



TONGYONG
JISHU

普通高中教科书

通用技术

—— 选择性必修3 ——

工程设计基础



普通高中教科书

通用技术

选择性必修3 工程设计基础

主 编 刘琼发

 广东教育出版社
 广东科技出版社

• 广州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

通用技术. 选择性必修3: 工程设计基础 / 刘琼发主编. —广州: 广东教育出版社: 广东科技出版社, 2021.6 (2021.12重印)

普通高中教科书

ISBN 978-7-5548-4124-2

I. ①通… II. ①刘… III. ①通用技术—高中—教材
IV. ①G634.931

中国版本图书馆CIP数据核字 (2021) 第114296号

编写单位: 广东教育出版社 广东科技出版社

主 编: 刘琼发

副 主 编: 李 榕 周卫星 朱美健 席春玲

本 册 主 编: 王华权

本册副主编: 周 嘉

编写人员: 周 熙 周 嘉 王华权 柯 力

林 敏 陆 超

出 版 人: 朱文清

责任编辑: 夏 丰

责任技编: 许伟斌

装帧设计: 友间文化

通用技术 选择性必修3 工程设计基础

TONGYONG JISHU XUANZEXING BIXIU 3 GONGCHENG SHEJI JICHU

广东教育出版社 出版
广东科技出版社

(广州市环市东路472号12-15楼)

邮政编码: 510075

网址: <http://www.gjs.cn>

广东新华发行集团股份有限公司经销

广州市彩源印刷有限公司

(广州市黄埔区百合3路8号 邮政编码: 510700)

890毫米×1240毫米 16开本 6印张 132 000字

2021年6月第1版 2021年12月第2次印刷

ISBN 978-7-5548-4124-2

定价: 7.36元

批准文号: 粤发改价格〔2017〕434号 举报电话: 12315

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如有印装质量或内容质量问题, 请与我社联系调换

质量监督电话: 020-87613102 邮箱: gjs-quality@nfc.com.cn

购书咨询电话: 020-87772438

前言

什么是工程？工程是人类运用技术手段，遵从科学规律，有组织、有计划地打造具有特定功能物件的实践活动。物件中的“物”包括非生命体、生命体；物件中的“件”包括软件、硬件。

工程活动与我们的日常生活息息相关：建筑工程建造出舒适的房屋，让人类不再风餐露宿；机械工程制造出各种机械，将人类从繁重的体力劳动中解放出来；计算机及软件工程增强了人类应对繁杂、深奥脑力劳动的能力；通信及网络工程让我们可以隔空交流，即时互通语音、文字、图像信息，缩短了人们之间的心灵距离；交通工程、航空工程为人类创造出高速铁路、高速公路及空运系统，缩短了旅行时距，将偌大个地球变成了“地球村”；生物工程、人工智能工程、机器人工程……一系列新兴工程的成熟与推广应用，正在改变、引领着我们的现在和未来。

《工程设计基础》一书将为同学们揭开工程设计的神秘面纱，并通过实例让同学浅尝从事工程设计的滋味。

本书共设四章：第一章，通过典型工程案例分析，让同学们了解工程发展的简要历史和工程分类。结合著名工程师的工程实践案例，进一步了解工程师工作的特点和职业要求。第二章通过典型工程设计的分析，让同学们理解工程设计的一般过程，并利用“无碳小车”的工程项目制作让学生亲身体验设计过程。学会编制简易的工程设计任务书。第三章将通过实例，向同学们介绍现代工程设计中常用的3D建模方法，并让同学们获得一次

制作实物模型的体验。第四章将向同学介绍工程设计过程中评价和决策的重要性，让大家初步学会运用决策矩阵、层次分析法、决策树等工具和方法进行时间管理、质量管理和成本评估等。

在学习的过程中，本书设置了“学习目标”“案例”“任务驱动”“立即行动”“探究”“练习”等栏目。“学习目标”帮助我们明确章节应该掌握的要点；“案例”通过引入典型工程或事件，让同学们初步认知工程设计的各个要素；“任务驱动”将知识要点分解为各种小任务，引导同学有的放矢地学习；“立即行动”让同学们手脑并用，通过亲身体验来理解、掌握与章节有关的知识内容；“探究”为同学们深入探究问题提供了线索；“练习”能帮助同学们检测和回顾应该掌握的知识。

我们用一段顺口溜来总结概括工程：工程本是一活动，打造物件能实用；没有技术休染指，科学原理要遵从；人财物力需调配，计划管理来掌控；竣工验收有时限，图纸、规范罩施工。工程设计作为工程活动中最关键的内容，其任务是构想、优化被打造物件的功能、形态、细节形状或其他参数，并用图纸、文件、表格等有效形式准确无误地将这些内容逐项表达清楚，用以指导实施打造物件的施工活动。学习工程技术，就是要掌握将设想变成物件的本领，用实用、先进的方法创造具有实际用途的物件，改善人类生存、工作环境，造福人类的现在和未来。

目 录



第一章 工程设计概述	01
第一节 了解工程	02
一、工程的含义与种类	02
二、工程的特性	04
三、工程的价值和文化内涵	06
第二节 工程发展史	08
一、工程发展简史	08
二、现代工程的领域范围	09
三、典型工程领域的发展历程	11
第三节 工程师的职业	16
一、工程师是怎样的一个群体	16
二、工程师的伦理规范	17
三、著名工程师	18
四、工程团队的建立	20
本章回顾与评价	22



第二章 工程设计一般过程	23
第一节 工程设计概述	24
一、工程设计的定义	24
二、工程设计的重要性	24
三、工程设计过程	26
第二节 需求分析和目标定义	29
一、问题的描述——需求目标定义	29
二、明确性能需求——建立树状目标图	31
第三节 获取工程特性	36
一、明确设计对象功能结构	36
二、获取设计对象的工程特性	37



三、标杆分析法与逆向工程法	39
四、质量功能配置 (QFD)	41
第四节 概念化设计	44
一、工程设计过程中要考量的各种要素	44
二、概念方案设计	46
三、编制工程设计任务书	47
四、面向X的设计	49
本章回顾与评价	52

第三章 工程设计建模..... 53

第一节 工程设计建模简析	54
一、工程设计建模概述	54
二、计算机三维建模简介	55
第二节 工程图	59
一、认识工程图	59
二、制图标准	59
三、了解公差	60
第三节 工程设计体验	62
一、任务要求	62
二、材料选择	62
三、总体方案设计与三维建模	63
四、实物模型制作	70
五、工程设计中的仿真	72
六、工程设计文件	72
本章回顾与评价	73



第四章 工程决策与管理..... 74

第一节 设计方案评估和决策	75
一、对设计方案的初步评估	75
二、工程决策模型的要素和类型	76
三、层次分析法与决策树	79
第二节 工程管理	84
一、工程设计过程中的项目管理	84
二、质量与全面质量管理	84
三、时间管理	85
四、成本估算	87
本章回顾与评价	90



第一章 工程设计概述

工程是什么？简单讲：工程是人类打造有用物件的活动。科学和技术是保障工程活动获得预期成果的必要条件。我们通过典型案例分析，可以了解工程发展的简要历史，理解工程特性、重要价值和丰富的文化内涵。结合著名工程师的工程实践案例，引领我们探究工程师的工作特点和职业要求，感受工程团队精神的重要性。

第一节 了解工程

学习目标

- 了解工程的概念、分类，理解工程的特性。
- 以工程的理念分析工程的价值和文化内涵。

一、工程的含义与种类

工程是人类运用技术手段，遵从科学规律，有组织、有计划地打造具有特定功能物件的实践活动。“工程”一词最早出现在我国南北朝时期，当时主要指土木工程。我国早期的工程活动的目的，是以满足人类的生存需要为主。“工程”在中西方的含义有所差别，在西方早期，“工程”与军事技术相关的建造活动密切相关。英语中的engineering（工程）源于拉丁文ingenium（意指古罗马军团的撞墙锤）。随着人类生活、生产的发展以及宗教传播和战争的需要，在文明的演变、发展过程中逐渐出现了各具特征的工程活动。其主要经历了从构木为巢、掘土为穴等知识含量较低的史前工程，后来出现主要以手工作业为主的古代工程，发展到以专业工匠的个人能力与工程学科知识的应用逐渐紧密结合为特征的近代工程，直至以科学知识为先导，工程学科高度分化又趋向综合集成的现代工程。

工程设计与实施已成为人类生产和生活实践的重要组成部分，人类文明的进步离不开工程活动，现代的社会生活方式与工程设计密切相关。

案例

中国人自己设计的第一条铁路——京张铁路

由于清政府闭关锁国政策的影响，中国近代工程发展较为缓慢。中国铁路发展的初期，铁路工程都由外国人设计建造。1905年，清政府筹划修建京张铁路（图1-1），因为英、俄等国争夺建设权，清政府无法调和，最终只好决定由本国人员组织工程设计。外国工程人员



图1-1 京张铁路

扬言建造这条铁路的中国工程师恐怕还未“出世”。1905年，詹天佑被任命为会办兼总工程师。经过实地勘测和缜密比较，詹天佑选定了比较切合实际的线路走向。虽然这条铁路地势险峻，工程艰巨，但詹天佑率领中国工程技术人员和筑路工人精心施工，接连挑战各种困难并不断被突破，这条国际上公认“工程艰巨的铁路”最后仅花费了外国承包商预算五分之一的经费，并在4年内建造完成。该工程体现了中国工程人员的专业水准和建设能力，为此后中国的工程建设积累了宝贵的经验，并树立了良好的信心。

讨论

京张铁路工程成功建造在20世纪初对于中国铁路工程起到了什么作用，铁路工程的发展怎样推动了社会经济的发展？

分析

清朝末年修建的京张铁路具有明显的近代工程的特征，请查询相关资料，从工程技术、社会性和项目管理方式等角度分析京张铁路工程的特点，填入表1-1中。

表1-1 京张铁路工程的特点

工程特点	京张铁路工程
科学与技术	
经验知识特征	
社会时代性	
经济目的	

思考

新的京张铁路工程已于2015年批准建设，预计耗时4年半完工，其线路最高时速将达到350km/h。如何评价新旧两条京张铁路的工程意义？

立即行动

近代工程中相继出现了土木工程、机械工程、矿冶工程、水利工程、交通工程、电机工程、化学工程、纺织工程等具体工程学科，现代工程中又出现了生物工程、信息工程和环境工程等新兴工程学科。请尝试列举一些具有代表性的典型工程案例，填入表1-2中。

表1-2 典型工程案例

工程分类	典型案例
水利工程	
机械工程	
生物工程	

二、工程的特性

[illegible]

工程活动是人类文明持续进步的推动器，工程与科学、技术之间相互依存、相互影响，工程遵循一定的科学原理，技术是工程设计及工程活动的基本要素。工程活动中，包含了多种技术因素，但也需要考虑非技术因素，比如在城市绿化工程活动中，技术因素不再是工程活动中的难点，需要考虑公众对工程的接受度。因此，工程有着内在的独有特性。

(1) 集成性。工程需要通过决策、规划、设计、建设和制造等过程建构一个原本不存在的新事物。这需要集成各种要素、科学认识和技术知识。

(2) 综合性。工程是创造一个自然界原本不存在的事物，需要综合多方面的因素进行。随着现代技术的迅速发展，这种创造活动越来越复杂，往往会涉及科学、技术、社会、经济、政治、生态等多个领域，需要综合考虑各个因素。

（3）创造性。任何一个工程都会集成各种复杂的要素，要素的复杂性使得每一个工程几乎都是独一无二的。在工程活动中，不是简单照搬以前的活动过程，而是需要根据工程条件的变化进行创造，才能达到工程目标。

(4) 科学性和经验性。工程活动必须建立在遵守科学原理的基础上, 违背科学规律可能导致工程问题甚至工程失败。工程设计者和实施者在不断进行的工程活动中积累经验, 已有的经验知识, 可以帮助工程活动更加高效。

(5) 社会性。工程是应人类的需要而产生，其社会性是必然的。工程的社会性也使得它必定受到公众关注，并可能引发社会对工程的各种理解。这些理解不一定科学，但是工程活动尤其是现代大型工程必须在策划时就需要考虑非技术因素的社会影响，制定必要的应对措施。

(6) 效益性和风险性。工程天然具有效益性, 或为经济效益, 或为社会效益, 或为环境生态效益。工程的实施过程中, 其产生的效益具有不确定性, 这导致工程具有风险性, 而工程的其他特征也可能导致风险。

(7) 伦理约束性。工程的最终目标是为了服务社会，造福人类。在应用过程中必须受到道德的监视和约束。

工程的特性存在着动态变化的可能，而同类工程尤其是大型工程在不同时期的个别特性也可能会发生巨大变化。

案例

港珠澳大桥工程

港珠澳大桥（图1-2）跨越伶仃洋，东接香港，西接珠海和澳门，由中央及粤港澳三地政府共同出资兴建。从1983年香港的建筑师胡应湘提出动议到2009年项目开工历时26年，造价超过1 000亿人民币，2018年10月24日正式通车，全长55km，是世界最长的跨海大桥工程，被赞为“现代世界七大奇迹之一”。它将连起世界最具活力经济区域，促进香港、澳门、珠海三地经济社会一体化。作为桥梁建设史上里程最长、投资最多、施工难度最大的跨海桥梁项目，港珠澳大桥的建设在工程的实践性、涉及三地的工程复杂性和风险性等方面均无先例可循。

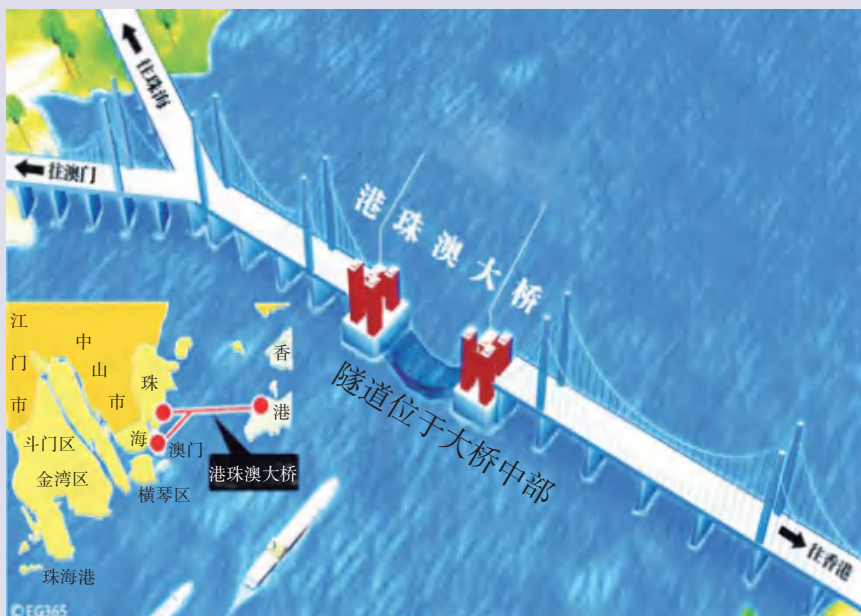


图1-2 港珠澳大桥示意

思考

港珠澳大桥曾经在2011年因环评问题而停工一年，后经过专家论证，重新修改工程的设计方案，预计港珠澳大桥香港段工程造价预算将上升55%，这反映了工程的哪些特性？

分析

请从你生活的地区选择一个典型工程，分析工程的特性，以及工程特性的形成原因。

三、工程的价值和文化内涵

人类的工程活动过程就是一个创造和提升价值的过程，工程通过特有的建造活动满足了需求方的诉求，也形成了工程的价值。一项工程总是具有多种价值，如经济价值、政治价值、生态价值、国防价值等。

工程不仅具有实用价值，也具有人文价值，实用价值显示了工程的实用性，人文价值体现出工程的品位，反映出工程的人文内涵。人们对于工程在生活方式、行为方式、思维方式等方面达成的长期共识形成了工程活动的文化内涵。例如，一条货物运输通道建立在一个风景秀美的地区，那么这条通道还可以作为旅游观光线路，这改变了人们的生活方式。对一个工程的需求来说，工程蕴含了它的精神和思想，体现了相应的历史传统，也具有对应的文化内涵。

案例

青藏铁路工程

青藏铁路（图1-3）是世界上海拔最高、在冻土上路程最长的高原铁路工程，是中国21世纪四大工程之一，被誉为“天路”，是世界铁路建设史上的一座丰碑。一期工程从青海省西宁市到格尔木市长约846km。二期工程于2001年6月开工，2006年7月1日建成通车运营，工程总投资330亿元，其中环保投资近20亿元，工程活动中创造了多项世界之最。为保护青藏高原脆弱的生态环境，列车所有废水、污物均统一收集，统一排放，桥梁建设考虑动物迁徙通道。青藏铁路推动西藏进入铁路时代，密切了西藏与内陆的时空联系，拉动了青藏带的经济发展，西藏地区的GDP也从2000年的118亿元增长到2015年的1 026亿元。

青藏铁路是几代中国人的梦想，孙中山先生在他的《建国方略》中就规划过“西北铁路”“高原铁路”等七大铁路系统，中华民国时期也曾先后组团勘测



图1-3 青藏铁路

甘青铁路。一个重大工程，不仅要考虑其经济价值，而且要考虑其生态价值、社会价值、艺术价值，不仅要考虑其眼前的价值，还要考虑其长远的价值、历史价值，这些都会让工程对社会产生重大影响。

讨论

青藏铁路二期工程在建设过程中的环保投入占总经费的6.1%，表面上看起来，这与我们思维习惯中的工程活动的追求经济价值的取向相矛盾。同时，青藏铁路目前所产生的直接经济效益与它的投入差别较大，请从工程的价值角度讨论工程设计的选择性和妥协性。

探究 >

青藏铁路从中华民国时期就有需求，它蕴藏着国家和民族融合的需要，请结合青藏铁路工程的历史传承，以工程注重长远发展的特点和工程建成后对社会的发展促进角度来探究该工程含有的丰富文化内涵。

立即行动

请根据从本节课程学到的知识和方法，以3人为一个小组，在自己的家乡寻找一个工程项目，分析它的工程特性、工程价值及工程的文化内涵。

习 题

1. 人类的工程活动总体可以划分为_____个阶段。
2. 选择题：港珠澳大桥的环评风波体现了工程的（ ）特性。
A. 建构性和实践性 B. 集成性和创造性
C. 科学性和经验性 D. 社会性和风险性
3. 判断题：工程活动是中性的，可以不包含任何文化内涵。 （ ）
4. 简答题：青藏铁路作为影响巨大的工程活动，请结合工程特性和工程价值分析青藏铁路的宏观意义。

第二节 工程发展史

学习目标

- 了解工程的发展简史，识记工程的领域范围。
- 领会主要工程领域的发展历史，分析工程对社会的影响，激发探索工程领域的兴趣。

一、工程发展简史

在人类社会的发展历史上，工程起源于人类生存发展的需要。制作建造所需要的器物、工具和居所等非自然生成的有用物质的活动就是一种工程活动。经过对科学技术的进一步探索，人类的需求更加多样化，逐步拓展到生活所需以外，甚至于精神追求，工程也在这个过程中不断演变、进步、发展、创新。伴随着人类技术水平的发展，工程活动逐渐服务于更多的场合，直到现代社会，人类社会通过工程活动构建出千变万化的事物。

工程活动的发展是漫长、复杂的，工程在发展中大致经历了4个历史阶段。

1. 史前工程。

从人类起源至1万年前，人类初期以打制简单石器为主（图1-4），中期开始使用骨器，后期用到了木头和动物的肌腱，出现了原始的采矿工程活动，从制作工具逐渐发展到了建造居所，这一时期的工程活动中的应用简单、粗糙。

2. 古代工程。

约1万年前的新石器时代开始，人类在工程应用上出现了陶窑烧制等高温加工技术，进入铜器为代表的金属时代。这一阶段，开始出现工程思维活动，也有了专业的工匠。人类的工程活动已经具有更高的生产力水平、管理水平和土木建造技术。工程活动已经扩散到农业、材料制造和城市建设等领域。埃及的金字塔（图1-5）、中国的都江堰（图1-6）都是这一时期工程活动的典型代表。



图1-4 史前工程活动



图1-5 埃及金字塔

3. 近代工程。

人类在持续探险和扩张中，发展了航海和建造技术。从1640年的英国资产阶级革命开始，西方国家较早完成了工业革命。工程领域的扩大和发展推动了第一次产业革命，蒸汽机（图1-7）成为这个时代的标志，陆续出现了机械工程、采矿工程、纺织工程、结构工程……科学和技术方法、设计和开发在工程中得到应用，工程师开始作为雇员身份出现。

4. 现代工程。

19世纪末，工程和科学的相互促进发展导致了新的工程时代的来临。电力革命促进了以电气化时代的来临，在随之而来的重工业领域得到了极大的发展；电子计算机的发明和使用，推动人类进入信息时代。这一时期，科学与工程进行深度整合，工程系统愈加复杂，形成了高科技支撑的核工程、航天工程、生物工程、微电子工程、软件工程和新材料工程……工程越来越多涉及社会学、人类学和哲学等非物质领域，信息化的技术让自动智能机器代替人类的体力劳动成为现实。

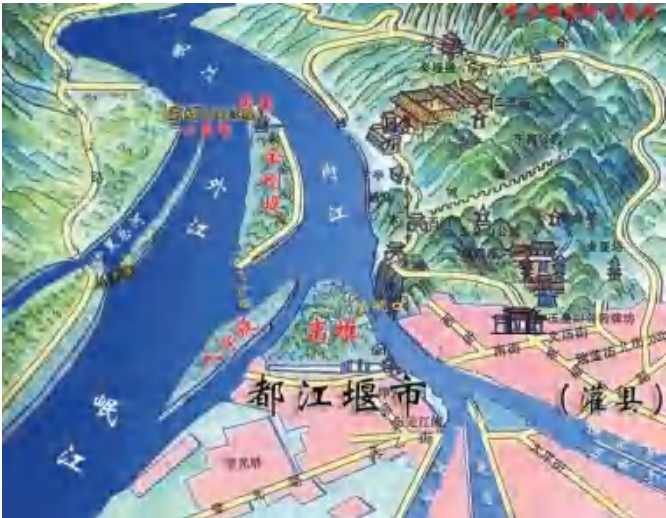


图1-6 都江堰

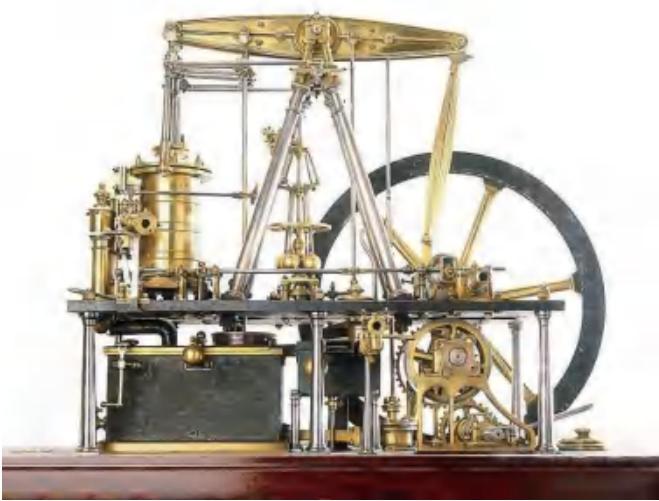


图1-7 蒸汽机

探究 >

认真理解工程发展的历史，从近现代工程时期各选取一个代表性的工程，说明该工程在工程发展史上对于人类社会的积极意义，它对于后续工程和社会发展有何推动作用。

二、现代工程的领域范围

现代工程的领域覆盖范围非常广泛，目前主要的工程领域有机械工程、纺织工程、建筑工程、广播电视与电子工程、交通工程、医药工程、水利工程、建材工程、环保工程、化工工程、轻工工程、林业工程、地矿工程、海洋工程、生物工程等。这些工程活动涉及现代社会的各个角落，随着社会的发展及科学技术的进步，还会陆续出现一些新的工程形

态。日益复杂的社会需求使得现代工程领域不再局限在单一的工程技术中，一个工程活动往往是多种工程技术领域相互交织而成。

案例

铁道工程是交通工程的一个分支，青藏铁路工程作为一个现代铁道工程的经典代表，它的工程难度和复杂性非常大，拥有交通工程中的多项世界之最。

①世界海拔最高的高原铁路：最高点为海拔5 072m。

②世界最长的高原铁路：穿越戈壁荒漠、沼泽湿地和雪山草原，全线总里程达1 142km。

③世界上穿越冻土里程最长的高原铁路：穿越连续冻土里程达550km（图1-8）。

④海拔5 068m的唐古拉山车站，是世界海拔最高的铁路车站。

青藏铁路在工程建设中突破了3个世界难题：高原冻土、高原生态、高寒缺氧。为此，在工程中研究出了热棒保温路基、以桥代路、专列运行等工程方法。



图1-8 高原列车

分析

仔细阅读材料，分析青藏铁路工程在环保工程和机械工程方面做了哪些工作，思考工程领域的划分是否是绝对独立的，原因是什么？

探究 >

高铁工程属于现代铁道工程中的新领域，在交通快速发展的地区，它与我们的生活越来越密切相关，请查找有关中外高铁的资料，了解高铁工程的发展历程，探究高铁工程未来的发展方向和自己对高铁工程的发展设想。

三、典型工程领域的发展历程

工程的发展历程具有多个维度（表1-3），伴随着社会的发展，甚至在推动人类文明的进步，它的发展影响着我们的衣食住行。

表1-3 工程发展历程

工程的历史分期	史前工程	古代工程	近代工程	现代工程
持续时间	人类起源至1万年前	1万年前至15世纪	15世纪至19世纪末	19世纪末至今
工程科学	经验的		科学的	
工程产业	渔猎、采集	农业	工业	信息业等
工程技术	手工工程	机械工程	自动工程	智能工程
工程对象	宏观物体		分子/原子	原子核/电子
工程精度	模糊时代		毫米时代	微米/纳米时代
工程能源动力	人力	畜力/水力	蒸汽/电力	核能等
工程空间扩展	地面工程	地下工程	海洋工程	航空航天工程
工程社会	个体工程	简单协作工程	系统工程	大系统与超大系统工程
工程方法	个性化、经验化	共性化、单一化	智力化、知识化	
工程思想	敬畏自然		征服自然	人与自然和谐共存
工程材料	石器时代	钢/铁器时代	钢铁/高分子时代	硅器时代

（一）中国铁路工程的发展

1876—1981年，中国铁路的发展经历了两个阶段，即清朝和中华民国阶段、新中国阶段。其中，新中国阶段是一个高速增长、影响世界的阶段。中国从1876年修建吴淞铁路开始，至1981年的105年内，共建铁路50 181km。预计到2020年底“十三五”结束，中国铁路运营总里程将达到14.5万km，高速铁路将达到3万km，位居世界第一，其里程覆盖全国80%大中城市。

1. 1876年，英国在上海铺设了14.5km长的吴淞铁路，成为中国第一条运营铁路。1905年兴建第一条完全由中国人自行设计、施工的铁路——京张铁路。

2. 1937年，我国自行设计、建造的第一座双层铁路、公路两用桥——钱塘江大桥落成。钱塘江大桥横跨钱塘江，是连接沪杭甬铁路、浙赣铁路的交通要道，由我国桥梁专家茅以升博士设计建造。然而竣工不到2个月，为阻断日军从浙北南下而炸毁（图1-9）。因为国民党统治时期的频繁战乱和外部势力影响，中国铁路在这一时期一直发展缓慢。



图1-9 抗日战争时期的钱塘江大桥

3. 20世纪50年代初，中国政府开始建设成都到重庆的成渝铁路，该铁路于1950年6月开工建设，1952年6月通车，成为新中国成立后修建的第一条铁路（图1-10）。宝成铁路于1958年建成通车，1975年7月改造成为全国第一条电气化铁路。



图1-10 成渝铁路建成通车

4. 成昆铁路自四川省成都市至云南省昆明市，全长1 100km，1958年7月动工，1970年7月1日全程贯通。工程艰巨浩大，举世罕见。全线桥隧（图1-11）总延长占线路长度的41.6%。铁路沿线中有些地段找不到地方设置车站，不得不将站线建在桥梁上或隧道内。

5. 青藏铁路是青海省西宁市至西藏自治区拉萨市的铁路，是世界上海拔最高、线路最长的高原铁路，于2006年7月1日顺利实现了建成通车。

6. 中国高铁（图1-12）的发展始于1999年建设的秦沈客运专线，2008年中国拥有了第一条速度超过300km/h的高速铁路——京津城际铁路，2009年又拥有了当时世界上一次建成里程最长、运营速度最快的高速铁路——武广客运专线。从2003年秦皇岛至沈阳段高铁通车，到2013年天津至秦皇岛段高铁投入运营，中国高铁运营里程突破1万千米，历时10年；从1万km到2016年突破2万km，仅历时3年。目前，中国高铁常规运行速度为250~350km/h，2016年最高实验时速达到605km/h，这也是当时高铁运行速度的世界纪录。现在中国高铁已经成为中国制造的高端品牌，正在向世界推广。



图1-11 成昆铁路



图1-12 中国高铁

讨论

铁路作为一种交通工具，已经触及我们生活的方方面面，铁路给我们的交通带来极大的便利。请根据铁路的发展对社会的影响，探究铁路工程对社会发展的促进作用。

（二）机械工程发展史

在人类历史的发展中，发生了几次决定人类命运的大转折。

第一次转折发生在约200万年前，由于自然条件的突然变化，生活在树上的类人猿学会了用木棍和石块这些天然工具保卫自己，并用之猎取食物，锻炼了它们的大脑和手指。

第二次转折发生在约50万年前，古猿人学会了制造和使用简单的木制和石制工具来从事劳动。在这个时期，古猿人学会了钻木取火（图1-13）、使用工具、携



图1-13 钻木取火

带食物，人类进入到古人类时代。

第三次转折发生在大约15 000年前，古人类学会了制作和使用简单的机械，开始了农耕与畜牧活动（图1-14）。此后，人类进入新石器时代，并学会了冶炼技术。约2 000年前出现了铁金属工具，进入铁器时代，各种复杂的工具和简单机械（图1-15）相继发明出来，进一步促进机械工程的发展。



图1-14 原始木犁

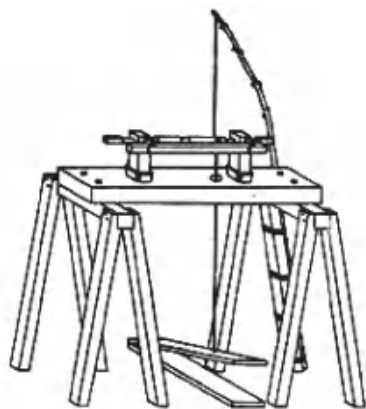


图1-15 脚踏车床

第四次转折发生在1750—1850年。1765年，英国人瓦特经过十余年的努力和不断改进，改良出第一台蒸汽机。1814年，英国人乔治·斯蒂芬森发明并制造出第一台蒸汽机车。蒸汽机车与铁路的推广（图1-16），促进了西方的机械文明，奠定了现代工业的基础。机械制造逐渐发展为有理论指导的系统和独立的工程技术。机械工业代替了手工业，生产力迅速发展。机械工程甚至成为促进18—19世纪的工业革命及资本主义大生产的主要技术因素。

第五次转折发生在近代，计算机技术的发展导致了一场现代工业革命。进入20世纪，计算机的发明与广泛应用，改变了人类传统的生活方式和工作方式。机械工程与微处理器结合诞生了“机电一体化”的复合技术。机械工程学、微电子学和信息科学三者的有机结合（图1-17）制造出来的机械产品具有结构轻巧、简单、省力和高效率等特性，它们部分代替了人脑的功能，逐步实现了人工智能。



图1-16 早期蒸汽机车



图1-17 硬盘存储设备

讨论

对比机械工程的发展史，讨论每一个阶段的代表对象对于人类的生产、生活的影响和意义。

习 题

1. 近代工程时期的重要工程活动是_____，它使得人类的交通运输走上快捷之路。
2. 选择题：青藏铁路在规划建设时特意预留了藏羚羊等野生动物的迁徙通道，这表明现代铁路工程不单要考虑自身工程领域，还经常需要与（ ）一起规划。
A. 建筑工程 B. 生物工程 C. 水利工程 D. 环保工程
3. 判断题：越来越多的行业在用智能机器人取代工人以降低成本，这表明机械工程的发展终将与人抢夺工作机会。（ ）
4. 简答题：中国的高速铁路工程是在欧洲和日本高铁技术开始发展几十年后才开始引进并自主创新发展的，目前中国高铁里程已经占世界高铁里程60%以上，这种超越发展的形成原因是什么？

第三节 工程师的职业

学习目标

- 了解工程师的职业特点和伦理规范。
- 欣赏著名工程师的事迹，培养团队精神。

一、工程师是怎样的一个群体

工程师是工程活动的主体。长期以来，工程师一直是受人尊敬、令人羡慕的高尚职业，工程师的收入水平也处于各行各业的中上游。怎样才能成为一个合格的工程师，从不同的角度会有不同的要求，但是有两点是必需的——专业和严谨。在现代社会中，工程师是工程活动的具体实施者，关系到工程建设的总体控制、质量、进度、工程造价控制和技术管理等工作（图1-18）。没有工程师，现代工程就无法开展。工程师是工程知识的主要负载者和创造者，他们必须拥有设计、工艺、设备、管理、安全、维修、质量控制甚至社会知识等领域的相关知识。经过严格的知识培养和实践历练，才能在相关工程领域成为一个合格的工程师。



图1-18 现代工程师

案例

岛隧工程中工程师的角色任务

工程师是工程的具体实施者，工程的每一个部分都需要他们来建造。举世瞩目的港珠澳大桥是桥、岛、隧一体化的世界级交通集群工程（图1-19），其包括了6.7km长的海底隧道。该工程技术复杂性、施工难度、施工风险都极大，是世界公认的“最具挑战性的工程”之一。该工程是国内第一个采用沉管工艺的海底隧道，也是世界上规模最大的沉管隧道。

岛隧工程也被分成诸多工区，每一个工区由若干个不同类型的工程师和工人负责，工程师要按照施工规划在生产安排、材料组织、进度总控等方面做好管理协调工作。除此之外，工程师工作还包括：每日扎根在现场了解施工现场安全质量及节点进度，对发现的问题及时处理纠偏，有效管理施工班组，解决施工中遇



图1-19 港珠澳大桥人工岛

到的难题，控制施工成本等。沉管安装过程中，上至总工程师，下到工区工程师，为了安装成功，都需亲自参与，反复数次尝试确保完成任务。除工程技术难度外，工程师还需要面临施工环境恶劣、噪声过大、生活单调等困难。但世界级工程的构建将为工程师带来巨大的成就感。

调查

请成立若干个5人小组，每一个小组根据小组兴趣，访谈对应领域工程师，调研他们的工作特点、工作要求、职业习惯和他们的共同特点。

二、工程师的伦理规范

随着工程的社会化和广泛应用，各项重大工程已影响到人们众多的生产方式和生活方式。工程师的行为动机和行为方式关系到工程的造价、效用、风格、用途、质量、安全性及自然环境等多个方面，而工程师的行为方式又受到其个人的道德观念和伦理取向的直接影响。工程师的伦理规范确立了工程师在职业活动中的利益考量方式，它能够培养和提高工程师在面临社会责任、利益冲突时做出判断和解决问题的能力。

作为工程活动的具体实施者，工程师对人类健康、安全负有特殊责任。在工程活动中，工程师的道德伦理需要自觉遵循一定的规范准则；在职业活动中，依照一定的伦理价值进行取舍，是工程师职业道德的需要。事实证明，很多工程风险与事故的发生都与项目实施的工程师的个人伦理规范欠缺有着直接关系。

在工程界或行业协会间已制定了各种伦理规范，例如，美国工程师协会提出了工程师

的五大基本准则：①工程师在达成其专业任务时，应将公众安全、健康、福祉视为至高无上，并作为执行任务时牢记的准绳；②应只限于在足以胜任的领域中从事工作；③应以客观、诚实的态度发表口头意见、书面资料；④在专业工作上，应扮演雇主、业主的忠实经纪人、信托人；⑤避免以欺瞒的手段争取专业职务。

中国工程师普遍认同的伦理规范和工程师的基本准则包括：①守法奉献；②尊重自然；③敬业守分；④创新精进；⑤真诚服务；⑥互信互利；⑦分工合作；⑧承先启后。

根据麦克莱恩的思想方法，工程师所遇到的伦理问题分为3个层次：技术伦理、职业伦理和社会伦理（表1-4）。

表1-4 工程师职业道路伦理层次及具体表现

伦理层次	具体表现
技术伦理	技术伦理包括各种技术决策和判断，涉及组件的选择和安排、制造方法的选择、安全因素的考虑等
职业伦理	包括责任意识、合作与竞争、获取正当利益，如果在这一层次上有不符合伦理的决策发生，那么工程产品整体成功的可能性就会受到影响
社会伦理	在这一层次上，工程师有责任用其生产的工程产品来维护公共利益，为社会服务

案例

某桥梁工程建设中，工程施工方为了获取更大利润，在施工中偷工减料；监理工程师在工作中收受好处，默许工程施工方不按设计要求施工，最终导致桥梁工程在完工拆除脚手架时发生坍塌，造成数十人伤亡。

讨论

请根据工程师的伦理规范分析该工程负责工程师的行为存在哪些问题。

三、著名工程师

工程师是工程活动的实施者，在工程活动的发展中，有很多优秀的工程师在他们的工作中做出了卓越的贡献。他们在工作中秉持工程师的专业水平和伦理规范，有创造性地完成了很多享誉世界的工程范例，在人类发展史上留下了他们的印记。

（一）中国近代工程之父詹天佑

詹天佑（图1-20）1861年出生于广东省广州府南海县，1878年考入耶鲁大学土木工程系，主修铁路工程。

回国后，他先后参加了滦河大桥、京津铁路、津卢铁路、锦州铁路、萍醴铁路、沪宁铁路、粤汉铁路等工程的修建，1905年主持建设京张铁路工程。詹天佑始终坚持着勤奋、严谨、专业的态度，创造性的设计“人”字形铁路解决了地理条件的制约，圆满完成京张铁路并实现通车。

作为中国近代铁路工程专家，他被誉为中国首位铁路总工程师。成立中华工程师会并首任会长，有“中国铁路之父”“中国近代工程之父”之称。



图1-20 詹天佑

（二）中国航天之父钱学森

生于1911年的钱学森（图1-21），祖籍浙江杭州。1929年考入铁道部交通大学机械工程学院，1935年留学美国学习研究航空工程和空气动力学，35岁成为麻省理工学院教授，1950年开始争取回国效力，受到美国政府长达5年的阻挠，后经过国家多方面努力于1955年回到祖国。

1958年起，钱学森长期主导中国火箭、导弹和航天工程的发展，对中国火箭、导弹和航天事业的迅速发展做出了卓越贡献。

作为世界著名科学家、空气动力学家、中国载人航天奠基人、中国科学院及中国工程院院士、中国两弹一星（图1-22）功勋奖章获得者，钱学森被誉为“中国航天之父”“中国导弹之父”“中国自动化控制之父”和“火箭之王”。他一生共发表专著7部和论文300多篇。同时在实际力学、物理力学、航天与喷气、工程控制论、系统工程、系统科学等方面多有建树。



图1-21 钱学森



图1-22 中国第一颗人造卫星

讨论

世界上的工程师多不胜数，绝大多数是默默无闻的，要在某个领域成为一个杰出的工程师，需要有扎实的专业基础和丰富的创造力。结合对于工程的理解和工程师职业的了解，谈谈如果要成为其中的佼佼者，需要在哪些方面做出努力。

四、工程团队的建立

随着社会的发展，工程活动已经属于人类的中心活动领域，人类面对的关键问题往往与工程有关。为应对越来越复杂的工程活动，组建工程团队成为工程活动实施的关键。因为工程任务存在不同的划分和分配，工程团队需要在时间和空间两个维度上相互关联协作。工程团队的组建是有目的性的，针对具体的工程项目，需要进行项目分组，包括工程设计、工程施工、工程监理、工程后勤等。越大型的工程，组建的团队越复杂，分工也更明确细化。在合作中，团队之间要求相互协作，逐渐磨合，形成默契，最终实现顺畅开展、有效完成工程活动的目标。

在工程建设中，很多细节不可能在设计中完全明确，这就需要工程团队团结协作，主动积极地沟通协调，以按要求完成工程为目标。现代工程活动复杂，每一个工程师的能力专长不一，组建团队的时候就需要根据工作需要，安排合适的工程师，从而使工程按计划达到目标。

案例

中国高铁研发团队

在中国高铁（图1-23）的飞速发展中，工程师团队从引进、消化国外技术到自主研发，技术引领辉煌，缔造了中国高速列车领域一个又一个“第一”，引领中国攀上了世界高速列车技术高峰。

外方曾预言中国要花16年时间“消化吸收”最新高铁技术。研发团队分工合作，仅仅用了2年时间，就完成技术标准的消化吸收，完成了110项



图1-23 复兴号动车组列车

优化设计，成功解决引进技术“水土不服”的问题。

2006年，研发团队成功研制出速度为300km/h的高速动车组。

2010年，最终研制出最高运行速度达480km/h且拥有完全自主知识产权的CRH380系列。

多年来，为了完成一个个研制任务，工程师们一件件梳理，一张张绘制，一遍遍分析验证，一次次线路试验，团结协作，成就世界高铁工程最高峰。

探究

是否所有的工程都需要同样的团队配备？探讨高铁研发工程师在工作中的组建团队的必要性和各部分工程师在团队中的作用。

习 题

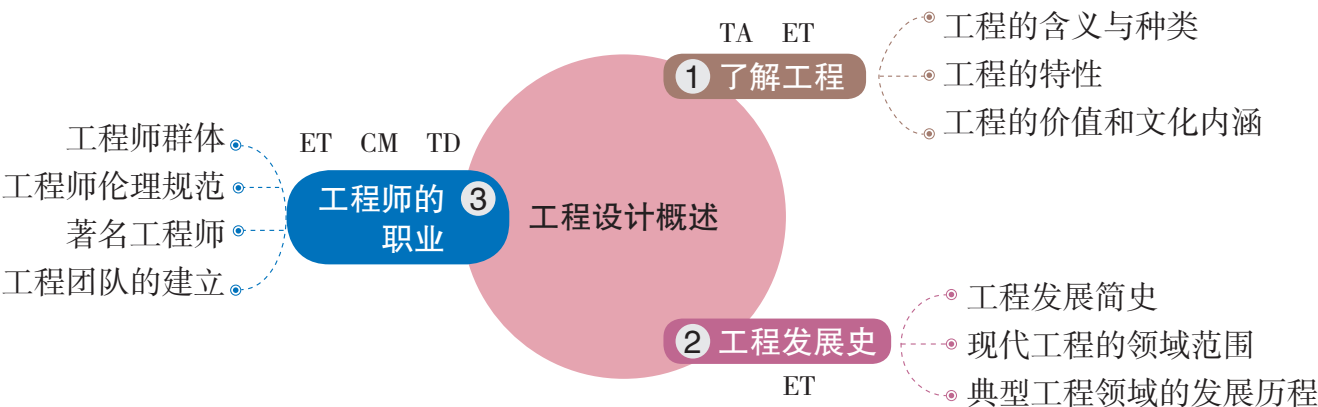
- 1. 工程师的伦理问题一般指_____、_____和_____3个方面。
- 2. 选择题：我们通常所说的工程师是下面哪一个？（ ）
A. 技术员 B. 高级工程师 C. 中级工程师 D. 总工程师
- 3. 判断题：某工程师负责的工程因为数据错误导致质量事故，他违反了工程师的社会伦理。（ ）
- 4. 角色扮演：学校要建造一栋教学楼，请组成一个4人小组的工程团队，分别扮演工程师、项目经理、工程监理、工程验收4个方面的工程师，要求每个岗位对自己的工作职责提出要求，并互换角色体验（表1-5）。

表1-5 角色互换体验

工程师	工作职责	体验感受
工程师	设计规划教学楼	
项目经理	具体实施建设、解决实际工程困难	
工程监理	根据设计监督核查具体施工	
工程验收	根据需求和规划验收各项设施	

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA——技术意识，ID——创新设计，ET——工程思维，CM——物化能力，TD——图样表达

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能理解工程的特性，分析工程的价值和文化内涵			
能掌握工程的发展简史，探索工程与社会发展的关系			
能理解工程师的职业特点，建立初步职业发展规划			
能结合具体工程，分析工程师伦理对社会的影响			
说明：A——优秀；B——良好；C——合格；D——待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第二章 工程设计一般过程

通过典型工程案例分析，理解工程设计的过程。初步学会运用标杆分析法和逆向工程法，获得设计对象的工程特征，学会运用质量功能配置工具将用户需求转换为关键的工程特征。在掌握工程设计过程中，形成系统思维和工程思维。

第一节 工程设计概述

学习目标

- 工程设计的定义。
- 知道工程设计在产品开发中的重要性。
- 理解工程设计过程。

一、工程设计的定义

工程设计是为满足目标需求而创造某种系统、部件或方法的活动。在这个活动中需要对项目所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证，编制工程设计文件。工程设计是一个不断优化的决策活动，在这个活动过程中，需要使用数学等基础科学及工程科学来优化转换组合资源以实现特定目标（图2-1）。工程设计要依靠很多工程技术，如测量技术、决策工具、数据采样处理等。

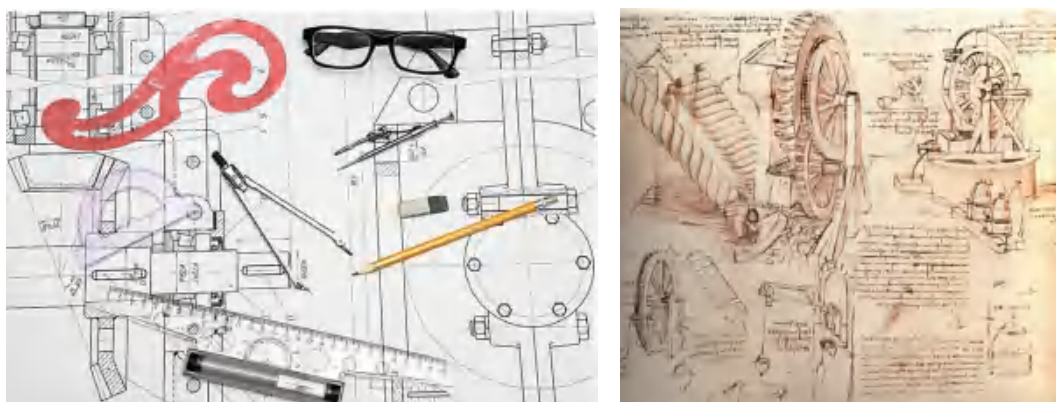


图2-1 工程设计草图

二、工程设计的重要性

工程设计重要性在于：保证工程项目能够按照预定的进度、质量、成本达到项目的功能需求。

在中学阶段学习工程设计的知识，主要围绕单一产品设计对象展开，通过学习设计人员应该掌握的方法、技术和手段等项目管理范式，培养创造力，形成系统思维和工程思维。

爱因斯坦说过：“想象力比知识更加重要，因为知识是有限的，而想象力是无限的。”设计的过程是创新的过程，设计被广泛地认为是产品开发最重要的步骤之一。不仅如此，即使制造、生产、销售等环节做得再好，但产品设计得不好，最终产品优势也无

法呈现。绝大多数消费者不会关心产品的所有具体技术规格或制造过程，他们首先关注的是产品的设计和外观。对于有特点和优势的产品设计，客户往往愿意付出更多的购买费用。工程设计目的就是让产品在市场上更具竞争力，通过用户认可而获得更多的投资回报。工程设计为了迎合现存需求、减少成本或者追求利益，往往会采用新型方法。但工程项目固有的难度和挑战，使得工程设计不仅要有创新和技术手段支撑，还要能预测产品的未来发展趋势或可能出现的情况变化，使产品的负面效应控制在一定可控范围之内。所以，我们需要有一套科学系统的方法用于建立产品的工程设计过程。

问题驱动 >

当你去到商城购买某一类型手机时，发现有下面3种待售手机（图2-2），3种手机具体情况表述如下。如果你是购买者，你可能购买哪一种？原因是什么？

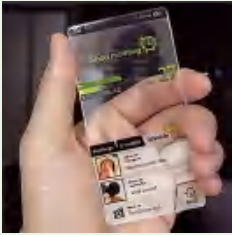
外形			
质保时间	5年	3年	1年
销售价格	800元	4 600元	6 200元

图2-2 3种待售手机

任务驱动 >

请通过多种渠道查询资料，寻找下述著名工程项目失败的原因，并分析它们的共同点。

工程事件简述	工程事件
世界卫生组织透露：这次事故共造成34万人先后被遣散或迁移，保守估计苏联共花费了180亿美元、约50万军民参与处理此事件（图2-3）。	 图2-3 1986年切尔诺贝利核电站事故

续表

工程事件简述	工程事件
本次事故是由于航天飞机右侧固态火箭推进器O形密封圈失效，并导致一连串的连锁反应。升空73秒后航天飞机爆炸，机组人员无一幸存（图2-4）。	 图2-4 1986年挑战者号航天飞机爆炸
这次事故共造成113人丧生，其起因缘于飞机起飞时左侧引擎着火。此后，协和式飞机的适航证书被撤销，所有协和式飞机在事故发生后15个月内不得升空，最终协和式飞机彻底退出航空业（图2-5）。	 图2-5 2000年协和式飞机坠毁

三、工程设计过程

工程设计过程就是在限定的经济性、安全性、可靠性、美观性及道德规范和社会影响等制约因素的条件下，利用现代设计理论和方法学，表述设计问题，说明工程规范及生产方法并进行规划构思。

设计过程是一系列事件和一整套指导方针。这些事件和方针都是为了帮助设计者确定设计的起点，让设想的产品视觉化，最终物化到现实中来（图2-6）。

设计者的设计能力由设计理念和设计技巧两部分构成。所谓设计理念，就是指能否通过系统的过程、方法和解决问题的能力来指导实践，是工程思维的呈现。工程设计过程的学习，就是一种科学的工程思维学习的过程。

随着科技的进步，工程设计的理念在不断完善和创新，随着不同的高新科技和思维方法被引用到工程设计过程中，工程设计更趋于效率化和系统化。

到目前为止，完整的工程设计过程都包含以下步骤，下面以高速列车车体设计过程为例，说明每个步骤具体完成的事项和作用（图2-7）。

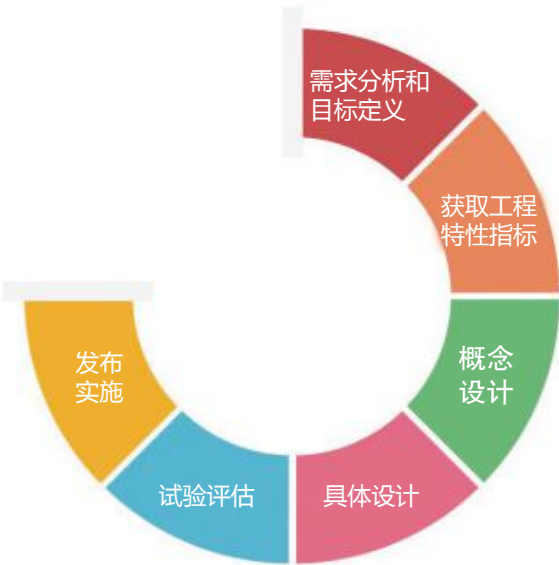


图2-6 工程设计一般过程

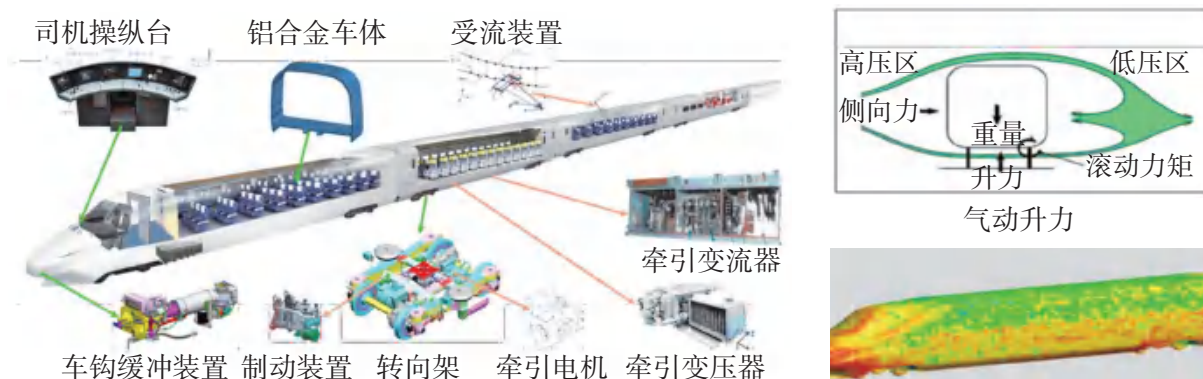


图2-7 高速列车车体设计过程

1. 需求分析和目标定义。

工程设计过程的需求分析既包括客户需求分析，也包括市场需求分析。客户需求包括客户要求、对现设计的修改意见、产品革新要求等3种。例如，高速列车的车体设计和制造过程中需要达到的目标有：车体材料实现轻量化，车体具有足够的强度和刚度，有良好的空气动力学性能，保证乘客良好的乘坐舒适性等。

2. 获取工程特性指标。

在通过客户需求分析和市场需求分析后，设计者要定义最终产品概括性描述的目标，并创立目标树。这对目标的概括性描述非常重要，它可以避免设计的混乱甚至设计的最终结果变化过大。这属于建立产品理念阶段，要建立功能结构和设计规格。例如，高速列车是多系统、多部件的集成，单在功能结构上就要设计两大方面：机械方面有车体、转向架、机械制动系统及车辆之间的连接装置等；电气方面有牵引传动系统、列车网络控制系统等。

3. 概念设计。

方案理念是各部分功能的创新想法产生，到概念化呈现，最后进行可行性评估的过程，设计者必须在需求分析和功能结构的基础上，运用创新思维和创造能力，把不同的方案呈现出来，要能满足最基本的任务要求。例如，高速列车高速运行条件下的地面效应、隧道效应、表面气动源分析，明确要将车体轻量化，这是高速列车车体设计的产品理念。

4. 具体设计。

具体设计是设计产品逐步成型的过程，将产品各组成部分清晰定义，再通过细节设计明确尺寸和偏差，最后把它以图纸、图表、图片、文件、电子文档等组成的设计方案的形式呈现。例如高速列车的车头设计涉及空气动力学等，利用头型的纵断面及水平断面控制相互关联，通过长细比、横截面积和截面面积变化达到减少空气阻力的效果，这就是高速列车具体设计中的重要一项。

5. 试验评估。

工程实验室对成形的产品进行检验，以检查是否符合任务说明和概念设计及其工作能力和工作特性如何。例如高速列车制作过程一般都要经过模拟试验、建模推演、原型测试3个过程，使概念设定落到实处。

6. 发布实施

在完成了试验评估后，可以将成型方案的设计任务书、设计标准及规范、工程施工图、供应商明细表及验收标准等内容以及文本、图表、照片等方式发布出来以推进接下来的工程施工、量产、验收等工作的推进。

习 题

1. 阐述“工程设计一般过程”与“技术与设计1”模块学习的“技术设计的一般过程”有哪些相同点和不同点。
2. 根据你对“工程设计一般过程”的学习,说明下面饮料瓶的设计场景(图2-8)属于工程设计过程的哪一步骤?

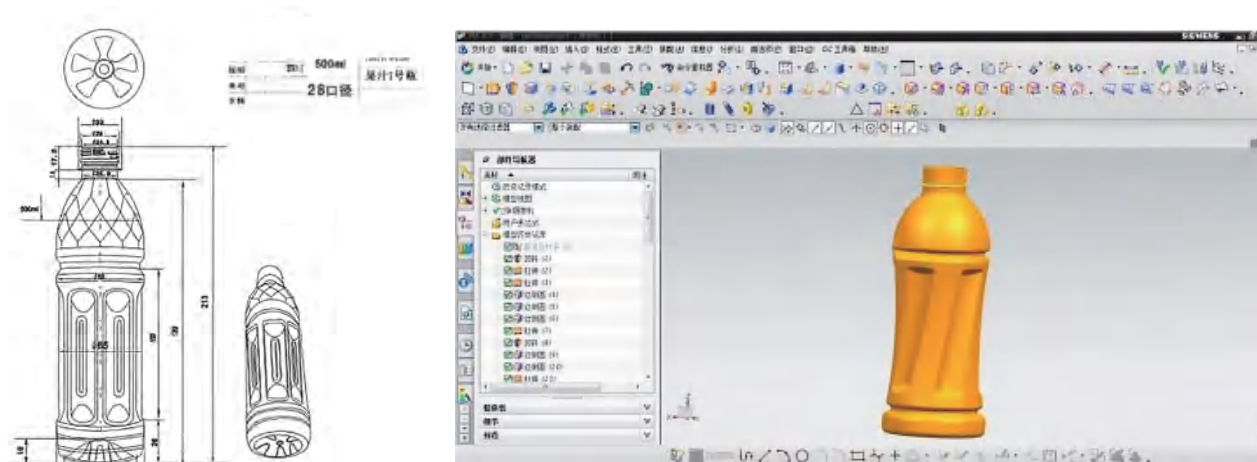


图2-8 饮料瓶的设计

第(二)节 需求分析和目标定义

学习目标

- 分析工程设计过程的性能需求。
- 建立树状目标图明确性能需求。

工程设计的第一步是需求分析。工程师必须通过需求分析来定位产品的市场，并调整产品的设计。在漫长的历史进程中，人们产生了多种多样的不同需求，工程师的职能就是运用科学知识来满足人类需求。

一、问题的描述——需求目标定义

在通常情况下，工程师被告知设计目标，但诉求表现常常不精确。出现的问题大多诸如“电机坏了”“操作效果不能达到预设的高度”等。因而，工程师在处理工程项目的第一个任务便是确定真正的问题，确定目标的范围和程度。

讨论

在学校教学楼改建方案征询意见会上，校领导向工程师反映：“教学楼两侧洗手间，由于学生经常忘关水龙头，导致水资源的大量浪费，应该如何做才能避免学生忘关水龙头的坏习惯？”

这时工程师的头脑中会闪现以下问题：是否只有学生会忘关水龙头？是否所有没关水龙头的情况都是因为忘记？是否有办法改变学生的习惯？是否使用完水龙头一定要存在“关”的人工操作步骤？……

试分析，对于这个问题，工程师应该将问题归结为什么原因，才能更准确表达校领导的需求？

可见，作为工程师，必须明确客户的需求，避免出现因需求的不准确表述而导致工程设计出现不准确的理解，最终无法提供解决问题的方案。

在实践中，需求公司与设计机构签订开发项目合同，需求公司要尽量简要、清晰地描述项目的要求，而且不应在描述中限制性提出解决方案。这时，需求公司需要提供一个文本形式的需求文档，便于设计机构了解。而设计机构在基本了解后，需要写出更为详细的目标定义文档，让需求公司看懂并确认是否符合需求。这两份工程文档在工程设计初期有着至关重要的作用，但受众和作用截然不同。设计机构的工程师的工作职责是让第一份文档能更准确、更快速地转换成第二份文档。



为了更好地实现这种转换，我们可以通过以下步骤实现。

1. 搜集信息。

很多时候，客户向工程师提出的问题根据只停留于表面现象，工程师需要通过分析，对整个市场有一个全面系统的研究，这其中包括趋势、竞争力、容量、利益、机遇、客户需求、客户感想等。在产品多元化的今天，工程师的设计更多是优化设计，在确认自己的解决方案前，了解其他人的解决方案也很重要。

在这个阶段，不要急着提供解决方案，而应该广泛进行调研，搜集信息以便提供更好的方法。主要的调研方法有直接调研和间接调研（图2-9）。

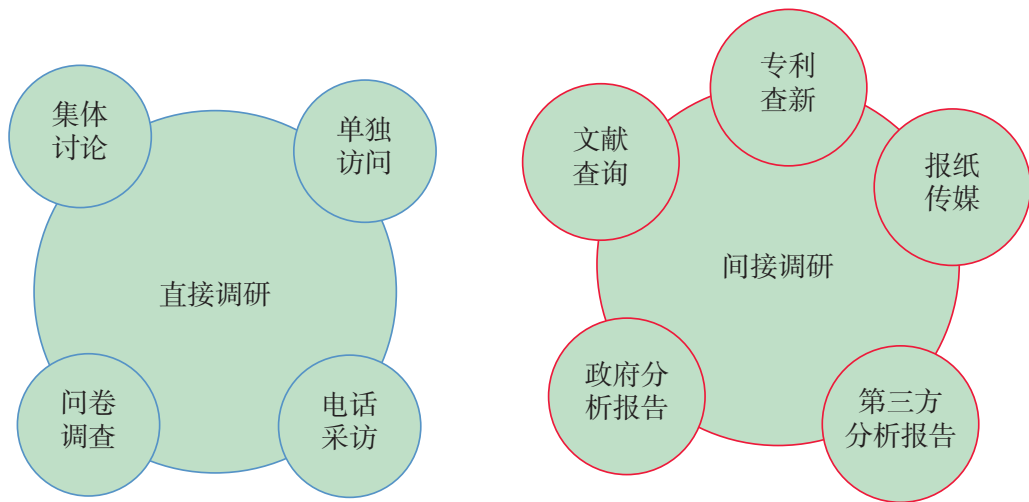


图2-9 直接调研与间接调研

直接调研的对象不仅包括终端消费者，还要把所有接触到该产品的人都纳入调研范围，并在集体讨论、单独访问、电话采访、问卷调查等形式中选择合适的调研方式进行调研。

间接调研则主要是指调查者不直接与被调查者接触，而是通过中介向被调查者进行调查的方法。常见方法包括专利查新、报纸传媒、第三方分析报告、政府分析报告和文献查询等方式或渠道。

活动

请你针对“如何避免校园里的水资源浪费”问题设计一份针对全校师生的调查问卷。

2. 需求信息处理。

在收集不同信息资源后，要注意信息资源的处理和归类。该步骤对于信息筛选和处理的策划很重要，可以帮助完成目标需求文档的制定和确立。首先，大致了解相关信息资源，给每份资源明确其关键词。明确关键词后，归档形成一个信息清单，变成有层次的信息资源库。

在信息搜集和处理过程中，要特别注意以下信息的采用。

（1）产品信息。 查询同类产品专利在工程设计，特别是创新性工程设计中的重

要作用。

专利是确保专利权人拥有新想法和新发明的独占权。通过专利查新形成查新报告，既可以避免出现重复劳动的情况，也可以在查新过程中更多启迪工程师的设计思路。

通常，我们可以通过国家知识产权局网站进行专利查新。

(2) 行业信息。在设计初期，对产品对象所属的行业规范标准的收集至关重要。通过行业标准的查对，可以加快工程设计的进度，明确处理的方式方法，同时也能得到广泛使用的行业指标。

需要说明的是，不同的销售地域其行业指标在要求的详细程度和规范执行程度上都有所区别，这需要在需求初期就得以明确。

(3) 市场信息。寻找相关产品的产业信息，得到对应的市场份额、目标市场、人数和市场潜力等相关文档，明确产品所属市场的法律法规、可能出现的社会问题等客观影响因素，实现全面估算。其次，还需要明确产品的生命周期和市场占有率。

二、明确性能需求——建立树状目标图

“需求”是客户的一种模糊的愿望。客户在阐述表象问题时，一般都会以意愿的方式提出。例如，如何让车子跑得更快？而“性能需求”需要工程师解构客户“需求”，并阐明其技术内涵。

案例

客户向工程师提出的需求是“一个能快速加热水的壶”。很多人都会直接联想到“电热水壶”。

但工程师则要对其进行解构，获得更加中性的产品性能需求：

- (1) 能够容纳一定量的水。
- (2) 能够加热一定量的水。
- (3) 加热迅速。
- (4) 节能。
- (5) 方便移动。
- (6) 倒水时把手安全。
- (7) 倒水时不会飞溅。
- (8) 外形美观。
- (9) 水煮沸后自动断电或有警示。

在明确性能要求环节，我们通过以下步骤完成。

1. 列出要求并划分其重要性。

为了能够划分出性能需求的重要性，工程师一般用 1 ~ 10 来进行标记：10 表示最重要，1 表示最次要。另外，还要区分出产品性能为本质与否。本质性能需求，用字母 D（demands）来标示；非本质性能需求，用字母 W（wishes）来标示。

案例

例如，上述加热容器的性能需求等级如表2-1所示。

表2-1 性能需求等级

D or W	性能需求	重要性级别
D	容纳 2L水的加热	10
D	加热过程在 5min内完成	9
D	功率不高于 2 000W	8
D	方便移动	8
D	倒水时把手安全	7
D	倒水时流速适中，不会飞溅	8
W	外形美观	5
D	断电后有提示	9
W	自动断电	7
W	生产成本低	4

2. 构建目标树。

构建目标树的目的是通过组织客户要求，帮助工程师搞清楚设计目标。

通过目标树的方式，可以清晰、准确地展示产品的设计目标，反应产品性能需求，同时帮助工程师在设计初期消除其与客户之间的理解误差。

建立树状目标图的步骤。

（1）将要求罗列出来。

（2）按照安全性、可靠性、经济性3个维度性能需求项目降序排列。

案例

建立上述加热容器的树状目标图。

步骤 1：准备设计目标列表。

①容纳2L水的加热；②断电后有提示；③加热过程在5min内完成；④功率不高于2 000W；⑤方便移动；⑥倒水时流速适中，不会飞溅；⑦倒水时把手安全；⑧自动断电；⑨外形美观；⑩生产成本低。

步骤 2：排列目标顺序（表2-2）。

表2-2 排列目标顺序

安全性	可靠性	经济性
断电后有提示	容纳2L水的加热	功率不高于2 000W
倒水时流速适中，不会飞溅	加热过程在5min内完成	生产成本低
倒水时把手安全	方便移动	
自动断电	外形美观	

步骤3：建立树状目标图（图2-10）。

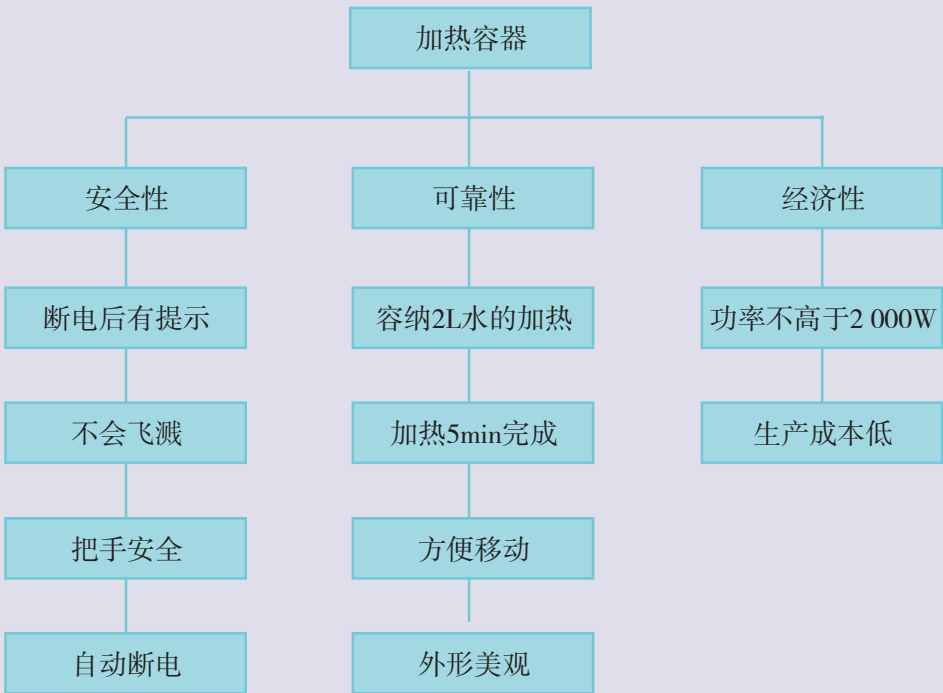


图2-10 树状目标图



3. 构成树状，标识出等级和组间关系。

立即行动

“无碳小车”工程项目——性能需求分析

设计一辆“无碳小车”，小车规格控制在 $100\text{mm} \times 60\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的范围内，驱动其行走的能量只由3个原长50mm的橡皮筋提供（图2-11）。

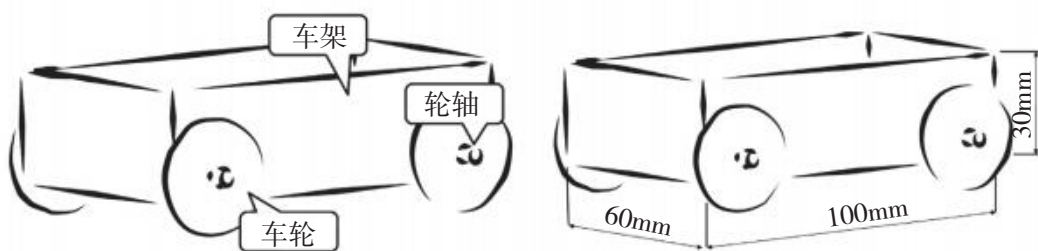


图2-11 “无碳小车”

判定小车从倾斜度为 45° 的斜坡上滑下后，在水平面上行驶距离更远，且偏离中间黑线距离更小者获胜（图2-12）。

测试场地规格：小车出发平台距离水平面25cm，斜坡倾斜角为 45° ，行驶面宽30cm，中间区域有一条宽为3mm的黑线。夹板厚度为5mm。

测试流程：

①开始测试时，将小车放置在出发平台上，小车车头最前端与出发平台水平边缘对齐。

②选手上好橡皮筋后，在垂直平台方向上压住小车，并设为始发状态。

③计分员提示开始后，选手在垂直平台方向上松开小车（不可给予推力），自由释放小车让其自动滑下。

④设小车行驶距离为 L ，行驶后车头中心点与中间黑线距离为 P ，则最后得分计算为最终得分 $=L/P$ 。

请你利用工程设计思想，采用所学的工程项目性能需求分析方法，对以上项目进行分析，完成树状目标图。

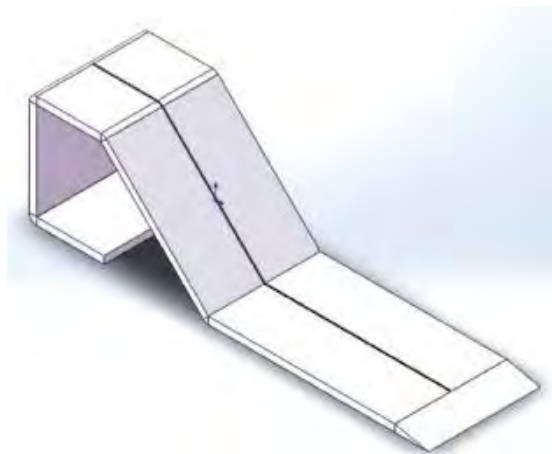


图2-12 实验斜坡

习 题

1. 用户写给工程设计部门的需求文档和工程设计部门给用户的目标定义文档有何不同？它们在受众和功能上有何差别？
2. 在原来“无碳小车”设计的基本条件上，要求小车在两条高为5mm、宽为60mm的木条轨道中行进测试（图2-13）。试利用需求分析方法，画出其树状目标图。

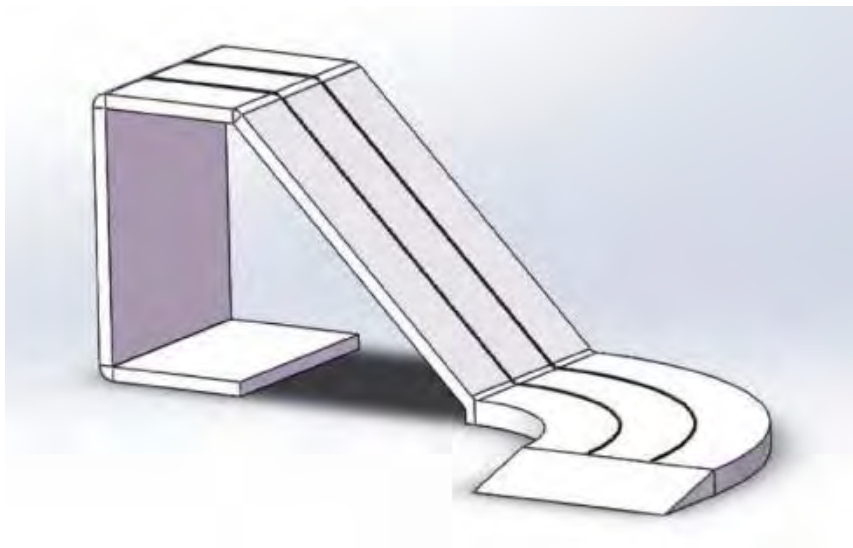


图2-13 “无碳小车” 轨道



第三节 获取工程特性

学习目标

- 了解设计对象工程特性的指向。
- 运用标杆分析法和逆向工程法获得设计对象工程特性。
- 运用质量功能配置获得关键工程特性。

上一节主要从客户的层面明确了工程设计项目的性能需求。本节将继续引用“无碳小车”工程制作案例，说明如何取得设计对象的工程特性。

有部分人认为，设计是靠经验来创造的，是“与生俱来”的天赋，因而无法传授，甚至有人认为通过团队讨论得不出高质量的设计。这也许在艺术设计方面可能会表现得更加突出，但作为多人合作的系统化工程设计，更要遵循科学的设计方法和设计手段。

一、明确设计对象功能结构

通过“技术与设计2”模块关于“系统与设计”内容的学习，我们可以将设计对象当作一个“黑箱”，那么对象的整体功能就决定了输入和输出之间的关系。

在上一节课讲到，“需求”呈现的是客户的一种“希望”，阐述客户期望产品达到的性能。

本节讲述的“工程特性”呈现的是工程师的一种初步方案，用来实现具体功能。

要得到产品功能结构图，我们首先要将设计对象功能进行细化，这个过程叫“功能分解”。通过分解，最终的成果是得到一个功能结构图。

功能结构图包括以下几个部分：

- (1) 边界。
- (2) 整体功能表述。
- (3) 功能树。
- (4) 在产品系统中的各种信息流。

下面，结合“无碳小车”工程案例（图2-14），谈谈如何建立功能结构图。

- (1) 绘制出“无碳小车”工程项目的整体功能图。

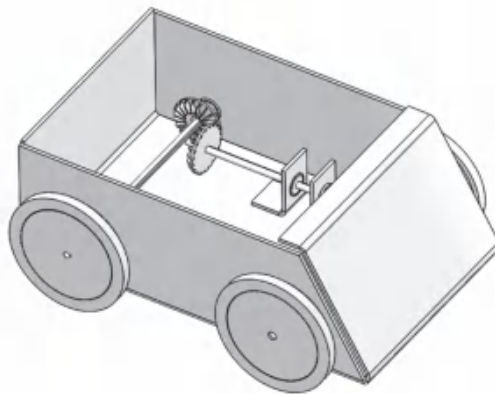
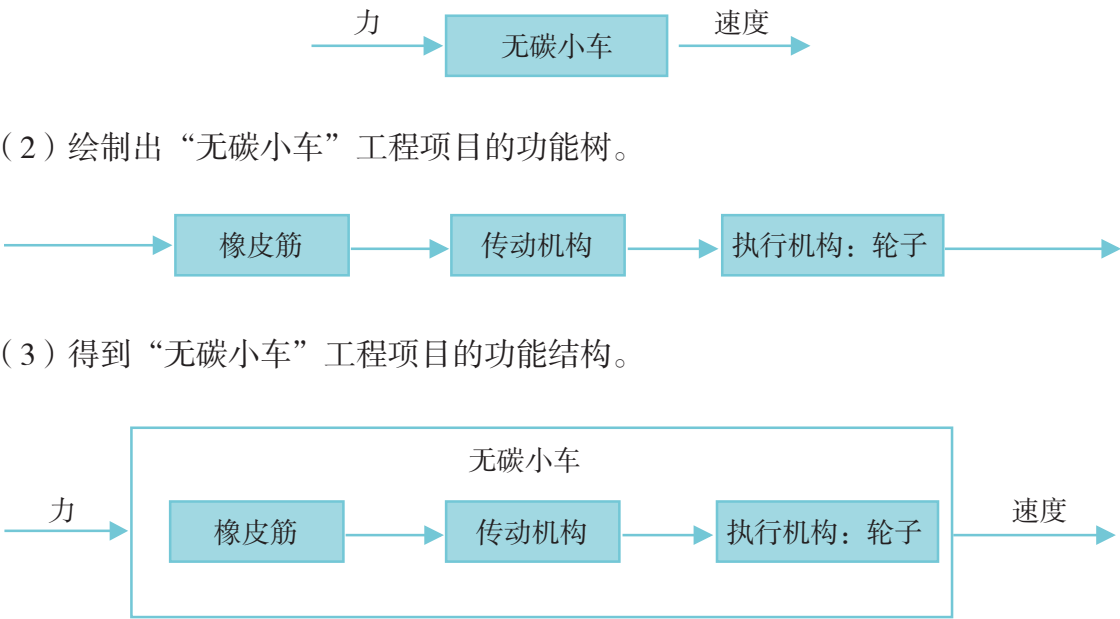


图2-14 “无碳小车”工程案例



立即行动

胶囊咖啡机是一种新型咖啡机，它的最大的特点是不使用咖啡豆或咖啡粉进行冲泡，而只能使用专门的咖啡胶囊（图2-15）。

- 它的优点是：
- （1）相比半自动咖啡机和全自动咖啡机，其操作过程大大简化，只需提供水和咖啡胶囊，就可以冲出一杯相当不错的咖啡，而且品质非常稳定。
- （2）咖啡胶囊采用真空包装，胶囊保存较长时间后冲泡依然像新鲜现磨咖啡，香味十足。而普通的咖啡豆在包装袋开封之后，存放仅几个星期后味道会明显变淡。

请根据你对咖啡机的了解，画出胶囊咖啡机的功能结构图。



图2-15 胶囊咖啡机

二、获取设计对象的工程特性

我们通过设计对象的树状目标图的描述，得到了客户对设计对象性能需求的一种模糊描述；通过功能结构图，得到了实现性能目标的机制，但这些都不能具体表达设计要达到所需的参数、设计变量及约束等限制。因此，获得设计对象的工程特性成为工程设计过程中的重要环节。

工程特性主要由标准和参数构成。例如，在前文案例中提及的“加热容器”设计过程



中,其中一个设计目标是“加热过程在5min内完成”,转化成工程特性的标准是“完成加热时长”,参数是“ $\leq 5\text{min}$ ”,这包括数值和单位两部分。这个工程特性,成为加热容器设计过程中的一个限制。

自觉遵守设计标准是对工程师的职业要求。这里所说的标准是指:为在一定的范围获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。例如:制作书本,如果没有书本尺寸的标准,那么书本的尺寸就可能会有无数种,以致我们的书包不知该做成多大才合适,我们的书架可能会杂乱无章;如果不将螺钉的直径、长度、螺距等参数做出统一的尺寸系列,那么就可能出现很多不通用的螺钉,而一个螺钉孔要找一个相配的螺钉将十分困难,有了书本尺寸标准和螺钉参数标准以后,工程师按标准规定的参数进行设计,生产出的产品就不会五花八门了。标准的产生是经相关方协商一致制定,经一个公认批准,以科学、技术和实践经验的综合成果为基础的。制定标准目的是为了促进最佳社会效益。

标准化就是让大家按照标准来做事,也可以简单地理解为:工程活动中,要求相关人员在 工作过程中遵守标准。标准化的核心是统一,简化。所产生的效益是节省社会成本、给设计者和使用者带来方便。按标准发布机关的不同,可以分为国家标准、行业标准和企业标准。标准文件的名称通过以大写字母开头,后面是一组编号和文字说明。中国的国家标准以GB开头,国际标准则以ISO开头。工程技术领域制定标准的好处是:统一、简化、高效,避免重复劳动,提高社会整体效益。

对于任意设计对象,可以从下面这些“标准”主题中寻求工程项目的工程特性,确保每个性能需求都能准确地获得其制约条件(表2-3)。

表2-3 “标准”主题项目

主题	标准关键词实例
几何尺寸	尺寸、高度、宽度、长度、直径、空间、标准、序号、排列、连续
运动学	运动方式、运动方向、速度、加速度
力	力的方向、力的大小、频率、质量、载荷、变形、硬度、弹性、稳定性
能量	功率、损耗、摩擦、通风、压力、温度、加热、冷却、供给、储存、排量
材料	物理化学特性、辅助材料、规定材料(如食品、化工行业)
信号	输入和输出、形式、显示、控制件
安全	安全准则、防护系统、操作安全、操作者和环境安全
工效学	人机关系、操作种类、布局清晰、照明、美学
生产	工厂限制、最大可能尺寸、优选生产方式、生产方法、可实现的质量和公差
质量	控制测试概率、特殊的规章及标准的使用
装配	特殊规则、安装、位置选择、底座、间隙、运输方式、调度的性能和条件
操作	安静、耐用、特殊用途、市场领域
维护	保养维修间隙、检查、维修和零件更换、上漆、清洁
回收利用	再利用、原料再生、废物处理、储藏
成本	可允许的最高制造成本、工具成本、投资和折旧

知识窗

标杆分析法源于施乐（Xerox）公司。第二次世界大战结束后，日本影印机企业加入了世界市场的瓜分，使美国施乐公司的市场占有率从80%降到13%。此后，施乐公司总裁亲自赴日本竞争对手公司学习，并买进日本的复印机进行研究，推动全面品质管理，使施乐公司的产品重新获得在复印机上的竞争优势。

一般情况下，实施标杆分析法的过程分为5个阶段：明确目标、内部分析、分析比较、提出构思与实施方案，具体步骤内容如下。

（1）明确目标。在工程设计过程中，要根据市场占有率、用户口碑、工程项目产品特点等，确定一个对手的设计对象作为该分析的目标对象。

（2）内部分析。根据对目标的研究，确认目标对象的关键要素，通过调查问卷得到调查提纲。

（3）分析比较。对调查得到的资料进行分类、整理，进一步深入调查，得到目标对象的工程特性参数。确定与调查对象之间的差距，并明确差距形成的原因和过程，选择出最佳实践方案。

（4）提出构想。在明确最佳方案的基础上，找出弥补自身和最佳方案之间差距的具体途径和改进方法，设计具体的实施方案，并进行经济效益分析。

（5）实施方案。将方案付诸实施，并将实施情况不断与最佳方案进行比较，检测出偏差出现的原因，并采取有效的校正措施，努力达到标杆的最佳实践水平，甚至超过标杆对象。

2. 逆向工程法。

逆向工程（reverse engineering，RE），也称反求工程、反向工程，是指用一定的测量手段对实物或模型进行测量。根据测量数据，通过三维几何建模方法重构实物的CAD模型的过程，是一个从样品生成产品数字化信息模型，并在此基础上进行产品设计开发，获得设计对象工程特性的过程。

逆向工程类似于反向推理，属于逆向思维体系。逆向工程技术是测量技术、数据处理技术、图形处理技术和加工技术相结合的一门结合性技术。

精度是衡量逆向对象性能的重要指标，是评价逆向设计产品质量的主要技术参数之一。科学合理地进行精度分配，对提高产品的装配精度和力学性能至关重要。

逆向工程不是单纯用来模仿同类产品，当同类产品已经出现，设计者需要发现子系统的一些缺陷，提升设计水准，改善或提高设计规格。

逆向工程的具体步骤包括：数据采样、数据分析、数据恢复及修补、原始部件的分解、模型信息处理及CAD模型的建立、部件装配、产品功能模拟、再设计等。

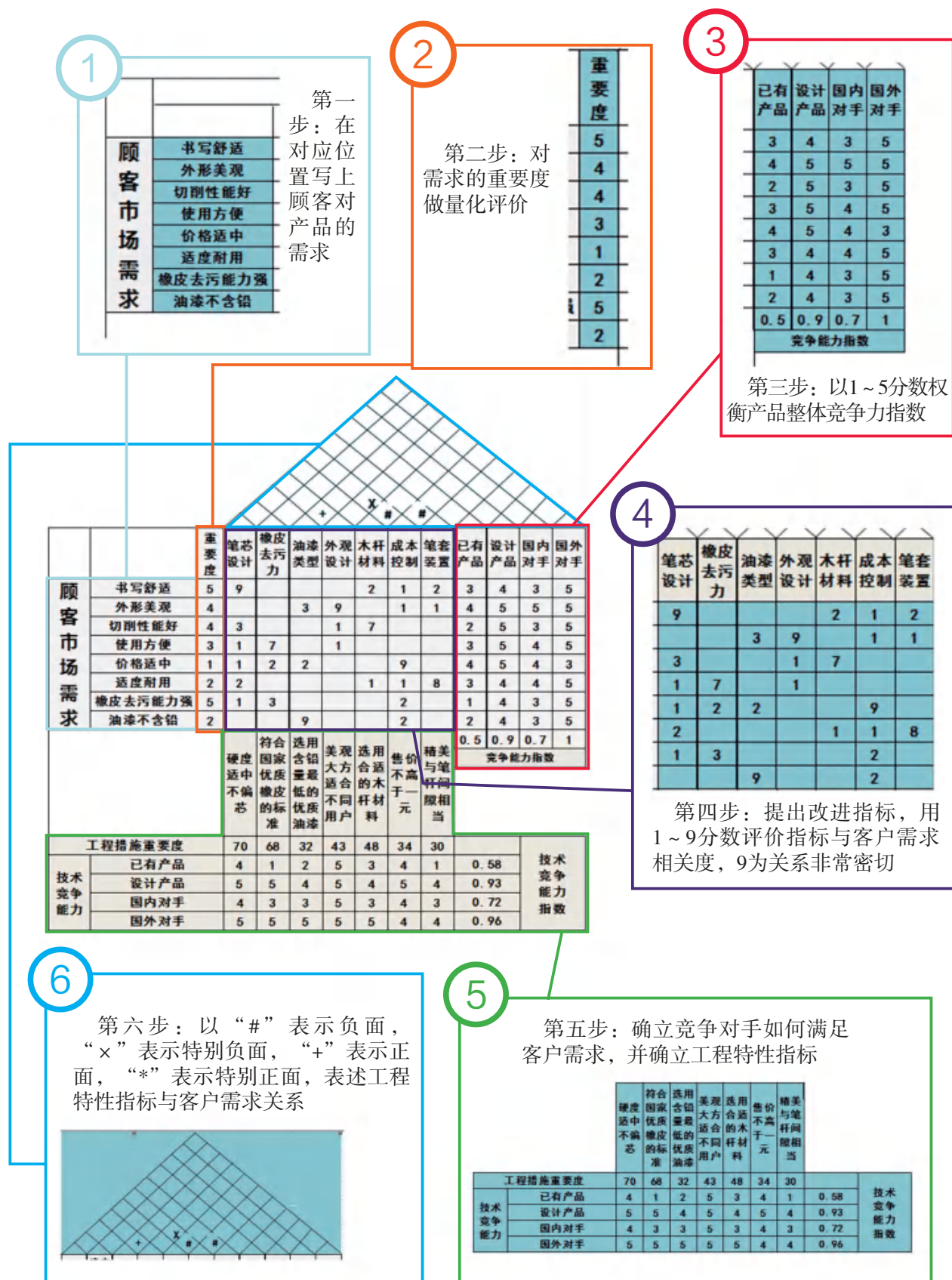
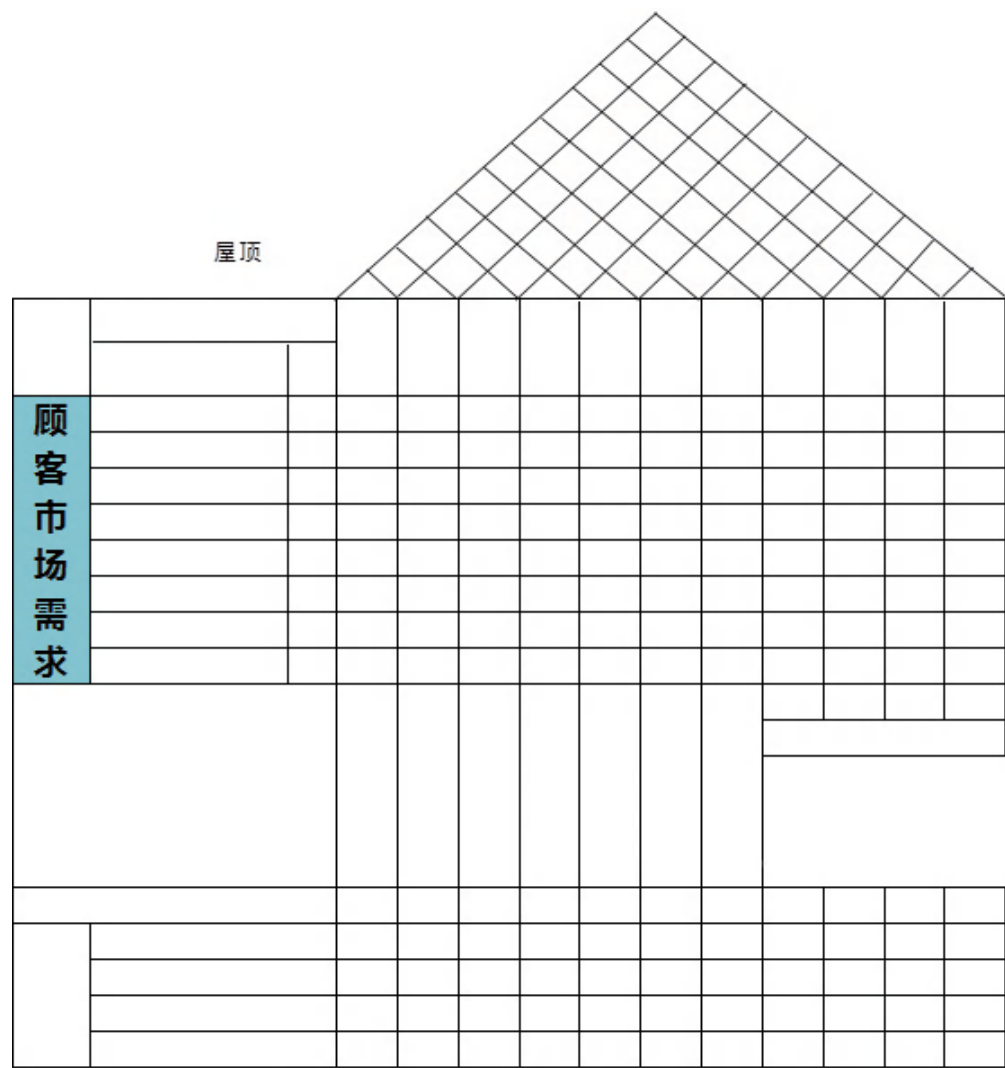


图2-17 以一款“铅笔”的工程设计为例制作QFD质量屋

习 题

- 1. 说明标杆分析法与逆向工程法的区别。
- 2. 画出一个全自动洗衣机的功能结构图。
- 3. 利用质量功能配置工具，分析“无碳小车”工程设计的细节工程特性。



第 ④ 节 概念化设计

学习目标

- 理解工程设计过程中要考量的各种要素。
- 学会编制简单的工程设计任务书。
- 初步掌握面向X的设计（DFX）方法。

利用质量功能配置（QFD），可以总体概括出从客户需求出发，到明确工程对象的工程特性的整个过程。这些设计步骤是工程实施中的总工程师需要负责的任务内容，总工程师需要将工程呈现的各个方面通过工程设计任务书分配给各部门工程师进行具体设计和详细设计。本节主要阐述如何通过设计过程中各种要素的考量，制定出工程设计任务书。

一、工程设计过程中要考量的各种要素

1. 工程项目质量。

工程项目质量的特征是由工程项目本身的单一性、资源成本的高投入、建设周期的长久性等几个特点决定。其突出表现在以下这几个方面。

（1）安全性。工程的安全性是指工程项目能承受正常施工和正常使用时可能出现的各种荷载，在偶然事件中保持其必需的整体稳定性。例如，施工单位为获得更多利润而偷工减料，导致工程项目倒塌，属于安全性的问题。

（2）可靠性。工程的可靠性是指在设计的使用年限内，在正常设计、正常施工、正常使用和维护的条件下，完成预设功能的能力。例如，在建筑项目中，结构的可靠性越高，其建筑的可靠性能就越强，工程越不容易被破坏。

（3）经济性。工程的经济性是指工程从设计到整个产品使用生命周期内的成本和消耗费用，以及衍生的经济效益。

（4）耐久性。工程的耐久性反映的是工程的寿命，也就是生命周期。

（5）协调性。工程与周围生态环境的协调，才能促使可持续发展。为营造“青山绿水”环境，企业要将“绿色设计”和“环保工程”纳入到工程设计的环节中，以符合各项法律指标要求。

知识窗

产品生命期周期（product life, PL），是指产品的市场寿命。一种产品进入市场后，

它的销售量和利润都会随时间推移而改变，呈现一个由少到多，再由多到少的过程。就如同人的生命周期一样，由诞生、成长到成熟，最终走向衰亡，这就是产品的生命周期现象。所谓产品生命周期，是指产品从进入市场开始，直到最终退出市场为止所经历的市场生命过程。产品只有经过研究开发、试销，然后进入市场，它的市场生命周期才算开始。产品退出市场，则标志着生命周期的结束（图2-18）。

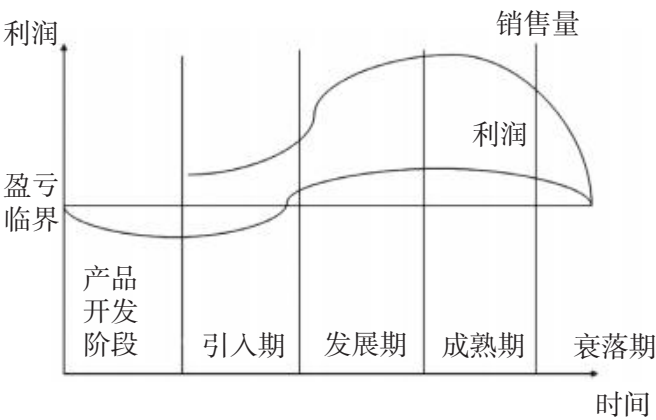


图2-18 产品生命周期

生命周期曲线的特点：在产品开发期间该产品销售额为零，公司投资不断增加；在引进期，销售缓慢；在初期通常利润偏低或为负数；在成长期销售快速增长，利润也显著增加；在成熟期利润在达到顶点后逐渐走下坡路；在衰退期间产品销售量显著衰退，利润也大幅度滑落（图2-19）。

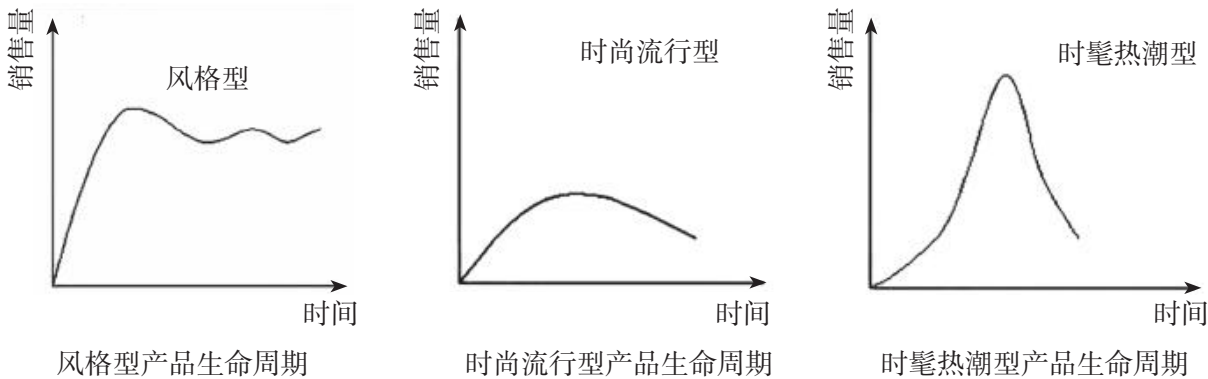


图2-19 生命周期曲线的特点

2. 进行质量控制。

工程质量控制是指为达到工程特性反映出来的质量要求所采取的作业技术和活动。在工程作业流程中，质量控制是为了通过监控质量形成过程，监控与工程作业同步，以消除质量环上所有阶段引起不合格或不满意效果的因素。

大家最熟悉的质量控制方式就是质量检验。质量检验从属于质量控制，是质量控制的重要活动。在生产过程的节点加入质量检验，可降低次品率和减少反复工作。

3. 制造能力与维护。

制造能力又称为生产能力，它是反映企业所拥有的加工能力的一个技术指标，也可以反映出企业的生产规模。在既定的组织技术条件下，它可以反映出企业所能生产的最大产品数或所能处理的原材料数量。维护是指在工程项目竣工后，交付使用过程中对工程对象所进行的定期监测、维修、保护等系列工作。

4. 工效学。
- 工效学是研究人类适应自身工作环境所出现的问题的学科。工程设计人员必须把人类使用者的影响放在产品设计的第一位。
5. 法律法规和社会问题。
- 工程设计要遵循法律法规要求，及时跟进社会问题和热点需求，顺应客观要素的要求，减少对工程设计生产和获利部分的影响。例如，设计廉价盗版货物从最初提出就应该被否决。

二、概念方案设计

在前面几节学习内容中，已经完成对“无碳小车”的性能需求分析、工程特性获取、功能结构分析及设计任务制定。接下来，我们进入具体设计的阶段。

首先，必须依照要求设计概念方案（图2-20）。在该方案中小车由车架、轮轴、车轮组成。此外，动力由橡皮筋提供。橡皮筋一端固定在牵引车车架的前板，另一端固定在牵引车后轮轴。操作者转动后轴将橡皮筋绕起蓄能，当操作者释放后轮轴，橡皮筋将带动后轴旋转，车轮与地面的摩擦将推动小车前进。

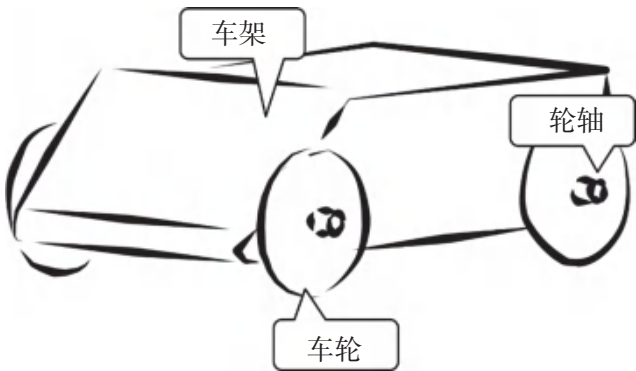


图2-20 概念方案

根据上述分析，利用小车各部分分类的组成，分成下面子功能进行发散思维设计（表2-5）。

表2-5 “无碳小车”子功能形态

子功能	方案1	方案2	方案3	方案4
车架形状	 长大于宽	 宽大于长	 长宽相等	 椭圆形
车轮形状				

续表

子功能	方案1	方案2	方案3	方案4
皮筋缠绕方式	 车轴间橡皮筋串联	 车轴间橡皮筋并联	 车轴间橡皮筋纵向	
驱动方式	两轮驱动	四轮驱动		
传动方式	单级传动	加速齿轮箱	斜齿轮换向传动	冠齿轮换向转动
末端是否释放	末端释放	末端不释放		

立即行动

分小组讨论，针对上面各部分子功能的组合，按照要求设计一个概念方案。

三、编制工程设计任务书

工程设计任务书是整个设计过程的总结性文稿，也是施行具体设计和详细细节设计的一个指南。根据不同工程领域要求，它有不同的内容要求，一般包括以下几个部分。

- (1) 项目总述、项目环境情况。
- (2) 设计理念、市场定位、项目产品整体构成。
- (3) 产品设置、配套设备。
- (4) 工程性能指标。
- (5) 其他要求。

工程设计任务书在编制过程中要把握以下原则。

- (1) 定向性。在工程设计任务书中,应该要指明项目目标客户群、市场定位、设计风格等。对于工程项目的确定,可以避免在具体设计过程中重复工作,以免浪费人力时间、延误工期。
- (2) 指标量化。工程设计任务书通过对工程项目所处市场环境、政策法规、行业规范、市场定位的研究,进而明确制定工程项目的各项特性指标。
- (3) 操作弹性。设计任务书在后续的具体设计工作中应起到指导作用,但在明确项目方向后,必须在产品的具体材料使用、功能搭配、外形色彩等方面给予工程师一定的自由发挥空间,进而达到在专业基础上的创新,具有项目的独特性。
- (4) 前瞻性。工程设计任务书对于未来市场的走向可能引起的产品空间及功能调整需要预先考虑,以达到便于制造、便于维护、便于管理等要求。一份优秀的工程设计任务书,既可使设计者明确总体概念,又能给具体施行设计的工程人员留有充分的操作空间。

案例

智能化课室改建工程设计任务书

1. 项目概况

本项目定位于某学校高中部综合实验楼3楼的通用技术实验室改造，是学校信息化改造工程的一个组成部分。项目南临文明路，北临校园操场，左右两侧分别为学校的物理实验室和实验准备室。

实验室建筑面积为110m²，共划分为4个板块，分别为实验器件准备区、实验操作区、教学区和精密加工区，各区均可容纳40个学生同时使用。

2. 智能化工程设计范围及主要技术要求

本项目课室的智能化工程拟设由智能化集成系统、信息化教学系统、信息化安全系统、智能化电器系统四部分组成。各系统的功能及主要技术要求如下。

(1) 智能化集成系统。

智能化集成系统应具有对整个课室设备信息的数据通信、数据采集、设备控制和综合处理能力，能实现对各智能化系统进行综合管理。它还要求系统可靠、易于维护并具有一定的可扩展性。

(2) 信息化教学系统。

信息化教学系统包括用于教学的一体机教学黑板子系统、教学自动录播子系统、教学信息网络子系统、广播会议子系统等。它由各类教学过程中的信息予以接收、交换、传输、存储和显示的综合处理信息设备组成。

(3) 信息化安全系统。

信息化安全系统是利用信息化手段，确保课室在使用及空置过程中的安全隐患得到良好的监控和排查。包括人脸识别电子锁子系统、远程监控子系统、烟雾报警子系统等子系统构成。

(4) 智能化电器系统。

智能化电器系统是指利用手机APP等平台，通过远程遥控、定时开关、场景开关等方式，实现对课室内各种电器的智能化使用。它包括灯光控制子系统、电子窗帘控制子系统、插座控制子系统等。

3. 各阶段设计成果

(1) 方案设计阶段。

根据某学校提供的设计要求，本着经济实用的原则，构建各系统（子系统）间联系的实现方案。要理清各系统间的相互关系，包括每个系统的技术接口或界

面，优化实现工程的合理布局及投资的经济性，提出机房、弱电井的要求。结合各系统的设计方案，提出设备系统选型建议，完成投资估算。

应向学校代表提供系统功能结构图、平面布置图、风格意向图及设计说明等文件（汇报前提供3份，汇报后提供3份）。

（2）施工图设计阶段。

根据某学校的意见进行施工图设计及编制工程量清单和预算。

其中，图纸部分应包括图纸目录、主要设备及材料表、设计总说明、平面图、系统图、原理图、关键设备的安装图、装配图和基础图等。

4. 设计时间

（1）方案设计提交时间：从合同签订之日起，共12日。

（2）施工图提交时间：从认可设计方案之日起，共20日。

四、面向X的设计

针对工程设计项目大中型系统的设计对象，有很多团队，包括非工程师团队也会参与到产品开发中。为了让产品能在市场中具有强大的竞争力，达到开发生产时间短、安全可靠、生产成本低等效果，可利用系统理论思维，采用“并行工程”方法，实现高效的目标优势。

针对设计中的各种因素（例如制造、装配、环境、安全性等），围绕某一因素为主进行的设计被称为面向X的设计（DFX）。下面针对常见的面向制造的设计（DFM）、面向装配的设计（DFA）、面向环境的设计（DFE）做简要介绍。

1. 面向制造的设计（DFM）。

面向制造的设计是以最小化的生产成本为基础，促使产品推向市场的时间最短，并保持最佳的产品质量。

为了达到上述目的，便要在设计阶段尽早考虑与产品制造有关的要求，全面评价产品设计和工艺设计，提供反馈信息。

2. 面向装配的设计（DFA）。

面向装配的设计研究轻松组成各种零部件使其成为最终产品。通过较少零部件的使用和轻松组装方式的应用是有效降低产品生产成本的方法。

在现代化工程生产过程中，DFA使产品结构模块化、统一化，零部件装配宜于手工处理或自动处理，减少产品使用过程中的变化，其内容涉及产品结构、连接、功能、材料等。

案例

面向装配的设计——确保零件装配方向越少越好

装配零件的方向越少，在装配过程中对零件进行移动、旋转和翻转等动作就能随之减少，进而提高零件装配的效率，使操作人员的工作过程更加有序。同时，也能避免由于装配过程中零件频繁地移动、旋转和翻转所造成的设备碰撞而导致的质量问题（图2-21）。

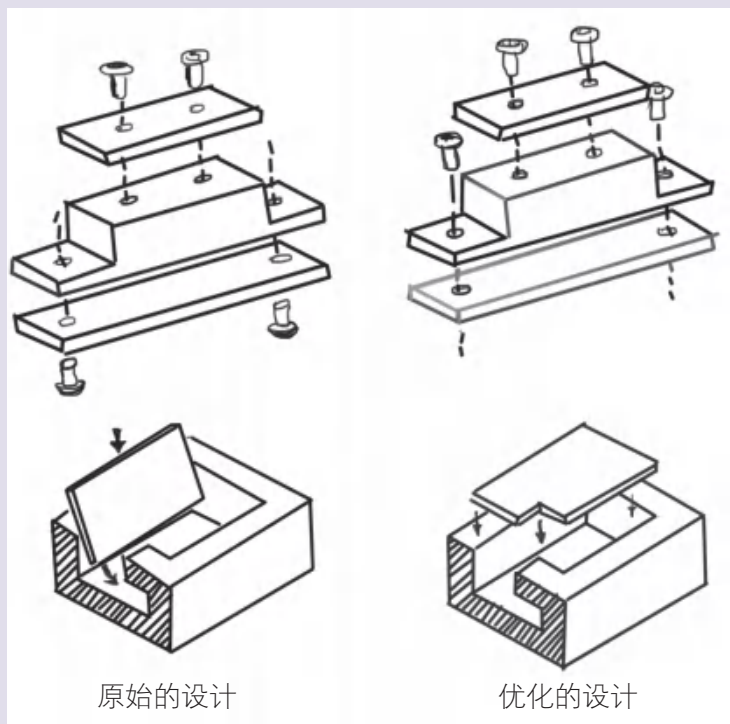


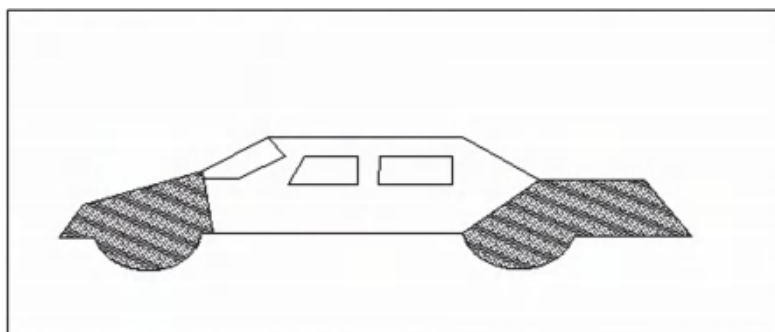
图2-21 面向装配的设计

3. 面向环境的设计（DFE）。

关注环境已经成为全社会共同关注的重点，伴随环境保护的全球实施，工程设计人员必须以关注工程过程中的材料、生产过程、生产废弃物等各个环节的环保属性，考虑产品使用期满后的拆解和降解等情况。上述约束条件都要求在设计的早期方案中给出明智的选择。

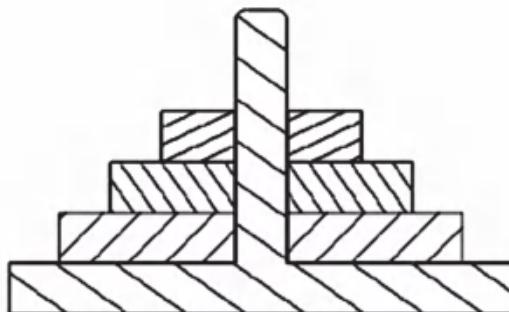
习 题

1. 汽车在设计过程中，从材料选择、结构构件等不同方面进行考量，实现在汽车发生纵向碰撞时，题图中阴影部分的形变量足够的大，尽可能吸收碰撞能量，而非阴影部分的形变量尽可能的小，是出于设计过程中重视（ ）因素而进行的设计。



- A. 安全性 B. 可靠性 C. 经济性 D. 耐久性

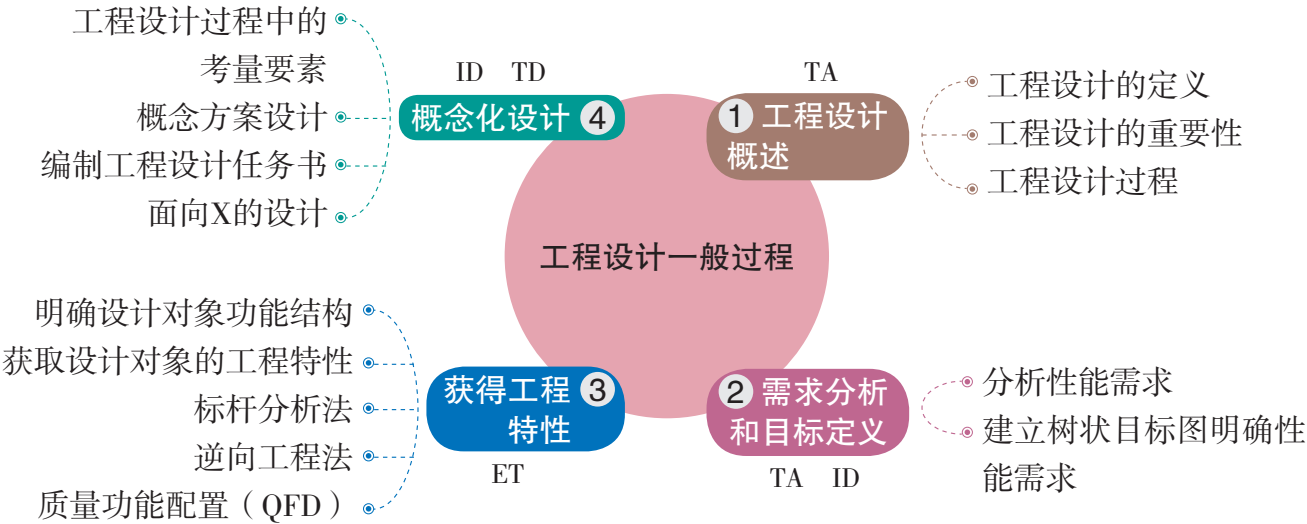
2. 下面在产品制造过程中，让零部件从下到上、从大到小依次排列，这是在设计过程中遵循了（ ）的设计方法。



- A. 面向装配 B. 面向对象 C. 面向制造 D. 面向环境

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA——技术意识，ID——创新设计，ET——工程思维，CM——物化能力，TD——图样表达

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能够自主搜集、分析相关数据			
能结合具体技术发展案例，分析其对社会、文化、经济、环境等方面的影响			
能参与技术的发展与应用合适的决策方法			
能运用合适的分析方法，明确性能需求，明确制约条件，提出解决方案			
通过多途径搜集与工程设计相关的信息，制定多个概念设计方案			
懂得对多个方案进行权衡			
懂得用草图表达概念设计的设想构思			
懂得编制符合规范的工程设计任务书			
能运用工程思维将任务具体化，做出性能评估			
说明：A——优秀；B——良好；C——合格；D——待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第三章 工程设计建模

工程师们如何进行工程设计？他们应具备哪些基本知识和技能？工程师之间如何进行思想交流并做到准确无误的相互理解？现代工程师在进行结构设计或思想表达时采用什么计算机软件？使用这些软件难不难？

本章将通过简单实例来回答以上问题。

第一

- 理解工程设计建模的重要性。
- 了解工程设计模型的类型。
- 初步学会计算机三维建模的方法。

[illegible]

设计的第一步是无中生有的构想，构想物体的形态或形状。例如：要创建一个代步工具，它可以由车把、座板、两轮构成，也可以由4个车轮、方向盘、座椅、发动机、传动系统构成，这是对形态的构想。一个水杯，杯身可以是圆柱形也可以是圆锥形，这是对形状的构想。

从事创意的工程师，应具有开阔的视野和丰富的联想力，必须深入了解工程项目的需求、施工条件和运行环境，还要熟练掌握表达设计思想的工具和技能，如手绘、尺规绘图或计算机绘图等。

工程师应具备良好的沟通能力，要善于使用图形、图片、数据、表格、专业术语、含义精准的文字及影像来表达设计思想。

如图3-1所示，对于工程设计而言，模型是设计意图具体化的载体，是分析、试验、优化的抓手。用真材实料按1：1的比例制作的模型称为原型样机（prototype）。工程项目从初始设计到最终实施，中间要经历对设计模型进行逐步深入地分析和改进的过程，以获

得符合任务要求的设计方案，才能最终付诸实施。可以说，设计过程就是一个通过不断地改进模型，来细化、优化构思的建模过程。

工程设计中的模型既可以是看得见、摸得着的实物模型，也可以是经过抽象、简化用来分析、计算工程对象物理特性的数学模型或计算机模型。

实物模型即根据设计方案及相似理论，按一定比例制作出的实体。在制作过程中，可以根据实际需求，对设计方案进行适度的简化。

实物模型对于设计对象的展现既直观又充分。一般重大工程项目的关键设计都会经历实物模型试验分析过程，以验证设计的正确与否或暴露潜在的设计缺陷，然后加以改进、完善。例如，高铁、飞机的风洞测试就是典型的实物模型测试，产品的首台样机可视为最保真的实物模型。

数学模型即用描述设计对象数学关系的物理、化学特性的公式、方程、矩阵等。它是对客观对象特性的数学表达方式，便于人们用数学工具来分析设计对象。例如：用空气动力学模型来分析飞机在高速飞行状态下的空气阻力及飞行稳定性、用热力学模型分析内燃机活塞的热变形特征……建立数学模型需要深厚的数、理、化知识功底和对专业知识的深入理解。

计算机模型即设计思想在计算机平台上的表述方式。它既可以表现实物模型的几何形态，也可以通过数学计算来进行物理仿真。如今，计算机模型已经渗透到各类工程活动中，几乎成了现代工程设计不可或缺的工具。典型的计算机模型有机械、建筑等专业领域的三维模型及电气工程中的各类电路仿真模型等。用计算机模型进行模拟试验所需的周期短、费用低，但要求的知识和经验数据多，对计算机硬件、软件技术性要求高。

二、计算机三维建模简介

计算机图形可以形象、直观地显示物体的三维状态，有利于设计者调整物体的几何形状，使形体结构设计变得容易且高效。三维建模软件是形体结构设计的有效工具。

工程领域流行的三维建模软件有SolidWorks、Pro/E、UG、Catia、Inventor等，同类国产软件有中望CAD、CAXA、天正设计软件等。下面将以国际上较为流行的一种三维设计软件为例，初步介绍三维几何形状建模。

1. 三维建模的基本思想。

设想在地面上放一张圆纸片，然后将圆纸片抬高，将圆纸片所经过的区域全部集合

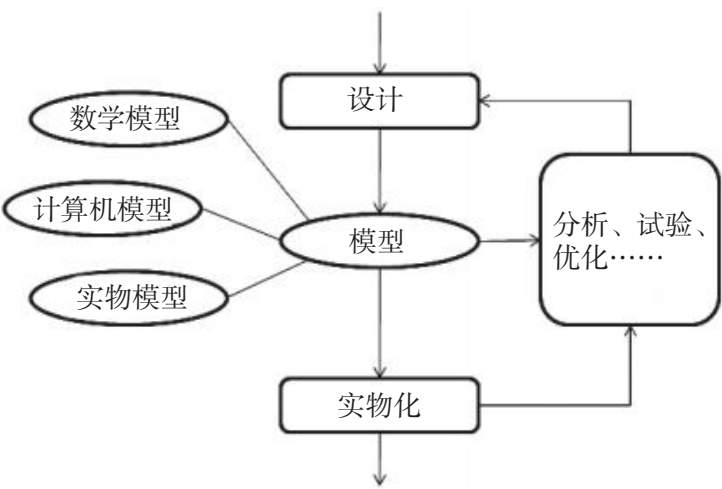


图3-1 模型在工程设计中的作用



在一起，就形成了一个凸起的圆柱体，如图3-2所示。如果在抬高的过程中，圆纸片连续不断地缩小，我们就可以获得一个圆台形或圆锥，如图3-3所示。如果将圆纸片换成方纸片、椭圆纸片……我们就可以获得截面形状不同的凸台。在三维建模中，这种凸台被称为拉伸凸台特征（extrude feature）模型。

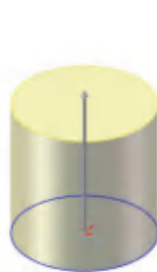


图3-2 圆柱体

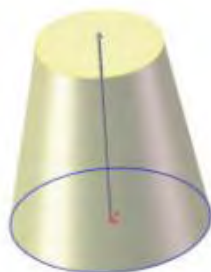


图3-3 圆锥体

再设想：在图3-2的凸台上放一个圆环，这个圆环向下移动，移动过程中所经过的区域全部被挖掉，形成一个空腔，于是我们就可以获得一个带有圆形凹槽的形体，如图3-4所示。如果将圆环改成方环、椭圆环……就可以获得方凹槽、椭圆凹槽……在三维建模中，这种凹槽被称为拉伸切除特征（excision features）模型。

如果在圆环的旁边加一条直线作为旋转轴线，如图3-5所示，让圆环绕轴线旋转，将圆环旋转过程中扫过的区域组合起来，就构成了一个截面为圆的环状体，如图3-6所示。三维建模中，这种环状体被称为旋转凸台特征模型。此外，还有旋转、切除、放样等多种不同的特征生成方式。将很多不同的特征组合叠加在一起，就可以构成复杂的三维模型。

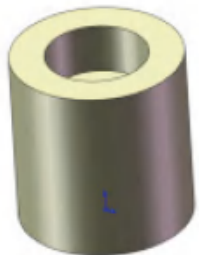


图3-4 圆形凹槽

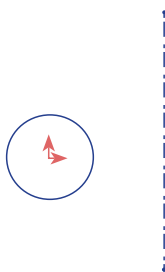


图3-5 旋转轴线



图3-6 圆环状体

2. 三维设计软件软件简介。

三维建模软件具有零件建模、虚拟装配和输出工程图纸的基本功能。分别可以生成零件、装配体、工程图3种电子文档。零件的电子文档后缀名为：sldprt，装配体的电子文档后缀名为：sldasm，工程图的电子文档后缀名为：slddrw。例如：一个名为“车轮”的零件文件，它的全名为：车轮.sldprt；名为“小车”的装配体文件的全名为：小车.sldasm；名为“车轮”的工程图文件全名为：车轮.slddrw。

以上3种文件的屏幕显示形态见图3-7、图3-8和图3-9。

通过软件自带和外挂的功能模块，还可以对3D模型进行物理仿真。

创建零件的三维数字模型是三维设计软件最基本的功能。有了多个三维零件的数字模型还可以创建三维装配数字模型。我们将创建零件三维模型的过程和创造三维装配数字模型的过程统称为三维建模。

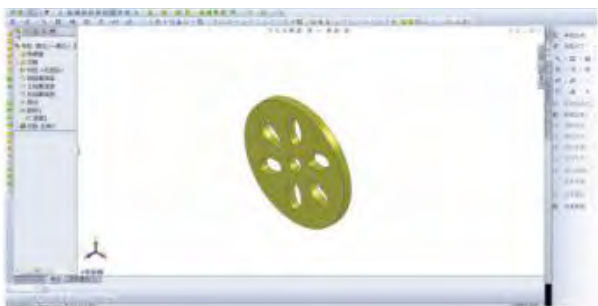


图3-7 零件图的页面

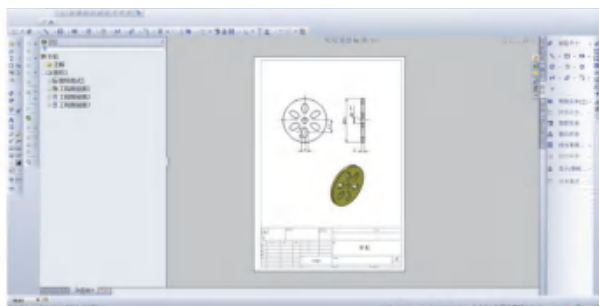


图3-8 工程图的页面

创建零件三维模型的第一步一定是先画出一个草图并以这个草图生成一个凸台（有拉伸、旋转、扫描等多种方式）。后续的操作既可以是生长新的凸台，也可以是对已有的凸台进行切除。每一次操作都产生一个模型特征。三维模型实质上是一系列的生长凸台和挖除凸台的操作叠加而成的。每个特征的创建步骤基本都是：①选择一个绘图平面；②在绘图平面上绘制出草图；③用绘制好的草图创建凸台或切除特征。

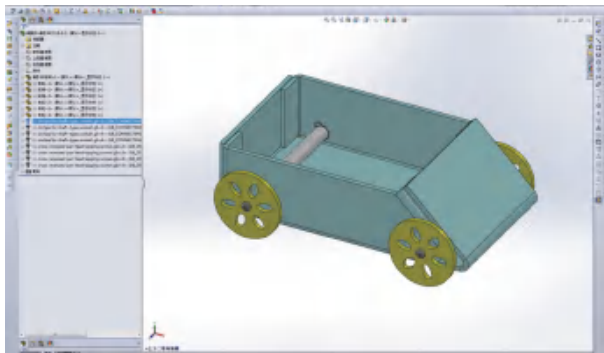


图3-9 装配图的页面

三维设计软件的建模空间有3个基本绘图平面，它们分别是前视基准面、上视基准面和右视基准面。同学们可以想象身处在一个教室中，面向前方的黑板。黑板所在的平面相当于前视基准面，教室的地面相当于上视基准面，左手边的那堵墙就相当于右视基准面。每一个基准面都可以视为绘制草图的图纸，草图的形状由设计者自行绘制，草图的尺寸可以由设计者自行输入，而且可以随时修改。

第一幅草图一定要画在3个基准平面其中的一个上，并以这一幅草图生长出第一个凸台模型特征。后续的草图，既可以画在3个基准平面上，也可以画在已有特征的表面上，用来形成新的模型特征。

3. 三维设计软件使用体验。

启动三维设计软件，单击软件界面顶端的“新建”图标按钮，系统将弹出如图3-10所示的页面。

选中图3-10中的“零件”图标按钮，点击“确定”按钮，三维设计软件将进入创建新零件的操作页面，如图3-11所示。创建零件页面的顶端是菜单栏，从菜单栏可以进入到三维设计的操作命令。

菜单栏下方有图标菜单栏，图标菜单是一种直观、快捷的操作工具。常用的图标菜单有：草图绘制图标菜单、特征图标菜单、视图方向选择图标菜单、智能尺寸标注图标菜单等。



图3-10 用三维设计软件创建新文件的页面



图3-11 三维设计软件中零件建模页面

特征管理器位于页面左侧，它以树状图的形式显示零件的所有模型特征，所以也被称为特征树。绘图工作区则用于绘制草图和显示三维模型。

习 题

1. 选择一种三维设计软件，查看它的文件类型有几种？它们的后缀名是什么？
2. 三维设计软件中基准面的作用是什么？
3. 自行查询资料，选择一种三维设计软件，列举它6种以上的模型特征。
4. 用三维设计软件软件创建如图3-7所示的车轮三维模型，其尺寸为：外径30mm、内径5mm、厚度2mm，椭圆开孔的尺寸可根据自己的喜好决定。

第2节 工程图

- 学习目标
- 识读基本工程图样。
 - 初步掌握尺寸与公差。

一、认识工程图

工程图样是精确表达施工信息的技术语言，是工程项目参与者进行交流沟通的一种重要工具。

机械工程中常用的工程图有零件图和装配图两种。前者表达单个零件的制造要求，后者表达多个零件的装配关系。必须模块《技术与设计1》中，已经介绍了相关内容。图3-12是一幅机械手爪的装配图。该图采用了分解装配的表达形式，也称为爆炸图。

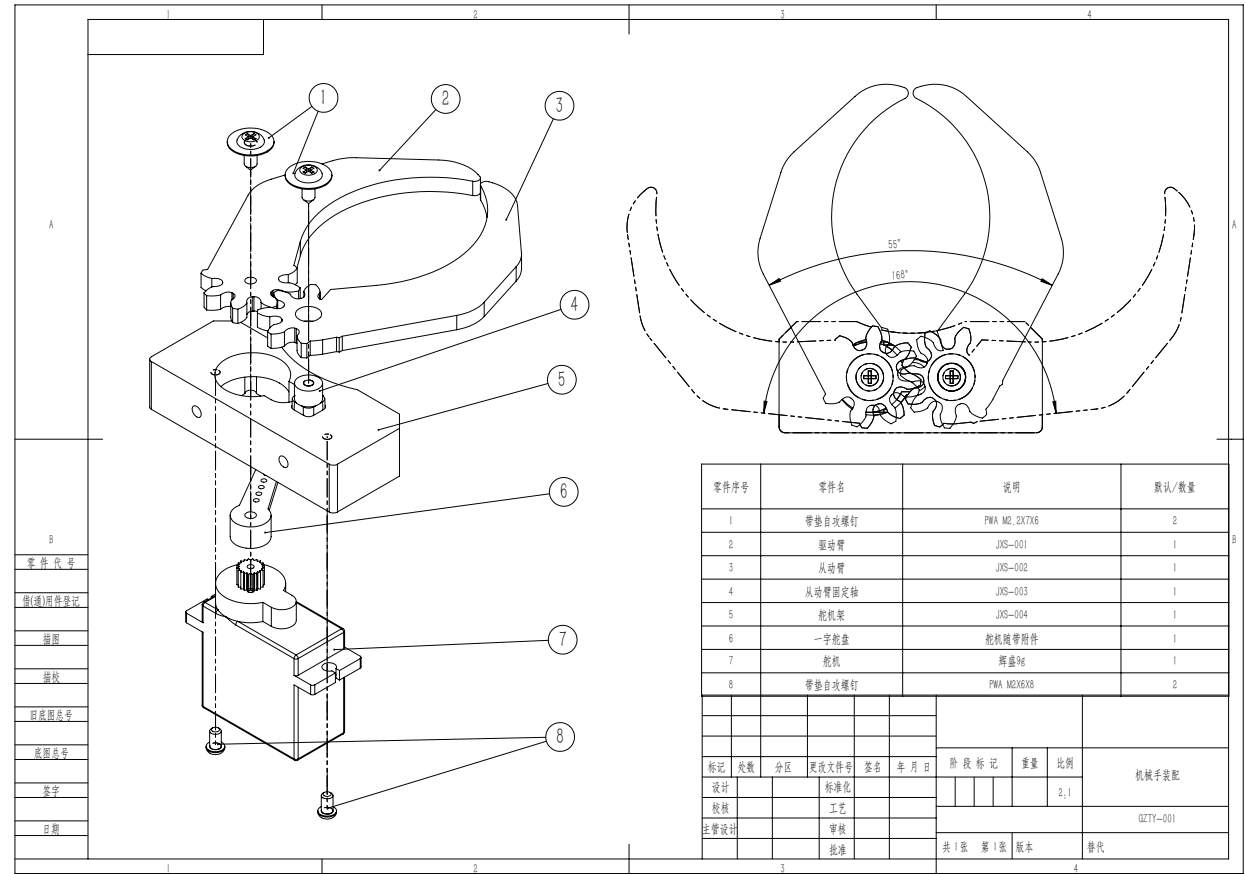


图3-12 机械手爪的装配图



1. 视图。

长期以来，多个视图组合一直是工程师们准确表达物体空间几何形态的重要工具。如今，计算机三维模型因其对物体的空间形态表达更直接、更简单且基本涵盖了视图的表达功能，呈现出取代组合视图的趋势。

工程图中通常还包括一些不适宜用图形表达的文字或符号信息，如：尺寸、颜色编号、工件表面加工纹理和粗糙度、装配配合状态及标题栏、明细栏、技术要求等。

其中，标题栏中含有图纸名称、编号、设计者、审核者、设计时间、图纸的隶属的工程项目等信息。

[illegible]

制图标准是统一图纸“语言”的文件，用于规范表达方式、防止图纸中的信息被误解。

ISO: 国际标准化组织制定的标准; GB: 中国国家标准; ANSI: 美国国家标准; JIS: 日本国家标准; DIN: 德国国家标准。

我国的制图标准有：GB/T 14689—2008《技术制图 图纸幅面和格式》，GB/T 4457.4—2002《机械制图 图样画法 图线》，GB/T 10609.1—2008《技术制图 标题栏》，GB/T 4458.4—2003《机械制图 尺寸注法》……

[illegible]

工程图中标注的尺寸数值, 是一种名义尺寸, 其含义是该尺寸的真实数值可以在标注

尺寸附近的一个范围之内变动。这一尺寸变动的允许范围称为允差，也称为公差。

机械制造行业的公差，是指零件几何尺寸的允许变动范围。在我国的国家标准中，几何公差有20个不同等级，分别是IT01、IT0、IT1、IT2……IT18，其等级依次降低。公差等级越高，尺寸允许的变动范围越小，加工难度也越大，加工成本越高，反之亦然。普通机床的加工精度通常低于IT6。

机械工程中的公差主要有尺寸公差和形位公差两大类。

如：图3-13中的 $\phi 30^{+0.2}_{-0.2}$ ，这就是一种尺寸公差的标注，其中30称为名义尺寸，而“+0.2”和“-0.2”是该尺寸对应的公差值。它表示该成品的指定尺寸处于29.8与30.2之间，则“符合设计要求”。

除尺寸外，零件的形状也不可能处于绝对理想的状态。如图3-13中直径为30的外圆，其轮廓线上的每个点距离圆心的距离不可能绝对等于15.000…，外部轮廓的圆心和轮轴孔的圆心也不可能绝对重合。然而，即使有点偏差，也未必影响使用。对此，工程中用形位公差来加以规范。图3-13中，在尺寸 $\phi 30$ 下面有两个符号，第一个符号表示圆度公差为0.01mm，即实际轮廓线上所有点到圆心的距离与理想轮廓线的偏差在0.01mm内都认定为合格。第二个符号后面有数值0.01和字母A，它与轮子中间圆孔上的基准符号A相呼应，表示： $\phi 30$ 直径圆的轴心线与中心孔的轴心线可以不同心，只要偏差小于0.01mm就认定为合格。除此以外，形位公差还有许多其他项目，如：平行度、直线度、垂直度……

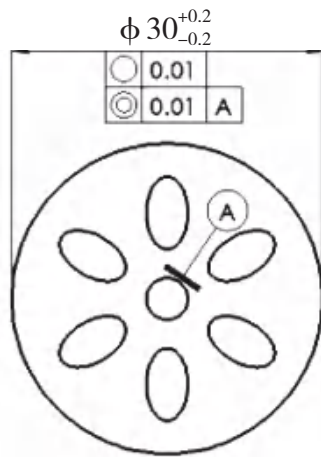


图3-13 公差示例

需要注意的是，在工程图纸中，没有标注公差的尺寸并不代表公差值为零，而应理解成其公差等于默认值。不同的行业，不同的应用场合，默认值是不同的，这些数值在相关的标准、规范中都有明确规定。

思考

公差有什么作用？公差值大些好，还是小点好？

立即行动

利用课外时间查阅资料了解工程中互换性、配合的概念，以及它们与公差的关系。

习 题

1. 若某尺寸标注为 $20.00^{+0.15}_{-0.1}$ ，指出其对应的允许尺寸范围。
2. 公差和偏差有什么区别，又有什么联系？

第三节 工程设计体验

学习目标

- 体验综合的工程设计过程。
- 进一步熟悉计算机三维建模方法。
- 体验实物模型的制作过程。

一、任务要求

设计并制作一辆如图3-14所示的小车。该小车车身长110mm、宽60mm、高30mm，车轮直径30mm。让小车从图3-15所示的斜坡上滑落而下，以滑行距离尽可能大、车身横向偏摆角度尽可能小为佳。斜坡由木板制作，高260mm，倾角25°。

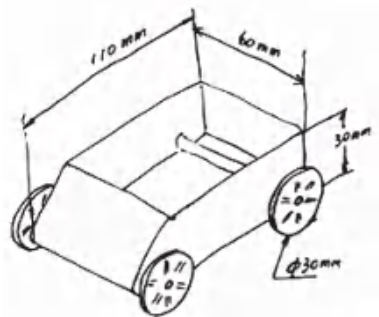


图3-14 手绘小车



图3-15 斜坡测试

二、材料选择

1. 主要零部件材料选择。

在工程设计中，选择材料需要考虑多方面的因素。常见的因素有以下几点。

(1) 材料的物理、化学性能。包括材料的强度、刚度、密度、耐化学腐蚀性、导电性、环境友好性……

(2) 加工制作的方法。原材料须经过加工制作成零部件后，才能投入使用。选择材料时应确保具有对所选材料进行加工的技术手段，避免出现无法加工制作的设计方案。

(3) 材料成本及供给的安全性。在满足设计要求的前提下，选用价格低廉的材料可以节约工程成本。材料货源充足、容易获取的材料有利于工程项目实施，就地取材是非常不错的选择。如果选用的材料或零件被竞争对手控制，则容易被对手切断货源供应，影响工程活动的安全。

选择材料时，可先根据设计对象的工作境况，列举满足设计性能要求的材料清单。然后，兼顾工艺性、价格、供应链安全性等因素进一步筛选。

知识窗 >

钣金是一种针对薄板的加工方法，通过折弯、裁剪等手段，将薄板加工成所需的形状。在本例中，车架是采用硬卡纸折叠的方法加以制作的，如果材料换成金属薄板，这种制作加工方法就称为钣金。台式计算机机箱就是典型的钣金零件。

对于上述小车，拟采用钣金零件的设计方法来设计车身，建议选用1mm厚的硬卡纸板，通过切割、裁剪、折叠、胶粘合的方式来制作车身和车轮。另外，选用直径为6mm的塑料圆棒或木棒来制作轮轴。

采用激光切割机切割硬纸板来制作车身是一种高效的数字化制作方法，不具备激光切割机的情况下，可以用刻纸刀或剪刀。请同学们根据自身现有条件制定一套适合自己的用材和制作方案。

立即行动

搜集信息，制表列举你所在地区，能获得制作本模型的材料和加工方法。

2. 了解标准件。

尺寸、结构型均已标准化且被大规模专业化生产的零部件称为标准件，如螺钉、螺母、轴承、挡圈等。

工程实践中，大量使用标准件，是提高可靠性、缩短工程周期、降低成本的常用方式。

立即行动

准备直径2.5mm、长度6mm的盘头带垫圈自攻螺钉和6mm的轴用挡圈等标准件，以备后续设计和模型制作使用。

三、总体方案设计与三维建模

小车总体结构构思图如图3-16所示。

手绘能快捷地记录、表达设计师的创意，启发和完善设计灵感，是设计师常用的“视觉语言”，也是进行方案设计的有效工具。它能为结构细化和计算机三维建模带来方便。其具体三维建模如下。



1. 车身结构设计和建模。

(1) 详细的车身形状和主要尺寸如图3-17所示。

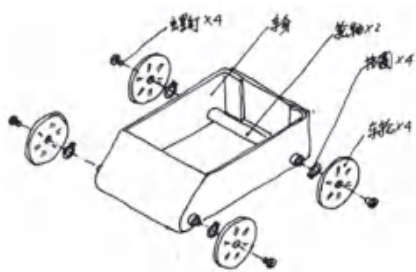


图3-16 小车总体结构构思

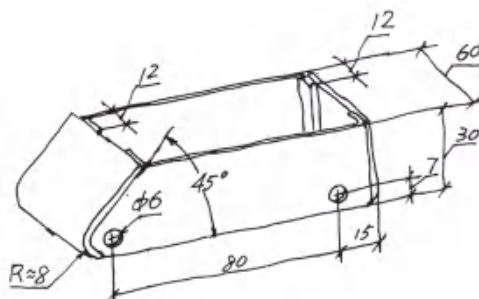


图3-17 手绘小车车身

(2) 车身三维建模。采用钣金设计模块能方便地进行车身三维建模，具体步骤如下。

①在三维设计软件中激活钣金命令模块，如图3-18所示。

②创建钣金基底法兰特征，特征厚度1mm、长108mm、宽60mm，形成车身底板，如图3-19所示。

③用边线法兰特征，按图3-20的尺寸创建车身侧板。

④用边线法兰特征创建前后搭接头，如图3-21所示。

⑤用边线法兰特征创建后侧板。

⑥用边线法兰特征创建前侧板，完成后形状如图3-22所示。

⑦车轴支撑孔设计。

轴孔直径应略大于轴的直径，图中

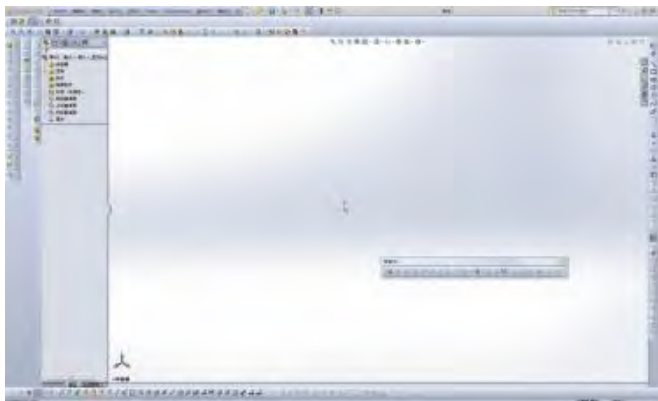


图3-18 激活钣金命令模块

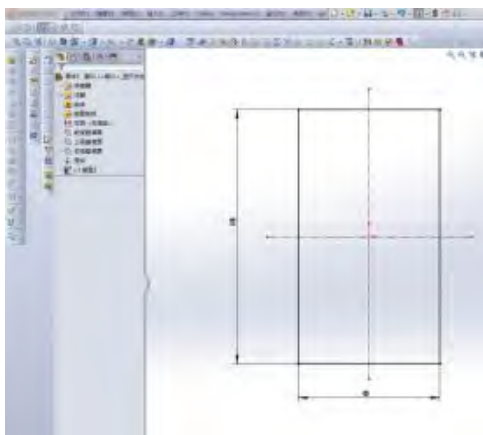


图3-19 创建车身底板

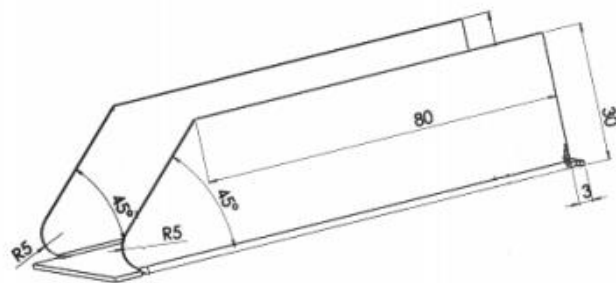


图3-20 创建车身侧板



3. 创建车轮零件模型。

按前文图3-13所示的尺寸创建车轮三维模型，保存为：车轮.sldprt。读者可根据自己的喜好，自行决定图中椭圆开孔的数量和尺寸。

4. 创建三维虚拟装配模型。

零件模型创建完成后，就可以创建图3-26所示的小车虚拟样机和图3-27所示的虚拟小车爆炸图。具体操作方法如下。

按键盘的Ctrl+N键，在弹出菜单中选择装配体，如图3-28所示，点击“确定”创建出一个新的装配空间，如图3-29所示。在车身、轮轴、车轮模型文件均打开的状态下，屏幕左侧可见这些零件的名称。

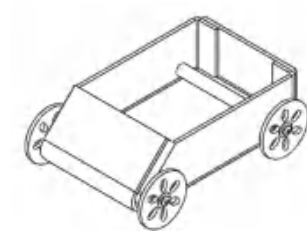


图3-26 小车虚拟样机

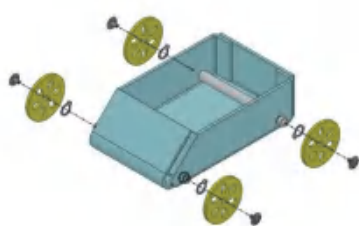


图3-27 虚拟小车爆炸图



图3-28 创建装配体（一）



图3-29 装配空间（一）

点击屏幕顶部菜单中的“窗口（W）”→纵向平铺，系统将弹出图3-30所示的画面。用鼠标选中画面中的车身特征管理器窗体中，上方的“车身”文字，按住鼠标左键将车身零件拖放到装配空间中。然后，再将车轮和轮轴也拖放到装配空间中，如图3-31所示。

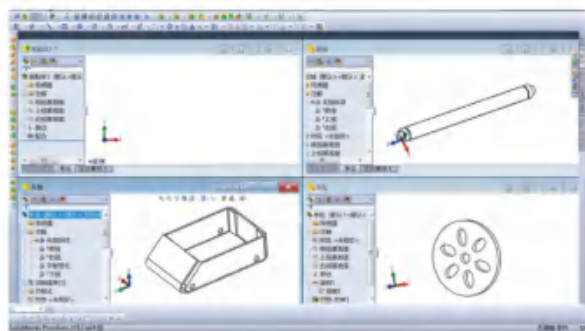


图3-30 创建装配体（二）

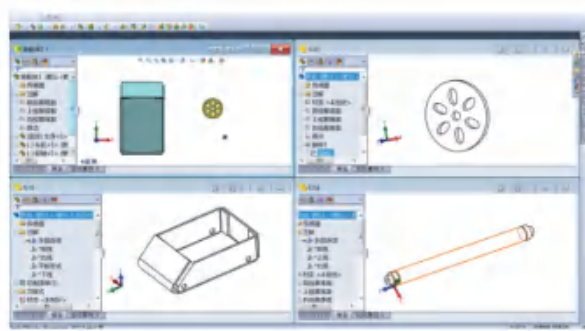


图3-31 装配空间（二）

点击装配体窗口右上角的最大化图标按钮，将装配体窗口最大化。按键盘空格键，在弹出菜单中双击“*等轴测”，屏幕显示如图3-32所示。

用鼠标选中图框左侧的“（固定）车身”，单击鼠标右键，在弹出菜单中点击“浮动（P）”。

此时，将鼠标箭头指向车身模型，按住鼠标左键并滑动鼠标，车身图形会跟随鼠标移动。可以想象：装配空间犹如一间空置的房间，房内放入了车身、车轮和轮轴3个部件。车身是竖立放置在房间中的。

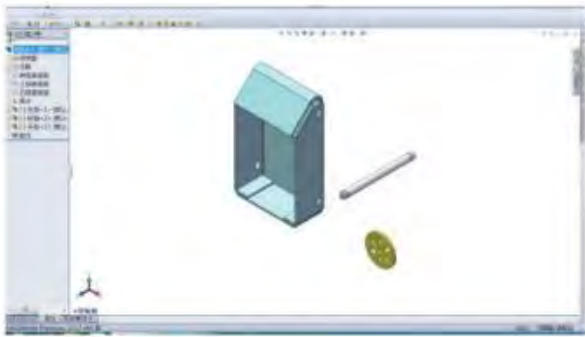


图3-32 装配空间等轴测视角

进行虚拟装配的第一步是要将车身水平摆放。操作方法如下。

（1）车身的装配。

①鼠标左键点击车身底板，指针附近会弹出一个菜单；移动鼠标箭头到菜单中的“回形针”图标，单击，屏幕左侧会出现标签为“配合”的菜单组。菜单中蓝色激活区会有“面<1>@车身”的字样，如图3-33所示。

②用鼠标点击装配空间左上角的“+”号，将装配体清单展开，选中清单中的“上视基准”，指针附近会弹出图3-34所示的图标，车身底板也将自动旋转到与上视基准重合的位置。如果车身的开口朝下，请单击图3-34中的倒数第三个“反转配合对齐”图标，让车身翻转180°。确认车身开口朝上后，单击勾选图标按钮，完成车身的水平安装，如图3-35所示。



图3-33 “配合”菜单



图3-34 配合对齐菜单

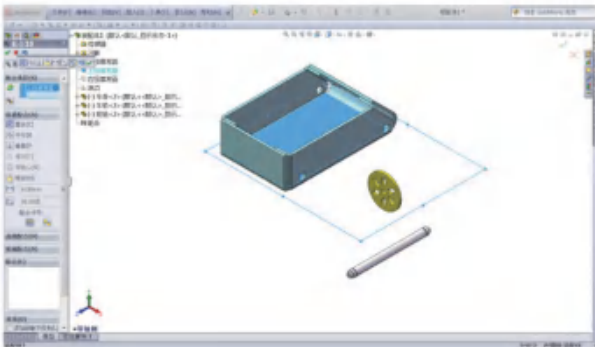


图3-35 车身水平定位

③用鼠标左键选中车身，按住左键拖动车身，车身将会前后左右移动。

④在车身的后侧面与装配空间的“前视基准”之间添加“重合”的装配约束，用“反转配合对齐”图标按钮，让车头朝Z坐标轴的正方向。

⑤在车身左侧面与“右视基准”之间添加“重合”的装配约束。

完成以上装配后，车身有了与3个基准平面重合的约束，完全固定在装配空间，不能



移动了。

(2) 车轮轴与车身的装配。

①鼠标左键点击轮轴外圆，在弹出菜单中的“回形针”（配合）图标，点击车身上前面轴孔的内圆面，点击弹出菜单的第四个图标按钮“同轴心”，完成车轴与车身上轴孔的同轴装配，如图3-36所示。此时，车轴还可以沿轴心线方向移动，必须进行轴向定位。

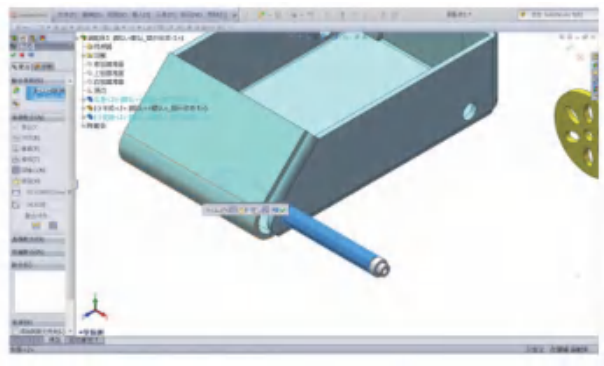


图3-36 轮轴同心定位

②点击轮轴的右端面，选择弹出菜单中的“装配”，按住鼠标中间的滚轮，拖动鼠标来改变观察视角，旋转滚轮可放大或缩小视图，直到能看到轮轴的左端面，再进行下一步操作。

③在屏幕左侧的菜单中点击“高级配合(D)”→“宽度(T)”，用鼠标点击轮轴的左端面，确认在“宽度选择”下面的被选框中能同时看到“面<1>@轮轴”和“面<2>@轮轴”两个被选中元素。

④鼠标点击“薄片选择”下的空白区，区域颜色将从白色变成蓝色。依次点击车身左、右两侧的外面，蓝色区域将出现“面<3>@车身”和“面<4>@车身”的元素。点击左上角“勾”图标按钮，完成轮轴的左右定位安装。

⑤按键盘的空格键，用鼠标左键双击弹出菜单中的“轴测图”，将获得如图3-37所示的画面。

(3) 车轮装配。

①点击轮轴的台阶端面，如图3-38所示，在弹出菜单中选择“装配”，选择车轮的圆形端面，点击勾选图标，确认操作。再次按键盘的空格键，选“轴测图”，同时显示车轮和车轴。

②依次点击车轮的中心内圆环面和轮轴的圆柱面，在弹出菜单中选择“同轴心”，点击勾选图标，确认操作。

完成后的车轮装配如图3-39所示。

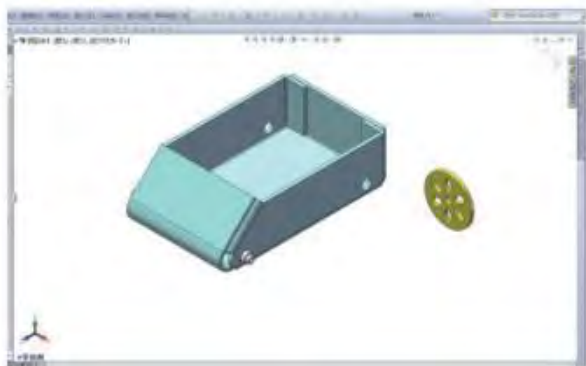


图3-37 轮轴定位

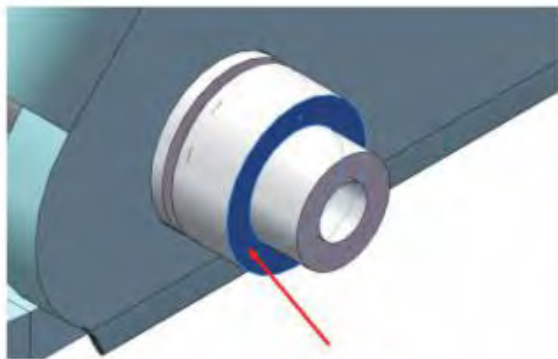


图3-38 选中轮轴台阶

下面给轮轴安装挡圈和螺钉。

③如图3-40所示，点击屏幕顶层的选项菜单下拉箭头，选中插件。在弹出的菜单中勾选“SolidWorks Toolbox Browser”，如图3-41所示，然后点击确定。

④点击屏幕左侧装配体区域的轮轴，右击鼠标按钮，在弹出菜单中选中“孤立（K）”，图中的车身和车轮将隐藏显示，留下轮轴单独出现在屏幕中。

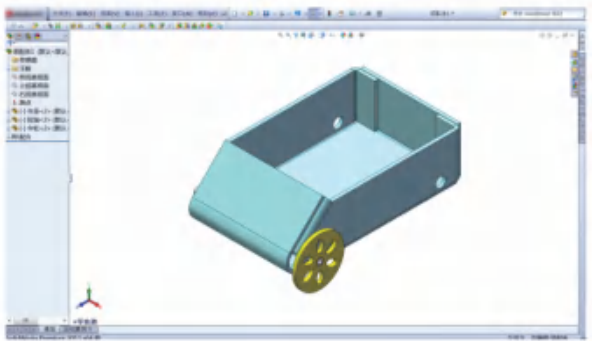


图3-39 车轮定位



图3-40 进入选项菜单

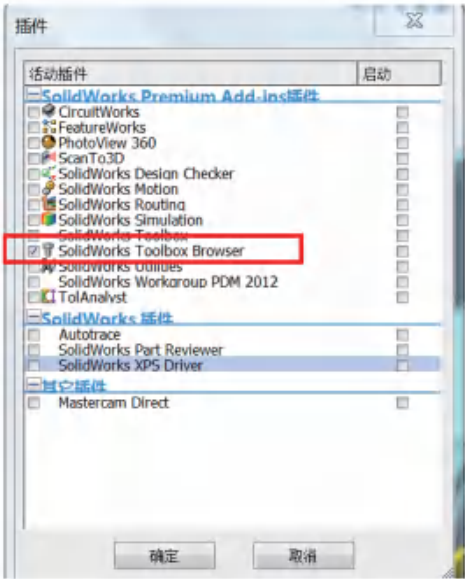


图3-41 调用工具库

⑤点击框处的工具库图标，调出工具库。

⑥如图3-42所示，点击ToolBox前面的“+”号展开各国的标准清单，点击“Gb”前面的“+”号展开Gb标准件的分类清单，点击“垫圈和挡圈”前面的“+”号，点击分类中的“挡圈”→“轴用弹性挡圈A型 GB/T 894.1-1986”。



图3-42 选择挡圈

⑦按住鼠标左键，将上述挡圈拖到装配空间中，放置到轮轴中间的槽上，软件将自动生成同心和重合约束。松开鼠标按键后，在下拉菜单中将直径改选为6，如图3-43所示。同学们也可自行创建同心和重合的约束。



(4) 加装螺钉。螺钉也是标准件。其调用方法与挡圈的调用方法相同。

① 点击工具库，在Gb标准件的分类清单中，点击“screws”前面的“+”号→“机械螺钉”→“十字盘头螺钉 GB/T 818-2000”，将螺钉拖到轴端的孔中，螺钉直径为2.5，长度为5，如图3-44所示。

② 点击“退出孤立”，恢复显示所有零件，如图3-45所示。

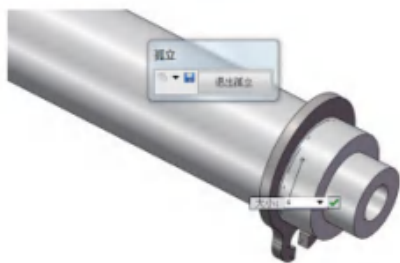


图3-43 改变挡圈尺寸

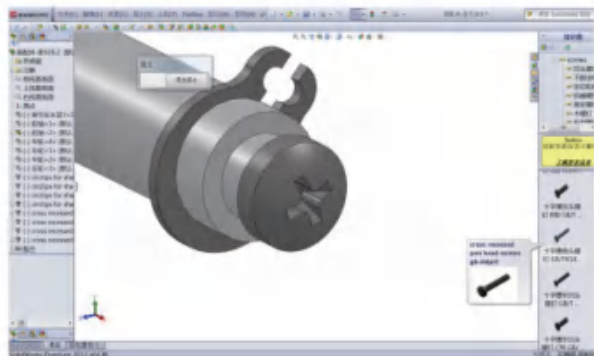


图3-44 调用螺钉

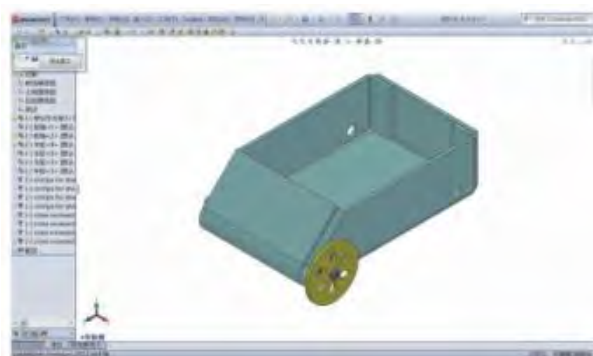


图3-45 单轮装配

立即行动

给小车添加1个轮轴、3个车轮、3个挡圈、3个螺钉，并添加相应的装配约束，完成小车装配。

四、实物模型制作

1. 制作车身工程图。

(1) 打开车身.sldprt文件，点击文件，从零件创建工程图，如图3-46所示。按提示选用默认方式创建一张工程图，按图3-47所示的步骤，点击“视图调色板”，用鼠标将“(A) 平板形式”视图拖放到工程图框中，获得车身的展开图。

(2) 在图纸空白处，点击鼠标右键，在弹出的菜单中选中“属性”，调出图纸属性设置页面，将比例设置为1:1，勾选“第三视角”，点击确定。

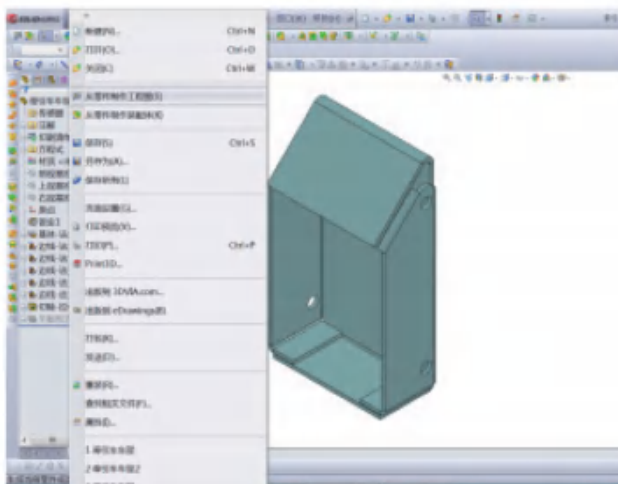


图3-46 创建车身工程图

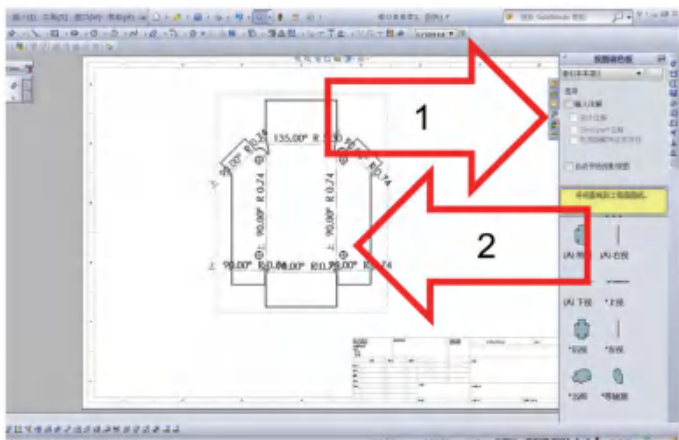


图3-47 拖放平板形式到图框

（3）打开图层管理器，新建“图层1”，将图层1的颜色设置为红色，线形设置为实线，关闭图纸中原有标注尺寸所在层的显示，获得图纸。

知识窗

计算机图形文件有多种文件格式类型，如igs、stl、x_t、DXF、DWG等。igs多用于存储三维曲面图形数据，x_t多用于存储三维实体模型数据，DXF、DWG多用于存储平面图形数据。激光切割机常用DXF，3D打印机常用stl。

2. 制作车身和车轮实物模型。

（1）车身和车轮模型选用1mm硬卡纸作为制作材料。可采用激光切割机切割。也可将工程图按1：1的比例，打印到A4纸上，放样到硬卡纸上，用剪刀或雕刻刀切割。图3-48所示红线切割一半深度，红线之间的卡纸剥除一半，便于折叠成形，折叠后用胶水粘接成型。

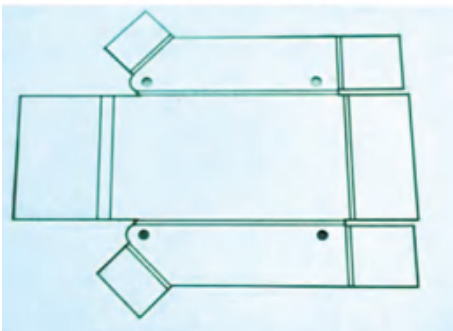


图3-48 车身切割

（2）制作轮轴与小车装配：轮轴可以用车床制作，也可以用手工制作。请同学们根据所学自行完成轮轴的制作，并购买挡圈和螺钉等标准件，根据前面掌握的装配关系完成小车装配。

立即行动

在小车前后板上各绘制一条中心线，根据设计任务要求，将小车放置在斜坡上滑行多次，测量小车的滑行距离以及前后中心线与轨道中心线的偏移量，编制记录表，并将相关数据记录到表中。分析记录数据，对小车进行调整直至达到最佳状态。



探索

给小车加上无碳动力（重力、弹性变形力……）装置，让小车在平面上自行行驶。

五、工程设计中的仿真

1. 工程设计中的仿真的定义。

工程设计中的仿真是指对模型施加外界作用来观察模型表现，用以分析外界作用施加于设计对象所产生后果的研究方法。这种模型既可以是实物模型，也可以是计算机模型。随着计算机技术的发展，计算机仿真的应用日渐广泛。

2. 计算机仿真在工程设计中的价值。

计算机仿真是利用计算机模型、理论公式及经验数据，用计算机模型替代真实模型，用算法和数据替代真实作用，对工程对象进行分析的方法。

这种方法，对于分析真实模型造价高的工程系统，具有经济、快捷的优势。在波音777飞机的研制过程中，工程师们用计算机仿真替代了传统设计中实物样机试验的流程，开创了未经样机试验就成功研制出客机的先河，节省了大笔研制费用。

对于一些难以获得真实环境的情景，如火星车性能评估，计算机仿真则是一种有效的研究手段。例如，将本案例中的小车及斜坡导入到计算机运动仿真软件中，将重力加速度设置为 1.64m/s^2 ，就可以获得小车在月球上沿着斜面下滑的运动过程参数，并用视频显示下滑过程。

六、工程设计文件

1. 工程设计文件的主要内容。

工程设计文件主要包括：设计任务书、设计标准及规范、工程施工图、供应商明细表及验收标准等。

工程文件的主要表现形式有：文字、表格、图纸、照片等。随着多媒体技术的普及，影视文件将会在工程领域中得到广泛应用。

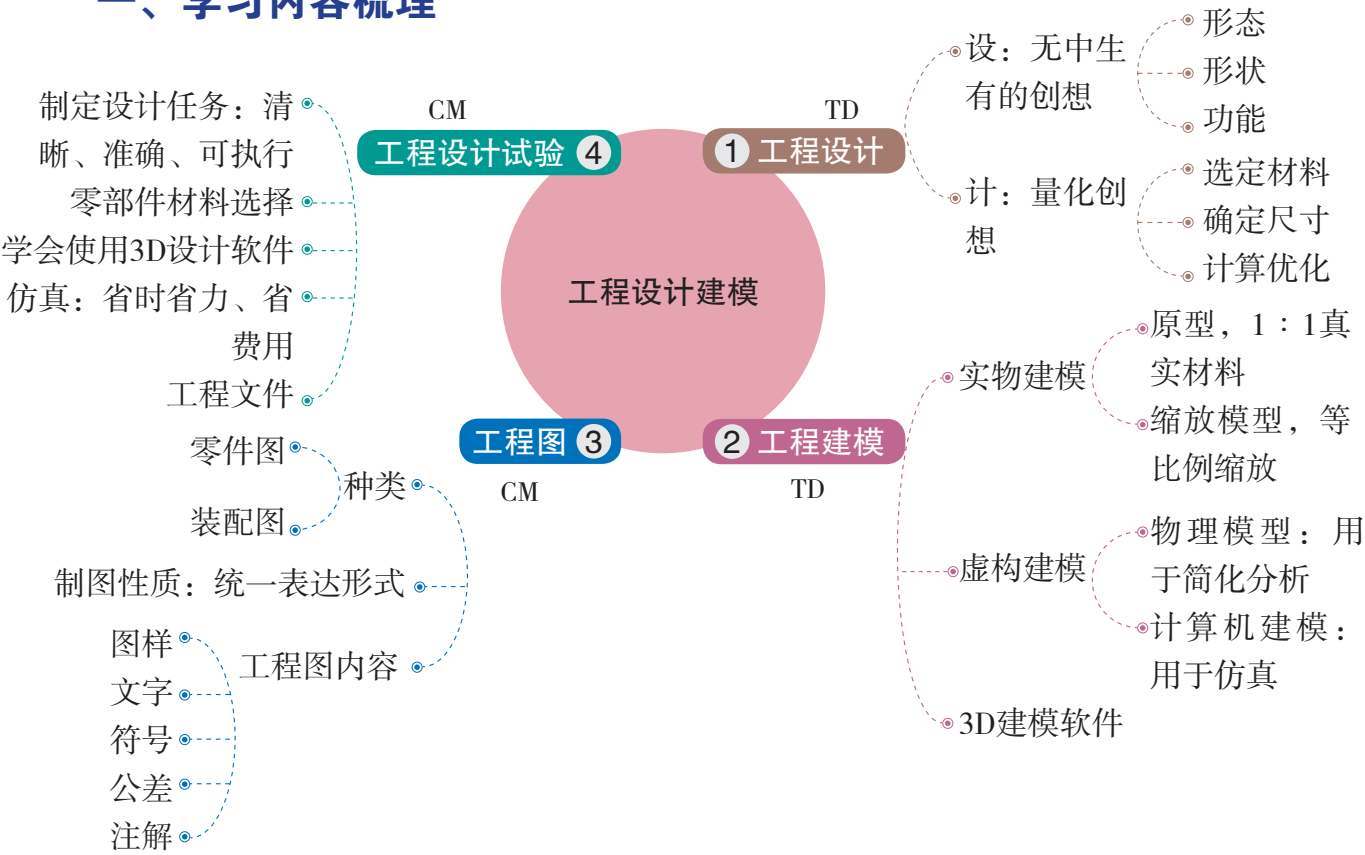
2. 工程文件的作用。

工程文件的作用是指导工程活动的立项、施工、竣工验收，以及工程项目寿命周期内的运营与维护 and 用来复制产品等。

工程文件也是传承工程知识和经验的载体，是提升工程技术水平的阶梯。加强工程文件管理是规范工程活动、促进技术进步的有效手段。

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA——技术意识，ID——创新设计，ET——工程思维，CM——物化能力，TD——图样表达

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能理解工程设计和设计师能力建设			
能理解建模，知道如何创建实物模型、原型样机、虚拟模型以及它们的作用			
熟悉计算机三维建模软件的使用，理解基于特征的三维模型的创建方法			
掌握工程图的种类，了解工程图中的文字符号、公差标注的含义及其作用			
掌握徒手绘图技能			
建立对工程文件作用的基本认识，树立按照规程和标注从事工程活动的观念			
说明：A——优秀；B——良好；C——合格；D——待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第四章 工程决策与管理

简单来讲，工程决策就是回答什么是工程实施的目的和怎样完成工程的问题。它是人们为了实现预期的目标，采用一定的科学理论，通过一定的程序和方法，对若干备选方案进行研究论证，从中选出最为满意方案的过程。

工程管理是指通过一定的组织形式，用系统工程的观点、理论和方法对工程建设项目生命周期内的所有工作，进行计划、组织、指挥、协调和控制，以达到保证工程质量、缩短工期、提高投资效益的目的。

第一节 设计方案评估和决策

学习目标

- 了解对设计方案的评估方法。
- 学习和应用工程决策模型的基本要素和类型。
- 决策矩阵、层次分析法、决策树。

任何一个工程项目都要经过全面系统的设计、分析、建造、使用等一系列的工程实践活动，以实现整个工程项目为最终成果。初步设计就是这个最终成果的初始阶段，它相当于一幅草图。通常，在没有最终定稿之前的设计都统称为初步设计。

一、对设计方案的初步评估

在第三章，学习了利用三维设计软件建立三维模型，并输入参数进行模拟测试（图4-1）。方案评估是在方案设计基础上的进一步设计。本章以“无碳小车”为例，我们将进一步学习如何对项目的设计方案进行评估。

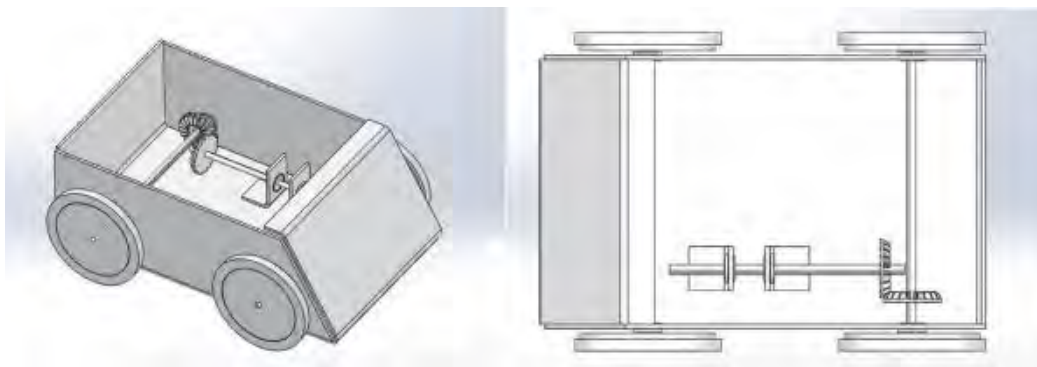


图4-1 “无碳小车”初步设计

知识窗 >

如何快速淘汰掉较差的设计方案？

设计方案评估的难点在于设计团队里的成员的评价思路比较难以统一。所以，能否基于有限的数据和知识，选择同一种思路去进行评价和衡量，是实现高效评价的关键。对于设计思路的初步筛选，可以使用以下方法来完成。

- 1. 利用一定的约束条件，要求工程设计方案中必须由规定栏目内容来反映设计思路。如果工程设计方案并不能直接满足工程项目的工程特性指标，或者无法准确反映设计思路，则可以直接被淘汰。
- 2. 设计团队成员可以根据常识和工程经验淘汰掉一些设计方案。例如，技术不成熟的、没有可行性的工程设计方案都应被淘汰。
- 3. 考虑用一种标准的设计思路所使用的方法来评估，评估方法是由工程项目特性作为标准而定。目的就是为了快速减少设计方案的数量，加快评估的效率。

在构成图中根据不同部分的功能选择，可以建立不同的草图设计，将草图设计的方案汇总，可以从中找到较好的设计思路。

例如在“无碳小车”的工程设计项目中，有以下两组反映设计思路的草图方案，如图4-2所示。

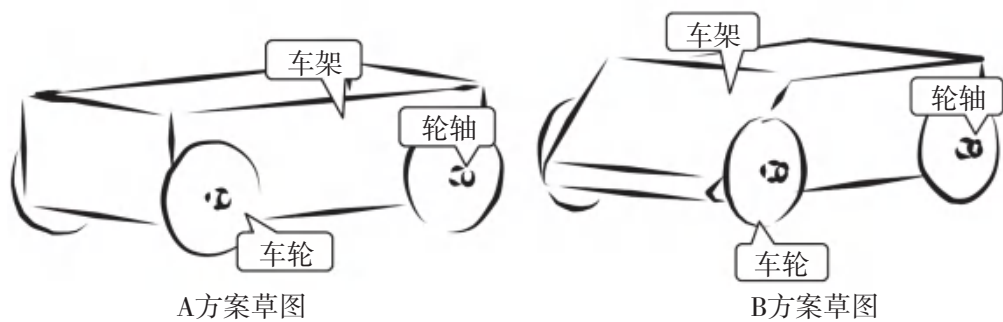


图4-2 “无碳小车”草图方案对比

通过工程实践和经验判定：B方案草图在整体稳定性、结构强度、克服流体阻力等方面都优于A方案，进而可以淘汰掉A方案。

二、工程决策模型的要素和类型

工程决策模型是为管理工程项目方案决策而建立的模型，也是为辅助工程方案的评价决策而研制的数学模型。随着运筹学的发展，出现了线性规划、动态规划、模糊模型等有效的决策分析方法。

案例

工程决策模型中的基本要素在期末考试成绩中的应用。
假设某班同学期末考试成绩如表4-1所示。

表4-1 某班同学期末考试成绩

科目	语文	数学	物理	化学	工程技术
学时数	72	72	36	36	18
A同学成绩/分	90	72	88	76	73
B同学成绩/分	62	73	92	90	97
C同学成绩/分	74	75	81	86	83

(1) 平均分。

平时对每个学生学习能力和学习效果的评价是用平均分来完成的。

$$\text{A同学各科平均分} = \frac{90+72+88+76+73}{5} = 79.8 \text{分}$$

$$\text{B同学各科平均分} = \frac{62+73+92+90+97}{5} = 82.8 \text{分}$$

$$\text{C同学各科平均分} = \frac{74+75+81+86+83}{5} = 79.8 \text{分}$$

按照常识，会认为C同学和A同学的学习能力相等，B同学更优。

(2) 各科加权平均分。

实际上，在比较学习能力和学习效果时，还要把时间因素算上。加上总课时占比的加权数后，可以看到，代表学习能力和学习效果的各种加权平均分各不相同。

总学时：72+72+36+36+18=234，各学科的总学时比例情况如表4-2所示。

表4-2 各学科的总学时比例情况

科目	语文	数学	物理	化学	工程技术
占总学时比例	$\frac{72}{234} = 0.308$	$\frac{72}{234} = 0.308$	$\frac{36}{234} = 0.154$	$\frac{36}{234} = 0.154$	$\frac{18}{234} = 0.077$

$$\text{A同学各科加权平均分} = 0.308 \times 90 + 0.308 \times 72 + 0.154 \times 88 + 0.154 \times 76 + 0.077 \times 73 = 80.773 \text{分}$$

$$\text{B同学各科加权平均分} = 0.308 \times 62 + 0.308 \times 73 + 0.154 \times 92 + 0.154 \times 90 + 0.077 \times 97 = 77.077 \text{分}$$

$$\text{C同学各科加权平均分} = 0.308 \times 74 + 0.308 \times 75 + 0.154 \times 81 + 0.154 \times 86 + 0.077 \times 83 = 78.001 \text{分}$$

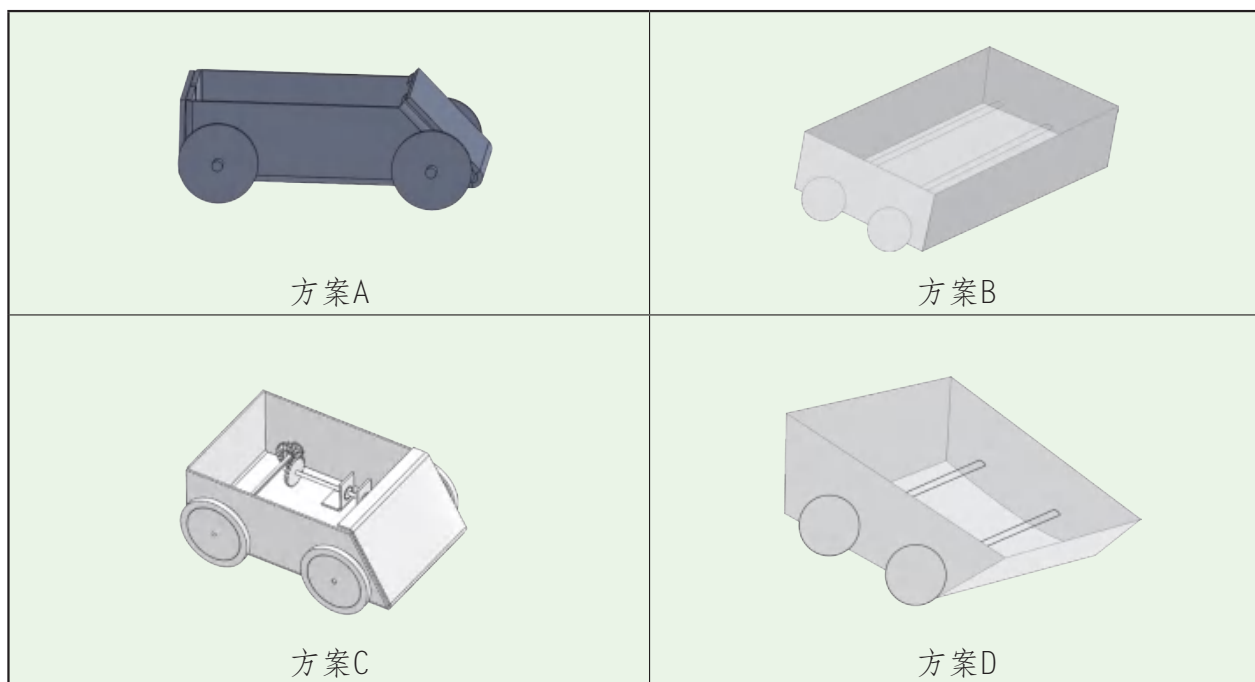
从加权平均分的结果看：A同学的学习能力和学习效果最佳，C同学次之，B同学最差。

可见，评价的维度不同，引入数学模型中的参数不同，结果也有所不同。

立即行动

利用适合的决策模型对“无碳小车”进行评价。

在“无碳小车”的设计过程中，根据设计的子功能构成图，不同的设计部门制定了如下不同的方案：



1. 根据实际方案效果, 建立决策矩阵如表4-3所示。

表4-3 方案效果

评价项目	运动距离	中线偏移情况	运动时间	车架坚固	车体美观
权重参数	8	10	6	4	2
方案A评分	80	92	95	90	95
方案B评分	72	83	78	70	75
方案C评分	95	90	82	90	85
方案D评分	65	73	82	70	70

2. 根据不同的评价目标, 选择适合的决策模型。

(1) 如果选择某方面特别突出的方案, 应选择 _____ 法。

各方案的综合评价值为

(2) 根据题目要求的计分方法, 如特别强调“中线偏移情况”这个评价项, 应该采用的决策模型是_____法。

三、层次分析法与决策树

1. 层次分析法。

层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）是一种实用的多准则决策方法。它可以把一个复杂问题表示为有序的递阶层次结构，通过人们的判断决策方案的优劣进行排序。层次分析法是一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法，能比较有效地应用在那些难以用定量方法解决问题的决策对象上。

层次分析法会根据问题的性质和要达到的总目标，将问题分解为不同的组成因素，并按照因素间的相互关联影响及隶属关系将因素按不同层次聚集组合，形成一个多层次的析结构模型，进而变成最底层的方案措施相对总目标的重要性权值的相对排序。

一般构建层析分析法的步骤由建立层次结构模型、构造判断比较矩阵、层次排序3个部分构成。由于层次分析法涉及复杂运算，故推荐采用Yaahp 软件进行决策分析计算。其步骤主要包括以下几点。

（1）建立层次结构模型。将决策的目标、考虑的因素和决策对象按它们之间的逻辑关系分为最高层、中间层和最低层，绘出层次结构图。

其中，最高层又称目标层，表示决策的目的和要解决的问题；中间层又称因素层或准则层，表示考虑的因素、决策的准则；最底层又称方案层，表示决策时的所有可供选择的方案。

案例

运用层次分析法分析交通问题。

某闹市区一商场附近交通拥挤。为了改善该街区的交通环境，由3种方案可供选择：修天桥或高架桥、修地道、让附近商场居住楼拆迁拓宽路面。请问哪种方案最佳？

问题分析：针对这一实际问题，首先要拟定下面5个判断依据：通车能力，方便市民，改造费用，安全性，市容美观。

根据层次分析法，构建递阶层次结构如图4-3所示。

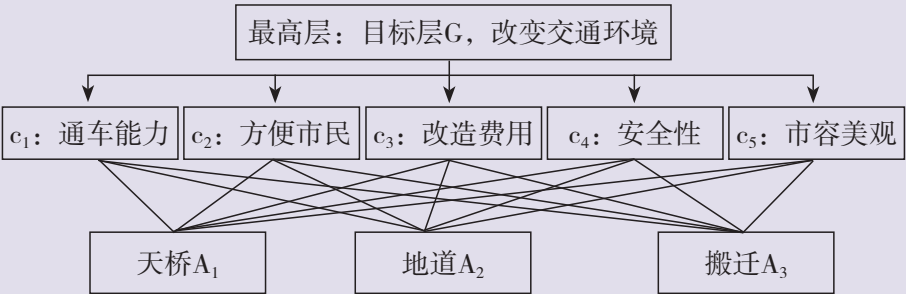


图4-3 递阶层次结构

（2）构造判断矩阵。判断矩阵是表示本层所有因素针对上一层的某一个因素相对重要性比较。

需要注意：不要把所有因素都放在一起比较，而是要对各个因素进行两两比较。选取相对尺度时应考虑减少因为性质不同而形成比较的困难，进而提高准确度。为了确保模型的有效性，一般比较的因素不要超过7个。

可以按照下面量化方法，建立各准则层的比较矩阵（表4-4）。

表4-4 量化方法

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素i与j比较的判断 a_{ij} ，则因素j与i比较的判断 $a_{ji}=1/a_{ij}$

案例

案例分析：运用层次分析法分析交通问题。

根据准则层的构成：

c_1 ：通车能力	c_2 ：方便市民	c_3 ：改造费用	c_4 ：安全性	c_5 ：市容美观
-------------	-------------	-------------	------------	-------------

可以建立以下的比较矩阵：

指标	c_1 ：通车能力	c_2 ：方便市民	c_3 ：改造费用	c_4 ：安全性	c_5 ：市容美观
c_1 ：通车能力		3	2	1	7
c_2 ：方便市民			1/3	1/3	5
c_3 ：改造费用				1/4	6
c_4 ：安全性					7
c_5 ：市容美观					

采用方法	天桥 A_1	地道 A_2	搬迁 A_3
c_1 ：天桥 A_1		3	5
地道 A_2			2
搬迁 A_3			

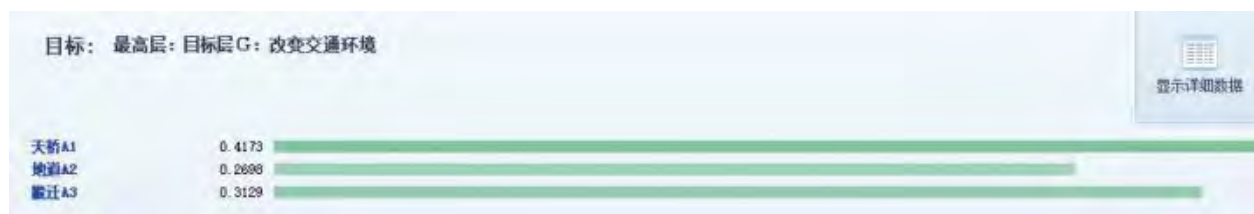
采用方法	天桥 A_1	地道 A_2	搬迁 A_3
c_2 ：天桥 A_1		1	5
地道 A_2			5
搬迁 A_3			

c_3 :	采用方法	天桥A ₁	地道A ₂	搬迁A ₃
	天桥A ₁		2	5
	地道A ₂			5
	搬迁A ₃			

c_4 :	采用方法	天桥A ₁	地道A ₂	搬迁A ₃
	天桥A ₁		3	1/3
	地道A ₂			1/4
	搬迁A ₃			

c_5 :	采用方法	天桥A ₁	地道A ₂	搬迁A ₃
	天桥A ₁		1/3	1/6
	地道A ₂			1/5
	搬迁A ₃			

(3) 层次排序。利用Yaahp软件,通过定性的比较数值输入后,利用软件自身的运算功能,便可直接得到计算结果,方便作为决策依据。



知识窗

层次分析法是美国运筹学家、匹茨堡大学教授萨蒂于20世纪70年代提出的一种层次权重决策分析方法。此方法也是立足于单一因素。层次分析法的发明人认为,传统的岗位评价技术是主观的、武断的,不能对不同工作进行比较。因此,他们认为所有工作只有一个共同的因素——决策。

2. 决策树。

决策树是一种运用概率与图论(图论是指用图形的形状解释复杂的数理原理)中的树对决策中的不同方案进行比较,从而获得最优方案的风险决策算法。

决策树是一种树形结构,其中每个内部节点表示一个属性上的测试,每个分支代表一个测试输出,每个叶节点代表一种类别。它的组成如下:

(1) 决策点(□),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) 状态节点(○),代表备选方案的经济效果(期望值),通过各状态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。由状态节点引出的分支称为概率枝,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出现的概率。

(3) 结果节点(△),将每个方案在各种自然状态下取得的损益值标注于结果节点

案例

为了适应市场的需要，某地准备扩大电视机生产。市场预测表明：产品销路好的概率为0.7，销路差的概率为0.3。备选方案有3个：第一个方案是建设大型工厂，需要投资600万元，可使用10年。如销路好，每年可赢利200万元；如销路不好，每年会亏损40万元。第二个方案是建设小型工厂，需投资280万元。如销路好，每年可赢利80万元；如销路不好，每年也会赢利60万元。第三个方案也是先建设小型工厂，但是如销路好，3年后扩建，扩建需投资400万元，可使用7年，扩建后每年会赢利190万元（图4-4）。

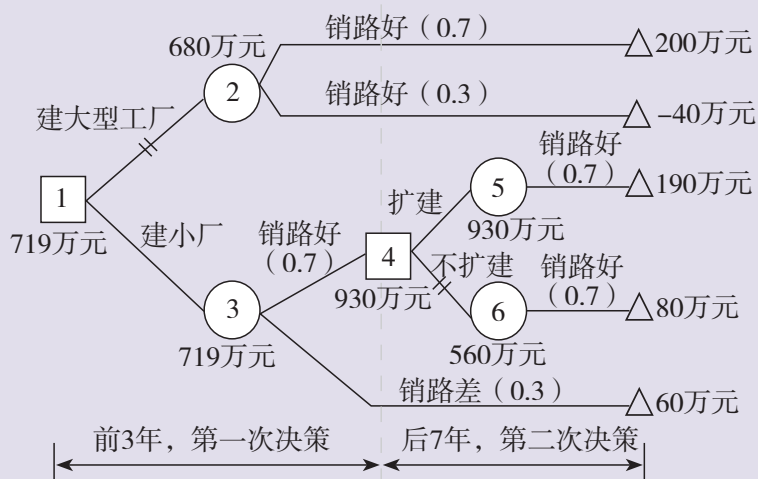


图4-4 电视机扩产决策树

各点期望：

状态节点2： $0.7 \times 200 \times 10 + 0.3 \times (-40) \times 10 - 600$ （投资）=680（万元）

状态节点5： $1.0 \times 190 \times 7 - 400 = 930$ （万元）

状态节点6： $1.0 \times 80 \times 7 = 560$ （万元）

比较决策点4的情况可以看到，由于状态节点5（930万元）与状态节点6（560万元）相比，状态节点5的期望利润值较大，因此应采用扩建的方案，而舍弃不扩建的方案。把状态节点5的930万元移到状态节点4来，可计算出状态节点3的期望利润值。

状态节点3： $0.7 \times 80 \times 3 + 0.7 \times 930 + 0.3 \times 60 \times (3+7) - 280 = 719$ （万元）

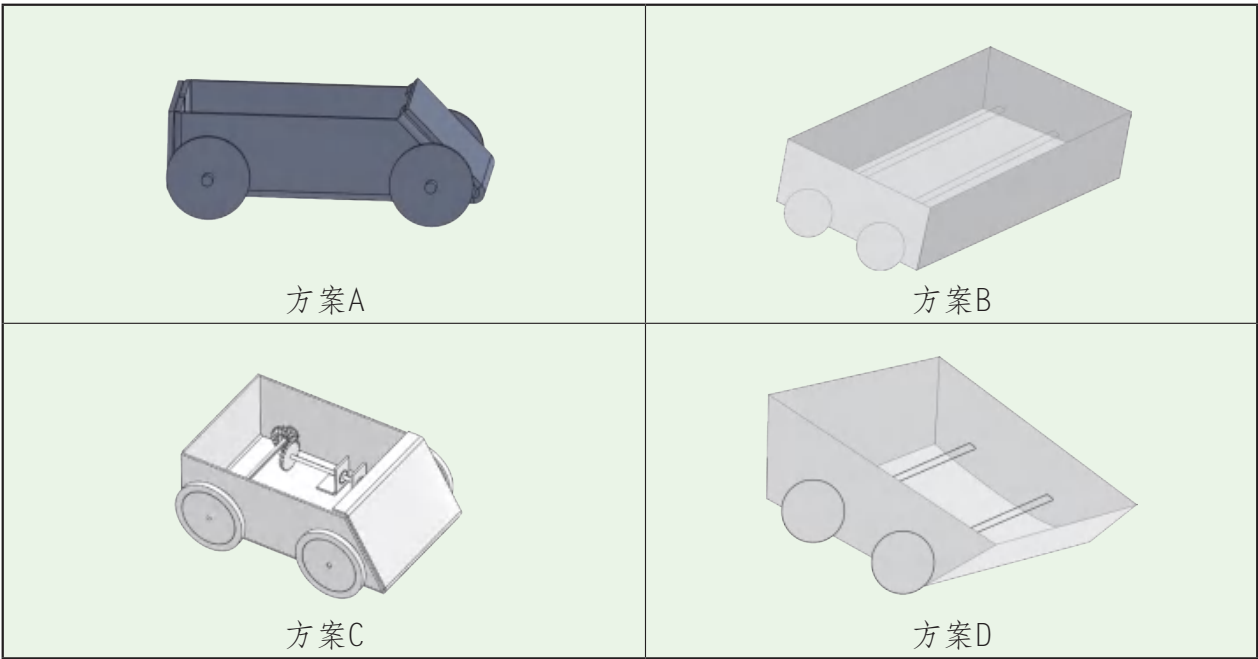
最后比较决策点1的情况。由于状态节点3（719万元）与状态节点2（680万元）相比，状态节点3的期望利润值较大，因此取状态节点3而舍状态节点2。这样，相比之下，建设大型工厂的方案不是最优方案，合理的策略应采用前3年建小型工厂，如销路好，后7年进行扩建的方案。

的右端。

立即行动

“无碳小车”项目的工程决策。

1. 利用决策树的分析策略，画出下列4个“无碳小车”方案的“决策树”。



决策树应该是：

2. 讨论“无碳小车”升级为“轨道无碳小车”后可以产生的方案，并利用层次分析法和决策树法分别对其方案进行决策评价（图4-5）。

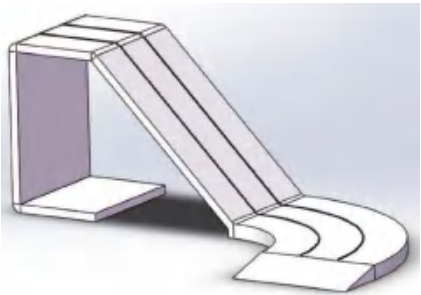


图4-5 “轨道无碳小车”



第二节 工程管理

学习目标

- 工程管理主要包括时间管理、质量管理和成本评估。
- 理解全面质量管理，了解质量控制和改进。
- 用甘特图、关键路径法进行规划和管理。
- 运用成本估算方法进行成本估算。

一、工程设计过程中的项目管理

工程设计过程中的项目管理就是在时间、成本、质量有限的资源约束下，运用系统的观点、方法和理论，对项目涉及全部工作进行有效地管理。即从项目的投资决策开始到项目结束的全过程，进行计划、组织、指挥、协调、控制和评价，以实现项目的目标。

工程管理是一门应用性和综合性很强的学科，它与工程技术、经济学、管理学、系统工程等学科都有密切联系。其核心内容可以概括为“三控制、二管理、一协调”。

其中，“三控制”是指进度控制、质量控制、成本控制。由于工程建设具有单一性和一次性的特点，所以要在时间、质量、成本的有限约束条件内完成工程项目，是工程管理的重点。“二管理”是指合同管理和信息管理。“一协调”是指组织协调。

在工程管理中，运用系统工程的观点、理论和方法尤为重要。

二、质量与全面质量管理

1. 全面质量管理。

根据ISO9000：2000的定义，质量是指一组固有特性满足要求的程度。这个含义揭示质量存在于各个领域的任何事物中，它由一组固有特性组成，应明确需求并履行。

根据ISO9000：1994的定义，全面质量管理是指一个组织以质量为中心，以全员参加为基础，目的在于通过让顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。

在这个定义中包含以下基本要求。

- (1) 全员的质量管理。
- (2) 全过程的质量管理。
- (3) 全企业的质量管理。
- (4) 多方法的质量管理。

2. 质量控制。

质量控制是指为达到质量要求所采取的作业技术和活动（图4-6）。

这就是说，质量控制是为了通过监控质量形成过程，消除质量环上所有阶段引起不合格或不满意效果的因素，以达到质量要求，获取经济效益，而采用的各种质量作业技术和活动。

在国际上，质量控制对象根据它们的重要程度和监督控制要求不同，可以设置“见证点”或“停止点”。“见证点”和“停止点”都是质量控制点。

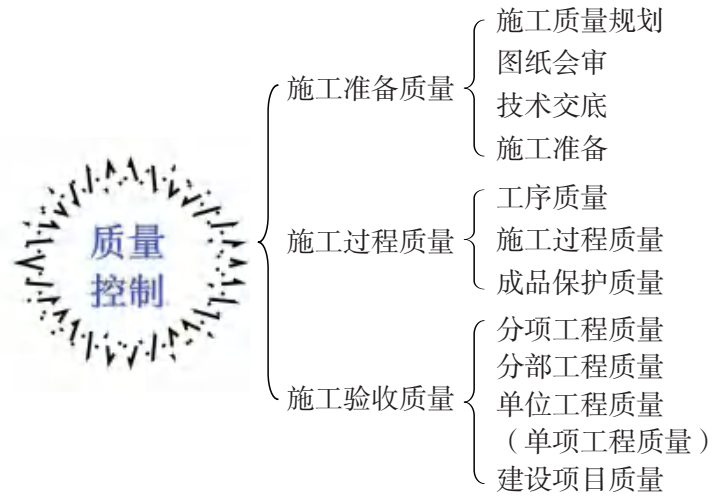


图4-6 质量控制

三、时间管理

时间管理是指通过事先规划和运用一定的技巧、方法与工具实现对时间的灵活有效运用，从而实现个人或组织的既定目标。

在工程设计过程中往往会受到整个流程的时间限制。这就要求设计工程师运用一定的方法、手段来合理安排时间，下面介绍两种有用的方法。

1. 甘特图。

甘特图是在1917年由亨利·甘特开发的，其内在思想简单，基本呈现是一个线条图，横轴表示时间，纵轴表示活动（项目），线条表示在整个期间里的计划和实际的活动完成情况。它直观地表明任务计划在什么时候进行及实际进展与计划要求的对比。

甘特图能呈现以下的信息含义。

- （1）将项目中所有事件或时间节点排序列表。
- （2）估计完成每个项目所需的时间。
- （3）列出每个项目开始和结束的时间。
- （4）用条形图表示这些信息。

例如，用甘特图来表示某工程进度状况（图4-7）。

甘特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。主要包括以下的步骤：

- （1）明确项目涉及的各项活动、项目。内容包括项目名称（包括顺序）、开始时间、工期，任务类型（依赖/决定性）和依赖于哪一项任务。
- （2）创建甘特图草图。将所有的项目按照开始时间、工期标注到甘特图上。
- （3）确定项目活动依赖关系及时序进度。使用草图，按照项目的类型将项目联系起

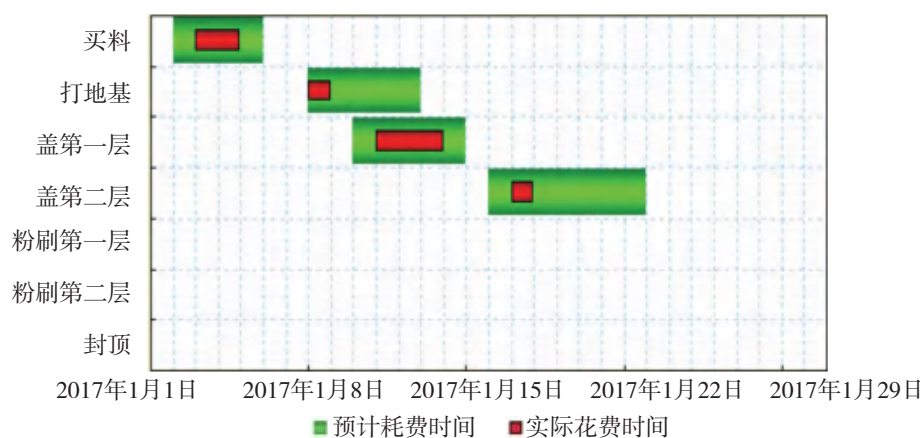


图4-7 工程进度状况

来，并安排项目进度。

- (4) 计算单项活动任务的工时量。
- (5) 确定活动任务的执行人员及适时按需调整工时。
- (6) 计算整个项目时间。

项目驱动 >

请根据本书第二章中讨论的“无碳小车”工程项目预计设计时间及在第三章进行“无碳小车”工程项目的过程中实际使用时间长度，利用Excel绘制出“无碳小车”工程项目的甘特图。

2. 关键路径法。

关键路径法 (critical path method, CPM) 是一种基于数学计算的项目计划管理方法，是网络图计划方法的一种，属于肯定型网络图。关键路径法将项目分解成为多个独立的活 动并确定每个活动的工期，然后用逻辑关系（结束—开始、结束—结束、开始—开始和开始—结束）将活动连接，从而能够计算项目的工期、各个活动时间特点（最早和最晚时间、时差）等。

关键路径法最早出现于20世纪50年代，由雷明顿兰德公司的克里和杜邦公司的沃尔克在1957年提出的，用于对化工工厂的维护项目进行日程安排。在当时出现了许多庞大而复杂的科研和工程项目，这些项目常常需要运用大量的人力、物力和财力，因此如何合理而有效地对这些项目进行组织，在有限资源下和在最短的时间、最低的成本费用下完成整个项目就成为一个突出的问题，CPM因此应运而生了。

案例

图4-8中的每一个英文字母表示一项工作的名称，名称下面是该工作总花费时间和参与人数，箭头线表示工作的先后顺序，当只考虑时间影响因素时，红色箭头线经过的工作用时最多，所以该红色箭头线途经（称关键线路）的工作就称关键工程，这种以图4-8所示形式来表达工程管理进程的方法就是关键路径法。

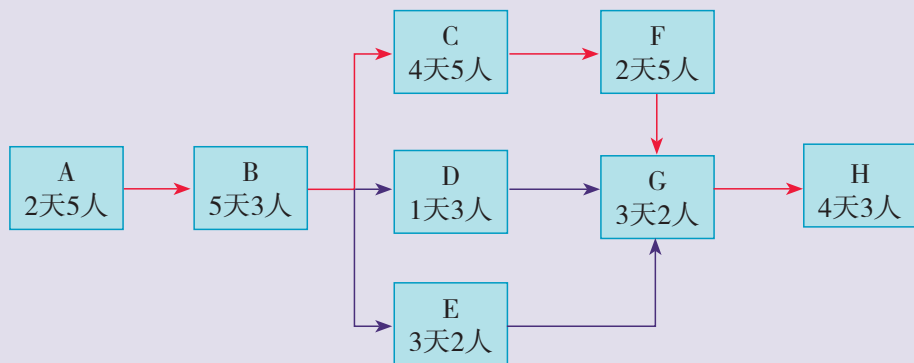


图4-8 关键路径法示例

四、成本估算

1. 成本估算的内容。

成本估算也称项目成本控制工作，它是一项综合管理工作。具体来看，它是在项目实施过程中尽量使项目实际发生的成本控制在项目预算范围之内的一项项目管理工作。项目成本控制包括对各种能够引起项目成本变化因素的控制（事前控制）、项目实施过程的成本控制（事中控制）和项目实际成本变动的控制（事后控制）3个方面。

在设计初期能尽早给出粗略的成本估算固然重要，但进入具体设计后，要尽快对成本评估进行改进，才能确定最终的成本评估。只有在具体设计阶段，才能更加明确产品的材料、生产过程、准确的尺寸和公差，所以需要不断优化以实现成本估算的修正。

在工程施行过程中，成本分为固定成本和可变成本两大类。

固定成本包括：投资成本（如资产折旧、财产税、保险费用等）、营业成本（如服务人员服务费用、物资供应、设备租金等）、管理支出（公司主管人员费用、法律人员费用、研发人员费用等）和销售支出（如销售人员费用、运输库存成本等）。

可变成本包括：原料成本、直接劳动成本、保养成本、能源和用具成本、质量控制人员费用、专利技术特许使用资金、包装和存储成本、残废品损失。

2. 成本估算的方法。

常用的成本估算方法有以下几种。

（1）类比估算法。类比估算法又称“类推法”，这是一种在项目成本估算精确度要求不是很高的情况下使用的项目成本估算方法。这种方法也被叫作自上而下法，是一种通过比照已完成的类似项目的实际成本，去估算出新项目成本的方法。因此这种方法需要有经验累积或公开的成本数据。

（2）参数估计法。参数估计法又称统计估算法，这是利用项目特性参数去建立数学模型来估算项目成本的方法。例如，民用装修项目使用每平方米单价。

（3）标准定额法。标准定额法是依据国家或地方主管部门，或者项目成本管理咨询机构编制的标准定额估算项目成本的方法。

（4）工料清单法。工料清单法也叫自下而上法，这种方法首先要给出项目的工序及每个工序所用的人工、物料清单，然后再对各项物料和工作的成本进行估算，最后向上滚动累加得到项目总成本的方法。

工料清单法是将各种成本参数名称及数量综合反映在一张表格中进行比较分析的方法。是进行成本控制最常用的方法之一。如表4-5所示为真实工程案例表格法分析成本。

表4-5 工程案例

项目编码	计算方法	041	042	043
项目名称		木门窗安装	钢门窗安装	铝合金门窗安装
单位				
计划单位成本				
拟完成工程量				
拟完成工程计划 施工成本	$(5) \times (4)$	30	30	40
已完成工程量				
已完成工程计划 施工成本	$(7) \times (4)$	30	40	40
实际单位成本				
已完成工程实际 施工成本	$(7) \times (9)$	30	50	50
施工成本局部偏差	$(8) - (10)$	0	-10	-10
施工成本局部偏差程度	$(8) \div (10)$	1	0.8	0.8
施工成本累计偏差	$\Sigma (11)$			

续表

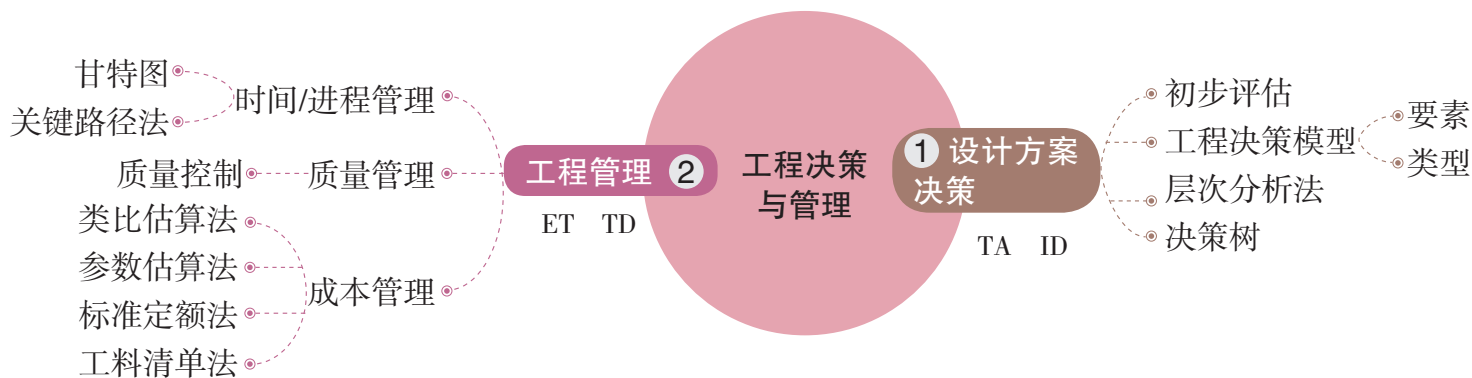
项目编码	计算方法	041	042	043
施工成本累计偏差程度	$\Sigma (10) \div \Sigma (8)$			
进度局部偏差	$(8) - (6)$	0	10	0
进度局部偏差程度	$(8) \div (6)$	1	1.33	1
进度累计偏差	$\Sigma (15)$			
进度累计偏差程度	$\Sigma (6) \div \Sigma (8)$			

讨论与分析

分析班级春游活动：经费、路程、时间等安排。分3~5人一组，进行小组分析讨论。

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA——技术意识，ID——创新设计，ET——工程思维，CM——物化能力，TD——图样表达

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能参与社会相关技术发展与应用的讨论与决策			
能运用趋势分析等评估技巧，对技术的发展作出判断			
在进行技术方案设计时，能运用模拟试验和数学模型来考虑影响因素			
能对设计方案进行决策分析			
能对某一技术方案进行性能评估和风险评估			
能依据设计需求制定多个方案并进行比较权衡			
能使用设计文件、日志等记录设计的创意、过程和结果			
说明：A——优秀；B——良好；C——合格；D——待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



批准文号：粤发改价格〔2017〕434号 举报电话：12315



定价：7.36元



致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211 大学生 1对1 上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单
家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦



扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保



与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能



微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000-711-365

YOUJ 优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中