



煤矿安全生产最新技术与国家强制性标准推广系列丛书

井下人员 定位 与无线通讯技术实用手册

◎ 主编 陈国旺

中国科技文化出版社

TD178

C-365

1

井下人员定位与无线通讯 技术实用手册

编 委 会

主 编：陈国旺

编 委：王桂丽 高 鹏 张丽娜 史树杰

刘 丽 石少东 刘 聪 田福迪

王友菊 刘 雷 潘莎莎 于 雷

张同欣 季东蕾 解朋云 赵志发

周升云 侯玉涛 白盼盼 李宇春

苏晓倩 胡淑红 闫 飞 薛青美

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，并队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》：为了贯彻落实国务院 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9月15日于北京

目 录

第一篇 GPS 测量定位技术

第一章 绪 论.....	(3)
第一节 卫星大地测量及其发展.....	(3)
一、大地测量的发展概况	(3)
二、卫星大地测量的起源	(5)
三、GPS 定位的基本概念	(8)
四、中国 GPS 卫星跟踪网	(11)
第二节 导航定位卫星及其星座	(15)
一、GPS 卫星及星座	(15)
二、前苏联 GLONASS 全球卫星导航系统	(19)
三、欧洲空间局的 NAVSAT 卫星导航系统	(22)
四、伽利略全球卫星导航系统	(25)
五、中国的北斗导航卫星定位系统	(27)
第三节 GPS 在国民经济建设中的应用	(29)
一、GPS 在大地测量中的应用	(29)
二、GPS 在工程测量中的应用	(33)
三、GPS 在航空摄影测量中的应用	(35)

四、GPS 在线路勘测及隧道贯通测量中的应用	(36)
五、GPS 在地形、地籍及房地产测量中的应用	(38)
六、GPS 在水下地形测量中的应用	(39)
七、GPS 在其他领域中的应用	(39)
第二章 GPS 定位的坐标系统和时间系统	(42)
第一节 参心坐标系	(43)
一、概述	(43)
二、1954 年北京坐标系[BJZ54(原)]	(44)
三、1980 年国家大地坐标系(GDZ80)	(46)
四、1954 年新北京坐标系(BJZ54)	(51)
第二节 地心坐标系	(52)
一、建立地心坐标系的意义和方法	(52)
二、地心坐标系的表述形式	(54)
三、WGS—84 大地坐标系	(55)
四、地方独立坐标系	(56)
五、ITRF 坐标框架简介	(57)
第三节 天球坐标系	(57)
一、天球上的点和圈	(58)
二、岁差与章动	(59)
三、天球坐标系的建立	(60)
第四节 时间系统	(62)
一、概述	(62)
二、力学时(DT)	(63)
三、GPS 时(GPST)	(64)
四、区时(T_n)	(65)
第三章 GPS 系统的组成与 GPS 信号	(66)

第一节 GPS 定位系统的组成	(66)
一、地面监控部分	(66)
二、空间卫星部分	(70)
三、用户接收部分	(72)
第二节 卫星的运行及其轨道	(73)
一、理想情况下的卫星运动	(74)
二、卫星运行的轨道	(77)
三、摄动力对卫星运行轨道的影响	(79)
第三节 卫星星历与卫星位置计算	(81)
一、GPS 卫星星历	(81)
二、卫星在其轨道平面内的位置计算	(84)
三、卫星在地心空间直角坐标系中的位置计算	(86)
第四节 GPS 卫星信号	(88)
一、GPS 卫星信号的内容	(89)
二、GPS 信号的结构	(92)
三、测距码的产生	(93)
四、GPS 信号的传播	(95)
五、导航电文	(97)
第五节 GPS 信号的接收	(101)
一、信号接收设备的组成	(101)
二、天线单元	(103)
三、接收单元	(104)
第四章 GPS 卫星定位的基本原理	(109)
第一节 GPS 定位概述	(109)
一、静态定位与动态定位	(110)
二、单点定位和相对定位	(111)

三、主动式测距和被动式测距	(112)
四、用 GPS 定位的基本方法	(113)
第二节 伪距法定位	(116)
一、测定伪距的方法	(116)
二、伪距法定位的原理	(118)
三、伪距法定位的计算	(120)
四、伪距定位法的应用	(122)
第三节 载波相位测量	(123)
一、载波相位测量原理	(124)
二、载波相位测量观测方程	(127)
三、载波相位测量差分法	(130)
第四节 GPS 动态定位原理	(134)
一、动态定位的特点	(134)
二、单点动态定位	(135)
三、伪距差分动态定位	(138)
四、GPS 测速	(140)
五、GPS 定时	(141)
第五章 GPS 卫星定位的误差来源及其影响	(145)
第一节 GPS 测量的主要误差分类	(145)
第二节 与卫星有关的误差	(146)
一、卫星星历误差	(147)
二、卫星钟的钟误差	(150)
三、相对论效应	(151)
第三节 卫星信号传播误差	(153)
一、电离层折射	(153)
二、对流层折射	(157)

三、多路径误差	(160)
第四节 接收设备误差与图形强度	(161)
一、接收机钟误差	(162)
二、天线相位中心位置误差	(162)
三、等效距离误差	(163)
四、几何图形强度	(163)
第五节 整周跳变分析与整周未知数的确定	(165)
一、整周跳变分析	(166)
二、整周未知数 N_0 的确定	(169)
第六章 GPS 卫星定位测量的设计与实施	(172)
第一节 建立 GPS 控制网的技术依据	(173)
一、GPS 测量的精度分级	(173)
二、GPS 点的密度	(175)
三、测量作业基本技术规定	(176)
第二节 GPS 定位网的布设	(180)
一、技术设计中应考虑的因素	(180)
二、GPS 网的布网原则	(181)
三、GPS 网的联测设计	(182)
四、卫星空间分布的几何图形强度设计	(183)
五、野外选点	(184)
六、标石埋设	(187)
第三节 GPS 接收机的选择	(188)
一、接收机的类型选择	(189)
二、最佳 GPS 接收机具备的条件	(192)
三、GPS 接收机简介	(193)
第四节 GPS 定位网的测设方案	(198)

一、两台接收机相对定位的测设方案·····	(198)
二、多台接收机的同步网测设方案·····	(202)
三、多台接收机的异步网测设方案·····	(203)
第五节 外业观测·····	(206)
一、接收设备及其检验·····	(206)
二、制定实测方案·····	(208)
三、选择最佳观测时段·····	(209)
四、编排作业调度表·····	(210)
五、天线安置·····	(211)
六、观测作业·····	(212)
七、外业成果记录·····	(213)
第六节 观测成果的外业检核及处理·····	(215)
一、野外数据检核·····	(215)
二、数据后处理·····	(218)
三、技术总结与上交资料·····	(220)
第七章 GPS 控制网的数据处理·····	(222)
第一节 观测数据的预处理·····	(222)
一、概述·····	(222)
二、预处理的准备工作·····	(225)
三、数据预处理的内容·····	(227)
第二节 GPS 基线向量的解算·····	(233)
一、误差方程的列立·····	(233)
二、法方程的组成与解算·····	(237)
三、精度评定·····	(239)
四、解算结果分析·····	(240)
第三节 GPS 基线网独立平差·····	(242)

一、概述	(242)
二、基线网按经典自由网平差	(243)
三、基线网按亏秩自由网平差	(246)
第四节 坐标系统的转换	(247)
一、空间直角坐标与大地坐标的转换	(248)
二、不同空间直角坐标系之间的坐标转换	(249)
三、不同大地坐标系之间的坐标转换	(255)
四、在高斯平面坐标系中的坐标转换模型	(256)
第五节 GPS 网与地面网的三维平差	(261)
一、概述	(261)
二、在空间直角坐标系中的三维约束平差	(262)
三、在大地坐标系中的三维约束平差	(267)
四、三维联合平差	(271)
五、GPS 网三维平差的若干问题	(273)
第六节 GPS 网与地面网的二维平差	(275)
一、二维无约束平差	(275)
二、二维约束平差	(277)
三、二维联合平差	(280)
第七节 GPS 的高程计算	(285)
一、概述	(285)
二、拟合法确定正常高程	(286)
三、GPS 水准应用	(288)
第八章 GPS 实时动态定位	(290)
第一节 RTK 概述	(290)
一、RTK 的工作原理	(290)
二、RTK 的系统组成	(292)

第二节 RTK 系统基准站的组成和作用·····	(292)
第三节 RTK 流动站的组成和作用·····	(295)
第四节 RTK 定位测量的外业准备工作·····	(298)
第五节 RTK 的作业方法·····	(298)
一、架设基准站·····	(298)
二、启动基准站·····	(300)
三、启动流动站·····	(301)
四、开始测量·····	(301)
第六节 GPS 网络 RTK 技术·····	(302)
一、概述·····	(302)
二、VRS 的系统构成及工作原理·····	(303)
三、VRS 系统的优势·····	(306)

第二篇 GPS 定位技术在矿井地面形度 井下人员救援测量中的应用

第一章 矿井地面形变测量概论·····	(311)
第一节 矿井地面形变引起的破坏及 变形观测的任务·····	(312)
一、地面形变引起的破坏·····	(312)
二、变形观测的任务·····	(313)
第二节 矿井地面形变测量方法简介·····	(315)
一、常规大地测量方法·····	(315)
二、液体静力水准等物理方法·····	(317)
三、近景摄影测量方法·····	(318)

四、应用 GPS 技术进行地面形变测量	(319)
第三节 矿井地面形变测量的精度要求与频率	(320)
一、地面形变测量的精度要求	(320)
二、变形观测频率的确定	(321)
第四节 矿井地面形变测量变形分析指标	(322)
一、移动指标	(322)
二、变形指标	(323)
第五节 矿井变形观测数据处理的基准选择	(325)
一、常规测量经典平差中的基准选择	(326)
二、变形观测数据处理的基准选择	(326)
第二章 GPS 相对定位原理	(329)
第一节 概 述	(329)
一、GPS 卫星的导航电文	(329)
二、GPS 卫星的测距信号	(332)
三、绝对定位与相对定位	(333)
四、动态定位与静态定位	(334)
五、GPS 绝对定位的基本原理	(335)
第二节 伪距测量	(338)
一、伪距测量原理	(338)
二、伪距定位观测方程	(341)
第三节 载波相位测量	(342)
一、载波相位测量原理	(343)
二、载波相位测量的观测方程	(345)
三、整周未知数 N_0 的确定	(347)
第四节 GPS 绝对定位	(349)
一、伪距观测方程的线性化	(350)