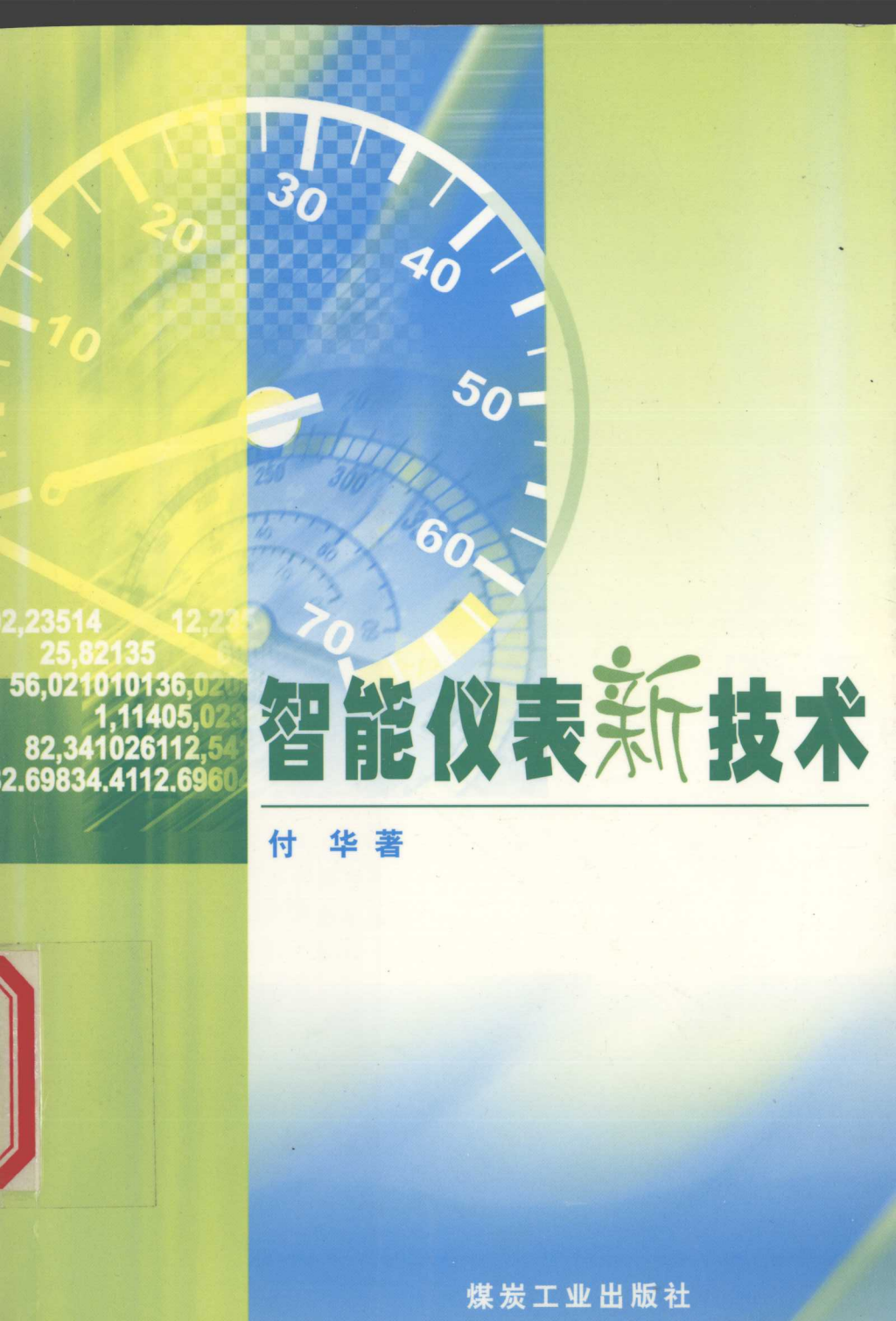




2,23514 12,235
25,82135
56,021010136,020
1,11405,023
82,341026112,54
2.69834.4112.6960

智能仪表新技术

付 华 著

煤炭工业出版社

要 點 容 內

智能仪表新技术

付 华 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

智能仪表新技术/付华著. —北京: 煤炭工业出版社,
2004

ISBN 7-5020-2528-6

I. 智… II. 付… III. 智能仪器—新技术
IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 092042 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京密云春雷印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 6^{3/8}
字数 163 千字 印数 1—500
2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷
社内编号 5299 定价 20.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书介绍了智能仪器仪表中应用的先进技术,包括新的检测方法 & 控制方法。介绍了多传感器信息融合技术、虚拟仪器技术、模糊逻辑及其控制技术、人工神经网络及算法、专家系统等人工智能技术。本书还结合煤炭工业生产实际,介绍了智能仪表技术在煤矿生产过程中的应用。

本书对从事自动检测与控制、智能仪器仪表设计与开发、工业生产过程自动化监测与控制方面的科技人员有一定的使用和参考价值,也可作为仪器仪表及测控技术专业的教学参考书,或作为此类专业研究生的教材。

前 言

单片微控制器 (Single Chip Microcontroller) 的出现, 引起了仪器仪表结构和性能的根本性变革。以单片机为主体, 取代传统仪器仪表的常规测量电子线路, 可以容易地将计算机技术与测量控制技术结合在一起, 组成新一代的“智能化仪器仪表”。这种新型的仪器仪表在测量过程自动化、测量结果的数据处理以及功能的多样化方面, 都取得了巨大的进展。目前在研制高精度、高性能、多功能的仪器仪表时, 几乎没有不采用微处理器的, 而在仪器仪表中使用最多的微处理器就是单片机。网络技术与PC机的介入, 又进一步推动了智能仪器仪表技术的发展。目前, 智能仪表已广泛用于工农业生产、石油化工、航天航空等领域。

智能仪器仪表实际上是一个专用的微型计算机系统, “软件就是仪器”, 这是NI公司, 即美国国家仪器公司提出的口号。仪器仪表的智能化就体现在它的软件设计上。本书介绍了在智能仪器仪表中使用的几种新技术, 包括模糊逻辑控制、人工神经网络控制、专家系统及多传感器信息融合技术等。介绍了作者研究开发的几种矿用智能仪器测控系统, 以及在系统中所采用的人工智能方法。第1章介绍了智能仪表中的多传感器信息融合技术及其在矿井环境监测中的应用; 第2章介绍了虚拟仪器技术、虚拟仪器开发平台LABVIEW及其在煤矿瓦斯监测系统中的应用; 第3章介绍了模糊逻辑控制技术, 并结合作者开发的专利产品, 介绍了模糊逻辑控制在智能温度控制仪表中的应用; 第4章介绍了人工神经网络技术, 并将模糊控制技术与人工神经网络技术相融合, 介绍了基于模糊神经网络融合的智能温度控制仪; 第5章介绍了遗传算法及其在矿井通风系统中的应用, 同时介绍了基于模拟退火遗传算法的煤矿主通风机的优化控制方法; 第6章介绍了专家

系统，介绍了矿井提升机专家控制系统及矿井提升机模糊专家故障诊断方法。

作者多年来一直从事测控技术与仪器仪表的教学与研究工作，此书是作者多项课题的研究成果，包括国家863项目和省基金项目。作者所指导的研究生也做了相关的学位论文。

本书的出版得到了辽宁工程技术大学专著出版基金、辽宁省优秀青年骨干教师基金的资助。

作者

2004年7月

目 录

§ 1 多传感器信息融合技术	1
1.1 智能仪表中的多传感器系统	1
1.2 智能仪表中的多传感器信息融合的概念	2
1.3 智能仪表中多传感器信息融合的方法	4
1.4 矿井环境监测仪中的多传感器信息融合技术	8
1.5 多传感器信息融合的神经网络实现	15
§ 2 虚拟仪器技术	35
2.1 虚拟仪器概述	35
2.2 虚拟仪器开发平台 LabVIEW	43
2.3 虚拟仪器技术在矿井瓦斯监测中的应用	52
§ 3 模糊控制技术	65
3.1 模糊控制的基本原理	65
3.2 基于模糊控制技术的智能取暖温度控制仪	67
3.3 矿井排水模糊监测控制仪	78
3.4 基于煤仓煤位的提升机模糊控制系统	87
§ 4 人工神经网络技术	93
4.1 人工神经网络基础	93
4.2 多层感知机	95
4.3 BP 神经网络的学习方法	96

4.4	基于模糊神经网络融合的温度控制仪	99
4.5	人工神经网络的实现程序	104
§ 5	遗传算法	112
5.1	基于遗传算法的矿井通风机控制	112
5.2	基于模拟退火遗传算法的煤矿主通风机 优化控制	121
5.3	遗传算法的实现	126
§ 6	专家系统	142
6.1	专家系统概述	142
6.2	专家系统的特征及类型	145
6.3	矿井提升机专家控制系统	147
6.4	矿井提升机故障诊断模糊专家系统	154
§ 7	混沌理论及应用	162
7.1	混沌概述	162
7.2	通向混沌的道路	166
7.3	混沌的特征量与测度	173
7.4	混沌控制	180
7.5	小微扰控制法	185
参考文献		192

§ 1 多传感器信息融合技术

1.1 智能仪表中的多传感器系统

在工业生产过程监测控制系统中，特别是在现代复杂、大型的生产过程监测控制系统中，需要利用智能仪器仪表系统中的多种传感器来获得对象和环境的信息，以便监测和控制生产过程。对象信息包括：系统中有关物理量、生产过程中的工艺参数、设备情况、原料和成品的性能参数等；环境信息包括：环境特征、干扰、污染等。采用众多的传感器已是当前复杂工业系统不可避免的现实，也是现代工业系统的特点。多传感器系统或多传感器集成，是指在智能仪器系统中采用多个同质或异质传感器共同联合工作来完成对对象和环境的检测，如图1-1所示。

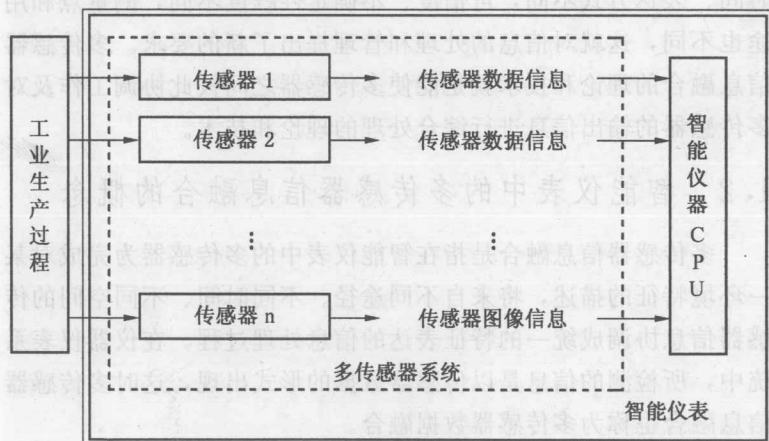


图1-1 智能仪表的多传感器系统

在当前工业监测控制系统中,从传感器中直接获得的信息可以分为两种不同形式:

(1) 传感器数据信息。这里所说的数据信息包括:

①描述被测物理量连续变化过程的模拟信号和数字信号。例如,温度、压力、流量等传感器,它们在检测的物理机理和硬件结构上尽管不一样,但在模拟式仪表的形式下,其输出均为电压(如1~5V)或电流(如4~20mA);在数字式仪表的情况下,输出是8位或16位的数字量。输出为数据信息的传感器是同质传感器。

②描述被测物理量状态变化的开关信号。例如有触点和无触点的继电器信号,它只有“通/断”或“有/无”两个数据。

(2) 传感器图像信息。在工业、矿业、军事、机器人、商业、交通等部门获得广泛应用的摄像机,其输出就是一帧一帧的图像。从信息的利用和处理来看,图像信息和数据信息具有完全不同的性质,因此产生这两种信息的传感器互为异质传感器。

在智能仪表的多传感器系统中,由于各传感器所提供的空间、时间、表达方式不同,可信度、不确定性程度不同,侧重点和用途也不同,这就对信息的处理和管理提出了新的要求。多传感器信息融合的理论和技术就是能使多传感器之间彼此协调工作及对多传感器的输出信息进行综合处理的理论和技术。

1.2 智能仪表中的多传感器信息融合的概念

多传感器信息融合是指在智能仪表中的多传感器为完成对某一环境特征的描述,将来自不同途径、不同时间、不同空间的传感器信息协调成统一的特征表达的信息处理过程。在仪器仪表系统中,所检测的信息是以传感器数据的形式出现,这时多传感器信息融合也称为多传感器数据融合。

多传感器信息融合是智能仪表对信息的综合处理技术,其目的是为了能最佳地综合使用多传感器信息,使仪器仪表具有完成某一特定任务所需的完备信息。单一传感器只能获得监测对象特

征的部分信息,描述监测对象特征的某个侧面;而经过集成与融合的多传感器信息能完善地、精确地、可靠地反映监测对象特征。多传感器信息融合一方面通过信息的协调、有机融合以充分发挥信息资源的价值;另一方面通过抽象合成,也减少了系统信息通信与信息处理的负担。

信息融合技术最早出现在20世纪70年代末期,Tenney和Sandell提出了多传感器信息融合的概念,当时并未引起人们的足够重视,只是局限于军事应用方面的研究。 C^3I (指挥、控制、通信和情报)系统率先采用多传感器信息融合技术来采集和处理战场信息并获得成功。由于信息融合系统本身所具有的良好性能稳定性、宽阔的时空覆盖区域、很高的测量维数、良好的目标空间分辨力以及较强的故障容错与系统重构能力,特别是它在军事应用中所获得的成绩,引起了西方各国国防部门的高度重视。到20世纪80年代中期,信息融合技术在军事领域中已经取得了相当的进展。各种各样的系统能有效地融合来自现有的和改进后的军事传感器数据,大到战略上的海洋监视系统,小到战区战术系统。在世界上几次重大的局部战争中,信息融合显示了强大的威力, C^3I 系统发挥的作用引起世人的关注。但是,这些军事方面的研究和应用成果,其技术长期来一直是处于封闭状态,直到20世纪80年代后期,有关这方面的研究内容及成果才逐渐披露于各种学术会议和公开文献中。

智能机器人是信息融合的第二个最有成就的研究和应用领域。智能机器人需要依靠本身的感觉系统综合信息、识别环境、做出决策。Hailar 移动机器人首次采用多传感器信息融合形成未知环境实物模型,它将视觉、听觉、触感和激光测距等传感器集成起来,使之能在未知环境中操作。STANFORD 大学将立体视觉、滑觉和超声波传感器用在移动机器人上,用Kalman 滤波技术融合传感器信息取得成功。我国对多传感器信息融合的智能机器人、智能系统的研究日益重视,并已取得许多可喜成果。

目前,多传感器信息融合技术在工业中的柔性制造、故障诊

断等领域,以及在医学、测量、公安等领域中的图像分析与理解、目标检测与跟踪、多源图像复合等许多方面也有所应用和发展。

1.3 智能仪表中多传感器信息融合的方法

信息融合涉及到多方面的理论和技术,如信号处理、估计理论、不确定性理论、模式识别、最优化技术、聚类分析、模糊推理、小波变换、神经网络和遗传算法等。由不同的应用要求形成的各种方法都是融合问题的一个子集。在智能仪器仪表中,可采用以下几种信息融合方法。

1.3.1 信息融合加权平均法

这是最简单、直观的融合多传感器低层数据的方法。其基本思想是将一组传感器提供的冗余信息进行加权平均,并将结果作为信息融合值。当每个传感器的测量值为标量,且加权值反比于每个传感器标准差时,加权平均法等效于贝叶斯法。加权平均法的一个应用实例是HAILAR 移动机器人,该机器人由触觉、听觉、两维视觉、激光测距等传感器提供信息,经过集成得到环境物体的分布并确定机器人的位置,其中采用了加权平均法作为信息融合方法进行物体轮廓的融合设计。

1.3.2 卡尔曼滤波法

该方法多用于实时融合动态的低层次冗余传感器信息。它利用测量模型的统计特性,经过递推运算,估计出在统计意义下是最优的融合数据。当系统具有线性动力学模型,且噪声是高斯分布的白噪声时,该法为融合数据提供了唯一的统计意义下的最优估计。卡尔曼滤波的递推特性使数据处理不需大量的数据存储和计算。在实际应用中,如果数据处理不稳定或者假设系统模型为线性而对融合造成不良影响时,则可以采用扩展卡尔曼滤波。卡尔曼滤波的实际应用有:采用图像序列的目标识别、机器人导航、目标跟踪、惯性导航和遥感等领域。

1.3.3 经典推理法

该法即是对两种假设的检验。对一个给定的先验假设,计算

观察值的概率,从而推理描述一个假设条件下观测到的事件的概率。这种方法的典型应用是,对给定的多个事件进行观测,求出一个假设态势的概率。经典推理法完全依据数学理论,严格地应用需要相应的先验概率分布知识,而这些知识在实际应用中又往往是不知道的,所以,其应用范围较窄。对单一事件(主观概率)很大程度上不能用。

1.3.4 贝叶斯估计法

贝叶斯估计是融合静态环境中多传感器低层数据的一种常用方法。其基本思想是,首先对传感器信息进行相容性分析,删除那些可信度很低的信息,然后对保留下来的信息进行贝叶斯估计,求得最优的信息融合。

贝叶斯估计法解决了经典推理方法的某些困难,能在给定一个预先似然估计和附加证据(观测)条件下,更新一个假设的似然函数,当获得测量值后,可以将给定假设的先验密度更新为后验密度。贝叶斯推理的一个重要特点是它适用于多假设情况。

贝叶斯估计将信息描述为概率分布,它适用于具有可加高斯噪声的不确定性场合。当传感器组的观测坐标一致时,可以用直接法对传感器数据进行融合;当传感器是从不同的坐标体系对同一对象进行描述时,要以间接方式采用贝叶斯估计进行数据融合。间接法要解决的问题是求出与多个传感器读数相一致的旋转矩阵以及平移向量。

在贝叶斯估计法的基础上,Durrant-Whyte提出了多贝叶斯估计法,即将每一个传感器看作一个贝叶斯估计器,将各单独物体的关联概率分布结合成一个联合的后验概率分布函数,然后通过联合分布函数的似然函数取极值,以求得传感器信息的最终融合值。

1.3.5 D-S 证据决策理论法

1967年Dempster提出D-S证据理论的概念,奠定了其数学基础。D-S证据决策理论可认为是广义贝叶斯理论,它考虑了一般水平的不确定性。在贝叶斯方法中,所有特征被赋予相同的先验概

率,当从传感器得到额外的附加信息,并且未知特征的数目大于已知特征的数目时,概率会变得不稳定。在D-S理论中,对未知特征不赋予先验概率,而赋予它们新的量度——未知度。只有在获得验证性信息时,才赋予这些未知特征以相应的概率值。这样,D-S理论避免了贝叶斯方法的不足。

D-S理论采用了概率区间和不确定区间来确定多证据下假设的似然函数。引入了信任度函数,它满足比概率论更弱的公理,能够区分不确定和不知道的差异。当概率值已知时,证据理论就变成了概率论。把证据理论用于多传感器融合时,将传感器信息的不确定性表示为可信度,利用信息可信度合并规则处理各传感器信息。

1.3.6 品质因素法

品质因素法的基本思想是依据观察数据和先验加权系数,计算两个观测实体之间的相似度。该法经常用于相关和自相关系统中,以进行联系程度的定量说明。由于采用加权系数,故品质因素法相对较简单,并具有适应性。但该法不能及时反映出观测环境的影响。

1.3.7 模板法

模板法的出发点是采用一般的数据记录完成复杂关联所需的模式识别。它通过观测数据与先验模板匹配处理,来确定观测数据是否支持由模板所表征的假设。一个模板可以包含参数表、布尔条件、权系数、门限,以及用于描述一个事件、活动或假设条件的其他要素。可以认为模板是知识库的框架概念的一种实现形式。

1.3.8 熵理论法

熵理论是用于信息融合的一种新技术,它从信息论的观点解释信息融合的过程,认为信息融合实质上就是不确定性减少的过程。由熵理论出发,可构造信息融合过程的数学模型,诸如基于熵准则的推理模型或基于熵准则的特征层识别融合。这种信息融合的方法可使融合输出的不确定性比单一传感器或部分传感器系

统输出的不确定性得到更大程度的压缩(或减少)。这种融合所取得的在压缩系统不确定性方面的收益,即融合的有效性,是由信息的关联来保障的。熵理论的研究着眼于融合系统的宏观统计性质,主要关心反映系统整体性质的不确定性变化过程。而对于融合系统的另一重要性质——容错性,则仅仅依靠熵理论来刻画是不够的,这方面的缺陷可以用人工神经网络来进行弥补。

1.3.9 聚类分析法

聚类分析法的基本思想是采用某些方法,根据预先指定的相似标准(相似度)把观测数据分为一些自然组。经典的聚类方法基本上不使用统计理论,它把数据分类成特定的数据表。当很难找到适当的理论方法对观测数据进行属性说明或分类处理时,这种方法对属性说明和分析观测数据是很有用的。聚类分析法在指纹照片识别和军事识别中得到了很好的应用。

1.3.10 模糊推理法

多传感器系统中各信息源提供的信息都有一定程度的不确定性,对这些不确定信息的融合过程实质上是一个不确定性推理过程。模糊逻辑是典型的多值逻辑,能够方便地表示不确定性。它允许在多传感器信息融合的推理过程中存在不确定性的表示。如果能够采用某种模型系统地反映这种融合中的不确定性,则可以通过模糊推理完成信息融合。模糊推理包括模糊测量、可信度和似真度的计算以及模糊积分的计算等。将模糊积分应用于信息融合系统有其不同于贝叶斯估计和D-S证据理论的优越性。

1.3.11 产生式规则法

产生式规则可用符号形式表示物体特征和相应的传感器信息之间的关系。当涉及同一对象的两条或多条规则在推理过程中被组合成同一规则时,即完成了信息融合。这种融合方法的主要问题在于每条规则的可信度与系统中的其他规则有关,这使得用客观条件改变时融合变得困难。如果系统中引入新的传感器,则需要加入相应的新规则。产生式规则在图像信息的融合中已得到较好的应用。

1.3.12 遗传算法

遗传算法的基本思想是基于生物进化论与遗传学机理,采用随机生成—评价—复制—交叉—变异等操作反复进行迭代和进化,直至搜索到最优解。它是一种具有广泛适用性的搜索方法,具有全局性、并行性、快速性与较好的适应性和鲁棒性。遗传算法的思想能够将待求问题转变到结构化的知识表示空间内,灵活地实现知识的不精确性到精确性的转换。而信息融合的目的就是寻找一个最优的组合法,将结构化的知识表示空间内的信息单元组合起来,所以遗传算法对信息融合有着良好的应用前景。

1.3.13 神经网络法

在处理不确定性的信息上,神经网络是一个强有力的工具,因而为信息融合提供了一个很好的方法。神经网络用于信息融合的基本思想是:根据当前系统所接受到的样本的相似性,确定分类标准。确定的方法主要表现在网络权值的分布上,同时可以采用神经网络的学习功能来获取知识,得到不确定性推理机制。自组织特征映射网络和ART网络在信息融合中已有很好的应用。

1.4 矿井环境监测仪中的多传感器信息融合技术

1.4.1 矿井环境监测仪的主要功能

(1) 矿井瓦斯监测。由于煤矿生产的特殊性,在煤炭的开采掘进过程中煤层中会涌出甲烷、硫化氢、一氧化碳、二氧化硫等有毒有害气体。井下的有毒有害气体统称为矿井瓦斯,由于这些气体中的主要成分是甲烷(沼气),含量占90%左右,所以通常所谓的矿井瓦斯就是指沼气。矿井瓦斯不助燃,但在空气中达到一定浓度(5%~16%)、并遇到高温(650~750℃)时能引起爆炸。

(2) 矿尘浓度监测。在采掘过程中会产生大量的煤和岩石的细微颗粒——矿尘,矿尘对矿井生产和人体都有严重危害,煤尘能引起爆炸;矿尘能引起矿工尘肺病。

(3) 煤的自然燃监测。煤炭在一定的条件下,如破裂的煤柱、煤

壁、集中堆积的浮煤，又有一定的风量供给，自身发生物理化学变化、吸氧、氧化、发热、热量聚集导致燃烧发火。煤的自燃经常发生在采空区或煤柱内，自燃往往伴有一个孕育的过程，根据预兆（如煤温是否超过自热的临界值、检测到的CO浓度是否超过矿井的自然发火临界指标、是否出现煤的干馏，生成芳香族的碳氢化合物等）能够早期予以发现。

（4）矿井气候条件监测。矿井气候条件是指矿井内空气的温度、湿度和风速三者的综合状态。矿井气候条件的好坏，对人的身体健康和劳动生产效率有重要的影响。

这里只选取对矿井环境及安全影响较大的因素进行监测，因此矿井环境监测仪主要监测矿井大气中瓦斯浓度、一氧化碳浓度、硫化氢等有毒有害气体以及风速、矿尘、温度、湿度等环境参数。

1.4.2 矿井环境监测仪的多传感器信息融合模式

由于矿井环境监测仪需要监测矿井中各采区、巷道等不同地点的环境参数，其监测点多，分布面广。要想全面掌握矿井内的环境状况，必须要用多个传感器组成多个传感器集合来共同完成此监测任务。根据传感器采集信息的多样性，矿井环境监测仪的多传感器信息融合采用了三种方式：相关信息融合、互补信息融合和协同信息融合。

（1）相关信息融合。也叫冗余信息融合。冗余信息是指由一组传感器（或一个传感器多次观测）获得的关于同一环境特征的信息。如在对井下瓦斯浓度进行检测时，可在同一采区或巷道中放置多个瓦斯传感器，这些瓦斯传感器的输出信息就是关于井下瓦斯浓度的冗余信息。融合冗余信息的优越性在于：

①每个单独的冗余信息具有不同可信度，融合后的信息可以降低不确定性，提高对矿井环境特征描述的精度；

②由于每个传感器的噪声是不相关的，融合后的信息在总体上可明显抑制噪声；

③在传感器失效或出错时，冗余信息的融合还可以提高检测的可靠性。