

普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

测控系统工程技术

王光明 张玘 刘国福 编著

Wang Guangming Zhang Qi Liu Guofu

**Measurement and Control System
Engineering & Technology**

清华大学出版社

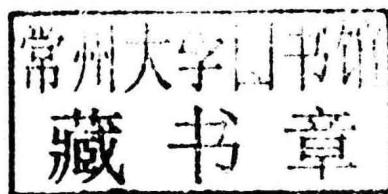
普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

测控系统工程技术

Measurement and Control System Engineering & Technology

王光明 张玓 刘国福 编著

Wang Guangming Zhang Qi Liu Guofu



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍测控系统和仪器工程中的测控应用技术基础知识、总体设计技术、可靠性工程和实验设计方法,内容涉及面较广,既具有科学性、应用性、实践性,又具有复杂性、创造性的特点。书中设计一系列应用测控技术的实验和实践课题,以设计性、综合性、创意性和自助性实验为主,兼顾基础性实验,选材尽量做到新颖、实用、先进、趣味和普及。通过强化实践能力训练,提高学生工程素养和测控技能,提升学生的创新意识和创新能力。

本书可作为高等工科院校测控技术与仪器、自动化类和仪器仪表类等相关专业的本科生和研究生的教学参考书或教材,也可供广大从事自动控制、检测技术与仪器仪表、计算机应用等方面的工程技术人员学习和参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

测控系统工程技术/王光明等编著.--北京:清华大学出版社,2012.10

(普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材)

ISBN 978-7-302-29550-1

I. ①测… II. ①王… III. ①工业测控系统—高等学校—教材 IV. ①T

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 170611 号

责任编辑:张占奎

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15.5 字 数:374千字

版 次:2012年10月第1版 印 次:2012年10月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00元

产品编号:034646-01

普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

编 委 会

主 任 丁天怀

副 主 任 陈祥光 张 玘

委 员 (按姓氏笔画排列)

王跃科 王光明 邓 焱

安志勇 张文娜 李东升

赵 军 蒋秀珍 魏 彪

责任编辑 张占奎

在高技术迅速发展的信息时代,我国仪器科学与技术学科在理论研究、计量基准、产品制造技术、新器件、新材料、新工艺的研究和应用等方面已日趋完善,并形成门类品种比较齐全、布局较为合理、具有相当技术基础和生产规模的仪器仪表产业体系。作为仪器科学与技术学科唯一的本科专业——测控技术与仪器专业的发展速度很快,在近 10 年的时间内,其办学规模大约翻了两番,呈现出招生和分配两头热的良好状态,顺应了信息技术蓬勃发展的趋势。

在学科的建设和发展中,教材建设始终是关注的焦点。鉴于此,2008 年,经清华大学出版社建议,由清华大学牵头组织国内一些在本领域有丰富教学科研经验的专家学者编写一套体系合理、知识实用、内容涵盖面较广的仪器科学与技术学科本科专业系列教材,以满足各兄弟院校本科专业人才培养的需求。

2008 年 7 月,在广泛征求意见的基础上,清华大学、北京理工大学、国防科学技术大学联合召开会议,讨论仪器科学与技术专业教材的编写思路,并参考“高等学校仪器科学与技术学科本科专业教学规范”初步确定教材定位与结构。为使教材具有代表性并保证更高的编写质量,决定邀请重庆大学、哈尔滨工业大学、中国计量学院、长春理工大学等高校的老师共同组成“普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材”编委会,一起完成教材的组织和编写工作。

2008 年 11 月,编委会正式成立,并在北京召开编委会第 1 次工作会议,进一步明确了本系列教材的具体编写任务和计划。

本系列教材旨在为普通高等学校仪器科学与技术学科本科专业以及其他相关专业的本科生提供一套教学参考书,希望突破传统编写思维的束缚,建立一个新体系。教材内容注重新理论、新技术的应用。每本教材拟采取一校为主、多校合作的方式编写,以保证“新颖性、前沿性和实用性”。

经过编委会认真讨论,本系列共设 15 本教材,分别是《仪器科学与技术概论》、《信号分析与处理》、《自动控制原理及应用》、《误差及不确定度理论与数据处理》、《计量技术》、《测量原理》、《传感器技术》、《工程光学基础及应用》、《测量技术基础》、《精密机械结构设计》、《仪器嵌入式系统技术》、《精密测控仪器设计》、《测控系统工程技术》、《仪器测控电路设计》、《测控系统集成技术》。在内容的组织和编排上,与学生已学过的专业基础课程的内容成先后关系,一般要求学生进入本系列的专业课程学习之前,应先修诸如“电路原理”、“电子技术”等课程。

2009 年 7 月,编委会第 2 次会议在北京召开,对各教材大纲逐一进行了审查,并明确了

编写进度以及编写过程中需要注意的问题,整个教材编写工作进展顺利。

这套教材基本涵盖了仪器科学与技术学科本科专业的主要知识领域,同时也反映了仪器科学与技术学科的发展趋势,不仅适用于普通高等学校测控技术与仪器、机电工程、信息技术、自动化等专业的本科生使用,对研究生、高职学生以及相关专业的工程技术人员也有很好的参考价值。

因水平所限,加之仪器科学与技术学科发展迅速,教材中不妥之处在所难免,欢迎批评指正,以便再版时修改、完善。

编委会

2010年12月于北京

前言

FOREWORD

为了向高等学校测控技术与仪器专业大学生介绍测控系统和仪器工程中的测控应用技术基础知识、总体设计技术、可靠性工程和实验设计方法,并根据作者多年从事仪器工程的科研与教学工作实践,编写了本书。书中设计一系列应用测控技术的实验和实践课题,力求让学生在较全面理解和掌握测控方法、测控技术的基础上,通过强化实践能力训练,提高学生工程素养和测控技能,提升学生的创新意识和创新能力。编写本书有以下3个愿望:一是能使读者看懂,二是强化读者测控技术工程应用知识,三是能在实际工作中应用。

全书共分7章:

第1章 仪器科学与测控系统工程技术。阐述工程技术的特点与思维方式、仪器科学与技术学科内涵与组成、测控系统组成及测控系统工程技术的内容和学习方法。

第2章 测控系统工程技术应用基础。介绍测控系统硬件组成模块的基本应用知识,内容包括信号测取和放大应用技术、测控接口应用技术、信息通道转换应用技术、系统控制应用技术。

第3章 测控系统总体设计技术。总体设计是战略性的、方向性的、把握全局性的设计,关系着一项设计任务的成败。本章介绍测控系统总体设计的内容和方法,核心内容包括测控系统总体设计的过程和内容、系统功能规划和指标确定的方法,以及测控系统工程设计应遵循的基本原则。

第4章 仪器仪表可靠性工程和环境适应性技术。可靠性是测控系统设备、尤其是军工测控系统仪器设备中必不可少的重要设计环节。即使民用测控系统或仪器产品,产品的实际使用寿命也越来越成为用户选购和评价产品质量的重要依据。本章所选材料是从大量可靠性工作实践中总结出来的,是最基本、较为成熟的,可靠性工程包括可靠性基础、可靠性模型、测控系统可靠性预计与分配以及软件可靠性设计;仪器仪表环境适应性技术着重推荐热设计、耐腐蚀设计、耐振设计和电磁兼容性设计等技术。

第5章 测量技术的正交实验设计。在很多的情况下,要想把测控系统设计好、测量实验做好仅靠专业知识是不够的,还需要能够事先把实验设计好,并且把实验数据分析好,解决这个问题需要依靠实验设计方法。本章介绍测试实验设计的基本概念、原则和设计实验指南,概要介绍多因素试验中的主要设计方法——正交实验设计的一些基本知识,包括正交实验设计的基本方法、考虑交互作用的正交试验设计和正交试验设计的方差分析。实验设计与社会生产紧密相连,正交实验设计也是质量设计的一个重要工具,是发达国家工程师必须掌握的一门技术,所以希望读者能掌握。

第6章 测控系统工程实践。测控系统工程技术具有很强的实践性,本章设计了测量技术、测控电路、微机/嵌入式系统的接口与控制、测控技术与仪器等方面的一系列实验和实践课题,以设计性和综合性实验为主,兼顾基础性实验和创意性实验,目的是通过分析和解决工程实际问题来激励、培养读者的创新意识和创新能力,在创新能力培养过程中尊重学生的兴趣爱好,贯彻因材施教原则。

第7章 实验报告与科技论文。实验报告和科技论文是试验研究工作中一个不可缺少的组成部分,是实验工作的全面总结,科研工作或专业学习的劳动成果,因而要求掌握这类文体的撰写规范、写作原理、立论基础、结构形式、写作特点等。本章阐述实验报告与科技论文的写作方法,主要介绍设计性综合性实验的程序和实验报告的撰写规范,以及科技论文的基本格式、写作要领、方法等。

本书的体系框架和定稿由王光明、张玘完成,第1、3、4、5章由王光明编写,第2、7章由张玘、刘国福编写,第6章由王光明、张玘、刘国福共同编写。全书由王光明、张玘统稿。本书的编写得到国防科学技术大学仪器科学与技术系的大力支持,杨俊教授和乔纯捷副研究员对全书内容提出了许多宝贵的建议和意见,现代测试技术实验室的老师验证了书中大多数实验。在编写过程中还参考了许多作者的书籍和各种资料,在此一并表示诚挚的谢意。

在本书内容策划与撰写过程中,清华大学丁天怀教授、北京理工大学陈祥光教授、国防科学技术大学王跃科教授对我们的工作给予了热情的支持与帮助,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

本书编写过程中得到清华大学出版社领导和编辑的大力支持,谨向他们表示深深的谢意。

本书叙述测控系统工程技术,其内容涉及面较广,既具有科学性、应用性、实践性,又具有复杂性、创造性的特点。由于在某些内容的应用方面尚不够丰富(如测控系统软件设计与软件可靠性技术、电磁兼容性设计、仪器仪表的三次优化设计等),还需要继续大力开展研究工作。

因限于水平,错误和不足之处在所难免,读者如能给予批评指正,将是对作者最好的鞭策。

编著者

2011年5月于长沙

目 录

CONTENTS

第 1 章 仪器科学与测控系统工程技术	1
1.1 科学与技术的关系	1
1.2 工程技术的特点及其思维方法	3
1.2.1 工程技术的特点	3
1.2.2 创新思维	5
1.2.3 工程技术中的逻辑思维	6
1.3 仪器科学与技术学科内涵和组成	9
1.3.1 仪器科学与技术学科的内涵	9
1.3.2 仪器科学与技术学科的组成	10
1.4 测控系统的基本组成	10
1.4.1 测试系统的构成	10
1.4.2 智能测控系统的组成	11
1.5 测控系统工程技术的内容和学习方法	13
第 2 章 测控系统工程技术应用基础	15
2.1 信号测取和放大应用技术	15
2.1.1 传感器的选用	15
2.1.2 信号调理概述	16
2.1.3 前置放大器的低噪声技术	17
2.1.4 差动放大器技术的应用	22
2.1.5 隔离放大器的使用	26
2.2 测控接口应用技术	32
2.2.1 A/D 与微型机接口及程序	33
2.2.2 VFC 与微型机接口	36
2.2.3 D/A 与微型机接口	37
2.2.4 功率接口	39
2.2.5 通信接口	41
2.3 信息通道转换应用技术	41

2.3.1	单元电路电气性能的相互匹配	41
2.3.2	信号耦合与时序配合	42
2.3.3	电平转换接口	43
2.4	测控系统数字 PID 控制及工程实现	44
2.4.1	过程控制方法概述	44
2.4.2	数字 PID 控制算法	46
2.4.3	PID 控制算法的改进	47
2.4.4	数字 PID 控制器的工程实现	50

第 3 章 测控系统总体设计技术

3.1	测控系统总体设计概述	56
3.1.1	设计方法概述	56
3.1.2	测控系统设计过程的划分	57
3.1.3	总体设计及其内容	59
3.2	测控系统设计需求分析	59
3.2.1	设计任务分析	60
3.2.2	功能规划和指标确定	62
3.2.3	设计原则	65
3.3	硬件总体设计原则与步骤	68
3.3.1	单元模块的选择与优化	68
3.3.2	参数的确定与预估	69
3.4	软件系统设计方法与步骤	76
3.4.1	软件开发环境与编辑语言的选用	76
3.4.2	结构化程序设计和软件系统结构分析	77
3.4.3	软件系统的规划和设计步骤	80
3.4.4	软件设计实例	85
3.5	总体设计的验证和评审	89
3.5.1	总体设计的验证	89
3.5.2	总体设计的评审	89

第 4 章 仪器仪表可靠性工程和环境适应性技术

4.1	基本概念与主要技术指标	90
4.1.1	仪器可靠性技术的基本概念	90
4.1.2	仪器环境适应性技术的基本概念	91
4.1.3	可靠性特征参数与主要技术指标	92
4.2	测控系统可靠性工程技术	97
4.2.1	系统可靠性模型	97
4.2.2	可靠性预计	99
4.2.3	系统可靠性分配与设计技术	102

4.2.4	软件可靠性	111
4.3	仪器仪表环境适应性设计技术	116
4.3.1	主要研究内容	116
4.3.2	热设计技术	117
4.3.3	耐腐蚀设计技术	121
4.3.4	耐振设计技术	123
4.3.5	电磁兼容性设计	125
第5章	测量技术的正交实验设计	138
5.1	实验设计简介	138
5.1.1	实验设计的概念	138
5.1.2	实验设计的发展概况	139
5.1.3	实验设计的基本概念和原则	140
5.1.4	设计实验指南	144
5.2	正交试验设计的基本方法	147
5.2.1	正交表	148
5.2.2	单指标正交试验设计	149
5.2.3	多指标正交试验设计	153
5.3	考虑交互作用的正交试验设计	156
5.3.1	交互作用	156
5.3.2	交互作用的处理原则	156
5.3.3	试验方案设计	157
5.3.4	试验结果的极差分析	159
5.4	正交试验设计结果的方差分析	161
5.4.1	方差分析的必要性和基本思想	161
5.4.2	正交试验结果方差分析的基本步骤	161
5.4.3	重复试验的方差分析	165
第6章	测控系统工程实践	169
6.1	测量技术实验	169
6.1.1	位移的测量实验	169
6.1.2	温度的测量实验	174
6.2	测控电路技术实验	183
6.2.1	低噪声前置放大器实验	183
6.2.2	测量用差动放大器实验	185
6.3	微机、嵌入式系统的接口与控制实践	188
6.3.1	微机接口技术实验	188
6.3.2	嵌入式接口与控制实验	194
6.4	控制技术实践	205

6.4.1 电机控制技术实验	205
6.4.2 温度控制技术实验	210
6.5 仪器工程设计与实践	214

第7章 实验报告与科技论文	224
7.1 概述	224
7.2 实验程序与实验报告的撰写	225
7.2.1 实验程序	225
7.2.2 实验报告的撰写	226
7.3 科技论文	228
7.3.1 科技论文概述	228
7.3.2 科技论文的基本格式	228
7.3.3 论文的写作过程	231

参考文献	235
-------------------	-----

1.1 科学与技术的关系

科学是反映自然界规律性的知识体系,目的在于求知与求真。作为对自然界的认识,科学包括两层含义:一是指科学认识主体(科学劳动者)应用科学工具(科学仪器和科学方法)所进行的科学认识活动;二是指这种活动或特殊劳动生产出来的产品是知识。知识是人们在社会实践、科学实验和生产实践中发现的事实和规律。科学不仅仅是知识,而且是方法、建制、生产力要素、观念层次上体现的科学精神。

技术是在生产实践经验和自然科学原理基础上发展起来的方法、技能和工具的体系,目的在于满足需求和市场的竞争。在科学技术一体化的大科学时代,技术是作为一个动态系统存在的,它是人类为了满足社会需要,遵循自然规律,在利用、控制和改造自然的实践过程中,所创造的劳动手段、工艺方法和技能体系的总和。

科学与技术往往被看做是难以分离的,人们常以“科技”二字将两者缩略为一词,用以称谓科技事业、科技工作、科技人员等。但是,用词上的简略与科学上的准确毕竟不是一回事。在确定和执行科学技术工作的方针政策时,经常会碰到一些带根本性的理论问题:在基础科学研究与应用技术研制之间,发现与发明之间有什么关系?如何理解知识密集型技术、资本密集型技术、劳动密集型技术的划分?是否存在着以科学为基础的技术和以经验为基础的技术的区别?这些问题都涉及科学与技术的区别和联系问题。

科学与技术是两种不同的社会文化,自然科学(主要指基础科学)与技术(主要指工程技术)之间存在着多方面的区别,主要表现在如下几个方面:

(1) 形态不同。科学一般表现为知识形态和理论形态;而技术则一般表现为物质形态。

(2) 任务不同。科学主要解决对象“是什么”和“为什么”的问题;技术直接解决“做什么”和“怎样做”的问题。

(3) 目的不同。科学的目的是现象之中求本质,以认识对象为己任。科学家关心的是如何从认识过程的经验水平上升到理论水平,有所发现。技术是来自某种认识或经验的升华,用于改造对象的活动;技术是要有所发明。

(4) 风险不同。科学研究的目标是相对不确定的,要求科学探索必定成功或指日可待是不切实际的。技术活动一般有相对确定的目标,可以有较明确的方向、步骤和经费预算,计划性较强。

(5) 活动的特点不同。科学活动的自由度要大些,个体性也较强。技术活动中有个人的独创性,但相对来说,集体性较强。

(6) 人才素质不同。科学工作者更需要有丰富的知识,善于观察和发现问题;技术工作者更需要有运用知识解决问题的能力和经验。

(7) 结果和评价不同。科学的答案在各国都是一样的、唯一的,它的评价标准只有一个,用实践证明其是否合乎客观实际,重视一个“深”字。技术过程、技术活动的结果在不同民族、不同地域则有多样性。对于技术的评价,有的以正确与否来评价,有的则从实用、有效与否来评价,比较复杂,往往着重一个“新”字。

(8) 科学是不保密的,没有商品属性,不能出卖和转让。技术一般都是保密的,属于商品,可以出卖和转让。

正确认识科学与技术的这些区别,对我们发展科学技术事业是有益的。但是把科学与技术截然分开,也是不正确的。科学与技术形成整个社会链条的重要环节,它们之间是没有严格界限的,二者有区别,又互相联系,它们是相互制约又相互促进的关系。

科学与技术的联系可以用图 1-1 所示的简单模式来表示。

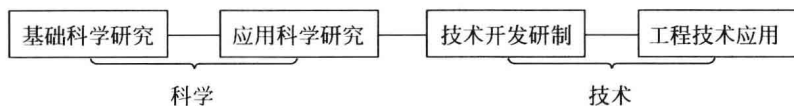


图 1-1 科学与技术联系的简单模式

当然,科学与技术的联系并非如此简单,它是经过不同类型的中间环节相互作用的,科学与技术的相互作用可以用“生产—技术—科学”和“科学—技术—生产”来表述。就现代科学对技术所起的向导作用来说,可以认为科学是一切技术成就的源泉,而技术又为科学开辟新的科学研究领域。

人类历史上,科学和技术共同起源于人类的生产实践活动,本来是统一的。但在很长的历史时期内,技术主要依靠生产劳动的经验,不是科学理论有意识的运用。这是因为当时生产力水平低下,科学还没有发展到足以为技术开发提供理论基础的程度。

近代以来,一次接一次的科学和技术革命,使科学、技术和生产三者的相互作用日益加强。如没有固体物理的深入研究,就不可能发明晶体管,更不会有计算机的更新换代;如果没有发现内燃机原理,就不会生产出内燃机。自然科学作为人类对自然界及其规律的认识,已经渗透到技术的各个要素中,成为技术发展的关键。技术由过去的经验性,变成了真正科学化的技术。

20 世纪以来,随着现代科学革命和新技术革命的兴起,出现了科学技术一体化的趋势。其主要表现是:一方面,现代科学的发展在越来越大的程度上依赖于先进、复杂的技术手

段,如高能加速器、自动化检测仪器、射电望远镜、电子显微镜、电子计算机、克隆技术等,使现代科学技术研究有可能向新的深度和广度进军;而且现代科学研究本身越来越带有工程技术的特点,离不开各种类型技术人员的合作,科学活动技术化,已变成了预定目的的知识生产过程。另一方面,现代技术的发展也越来越程度上依赖于科学的进步,许多新兴技术特别是高技术的产生和发展,就直接来自现代科学的成就,已变成物化了的科学。过去认为科学是认识世界,技术是改造世界,界限分明,现在已经结合成为统一的科学技术系统,很难分清是科学还是技术了。科学与技术的统一,已成为当今科学时代的一个基本特征。

1.2 工程技术的特点及其思维方法

工程技术活动作为认识与改造客观世界的极为重要与普遍的实践活动,具有一系列显著的特点,且时时处处与科学的思维密切相关,这是每一个工程技术人员都应该充分认识和高度重视的。

1.2.1 工程技术的特点

1. 科学性

工程技术是整个科学技术体系的一个重要组成部分,又是科学、技术和生产全过程的一个关键环节。工程技术是科学理论在改造物质世界中的具体应用。任何一门工程技术学科都是以数门基础学科为理论基础的。例如,化学工程的基础学科包括高等数学、无机化学、分析化学、有机化学及高分子化学以及物理化学等;土木工程的基础学科包括高等数学、材料力学、水力学、弹性力学以及结构力学等。很难想象一个缺乏基础理论知识的人能顺利地从事工程技术工作且有所作为。一个工程师应善于抽象工程技术系统的理论模型,善于用数学、物理学、化学基础知识分析工程技术系统的工作原理,只有这样,他才会有较强的认识能力与适应能力。

与此同时,工程技术必须在现代思维科学理论的指导下进行。工程技术人员应自觉地将辩证唯物论、系统论、信息论和控制论的有关理论与方法应用于解决工程技术的实际问题。

工程技术的科学性还体现在工程技术工作需要严肃的科学态度,做到求真求实、严谨细致、正确无误、精益求精,坚决克服主观臆断、盲目蛮干、粗枝大叶和侥幸心理,反对独断专制、虚伪和谬误。严肃的科学态度是工程取得成功的重要保证。例如,在决定是否兴建三峡工程的过程中遇到的一大难题是泥沙问题:如果不能采取有力的措施解决长江上游的泥沙,过若干年以后泥沙就会把水库填满。有关部门作了大量的调查研究和实验,切实证明泥沙问题是可以解决的,在此基础上才下决心建设三峡工程。相反,那些未经严密论证和严格审查便草草实施的工程项目或技术方案,往往会出现重大偏差,造成严重后果。

工程技术还需要科学精神。首先是实事求是的精神,一个正直的工程技术人员,要坚持真理、不唯上、不唯书、只唯实。其次是执着的探索精神,工程技术人员应做到既有方向和信心,又有锲而不舍的意志。再次是改革与创新精神,这是科学技术的生命所在。此外是理性

精神,工程技术人员不能沉溺于现有的经验,而是通过归纳、概括、分析与综合不断深化认识,将经验上升为理论,并自觉地、严格地坚持用科学的理论指导工程技术实践。

2. 应用性

工程技术有明确的社会目标,即增进社会利益和满足社会需求,充分理解社会需求是关系到工程成败的关键因素。工程技术必须讲究经济效益,一个成功的项目,技术上先进成熟,经济上效益巨大。工程技术人员仅懂专业技术是远远不够的,他们必须深入系统地认识社会与经济环境,必须善于对工程项目或技术方案做经济分析,评判、预测和审核。工程技术知识主要用于解决实际问题,更加强调实用。与基础理论相比,它更加具体、简洁,有些地方是近似解,有些地方根据实际情况作了某些修正。例如,工程计算中一些非线性因素要进行线性化处理,一些复杂的计算式被改造成简单的数据表格,一些次要的因素往往忽略不计。工程技术的应用性决定了工程技术人员难以在自然科学基础理论有重大的发现,这同时也决定了他们的主要任务是学习、领会和掌握他人所创立的自然科学原理和技术方法,并在实践中创造性地应用这些原理与方法,对现实世界进行改造,且取得显著的社会效益和经济效益。

3. 实践性

工程技术活动是解决实际问题的实践活动,它不仅需要知识,还需要技能,如测试技能、调整技能、操作技能、维修技能等,而这些技能只能通过实践获得。由于一些相关因素是复杂多变且难以测控的,而且工程技术工作的具体环境常常有很大的差异,使得工程技术的理论无法将实践活动中的所有问题及其解决办法无一遗漏地介绍给工程技术人员,因此很大一部分实际问题是由工程技术人员在实践中探索并获得正确认识后予以解决的。现场经验和秘诀都是人们在长期的实践中不断积累所形成的。工程技术方案的构思、评估和前景预测,工程技术问题的解决,都离不开实践经验。工程技术系统的一些技术特点也是人们在实践中发现和归纳出来的。例如,若要问某一台设备或某一个电器元件的技术性能如何,只有经常使用它们的人才能得出最切合实际的结论。工程技术实践活动同时也是技术理论具体运用和综合运用过程。所谓“具体运用”是指这个过程要解决理论的一般性与具体工程环境的特殊性之间的矛盾,不可生搬硬套。所谓“综合运用”是指这个过程要用上多方面的理论知识,而且它们之间是一个有机的整体。

4. 复杂性

首先,工程技术的复杂性表现在其相关因素的不确定性。工程技术活动往往是在信息不全或条件不太明确的情况下着手进行的,一些条件与参数是在工作过程中逐步弄清和确定的。

其次,工程技术的复杂性表现在技术方案的多元性。一个问题往往具有多种解。平常讲的最佳方案,其实就是优点较多或缺点较少的方案,如果时间和条件允许,还可能得到更好的方案。

工程技术方案的选择和实施,往往要受到社会、经济、技术设施、相关人员技术水平、市场需求和法律等因素的约束和限制,工程技术人员在充分发挥自身创造力的同时,必须正确认识这些制约因素,自觉地将思维限制在此范围内,不可胡思乱想和随意发挥。

工程技术的制约因素有时是相互矛盾的。例如,要提高控制系统的可靠性,就要增设冗

余系统,但这又会引起系统结构和重量过大和成本过高的问题。因此,工程技术的一项重要任务是妥善处理各类技术与经济矛盾,统筹兼顾,最终实现综合平衡和整体优化。

工程技术的复杂性还体现在工程技术系统本身结构与功能的复杂性,它涉及众多相关因素和复杂的相互关系。例如,像神舟七号载人航天工程、青藏铁路工程、三峡工程、奥运工程等这些大型项目往往需要大量的各类专业人员长时间的共同努力,其组织、管理和协调工作也是极端纷繁复杂的。工程技术的综合性也由于它不仅与某一门学科有关,而且要运用多学科的综合知识,涉及经济、社会、法律、环境、心理和生理等因素。

5. 创造性

工程技术重在创新,在市场竞争激烈的形势下尤其是这样。工程技术创新应具先进性、独特性、实用性等特征。工程技术的创新首先是技术发明,采用新技术与方法对产品、工艺和设备予以改进或更新等。采用新技术改进设计制造手段(如 CAD/CAPP/CAM、并行设计、敏捷制造等)或实验测试手段(如红外线测温仪)等也属创新。采用新的技术思想或管理理论对工程技术系统或其因素进行优化重组或革新仍是创新。创新的目的是发展生产力,以获得更好的社会效益和经济效益,没有效益的创新是没有意义的。创新又是由研究型学习并应用新事物、发挥工程技术人员的创造力这两个因素聚合而成。

1.2.2 创新思维

技术创新是在一定的社会经济条件下通过研究开发或应用新技术形成现实生产力从而获得经济效益的过程。在大多数情况下,创新的成功取决于科技能力和市场需求机会的有效结合。创新也受国家创新机制、民族创新意识的深刻影响与制约。当今时代,科技竞争已成为国际综合国力竞争的焦点,世界各国纷纷把推动科技进步与创新作为国家战略。党中央、国务院作出了建设创新型国家的重大决策。建设创新型国家,核心就是把增强自主创新能力作为科学技术的战略基点,走出中国特色自主创新道路,推动科学技术的跨越式发展。因此,努力创新是工程技术人员最重要的使命。

创新的成果取决于工程技术人员的创造力,创造力与创新思维密切相关。工程技术人员必须充分掌握和灵活运用各类创新思维形式,深刻认识其主要特点。

1. 创新思维的形式

(1) 形象思维和抽象思维

形象思维使用反映同类事物一般外部特征的形象,基本由右脑进行。抽象思维使用反映事物本质属性的概念和推理,基本由左脑进行。形象思维较活跃,能激发联想、类比、幻想等,产生创新构思。抽象思维较严密,在新的条件下,也可通过逻辑推理产生创新构思。两种思维通过联结左、右脑相互作用,相互渗透,二者结合产生更多的创新成果。

(2) 发散思维和收敛思维

发散思维遇到问题,是根据问题的信息,沿着非常规的不同的正向、逆向、全方向思维和角度多方面寻求可能的解答。收敛思维是把来自多方面的知识信息指向同一问题,通过分析综合,逻辑推理,引出答案。发散思维的特点是:流畅,反应敏捷,在较短时间内想出多种方案;灵活,触类旁通,随机应变,不受心理定势影响;独特,所提的解决方案有特色。发散