

国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

煤矿灾害防控新技术丛书

王刚 丁思杰 等 编著

# 矿山物联网 安全感知与预警技术

 煤炭工业出版社

煤矿灾害防控新技术丛书

# 矿山物联网安全感知与预警技术

王 刚 丁恩杰 等 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山物联网安全感知与预警技术 / 王刚, 丁恩杰等编著. --北京:  
煤炭工业出版社, 2017

(煤矿灾害防控新技术丛书)

ISBN 978-7-5020-5671-1

I. ①矿… II. ①王… ②丁… III. ①互联网络—应用—矿山  
安全—安全管理—研究 ②智能技术—应用—矿山安全—安全管理—  
研究 IV. ①TD7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 323477 号

矿山物联网安全感知与预警技术 (煤矿灾害防控新技术丛书)

编 著 王 刚 丁恩杰 等

责任编辑 闫 非

编 辑 刘 鹏

责任校对 尤 爽

封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010-84657898 (总编室)

010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京玥实印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 字数 421 千字

版 次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 8534 定价 125.00 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,电话:010-84657880

## 内 容 提 要

安全科技进步和技术创新是提高煤矿安全生产防、管、控能力的重要保障。针对矿山物联网技术已取得的研究成果及其在矿山安全感知的应用,本书从“感、传、知、用、管”五个层面,介绍了矿山物联网体系下矿山监测数据的获取、传输、处理、利用和管理方法,及其在矿山物联网感知与预警技术方面引入的技术变革。包括综合自动化与矿山物联网的基本概念、区别与联系,矿山物联网平台和数据采集、传输和处理技术,矿山物联网的各个应用子系统,矿山物联网在人员、设备、灾害三个方面的感知与预警技术,矿山物联网技术在山煤集团霍尔辛赫煤矿和兖矿集团兴隆庄煤矿的两个典型应用。

本书在内容上力求反映当前矿山物联网安全感知领域所取得的技术成果和发展前景,可作为科研工作者的参考用书。

# 前言

安全科技进步和技术创新是提高煤矿安全生产防、管、控能力的重要保障。目前的煤矿安全生产主要从两方面着手：第一是预防，主要是采取措施不让事故发生；第二是救援，也就是发生了事故后要采取一切办法将事故损失降低。实际上在这两方面中还存在工作人员自我保护的问题，特别是非正常情况下的井下人员定位和无线联络的问题，这是目前的技术难点，也是安全生产中最重要的环节，只有解决了这个问题，人、机和周围的环境才能连为一体。

矿山物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装置对矿山的物理世界进行感知与识别，通过网络实现传输与互联，并进行计算、处理和知识挖掘等，实现矿山人与物、物与物等信息的交互和无缝链接，达到对矿山物理世界进行实时控制、精确管理和科学决策的目的。

煤矿综合自动化实现了应用系统的网络化集成，但是应用系统之间的联动与信息融合、决策融合还没有开展。矿山物联网在煤矿综合自动化建设的基础上，建成一个统一的网络平台（骨干网络平台、无线网络平台），通过感知矿山灾害风险，实现各种灾害事故预警预报；感知矿工周围安全环境，实现主动式安全保障；感知矿山设备工作健康状况，实现预知维修，达到保障煤矿安全生产的目的。

矿山物联网应用模型由中国矿业大学物联网（感知矿山）研究中心结合“综合自动化”架构，于2010年在感知矿山总体规划中首次提出，研发人员对矿山物联网关键技术和产品进行研发，提出“三个感知”思想，研发了感知井下人员周围环境的国内首个智能矿灯、无线AP等相关产品，研究成果在徐矿夹河煤矿、山煤霍尔辛赫煤矿以及其他企业合作项目中推广。针对煤矿安全生产的需求，以物联网技术为手段，以综合自动化为实施基础，以“三个感知”为重点研究方向，解决了在感知矿山物联网系统架构、感知网络关键技术研究、时空信息集成交换技术、井下移动目标连续定位等方面的一些关键技术难题，提高了矿井安全水平。

针对矿山物联网技术已取得的研究成果及其在矿山安全感知的应用，本书

从“感、传、知、用、管”5个层面，介绍了矿山物联网体系下矿山监测数据的获取、传输、处理、利用和管理方法，及其在矿山物联网感知与预警技术方面引入的技术变革。在内容上力求反映当前矿山物联网安全感知领域所取得的技术成果和发展前景，可供科研工作者参考。

本书由中国矿业大学物联网（感知矿山）研究中心王刚、丁恩杰等编著。各章节具体分工如下：第1章、第3章、第5章、第7章、第12章由王刚编著；第2章由陈尚卿编著；第4章由杨丽娟编著；第6章由宁永杰编著；第8章和第11章由丁恩杰编著；第9章由于嘉成编著；第10章由王前编著。

限于作者水平，书中可能存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2017年4月

目次

|     |                             |     |
|-----|-----------------------------|-----|
| 1   | 矿山物联网与矿山安全 .....            | 1   |
| 1.1 | 矿山安全监测技术 .....              | 1   |
| 1.2 | 物联网与矿山物联网 .....             | 1   |
| 1.3 | 矿山物联网应用模型 .....             | 2   |
| 1.4 | 矿山物联网关键技术 .....             | 4   |
| 1.5 | 感知矿山物联网愿景与发展趋势 .....        | 5   |
| 2   | 矿山综合自动化系统 .....             | 11  |
| 2.1 | 矿山综合自动化与矿山安全 .....          | 11  |
| 2.2 | 矿山综合自动化的设计原则和结构形式 .....     | 13  |
| 2.3 | 网络传输平台 .....                | 17  |
| 2.4 | 集成监控平台 .....                | 20  |
| 2.5 | 矿山综合自动化子系统 .....            | 24  |
| 2.6 | 调度大屏系统 .....                | 32  |
| 2.7 | 数字工业电视 .....                | 34  |
| 3   | 矿山物联网信息集成交互平台与分布式测量网络 ..... | 37  |
| 3.1 | 矿山物联网信息集成交互平台 .....         | 37  |
| 3.2 | 无线感知网络 .....                | 39  |
| 3.3 | 矿山分布式监测系统 .....             | 45  |
| 3.4 | 矿山授时系统 .....                | 46  |
| 4   | 矿山物联网数据采集技术 .....           | 50  |
| 4.1 | 压缩感知技术 .....                | 50  |
| 4.2 | 数据采集系统 .....                | 76  |
| 4.3 | 数据采集系统分类 .....              | 78  |
| 5   | 矿山物联网数据传输技术 .....           | 82  |
| 5.1 | 动态自组织数据传输技术 .....           | 82  |
| 5.2 | 分层数据传输技术 .....              | 94  |
| 6   | 矿山物联网数据处理技术 .....           | 100 |
| 6.1 | 物联网数据处理技术研究现状 .....         | 100 |

|      |                            |     |
|------|----------------------------|-----|
| 6.2  | 矿山物联网数据融合处理技术 .....        | 100 |
| 6.3  | 矿山物联网大数据处理技术 .....         | 104 |
| 6.4  | 矿山物联网数据处理算法 .....          | 122 |
| 6.5  | 矿山物联网数据处理技术的发展 .....       | 130 |
| 7    | 矿山物联网应用子系统 .....           | 131 |
| 7.1  | 信息联动系统 .....               | 131 |
| 7.2  | 移动目标连续管理系统 .....           | 135 |
| 7.3  | 运行维护管理系统 .....             | 138 |
| 8    | 矿山物联网人员感知与预警技术 .....       | 141 |
| 8.1  | 人员感知终端——智能矿灯 .....         | 141 |
| 8.2  | 人员定位技术 .....               | 149 |
| 9    | 矿山物联网设备感知与预警技术 .....       | 166 |
| 9.1  | 矿山设备状态监测与故障诊断 .....        | 166 |
| 9.2  | 矿山设备模式库 .....              | 168 |
| 9.3  | 矿山设备诊断方法 .....             | 170 |
| 9.4  | 矿山设备动态管理技术 .....           | 185 |
| 9.5  | 矿山设备再制造技术 .....            | 190 |
| 9.6  | 矿山设备远程诊断系统的设计 .....        | 194 |
| 10   | 矿山物联网灾害感知与预警技术 .....       | 198 |
| 10.1 | 矿山物联网瓦斯灾害与预警技术 .....       | 198 |
| 10.2 | 矿山物联网突水灾害与预警技术 .....       | 213 |
| 10.3 | 矿山物联网矿震灾害与预警技术 .....       | 221 |
| 11   | 矿山物联网示范工程 .....            | 230 |
| 11.1 | 徐矿集团夹河煤矿智慧矿山物联网示范工程 .....  | 230 |
| 11.2 | 山煤集团感知矿山（霍尔辛赫）国家示范工程 ..... | 232 |
| 11.3 | 矿井综合自动化三维可视全息系统 .....      | 238 |
| 11.4 | 矿井通风机智能监测及故障诊断系统 .....     | 240 |
| 12   | 基于无线传感网络的选煤厂设备点检系统 .....   | 244 |
| 12.1 | 总体方案设计 .....               | 244 |
| 12.2 | 硬件设计 .....                 | 246 |
| 12.3 | 软件设计 .....                 | 255 |
| 12.4 | 系统主要功能与特点 .....            | 265 |
|      | 参考文献 .....                 | 268 |

# 1 矿山物联网与矿山安全

## 1.1 矿山安全监测技术

我国是世界上灾害最严重的国家之一,在众多灾害中,矿业事故灾害位居第二。近年来各种矿难频发,特别是突出和爆炸事故时有发生。2002年,我国煤炭产量1.4 Gt,煤矿安全生产事故4344起,死亡6995人,百万吨死亡率高达4.94。到2013年,全国煤炭产量3.68 Gt,事故起数下降到604起,死亡人数下降到1067人,百万吨死亡率下降到0.29。2014年,我国煤矿等重点行业领域安全生产状况进一步好转,煤矿事故起数和死亡人数同比分别下降16.3%和14.3%,重特大事故同比分别下降12.5%和10.5%,但煤矿安全生产问题目前并没有得到根本性解决,重大伤亡事故时有发生。

安全科技进步和技术创新是提高煤矿安全生产防、管、控能力的重要保障。煤矿安全监控系统是指对井下、风速、一氧化碳、烟雾、温度等环境参数和矿井生产、运输、提升、排水等环节的机电设备工作状态进行检测和控制,用计算机分析处理并取得数据的一种系统。我国常用的安全检测系统较多,如KJ2、KJ4、KJ8、KJ10、KJ13、KJ19、KJ38、KJ66、KJ75、KJ80、KJ90、KJ95、KJ2000等。现有的煤矿安全监控系统一般由四部分组成:①检测主站;②检测主机(包括应用软件、计算机以及外围设备等);③检测分站(包括传输接口、传输线以及接线盒等);④传感器和执行机构。

检测主机可以直接作为检测主站,当使用网络交换机时,检测主机也可以通过交换机连接检测主站。检测主站可将各个检测分站的信息通过交换机送到专用的检测服务器。安全监控系统可以为各级生产指挥者以及业务部门提供环境安全参数动态信息,通过为指挥生产提供及时的现场资料和信息,便于提前采取相关防范措施。

《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》(AQ 1029—2007)规定了煤矿安全监控系统及检测仪器的装备、设计和安装,传感器设置、使用与维护,系统及联网信息处理,管理制度与技术资料等要求。如甲烷传感器应该垂直悬挂,距离顶板距离不得大于300 mm,距离巷道侧壁(墙壁)距离不得小于200 mm,并且应该安装和维护方便,不影响行人和行车等。

目前的煤矿安全生产主要从两方面着手:第一是预防,主要是采取措施不让事故发生;第二是救援,也就是发生了事故后要采取一切办法将事故损失降低。实际上在这两方面中间还存在工作人员自我保护的问题,特别是非正常情况下的井下人员定位和无线联络的问题,这是目前的技术难点,也是安全生产中最重要的一环,只有解决了这个问题,人、机和周围的环境才能连为一体。

## 1.2 物联网与矿山物联网

物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸,它利用感知技术与智能装置对物理

世界进行感知识别,通过网络传输互联进行计算、处理和知识挖掘,实现人与物、物与物信息交互和无缝链接,达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

随着物联网技术的发展,国内外很多国家都将物联网视为新的技术创新点和经济增长点。国际上,包括加州大学伯克利分校、麻省理工学院、Crossbow Technology 公司等众多美国高校以及企业对物联网技术提出了相关解决方案,并开发了相应产品。2009 年日本政府将 2004 年推出的“u-Japan”计划升级为“i-Japan”计划,致力于构建一个智能的物联网服务体系。与此同时,韩国、法国、德国等国家也加快部署物联网发展战略。在我国,中国科学院上海微系统与信息技术研究所、宁波中科、北京邮电大学、南京邮电大学以及无锡市国家传感网信息中心等科研院所对物联网体系架构及软硬件开发进行了相关研究。随着“中国制造 2025”“互联网+”和“工业 4.0”的发展,物联网技术的发展已进入一个新的转折点。

矿山物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸,它利用感知技术与智能装置对矿山的物理世界进行感知与识别,通过网络实现传输与互联,并进行计算、处理和知识挖掘等,实现矿山人与物、物与物等信息的交互和无缝链接,达到对矿山物理世界进行实时控制、精确管理和科学决策的目的。其最终目的是实现矿山透明化和绿色开采。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》指出,要重点研究煤矿等生产事故的监测、预警、预防技术,提高早期发现与防范能力;要研究基于知识的建模,实现复杂系统和重大设施的安全预测。

随着信息技术在矿山企业的不断应用和深化,矿山安全生产的自动化水平、监测监控能力、信息化程度在不断提高,但在矿山安全生产监控及灾害风险预警中仍存在诸多问题:缺乏应用信息融合、缺乏多尺度信息模型、缺乏全方位的产品检测手段。这些缺点使得现有矿山物联网不能有效感知监测各种危险源,不能及时进行预防预控,不能实现各种设备间的互联互通,不能及时展开应急救援等。

矿山物联网以其特有的“感、传、知、用”优势和解决方案,为用现代科技保障煤炭绿色开采和安全利用,提供了有效感知手段和网络基础。通过构建有线、无线一体化无线多媒体统一传输平台与矿井分布式测量网络,以及感知井下人员周围环境的智能矿灯,可将安全信息实时通知到每个矿工,实现了煤矿井下人、机和环境的有效融合,对解决矿井工作人员的自我安保难题实现了突破。通过对矿山地面变形、沉降、单一巷道、岩层层面,以及井上下、煤层群体变化、岩层移动、突出等动力灾害分别研究不同维度的建模方法、不同维度建模方法之间的耦合关系、基于时间序列的模型分析方法;通过大数据分析、解算,研究基于时间的矿山开采演变规律,实现矿山智能分析与超前决策,为矿山绿色智能开采提供知识和机理保障。借助矿山物联网向智慧物联网和“互联网+”过渡,使得矿山系统从黑色矿山逐步向灰色矿山、透明矿山过渡。

### 1.3 矿山物联网应用模型

矿山物联网是煤矿信息化的高级阶段。煤矿综合自动化实现了应用系统的网络化集成,但是应用系统之间的联动与信息融合、决策融合还没有开展。矿山物联网在煤矿综合自动化建设的基础上,建成一个统一的网络平台(骨干网络平台、无线网络平台),通过感知矿山灾害风险,实现各种灾害事故预警预报;感知矿工周围安全环境,实现主动式安

全保障；感知矿山设备工作健康状况，实现预知维修，达到保障煤矿安全生产的目标。

图 1-1 所示为矿山物联网应用模型。矿山物联网应用模型是中国矿业大学物联网（感知矿山）研究中心结合“综合自动化”架构，在感知矿山总体规划中首次提出。它是一个开放性模型，并与矿山综合自动化一脉相承，表现在：①完整的物联网体系；②可伸缩的结构；③完全兼容综合自动化系统和煤矿信息化系统；④完善的感知层网络。其中，利用宽带无线网络建立的覆盖煤矿井下，并与 1000M 工业以太网相结合的感知层网络，可实现包括无线数据、无线语音、无线视频等无线多媒体的统一传输。通过将无线网络覆盖到主要大巷、采煤工作面、掘进工作面、车场以及井上重点工作区域等地点，并根据地质、巷道结构特点以及矿区生产带来的巷道结构改变自适应优化，即可满足无线覆盖和网络动态拓扑要求。智能矿灯作为一种可佩戴设备，通过矿工随身携带，可实时帮助矿工了解自身所处环境特征。通过所安装的相关传感器，可采集环境温度、甲烷浓度值、井下人员的健康状况等信息，并可将采集的信息通过无线网络传输给中央调度室。智能矿灯可以通过短消息与调度室进行通信，并具有人员实时定位功能。在紧急情况下，调度室也可通过此终端下达人员撤离等重大指令。通过智能矿灯在矿山使用，可将安全信息实时通知到每个矿工，实现了井下人员对周围环境信息的感知，以及煤矿井下人、机和环境的有效融合。

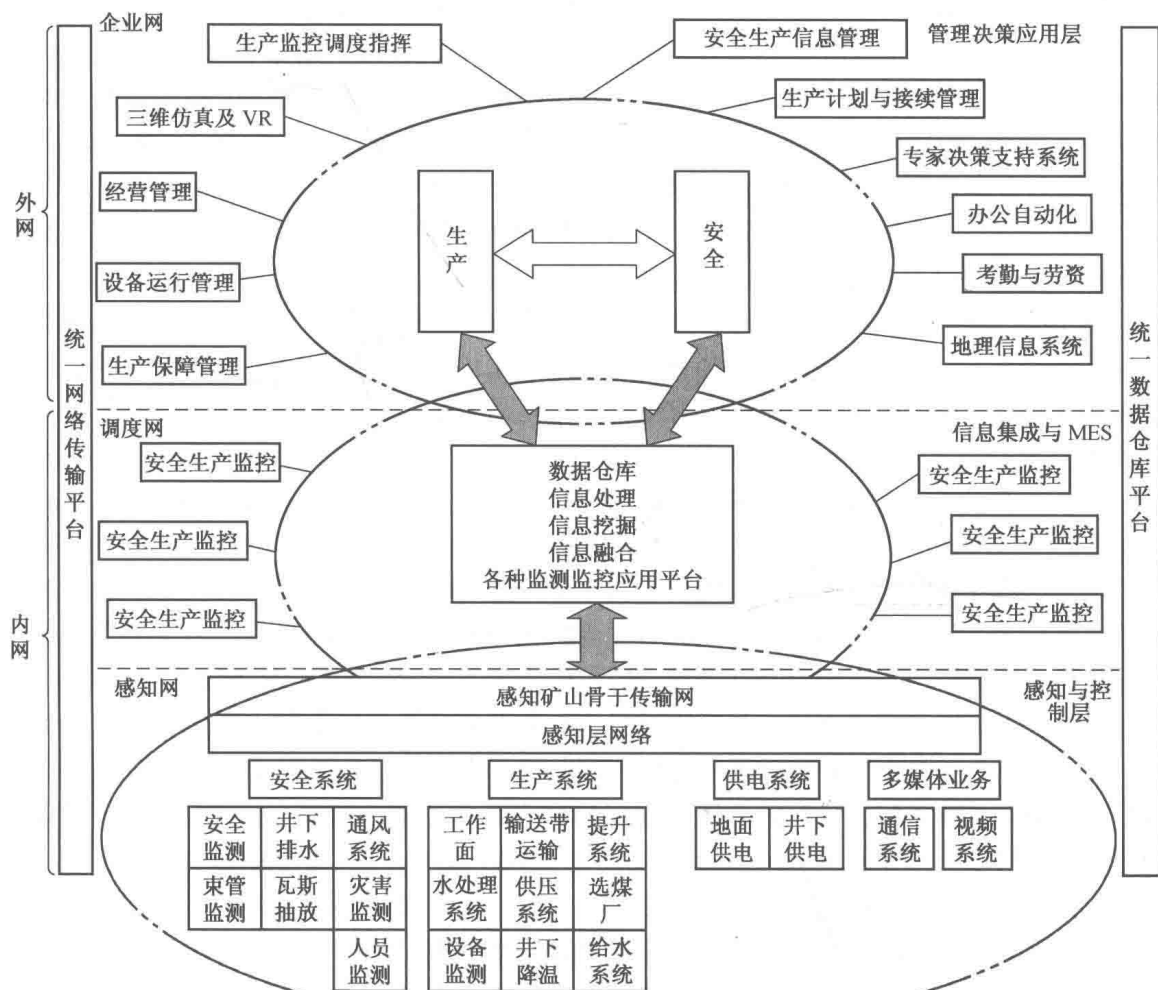


图 1-1 矿山物联网应用模型

矿山物联网应用系统包括：井下人员环境感知系统、设备健康状态感知系统、矿山灾害感知系统、骨干及无线感知网络、感知矿山信息集成交换平台、感知矿山信息联动系统、基于地理信息系统的井下移动目标连续定位及管理系统、基于虚拟现实的矿山感知信息三维展示平台和感知矿山物联网运行维护管理系统等。

## 1.4 矿山物联网关键技术

矿山物联网关键技术框架包括感知层技术、网络层技术、应用层技术和公共技术。

### 1.4.1 感知层关键技术

感知矿山物联网的感知层包括数据采集技术与接入技术 2 个子层。这里的数据采集是广义的，包括采集煤矿生产过程中发生的物理事件和数据，生产与安全的各类物理量、标识、音频、视频数据，还包括对各种监测监控系统的使用数据，即反馈控制数据，这通常由执行器完成。

感知矿山建设中的 3 个感知，即感知矿山灾害风险、感知矿山设备工作健康状况、感知矿工周围安全环境主要是在这一层实现。而现有的综合自动化系统存在的最大问题恰恰就是感知层的问题，在综合自动化系统中基本没有能适应煤矿动态开采的感知层平台的存在，缺失这样的感知环境，就不能实现物与物相联，也不能实现感知矿山。

这是由于矿山灾害发生的区域和时间均具有未知性，并且矿山处于动态开采过程中。要感知这些灾害产生的前兆信息，只能采用符合矿山生产特点的基于无线传感器网络的分布式、可移动、自组网的信息采集方式。同时，应从传感器原理、检测方法、矿山灾害发生机理等多方面进行研究，以解决矿山特殊环境条件下的安全信息感知和采集方法的问题，解决矿山复杂环境条件下的传感技术抗干扰和灾害源定位的问题，解决灾害准确预警与灾害源定位的问题，研究环境的动态、网络化监测问题。

感知层中的接入技术主要是为各种分布式、移动传感器、RFID 以及其他生产与安全设备提供接入主干网的环境，主要分为有线接入和无线接入两种方式。有线接入可以是综合自动化系统采用的通过子系统接入方式，也可以是分布式接入方式。无线接入基本是分布式接入。

目前，煤矿井下无线信道有移动通信的 WiFi 网络、PHS 网络，还有 WSN 网络、人员定位的 RFID 网络等。这些网络存在的主要问题：覆盖区域有限，存在监测盲点，不利于安全与减灾信息的监测；信道容量低，不利于多种信息的宽带综合应用；种类单一、重复建设，通常无线通信、人员定位、工况与环境监测分别使用不同的覆盖网络，不能形成一个统一的感知网络，这不符合物联网统一应用的要求。

此外，采煤机、液压支架、刮板输送机、矿车等金属设备与煤壁、巷道等复杂环境使得矿山井下成为一种受限异质时变的通信空间。构建真正符合井下需求的无线覆盖网络需要开发新型的无线系统，现有的短距离无线组网方式均不能适应煤矿井下长距离、多跳、宽带、自组网、低功耗的要求。

### 1.4.2 网络层关键技术

网络层分网络传输平台和应用平台 2 个子层。网络传输平台就是感知矿山物联网的主干网，利用工业以太网技术、煤矿移动通信技术、M2M 技术以及矿山 6Low PAN 技术，把感知到的信息实时、无障碍、高可靠性、高安全性地传送。因此，需要进一步研究传

传感器网络与移动通信网络技术、工业控制以太网技术、RFID 以及其他数据集成技术。

应用平台主要实现各种数据信息集成,包括统一数据描述、统一数据仓库、数据中间件技术、虚拟逻辑系统构建等。在此基础上,构成服务支撑平台,为应用层各种服务提供开放的接口。应用平台是将服务与网络元素解耦的核心,也是能够提供方便、快捷部署逻辑子系统的核心所在。M2M 技术的核心就在于能为服务商或第三方提供方便的接入服务,它也是感知矿山物联网区别于综合自动化的关键点之一。

#### 1.4.3 应用层关键技术

应用层分为以下 2 个内容:

一是综合自动化中的内容,即对矿山各生产安全子系统的实时监控,保障矿山的正常运行。

二是高层应用,即管理决策与应用,这主要是各种软件应用模块。矿山及相关现象的信息在中间层得到提升后,为了利用这些信息去动态详尽地描述与控制矿山安全生产与运营的全过程,保证矿山经济的可持续增长,保证矿山自然环境的生态稳定。它可用于矿山安全生产形势评估、煤矿灾害预警与防治、煤矿安全隐患排查、矿山资源环境控制及评价、煤矿供应链管理、大型设备故障诊断、实现对整个矿山的优化管理与安全动态跟踪等。根据矿山的实际应用不同,这些模块是可增减的。

#### 1.4.4 公共技术

公共技术不属于矿山物联网技术的某个特定层面,它与物联网技术架构的三层都有关系,包括公共中间件技术、标识与解析技术、安全技术以及各层的规范和标准等。

### 1.5 感知矿山物联网愿景与发展趋势

矿山信息化技术的发展经历了单机自动化、矿山综合自动化以及现在的感知矿山物联网。矿山信息化发展本质上就是一个矿山信息技术与矿山物理世界相融合的过程,其高层目标就是矿山信息物理系统。2015 年 3 月 5 日十二届全国人大三次会议上,李克强总理提出“中国制造 2025”和“互联网+”行动计划,推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等与现代制造业结合,促进工业互联网健康发展。“物联网+工业”即是运用物联网技术,使得工业企业将机器等生产设施接入互联网,构建网络化物理设备系统,进而使各生产设备能够自动交换信息、触发动作和实施控制。目前,矿山综合自动化系统实现了矿山已有各种监测监控系统的网络化集成,实现了数据、语音及视频传输的“三网合一”,一些大型矿山基本实现了用统一的数据库来存储各种子系统的数据,具备矿山物联网实现的基础。矿山物联网自 2010 年诞生以来,已发展到一个新的转折点。随着“中国制造 2025”“互联网+”和“工业 4.0”的发展,有必要对矿山物联网发展趋势进行梳理,以便洞悉矿山信息化技术的发展历程,更好地为煤矿安全生产技术服务。

#### 1.5.1 感知矿山愿景

矿山综合自动化实现了矿山已有各种监测监控系统的网络化集成,但是仍然存在感知手段传统单一、缺乏泛在感知网络等一系列问题。矿山物联网以其特有的“感、传、知、用”优势和解决方案,为用现代科技保障煤炭绿色开采和安全利用提供了有效感知手段和网络基础。然而,矿山由于缺少深层次模型,使得连接在系统上的计算机仍不能直接理解采集的信息和信息之间的逻辑关系,各系统采集信息仍需要人工分析,无法实现直接对话

义信息的理解和运行控制, 矿山物联网涵盖范围要在传感网的基础上向智能化的信息处理发展。

感知矿山最终实现矿山物物相连, 各个系统通过网络实现了信息共享, 使得矿山系统从黑色矿山向灰色矿山、透明矿山过渡, 矿山安全得到很大提高。物物相连的平台实现了数据的汇聚, 矿山物联网演化为提供时空一体矿山服务的平台, 并借助于其涉及的领域、产业链特点, 将传感器、芯片业、设备制造业、信息产业等纳入其中, 并通过平台提供供求双向信息, 最终形成一个需求牵引的层次化产业。

### 1.5.2 变化一——层次架构

OSI (Open System Interconnection) 参考模型是国际标准化组织制定的一个用于计算机或通信系统互联的标准, 一般称为 OSI 参考模型或七层模型, 这是一个垂直分层结构。这里指的层次架构是根据各个设备在网络中的地位和作用, 对网络进行的水平分层。

煤矿综合自动化系统是矿井监测、报警、生产操作一体化的系统, 系统由应用层、网络层、物理层三层结构构成。在层级化网络结构中, 各个网元各司其职, 属于一种集中式管理的模式, 网络的扩展性不够灵活, 单点故障及拥塞等问题在所难免。思科可视网络指数 (VNI) 预测 2019 全球 IP 流量预计将达 2ZB, 到 2020 年则会达到约 500 亿的互联设备的增长。这些变化带来了全新的应用实例和服务机会, 并会对网络和存储产生前所未有的需求。传统的层级化网络架构已经不能很好地适应物联网这种快速、大通量服务的要求。应用需求的分布化正驱使着网络功能向边缘靠近。上海贝尔股份有限公司的徐峰等针对移动运营商的全扁平化的架构演变提出了一种基于同质化单节点的全扁平化网络架构, 通过改变通信网络架构, 提升整个基础设施的可编程性和灵活性, 以应对预期中的数据流量在规模及复杂性方面的增长。

随着矿山物联网技术的发展, 矿山实时监测数据量的急剧增长, 传统的层次架构同样不能很好地适应矿山大数据的发展。全扁平化的网络组网方式由于可以减轻骨干网的负荷, 具有较好的发展潜力。随着电子技术发展, 网络设备处理能力变强, 没必要布置更多汇聚节点, 分散管理。可通过将网络设备容量增大, 减少节点数量, 实行统一管理和维护, 这就是网络扁平化的趋势。相比传统层次化网络, 扁平化网络架构使得矿山工业控制更加精细化和智能化、各个监测系统部署趋于分布化和边缘化、网络的自组织和管理能力进一步增强, 有利于满足今后矿山物联网在数据量及网络实时性等方面的需求。

目前有许多厂商都在重点关注着扁平化的网络, 如 Brocade、Cisco、HP、Juniper Networks 等。扁平化对许多厂商来说都是一个巨大的机遇和挑战。

### 1.5.3 变化二——系统功能

矿山自动化已实现提升、排水、通风、供电、选煤、工业电视和安全监测等自动化系统等。不同系统由于在不同阶段建设, 自成一体, 信息不能互通, 不能发挥自动化系统的综合效益, 造成系统维护量大, 维修、维护困难。为了从系统工程的角度整体上对矿山进行统一的自动化管理, 防止“信息孤岛”现象, 有效整合各种资源和发挥自动化集成的最大效益, 需要建立统一的煤矿综合自动化系统。矿山综合自动化系统通过采用统一传输网络将各种监测监控系统、语音、工业电视集成在一起, 实现了三网合一; 通过构建煤矿安全生产信息统一数据仓库平台, 实现各子系统数据共享。综合自动化成为煤矿的首选模式。但是综合自动化也表现出许多不足, 如感知手段传统单一、缺乏泛在感知网络、缺乏

应用层信息融合、多学科交叉不够等。

感知矿山物联网要实现矿山物物相连,因此在原有综合自动化基础上,增加了覆盖煤矿井下,并与工业以太网相结合的宽带有线、无线一体化多媒体统一传输平台,通过泛在感知网络,可实现井下移动目标的接入与管理,拓展了井下感知范围。在煤矿安全生产信息统一数据仓库平台上,增加了感知信息联动技术,实现了多传感器信息、多系统之间联动,缩短了井上下、矿井与集团重要信息传达、决策时间,解决了感知手段传统单一、缺乏应用层信息融合的问题。

随着“互联网+”行动计划的提出,矿山物联网所承载的各种服务应用也成为系统重要功能之一。目前矿山物联网的应用大多是在煤矿企业内部的闭环应用,信息的管理和互联局限在有限的企业内,不同企业间、不同地域间的互通仍存在问题,没有形成真正的物物互联。这些闭环应用有着自己的协议、标准和平台,自成体系,很难兼容,信息也难以共享。随着矿山物联网应用规模逐步扩大,以点带面、以地区应用带动矿山物联网产业的局面正在逐步呈现。

#### 1.5.4 变化三——全面网络化

矿山综合自动化将各种监测监控系统、语音、工业电视集成在一起,实现各子系统数据共享,这种资源的共享均是在应用层完成。部分系统由于监控方式传统,仍存在“信息孤岛”现象。

煤矿井下工作环境属于流动作业,采煤机、液压支架、刮板输送机、矿车等金属设备与煤壁、巷道等复杂环境,使得矿山井下成为一种“受限异质时变”的通信空间。要想实现真正的物物相连,矿山需要构建一种全面网络化的矿山物联网。因此,需要研究低功耗WiFi和WSN技术、认知无线电技术、MIMO技术、M2M技术、矿山6LowPAN技术以及UWB技术在矿井的应用;研究宽带无线接入技术和大规模异构协同组网技术;研究局部地区发生灾害后的网络重构问题,这包括无线节点的抗毁能力、不同介质下自适应组网协议、传输速率自适应调整技术、不同速率组网技术等,实现网络的全覆盖以及平滑结合的无线、有线一体化网络,保障矿山安全生产。

#### 1.5.5 变化四——雾计算技术

为了解决大数据量传输与数据实时性问题,雾计算应运而生。与云计算相比,雾计算并非由性能强大的服务器组成,而是由性能较弱、更为分散的异构计算资源组成。雾计算通过强化独立节点间的局部即时交互和分布式智能,使节点具备自组织、自计算、自反馈的计算功能,扩展了以云计算为特征的网络计算模式,将数据、数据处理和应用程序分布在网络边缘的本地设备,而非集中在数据中心,从而更加广泛地运用于不同的应用形态和服务类型。雾计算的基本特征使得矿山物联网对雾计算的需求更为迫切。图1-2所示为矿山雾计算平台在矿山物联网中所处的位置。

煤矿井下工作属于流动作业,人员、设备、车辆、刮板输送机、采煤机、支架、装载机、破碎机及供电供液等位置以及掘进工作面均处在不断变化之中,具有位置感知以及更大范围的移动性。同时,煤矿生产面对复杂的地质条件、矿山压力、瓦斯、一氧化碳、地下水及煤尘等,需要借助大量的感知传感器节点进行数据采集与状态监控,因此设备节点具有异构性。从单一节点计算单元的角度而言,需要不同计算能力的设备支持。

矿山雾平台实质上是改进目前矿山的调度中心或控制中心的功能,使其满足物联网云

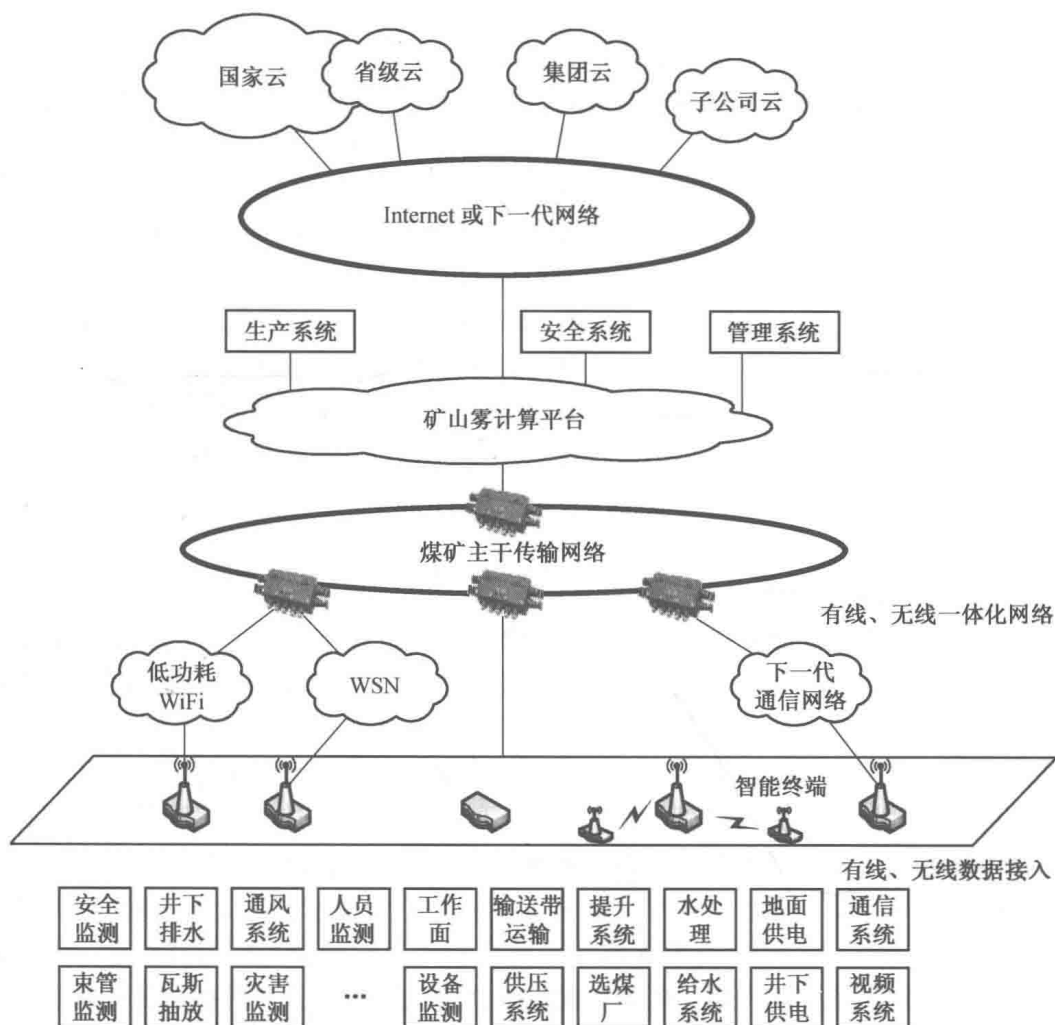


图 1-2 矿山雾计算平台在矿山物联网中所处位置

计算的需求。针对大数据量传输的数据实时性问题，将数据、数据处理和应用程序分布在网络边缘的本地设备，扩展云计算的网络计算模式，将网络计算从网络中心扩展到了网络边缘。

以矿山瓦斯灾害监测为例，由于矿山瓦斯灾害发生机制错综复杂，以往单个指标或单类型传感器不能有效反映灾害本质，而构建于大量传感器之上的雾计算平台可为分布式的瓦斯预警模型提供运行载体。例如，由分散在不同位置的矿灯或传感装置相互交换本地瓦斯浓度、空气湿度、温度等信息，并借助于事先建立的数学模型进行分布式协同计算，进而得到本区域瓦斯报警阈值，最终决定是否采取相应处理策略。可见，雾计算技术更加广泛地满足矿山不同的应用形态和服务类型。

#### 1.5.6 变化五——云计算技术

云计算是分布式计算、并行计算、效用计算、网络存储、虚拟化、负载均衡、热备份冗余等传统计算机和网络技术发展融合的产物。

矿山物联网体系架构包括云计算平台、雾计算平台、统一传输及接入网络、矿山地面

和井下所有的监控和管理系统（统称为应用服务系统）。矿山云计算平台按照管理级别可分为国家、省、集团；按功能可划分为专家云、灾害预警云等。雾计算平台的作用是改进或替代目前各矿山调度中心或控制中心的核心软件平台，使其满足矿山物联网的发展需求。

通过在全国建设的若干个感知矿山云服务中心，如中国矿业大学（铜山高新区）云服务中心，通过云服务中心汇聚的一批矿山安全等领域的专家为矿山提供技术支持，并为国家、省、集团、矿等各个部门提供服务，形成矿山物联网服务模式。

### 1.5.7 变化六——服务模式的变化

由于“超级链接”时代的到来，各行各业被物联网所驱动着进行改革，已经成为新常态。这样导致的结果是消费者被各种新技术引领到全新的生活方式，而这种全新的生活方式又迫使其他行业，比如制造、物流、零售、医疗等一同参与革新。

矿山安全生产作为一个需要多学科协同工作的平台，随着新技术的革新，产生了一种物联网的协同工作模式，这就对矿山物联网公共服务能力提出了基本要求。这种基于物联网的协同工作实质上就是将各种不同的应用服务集成到矿山物联网里来，这既能推动矿山安全生产所需的各种专业化服务的发展，也有利于矿山安全生产向购买服务的方面发展。

矿山物联网必须为服务商或第三方提供便利，以便将各种有特色的服务提供到物联网里来。物联网的这种服务能力具有很强的扩展性，一方面最大限度地保护了用户的投资，另一方面是保证矿山物联网真正成为一个活的、不断发展的服务性网络。今后，矿山物联网可以提供的服务包括：基于位置的服务、基于时间的服务、基于信息的服务、基于云计算的服务以及基于大数据的服务等。

以基于云计算的服务为例，传统煤矿安全生产监测监控均以独立形态运行于某矿区，存在以下共性问题：

（1）矿山设备主要按计划检修，检修过程往往需要设备厂家的帮助，无法满足按需检修方式，降低了开机率。

（2）安全监控系统可以对单参数进行监测，缺少专业化人才对煤矿灾害信号分析、解读与会商，无法提供有效的数据挖掘服务，往往需要外请专家进行分析。从事矿山灾害研究的专家大都在高校和研究机构，不可能长期在矿山工作，外请专家的实现难度和代价大。

（3）各级政府建立了大量监测网络，缺少对数据进行分析 and 评估，需要专业机构提供信息服务。

（4）缺乏一个让矿山安全生产相关的各方面专业人员为矿山提供专业化服务的平台与体系。

随着我国煤矿设备工作年限不断加长，矿井开采深度和矿井拓扑复杂度不断增加，矿山灾害的形势也越来越严峻，需要建设相应监测预警优化系统的煤矿越来越多，因此提供统一的煤矿灾害预警服务的需求也越来越迫切。

灾害预警信息，可由签约专家通过远程云平台，登录矿山数据云服务中心，对煤矿灾害信号分析、解读与会商。而外请专家（专家云），可直接利用中国矿业大学矿山、机械等专业现有人才资源，通过签约，实现长期合作。项目服务对象为各个矿山、各矿业集团、各级政府以及其他研究机构、设备、系统生产单位等。