



普通高等教育“十二五”规划教材
安全工程专业

设备安全工程

SHEBEI ANQUAN GONGCHENG

吕保和 © 主 编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材·安全工程专业

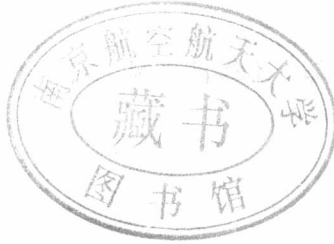
X93
1018-1



NUAA2014017396

设备安全工程

吕保和 主编



中国石化出版社

2014017396

X93
1018

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”安全工程专业规划教材。全书除了介绍设备通用的安全理论外,还介绍了典型金属加工机械及特种设备(起重机械、压力容器与气瓶、压力管道和锅炉)的安全技术与管理。全书共分五章,包括设备安全通论、典型金属加工机械安全技术、起重机械安全、压力容器(含气瓶)及压力管道安全、锅炉安全。

本书可作为普通高等教育安全工程专业及相关专业的教学用书,也可供从事安全及相关工作的工程技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

设备安全工程/吕保和主编.
—北京:中国石化出版社,2014.3
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5114-2650-5

I. ①设… II. ①吕… III. ①设备安全-高等学校-教材 IV. ①X93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 025743 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 21 印张 410 千字

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定价:42.00 元

8887109108

《普通高等教育十二五规划教材·安全工程专业》

编写指导委员会

(以姓氏笔画为序)

王凯全	王保国	田 宏	刘 茂
吕保和	吴宗之	张 力	邵 辉
陈国华	陈网桦	钮英建	柳静猷
蒋军成	蔡凤英	廖可兵	

序言

安全是人的身心免受外界因素危害的存在状态(即健康状况)及其保障条件。

人类在社会历史发展的漫长进程中,对安全认识的过程经历了自发安全认识、局部安全认识两个阶段。到20世纪初,随着工业生产高度系统化带来了复杂的安全问题,人们开始进入系统安全认识阶段。在20世纪中叶,在工业工程和生产技术工程人员中出现了运用系统安全认识的技术理论解决种种安全问题的、专职的安全技术人员。与后来的安全系统认识相对应,安全科学学科理论创建的标志是1981年德国锅炉专家库尔曼用德文出版《安全科学导论》一书,指出:“应该将安全科学看作是相互渗透的跨学科的科学分支”,“研究技术应用中的可能危险产生的安全问题。”1983年日本井上威恭教授将生产过程中的种种安全技术理论概括为安全工程学。1985年我国召开全国劳动保护科学体系第二次学术讨论会,笔者公开发表了《从劳动保护工作到安全科学之二——关于创建安全科学的问题》等论文,开始了安全科学学科理论的创立与实践,并获得重大成果,得到学术界认可。中国科协主席、工程院院长朱光亚的评价是:“……在我国1993年7月1日开始实施的国家标准《学科分类与代码》中,实现以‘安全科学技术’为名列为标准的一级学科(代码620),为在学科科学分类中打破自然科学与社会科学的界线,设置‘环境、安全、管理’综合学科,从而在世界科学学科分类史上取得了突破,做出了贡献。”以此为基础,开始了从系统安全理论认识向安全系统理论即安全学科理论认识的升华,进入了安全科学学科理论的创立与实践的关键时期。

系统安全认识是对安全存在领域的认识,即对安全的外延和静态的认识。而安全系统认识是对安全自身作为相对独立系统的认识,该系统由安全的学科科学(即是对安全自身的本质及其运动变化规律的理论)、应用科学(解决安全实践问题的方法、手段、措施的理论)和专业科学(是将学科科学理论转变为应用科学理论的桥梁和载体)三种科学学科及一个特定问题研究(如安全事故研究)四个方面构成。

安全系统认识是对安全的本质、运动变化规律及其保障条件的认识,是人类

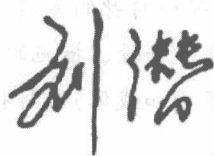
对安全从现象到本质的理论认识规律上的一次科学革命。安全科学学科理论的创立则是安全科学革命成功的标志，体现了人类进入对安全本身的内涵结构、功能及其完整的理论体系认识的新阶段。

安全系统本身需要有结构保障作为条件，其结构理论是“‘安全三要素四因素’系统原理”。安全的保障条件表现为安全科学技术体系结构，这个体系结构的横向是安全人体学、安全物质学、安全社会学、安全系统学四个分支学科；纵向是由安全哲学(桥梁安全观)、安全学(安全基础科学)、安全工程学(安全技术科学)、安全工程(安全工程技术)三个台阶四个层次构成。

创立安全科学理论的基础是“科学哲学思想、系统科学方法、科学学的内容与框架。”

由于安全科学学科理论的创立，致使在我国科教六大部门中获得了一级地位，分别为一级学术团体、《国家图书馆分类法》一级类目、一级学术刊物《中国安全科学学报》、国家标准《学科分类与代码》安全科学技术一级学科(代码620)、单列安全工程师技术资格和经历32年的艰辛历程，终于在2011年2月经国务院学位委员会第二十八次会议通过的《学位授予和人才培养学科(专业)目录》中将“安全科学与工程”单列为工学门类的第37个一级学科，标志着安全科学学科、专业高等教育进入新阶段。如何完善和加强安全类专业基础理论教材建设已是当务之急，此次中国石化出版社邀请教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会部分同志及关心安全类专业教材建设的同志组织编写《普通高等教育“十二五”规划教材·安全工程专业》，以构建“安全科学与工程”一级学科、专业相匹配的安全科学技术体系基础理论教材，提升“安全科学技术”学科科学教育水平，培养高素质的安全工程技术及管理人才，满足国民经济和社会的安全科学发展的需求，是一项值得称道的具有重要意义的善举。

我作为一名安全科教工作35年的老兵，亲历了在我国成功创立安全科学技术一级学科，自始至终参加“安全科学与工程”一级学科、专业目录的创立，经历了艰难而曲折的历程，深感当今安全科学和学科建设与发展局面来之不易。今天有幸与大家共享成果，倍感欣慰。如今虽已80老朽，仍愿继续在安全科教发展的道路上尽自己绵薄之力。



2013年10月于北京

前言

安全的“三要素四因素”理论认为,安全科学的一个核心概念是安全系统。安全系统是一个由人、物、人物关系三个基本要素彼此按内在联系的规律互相关联、互相制约、互相匹配而构成的非线性复杂功能系统。其中,第一要素是人,人是安全的主体。安全是为了人,同时人也是实现安全最具能动性和最活跃的因素。第二要素是物,物通过各种形式直接或间接地作用于人。人既受益于物又会受害于物,人可以通过控制物的技术去实现安全,免受危害以至受益于物。第三要素是人与物的关系(包括人与人、人与物、物与物在质、量和时空中的相互作用),这些关系通过安全的管理、经济、文化、教育、法规、伦理道德等社会形式去调整,是形成安全功能系统的本质与核心所在,是社会物质活动正常运转的必要条件,同时又是实现安全的重要手段。这三个要素按内在联系规律互相关联、互相制约、互相补充。由于客观世界的复杂性,使系统的组成要素表现出随机特性。当某一要素发生变化时,其他要素也相应地改变。要素间的内在联系不断变化、输出并反馈,使系统及时调整,适应变化,达到控制安全的这样一种动态过程。安全三要素及其系统的目的就是通过要素之间的相互配合、弥补、协调,实现系统的动态平衡,使安全整体得到优化,并向安全的更高形式转化,达到安全的自组织-良性循环的最佳状态。而一旦任一要素存在缺陷,或各要素之间不相协调,动态平衡即可能出现异常,则意味着事故可能会发生。

由此可见,要维持一个系统安全,首先应使得构成该系统的各要素处于正常的状态;其次是要求各要素之间保持一个互相关联、互相制约、互相协调的动态平衡。

本书所讨论的“设备”,即属于上述理论中的“物”这一要素的范畴。设备是构成上述安全系统的一个关键要素之一。要确保安全,既要使设备自身处于正常的状态,也要使设备和其他要素处于一个互相制约、互相协调的动态平衡。构成系统的“人”和“设备”相互作用,当其中的任一要素存在缺陷,或各要素彼此不相协调,就可能導致事故的发生。因此,本书所谓的“设备安全”,既包括如何使得设备自身处于一个安全或正常状态,又包括如何使得设备和人等其他相关要素处于一个协调、平衡的状态。

在“人-设备”系统中,设备表示一种任何类型和规格的“技术实体”,仅仅由于设备与人的相互作用,才成为一个安全因素。实际上,在设备的规划阶段,

即在确定设备的功能及应用模式和对设备的形式及有效性做必要的论证时，人—设备关系就已经开始形成；从设备的制造到形成的各个阶段，人和设备之间的相互联系就一直保持着。在上述各个阶段，人作为一种安全因素，对另一安全因素——设备的性质和特点，可以有广泛的影响。所以本书的内容既涉及设备的使用，也涉及设备的规划、设计，乃至设备的整个生命周期。

鉴于设备的具体类型及范围非常广泛，任何一部有关设备安全的教材都不可能涵盖所有类型的设备，本教材针对大多数高校安全工程专业培养计划及人才培养的特点，重点选取了在企业中普遍存在的量大面广的典型金属加工设备以及部分特种设备的安全作为教材的主要内容。为弥补这一做法的不足，本教材尝试性地在第一章安排了设备安全通论的内容。这也是本教材不同于其他类似教材的一大特点。

本书由江苏大学吕保和编写第1章；江苏大学吕瑞彬编写第2、3章；华南理工大学冯毅编写第4章；首都经贸大学岳忠编写第5章。全书由吕保和担任主编。

在本书的编写过程中，引用了许多文献资料，在此向有关作者表示感谢。本书的编写也得到了不少同仁的支持和帮助，在此也一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中一定存在不妥之处，欢迎广大读者提出宝贵意见。

目 录

第 1 章 设备安全通论

1.1	设备的概念及其分类	(1)
1.1.1	按用途分类	(1)
1.1.2	按企业生产性质分类	(2)
1.1.3	按设备的危险性 & 危害后果大小分类	(3)
1.2	设备的危险及有害性	(3)
1.2.1	机械的危险	(3)
1.2.2	电气的危险	(4)
1.2.3	热的危险	(4)
1.2.4	噪声	(4)
1.2.5	振动	(5)
1.2.6	辐射	(5)
1.2.7	材料和物质的危险	(5)
1.2.8	忽略人机工程学原则的危险	(5)
1.2.9	引起高处坠落的危险	(5)
1.2.10	与设备使用环境有关的危险	(6)
1.2.11	综合的危险	(6)
1.3	设备安全风险评价	(6)
1.3.1	风险评价流程	(7)
1.3.2	风险评价信息及其来源	(7)
1.3.3	设备限制及其确定	(7)
1.3.4	危险识别	(9)
1.3.5	风险评估	(10)
1.3.6	风险评定	(15)

1.3.7	风险的减小	(16)
1.4	设备风险控制的原则和要求	(16)
1.4.1	设备风险控制基本原则	(16)
1.4.2	设备设计应满足的安全方面的基本要求	(17)
1.4.3	设备设计应满足的安全方面的特殊要求	(22)
1.5	设备风险控制的直接安全措施	(24)
1.5.1	设备的几何因素	(24)
1.5.2	设备的物理特性	(25)
1.5.3	设备设计的通用技术知识	(25)
1.5.4	设备设计的适用技术的选择	(25)
1.5.5	设备的稳定性	(26)
1.5.6	设备的人机工程学设计	(26)
1.5.7	防止来自气动设备和液压设备的危险	(27)
1.5.8	控制系统的本质安全设计	(27)
1.5.9	使安全功能的失效概率降至最低	(29)
1.5.10	通过设备可靠性限制操作者面临危险	(30)
1.5.11	通过装卸料操作机械化或自动化限制操作者面临危险	(30)
1.5.12	通过置调整设定和维护点于危险区外限制操作者面临危险	(31)
1.6	设备风险控制的间接安全措施	(31)
1.6.1	安全装置	(31)
1.6.2	补充保护措施	(36)
1.7	设备风险控制的提示性安全措施	(38)
1.7.1	一般要求	(38)
1.7.2	使用信息的位置和属性	(39)
1.7.3	信号和警示装置	(39)
1.7.4	随机文件	(39)
1.8	设备使用中的风险控制措施	(41)
1.8.1	标准操作程序	(41)
1.8.2	个体防护装置	(41)
1.8.3	培训	(42)
1.9	特种设备及其安全监管	(42)

1.9.1	特种设备的定义和范围	(42)
1.9.2	特种设备的安全监察制度	(43)
1.9.3	特种设备全生命周期内各环节的安全要求	(44)

第2章 典型金属加工机械安全技术

2.1	压力加工机械安全技术	(47)
2.1.1	概述	(47)
2.1.2	压力加工危险有害因素及事故分析、安全对策	(48)
2.1.3	安全防护	(50)
2.1.4	安全操作技术与管理	(57)
2.1	金属切削机械安全技术	(59)
2.2.1	概述	(59)
2.2.2	金属切削危险有害因素、事故分析	(60)
2.2.3	安全防护	(62)
2.2.4	安全操作技术	(62)
2.3	磨削机械安全	(64)
2.3.1	磨削危险有害因素及事故分析、安全对策	(64)
2.3.2	砂轮安全防护	(67)
2.3.3	磨削安全操作技术	(76)

第3章 起重机械安全

3.1	起重机械概述	(79)
3.1.1	起重机类型	(79)
3.1.2	起重机的组成	(83)
3.1.3	起重机技术参数	(84)
3.1.4	起重机工作级别	(86)
3.1.5	起重机易损零部件	(91)
3.1.6	起重机的工作机构	(105)
3.2	起重伤害事故	(109)
3.2.1	起重作业的特点	(109)
3.2.2	起重伤害事故形式	(110)
3.2.3	起重伤害事故特点	(110)

3.2.4	起重伤害事故原因分析	(111)
3.3	起重机安全防护	(112)
3.3.1	起重机安全防护装置分类	(112)
3.3.2	起重机安全防护装置	(113)
3.3.3	高处作业的安全防护	(117)
3.3.4	安全信息使用	(119)
3.4	起重机的安全管理	(120)
3.4.1	起重机的安全监察	(120)
3.4.2	起重机械的安全监督检验	(121)
3.4.3	使用单位对起重机械的安全管理	(122)
3.4.4	起重作业安全操作技术	(124)
3.5	桥架类起重机安全技术	(127)
3.5.1	概述	(127)
3.5.2	桥架类型起重机工作机构	(128)
3.5.3	轨道运行常见的问题	(129)
3.5.4	桥架类型起重机的安全防护装置	(129)
3.5.5	桥架类型起重机的金属结构	(129)
3.5.6	司机室	(132)
3.5.7	桥架类型起重机的安全检验	(133)
3.6	流动式起重机安全技术	(135)
3.6.1	概述	(135)
3.6.2	主要技术参数	(136)
3.6.3	起重机的特性曲线	(137)
3.6.4	流动式起重机事故类型	(139)
3.6.5	流动式起重机安全检验	(139)
3.6.6	流动式起重机安全操作技术	(140)

第 4 章 压力容器(含气瓶)及压力管道安全

4.1	起重机械概述	(143)
4.1.1	压力容器分类	(143)
4.1.2	压力容器常见结构	(147)
4.1.3	压力容器常用钢材	(150)

4.2	压力容器强度计算	(152)
4.2.1	内压力容器应力分析	(152)
4.2.2	内压力容器强度理论	(156)
4.2.3	强度计算	(157)
4.2.4	开孔补强	(161)
4.3	压力容器常见事故及预防	(161)
4.3.1	压力容器事故分类	(162)
4.3.2	压力容器爆炸事故及预防	(163)
4.3.3	压力容器其他常见事故及预防	(165)
4.3.4	压力容器事故处理原则	(167)
4.4	压力容器安全管理及检验	(167)
4.4.1	压力容器设计及制造管理	(168)
4.4.2	压力容器安全操作管理	(173)
4.4.3	压力容器检验	(176)
4.4.4	压力容器安全状况评级	(183)
4.5	气瓶安全管理	(187)
4.5.1	气瓶分类、参数及结构	(188)
4.5.2	气瓶的安全充装	(192)
4.5.3	气瓶的安全管理及定期检验	(196)
4.6	压力管道安全技术	(200)
4.6.1	压力管道分类及结构特点	(201)
4.6.2	长输管道定期检验	(203)
4.6.3	工业管道定期检验	(208)
4.6.4	安全保护装置检验	(210)
4.6.5	压力管道安全管理	(213)
4.7	压力容器及压力管道无损检测方法	(216)
4.7.1	射线检测与超声波检测	(216)
4.7.2	磁粉、渗透及涡流检测	(218)
4.8	压力容器及压力管道安全装置	(220)
4.8.1	压力容器安全泄放量	(221)
4.8.2	安全阀	(223)
4.8.3	爆破片、爆破帽与易熔塞	(229)
4.8.4	安全泄压装置设置原则	(233)

第5章 锅炉安全

5.1	锅炉基础	(235)
5.1.1	锅炉的应用	(235)
5.1.2	锅炉分类	(235)
5.1.3	锅炉原理与结构	(240)
5.2	锅炉燃烧与安全	(260)
5.2.1	锅炉燃料与燃烧方式	(260)
5.2.2	锅炉传热与水循环故障	(271)
5.3	锅炉水质处理	(277)
5.3.1	锅炉水质与锅炉安全	(277)
5.3.2	锅炉水质指标及水质标准	(277)
5.3.3	锅炉水质处理技术	(279)
5.4	锅炉安全装置	(284)
5.4.1	安全阀	(285)
5.4.2	压力表	(292)
5.4.3	水位表	(294)
5.4.4	温度测量仪表	(297)
5.4.5	锅炉排污装置	(299)
5.4.6	锅炉保护装置	(301)
5.5	锅炉检验	(304)
5.5.1	锅炉检验的目的和意义	(304)
5.5.2	锅炉常见缺陷	(305)
5.5.3	锅炉检验项目	(307)
5.5.4	检验中的安全	(309)
5.6	锅炉运行与安全	(309)
5.6.1	锅炉设备、设施与锅炉房安全	(309)
5.6.2	锅炉安全运行与维护	(311)
5.6.3	锅炉安全管理	(315)
5.7	锅炉常见事故与预防	(316)
5.7.1	锅炉爆炸事故	(316)
5.7.2	缺水事故	(317)

5.7.3	满水事故	(317)
5.7.4	汽水共腾	(317)
5.7.5	爆管事故	(317)
5.7.6	省煤器损坏	(318)
5.7.7	过热器损坏	(318)
5.7.8	炉膛爆炸事故	(318)
5.7.9	烟道二次燃烧	(318)
5.7.10	锅炉结焦	(319)
	参考文献	(320)

第 1 章

设备安全通论

设备的用途和类型千差万别，不同的设备其危险性及安全要求也存在较大的差异。本章介绍各类设备在安全方面基本的共性内容。分别从设备的分类、设备的危险及有害性、设备的风险评价、设备的风险控制及特种设备安全监管方面进行阐述。

1.1 设备的概念及其分类

设备是指在生产、生活中长期使用，并在反复使用中基本保持原有实物形态和功能的劳动资料和物质资料的总称。设备的类型很多，可以从不同的角度对此进行分类。

1.1.1 按用途分类

工业企业所使用的设备，按其在生产中的用途，一般可以分为生产设备和非生产设备两大类。生产设备是指直接用于生产产品的设备，即从原材料进厂后到成品出厂前整个生产过程中所使用的设备；非生产设备是指不直接用于产品生产的设备，即基本建设、科学实验和管理上所使用的设备。

按用途也可将工业企业的设备分为以下 5 类：

通用设备，包括锅炉、蒸汽机、内燃机、发电机及电厂设施、铸造设备、机

加工设备、分离设备、电力设备、工业炉窑等。

专用设备，包括矿业用钻机、凿岩机、挖掘机、煤炭专用设备、有色金属专用设备、黑色金属专用设备、石油开采专用设备、化工专用设备、建筑材料专用设备、电子工业专用设备、非金属矿采选及制品专用设备、各种轻工专用设备（如制药专用设备、食品工业专用设备、造纸专用设备）等。

交通运输工具，包括汽车、机车车辆、船舶等。

建筑工程机械，包括混凝土搅拌机、推土机等。

主要仪器、仪表、衡器。

1.1.2 按企业生产性质分类

由于不同企业生产产品和装备不同，对设备的分类也不尽相同。以化工企业为例，可将使用设备分为14大类。

炉类，包括加热炉（箱式、管式、圆筒式）、煤气（油）发生炉、干馏炉、裂解炉、一段转化炉、热载体炉、脱氢炉等。

塔类，包括板式塔（即筛板、浮阀、泡罩）、填料塔、焦炭塔、干燥塔、冷却塔、造粒塔等。

反应设备类，包括反应器（釜、塔）、聚合釜、加氢转化炉、二段转化炉、变换炉、氨（甲醇）合成塔、尿素合成塔等。

储罐类，包括金属储罐（桥架、无力矩、浮顶）、非金属储罐、球形储罐、气柜、各类容器。

换热设备类，包括管壳式换热器、套管式换热器、水浸式换热器、喷淋式换热器、回转（蛇管）式换热器、板式换热器、板翅式换热器、管翅式换热器、废热锅炉等。

化工机械类，包括真空过滤机、叶片过滤机、板式过滤机、搅拌机、干燥机、成型机、结晶机、挤条机、振动机、扒料机、包装机等。

橡胶与塑料机械类，包括挤压脱水机、膨胀干燥机、水平输送机、振动提升机、螺杆输送机、混炼（捏）机、挤压机、切料机、压块机、包装机等。

化纤机械类，包括抽（纺）丝机、牵伸机、水洗机、柔软处理机、烘干机、卷曲机、卷绕（折叠）机、加捻机、牵切机、切断机、针梳机、打包机等。

通用机械类，包括泵类，如离心泵、往复泵、比例泵、齿轮泵、真空泵、螺杆泵、旋涡泵、刮板泵、屏蔽泵；压缩机类，如离心式压缩机、往复式压缩机、螺杆式压缩机、回转（刮板）式压缩机；鼓风机，如离心式鼓风机、罗茨鼓风机、冰机等。

动力设备类，包括汽轮机、蒸汽机、内燃机、电动机、交直流发电机、变压器、开关柜等。