

通用技术

选择性必修3
工程设计基础

普通
高中
教科
书



普通高中教科书

通用技术

选择性必修3
工程设计基础

TONG YONG JI SHU

通用技术

选择性必修3

工程设计基础

地质出版社



批准文号：京发改规〔2016〕13号 举报电话：12315



地质出版社

普通高中教科书

通用技术

选择性必修 3

GONGCHENG SHEJI JICHU
工程 设计 基础

通用技术编写组 编

地质出版社

· 北 京 ·

主 编：陈玲玲 王永奉
副 主 编：王明彦
本册主编：李 晶 谢小川
编 写 者：李 晶 郑世杰 岳 娟

普通高中教科书 通用技术 选择性必修 3
工程设计基础

策划编辑：王永奉
责任编辑：李书伟 刘振山
责任校对：关风云
出版发行：地质出版社
咨询电话：(010) 66554599, (010) 66554602
网 址：<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱：huqingcui@163.com；dzhjyfsh@163.com
传 真：(010) 66554601
社址邮编：北京市海淀区学院路31号，100083
经 销：各地新华书店
印 刷：山西华文科杰印业有限公司
开 本：890mm×1240mm 1/16
印 张：5.75
版 次：2020年2月第1版·2021年7月第3次印刷
定 价：6.90元
书 号：ISBN 978-7-116-11983-3

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社出版处负责调换)

致同学们

大家生活在创新发展的时代，在实现“两个一百年”奋斗目标的伟大进程中，我国工程科技正面临着换道超车、跨越发展的历史性机遇。青少年要树雄心，立大志，为实现中华民族伟大复兴的中国梦作出新的更大的贡献！

从今天开始，你们将进入一个为工程科技跨越发展奠定基础的学习领域——《工程设计基础》。

《工程设计基础》课程的内容非常丰富。它融合了科学、技术、人文、艺术、管理、数学等多个学科的知识。同学们将在本课程的学习中，初步学会运用这些知识解决工程设计问题。

《工程设计基础》的学习方法是多样的。同学们可以通过“伟大工程巡礼”等系列片体验工程的魅力，加深对技术文化的理解，增强大家的爱国情怀；也可以自己选择某个项目进行专题研究，扮演角色模拟工程设计；还可以进行广泛的社会调查，学习收集信息和整理信息，站在用户、设计方、施工方和社会民众的立场，权衡利弊，锻炼决策能力，形成系统思维。

在学习中，我们将解决以下问题：工程对现代社会有哪些重要价值？如何分析客户需求，体现工程要素？工程团队在工程设计中发挥着怎样的作用？工程设计是怎样的过程？在这个过程中需要学习和运用哪些现代工程设计思想和典型方法？如何运用计算机进行建模和仿真？如何进行工程管理？

对于今后有志于学习工程科学的同学，《工程设计基础》将成为你们通向更高一级学习的桥梁。

同学们将带着关于工程设计的诸多问题，一起踏上探索之路。在奋勇攀登的过程中收获知识，形成工程思维，养成坚毅的品格和实事求是的精神，更重要的是体味攀登过程中团结合作、克服困难取得成功的喜悦。

目 录

第一章 走进工程设计	1
第一节 初识工程	2
一、工程的内涵	2
二、工程的演进	4
三、工程的特性	6
四、感受工程的魅力	8
第二节 工程设计	9
一、工程设计的含义	9
二、工程设计要素	11
三、工程设计团队	13
第三节 工程设计的一般过程	15
一、概念设计	15
二、实体设计	17
三、详细设计	17
第二章 概念设计	19
第一节 初始概念设计	20
一、需求识别与问题定义	20
二、信息收集	23
三、概念生成	23
第二节 概念评价与决策	29
一、决策矩阵	30
二、决策模型	30
三、决策树	31
第三章 实体设计与详细设计	36
第一节 实体设计	37
一、实体设计的基本过程	37

二、实体原型实现	47
第二节 详细设计	48
一、详细设计的活动和决策	48
二、设计与制造信息交流	49
第四章 工程设计建模与局部仿真	53
第一节 初识工程建模	54
一、建模的含义和意义	54
二、建模的类型	55
第二节 计算机建模与详细设计	58
一、计算机建模任务	58
二、识读和绘制简单的工程样图	59
第三节 局部仿真与测试	65
一、计算机仿真技术与仿真工具	65
二、工程测试与详细设计说明书编制	66
第五章 工程管理	69
第一节 成本管理	70
一、成本管理的过程	70
二、运用WBS法估算成本	70
第二节 时间管理	74
一、工程进度计划	74
二、甘特图	74
三、关键路径法	76
第三节 质量管理	80
一、全面质量管理	80
二、质量管理的方法	81

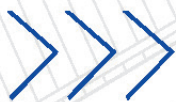
第一章 走进工程设计

从“中国制造”到“中国创造”，再到“中国智造”，离不开创新驱动的转型发展。实现创新的根本途径在于设计。工程设计是工程的核心，是创造性思维的集中体现。学习工程设计的思想和方法，有助于培养综合运用知识和技能解决实际问题的能力，强化技术意识，培养工程思维，为今后学习各类工程科学知识奠定基础。

在这一章里，我们将了解工程的发展历史，感受工程的魅力，理解工程的特性和丰富的文化内涵，了解工程设计的一般过程。

那么，工程与工程设计的内涵是什么？它们有着怎样的发展过程？工程设计有哪些要素？如何在设计中体现创新？从事工程设计的团队应该具备怎样的素质……

关于工程设计的问题，期待着同学们去探索。



第一节 初识工程

工程对现代社会发展具有重要价值，有着丰富的文化内涵。工程设计是工程的核心，是多种工程思维方法的体现，这些都集中表现于设计要素和从事设计的人——工程设计团队。我们将通过对典型工程案例的分析，形成对上述问题的理解。

一、工程的内涵

（一）工程与科学、技术的区别与联系

工程是指人类为达到某一目标而创造和构建人工实在物的一种有组织的社会实践活动过程及其结果（图 1-1），如建设工厂、修建铁路、开发新产品等。它与科学、技术有着密切的联系，也存在着显著的区别。

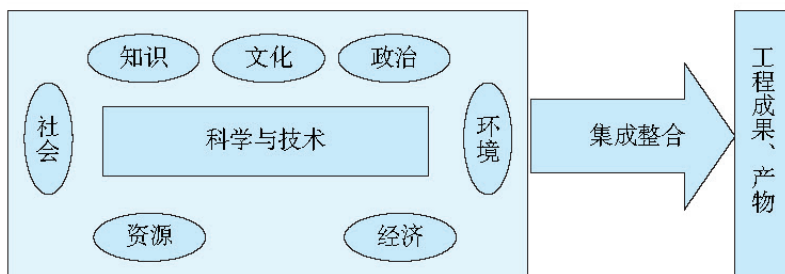


图1-1 工程的本质内涵

讨论交流

工程与科学、技术的区别与联系

工程与科学、技术有何不同？区别在哪里？它们又有什么联系？

提示：

（1）可以从研究目的、对象、手段与方法、成果形式、从事研究的主体等方面分析三者的区别。

（2）用历史发展的眼光、辩证的思维方法，把三者放在社会环境中思考，指出三者之间的联系。



（二）工程是一种集成体

工程的本质可以理解为技术要素和非技术要素的集成。

工程要素是技术要素和非技术要素的统一体。其中技术要素构成了工程的基本内涵，如工程设计的原理，产品框架，配置设计（如材料和工艺的选择、零件的尺寸等）。非技术要素构成了工程的边界条件，如大型机场的地理位置等。工程进步既取决于技术要素本身的状况和性质，也取决于一定历史时期的社会、经济、文化和政治状况。

阅读材料

北京大兴国际机场建设工程

北京大兴国际机场（图1-2），是国家的重点工程，总投资约800亿元。占地总面积大约相当于63个天安门广场，其中航站楼面积约140万 m^2 ，机场预留控制用地按照终端（2050年）年客流吞吐量1.3亿人次，飞机起降量103万架次，9条跑道规模设计。下穿高铁，上落飞机，是目前世界上最大的交通枢纽工程。



图1-2 北京大兴国际机场

航站楼采取五指廊构型、双层出发工艺设计，中转效率位于世界前列；同时借鉴国际机场的先进经验，将轨道站台与空间结合形成了立体换乘，无缝衔接。新机场内部设计美轮美奂，如同“星际空间站”。

北京大兴国际机场建设工程是推进京津冀协同发展，引领中国经济新常态，打造中国经济升级版的重要基础设施。北京大兴国际机场于2019年9月25日正式投入运营。



讨论交流

分析北京大兴国际机场的技术要素与非技术要素。



（三）工程的分类

工程主要是依据数学、物理、化学以及由此产生的材料科学、固体力学、流体力学、热力学、输运过程和系统分析等形成的，如土木工程、计算机与系统工程、电气工程与电子工程、环境工程、基因工程、材料工程、机械工程、机电一体化、医学与生物医学工程等。

每类工程又可以分为不同的分支，如材料工程可以分为陶瓷与纳米等材料的研究、设计、开发及使用，陶瓷工程和纺织工程等。

随着知识的发展和学科的分化、合并，以及新兴学科的产生，又出现了许多新的工程。例如，信息工程是建立在超大规模集成电路技术和现代计算机技术基础上，以研究信息系统和控制系统应用为核心的工程。新的工程分支的出现，通常以新的院系、行业、工程组织，甚至形成新的部门为标志。

讨论交流

小组成员交流自己的志向，并找出同学们最感兴趣的一类工程，通过查阅资料、观看视频或组织专访、研学，深入研究和理解该工程。将研修结果在全班进行交流、分享。

提示：如前面课程中学习过的都江堰水利工程；也可以观看视频“伟大工程巡礼”等，拓宽视野，激发兴趣。



二、工程的演进

讨论交流

请同学们就感兴趣的某一工程的历史发展情况进行讨论，理解工程为什么发展、怎样发展、对人类有什么样的价值。

提示：如闪烁着人类智慧与发明光辉的中国铁路机车的发展（图 1-3）。



①中国现存最早的机车“0号”蒸汽机车



②解放型蒸汽机车



③东方红3型内燃机车



④“中华之星”电动车组



⑤“复兴号”中国标准动车组

图1-3 中国铁路机车的发展

工程起源于人类生存的需要和人类对器物的需要，有漫长的发展历史。人类自出现以来所进行的采集、狩猎活动，以及在之后的播种、饲养动物等生产活动中，都一直进行着工程活动，如建房、修路、挖渠等。工程的发展是连续性和阶段性统一的过程。根据工程的规模、复杂性及工程技术中的知识含量，工程的发展可以分为古代工程、近代工程和现代工程三个既有联系又有区别的阶段。

不同历史阶段的工程，在理念、共同体组成、技术集成方式、资源利用方式、运行方式和管理方式等方面有各自的特征。

讨论交流

就中国铁路机车的发展历程，讨论其不同发展阶段，在理念、技术集成方式、资源利用方式、运行方式等方面的特征。



三、工程的特性

阅读材料

长江三峡水利枢纽工程特性分析

提高了长江中下游的防洪能力，社会效益巨大。

装机容量达到2250万kW，缓解了华东地区用电紧张的局面，对全国电网贡献巨大。

将重庆以下的长江航道加深、加宽，极大地提高了航运能力。

是世界第一大坝，其重力坝的坝基与河床、两岸地质结构紧密固在一起。其结构的牢固程度在世界上首屈一指。

输出强大清洁的水电能源，减少化石能源的消耗，从而极大地减少了环境污染。



为南水北调中线二期工程提供水源，提高了长江中下游枯水期的水位。

社会问题、伦理问题的解决：在工程总投资中，用于移民安置的经费占到了45%。

对当地地质环境的影响，对气候的影响。工程本身的技术风险。

三峡周边在古代是巴楚文化交汇地。对其中的全国重点文物保护单位和其他重要古建筑文物设立专案、拨给专款，予以保护。

以洪水资源化、水库优化调度、供水效益拓展为主攻方向。

图1-4 长江三峡水利枢纽工程特性分析示意图



技术实践

(1) 请同学们认真阅读“长江三峡水利枢纽工程特性分析示意图”(图1-4)，并结合“北京大兴国际机场建设工程”“中国铁路机车的发展”，归纳工程的特性。

(2) 查阅3~4个国外著名的工程设计，并与我国的著名工程设计比较，揭示其共同特性。

(3) 利用图 1-5 阐释工程的主要特性，并在全班交流。

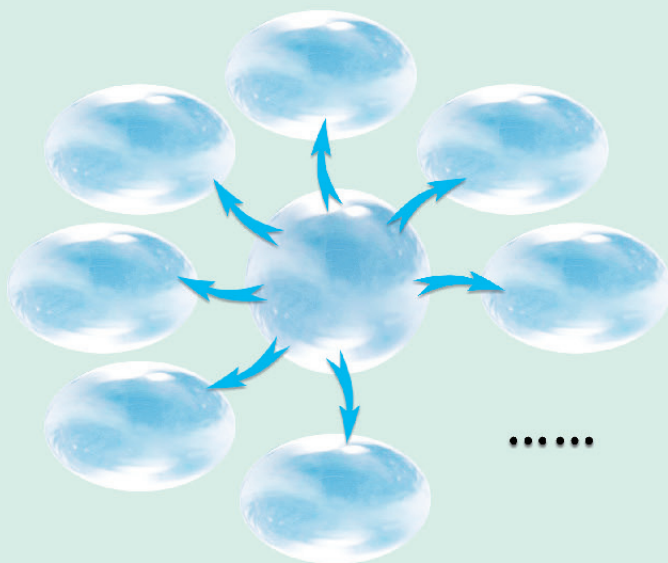


图1-5 工程的特性示意图



特性是指某事物所特有的性质，是区别于其他事物的显著特点。工程的特性包括社会性、综合性、集成性、创造性、科学性和经验性、伦理约束性、效益性和风险性等。

(1) 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；工程的活动过程，受到社会政治、经济、文化的制约。

(2) 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是综合的。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。

(3) 工程的集成性。工程是通过将各种科学知识、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。工程过程一般都集成了多种复杂的异质要素并实现工程构建。

(4) 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，科学与技术结合并应用于生产实际中，从而创造出社会和经济效益。

(5) 工程的科学性和经验性。遵循科学规律是工程得以顺利实施的重要前提；同时，为了使工程达到预期效果，要求工程设计和实施人员必须具有丰富的相关领域的实践经验。

(6) 工程的伦理约束性。工程的最终目的是造福人类，工程在应用过程中必须受到道德的约束和监督。公众舆论会影响到工程各个方面的决策。争取社会公众对工程建设的监督与支持，是当代工程活动的一个重要环节。

(7) 工程的效益性和风险性。工程一方面都有明确的效益目标，表现为经济效益、社

会效益和生态环境效益;另一方面,效益总是伴随着风险,包括资金、扰民、生态环境改变、劳动安全、能耗等风险。

四、感受工程的魅力

故宫、万里长城和京杭大运河是璀璨的中华文明的代表性工程,同时也是工程设计的典范。鉴赏这些伟大工程,要挖掘其独特的设计理念,独特的风格和作用,对资源的巧妙利用和技术创新,艺术品位与环境的交融。同学们还可以查阅许多成为我国形象符号的著名工程,例如,2008年奥运会火炬设计工程(图1-6)。



图1-6 祥云火炬概况

阅读材料

祥云火炬

脚踏祥云,火炬手“夸父追日”点燃主火炬,点亮了鸟巢,点沸了全世界!北京夏季奥运会在亿万观众的欢呼声中开幕。

祥云火炬不但以其形式美、工艺美、材质美享誉世界,其蕴含的绿色设计、人文情怀、团队品格等更是设计的典范。

祥云火炬从设计、制作到产生巨大影响，是一项复杂的工程，了解它、欣赏它，可以陶冶情操，形成文化自信，激发文化传承的热情。



技术实践

感受祥云火炬工程的魅力

请小组开展一次关于祥云火炬的调查活动，要求完成一项调查报告。

提示：

- (1) 了解祥云火炬的设计过程、设计团队。
- (2) 了解祥云火炬所用的材料及最终展现的性能。
- (3) 赏析祥云火炬独特的设计理念；独特的风格或作用；对资源的巧妙利用和技术创新；艺术品位；等等。
- (4) 思考我们能为 2022 年冬季奥运会做些什么。



第二节 工程设计

工程设计是工程中最核心的部分。理解工程设计的内涵和工程设计的主要要素是学习工程设计的基础。工程设计是团队智慧的结晶，团队作用的发挥在工程设计中至关重要。

一、工程设计的含义

明代永乐大钟的设计

永乐大钟（图 1-7），是我国现存最大的青铜钟，铸造于明永乐年间，质量 40 多吨。当时熔炉高仅 3.6 m，而容量也只有 1t，那么这个闻名于世的大钟又是怎样铸造出来的呢？

据考证，它采用了“群炉汇铸”的系统工艺。工匠们在铸件周围围起几十座熔炉，使其总容量与铸件的质量相等。群炉位高，铸型位低，各炉均以辐射状通向铸型。安排好以后，各炉同时起火冶炼，炼成的金属液一起汇入铸型，几十吨的大钟，一次铸成。

我国明代的永乐大钟，是一个结构极佳的合金系统。经化验分析得知，合金比例为：铜 80.54%，锡 16.40%，铅 1.12%，其他金属少量。这口钟的结构被公认为属于最佳比例结构，所以它的音质悦耳，悠扬感人，音响更是醇厚绵长，圆润洪亮，而且节奏明快，穿透力强，钟声可达百里之遙。这比例还使它具备了耐敲击的特性，500 余年仍具魅力。



图1-7 明代永乐大钟

明代永乐大钟这项经典工程设计告诉我们，工程设计首先要确定问题，弄清问题的结构。解决一个看似复杂的问题的基本思路是将其分解为可控的子过程。如整体浇铸是不可能的，将其分解为众多的熔炉，以环状辐射铸型，问题就解决了。

最终如何铸成整体是一个求解的过程。经过问题的定义、信息的收集、备选方案的生成、方案的评价与决策，确定工程实施方案——起火冶炼，炼成的金属液一起汇入铸型，几十吨的大钟，一次铸成。

永乐大钟这项经典工程设计告诉我们，对于任何一项工程技术，都要有一个全局的、系统的观点；每项技术都要关注内部环节的有机联系，以便进行合理部署，即树立有序联系的观点；一切工程乃至一切系统工程，都包含了整体最优化的原则，这也是评定工程和工作效率的主要尺度。

复杂的工程设计不是一次完成的。设计团队要评估是否满足了上一个层次的要求，如果满足了，就可以进行下一个步骤，如果评估中发现了缺陷，就必须重复设计操作。第一次设计的信息作为问题，一起反馈到下一次设计中，这就是迭代。一个复杂的设计，可以被分解成一系列子设计的过程，每一个子设计过程的输出都要评估，而且每一个评估通常要反复进行试验和迭代。所以设计者必须有韧性和决心。

技术实践

结合 2008 年奥运会祥云火炬工程设计和明代永乐大钟工程设计等实例，写出你对工程设计的认识。



工程设计是根据工程的要求，对工程所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证，编制工程设计文件的活动。工程设计的首要任务是建立或者确立以前尚未解决的问题的结构。好的设计既需要分解，也需要综合。求解复杂问题的典型做法，是将问题分解成可控的子部分来求解。求解问题要经过问题定义、信息收集、备选方案生成、方案评价与决策等过程。

二、工程设计要素

“水立方”（国家游泳中心）工程设计

“水立方”主要由比赛厅、多功能馆和戏水乐园三大部分组成，2008年奥运会期间，承担游泳、跳水、花样游泳、水球等比赛，可容纳观众17 000人，其中永久观众座席为6 000座（图1-8，图1-9）。



图1-8 “水立方”（国家游泳中心）外观

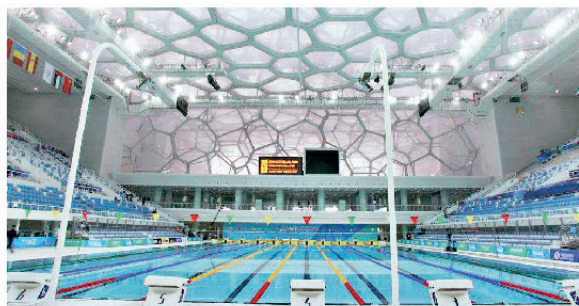


图1-9 “水立方”（国家游泳中心）内部

“水立方”的外墙体和屋面围护结构采用新型钢膜结构体系，该钢膜结构体系由一系列类似于细胞、水晶体的钢框架单元和ETFE（聚乙烯-四氟乙烯共聚物）充气薄膜共同组成。

单块膜结构气枕最大质量达到了50 kg，膜结构的抗压性极强，它不仅环保节能，还具有自洁功能。

施工方还专门设计了雨水回收系统，一年回收的雨量达1万吨左右，相当于100户居民一年的用水量。

游泳池的深度达到13 m，水温要控制在28℃。“水立方”采用了全封闭式的设计。膜结构气枕像一层皮肤一样包住了整个建筑，与玻璃相比，它可以透进更多的阳光，从而让泳池保持恒温，能节电30%。

“水立方”周围设计了4 m宽的“护城河”，除了表演水景之外，还有物理屏障的作用，使人们不能直接触摸它。

“水立方”用料最多的是水泥、钢材、化纤类石棉等极为普通的建材。观众看台和室内建筑物为钢筋混凝土结构。设计基准期为50年，设计使用年限为100年。

奥运会结束后，“水立方”转型为以旅游、演出以及大型文化体育赛事等为一体的多功能产业基地。2022年冬奥会期间，“水立方”将转换成“冰立方”作为冰壶项目的比赛场馆。根据改造方案，“水立方”将成为世界上首个泳池上架设冰壶赛道的场馆。这种转换模式不仅能实现“水立方”与“冰立方”的互换，实现转换材料重复利用，大幅降低后期拆除改造成本，还能使北京2008年奥运遗产在新时代焕发出新的活力。

工程设计的要素包括性能需求、生命周期、质量控制、环境关系、制造能力、维护、工效学、法律法规与社会问题等。

第一是性能，包括可靠性、易用性、经济性、维护的安全性和持续发展等。

第二是装配，装配包含了制造能力、维护、工效学等方面的考虑。设计大型游泳中心，要充分考虑每个部件的联系，如外膜与钢骨架的联系。因为计算机提供了基于有限元分析技术的强大分析工具，使得我们可以对复杂的几何体及其承载的情况，进行压力、温度和其他领域变量的计算，也就是计算机辅助工程设计。

第三是环境关系，例如，国家游泳中心的工作环境、温度、湿度、腐蚀条件、灰尘、振动噪声等，都必须进行测试，在设计中给予满足。同时还要考虑如何使其能够保持安全和清洁，即绿色设计。

第四是成本，包括研发成本、生产成本、生命周期成本以及工具成本和投资回报等。

第五是工效学，即运用生理学、心理学、卫生学、人体测量研究人体机能、能量消耗、疲劳程度等，如运动员和观众的感受。设计师同时也是艺术家，外形设计的决策也是概念设计的一部分。利用生物力学、工效学和工程心理学，使设计从视觉、听觉等方面，令人感到非常舒适。

第六应遵从法律法规，例如，各种标准必须遵循，知识产权应受到保护，周围住户的搬迁和安置要依法进行等。

阅读材料

工程设计标准

设计的标准是非常重要的。设计标准可以分为三类：性能、测试方法和技术规范。很多产品都已经发布了性能标准，比如座椅安全带、保险杠等。有些工程也公布了用于测试性能的方法。有些公司也经常为自己制定自用的标准，涉及尺寸、公差、外形制造工艺和表面精饰等要求。另一类重要的标准是由政府制定的规格标准。工程师在设计中必须掌握这些标准并遵照执行。



讨论交流

每个小组选取一项共同感兴趣的工程，尝试分析工程设计的要素是如何在设计中体现的。各小组形成演讲的 PPT，便于交流。



三、工程设计团队

青藏铁路风火山隧道工程与设计团队

风火山隧道位于青藏高原腹地，可可西里无人区“生命的禁区”边缘。隧道全长1 338 m，进口轨面海拔4 905 m。隧道洞身全部位于冻土、冻岩中，地质岩层复杂，集冰冻土、富冰冻土、裂隙冰、泥砂岩等恶劣地质条件于一体，是世界上海拔最高、穿越冻土里程最长的铁路隧道（图1-10）。



图1-10 风火山隧道

工程场地平均海拔4 900 m，年平均气温 -7°C ，冬季最低气温达 -40°C ，空气中氧气的含量只有内地的50%。



图1-11 技术人员在分析地质情况

为了攻克高原冻土施工难题，青藏铁路建设总指挥部成立了由建设、设计、施工、监理等为成员单位的科技攻关领导小组。中铁二十局指挥部成立了以指挥长为组长的攻关小组，与铁道科学研究院、中国科学院冻土研究所、西南交通大学等单位联合攻关，先后在高原冻土隧道设计和施工中，研制、使用了适应冻土隧道施工的低温早强混凝土，采用了防水、保温等新技术和新工艺，攻克了浅埋冻土隧道进洞、冰岩光爆等技术难关，掌握了高原冻土路基和隧道施工的有效办法（图1-11）。

讨论交流

查阅资料，并结合上述案例展开讨论。

- (1) 青藏铁路风火山隧道工程设计团队应该由哪几个分团队组成？
- (2) 分团队中各自应该有哪些角色，分别承担着什么任务？
- (3) 分团队之间具有怎样的协作关系？



（一）工程设计团队的组成与职业要求

工程设计团队主要由工程师、工程技术专家和工程技术人员组成。

工程师的主要工作是将通用的工程知识与专业的工程知识结合运用，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；在技术、商业管理方面发挥领导作用；负责与工程流程、系统、设备、基础设施等相关的高风险管理

工作；进行谨慎的思考、判断等智力活动。例如，在青藏铁路风火山隧道工程中，根据科研人员的研究成果，解决冻土施工、高原恶劣气候条件下的施工等问题。

工程技术专家主要的工作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。例如，在青藏铁路风火山隧道施工中突破工程难点、操作和维护工程设备。

工程技术人员主要是将成熟的技术与流程用于解决实际的工程问题，执行操作规范，保证施工质量。

（二）工程设计团队成员的基本素质要求

工程设计是一项真正的“团体运动”。例如，青藏铁路风火山隧道工程需要地质、水文、冻土、气候、环境、隧道工程、信息技术、通信、环境、后勤保障、医疗等上百个团队合作才能完成。团队中的每个成员都需要具有团队精神，即大局意识、协作精神和服务精神。团队精神的核心是协同合作，最高境界是全体成员的向心力、凝聚力，反映的是个体利益和整体利益的统一。

设计团队素质集中体现在以下三个方面：

1. 思想素质

思想素质主要表现为科学态度、服务意识、敬业精神、创新精神和协作精神。

2. 技术水平

工程师和技术人员要了解本专业的国内外现状和发展趋势，具有独立承担较复杂项目的研究、设计工作能力，能解决本专业范围内比较复杂的技术问题。采用国内外先进技术，在提高研究、设计水平和经济效益方面取得一定的成绩。

3. 工作能力

工作能力体现为业务工作能力、事务处理能力、表达能力等诸多方面。

阅读材料

高效团队的特征

- (1) 团队目标与个体目标同等重要。
- (2) 团队成员理解目标并致力于实现目标。
- (3) 团队成员相互信任，并乐于承担责任。
- (4) 团队成员普遍拥有尊重、协作和开放的精神。
- (5) 团队成员乐于交流沟通，多样化的观点得到鼓励。
- (6) 团队决议是通过成员的共识达成的，并得到大家的肯定与支持。



讨论交流

在本课程学习过程中，同学们将要模仿设计团队，完成一项工程设计任务，请根据每个成员的兴趣和特长，预设每个成员将扮演的角色。



第三节 工程设计的一般过程

一项工程从构思到实现，需要经过三个阶段：第一个阶段是概念设计，该阶段集中体现设计的创新；第二个阶段是实体设计，在这个阶段，将形成概念设计的物理形式；第三个阶段是详细设计，要达到能够实施设计方案所有细致的要求。

一、概念设计

概念设计是工程设计的最初阶段。设计者面临一系列不确定的问题，需要有极高的创造性。

概念设计一般包括需求识别、问题定义、信息收集、概念生成、概念评价与决策等步骤。

（一）需求识别

对客户需求的初步研究包括感性调查和理性分析两个阶段。

感性调查主要采取问卷、访谈等方法收集信息。例如，根据前文对国家游泳中心建设的描述，归纳国家游泳中心工程的设计需求（图 1-12）。

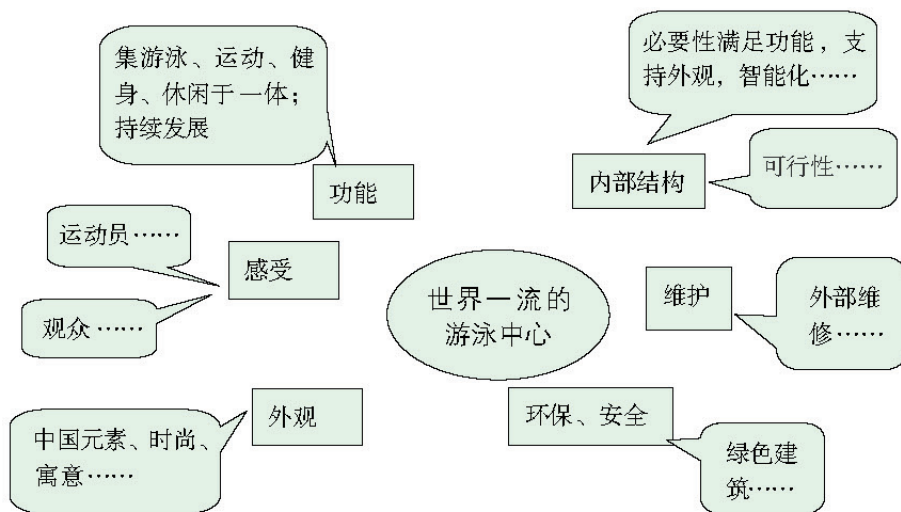


图1-12 因素归纳法示意图

理性分析是指将问卷、访谈和其他渠道获得的信息加以整理，并进行分析。

技术实践

根据图 1-12 的框架，运用因素归纳法，归纳国家游泳中心工程的设计需求。



（二）问题定义

问题定义主要包括确定用户是谁，需要解决哪些问题，以及实现哪些功能等。

设计者需要把各种需求转变为工程问题。例如，把国家游泳中心设计需求转变为工程问题（表 1-1）。

表1-1 把客户需求转变为工程问题提示表

需求	具体要求	工程设计问题
功能	游泳、跳水、花样游泳、水球等比赛；座席 17 000 座，其中永久观众座席为 6 000 座	形状，总平面尺寸，地下深度，由几个部分组成，各部分组合
使用者感受	减少对运动员的干扰	水温、水质、溢水槽，比赛池与热身池，更衣室的地面，光线，通风口
	观众舒适	座席区温度、空气湿度，视觉、听觉，饮用水，灯光、显示屏、音响，座椅
安全、环保、维护	消防	自动、高效
	合理利用资源	水资源循环利用，太阳能利用
	维护	清洗、防结露
外部	水的神韵；天圆地方；灵动；与“鸟巢”协调；创意造型	外墙的 3 000 多个不规则的泡泡，形状各异，白天晶莹剔透，夜晚散发出魔幻色彩

（三）信息收集

根据需解决的问题，查阅资料，获得解决问题的信息。信息的来源主要有互联网、政府的技术报告和商业数据、公开的技术文献等。

（四）概念生成

概念生成阶段要以前面的用户需求和设计问题为基础，经历综合—分解—再综合的过程。生成概念时要考虑到工程可以利用的资源和制约条件，确定工程的整体框架；再把整体分解为要素，分别设计每个部分的功能，并按照优先顺序排列；最后综合考虑所有人力、物力、财力、时间等因素。

（1）生成工程的整体框架。以系统的思想考虑，首先把整个工程分解为若干子系统。确定每个子系统之间的关系；子系统与整体的关系；子系统与环境的关系；结构与功能的关系。

（2）把每个子系统看作系统，进一步考虑上述关系。对每个模块的功能进行描述。

（3）排列功能模块，确定优先级和平行、从属等关系。例如，国家游泳中心设计中将钢骨架作为优先考虑；将外部装饰、内部布局与内部电子控制作为平行设计；在电子控制中把照明、显示、温度、湿度、噪声控制等作为从属关系考虑。

(4) 在模块之间加入能量、物质、信息流,形成功能模型;考察模型的合理性与可行性。形成的模型不止一个,可能有多个选择。

在概念生成的过程中,创造性思维是非常重要的。

技术探究

查阅资料,尝试发现“水立方”设计中的创新点。



(五) 概念评价与决策

设计方案的评价与决策是概念设计过程中一个至关重要的问题。评价准则体系与评价决策模型是评价、决策过程中的两个核心问题。

在概念评价与决策中,要按以下几个步骤进行:①明确决策目标;②根据目标的重要性进行分类;③提出备选方案;④根据目标评估备选方案,使用决策树等方法进行科学决策;⑤选择最有可能实现目标的方案,形成决策的意向;⑥探究决策方案可能出现的不利结果,通过一些措施来阻止不利结果的产生。

二、实体设计

实体设计要进行工作分解与决策,主要包括产品架构、配置设计、参数设计等步骤。

产品架构。确定设计主体的物理部件的组织方式并形成分类。例如,国家游泳中心空间构成中的钢结构和“水泡泡”,确定各自所用的材质和施工要点,考虑到面向制造、面向装配、面向环境的设计。

配置设计。设计特殊部件及选用标准零部件。例如,国家游泳中心空间构架中的钢结构使用多面体钢架等。

参数设计。确定产品的结构、功能参数,电子功能参数,智能控制参数等。例如,国家游泳中心的智能安全控制系统“入侵报警”“电子巡更”“闭路电视监控”等,都需要具体的参数设计。在这个过程中要进一步考虑面向制造、面向装配和面向环境的设计。最后要做出产品的原型,对原型进行测试,该阶段结束时要完成实体设计文档。

三、详细设计

详细设计包括完成零件的选择和尺寸的确定,完成工程图,完成物料清单,修改设计产品的说明书,完成验证原型的试验,进行最终的成本评估,准备项目设计报告,提交终审,而后就是产品研发。在这个过程中,还有许多详细的设计,如国家游泳中心空间构架中的钢结构(图1-13),采用“东拼西凑”的焊法。简单地说,

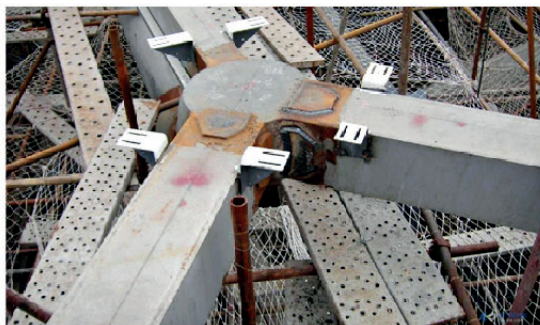


图1-13 国家游泳中心钢结构的组装实物图

就是先焊好最外面两端的杆件，然后再焊中间的杆件。由于外面两端的杆件焊缝已收缩完毕，当中间的杆件焊缝开始收缩时，就再也无法拉动它们，由此使中间杆件的焊缝无法收缩。这样收缩产生的误差仅仅发生在前几个焊接的杆件上，而后面的杆件就都避免了这个问题。

小结与评价

一、小结

本章学习了工程和工程设计的基本概念。同学们通过阅读和分析著名的工程案例，理解了工程的发展历史，掌握了工程的特性，领会了工程所蕴含的重要价值和丰富的文化内涵；感受到中华民族的智慧，增强了文化自信，激发了我们热爱祖国的情怀。在案例分析中，了解了工程设计的性能需求、生命周期、质量控制、环境关系等要素，体验了什么是工程思维，以及从事工程设计的团队应该具备的素质。了解了工程设计的一般过程。

请根据下列题目所提供的线索，结合本章的学习内容和自己的实践过程进行小结。

- (1) 工程与技术、科学的区别与联系是什么？
- (2) 工程的特性有哪些？
- (3) 工程的设计要素有哪些？
- (4) 工程设计团队成员应具备怎样的基本素质？
- (5) 工程设计一般有哪些步骤？

二、评价

查阅资料，选取一项著名工程，完成下列要求。

- (1) 分析工程设计中的性能需求、生命周期、质量控制、环境关系、制造能力、维护、工效学、法律法规和社会问题等要素。
- (2) 揭示工程的重要价值和丰富的文化内涵。
- (3) 制作图文并茂的手抄报，在全班展示交流。

自我评价：_____。

同学评价：_____。

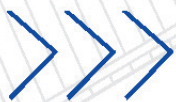
老师评价：_____。

第二章 概念设计

工程设计是一项复杂的活动，需要设计者了解设计原理、设计方法和设计工具。同学们将在本章学习工程设计的关键知识，并在设计实践中创造性地运用知识解决问题。

概念设计是由分析用户需求到生成概念产品的一系列有序的、可组织的、有目标的设计活动，它表现为一个由粗到精、由模糊到清晰、由抽象到具体的不断进化的过程。在这个过程中，要求我们会根据设计流程用创造性思维综合前所未有的新概念。

让我们一起扮演工程师的角色开始工程设计活动吧！相信大家的活动过程中收获的不仅是知识和方法，还有对工程设计强烈的兴趣、迎接挑战的信心和合作的意识。



第一节 初始概念设计

概念设计是整个工程设计的第一个阶段，也是起决定性作用的阶段。这里我们将对一个项目，完成概念设计初始阶段的任务，体验在项目学习中如何主动学习，优化学习的方式。

技术实践

项目学习：学校乒乓球台建设工程概念设计

情境：学校为了丰富学生的课间活动和课余生活，准备购置 50 张乒乓球台，并配齐所有的配套设施。乒乓球台大部分分布在校园的楼前、楼后，小部分放入新建的体育活动中心。

目标：学校乒乓球台建设工程的概念设计。（以下将把总任务分解为多个阶段性小任务）



一、需求识别与问题定义

要进行工程设计，首先要进行客户的需求定位。我们以学校乒乓球台建设工程为例，说明如何识别需求和定义问题。

客户需求的初步研究包括感性调查和理性分析两个阶段。

（一）感性调查

感性调查即从感性认识入手来了解需求的真实情况；客观描述需求现象的一般状况、过程和特点；解释需求现象的产生、发展和变化规律；预测与控制需求现象的发展。

感性调查主要通过问卷、访谈等方法收集信息。

技术实践

项目学习任务 1：用因素归纳法设计关于学校用乒乓球台的调查问卷。



1. 归纳因素

因素归纳法，相对于理论推导法，更加重视设计者本身的经验。该方法的实施步骤为：①根据问卷设计者的经验，把需要通过问卷了解的事项全部写出来；②进行归纳，形成互不交叉的若干个“因素群”，每个群中包括 2 ~ 4 个具体因素。

2. 形成问卷

每个因素出一道题。

因素归纳法不仅用于问卷设计，还可以应用在任何信息分析中，是一项很重要的方法。

调查研究

因素归纳法的应用

邮箱活动：给工程设计者的信

1. 写信的规则

- (1) 对于每个问题写出自己简要的看法。
- (2) 每张纸条上只写一个方面的内容，对于一个问题可以写多张纸条。
- (3) 把纸条投到指定的邮箱。

2. 信的内容

- (1) 对乒乓球台面的要求。
- (2) 对乒乓球台架的要求。
- (3) 对组装的要求。
- (4) 其他要求。

3. 每个邮箱中纸条上的信息整理

- (1) 忠实：不可以遗漏和修改信息。
- (2) 归类。
- (3) 表达（看哪个组的设计最具有创意）、意念、形象、比例、关联、证据。
- (4) 把结果写在大白纸上，字的大小让大家能够看到。
- (5) 派一位代表介绍信息整理的结果。



技术实践

项目学习任务2：发放问卷、收集问卷、整理信息、归纳结果（图2-1）。

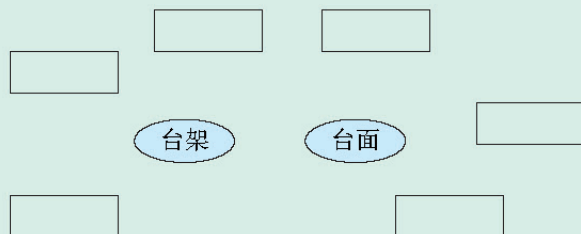


图2-1 整理信息示意图



（二）理性分析

将问卷、访谈和其他渠道获得的信息加以整理，如分类等，然后进行理性分析。

理性分析，一是分析客户需求的重点、需求的特征以及需求的规律；二是分析和挖掘客户的潜在需求。潜在需求是客户没有能够表达出来的需求，有些属于客户还没有意识到的，有些属于客户在表达需求时，以心理期望、担心或其他情感表露出来，尚不能够明确提出的。

在群体决策中，由于群体成员心理相互作用、影响，易屈于权威或大多数人的意见，形成所谓的“群体思维”。群体思维会削弱群体的批判精神和创造力，损害决策的质量。为了保证群体决策的创造性，提高决策质量，管理上提出了一系列改善群体决策的方法，头脑风暴法是较为典型的一种。

技术实践

项目学习任务3：用“头脑风暴法”讨论学校用乒乓球台的设计方案。

时间：40 min

主持人：

记录人：

汇报人：



对经过初步调查获得的显性需求与头脑风暴中挖掘的隐性需求，可以按照常用的产品质量维度来整理，得出产品的性能与特征。

阅读材料

产品质量维度

- (1) 功能（性能）：指产品达到预期目标的效率。
- (2) 特征：用来增加产品基本性能的产品属性，特别是一些新功能等。
- (3) 可靠性：产品在设计的使用寿命期内，具有保证完成规定功能的能力。
- (4) 符合性：产品质量符合一定的规格。
- (5) 耐久性：产品能忍受压力或撞击而不会出现故障的程度。
- (6) 可服务性：产品易于修复，一个产品可以很容易被修复且价格很便宜，则具有很好的可服务性。
- (7) 美感：产品带给消费者的主观感觉特征。
- (8) 感知质量：质量以顾客感知为准。



讨论交流

以产品质量维度为框架，整理学校用乒乓球台的产品性能与特征。



二、信息收集

（一）查阅产品资料和技术文献

查阅产品资料和技术文献，可以获得准确的信息。信息的主要来源可以是消费品的资料、购物网站、技术文献和专利文献等。

阅读材料

信息的主要来源

（1）消费品的资料。如产品附有的说明书、包装上标出的产品信息等。这些信息可能包括额定性能、资质证明、产品结构、使用说明、警告、售后服务和网站等。

（2）购物网站。生产成熟产品的大多数公司或企业都有独立的网站。网站上会有该企业的系列产品介绍，辅助设备、器材的详细说明，还会列出系列产品的照片，详细的安装、使用、维护说明，同时会登载客户的评价和建议等。当然，网站提供的信息的可靠性需要考证。

（3）技术文献。有些产品的信息还会刊登在专业报纸、期刊上。期刊上的文章是经过同行专家评审后，认为对于本领域的产品研制具有启发作用，能够更新知识，或其方法具有借鉴意义，具有发表价值，因此阅读价值比较高。

（4）专利文献。原创概念可以通过专利、版权或商标受到保护。已有专利对于追溯某个工程设计思想的发展是非常有益的，新专利描述的是该领域的前沿技术。因此，专利文献是设计的思想宝库。



（二）查阅客户资料

有时为了更好地满足客户的需求，还需要了解客户的价值取向和偏好，这些信息可以通过查阅客户资料得到。

技术实践

查阅关于乒乓球台产业的相关信息

提示：搜集资料，完成一篇 500 字左右的信息综述。



三、概念生成

概念生成阶段是设计师在理解用户的需求并将需求转变为设计问题的基础上，利用多种技术方法，经过对信息的分析和综合，产生解决问题创意的过程。

研制马铃薯收获机的逆向工程

我国研制出了用机器代替人工收获马铃薯的机械，但是只能完成从土里挖出马铃薯的工作，其他还需要人工处理。为了满足农业生产的需求，我国引进了国外先进的马铃薯收获机，该机器能够一次性完成挖掘、分离、初选和装箱的作业。

有关研究机构把该机器进行拆分，分别分析它的工作原理、工作流程、挖掘铲结构、分离部件、地轮、初选机构、装车升降机构和机架部分，分析其形体尺寸、外观造型、工艺和精度、工艺性能等，并倒推出它的制造与安装过程。

在反求推导获得的信息的启发下，结合我国国内生产的需要，研制出了新型联合马铃薯收获机。

（一）逆向工程法

获得既有产品信息的方法有多种，其中逆向工程法是常用的方法之一。

1. 逆向工程法的含义

逆向工程法，也称反求工程法，是一种产品设计技术再现过程，即对一项目标产品进行逆向分析及研究，从而演绎并得出该产品的处理流程、组织结构、功能特性及技术规格等设计要素，以制作出功能相近，但又不完全一样的产品。逆向工程设计的一般过程如图 2-2 所示。

逆向工程法是实现创新设计的重要途径。实际上任何产品的问世，不管是创新、改进还是仿制，都蕴含着对已有科学、技术的继承、应用和借鉴。

逆向工程法被广泛地应用到新产品开发和产品改型设计、产品仿制、质量分析等领域，它的作用是：缩短产品的设计、开发周期，加快产品更新换代的速度，降低企业开发新产品的成本与风险，加快产品的造型和系列化的设计。

2. 逆向工程法的实施步骤

第一步，零件原型的数字化。通常采用三坐标测量机（CMM）或激光扫描仪等测量装置来获取零件原型表面点的三维坐标值。

第二步，从测量数据中提取零件原型的几何特征。按测量数据的几何属性对其进行分割，采用几何特征匹配与识别的方法来获取零件原型所具有的设计与加工特征。

第三步，零件原型计算机辅助设计（CAD）模型的重建。将分割后的三维数据在

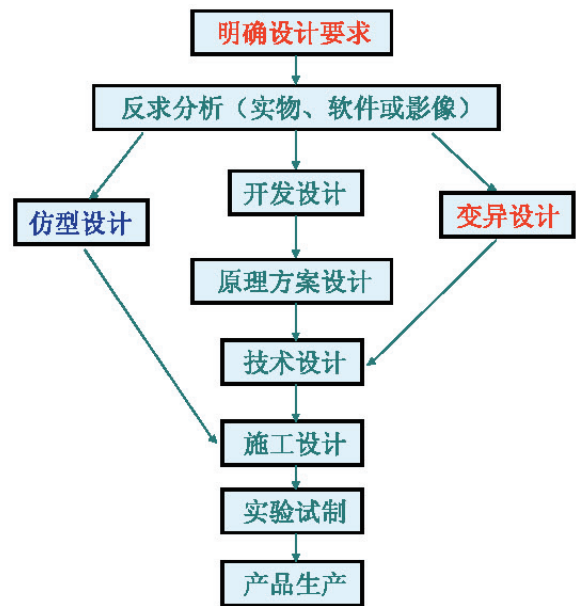


图2-2 逆向工程设计的一般过程

CAD 系统中分别做表面模型的拟合,并通过各表面片的反交与拼接获取零件原型表面的 CAD 模型。

第四步,重建 CAD 模型的检验与修正。采用根据获得的 CAD 模型重新测量和加工出样品的方法来检验重建的 CAD 模型是否满足精度或其他试验性能指标的要求,对不满足要求者重复以上过程,直至达到零件的逆向工程设计要求。

阅读材料

逆向工程技术与知识产权

(1) 逆向工程技术的发展基础是仿制技术,但不同于仿制技术。其着眼于对原有事物的修改和再设计而制造出新产品,避免了侵权的问题。

(2) 从事逆向工程设计时,一定要懂得知识产权,不要侵害别人的专利权、著作权、商标权等受保护的知识产权,同时也要注意保护自己所创新部分的知识产权。



(二) 标杆分析法

标杆分析法也是获得既有产品信息的重要方法。

1. 标杆分析法的含义

标杆分析法是一种有效的通过外部支持促进行业内快速提升,成为最佳范例的科学方法,它通过将评价对象在行业内的表现与行业内的最佳范例进行有效的对比分析,来确认行业提升的潜力、路径与方法。它的精髓在于能够推崇在不同行业间进行标杆比较,从而拓宽行业内提升的思路与灵感,已广泛应用于企业、单位和相关管理机构。

阅读材料

标杆分析:面向世界一流大学的科研竞争力分析

世界一流大学的科研竞争力,我们可以从科研生产力、科研影响力、科研创新力、热门论文发表数和网络影响力 5 个维度来进行比较(表 2-1)。

表 2-1 某年世界一流大学的科研竞争力分析素材

学 校	排 名					
	科研整体竞争力	科研生产力	科研影响力	科研创新力	热门论文发表篇数	网络影响力
上海交通大学	74	41	137	28	96	84
密歇根州立大学	75	100	68	74	75	37
以色列工学院	244	224	215	441	259	214

科研生产力——发表论文篇数；
 科研影响力——论文被引用次数；
 科研创新力——专利等数量；
 热门论文发表篇数——核心刊物发表论文篇数；
 网络影响力——主要采用西班牙网络计量实验室发布的《世界大学网络计量》排名。
 根据以上数据，可以分析高校科研发展的优势与不足。



2. 标杆分析法的实施过程

一般情况下，实施标杆分析的过程可分为5个阶段：确定主题、内部分析、分析比较、提出构想与实施方案。

(1) 确定主题。实施标杆分析的第一步是成立标杆分析工作小组，由标杆分析小组确定分析主题，这个主题可以是企业、产业和国家层次最关心的问题或关键竞争力的决定因素，主要根据其战略目标进行设定。

(2) 内部分析。依据标杆分析主题，标杆分析小组确认的关键要素、核心作业流程或管理实践，进一步收集相关方面已有的研究报告，SWOT分析是在此阶段和下一阶段经常使用的重要方法和工具。

(3) 分析比较。在对调查所取得的资料进行分类、整理，并进行必要的进一步深入调查的基础上，进行调查对象之间的比较研究，确定各个调查对象之间存在的差异，明确差异形成的原因和过程，并确定出最佳实践。

(4) 提出构想。在明确最佳实践的基础上，找出弥补自身和最佳实践之间差距的具体途径或改进机会，设计具体的实施方案，并进行实施方案的经济效益分析。

(5) 实施方案。将方案付诸实施，并将实施情况不断和最佳实践进行比较，监测偏差出现的可能并采取有效的校正措施，以努力达到最佳实践水平，甚至超过标杆对象。

阅读材料

SWOT分析

SWOT分析，即态势分析，就是将与研究对象密切相关的各种主要内部优势、劣势和外部的机会、威胁等，通过调查列举出来，并依照矩阵形式排列，然后用系统分析的思想，把各种因素相互匹配起来加以分析，从中得出的一系列相应的结论，而结论通常带有一定的决策性（表2-2）。

表2-2 SWOT矩阵

优势 (Strength) S	劣势 (Weakness) W
机会 (Opportunity) O	威胁 (Threat) T



技术实践

项目学习任务4：基于SWOT，运用标杆分析法分析学校乒乓球台建设工程。

提示：以同类学校中乒乓球活动开展得最好的学校为标杆，将与学校乒乓球台建设密切相关的各种主要内部优势、劣势和外部的机会、威胁等，通过调查列举出来，并依照矩阵形式排列，然后用系统分析的思想，把各种因素相互匹配起来加以分析，从中得出一系列相应的结论。



(三) 质量功能配置

质量屋是一种确定顾客需求和相应产品或性能之间联系的图示方法。它以一种直观的矩阵框架表达，是质量功能配置 (Quality Function Deployment, QFD) 方法的工具。例如，在一个学校乒乓球台建设工程中，市场研究得到了用户对产品的若干需求，如质量轻、使用方便、可靠、稳固等。通过市场人员与设计人员共同工作，确定实现不同需求的可行方式。这个过程同时排除掉了一些技术无法实现的需求。一个完整的质量屋，还包括竞争对手表现、技术指标之间的关系、技术指标重要性得分等信息。

产品规划阶段的质量屋的构成形式由6个部分组成：

第一部分，以一个列若干行的矩阵表示顾客对产品的各种需求，即项目学习任务2得出的结果 (WHATS项) (表2-3)，下文中我们把它命名为1号板。

第二部分，以一个行若干列的矩阵表示工程特性，即项目学习任务3得出的结果 (HOWS项) (表2-3)，即用工程特性来满足客户需求。下文中我们把它命名为2号板。

表2-3 学校用乒乓球台简化配置需求—工程特性关系矩阵

改进方向									
单 位		cm	年						
1~5表示 重要程度	客户需求	重要性 权重	台面 涂层	使用 寿命	免工具 安装	可叠放	稳固	与其他配 件兼容	美观
	球在台面弹 起的程度	4	9	1			1		3
WHATS项 客户需求	台面光滑度	4	9	3	3	3	3	3	9
	灯光下台面 反射光强度	2	3		1				3
	球弹起时间	3	9	3	1	1	1	9	3
	台架材料涨 缩系数	4	1	9	9	9	9	9	3
	材料刚性	3		9	9	9	9	3	3
	材料耐风 化性	3	3	9	1	3	3	3	1
	初步评分								
	等级次序								

客户需求重要性等级是根据前面客户需求调查得出的，按照 1 ~ 5 赋值。4 表示“很重要”，5 表示“非常重要”（见矩阵中的第二列）。

关系矩阵是质量屋的核心部分，下文中命名为 4 号板。它由客户需求行与工程特性列交叉形成。关系矩阵中的数值表示该列工程特性与该行客户需求之间的因果关系的强度。显著为 9，适度为 3，轻微为 1，没有影响则为空白。

第三部分称为质量屋的屋顶，在数学上是一个三角形矩阵，它表示的是工程特性之间的相关关系，称为关联矩阵，命名为 3 号板（图 2-3）。

质量屋的屋顶矩阵表示工程特性之间的依存关系，帮助工程师尽早地识别工程特性之间的关联性，以便在后面的实体设计中作出正确的权衡。

正相关用“+”表示，强烈的正相关用“++”表示，负相关用“-”表示。

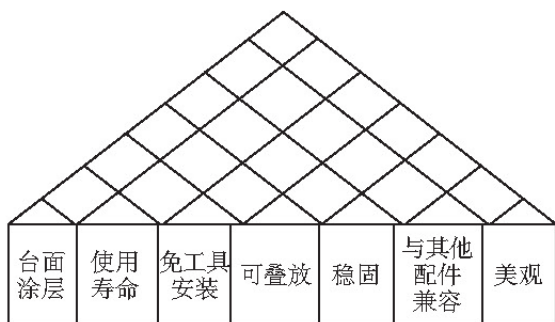


图2-3 质量屋屋顶示意图

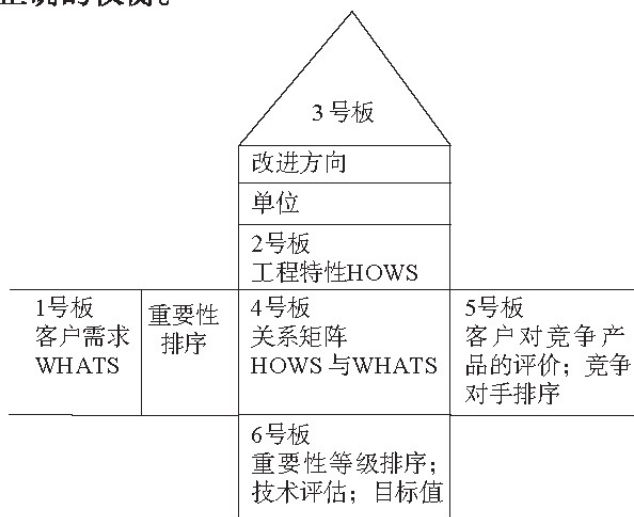


图2-4 质量屋平面分布示意图

第四部分是一个关系矩阵（4 号板，上文已经介绍），表示各个工程特性项与各个顾客需求项的相互关系。

第五部分是一个产品可行性评价矩阵，针对各项市场顾客需求的竞争能力评估价值。同时与若干个市场上同类产品作为竞争对手进行比较，以判断产品的市场竞争力，由此在产品开发初期找出不足之处以进行调整改进。

第六部分是产品规划阶段的技术和成本评估矩阵。

这 6 个部分的矩阵构造完成后便形成了产品规划阶段的质量屋（图 2-4，图 2-5），这个质量屋的基本输入是市场顾客需求，针对需求的对策是一组工程特性需求，从而进行了需求变换。通过变换将市场顾客对产品的相对离散和模糊的需求变换为明确的工程特性要求。

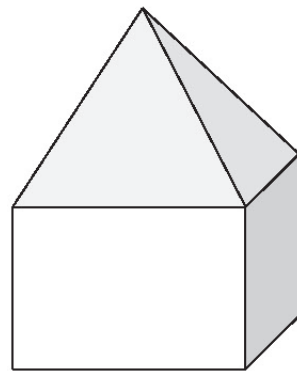


图2-5 质量屋示意图

技术实践

项目学习任务 5：质量屋中矩阵中的赋值是根据工程师的经验得出的，请你读懂每个数值的意义，并采访相关人员，确定它们是否可靠。



（四）确定工程性质，撰写设计说明书

初步确定工程性质后，可以撰写一份备忘录式的工程设计说明书，它将是一个不断动态完善的设计文档。

工程设计说明书的一般格式见表 2-4。

表2-4 工程设计说明书模板

工程识别	市场识别
工程名称 工程基本功能 工程特殊属性 关键性能目标 工作环境 需要的客户培训	目标市场及规模 预期市场需求（每年） 竞争工程 品牌策略

技术实践

项目学习任务 6：参考工程设计说明书模板，写出学校乒乓球台建设工程的设计说明书。



第二节 概念评价与决策

工程的初始设计可能会提出多种方案，对设计方案的评价和形成决策是概念设计即将结束时很重要的环节。进行评价和决策，要了解决策的要素和类型，还要学习如何运用决策矩阵、层次分析法、决策树等典型方法进行评价和决策。

决策是根据客观的可能性，在掌握一定信息和经验的基础上，借助一定的工具、技巧和方法，对影响工程目标实现的诸因素进行分析、计算、判断和选优后，对未来的行动作出决定。

按决策问题的可控程度分为确定型决策、不确定型决策和风险型决策。

决策包括 5 个要素：思想明确、划定界限、反复推敲、落实措施、重视反馈。

讨论交流

“鸟巢”设计方案决策

由于工程师们的价值选择和对设计要素的考虑不同，“鸟巢”曾经有 13 个不同的设计方案。在不同的方案中选择一个最优的方案，加以实施，这就是决策问题。经过多轮评选后，选择了主旨为“孕育生命的摇篮，寄托着人类对未来的希望”

的方案。实施过程中有多名专家指出，该设计在节约能源、保护环境、安全实用方面还有缺欠，经过专家论证，对方案进行了修改。修改后的方案取消了原方案中的可开启屋顶；优化了钢结构，大大减少了用钢量；同时缩小投影屏幕以减少光、声污染；一些新技术和新材料等被首次使用。事实证明，修改后的“鸟巢”方案不仅保持了原方案的设计理念和中国特色，还进行了大胆创新，充分体现了“安全、实用、经济、美观”的原则，得到了社会各界和国际奥委会的认可。

结合案例，说明工程设计过程中评价和决策的重要性。



一、决策矩阵

决策矩阵是评价竞争性概念的一种方法。它通过对带有加权系数的设计准则的排序，以及对每个概念满足该设计准则的程度，进行评分。决策矩阵是风险型决策常用的分析手段之一。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。

决策矩阵包括以下基本要素：

- (1) 状态变量：指可能影响决策后果的各种客观外界情况或自然状态，是不可控因素。
- (2) 决策变量：指决策者所采取的各种行动方案，是可控因素。
- (3) 概率：指各种自然状态出现的概率。
- (4) 损益值（亏损或收益）。

二、决策模型

决策采用的基本模型为 $a = F(A_i, \theta_j)$ 。

式中 a ——价值，它是 A 和 θ 的函数。

A_i ——决策者可控制的因素，即行动方案，把 A_i 当作变量来看，叫作决策变量。

θ_j ——决策者不可控制的因素，也叫自然状态，把 θ_j 当作变量来看，叫作状态变量。

A_i 可以看作决策者在解决 θ_j 状态下采取的策略。 θ_j 则是未确定因素。二者的关系可以用损益矩阵（表 2-5）表示。

表2-5 损益矩阵

	θ_1	.....	θ_i	.....	θ_n
A_1	a_{11}	a_{12}	.....		a_{1n}
A_2	a_{21}		.....		a_{2n}
.....
A_i	a_{i1}				a_{in}
.....
A_m	a_{m1}		.....		a_{mn}

三、决策树

1. 决策树的基本思想

决策树分析法是常用的风险型决策方法。该方法是一种用树形图来描述各方案在未来收益的计算，其决策是以期望值为标准的。人们对未来可能会遇到几种不同的情况，每种情况均有出现的可能，人们现在无法确定，但是可以根据以前的资料推断各种自然状态出现的概率。在这样的条件下，人们计算的各种方案在未来的经济效果只能是考虑到各种自然状态出现的概率的期望值，与未来的实际收益不会完全相等。

它利用了概率论的原理，并且利用一种树形图作为分析工具。其基本方法是：

- (1) 用决策点代表决策的问题。
- (2) 用方案分枝代表可供选择的方案。
- (3) 用概率分枝代表方案可能出现的各种结果。

经过对各种方案在各种结果条件下损益值的计算比较，为决策者提供决策依据。

如果一个决策树只在树的根部有一个决策点，则称为单级决策；若一个决策不仅在树的根部有决策点，而且在树的中间也有决策点，则称为多级决策。

2. 决策树方法的实施步骤

(1) 绘制决策树图。按从左到右的顺序画决策树，此过程本身就是对决策问题再分析的过程。见图 2-6。

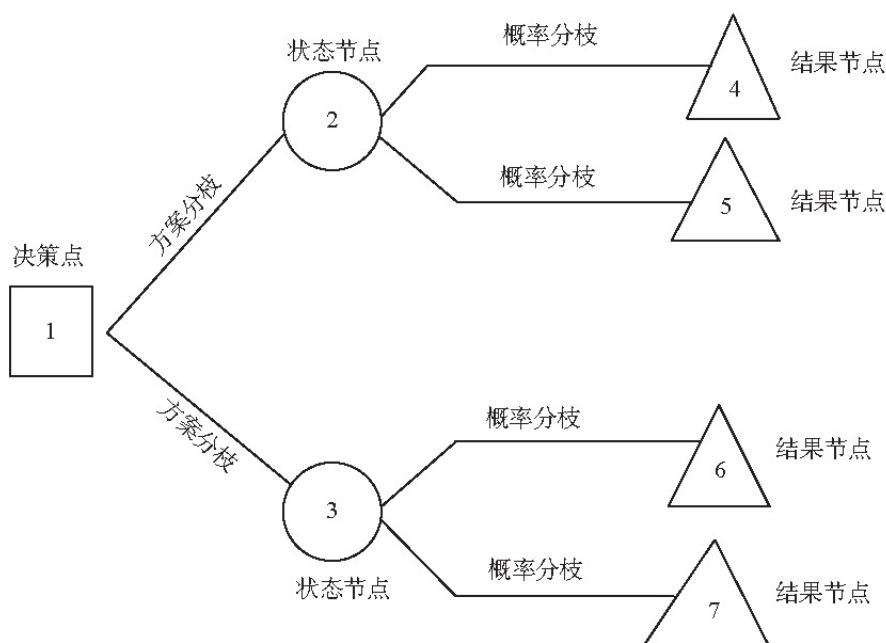


图2-6 决策树方法示意图

(2) 按从右到左的顺序计算各方案的期望值，并将结果写在相应方案节点上方。期望值的计算是从右到左沿着决策树的反方向进行的。

(3) 对比各方案期望值的大小，进行剪枝优选。在舍去备选方案枝上，用 \neq 记号隔断。

〔例题〕 用决策树方法解决风险型决策问题

某厂要确定下一个季度产品生产的批量，现需要根据以往经验作出预测。已知产品销路好、一般、差三种情况的可能性分别为 0.3, 0.5 和 0.2。产品采取大、中、小三种批量生产，可能获得的效益值也可以相应地计算出来，详见表 2-6。现在要通过决策分析确定合理的生产批量，使企业获得最大效益(图 2-7)。

表2-6 决策矩阵(损益矩阵)

单位: 万元

自然状态	概率	损益值		
		方案 A ₁ (大批量生产)	方案 A ₂ (中批量生产)	方案 A ₃ (小批量生产)
θ ₁ (好)	P(θ ₁)=0.3	20	16	12
θ ₂ (一般)	P(θ ₂)=0.5	12	16	12
θ ₃ (差)	P(θ ₃)=0.2	8	10	12

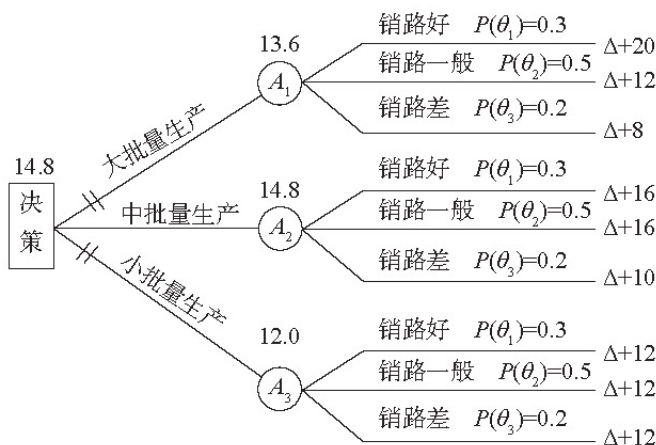


图2-7 运用决策树方法解决问题

具体做法是： $E(A_1) = 20 \times 0.3 + 12 \times 0.5 + 8 \times 0.2 = 13.6$ (万元)

$E(A_2) = 16 \times 0.3 + 16 \times 0.5 + 10 \times 0.2 = 14.8$ (万元)

$E(A_3) = 12 \times 0.3 + 12 \times 0.5 + 12 \times 0.2 = 12.0$ (万元)

结论：中批量生产效益最大。

技术实践

项目学习任务 7：运用决策树方法帮助学校用乒乓球台厂家分析情况并作出决策。

某生产乒乓球台的厂家生产工艺不够好，产品成本较高。在价格保持中等水平的情况下，不会产生利润。在价格低落时亏本，只有在价格上涨时才盈利。现在该厂要编制五年规划，并对原工艺进行改革，用新工艺代替原来的生产工艺。

取得新工艺有两种途径，一是自行研究，成功的可能性为 0.6；二是购买专利，

谈判成功的可能性为 0.8。

无论谈判成功还是研究成功，生产规模都有两种考虑，一是产量不变；二是增加产量。

如果谈判和自行研究都失败，则仍然按照原来的工艺生产，产量不变。

根据市场预测，估计今后五年内这种产品降价的可能性为 0.1；保持中等水平的可能性为 0.5；涨价的可能性为 0.4。通过计算，得到各个方案在不同价格下的损益表（表 2-7）。

表2-7 乒乓球台的生产厂家决策矩阵损益值表 单位：万元

价格状态 (概率)	损益值				
	按照 原工艺生产	买专利成功 (0.8)		自行研究成功 (0.6)	
		产量不变	产量增加	产量不变	产量增加
价格下降 (0.1)	-100	-200	-300	-200	-300
价格中等 (0.5)	0	50	50	0	-250
价格上涨 (0.4)	100	150	250	200	550

请你根据预测所得数据（表 2-7），运用决策树方法帮助该厂决策。



阅读材料

运用层次分析法进行决策

层次分析法用于在多个备选方案中作出选择，比较有效地应用于那些难以用定量方法解决的决策问题。该方法是将决策问题分解成目标、准则、方案等层次，在此基础上，用决策者的经验判断、衡量实现目标的重要程度，并合理地给出每个方案的权数，利用权数求出各方案的优劣次序。例如，关于学生选课的决策。

实施步骤：

- (1) 确定决策目标：从生物、历史、技术三门课中选择一门。
- (2) 建立层次结构模型（图 2-8）。

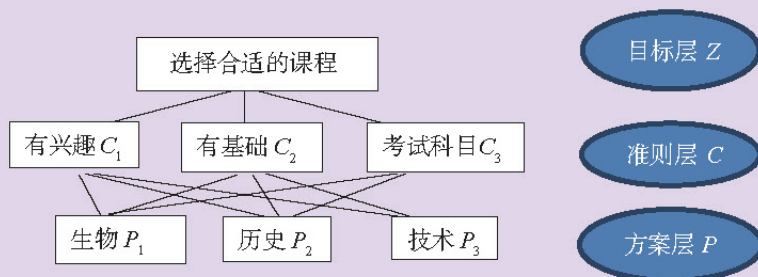


图2-8 层次结构模型

(3) 构建判断矩阵。

表2-8 判断标度

标 度	含 义
1	两个元素相比, 同等重要
3	两个元素相比, 前者比后者稍重要
5	两个元素相比, 前者比后者明显重要
7	两个元素相比, 前者比后者极其重要
9	两个元素相比, 前者比后者强烈重要
2, 4, 6, 8	上述判断相邻的中间值
A_{ij} 表示 i 相对于 j 的比较结果	

表2-9 A-C判断矩阵

	C_1	C_2	C_3
C_1	1	5	3
C_2	1/5	1	1/3
C_3	1/3	3	1

例如, 某同学认为, 有兴趣和有基础相比, 前者明显比后者重要。

同样可以得出其他矩阵。

(4) 求出最大特征根 λ_{\max} 的特征向量。

特征向量反映了对判断矩阵中各因素重要性的排序。可以运用几何平均法(也称方根法)求出最大特征根 λ_{\max} 的特征向量: $W = [0.633, 0.260, 0.106]^T$, 并计算最大特征根 λ_{\max} , 计算得: $\lambda_{\max} = 3.039$

(5) 单层排序和矩阵的一致性检验。

进行矩阵的一致性检验:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = 0.0195$$

$CR = CI/RI = 0.037$, $CR < 0.1$, 表明该矩阵通过了一致性检验。(RI可查表)

同样, 可以构造所有相对于不同准则的方案层矩阵, 如 $C_1 - P$ 判断矩阵、 $C_2 - P$ 判断矩阵、 $C_3 - P$ 判断矩阵, 分别求出它们各自的特征向量 W^T 。

(6) 求出层次的总排序, 根据每个方案获得的总排序数值, 进行决策。

总排序是最底层向最上层(目标层)的排序。如上例, 构造出总排序矩阵:

表2-10 总排序矩阵

权重	0.633	0.260	0.106
P_1	0.633	0.236	0.074
P_2	0.260	0.682	0.257
P_3	0.106	0.082	0.699

计算出： $P_1 = 0.470$ ； $P_2 = 0.369$ ； $P_3 = 0.163$

决策为：首选生物课程。



小结与评价

一、小结

在本章学习中，同学们通过项目学习，学会了需求识别与问题定义，能够把用户的需求转变为工程设计问题。解决问题的过程，就是探索解决问题的不同途径，如运用逆向工程法、标杆分析法以及质量功能配置工具等，确定工程的性质和设计要点，完成初步的方案设计，并对不同的方案进行评价，作出决策。

请根据下列题目所提供的线索，结合本章的学习内容和自己的实践过程进行小结。

- (1) 概念设计包括哪些阶段？
- (2) 如何运用逆向工程法和标杆分析法获得设计对象的工程特性？
- (3) 如何理解工程设计中评价和决策的重要性？利用决策树进行决策的步骤有哪些？

二、评价

梳理项目学习“学校乒乓球台建设工程概念设计”中的各项任务，用“树形结构”表示项目学习的整个内容，用“果实”表示用到的典型方法。

自我评价：_____。

同学评价：_____。

老师评价：_____。

第三章 实体设计与详细设计

概念设计完成后就进入了下一个阶段——实体设计。在这个阶段中，将形成概念设计的物理形式，以此为依据，就像“为骨架填上血肉”一样进行后续的设计过程。实体设计完成后，整个团队齐心协力，确认所有的细节，完成详细设计。

第一节 实体设计

我们将通过实际案例——设计与制作机器狗，学习产品架构、配置设计和参数设计的简单方法；体验面向制造的设计（DFM）、面向装配的设计（DFA）、面向环境的设计（DFE）的设计思路，不断改进设计过程。

讨论交流

设计与制作机器狗

如果我们外出野营，需要有个机器人帮助运输货物，我们暂且把它命名为“机器狗”。以小组的形式讨论机器狗至少需要具备什么功能。



实际上这就是要完成一个简单的概念设计。如果我们已经完成了需求识别与问题定义、概念生成、信息收集，以及概念评价与决策等阶段，形成了这样的方案：机器狗要能够像正常的狗一样行进，能够在具有一定斜度的坡上行走，能够爬阶梯，过山洞，在崎岖不平的路上行走。下面的问题就是如何设计出这样一个实体，把它制造出来，进行测试，看它是否能够满足我们的需求，也就是进入“实体设计”阶段。实体就是具体事物，更偏重于产品，如机器狗、交通工具等。为了解决人类的问题，我们可以从大自然中吸取智慧，寻找灵感进行设计。

一、实体设计的基本过程

实体设计分为产品架构、配置设计、参数设计三个阶段。

1. 产品架构

产品架构是指以比较抽象概括的方式提出产品各个元素的结构和它们之间的关系，进行模块化。

2. 配置设计

配置设计主要是设计特殊部件以及选用标准零部件，选择出合适的智能控制配置。

3. 参数设计

在参数设计中，主要是对配置阶段确定下来的内容进行细化。

经过产品架构模块化，对零件及智能控制部分配置、参数的细化后，就可以进行产品原型的验证，确保产品能够实现预期的效果。

产品原型的实现主要包括验证、形成实体设计文档。原型是产品的物理模型，对其进行一

些测试来验证设计过程中所作的设计决策，它是与计算机模型或其他仿真模型相对应的概念。

实体设计的基本过程如图 3-1 所示。

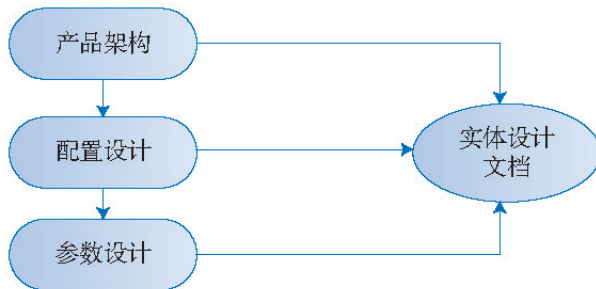


图3-1 实体设计的基本过程

（一）产品架构

架构设计首先要确定问题领域，架构是人们对一个结构内的元素及元素间的关系的一种主观映射的产物，是一系列抽象的模型。我们以机器狗为例，说明如何进行产品架构设计。

1. 架构分析

讨论交流

图 3-2 是我们预设的机器狗模型。

请你参照前面我们对机器狗功能的描述，说说机器狗应该包括哪几个组成部分，机器狗运动时的状态有几种，如何进行智能控制。

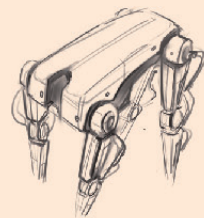


图3-2 机器狗模型

为了让机器狗能够帮忙驮东西，越过复杂的地形，我们仿照狗的四足设计一个四足机构，模仿狗的运动状态分析出运动态，用电子部件充当狗与外界交互的部分，利用通信模块控制狗按照指定的路线行进，从而辅助我们在复杂的地形环境中工作。

机器狗的架构分析如图 3-3 所示。

机器狗的结构是要作为腿部驱动方式运载平台，能够到达轮式机器人不能到达的条件恶劣的地点，辅助基本作业；实现弹跳、跨步、翻转、后腿站立的动作；可以按规定路线行进至目标点；增加传感器可在检测到障碍物后实现避让动作；当地面不平时可自动调节身体的水平度以适应地形；当感觉到撞击或震动时下蹲以避免摔倒。

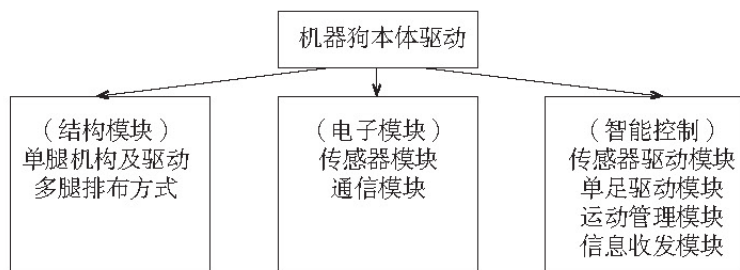


图3-3 机器狗的架构分析

2. 模块化

根据产品架构分析的结果,进行结构分析,我们把机器狗的腿分解成几个部分,根据其功能特性进行结构设计。

(1) 腿部结构设计。机器狗的腿部结构主要模仿了四足哺乳动物的腿部结构,主要由腿部的节段和旋转关节组成。在设计机器狗的腿部结构时,可基于四足哺乳动物的生理结构,使用机械结构代替腿部的骨骼来提高机器狗的性能(图3-4)。

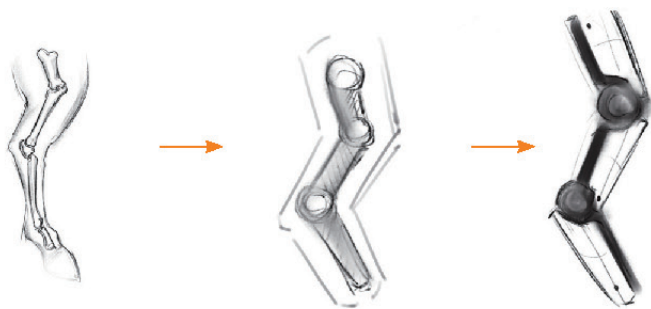


图3-4 腿部结构设计

腿部的关节是机器狗中的关键运动单元,连接着毗邻两端的关节单元,控制着腿部的运动,它的设计与运行决定了机器狗的运动性能与工作精度。因为腿部往往是反复运动的,所以关节单元的规划与设计必须遵循负荷运动的一般规律。完整的关节结构如图3-5所示。

自由度简化后的关节结构如图3-6所示。

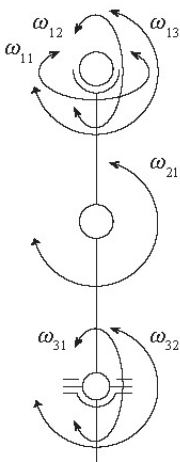


图3-5 完整的关节结构

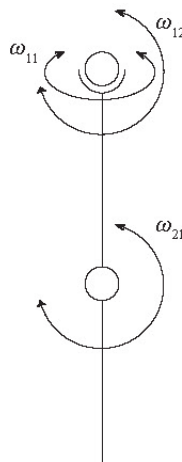


图3-6 自由度简化后的
关节结构

(2) 腿部驱动方式。目前常用的驱动方式有电机驱动、气压驱动、液压驱动等。

电机驱动方式有步进电机驱动、伺服电机驱动和无刷电机驱动。电机驱动属于传统驱动方式的范畴,其特点是环境友好、精度可控良好、标准化程度佳。

气压驱动结构简单、综合成本低、运行速度快、使用安全。但因为气体的流动可压缩,使得气压驱动运行不精确、不稳定、输出功率小,从而难以达到控制要求。

液压驱动结构简易、性能稳定、输出功率大、抗干扰能力强。但液压驱动中液压油的泄漏会造成污染,而且液压驱动系统维护成本较高,不利于持续维护。

综合上面的分析，机器狗腿部驱动采用电机驱动方式。

(3) 多腿排布方式。工程师们设计出 4 类机器狗的腿部结构：内膝肘式、全肘式、全膝式、外膝肘式（图 3-7 至图 3-10）。

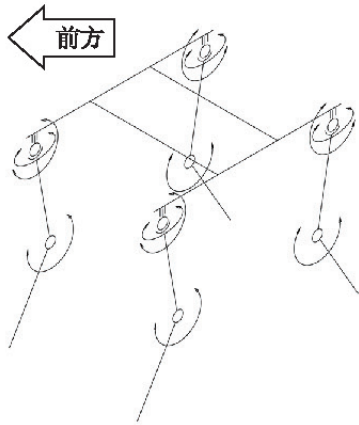


图3-7 内膝肘式

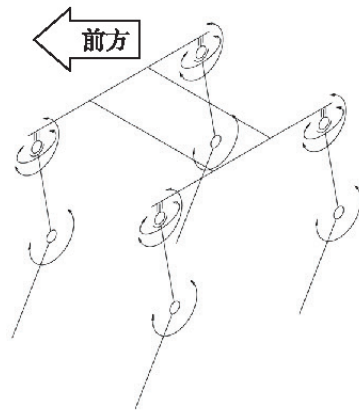


图3-8 全肘式

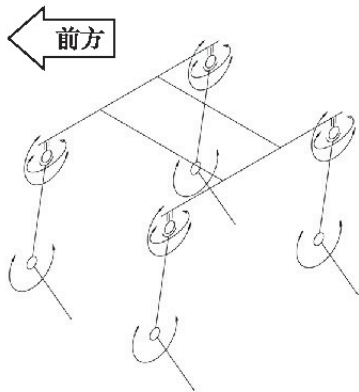


图3-9 全膝式

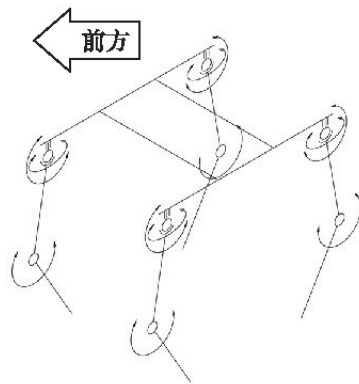


图3-10 外膝肘式

阅读材料

机器狗各种腿部结构的运动空间如图 3-11 所示。

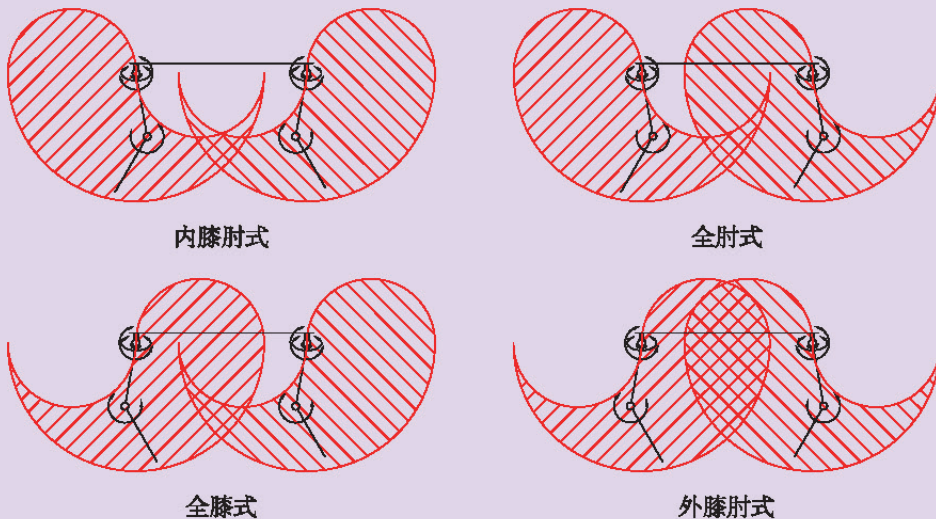


图3-11 腿部结构的运动空间

内膝肘式结构条件下，运动中的机器狗内部结构重心曲线最为平滑，因此该结构是最稳定的，为两侧提供的运动空间也更大。此外，运动时机器狗腿部重合的范围也缩小了。基于以上因素，内膝肘式结构有利于机器狗动作的稳定性。



(4) 基本动作分析。机器狗的每条腿都能够完成抬腿动作，其效果如图 3-12 所示。

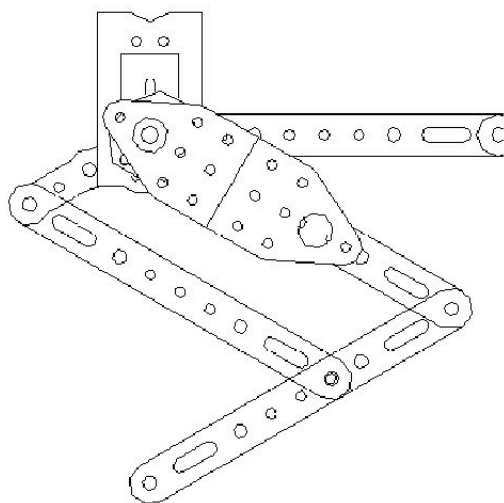


图3-12 机器狗的抬腿动作

综合以上各个部分的设计，得出机器狗腿部设计问题的解决方案（表 3-1）。

表3-1 机器狗腿部问题解决方案

需要解决的问题	解决方案
抬腿高度的调节	主要是程序的优化，提高抬腿高度，同时还要保证正常的迈腿轨迹不受地形影响
步态的变化	是在不同的程序段间运动状态的切换，要求程序的设计要比较合理
脚底摩擦力的调整	利用防滑脚垫等材料，通过观察思考和不断的验证，才能得到比较好的结论
身体重心的调节	主要是程序的优化，通过改变抬腿运动方式以及改变重心来实现。在调节重心的同时，还要保证正常的迈腿轨迹不受地形影响

技术实践

请同学们根据所学内容，依据机器狗的功能需求，尝试理解机器狗的模块架构分析图，并进行讨论。



阅读材料

面向X的设计 (DFX) 的思想、原理

DFX 是在产品的设计阶段就及早考虑与产品制造有关的约束 (如可制造性)、全面评价产品设计和工艺设计, 同时提供产品设计的反馈信息, 在设计过程中完成可制造性预测, 以使产品的结构合理、制造简单、装配性好并实现全局优化, 从而缩短产品的开发周期 (图 3-13)。

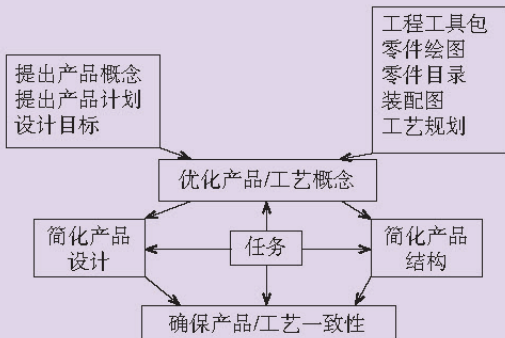


图3-13 DFX的思想和原理示意图

面向制造的设计 (DFM) 与制造成本

图 3-14 所示为一个简单的制造系统输入与输出模型, 其中输入包括原材料、外购件、劳动、工具、服务等; 输出包括加工出的产品与废物。制造成本就是系统输入花费与处理废物花费的和。围绕这个进行设计, 设法降低成本。

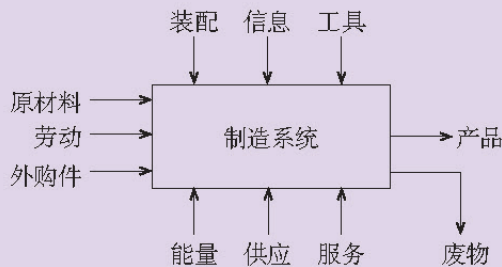


图3-14 制造系统输入与输出模型

(二) 配置设计

配置设计中需要确定组件的形状和总体尺寸, 选择物理零件、零件的连接方式及表达方式; 同时需要确定智能控制的配置。

在生产过程中, 凡是改变生产对象的形状、尺寸、位置和性质等, 使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程, 其他过程则称为辅助过程。工艺过程一般可分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、装配等。

1. 物理零件

设计各种零件的形状、尺寸, 用 3D 打印机打印成型。

2. 连接方式

在机械装配中, 常见的零件连接方式有螺纹连接、铆钉连接、销连接、焊接等。

面向装配的设计包含①完整性: 所有零件都要画出, 一些不确定尺寸的零件也要模拟出大概形状; 每个零件/装配体以达到自由度的要求为最终目标。②可装配性: 工具 (扳手、螺丝刀) 的空间; 装配某个零件的路径; 装配顺序; 易损部件的易拆性; 整机/组件应能分解成若干可单独装配的单元 (部件或组件); 等等。

一般要减少零件数量: 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; 设计多功能的零件; 零件标准化。

3. 零件的表达方式

零件的表达方式多种多样，可以通过绘制示意图、3D模型、实物等进行深入研究学习。

4. 产品智能控制配置

确定好物理零件及零件的连接方式之后，就可以选择合适的传感器、编程软件进行智能控制了。

把机器狗搭建好之后，就可以利用主控板（大脑）来控制机器狗的运动行为，把产品架构阶段分析出的结果利用软件编程后，下载到主控板上即可。

（1）主控板的选择。外围电路可以连接并驱动其他部件，如电动机、传感器、LED模块等。此外还能根据所需功能进行扩展，丰富机器狗的功能。

（2）控制软件。对机器狗的智能控制，我们采用的是 Arduino IDE，以及 Ardublock 教育版图形化编程插件（图 3-15）。

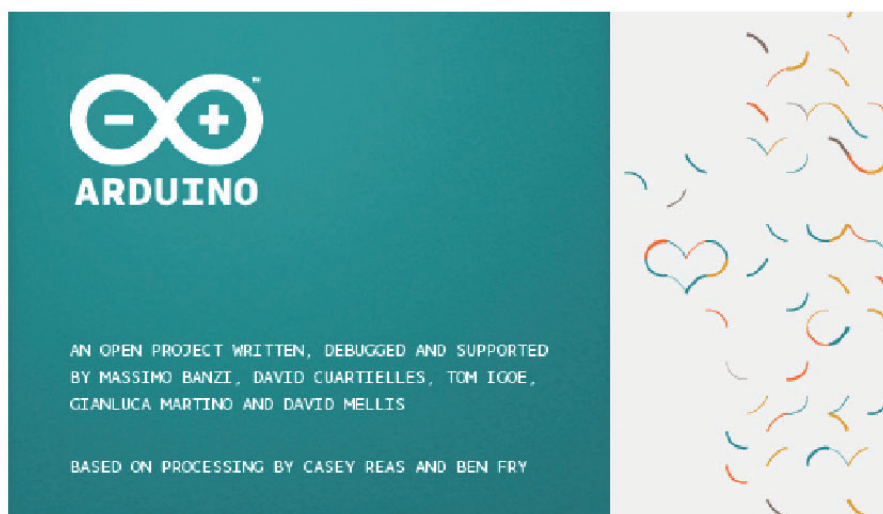


图3-15 Arduino IDE

Arduino IDE 有两个编程界面，一个是 C 语言界面（图 3-16），一个是图形化界面（图 3-17）。图形化界面是中文界面，使用起来非常方便。

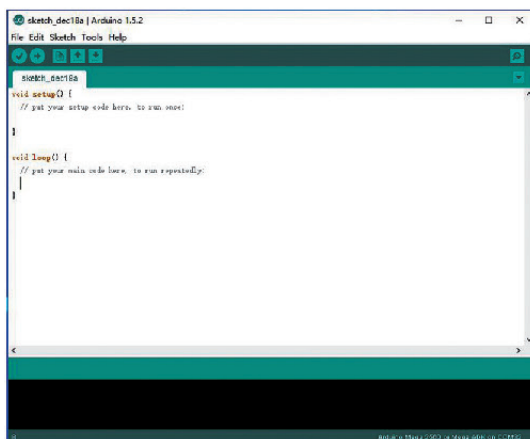


图3-16 C语言界面

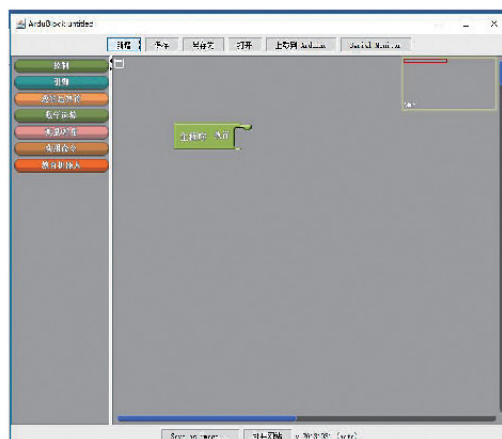


图3-17 图形化界面

阅读材料

面向装配的设计 (DFA) 与减少装配成本

DFA 是 DFM 的一个组成部分, 它的目标是减少装配成本。对大部分产品来说, 装配成本只是总成本中的很小一部分, 但是减少装配成本会带来很大的间接效益。

辅助 DFA 决策的原则: 利用评分、组合部件、使装配变得更容易、考虑用户的装配。



(三) 参数设计

在参数设计中, 主要是对配置阶段确定下来的内容进行细化, 如对零件的属性、机器狗的步态结构的分析。它的具体内容由设计人员确定。下面我们将结合机器狗的结构参数、电子参数、智能控制参数的设计过程, 了解参数设计的具体工作。

1. 产品的结构参数

可以通过自然界的生物行为特性, 分析出数据, 从而确定可选的结构方案。下面我们将根据狗的运动状态, 分析出狗的基本步态 (图 3-18)。

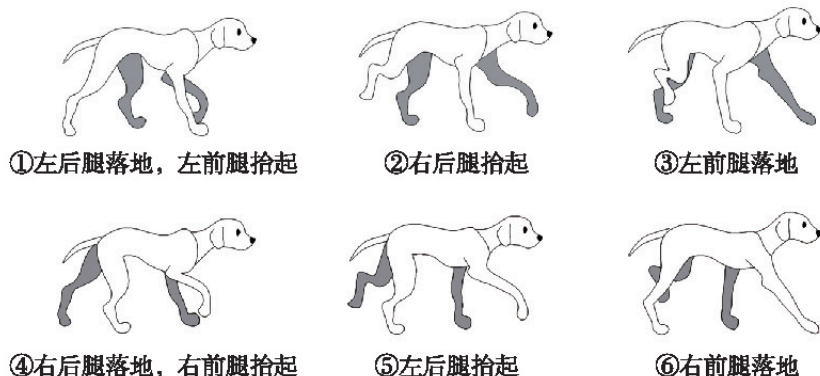


图3-18 狗的基本步态

通过上面对狗的基本步态分析后, 就可以设计机器狗腿部的传动结构。由于狗是四足动物, 那么机器狗可以采用四足行走机构, 行走时采用简单的前、后脚相位差为 90° 或 180° 的运动方式。下面是设计出的三种不同的机器狗腿部传动结构 (图 3-19)。

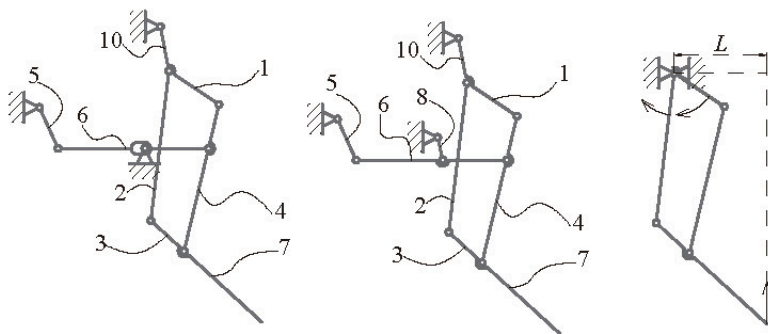

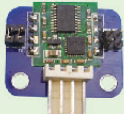


图3-19 机器狗腿部传动结构的三种不同方案

2. 产品的电子参数


我们可以模仿人类眼睛的工作原理，用近红外传感器来检测装置外部环境，判断前方是否有障碍物，并用陀螺仪进行当前姿态的调整（表 3-2）。

表3-2 近红外传感器和陀螺仪功能介绍

功 能	实物图	传感器名称
用于检测前方是否有障碍物		近红外传感器
能够在动态环境下准确输出模块的当前姿态		陀螺仪

我们可以利用蝙蝠发出超声波捕捉猎物回声定位的原理，用超声测距传感器来检测装置外部环境，判断前方是否有障碍物（表 3-3）。

表3-3 超声测距传感器功能介绍

功 能	实物图	传感器名称
能够检测出距离		超声测距传感器

我们可以模仿人类耳朵的工作原理，用声控传感器来检测装置外部环境，实现与人进行交互的过程（表 3-4）。

表3-4 声控传感器功能介绍

功 能	实物图	传感器名称
检测周围环境声音信号		声控传感器

当实体产品的结构确定并选择了合适的传感器后，我们就可以按照产品功能来进行智能控制。

讨论交流

根据所学内容，请同学们查阅资料，看看陀螺仪在生活中都有哪些应用。



3. 产品的智能控制参数

下面以机器狗避障为例，说明机器狗产品的智能控制参数设计。

要完成避障功能，必须给机器狗安装能够识别障碍物的“感觉器官”——传感器，如近红外传感器、超声测距传感器等。

机器狗能够将传感器检测到的外部环境数据（是否有障碍物或距离障碍物有多远等）反馈到中央处理器进行分析和判断，并根据程序运行结果控制运动部件做出反应，从而实现避障功能。

可以在机器狗机身的前端安装3个传感器，在后面安装一个传感器（图3-20）。前端的传感器分别用来检测左前方、前方和右前方3个方向的障碍物，实现检测到前进的3个方向上空缺的位置。当前方全部有物体遮挡的时候，向后移动，让开一定距离进行转弯，再向没有障碍物的方向行进。也就是说，这些传感器可以帮助机器狗在行走过程中躲避各个方向的障碍。

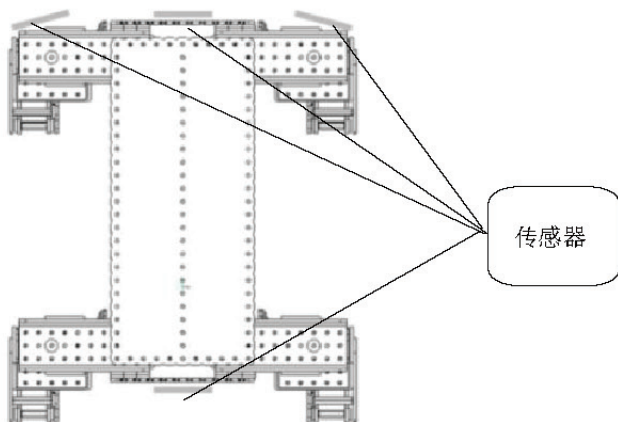


图3-20 传感器安装示意图

阅读材料

近红外传感器和超声测距传感器

近红外传感器由一个近红外信号发射头和近红外信号接收头组成。工作时，近红外信号发射头能发射红外线，当它遇到障碍物时反射到近红外信号接收头上，从而识别物体（图3-21）。近红外比较容易受到环境光线的干扰，比如正午的阳光、距离较近的日光灯等，都会影响其触发距离，使用时需要注意。

超声测距传感器由超声波发射器、接收器组成，能够探测出距离，因此可以用于机器人避障、距离测量、高度测量、物体表面扫描等项目（图3-22）。

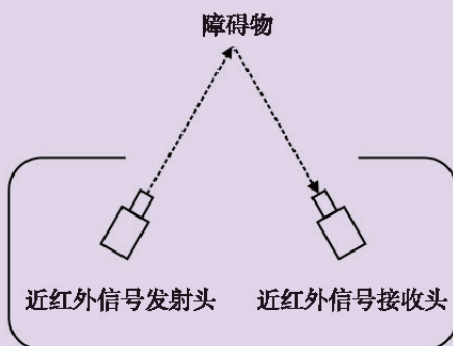


图3-21 近红外传感器工作示意图



图3-22 超声测距传感器工作示意图

讨论交流

请同学们探讨近红外传感器在什么情况下触发，以及如何查看超声测距传感器与障碍物的距离。

阅读材料

面向环境的设计 (DFE)

DFE 是指在产品设计阶段要充分考虑产品的环境特性，要求尽量减少资源、有害物质等的使用，提高资源的循环利用率，同时使产品在整个生命周期中的废物排放最小化，尽可能减少对生产者、使用者和周围人群的不良影响。

DFE 的目标是减少产品和服务的物料、能量使用量；减少有毒物质的排放；加强物质的循环利用；最大限度、可持续地利用资源；提高产品的耐用性。

DFE 是一种方法，要求设计人员在产品设计中尽可能考虑产品生命周期内的一切环境问题，并有效地实现技术指标、经济指标和环境保护指标的统一。

DFE 是一种工具，帮助设计人员进行各种方案的研发、评估和选择。

二、实体原型实现

根据上面的分析结果，实现产品原型，并进行测试调试。先搭建实体结构（图 3-23），然后编写程序、下载程序控制实体的运动，最后对样机进行测试。设计中形成的文档见表 3-5。

表3-5 机器狗的设计文档

阶段	机器狗
实体设计	包括产品架构、配置设计、参数设计三个阶段
产品架构	根据机器狗的功能需求，设计出机器狗的架构分析图； 对机器狗的单条腿进行模块化分析，设计出由单条腿到四条腿的空间布置情况

续表

阶段	机器狗
配置设计	机器狗结构零件的形状和尺寸的确定； 主控板、电机、传感器等电子部件的选择； 配置好智能控制参数
参数设计	对机器狗的步态分析，确定出机器狗的步态草图； 选用近红外传感器、陀螺仪、超声测距传感器、声控传感器电子参数； 最后进行机器狗避障智能控制参数的确定



图3-23 机器狗的实体原型

技术实践

请同学们尝试完成本小组的机器狗的实体设计文档。



第二节 详细设计

详细设计是工程设计的最后一个阶段，位于抽象设计层次中的最底层，是一项非常明确且具体的工作，主要涉及确认细节，提供缺少的细节内容。在该阶段，将所有细节整合在一起，作出决策，以确保制造出符合设计要求的产物。

一、详细设计的活动和决策

详细设计阶段各项活动需要完成的任务如下：

(1) 结构方面主要包括自制或外购决策、零件的选择和尺寸的确定、完成工程图、完成结构物料清单。

(2) 电子方面主要包括画原理图、PCB 板、合出电子物料清单。

(3) 软件方面主要包括画人机交互界面设计图、程序流程图及关键算法图等工作。

(4) 修改设计说明书。

(5) 完成验证原型试验。

(6) 工程样机测试和真实场景的模拟，进行最终的成本评估。

(7) 完善设计项目报告，进行设计终审，设计交付制造。

二、设计与制造信息交流

详细设计阶段产生的数据是比较多的。设计数据包括各种不同用途的工程图、物料清单、产品设计说明书、进度报告等。

(一) 工程图

一个详细的工程图样包括以下信息：

(1) 三视图：主视图（前视图）、左视图、俯视图。

(2) 辅助视图：如断面图、局部放大图或辅助观察零件整体和细节的轴测图等。

(3) 尺寸、公差、材料规格以及特殊加工说明。

(4) 制作细节，如划线位置、拔模斜度、表面粗糙度。

图 3-24 所示是机器狗的三视图。

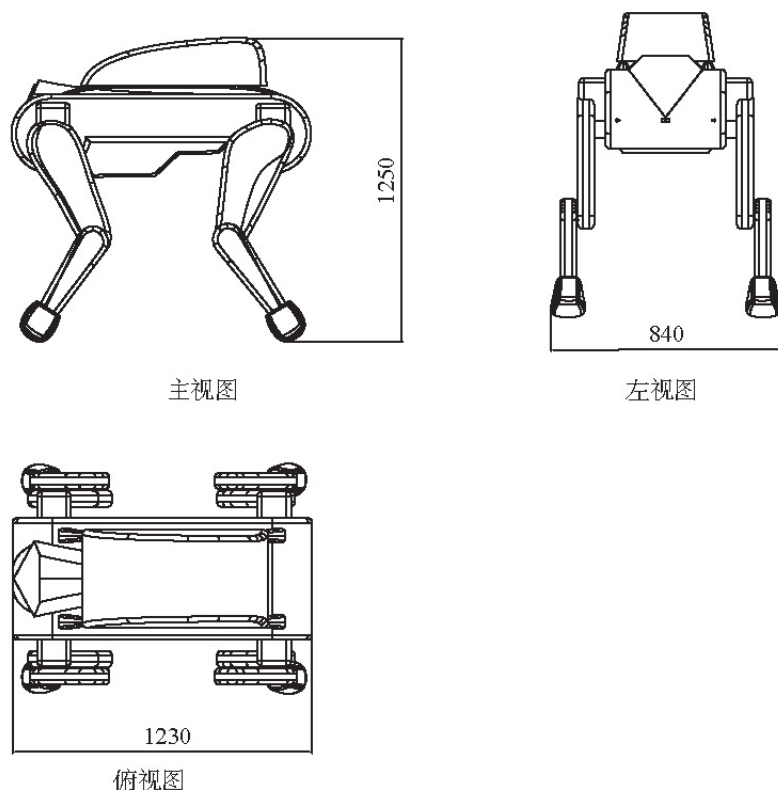


图3-24 机器狗的三视图

机器狗的整体工程图如图 3-25 所示。

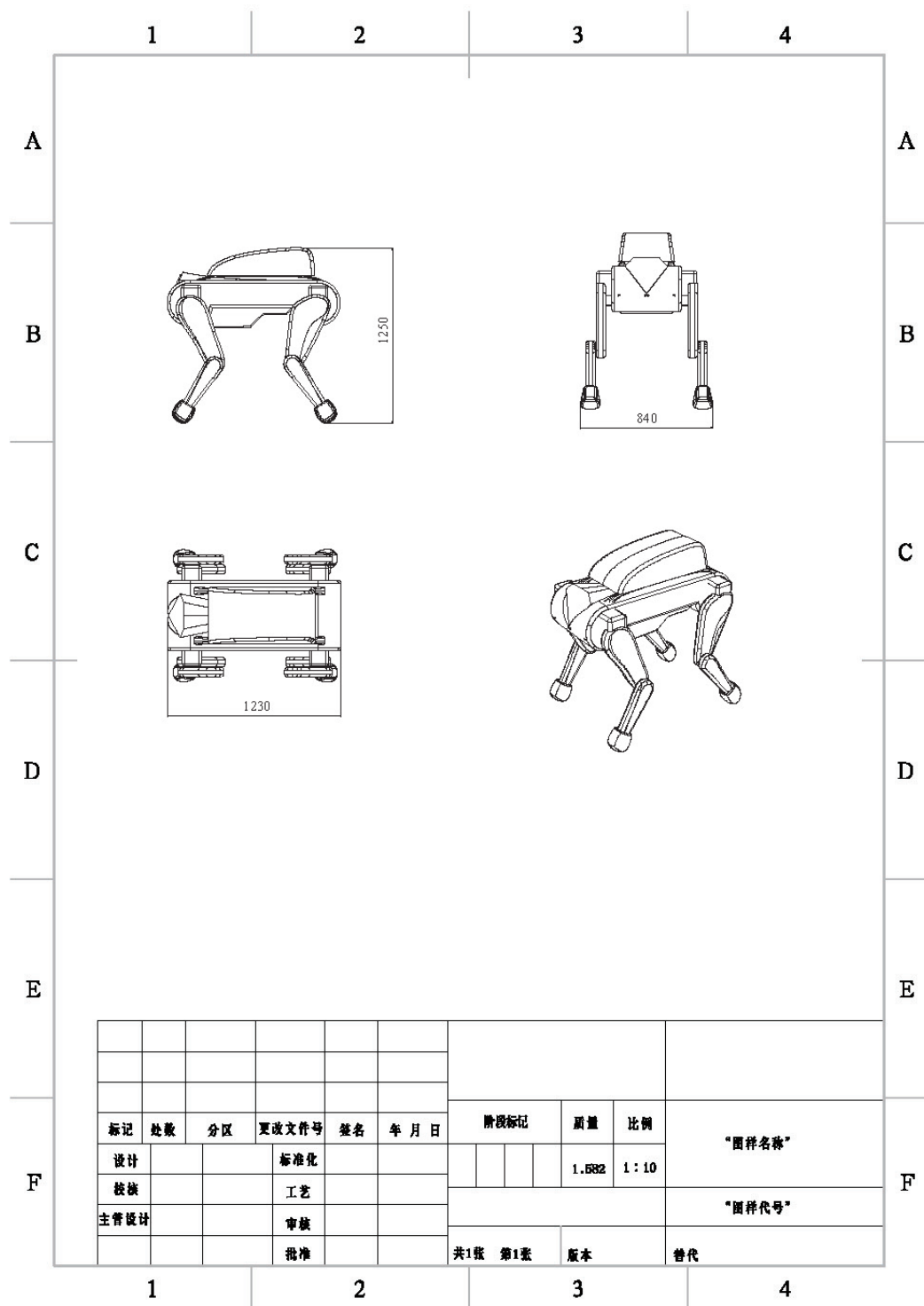


图3-25 机器狗的整体工程图

(二) 物料清单

物料清单 (BOM) 通常需要有物料名称、编码、规格、用量及单位等。

物料名称。是物料的名字,方便人们看出是什么样的物品,便于物料的归类和系列化管理。

物料编码。是物料的数字或字母代号，具有唯一性，是计算机识别物料的基础依据。其作用是使物料管理标准化，通用化。

物料规格。是指物料的尺寸、型号等，便于人们快速了解物料的基本特性。可以根据它进行加工过程的跟踪，也是采购和外协的依据。

用量及单位。便于了解物料在生产中的使用数量，是编制计划、配套和领料的依据。

物料清单列出产品中的每一个零件，用于制订生产规划、确定产品成本的最佳预算。它对产品的成本起着决定性的作用。表3-6为机器狗产品的物料清单，如M3×8螺钉代表螺钉的直径为3mm、长度为8mm。

表3-6 机器狗的物料清单

类型	物料名称及规格	编码	数量	类型	物料名称及规格	编码	数量
塑胶结构件	大舵机后盖输出头	A07	4	零件	M3×8螺钉	F308	40
塑胶结构件	大舵机输出头	A08	8	零件	M3×10螺钉	F310	50
塑胶结构件	橡胶垫	A10	8	零件	M3×16螺钉	F316	20
塑胶结构件	红色硬垫片	A11	50	零件	M3×20螺钉	F320	20
金属结构件	10mm滑轨	J01	4	零件	M3×25螺钉	F325	10
金属结构件	3×5双折面板	J02	4	零件	M3×40螺钉	F340	10
金属结构件	传动轴	J06	4	零件	螺母	M3	150
金属结构件	垫片10	J08	10	零件	M6.5×10螺柱	Z10	20
金属结构件	舵机双折弯	J10	4	零件	M6.5×15螺柱	Z15	10
金属结构件	20mm机械手	J11	2	零件	M6.5×20螺柱	Z20	10
金属结构件	40mm机械手	J13	4	零件	M6.5×30螺柱	Z30	10
金属结构件	双足支杆	J23	16	零件	M4×2.7轴套	T027	20
金属结构件	11×25孔平板	J30	2	零件	M4×5.3轴套	T053	10
金属结构件	U形支架	J32	4	零件	M4×10.4轴套	T104	10
金属结构件	大舵机支架	J33	8	驱动	大标准伺服电机	M04	8
金属结构件	小垫片	D01	50	检测	近红外传感器	C26	3
金属结构件	球头万向节	J37	8	检测	超声测距传感器	C34	1
金属结构件	桁架10	J38	4	检测	声控传感器	C07	1
零件	M3×6螺钉	F306	20	检测	陀螺仪	C57	1

至此，完成了工程图的设计、物料清单的编制；产品设计说明书将在下一章进行详细说明。

总之，详细设计的首要任务是完成产品模块化、配置与参数设计的任务，并对其进行更详细的细化。这些资料加上设计说明书，要包含正确无误的制造产品的信息。

详细设计阶段还包括对原型的验证测试、电子元件功能测试、软件测试，根据测试调整，作出最终的成本预测。使用计算机辅助设计工具可以使这些活动变得容易。

小结与评价

一、小结

实体设计阶段是对概念设计的结果进行分析，分析出产品架构并模块化；而后进行配置设计，确定零件的形状和总体尺寸、智能控制的配置；最后进行参数设计，对配置阶段确定下来的内容进行细化。综合产品架构、配置设计、参数设计进行实体原型的实现，完成简单的实体设计文档。

详细设计阶段主要是细化并确认细节，通过详细设计，确保已经经过验证和测试的设计可以被制造成质量合格且成本低、效益好的产品。

请同学们根据下列题目所提供的线索，将本章的学习内容和实践过程进行小结。

- (1) 谈谈你对实体设计的认识，试着撰写机器狗的实体设计文档。
- (2) 谈谈详细设计的过程，读读机器狗的工程图、物料清单。

二、评价

请结合本章学习的内容，分析机器狗的实体设计、详细设计的过程，谈谈你的感受。

自我评价：_____。

同学评价：_____。

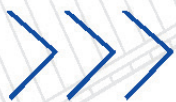
老师评价：_____。

第四章 工程设计建模与局部仿真

由于计算机技术的普及，目前各领域的设计都需借助建模和仿真。模型是对现实的简化，建模能够让我们理解现实世界的系统和现象；仿真是了解系统参数变化所引起的后果的有效研究手段。

在本章的学习中，同学们将要学习如何运用计算机进行系统建模；学习如何建立仿真模型和进行仿真实验。

这些都是工程设计人员必须具备的能力，通过本章的实践活动，同学们一定能够增长知识，提高能力。



第一节 初识工程建模

同学们对于建模并不陌生，在数学和物理课程的学习中，建模是解决问题不可缺少的工具之一，模型可以帮助我们理解面临的系统。在本节中，我们将了解模型的种类和基本的建模步骤。

在现代设计过程中，工程建模作为虚拟的技术已经与现实的工程设计密不可分。概念设计阶段构思用的草图，实体设计阶段产品的效果图，详细设计阶段生产用的图纸都已经变成随时可以变动调整的电脑建模文件。

一、建模的含义和意义

某工厂用 A、B 两种配件生产甲、乙两种产品。每生产一件甲产品使用 4 个 A 配件，耗时 1 h；每生产一件乙产品使用 4 个 B 配件，耗时 2 h。已知该厂每天最多可从配件厂获得 16 个 A 配件和 12 个 B 配件，按每天工作 8 h 计算，该厂所有可能的日生产安排是什么？

从上述案例可见，如果没有对上述问题建模，该工厂很难找到合理的解决问题的办法，即使有了初步的想法，也难以相互交流、沟通，更无法预测可能出现的结果。

但是，如果建立简单的线性规划模型，上述问题就会很容易得到解决。

技术实践

建立简单的线性规划模型，求解上述问题。

提示：

- (1) 寻找线性约束条件和线性目标函数。
- (2) 用图解法求出目标函数的最优解。



讨论交流

进一步搜集其他典型工程建模的实例，总结建模的意义。



为了研究工程设计问题，需要建模，并通过研究工程问题的内在联系，进行建模分析。这样就可以分析和设计实际工程、产品或系统；预测或预报实际工程、产品的现状及未来的发展趋势。

二、建模的类型

建模的类型非常多，工程建模在概念设计阶段、实体设计阶段和详细设计阶段都起着重要的作用。在概念设计阶段，系统建模和数学建模使用得比较普遍，建模一般采用示意图的方式，方便大家的沟通与原理可行性的验证；在实体设计阶段，计算机建模被广泛地使用，建模以可加工模型的形式存在，主要用来验证布局的合理性和实物的加工制作与运行；而在详细设计阶段以采用结合了工艺和材料特性的产品仿真模型形式存在，可以在批量生产前进行工艺及特性的优化。

（一）系统建模

工程设计中最普遍的是系统建模，系统建模主要用于3个方面。

1. 分析和设计实际系统

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简单、易行。对社会和经济系统的定性或定量研究也是从建模着手的。例如，在人口控制论中，建立各种类型的人口模型，改变模型中的某些参量，可分析研究人口政策对于人口发展的影响。

2. 预测或预报实际系统的某些状态的未来发展趋势

预测或预报基于事物发展过程的连贯性。例如，根据以往的观测数据建立气象变化的数学模型，用于预报未来的天气。

3. 对系统实行最优控制

运用控制理论设计控制器的关键或前提，是有一个能表征系统特征的数学模型。在建模的基础上，再根据极大值原理、动态规划、反馈、解耦、极点配置、自组织、自适应和智能控制等方法，设计各种各样的控制器。

对于同一个实际系统，人们可以根据不同的用途和目的建立不同的模型。但建立的任何模型都只是实际系统原型的简化，因为既不可能也没有必要把实际系统的所有细节都列举出来。如果在简化模型中能保留系统原型的一些本质特征，那么就可认为模型与系统原型是相似的，是可以用来描述原系统的。因此，在实际建模时，必须在模型的简化与分析结果的准确性之间作出适当的取舍，这是建模常遵循的一条原则。

（二）数学建模

为了使描述的一个实际现象更具科学性、逻辑性、客观性和可重复性，人们采用一种普遍认为比较严格的语言来描述各种现象，这种语言就是数学。使用数学语言描述的事物称为数学模型。工程问题建模还可以是几何建模、程序建模或数据建模。

数学建模的基本步骤是：模型准备、模型假设、模型建立、模型求解、模型分析、模型检验、模型应用。

1. 模型准备

了解问题的实际背景，明确其实际意义，掌握对象的各种信息，用数学语言来描述。

2. 模型假设

根据实际对象的特征和建模的目的,对问题进行必要的简化,并用精确的语言提出一些恰当的假设。

3. 模型建立

在假设的基础上,利用适当的数学工具(尽量用简单的数学工具)来刻画各变量之间的数学关系,建立相应的数学结构。

4. 模型求解

利用获取的数据资料,对模型的所有参数做出计算(估计)。

5. 模型分析

对所得的结果进行数学分析。

6. 模型检验

将模型分析结果与实际情形进行比较,以此来验证模型的准确性、合理性和适用性。如果模型与实际较吻合,则要对计算结果给出其实际含义,并进行解释。如果模型与实际吻合性较差,则应该修改假设,并再次重复建模过程。

7. 模型应用

应用方式因问题的性质和建模的目的而异,这是涉及如何合理地利用有限的人力、物力、财力等资源以达到最高效益的问题。

(三) 计算机建模

计算机建模,指借助于计算机建立数学模型、数值求解、定量研究某些现象或过程的研究方法。

1. 常见的计算机建模内容

计算机建模是使用计算机描述一个系统的行为。包括使用计算机以数学方法描述物体和它们之间的空间关系,常见的有 CAD 建模、数据建模、基于应用程序的建模。

2. 建模过程中的主要活动

(1) 确定数据及其相关过程。

(2) 定义数据(如数据类型、大小和默认值);建模确保数据的完整性(使用业务规则和验证检查)。

(3) 定义操作过程(如安全检查和备份)。

(4) 选择数据存储技术(如关系、分层或索引存储技术)。

在建模结束时,完全定义了应用程序的要求,确定了可能被其他企业级应用程序重复使用的数据和服务,并为将来的扩展奠定了强有力的基础。

3. 设计人员进行计算机建模需要具备的条件

第一,具备完整的设计软件操作技能,并能熟练应用。

第二，对所需要建模的对象有足够的了解，并确切知道建模所需的各种数据。

第三，需要有充分的思想准备，要有足够的耐心和细心。

开眼界

“水立方”（国家游泳中心）外形计算机建模

石墨（Graphite）建模工具分为三个部分：Graphite Modeling Tools、Freeform 和 Selection。鼠标放置在对应的按钮上，就会弹出相应的命令面板。

我们要做的实例就是“水立方”外面的结构。首先我们可以分析一下这个结构外形，它是由多个不规则的多边形组合而成的长方体结构。每个面大致相同，所以我们就拿它的一面来举例制作（图 4-1）。

第一步，在基本几何体中找到平面（plan）命令。在前视图中创建一个片。

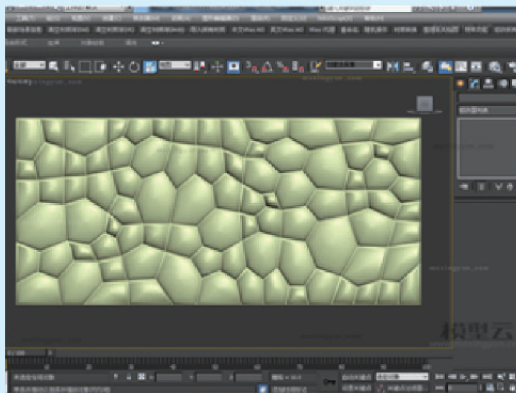


图4-1 “水立方”（国家游泳中心）外形建模片段

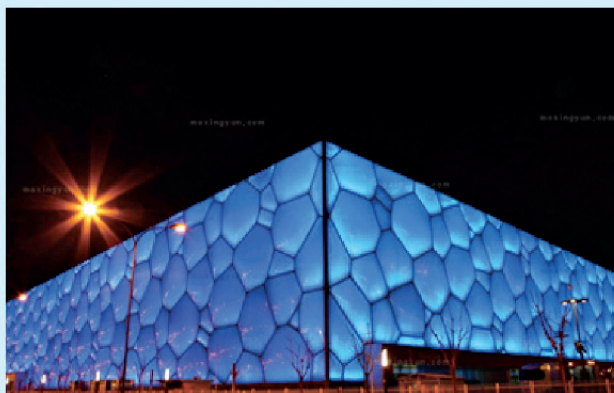


图4-2 “水立方”（国家游泳中心）外形建模效果

第二步，使用石墨建模工具。模型在选中的情况下，选择工具栏中的“建模—转为多边形—拓扑工具”。

第三步，点击鼠标右键，选择“多边形”，将所有的面选中。

第四步，点击鼠标右键，选择插入命令，然后选择多边形。

第五步，按住 Ctrl 键，同时选择边级别。

第六步，返回面级别，倒角。

第七步，转回边级别，右键切角。

第八步，按住 Ctrl 键，同时点击鼠标右键，选择删除。

第九步，转到面级别，继续点击鼠标右键，执行倒角命令。（注：为了使效果明显，特意将倒角做高了一些；如果为了美观的话，尽量不要将倒角设置得太高。）

第十步，倒角完毕后，要再重复一下先前的动作，按住 Ctrl 键选择线级别，然后返回面级别。这是为了记录我们当时所选择的线。之后，点击鼠标右键进行塌陷处理。

第十一步，选择线级别，我们会了解到，现在转到线级别就能够记录到上一次所选择的线。

第十二步，对线进行再次切角处理。

第十三步，选择所有的面给光滑组，自动平滑 90°。

第十四步，进行渲染，就可以看到最终的效果了（图 4-2）。



第二节 计算机建模与详细设计

本节我们将进入建模实践活动，同学们将以工程师的角色，学会识读和绘制简单的工程图样，运用实物或计算机进行简易工程局部建模。

讨论交流

机器狗建模需要做哪些准备工作？

提示：

根据机器狗的概念设计和学习过的计算机建模方法，做出小组工作计划，并与其他组交流、完善。



一、计算机建模任务

建模任务贯穿于工程设计的整个阶段，每个阶段根据需要进行建模，并选择合适的软件进行计算机辅助建模。下面我们将对结构设计建模、软件建模、电子设计建模的任务进行整体概述。

(1) 结构设计建模的任务。包括构思、画草图及原理简图、设计 3D 图并修正、在电脑上运行模拟。

(2) 软件建模的任务。包括了解需求，进行概念设计；选择面向对象的方法或面向过程的方法进行实体设计；利用软件建模工具进行详细设计；编程、测试验证需求。

(3) 电子设计建模的任务。包括根据产品的需求确定功能、进行电路设计、仿真调试、器材选型、绘制硬件原理图和 PCB 板。

当对建模任务有了整体认识后，我们将结合机器狗的详细设计过程，了解建模过程及认识建模结果，如识读工程样图，动手绘制简单的工程样图等。

二、识读和绘制简单的工程样图

这个阶段主要是根据机器狗实体设计的结果，设计或绘制工程图。下面结合机器狗的设计过程进行讲解。

（一）结构设计建模绘图

结构设计建模是根据产品实体设计结果的草图，画出原理简图。下面是机器狗腿的3D建模参考运动简图（图4-3）。

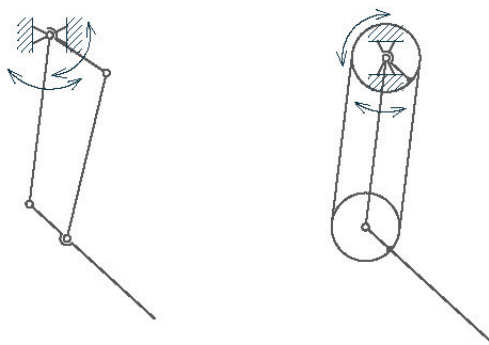


图4-3 机器狗腿的3D建模参考运动简图

根据零件成型工艺的不同，建立了3种不同工艺的机器狗腿部模型（图4-4）。



图4-4 机器狗腿部模型

针对上面3种不同工艺的机器狗腿部模型，进行校验，最终确定了机器狗的建模方案（图4-5）。



图4-5 机器狗骨架的最终建模

技术实践

尝试理解从结构草图到利用 3D 软件建模的过程。



(二) 软件建模绘图

在详细设计阶段，软件建模主要是根据实体设计阶段的结果进行详细设计。若采用面向过程的方法，可以画程序流程图、写伪代码进行设计、对关键部分进行算法分析。若采用面向对象的方法，可以画类图、分析关键算法。机器狗是采用面向过程的方法进行详细设计的，根据实体设计的结果，画出机器狗的程序流程图（图 4-6）。

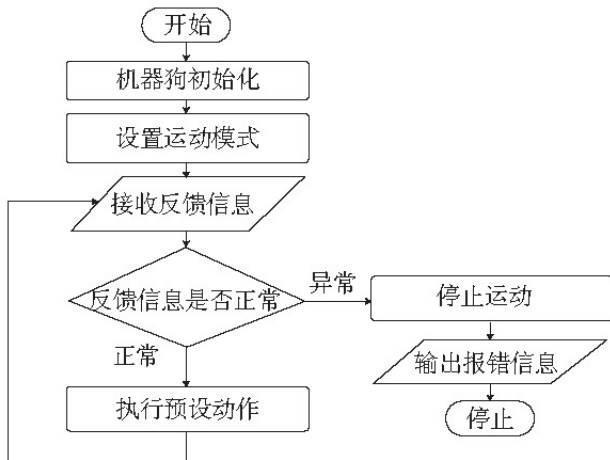


图4-6 机器狗的程序流程图

阅读材料

图 4-7 为机器狗的功能分解图，试着去读一读。

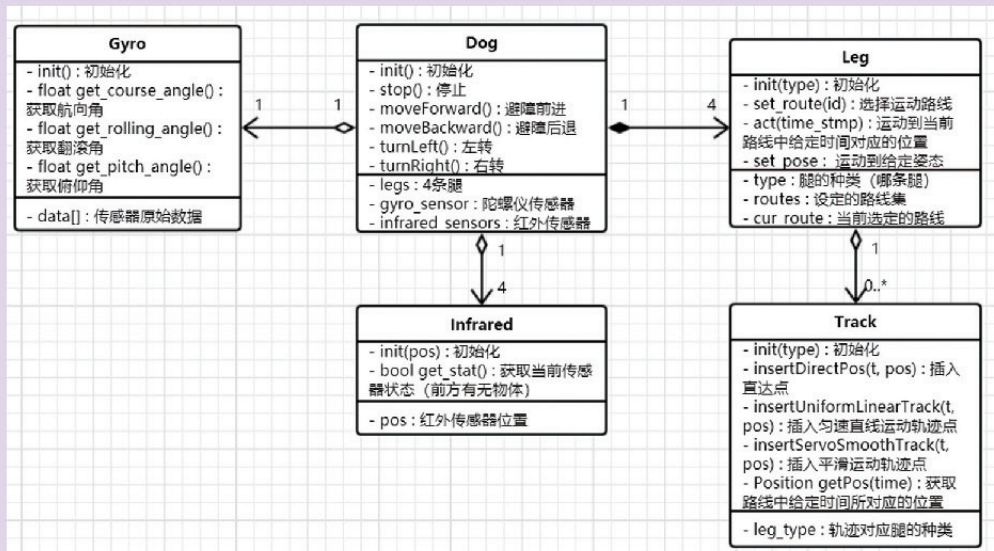


图4-7 机器狗的功能分解图



(三) 电子设计建模绘图

在详细设计阶段，电子设计建模是根据产品实体设计的结果，进行器材选型、利用软件绘制硬件原理图并生成 PCB 板。下面结合机器狗详细设计阶段的工作进行说明。

首先，对主控板元器件进行选型，分为两大部分：电源电路部分以及信号处理电路部分。

其次，绘制硬件原理图并生成 PCB 板。绘制硬件原理图时，根据主控芯片资料首先绘制出元器件的引脚图（图 4-8）。

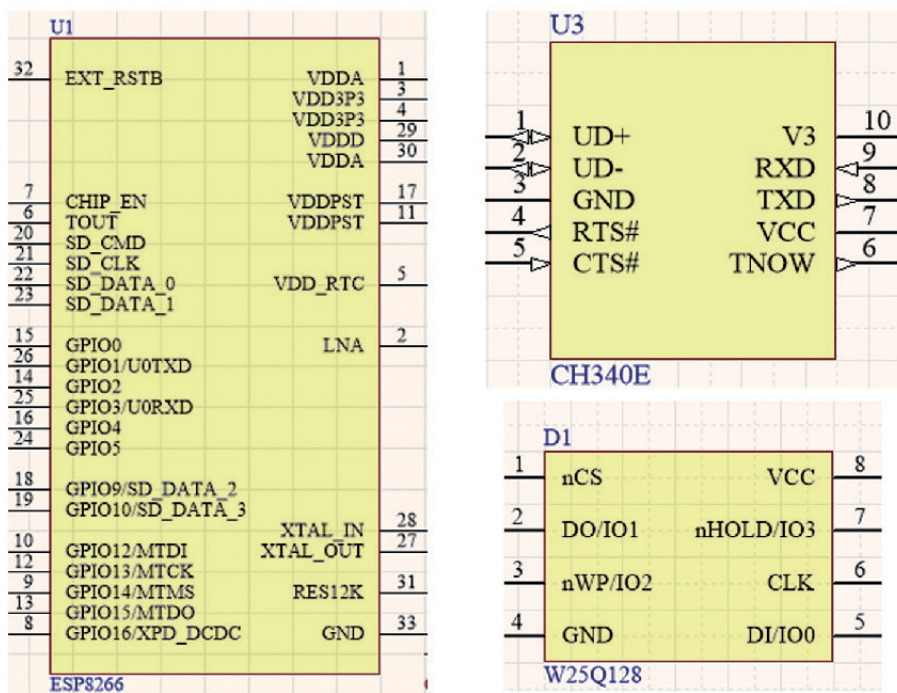


图4-8 元器件的引脚图

在完成对主控芯片的引脚图绘制后，再进行硬件原理图的绘制。该部分原理图主要由 ESP8266 的最小系统、FLASH 电路、USB 转串口电路，以及电源电路和一些外围的按键电路及保护电路组成，如图 4-9 所示。

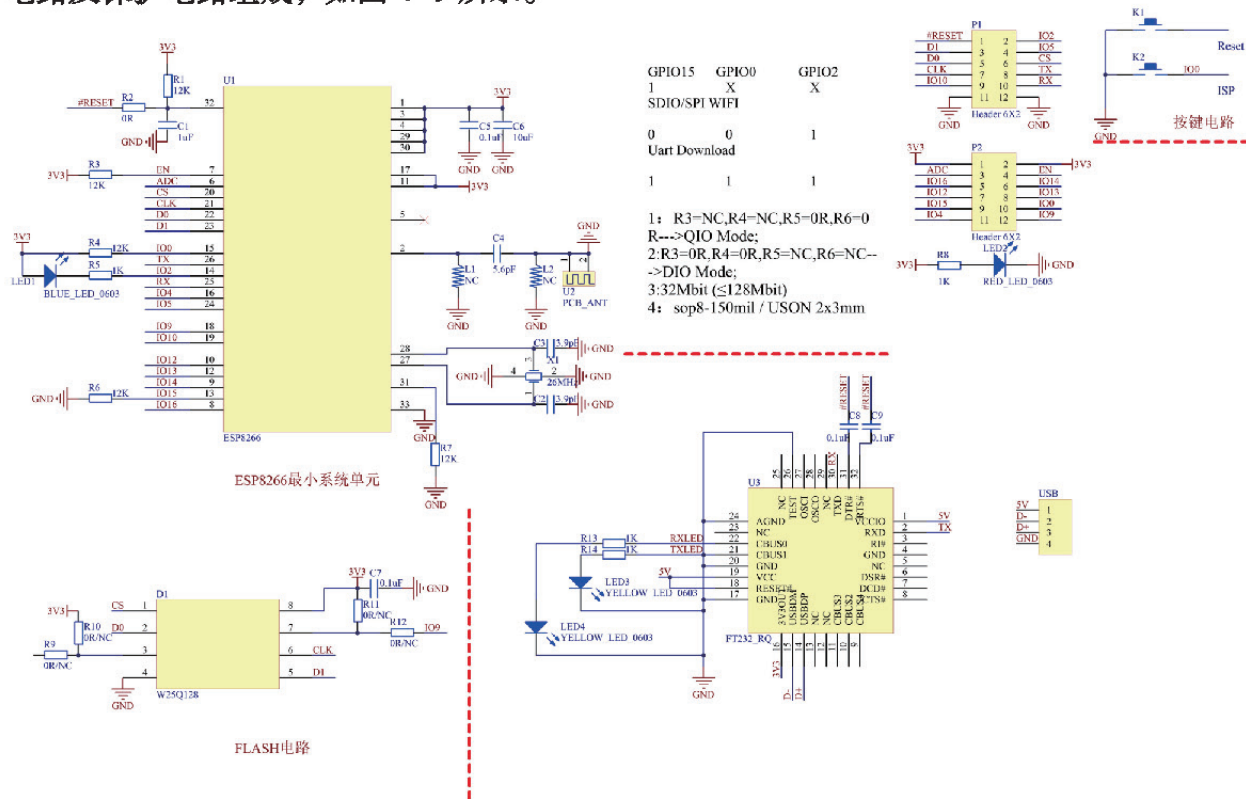


图4-9 硬件原理图

最后，生成 PCB 板，如图 4-10 所示。

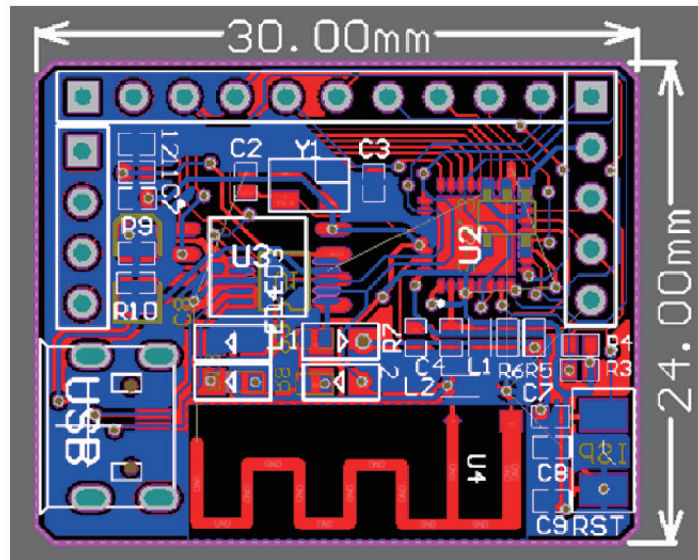


图4-10 PCB板

(四) 关键算法与局部建模

关键算法建模，就是针对工程问题中的重点部分、核心部分，分析出关键点，进行局部建模。关键算法建模属于软件建模。下面对机器狗的单条腿进行局部建模。

第一步，对机器狗腿运动建模。

我们采用几何画板对机器狗腿的运动轨迹进行模拟，具体的建模数据如下：

图 4-11 中的弧线是分别单电机运动时，机器狗腿端点产生的弧线轨迹。其中， $\angle A'OA$ 、 $\angle B'O'B$ 为机器狗腿上安装的单舵机的运动角度；蓝色线条代表机械连杆部分，控制机器狗腿的运动。

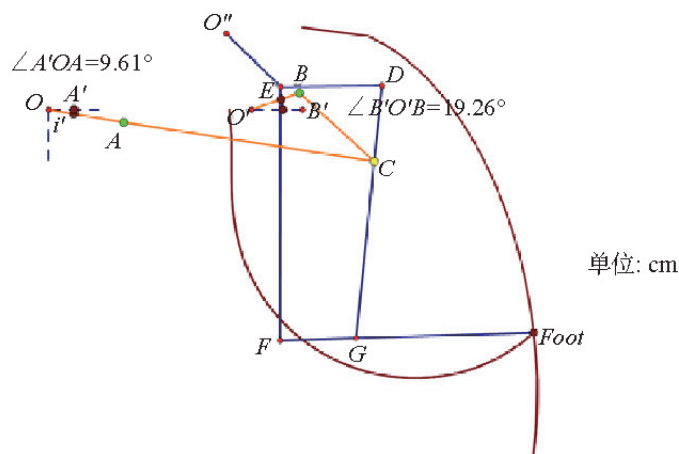


图4-11 机器狗腿端点产生的弧线轨迹

为了更好地控制机器狗腿的运动，分别对两个舵机可组合运动且无运动干涉的区域进行分区绘制，图 4-12 中的蓝色区域是两舵机组合运动可到达的位置。

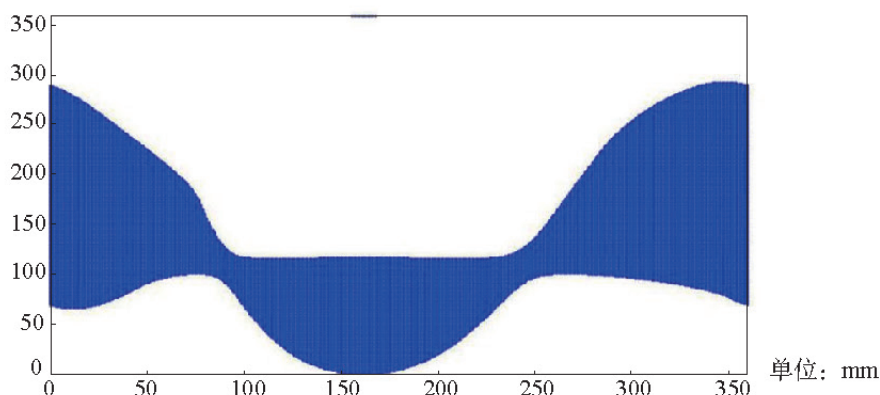


图4-12 机器狗腿端点可到达的位置

观察图中的蓝色部分，选取中间的蓝色区域（从水平轴看，大约 50 到 200 之间的蓝色区域），作为两舵机的运动范围。针对两个舵机的运动范围，对机器狗腿末端可到达的位置进行了计算。

为了更好地控制机器狗腿的运动，在仿真运动图中让两个电机分别运动，并记录下两个电机配合运动时机器狗腿部顶端所到达的所有点。绘制出图形是为了更好地了解机器狗腿的运动。记录下这些点，在后面机器狗腿需要运动到不同的位置时，就对应到这里面的点，然后找到对应的电机角度值，让程序自动输给电机角度值，机器狗腿也就到达了相应的位置。这是机器人运动姿态控制里逆解运算的最简过程。

为了更好地了解机器狗腿输出的力的变化，在运动分布图里再次引入了电机扭力参数，利用三角函数等公式分别算出在分布图各个点上脚对地面最大的推力。利用等高线方法，绘制出等力线图，从而便于了解机器狗腿推力的分布状况（图 4-13）。

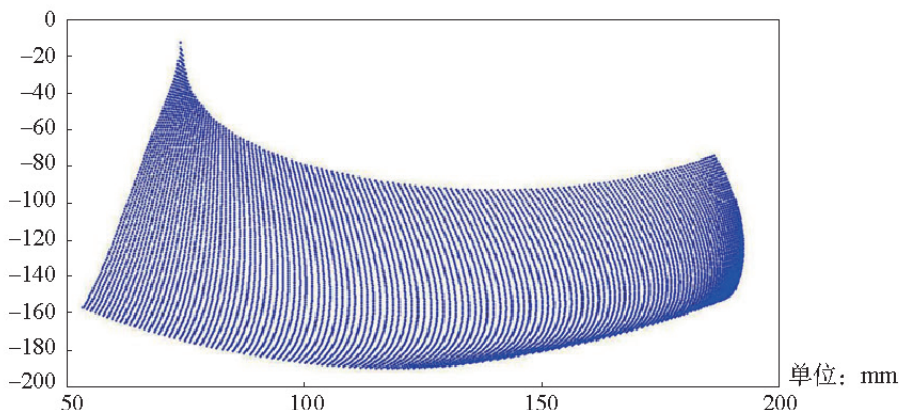


图4-13 机器狗腿推力的等力线图

第二步，通过数学公式绘制出机器狗腿运动的近似曲线，生成轨迹。

我们采用公式对机器狗腿的运动曲线进行描绘。分析机器狗腿的运动并使用标准的数学曲线进行对应，得到一条封闭曲线（图 4-14）。此曲线由两段小圆弧、一段大圆弧和一条直线构成。使用公式表达狗腿运动曲线的好处是，任何时候想变动机器狗腿的运动轨迹，只要改变公式内的参数就可以了。

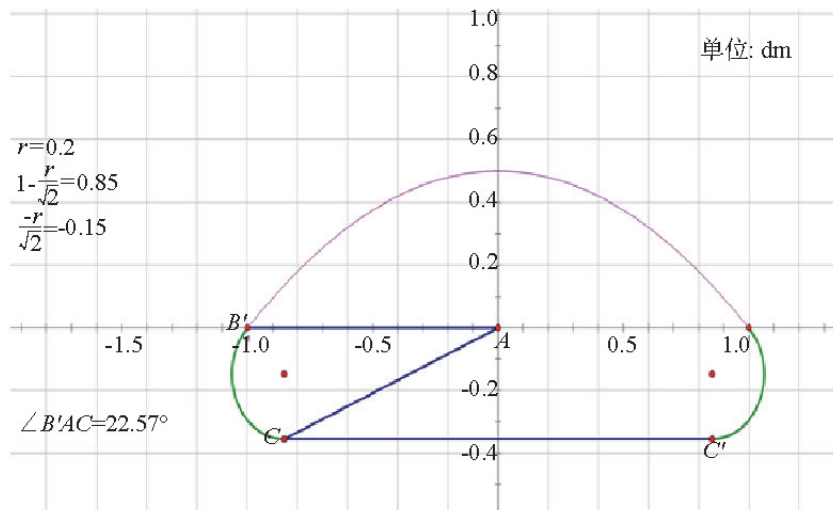


图4-14 机器狗腿运动的近似曲线

把与公式对应的图形（图 4-14）叠加到机器狗腿运动方位的图中（图 4-12），可得到机器狗腿运动重合图（图 4-15）。

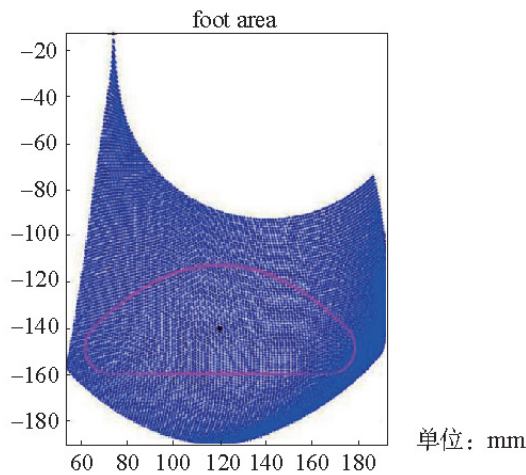


图4-15 机器狗腿运动重合图

通过叠加，就可以得到系列的舵机角度对应的值（图 4-16）。

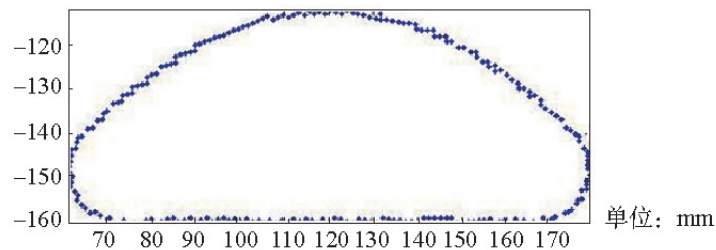


图4-16 舵机角度对应的值

在后面编程时，我们把机器狗腿的运动高度参数与地面障碍的高度进行关联，机器狗就具备自动抬腿功能。把多条机器狗腿的高度与姿态传感器输入的参数关联，机器狗就具备了自动调节姿态的功能。

第三节 局部仿真与测试

作为工程设计人员,必须学会计算机仿真技术。当我们已经完成了整个设计过程以后,要对参数赋值,看整个系统运行的效果是否符合设计需求。

一、计算机仿真技术与仿真工具

计算机仿真技术是以计算机系统为工具,以相似原理、信息技术和控制论为基础,根据系统试验的目的,建立实际或联想的系统模型,并在不同条件下,对模型进行动态运行实验的一门综合性技术。仿真通过计算机代替具体的实物,成本很低,可以作各种条件的假设,然后观察结果。一般用于研究各种参数变化时的反应。在对某个工程或产品进行局部建模后,用计算机技术仿真。

仿真工具主要是指仿真硬件和仿真软件。仿真硬件中最主要的是计算机。用于仿真的计算机有3种类型:模拟计算机、数字计算机和混合计算机。模拟计算机主要用于连续系统的仿真,称为模拟仿真。在进行模拟仿真时,依据仿真模型将各运算放大器按要求连接起来,并调整有关的系数。改变运算放大器的连接形式和各系数的调定值,就可以修改模型,且仿真结果可连续输出。因此,模拟计算机的人机交互性好,适合于实时仿真。改变时间比例尺,还可以实现超实时的仿真、环境仿真等。

仿真软件的种类很多,有结构仿真软件、电子仿真软件等。

利用仿真软件,将详细设计的结果进行实现(图4-17)。

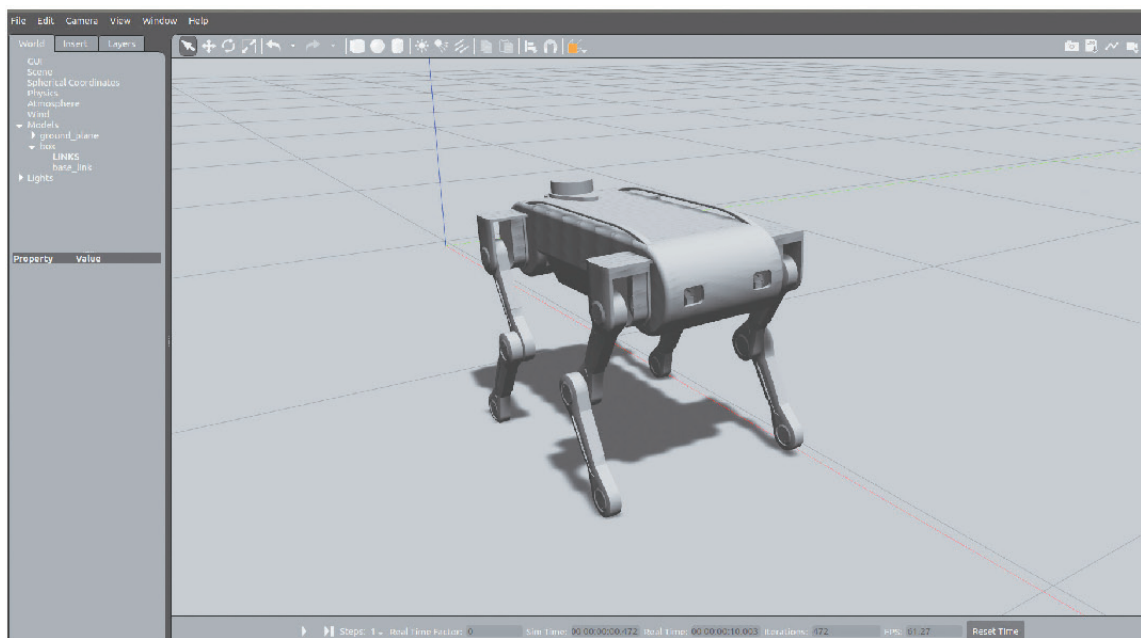


图4-17 机器狗模型的计算机仿真

技术实践

试着读图 4-18 所示的编程代码，说出其思路，并与同学们进行交流。

```

1  #include "FootRoute.h"
2  DevelopDog *dog; //定义一个“狗”对象
3  FootRoute *route[4]; //给四条狗腿分别定义一个“足部运动轨迹”
4
5  void setup()
6  {
7      dog = new DevelopDog(); //初始化“狗”和“轨迹”
8      for(int i=0;i<4;++i)
9          route[i] = new FootRoute();
10 }
11
12 void loop()
13 {
14     int receive = serialReceive(); //判断是否收到电脑仿真数据
15     if(receive==1)
16     {
17         Serial.println("ok");
18         if(receiveEnd==true) //如果数据接收完毕，使狗腿运动起来
19         {
20             for(int i=0;i<4;++i)
21                 route[i]->update();
22         }
23     }
24     else if(receive==-1)
25     {
26         Serial.println("error");
27     }
28 }
29
30 int serialReceive()
31 {
32     // 接收串口数据并执行，无数据返回0；
33     // 接收不完整或格式错误返回-1；
34     // 接收成功返回1,并将数据传递给“轨迹对象变量”；

```

图4-18 机器狗的编程代码（截取部分）



二、工程测试与详细设计说明书编制

对机器狗原理样机进行测试、调试至完善，同时编写产品说明书，重新核算成本；对原理样机外观打样后，进行工程测试。

技术实践

机器狗的设计需求是运输货物，它可以到达轮式机器人不能到达的恶劣地点。作为腿式运载平台的机器狗，可以弹跳、跨步、翻转、后腿站立完成行走；可以按规定路线行进至目标点；可以在检测到障碍物后实现避让动作；当地面不平时可自动调节身体的水平度以适应地形；当感觉到撞击或震动时下蹲以避免摔倒。

请同学们测试机器狗的行走、躲避障碍物、自适应调整及下蹲四个功能。



工程测试需要从性能、稳定性等多方面进行测试,尤其是在真实场景中进行测试,收集真实的参数数据,进行调整完善。最后,经过原理样机的测试、真实场景下的工程样机测试,就可以确定该产品。这样,机器狗产品在经历了工程设计的概念设计、实体设计、详细设计之后,就可以交付制造了(图4-19)。



图4-19 机器狗产品

至此,计算机建模仿真在详细设计阶段的应用就完成了。接下来需要对详细设计的内容进行整理,写出详细设计说明书(表4-1)。

表4-1 机器狗的详细设计说明书包含的内容

栏目	包含的设计数据	作用
结构部分	工程设计图	设计者通过图样表达设计意图和要求,制造者通过图样了解设计要求、组织生产加工,使用者根据图样了解产品构造
	物料清单(BOM)	包含机械零件,若有电子部件,也包含在内
	安装说明手册	阐述如何使用工程图,如何组装
电子部分	PCB文件	根据PCB文件,可以找厂家生产PCB板,利用此板就可以进行应用开发
	接口文档	参数介绍、PCB板引脚介绍、功能介绍、优劣介绍、使用案例等,方便用户使用
软件部分	人机界面交互设计文档	根据此文档进行软件界面设计
	程序流程图、关键算法的设计文档	根据此文档写编程代码
	程序及必要的介绍	程序源代码及对代码等必要的注释,方便用户查看使用

小结与评价

一、小结

通过本章的学习，我们了解了建模的意义和建模的类型。学会了识读和绘制简单的工程样图。最后，利用计算机进行仿真，并进行测试调试，做出原理样机、工程样机。

请同学们根据下列题目所提供的线索，将本章的学习内容和实践过程进行小结。

- (1) 谈谈你对计算机建模的理解。
- (2) 根据教材内容，识读机器狗的工程图。
- (3) 对建模结果进行仿真，了解仿真调试的过程。

二、评价

请结合本章学习的内容，利用电子仿真软件，分析机器狗的仿真过程。

自我评价：_____。

同学评价：_____。

老师评价：_____。

第五章 工程管理

现代社会的发展越来越需要复合型人才，即人们常说的T型人才。工程管理也需要复合型人才。单纯具有管理技能，或者单纯具有工程技术的人才，已经不能适应社会的发展。

工程管理就是在一定的约束条件下，为达到工程目标（在规定的的时间和预算费用内，达到所要求的质量）而对工程所实施的计划、组织、指挥、协调和控制的过程。

本章主要从工程的成本管理、时间管理和质量管理等几个方面介绍工程管理的知识。

第一节 成本管理

成本管理是工程管理的一个重要组成部分，对于提高工程的整体管理水平具有重大意义。我们将通过项目学习，了解成本管理，并运用 WBS 法进行成本估算，体验成本管理的过程。

一、成本管理的过程

(一) 成本管理的主要过程

第一，要确定资源计划，即确定完成工程各项活动需要哪些资源，包括人、设备、材料以及每种资源的数量。

第二，要进行成本估算，估算完成工程各项活动所需每种资源成本的近似值。

第三，要进行成本预算，把估算好的总成本分配到各具体工作中。

最后，要进行成本控制，控制项目预算的改变。

以上 4 个过程相互影响、相互作用，有时也与外界的过程发生交互影响。根据工程的具体情况，每一过程由一人或数人或小组完成，在工程的每个阶段，上述过程至少出现一次。

(二) 成本管理的具体操作步骤

成本管理的前期要掌握生产要素的市场价格和变动状态并以此确定合同价格；然后编制成本计划，进行成本动态控制；后期要进行项目成本核算和工程价款结算，进行工程成本分析，形成报告，归档。具体步骤如图 5-1 所示。

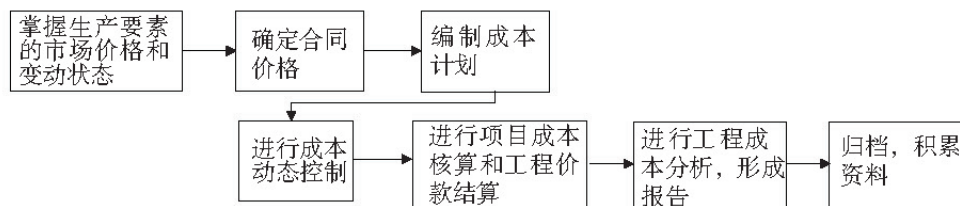


图5-1 成本管理的具体步骤

二、运用WBS法估算成本

工作分解结构（Work Breakdown Structure, WBS）是项目管理重要的术语之一。创建 WBS 就是把项目工作分解成较小的、更易于管理的组成部分的过程。WBS 总是处于计划过程的中心，也是制订进度计划、资源需求、成本估算、风险管理计划和采购计划等的重要基础。

成本估算是完成项目所需费用的估计和计划，是项目计划中的一个重要组成部分。要实施成本控制，首先要进行成本估算。常用的估算方法主要有3种：经验估算法、因素估算法和WBS估算法。这里主要介绍WBS估算法。

（一）WBS 法的意义

WBS就是为完成工程目标而制订的全部工作或活动的集合。把必要的工作按照一定的次序和归属画一张结构图，便得到了WBS图。完成了WBS图，该做哪些工作便一目了然。WBS图应满足以下要求：

- （1）明确和准确地说明工程范围。
- （2）为各独立单元分派人员，规定这些人员的相应职责。
- （3）针对各独立单元，进行时间、费用和资源需要量的估算，提高时间、费用和资源估算的准确度。
- （4）为计划、预算、进度计划和费用控制奠定共同的基础，确定工程进度测量和控制的基准。
- （5）将工程工作与工程的财务账目联系起来。
目前已经开发出相应软件来完成这项工作。

（二）WBS 图的构成

WBS图主要有3个基本要素：层次结构、WBS编码和工作包说明。

1. 层次结构

（1）WBS的分解层次。进行工作分解既可按照项目的内在结构，又可按项目的实施顺序，形成不同层次。一般包括事项、活动、具体分工和实践工作分解后的结构，每细分一层次就表示对工程要素进行更细致的描述。

（2）结构设计。WBS的总体设计对于有效的工作系统来说是个关键。结构应以等级或树枝状来构成，使底层代表详细信息，而且其范围很大，逐层向下。WBS的最底层通常被称为工作包，这些工作包还可以由项目经理把一个工作范围分包给另一个组织，这个组织必须制订比主项目更详细的层次计划来管理。

2. WBS 编码

WBS中的每一项工作或者单元都要编上代码，所有这些代码称作编码系统。编码系统同项目工作分解结构本身一样重要，在项目规划和以后的各个阶段，项目各基本单元的查找、变更、费用计算、时间安排、资源安排、质量要求等各个方面都要参照这个编码系统。

3. 工作包说明

工作包说明就是对工作分解结构中的每项工作给予定义，说明它所包含的全部工作内容。确切地说，也就是对每个工作包的内容做进一步说明。

目前有多种软件可以帮助我们完成WBS的结构设计，如图5-2所示。

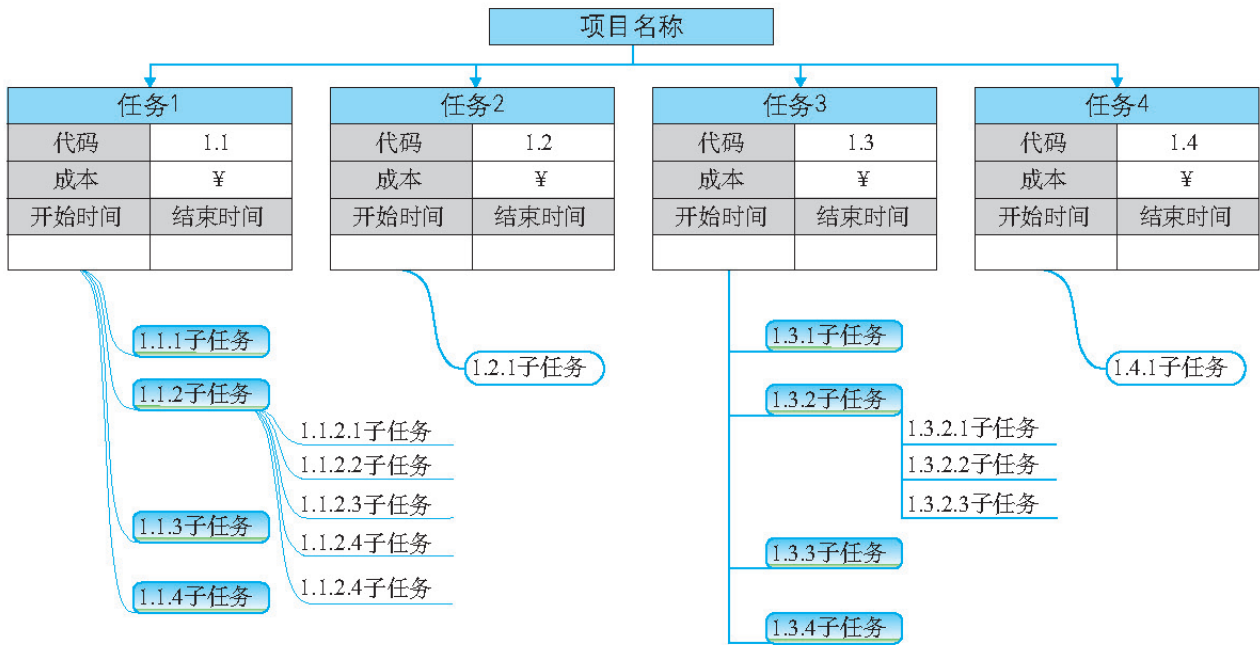


图5-2 WBS示意图

(三) WBS 法的实施步骤

先把项目任务进行合理的细分，分到可以确认的程度，如某种材料、某种设备、某一活动单元等，然后估算每个 WBS 要素的费用。

采用这一方法的前提条件或先决步骤是：①对项目需求做出一个完整的界定；②制订完成任务所必需的逻辑步骤；③编制 WBS 表。

项目学习：某中学校舍修缮工程成本管理、质量管理 and 时间管理。

项目名称：某中学 2019 年校舍维修项目。

项目主要内容：

- (1) 综合楼内部涂料翻新，综合楼、中大楼、南大楼、办公楼外墙真石漆涂料翻新，围墙涂料翻新，开放公共部位刷外墙涂料、墙砖墙裙翻新。
- (2) 中大楼、南大楼、办公楼屋面防水、保温层翻新。
- (3) 原始水磨石地面重新打磨。
- (4) 消防管道油漆翻新、消防管道检修。
- (5) 校园广播系统改造。
- (6) 运动场西侧新建围网，道路、塑胶场地、绿化修复，避雷带修复。
- (7) 应急避难场所建设，应急供配电、强弱电、给排水安装，应急指示牌设置。
- (8) 新增应急深水井及附属设施等。

工期：30 天（自签订合同起至施工图设计完成，设计服务涵盖整个工程实施阶段）。

在本章中同学们将通过完成这个项目，学习工程管理的主要内容和方法。

技术实践

项目学习任务1：完成某中学校舍修缮的成本估算（表5-1至表5-4）。

(1) 选用专用教室计算机配备的软件，画出WBS图。

(2) 依次进行分项成本估算。

表5-1 材料计划表

物品	型号	数量	市场单价	总价

表5-2 人工计划表

任务名称	工作性质	工时	每工时报酬(含税)	总价

表5-3 设备及其他资源一览表

设备(资源)	用途	数量及使用时间	单价	总价

表5-4 成本预算表

阶段	起止时间	涉及的资源	总价



第二节 时间管理

时间管理是工程管理的主要组成部分。在管理实践中逐渐形成了一些典型的时间管理方法，例如，利用甘特图展现工程进度，进行进度管理；运用关键路径法优化关键路径，以加快工作进度，实现工程效益；等等。

一、工程进度计划

工程进度计划是指在确保合同工期和主要时间节点的前提下，对设计、采办和施工的各项作业进行时间和逻辑上的合理安排，以达到合理利用资源、降低费用支出和减少施工干扰的目的。其主要作用如下：

- (1) 保证按时获利以补偿已经发生的费用支出。
- (2) 协调资源。
- (3) 使资源在需要时可以获得利用。
- (4) 预测在不同时间所需要的资金和资源的级别，以便赋予项目不同的优先级。
- (5) 满足严格的完工时间约束。

制订进度计划的主要工具有关键日期表、甘特图、关键路径法、计划评审技术等。

二、甘特图

(一) 甘特图的作用

甘特图 (Gantt chart) 又称为横道图、条状图，以提出者亨利·劳伦斯·甘特先生的名字命名。甘特图形式简单，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。

甘特图的形式是线条图，横轴表示时间，纵轴表示活动 (项目)，线条表示在整个期间计划和实际活动的完成情况。它直观地表明任务计划在什么时间进行，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一项任务 (项目) 还剩下哪些工作要做，并可评估工作进度。甘特图可以显示几个部门、机器或设备的运行和闲置情况，管理人员可根据项目 (任务) 进展情况进行适当的调整。

(二) 甘特图绘制的步骤

1. 绘制草图

(1) 明确工程涉及的各项活动，包括子工程名称 (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) 绘制甘特图草图。将所有的工程按照开始时间、工期标注到甘特图上。
- (3) 确定工程活动的依赖关系及时序进度。使用草图，按照工程的类型将工程联系起来，并安排工程进度。
- (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并适时按需调整工时。
- (6) 计算整个工程时间。

2. 运用制图工具完成甘特图

制作甘特图的软件工具很多，常见的有 FineReport 报表软件、Excel 办公软件等，它们的共同特点是“专业、简洁、灵活”。

〔案例〕 运用 Excel 做甘特图

- (1) 新建一个 Excel 文档，输入文件名称，即“我的甘特图计划”。
- (2) 打开“我的甘特图计划”，输入标题：“我的甘特图计划——以校园招聘计划为例”，然后输入时间、任务和目标项（图 5-3）。



图5-3

- (3) 在时间项的右方输入时间，可以根据工作的时间段和项目的整体规划进行设置，如 6 月 1 日至 6 月 10 日（图 5-4）。



图5-4

(4) 把工作任务进行细化, 然后写出每一项任务和对应的目标 (图 5-5)。



图5-5

(5) 把每一项任务进行时间设定, 然后在日期的范围内用不同的颜色标注出来 (图 5-6)。

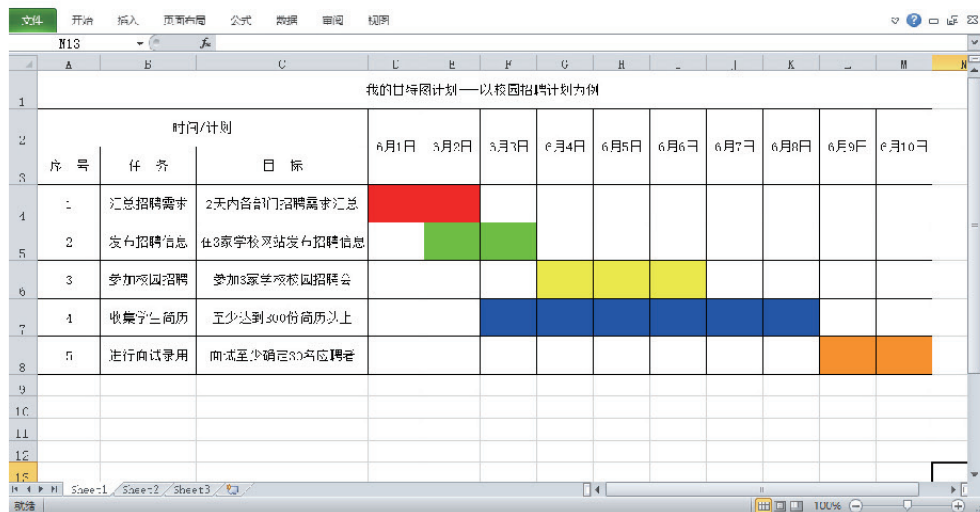


图5-6

这样, 一个简单的甘特图就做好了。工作任务的每一步都有工作主题、工作目标和时间限度。这种方法对于小的项目和专项工作非常实用。

技术实践

项目学习任务 2: 利用计算机软件绘制某中学校舍修缮的工程进度甘特图。



三、关键路径法

关键路径法 (Critical Path Method, CPM), 是通过分析项目过程中哪个活动序列进度

安排的总时差最少，来预测项目工期的网络分析。它用网络图表示各项工作之间的相互关系，找出控制工期的关键路径。关键路径法在一定的工期、成本、资源条件下获得最佳的计划安排，以达到缩短工期、提高工效、降低成本的目的。

学校组织大型校庆活动

组织大型校庆活动是一项工程。在时间、人力、物力、财力都已经被确定的情况下，要想高效、有序地组织这次活动，必须编制组织活动的计划，并找出其中用时最长的工作过程，也就是关键路径。

阅读材料

关键路径法中的术语

工程：指的是一项复杂完整的工作任务。

工序：指的是为了完成某项工程，在工艺技术和组织管理上相对独立的活动。各工序间用“→”衔接。

事项：指的是工序的开工或完工，它是相邻工序在时间上的分界点，用注有编号的结点表示。

工时：完成某道工序所用的时间。

总时差：指一项活动在不影响整体工期计划的情况下最大的浮动时间。由工序、事项及标有各道工序所需时间等参数构成的有向图为网络图。



组织大型校庆活动的主要工作如表 5-5 所示。

表5-5 大型校庆活动工序表

序号	工 序	工序 代号	相关事项 (表示某个事项完成了, 后面的才能够开始)	工时 /d
1	确定校庆活动的内容	<i>a</i>	1 → 2	10
2	会前宣传庆典	<i>b</i>	2 → 3	2
3	设计庆典大会程序	<i>c</i>	1 → 4	7
4	收集举办校史展览的 文字与图片资料	<i>d</i>	1 → 5	1
5	确定嘉宾	<i>e</i>	5 → 6	1

续表

序号	工 序	工序 代号	相关事项 (表示某个事项完成了, 后面的才能够开始)	工时 /d
6	发邀请信	<i>f</i>	4 → 7	7
7	撰稿	<i>g</i>	1 → 8	2
8	设计庆典大会后的学 术报告内容	<i>h</i>	6 → 9	10
9	收回执	<i>i</i>	3 → 10	1
10	邀请讲话人	<i>j</i>	8 → 11	2
11	聘请报告人	<i>k</i>	1 → 12	5
12	联系文艺演出团体	<i>l</i>	7 → 13	7
13	设计展牌	<i>m</i>	13 → 14	7
14	制作展牌	<i>n</i>	14 → 15	4
15	布置展室	<i>o</i>	11 → 16	10
16	收报告文稿	<i>p</i>	16 → 17	7
17	印报告集	<i>q</i>	12 → 18	7
18	准备节目	<i>r</i>	18 → 19	1
19	编制节目单	<i>s</i>	10 → 20	1
20	准备程序册	<i>t</i>	15 → 21	1
21	检查准备工作	<i>u</i>	9 → 22	1
22	安排嘉宾的位置	<i>v</i>	21 → 23	1
23	准备庆典录像	<i>w</i>	21 → 24	1
24	布置演出舞台	<i>x</i>	24 → 25	1
25	校庆活动	<i>y</i>	23 → 25	1

用网络方法表示组织活动的计划如图 5-7 所示。

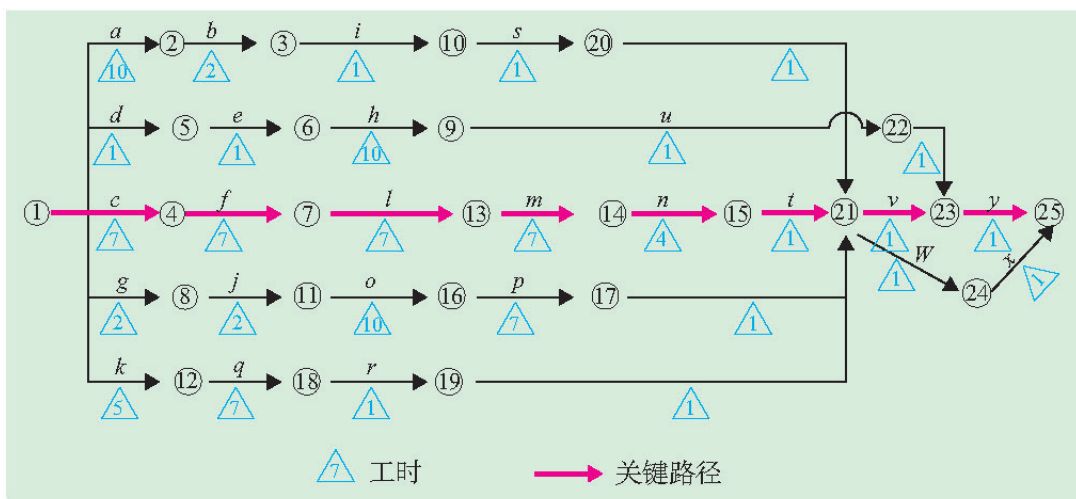


图5-7 大型校庆活动路径图

第一条路径（关于校史展览）：1. 确定校庆活动的内容；4. 收集举办校史展览的文字与图片资料；7. 撰稿；13. 设计展牌；14. 制作展牌；15. 布置展室；21. 检查准备工作；23. 准备庆典录像；25. 校庆活动。

根据图 5-7，共需要的时间为： $7+7+7+7+4+1+1+1=35$ （天）。

第二条路径（关于请嘉宾）：1. 确定校庆活动的内容；5. 确定嘉宾；6. 发邀请信；9. 收回执；22. 安排嘉宾的位置；23. 准备庆典录像；25. 校庆活动。

根据图 5-7，共需要的时间为： $1+1+10+1+1+1=15$ （天）。

同样，可以计算出第三条路径（关于庆典大会）：共需要 17 天。

第四条路径（关于学术报告）：共需要 24 天。

第五条路径（关于文艺演出）：共需要 16 天。

通过分析可以看出，第一条路径为“关键路径”，所需要的时间最长。如果这条路径的工序提前一天完成，整个工程就能够提前一天完成。如果第一条路径的工序没有变化，其他路径的工序即使提前 5 天完成，整个工程还是不能够提前完成。因此，整个工程进度快慢（校庆活动能否如期举行）是由这条路径的进展情况决定的。在准备校庆活动时，应该把握好这条路径上各个工序的进度。

技术探究

项目学习任务 3：运用关键路径法完成某中学校舍修缮工程的施工计划，确定关键路径，并能够提出改进措施。

提示：首先确定“事项”，用有编号的节点表示；然后确定“工序”，用“ \rightarrow ”表示事项之间的活动顺序和衔接；在工序上填上完成的天数；组成有方向的网络图。



第三节 质量管理

质量管理是依据目标，指导人、机器、信息的协调活动，是实现项目目标，获得经济效益和社会效益的保障。我们将在理解全面工程质量管理的原则和要点的基础上，运用PDCA循环法，尝试完成简单的工程质量管理过程，同时了解常用的质量管理方法。

一、全面质量管理

全面质量管理（Total Quality Management, TQM），是指一个组织以质量为中心，以全员参与为基础，目的在于通过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。

全面质量管理中的“全面”，体现在对产品整个寿命周期的管理。例如，设计开发是产品质量的源头，质量目标或用户要求转化成产品的设计参数，要尽量采用新的质量管理技术，如我们在工程设计阶段采用的质量功能配置工具（质量屋）等；还应该包括产品用后处理的质量管理，如减少对环境的污染，加强对资源的充分和有效利用等。

TQM具有以下特点：①全面性，控制产品质量的各个环节，各个阶段；②全过程的质量管理；③全员参与的质量管理；④全社会参与的质量管理。

全面工程质量管理，是指工程建设全过程的质量管理。其管理的范围贯穿于工程建设的决策、勘察、设计、施工的全过程，主要包括决策阶段的质量管理、施工前的质量管理、施工过程中的质量管理、工程完成后的质量管理等。目标是使工程建设质量达到全优。

阅读材料

质量管理八项原则

原则 1：以顾客为关注焦点

原则 2：领导作用

原则 3：全员参与

原则 4：过程方法

原则 5：管理的系统方法

原则 6：持续改进

原则 7：基于事实的决策方法

原则 8：与供方互利的关系



调查研究

调查某个项目的质量管理状况

在同学们的身边有许多关系到人民生活质量的工程。虽然大家都知道这些工程，但是很少关注过工程的质量管理状况。现在大家带着关注社会的责任感，选

择一个熟悉的项目进行调查研究，将调查所得写成调查报告。

提示：

(1) 首先要与工程的质量管理部门协商，说明调查的目的、意义，经有关方面的同意，与质量管理人员进行交流。

(2) 可以通过查阅管理文件、问卷、访谈、观察等多种方法收集资料。

(3) 重点关注质量管理原则中提出的要点，进行调研。



二、质量管理的方法

(一) PDCA 循环法

PDCA 循环是美国质量管理专家戴明首先提出的，所以又称戴明环。全面质量管理的思想基础和方法依据就是 PDCA 循环（图 5-8）。

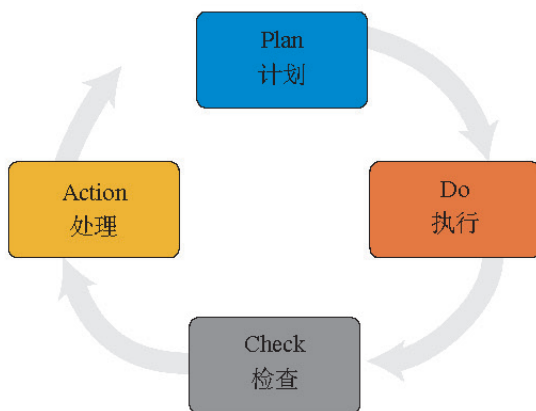


图5-8 PDCA循环示意图

PDCA 循环的含义是将质量管理分为 4 个阶段，即计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）、处理（Action）。

(1) P (Plan)：计划。根据顾客的要求和组织的方针，为提供结果建立必要的目标和过程。

(2) D (Do)：执行。即实施过程。

(3) C (Check)：检查。根据方针、目标和产品要求，对过程和产品进行监视和测量，并报告结果。

(4) A (Action)：处理。采取措施，以持续改进过程绩效。对于没有解决的问题，应提交给下一个 PDCA 循环去解决。

以上 4 个过程不是运行一次就结束，而是周而复始地进行，一个循环完了，解决一些问题，未解决的问题进入下一个循环，呈阶梯式上升。

技术实践

项目学习任务4:运用PDCA循环法,完成某中学校舍修缮工程的质量管理框架。

提示:

- (1) 首先要根据需求做出项目设计。
- (2) 计划部分要包括以下内容:
 - a. 制订目标和工程验收标准;
 - b. 确定实施计划、绘制工程进度甘特图;
 - c. 运用WBS法作出成本估算。
- (3) 在后面的阶段中,要制订行动计划,并进行分工负责。



(二) 全面质量管理的常用方法

在全面质量管理活动中,形成了一些收集和分析质量数据、分析和确定质量问题、控制和改进质量的常用方法,如检查表法、排列图法、因果分析图法、分层法、直方图法、控制图法、散布图法等。

这些方法的核心思想是收集工程进展过程中的数据,用数据预示或指出工程进展过程中的质量风险,提出防范或补救措施,保证工程质量。

例如,因果分析图又叫特性要因图。按其形状,有人又叫它为树枝图或鱼骨图。它是寻找质量问题产生原因的一种有效工具。影响产品质量的原因,通常从5大方面去分析,即人员、设备、材料、工艺和工作环境。每个大原因再具体化成若干个中原因,中原因再具体化为小原因,越细越好,直到可以采取的措施为止(图5-9)。

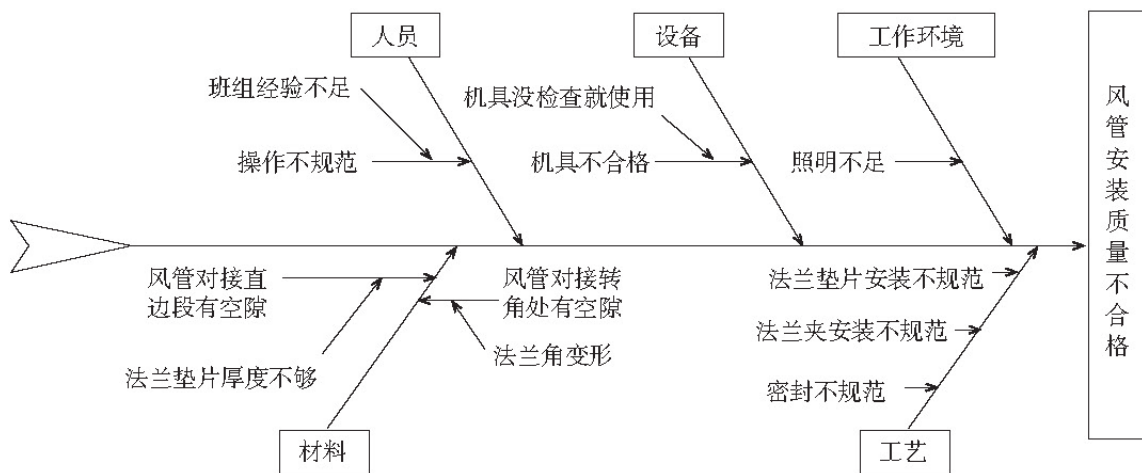


图5-9 风管安装工序因果分析图

技术实践

仿照图5-9,试分析某中学校舍修缮工程可能的质量问题,并做出因果分析图。



检查表法，也称统计分析表法。

首先对工程建设中可能出现的问题做出鱼骨图，找出需要重点监测和收集数据的点；然后随着工程的进展定期收集数据；再针对主要问题，给出对策（表 5-6）。

表5-6 对策表

序号	质量问题	对策	执行人	检查人	期限	备注
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

技术实践

在某中学校舍修缮工程质量问题因果分析图的基础上，假设工程进展中的问题，列出对策表。



小结与评价

一、小结

工程管理贯穿整个工程的全过程。本章我们主要学习了工程管理的成本管理、时间管理和质量管理等内容。理解了全面质量管理的理念，了解了质量控制和改进的方法。在工程设计项目学习中，初步学会了运用一些典型的工程管理方法，如甘特图、关键路径法、WBS 成本估算法、PDCA 循环法等，进行简单的工程管理和评估。

请同学们根据下列题目所提供的线索，将本章的学习内容和实践过程进行小结。

- (1) 如何利用 WBS 估算成本？
- (2) 甘特图有何作用？如何利用软件绘制甘特图？
- (3) 什么是关键路径？有何意义？
- (4) 谈谈你对全面质量管理的理解。
- (5) 质量管理的方法有哪些？如何利用 PDCA 循环法对质量进行管理。

二、评价

以小组为单位，对本章项目学习“某中学 2019 年校舍维修项目”中 4 个任务的完成情况进行评价。

任务 1：完成某中学校舍修缮工程的成本估算。

任务 2：利用计算机软件绘制某中学校舍修缮的工程进度甘特图。

任务 3：运用关键路径法完成某中学校舍修缮工程的施工计划，确定关键路径，并能够提出改进措施。

任务 4：运用 PDCA 循环法，完成某中学校舍修缮工程的质量管理框架。

自我评价：_____。

同学评价：_____。

老师评价：_____。

后 记

本教材是根据教育部颁布的《普通高中通用技术课程标准(2017年版)》编写的。在编写过程中,我们以落实立德树人为宗旨,以培养学生的正确价值观、必备品格和关键能力为目标,通过案例引入、任务引领、问题嵌入的方式,整合基础知识和实践内容。在教学内容的选择及教材内容结构的架构上,力求从学生的真实需求出发,让学生面向真实世界的真实问题,采用任务驱动的形式体现学生为中心、实践为核心的学习过程,以促进学生创新思维能力的提高和学科核心素养的养成。

本套教材的原主编为孙世强、鲍琬、陈玲玲。本套教材的修订主编为陈玲玲、王永奉,副主编为王明彦;本册教材的主编为李晶、谢小川,由李晶、郑世杰、岳娟编写,由李晶、谢小川、岳娟统稿。

本册教材的编写工作得到了北京教科院孟献军老师、山东省教科院王秀玲老师、湖南省教科院董仲文老师、贵州省教科院刘惠平老师、河北省教科所王秋岩老师及石家庄市教科所胡刚老师等的大力支持和指导,在此深表感谢。

本册教材在山东、北京、河北、湖南、贵州、四川、广东等多个省(市)进行了试教,并请了一批一线教师进行了审读,根据师生的反馈意见,我们对本册教材先后进行了多次修改。在此,对参加审读与试教的各位老师和同学一并表示感谢。