

目 录

前 言	(1)
第一章 引论	(1)
第一节 本书的内容与特点	(1)
一、主要内容	(5)
二、特点	(7)
三、读者对象	(9)
第二节 工程技术思维的特征	(10)
一、工程技术思维的根本特征	(10)
二、工程界内部分工的影响	(11)
三、削弱分工的趋势及其要求	(14)
四、小结	(17)
第二章 知识活化思考法	(18)
第一节 知识强化、弱化与活化的概念	(18)
一、知识的强化与弱化	(18)
二、知识的活化	(20)
三、改变知识单元间的联系结构	(22)
第二节 从应用角度理解与掌握原理知识	(24)
一、掌握原理知识的重点方面	(25)
二、探索原理知识的创造性应用	(27)
第三节 深入分析理解各种技术事物	(30)
一、探讨特定结构的特定原理	(30)
二、提炼创造性构思的经验法则	(38)
第四节 积极运用功能观点	(48)

一、按功能体系整理原理与结构知识·····	(48)
二、功能观点是工程实践的基本观点之一·····	(49)
三、知识活化的功能导向·····	(51)
第五节 消化吸收有关学科的基本方法·····	(52.)
一、注意掌握基本的观点和方法·····	(52)
二、分解消化具体知识中的基本方法要素·····	(53)
第三章 设计方案构思法 ·····	(55)
第一节 基本概念和构思方法分类·····	(56)
一、基本概念·····	(57)
二、方案构思方法分类·····	(59)
第二节 突出矛盾法与定量导向法·····	(60)
一、突出矛盾法·····	(60)
二、定量导向法·····	(63)
第三节 组合方法与变异方法·····	(71)
一、朴素的组合方法·····	(71)
二、系统组合法·····	(72)
三、朴素的变异方法·····	(79)
四、原型变异法·····	(79)
第四节 先分析、先试解和先评价·····	(82)
一、“先分析”的构思方法·····	(83)
二、“先试解”的构思方法·····	(83)
三、“先评价”的构思方法·····	(85)
第五节 最强方法与最弱方法·····	(87)
一、循常选型法·····	(87)
二、创造技法(自由发散法)·····	(88)
第六节 小结·····	(92)
第四章 设计全程思考法 ·····	(94)

第一节 设定课题	(94)
一、事例讨论	(94)
二、“设定课题”的思考进程	(99)
第二节 工程设计的信息根据	(103)
一、社会需求	(103)
二、技术合理性	(106)
三、企业意向	(107)
四、企业资源	(107)
五、其他	(108)
第三节 设计评审	(109)
一、设计评审的目的	(109)
二、设计评审的根据和方法	(110)
第四节 设计过程的概略说明	(111)
一、设计过程的基本阶段	(112)
二、设计解题思考过程的概念	(113)
第五节 工程活动与思维活动的矛盾 及其对策	(114)
一、两种互相矛盾的特性	(114)
二、处理矛盾的对策	(115)
第五章 定性思考法	(117)
第一节 比较分析法	(117)
一、比较法与分析法的综合应用	(118)
二、比较法与分析法的分别应用	(124)
第二节 抽象概括法	(129)
一、关于“从具体到抽象”	(129)
二、舍弃枝节	(130)
三、避免浅尝辄止	(134)

第三节 明确概念法	(135)
一、概念的混淆与偷换	(136)
二、抽象概念的重要性	(141)
三、充分利用词语、图形和符号	(142)
四、澄清内涵	(143)
五、了解外延	(148)
六、设计构思中的内涵与外延	(150)
第六章 定量思考法	(152)
第一节 定量思考的实用目的	(152)
一、掌握基本的数量关系	(152)
二、优化	(156)
三、匹配	(159)
四、分配	(161)
五、通过定量思考导出定性判断	(163)
六、按课题的定量要求进行设计构思	(165)
第二节 定量思考的常用方法	(166)
一、运用可加性原理	(166)
二、掌握和运用简单的函数关系	(172)
三、发现与利用事物的特征参数	(178)
四、灵活进行概略估算	(183)
五、用好微积分的基本概念	(188)
第三节 数学构模方法	(194)
一、数学构模过程的内容与步骤	(195)
二、“缓开门机构”的数学构模	(197)
三、实际解题过程的若干共同特征	(200)
第七章 技术直觉思考法	(203)
第一节 初步概念	(210)

一、“跟着感觉走”	(210)
二、科学性要求	(215)
三、技术直觉的应用方式	(216)
四、本章内容的说明	(219)
第二节 直接掌握法	(220)
一、直接掌握基本的数量关系	(220)
二、直接掌握基本的几何关系	(225)
三、直接掌握基本的物理状态	(230)
第三节 间接掌握(比拟)法	(232)
一、模拟	(233)
二、类比	(238)
第四节 观点指导法	(243)
一、基本概念和举例	(243)
二、加强抽象观点方法与具体知识的联系	(251)
三、抽象观点的交叉结合与灵活变更	(253)
第五节 形象表征法	(253)
一、基本概念	(253)
二、形象表征的应用方式	(257)
三、提高形象运用能力的方法	(261)
第六节 直觉判断中的失误	(266)
一、必要而适度的逻辑验证	(269)
二、消除直觉失误的根源	(269)
第七节 提高技术直觉能力的基本途径	(272)
一、自觉强化技术直觉思维实践	(272)
二、认识直觉的实质及其局限性	(274)
三、发展科学的深层意识	(276)
参考文献	(277)

第一章 引 论

第一节 本书的内容与特点

这本书阐述了工程技术思维的基本方法，希望能有助于提高工程技术人员的洞察、分析与构思能力。“构思”主要指想象与建构新颖事物；“分析”主要指探索事物的关系与机理；至于“洞察”则主要指简捷而透彻地掌握事物的要点、本质、核心与关键，这里说的是“简捷”而不是繁琐，是“透彻”而不是肤浅，是得其概要而不是干枝并收。

为了便于说明本书的内容与特点，先举两例。

例1：人力飞机设计的“定量导向”构思思路。

为了制造人力驱动飞机，曾经进行过许多尝试，不少人把主要注意力放在减轻飞机重量方面。一些设计师采用了碳纤维和聚脂薄膜等特殊材料，并努力改善飞机的结构形式，结果都未能达到必要的性能要求。

后来出现了一位成功的设计师，他注重思考分析人力飞机设计的关键参数。他知道，一个强健的运动员的连续作功功率只能达到 $1/3$ 马力（约250瓦），同时，飞行器的功率正比于速度三次方，而翼面积反比于速度平方。由此得出人力飞机的两个重要参数，即速度应很低，翼面积应很大。此外，由于速度低，而阻力功率正比于速度三次方，所以不妨采用

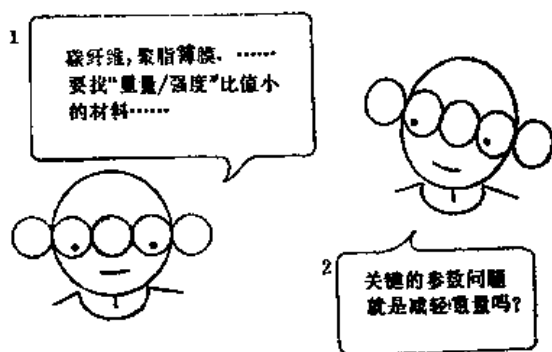


图 1-1 人力飞机的构思思路

阻力系数稍大的结构。于是他利用中央垂直管和牵引钢丝组成的机翼支撑结构,使面积很大的机翼并不太重(正如利用钢丝拉力获得强度的自行车轮的重量很小一样)。这个人力飞机的设计还包含成百个其他细节改进,但最重要的构思方法是他抓住了人力功率这个关键参数。

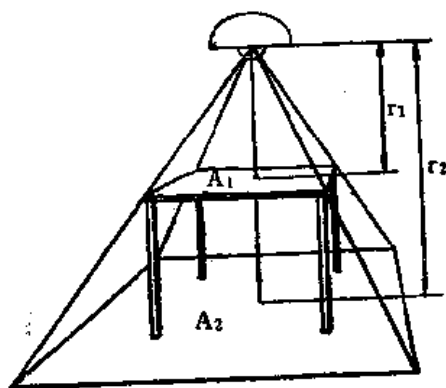
传统的设计构思是“先定性,后定量”。这种思路至今仍具有重要的实用价值。然而,现代技术日益重视数量关系。有相当多的设计课题,其关键的参数或参数关系不仅仅是必须达到的设计要求或必须遵循的技术约束,而且更重要的是指引构思思路的向导。许多设计师在客观事物内在规律的影响下,从行动上已常将定量思考提到重要地位,在认识上却还不自觉,结果增加了设计中走弯路的情况。不自觉的定量导向使一些设计师误以为重量是人力飞机设计的关键参数,而自觉的定量导向可以使设计师较全面地分析人力飞机的有关参数的关系,有利于帮助设计师发现功率参数的关键地位。

在定量导向的设计构思过程中，这位设计师灵活运用飞机设计的基本知识，恰当地找出了关键的参数关系，运用了钢丝牵引结构的优点又避免了其阻尼系数大的消极作用，这些也是有益的经验。

例2：照明亮度与光源距离的平方成反比吗？

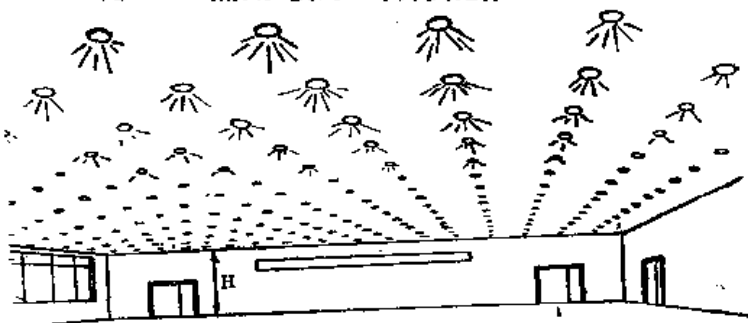
几位工程师正在讨论一座30米宽80余米长的大型厂房设计中地面至吊顶面的高度问题。机械工程师甲考虑到设备安装空间等因素，主张高度以4米左右为宜；建筑设计师乙则主张3.5米，其理由之一是节约照明能源。这座厂房采用统一照明，吊顶上均匀布置灯具，使整个厂房地面的亮度基本上均匀一致。按照“照明亮度与距离平方成反比”的规律，4米高及3.5米高的吊顶上的光源至厂房内0.7米高的工作台面的距离分别为 $4-0.7=3.3$ 米及 $3.5-0.7=2.8$ 米，它们的平方之比为 $3.3^2:2.8^2\approx 1.4:1$ ，在光源功率相同的情况下，两种高度所对应的工作台照明亮度相差约为40%。经过这样分析后，其他工程师开始倾向于尽量压缩吊顶高度。

这时，工程师甲想到平方反比律中的光源是面积很小的点状光源，它的光线向四面八方散射（见图1-2）；而现在所讨论的厂房吊顶上的光源是大面积均匀分布的，照明距离相对地很小（图1-3）。点光源照明亮度的平方反比律相似于点电荷的电场强度分布规律，大面积光源在近距离内的照明则相似于无限大面电荷的电场强度分布规律，它应与距离无关（见图1-4）。工程师甲得出吊顶高度的少量变化对照明亮度基本上没有影响！亮度与距离无关！他从直觉出发对照明亮度的定量规律产生了新的看法：点光源照明有平方反比律，线光源（以单一生产线上方的专用照明为例）照明亮度与距离的一次方成反比，面光源照明亮度与距离的零次



亮度比 $A_1 : A_2 =$ 面积比 $A_2 : A_1 = r_2^2 : r_1^2$

图 1-2 照明亮度的“平方反比律”



亮度与高度(H)的关系???

图 1-3 厂房照明状态

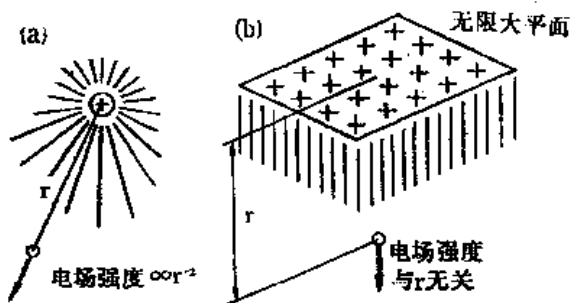


图 1-4 两种不同的电场状态

方成反比（即与距离无关）。

后来，建筑师乙计算了提高吊顶所增加0.5米高度的墙壁受光面积与整个厂房受光面积相比微不足道，由此证明，吊顶高度对照明亮度的影响确实不大。

这两个例子中的思维现象可以反映本书各章的一些内容。

一、主要内容

从以上两个例子可以看到一种洞察、分析与构思的能力，还可以看到在洞察、分析与构思过程中所用的某些方法。

上述两个例子的思考内容涉及飞机设计、比例关系、照明规律和电场强度等科技知识，又用到钢丝牵引等设计经验，本书各章节所举事例中有一部分还涉及较为专门的科技知识和工程经验。正如上述例子表明的，在工程活动中，理论与经验都贵在灵活运用。怎样进行思考就能使知识“活化”，这正是本书第二章的内容。该章介绍的各种方法旨在从理论与经验的“内部”挖掘创造性因素，因而在原则上不同于着重强调暂时脱离知识，从理论与经验之外探索创造性的“创造技法”。

本书第三章与第四章较全面地说明了工程设计活动中的主要思考方法。例1人力飞机设计采用的“定量导向”思路是设计方案构思的众多思路之一。第三章搜集了国际上各种典型的方案构思思路，它们各有不同的设计实践背景，是大量有较高专业水平的设计者经验的结晶。本书不是照搬创导不同构思思路方法的不同学派的独特理论，而是从实用的目的出发，提炼各种方法的实质，力求融会贯通。本书第四章进一步集中说明各派理论的共同观点，对设计全过程的基本

思维问题作了扼要的阐述。

在例 2 中我们讲了某甲对不同光源的照明状态进行了比较分析，实际上是运用了“比较异同、分析机理”的思考方法；他还用“点”、“线”、“面”三种光源的概念去概括不同照明状态的不同特征，实际上是运用了“抽象概括”和“明确概念”的思考方法。第五章将结合工程应用实例说明“比较分析”、“抽象概括”、“明确概念”等定性思考方法。

两个例子都着重分析了飞机设计与照明亮度等思考对象的定量关系。这种定量思考善于抓关键，富于创造性，并非“查手册、套公式”式的常规工程计算。常规计算可以用“电脑”进行，创造性的定量思考只能依赖“人脑”。第六章的内容正是定量思考的最常用也是最基本的方法。

第五、六两章所述“定性”、“定量”思考方法既可用于设计，也可用于分析。

人们对工程设计与分析中的创造性思维的萌发过程和促进方法很感兴趣，它们与直觉有密切关联。例 2 中某甲借助电场知识思考照明亮度问题，实际上采用了直觉方法中的“类比”法；他在思考过程中想象了照明状态与电场状态的形象，实际上采用了直觉方法中的“形象表征”法。全书篇幅最大的第七章将介绍工程思维中常用的多种直觉方法，并说明提高直觉能力的主要途径。一般论著讲直觉必讲灵感，本书基本上不讲灵感，这是因为本书旨在说明可教可学性较强的实用方法，而灵感并非有意识进行的思维活动，因而至今尚无积极自觉的方法可言（灵感的酝酿准备并非灵感思维本身）。

二、特点

1. 为工程技术活动服务

两个例子里所涉及的方法主要适用于以改造或创造事物、追求现实效益为目的的工程活动或应用科学研究，不适用于以认识事物、追求真理为目的的基础理论研究。本书介绍的方法主要是技术思考方法而不是科学思考方法。这是本书内容的基本特点。

科学方法与技术方法之间没有不可逾越的鸿沟。工程师有必要掌握各种认识事物的方法，本书内容也包含一部分认识与分析事物的方法，可供科学研究人员参考。但是，在本书范围内，“认识事物”直接（而不是间接）、完全（而不是部分）为改造和创造事物服务，追求工程活动的现实效益。因此，本书内容不追求理论体系的严谨和概念的精确，而追求在工程活动中指导思维过程的实效。

从实用的目的出发，本书举例取材尽量联系现场实际，少用离实际较远的科技史资料。

2. 创造性与深刻性相结合

创造性与深刻性是本书所介绍方法的两大特点。所谓“专业水平背景”，是指工科大学的基本学识，并非局限于某一专业。例如，各种构思策略既可应用于机械设计，也可应用于电路设计。但是，没有任何专业知识的人员通常不容易理解和掌握本书介绍的各种思考方法。这一点是本书内容有别于“创造技法”（或“创造工程学”）之处。后者具有很强的普适性，甚至小学生亦可粗知，其方法难免在深刻性方面稍逊。

3. 各派方法的融会贯通

当今世界上，各种技术方法理论众说纷纭，“最新科学方法”层出不穷，从事实际工作的工程师常感目不暇接，无

所适从。

各派方法都言之成理，持之有故。但是，在目前发展阶段，它们尚未充分成熟，更未形成共同的理论基础；它们还不能剔除各种片面性，甚至不乏“自卖自夸”的成分；它们还常常采用各种独特的术语概念，不能统一，有的术语十分生涩难懂。这些都造成学习运用中的困难。

本书第二、三两章有较多内容取自各派学说。为了克服上述弊病，作者力图用实践的观点从思维的角度深入分析各派学说所反映的实践经验和思维活动规律，确定各派学说的实用意义、实质内容和适用场合，将种种貌似互相冲突的方法组成协调统一的体系。于是，我们可以希望，在读者面前，“选择”与“构建”，“自由发散”与“定向发散”、“组合”与“变异”、“突出定性矛盾”与“突出定量关系”、“先分析”、“先试解”与“先评价”、知识的“强化”、“弱化”与“活化”、“从抽象到具体”与“从具体到抽象”等等貌似矛盾的方法都可以互为补充，各得其所。

4. 方法学说的发展与补充

在形成上述统一体系的过程中，发现了目前方法理论学说发展的一些薄弱环节和空白点。对此，本书在总结实践经验的基础上作了若干发展与补充。例如，在实用层次上讨论技术直觉，提出一系列直觉思考方法，指出直觉的实质和提高技术直觉能力的基本途径等等，均为国内外文献所未见。又如，明确提出关于定量思考的常用观点和常用方法，以及知识的活化与重组，也有不少创新之处。

5. 着眼于提高大脑的思考能力

上述例子里关于人力飞机和厂房照明的定量思考在数学上极简单，所得结论却意义重大。思考时，只抓几个主要参

数，对它们之间的关系只作粗略估计，简捷地掌握思考对象的基本点，洞察事物内部的本质联系，这是大脑的特长，现有的计算机对此无能为力。如果工程师甲不提出异议，人们就不会去估算墙壁受光面积在全部受光面积中的比重，这座厂房将按低吊顶的意见建造。在实际的工程活动中，总是先用大脑进行创造性的思考，然后在一定想法指导下适当地而不是普遍地运用优化技术。理想地说，每一个设计参数都可以用计算机进行优化，但实际却行不通。至于构建创造新颖事物，显然更离不开大脑。

本书副题“洞察·分析·构思”所描述的正是**大脑思维在工程技术方面表现的特长**。所以大脑的创造性思考具有头等重要的意义，提高大脑的创造性思考能力因而也就非常重要。

三、读者对象

本书内容以工科大学的基础知识为背景，可作为“方法学”类课程或讲习班的教材。适合于机电硬件各专业人员阅读，对计算机软件人员有启发作用，也可作为从事实际工作的青年工程师及新毕业大学生理论联系实际的辅助读物，有助于克服“死读书（抱着理论教条不放）”和“不读书（停留于低水平实践）”两种不良倾向。资深工程师可以参考本书内容总结实践经验，提高运用各种思考方法的自觉性和水平，更好地指导青年同事。本书大部分内容对工程类应用科学研究人员有相当大的实用价值，在不同程度上帮助不同专业的工科大学学生结合课程的学习提高思考能力，并由此提高学习成绩。工科大学教师可以参考本书提供的材料改进教学方法，培养学生分析和解决问题的能力。

第二节 工程技术思维的特征

工程思考方法与工程技术工作的职业特征紧密相关，职业特征对思维特征有重大影响。

一、工程技术思维的根本特征

现在人们常将科学与技术合称为“科技”。一种观点认为，科学与技术只在工作规模方面有区别。铀裂变的临界质量是千克级，这是工程师的事；如果有另一种裂变材料的临界质量是微克级，那就是科学家的事了。另一种观点是将技术视同于应用科学，因而它与理论科学之间的区别是人为的。从社会学和政府政策的角度认为当代普遍存在科学机构与技术机构合流的情况，如计算机开发组织与电子显微镜实验室常常兼作科学研究与工程业务。

我们赞成科学与技术有原则区别的认识。“科学”以基础理论研究为典型，“技术”以工程设计制造为典型。工程的根本任务是创造或改造事物，科学的根本任务则是认识或说明事物。

西蒙(H.A.Simon)指出，工程师主要考虑事物应该(做成)怎样，科学家主要考虑事物是(及为何是)怎样。他认为，工学院的中心课题是设计^①。按照这种观点，技术思维主要是设计性思维，而科学思维主要是认识性思维。

① 西蒙所称的“设计”是广义的设计，是“提出并确定创造或改造事物的方案或意见”，它不仅包含通常的狭义的设计(即工程技术硬件的设计)，而且包含工艺设计、计算机软件设计乃至社会设计等。本书以机电产品设计作狭义设计的典型，在不容易引起误会的情况下，不再一一申明“设计”是广义的还是狭义的。

“给我一个支点，我能把地球抬起来”¹，科学家阿基米德用这句话说明一种原理。如果作为机械设计师的阿基米德说这种话，就不合适了。这反映科学与技术的区别。

科学家分析了杠杆上力的关系，提出杠杆的功能原理（“省力不省功”等）。借助这些科学原理，工程师设计了形形色色的机械，发展了杆式机构，如有许多运动杆的掘土机等。科学家研究了这些复杂的杆式机构，提出许多设计计算的理论与方法，帮助工程师进一步发展它们的应用。他们就是这样地在认识事物与改造事物的过程中共同前进。这里，科学家侧重于认识事物，工程师侧重于改造事物。从原则上说，科学家不考虑具体工程实践的可行性，而工程师则不能忽略任何一个对具体工程项目有重要影响的因素。例如，他必须在一定条件下按一定的供货期将机器送到用户手中，而科学家提出的理论和方法往往有相当部分不能直接用于工程实践，即使是“应用科学家”，他们研究的杆式机构理论方法仍有不少远未达到实用水平。

我们认为，工程技术思维的根本特征是直接以创造或改造事物为目的的。为了创造和改造事物，必须科学地认识事物。西蒙提出，工学院既要传授自然科学（即认识性知识），又要传授设计科学（即设计性知识）。我们不但学习并思考科学问题，掌握认识方法，还要学习并思考技术问题，掌握设计方法。对于我们工程技术人员来说，“认识世界的目的是改造世界”，这句话具有直接的现实意义。

二、工程界内部分工的影响

现代工程技术人员内部形成了多种分工：依专业划分，如电气、机械、纺织等，不同专业的人员具有不同的思维特征，新技术专业的人员思维活跃，传统专业的人员思维严

谨：依职责划分，有研究、开发、设计、生产等，其中研究与开发人员的思维注重钻研与运用专门的专业知识，设计与生产人员的思维注重综合吸收包括人文科学在内的多方面知识；依学识背景划分，具有高等教育知识基础的各级工程师和具有丰富而独到的实际经验的技师等，他们的思维在理论与经验的侧重面显然有较大差别。

工程师与发明家的任务都是提出创造或改造事物的方案或意见。工程师的工作绝大部分旨在取得现实的效益，发明家的工作远非大部分都能立即付诸实施。例如，设计工程师提出的设计文件应该符合生产施工对材料与工艺的严格要求，应该仔细斟酌市场、成本、使用细节、维修方法乃至报废处置等事项。设计文件在原理上或在结构上的差错都可能造成巨大经济损失。与此相反，发明家的大多数发明专利却没有直接的商业价值，它们仅仅是技术创新进步的中间阶梯，在结构细节上远未达到实用要求或工业中投入生产的成熟程度，而且有些发明在原理上还有推敲的余地。

所以，一般工程师的思维注重确保各种想法的现实实施可行性和直接的经济效益，而发明家的思维往往可以更加“自由奔放。”

理想的发明家和理想的工程师都应该做到创造性与实用性并重。爱迪生是一个范例。现在一些风险企业的工程师寓发明与制造于一身，他们也以此为目标。然而，在现实的情况下，发明家的工作环境不一定有可能进行一般由工程师主持的工作（如中等规模的工业试验及大规模的工业生产），而多数工程师习惯于确保实用性，难免抑制了一些创造精神。

我们在讨论工程技术思维特征时没有专门提出“创造