

# Research and Application of Monitoring System for Coalfield Fire Based On the WSN and GPRS

Weifeng Wang<sup>1,2</sup>, Xiaokun Chen<sup>1,2</sup>, Jun Deng<sup>1,2</sup>, Yongfei Jin<sup>1,2</sup>, Lingmei Ge<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, 710054, Xi'an P.R.China

<sup>2</sup>Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention, Ministry of Education, 710054, Xi'an P.R.China

**Abstract:** According to actual demands of the coalfield fire borehole temperature monitoring, the system integrates ZigBee technology, GPRS technology, Internet technology, embedded computer control technology, sensor technology, data acquisition technology and database technology in one. The present gave a framework of the overall system composition, the function and required performance, the working principle and method of the system, designed the hardware and software of the wireless temperature measurement terminal, ZigBee-GPRS gateway and host computer control center system, described the application environment of the monitoring system and the layout method in engineering, discussed the monitoring mechanism of the system, and analyzed effect of the system in practical industrial engineering. The system integrates the advantages of both ZigBee and GPRS technology. It realized the coalfield fire area temperature Short-range acquisition of the data and remote transmitting of the data, solved the present difficult problem of monitoring remote coalfield fires.

**Keywords:** ZigBee; GPRS; coalfield fire; monitoring system

## 基于 ZigBee 和 GPRS 的煤田火灾监控系统的研究与应用\*

王伟峰<sup>1,2</sup>, 陈晓坤<sup>1,2</sup>, 邓军<sup>1,2</sup>, 金永飞<sup>1,2</sup>, 葛岭梅<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>西安科技大学 能源学院, 西安, 中国, 710054

<sup>2</sup>西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室, 西安, 中国, 710054

**摘 要:** 根据煤田火灾钻孔温度监测的实际需求, 设计了集 ZigBee 技术、GPRS 技术、Internet 技术、嵌入式计算机控制技术、传感器技术、数据采集技术、数据库技术于一体的煤田火灾无线自组网钻孔温度远程监控系统。给出了系统的整体组成框架, 对系统的功能和性能需求、工作原理和工作方式进行了分析, 设计了无线测温终端、ZigBee-GPRS 网关的硬件和软件及上位机监控中心系统, 描述了监控系统的应用环境, 给出了现场布置方法, 论述了系统的监控机制, 分析了工业现场的应用效果。本系统将 ZigBee 技术和 GPRS 技术相结合, 实现了煤田火区钻孔温度数据短距离采集与数据的远程传输, 解决了目前煤田火灾远程监控的难题。

**关键词:** ZigBee; GPRS; 煤田火灾; 监控系统

### 1 引言

煤田火灾分布很广, 遍布南北半球, 不仅中国有, 而且在印度、美国、俄罗斯、澳大利亚、印度尼西亚、中亚等国家和地区都普遍存在。中国由于特殊的地理位置和气候条件, 成为世界上煤田自燃灾害最为严重的国家。据初步估算, 我国煤田自燃每年至少造成 200 亿元的经济损失。因煤层自燃每年向大气排放 CO 49.02 万 t, SO<sub>2</sub> 15.47 万 t, NO<sub>2</sub> 30 万 t, 粉尘 11.2 万

**基金项目:** 国家科技支撑计划项目 (2007BAK29B03); 陕西省工业科技攻关项目 (2010K06-13)。

t, 排放 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>S 等有害气体, 造成低空空气有害物质严重超标, 形成大范围的酸雨, 助长地球的温室效应。尤其是近几年来, 随着高产高效综采放顶煤技术的推广, 类似于阳泉、太西等开采高变质程度无烟煤 (以往认为不自燃) 的高瓦斯矿井, 也频繁出现煤层自燃火灾现象, 并多次引起瓦斯燃烧和爆炸事故, 由于矿山火灾冻结大量煤炭资源和昂贵的生产设备, 造成了巨大的经济损失和矿山人员伤亡。

现有的煤田火灾温度监测主要是人工测温法, 测温法由于是点接触, 预测预报范围小, 安装、维护工

作量大、不能提供实时监测和预警，特别是探头、引线极易破坏，在实际应用中受到技术和经济的限制，不宜大面积探火采用，不能很好的满足煤矿安全生产的要求。由于煤田发火区域有隐蔽性、着火点分散、被测点多、距离远、环境复杂等特点，使得对煤田火灾的管理、监控非常困难。本系统将 ZigBee 技术和 GPRS 技术相结合，实现了煤田火区钻孔温度数据短距离采集与数据的远程传输，解决了目前煤田火灾远程监控的难题，节省了系统的成本。

## 2 系统的组成

煤田火灾无线自组网钻孔温度远程监控系统集 ZigBee 技术、GPRS 技术、Internet 技术、嵌入式计算机控制技术、传感器技术、数据采集技术、数据库技术于一体，搭建了一种短距离数据采集及远程传输监控系统的平台。系统分为上位机监控中心、短信平台、

火区监测点、ZigBee 无线自组网络和 GPRS 传输信道五部分。上位机监控中心主要由监控中心服务器、数据库服务器、打印机等设备组成；火区监测点主要由无线测温终端和 ZigBee-GPRS 网关组成。ZigBee-GPRS 网关负责将无线测温终端采集的温度数据，通过其内置的嵌入式处理器进行处理以及协议的封装，然后发送到 GPRS 网络，再通过 GPRS 网络的 SGSN 和 GGSN 接入 Internet 网络，上位机监控中心与火区监测点之间通过 ZigBee 网络和 GPRS 网络实现无线远程通信，监控中心服务器再与 Internet 相连，让每一个 Internet 网络上的授权用户都可以访问它，同时 ZigBee-GPRS 网关也将温度数据以短信的形式发送到监控负责人的手机上，实现了基于 ZigBee 网络和 GPRS 网络的煤田火区钻孔温度远程实时在线监控。针对煤矿安全监控与应急响应的实际需求和应用环境，系统总体结构示意图如图 1 所示。

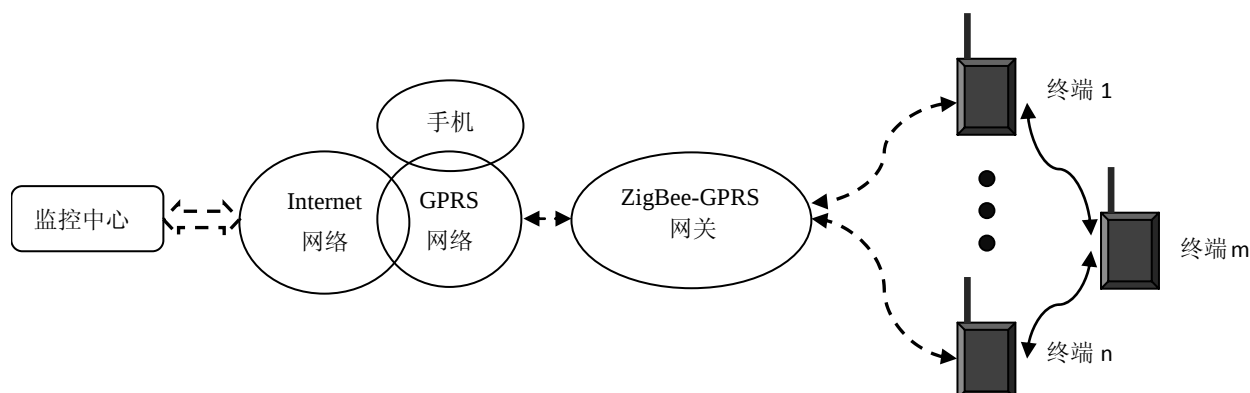


图 1 系统总体结构示意图  
Fig.1 System structure

## 3 系统的功能

煤田火区现场钻孔分布范围广且零散，无论是设备供电还是信号传输，采用有线方式均存在布线困难的问题。由于 ZigBee 技术和 GPRS 技术已经发展的非常成熟，GPRS 网络覆盖率已经相当高了，所以可以利用现有的资源，以最低的投资、最短的开发周期，建立一个煤田火灾无线自组网钻孔温度远程监控系统。

为了满足煤田火灾现场远程监控的要求，本系统要实现的功能如下：

(1) 远程联网功能：即能实现远距离的实时在线监控，无线测温终端无论在何处，要可靠地与系统保持实时连线状态。即：无线测温终端采集的数据传输方式要利用 ZigBee 无线自组网络和 GPRS 网络实现；

监控中心对无线测温终端的管理也要利用 ZigBee 无线自组网络和 GPRS 网络来实现。

(2) 监控数据处理功能：能及时了解无线传感器自组网络的状态，包括节点本身的能源、生存状况等。

(3) 自动、便捷报警功能：在系统监控过程中，如果出现温度和监测节点的现存能量值超过预警范围时，系统要及时做出反应，在监控中心服务器上报警提示，并通过声音、短信等形式向指定维护人员手机发出报警信息，以便采取措施，预防火灾的发生。

(4) 系统自诊断功能：使系统方便维护，提高可靠性。

(5) 数据共享功能：所测温度数据以及无线测温终端的工作状态可以传输到 Internet 上，可通过 Web 浏览器远程查询监测数据，实现多方远程数据共享。

(6) 显示功能: 图表或曲线显示、全部数据列表、单个监测节点历史数据列表, 故障列表显示。

(7) 权限设置功能: 权限设置分为一般操作员、管理员、超级系统管理员三种, 利用输入用户名和密码加以限制。

(8) 网络管理功能: 网关作为整个网络的控制中心, 通过 GPRS 网络, 实现 ZigBee 网络的连接与断开、终端节点的加入、删除、修改等操作功能。

(9) 扩展功能: 提供用户手机等其它 GSM 终端与系统的接口, 相关的控制信息可以传送到负责人手机上, 负责人手机也可以通过手机发送控制指令。监测节点要预留扩展接口, 方便系统的升级, 如提供与 CO、O<sub>2</sub> 等传感器的接口。

## 4 系统的监控机制

### 4.1 无线自组网络的监控机制

煤田火灾无线自组网钻孔温度远程监控系统是针对煤田火灾易自燃煤层需要监控的特定区域和生产参数而提出来的, 主要有两种模式的监控: 紧急时间的监控和长时间周期性的监控。当紧急事件发生时, 可以通过监控系统及时得到火区的信息。超限参数的信息必须在很短的时间内得到, 以便及时合理的采取措施来避免火灾的发生和险情的扩大。对于长时间周期性的监测而言, 无线测温终端按照预定的周期采集其钻孔内的温度, 然后自组网络的形式上传给 ZigBee-GPRS 网关。为了尽可能的降低功耗, 以延长无线自组网络的生命, 合理利用无线测温终端的三种工作状态: 睡眠、更新和激活。在睡眠状态中, 无线测温终端的收发器处于休眠状态, 微处理器和热电偶周期性的接通电源以便检测可能出现的温度异常情况。在状态更新中, 微处理器和无线收发器被打开, 热电偶是周期性接通电源模式。在激活模式中, 无线收发器、热电偶和微处理器都处于打开状态, 此时热电偶一方面输出采样温度数据, 另一方面利用无线收发器接收和传输数据。

无线测温终端一般都处于休眠状态, 周期性的接通热电偶, 对需要监测的钻孔温度进行数据采集。根据火区现场的实际情况, 预先设置一个预警值。如果采集到的数据没有超过该预警值, 无线测温终端就认为没有发生温度异常情况, 重新进入休眠的状态。否则, 如果采集到的数据超过该预警值, 无线测温终端就认为发生了紧急状况, 自动进入激活状态, 热电偶

就接通电源将采集的温度信息送给微处理器, 并向存储器记录数据; 另一方面还需要记录突发异常情况发生的本地时钟时间。通过无线自组网的形式再转发给 ZigBee-GPRS 网关。一旦紧急事件结束, 数据传输完后, 无线测温终端又重新回到休眠状态。在长时间监控过程中, 无线测温终端通常处于休眠状态, 每次在预先设定的时间间隔的固定时刻被唤醒, 然后进入更新状态。被唤醒的终端需要和无线自组网络的协调器节点进行同步, 然后检查所有调度更新。假如终端发现在下一个时间间隔内预先安排了监控状态, 它通过设置唤醒定时器来保证在调度时间内被唤醒, 并进入唤醒状态, 当终端和协调器节点的同步过程完成后, 它们就在预先设定的时间间隔内, 采用唤醒的状态传送采集的数据。在完成数据传输后, 节点重新回到休眠状态。

### 4.2 GPRS 网络的监控机制

ZigBee-GPRS 网关汇聚整个 ZigBee 网络中所有采集的温度数据, 并将这些数据以适当方式传递到 ZigBee 网络之外的 GPRS 网络中。GPRS 网络工作模式下, 模块启动后自动进行 GPRS 连接并登陆互联网, 建立 TCP 连接。短信工作模式下, 模块不启动 GPRS 连接, 将接收到的数据通过短信的方式发送到指定的号码中。

ZigBee-GPRS 网关一方面接收监控中心服务器下发的指令, 经过协议转换将数据通过串口发送给 ZigBee 模块, 一方面接收 ZigBee 模块传送的数据进行处理, 并通过 GPRS 模块发送给后台监控中心的服务器, 并记录读取时间。通过触摸屏按键修改网关某些特定参数, 如修改接收数据的远端服务器名称及用户 SIM 卡号等。输入远端服务器名称后, ZigBee-GPRS 网关将自动采集的所有数据以短信的形式打包发送到 GSM 基站, 然后再通过 GPRS 网络将数据报上传到 Internet 网络。输入 SIM 卡号后, 自动采集的所有数据以短信的形式发送到指定 SIM 卡号的手机端, 并在最后加入采集过程完成时的时间。

### 4.3 Internet 网络的监控机制

本监控系统由两个分监控系统组成: C/S 监控系统和 B/S 监控系统, 前者接收 GPRS 传送的现场监测节点的采样温度数据, 及时处理后放入数据库中, 而后者则从数据库中不断调用和检索这些数据, 并能以

网页的形式实时显示。Web 服务器可实现 Internet 网络监控人员登陆、工作参数查询和设置、拓扑显示、日志管理等基本功能。Web 服务器软件采用数据库服务器、用户会话服务、浏览器(操作系统自带)的三层 B/S 结构。其中用户会话服务由用户登录软件、用户会话软件、通信接口软件、配置服务器软件四个子软件组成。

数据库服务器使用和应用同一服务器,实现和应用服务器完全的数据同步和共享,用 Socket (套接字,用于描述 IP 地址和端口,是一个通信链的句柄。应用程序通常通过"套接字"向网络发出请求或者应答网络请求)通讯。用户登录软件主要完成监控人员登录鉴权功能。监控人员登录软件通过浏览器提供一个用户登录的初始界面,用户通过浏览器输入 Web 服务器网络地址,Web 服务器返回用户登录界面,该界面实现对用户账号和密码的验证和鉴权,对通过鉴权的登录用户分配相应的权限级别。该软件从功能上看,是用户通过浏览器接入 Web 服务器的唯一入口,通过该入口可以接入用户会话软件,完成监测数据的查询和设置功能,以及报警记录与操作日志记录查询等;同时通过该软件允许和 Web 服务器同一 IP 地址的浏览器接入配置服务器软件,完成配置 Web 服务器运行的通讯参数和指定数据库的地址、用户等。

## 5 系统的现场应用

### 5.1 系统的应用环境

煤田自燃煤层的温度能直观地反映煤田煤层的燃烧演变过程,是表征煤层燃烧程度的重要指标。煤炭自然过程是一个包含着复杂化学反应的质量、动量、能量

的传递过程,必然会释放大量的热量,引起温度场的变化。于是,温度场监测便成为寻找火源位置的一个重要途径。温度场检测法是利用温度传感器在煤田火区钻孔中或井下进行温度测量。通过对大量测温数据的分析和研究,建立描述火区温度场主要特征的温度场模型,进而用有限元或有限差分法等数值计算方法求解反问题,确定火区火源位置,亦可用于煤炭自燃预报。由于岩石的热容值较高,有时火区地表温度高达数百摄氏度,人无法接近需要探测的高温火区,大范围的煤田火区势必工作量较大、成本较高、测控范围较小,安装、维护工作量大,特别是经常搬运和移动,探头引线极易破坏,在实际应用中受到技术和经济的限制,不宜大面积煤田探火采用。目前还没有很好的方法和技术能解决大面积煤田火区钻孔温度的监测和预警。另外煤田自然发火区域有隐蔽性、着火点分散、被测点多、距离远等特点,使得对煤田火区的管理和监测非常困难。

本系统主要是针对目前煤田火灾自燃煤层温度场监测的难题而提出的,适用于煤田火源埋藏深度浅及火源埋藏很深的火区、火源温度高或已燃烧较长时间的火区,如露头火、浅层易自燃煤层、深层易自燃煤层等,如下图 2 所示为中煤平朔一号井工矿区露天矿煤田火灾钻孔温度监测现场,ZigBee 技术和 GPRS 技术的优势互补,短距离采集与远程传输相结合,实现了煤田火区无人值守的实时在线远程监测,大大节省了系统的成本,是一个非常理想的解决方案,该系统在现场可以实时监测煤田自然发火区域钻孔温度变化情况,同时亦可检验煤田火灾的治理效果。





图2 露天矿煤田火灾钻孔温度监测现场

Fig.2. The coalfield fire borehole temperature monitoring field of the open-mine

## 5.2 系统的现场布置方法

根据煤田自然发火区域的地理特征和面积,在需要监测的煤田自然发火区域设定需要监测的若干钻孔,火区内的定期观测孔按煤层走向线性布设,观测孔半径 20m,每个钻孔安装无线测温终端,将热电偶连接 K 型耐高温延长型补偿导线,然后插入钻孔中,插入钻孔的深度范围为 3~200m。无线测温终端置于被测钻孔的端部,为了避免钻孔内温度场受外界环境影响,需采取措施将被测钻孔封闭。为了避免外界环境对 ZigBee-GPRS 网关的影响,需采取防水、防晒、抗干扰等措施。

系统平台主要包括无线测温终端、ZigBee-GPRS 网关、手机、远程监控中心、ZigBee 无线自组网络、GPRS 网络和 Internet 网络,在煤田火区现场的布置如下 3 图所示。最底层为部署在实际煤田火区监测自燃煤层中的无线测温终端和 ZigBee-GPRS 网关,向上依次为 GSM 网络、GSM 基站、SGSN 网络、GGSN 网络,最终连接到 Internet 网络。为了保证采集数据的准确性及系统的健壮性,在若干个不相邻的监测区域内密集的分布着大量的无线测温终端,形成无线传感器自组网络。

煤层火区温度的变化会影响测温孔内的温度变化,当测温孔温度变化时,无线测温终端节点的热电偶的热电势会发生相应的变化,热电偶输出的热电势信号经过处理后转换为温度的数字信号,ZigBee 无线传输模块将采集的温度信息周期性地通过无线自组网的形式实时传送到 ZigBee-GPRS 网关(负责完成数据的收发、远传、数据处理、存储和网络状态的监控,具备数据实时显示,发送短信的功能),ZigBee-GPRS 网关与 GSM 基站通信(通过 GSM 网络将温度信息定

时以短信的形式发送监控人员手机上),GPRS 分组数据从 GSM 基站发送到 SGSN,SGSN 与 GGSN 进行通信,GGSN 对分组数据进行相应的处理,再发送到连接 Internet 的远程监控中心服务器。监控中心服务器发送数据到无线测温终端,先将标识有终端地址的数据报发送到 GGSN,再转发到 SGSN,继而传送到 ZigBee-GPRS 网关,最后通过无线自组网络形式发给无线测温终端。

## 5.3 现场应用分析

目前,该系统已经经过调试,开始进入实用阶段,2009 年 4 月受中煤安家岭煤业矿联公司委托,西安科技大学、西安森兰科贸有限责任公司于 2009 年 5 月 16 日至 7 月 31 日在中煤平朔煤业有限责任公司利用该系统监测平朔一号井工矿 9003、9004 工作面 4#煤层火区。利用网络发布程序,实现数据在网络上的实时显示和监测。整个系统运行状况基本稳定,经过反复调试,从硬件和软件上对系统做了多次改进,提高了系统的稳定性和可靠性。同时对系统的功能也在不断的进行完善,在仅能采集温度数据信息的基础上,提供历史数据查询、超限报警、曲线分析、数据下载和打印等功能。借助该系统获取了煤层自然发火区域内所打钻孔内的温度及温度场变化趋势,给灭火工程设计、监测预警、工程监理、监管和火灾治理效果考察提供可靠的依据,系统准确、清晰的监测出火区治理前后的温度变化情况,较好的检验了 9003、9004 工作面上部 4#煤层火区治理工程的效果。利用该系统能方便有效地监控和管理煤矿的安全生产,并通过服务器形成各种历史数据图表,组成灵活方便的画面组态,随时观察各钻孔温度参数的

变化情况,对突发情况做出迅速的应急反应,根据各节点相对应的钻孔标号,发现异常情况及时发出预警信号,地面监控中心可以通过煤矿内部专用局域网与集团公司的总控制中心互连,实现总控制中心对各个煤矿的安全生产的实时监控与调度。完成对该火区的实时监控和控制,也可以检验煤田火灾注胶灌浆的治理效果,使管理人员能够随时掌握煤

层火区高温点的分布情况及温度变化趋势,以便于合理地进行火灾防治和安排注胶灌浆的任务。当煤层火区监测区域发生异常高温点时,灭火队人员也可以根据本系统所提供的数据和信息,迅速了解火区的位置情况,及时采取相应的灭火措施,提高灭火工作的效率。

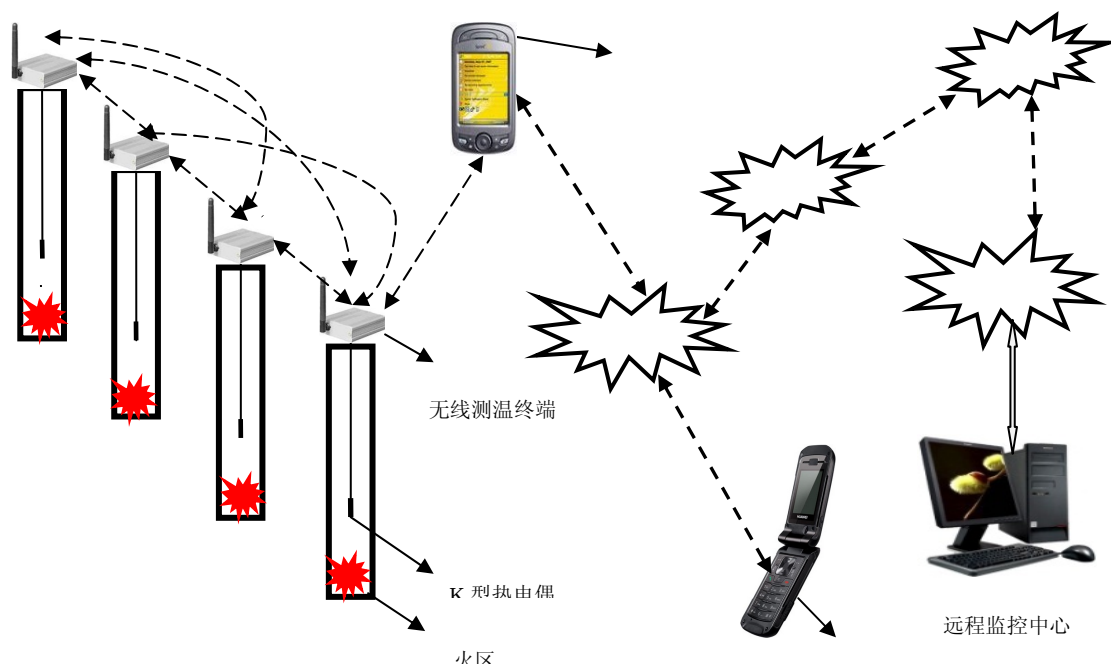


图3 系统的现场布置示意图  
Fig.3. The site layout sketch map of the system

## 6 结语

(1) 设计了一种基于 ZigBee 技术和 GPRS 技术的煤田火灾无线自组网钻孔温度远程监控系统,结合 Internet 技术、控制网络和信息网络技术,设计了一种适合对煤田火灾钻孔温度进行监测和管理的系统。

(2) 本系统主要具有数据采集与传送、数据分析与处理、数据存储与检索、数据曲线显示与打印输出、实时控制以及报警等功能,并在 Internet 上提供了实时、历史数据查询和下载服务,方便系统分析人员的分析决策。另外,系统还实现了对系统人员的管理,包括用户的登陆身份验证、用户的详细信息管理、用户管理权限的分配等功能。

(3) GPRS 技术与 ZigBee 技术相结合,可以有效解决钻孔温度数据的短距离采集与远程传输,改变了传统无线传感网络需要依托有线公共网络进行数据传输的限制,符合远程监控系统的设计理念。

(4) 本系统能有效地解决传统煤矿安全监控系统中有

线数据传输方式连线多、可扩展性差、不兼容、需要复杂的施工要求、不能提供实时预警等问题,具有通信可靠、投资少、利于扩展、工作量小等优点。

(5) 本系统具有很好的适应性,稍加改造也可应用于其它需要无线远程监控的场合,因此,本研究不仅具有实践意义,而且也为未来无线监测节点的智能化和多功能化提供一些参考和借鉴。

## References (参考文献)

- [1] Wang Cai-ping, Wang Wei-feng, Qu Li-na etc.. Research progress and development trends of monitoring and early-warning technology of Coal spontaneous combustion[J]. Shaanxi Coal, 2009, 3.
- [2] Chen Xiao-kun, Wang Wei-feng, Deng Jun, Jin Yong-fei, Zhang Xin-hai. Research and Application On the Wireless Ad-hoc Networks Borehole Temperature Remote Monitoring System for the Coalfield Fire[J]. The Second International Conference on Coal Fire Research, 2010, 5.