

# 物联网与智能矿山

赵小虎 丁恩杰 张 申 有 鹏 张 凯 张海军 著



科学出版社

# 物联网与智能矿山

赵小虎 丁恩杰 张 申 著  
有 鹏 张 凯 张海军

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书首先介绍物联网的基本知识、矿山生产与运营过程、矿山信息化的发展历程,详细描述矿山物联网的基本架构及关键技术。针对矿山物联网关键技术,本书依次详细描述矿山传感及其接入技术、传输网技术、矿山物联网 M2M 平台、矿山物联网智能信息处理技术。针对在矿山物联网基础平台上的具体应用,详细分析矿山物联网的三个感知系统,即人员感知、环境感知、设备感知,并详细介绍其在矿山中的具体应用。然后对构建在感知矿山基础上的云服务平台进行描述并分析其在矿山中的具体应用。最后对矿山物联网下一个发展阶段 CPS 系统进行描述。

本书可供信息工程、计算机、自动化等相关专业的工程人员参考,也可作为高等院校相关专业的研究生、本科生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

物联网与智能矿山/赵小虎等著. —北京:科学出版社,2016.7

ISBN 978-7-03-049267-8

I. ①物… II. ①赵… III. ①互联网络—应用—矿山建设 ②智能技术—应用—矿山建设 IV. ①TD2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 149226 号

责任编辑:惠 雪 曾佳佳/责任校对:邹慧卿

责任印制:张 倩/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 7 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张:20 3/4

字数:418 000

定价:89.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

物联网是互联网与应用结合的必然结果，是人类生活、生产活动深入交流互动的产物。2011年5月，工业和信息化部发布的物联网白皮书给出了物联网的定义：“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连接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策目的”。近些年，国际发达国家进一步将物联网引入工业实体建设，包括德国的“工业4.0”战略和美国的工业互联网。中国在2015年也提出了具有中国特色的“互联网+”与“中国制造2025”，即“互联网+各个传统行业”，通过网络与现代制造业深度融合，创造新的发展生态。“互联网+”的提出并非物联网概念的没落，恰恰相反，这种“传统行业+网络”结合的发展趋势，是人类生产活动和交流向一体化、扁平化深入的必然需求，正反映了物联网发展的必要性。“互联网+”的精髓在于通过深度认知与有机融合，在广泛发现、认知的基础上，用超出传统的想象力、整合能力创造出新的产业形态，而这种创新的基础正来自于物联网大至星云、小至细胞的泛在“感知”能力。物联网自身联通一切的特点决定了它在煤炭行业同样是适用的，而且有着切实的需求。

当提到煤炭行业，人们的第一反应通常都是它是落后、危险的行业。而事实上，由于矿山开采需要面对瓦斯、冲击地压、突水、爆炸等多种破坏性灾害，加上深入地表数百至上千米的特殊环境，煤矿行业井下使用的各类设备、系统技术与安全标准都是高于地面同类产品的。当前矿山生产真正迫切需要做的是打通井下生产各个环节的联通关系，构建人、机器、环境的监测、控制、管理闭环。由于井下各系统生产厂商和建设时期不同，各个系统之间没有统一的通信协议和接入技术，系统之间的数据结构差异很大，呈现多源性和异构性；矿山生产活动又是始终处于一种随时间动态变化的复杂系统之中，所以反映其实际状态的各种数据，如果得不到有效集成，就只能形成彼此隔离的“信息孤岛”，更难以有效地为煤矿安全提供决策依据。

物联网概念为建立煤矿安全生产与预警救援新体系提出了新的思路和方法。因此，有必要对煤矿复杂环境下物联协同网络关键技术开展研究，解决我国煤矿安全生产的重大问题。通过物联网络在矿井的应用，融合宽带无线技术和传感器技术，基于煤矿光纤冗余无线工业以太环网骨干网络，构建有线/无线混合结构的物联网

系统,实现复杂环境下生产网络内的人员、机器、设备和基础设施的协同管理和控制,解决安全生产高效综采面的协同、煤矿井下重大灾害的预警和矿井灾害的有效搜索等迫切问题。

本书在内容组织上包括三个部分,第 1~3 章针对物联网发展历史和趋势进行介绍,分析矿山物联网的技术基础和需求基础,然后从整体角度阐述矿山物联网的理论模型、技术框架和实施的关键技术;第 4~7 章采用自底向上的方法依次详细讲述矿山物联网技术中的传感采集、网络接入与传输、基于机器到机器的融合通信与信息融合处理技术;第 8~10 章从应用的角度详细介绍矿山物联网技术在信息感知、矿山云计算服务以及矿山 CPS 中的实施方法、效果和前景。

本书是作者近年来科研和教学工作的部分总结。本书得到国家科技支撑计划项目(2012BAH12B01、2012BAH12B02)资助。本书第 2 章、第 5 章、第 8 章由赵小虎编著;第 1 章、第 3 章由丁恩杰编著;第 4 章、第 10 章部分内容由张申编著;第 7 章、第 10 章部分内容由有鹏编著;第 6 章、第 9 章由张凯、张海军编著。作者在此感谢在书稿编写中提出宝贵建议和指导的老师和专家,还要感谢在本书的编写过程中,王刚、马洪宇、孟磊、张敏等为本书的完成付出了辛勤的工作。由于作者学术水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2016 年 5 月

# 目 录

## 前言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....              | 1  |
| 1.1 物联网技术是互联网与应用结合的必然 ..... | 1  |
| 1.1.1 物联网是互联网发展的必然趋势 .....  | 1  |
| 1.1.2 第四次工业革命与物联网 .....     | 2  |
| 1.2 矿山物联网是物联网应用的重要领域 .....  | 5  |
| 1.3 物联网的研究现状 .....          | 7  |
| 1.3.1 国内外物联网研究现状 .....      | 7  |
| 1.3.2 矿山物联网研究现状 .....       | 11 |
| 1.3.3 煤矿物联网存在的问题 .....      | 14 |
| 1.3.4 煤矿物联网可能的发展方向 .....    | 15 |
| 参考文献 .....                  | 16 |
| 第 2 章 矿山物联网基础 .....         | 18 |
| 2.1 物联网基本知识 .....           | 18 |
| 2.1.1 物联网基本概念 .....         | 18 |
| 2.1.2 物联网基础架构 .....         | 19 |
| 2.1.3 物联网关键技术 .....         | 20 |
| 2.1.4 物联网应用分析 .....         | 21 |
| 2.2 矿山生产与运营过程简介 .....       | 24 |
| 2.2.1 矿山生产基本过程 .....        | 24 |
| 2.2.2 矿山运营管理基本过程 .....      | 29 |
| 2.3 矿山综合自动化 .....           | 31 |
| 2.3.1 矿山自动化系统发展过程 .....     | 31 |
| 2.3.2 矿山综合自动化与数字矿山 .....    | 38 |
| 2.3.3 矿山对物联网应用的需求 .....     | 41 |
| 2.3.4 矿山物联网层次架构 .....       | 44 |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 参考文献 .....                  | 47        |
| <b>第3章 矿山物联网基本架构 .....</b>  | <b>48</b> |
| 3.1 矿山物联网理论模型 .....         | 48        |
| 3.1.1 感知矿山物联网总体模型 .....     | 48        |
| 3.1.2 感知与控制层 .....          | 48        |
| 3.1.3 信息集成与 MES 层 .....     | 51        |
| 3.1.4 管理决策与应用层 .....        | 57        |
| 3.2 矿山物联网网络架构及平台 .....      | 59        |
| 3.2.1 生产安全子系统工业总线网络 .....   | 60        |
| 3.2.2 无线感知层网络 .....         | 61        |
| 3.2.3 主干传输网络 .....          | 63        |
| 3.2.4 生产调度指挥平台 .....        | 64        |
| 3.3 矿山物联网关键技术框架 .....       | 71        |
| 3.3.1 感知层关键技术 .....         | 71        |
| 3.3.2 传输层关键技术 .....         | 72        |
| 3.3.3 应用层关键技术 .....         | 73        |
| 3.3.4 公共关键技术 .....          | 73        |
| 3.4 矿山物联网的三个感知 .....        | 73        |
| 3.4.1 人员感知系统 .....          | 74        |
| 3.4.2 环境感知系统 .....          | 75        |
| 3.4.3 设备感知系统 .....          | 75        |
| 3.5 矿山物联网标准建设 .....         | 76        |
| 3.5.1 标准建设的意义 .....         | 76        |
| 3.5.2 主要标准体系 .....          | 77        |
| 参考文献 .....                  | 79        |
| <b>第4章 矿山传感及其接入技术 .....</b> | <b>81</b> |
| 4.1 矿山安全与生产主要传感器 .....      | 81        |
| 4.1.1 安全环境传感器 .....         | 81        |
| 4.1.2 生产工况管理传感器 .....       | 90        |
| 4.1.3 新型传感器 .....           | 95        |
| 4.2 传感接入方式 .....            | 102       |
| 4.2.1 子系统接入方式 .....         | 104       |

---

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 4.2.2 分布式传感与接入 .....             | 106        |
| 4.2.3 接入方式举例 .....               | 106        |
| 参考文献 .....                       | 109        |
| <b>第 5 章 传输网技术</b> .....         | <b>110</b> |
| 5.1 1000M 工业以太网 .....            | 110        |
| 5.1.1 工业以太网的关键技术 .....           | 111        |
| 5.1.2 工业以太网协议 .....              | 115        |
| 5.1.3 1000M 工业以太网在矿山中的应用 .....   | 122        |
| 5.2 网络接入技术 .....                 | 126        |
| 5.2.1 矿山接入网络主要技术 .....           | 127        |
| 5.2.2 矿山无线网络接入范例 .....           | 133        |
| 5.3 矿山网络问题与发展方向 .....            | 136        |
| 5.3.1 当前矿山网络发展中存在的问题 .....       | 136        |
| 5.3.2 矿山网络发展趋势 .....             | 137        |
| 参考文献 .....                       | 140        |
| <b>第 6 章 矿山物联网 M2M 平台</b> .....  | <b>141</b> |
| 6.1 M2M 平台的作用 .....              | 141        |
| 6.2 M2M 平台构成 .....               | 143        |
| 6.2.1 M2M 网关 .....               | 145        |
| 6.2.2 M2M 平台中的一些关键技术 .....       | 145        |
| 6.3 M2M 平台接口标准 .....             | 146        |
| 6.3.1 ETSI TC M2M 标准 .....       | 146        |
| 6.3.2 3GPP 模式的机器间通信 .....        | 147        |
| 6.3.3 感知矿山信息集成交换平台 .....         | 149        |
| 6.4 M2M 平台新的发展方向 .....           | 151        |
| 参考文献 .....                       | 152        |
| <b>第 7 章 矿山物联网智能信息处理技术</b> ..... | <b>153</b> |
| 7.1 信息集成与数据仓库 .....              | 153        |
| 7.1.1 信息集成与数据平台的意义 .....         | 153        |
| 7.1.2 数据仓库主要内容与作用 .....          | 154        |
| 7.2 智能信息处理平台 .....               | 156        |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 7.2.1 | 各子系统对平台的应用需求 .....      | 156 |
| 7.2.2 | 公共信息处理平台技术 .....        | 157 |
| 7.3   | 信息融合方法 .....            | 160 |
| 7.3.1 | 信息融合的基本方法 .....         | 161 |
| 7.3.2 | 矿山物联网信息融合应用 .....       | 165 |
| 7.4   | 智能决策处理技术 .....          | 167 |
| 7.4.1 | 综合信息预警平台 .....          | 167 |
| 7.4.2 | 智能辅助决策系统相关算法 .....      | 168 |
|       | 参考文献 .....              | 181 |
| 第 8 章 | 矿山安全生产的三个感知 .....       | 182 |
| 8.1   | 矿山人员信息感知 .....          | 182 |
| 8.1.1 | 井下人员定位 .....            | 183 |
| 8.1.2 | 双向信息终端系统 .....          | 201 |
| 8.1.3 | 人员跟踪管理系统 .....          | 204 |
| 8.2   | 矿山设备感知与预警技术 .....       | 211 |
| 8.2.1 | 矿山设备状态监测与故障诊断 .....     | 211 |
| 8.2.2 | 矿山设备模式库 .....           | 213 |
| 8.2.3 | 矿山设备诊断方法 .....          | 217 |
| 8.2.4 | 矿山设备动态管理技术 .....        | 224 |
| 8.2.5 | 矿山设备远程诊断方法 .....        | 229 |
| 8.2.6 | 矿山生产主要系统监控及健康状况感知 ..... | 230 |
| 8.3   | 矿山安全感知及网络化监控 .....      | 242 |
| 8.3.1 | 煤矿安全 .....              | 242 |
| 8.3.2 | 矿山灾害概述 .....            | 243 |
| 8.3.3 | 分布式矿震监测系统 .....         | 248 |
| 8.3.4 | 分布式采动裂隙场监测系统研制 .....    | 254 |
| 8.3.5 | 分布式通风监控系统 .....         | 259 |
|       | 参考文献 .....              | 260 |
| 第 9 章 | 云平台技术及应用服务 .....        | 263 |
| 9.1   | 云平台基础 .....             | 263 |
| 9.1.1 | 云的基本概念 .....            | 263 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 9.1.2 云应用的几种常见模式 .....         | 267        |
| 9.2 智能矿山对云平台的需求 .....          | 272        |
| 9.2.1 智能矿山的云应用需求 .....         | 272        |
| 9.2.2 智能矿山云服务分析 .....          | 274        |
| 9.3 矿山云应用举例 .....              | 275        |
| 9.3.1 基于 SaaS 的矿震远程预警系统 .....  | 275        |
| 9.3.2 煤矿风网优化云服务 .....          | 280        |
| 参考文献 .....                     | 281        |
| <b>第 10 章 CPS 信息物理系统 .....</b> | <b>283</b> |
| 10.1 CPS 基础 .....              | 283        |
| 10.1.1 CPS 基本概念 .....          | 283        |
| 10.1.2 CPS 系统原型 .....          | 285        |
| 10.1.3 CPS 的特点 .....           | 288        |
| 10.2 矿山 CPS 与矿山物联网 .....       | 290        |
| 10.2.1 矿山物联网的发展趋势 .....        | 290        |
| 10.2.2 矿山 CPS 的优势 .....        | 291        |
| 10.3 矿山 CPS 模型概要 .....         | 292        |
| 10.3.1 矿山 CPS 系统模型 .....       | 292        |
| 10.3.2 采煤工作面 CPS 建模 .....      | 297        |
| 10.3.3 矿山 CPS 系统建设的要点 .....    | 312        |
| 10.4 矿山 CPS 关键技术 .....         | 314        |
| 10.4.1 嵌入式系统技术 .....           | 314        |
| 10.4.2 发布与订阅模式 .....           | 314        |
| 10.4.3 下一代网络技术 .....           | 315        |
| 10.4.4 矿山信息的可信度研究 .....        | 316        |
| 10.4.5 异构模型的融合 .....           | 316        |
| 10.5 矿山 CPS 应用前景 .....         | 316        |
| 参考文献 .....                     | 317        |
| 索引 .....                       | 319        |

# 第 1 章 绪 论

2009 年 8 月 7 日,温家宝总理在无锡视察时指出,要在激烈的竞争中在无锡迅速建立中国传感信息中心,或者叫做感知中国中心。2009 年 11 月 3 日,温家宝总理在“让科技引领中国可持续发展”讲话中将物联网定位为国家战略性新兴产业之一。2010 年 3 月 5 日,温家宝总理作政府工作报告时指出“加快物联网的研发应用”,抢占经济科技制高点,这标志着物联网已正式进入我国国家战略层面。2010 年 6 月 7 日,胡锦涛总书记在两院院士大会上讲话中指出,当前要“加快发展物联网技术”,争取尽快取得突破性进展。2010 年 6 月 29 日在中国物联网大会上,中国物联网专家委员会主任委员邬贺铨院士表示:物联网是互联网应用拓展重点,物联网是泛在网的起点,物联网是信息化与工业化融合的切入点,物联网应用推广中突破行业进入壁垒是难点,物联网是低碳经济的支撑点,物联网是战略性新兴产业的增长点,物联网是民生服务的新亮点,物联网是国际竞争的新热点<sup>[1]</sup>。

2011 年 5 月,工业和信息化部发布的物联网白皮书给出了物联网的定义:“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连接,达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策目的”。

## 1.1 物联网技术是互联网与应用结合的必然

### 1.1.1 物联网是互联网发展的必然趋势

从互联网的发展过程来看,互联网从一个简单的联系平台演变成一个浏览平台,再演变成交互平台,又进一步演变成为工作平台。在该过程中,互联网从传输普通数据发展到传输语音和视频,从有线接入发展到随处可用的无线接入,从研究性网络发展成商业性网络,从一个本质上不可靠的网络发展成可用于实时监测监控的网络,从一个单一传输功能的网络发展成具有计算功能的网络,从固定的专用计算发展成移动性的普适计算,从一个纯物理网络发展成了一个 Cyber 空间,从仅

提供信息查询服务发展成为提供各种服务。而这种提供各种服务的网络空间正呈现出与人类的实际生活空间水乳交融的发展趋势。这种发展趋势就是物联网,就是智慧地球。

关于这一点,比尔·盖茨 1995 年在他撰写的新书《未来之路》<sup>[2]</sup>中就提出了这种物联网的概念。书中写道:当袖珍个人计算机普及之后,困扰着机场终端、剧院以及其他需要排队出示身份证或票据等地方的瓶颈路段就可以被废除了。例如,当你走进机场大门时,你的袖珍个人计算机与机场的计算机相连,就会证实你已经买了机票;开门时你也无需用钥匙或磁卡,你的袖珍个人计算机向控制锁的计算机证实你的身份。2010 年上海世博会上就实现了比尔·盖茨所说的物联网应用。因此,物联网是互联网逐步发展的必然结果,是互联网深入人类生活与生产空间的必然结果。

而著名的梅特卡夫(Metcalfe)定律也早预测了这种网络的扩张应用。梅特卡夫定律认为,网络的价值是随用户数的平方而增加的,每一个新的用户将给接入这个网络上的其他用户带来附加价值,它反映了影响市场的社会需求因素,体现为信息网络的扩张效应。互联网的发展正在往下延伸,使用更为广泛化的传感单元和网络,实现更全面的互联互通,提供普适性的数据分析与服务,实现更深入的服务智能化,这正是信息网络的扩张效应。

### 1.1.2 第四次工业革命与物联网

#### 1.1.2.1 “工业 4.0”战略

2013 年 4 月,德国政府提出“工业 4.0”战略<sup>[3]</sup>,德国学术界和产业界认为,“工业 4.0”概念是以智能制造为主导的第四次工业革命,或革命性的生产方法。该战略旨在通过充分利用信息通信技术和网络空间虚拟系统——信息物理系统(cyber physical system, CPS)相结合的手段,使制造业向智能化转型。“工业 4.0”的本质就是将互联网作为工具,服务于德国强大的制造业,即通过“智能工厂、智能生产和智能物流”实现智能制造。

人类历史上的四次科技革命,可以概括为:

(1)始于 18 世纪后半期的第一次工业革命,即工业 1.0 实现了“大规模生产”(蒸汽机的发明)。

(2)始于 19 世纪后半期的第二次工业革命,即工业 2.0 实现了“电气化生产”(电力的广泛应用,实现大规模化批量生产)。

(3)始于 20 世纪后半期的第三次工业革命,即工业 3.0 实现了“自动化生产”(通过电气和信息技术实现制造业的自动化及产品的标准化)。

(4)第四次工业革命——工业 4.0 实现了“定制化生产”，并且定制周期简短，生产方便快捷。本质是在前三次工业革命的基础上进一步进化，基于“信息物理系统”实现“智能工厂”。

信息物理系统是指通过传感网紧密连接现实世界，将网络空间的高级计算能力有效运用于现实世界中，从而在生产制造过程中，与设计、开发、生产有关的所有数据将通过传感器采集并进行分析，形成可自律操作的智能生产系统。

总体而言，工业 4.0 可以概括为：通过建设信息物理系统网络将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治等功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。研究智能化生产系统及过程以及网络化分布生产设施，实现生产流程智能化。使人与人、人与机器、机器与机器以及服务与服务之间能够互联，从而实现横向、纵向和端对端的高度集成。

#### 1.1.1.2.2 工业互联网

美国政府在金融危机后将发展先进制造业上升为国家战略，希望以新的革命性的生产方式重塑制造业。在美国，“工业 4.0”的概念更多地被“工业互联网”所取代，“工业互联网”的概念最早由 GE 公司提出。

2012 年 GE 公司提出了以工业互联网为创新特征的第三次浪潮。第一次浪潮是工业革命，机器和工厂的出现推动经济的进步和范围的扩大；第二次浪潮是互联网革命，特征是计算机技术分布式信息网络的崛起；第三次浪潮是工业互联网，特征是机器、设备组和设施通过互联网、大数据分析技术的综合。随后美国五家行业龙头企业联手组建了工业互联网联盟(Industrial Internet Consortium, IIC)<sup>[4]</sup>，将这一概念大力推广开来。除了通用电气这样的制造业巨头，加入该联盟的还有 IBM、思科、英特尔和 AT&T 等 IT 企业。

工业互联网联盟采用开放成员制，致力于发展一个“通用蓝图”，使各个厂商设备之间可以实现数据共享。该蓝图的标准不仅涉及 Internet 网络协议，还包括诸如 IT 系统中数据的存储容量、互连和非互连设备的功率大小、数据流量控制等指标。其目的在于通过制定通用标准，打破技术壁垒，利用互联网激活传统工业过程，更好地促进物理世界和数字世界的融合。

尽管称呼不同，但这两个概念的基本理念一致，都是将虚拟网络与实体连接，形成更有效率的生产系统。与德国强调的“硬”制造不同，工业互联网推崇的是利用物联网和软件定义的设备，来充分开启工业领域的巨大效益，保持制造业的长期竞争力。

#### 1.1.1.2.3 “互联网+”及“中国制造 2025”

与美国和德国等后工业化国家相比，中国是处于工业化进程中的国家，中国今

后的目标是实现信息化和工业化的深度融合。深度融合涉及整个工业部门的数字化、网络化、智能化,即信息技术与制造技术的结合,实现制造过程和产业模式变革,从而走出一条新型工业化的道路。

2015 年 3 月,全国两会上,全国人大代表马化腾提交了《关于以“互联网+”为驱动,推进我国经济社会创新发展的建议》的议案<sup>[5]</sup>,表达了对经济社会的创新提出了建议和看法。他呼吁,我们需要持续以“互联网+”为驱动,鼓励产业创新、促进跨界融合、惠及社会民生,推动我国经济和社会的创新发展。马化腾表示,“互联网+”是指利用互联网的平台、信息通信技术(information communications technology, ICT)把互联网和包括传统行业在内的各行各业结合起来,从而在新领域创造一种新生态。他希望这种生态战略能够被国家采纳,成为国家战略。

2015 年 3 月 5 日上午十二届全国人大三次会议上,李克强总理在政府工作报告中首次提出“互联网+”行动计划<sup>[6]</sup>。李克强在政府工作报告中提出,“制订‘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,促进电子商务、工业互联网和互联网金融健康发展,引导互联网企业拓展国际市场。”

“互联网+”就是“互联网+各个传统行业”,但这并不是简单的两者相加,而是利用信息通信技术以及互联网平台,让互联网与传统行业进行深度融合,创造新的发展生态。

2015 年 5 月 18 日,国务院正式发布了《中国制造 2025》规划,这是中国版“工业 4.0 计划”,规划提出了中国制造强国建设三个十年的“三步走”战略,也是我国实施制造强国战略第一个十年行动纲领<sup>[7]</sup>。其重点是:①提高国家制造业创新能力。②推进信息化与工业化深度融合。③强化工业基础能力。④加强质量品牌建设,形成具有自主知识产权的名牌产品,不断提升企业品牌价值和中国制造整体形象。⑤全面推行绿色制造,加快制造业绿色改造升级。⑥大力推动新一代信息技术、高端装备、新材料、生物医药等重点领域突破发展。⑦深入推进制造业结构调整,推动传统产业向中高端迈进,进一步优化制造业布局。⑧积极发展服务型制造和生产型服务业。⑨提高制造业国际化发展水平,推动重点产业国际化布局,引导企业提高国际竞争力。

计划在任务和重点中指出,要深化互联网在制造领域的应用。发展基于互联网的个性化定制、众包设计、云制造等新型制造模式,推动形成基于消费需求动态感知的研发、制造和产业组织方式;建立优势互补、合作共赢的开放型产业生态体系;加快开展物联网技术研发和应用示范,培育智能监测、远程诊断管理、全产业链追溯等工业互联网新应用等。

《中国制造 2025》规划为把中国打造成现代化工业强国描绘出清晰的路线图,提出以推进信息化和工业化深度融合为主线,通过“互联网+先进制造业”的结合,大力发展智能制造,构建信息化条件下的产业生态体系和新型制造模式。该规划与“工业 4.0”、“工业互联网”有异曲同工之处。

由此可见,新一轮工业革命是信息技术与制造业的深度融合,是以制造业数字化、网络化、智能化为核心,建立在物联网和务(服务)联网基础上,同时叠加新能源、新材料等方面的突破而引发的新一轮产业变革,将给世界范围内的制造业带来深远影响。物联网是新一轮工业革命的基础,是互联网与应用结合的必然。

物联网不是推翻互联网另辟蹊径,而是互联网应用的延伸和扩张。物联网作为互联网大脑的感觉神经系统,具有传感器感知、网络线路传输、信息存储和处理、行业应用接口等功能。使人与人(human to human, H2H)、人与物(human to thing, H2T)、物与物(thing to thing, T2T)之间的交流变成可能,最终将使人类社会、信息空间和物理世界(人-机-物)融为一体。正如邬贺铨院士所说:物联网是互联网应用拓展重点。

## 1.2 矿山物联网是物联网应用的重要领域

物联网的应用几乎是无所不包,典型应用如上海推进物联网产业发展十大应用示范工程:环境监测、智能安防、智能交通、物流管理、楼宇节能管理、智能电网、远程社区医疗、精准控制农业、世博园区、应用示范区和产业基地。可见物联网可应用于各行各业,当然也可用于煤炭行业和矿山企业。煤矿企业物联网应用又称作感知矿山物联网<sup>[8-10]</sup>。

煤炭是我国主要能源,目前在我国能源生产和消费中,煤炭约占 66%。我国是“富煤、贫油、少气”的国家,这一特点决定煤炭作为主要能源的地位将会在相当长的历史时期内保持不变。据专家预测,到 2050 年,煤炭仍会占中国能源消费的 50%以上。

我国煤炭资源丰富,劳动力廉价,在国际市场竞争中本应占有优势,但由于我国煤炭储存条件复杂,煤矿自动化水平低,井下用人多,生产安全监控系统采用的技术落后、功能单一,再加上管理等因素,使得生产成本低,安全形势不容乐观。全国煤矿事故死亡人数居高不下,百万吨死亡率远远高于世界主要产煤国家平均水平,严重影响了煤炭工业的可持续发展和社会的稳定。

随着国家对矿山安全的重视程度不断提高,矿山企业在各种安全、生产监控系统方面的投入逐年加大,对保证矿山的安全和正常生产起到了重要作用。但是在目

前的装备和技术水平下,无法根除各种安全隐患,矿山灾害时有发生。

由于生产厂商和系统建设时期不同,现有的安全生产监测监控系统中,各个系统之间没有统一的通信协议和接入技术,系统之间的数据结构差异很大,呈现多源性和异构性。

由于矿山开采的对象——矿床是分布于三维地理空间,并随着开采进程不断变化着的地质实体,矿山安全生产的一切过程都离不开三维空间。无论是矿层、构造等地质实体,还是纵横交错的井下巷道系统和各种监测监控信息,都具有空间属性。不仅如此,矿山生产活动又是始终处于一种随时间动态变化的复杂系统之中,所以反映其实际状态的各种数据,如果得不到有效集成,就只能形成彼此隔离的“信息孤岛”,同时探测同一地质实体的多数系统只能对其采集到的原始数据进行简单转换、存储、显示和打印,而面向同一地质实体同时探测到的多源信息往往得不到有效的综合利用,更谈不上有效地为煤矿安全提供决策依据。

开采深度的加大和赋存地质条件的恶化,使深部煤炭开采的力学环境、岩体组织结构、基本力学行为特征和工程响应与浅部明显不同,导致冲击矿压、顶板大面积来压和采空区失稳等动力灾害事故明显增加,已对深部煤炭资源的安全开采造成严重威胁。在重大灾害的预测方面,缺少实时、在线、连续的监测预警装备。

“物联网”概念的问世,打破了之前的传统思维。过去的思路一直是将物理基础设施和信息基础设施分开。对煤矿安全生产而言,在“物联网”时代,瓦斯、一氧化碳等各类传感器、电缆、电气机械设备、钢筋混凝土等将与芯片、宽带整合为统一的基础设施,基于物联网络的系统可以对煤矿复杂环境下生产系统内的人员、机器、设备和基础设施实施更加实时有效的协同管理和控制。物联网概念为建立煤矿安全生产与预警救援新体系提供了新的思路和方法。因此,有必要对煤矿复杂环境下物联协同网络关键技术开展研究,解决我国煤矿安全生产的重大问题。通过物联网络在矿井的应用,融合宽带无线技术和传感器技术,基于煤矿光纤冗余无线工业以太环网骨干网络,构建有线或无线混合结构的物联网系统,实现复杂环境下生产网络内的人员、机器、设备和基础设施的协同管理与控制,解决安全生产高效综采方面的协同问题、煤矿井下重大灾害的预警问题和矿井灾害的有效搜索等迫切需要解决的问题。

习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议推动能源生产和消费革命的讲话中明确指出,要立足国内多元供应保安全,大力推进煤炭清洁高效利用,着力发展非煤能源。煤炭行业的发展也将面临革命性的转变,将由资源限制型向生态环境友好型发展、由传统开采方式向多元科学开采方式发展、由单一煤炭生产向煤炭综合利用方向发展。煤矿物联网的发展也将随着煤炭行业的发展变革而在矿山得到广泛应用。目前我国具有2万多个生产矿井,如何利用物联网技术解决煤矿生产中人员安全环境的感知问题,解决矿山灾害状况的预测预报,减少或避免重大灾害事故

的发生,解决安全生产的智能控制;矿山物联网技术的发展潮流以及研究的核心内容是什么;如何形成产业标准等。这些都是感知矿山物联网需要解决的问题。

作为物联网应用的一个重要领域,感知矿山物联网是通过各种感知技术、信息传输技术、信息处理技术和矿山多学科技术,实现对真实矿山整体情况及相关现象的可视化、数字化及智慧化感知<sup>[11]</sup>。其总体目标是:将矿山地质、矿山测量、矿山建设、矿山生产、矿山安全、产品加工与运销、矿山生态等方面的信息全面数字化;将感知技术、传输技术、信息处理、智能计算、云计算、现代控制技术、现代信息管理等技术与现代采矿及矿物加工技术紧密结合,构成矿山人与人、人与物、物与物相连的网络,动态详尽地描述并控制矿山安全生产与运营的全过程。以高效、安全、绿色开采为目标,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。

## 1.3 物联网的研究现状

### 1.3.1 国内外物联网研究现状

#### 1.3.1.1 国外发展现状

物联网的概念起源于国外,英文术语为“The internet of things”。20世纪90年代以后,国外关于物联网的研究开始萌芽。“The internet of things”的概念最早是由MIT(美国麻省理工学院)<sup>[12]</sup>的Auto-ID实验室提出来的。

美国、日本、韩国等少数国家物联网起步较早、总体实力较强。目前,物联网开发和应用基本处于技术研究和试验阶段,但不可否认的是,物联网已经成为世界主要国家抢占新一轮战略制高点的重要选择。美国、日本、韩国等国家都正投入巨资深入研究探索物联网,并启动了以物联网为基础的“智慧地球”、“物联网行动计划”、“u-Japan”、“u-Korea”等国家性区域战略规划。

进入20世纪,克林顿政府提出“信息高速公路”的国家振兴战略,大力发展互联网,推动了全球信息产业的革命。美国经济受惠于这一战略的远见卓识,在90年代中后期享受了历史上罕见的长期繁荣,其霸主地位也得以不断巩固。美国政府高度重视物联网的发展,2008年IBM提出“智慧地球”理念后,迅速得到了奥巴马政府的响应,《2009年美国复苏和再投资法案》提出要在电网、教育、医疗卫生等领域加大政府投资力度,带动物联网技术的研发应用。发展物联网已经成为美国推动经济复苏和重塑其国家竞争力的重点。美国国家情报委员会(National Intelligence Council, NIC)发表的《2025年对美国利益潜在影响的关键技术报告》,把物联网列为六种关键技术之一。此间,美国国防部的“智能微尘”(Smart Dust)、