

“十二五”规划教材 | 安全工程类

Anquanjianceshu

安全检测技术

(第二版)

©张乃禄 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

“五”规划教材 | 安全工程类

安全检测技术

(第二版)

张乃禄 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了安全检测技术的基本理论、技术原理、检测方法以及监控系统应用技术。

全书共分为8章。其中,第1~3章阐述安全检测技术及其基本理论;包括安全检测技术概述、检测技术基础和安全检测常用传感器;第4、5章重点介绍生产过程工艺参数、环境及灾害检测技术;第6章介绍生产装置安全检测技术;第7、8章着重讨论安全检测与系统的应用技术,主要包括安全检测仪表与系统的防爆技术,安全检测与监控系统的组成、设计开发及应用实例。

本书系统性强,内容全面丰富,重点突出,理论联系实际,注重应用,可作为高等院校相关专业本科生和硕士研究生的专业教材或教学参考书,也可以作为安全管理和安全技术人员的实用参考书,以及企业工程技术人员和广大工人的培训教材与自学用书。

★本书配有电子教案,需要的老师可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

安全检测技术/张乃禄主编. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.2

高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2730-4

I. ①安… II. ①张… III. 安全技术—检测—高等学校—教材 IV. X924.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 000630 号

策 划 戚文艳

责任编辑 薛 媛 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年2月第2版 2012年2月第4次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张24

字 数 567千字

印 数 9001~12 000册

定 价 40.00元

ISBN 978-7-5606-2730-4/X·0002

XDUP 3022002-4

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

中国共产党第十六届五中全会确立了“安全发展，以人为本”的原则，实现安全发展已成为我国的战略目标之一，“安全第一，预防为主，综合治理”是实现安全发展的指导方针。安全工程的基本工作可概括为“危险辨识、风险评价、风险控制”，安全检测是辨识、评价、控制的基础，为职业健康安全状态评价、安全管理及设施监督、安全技术措施的效果评价等提供可靠而准确的信息。安全检测对作业环境安全与卫生条件、特种设备安全状态、生产过程危险参数、操作人员不规范动作等各种不安全因素进行预测和监测监控。安全检测技术已成为安全生产重要的技术保障措施之一。

《安全检测技术》从2007年第一版出版到现在，已过去5年时间。该书得到许多高校安全工程专业师生和专家学者的厚爱，先后提出许多宝贵的意见和建议，特别是作者多次有幸参加全国高校安全工程专业学术年会暨安全工程人才培养研讨会，与安全工程领域的前辈以及教学一线的同行进行交流与讨论，广泛吸取了大家的意见和建议。同时，作者结合近年来安全检测监控的新技术进展和最新研究成果，对本书进行了重新修订，对原有内容进行了补充和完善，并增加了新的技术，确保了本书在内容上的时代性、实用性以及叙述上的可教性、可读性。在第3章安全检测常用传感器和第4章生产工艺参数检测仪表中，补充了大量的实物图片和例题；在第5章环境与灾害参数检测中，增加5.6小节雷电安全检测、5.7小节防静电安全检测、5.8小节放射性危害检测；在思考题中，增加了大量的新作业题。

本书的修订是由张乃禄教授带领其科研团队在第一版的基础上完成的，在此对第一版的作者表示崇高的敬意和感谢，同时，对参加修订工作的在读研究生胡伟、孙焕春、姚董董等做了大量文字工作表示感谢。在本书修订过程中，参考了国内许多相关书刊及研究报告，还得到了西安电子科技大学出版社戚文艳编辑的指正与帮助，在此一并表示衷心感谢！

由于作者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，以使我们能够不断提高和完善。

编 者
2011年9月

第一版前言

安全科学诞生于20世纪50年代,发展于80年代。安全科学的诞生源于血的教训,标志着人类对劳动安全的认识发展到了比较高的层次,也是历史发展的必然。20世纪80年代以来,逐步建立了安全科学的学科体系,发展了本质安全、过程检测与控制、人的行为控制等事故理论与方法。

目前,我国正处于经济的转型期,随着我国工业化和市场经济的快速发展,安全生产形势比较严峻,各种空难、海难、煤矿透水、瓦斯爆炸、天然气井喷、油气泄漏和火灾等灾难性事故不断发生,每年发生的特别重大安全事故数和因安全事故死亡的人数,令人触目惊心。煤矿、道路交通、建筑、能源、化工、危险化学品等领域安全事故的频繁发生,给人民群众的生命与财产造成了重大的损失。开展安全检测与监控技术研究,全面提高我国安全检测与监控的科学技术水平,对有效减少事故隐患,预防和控制重特大事故的发生,遏制群死群伤和重大经济损失以及保障国家经济与社会的可持续发展具有重大现实意义。

现代安全检测技术是一门多学科交叉的技术科学,其理论与工程技术相结合,涉及的内容非常广泛。本书作者结合多年从事安全检测技术教学和科研工作的经验,在西安石油大学安全工程专业《安全检测技术》讲义的基础上编写了此书。本书系统地阐述了安全检测技术的基本理论、技术原理、检测方法以及监控系统应用技术,主要介绍了安全检测技术基础和常用传感器,重点介绍了生产过程工艺参数、环境及灾害、生产装置安全检测技术、安全检测仪表与系统的防爆技术、安全检测与监控系统组成、设计开发及应用技术,同时介绍了安全检测与监控系统应用实例。

张乃禄教授提出本书选题、担任主编并组织编写和统稿。全书共8章,其中第1、7、8章由张乃禄编写,第4、5章由徐竟天编写,第2、6章由薛朝妹编写,第3章由刘灿编写,各章的习题与思考题由张建华、张源编写。硕士研究生刘峰、郭晶、郝佳、石瑞等为本书完成了大量文字录入和制图工作。西安石油大学汤楠教授和胡长岭高级工程师对本书进行了审读,并提出了许多有益的建议。本书编写过程中,参考了国内多位专家教授的相关著作、文章及研究报告,还得到了西安石油大学电子工程学院和自动化系领导、同仁的大力支持。西安电子科技大学出版社编辑戚文艳和薛媛为本书的出版做了大量的工作,在此一并表示衷心感谢!

由于作者水平有限且编写时间紧迫,不妥之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

编者

2007年5月于西安

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4.3 传感器的寿命、损坏原因分析以及 元器件等损坏情况分析	57
1.1 安全生产技术	1	习题与思考题	59
1.1.1 我国安全生产现状	1	第 3 章 安全检测常用传感器	60
1.1.2 我国安全生产科技的主要差距	1	3.1 传感器的作用及分类	60
1.1.3 生产安全科技的现状与 发展趋势	3	3.1.1 传感器的作用	60
1.1.4 生产安全关键技术	4	3.1.2 传感器的分类	61
1.2 安全检测技术	5	3.2 结构型传感器	61
1.2.1 检测技术	6	3.2.1 电阻式传感器	61
1.2.2 安全检测的意义	7	3.2.2 电容式传感器	67
1.2.3 安全检测的目的	8	3.2.3 电感式传感器	74
1.2.4 安全检测的任务	8	3.2.4 磁电式传感器	78
1.3 安全检测技术的发展	10	3.3 物性传感器	81
1.3.1 安全检测与仪表发展	10	3.3.1 压电式传感器	81
1.3.2 安全监控与技术发展	12	3.3.2 半导体敏感元件	86
习题与思考题	13	3.3.3 光电传感器	89
第 2 章 检测技术基础知识	14	3.3.4 霍尔传感器	100
2.1 测量误差分析与数据处理	14	3.4 其他类型传感器	104
2.1.1 测量误差的基本概念	14	3.5 传感器的选用原则	108
2.1.2 测量误差的表示方法	15	3.5.1 传感器的选用指标	108
2.1.3 测量误差的分类	16	3.5.2 传感器的选择与应用	110
2.1.4 测量误差的分析与处理	19	习题与思考题	112
2.1.5 测量数据处理的基本方法	24	第 4 章 生产工艺参数检测仪表	114
2.2 检测信号分析基础	26	4.1 温度检测与仪表	114
2.2.1 检测信号的分类	27	4.1.1 温标及测温方法分类	114
2.2.2 检测信号的时域分析	28	4.1.2 接触式温度检测	117
2.2.3 信号的频域分析	33	4.1.3 非接触式测温	136
2.3 检测系统的基本特征	37	4.1.4 温度检测仪表的选用	139
2.3.1 检测系统的数学模型	37	4.2 压力检测与仪表	140
2.3.2 检测系统的静态特性	39	4.2.1 压力检测的概念与分类	140
2.3.3 检测系统的动态特性	42	4.2.2 液柱式压力计	142
2.4 检测系统的可靠性技术	48	4.2.3 弹性式压力计	145
2.4.1 检测系统的现场防护	48	4.2.4 负荷式压力计	147
2.4.2 检测系统的抗干扰	51		

4.2.5	电测式压力仪表	150	5.6.2	土壤电阻率的检测	254
4.2.6	压力仪表的选用	157	5.7	防静电安全检测	256
4.3	流量检测与仪表	159	5.7.1	静电的产生与特性	256
4.3.1	流量检测的概念与方法	159	5.7.2	静电的检测	257
4.3.2	差压式流量计	162	5.7.3	静电检测的特点及注意事项	263
4.3.3	容积式流量计	167	5.8	放射性危害检测	264
4.3.4	速度式流量计	171	5.8.1	α 放射性样品检测	264
4.3.5	质量流量计	179	5.8.2	β 放射性样品检测	266
4.3.6	其他流量计	183	5.8.3	γ 射线剂量检测	267
4.3.7	流量计选型原则	186	5.8.4	中子剂量检测	268
4.4	物位检测与仪表	187	习题与思考题		268
4.4.1	浮力式液位计	188	第6章 生产装置安全检测		270
4.4.2	压力式液位计	190	6.1	超声检测技术	270
4.4.3	电容式物位计	194	6.1.1	超声检测技术概述	270
4.4.4	超声波物位计	196	6.1.2	超声检测的方法	272
4.4.5	雷达物位计	200	6.1.3	生产装置的超声检测	276
4.4.6	物位仪表的选用	203	6.2	射线检测技术	279
习题与思考题		203	6.2.1	射线检测技术概述	279
第5章 环境与灾害参数检测		205	6.2.2	射线检测的基本原理和方法	279
5.1	可燃性气体和有毒气体的检测	205	6.2.3	生产装置的射线检测	283
5.1.1	可燃性气体和有毒气体的 性质	205	6.3	磁粉检测技术	284
5.1.2	可燃性气体和有毒气体的 检测原理	208	6.3.1	磁粉检测技术概述	284
5.1.3	可燃性气体和有毒气体的 检测仪表	211	6.3.2	磁粉检测的基本原理和方法	285
5.2	粉尘检测	215	6.3.3	生产装置的磁粉检测	290
5.2.1	粉尘的有关概念	215	6.4	红外检测与红外诊断技术	291
5.2.2	粉尘的检测方法	217	6.4.1	红外检测与诊断技术概述	291
5.3	噪声及其检测	220	6.4.2	红外检测与诊断的基本原理和 方法	293
5.3.1	噪声的量度参数	220	6.4.3	生产装置的红外检测	298
5.3.2	噪声的主观评价	221	6.5	设备故障专家诊断技术	300
5.3.3	噪声测量常用仪器	224	6.5.1	设备故障专家诊断系统	301
5.3.4	噪声测量中的若干问题	227	6.5.2	设备故障的模糊诊断技术	301
5.4	泄漏检测	228	6.5.3	设备故障的神经网络诊断 技术	304
5.4.1	危险物质的泄漏及危险性	228	6.5.4	装置故障专家诊断技术应用	307
5.4.2	管道泄漏检测技术	229	习题与思考题		310
5.5	火灾参数检测与系统	234	第7章 检测仪表与系统的防爆		311
5.5.1	火灾探测与信号处理	234	7.1	检测仪表与系统防爆概述	311
5.5.2	火灾自动报警系统	243	7.1.1	检测仪表的安全特性	311
5.6	防雷电安全检测	248	7.1.2	检测仪表的防爆结构	312
5.6.1	接地装置接地电阻检测	248	7.2	检测仪表的本质安全防爆	315

7.2.1 本质安全防爆的基本原理 与措施.....	316	8.3.4 系统运行效果.....	344
7.2.2 本质安全防爆系统.....	319	8.4 煤矿安全生产检测监控系统介绍.....	344
7.3 防爆检测仪表的选择与应用.....	326	8.4.1 矿井概况.....	344
7.3.1 防爆检测仪表的选型.....	326	8.4.2 系统设计原则.....	346
7.3.2 防爆检测仪表的应用.....	326	8.4.3 系统结构.....	346
习题与思考题	327	8.4.4 系统功能及特点.....	347
第8章 安全检测与监控系统	328	8.4.5 系统运行效果.....	348
8.1 安全检测与监控系统概述.....	328	8.5 石化储罐区安全检测与监控系统.....	349
8.1.1 安全检测与监控的一般步骤.....	328	8.5.1 储罐区安全检测与监控系统 概况.....	349
8.1.2 计算机安全检测与监控系统的 组成.....	329	8.5.2 系统设计及系统构成.....	350
8.2 安全检测与监控系统的设计 与开发.....	331	8.5.3 系统主要功能.....	354
8.2.1 安全检测与监控系统的设计 过程与原则.....	331	8.5.4 使用效果.....	355
8.2.2 安全检测与监控系统的设计 步骤.....	333	8.6 油田生产安全无线监控系统.....	355
8.2.3 检测仪表的选型.....	336	8.6.1 系统概述及组成.....	355
8.3 某油田安全检测与监控系统介绍.....	342	8.6.2 安全监控系统软件设计.....	357
8.3.1 监控系统项目简介.....	342	8.6.3 系统使用状况.....	359
8.3.2 监控系统方案分析.....	343	习题与思考题	360
8.3.3 系统监控构成.....	344	附录 A 热电偶分度表	361
		附录 B 热电阻分度表	365
		参考文献	370

第1章 绪 论

1.1 安全生产技术

1.1.1 我国安全生产现状

目前,我国正处于经济的转型期,随着工业化和市场经济的快速发展,我国安全生产特大事故发生的概率也在增加。2003年全国共发生一次死亡10人以上特大事故129起,死亡2562人;发生一次死亡30人以上的特别重大事故15起,死亡825人。特别重大事故由于伤亡人数多,经济损失重大,在国内外造成了严重的社会影响。2001年,广西南丹县龙泉矿冶总厂所属拉甲坡矿发生透水事故,造成81人死亡,直接经济损失8000多万元;2002年,黑龙江鸡西矿务局城子河煤矿发生瓦斯爆炸事故,造成124人死亡,直接经济损失984万元;2003年12月23日,中国石油天然气总公司四川管理局重庆钻探公司西北气矿发生特大井喷事故,造成243人死亡,上万人住院就诊,经济损失巨大;2004年11月28日陕西陈家山发生我国煤矿40多年不遇的特大瓦斯爆炸事故。相隔不到3个月,2005年大年初六又发生了辽宁阜新孙家湾213人死亡的特大矿难……目前,煤矿、道路交通、建筑、危险化学品等领域伤亡事故多发的状况尚未从根本上扭转,安全事故频繁发生,对人民群众的生命与财产造成了重大的损失。

党和政府一贯高度重视安全生产工作,并出台了《安全生产法》。安全生产是社会文明和进步的重要标志,是国民经济稳定运行的重要保障,是坚持以人为本安全理念的必然要求,是坚持人与自然和谐发展的前提条件,是全面建设小康社会宏伟目标的重要内容。尽快改变我国安全生产科技相对落后的局面,为安全生产提供足够的技术支撑和保障,已成为我国科技界的共识。发展和提高我国的安全检测技术水平,识别各种危险源和确定事故隐患分布,有效控制事故与灾害的发生,将直接影响我国经济的可持续、健康发展和全面建设小康社会目标的实现。

1.1.2 我国安全生产科技的主要差距

目前,我国安全生产形势严峻,事故高发的主要原因之一在于安全生产科技基础薄弱,安全技术滞后于生产技术的发展,安全科技不能为安全生产提供强有力的支撑和保障。参照发达国家,我国安全科技的差距主要有如下几方面。

(1) 安全生产科学理论需要不断发展。

安全生产科学理论是发展安全科技的基础,超前的科学理论能够有效地指导安全科技研究和安全生产工作实践。我国的安全科学最早是从劳动保护工作中发展起来的。长期以来,在人们的观念中,安全是一种常识,既没有科学的认识,也没有学科的地位。到目前为

止,安全科学的学科性质、研究对象、研究范畴还没有统一的认识,与相关学科和专业的关系也还没有理清,在高层次的科学研究领域更没有被纳入到资助的范围。因此,安全理论的发展应该放到“科技兴安”的战略地位。

(2) 危险源辨识、风险分析和风险评估技术需要不断完善。

危险辨识、评价和控制的技术与方法与安全科学技术中的前沿课题之一。我国高危行业的特种设备和一些涉及生命安全的危险装置受先天制造质量和后天维护技术水平等因素制约,存在诸多缺陷,同时由于受到综合国力的制约,不可能像发达国家那样进行定期报废和更新,又由于缺乏适合于我国国情的检验检测、安全评估、寿命预测和基础数据库,因而造成了各类潜在危险的大量存在,缺乏有效的预控手段。

(3) 安全检测、危险源监测和灾害事故预警需要逐步建立。

危害检测和危险监控是事故预防的基本技术手段,现代化生产迫切需要发展在线、智能化检测监测技术和手段。发达国家已有先进技术对关键装备、大型承压设备和危险装置进行在线检测,对埋地燃气管道腐蚀与泄漏实施不开挖在线检测监测,生产装置除有良好的安全监测技术外,还具备完善、严格的机械完好性保证制度,以预防性检修为准则,很少发生现场泄漏问题。但我国在这方面的研究却刚刚起步甚至基本上是空白。大多数企业仍采用坏了才修的原则,现场跑冒滴漏现象严重,既造成环境污染,又潜存事故隐患。

对矿山等的自然灾害预测、预警和监测技术,我国普遍存在着技术相对落后、使用面不宽、传感器种类少、稳定性差、使用寿命短等问题,与发达国家相比,存在相当大的差距。

(4) 风险控制和灾害事故防治技术需要不断更新。

风险控制是实现系统安全的最终目的。在针对危害识别和风险评价提出危险、事故隐患,采用先进的防治技术进行有效的风险控制方面,以及研究重大突变事故的预防措施方面的研究远远不够,要形成体系还需要相当长的时间。矿山煤层与瓦斯突出、冲击地压、地热等自然灾害的治理缺乏有效的技术和必要的理论支撑,煤层的瓦斯抽放还缺乏有效的手段,矿井通风的可靠性也缺乏有效的保证。

(5) 应急救援技术能力和水平需要不断提高。

科学的事故防范体系不仅要有预防的措施,还需要有应急的对策。在危险化学品应急救援方面,我国还仅仅停留在化学品登记、物化性质咨询方面,在应急救援技术与装备的研究开发方面与发达国家相比差距很大;在特种设备应急救援方面,尚未建立起应对各类特种设备恶性事故的应急救援系统及有效的应急抢险装备;在矿山、交通、建筑、电力供应等方面,对重大突发性灾害应急预案缺乏深入的研究;全国各级各类应急救援力量缺乏有效整合,尚未建立协同作战机制。而发达国家目前已有完整的体系,特别在城市公共安全应急救援方面,技术装备先进,应急机制健全。

(6) 事故调查分析处理需要不断改善。

事前预防、事中应急、事后补救是安全保障的基本方法体系。发生事故后的科学调查处理是事后补救的基础。我国在事故调查分析的组织、目的、程序以及相关的技术手段等方面与发达国家差距很大。必须改变重大事故发生后只重视责任原因,而忽视本质和预防原因的调查。

(7) 安全技术标准体系需要不断完善,并改善其科学性和有效性。

安全技术标准是发挥安全科技功能的支持条件。目前我国安全技术标准缺口大,已有标准的科技含量低,大多缺少详细的安全技术设计要求,与发达国家的差距很大,要与国际安全技术标准接轨还有大量工作要做。

(8) 安全信息管理技术需要加强和提高。

安全信息是科学决策和管理的基础。要利用先进管理理论和现代信息技术,通过互联网连接各种静态、动态安全信息,共享资源,实现国家安全生产的动态监管,提高时效性、准确性。

(9) 安全生产科技投入有待加强。

安全生产科技的投入水平既是国家经济实力的体现,同时也是社会管理者意识的表现。作为以社会公益性为主导的事业,我国对安全生产科技工作的投入水平与发达国家相比存在巨大的差距,需要建立多元化的安全科技投入机制。

1.1.3 生产安全科技的现状与发展趋势

1. 发达国家

发达国家主要依靠自动化的检测与控制技术、预警技术,严格的预警机制以及规范的管理保证生产的安全进行,其先进的危险辨识技术、评估技术和应用软件已广泛地应用于企业安全管理当中。在危险辨识和风险评估方面,发达国家的大型公司普遍开发了先进的危险辨识、评估技术和相关软件,并广泛应用于企业生产的安全管理之中。这些公司利用风险分析软件,建立电脑数据分析模型,纳入预警系统,确定公司设施的设计和运行中存在的严重环境缺陷,并进行校正。他们在几十年前就已开展了特种设备安全检测、评估、寿命预测和风险评估技术方面的研究,并建立了大量的基础数据库。

在危险源监测、预警方面,发达国家已有先进的技术和设备可以对大型承压设备、储罐进行在线检测,对埋地燃气管道腐蚀和泄漏实施不开挖在线监测,并将红外成像技术和激光扫描技术应用于天然气管道的泄漏检测之中。

在灾害事故防治方面,发达国家的大型公司通过采用先进的防雷、防静电和抑爆等安全技术,已基本控制重、特大灾害事故,研究重点正逐步转移为创造安全健康的工作环境。

在安全生产信息化方面,发达国家已普遍利用现代网络化技术建立先进的信息管理系统,实现了统一管理、数据规范和资源共享。

2. 我国

近年来,我国的安全生产科技也得到了较大的发展,具备了一定的规模,管理水平不断提高,成为我国科技事业的重要组成部分,对推动安全生产事业的发展起到了重要作用。

目前安全生产信息化、产业化高速发展。信息技术的突飞猛进和安全监测、监控的重要性不断提高,促进了各类传感器、数据传输技术、信息接口和 GIS、GPS 技术在安全生产领域的大量应用,提高了安全生产信息化水平。

3. 发展趋势

发达国家主要依靠自动化安全检测与控制技术、预警技术,严格的预警机制以及规范的管理保证生产的安全进行,先进的危险辨识技术、评估技术和软件已广泛应用于企业安

全管理。我国主要以日常监督为主,安全生产监测、监控自动化程度较低,预警及应急技术刚刚起步。

1.1.4 生产安全关键技术

某些灾害的发生是难以避免的。如何有效地抑制、监测和预警,针对已经发生的事故,如何合理利用高技术手段,对事故实行有效的控制,减少人员伤亡和财产损失,这些是生产安全关键技术需要重点解决的现实问题。通过对事故早期的物理、化学性质的研究,结合智能材料、阻燃材料在常规和灾害环境中的综合性能,发展自动修复和阻燃技术,可以有效地进行灾前抑制,使得可能成灾的事故被先期控制。新材料、新的高科技检测技术的发展,给危险源致灾的前兆检测提供了越来越先进的手段,大大提高了由人为干预主动消除危险源的技术水平。定期检测也是日常安全管理工作的一项重要内容。由被动式的灭救技术向新一代的主动式防治技术转变的关键是以智能监测技术为核心,结合灾前抑制和高效扑救技术,实施最直接的灾害防治。

1. 灾前抑制

当热量过分集中于某一客体,并且超过其所能承受的能量阈值时,将引发重大的事故或灾害。如果不断聚集的热量作用于可燃物,可能导致火灾或爆炸;作用于非可燃物,则可能因局部过热受到破坏,而引发事故。

灾前抑制措施可以感知外界的异常,并通过自身变化弥补或消除热量等能量意外集中释放的变化,达到最大程度地抑制事故发生的目的。其抑制作用可以持续到事故发生、发展阶段,起到延缓进程,保护结构不受损的作用。

例如,作为火灾及其相关灾害防治的有效技术之一——阻燃,现在已经得到了充分的发展,并延伸发展了阻燃织物和各类个人防护服。降低可燃性、提高耐火性以及无毒、抑烟、耐用是对清洁高效阻燃的要求。

2. 前兆检测

由于很多火灾、爆炸等事故是因为物体过热或热量相对集中造成的,因此根据事故前所表现出来的温度或热特性,已经形成了很多检测设备,例如热像技术以其独有的方便直观等特点被广泛应用。一般材料的破损缺陷会直接导致热或能量的异常集中分布,所以超声波等材料的缺陷检测技术对事故前兆检测也是极其重要的一环。

最初出于军事目的发展起来的热红外技术,由于其技术的先进和实用,现在已成为安全工程中极其有用的工具。主要的红外仪器有红外热像仪、红外热电视、红外测温仪、红外荧光光纤测温仪等。红外热像技术在隐患检测方面已经得到广泛应用。通过扫描热力设备表面温度场,形成红外温度场图像,根据能量准则,可实现热安全故障隐患在线诊断。进一步研究发展红外温度场与电气等热力设备运行状况的数学模型,可以最终实现火险隐患的分析与诊断。红外热像可用于钢铁工业中的高炉和转炉所用耐火材料的烧蚀磨损观测,化工行业的压力容器和管道的运行情况及沉淀形成、流动阻塞、漏热温度、隔热材料变质等的检测,电力系统的电力设备的事故隐患和故障诊断,等等。

各种固体材料的内部质量情况(如强度、内部缺陷、密实性等)与声学参数(如声速、波幅、频率等)有着内在的联系,超声波检测及声发射技术可以用于检测在高温、高压环境下使用的材料的质量。超声波在安全工程中主要用于无损检测、探伤、测距、清洗等,如建筑

物结构检测、压力容器裂纹探伤、各种材料(如钢材、木材、有机高分子材料等)的检测。隐患检测技术的发展日新月异,在事故前兆检查、消除方面的应用也越来越广泛,其发展方向是微型化和自动化,以期实现长期监测。例如很多可燃物的阴燃,因发展过程缓慢,其早期征兆不明显,故一般依靠定期检测进制监测。气敏传感器的发展使得阴燃过程在初期即可被发现,近两年发展的吸气式激光粒子检测技术也可实现早期阴燃的长期监测。

3. 早期监测

由被动式的抗灾技术向新一代的主动式防治技术转变的关键是以智能监测技术为核心,结合灾前抑制和高效扑救技术,实施最直接的灾害防治。传感手段、信号处理算法是智能探测的两个基本方面,新的监测技术一般都从这两个方面入手,提高其智能程度、反应速度与稳定性。图像模式、次声等新型传感手段结合多信号多判据、基于模糊逻辑和神经网络、现场总线、专用集成芯片等技术,把智能监测带到一个崭新的时代,研究过程也从单一的实物探索尝试,发展到与计算机模拟、虚拟实验等方式相结合。

传感技术的发展直接影响着安全监测技术的水平。现代传感技术的发展日新月异,安全监测也受惠其中。由于有了众多技术先进、工艺成熟的传感器件,因此安全工程有了更大的选择余地。用于灾害监测的传感器非常多,如化学传感器、声学传感器、机械传感器、磁传感器、辐射传感器、热传感器、生物传感器、膜传感器、光纤传感器、硅传感器、应用MEMS的微传感器等。

传感器的信号已不再是简单的二值量,有意义的结论往往是对信号的深入加工分析,例如变化率检测、趋势分析、斜率求取、复合滤波、功率谱分析、时间序列分析、多传感器相关运算、模糊统计、模糊推理、神经网络等。神经网络与模糊系统融合的信号检测算法也已经应用于灾害探测,该算法将模糊理论和神经网络有机地结合起来,取长补短,提高了整个系统的学习能力和表达能力,进一步提高了监测系统的智能化水平。

4. 灾害扑救

灾害发生后,有效的扑救技术可以大幅度地减小灾害损失。扑救过程涉及清洁、高效救灾,人员疏散,人员防护,防排烟等技术。

智能机器人技术在灾害救援方面也得到了应用。研制机器人的初衷就是制造一种用来代替人在复杂、危险及人的生理条件所不能承受的环境中工作的机器。从20世纪50年代末至今,机器人已经研制出三代。从第二代机器人起,已经有专门研制的机器人从事恶劣、危险环境下的检修、清洁等工作,以及从事消防灭火、火场搜索救援工作。1999年英国消防科技部门成功研制了能扑灭特种火灾的机器人,这种外壳用特种不锈钢制成的机器人貌似叉车,可进入800℃高温处灭火救灾,能用水、泡沫和干粉扑灭各种火灾,并可把储有易燃易爆物品的容器移到安全区域,也可将汽车残骸等笨重物移出口口,为消防人员和消防车进出提供方便。

关键技术针对灾害孕育、发生、发展过程中的关键环节,破坏其连锁发展链条,是安全事故防治技术体系中直接消除、减少、延缓灾害的层面。

1.2 安全检测技术

检测是人类认识世界的重要技术手段。人们可以通过各种检(监)测方式和检(监)测技

术来获得信息,以助于了解周围环境,进而实现对环境参数的控制。现代检(监)测技术随着科学技术的发展已经成为一门独立的学科。在石油、化工、冶金、煤炭等生产部门,为了确保安全生产,改善劳动条件,提高劳动生产率,使生产管理水乎日趋向科学化、现代化发展,要求对生产过程,特别是处于分散生产状态中的石化生产环境参数进行实时、准确的检测,并对这些环境参数实施有效的控制,因而逐步发展和形成了以检测技术为核心的安全检测监控技术。

1.2.1 检测技术

1. 检测与测量的概念

检测主要包括检验和测量两方面的含义。检验是分辨出被测参数量值所归属的某一范围带,以此来判别被测参数是否合格或现象是否存在。测量是把被测未知量与同性质的标准量进行比较,确定被测量对标准量的倍数,并用数字表示这个倍数的过程。

检测的任务不仅是对成品或半成品的检验和测量,而且为了检查、监督和控制某个生产过程或运动对象使之处于人们选定的最佳状况,需要随时检验和测量各种参量的大小和变化等情况。这种对生产过程和运动对象实时定性检验和定量测量的技术又称为工程检测技术。

测量有两种方式,即直接测量和间接测量。

直接测量是在对被测量进行测量时,对仪表读数不经任何运算,直接得出被测量的数值。如用温度计测量温度,用万用表测量电压。

间接测量是测量几个与被测量有关的物理量,通过函数关系式计算出被测量的数值。如功率 P 与电压 V 和电流 I 有关,即 $P=I \cdot V$,通过测量的电压和电流,可计算出功率。

直接测量简单、方便,在实际中使用较多。但在无法采用直接测量方式,直接测量不方便或直接测量误差大等情况下,可采用间接测量方式。

2. 传感器与敏感器的概念

传感器是将非电量转换为与之有确定对应关系的电量输出的器件或装置,它本质上是非电量系统与电量系统之间的接口。传感器是必不可少的转换器件。从能量的角度出发,可将传感器划分为两种类型:一类是能量控制型传感器(也称有源传感器),另一类是能量转换型传感器(也称无源传感器)。能量控制型传感器是指传感器将被测量的变化转换成电参数(如电阻、电容)的变化,传感器需外加激励电源才可将电参数的变化转换成电压、电流的变化,如铂电阻温度传感器。铂电阻阻值随被测温度的变化而变化,需外加电桥电路,才可将阻值的变化转换成电压的变化。能量转换型传感器可直接将被测量的变化转换成电压、电流的变化,不需外加激励电源,如热电偶、光电池、压电传感器等。

在很多情况下,所要测量的非电量并不是我们所持有的传感器所能转换的那种非电量,这就需要在传感器前面增加一个能把被测非电量转换为该传感器能够接收和转换的非电量(即可用非电量)的装置或器件。这种把被测非电量转换为可用非电量的器件或装置称为敏感器。例如用电阻应变片测量压力时,就要将应变片粘贴到受压力的弹性元件上,弹性元件将压力转换为应变,应变片再将应变转换为电阻的变化。这里应变片便是传感器,而弹性元件便是敏感器。敏感器和传感器虽然都是对被测非电量进行转换的,但敏感器是把被测量转换为可用非电量,而传感器是把被测非电量转换为电量。

3. 安全检测监控系统

如果将传感器或检测器及信号处理、显示单元集于一体,固定安装于现场,对安全状态信息进行实时检测,则称这种装置为安全监测仪器。如果只是将传感器或检测器固定安装于现场,而将信号处理、显示、报警等单元安装在远离现场的控制室内,则称为安全监测系统。将监测系统与控制系统结合起来,则能把监测数据转变成控制信号,该系统称为监控系统。

由于被测对象复杂多样,检测系统的结构也不尽相同。一般检测系统是由传感器、信号调理器和输出环节三部分组成的。

传感器处于被测对象与检测系统的接口处,是一个信号变换器。它直接从被测对象中提取被测量的信息,感受其变化,并转化成便于测量的电参数。由传感器检测到的信号一般为电信号,它不能直接满足输出的要求,需要进一步的变换、处理和分析,即通过信号调理电路将其转换为标准电信号,输出给输出环节。

根据检测系统输出的目的和形式不同,输出环节主要有显示与记录装置、数据通信接口和控制装置。

传感器的信号调理电路是由传感器的类型和对输出信号的要求决定的。不同的传感器具有不同的输出信号。能量控制型传感器输出的是电参数的变化,需采用电桥电路将其转换成电压的变化,而电桥电路输出的电压信号幅值较小,共模电压又很大,需采用仪表放大器进行放大。在能量转换型传感器输出的电压、电流信号中一般都含有较大的噪声信号,需加滤波电路将有用信号提取,而滤除无用的噪声信号。而且,一般能量型传感器输出的电压信号幅度都很低,也需采用仪表放大器进行放大。

随着检测要求的提高和传感技术的发展,信号的变换和处理技术不断进步,内容也越来越丰富。目前常用的硬件信号调理方法有测量电桥、信号放大、信号隔离、硬件滤波、V/F转换、F/V转换和V/I转换等,一般将这些方法统称为模拟信号调理技术。

1.2.2 安全检测的意义

工业事故属于工业危险源,后者通常指人(劳动者)—机(生产过程和设备)—环境(工作场所)有限空间的全部或一部分,属于“人造系统”,绝大多数具有观测性和可控性。表征工业危险源状态的可观测的参数称为危险源的“状态信息”。状态信息是一个广义的概念,包括对安全生产和人员身心健康有直接或间接危害的各种因素,如反映生产过程或设备的运行状况正常与否的参数,作业环境中化学和物理危害因素的浓度或强度等。安全状态信息出现异常,说明危险源正在从相对安全的状态向即将发生事故的临界状态转化,提示人们必须及时采取措施,以避免事故发生或将事故的伤害和损失降至最小程度。

安全检测方法依检测项目不同而异,种类繁多。根据检测的原理机制不同,大致可分为化学检测和物理检测两大类。化学检测是利用检测对象的化学性质指标,通过一定的仪器与方法,对检测对象进行定性或定量分析的一种检测方法。它主要用于有毒有害物质的检测,如有毒有害气体、水质和各种固体、液体毒物的测定。物理检测利用检测对象的物理量(热、声、光、磁等)进行分析,如噪声、电磁波、放射性、水质物理参数(水温、浊度、电导率等)等的测定。

随着现代工业生产的发展和科学技术的进步,现代生产装置的结构越来越复杂,功能

越来越完善,自动化程度也越来越高,相应的安全问题也日益严重,导致灾难性事故不断发生。

在1979—2005年间世界部分国家发生的一些特大事故,其后果令人触目惊心,不但造成了巨大的经济损失,而且造成了严重的人员伤亡和环境污染,在社会上引起了强烈的反响,严重影响了全球经济的可持续发展和社会稳定。例如,美国三里岛核电站和苏联切尔诺贝利核反应堆的泄漏曾引起对核电站安全性的争议,对核能的发展产生了影响;美国挑战者号航天飞机失事使美国航天事业的发展一度陷于停顿,对整个行业产生了巨大影响;在我国,煤矿透水、天然气井喷、瓦斯爆炸和飞机坠毁等恶性伤亡事故已引起国际社会的关注。

因此,开展安全检测技术研究,全面提高我国安全检测的科学技术水平,对有效减少事故隐患,预防和控制重、特大事故的发生,遏制群死群伤、重大经济损失和保障国家经济与社会的可持续发展具有重大现实意义。

1.2.3 安全检测的目的

安全检测的工作对象是劳动者作业场所所有毒有害物质和物理危害因素,安全监控的对象是生产设备和设施的安全状态与安全水平。安全工程中各种安全设备、安全设施是否处于安全运行状态?职业卫生工程中的防尘、防毒、通风、空调、辐射防护、生产噪声、振动控制等工程设施是否有效?作业场所的环境质量是否达到有关标准要求?这些安全基础信息都需要通过安全检测来获得。使生产过程或特定系统按预定的指标运行,避免和控制系统因受意外的干扰或波动而偏离正常运行状态并导致故障或事故,这属于安全监控的内容。因此,可以认为安全检测与安全监控是安全学科的先导和“耳目”。没有安全检测与监控技术,安全工程不能成为一门独立学科;离开了安全检测与监控,安全管理也只是“空中楼阁”。

安全检测的目的是为职业健康安全状态进行评价、安全技术及设施监督、安全技术措施的效果进行评价等提供可靠而准确的信息,达到改善劳动作业条件,改进生产工艺过程,避免系统或设备的事故(故障)发生的目的。

(1)能及时、正确地对设备的运行参数和运行状况做出全面检测,预防和消除事故隐患。

(2)对设备的运行进行必要的指导,提高设备运行的安全性、可靠性和有效性,以期把运行设备发生事故的概率降低到最低水平,将事故造成的损失减低到最低程度。

(3)通过运行设备检测、隐患分析和性能评估等,为设备的结构修改、设计优化和安全运行提供数据和信息。

总的来说,进行安全检测的目的就是确保设备的安全运行,预防和消除事故隐患,避免事故发生。

1.2.4 安全检测的任务

在工业生产过程中,各种有关因素,如烟、尘、水、气、热辐射、噪声、放射线、电流、电磁波以及化学因素,还有其他主、客观因素等,会造成对生产环境的污染,对生产产生不安全作用,也会对人体健康造成危害。查清、预测、排除和治理各种有害因素是安全工

程的重要内容之一。安全检测的任务是为安全管理决策和安全技术的有效实施提供丰富、可靠的安全因素信息。狭义的安全检测侧重于测量,是对生产过程中某些与不安全、不卫生因素有关的量连续或断续监视测量,有时还要取得反馈信息,用以对生产过程进行检查、监督、保护、调整、预测,或者积累数据,寻求规律。广义的安全检测,是把安全检测与安全监控统称为安全检测,认为安全检测是指借助于仪器、传感器、探测设备迅速而准确地了解生产系统与作业环境中危险因素与有毒因素的类型、危害程度、范围及动态变化的一种手段。

为了获取工业危险源的状态信息,需要将这些信息通过物理的或化学的方法转化为可观测的物理量(模拟的或数字的信号),这就是通常所说的安全检测和安全监测。它是作业环境安全与卫生条件、特种设备安全状态、生产过程危险参数、操作人员不规范动作等各种不安全因素检测的总称。不安全因素具体包括如下几种:

- (1) 粉尘危害因素:浓度、粒径分布;全尘或呼吸性粉尘;煤尘、石棉尘、纤维尘、岩尘、沥青烟尘等。
- (2) 化学危害因素:可燃气体、有毒有害气体在空气中的浓度和氧含量。
- (3) 物理危害因素:噪声与振动、辐射(紫外线、红外线、射频、微波、激光、同位素)、静电、电磁场、照度等。
- (4) 机械伤害因素:人体部位误入机械动作区域或运动机械偏离规定的轨迹。
- (5) 电气伤害因素:触电、电灼伤。
- (6) 气候条件因素:气温、气压、湿度、风速等。

安全检测的任务是检测设备的运行状态,判断其是否正常,进行安全预测和诊断,指导设备的管理和维修。

1. 运行状态检测

设备运行状态检测的任务是了解和掌握设备的运行状态,包括采用各种检测、测量、监视、分析和判断方法,结合系统的历史和现状,考虑环境因素,对设备运行状态进行评估,判断其处于正常或非正常状态,并对状态进行显示和记录,对异常状态做出报警,以便运行人员及时加以处理,并为设备的隐患分析、性能评估、合理使用和安全评估提供信息和基础数据。

通常设备的状态可分为正常状态、异常状态和故障状态三种情况。

- (1) 正常状态指设备的整体或局部没有缺陷,或虽有缺陷但性能仍在允许的限度以内。
- (2) 异常状态指设备的缺陷已有一定程度的扩展,使设备状态发生一定程度的变化。设备性能已劣化,但仍能维持工作,此时应注意设备性能的发展趋势,即设备应在监护下运行。
- (3) 故障状态则是指设备性能指标已有大的下降,设备已不能维持正常工作。设备的故障状态尚有严重程度之分,包括:已有故障萌生并有进一步发展趋势的早期故障;程度尚不严重,设备尚可勉强“带病”运行的一般功能性故障;已发展到设备不能运行必须停机的严重故障;已导致灾难性事故的破坏性故障;由于某种原因瞬间发生的突发紧急故障等。