

高职高专“十二五”规划教材



高职高专 **安全技术** 系列规划教材

安全检测与控制技术

ANQUAN JIANCE YU KONGZHI JISHU

张 斌 主编

徐 宏 陆春荣 副主编

张 荣 主审



化学工业出版社

高职高专安全技术系列规划教材

安全检测与控制技术

	张	斌	主	编
徐	宏	陆春荣	副	主编
张	荣	主	审	



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高职高专安全技术系列规划教材。

全书共分为十章，内容主要包括安全检测用传感器、粉尘检测、有毒有害物质检测、噪声检测、振动检测、放射性检测、雷电与静电的检测与控制、生产装置的无损检测、火灾参数检测与自动灭火系统、联动控制与自动保护等。

本书可作为高等职业技术学院安全类专业的教材，也可供从事企业安全管理的技术人员及操作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

安全检测与控制技术/张斌主编，—北京：化学工业出版社，2011.7

高职高专安全技术系列规划教材

ISBN 978-7-122-11800-4

I. 安… II. 张… III. ①安全监测-高等职业教育-教材
②安全监控系统-高等职业教育-教材 IV. X93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 136685 号

责任编辑：窦 臻 张双进
责任校对：周梦华

文字编辑：荣世芳
装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京云浩印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 385 千字 2011 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：29.50 元

版权所有 违者必究

前 言

经过近几年各层各级的齐抓共管,我国的安全生产形势已有所好转,但是由于目前我国仍属于发展中国家,将来较长的一段时间内经济仍处于高速发展期,受生产力发展水平和从业人员素质等多方面因素的制约和影响,安全生产基础仍然比较薄弱,生产安全事故特别是一些重大恶性事故仍时有发生,安全生产形势依然严峻。

通过安全生产法律法规的完善和规章制度的健全等管理措施固然能提高各级各类人员搞好安全生产工作的自觉性,但是要从根本上改变目前的安全生产状况还要从装备和技术上做文章。努力保持生产装置的正常运行和生产作业环境达到标准要求,以减少事故发生的可能性,这就需要加强安全检测,不仅要检测装置本身以及附属设施和安全保障设施是否良好,还要检测其排放的粉尘、有毒有害物质、噪声等危险有害因素是否符合要求,只有生产装置本身以及职工工作的生产环境都安全了,才能从根本上杜绝生产安全事故的发生。

全书共分为十章,内容主要包括安全检测用传感器、粉尘检测、有毒有害物质检测、噪声检测、振动检测、放射性检测、雷电与静电的检测与控制、生产装置无损检测、火灾参数检测与自动灭火系统、联动控制与自动保护等。较为全面地介绍了企业安全生产中需要检测的相关因素,旨在通过检测达到保证生产装置安全稳定运行的目的,以控制生产安全事故和职业病的发生,为企业的安全发展添砖加瓦。

本书可作为高等职业院校安全专业的教材,也可供从事企业安全管理的技术人员及操作人员参考。

本书由南京化工职业技术学院张斌担任主编,徐宏、陆春荣担任副主编。张斌编写了第一章~第四章,徐宏编写了绪论和第五章,陆春荣编写了第六章和第九章,江苏双昌肥业有限公司的蔡艳编写了第七章、第八章和第十章,重庆化工职业学院张旭也参与了教材的编写并对部分章节进行了修改。全书由重庆化工职业学院的张荣教授主审。

由于编者时间和水平有限,不妥之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2011年6月

目 录

绪论	1	三、粉尘的危害	39
一、安全检测的目的、作用与意义	1	第二节 粉尘物性检测	39
二、安全检测技术研究的主要内容	1	一、粉尘密度检测	39
三、我国安全检测的技术标准与政策法规	2	二、粉尘比电阻检测	40
四、安全检测技术的发展趋势	3	三、粉尘的可燃性及爆炸性检测	43
第一章 安全检测用传感器	5	第三节 粉尘颗粒检测	45
第一节 概述	5	一、显微镜法	45
一、传感器的基本概念	5	二、惯性分级法	46
二、传感器的分类及要求	6	第四节 粉尘浓度检测	52
三、常用传感器	7	一、作业场所粉尘浓度检测	53
第二节 温度传感器	8	二、作业者个体接触粉尘浓度检测	55
一、膨胀式温度传感器	8	三、管道粉尘浓度检测	57
二、热电偶温度传感器	10	第五节 粉尘的游离二氧化硅检测	63
三、热电阻温度传感器	11	一、焦磷酸重量法	64
四、半导体热敏电阻	12	二、碱熔钼蓝比色法	64
第三节 压力传感器	14	三、X射线衍射法	64
一、应变式压力传感器	14	四、红外分光光度法(比色法)	64
二、压电式压力传感器	15	第六节 作业场所生产性粉尘危害级别评定	65
三、电容式差压传感器	16	复习思考题	66
第四节 流量传感器	16	第三章 有毒有害物质的检测	67
一、差压式流量传感器	17	第一节 概述	68
二、电磁式流量传感器	19	第二节 有毒有害物质的检测方法	69
三、涡轮式流量传感器	20	一、化学分析法	69
四、超声式流量传感器	20	二、仪器分析法	70
第五节 物位传感器	21	第三节 水中有毒有害物质的检测	73
一、音叉式料位传感器	22	一、pH值的检测	73
二、电容式料位传感器	22	二、非重金属类有毒有害物质的检测	76
三、超声式料位传感器	25	三、重金属类有毒有害物质的检测	76
四、微波式及 γ 射线料位传感器	28	四、非金属有毒有害物质的检测	80
第六节 气体传感器	28	五、有机污染物的检测	84
一、接触燃烧式气体传感器	30	六、挥发酚类的检测	87
二、热线式热传导率气体传感器	31	七、矿物油的检测	88
三、半导体气体传感器	31	八、污水综合排放标准 GB 8978—1996	88
第七节 传感器开发的新趋势	33	第四节 大气中有毒有害物质的检测	93
一、传感器需求的新动向	33	一、二氧化硫的检测	93
二、传感器技术的发展趋势	33	二、氮氧化物(NO_x)的检测	96
复习思考题	35	三、一氧化碳的检测	98
第二章 粉尘检测	36	四、光化学氧化剂和臭氧的测定	100
第一节 粉尘的来源、分类及其危害	37	五、总烃及非甲烷烃的检测	101
一、粉尘来源	37	六、苯及苯系物的检测	102
二、粉尘分类	37	七、总挥发性有机物的检测	103

八、氟化物的检测	103	六、吸声与隔声的基本概念	141
九、车间空气中有害气体的最高 容许浓度	104	七、吸声材料	141
第五节 企业常用安全分析	106	八、消声器	143
一、安全分析的分类、级别	108	复习思考题	145
二、安全分析取样及要求	109	第五章 振动检测	146
三、安全分析方法	110	第一节 概述	146
四、安全分析相关事宜及注意事项	115	一、常见的振动作业	146
复习思考题	117	二、振动对人体的不良影响及危害	146
第四章 噪声检测	118	三、振动病	147
第一节 概述	118	四、振动的防护措施	147
第二节 噪声的物理量度和主观量度	119	第二节 振动测量的类型	148
一、噪声的物理量度	119	一、简谐振动	148
二、噪声的主观量度	121	二、周期振动	149
第三节 噪声频谱	125	三、脉冲式振动	150
一、等百分比频程	126	四、随机振动	150
二、等带宽频程	127	第三节 振动测量的基本原理和方法	151
第四节 常用噪声测量仪器	127	一、振动测量原理	151
一、声级计	127	二、振动运动量的测量	152
二、积分平均声级计和积分声级计 (噪声暴露计)	130	第四节 拾振器	155
三、噪声统计分析仪	131	一、压电式加速度计	155
四、滤波器和频谱分析仪	131	二、磁电式速度计	157
五、实时分析和数字信号处理	132	三、拾振器的合理选择	158
第五节 噪声测量要求	132	第五节 振动允许标准	158
一、测点的选择	132	一、人体振动标准	158
二、噪声测量场所和环境影响	133	二、环境振动标准	159
三、传声器的布置方向	133	三、环境振动测量方法	160
第六节 噪声测量方法	133	第六节 手持式机械作业防振要求	160
一、作业场所噪声测量	134	一、使人暴露于手传振动的常见机械 (或工具)和工艺	160
二、城市区域环境噪声测量方法	134	二、减少手传振动暴露的方法	161
三、工业企业厂界噪声测量方法	135	三、通过工作任务的再设计减少振动 危害	161
四、铁路边界噪声测量方法	136	四、通过产品的再设计减少振动危害	162
五、建筑施工场界噪声测量方法	136	五、通过工艺的再设计减少振动危害	162
六、机场周围飞机噪声测量方法	136	六、选用低振动机械、防振系统和个体防 护用品	163
七、内燃机噪声测定办法	136	七、手持式机械(或工具)振动参数 的说明	163
八、噪声的频谱分析	137	八、控制手传振动危害的管理措施	164
第七节 噪声作业级别评定	137	九、培训	165
一、分级方法	137	十、减少振动暴露的时间	165
二、工作场所噪声允许标准	137	复习思考题	165
第八节 噪声控制	138	第六章 放射性检测	166
一、声源控制	138	第一节 概述	166
二、传声途径的控制	138	一、基本知识	167
三、接收者的防护	138	二、放射性的分布	168
四、控制措施的选择	139		
五、隔声罩	139		

三、放射性度量单位	170	四、超声波检测的特点	200
四、放射性检测对象、内容和目的	172	第四节 磁粉检测 (MT)	200
第二节 放射性检测仪器	172	一、磁粉检测原理	200
一、放射性检测仪器	172	二、磁粉检测操作要点	203
二、放射性检测实验室	175	三、磁粉检测的特点	204
第三节 放射性样品的采集和预处理	176	第五节 渗透检测 (PT)	205
一、放射性样品采集	176	一、渗透检测的原理	205
二、样品的预处理	177	二、渗透检测的优点	206
第四节 放射性检测方法	178	三、渗透检测的缺点及局限性	206
一、环境空气中氡的标准测量方法	178	第六节 涡流检测 (ET)	206
二、水中放射性检测	180	一、涡流检测的原理	206
三、土壤中放射性检测	180	二、涡流检测操作要点	207
四、生物样品灰中铈-90 的放射性化学分析		三、涡流检测的特点	207
方法 (离子交换法)	181	第七节 无损检测方法的应用选择	208
复习思考题	181	一、压力容器制造过程中无损检测方法的	
第七章 雷电、静电的检测与控制	182	选择	208
第一节 雷电的形成及危害	183	二、检测方法和检测对象的适应性	208
一、雷电的形成	183	复习思考题	209
二、雷电危害的类型	183	第九章 火灾参数检测与自动灭火系统	210
三、雷电的危害方式	184	第一节 火灾探测与信号处理	210
第二节 静电及其危害	184	一、火灾现象	210
第三节 油库的防雷安全检测	185	二、火灾探测方法	211
一、金属油罐防雷安全要求	185	第二节 火灾自动报警系统	212
二、非金属油箱的防雷安全要求	185	一、火灾自动报警系统的组成	212
三、人工洞石油库防雷要求	186	二、火灾报警控制器的功能要求	213
四、油库电源系统防雷电波入侵的安全		三、火灾自动报警系统的设计形式	214
要求	186	第三节 自动灭火系统与防排烟系统	216
五、油库输送系统的防雷安全要求	186	一、火灾控制	216
六、油库可燃性气体放空管必须设防直击雷		二、水灭火系统	217
装置	186	三、泡沫灭火系统	225
第四节 油库的防静电安全检测	186	四、气体自动灭火系统	229
一、防静电的接地要求	186	五、通风排烟	232
二、防静电的工艺技术要求	187	复习思考题	232
复习思考题	187	第十章 联动控制系统及自动保护	234
第八章 生产装置安全检测——无损检测	188	第一节 联动控制及自我保护的基本	
第一节 概述	188	概念	234
一、无损检测的目的	188	一、联动控制	234
二、无损检测技术的发展	190	二、自动保护	235
第二节 射线照相法 (RT)	191	第二节 锅炉自动保护	238
一、射线照相法原理	191	一、超压报警装置	238
二、X 射线检测的应用	192	二、水位报警装置	239
三、射线照相法的特点	192	三、超温报警装置	239
第三节 超声波检测 (UT)	193	四、熄火保护装置	240
一、超声波的发生及其性质	193	复习思考题	240
二、超声波检测的原理和方法	197	参考文献	241
三、超声波测厚仪	199		

绪论

一、安全检测的目的、作用与意义

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，对生产环境产生污染、对生产产生不安全作用、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。

安全检测的工作对象是劳动者作业场所有毒有害物质和物理危害因素的检测，安全监控的对象是对生产设备和设施的安全状态和安全水平进行监督检测。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、通风与空调、辐射防护、生产噪声与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、为安全技术及设施进行监督、为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、控制系统或设备的事故（故障）发生的目的。

二、安全检测技术研究的主要内容

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。

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。气温、气压、湿度、风速等。

前三种危险因素的检测是安全检测的主要任务。

担负信息转化任务的器件称为传感器（sensor）或检测器（detector）。由传感器或检测器及信号处理、显示单元便组成了“安全检测仪器”。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（real time）监测，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，把监测数据转变成控制信号，则称为监控系统。

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）等的测定均属物理方法。

三、我国安全检测的技术标准与政策法规

安全检测涉及许多领域的知识，所使用的方法也很多。为了得到准确可行、可比性强的检测结果，最好采用标准的检测方法，没有标准检测方法的检测项目，可采用权威部门推荐的方法，或能被广泛认可的检测方法。检测所应用的规范要求是判断检测项目是否合格的准绳，必须严格执行国家标准和有关法规，所使用的检测报告书应经法定机构（如上级职业安全检察机关或技术监督局）的审批，以保证全国范围内的相对统一。我国颁布了许多车间空气中粉尘、有毒物质、噪声和辐射的卫生标准，包括最高容许量（浓度）和检测方法，这些是进行安全检测的依据。

对于各生产行业，国家或地方政府出台了相应的安全检测技术规范（标准）。如《防雷装置安全检测技术规范》，其适用于防雷装置的检测。该标准规定了防雷装置的检测项目、检测要求和方法、检测周期、检测程序和检测数据整理。当然，目前还有许多新兴行业、新设备的安全检测需要制定相关的安全检测技术规范（标准），这部分的工作还相当艰巨。

在作业场所空气的尘毒检验中，常常需要进行定量分析，几乎所有的化学分析和现代仪器分析方法都可以用于空气理化检测，但是每种分析方法都有其各自的优缺点，至今尚无能适用于各种污染物的万能分析方法。目前，空气尘毒检测常用的分析方法有紫外可见分光光度法、气相色谱法、高效液相色谱法、薄层色谱法、原子吸收光度法、电化学分析法、荧光光度法以及滴定分析等分析方法。对于待测的空气污染物，选择分析方法的原则是尽量采用精度高、选择性好、准确可靠、分析时间短、经济实用、适用范围广的分析方法。

根据居住区大气和车间空气中有害物质的最高容许浓度,全国环境空气质量卫生监测检验方法科研协作组和车间空气监测检验方法科研协作组经过多年的标准化、规范化和实际应用,总结出版了《车间空气监测检验方法》(第三版),提出了168个毒物项目,203种分析方法,有的已成为国家标准方法,《环境空气质量监测试验方法》提出47种有害物质,95种分析方法,在工作实践中可以作为参考。

四、安全检测技术的发展趋势

安全监测与控制常简称为安全监控,它具有监测和控制的综合能力。在安全检测与控制技术学科中所称的控制可分为两种。

① 过程控制在一体化生产中,一些重要的工艺参数大都由变送器、工业仪表乃至计算机来测量和调节,以保证生产过程及产品质量的稳定,这就是过程控制。在比较完善的过程控制设计中,有时也会考虑工艺参数的超限报警、外界危险因素(如可燃气体、有毒气体在环境中的浓度,烟雾、火焰信息等)的检测,甚至停车等连锁系统。然而,这种设计思想仍然着眼于表层信息捕获的习惯模式。

② 应急控制在对危险源的可控制性进行分析之后,选出一个或几个能将危险源从事故临界状态拉回到相对安全状态,以避免事故发生或将事故的伤害、损失降至最小程度。这种具有安全防范性质的控制技术称为应急控制。监测与控制功能合二为一称为监控,将安全监测与应急控制结合为一体的仪器仪表或系统,称为安全监控仪器或安全监控系统。

从安全科学的整体观点出发,现代生产工艺的过程控制和安全监控功能应融为一体,综合成一个包括过程控制、安全状态信息监测、实时仿真、应急控制、自诊断以及专家决策等各项功能在内的综合系统。这种系统既能够对生产工艺进行比较理想的控制,从而使企业受益,又能够在出现异常情况时及时给出预警信息,紧急情况下恰到好处地自动采取措施,把安全技术措施渗透到生产工艺中去,避免事故的发生或将事故危害和损失降到最低程度。

监控技术的发展主要表现在:① 监控网络集成化。它是将被监控对象按功能划分为若干系统,每个系统由相应的监控系统实行监控,所有监控系统都与中心控制计算机连接,形成监控网络,从而实现对生产系统实行全方位的安全监控(或监视)。② 预测型监控。这种监控即控制计算机根据检测结果,按照一定的预测模型进行预测计算,根据计算结果发出控制指令。这种监控技术对安全具有重要的意义。

预警(Early-warning, Pre-warning)一词用于工业危险源时,可理解为系统实时检测危险源的“安全状态信息”并自动输入数据处理单元,根据其变化趋势和描述安全状态的数学模型或决策模式得到危险态势的动态数据,不断给出危险源向事故临界状态转化的瞬态过程。由此可见,预警的实现应该有预测模型或决策模式,亦即描述危险源从相对安全的状态向事故临界状态转化的条件及其相互之间关系的表达式,由数据处理单元给出预测结果,必要时还可直接操作应急控制系统。

报警(Alarm)和预警区别甚大,前者指危险源安全状态信息中的某个或几个观测值分别达到各自的阈值时发出声、光等信号而引人注意的功能。达到阈值之前或之后的变化通常是未知的,即使有的检测报警系统具有记录检测值的功能,或者设定两个以上的阈值,试图判别观测值的趋势,但此观测值都是相互独立的,难以描述危险源状态转化的全过程。后者在一定程度上是对危险源状态的转化过程实现在线仿真。二者的本质区别在于有无预测模型或模式。

锅炉、压力容器、压力管道等特种设备安全检测技术的发展趋势是：开发检测新技术和电子监控等先进的安全控制技术和产品，实现检测监控设备的数字化、智能化、小型化，积极推进检测监控仪器的国产化，重点发展新材料的研究推广使用，加强设计、制造、安装等环节的监察，提高特种设备本身的安全性能和安全防范能力。

目前，网络与信息安全越来越受到人们关注。网络安全检测技术主要包括安全扫描技术和实时安全监控技术。安全扫描技术（包括网络远程安全扫描、防火墙系统扫描、Web 网站扫描和系统安全扫描技术）可以对局域网络、Web 站点、主机操作系统以及防火墙系统的安全漏洞进行扫描，及时发现漏洞并予以修复，从而降低系统的安全风险。实时安全监控技术主要是通过硬件或者软件对网络上的数据流进行实时检查，并与系统中的入侵特征数据库的数据进行比较，一旦发现有被攻击的迹象，立刻根据用户所定义的动作做出反应。这些动作可以是切断网络连接，也可以是通知防火墙系统对访问控制策略进行调整，将入侵的数据包过滤掉。

网络安全检测技术基于自适应安全管理模式，这种管理模式认为任何一个网络都不可能安全防范其潜在的安全风险。它有两个特点：①动态性和自适应性，这可以通过网络安全扫描软件的升级以及网络安全监控中入侵特征库的更新来达到。②应用层次的广泛性，可以应用于操作系统、网络层和应用层等各个层次网络安全漏洞的检测。

网络安全自动检测系统和网络入侵监控预警系统的开发为网络信息资源的安全提供了预防和防范攻击的有效措施，不断发现、总结，及时抽象、概括最新的攻击方法，将其纳入系统，可增强系统的识别和防范能力。

我国煤矿安全检测技术也有较大进步，主要表现在：①煤矿安全检测技术理论更加成熟，开发出更先进更实用的检测设备。②煤矿安全检测设备的生产逐渐进入正规化，设备操作更简便，数据分析处理更直观。③在硬件、软件和检测理论发展基础上，开发出矿井安全预警系统，保障矿井的安全生产。

在工程安全检测方面，先进的地球物理技术和无损检测技术得到了广泛应用。如探地雷达技术、光纤技术、红外技术等已成功应用于桥梁、隧道、房屋建筑、地下工程、大坝等工程安全检测之中。

我国食品与农产品安全检测技术的发展趋向于高技术化、智能化、速测化、动态化、便携化。

第一章 安全检测用传感器

学习目标

1. 了解传感器及其特性、功能。
2. 熟悉化工安全检测常用的温度传感器、压力传感器、流量传感器、物位传感器和气体成分传感器。
3. 了解传感器的发展趋势。

第一节 概 述

一、传感器的基本概念

在安全检测中，为了对各种变量进行检测或控制，首先要把这些变量转换成容易比较且便于传送的信息，这就要用到敏感元件、传感器、变送器和信号转换器。传感器通常由敏感元件、转换元件和测量电路构成。传感器、变送器和信号转换器是相互联系，功能相近但又略有区别的三种器件。

1. 敏感元件

顾名思义，敏感元件是能够灵敏地感受被测变量并做出响应的元件。例如铂电阻能感受温度的升降而改变其电阻值，阻值的变化就是对温度升降的响应，所以铂电阻就是一种温度敏感元件。又如弹性膜盒能感受压力的高低而引起形变，形变程度就是对压力高低的响应，因此，弹性膜盒是一种压力敏感元件。

为了获得被测变量的精确数值，不仅要求敏感元件对所测变量的响应足够灵敏，还希望占不受或少受环境因素的影响。也就是说，敏感元件的输出响应最好单值地取决于输入的被测变量。例如，铂电阻的阻值除受温度影响外，也受压力的影响，这就要求用适当的工艺消除应力。弹性膜盒的形变除取决于压力外，也和环境温度有关，必要时应采取温度补偿措施。

敏感元件的输出响应与输入变量之间如果是线性的正比或反比关系，当然最便于应用。即使是非线性关系，只要这种关系不随时间而变化，也可以满足使用的基本要求。

2. 传感器

传感器是将检测到的信号转换成便于分析、计算和处理的另一种信号的器件。从字面上分析可知传感器就是传递感觉的器件，所谓感觉就是人所能感觉到甚至是感觉不到的信号。在工业领域有一种约定俗成的定义是传感器就是将非电量转换为电量，也就是将非电信号转换为电信号的器件。

此外，人们从其功能出发，形象地将传感器定义为：所谓传感器，是指那些能够取代甚至超出人的“五官”，具有视觉、听觉、触发、嗅觉和味觉等功能的元器件或装置。这里所说的“超出”是因为传感器不仅可应用于人无法忍受的高温、高压、辐射等恶劣环境，还可

以检测出人类“五官”不能感知的各种信息（如微弱的磁、电、离子和射线的信息，以及远远超出人体“五官”感觉功能的高频、高能信息等）。

从字面上不难看出，传感器不但应该对被测变量敏感，而且具有把对被测变量的响应传出去的功能。也就是说，传感器不只是一般的敏感元件，它的输出响应还必须是易于传送的物理量。例如，上述弹性膜盒的输出响应是形变，是微小的几何量（位移），不便于向远方传送。但如果把膜盒中心的位移转变为电容极板的间隙变化，就成为输出响应是电容量的压力传感器。倘若再通过适当的电路使电容量的大小变为振荡频率的高低，就演变成输出响应是频率值的压力传感器。电容量和频率值都可以用导线传送到别处测量，尤其是频率更适合远距传送。

某些敏感元件的输出响应本来就能够传送到别处测量，例如铂电阻的阻值、应变电阻的阻值和热电偶的电动势等，因此把这类敏感元件称做传感器也未尝不可。

由于电信号最便于远传，所以绝大多数传感器的输出是电量的形式，如电压、电流、电阻、电感、电容和频率等。也有利用压缩空气的压力大小传送信息的，这种方法在抗电磁干扰和防爆安全方面比电传送要优越，但气源和管路上的投资较大，而且传送速度较低。近来利用光导纤维传送信息的传感器正在发展，其在抗干扰、防爆和快速性方面都有突出优点。总之，传感器的输出物理量不拘一格，其数值范围也没有限制，只要便于传送，而且其他仪表易于接收其所传送的信息，就可以满足安全检测的应用。

3. 变送器

变送器是从传感器发展而来的，凡能输出标准信号的传感器就称为变送器。标准信号是物理量的形式和数值范围都符合国际标准的信号：例如，直流电压 $0\sim 10\text{V}$ 、直流电流 $4\sim 20\text{mA}$ 、空气压力 $20\sim 100\text{kPa}$ 都是当前通用的标准信号，我国还有不少变送器以直流电流 $0\sim 10\text{mA}$ 为输出信号。无论被测变量是哪种物理或化学参数，也不论测量范围如何，经过变送器之后的信息都必须包含在标准信号之中。

有了统一的信号形式和数值范围，就便于把各种变送器和其他仪表组成检测系统。无论什么仪表或装置，只要有同样标准的输入电路或接口，就可以从各种变送器获得被测变量的信息。这样，兼容性和互换性大为提高，仪表的配套也极为方便。

4. 信号转换器

在自动化控制系统中对各种工业信号进行变送、转换、隔离、传输、分配的仪表统称为信号转换器。

输出为非标准信号的传感器，必须和特定的仪表或装置配套，才能实现检测和控制功能。为了加强通用性和灵活性，某些传感器的输出可以靠信号转换器把非标准信号转换成标准信号，使之与带有标准信号的输入电路或接口的仪表配套。例如，频率转换器就能把交流频率或脉冲频率转换成直流电流 $4\sim 20\text{mA}$ 或 $0\sim 10\text{mA}$ 。

不同的标准信号也可以借助于信号转换器互相转换。例如利用气/电转换器，能把 $20\sim 100\text{kPa}$ 的空气压力转换成 $4\sim 20\text{mA}$ 的直流电流，反之，电/气转换器则可反方向转换。直流电流标准信号中的 $4\sim 20\text{mA}$ 与 $0\sim 10\text{mA}$ 也可以利用转换器相互转换。

二、传感器的分类及要求

1. 传感器的分类

传感器种类繁多，目前常用的分类有两种：一种是以被测量来分，见表 1-1；另一种是

以传感器的原理来分, 见表 1-2。

表 1-1 按被测量来分类

被测量类别	被 测 量
热工量	温度、热量、比热容; 压力、压差、真空度; 流量、流速、风速
机械量	位移(线位移、角位移)、尺寸、形状; 力、力矩、应力; 重量、质量; 转速、线速度; 振动幅度、频率、加速度、噪声
物性和成分量	气体化学成分、液体化学成分; 酸碱度(pH 值)、盐度、浓度、黏度; 密度、相对密度
状态量	颜色、透明度、磨损量、材料内部裂缝或缺陷、气体泄漏、表面质量

表 1-2 按传感器的原理来分类

序号	工作原理	序号	工作原理
1	电阻式	8	光电式(红外式、光导纤维式)
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式(磁式)
4	阻抗式(电涡流式)	11	超声式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电化学式
7	压电式	14	微波式

以被测量来分类时, 使用的对象比较明确; 以工作原理来分时, 传感器采用的原理比较清楚。

2. 传感器的一般要求

由于各种传感器的原理、结构不同, 使用环境、条件、目的不同, 其技术指标也不可能相同, 但是有些一般要求却基本上是共同的。

① 足够的容量。传感器的工作范围或量程足够大; 具有一定的过载能力。

② 灵敏度高, 精度适当。即要求其输出信号与被测信号成确定的关系(通常为线性), 且比值要大; 传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。

③ 响应速度快, 工作稳定, 可靠性好。

④ 使用性和适应性强。体积小, 重量轻, 动作能量小, 对被测对象的状态影响小; 内部噪声小而又不受外界干扰的影响; 其输出力求采用通用或标准形式, 以便与系统对接。

⑤ 使用经济。成本低, 寿命长, 且便于使用、维修和校准。

⑥ 可靠性。通常包括工作寿命、平均无故障时间、保险期、疲劳性能、绝缘电阻等指标。

当然, 能完全满足上述性能要求的传感器是很少的。我们应根据应用的目的、使用环境、被测对象状况、精度要求和原理等具体条件做全面综合考虑。

三、常用传感器

在化工生产过程及安全检测中, 为了对各种工业参数(如温度、压力、流量、物位和气体成分等)进行检测与控制, 首先要把这些参数转换成便于传送的信息, 这就要用到各种传感器。把传感器与变送器和其他装置组合起来, 组成一个检测系统或控制系统, 完成对工业参数的安全检测。安全检测常用的传感器有温度传感器、压力传感器、流量传感器、物位传

传感器和气体成分传感器。

第二节 温度传感器

温度传感器按照其感温原件是否与被测介质接触，可分为接触式与非接触式两大类。常见的接触式温度传感器主要有将温度转化为非电量和将温度转化为电量两大类，见表 1-3。

表 1-3 温度传感器

温度传感器	转化为非电量	热膨胀式	液体膨胀
			固体膨胀
			气体膨胀
	转化为电量		热电偶
			热电阻
			热敏电阻

一、膨胀式温度传感器

根据液体、固体和气体受热时产生热膨胀的原理，这类温度传感器有液体膨胀式、固体膨胀式和气体膨胀式三种。

1. 液体膨胀式温度传感器

在有刻度的细玻璃管里充入酒精或水银而构成温度计，这是久已为人熟知的测温仪表。然而它只能就地显示温度，还不能算传感器。如果在水银温度计的感温泡附近引出一根导线，在对应某个温度刻度线处再引出一根导线，当温度升至该刻度时，水银柱就会把电路接通。反之，温度下降到该刻度以下，又会把电路断开。这样，就成为有固定切换值的位式作用温度传感器。这种既有刻度可供就地显示，又能发出通断信号的温度计，称为电接点水银温度计。

倘若所封入的导线是顺玻璃管轴插入的，而且在玻璃管外能灵活调整导线的长度，使其下端可以处在任意温度刻度线位置，就能改变切换值，如图 1-1 所示。

在液体膨胀式温度计的玻璃管里，液柱以上的空间只允许有该液体的饱和蒸气压，不允许存在大气压力，所以玻璃管上端必须密封，这就为调整导线插入长度带来极大困难。在图 1-1 中，利用巧妙而简单的办法使难题迎刃而解。在上半段玻璃管里封入了可以转动的细长螺钉 1，其椭圆形螺母 2 下悬挂着细导线 3，导线下端插入下半段玻璃管中，以便与水银接触。因为上半段玻璃管的内壁横截面呈椭圆形，所以螺钉转动时螺母只能沿着玻璃管上下移动，不能

旋转。这样，就能通过转动螺钉的办法改变导线下端的高低，从而调整切换值。关键是如何在不破坏密封的条件下使管内螺钉转动，此处利用了磁传动方法。在玻璃管顶部的外面套上磁铁 4，转动磁铁时，管内螺钉上端的扁平铁块 5 被吸引，使螺钉随着转动。

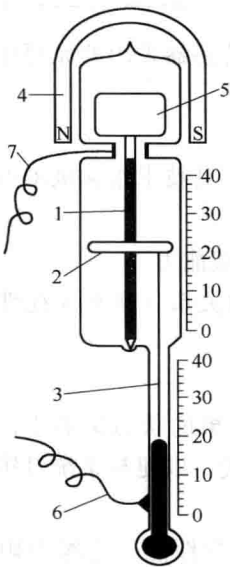


图 1-1 可变电接点水银温度计

- 1—螺钉；2—螺母；
- 3，6，7—导线；
- 4—磁铁；5—铁块

在水银柱下端靠近感温泡处的管壁上装有另一根导线 6，使水银柱成为电接点的一极。上述螺钉、螺母、悬挂在螺母下的细导线是另一极，它由螺钉上部的导电轴承处封装的导线 7 引出。

为了便于观察切换值，在上半段玻璃管里有标尺，根据螺母和标尺上的刻度可知细导线下端的位置，这个标尺和下半段的温度读数标尺有同样的刻度。

电接点水银温度计常用在恒温水槽、油槽及空调控制中，实验室经常需要改变加热或冷却切换值的装置用的就是可变电接点方式，工业生产中可以用固定电接点方式。

电接点水银温度计的主要缺点是脆弱易碎，破碎后水银溢出对环境有污染，作为传感器来说，它只能提供开关信号，不能连续作用。

2. 固体膨胀式温度传感器

典型的固体膨胀式温度传感元件是双金属片，它利用线膨胀系数差别较大的两种金属材料制成双层片状元件，在温度变化时将因弯曲变形而使其一端有明显位移，借此带动指针移动而构成双金属温度计，带动电接点实现通断就构成双金属温度开关，后者也就是位式作用的温度传感器。双金属敏感元件通常用下列材料制造。

(1) 高锰合金 这是锰、镍、铜的合金（含 Mn72%，Ni10%，Cu18%）。这种材料受热后膨胀十分明显，在 25~150℃ 间线膨胀系数 α 约为 $27.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，即温度每上升 1℃ 将伸长原尺寸的百万分之 27.5。

(2) 殷钢 这是铁和镍的合金（含 Fe 64%，Ni 36%），经研究证明，这种成分比例下的合金线膨胀系数 α 极小，在 0~100℃ 间约为 $1 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，即在同样温度变化范围之内其膨胀程度仅为高锰合金的二十分之一左右。

将这两种材料轧制成叠合在一起的薄片，其中 α 大的材料为主动层， α 小的为被动层。把这种复合材料剪切成条，使其一端固定，另一端自由。受热后将向被动层一侧弯曲，受冷则向主动层一侧弯曲，恢复到原有温度则仍平直如前。

将双金属条卷绕成平面螺旋形（蚊香形），内端固定，外端安装指针，就成为简单实用的室温计，如图 1-2 所示。

将双金属条卷绕成螺旋管，一端固定，另一端带动指针轴，并用导热套管保护起来，就成为工业用的双金属温度计，如图 1-3 所示。

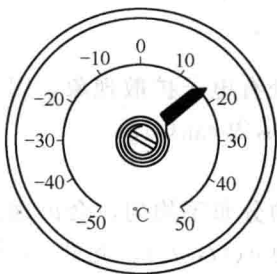


图 1-2 双金属温度计

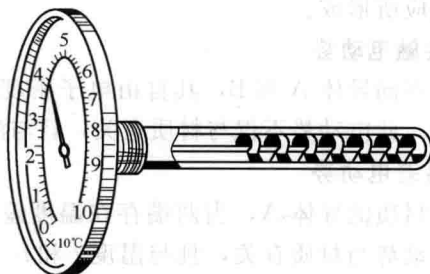


图 1-3 工业用双金属温度计

双金属温度计的测温范围和玻璃管液体膨胀式温度计相同或相近，但双金属温度计精确度稍差。由于玻璃管液体膨胀式温度计比较脆弱，刻度微细不便读数，所以在有振动和容易受到冲击的场合，以及安装位置离观察者稍远的情况下，双金属温度计则更为适用。

3. 气体膨胀式温度传感器

气体膨胀式温度传感器是利用封闭容器中的气体压力随温度升高而升高的原理来测温的,利用这种原理测温的温度计又称为压力式温度计,如图 1-4 所示。温包、毛细管和弹簧管三者的内腔构成一个封闭容器,其中充满工作物质(如氮气),工作物质的压力经毛细管传给弹簧管,使弹簧管产生变形,并由传动机构带动指针,指示出被测温度的数值。温包内的工作物质也可以是液体(如甲醇、二甲苯和甘油等)或低沸点液体的饱和蒸气(如乙醚、氯乙烷和丙酮等),温度变化时,温包内液体受热膨胀使液体或饱和蒸气压力发生变化,属液体膨胀式的压力温度计。压力温度计结构简单,抗振及耐腐蚀性能好,与微动开关组合可作温度控制器用,但它的测量距离受毛细管长度限制,一般充液体可达 20m,充气体或蒸气可达 60m。

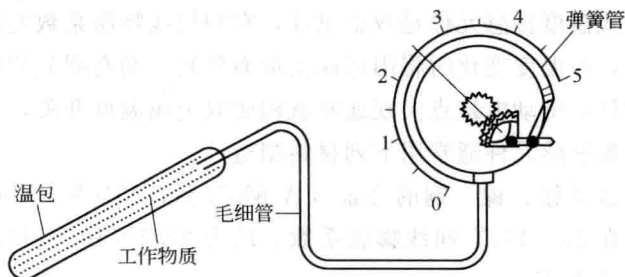


图 1-4 压力式温度计

二、热电偶温度传感器

热电偶是科学研究和工业自动化应用最广泛的温度传感器,它是利用不同材质的两根导线互相焊接起来,将此焊点置于被测温度下,两导线的另一端便可出现电动势,其值与被测温度有确定的关系,这种温度传感器就称为热电偶。热电偶的特点是:结构简单,所选择的两根导线材质适当可以测量高达 1000℃ 以上的高温;它本身尺寸小,可用来测小空间的温度;动态响应快;电动势信号便于传送。这些都是膨胀式温度传感器所无法比拟的优点,所以热电偶在工业自动化领域得到了普遍应用。

热电偶所提供的信号为“热电动势”,它是至多不过几十毫伏的微小直流电动势。由两种物理效应所形成。

1. 接触电动势

两种不同导体 A 和 B,其自由电子密度不等,在焊点处有电子扩散现象,因而产生接触电动势。此电动势不仅与材质有关,且与温度有关,可表示为 $e_{AB}(t)$ 。

2. 温差电动势

同一材质的导体 A,当两端存在温度差时,自由电子的分布不均匀,会出现温差电动势。此电动势与材质有关,且与温度 t 和 t_0 有关,可表示为 $e_A(t, t_0)$ 。此处, t 和 t_0 代表导体 A 两端的温度。

将导体 A 和 B 焊接成闭环,一个焊点在温度 t 之下,另一焊点在温度 t_0 之下,就会在环形电路中出现四个电动势,如图 1-5(a) 所示。这四个电动势分别为 $e_{AB}(t)$ 、 $e_{AB}(t_0)$ 、 $e_A(t, t_0)$ 、 $e_B(t, t_0)$ 。它们的代数和不等于零,记为 $E_A(t, t_0)$ 。

以上各电动势及其代数和都和导体的粗细及长短无关,只要知道导体 A 和 B 的性质及