



煤矿安全生产最新技术与国家强制性标准推广系列丛书

非接触 隐蔽火源探测技术实用手册

◎ 主编 王明全

中国科技文化出版社

TD7-62
W-528

1

非接触隐蔽火源探测技术 实用手册

主编 王明全 (煤炭科学研究总院研究员)

【 上 卷 】

中国科技文化出版社

本文名称：非接触隐蔽火源探测技术实用手册

文本编：王明全

出版发行：中国科技文化出版社

生产时期：2005年10月

文本版号：ISBN 988-97889-9-3

定 价：580.00 元

《非接触隐蔽火源探测技术 实用手册》

编 委 会

主 编：王明全（煤炭科学研究总院研究员）

编委会：华国良 陈梦云 赵东升 李子玉
李国常 郑天香 陇月娇 王爱琳
宋月娥 钱真真 马 跃 杨青松
郑天龙 李智学 荀 涛 高银华

总 序

进入 2005 年第四季度，全国正处在广东省梅州市大兴煤矿“8·7”特别重大透水事故深刻反思过程中。国家安全生产监督管理总局 8 月 15 日紧急部署了对 8000 多个问题煤矿的停产整顿和关闭工作，要求年底仍不达标的一律关闭，不得延期。一些地方不能再以“停产整顿”为名，无限期拖延对问题煤矿的治理。

中国煤矿安全形势依然严峻，事故多发的势头并未得到遏制。同时，中国煤矿安全设施欠账达五百多亿元人民币，安全技术设施基础薄弱。中国煤矿安全生产不仅仅是认识问题、管理问题，其根本出路是提高技术装备水平，将机械化、自动化、信息化引入矿井，中共中央国务院要求各级安监部门、煤矿安全技术部门抓紧在全国煤矿安全领域重点突破十项关键技术：电磁辐射等动力灾害连续预测技术；高瓦斯区、高应力区、地质异常区超前探测技术与装备；瓦斯爆炸危险源动态预测技术；非接触隐蔽火源探测技术；粉尘浓度连续监测技术；松软突出危险煤层顺煤层长钻孔施工及安全保障成套技术；突水水源与突水通道封堵材料与装备；低热损冷源介质输送技术及高效热交换技术；重大事故遇险人员生命保障及快速救援技术与装备；井下人员定位与无线通讯技术。

为了配合中共中央国务院、国家安监委、安监总局相关最新政策精神，我们组织编辑出版了上述十项煤矿安全生产技术推广应用系列丛书：

《突水水源与突水通道封堵材料与装备实用手册》：矿井水害是影响和威胁中国煤矿安全、高效生产的主要因素之一。中国煤矿井下水害种类很多，其中底板突水造成的伤亡和经济损失尤为突出。矿井突水机理的研究以及封堵材料与装备的更新换代是水害防治工作的基础，同时也是各种预测预报方法和技术的基石。

《重大事故遇险人员生命保障及快速救援技术与装备实用手册》：本书阐述了重大煤矿事故应急管理的基本概念和内容，系统介绍了重大事故应急救援系统的结构、组成、应急预案的分级、分类及基本要素，应急预案的编制程序和文件体系，详细叙述了企业事故应急救援的程序和应急行动办法，介绍了应急救援培训、训练、演习的组织和策划基本方法、应急救援预案基本格式和内容，应急救援预案检查表等。

《电磁辐射等动力灾害连续预测技术实用手册》：本书从实验和理论两方面分析了电磁辐射记忆效应规律，系统探讨了煤岩破裂过程中电磁辐射产生的机理，初步探讨了外加电磁场对吸附气体的作用规律，建立并系统论述了基于煤岩流变破坏电磁辐射理论的非接触性监测和预测煤岩动力灾害的理论和技術，发明了监测装备，并对相应信息处理技术及应用实力做了全面介绍。

《非接触隐蔽火源探测技术实用手册》：众所周知，非接触隐蔽火源火灾是矿井的重大灾害之一，若不能及早地发现、及时地采取有效措施进行处理与控制，其后果是非常严重的，不仅会造成重大人员伤亡和巨大的财产损失，而且会严重制约矿井的发展。但随着科学技术的进步，相关行业的发展，已为矿井防灭火工作提供了必要的技术、工艺与设备，早期控制煤层自燃已成为可能。本书首先简要介绍了煤自然发火机理、煤自燃特点及主要影响因素、煤自燃特征参数等方面的理论研究成果；然后以理论研究、实验分析和现场观测为基础，系统论述了煤自然发火预测理论、技术和方法；书中包括大量实验数据、现场观测统计数据，以及采空区和巷道煤体自然发火预测实例。

《粉尘浓度连续监测与通风除尘新技术推广实用手册》：本书介绍了矿井粉尘监测与防治的基础理论知识和实际操作技能。内容包括粉尘浓度连续监测技术推广应用，矿内空气及矿井通风任务，矿井和采区通风系统及掘进通风，矿井风量计算、分配与调章，主要粉尘浓度监测仪器和通风机运行与性能鉴定，通风压力与通风阻力，通风构筑物及漏风，矿井粉尘浓度与通风检测仪表及相关技术操作。

《井下人员定位与无线通讯技术实用手册》：全书分为两大部分，第一部分介绍全球定位系统（GPS）以全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点，成功地应用于大地测量、工程测量、航空摄影测量、地壳运动监测、工程变形监测、地球动力学研究、运载工具导航等多种学科，应用在矿山给煤矿安全生产领域带来一场深刻的技术革命。第二部分详解了低频无线电信号在岩层中传播的理论基础，阐明了在无线通道中信号电平的计算和在各种干扰源的作用下通道最佳参数的选择等问题。引述了对井下低频电磁场传播条件的实验研究结果、测量井下各种岩层电导率的统计材料以及有关从井下电力网向岩层辐射的干扰电平和频谱等资料。还记叙了几种在井下经过试用的无线通讯设备的性能。

《低热损冷源介质输送技术及高效热交换技术实用手册》：本书系统介绍矿山地热的有关基础理论知识，高温矿井形成的地质条件、矿山地热勘探及研究的方法和手段，以及有关矿井空调的热力学基础理论知识、井下热环境对人体的影响、矿井热源及其与井下空气的热交换计算和矿井空气热状态的预测，矿井降温的技术和装备，热矿山降温工程设计等。

《松软突出危险煤层顺煤层长钻孔施工及安全保障技术实用手册》：本书系统地介绍了松软突出危险煤层开采的工作面顶底板管理和巷道支护技术。内容包括松软突出危险煤层的物理力学性质与分类；在不稳定顶板及松软底板条件下，回采工作面矿山压力显现规律，综合机械化回采，普通机械化回采，煤岩化学加固技术；软岩巷道矿山压力及其显现特点，软岩巷道支架，支护原理和支护方法，以及上述开采相关钻井掘进施工方法。

《高瓦斯区、高应力区、地质异常区超前探测技术与装备实用手册》：我国多数大煤矿都是一个具有百年开采历史的老矿区，随着长期大幅度的开采，浅部煤层已基本开采完毕，矿井开采向深部延伸。随着采深增加，矿井工程条件更为复杂，高瓦斯区、高应力区、地质异常区显著增多，并表现为明显的软岩特征，矿压显现为大地压、大变形、难支护。所以，深入研究高瓦斯区、高应力区、地质异常区超前探测技术的推广和应用，以及相应复杂应力软岩控制理论与支护技术，具有非常重要的意义。

《瓦斯爆炸危险源动态预测技术实用手册》：为贯彻落实国务院 2005 年第 81 次常务会议精神，做好全国煤矿瓦斯防治工作，有效遏制煤矿瓦斯事故多发的势头，充分利用煤矿瓦斯资源，建立健全防治煤矿瓦斯的长效机制，贯彻“安全第一、预防为主”和“先抽后采、监测监控、以风定产”的方针，我们从加强组织领导、落实安全生产责任、严格现场管理、加大资金投入、工艺改革、科技进步、提高职工素质、健全技术、管理标准和政策法规体系等方面入手，结合实际，认真研究解决煤矿瓦斯治理与利用实践中的困难和问题，编辑出版了《瓦斯爆炸危险源动态预测技术实用手册》一书。

本书可作为高校、科研院所采矿工程、安全技术及工程专业的硕士、博士研究生的教学参考书，也可供广大煤矿工程技术人员和设计人员应用和参考。

由于编写时间仓促，本书难免存在挂一漏万之处，希望广大读者在参考使用过程中不吝提出修改意见，以便再版时进一步修订。

本书编委会
2005 年 10 月

目 录

第一篇 煤矿非接触隐蔽火源危险区域判定理论

第一章 绪论	(3)
第一节 煤自燃学说	(4)
第二节 煤的内在自燃性	(8)
第三节 煤自燃危险区域判定理论构成	(10)
第二章 煤氧微观特性及复合机理	(12)
第一节 煤分子结构特点	(12)
第二节 氧分子结构特性	(16)
第三节 自燃煤表面分子活性基团	(21)
第四节 煤氧复合微观机理	(25)
第三章 煤的氧化性	(39)
第一节 煤氧复合类型	(39)
第二节 煤氧化性衡量方法	(54)
第三节 影响煤氧化性的主要因素	(62)
第四章 煤的放热性	(74)
第一节 煤放热性衡量方法	(75)
第二节 影响煤放热性的主要因素	(80)
第五章 煤自然发火实验及数值模拟	(93)
第一节 实验模拟条件	(93)
第二节 煤自然发火实验台	(103)
第三节 煤自然发火实验及结果分析	(109)

目 录

第四节 煤自然发火实验的数值模拟	(125)
第六章 煤自燃环境分析	(136)
第一节 巷道周围煤体自燃环境分析	(136)
第二节 采空区遗煤自燃环境	(165)
第三节 影响地面煤堆自燃的主要因素	(173)
第七章 非接触隐蔽火源危险区域判定	(188)
第一节 采空区自燃危险区域判定	(188)
第二节 巷道周围煤体自燃危险区域判定	(216)
附录 A 兖州矿业集团公司兴隆庄矿煤样自然发火实验报告	(237)
附录 B 主要符号表	(260)

第二篇 非接触隐蔽火源发火模型与危害形成机制

第一章 绪论	(265)
第一节 煤自燃预测技术研究进展	(266)
第二节 煤自然发火预测理论及技术体系结构	(270)
第二章 煤自然发火机理	(272)
第一节 煤氧复合微观机理	(272)
第二节 煤的氧化放热性及衡量指标	(286)
第三节 煤自然发火主要影响因素分析	(296)
第三章 煤炭自然发火数学模型及数值计算	(312)
第一节 松散煤体宏观描述	(312)
第二节 松散煤体漏风及氧气输运规律	(317)
第三节 松散煤体蓄散热过程数学模型	(327)
第四节 松散煤体自然发火数学模型	(332)
第五节 松散煤体自然发火模型数值计算方法	(336)
第四章 实验室测试参数	(341)
第一节 煤自燃特性参数实验测试	(341)

目 录

第二节 煤体粒度与自燃性关系实验测试	(354)
第三节 松散煤体中氧气扩散系数实验测试	(360)
第四节 松散煤体等效参数确定	(364)
第五章 综放面现场观测参数及数据处理	(378)
第一节 现场参数观测方法	(378)
第二节 观测数据处理与分析	(384)
第三节 忻州窑矿 8916 综放面采空区观测实例	(392)
第四节 东滩矿巷道现场观测实例	(407)
第六章 综放面采空区自然发火预测技术及实践	(417)
第一节 综放面采空区自然发火特点	(417)
第二节 采空区自燃危险区域划分理论	(419)
第三节 采空区浮煤自燃危险性预测方法	(428)
第四节 忻州窑矿 8914 综放面采空区自然发火预测	(430)
第七章 综放面巷道周边煤体自然发火预测技术及实践	(458)
第一节 综放面巷道周边煤体自燃特点及巷道类型	(458)
第二节 巷道自燃危险区域划分理论	(461)
第三节 巷道松散煤体自然发火预测方法	(468)
第四节 东滩矿 4308 综放面巷道自然发火预测	(475)

第三篇 煤炭非接触隐蔽火源自燃早期探测技术

第一章 概述	(503)
第一节 煤炭自燃的防治体系	(505)
第二节 煤炭自燃预测预报与火源探测	(509)
第二章 煤的自燃特性与最短发火期预测	(520)
第一节 煤的自燃特性	(520)
第二节 松散煤体自然发火模拟实验	(543)
第三节 松散煤体自然发火期预测	(553)

目 录

第三章 煤炭自燃指标气体的预报技术	(563)
第一节 煤炭自燃指标气体的选择	(563)
第二节 煤炭自燃指标气体的吸附与浓缩	(574)
第三节 煤炭自燃指标气体的检测技术	(591)
第四节 煤炭自燃的示踪气体预报技术	(593)
第四章 近距离煤炭自燃火源的红外探测技术	(601)
第一节 红外探测机理及探测仪器	(601)
第二节 红外探测辐射场异常的影响因素	(611)
第三节 近距离煤炭自燃火源的红外探测技术	(618)
第四节 煤巷近距离火源的红外探测实践	(632)
第五章 煤炭自燃区域的氡气探测技术	(645)
第一节 同位素测氡法探测煤层自燃火源位置的机理	(645)
第二节 氡及其子体运移规律	(650)
第三节 氡析出与温度之间的关系	(658)
第四节 同位素测氡法探测煤层自燃火源位置的方法	(663)
第五节 氡气探测法的应用与实践	(666)
第六章 煤炭自燃温度预测预报法	(669)
第一节 便携式测温预测预报法	(669)
第二节 煤炭自燃温度监测系统预测预报法	(676)

第四篇 煤矿非接触隐蔽火源防治与综合治理技术推广

第一章 煤炭自燃综述	(683)
第一节 煤自燃学说	(684)
第二节 煤的自燃性	(687)
第三节 煤低温自燃过程	(689)
第二章 煤自燃环境分析	(716)
第一节 巷道煤层自燃环境分析	(716)

目 录

第二节	采空区遗煤自燃环境	(726)
第三节	现场煤炭自燃的规律	(733)
第三章	煤炭自燃的预测预报	(738)
第一节	煤的自燃倾向性测试	(738)
第二节	巷道自燃危险区域预测	(740)
第三节	采空区遗煤自然发火预测	(742)
第四节	煤层自燃预报及气体监测	(749)
第四章	煤样自然发火实验	(754)
第一节	煤自燃特性参数实验	(754)
第二节	煤体粒度与自燃性关系测试	(770)
第五章	注浆与注砂防灭火技术	(776)
第一节	注浆防灭火系统	(776)
第二节	注浆方式	(781)
第三节	注砂防灭火	(786)
第六章	调节风压防灭火技术	(788)
第一节	调压技术的基本原理及方式	(788)
第二节	采空区全风压调压技术的应用	(794)
第三节	联合调压法防灭火技术的应用	(807)
第七章	堵漏技术	(813)
第一节	灰膏组合材料封堵漏风	(813)
第二节	聚胺脂泡沫塑料喷堵漏风	(815)
第八章	凝胶防灭火技术	(819)
第一节	胶体防灭火材料	(819)
第二节	胶体防灭火工艺及应用	(826)
第九章	氮气防灭火技术	(835)
第一节	氮气防灭火机理及特点	(835)
第二节	注氮防灭火系统	(837)
第三节	注氮防灭火技术的应用	(843)

目 录

第十章 防灭火技术的组织与管理	(850)
第一节 组织保障措施	(850)
第二节 生产管理措施	(853)
第三节 专业管理措施	(857)
第四节 监督检查措施	(861)
第十一章 四处火点的治理方案	(863)
第一节 348 工作面材料道火点处理	(863)
第二节 2336 工作面溜子道西段火点处理	(875)
第三节 2339 通道火点处理	(889)
第四节 2342 综放面停采线火点处理	(898)
第十二章 工作面防火处理实施方案	(911)
第一节 2347 区段防火	(911)
第二节 2334 区段防火	(923)
第三节 2349 综放面防火	(931)
第四节 363-3 高档放顶煤工作面防火	(935)
第五节 340-1 区段防火	(942)
第六节 347-3 高档放顶煤工作面防火	(948)

第一篇

煤矿非接触隐蔽火源 危险区域判定理论

第一章 绪 论

煤自燃是自然界存在的一种客观现象，这种现象已经存在了数百万年。譬如大同侏罗纪煤层最早在第四纪早更新世，即距今约 200 万年前就开始自燃，仅雁崖 3 号和 11 号煤层古火区就已烧毁大约 20Mt 煤，燃烧特征十分明显。根据历史记载，我国许多地区的煤层露头自古以来长期自燃，给人以“火山”的印象。宁夏中卫县志中记载：“县西南三十里，山产石炭，近西一带有火，经年不息，俗称为火焰山。”而新疆地区的煤层自燃，唐代边塞诗人岑参就有《经火山》一诗记之，煤层露头附近到处可见：“夜则火光，昼日但烟”的景象。茫茫戈壁滩上，煤层露头处燃烧后的磷铁矿狼藉遍野，烧变岩比比皆是。目前新疆还有 37 处煤田火区，燃烧面积达 102km²，已烧毁煤炭约 21 亿 t，现仍以每年 3000 多万吨的燃烧速度发展。

在开采煤层中，我国大约有二分之一的国有矿井存在自然发火危险。西北五省的 13 个矿务局和陕北的神府煤田自燃隐患都很突出，每年发火次数不下几十次。据 1996 年统计，国有矿井全年自然发火 548 次，至年底仍残存火区 255 处，冻结煤量 4000 多万吨，直接和间接经济损失超过 50 亿元。随着厚煤层放顶煤开采技术的推广，煤层自燃事故亦呈上升趋势。

煤炭在地面储存和运输过程中，自燃现象也时有发生。秦皇岛码头储煤场经常可见煤堆自燃，煤炭在轮船、火车运输过程中亦多次发生自燃事故。

关于煤炭自燃起因和过程，人们在 17 世纪即开始了探索研究，但迄今仍然未能得到圆满的解释。各国学者发表了各种学说以解释煤炭自燃的起因，其中主要有黄铁矿导因、细菌导因、酚羟基导因、煤氧复合导因等学说，这些学说中煤氧复合作用学说得到了大多数学者的赞同。

煤自燃的最终参与物主要是煤和氧，煤对氧的吸附和氧化反应已经实验