土工程：泥土材料与地质的行为 结构工程：载荷支撑或抵抗结构的设计 运输工程：人员与货物高效而安全的运输
机械工程	发动机等物理或机械系统的研究、设计和开发 汽车工程：陆地车辆设计与制造 航空航天工程：航空器、航天器与空中运载工具的设计 生物机械工程：系统与装置设计，如义肢（假肢）
电气和电子工程	电气系统和电子设备的研究、设计和开发 电力系统工程：向居民和工业输送电力 信号处理：信号的统计分析与产生，如手机信号
环境工程	环境保护与改善工程 水工程：水资源与水文的规划与开发

## 三、工程的发展

工程从分散性的、主要依赖匠师个人才智和手艺的技艺发展成为有理论指导的、系统的和独立的工程技术，对人类文明史起到了巨大的推动作用。工程是促成 18 ~ 19 世纪的工业革命和资本主义大生产的重要技术因素之一。

### （一）工程发展的三个阶段

工程的发展可以划分为古代、近代和现代三个阶段。

古代工程的时间跨度很长，从史前文明起一直到 15 世纪。古代工程主要依靠经验，根本没有设计理论，所用的材料是十分简单的自然原料，如石块、草筋、土坯和木材等，

这一时期的工具也很简单。尽管如此，我们的祖先还是给我们留下了如今看来仍然非常伟大的、难以想象的工程，如长城、秦兵马俑等。

近代工程的时间跨度为 15 世纪到 19 世纪末。在这一时期，工程逐渐成为一门独立学科。与古代的工程相比，它有了自己新的特点和提高。首先，有力学和结构理论作为指导。如 1638 年意大利学者伽利略发表了《关于力学和位置运动的两门新科学的对话》，1687 年牛顿发表的《自然哲学的数学原理》提出了力学三大定理，1825 年法国的纳维建立了土木工程中结构设计的容许应力法。其次，砖、瓦、木、石等建筑材料得到日益广泛的使用，混凝土、钢材、钢筋混凝土及早期的预应力混凝土得到发展。最后，施工技术也进步很大。人类的建造规模日益扩大，建造速度也突飞猛进。

现代工程是指从 19 世纪末至今的工程。现代科学技术迅速发展，从而为工程的进步发展提供了强大的物质基础和技术手段。

## (二) 工程发展的基础

纵观工程发展的历史，我们发现，工程的发展是以人力、物力、财力的增加和技术手段的提高为基础的。

### 1. 水利工程的发展

战国末年，秦国举一国之力开凿了郑国渠。统一六国后，秦国实力大增，开凿了灵渠，连通了湘江和漓江，打通了南北水上通道。隋炀帝时代，隋朝人口有 4 000 万~5 000 万，国力更强，修建了大运河（图 1.4）。现在，我国人口约 14 亿人，GDP 世界第二，“南水北调中线、东线工程一期”（图 1.5）已经完工，举世闻名的“三峡工程”已经“高峡出平湖”。



图 1.4 大运河



图 1.5 南水北调中线陶岔渠首



### 探究与交流

今时的“南水北调”水渠与隋朝的大运河有何不同？

## 2. 机械工程的发展

商朝早期铸造的青铜器杜岭方鼎（图 1.6）是目前人类所认知的年代最早、体积最大、铸造最为完美、保存最为完整的青铜重器。它充分反映了我国古代高超的青铜铸造工艺。明永乐年间铸成的永乐大钟（图 1.7）通高 6.75 m，口沿外径 3.3 m，重约 46.5 t。

2009年,中国第二重型机械集团公司生产的最大铸件——大型模锻压机活动横梁中梁,所需钢水总量达 758 t,仅第一次合浇就达到 609 t。



图 1.6 杜岭方鼎



图 1.7 永乐大钟

## 3. 桥梁工程的发展

小商桥（图 1.8）建于隋朝开皇四年（584 年），全长 21.3 m，桥面宽 6.45 m。钱塘江大桥由我国著名桥梁专家茅以升主持建造，桥全长 1 453 m，宽 9.1 m。南京长江大桥（图 1.9）建于 20 世纪 60 年代，上层为公路桥，长 4 589 m；下层为双轨复线铁路桥，全长 6 772 m。港珠澳大桥于 2018 年元旦前夜全线亮灯，全长 55 km。



图 1.8 小商桥



图 1.9 南京长江大桥

## 四、工程的特性

南水北调工程是基于我国的地理环境，以及国家、社会的发展需求提出的。从 20 世纪 50 年代开始，国家有关部门组织各方面专家对南水北调进行了勘察、调研和可行性研究，并在科学论证的基础上进行了民主决策。下面，我们以南水北调工程为例，阐述工程的特性。

### （一）工程的社会性

工程的目标是服务于人类，为社会创造价值和财富。工程活动的过程受社会政治、



经济、文化制约，其社会属性贯穿工程的始终。例如，南水北调工程将解决我国北方严重缺水（图 1.10）的现实问题，缓解人们的生活及工业生产的用水压力，进一步解放生产力，提升我国北方社会生产的效率，促进北方地区经济的发展，增加就业岗位。



图 1.10 缺水的土地

## （二）工程的创造性

创造性是工程与生俱来的本质属性。在工程活动中，科学和技术结合并应用于生产实际中，从而创造出社会效益。例如，南水北调工程的创造性体现在设计者巧妙地运用不同地区地形的优势来弥补水资源分布不均的劣势，实现我国水资源的南北调配、东西互济。这一伟大构想的提出，本身就具有很大的创造性。在技术的解决上，西线采用引水隧洞穿过巴颜喀拉山，中线采用自流，东线采用 13 级泵站（图 1.11）逐级提水和自流相结合，过黄河采用倒虹吸技术。



图 1.11 泵站

## （三）工程的综合性

工程的综合性一方面表现在工程实践过程中所使用的学科和专业知识的综合性；另一方面表现在工程项目实施过程中，除技术因素外，还应综合考虑经济、法律、人文等因素。例如，南水北调工程是一个时间跨度大、空间波及范围广，由国家引领建设，影响整个中国的宏伟工程。从环境、生态开发到水、国土资源的利用，工程的设计施工建设及建成之后对国家各个地区经济的影响等，这一切都体现出它是一项关乎国计民生的综合性大工程。

## （四）工程的集成性

工程是将各种学科知识、技术知识转化为工程知识并形成现实生产力从而创造社会、经济、文化效益的活动过程。任何一个工程过程都集成了多种复杂的异质要素并实现工程构建。例如，南水北调工程是综合水科学，水利、机电、信息等技术，自然条件，以及社会、经济、政治、文化等要素的集成工程。工程经由勘察、规划、设计、决策、施工、使用的集成过程，通过经济保障、组织管理、运行制度的集成方式，实现了各种要素的综合配置。

## （五）工程的科学性和经验性

遵循科学规律是保证工程顺利实施的重要前提。同时，为使工程能够达到预期效果，要求工程的设计和实施人员必须具备较为丰富的相关领域的实践经验。例如，南水北调工程在开工之前，对其建设时间、投资金额、运输水量、供水范围、影响人口，以及对周边环境的影响都做了科学、详细的数据分析。



图 1.12 西气东输过黄河



该工程借鉴了已经完成的北煤南运、西气东输（图 1.12）、西电东送工程。同时，南水北调工程也利用了历史上已开凿好的大运河。

### （六）工程的伦理约束性

工程的最终目的是为了造福人类，工程在应用过程中必须受到道德的监督 and 约束。工程可以成为一项造福人类的“善”的活动，也可以成为给人类和自然环境带来巨大灾难的活动。因此，工程活动不能缺少伦理方面的考量。例如，南水北调工程的目的是解决北方缺水问题，是造福人类的工程，符合伦理。

### （七）工程的效益性和风险性

一方面，工程实践都有明确的效益目标，主要表现为经济效益、社会效益和生态环境效益。例如，南水北调工程通过改善水资源条件来促进地区生产力，形成经济增长点；同时，扩大内需，促进社会和谐发展，提高了人们的生活水平。南水北调工程解决了 700 多万人长期饮用高氟水和苦咸水的问题，使鲁西和苏北两个商品粮基地得到巩固和发展，改善了黄淮海地区的生态环境。另一方面，效益总是伴随着风险，包括市场风险、资金风险、就业风险、劳动安全风险、能耗风险。



#### 活动延伸

观看《伟大工程巡礼》和《超级工程》影片，写一篇观影记。

## 五、工程对人类生存和生活的影响

苏伊士运河于 1859 年开凿，1869 年通航。苏伊士运河建成后，从大西洋沿岸到印度洋诸港之间的航程可缩短 5 500~8 000 km。它连通了红海与地中海，是欧、亚、非三大洲海上国际贸易的通道，缩短了东西方货物流通的时间。同时，它也促进了东西方文化、科技等多方面的交流。

中国大运河是世界文化遗产，是世界上最长的运河，也是世界上开凿最早、规模最大的运河。它是古代中国南北交通的大动脉，促进了南北经济文化的交流；泽被至今，对巩固统一和促进社会经济的发展仍发挥着重要作用。

1964 年 10 月 16 日，中国自主研发制造的第一颗原子弹爆炸成功（图 1.13）。从此，第二次世界大战后的世界，一个有着四大发明的古老的东方民族，在世界民族之林，证明了自己的实力，确立了自己的大国强国地位。



图 1.13 中国第一颗原子弹爆炸成功



## 做中学

### 定位小车的设计与制作

两人一组设计制作一辆小车，材料不限，要求小车能在规定的水平地面上行进3 m 距离。

1.控制变量测试：在相同的水平面上，由静止运动到达指定位置。

2.测试内容与方法：

(1) 小车应能放进一个边长 250 mm 的正方体内。

(2) 小车在起点线处自由静止释放，不能弹射，但允许跳跃前进。

(3) 动力不限，但不得使用遥控器。

(4) 车辆在静止及行驶过程中不能有遗撒物，不能对周围环境有危害。

为了完成定位小车的设计与制作，你需要收集与车相关的工程知识，请同学们查阅车的发展历史和结构演变过程。



## 阅读材料

### 南水北调工程之最

世界上受益人口最多、受益范围最广的调水工程：南水北调工程主要解决我国北方地区，尤其是黄淮海流域的水资源短缺问题，供水区域控制面积达145万平方公里，仅东、中线一期工程直接供水的县级以上城市就有253个，直接受益人口达1.1亿人。

世界上距离最长的调水工程：南水北调工程规划的东、中、西线干线总长度达4 350 km。

世界上供水规模最大的调水工程之一：南水北调工程规划最终调水规模为年调水量 448 亿立方米。其中，东线 148 亿立方米，中线 130 亿立方米，西线 170 亿立方米。

## 第二节 工程设计



### 学习目标

1. 理解工程设计的内涵及特性。
2. 初步了解工程设计中的各要素。

工程都是人设计出来的，离开工程设计，什么工程都不存在。工程设计是工程的灵魂，是工程的基本方针和指导方向。工程设计具有科学性、社会性、实践性、创新性、复杂性和技术性。工程设计是现代社会工业文明的重要支柱，是工业创新的核心环节，也是现代社会生产力的龙头。工程设计的水平和能力是一个国家和地区工业创新能力和竞争能力的决定性因素之一。

### 一、什么是工程设计

设计是把一种计划、规划、设想通过视觉的形式传达出来的活动过程。人类通过劳动改造世界、创造文明、创造物质和精神财富，而其中最主要的活动是造物。设计便是在造物活动之前进行预先的计划，可以把任何造物活动的计划技术和计划过程理解为设计。总之，设计就是设想、运筹、计划与预算，是人类为实现某种特定目的而进行的创造性活动。设计既是科学过程、技术过程，也是创新过程。

工程设计是人们运用科技知识和方法，对建设某项工程所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证，有目标地创造工程产品构思和计划的过程。它几乎涉及人类活动的全部领域。工程设计是一个决策过程，也是一个不断优化的过程，在这个过程中需要使用基础物理、数学及工程科学来优化转换组合资源以实现特定目标。工程设计过程的基本组成部分，包括目标和标准的建立、合成、分析、构筑、测试和评估。



### 阅读材料

#### 标准、标准化和标准设计

在工程设计中，标准化是一个不可或缺的手段。那么，什么是标准、标准化和标准设计呢？国际标准化组织（ISO）的国家标准化管理委员会以“指南”的形式给出“标准”的定义：标准是由一个公认的机构制定和批准的文件。它对活动或活动的结果规定了规则、导则或特殊值，供共同和反复使用，以实现在预定领域内最佳秩序的效果。

《标准化工作指南》对“标准化”的定义是：“为了在一定范围内获得最佳秩

序，对现实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的条款的活动。”同时在定义后注明：①上述活动主要包括编制、发布和实施标准的过程；②标准化的主要作用在于为了其预期目的改造产品、过程或服务的适用性，防止贸易壁垒，并促进技术合作。

标准设计是指国家和行业、地方对于工程建设构置配件、制品、构筑物、工程设施和装置等编制的标准化通用设计文件，为新产品、新技术、新工艺和新材料的推广使用所编制的标准化应用设计文件，在一定时期内，采用共通性的条件，有统一的模式要求，技术成熟、经济合理、适用范围比较广的符合设计标准规范的标准化设计方案。采用标准设计的优点是：①设计质量有保证，有利于提高工程质量；②可以减少重复劳动，加快设计速度；③有利于采用和推广新技术；④便于实行构配件生产工厂化、装配化和施工机械化，提高劳动生产率，加快建设进度；⑤有利于节约建设材料，降低工程造价，提高经济效益。

## 二、工程设计的重要性

工程设计阶段是建设项目进行全面规划和具体描述实施意图的过程，是工程建设的灵魂，是处理技术与经济关系的关键性环节，是保证建设项目质量和控制建设项目造价的关键性阶段。设计被广泛地认为是产品开发中最重要的步骤之一，将资金和资源投入到设计阶段，会获取产品投资的最大利润。因为在这一早期阶段，改变还未成形产品是轻而易举的；如果到了产品生产后期，再改变产品，不管对时间还是资金，都耗费巨大。

实际上，没有工程设计就没有工程产品。没有高质量的工程设计，就没有高质量的工程。精心设计是工程质量的重要保障。即使制造、生产、销售等做得再好，如果产品设计的不好，最终也会是失败的产品。

## 三、工程设计的重点

工程设计首先要关注设计层次、可行性、先进性、节能性、人性化等重点内容。

### （一）工程设计的层次

在人类活动的任何领域中，都有不同的难度层次。在设计中，按难度层次不同，设计可划分为改装设计、改进设计和全新设计。

#### 1. 改装设计

在绝大部分的示例中，工程师的工作主要是对现有的设计进行改装。设计师能做的工作非常少，只是做一些细微的修改，通常是改变产品的尺寸或局部结构。

#### 2. 改进设计

改进设计需要相对更多的科技培训和设计能力。虽然设计者是从现有设计出发，但是最终结果和原始产品会有很大的不同。例如，汽车变速器从手动发展到自动，电视机从电子管电视发展到等离子电视和液晶电视等。

#### 3. 全新设计

只有很少的设计是全新设计。这种设计难度最大，要设计者激发出全新的设计理念。



设计者除具有创造力、想象力、洞察力及前瞻力之外，还应精通本领域内所有的已有技术。例如，第一辆汽车、飞机，甚至新石器时代的骨笛（图 1.14）、春秋时期的青铜编钟（图 1.15）的发明。

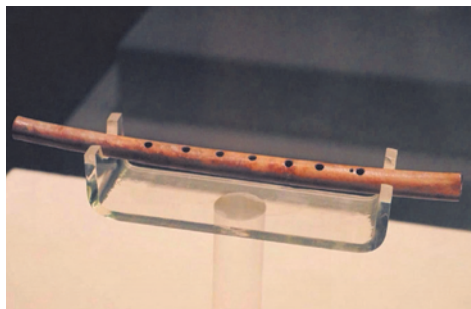


图 1.14 骨笛

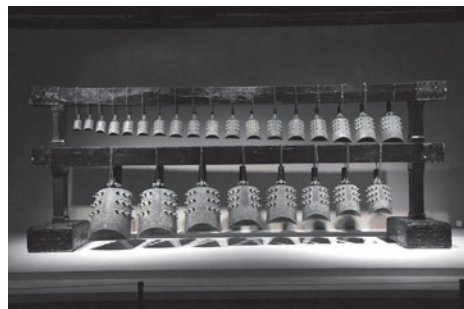


图 1.15 王孙诰编钟

## （二）可行性

设计是可行的吗？面向用户的产品设计，其可行与否由市场决定，由用户的感受决定。一般人在购买产品之前，首先会审视产品的设计和外观，接下来调查产品的可靠性和质量，判断价格。大多数情况下，设计的目标之一就是要在保证质量的前提下尽可能降低成本，以求产品在市场上更具备竞争力。

工程设计失败、失误的原因有假设过于宽泛、对亟待解决的问题认识不清、设计参数不正确、设计及组装错误、设计中的计算错误、试验不完全、数据收集不充分、制图错误、对于正确设想的错误论证等。

## （三）先进性

### 1. 先进的设计观念

工程设计，不能囿于过去，要符合时代、科技、教育、经济和社会发展的趋势，要始终站在时代前沿，置身于新科技的浪潮中。设计师要不断学习先进的设计观念，要从全球工程设计发展趋势中领悟新思潮，学会从世界科技发展态势中找出新路径，要有新理念、新思维，要观察时代、解读时代、引领时代。例如，苏州河畔巨型树屋建筑项目（图 1.16）就是富有新生态城市理念的设计。



图 1.16 苏州河畔的巨型树屋建筑

### 2. 先进的新技术、新方法

自第三次工业革命以来，尤其以电子计算机的迅速发展和广泛应用为标志，人类的知识正以前所未有的速度更新，以爆炸式的速度增长。每时每刻，都有先进的新技术、新方法产生。设计工程师要关注、了解先进的新技术、新方法，在设计时要采用这些技术、方法及其设备，才不至于落后于时代、增加资源和人力的消耗。例如，地铁和隧道工程施工采用了新型盾构机设备（图 1.17），大大提高了工作效率。



图 1.17 盾构机

#### (四) 节能性

节能降耗，降低成本，可以增强企业竞争能力。节约能源是保障我国石油、天然气资源安全的重要手段，也是最现实、最经济的环境保护途径。1998年1月1日，《中华人民共和国节约能源法》开始实施，节能是我国国家发展计划。在工程设计中，除极特殊情况外，必须采用变频调速、高效照明等节能技术，采用节能产品。建筑工程能



图 1.18 节能建筑范例

自己生产能源，如通过加装太阳能电池板或小型风力发电机等，以满足部分能源要求，降低建筑能耗，更是建筑行业的发展方向（图 1.18）。

#### (五) 人性化

人性化设计，即在工程设计的过程中以人为本，了解人的需求，设计出尊重人、关怀人的产品。具有人性化的设计能真正体现出对人的尊重与关心，是产品设计中人文精神的集中体现，是人、工程、自然完美和谐的结合。工程与人类的活动息息相关，在工程设计中把“人的因素”作为一个重要的条件来考虑，也就是在生理学和心理学两个方面考虑“人的感受”，注重工程在安全、方便、舒适、美观等方面的评价。例如，现在很多火车上都配电源插座（图 1.19），可支持旅客的手机、平板电脑等充电。



图 1.19 火车上的电源插座

### 四、工程设计的各项技术要素

#### (一) 性能需求

认识到客户本质的需求是设计过程中的基本元素。首先要确定产品的功能，而不是客

户要求的解决方案。在实际工作中,设计者应当评估其设计产品在生命周期内的使用情况。这种评估允许那些可以满足需求目标的替代产品的研发,而不能僵化地坚持早些时候提出的解决方案。例如,客户会要求在特定的某个枢纽地带安装交通信号灯,而实际情况是,要真正缓解交通拥堵的话,地下通道方案更为切实可行。设计者不应以实现客户要求的解决方案为中心,而应该以解决实际问题为中心。

## (二) 生命周期

在时光的长河中,任何事物都有一个从诞生到死亡的过程。工程是人造产品,工程也有寿命。工程从竣工到报废或毁灭,有一定的年限。在设计时,应考虑工程的寿命。工程的寿命与工程的设计成本、制造成本、使用成本、废弃处置成本、环境保护成本等息息相关。

## (三) 质量控制

在工程设计中,应自始至终把“质量第一”作为工程控制的基本原则,要把全面质量管理的理念贯穿于整个设计过程中。设计质量目标主要通过项目描述和设计合同反映出来,设计时应把两者综合起来,确立设计的内容、深度、依据和质量标准。设计质量目标要尽量避免语义模糊和矛盾。设计合同应重点写明设计进度要求、主要设计人员、优化设计要求、限额设计要求、制造或施工现场配合等内容。

## (四) 标准和标准化

标准是为了在一定范围内获得最佳秩序,经协商一致制定并由公认机构批准,共同使用的和重复使用的一种规范性文件。标准决定了质量。只有高标准,才有高质量。目前,我国的标准体制为五级,分别是国家标准、行业标准、地方标准、团体标准、企业标准。

标准化是指在经济、技术、科学和管理等社会实践中,对重复性的事物和概念,通过制订、发布和实施标准达到统一,以获得最佳秩序和社会效益。

不符合标准的工程设计是不合法的。

## (五) 环境关系

正确的项目设计,要基于对项目环境的熟悉并掌握大量的有效信息。如可供项目使用的各种自然资源的供给状况;对项目有影响的自然地理状况,如抗震设防烈度、地形地貌状况、地下水位、地下水流速、地质情况、古树、古迹等;交通情况,如项目周边的道路、车流量、人流量规律;气候状况,如年平均气温、最高气温、最低气温、高温和严寒持续时间、主导风向和风力、风载荷、雪雨量及持续时间、雨雪主要分布季节;项目的社会、政治、法律和经济环境等,都在项目设计时需考虑的范围之内。

## (六) 制造能力

在工程设计中,要充分考虑到工程中所需要的制造能力,避免设计与制造脱节,避免设计得好而制造得差,甚至出现能设计而不能制造的状况。同时,设计师要对当代具有特色和竞争力的整机和系统制造设备有所了解,在工程设计中,尽可能地采用技术集成方法,将这些设备及其生产的产品作为工程蓝图中的一部分。



### (七) 维护

工程有制造成本，工程竣工后还有维护成本。工程建成后，其正常使用与运行，也需要一定的费用。为了最大限度地发挥工程的经济效益，设计工程时就要根据工程的不同类别和特点，考虑工程完工后的维护管理成本，尽可能地降低工程维护的费用，减少维护人员、管理层次、物料消耗等。

### (八) 工效学

工效学即工程心理学，是研究人在生产和工作中合理适度地劳动的科学。工效学根据人的心理、生理和身体结构等因素，研究人、机械、环境三者相互间的合理关系，以保证人们安全、健康、舒适地工作，并取得满意的工作效果。



#### 探究与交流

常见的公交车主要体现了工程设计中的哪些技术要素？

### (九) 法律法规

遵守法律是每个公民的权利与义务。工程设计与建造过程也要遵守相关法律。设计师应学习和熟悉工程建设的有关法律法规，不要触犯法律。较大的工程项目，在建设之前，都要历经土地评估、公共安全评估、环境评估、财政评估、安全评估、节能评估，方能获得政府的批准实施。任何一个未通过评估就进行建设的工程，都是非法的，有关部门、公司和设计师对此应有清醒的认识。



图 1.20 炸毁违法别墅群

例如，某市在长江边建筑的别墅群，由于妨碍行洪，违反了《中华人民共和国防洪法》，被依法拆除（图 1.20）。

### (十) 社会

在设计时均应充分考虑项目对所在地区的居民收入、生活水平和质量、就业、不同利益群体、弱势群体、文化、教育、卫生、当地基础设施、社会服务容量和城市化进程等的影响。



#### 活动延伸

1. 了解你所在区域中心城市的城市规划都有哪些人性化设计。
2. 在老师的带领下，参观工程项目现场，分组进行工程要素的研究。



## 做中学

## 探讨定位小车设计与制作的关键点

在第一节“做中学”中收集资料的基础上,本节的重点是探讨定位小车设计与制作的关键点。

1. 结合本节所学知识,探讨橡皮筋动力小车(图 1.21)和气球动力小车(图 1.22)设计制作的关键点:车体由哪些部分组成?橡皮筋作用在车体的哪些组成构件上?如何实现小车前进 3 m 后停下来?

2. 结合实验室条件,分小组交流定位小车的结构组成、动力系统(驱动车行进的系统)、制动系统(让小车停下来的系统)、制作材料和制作所需工具等问题。

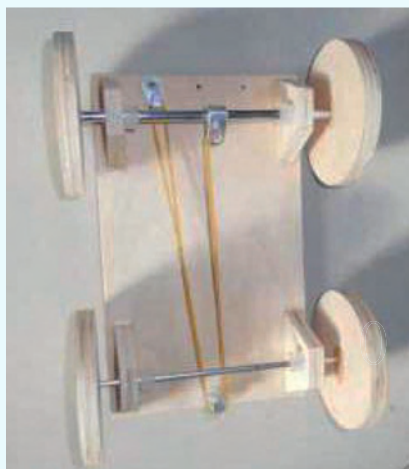


图 1.21 橡皮筋动力小车



图 1.22 气球动力小车

## 第三节 工程师



## 学习目标

1. 认识工程师的工作特点和职业要求。
2. 树立责任和工程团队意识。

工程设计依靠工程师来实现。工程师注重用科学的方法和原理解决工程上的实际技术问题。工程师是一个技术职称,同时也是对某个专业技术人员工作的肯定。社会在发展,

国家要强大，需要建设越来越多的工程，也需要越来越多的各种岗位、各种专业的工程师。工程师的队伍会随着时代的发展而日益壮大；工程师个体也会随着参与工程团队而提高自己的专业技术水平、创新能力、分析解决复杂工程的能力、组织和规划能力、沟通表达和写作能力，并具备强烈的社会责任感和良好的职业道德。

## 一、工程师的工作标准

工程师的主要工作标准是将通用的工程知识与专业的工程知识结合，优化现有技术与新兴技术的应用；将恰当的理论与实践方法应用于工程问题的分析与解决中；在技术、商业与管理方面发挥领导作用；负责与工程流程、系统设备、基础设施相关的高风险管理；进行谨慎的思考、判断等智力活动。

工程技术专家的主要工作标准是适当地进行独立的技术判断，设计、开发、制造、管理、操作和维护产品、设备、流程与服务。

工程技术员的主要工作标准是能运用成熟的技术与流程来解决实际的工程问题。



### 探究与交流

1. 工程师需要持续专业进修吗？
2. 工程师需要掌握专利知识吗？
3. 工程师发现书本上的理论与实际情况不符时，该怎么办？

## 二、工程师的特点和职业要求

青藏铁路（图 1.23）2013 年 9 月入选“全球百年工程”，是世界上海拔最高、穿越冻土里程最长的高原铁路，是中国新世纪“四大工程”之一，是世界铁路建设史上的一座丰碑。

自青藏铁路开建以来，10 万多名建设者投身于此，它凝聚着无数工程师的心血。下文将以青藏铁路为例，分析工程师的特点和职业要求。

1. 工程师应把国家和民族的利益，公众的安全、健康和福祉放在第一位

建设青藏铁路，首先要选线。工程师们实地考察，不畏艰险，他们从“昆仑之路”行进，走青海湖（图 1.24）北，沿着青藏公路往前走，每走一段都要下车目测、选线、画地形草图，践行着工程师的责任和担当。



图 1.23 青藏铁路

青藏铁路唐古拉山越岭地段到土门是四十公里无人区，勘测工程师在项目设计总工程师带领下，在严寒缺氧、天气多变的极端环境中，在这片通信盲区，在坑坑洼洼的草地里和泥泞的沼泽中测量。



图 1.24 青海湖



### 探究与交流

在有卫星测量的情况下，铁路选线还需要工程师实地勘测吗？

## 2. 工程师在设计之前应熟悉、掌握大量的本行业的数据

要建设青藏铁路，就不可回避冻土（图 1.25）的问题。冻土是含有地下冰的各种岩石和土壤，土冻结时会发生冻胀，融化时就成了一团稀泥，完全丧失了承载力，会造成道路或建筑物变形、被破坏。青藏铁路要穿越连续多年冻土区 550 km，不连续多年冻土区 82 km。

工程师为应对冻土的挑战，在海拔 4 800 m 的地方设立了观测站，进行了三十多年不间断的观测，搜集数据共 1 200 万个。工程师还在研究所内开展了通风管路基、片石路基结构和遮阳棚模拟实验，为冻土地段的实地实验展开提供了重要的理论分析、数值模拟和工程设计参数。

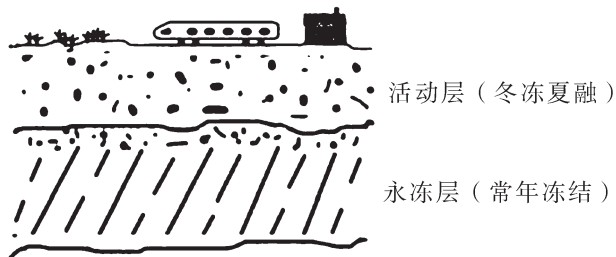


图 1.25 冻土



### 探究与交流

1. 观测、搜集数据是否越多越科学？
2. 所有的工程项目都需要模拟实验吗？



### 3. 工程师要能充分运用本行业国内外的最新研究成果和经验

建设青藏铁路的工程师，借鉴了青藏公路、青藏输油管道、兰西拉光缆等大型工程的冻土施工经验，并探讨和借鉴了俄罗斯、加拿大和北欧等国的冻土研究成果。在设计时采取了以桥代路、片石通风路基、通风管路基、碎石和片石护坡、热棒、保温板、综合防排水体系等技术措施。

### 4. 工程师应对工程学科有广泛的了解

青藏铁路施工的难点是极地极限、高寒缺氧。工程师经过对工程学科的广泛了解，根据使用单位的具体需求，制造了大容量稳定制氧的高原用制氧机和世界上独一无二的大型高原医用制氧站。

### 5. 工程师进行设计时应“以人为本”

工程师根据高原情况，制定技术方案，在隧道的进出口各设一个高原医用制氧站，将输氧管接入洞中，在隧道里建一台氧吧车加强供氧，或者在施工隧道的掌子面上弥散式供氧。

### 6. 工程师应有环保设计的理念

工程师在自然保护区设计青藏铁路路线时，遵循“能避绕就避绕”的原则，施工场地、便道、砂石料场的选址，都经过反复勘探确定，以尽量避免破坏植被。

为保障野生动物迁徙和繁衍的正常生活，青藏铁路全线设计了 33 个野生动物通道。

### 7. 工程师应具备筹划项目实施的能力

在制定各种技术工程计划的同时，也能全面考虑技术、经济、财政、环境及其他相关因素。

工程师在配备各种施工机械时，从技术和经济出发，在高温多年冻土区配置了旋挖钻，在低温多年冻土区配置了冲击钻。



## 探究与交流

1. 工程师设计时需要借鉴国内外经验和成果吗？
2. 旋挖钻和冲击钻的配置需要经过实践探索并分析比较吗？



## 小贴士

彭士禄，是我国第一任核潜艇的总设计师，在决定核反应堆（图 1.26）的工作压力时，他没有迷信苏联提供的“列宁号”核动力船舶的设计资料。通过周密的计算，毅然决定将原定的 200 个大气压降为 140 个大气压。后来，苏联方面也证实这个数据存在错误，“列宁号”对外公布的压力参数为 130 个大气压。

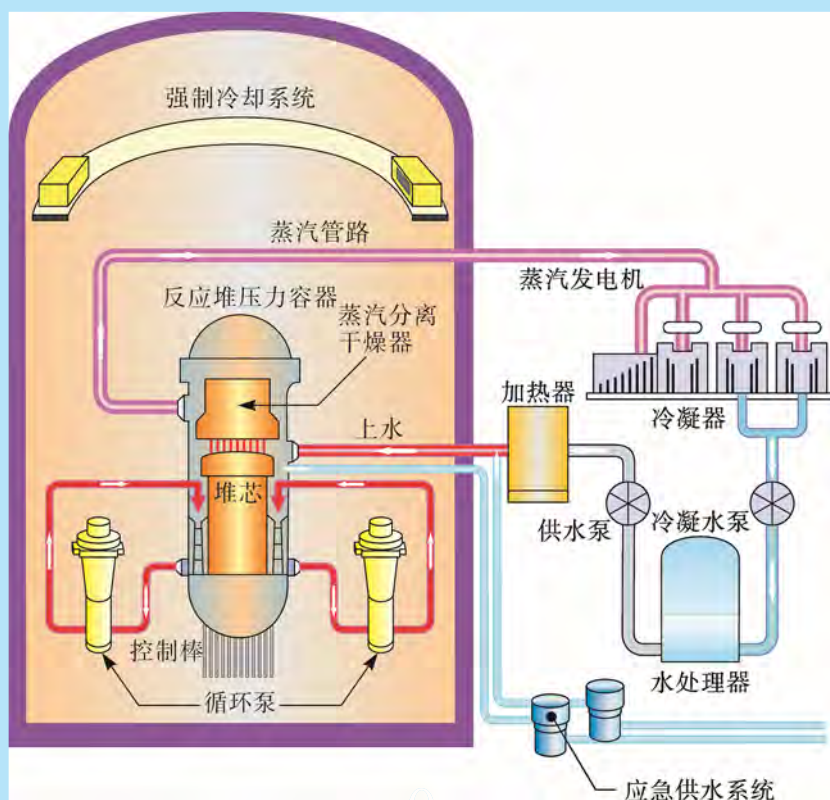


图 1.26 核反应堆技术

### 三、工程团队的重要性

“众人拾柴火焰高”“三个臭皮匠，赛过诸葛亮”，这些古话都说明了团队的重要性。任何时代，伟大的功绩都不是由一个人创造的，而是一个团队共同努力的结果。一个人，脱离了团队，即使他的力量再大、能量再强，也是有限的。而一个团队，却能够“众人齐心开大船”。在科学技术发展日新月异、学科分类越来越精细的今天，在工程方面，没有人能懂得所有的知识和技术，这就需要各个专业的工程师组成工程团队，来解决工程的问题。组成工程团队，才有可能实现团队合作，才能完成客户的需求。

例如，要完成一个工业机器人项目的设计，就需要组成一个包含领导者、机械工程师、电气工程师、电子工程师、软件工程师等人的团队，单枪匹马的个人是完不成该项目设计的。



### 探究与交流

1. 团队是个人成长的舞台吗？团队的成功是否就是个人的成功？
2. 追求事业成功的人是否必须借助团队？

## 四、工程团队的建设

团队是指为了实现某一特定目标，通过分工、合作以及不同层次的权利与责任结合在一起的人群。工程团队是指为了使工程项目有效实施而组建的团队。建设好一个工程团队是一个复杂的系统工程。团队要有最佳的组织机构，让每个成员都能找到最适合自己的位置，最大限度地发挥自己的潜力和价值，做到人尽其才。但组织机构并没有统一的模式，也没有最终的定论。不同的工程项目，需要不同的工程团队，也需要不同的工程组织架构。另外，团队的组成也不是一成不变的，有时要根据工程任务的需要，组成核心稳定的动态团队。



### 做中学

定位小车的设计与制作的过程中，小组的每一位成员都扮演工程师角色。

本节内容需要团队一起交流记录定位小车设计与制作的主要任务，明确分工，最大限度地发挥每一位成员的潜力和价值，做到人尽其才。



### 活动延伸

1. 阅读钱学森、邓稼先、南仁东、黄大年的生平事迹。
2. 查阅资料，研究中国科学院寒区旱区环境与工程研究所“冻土与寒区工程研究”团队。

## 第四节 如何获得设计对象的工程特性



### 学习目标

1. 初步运用标杆分析法、逆向工程法获得设计对象的工程特性。
2. 运用质量功能配置工具，将用户需求转换为关键工程特性。

如何获得设计对象的工程特性？如何获得其设计参数、设计变量及制约条件等内容？标杆分析法和逆向（反向）工程法是解决上述问题的两种有效方法，但对不同情况我们应区别对待。当我们遇到相同的工程设计中有好的例子，我们可以用标杆分析法来解决问题。当我们根据已经存在的产品，打算缩短产品的设计、开发周期，以制作出功能相近，但又不完全一样的产品时，逆向工程法更为合适。而运用质量功能配置工具可以方便地让我们找出对象的关键工程特性。

### 一、标杆分析法

建筑工程、道路工程、机械工程等的工程设计，在许多情况下是相似的。在这种情况下，树一个标杆来比较是非常必要的。标杆分析法就是将该项目工程与同类工程的最优者进行比较，从而找出差距，不断寻找改进的途径，提出行动方法，移植最优者的最佳方案等，来弥补自身的不足或者集成创新超越最优者。

例如，某国有大型企业的冶炼炉（图 1.27）是重点改造项目，企业考察国外先进生产工艺后，在实现炉体液压传动、炉体温度自动检测、炉况工业电视监视、电炉加料、电极升降、混配料等电子计算机控制、炉前快速分析等方面均找出了差距。后经改进，电炉冶炼产量翻番，年产由 15 000 t 提高到 30 000 t，产品质量也得到提高。其中采用添加剂调整的新技术，满足了不同用户的质量要求，生产耗能大幅下降，安全生产和控制污染等方面达到了当时国际先进水平。



图 1.27 冶炼炉



### 探究与交流

1. 标杆分析法能否分为战略层、管理层和操作层的标杆分析?
2. 标杆分析法是仅针对一流企业进行分析吗?

## 二、逆向工程法

在工程技术人员的一般概念中,产品设计过程是一个从设计到产品的过程。设计人员首先在大脑中构思产品的外形、性能和大致的技术参数等,然后在详细设计阶段完成各类数据模型,最终将这个模型转入研发流程中,完成产品的整个设计研发周期。这样的产品设计过程被称为“正向设计”过程。

逆向工程产品设计就是根据已经存在的产品,反向推出产品设计数据的过程,可以认为是一个从产品到设计的过程。著名的逆向工程的例子是苏联通过学习美国 B-29 轰炸机研发出 Tu-4 轰炸机(图 1.28)。



图 1.28 Tu-4 轰炸机

逆向工程也可称为反向工程。大多数情况下,设计师是按照客户要求来设计产品,但是有的时候,市场上可能已经有类似的产品。在这种情况下,可将已有的产品分解成若干子系统,设计者通过对其功能和其他一些数据的综合分析,就可以发现子系统的一些缺陷。如果目前有更先进的方法和技术,就可以进行替换或改进,这个过程被称为“反向设计”。

反向设计的第一步,是进行过程描述,也称为产品的功能体现。这样,可以明确产品的设计理念及其所包含的子系统及所考虑的要素。接下来一步,称为产品的设计体现。可以确定不同子系统所体现的不同功能。反向设计的具体过程有过程描述、子系统分解、建立子系统功能 3 个阶段。下面以手电钻的反向设计为例,叙述这 3 个阶段。



### (一) 过程描述

手电钻是一种便携式小型钻孔工具，是以电力为动力的钻孔工具，经过齿轮变速，带动钻轴旋转，钻轴上安装的钻夹头夹持钻头完成相应的加工作业。手电钻主要用于对金属、塑料、木材等材料的钻孔、扩孔。加装正反转开关和电子调速装置后，可用来作电动螺丝刀。有的型号配有充电电池，可在一定时间内，在无外接电源的情况下正常工作。

手电钻主体由传动系统（钻夹头、输出轴、齿轮组、轴承）、动力系统（串励式电动机）、机壳、风冷系统（风扇、风道）、电源连接装置系统等构成。

### (二) 子系统分解

通过过程描述，可以确定以下子系统：传动系统、动力系统、风冷系统、电源连接装置系统。图 1.29 所示为手电钻的反向设计示意。从最底部的“具体化”开始，最终实现每个功能。

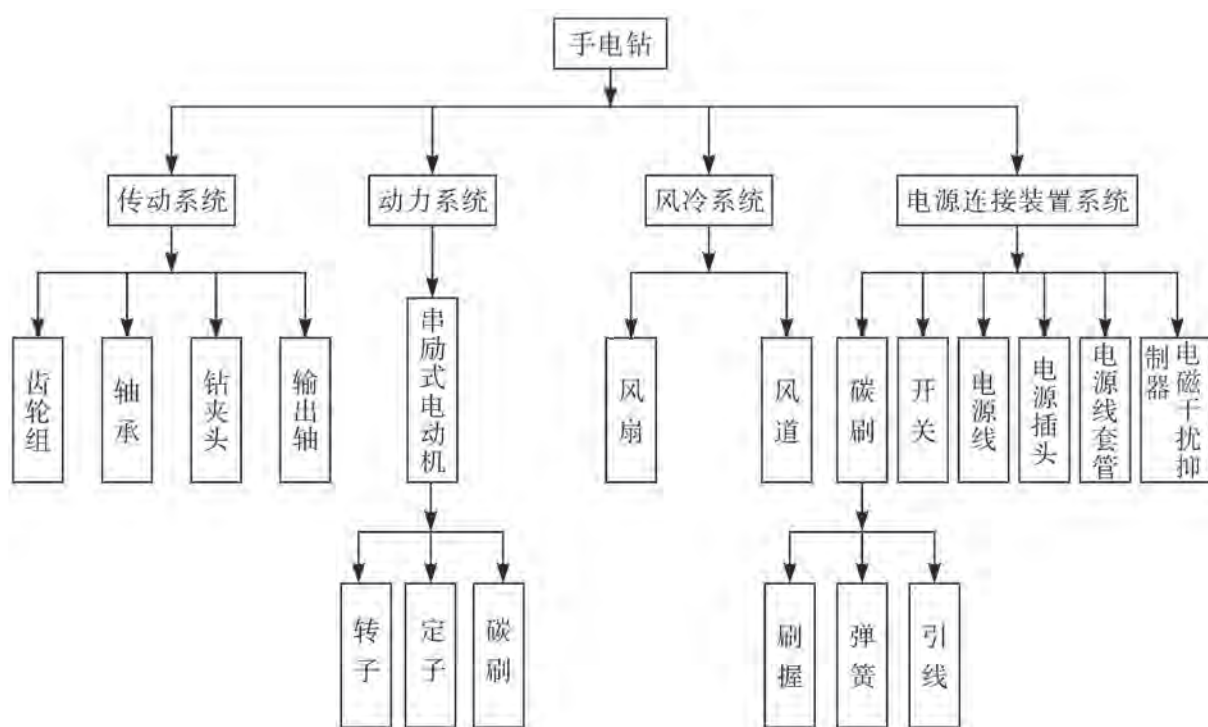


图 1.29 手电钻的反向设计示意

### (三) 建立子系统功能

在手电钻设计中，动力系统选用的是串励式电动机，它能为手电钻提供动力。传动系统是手电钻的重要部分，传动系统传导动力，由齿轮组、轴承、钻夹头、输出轴等构成。手电钻的减速方式是一级斜齿轮减速，其齿轮组分别由电动机转子轴上的轴齿齿轮和输出轴上的大齿轮构成。

风冷系统的设计主要是风扇的设计及风路的设计。风路设计包括进风口，挡风板，定于铁口与机壳间的风道设计。通常风扇设计成离心式风扇，扇叶采用平板设计。

电源连接装置为动力系统提供电能，能通过电源插头、电源线、电源线套管、开关等安全地连接外部电源。



### 探究与交流

1. 船舶工业中常用的船体放样设计是否为反向设计?
2. 反向设计与三维打印有什么技术联系?



### 做中学

在老师的指导下，拆解一个手电钻并重新组装。拆解手电钻后，列出所有零件的名称及功能。在拆解过程中，画出草图，仔细地记录手电钻的结构，并妥善地将所有零件放好。

警告：不可带电操作，请确保手电钻没有连接电源。

## 三、质量功能配置

质量功能配置是一种用于帮助群体协调工作的系统化的方法，是用户驱动的产品开发方法，即采用系统化、规范化的方法调查和分析顾客需求，明确顾客的要求，并将其转换为产品特征、零部件特征、工艺特征、质量与生产计划等技术需求信息（即关键的工程特性），使所设计和制造的产品能真正地满足顾客需求。

质量功能配置通常是由与特定产品有关的各种专业人员组成的多方论证小组来完成。因此，质量功能配置是一种工具，是专家们集中到一起来解决问题，而不是把问题留到下一阶段。

质量功能配置要整合所有已经完成的工作，并量化评估每个步骤的执行情况及整体的设计情况。首先使用一个“质量屋”图表来考察设计规格与最初的客户要求之间的关系。然后，用另一个“质量屋”图表来考察设计理念和设计规格之间的关系，以此类推。在展开的过程中，上一步的输出就是下一步的输入，由此构成质量功能配置方法的瀑布式分解简化模型（图1.30）。这种“串联”的方法可以使整个设计过程连成一个整体。同时，它还可以分别评估每个步骤对最初的客户需求的满足情况。

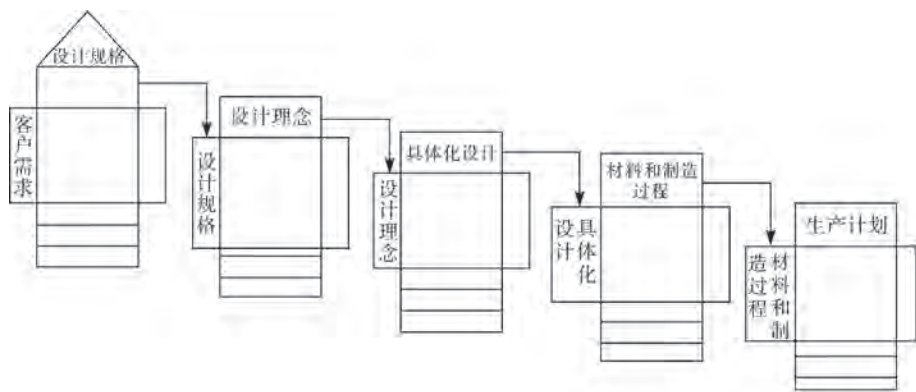


图 1.30 质量功能配置方法的瀑布式分解过程





### 活动延伸

1. 考察本市其他中学的体育场（馆），用标杆分析法分析。
2. 分组分析已拆解下的手电钻的各个零件是否有待改善之处（如改变零件材料和形状）。

## 本章小结

工程是将自然科学的理论应用到具体工农业生产部门中形成的各学科的总称。工程历史悠久，工程发展可分为古代工程、近代工程和现代工程三个阶段。

工程的特性包括工程的社会性、工程的创造性、工程的综合性、工程的集成性、工程的科学性和经验性、工程的伦理约束性和工程的效益性。设计对象的工程特性可以通过标杆分析法和逆向工程法获得。用质量功能配置工具可以将用户需求转换为关键的工程特性。

工程设计是一个决策过程，也是一个不断优化的过程，在这个过程中需要使用基础物理、数学以及工程科学来优化转换组合资源以实现特定目标。工程设计首先要关注设计层次、可行性、先进性、节能性、人性化等重点内容。工程设计要考虑性能需求、生命周期、质量控制、环境关系、制造能力、维护、工效学、法律法规和社会等各项技术要素。

## 学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	能积极参与实践活动			
		与小组成员有效合作			
		查阅车的发展历史及车结构演变过程			
结果评价	目标实现	全面考虑车辆设计要点及设计的技术要素			
		明确定位小车设计的关键点			
		了解工程的含义、分类、特性及发展历程			
		了解工程设计的内涵和设计要素			
	收获反思	了解工程师的工作特点和职业要求			
		能运用标杆分析法、逆向工程法、质量功能配置工具等获得设计对象的工程特性			
	收获与感悟				
	反思不足				

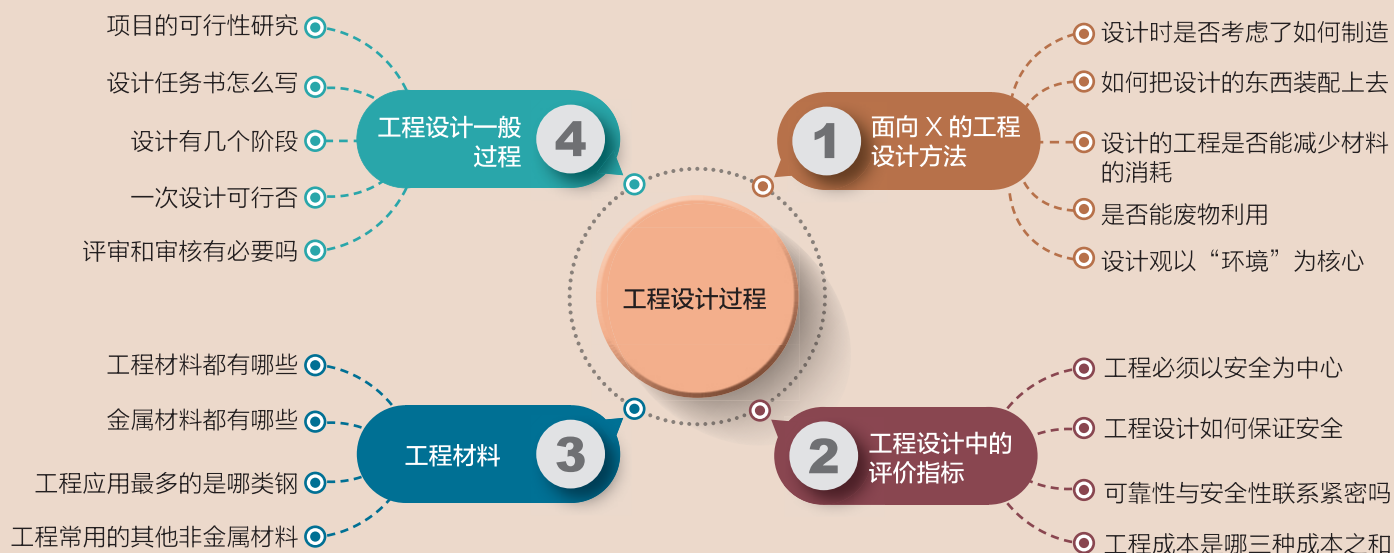
# 第二章

## 工程设计过程

### 导 言

定位小车的设计过程包含了工程设计的一般过程。定位小车的设计过程包括针对车体结构的初步设计和针对关键构件——动力系统和制动系统的技术设计。完成项目相关信息收集后，同学们需要规划小车设计与制作流程，探讨如何设计制动系统能实现可靠定位，思考利用什么材料制作小车成本最低从而实现工程的经济性。为了提高项目的物化能力，小组需结合实验室条件进一步探讨小车各构件制作所用材料。

### 思维导图



## 第一节 面向 X 的工程设计方法



### 学习目标

1. 初步掌握面向制造、面向装配的设计方法。
2. 初步掌握面向环境的设计方法。

传统的产品开发流程通常是设计—生产制造—销售各个阶段串行完成，生产准备只能在设计完全结束后启动，这就延长了产品开发时间。因为在设计阶段，设计师只负责按照功能要求把产品设计出来，没有全面考虑制造的可能性、装配的合理性、维修要求等因素，所以在产品的生产过程中总会出现这样那样的问题，使得产品开发周期延长、成本增加，质量和可靠性得不到有效的保证。全球性的激烈竞争迫使企业重新审视传统的设计与生产过程，寻求一种新的设计思想和生产模式来实现他们“短周期、高质量、低成本”的理想。

面向 X 的设计 (design for X, DFX) 方法正是在这种需求下发展起来的。DFX 设计方法是指在产品设计阶段就考虑产品生命周期内各阶段的因素 X (如制造、装配、环境、质量等)。

### 一、面向制造的设计

在产品设计时不但考虑功能和性能要求，而且还要考虑产品的可制造性的设计，就是面向制造的设计 (design for manufacture, DFM)。

DFM 设计方法是 DFX 设计方法重要的一部分，在机械产品、电子产品等设计中应用尤为广泛。下面我们以设计一个机械加工件为例介绍 DFM 设计方法。因为在越来越多的行业中，机械切削加工 (图 2.1) 正被其他加工方式替代，例如注射加工、冲压加工、压铸加工等。所以，在设计机械加工工件时，设计工程师应首先想到的问题是：可以用其他加工方式来替代机械加工吗？在可能的情况下，尽量避免使用机械加工。若不得不采取机械加工，设计时，在保证使用要求的情况下，首先考虑宽松的零件公差要求。



图 2.1 机械切削加工

机械零部件公差越严格，成本越高 (图 2.2)。零件精度越高，越要求更精密的加工工序，同时伴随着加工效率的降低，因此加工成本会大幅上升。对于机械加工的零件，只要

能保证使用要求，就可以选用大一些的公差值。

在设计机械加工件时，不能仅仅考虑单个零件，要有全局意识，尽可能地简化产品和零件结构，使产品整体易于机械加工，加工质量高，加工成本低。对单个零件来说，也要降低其加工难度，尽量采用标准化参数，同类参数应尽量一致。设计时还要考虑机械加工件的后续工序的质量。

另外，尺寸标注应便于测量，零件结构要有足够的刚度，零件应便于装夹，尽量采取一次装夹加工，减少加工面积，减少走刀次数，不同要求的表面明显分开，箱体表面凸台应尽量等高、孔的位置不能与箱壁太近，等等，也是面向制造的设计方法。

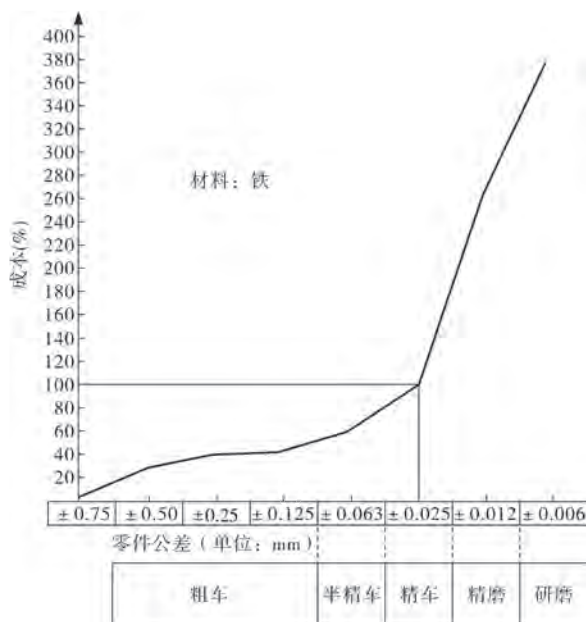


图 2.2 机械加工成本与公差的关系



### 探究与交流

如果要制造一个三人座的长凳，请同学们交流有哪些方便制造的设计思路。

## 二、面向装配的设计

面向装配的设计（design for assembly, DFA）是指在产品的设计阶段就要考虑到产品的可装配性，确保装配工序简单，装配效率高，装配质量高，装配成本低。设计装配图时，对图纸上的每一部分都要核对：该零件是否必不可少？是否与其他零件能更好地融为一体？是否能用更简单且成本更低，但作用相似的零件替代？

装配工序有优劣之分。不同的装配工序对产品的影响差别很大。从装配质量、装配效率和装配成本等方面来看，最好的和最差的装配工序的特征见表 2.1。



表 2.1 装配工序对比表

最好的装配工序	最差的装配工序
1. 零件很容易识别	1. 零件很难识别
2. 零件很容易被抓起和放入装配位置	2. 零件不容易抓起，容易掉到其他位置
3. 零件能够自我对齐到正确的位置	3. 零件需要操作人员的不断调整才能对齐
4. 在固定之前，零件只有一个唯一正确的装配位置	4a. 在固定之前，零件能够放到两个或两个以上的装配位置
	4b. 很难判断哪一个装配位置是对的
	4c. 可以在错误的位置固定零件
5. 紧固件很少，快速装配	5. 螺钉、螺栓、螺母牙型多种，长度多种，头型多种，令人眼花缭乱
6. 不需要工具或夹具的辅助	6. 需要工具或夹具的辅助
7. 零件尺寸超过规格，依然能够顺利装配	7. 零件尺寸在规格范围之内，但依然装不上
8. 装配过程不需要过多的调整	8. 装配过程需要反复的调整
9. 装配过程很容易很轻松	9. 装配过程很难很费力

目前，普遍采用单机装配和自动化装配，这两种装配差别很大。

面向装配设计的一些准则如下。

(1) 简化产品设计，减少零件数量。这个原则称为优化产品的第一准则也不为过。

(2) 考察每个零件，考虑去除每个零件的可能性。

(3) 把相邻的零件合并成一个零件，把相似的零件合并成一个零件，把对称的零件合并成一个零件。

(4) 避免过于稳健的设计。稳健应有一定的限度。过于稳健的设计会增加零件数量并导致产品更为复杂，造成产品成本的增加。

(5) 合理选用零件制造工艺，设计多功能的零件。

(6) 使用全新技术。比如技术的进步促使手机不断进化（图 2.3）。

(7) 减少紧固件的数量和类型。使用同一种类型的紧固件，使用卡钩、折边（钣金）等代替紧固件，避免分散的紧固件设计，使用自攻螺钉代替机械螺钉，把螺栓、螺母作为最后的选择（图 2.4）。

同其他的装配方式相比，螺栓和螺母的制造成本最高，装配成本最高，装配效率最低。因此，除非零件的装配要求特别高，否则应把螺栓和螺母作为最后的装配选择。



图 2.3 手机的进化

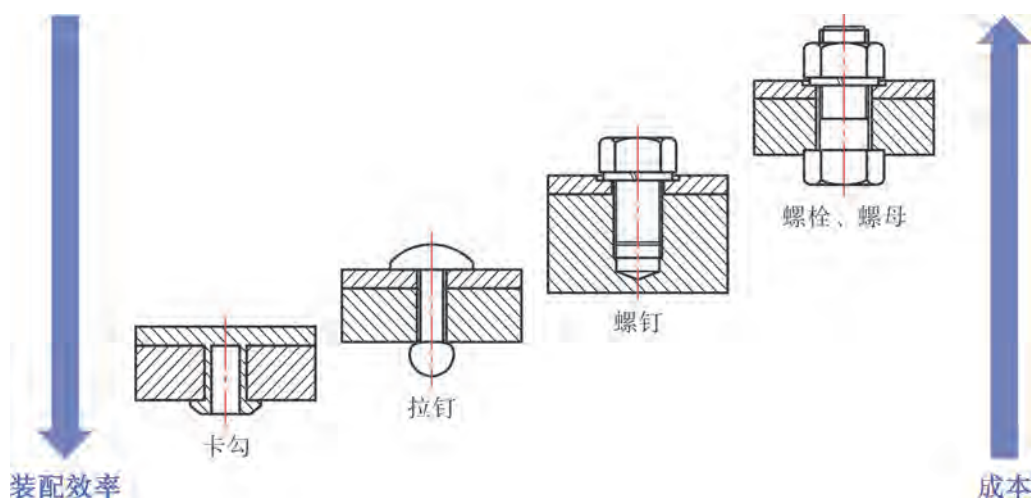


图 2.4 选择紧固件的装配效率与成本比较

(8) 尽量使用标准件。标准件是按照统一规定的标准、规格生产的具有通用性的零件。其生产成本低，质量可靠，且具有互换性。设计时尽量使用标准体，这样既可以降低成本，又能提高装配效率。

(9) 模块化产品设计是指把产品中多个相邻的零件合并成一个子组件或模块，一个产品由多个子组件或模块组成，如图 2.5 所示。模块化设计能缩短产品总装配工序，提高总装配效率，提高装配灵活性。此外，在不同的模块中合理使用人工或机械装配，能尽早发现质量问题，提高产品质量。还可以做出互换性设计，避免因质量问题而造成整个产品返工或报废。模块还能提高产品的可拆卸性和可维修性（可靠的零件或模块最先装配，把较容易出现问题的零件模块最后装配）。

(10) 避免把大的零件置于小的零件上装配。

(11) 避免零件过小、过重、过滑、过黏（有磁性）、过热、过软，避免零件本身互相缠绕，避免零件在装配过程中卡住，避免零件在装配过程中互相干涉，避免用户在使用过程中发生干涉，避免操作人员或消费者受到伤害，避免使用特殊的工具，避免长轴装不进箱体孔等。

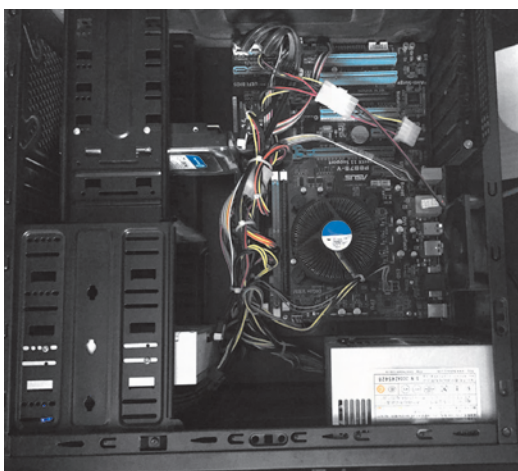


图 2.5 台式计算机主机的模块化设计



### 探究与交流

1. 交流近年来手机、相机的变化进程。
2. 使用标准件的好处都有哪些？



### 活动延伸

请同学们仔细观察身边的物品，找出一些产品模块化设计的例子，并试着分析模块化设计如何提升了产品的装配效率。

## 三、面向环境保护的设计

在漫长的人类设计史中，工业设计为人们创造了现代生活方式和生活环境的同时，也造成了环境污染，如废水、废气、固体废弃物和噪声的污染（图 2.6），对地球的生态平衡造成了极大的破坏。为了减少产品对环境产生的负面影响，保护环境、消除污染、获得绿色产品，产品设计和工艺人员必须评估产品对环境的影响。对环境的保护要体现在产品设计及制造过程中。以环境保护为核心的设计，就是面向环境保护的设计，也称作生态设计、绿色设计。



图 2.6 噪声污染

环境保护设计应包括：绿色材料选择、绿色制造过程、产品可回收性、绿色包装、绿色物流、绿色服务。在面向环境保护设计中，从产品材料的选择，生产和加工流程的确定，产品包装材料的选定，直到运输等都要考虑资源的消耗和对环境的影响。要寻找和采用尽可能合理和优化的结构和方案，使得资源消耗和环境的负面影响降到最低。

面向环境保护的设计是一个体系与系统，它不是单一的结构与孤立的技术现象，而是多学科彼此交融。

### （一）减量化

减量化就是材料消耗、用量、碎料和废料的最小化。减量化要求尽量减少包装，使用过程中的材料消耗最小化，产品开发阶段的材料消耗最小化和能源消耗最小化。

#### 1. 近净成型技术

近净成型技术指成型后的毛坯接近或达到零件的最终形状和尺寸，稍经加工甚至不经加工即可参与装配的技术，可极大程度地节约材料、设备和人力。近净成型技术包

括精密锻造、精密冲压、精密铸造、粉末冶金（图 2.7）、工程塑料的压塑和注塑等。型材改制，如型材、板材的焊接成形，有时也被归入近净成型技术。

（1）半固态加工技术。半固态加工技术是一种生产效率高、近乎无余量的精确成型技术。以生产单位质量零件为例，半固态加工与常规压铸相比，可节能 35% 左右，可节省材料 20%~30%。

（2）精密冷碾技术。精密冷碾技术可使材料利用率提高 20%~40%。

（3）粉末冶金净成型技术。粉末注射成型技术是将现代塑料注射成型技术引入粉末冶金领域而形成的一门新型粉末冶金净成型技术。

## 2. 高速加工技术

高速加工技术切削效率高，加工工序少，可大大减少切削工时，减少了能源的消耗。还可采用干切削，减少废水的排放。

## 3. 数字化增材制造技术

数字化增材（量）制造技术就是快速原型制造技术，也被称为三维（3D）打印技术（图 2.8）。在数字化增量制造中剩余的材料可继续使用，有些使用过的材料经过处理后还可继续使用，大大提高了材料的利用率。

### （二）回收重用

在设计过程中，要选择无毒害的资源、材料、能源，选择可再生和生物兼容的资源、材料、能源，这样设计出的产品可直接回收重用。

再制造是指以废旧工业制成品为原料，运用高科技的清洗工艺、修复技术（图 2.9），或利用新材料、新技术，进行专业化、批量化修复或技术升级改造，使得再制造后的产品（装备）在技术性能和安全质量等方面达到原同类新品的标准要求的工艺过程。再制造是循环经济再利用的高级形式。

例如，在工程机械行业中，每年都有大量的失效油缸被淘汰和废弃。对其进行再制造，可实现资源的重复利用。对再制造液压油缸来说，其经济成本由再制造工艺流程决定。一般而言，

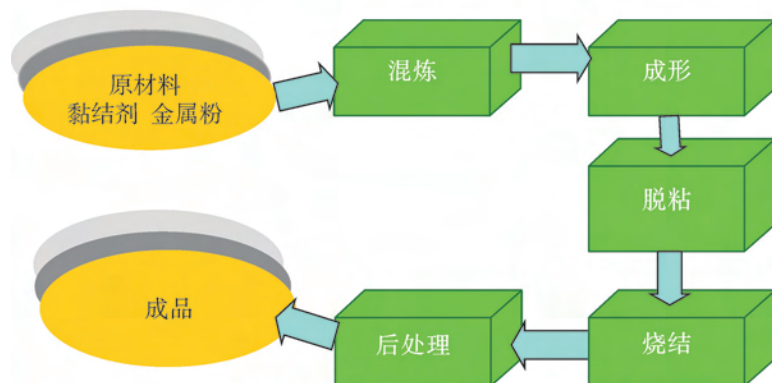


图 2.7 粉末冶金

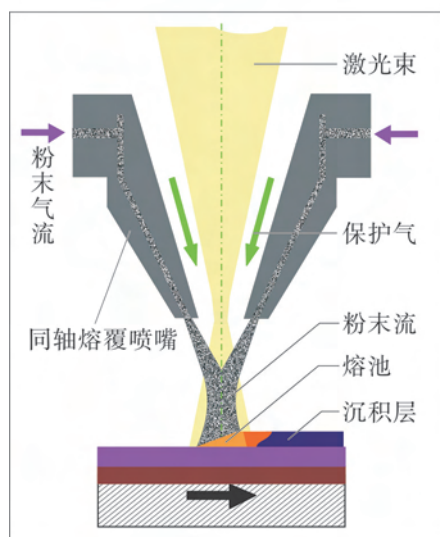


图 2.8 增材制造原理示意

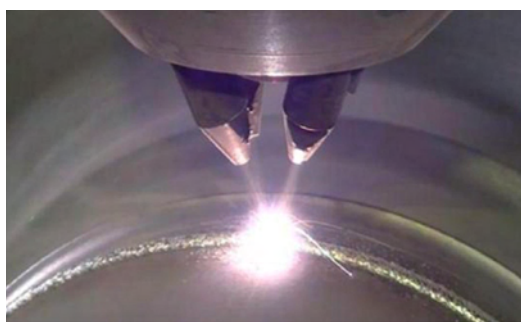


图 2.9 激光涂覆再制造修复技术



再制造的费用从废旧产品的回收开始，经拆卸、清洗、检测、再制造加工、试验、检验合格后成为再制造产品。由表 2.2 看出，再制造油缸的原材料和能源消耗比新件大幅下降。

表 2.2 油缸珩磨再制造和新件的生产成本（单位：元）

类型	原材料	能源	人工管理	设备折旧	油缸剩余价值	总计
再制造	30	150	350	130	400	1 060
新件	900	600	300	800	0	2 600

### （三）循环再生

在物质的循环、再生、利用的基础上发展经济，是一种建立在资源回收和循环再利用基础上的经济发展模式。其特点是资源使用的减量化、再利用、资源化再循环。其生产的基本特征是低消耗、低排放、高效率。循环再生提供了一种既能减少垃圾处理又能节约自然资源的方法（图 2.10）。

生活中可循环利用的固体废弃物有：废旧的金属、塑料、木料、橡胶、纸张、棉麻制品等；液体的废水、污水、雨水、废油、污油等；还有垃圾中可以生成肥料的废物，如厨余垃圾等；建筑施工中产生旧石料、石砖等。

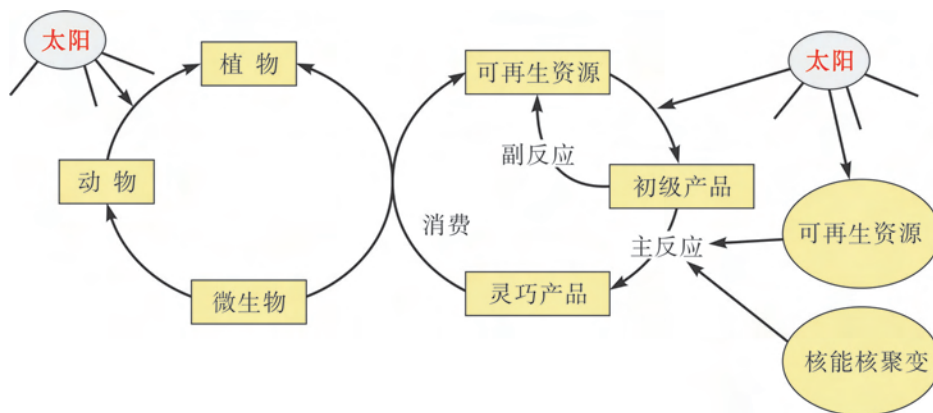


图 2.10 与自然生态系统耦合的理想循环经济模式



### 探究与交流

1. 生物柴油技术是否是循环再生的例子？
2. 旧衣物回收再利用是否是循环再生？

### （四）节能

设计时，采用节能技术和节能产品，按照节能标准和规范设计，会更好达到减少资



源消耗、保护环境的目的。

例如,我国首座超低能耗示范楼——清华超低能耗示范楼(图 2.11)集中使用了近百项国内外先进的建筑节能技术,建筑物全年电耗仅是本市同类建筑物的 30%。

### (五) 技术与人文共生

技术与人文共生的设计,是一种可持续性设计。它融入了“人、事、物”三体共生的理念,融入了中国古代哲学思想和传统设计观念,均衡考虑了经济、环境、道德和社会问题。它将地球和各种系统都视为具备生命特征的实体,人类只是其中的有机组成部分,不是自然的统治者。

例如,中央美术学院象山校园一、二期(图 2.12)的工程设计,强调自然通风遮阳、旧建筑材料的再生利用、自然生态的乡土植物、构造上的雨水搜集系统等技术方法。形态上,其运动曲线和丘陵的起伏相呼应,回廊和走廊穿梭在建筑的内与外。



图 2.11 清华超低能耗示范楼

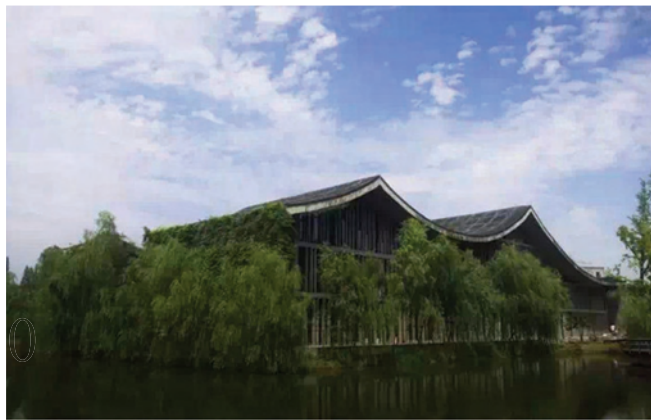


图 2.12 象山校园建筑



### 探究与交流

1. 找出一个现实生活中环保型工程设计的例子并分析其中有哪些环保设计。
2. 找出身边的节能产品并分析其中应用的节能技术。



### 做中学

1. 结合学校实验室的制作条件,初步规划小组设计制作的定位小车需要的材料及加工条件。
  - (1) 车轴常用材料:  $\phi 4$  钢筋轴、 $\phi 6$  竹子轴等。
  - (2) 车底板、轴架板常用材料: 三合板、五合板等。

- (3) 动力系统：橡皮筋、电机、气球、扇叶等。
- (4) 制动系统：线绳、定时器等。
- 2. 初步规划定位小车设计与制作流程。
- 3. 交流本组的设计是否是面向环境保护的设计。

## 第二节 工程设计中的评价指标



### 学习目标

1. 理解工程设计过程中的安全可靠性的。
2. 理解工程设计过程中的经济性的。

在运行状态下安全可靠的工程，才是合格的工程。任何对工程的安全性、可靠性的忽视，都可能酿成大错。因此，工程设计中的评价，是保证工程质量不可缺少的重要环节。首先，工程设计要符合标准化要求。其次，工程设计人员必须经过安全继续教育及相关培训，掌握工程设计中的安全技术，有效地提升知识水平及业务能力，这样才能更好地进行工程设计，使工程项目顺利实施。同时，工程设计过程中的经济评价，是项目决策的重要依据，工程设计人员绝不能忽视。

### 一、工程设计的标准化

标准化设计是指在一定时期内，面向通用产品，采用共性条件，制定统一的标准和模式，开展的适用范围比较广泛的设计。与工程相关的各行业都有各自的行业标准，如国家标准，部颁标准，省、市、自治区标准等。

设计人员进行工程设计时应符合标准化要求，否则责令改正，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

### 二、工程设计的安全性

设计工作的安全性作为整个工程建设的重要组成部分，在现阶段时常还存在着被设计师忽略、没有把它提高到应有的高度的现象。某些设计师还没有把“安全第一”铭刻在心，

因工程设计安全性考虑不足所造成的事故，也时有发生。因此，若要有效地避免工程上的事故发生，必须高度重视工程设计的安全性。

工程必须以安全为中心，提高设计人员的安全意识，严格遵守国家的相关法律法规及设计规范，保证每个设计的安全性。在项目设计阶段，项目的初步设计、施工设计要有相应的安全健康措施，而且要通过安全技术部门审查。

### （一）按安全要求设计

设计师要按安全标准和规范设计。例如，机械加工车间（图 2.13）设备布局要求如下。

（1）机械设备间距：小型设备不小于 0.7 m，中型设备不小于 1 m，大型设备不小于 2 m。

（2）设备与墙、柱间距：小型设备不小于 0.7 m，中型不小于 0.8 m，大型不小于 0.9 m。

（3）操作空间：小型设备不小于 0.6 m，中型不小于 0.7 m，大型不小于 1.1 m。



图 2.13 机械加工车间

### （二）工程结构安全

设计师要严格计算工程结构的最大承载力，对承载力估计不足会造成严重后果。

例如，1981 年，美国堪萨斯市凯悦酒店开张时，上千人走上宾馆连接天桥后，人行天桥垮塌，造成严重事故。究其原因，是在设计人行天桥的铁栏时没有综合考虑其承受力。

### （三）工程材料安全

材料安全主要是通过提高材料质量增加安全性能，而非依靠材料数量的增加来提高安全性能。关注材料的质量，也是关注工程的耐久性、稳固性。设计人员还应当考虑施工安全操作和防护的需要，对涉及施工安全的重点部位和环节应在设计文件中注明，告知施工单位材料质量的重要性。



#### 探究与交流

中国正在建设的第二大水电站——白鹤滩水电站（图 2.14）工程要用无缝钢管，能否使用非正规企业生产的产品？



图 2.14 白鹤滩水电站

#### (四) 工程运行安全

有些工程项目在运行时，工程处于易使人员伤亡的危险状态，这是设计师的失职造成的。

1989年，韩国利川发生了一起树脂加工厂火灾爆炸事故，造成了严重危害。造成该事故发生的原因之一是工厂设备电加热器表面未覆盖石棉等绝热材料，并未防止粉末树脂与电加热器的直接接触。这是典型的设计失误。

#### (五) 设计资料齐全

设计师必须根据完备的资料计算出来的结果做出设计，不完备的数据无法保证工程及人民生命财产的安全。



#### 探究与交流

1. 设计桥孔需要水文资料吗？
2. 设计水库大坝需要气象资料吗？需要地质资料吗？

#### (六) 人机安全

人机安全性设计研究对工程设计有很重要的意义，可以通过人机安全性设计提高设计系统的可靠性，从而使所设计系统的人和机器都达到本质安全。

例如，双缸洗衣机（图 2.15）放置甩干筒的箱体外有一个专设箱盖，箱盖在开启状态，甩干桶的电门开关打开后，甩干桶也不会工作。若甩干桶在高速旋转，打开这个箱盖后，甩干桶也将立即制动而停转。这就是典型的安全性设计，从设计上保证了使用者的安全，使高速旋转的甩干桶绝对不会伤害使用者。



图 2.15 双缸洗衣机

### 三、工程的可靠性

工程的可靠性与安全性紧密相连，工程的可靠性主要靠工程结构的可靠性来保证。在国家颁布的 GB 50153—2008《工程结构可靠性设计统一标准》中，结构可靠性的基本要求如下。

结构的设计施工和维护，应使结构在规定的  
设计使用年限内，以适当的可靠度和经济的方式  
满足规定的各项功能要求。

结构应满足下列功能要求：能承受在施工和  
使用期间可能出现的各种作用；保持良好的使用  
性能；具有足够的耐久性能；当发生火灾时，  
在规定的时间内可保持足够的承载力；当发生爆  
炸、撞击、人为错误等偶然事件时，结构能保持必



图 2.16 撞击后连续倒塌后的桥



需的整体稳固性，不出现与起因不相称的破坏后果，防止出现结构的连续倒塌（图2.16）。

结构设计时，应根据下列要求采取适当的措施，使结构不出现或少出现可能的损坏：避免、消除或减少结构可能受到的危害；采用对可能受到的危害反应不敏感的结构类型；采用当单个构件或结构的有限部分被意外移除或结构出现可接受的局部损坏时，结构的其他部分仍能保存的结构类型；不宜采用无破坏预兆的结构体系；使结构具有整体稳固性。

#### 四、工程的经济性

工程的经济性是指工程从规划、勘察、设计、施工到整个产品使用寿命周期内的成本和消耗费用，具体表现为设计成本、施工成本和使用成本三者之和。在设计时要正确估算工程成本。

设计成本是根据一定生产条件，通过技术分析和经济分析，采用一定方法所确定的最合理的加工方法下的产品预计成本。其依据是产品的设计方案。

施工成本是指在建设工程项目的施工过程中所发生的全部生产费用的总和，包括消耗的原材料、辅助材料、构配件等费用，周转材料的摊销费或租赁费，施工机械的使用费或租赁费，支付给生产工人的工资、奖金、工资性质的津贴等，以及进行施工组织与管理所发生的全部费用支出。

使用成本是购买者在使用产品过程中所发生的一切费用，包括产品使用期内的运行、维护、修理及更换零件等。



#### 做中学

结合本节工程设计中的评价指标——工程的可靠性，探讨如何设计制动系统以实现定位小车可靠定位？定位小车常用的制动方式主要有线绳制动（图 2.17）和定时器制动（图 2.18），结合小车动力系统，选择合适的制动方式。

结合本节工程设计中的评价指标——工程的经济性，探讨选择什么材料（提倡废物利用）制作定位小车能使小车成本最低从而实现工程的经济性？

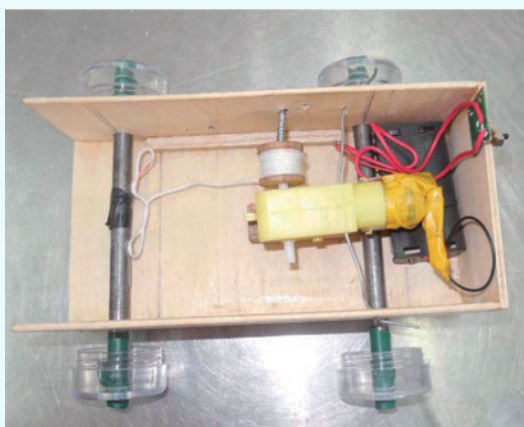


图 2.17 电机驱动线绳制动小车

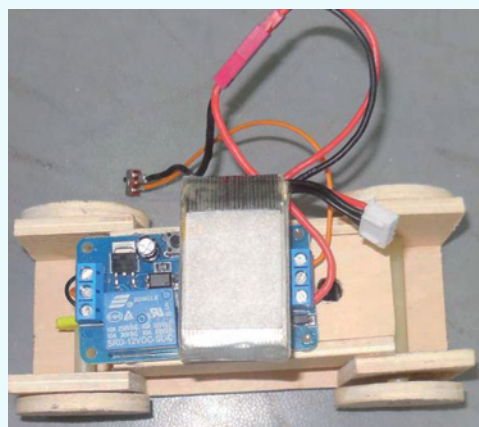


图 2.18 电机驱动定时器制动小车





### 活动延伸

找出几个工程灾难的例子，分析它们分别是由于设计时忽略了哪些不安全因素造成的？

## 第三节 工程材料



### 学习目标

1. 能举例说出工程项目中所涉及的材料。
2. 能根据设计要求初步选择合适的材料,提高物化能力。

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。20世纪80年代以高技术群为代表的新技术革命,把新材料、新能源、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。这主要是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关。材料除了具有重要性和普遍性以外,还具有多样性。由于材料多种多样,所以并没有一个统一的标准分类方法。信息革命以来,新工程不断涌现,技术不断推陈出新,为适应新时代的新要求,新材料也层出不穷。作为一名设计者,必须了解各种工程材料的性能与特征,这样才能在工程设计中选择合适的材料来实现想要的功能。

### 一、工程材料概述

工程材料主要指广泛用于机械、电气、建筑、化工及航空航天等工程领域的材料。工程材料种类多、用途广泛,按材料组成物质属性的特点,将材料划分为金属、陶瓷、高分子材料、复合材料、天然材料等基本类型。

### 二、金属材料

金属材料包括纯金属和以金属元素为主的合金。金属材料具有良好的力学性能、物理性能和化学性能,工业上通常把金属材料分为钢铁材料、有色金属及其合金。

## (一) 钢

钢是指以铁为主要元素、碳的质量分数一般在 2% 以下，并含有其他元素的材料。在铬钢中碳的质量分数可能大于 2%，但 2% 通常是钢和铸铁的分界线。根据国标 GB/T13304.2—2008《钢分类》，钢按照化学成分可分为非合金钢、低合金钢和合金钢三大类。按照主要质量等级可分为普通质量、优质和特殊质量三种（图 2.19）。钢材在工程中应用十分广泛，下面列举几个典型的应用案例。

轨道车是铁路工程施工、线路养护与紧急抢修的重要设备，它承担着施工人员和维修材料的运输牵引工作。青藏铁路是世界上海拔最高的铁路，环境具有低气压、低气温、温差大、多风沙、强紫外线辐射等特点。Q345E 低合金钢是一种特殊低合金钢，具有较好的耐低温冲击性能，青藏铁路高原轨道车（图 2.20）车体的车架钢板及型材采用了 Q345E 低合金高强度结构钢。



图 2.19 钢材分类图



图 2.20 青藏铁路高原轨道车

斜拉桥（图 2.21）结构在我国桥梁工程中已有数十年应用历史，斜拉索是其重要部件，要求具有较高的抗拉强度、低松弛性和防腐性能。

如沪通长江大桥主航道桥采用斜拉桥结构，主航道桥跨度大、荷载重，这决定了斜拉索索力大、部分斜拉索长度大，但传统的斜拉索强度难以满足实际的工程需要。需研制超高强度斜拉索。而此次大桥设计中斜拉索采用的是直径 7 mm、标准抗拉强度为 2 000 MPa 的平行钢丝，不仅减小了斜拉索的迎风面积，降低了风对结构的影响，而且还具有超高强度。

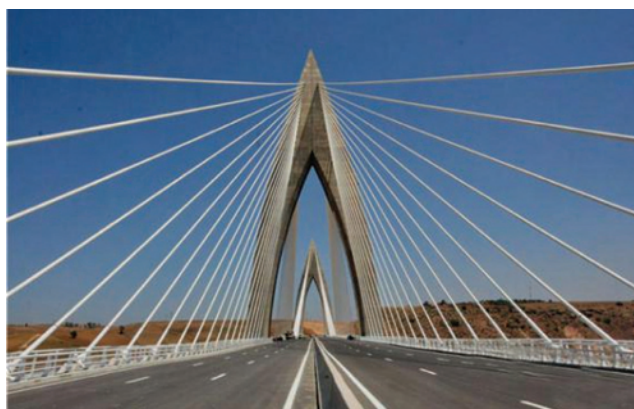


图 2.21 斜拉桥

港珠澳大桥（图 2.22）的设计寿命为 120 年。由于大桥所处环境具有湿度大、氯离子含量高、台风较多等特点，设计方首次在国内桥梁设计方案中引入了不锈钢钢筋材料。不锈钢钢筋材料具有优异的耐腐蚀性，应用于墩身等结构件中，可以有效地增强其稳定性并延长其使用寿命。



图 2.22 港珠澳大桥



### 探究与交流

1. 学校建筑物地基使用的钢筋是什么钢制作的？
2. 农村木匠用的凿子、刨刀等工具是什么材料制作的？

### （二）铸铁

铸铁是碳的质量分数大于2%并含有锰、硅、磷、硫等元素的铁碳合金。同钢相比，铸铁虽然强度、塑性、韧性较低，但是它熔炼简便、成本低廉，具有优良的铸造性、很高的耐磨性和良好的切削加工性能等一系列优点，因此获得较为广泛的应用。例如，罗茨鼓风机（图2.23）的叶轮、机壳多选用铸铁材质。



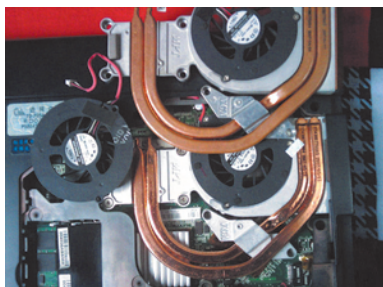
图 2.23 罗茨鼓风机

### （三）有色金属及其合金

工业生产中，通常把钢和铸铁标为黑色金属，钢铁之外的金属称为有色金属。有色金属及其合金与钢铁材料相比，具有许多特殊性能，是现代工程中不可或缺金属材料。常见的有色金属及其合金是铜及铜合金、铝及铝合金。铜及铜合金材料是人类最早使用的金属材料之一，青铜器（图 2.24）曾伴随我们的祖先走过一个时代。在现代，铜及铜合金因其良好的导电、导热性能是电器工业和仪表工业中重要的材料（2.25a）。铝、镁、钛等金属及其合金具有密度小、强度高等特点，在航天航空工业、汽车制造等方面应用十分广泛（图 2.25b）。



图 2.24 青铜器



a. 计算机中的散热铜管



b. 汽车中铝合金轮毂

图 2.25 有色金属及其合金的应用



### 三、非金属材料

#### (一) 高分子材料

高分子材料又称聚合物，是以高分子化合物为基础制备的材料。高分子材料在机械、电气、纺织、汽车、飞机、轮船等制造业，以及化学、交通运输、航空航天等工业中被广泛应用，其主要原料是石油化工产品。按其性能用途和使用状态，可分为塑料（图 2.26a）、橡胶（图 2.26b）、合成纤维（图 2.26c）和胶黏剂（图 2.26d）四大类型。



图 2.26 四类高分子材料

#### (二) 陶瓷材料

陶瓷材料是指硅酸盐与非金属元素的化合物（主要是指氧化物、碳化物、氮化物等），如水泥、玻璃、耐火材料。陶瓷材料具有高硬度、耐高温、抗氧化、耐腐蚀等优良的物理、化学性能，而且原料丰富。陶瓷按原料来源分为普通陶瓷和特种陶瓷。特种陶瓷有氧化铝、氮化硅、碳化硅、氮化硼、金属陶瓷等。

陶瓷材料在我们的生活中应用十分广泛。它具有高熔点、高硬度、高耐磨性等优点，可用作研磨材料（图 2.27）、刀具材料。



图 2.27 陶瓷研磨球

#### (三) 水泥

水泥是将氧化铝、氧化硅、氧化钙、氧化铁和氧化镁，在窑内一起煅烧并研磨成为极细的粉末，是一种最常用的建筑材料。

铝酸盐水泥具备极好的早强性、耐蚀性，温度越高，其强度越高。同时，铝酸盐水泥的烧蚀率低，硬化速度快，常用于卫星发射（图 2.28）中心发射台的导流槽。而普通硅酸盐水泥，由于耐冻性好，在青藏铁路修建中得到广泛应用。



图 2.28 卫星发射

#### (四) 木材

木材一般分为硬木材和软木材。硬木材如白桦、水曲柳、紫檀、榉木等。软木材如红松、马尾松、杉木、银杏等。

#### (五) 玻璃

玻璃按生产分类主要分为平板玻璃和深加工玻璃。深加工的中空玻璃隔热隔音效果好，是环保材料，多用作城市中的玻璃窗。

#### (六) 天然石材

常见的天然石材有花岗岩、大理石，常用于建筑装饰。

小浪底水利枢纽(图 2.29)的主坝为壤土斜墙堆石坝，在建造过程中就大量采用了天然石材。小浪底当地黏土防渗效果非常好且有大量黏粒含量高的土料场，当地又有大量石料场。大坝心墙采用黏土并与上游泥沙淤积形成的天然铺盖相连接，大坝上下游坝体采用堆石料，这样的大坝比混凝土坝成本低很多。



图 2.29 小浪底水利枢纽

### 四、复合材料

复合材料是由两种或两种以上不同性能或不同形态的材料(组分材料)组合而成的一种新的固体材料。自玻璃钢(纤维增强塑料)问世以来,复合材料的应用领域在迅速扩大,品种、数量和质量有了飞速发展。

玻璃钢在航天、航空领域中用于制造雷达罩、直升机机身、火箭导弹发动机壳体和燃料箱等;在船舶工业中用于制造轻型船(图2.30)、艇、舰;在车辆工业中用于制造汽车、机车、拖拉机车身、发动机罩等;在电机电器工业中用于制造重型发电机护环、大型变压器线圈绝缘筒以及各种绝缘零件等;在石化工业中代替不锈钢制作耐碱、耐酸、耐油的容器、管道和反应釜等。



图 2.30 玻璃钢船



#### 阅读材料

#### 鸟巢钢——Q460 钢材

“鸟巢”(图 2.31)的外形结构主要由门式钢架组成,共有 24 根桁架柱,建筑顶面长轴为 332.3 m,短轴为 296.4 m,最高点高度为 68.5 m,最低点高度为 42.8 m。大跨度的屋盖支撑在 24 根桁架柱之上,柱距为 37.96 m。24 根桁架柱托起了世界最大的屋顶结构,达成了全世界建筑业的一大壮举,更是人类建筑文明史上的惊人杰作。



“鸟巢”不仅是建筑设计中的力学经典，更是材料学上的国际尖端科技成果。如果承担主要负重任务的 Q460 钢材的研发没有成功，“鸟巢”只能存留于想象与图纸之中。Q460 是一种低合金高强度结构钢，它在受力强度达到 460 MPa 时才会发生塑性变形。也只有这种强力属性，才能成为国家体育场特殊结构的栋梁。“鸟巢”是国内在建筑结构上首次使用 Q460 规格的钢材，使用的钢板厚度达到 110 mm，在中国材料史上绝无仅有。在国家标准中，Q460 的最大厚度也只是 100 mm。2006 年 9 月，42 000 t 的钢筋铁骨从此在世界的东方站立起来！



图 2.31 国家体育场（“鸟巢”）



### 探究与交流

请仔细观察身边的物品及周围的工程，分析一下它们都用到了哪些材料？讨论一下设计者为什么采用这些材料？思考一下有没有更好的替代材料？



### 做中学

根据本节了解到的工程材料，为了提高实践项目定位小车的物化能力，小组探讨小车的各构件（车体基本结构如图 2.32 所示）：车轴、车的底板、轴架板（侧面架轴的构件）、车轮分别用什么材料制作更合适？

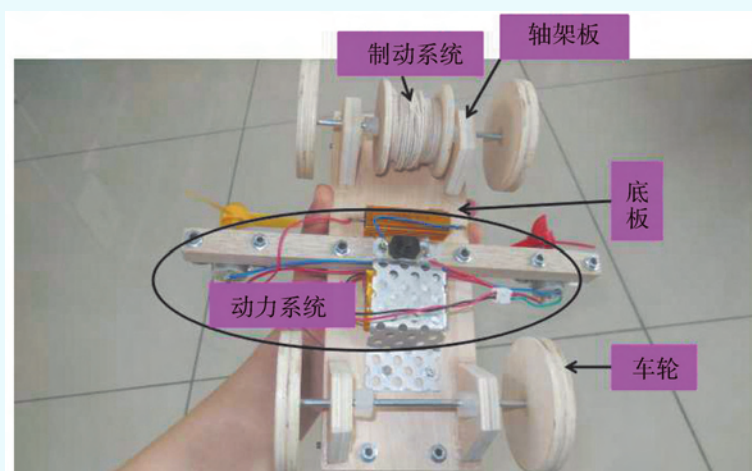


图 2.32 车体基本结构

## 第四节 工程设计一般过程



### 学习目标

1. 掌握工程设计的一般过程。
2. 会编写简易的工程设计任务书。

在《技术与设计1》中，我们了解到技术设计的一般过程分为5个阶段：发现与明确问题，制定设计方案，制作模型或原型，优化设计方案，编写产品说明书。工程领域的设计总体来说也遵循这一步骤，但具体设计过程有所不同，一般来说，工程设计前面三个阶段包括概念设计、方案设计和详细设计。下面，我们以定位小车的设计为例来介绍工程设计的一般过程。

### 一、概念设计

在概念设计阶段，我们主要完成以下工作：问题确定、设计任务书、信息收集、概念产生和概念评价。

#### （一）问题确定

在第一章里，我们明确了定位小车的设计与制作项目要求是：小车应能放在一个边长250 mm的正方体内；在动力不限（不得使用遥控器）的前提下小车由静止开始行进3 m；小车在静止及行驶过程中不能有遗撒物，不能对周围环境有危害。

#### （二）设计任务书

设计任务书是确定工程项目和建设方案的基本文件，是设计工作的指令性文件，也是编织设计文件的主要依据。起草设计任务书的过程，是各方就项目的功能、标准、区域划分、特殊要求等涉及项目的具体事宜不断沟通和深化交流，最终达成一致并形成文字资料的过程。

设计任务书的主要内容：新产品的用途与使用范围；设计、试制新产品的理由及依据；新产品的技术性能、基本结构、特点和技术参数；国内外同类产品的结构、质量、成本价格等技术经济指标的比较与分析资料；可行性分析，包括人员及设备能力、关键技术及解决方法等。



### 探究与交流

1. 设计任务书可以使设计少走弯路吗？
2. 设计任务书里面需要图表吗？



## 做中学

请根据前文所述的定位小车项目编制一个简单的设计任务书

### （三）信息收集

我们首先应该明确定位小车项目需要解决的关键问题是车体结构的设计、动力系统的设计、传动方式的设计和制动系统的设计。我们要设计车体结构、动力系统、传动方式和制动系统，首先要通过各种途径收集车体结构的演化过程、常见的动力系统、制动系统以及传动方式种类等相关信息。然后，结合自身的能力以及实验室的具体条件对这些信息进行筛选。

### （四）概念产生

当我们收集到足够的信息和资料以后，就要以小组为单位进行充分地交流并合作制订车体结构、动力系统、传动方式和制动系统的初步设计思路。

### （五）概念评价

在形成了定位小车初步设计思路后，各组分别讲述自己的设计思路，并进行自评、互评与师评。在对这些设计思路进行评价时，除了定性的评价，我们也可以采用决策树、决策矩阵等评价方式进行定量的评价。关于这一部分的知识，我们将在本书的第三章进行详细学习。

## 二、方案设计

方案设计包含产品结构、配置设计和参数设计三个方面。

### （一）产品结构

定位小车的车体基本组成结构包括底板、轴架板、车轴和车轮。在车轮和轴架板之间要增加限位系统，一是为了减小摩擦；二是为了保证小车沿直线方向行进。同时，动力系统的安装位置要得当才能实现有效传动。制动系统的设计要实现有效制动。

### （二）配置设计

通过绘制定位小车整体设计草图表达各构件之间的相对位置关系，对于传动系统及制动系统要绘制单独的草图来进行表达。零部件的尺寸通过下料图（图 2.33）进行表达，最终根据动力系统选择合适的加工材料和加工工艺。

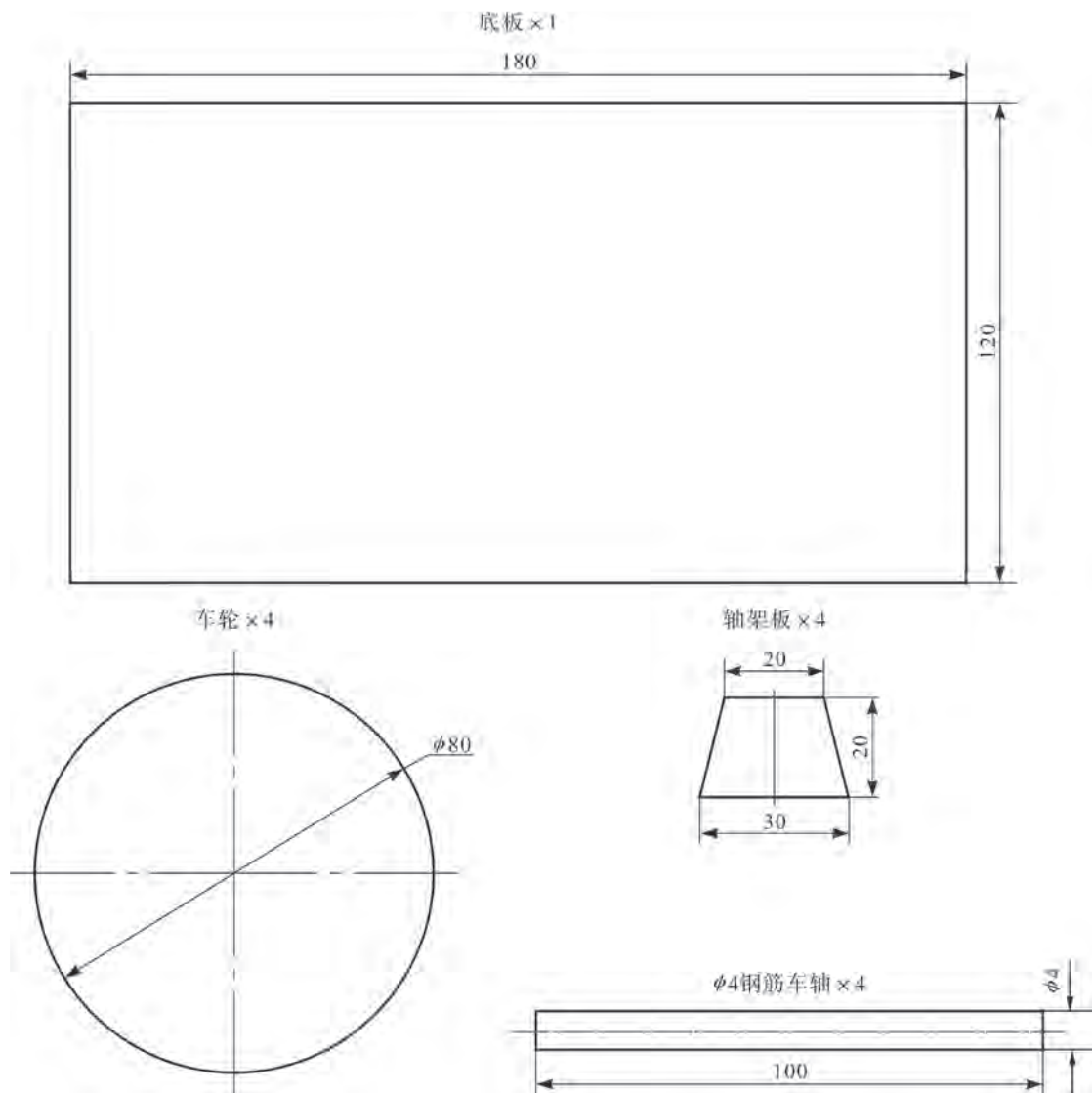


图 2.33 定位小车下料图 (单位: mm)

### (三) 参数设计

依图备料加工定位小车组成构件。下料时要留出加工余量。

## 三、详细设计

在详细设计阶段, 我们最终画出详细的定位小车工程图, 写明设计流程和设计的要求。

在完成详细设计之后, 我们制作模型来对这个设计方案进行可行性检验, 并在其基础上对原有的设计方案进行改进和优化。

## 本章小结

工程设计的一般过程包括项目建议书和可行性报告、设计任务书、初步设计和技术设计、详细设计、评审和审核五个方面。在工程设计过程中不仅需要考虑功能、外观和成本，而且需要考虑安全性、可靠性、经济性等指标。面向 X 的设计指在产品的设计阶段就考虑产品生命周期内各阶段因素 X，这些因素包括装配、环境、制造、质量、可靠性、安全性、服务性等。由此存在面向制造的设计、面向装配的设计、面向环境的设计等多种方法。

## 学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	能积极参与实践活动			
		与小组成员有效合作			
		面向环境保护设计定位小车 为定位小车选择合适的制作材料			
结果评价	目标实现	了解面向 X 的工程设计方法			
		了解工程设计中的评价指标			
		了解常见的工程材料			
		掌握工程设计的一般过程			
	收获反思	收获与感悟			
		反思不足			



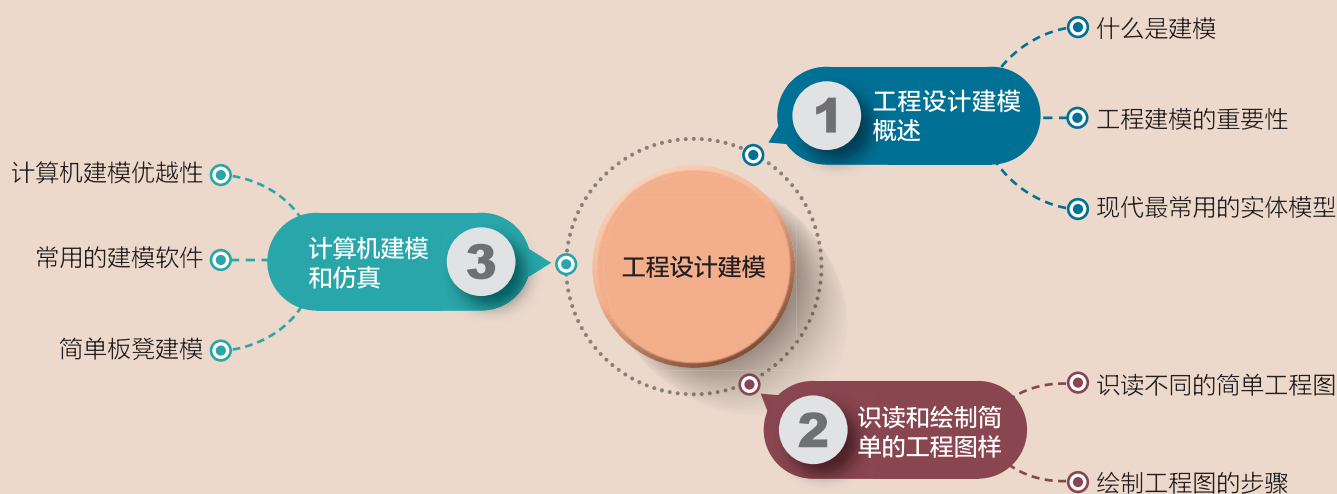
# 第三章

## 工程设计建模

### 导 言

同学们要成功完成定位小车的设计与制作，不仅要会识读和绘制图纸，还要能准确、生动、真实地表达自己的设计意图，将自己的设计概念及思路转换成可视化形态展现在其他人面前。为了满足这一要求，建模是一个很好的选择。过去，在没有计算机的条件下，人们一般是通过手工制作或者手工配合机器制作来完成建模。现在，随着计算机技术的快速发展，设计师们可以利用计算机软件进行三维参数化设计，并且可以将设计好的作品制作成三维模型在计算机里进行模拟和仿真。在本章，我们将一起走进工程设计建模，了解建模的重要性和模型的类型，学习识读和绘制工程图纸，并且以简单板凳为例尝试运用计算机进行建模。

### 思维导图



## 第一节 工程设计建模概述



### 学习目标

1. 理解建模的概念。
2. 了解工程设计建模的重要性。
3. 了解工程设计模型的类型。

同学们，在前面的章节，我们了解到青藏铁路是世界上海拔最高、在冻土上里程最长的高原铁路，施工难度特别大，困难重重。冻土工程问题是一项世界性难题，科学家们为了解决青藏铁路建设的冻土工程问题，在青藏铁路二期修建之前，设计并施工了多段试验路基，做了多种模拟试验，为日后青藏铁路的设计提供了宝贵的参考数据。这些试验路基就是一个工程模型，正是因为有了它们，青藏铁路这条神奇的“天路”才有了可靠的技术保证。由此可见，工程设计建模是多么重要。那什么是工程建模呢？

### 一、建模的概念

建模是为了研究某种现实或事物而建立相应的模型，是对研究对象做出的一种无形或有形的抽象或简化。凡是用模型描述现实研究对象的因果关系或相互关系的过程都属于建模。因描述的关系各异，所以实现这一过程的手段和方法也是多种多样的，可以通过对现实对象本身运动规律的分析，根据事物的机理来建模；也可以通过对现实对象的实验或统计数据进行处理，并根据和现实对象有关的知识和经验来建模。

### 二、工程建模的重要性

工程建模是解决工程实际问题的桥梁，是为了能够更好地理解即将实施的工程。通过建模这种手段，可以快速地解决工程中的实际问题，获得更高的经济效益和社会效益。

工程界在分析设计一个新系统时，通常先进行数学仿真和物理仿真实验，最后再到现场做实物实验。数学仿真比物理仿真更简单、易行。用数学仿真来分析和设计一个实际系统时，必须有一个描述系统特征的模型。对于许多复杂的系统，建模往往是最关键和最困难的任务。系统越大、越复杂，建模就越重要。

例如，建造一所简易房屋（图 3.1），备好相应的材料和一些基本工具之后，就能开始动工了，对于有经验的人来说，甚至都不需要建筑简图。但如果建造更复杂一些的房屋，就需要画一些建筑图和做一些计划了，以便能安排清楚房间的使用目的，以及照明、取暖

和水管装置的实际细节。这时候，建模的优越性就会显示出来。它可以帮助人们对这项工作所需的时间和物料做出合理的估计。

例如，建造一座高层办公大厦（图 3.2），若只是备好材料和基本工具就开始动工，那将是十分愚蠢的行为。没有图纸是不能成功建造办公大厦的。现代建筑往往技术先进、功能复杂、艺术造型富于变化，是一个非常复杂的系统，而且负责建筑物设计和施工的更是一个庞大的组织机构，设计师和施工人员只是其中的一部分。复杂建筑的施工图纸往往都是比较复杂的，不是所有的施工人员都能看懂图纸，这对施工会产生一定的影响。而建模可以直观地体现设计意图，能弥补图纸在表现上的局限性，能让施工人员快速掌握建筑造型，加快施工进度。另一方面，建模还有助于推敲设计作品，能帮助用户得到建筑物的实际印象；甚至可以来分析大风或地震对建筑物造成的影响。再者，人们对高层办公大厦系统中的复杂问题的理解能力是有限的。通过建模，缩小所研究问题的范围，一次只着重研究它的一个方面，把一个复杂问题分解为一系列能够解决的小问题；依次解决了这些小问题，也就解决了全部问题。



图 3.1 简易房屋



图 3.2 高层办公大厦

### 三、建模技术在工程设计中的应用

建模技术在工程设计领域中的应用主要有以下几个方面。

（1）建筑工程设计方面：方案设计、三维造型、建筑渲染图设计、平面布景、小区规划等都会用到建模技术。

（2）机械工程设计方面：建模技术在汽车、航空航天、船舶、电子电路等行业应用最为广泛、深入。

（3）交通工程设计方面：城市道路、市政管线、高架、轻轨、地铁工程等项目都会用到建模技术。

（4）水利工程设计方面：建模技术在水利施工总布置设计和水利工程造价等方面都有广泛的应用（图 3.3）。

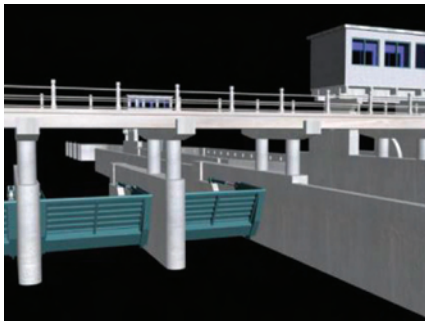


图 3.3 水利工程建模

### 四、工程设计模型的类型

模型的分类方法很多，可以根据模型的表现方式，简单地将模型分成实体模型和抽象模型两大类。

### （一）实体模型

实体模型又称物理模型，它是对现实原型的物理再现。实体模型的制作一般是在设计图纸的基础上，选取合适的材料和加工工艺，按照一定的比例进行缩放，将图纸上的二维形象，用立体的表现手法表达出来，如楼房沙盘模型(图 3.4)等。因此，实体模型外观与研究对象极为相似，其描述的逼真感较强。



图 3.4 楼房沙盘模型

### （二）抽象模型

抽象模型是根据对所描述的现实对象的认识及经验等以语言、数字、符号、图表等构造出来的。它一般是在一定假设条件下，用特定的描述符号，定性或定量地表述对象系统的主要特征。例如，在估算某项工程的费用时，设计师给出了如图 3.5 所示的工程费用与工期的关系图，这就是一个典型的抽象模型。

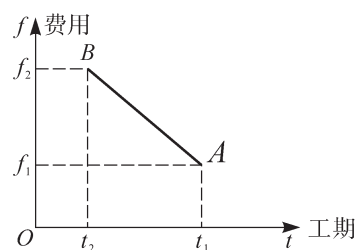


图 3.5 费用 - 工期关系图



### 阅读材料

#### 常见的一些实体模型

(1) 三维打印模型(图3.6)：粉末状金属或塑料等可黏合材料通过三维打印机逐层打印而成的模型。三维打印模型已应用于工程技术的各个方面。

(2) 油泥模型(图3.7)：油泥是用滑石粉、凡士林等材料按照一定比例制作而成的一种人工材料，是模型制作时使用较为普遍的一种材料。其可塑性随着组成成分的比例、环境温度的变化而变化。

(3) 塑料模型(图3.8)：塑料材料的品种很多，包括聚氯乙烯(PVC)、有机玻璃、发泡塑料等，在家用电器和电子产品的模型制作中应用最为广泛。

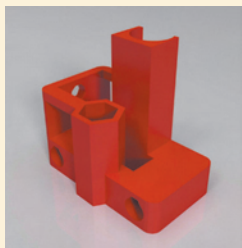


图 3.6 三维打印模型



图 3.7 油泥模型



图 3.8 塑料模型



(4) 玻璃钢模型(图3.9)：玻璃纤维增强塑料（玻璃钢）在工程中应用非常广泛，在模型制作中也有它的用武之地。

(5) 金属材料模型（图3.10）：金属材料模型以钢铁材料应用最多。



图 3.9 玻璃钢模型



图 3.10 金属材料模型



### 活动延伸

1. 寻找自己学校所在城市中最大的工程模型并拍照。
2. 分析这个模型的用途及优劣。

## 第二节 识读和绘制简单的工程图样



### 学习目标

1. 会识读和绘制简单工程图。
2. 提高图样和技术表达能力。

绘制和识读工程图纸，是工程师的必修课和基本功。相关业界只有踏踏实实从基础做起，从简单的工程图入门，积累识读和绘制工程图的经验知识，方能成为合格的工程师。

### 一、识读简单的工程图

#### (一) 机用虎钳装配图

机用虎钳（图 3.11）是安装在机床工作台上，用于固定工件，以便进行切削加工的一



种通用工具。从图 3.12 所示的机用虎钳装配图右下角的明细栏可知，它由 11 种零件组成，其中螺钉 10、圆柱销 7 是标准件，其他为专用件。

机用虎钳装配图采用三个基本视图和一个表示单独零件的视图（2 号零件）来表达。主视图采用全剖视图，反映机用虎钳的工作原理和零件间的装配关系。俯视图采用局部剖视表达钳口板与固定钳身连接的局部结构，并显示了机用虎钳的外形。左视图采用 A-A 半剖视图（剖切位置标注在主视图上），表达固定钳座、活动钳身与螺母三个零件之间的装配关系。2 号零件图采用的是局部视图，为单独画法，表示钳口板的形状。

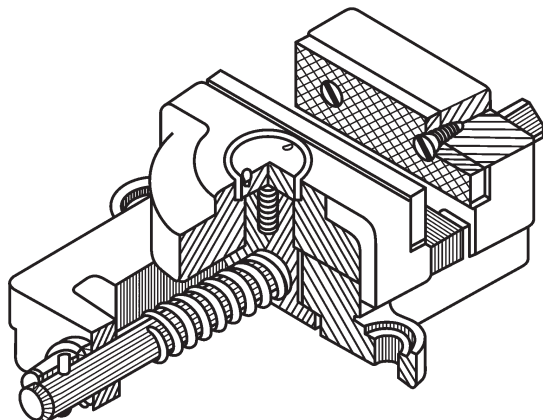


图 3.11 机用虎钳示意

主视图基本反映了虎钳的工作原理：旋转丝杠 8 使螺母块 9 带动活动钳身 4 做水平方向左右移动，用于夹紧或者放松工件。从主视图中可以看出，该机用虎钳最大夹持厚度为 70 mm，图中的细双点画线表示活动钳身的极限位置。

三个视图反映了主要零件的装配关系：先将螺母块 9 从固定钳身 1 的下方空腔装入工字形槽内，再装入丝杠 8，并用垫圈 11、垫圈 5、环 6 和圆柱销 7 将螺杆轴向固定。活动钳身 4 与螺母块 9，利用螺钉 3 相连，利用螺钉 10 将两块钳口板 2 分别固定在固定钳身 1 和活动钳身 4 上。

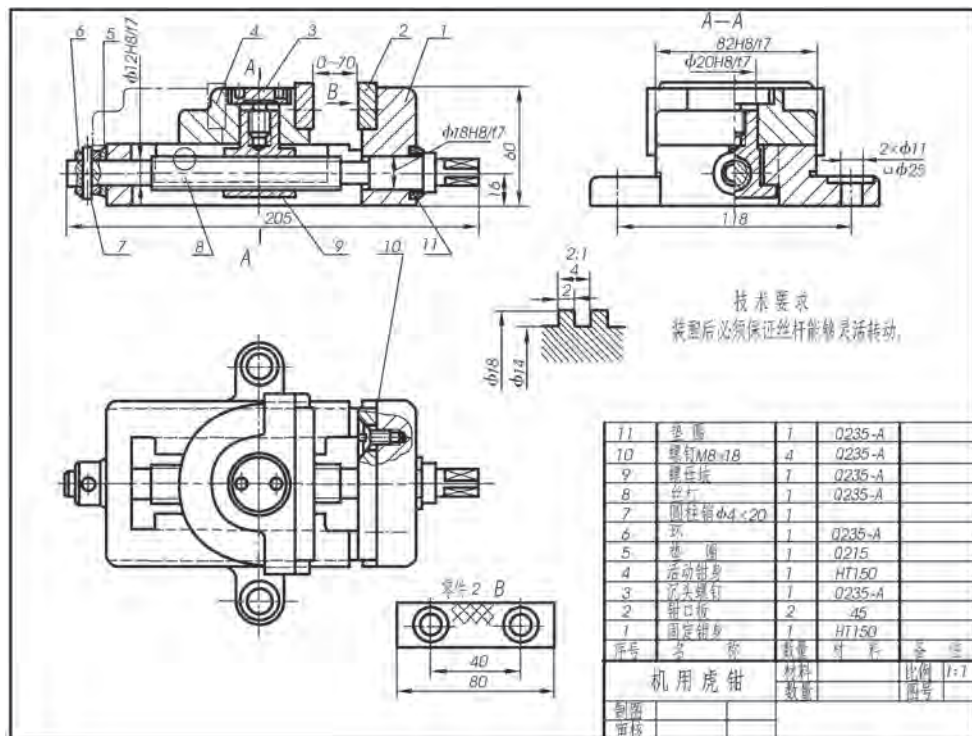


图 3.12 机用虎钳装配图（单位：mm）

## (二) 建筑图纸

建筑图纸是反映建筑的平面、立面形状、房间的布置、相互关系、各构件的位置、构造尺寸及采用的建筑材料等内容的图样,是建筑施工时的依据。图 3.13 为某住宅平面示意图。

开间是指相邻两个横墙的定位轴线间的距离,住宅开间尺寸一般为 3.0~3.9 m。考虑到建筑材料的通常规制尺寸,为便于施工,通常采用 0.3 m 的整数倍,如 3.3 m、3.9 m 等。

进深是指一个房间的前纵墙壁到后纵墙壁之间的长度。为了保证建成的建筑物有良好的自然采光和通风条件,进深在设计上要求不宜过大,以满足正常的建筑使用功能为宜。

建筑物横向的墙体称之为横墙,其中最外面的横墙又称为山墙。建筑物纵向的墙体称之为纵墙,建筑物里面的纵墙称为内纵墙,最外面的纵墙称为外纵墙。横墙、纵墙主要起分割、围护作用,以实现建筑物的使用功能(例如实现满足要求的使用空间、与外界隔离、房间保温等功能)。同时横墙、纵墙又通常是主要的受力构件,承担建筑物楼板传递过来的各类荷载和自身的重量,最后逐级传递给地基基础。而隔墙是指仅起到分割、围护作用,不承担传递荷载的作用(如一些储物间、壁柜的墙体等仅起到分割出一定使用空间的作用)。图纸的各类构件例如门、窗等统一由约定的符号来代表,而这些符号的形状和含义由国家标准《房屋建筑制图统一标准》《建筑结构制图标准》来定义。

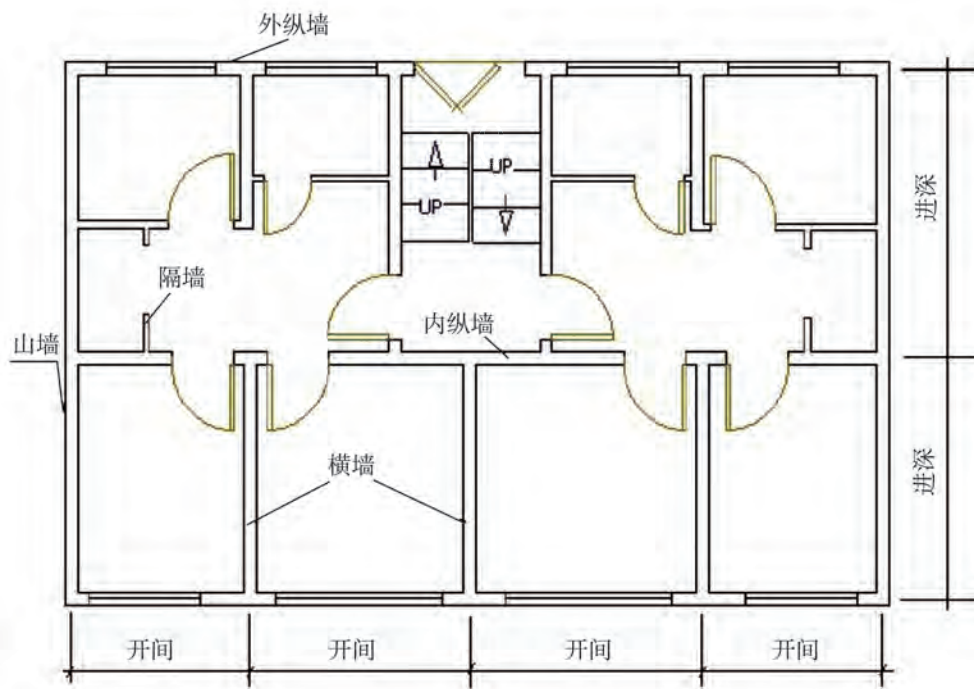


图 3.13 某住宅平面示意

## (三) 电梯原理图

图 3.14 所示为电梯主控制原理图,此电路图反映出电梯的运行、加速、减速与平层回路过程。

快车上行: Q 吸合,使快车接触器 K 吸合,(回路 1) 快车延时继电器 KJ 吸合,通过已定的 KSJ 使向上运行接触器 S 吸合,此时 1A 仍未吸合,电梯加速,最后达到快车稳速向上运行。

减速：运行到目的层时，Q 释放，K 释放，M 吸合，在 K 释放后，S 通过（回路 2）KJ—S—X 继续保持吸合，电梯以慢车向上运行，并通过 2A、3A、4A 的逐级吸合，进行三级减速制动，最后进入慢车稳速运行，当 KJ 释放后，S 通过（回路 3）MJ（13,14）—MQJ—M—S 继续自保。

平层：电梯继续慢速上行，上平层感应器率先插入楼层隔磁铁板，这时 S 可以通过（回路 4）PSJ—QJ—PXJ—K—MJ（13,14）吸合，电梯再上升到门区感应器插入时，回路 3 断开，S 只通过回路 4 吸合，当下层感应器插入时，电梯正好平层，回路 4 断开，S 释放，M 释放，电梯停止运行。

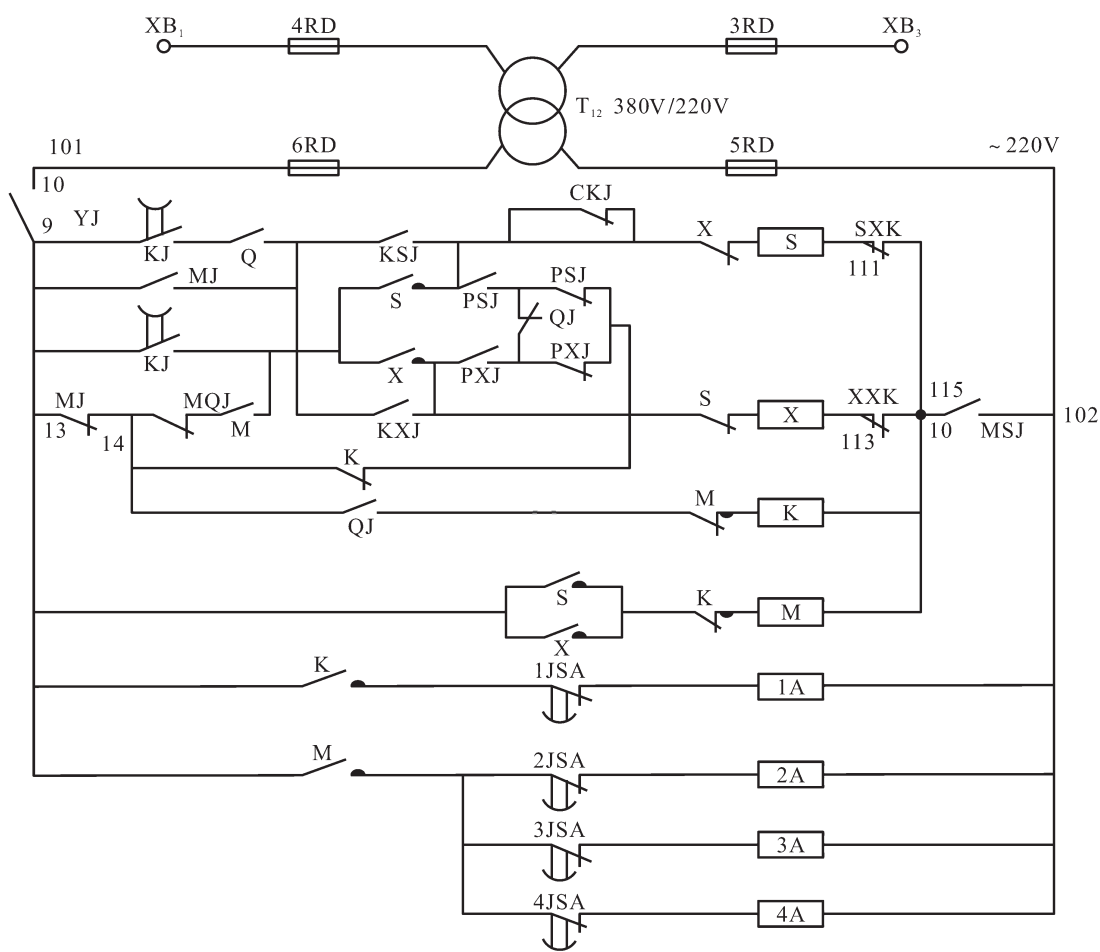


图 3.14 电梯主控制原理



做中学

请同学们判断图 3.15 所示的三视图图纸对应的是下列哪个模型？

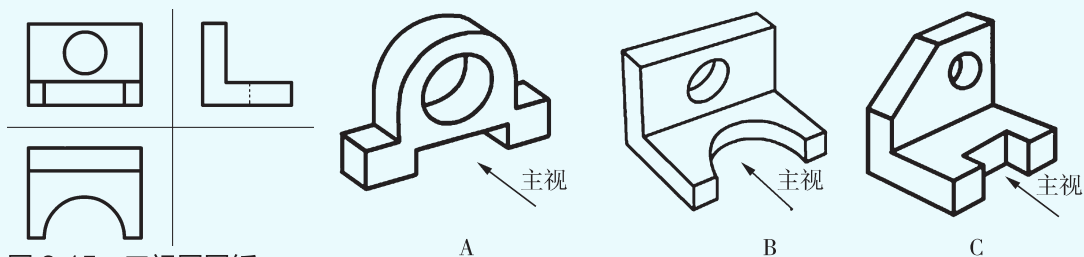


图 3.15 三视图图纸

## 二、绘制工程图

### (一) 准备工作

要画好一张图纸，需要先熟悉绘制的内容。如翻绘一张大样图，就先要把原图上的线条、符号、数字等弄清楚。还应了解与该原图有关的其他图纸的一些内容，这样对绘制图样是有帮助的。

传统的绘制工程图，要有一个制图环境，如有一个适宜的工作台，制图板、绘图纸等，室内光线要充足。然后将有关资料或图纸放在手边，铅笔也要削好几支备用。这样画图时才能比较顺手，工作效率也较高。有了计算机和计算机辅助设计（CAD）技术之后，制图环境只需要一台计算机和一台激光打印机即可。

### (二) 确定比例合理布图

在绘图准备充分后，下一步是如何绘图了。如果照搬原图，那比较简单，照画就行。如果需要放大或缩小比例，那么就要根据新的图纸的大小来选比例。所选的比例必须使绘好的图能被图纸容下，而且四边留有余地。

例如我们将标准图集上的图纸，放大成容易看清的比较大的图纸。假如放大到原图的四倍，这时可先量一量原图上 1 cm 长代表多少实际尺寸，然后用 4 cm 来代表原图上表示的尺寸。如果原图采用的比例是 1:20，那么我们在绘制的图上就采用 1:5 的比例。有了确定的比例，绘图时就可以用三棱比例尺在图上量尺寸了。

要画的图形大小在按多少比例绘制确定好后，绘图时还得考虑如何把图形在图纸上布置的适宜。图样在图纸上布置的均匀对称，这也是一种艺术美。布图的格局大致如图 3.16 所示。

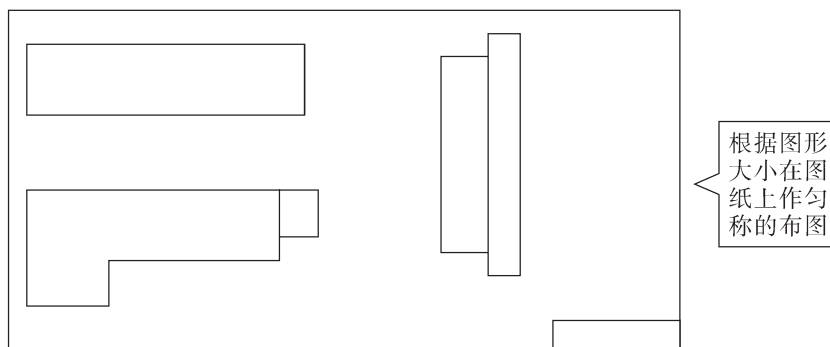


图 3.16 布图的格局

### (三) 定出绘图基线

在确定比例、考虑好布图位置之后，就要正式下笔绘图。这时，先在图纸上画出纵横两条细线，作为画图时的基线(图 3.17)。绘制平面图时，一般取最边上的轴线作基线。图 3.18 所示为绘制建筑图时选用网状轴线作为基线的形式。





图 3.17 选轴线作基线

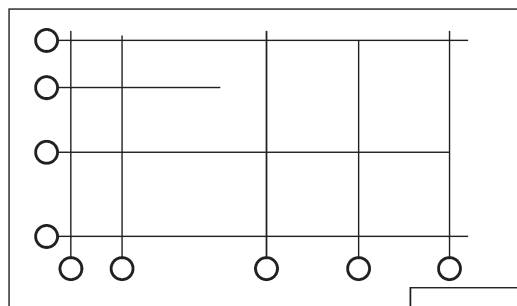


图 3.18 网状轴线

画水平线一般用丁字尺；画竖直线一般用三角板的一条直角边，另一条直角边贴在丁字尺的一边上。

#### (四) 画出铅笔底图

在画基线的基础上，一笔一笔地画出铅笔线的底图。当绘制平面图时，绘好基准线后，还得将平行的轴线绘好，形成如图 3.18 所示的网状轴线，再在轴线位置上，根据构造和要求画出图形。底图画好之后，应先进行检查，确保无误。



#### 探究与交流

通过对本节内容的学习，小明同学尝试绘制了小凳子的设计草图（图 3.19）。请同学们讨论一下，小明的设计草图是否合理？有没有更好的设计方案？

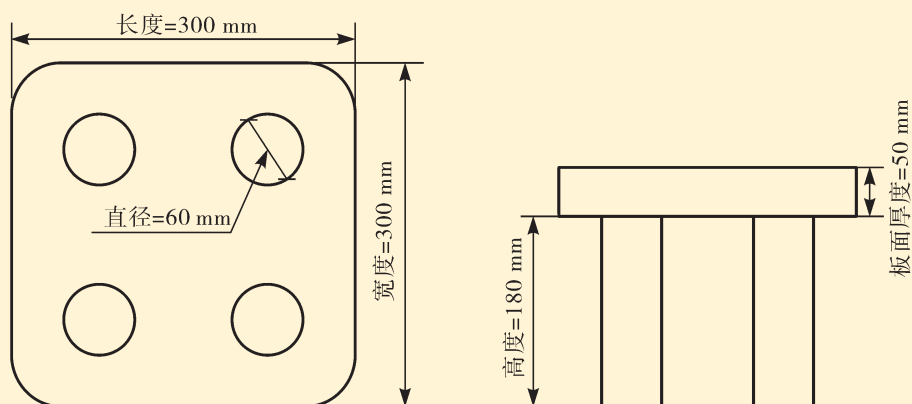


图 3.19 小凳子设计草图



#### 做中学

请利用本节学习的工程制图知识绘制定位小车各部分的下料图。下料图建议用坐标纸绘制。

## 第三节 计算机建模和仿真



### 学习目标

1. 了解常用的建模软件。
2. 初步学会运用建模软件进行简易工程的局部建模和仿真。

数字化技术是信息时代的核心技术，具有鲜明的时代特征。随着计算机技术的发展，设计表现手段也具有了新的特征。计算机给设计带来的种种变化，几乎可以完全取代传统的各种设计手段。借助于电脑，设计师可以快速制作出逼真的 3D 效果图，并可在此基础上变换角度和环境以绘制出多种方案。

### 一、软件建模的优越性

计算机的三维实体模拟（图 3.20）可以令设计师将设计思维中的三维形象构成与真实产品一致的三维模型。对于设计对象的整体造型、色彩、材质、细节、环境等，可以真实地生成，为设计师等提供了比较和选择的依据。计算机设计的高精度、高效率和高编辑性能，使现代设计的所需工作时间大大减少了，缩短了创意和成品的距离。

计算机在设计中的应用，使设计更趋向于标准化、可视化、实时化，增加了设计的可操作性，提高了设计效率，节约了时间。计算机可以利用已储存的各种图形、图像、符号等进行方便、直观的设计，并通过计算机软件进行表现形式转换，克服了传统设计表现耗时的缺点。

在设计完成后，可以运用计算机技术进行进一步的分析、模拟（图 3.21）、检验，对设计作品进行评价和评测，保证其可行性。通过对设计数据的比较、分析，可找到需要改进的部分，进行方案的审定等，并制定出生产、销售计划，从而对产品进行系统化、数字化的管理。

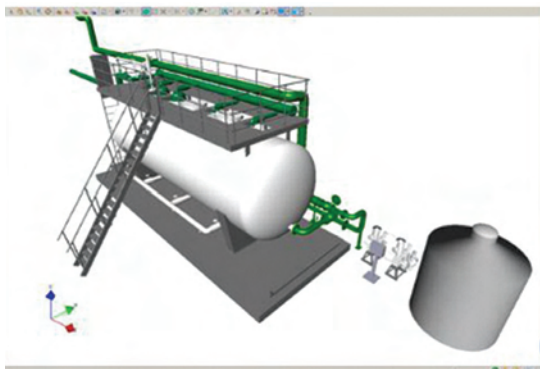


图 3.20 三维模拟



图 3.21 汽车驾驶模拟

## 二、常用的建模软件

当前计算机辅助建模软件很多，常用的有下面几种：

(1) Autodesk Revit 是目前建筑行业的主流建模软件，提供支持建筑设计、MEP（暖通、电气和给排水工程设计和结构工程），可帮助建筑设计师设计、建造和维护质量更好、能效更高的建筑。设计师利用这个软件可以进行自由形状建模和参数化设计，而且还能够对早期设计进行分析。

(2) 3D Studio Max 是基于 PC 系统的三维动画渲染和制作软件，广泛应用于广告、影视、工业设计、建筑设计、三维动画、多媒体制作、游戏、辅助教学以及工程可视化等领域。

(3) Sketchup 又名“草图大师”，是一套直接面向设计方案创作过程的设计工具，建模操作较简单，能够充分表达设计师的思想，满足与客户即时交流的需要。

(4) Alias 是一种可以提供从草图绘制、产品造型，一直到制作加工的各个阶段的设计工具，也是全球汽车和消费品造型设计的行业标准设计工具。

(5) SolidWorks 是世界上第一个以 Windows 为基础开发的三维 CAD 软件，提供了强大的实体建模功能。

(6) Pro/E 是现今主流的三维造型软件之一，特别是在国内产品设计领域占据重要位置。它能够把设计到生产全过程集成到一起，实现并行工程设计。

(7) CAXA 电子图版是一款我国具有完全自主知识产权优秀 CAD 软件，也是广大工程师使用较多的软件之一。

(8) PKPM 软件由中国建筑科学研究院研发，是目前最广泛使用的结构设计软件之一。

## 三、简易工程建模

在上一节里，小明绘制了小凳子的设计草图（图 3.19），下面我们以它为例，利用计算机软件来进行简易工程建模。具体做法如下。

### 1. 绘制参照线

首先打开软件进入参照标高（即平面视图），绘制四条参照平面，为了方便后期绘制凳子板面轮廓时确定位置，如图 3.22 所示。再进入前立面，绘制两条参照平面，分别为板面的顶标高和底标高，如图 3.23 所示。

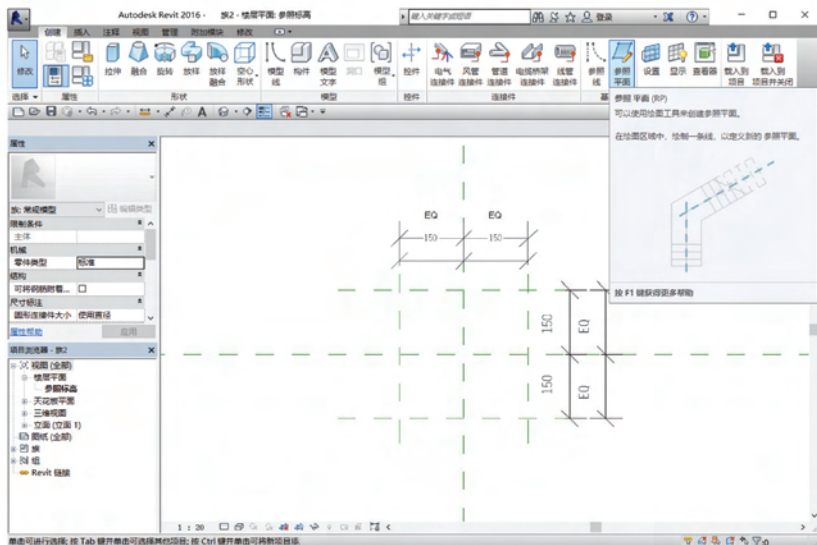


图 3.22 绘制四条参照平面

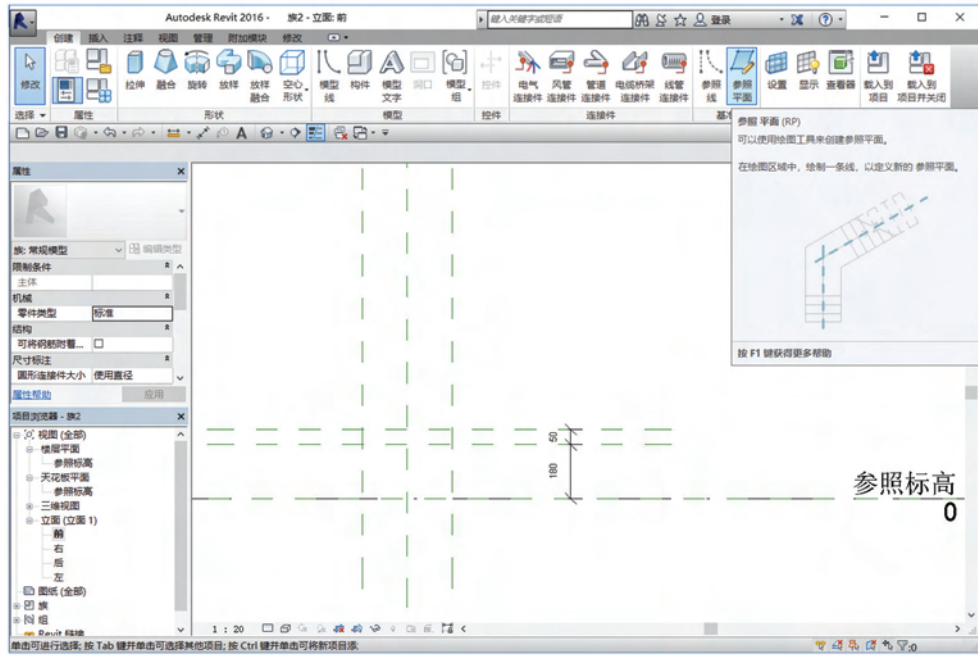


图 3.23 绘制两条参照平面

## 2. 凳子面板的创建

首先选择参照平面，也就是先要选择一个我们绘制轮廓的平面，单击“设置”——“拾取一个平面”，如图 3.24 所示，这样我们就进入了板凳面板底边的平面视图。

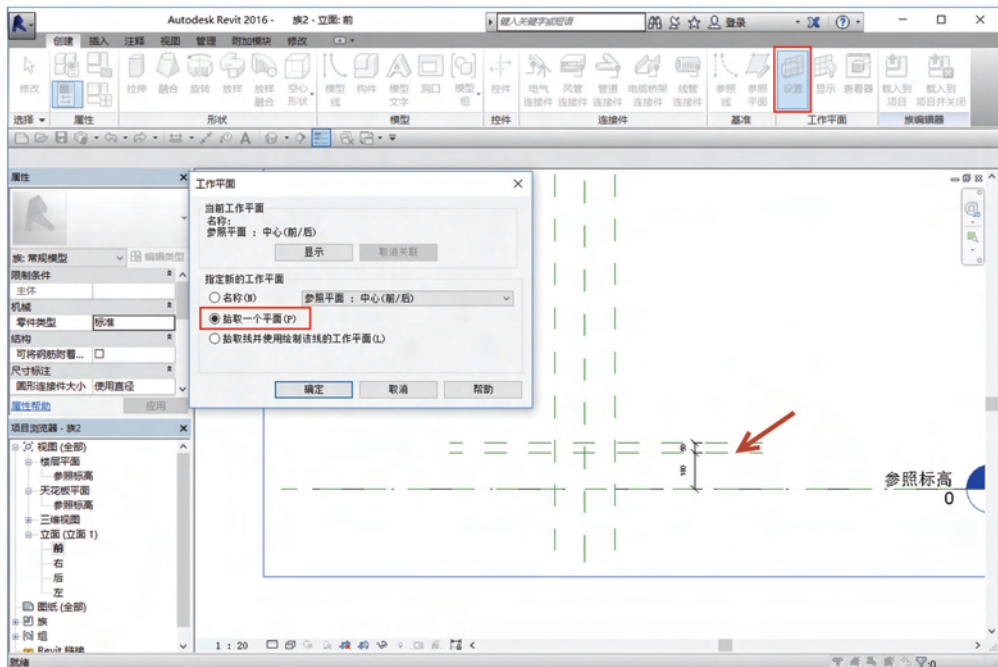


图 3.24 选择参照平面

下面创建凳子面板部分，选择的创建方式为“拉伸”，即通过二维轮廓的竖向拉伸得到的三维形体，如图 3.25 所示。



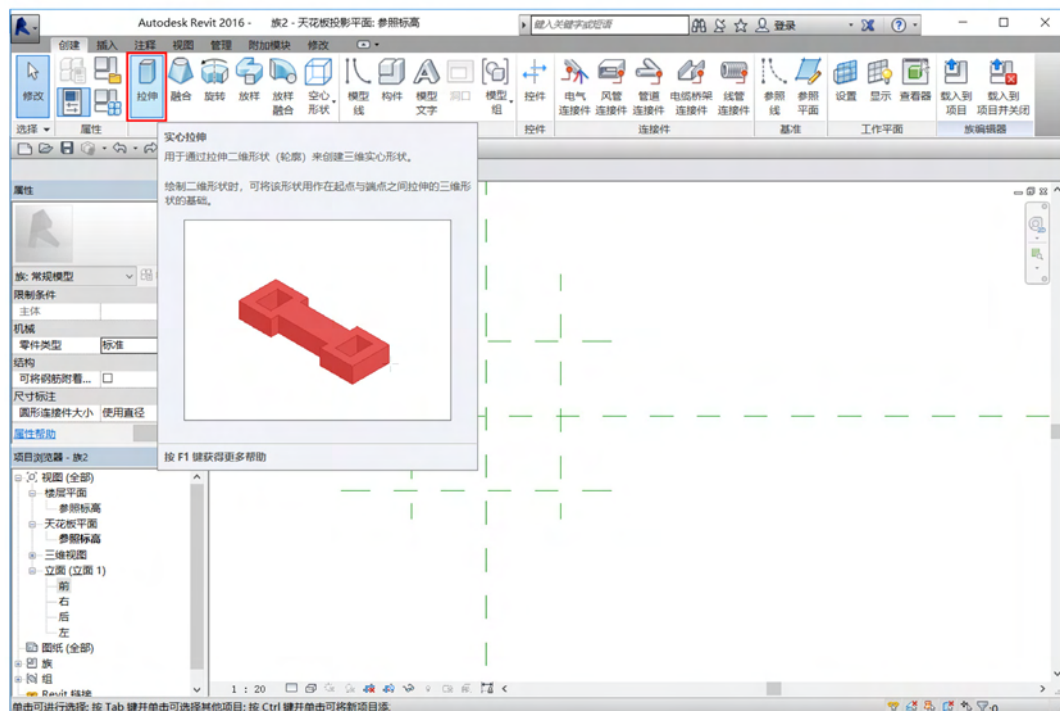


图 3.25 创建凳子面板部分 (1)

在平面图上绘制面板的轮廓,运用工具栏中的“矩形”与“弧线”功能绘制面板轮廓,并将拉伸起点设置为0,拉伸终点设置为50,即拉伸深度为50,如图3.26所示,打钩完成面板的创建。进入三维查看模型形态,如图3.27所示。

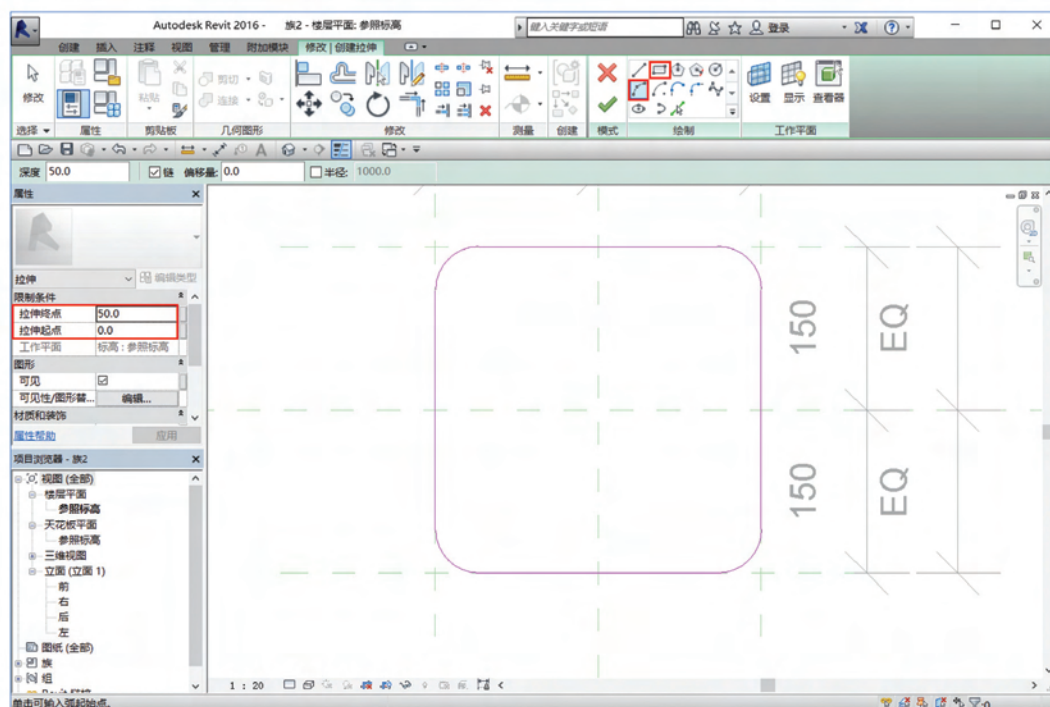


图 3.26 创建凳子面板部分 (2)

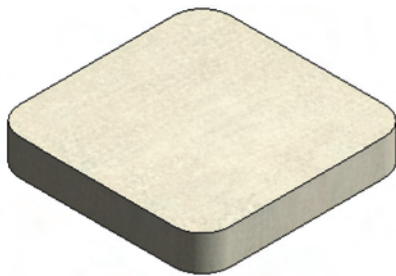


图 3.27 凳子面板

### 3. 凳子腿的创建

同样先进入前立面拾取一个工作平面，仍然拾取凳子底边的工作平面，在该平面再绘制两条参照平面，从而确定凳腿的圆心，运用工具栏中的“圆形”命令创建凳腿轮廓，如图 3.28 所示，打钩完成模型（注意：拉伸起点仍然为 0，而拉伸终点设置为 -180）。

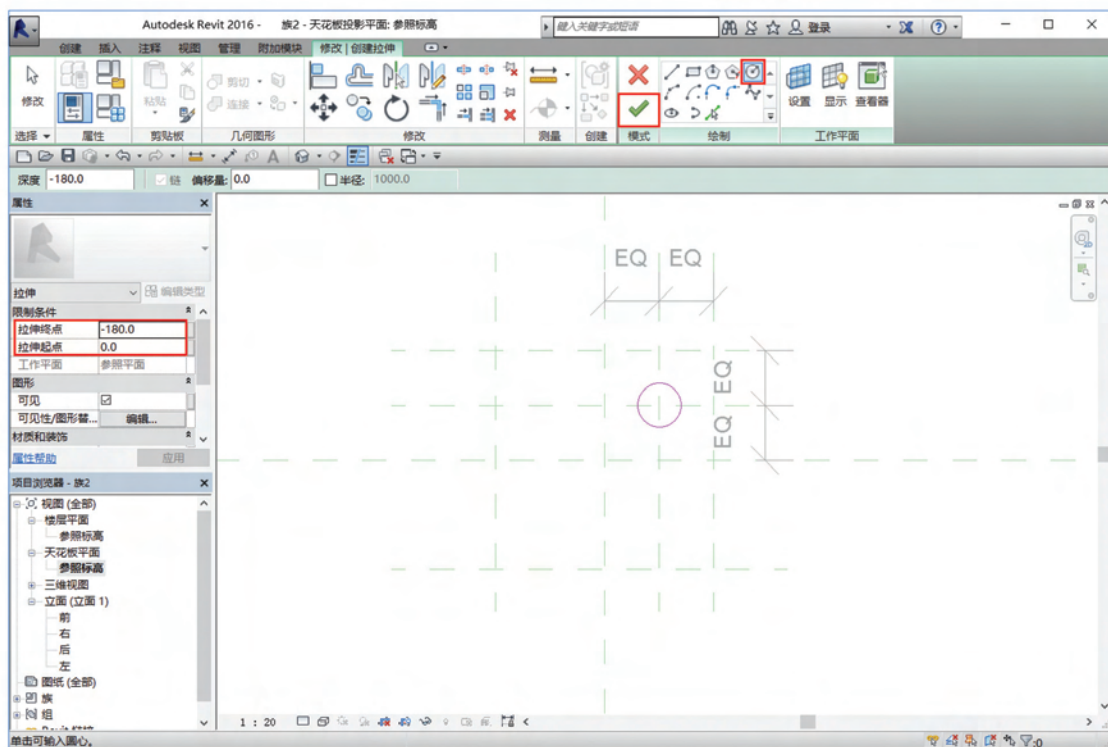


图 3.28 确定凳腿的圆心

运用“镜像”命令，将凳腿复制成为四个，完成后进入三维视图查看模型，完成小凳子模型的创建，如图 3.29 所示。最终的小凳子 3D 模型效果如图 3.30 所示。

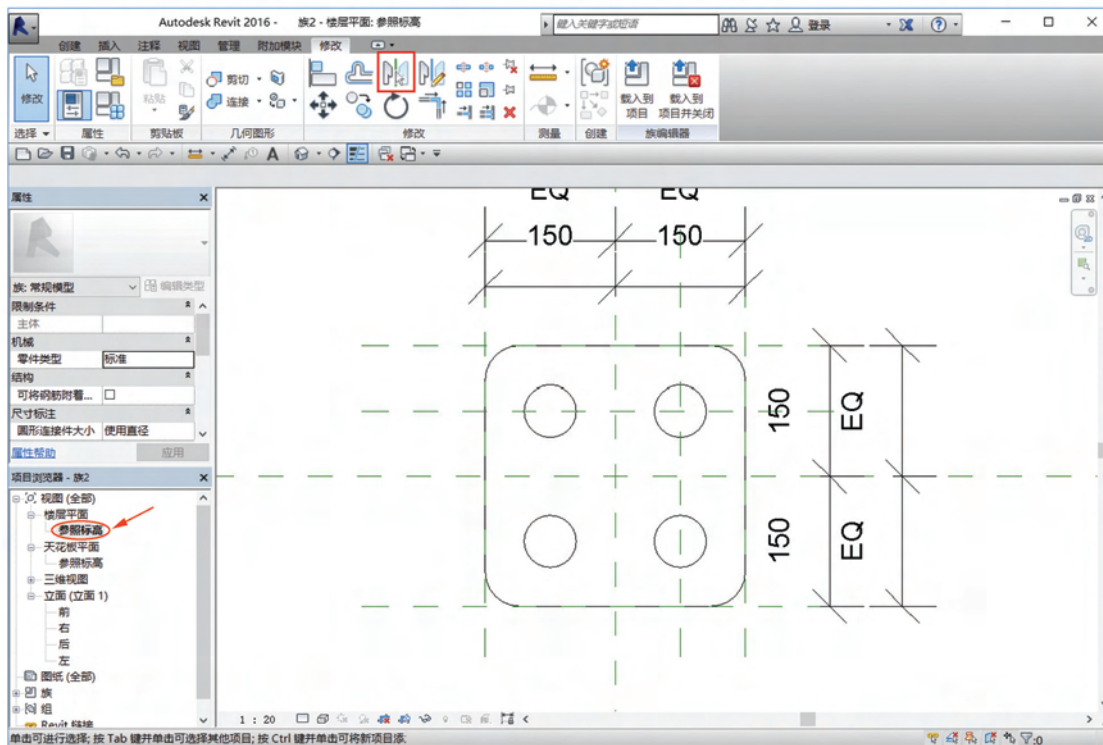


图 3.29 创建四个凳腿

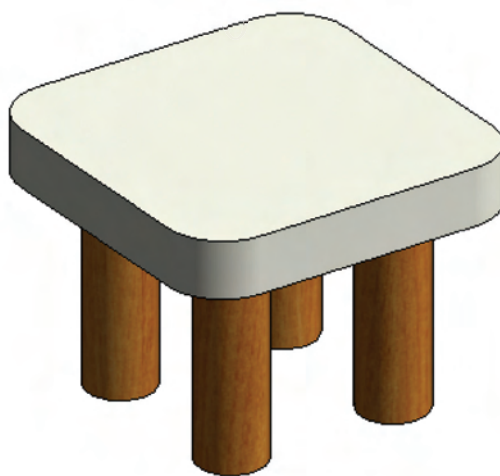


图 3.30 小凳子三维模型效果



做中学

请利用本节所学的建模知识和方法对定位小车进行局部建模或整体建模。

## 本章小结

工程建模是解决工程实际问题的桥梁，是为了能够更好地理解即将实施的工程。根据模型的表示方式，模型可简单分成实体模型和抽象模型两大类。实体模型的制作一般是在设计图纸的基础上，选取合适的材料和加工工艺，按照一定的比例进行缩放，将图纸上的二维形象，用立体的表现手法表达出来。抽象模型是根据对所描述的现实对象的认识及经验等以语言、数字、符号、图表等构造出来的。它一般是在一定假设条件下，用特定的描述符号，定性或定量的表述对象系统的主要特征。

绘制和识读工程图纸，是工程师的必修课和基本功。绘制工程图要点有确定比例合理布图、画绘图基线和画铅笔线底图三个方面。计算机在设计中的应用，使设计更趋向于标准化、可视化、实时化，增加了设计的可操作性，提高了设计效率，节约了时间。计算机进行简易工程的局部建模和仿真可以使设计师将设计思维中的三维形象构成与真实产品一致的三维模型。

## 学习评价

评价内容		评价方式			
		自我评价	小组评价	教师评价	
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	能积极参与实践活动			
		与小组成员有效合作			
		绘制定位小车各部分下料图 对定位小车进行局部建模			
结果评价	目标实现	了解工程设计建模的重要性			
		掌握工程设计模型的类型			
		会识读、绘制简单工程图样 运用计算机进行简单工程的局部建模			
	收获反思	收获与感悟			
		反思不足			



# 第四章

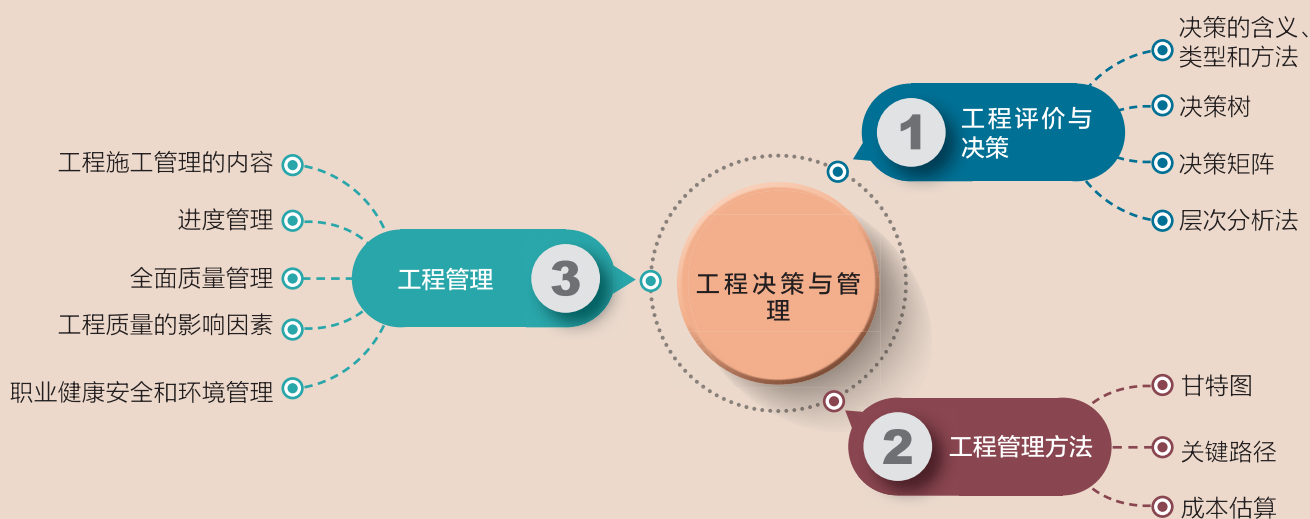
## 工程决策与管理

### 导 言

通过前面章节的学习，我们已经能初步完成定位小车的设计和建模。那么，如何评估自己的设计方案的可行性呢？如何选择合适的制作材料呢？这些都属于工程决策问题，决策模型可以帮助我们做出更科学的判断。

选定设计方案和材料以后，如何合理规划小车的制作流程？如何掌控小车制作进度？如何管理小车的制作质量？这些问题都涉及工程管理，甘特图、关键路径法、成本估算法等可以帮助我们定位小车项目进行更加有效的管理。

### 思维导图



# 第一节 工程评价与决策



## 学习目标

1. 了解决策模型的基本要素和类型。
2. 初步学会运用决策矩阵、层次分析法、决策树进行评价和决策。

在我们日常生活中需要做决策的地方很多，例如：面对琳琅满目的商品，我们如何选择自己最为满意的商品？面对各种各样的行业，我们又是如何决定未来要从事的职业？当我们面对这类决策问题时，容易发现，影响我们做决策的因素很多，其中有些因素存在定量指标，可以给以度量，但也有些因素不存在定量指标，只能定性地比较他们的强弱。在处理这类比较复杂而又模糊的问题时，如何尽可能地克服因主观臆断而造成的片面性，较系统地、全面地比较分析，进而做出较为明智的决策呢？此时就需要我们借助于科学的方法，运用数学工具，构建决策模型，把复杂的决策问题简化。

### 一、决策的基本知识

#### 1. 决策的含义

诺贝尔经济学奖得主西蒙认为：“为了解决策的含义，就得将决策一词从广义上予以理解，这样，它和管理一词几乎同义。”决策是管理的核心，对于一个工程项目的管理人员来说，决策是最重要、也是最花费精力和最冒风险的事情。决策是综合利用管理学、经济学、社会学、数学、计算机科学等学科进行的探讨活动。许多管理学家都对决策的概念进行探讨，尽管众说纷纭，但基本内涵大致相同。广义地讲，决策就是组织或者个人为了实现某种目标而对未来一定时期内有关活动的方向、内容及方式的选择和调整过程。狭义地讲，决策是在几种行动方案中进行选择。

#### 2. 决策的类型

根据不同分类标准，人们把决策分为不同的类型。具体如表 4.1 所示。

表 4.1 决策的类型

分类标准	类型
影响的时间	长期决策、短期决策
调整对象的深度与广度	战略决策、战术决策
决策主体的数量	集体决策、个人决策
问题的重复程度和有无先例可循	程序化决策、非程序化决策
需要解决的问题性质	初始决策、追踪决策
环境因素的可控程度	确定型决策、风险型决策、不确定型决策

### 3. 决策的方法

我们通常把决策的方法分为定性决策方法和定量决策方法。定性决策方法也称决策的“软方法”，主要依赖于决策者或者有关专家的智慧、能力和经验，是一种主观决策法。定量决策方法也称决策的“硬方法”，是运用数学模型及计算机技术对决策问题进行量化，求得决策结果，以供决策者选择。



#### 探究与交流

请同学们查阅相关资料，议一议，定性决策法和定量决策法分别有哪些应用场合？他们各自有哪些优点和缺点？

## 二、决策模型

常用的决策模型有：确定型情况下的决策模型、风险型情况下的决策模型和不确定型情况下的决策模型。决策模型的分析步骤为：提出方案和确定目标，形成决策问题；判断因素状态及其概率；拟定多个备选方案；评价方案并做出选择。决策模型构建的工具和方法包括决策矩阵、决策树和层次分析法等。

(1) 确定型决策：决策者对自然状态确定，决策过程的结果完全由决策者所采取的行动决定的一类问题，可采用盈亏平衡分析法、库存优化法等方法来解决。

(2) 风险型决策：决策者对决策对象的自然状态不确定，但概率已知，这类问题常采用决策矩阵分析法和决策树法求解。

(3) 不确定型决策：决策者对自然状态不确定，概率未知，这类问题可用层次分析法解决。

### (一) 决策树

#### 1. 决策树的概念

决策树是在已知各种情况发生概率的基础上，通过构成决策树来求取净现值的期望值大于等于零的概率，评价项目风险，判断其可行性的决策分析方法，是直观运用概率分析的一种图解法。由于这种决策分支画成图形很像一棵树的枝干，故称决策树。

决策树是由一系列的节点和分支构成。节点是事件发生的时点，节点包含决策节点和状态节点：当事件是从若干方案中选择时，代表决策节点；当事件是决策者无法控制的结果时，称为状态节点，如图 4.1 所示。

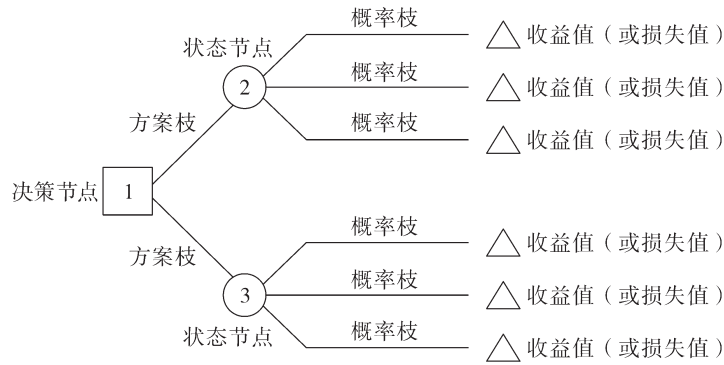


图 4.1 决策树符号

## 2. 决策树构成要素

(1) 决策节点：用方块节点“□”表示，是对几种可能方案的选择，即最后选择的最佳方案。如果决策属于多级决策，则决策树的中间可以有多个决策点，以决策树根部的决策点为最终决策方案。

(2) 方案枝：由节点引出若干条细支，每条细支代表一个方案，称为方案枝。

(3) 状态节点：用圆形节点“○”表示，代表备选方案的经济效果（期望值），通过各事件节点的经济效果的对比，按照一定的决策标准就可以选出最佳方案。

(4) 概率枝：由状态节点引出的分枝称为概率枝，概率枝的数目表示可能出现的自然状态数目。每个分枝上要注明该状态的内容和其出现的概率。“||”表示剪枝。

(5) 结果节点：用三角结点“△”表示，将每个方案在各种自然状态下取得的收益值或损失值标注于结果节点的右端。

## 3. 决策树模型应用案例

某企业为了生产某种新产品，决定对一条生产线进行技术改造，拟出两种方案，一是全部改造，二是部分改造。若采用全部改造方案，需投资 280 万元。若采用部分改造方案，只需投资 150 万元。两个方案里生产线的使用期都是 10 年。估计在此期间，新产品销路好的概率是 0.7，销路不好的概率是 0.3。两个改造方案的年度损益值如表 4.2 所示。那么该企业的管理者应如何决策改造方案？

表 4.2 年度损益表（金额单位：万元）

方案	投资	年度损益值		使用期 / 年
		销路好 ( $p=0.7$ )	销路不好 ( $p=0.3$ )	
A1 全部改造	280	100	-30	10
A2 部分改造	150	40	10	10

首先，根据表 4.2 可以算出全部改造方案的期望值为： $(0.7 \times 100 - 30 \times 0.3) \times 10 - 280 = 330$ （万元）。部分改造方案的期望值为： $(0.7 \times 40 + 10 \times 0.3) \times 10 - 150 = 160$ （万元）。所以，决策树的状态节点分别为 330、160。绘制好的决策树如图 4.2 所示。

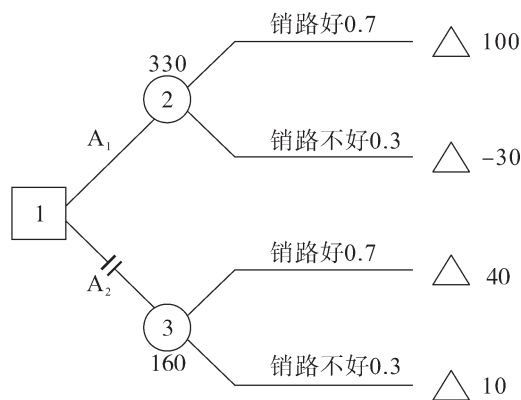


图 4.2 生产线技术改造案例决策树

通过对两个方案的最终期望收益值比较可知，对生产线进行全部改造的方案更加合理，它在 10 年期限里可使企业收回 280 万投资，并预期获利 330 万。因而，最佳决策方案应为全部改造生产线方案。

## （二）决策矩阵

### 1. 决策矩阵的概念

决策矩阵是决策方案与有关因素之间相互关系的矩阵表达形式，常用来进行定量决策分析。决策矩阵是风险型决策常用的分析手段之一，又被称为“决策表”“益损矩阵”“益损表”“风险矩阵”。决策矩阵由备选方案、自然状态（及其发生的概率）和益损值所组成，一般用由实际问题给出的条件来列出矩阵决策表，决策矩阵评价一系列的选择并为其排序。小组首先设计一些评价标准，然后按照标准对每个选择进行评价。



图 4.3 砂轮

### 2. 决策矩阵模型应用案例

砂轮（图4.3）是磨削加工中常用的一类磨具。一般来说，影响砂轮质量的因素有材料、配比、催化剂和设备。某科研小组决定通过制作相关决策矩阵（表4.3）来确定制作砂轮时哪一方面的问题能“提高产品质量”。

表 4.3 提高砂轮质量决策矩阵

标准→ ↓问题	工艺时间 5	混合速度 5	混合力度 3	后处理 1	各类问题总分
材料	中——时间对材料有影响 $2 \times 5=10$	低——混合速度对材料影响小 $1 \times 5=5$	中——混合力度对材料有影响 $2 \times 3=6$	高——后处理对材料影响大 $3 \times 1=3$	24
配比	中——时间对配比有影响 $2 \times 5=10$	高——混合速度对配比影响大 $3 \times 5=15$	低——混合力度对配比影响小 $1 \times 3=3$	低——后处理对配比影响小 $1 \times 1=1$	29
催化剂	高——时间对催化影响大 $3 \times 5=15$	高——混合速度对催化影响大 $3 \times 5=15$	中——混合力度对催化有影响 $2 \times 3=6$	低——后处理对催化影响小 $1 \times 1=1$	37
设备	低——设备对工艺时间影响小 $1 \times 5=5$	中——设备对混合速度有影响 $2 \times 5=10$	高——设备对混合力度影响大 $3 \times 3=9$	低——设备对后处理有影响 $2 \times 1=2$	26



评价标准为“工艺时间”“混合速度”“混合力度”和“后处理”。现在每个标准的最大值都表示影响质量的\*\*最大因素\*\*。

赋予“工艺时间”“混合速度”5分权重，表示小组认为这是最重要的评价标准。“混合力度”有3分权重。“后处理”有1分权重。

将每个问题分成高、中、低三个等级，分别赋值3、2、1。例如，后处理对材料性能的影响因素大，就评为高级（3分），而混合速度对材料性能的影响因素小，就评为低级（1分）。

将每个得分都与权重相乘。例如，“时间对材料有影响”一项在“工艺时间”（权重为5）的问题上，评价为中2，那么得分就为10。将每一排的得分相加得到每个问题的总分。“催化剂”得到了最高分37。其次为“配比”，但其得分仅仅是29，那么选择解决“催化剂”方面的问题就是提高砂轮产品质量的最优选择。



### 做中学

请同学们以符合科学原理、可行性强、制作成本低为评价指标，利用决策矩阵分析评价自己的定位小车设计方案。

## （三）层次分析法

### 1. 层次分析法的概念

层次分析法最早由美国运筹学家萨蒂提出，它是将要决策的问题及其相关因素分解成目标、准则、方案等层次，在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。层次分析法的特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化，从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。

运用层次分析法建模，大体可分为以下四个步骤：

- 步骤一：建立递阶层次结构模型；
- 步骤二：构造出各层次中的所有判断矩阵；
- 步骤三：层次单排序及一致性检验；
- 步骤四：层次总排序及一致性检验。

### 2. 层次分析法应用实例

某公路工程质量管理委员会认为该公路的质量目标风险主要包括设计风险、施工风险和其他风险。下面我们运用层次分析法来分析哪种风险对该公路的质量目标风险影响最大。

（1）建立质量风险度评价层次结构。如图4.4所示最高层为系统质量目标总风险度评价A，第二层为与系统有影响关系的风险因素B1、B2、B3，第三层为有关质量的风险因素分类C1-C12（非技术风险归为其他风险）。

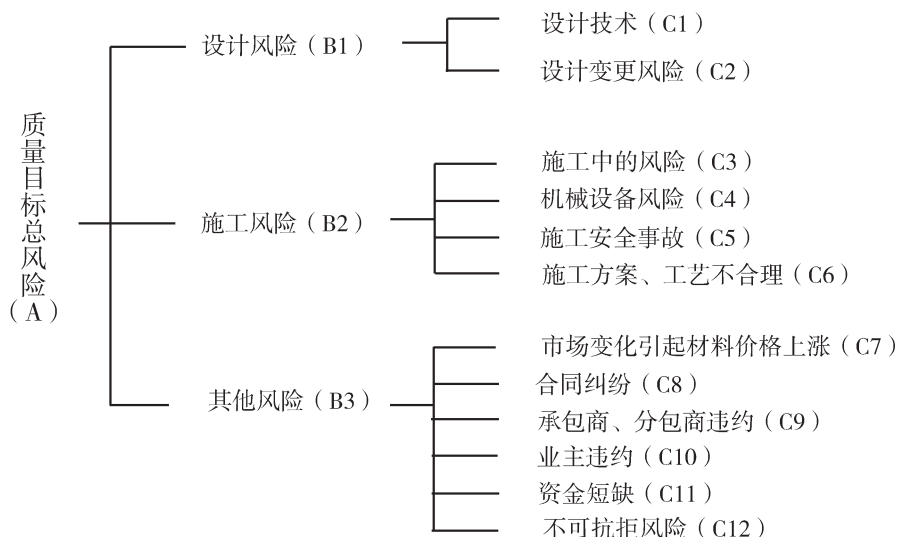


图 4.4 质量风险度评价层次结构

(2) 建立判断矩阵。按照上面的质量系统风险因素构成，邀请工程建设单位、施工单位、监理 D 单位的部分专家学者及技术人员对各个风险因素的重要性依据表 4.4 进行两两比较评分，再加以平均后构成 A-B 判断矩阵 (表 4.5)。

表 4.4 风险评价标准的标度值

定义 ( $a_i$ )	标度分值
$i$ 因素比 $j$ 因素绝对重要	9
$i$ 因素比 $j$ 因素重要得多	7
$i$ 因素比 $j$ 因素重要	5
$i$ 因素比 $j$ 因素稍微重要	3
$i$ 因素比 $j$ 因素一样重要	1
$i$ 因素与 $j$ 因素的重要性介于两个相邻中间	2, 4, 6, 8
$i$ 因素与 $j$ 因素比较的判断为 $a_{ij}$ , 则 $j$ 因素与 $i$ 因素比较的判断 $a_{ji}=1/a_{ij}$	倒数

表 4.5 A-B 判断矩阵

A	B1	B2	B3
B1	1	1/5	1/3
B2	5	1	3
B3	3	1/3	1

表 4.6 所求的乘积和 3 次方根的值

	乘积	3 次方根
第一行	0.066 667	0.405 480 1
第二行	15	2.466 212 1
第三行	1	1

(3) 利用方根法求每个因素的权值。首先求出每一行元素的乘积，求得每一行元素的乘积后，再对每一行的乘积求 $n$ 次方根，本例中是一个3阶的矩阵，所以要求每一乘积的3次方根。表4.6为所求的乘积和3次方根的值。

(4) 求判断矩阵特征向量。

1) 求得3个 $n$ 次方根之和为3.871 692 2；

2) 再使用每一行的 $n$ 次方根与总方根之比，构成特征向量的3个元素。本例中算得的特征向量 $W$ 元素为(0.104 729 4, 0.636 986, 0.258 285) (表4.7)。

表 4.7 特征向量  $W$  元素

A	B1	B2	B3	$W$
B1	1	1/5	1/3	0.104 729 4
B2	5	1	3	0.636 986
B3	3	1/3	1	0.258 285

(5) 求最大特征值。判断矩阵乘上特征向量，进行矩阵运算，求得最大的特征值(表4.8)。

表 4.8 最大特征值

A	B1	B2	B3			
B1	1	1/5	1/3	×	0.105	0.318 22
B2	5	1	3		0.637	= 1.935 48
B3	3	1/3	1		0.258	0.784 8
最大特征值 $\lambda_{max}$						3.385

(6) 进行一致性检验。假设 $n$ 阶正互反矩阵 $A$ 的最大特征根为 $\lambda_{max}$ ，其特征向量经归一化(使向量中各元素之和为1)后记为 $W$ 。 $W$ 的元素为同一层次因素对于上一层次因素中某因素相对重要性的排序值，这一过程成为层次单排序。能否确认层次单排序，则需要进行一致性检验。衡量不一致程度的指标为 $CI$ ，其值为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

当 $CI=0$ 时,有完全一致性;  $CI$ 接近0时,有满意一致性;  $CI$ 越大,不一致越严重。通过一致性检验,可用其归一化特征向量作为权向量,否则要重新构造判断矩阵,对 $a_{ij}$ 加以调整。

(7) 得出结论。依据根据准则层的权值而得出的量化值评估,可得出在施工方面的风险对质量总目标风险影响最大。

质量在施工方面的风险 B2	0.637
质量在其他方面上的风险 B3	0.258
质量在设计方面的风险 B1	0.105

## 第二节 工程管理方法



### 学习目标

1. 初步学会用甘特图、关键路径法进行规划和管理。
2. 体验并初步学会用成本估算法。

小到一场婚礼,大到奥运会的开幕式,都对时间和过程都有明确的要求,甚至要精确到时、分、秒。在各类工程项目中,时间是最常见的制约因素,也是判断项目成功与否的重要依据之一。甘特图、关键路径法都是为便于工程管理而设计的掌控流程、时间的方法,用来监管有关设计和建造的活动。成本估算法是计算产品成本的一种简便方法。

### 一、甘特图

甘特图又称为横道图、条状图。甘特图内在思想简单,即以图示的方式通过活动列表和时间刻度形象地表示出任何特定项目的活动顺序与持续时间。它基本是一条线条图,横轴表示时间,纵轴表示活动(项目),线条表示在整个期间上计划和实际的活动完成情况(图4.5)。它直观地表明任务计划在什么时候进行,以及实际进展与计划要求的对比。管理者由此可便利地弄清某项任务(项目)还剩下哪些工作要做,并可评估工作进度。

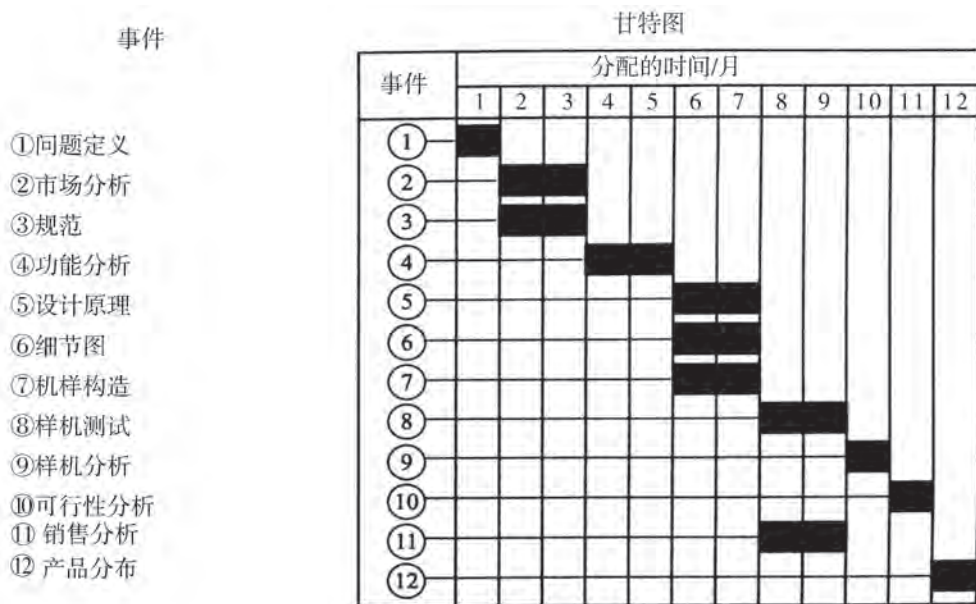


图 4.5 样机制造甘特图

甘特图是基于作业排序的目的，将活动与时间联系起来的最早尝试之一，可用于检查工作完成进度（图 4.6）。它表明哪件工作能如期完成，哪件工作能提前完成或延期。

序号	项目名称	进度计划（总工期 60 天）					
		3 月 1 日至 3 月 10 日	3 月 11 日至 3 月 20 日	3 月 21 日至 3 月 30 日	4 月 1 日至 4 月 10 日	4 月 11 日至 4 月 20 日	4 月 21 日至 4 月 30 日
1	施工准备	—→					
2	地基工程	—→					
3	道路工程		-----	----→			
4	垃圾坝工程				-----	----→	
5	竣工验收						→

图 4.6 施工进度计划横道图



### 做中学

请同学们用甘特图来表示定位小车的设计与制作流程。

## 二、关键路径法

关键路径法是工程项目管理中最基本的同时也是非常关键的一种方法，它上连着工作分解结构，下连着执行进度控制与监督。关键路径是项目计划中最长的路线，它决定了项目的总实耗时间。所以，在进行项目操作时确定关键路径并进行有效管理是至关重要的。



图 4.7 是关键路径法的示例。其中最长的路径，即关键路径是持续 14 天的任务 A-B-E-H。由于任务 D 会在 12 天后结束（其中 3 天分给任务 A，之后的 9 天分配给任务 D），那么到下一个节点，即这个项目结束时，还有两天。因此任务 D 就有两天的浮动时间。同样，在任务 H 开始之前来完成任务 C，F 和 G 肯定有一天的浮动时间。

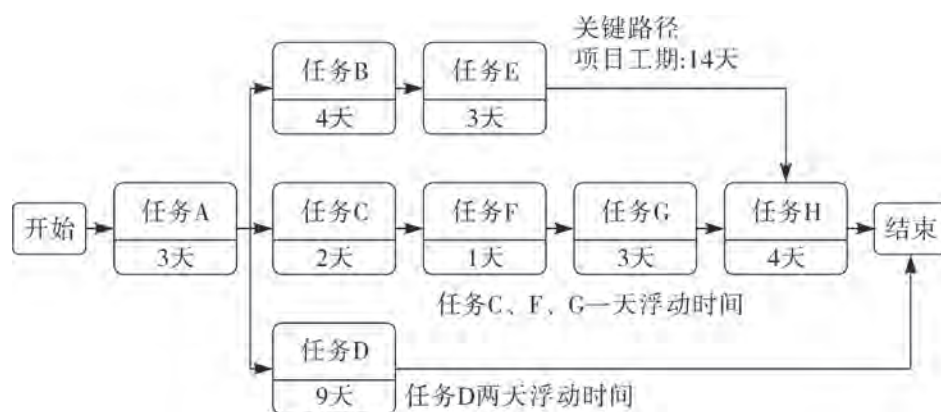


图 4.7 关键路径法示例

创建关键路径法的步骤如下：

- (1) 将设计分解成个人活动并确认每个人的活动；
- (2) 估算每项活动所需要的时间；
- (3) 确定活动的顺序；
- (4) 用所定义的符号创建关键路径法网络；
- (5) 确定网络的关键路径。

一个机械设计项目被分解成若干主要工作或活动，如表 4.9 所示。

表 4.9 机械设计项目

活动说明	活动确认	前期活动	活动持续时间 / 周
需求、目标和市场分析	A	-	1
功能分析	B	A	2
具体规划	C	B	1
替代方法	D	C	4
评估	E	D	3
原型设计	F	D	4
分析	G	E, F	2
	H	G	2
生产制造	I	G	4
市场投放	J	H, I	3

关键路径法网络是使用表中的数据创建的，其关键路径是按照预计的项目持续时间确定的。

用规定的符号和表 4.9 所给出的数据，关键路径法网络如图 4.8 所示。

开始于项目 1，终止于项目 11 的路径如下所示。

- (1) A-B-C-D-E-G-I-J 时间 20 周；
- (2) A-B-C-D-F-G-I-J 时间 21 周；
- (3) A-B-C-D-E-G-H-J 时间 18 周；
- (4) A-B-C-D-F-G-H-J 时间 19 周。

上述结果表明最长路径为 (A-B-C-D-F-G-I-J)，那么该设计项目的预计时间为 21 周。

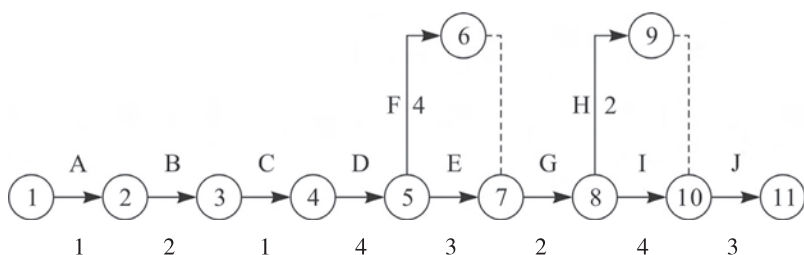


图 4.8 机械设计关键路径图



### 做中学

请用关键路径法分析定位小车设计与制作项目的总耗时。

## 三、成本估算法

成本估算法是通过把每一类费用分别计算再估算总成本费用的方法，是简便运算产品成本的方法。

### 1. 原材料比重法

先算出占产品成本比重最大的原材料费用，参照类似工厂中原材料占产品成本中的百分比，以原材料费用除以后者，可得产品成本的粗略估算值。

### 2. 分项类比估算法

假设某产品成本是由材料费、工资和管理费三项组成的。该法有3种情况：

(1) 甲产品与乙产品是同类产品：各种费用成比例，即  $A/B=H/I=O/P$  ( $A$ 表示甲材料费， $B$ 表示乙材料费， $H$ 表示甲工资， $I$ 表示乙工资， $O$ 表示甲管理费， $P$ 表示乙管理费)。例如：已知乙产品的材料费60元，工资10元，管理费20元，则其成本为90元。以材料消耗定额计算得甲产品材料费为80元，那么甲产品成本= $A+A/B(I+P)=80+80/60(10+20)=120$ (元)。

(2) 甲产品与乙产品为类似产品：则 $H/I=O/P \neq A/B$ 。如上例，若甲产品工资为12元，那么甲产品成本 $=A+H+H/I \times P=80+12+12/10 \times 20=116$ （元）。

(3) 甲产品与乙产品为非类似产品：那么各种费用均不成比例。这时，即定义某产品的管理费与工资之比为某产品管理费系数。仍如上例，若甲产品管理费系数为1.5，那么甲产品成本 $=A+H+H \times 1.5=80+12+12 \times 1.5=110$ （元）。



### 做中学

请估算一下自己设计的定位小车的制作成本。



### 活动延伸

小明家的新房子计划装修，请你用关键路径法分析装修时耗，然后画一张甘特图来安排装修流程并估算一下成本。

## 第三节 工程管理



### 学习目标

1. 知道工程管理的內容。
2. 能进行简单的工程项目的管理。

工程管理是指运用系统的观点、理论和科学技术对工程项目进行计划、组织、指挥、协调、控制等全过程管理。管理不当会直接影响工程质量，从而造成一系列不良后果。工程管理的三大内容是进度、质量和效益，即对立又统一。工程管理，既要懂管理，还要懂技术。工程管理要“以人为本，天人合一，协同创新，构建和谐”。

## 一、工程管理的內容

我们以某核电站（图 4.9）的一个关键零部件的安装工程为例来介绍工程管理的内容。

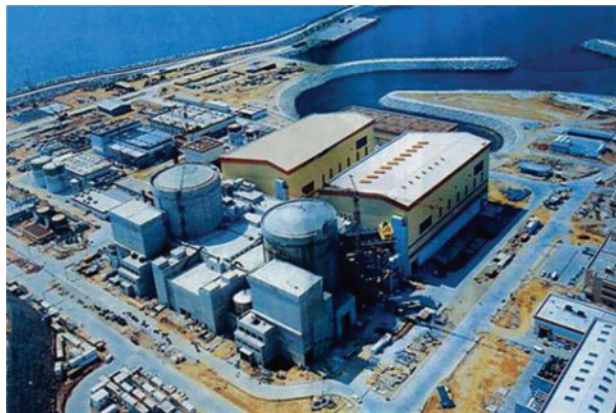


图 4.9 核电站

### 1. 成立安装项目管理组织

成立以总工程师为首的有项目经理等多人参加的针对此零件安装的管理组织机构。

### 2. 编制安装管理规划

零件何时运到现场？何时开始安装？安装分几个阶段？何时安装完毕？对安装出现不可预计的现象的预案，管理规划都需清清楚楚。

### 3. 进行安装项目的目标控制

初始阶段目标是零件完整无缺运至现场，然后是安装机械和人员到指定位置。安装前各部门逐项检查零件质量。安装时关键零部件的移动速度精确到秒。

### 4. 进行组织协调工作

组织协调的内容，包括人际关系、组织机构关系、协作配合关系、供求关系及约束关系的协调。处理协调这些关系有一定的原则但没有定式。

### 5. 对安装的各项要素进行优化配置和动态管理

各要素是目标得以实现的保证，主要包括人员、机械设备、安装技术。

### 6. 合同管理

关键零部件外购，依法签订合同，进行履约经营。

### 7. 信息管理

现代化管理要依靠信息。信息管理要依靠电子计算机辅助，进行项目管理和目标控制。根据各种数据、表格、图纸、文字、音像资料等，预先在电子计算机上模拟安装全过程。

### 8. 安装项目管理的总结

安装完毕后写出总结报告。



## 探究与交流

1. 为什么工程项目到一定阶段就要总结？
2. 总结是否都要包含工程总结、经济总结、工作总结、效果总结？

## 二、工程项目进度管理

### 1. 编制工程计划

编制各层进度计划，编制总进度计划，编制进度计划横道图。



#### 做中学

请同学们以小组为单位编制小车项目各阶段进度及总进度计划。

### 2. 项目进度控制

(1) 应有专职部门和人员负责进度控制工作。

(2) 应有项目进度控制的管理措施。

例如,某新型玻璃机械(图 4.10)的研制,由于缺乏进度控制的管理措施,等研制出来,已滞后市场。

(3) 应有项目进度控制的经济措施,资金、人力和物力资源要适应进度要求。

(4) 项目进度控制的技术措施。进度控制的技术措施涉及对实现进度目标有利的设计技术和施工技术的选用。不同的设计理念、设计技术路线、设计方案会对进度产生不同的影响。



图 4.10 玻璃机械

## 三、工程项目质量管理

### (一) 全面质量管理思想

全面质量管理(图 4.11)就是强调在企业或组织最高管理者的质量方针指引下,实行全面、全过程和全员参与的质量管理,构成一个大环套小环、相互促进的整体系统,及时纠错,提高总体工作效能。它的主要特点是:以顾客满意为宗旨,领导参与质量方针和目标的制定,提倡预防为主、科学管理、用数据说话等。

#### 1. 全面质量管理

工程项目的全面质量管理,是指项目参与各方所进行的工程项目质量管理的总称,其中包括工程(产品)质量和工作质量的全面管理。工作质量是产品质量的保



图 4.11 全面质量管理闭环图



证，工作质量直接影响产品质量。

### 2. 全过程质量管理

全过程质量管理指从源头抓起，全过程推进，包括市场营销质量管理、设计过程质量管理、制造过程质量管理、用后处理质量管理。例如，海尔砸冰箱事件就是质量管理的好例子。

### 3. 全员参与质量管理

开展全员参与质量管理，就是将质量总目标逐级进行分解，使之形成自上而下的质量目标分解体系和自下而上的质量目标保证体系，发挥组织系统内部每个工作岗位、部门或团体在实现质量总目标过程中的作用。



#### 探究与交流

1. 工程项目外雇的环卫工需要参与工程的全面质量管理吗？
2. 工程的通勤车进行了外包，它需要参与工程的全面质量管理吗？



#### 阅读材料

### 海尔砸冰箱事件

1985年，一位用户向海尔公司反映：工厂生产的电冰箱有质量问题。于是，张瑞敏突击检查了仓库，发现仓库中不合格的冰箱还有76台。当时研究处理办法时，有干部提出不合格产品作为福利处理给本厂的员工。但是，张瑞敏却做出了有悖“常理”的决定：开一个全体员工的现场会，把76台冰箱当众全部砸掉！而且由生产这些冰箱的员工亲自来砸！在那个物资还紧缺的年代，这个决定很多人都难以接受。但张瑞敏明白：如果放行这些产品，就谈不上质量意识。不能用任何姑息的做法来告诉大家可以生产这种带缺陷的冰箱，否则今天是76台，明天就可以是760台、7600台……所以必须实行强制，必须要有震撼作用！

结果，就是一柄大锤，伴随着那阵阵巨响，真正砸醒了海尔人的质量意识。从此，在家电行业，海尔人砸毁76台不合格冰箱的故事就传开了。

## (二) 工程质量的 influencing factors

工程项目质量的影响因素主要是指在项目质量目标策划、决策和实现过程中影响质量形成的各种客观因素和主观因素，包括人的因素、机械的因素、材料的因素、方法的因素和环境的因素。

### 1. 人的因素

在工程项目质量管理中，人的因素起决定性的作用。项目质量控制应以控制人的因素为基本出发点。人，既包括个体的人，也包括群体的人（组织），应从制度机制、思想道德、岗位职责方面防范质量风险。

## 2. 机械的因素

工程项目的机械包括设备和各类工器具。它们是工程项目的重要组成部分，其质量的优劣直接影响到工程使用功能的发挥。合理选择和正确使用机械是保证项目质量和安全的重要条件。

比如，在道路路基工程上，好压路机（图 4.12）比差压路机更能保证工程质量。

## 3. 材料的因素

材料包括工程材料和施工用料，又包括原材料、半成品、成品、构配件和周转材料等。材料质量不符合要求，工程质量就不可能达到标准。对材料的质量控制，是保证工程质量的基础。

例如，在加工光学镜片（图 4.13）时，某厂用人造磨料代替天然磨料，结果产品报废。



图 4.12 压路机



图 4.13 光学镜片

## 4. 方法的因素

方法的因素也可以称为技术因素。从某种程度上说，技术水平和工艺方案的高低决定了项目质量的优劣。依据科学的理论，采用先进的技术、合理的技术方案和措施，可对质量的保障起到良好的推进作用。例如，使用数控机床（图 4.14）比使用普通机床更能保证加工工件的质量。



图 4.14 数控机床



### 探究与交流

1. 使用道路清扫机是否能比人工清扫更能保证路面清扫质量？
2. 对批量生产的产品抽样检查，是否比不抽样检查更能保证产品的质量？

## 5. 环境的因素

影响项目质量的环境因素，包括项目的自然环境、社会环境、管理环境和作业环境因素。



### 探究与交流

1. 青藏铁路使用的水泥会有特殊要求吗？
2. 在煤矿塌陷区，能建住宅小区吗？地下已探明有文物，能建工厂吗？
3. 没有质量管理体系和制度的单位能修“南水北调”工程的河堤吗？
4. 作业环境恶劣，能造出精密手表吗？

## 四、职业健康安全和环境管理

职业健康、安全和环境，相互关联、相互作用。随着全社会对环境健康安全问题的愈加关注，由此而产生的健康（health）、安全（safety）和环境（environment）管理体系简称HSE管理体系，已经变成了工程项目管理不可或缺的组成部分。

推进HSE管理会带来工程费用的增加，也许会对工期产生一定的影响，但它能提高整个工程项目的管理水平，强力推动工程项目总目标的实现。



### 探究与交流

1. 能用设备替代的工种是否就应购置设备，减少人的参与？
2. 电焊工已有电焊面罩保护，是否还要在他们的工作地点配置专门吸取烟尘的机器？
3. 不能用设备替代的工种，是否必须保证工人在安全的环境下工作？
4. 港珠澳大桥的施工船是否要给海豚让行？

## 五、工程项目竣工验收管理

工业项目经过投料、试车、调试（带负荷运转）能生产出合格产品、形成生产能力的，非工业项目符合设计要求能够正常使用的，必须及时组织验收（图4.15）、办理固定资产移交手续。项目竣工验收必须符合法律、行政法规、合同的规定。

验收的依据主要有与项目建设有关的各种文件、工程设计文件、设备技术资料，以及与项目相关的标准规范、合同、全部竣工资料等。



图 4.15 竣工验收

## 本章小结

决策是综合利用管理学、经济学、社会学、数学、计算机科学等学科进行的探讨活动。常用的决策模型有决策树、决策矩阵和层次分析法。甘特图、关键路径法都是为便于工程管理而设计的掌控流程、时间的方法，用来监管有关设计和建造的活动。甘特图又称为横道图、条状图，以图示的方式通过活动列表和时间刻度形象地表示出任何特定项目的活动顺序与持续时间。关键路径法是工程项目管理中最基本也是非常关键的一种方法，它上连着工作分解结构，下连着执行进度控制与监督。关键路径是项目计划中最长的路线，它决定了项目的总实耗时间。

工程管理是指运用系统的观点、理论和科学技术对工程项目进行计划、组织、指挥、协调、控制等全过程管理。工程项目质量的影响因素主要是指在项目质量目标策划、决策和实现过程中影响质量形成的各种客观因素和主观因素，包括人的因素、机械的因素、材料的因素、方法的因素和环境的因素。

## 学习评价

评价内容		评价方式		
		自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题		
		能基于已有经验构建新的知识		
		能积极参与课堂讨论		
	实践活动	能积极参与实践活动		
		与小组成员有效合作		
		用决策模型来评价定位小车的设计方案		
		用甘特图和关键路径法来管理定位小车项目的设计与制作		
		利用成本估算法来估算定位小车的制作成本		
		编制定位小车项目各阶段进度及总进度计划		
		结果评价	目标实现	理解工程设计过程中评价与决策的重要性
学会用决策树、决策矩阵和层次分析法进行评价和决策				
初步学会用甘特图、关键路径法、成本估算法进行简单的工程项目管理				
收获反思	收获与感悟			
	反思不足			

附录 部分中英文词汇对照表

标准化	standardization
标杆分析法	benchmark analysis
并行工程	concurrent engineering
层次分析法	analytic hierarchy process
电梯	lift
分析	analysis
复合材料	composite materials
甘特图	gant chart
刚度	stiffness
工程	engineering
工程图	engineering drawing
工程材料	engineering materials
工程设计	engineering design
工程师	engineer
工程特性	engineering characteristic
工程思维	engineering thinking
工程塑料	engineering plastics
管理	management
关键路径法	critical path method
环保设计	environmental design
环境工程	environmental engineering
环境管理	environmental management
机械工程	mechanical engineering
建模	modeling
节能	energy saving
决策	decision
决策树	decision tree
决策矩阵	decision matrix
零件	component
质量控制	quality control
评估	assessment
三维模型	3D modeling
循环再生	cyclic regeneration
再制造	remanufacturing