

矿山物联网顶层设计思路

丁恩杰^{1,2}, 胡青松^{1,2}

(1. 矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室, 江苏 徐州 221008;
2. 中国矿业大学物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008)

摘要: 矿山物联网的蓬勃发展要求从顶层着眼规划矿山物联网科技。对国家安全生产监督管理局于2017年编制完成的“矿山物联网科技顶层设计”进行解读,从设计思路、发展现状、面临挑战、战略目标、需要突破的核心关键技术、实施路线与保障等方面入手,分析顶层设计的技术背景和核心内容,为矿山行业科研工作者和科技管理者阅读、理解和使用“顶层设计”提供一定借鉴。

关键词: 矿山物联网; 科技发展; 顶层设计; 大数据; 云计算

中图分类号: TP393.4

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00043

Design ideas of the top layer of the mine Internet of things

DING Enjie^{1,2}, HU Qingsong^{1,2}

1. Mine Internet Application Technology National and Local Joint Engineering Laboratory, Xuzhou 221008, China
2. Internet of Things (Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China

Abstract: The flourishing development of the mine network requires the technology of the mine Internet of things from the top layer. The top layer design mine networking technology completed in 2017 by the State Administration of Production Safety Supervision was read. From the aspects of the design ideas, development status, challenges, strategic objectives, the key technology and implementation route and security needed, the technical background and core contents of top layer design were analyzed. It will provide some references for researchers and technology managers in mining industry to read, understand and use “top layer design”.

Key words: mine Internet of things, development of science and technology, top layer design, big data, cloud computing

1 引言

矿山物联网是矿山企业实现矿山泛在感知和智能决策的重要支撑,是行业主管部门提高监督执法和管理水平的重要依据^[1]。从2010年起步以来,矿山物联网的概念已经得到政府、学术界、产业界的广泛认可^[2],其内涵和外延不断拓展和深化,一些具有矿山物联网特征的解决方案不断被提出,而且这些解决方案逐步落地,在全国多个大型矿业集团得

到示范应用,大幅提升了矿井的生产效率和安全生产水平^[3];同时,催生了一大批新兴产业集群,为社会创造了明显的经济和社会价值。

尽管矿山物联网在理论体系、技术架构、产品研发、应用推广等方面均取得了一定的成就,但是在感知手段、物与物相联、信息挖掘、标准建设、服务承载、大数据分析等方面仍有很大的提升空间。如何站在全国矿山物联网行业发展的全局来系统梳理面临的难题,科学统筹未来发展,避免重走

收稿日期: 2018-02-26; 修回日期: 2018-03-06

通信作者: 丁恩杰, enjied@cumt.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划—矿山安全生产物联网关键技术与装备研发基金资助项目(No.2017YFC0804400)

Foundation Item: The National Research and Development Program for Key Technologies and Equipment of Safe Production in Mines (No.2017YFC0804400)

各系统相互独立、缺乏标准、重复投资、碎片化的老路，为矿山物联网未来中长期的发展提供科学指引，是矿山物联网科技顶层设计的内在驱动力。本文将对物联网科技顶层设计的思路、主要内容、重点领域和实施方式等内容进行解读，为矿山行业科研工作者和科技管理者阅读、理解和使用“顶层设计”提供一定借鉴。

2 设计思路

长期以来，在我国矿山安全生产信息化建设和应用过程中，新兴的信息技术未能全方位融入矿山安全生产的核心业务和流程，业务流与信息流未能达到深度融合与有机关联，在一定程度上影响了安全生产信息化工作的成效^[4]；矿山安全生产信息难以有效采集，各种安全信息采用人工填报的方式，信息的真实性与数据的准确性难以得到保障；矿山安监数据尚未得到有效利用和挖掘，大量数据被闲置。

当前，新能源技术革命、工业 4.0 和中国制造 2025 深刻影响着煤矿生产的各个环节。矿山安全要实现基于物联网的超前感知；安全技术装备朝着大、微、智的方向发展，感和知的内容要重点加强；参考物联网基础架构 3 个层次设计理念，引入网络的虚拟化，即软件定义网络；矿山安全包括信息的安全，矿山目前缺乏统一感知与高效服务；扩大学科交叉内容，在融合基础上提炼关键技术；明确矿山物联网与综合自动化的区别。为此，按照立足现状、面向未来、依靠专家、平台化服务的思路进行矿山物联网科技顶层设计，具体而言，包括以

下指导思想。

1) 矿山物联网科技顶层设计的目标是根据 Top-Down 的设计思想，从矿山的顶层开始进行总体设计，系统全面地对感知矿山物联网建设的各方面、各层次、各要素进行统筹考虑。

2) 避免感知矿山物联网应用中出现的网络相互独立、缺乏统一规划和标准、重复投资、系统不开放等问题，使感知矿山物联网的应用，从开始就步入正确的轨道。

3) 总体规划设计不针对某个专门的矿山，只是提出感知矿山的总体设计目标、规范化的应用模型、各层的功能及要求，感知矿山的核心问题及总体设计中各子系统的设计规范与要求。

4) 需要一个统一开放的矿山物联网服务支撑平台^[5]，实现矿山、人与物以及物与物的信息交互和无缝链接，达到对矿山物理世界的实时控制、精确管理和科学决策；同时使各学科都能在这个平台上开展研究工作，各个服务提供商提供的服务也能接入该平台。

5) 矿山物联网的本质是服务，矿山物联网是一个承载服务的平台^[6]，矿山的各种应用服务都在此平台下，感知技术、网络技术、云计算、人工智能、大数据技术等为这些应用服务提供技术支撑。

3 顶层设计的主要内容

3.1 顶层设计的内容体系

图 1 给出了矿山物联网科技顶层设计的主要内容，包括矿山物联网发展现状、矿山物联网发展的

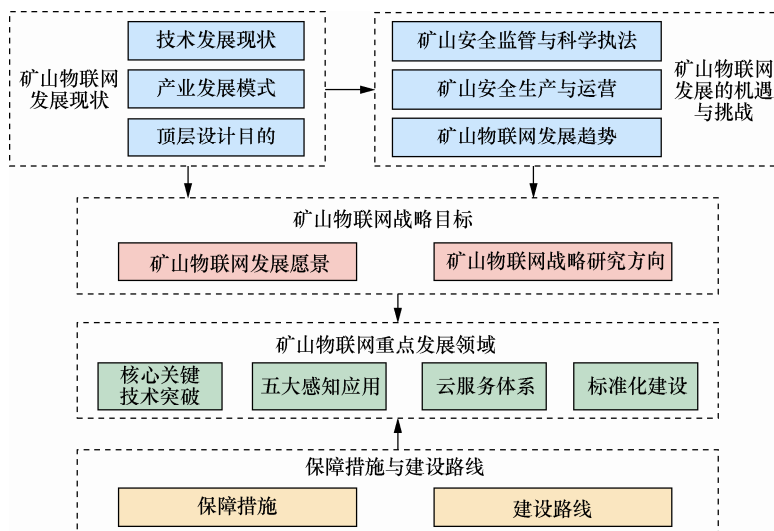


图 1 矿山物联网科技顶层设计的主要内容

机遇与挑战、矿山物联网战略目标、矿山物联网重点发展领域、保障措施与建设路线。其中，发展现状、机遇与挑战是设计的起点，战略目标是蓝图，重点发展领域是核心，保障措施与建设路线是实施策略。

3.2 矿山物联网的现状与挑战

掌握矿山物联网发展现状是进行科技顶层设计的前提。尽管矿山物联网已经体现出良好的矿山适应能力和广泛的应用前景，但是目前总体处于“感”“传”关注较多、“知”“用”研究过少的阶段，需要从感知层、传输层、应用层和公共技术等方面进行拓宽加深。

感知层是矿山物联网的最前端，担负着感知数据的重要任务^[7]。然而，目前的矿用传感器仍局限于特定子系统，缺乏分布式和网络化矿山传感技术和应用，无法做到以矿山物联网为平台实施分布式监测与控制，这种违背物物互联的“孤岛”式实施方法大大增大了感知数据融合的难度并降低了感知数据的可信度。同时，感知层的新型传感手段偏少，网络化分布式监测理论与方法欠缺，不能真正满足矿山物联网物物相联、泛在感知的要求，致使矿山生产在很大程度上处于不透明状态。

传输层是感知信息稳定可靠传输的“神经”通道，是连接感知层和应用层的关键，一般包括主干网络和感知网络2个部分。然而，矿山的主干网络多采用带宽为1 Gbit/s（少部分煤矿为10 Gbit/s）的工业以太网，然而这些工业以太网不具备全网精确时间同步能力，无法提供基于时间的服务（如对全矿井发生的事件进行实时跟踪管理），因此，无法从时空方面对矿山生产过程进行四维化描述，需大力进行全网时间同步改造。矿井泛在感知网络主要采用Wi-Fi、WSN、智慧线等技术，不过这些无线通信技术难以适应矿山长距离多跳传输、多业务承载、按需自组成网、灾后重构等需求，需研发新型的矿山泛在通信技术和感知网络。同时，需大力推进6LowPan的使用，促进IPv4向IPv6的过渡，以便对这些矿井内部署的海量终端进行有序管理和高效利用。

应用层的丰富应用是矿山物联网建设部署的最终目的，是数据呈现、运营管理、决策支持、服务提供的重要工具。矿山综合自动化系统虽然实现了各子系统应用功能的集成，但是只实现了少数系统或部分信息之间的联动，没有实现多系统间的深

度信息挖掘和融合应用；从矿山安全角度看，单一参数往往仅能揭示灾害的片面原因，应调度多个子系统实施聚焦观测和融合分析，才能充分揭示出灾害的多场耦合关系，进行准确及时的灾前预报预警。

从矿山物联网公共技术看，目前尚有许多问题需要解决，特别是制约矿山物联网行业健康发展的标准研究和制订还不够。宜全局统筹考虑，从物体描述、标识解析、互联互通等方面发力，形成系列化的矿山物联网标准。

3.3 矿山物联网战略目标

矿山物联网的战略目标是经过10年左右的发展，矿山新型传感器与智能“物”得到快速增长，形成基于矿山智能“物”的语义Web；矿山云计算与矿山大数据广泛应用，形成基于服务的矿山“云”“雾”服务平台；新型服务体系与价值链逐步完善，矿山可持续生态化环境初步形成。战略目标的核心是矿山对象语义化、矿山服务平台化、矿山发展可持续。

矿山环境中具有大量物体（对象），这些对象在生产过程中不断产生大量事件，利用物联网技术将这些泛在物互连在一起，有助于它们相互协作产生新的应用或服务。通过新型传感器、分布式测量和能量捕获技术的应用，实现矿井的无盲区监测与控制。通过泛在感知技术、软件定义网络和网络灾后重构等技术，实现在矿井特殊环境中物与物无缝连接，保证数据和其他多媒体信息的实时可靠传输，同时满足灾后救援的通信需求，结合先验模型和专业知 识，实现矿井从感到知的演变，使矿山生产过程逐步透明化。

通过统一的矿山物联网平台技术、云计算服务和大数据技术，实现矿山物体与感知数据的语义表达、信息融合、知识挖掘与语义计算，实现信息的有效利用与增值，特别是提高矿山安全预警能力和事件的虚拟再现能力，大幅提高矿山生产效率和安 全水平。同时，通过矿山物联网建设，形成一个开放的网络化矿山应用服务平台，为矿山提供更专业的时空一体化服务。

3.4 矿山物联网重点发展领域

针对矿山物联网的战略目标，需要重点突破五大关键技术，提供五大感知服务，构建“云”“雾”平台，推进标准化建设。

3.4.1 突破五大关键技术

矿山物联网应针对3.2节所提出的问题，重点突破以下五大关键技术。

1) 研制微型化智能装置,从传感原理、监测方法、灾害机理等方面入手,提高感知精度,降低装置能耗;研究适合于矿山环境的能量捕获技术,解决海量矿山传感装置可持续使用的难题。

2) 明晰无线电波在矿井巷道中的传播规律,研究矿井环境自适应认知方法,根据环境自适应调整矿山物联网的拓扑和通信参数,构建具有自恢复能力的矿山覆盖网络;研究灾害场景情况下的网络特征和重构策略,为灾后抢险救灾提供通信支撑。

3) 研究适合于矿山环境和矿山行业层次性架构的云计算平台体系和大数据平台构建策略,突破有时延约束的海量数据均衡传输、不同应用要求下的快速服务组合、融合矿山时空演变过程的矿山灾害预警模型等关键技术。

4) 研究矿山物体的语义命名规则体系、语义提取方法、语义集成方法、语义展现方法、基于预警预报方法,用以反映矿山生产过程的时空动态变化过程,提升决策支持的准确性;研究语义表示与矿山虚拟化技术的耦合机制,为矿山透明化奠定基础。

5) 研究矿山物联网安全机制、隐私保护策略,构造可信的矿山物联网。为此,需从设备本身的安全问题、数据安全和运行维护方面进行全方位考虑,特别是矿山物联网面临设备更繁多、用户身份更复杂、数据访问更频繁的情况,安全问题尤为严重。

3.4.2 提供五大感知服务

矿山物联网应围绕“人、机、环、管”4个方面提供以下五大感知服务。

1) 人员感知。人员安全在矿山生产中占据最重要的地位,应在现有的精确人员定位等技术基础上,重点开展轨迹大数据的研究;研制智能安全行为分析系统,分析矿工行为危险性;研制集通信、感知、紧急避灾路线规划于一体的集成化智能穿戴设备和智能推演决策平台,实现实时精确定位、可视化监控、智能化感知。

2) 灾害感知。矿山灾害是影响矿山生产的最大负面因素,应在传统矿山机理研究基础上,对矿井灾害可能释放的各种灾害先兆信息(如水文、应力/应变、瓦斯)进行同步采集,建立基于矿山物联网的灾害隐患辨识模型,研究灾害隐患智能感知与防治技术,形成井下安全信息实时采集、智能判别、自动预警与控制的灾害防治技术和装备。

3) 设备感知。设备是保障矿山高效生产的关键

资源,应充分借助矿山物联网的优势保障矿山装备的可靠运行。为此,需要重点研究基于大数据网络化的设备故障信息采集、特征提取、识别与定位算法,建立和完善复杂系统全生命周期时间状态感知理论,并构建基于开放式服务平台的矿山设备物联网综合接入与管控平台。

4) 矿区感知。矿区资源和环境是矿山企业可持续发展的资源保障。为此,应大力研究矿区地表几何、覆盖、环境等变化以及岩石受力、温度变化规律,实现矿区环境与灾害监测数据在线挖掘与实时预警技术的突破,构建矿区生态环境实时、动态集成监测系统,实现矿区生态环境与灾害信息精准提取、及时分析和有效控制。

5) 管理感知。科学管理是矿山企业稳健经营、持续盈利的制度保障。为此,应对矿山运行、管理、发展等各类信息进行深入挖掘与分析,资源优化整合,建立集“动态立体感知、智能信息管理、智慧决策应用”为一体的新型扁平化的矿山综合服务管理云平台,服务于矿山管理和矿山安全的新型管理模式,为矿山运行管理提供实时、准确、科学的信息决策手段。

3.4.3 构建“云”“雾”平台

以云平台和雾平台实现矿山信息的平台化管理和开放式服务,是矿山物联网充分发挥应有潜力的必然举措。

矿山物联网云服务平台应按照“一次投资、按需使用、分散监测、异地会诊、集中维护、多矿通用”的模式建设和运行,应保证具有极强的扩展能力和适应能力。通过云服务平台,将各矿井的现场数据进行集中存储、语义识别,通过高性能计算中心提供专业化的矿山云服务子应用。位于科研院所、政府机关等不同地方的专家可以在此平台对云服务平台中心的数据进行按需分析,为企业或有需求的第三方提供专业化的分析报告,如图2所示。

矿山雾计算平台是云计算平台在单个矿山企业的落地版本,即矿山微云。通过强化局部独立节点间的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。雾计算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迁移到网络边缘的本地设备,而非集中在数据中心,从而更加广泛地应用于不同的应用形态和服务类型。

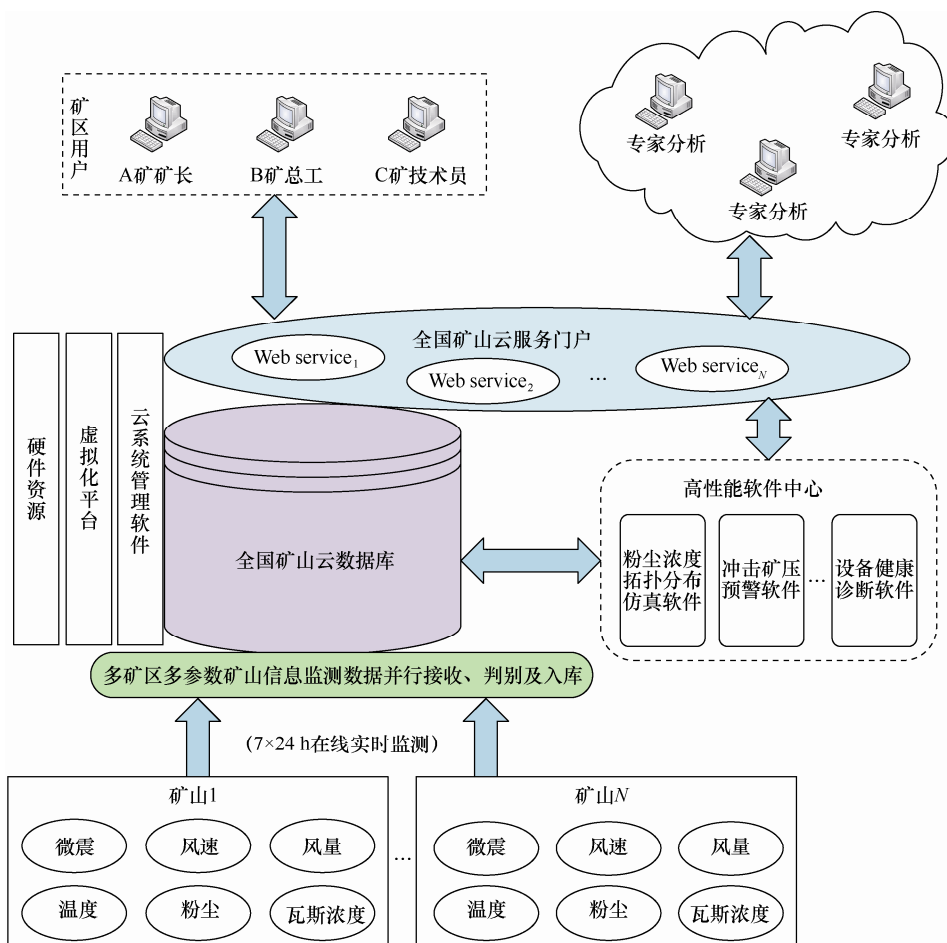


图2 矿山物联网云服务架构

3.4.4 推进标准化建设

标准化是矿山物联网行业有序健康发展、矿山物联网产品开放互联的必要保证。目前，国家安全生产监督管理总局已经组织编写了矿山安全生产物联网信息交互技术标准，主要解决了矿山物联网设备互联互通和信息交互问题。这些工作为推进矿山物联网的标准化迈出了第一步，但是远远不够，还应该统筹全局，加快推进总体共性标准、感知层标准、传输层标准、应用层标准的制订。

矿山物联网标准应该总体规划、分步实施。其中，总体共性标准从矿山物联网系统结构、矿山物体描述、共性技术等方面进行规范，感知层标准从信息采集与信息交互方面进行规范，传输层标准从信息传输及协同互联方面进行规范，便于矿山物联网信息的互联互通。数据处理层标准规范了一些面向应用的数据处理需求，是为具体应用服务的。应用层标准是规范在矿山物联网基础上的具体应用模式。矿山物联网标准体系如图3所示。

4 实施路线与保障措施

矿山物联网建设是一个庞大的系统工程，需要进行总体规划设计、分步实施、有序推进。图4给出了科技顶层设计的建议路线，涵盖了基础建设、示范应用、标准制订、平台构建和产业化等多个方面，需要政产学研用一起攻关，加大财政支持力度，加强融资政策支持，加强税收政策扶持，加大产业政策支持，加强人才队伍建设，积极开展国际合作，建立健全体制机制，在理论攻关、技术突破、装备研发、产业应用方面形成合力。

5 结束语

矿山物联网科技顶层设计是国家安全生产监督管理总局统观我国矿山行业发展全局、引导矿山物联网科技持续健康发展、保证矿山高效安全生产的重要举措。充分认识矿山物联网的发展现状，把握矿山物联网的发展难点，明确矿山物联网的战略发展目标，准确规划矿山物联网的核心关键技术发

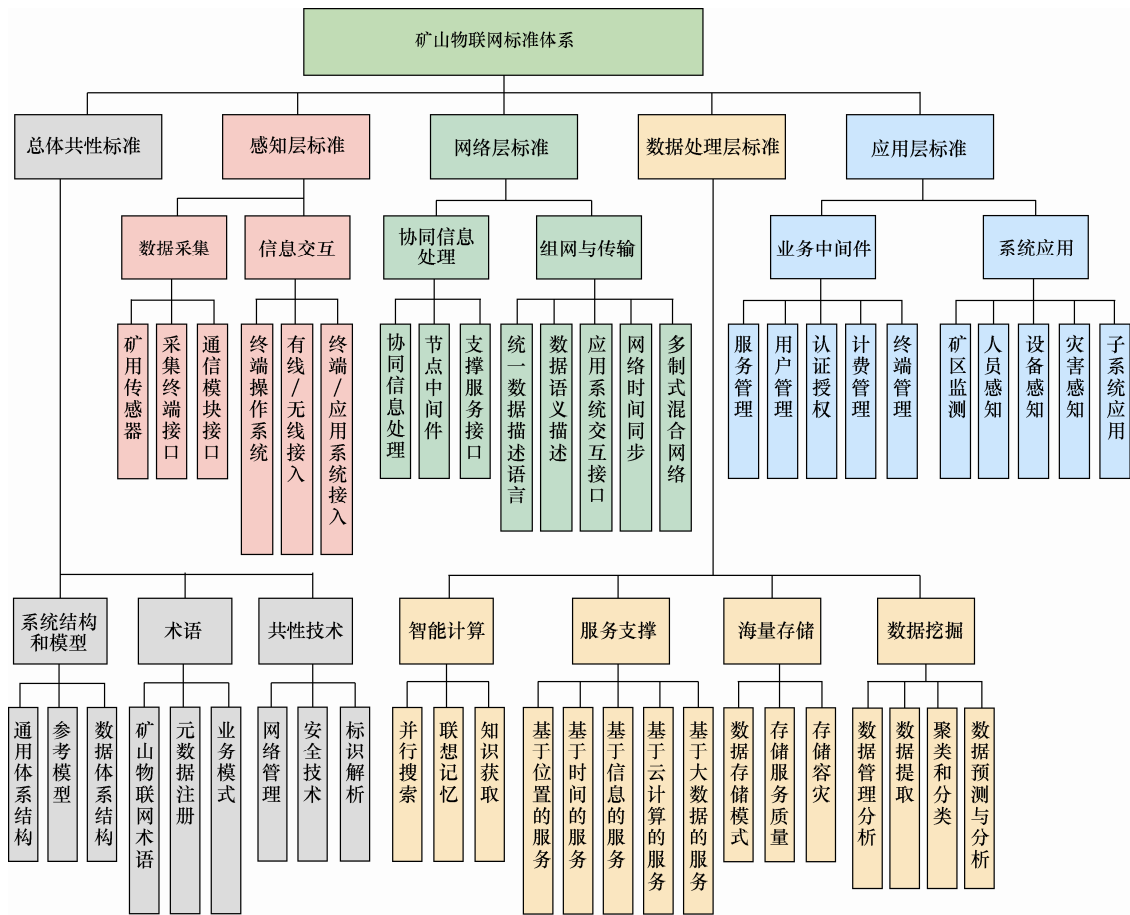


图3 矿山物联网标准体系

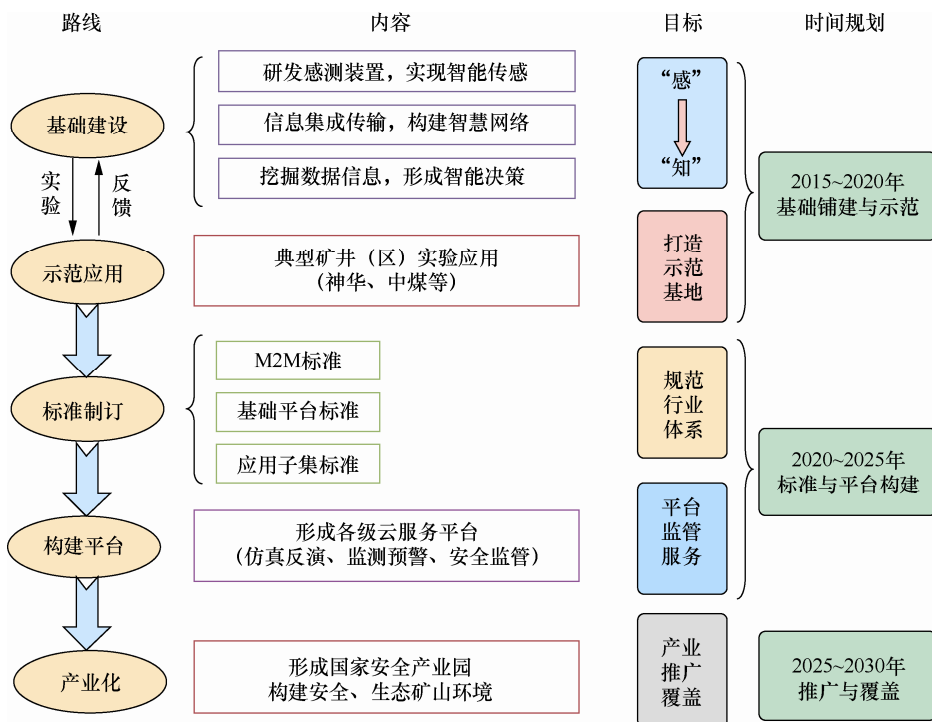


图4 矿山物联网建设路线

展方向，制订清晰的矿山物联网发展路线，是实现矿山物联网从概念到内涵、从内涵到技术、从技术到产品、从产品到产业的必由之路。矿山物联网是一个各行业、各单位合作共赢的平台，也是一个需要集众人之力才能做大做强新兴产业。矿山物联网科技顶层设计既是一个众人齐聚、合作共赢的良好契机，也为我国矿山物联网科技的发展指明了方向。

参考文献：

- [1] 丁恩杰, 赵志凯. 煤矿物联网研究现状及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2015,41(5):1-5.
DING E J, ZHAO Z K. Research status and development trend of coal mine Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(5): 1-5.
- [2] 韩建国. 神华智能矿山建设关键技术研发与示范[J]. 煤炭学报, 2016,41(12):3181-3189.
HAN J G. Research and development and demonstration of key technology of Shenhua intelligent mine construction[J]. Journal of Coal, 2016,41(12):3181-3189.
- [3] 胡青松, 张申, 吴立新, 等. 矿井动目标定位: 挑战、现状与趋势[J]. 煤炭学报, 2016,41(5): 1059-1068.
HU Q S, ZHANG S, WU L X, et al. Mine moving target location: challenge, present situation and trend[J]. Journal of Coal, 2016, 41(5): 1059-1068.
- [4] 张申, 丁恩杰, 徐钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲座之二——感知矿山与数字矿山、矿山综合自动化[J]. 工矿自动化, 2010,36(11): 129-132.
ZHANG S, DING E J, XU Z, et al. Two lectures on the Internet of things and the mine of mine perception—the comprehensive automation of the mine and the mine and the mine[J]. Industry and Mine Automation, 2010,36(11):129-132.
- [5] 张申, 张滔. 论矿山物联网的结构性平台与服务性平台[J]. 工矿自动化, 2013,39(1):34-38.
ZHANG S, ZHANG T. On the structural platform and service platform of the mine Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2013,39(1):34-38.
- [6] 姚建铨, 丁恩杰, 张申, 等. 感知矿山物联网愿景与发展趋势[J]. 工矿自动化, 2016,42(9):1-5.
YAO J Q, DING E J, ZHANG S, et al. The vision and development trend of the IOT perception of mine[J]. Industry and Mine Automation, 2016,42(9):1-5.
- [7] 胡青松, 吴立新, 张申, 等. 煤矿工作面定位 WSN 的部署与能耗分析[J]. 中国矿业大学学报, 2014,43(2):351-355.
HU Q S, WU L X, ZHANG S, et al. Deployment and energy consumption analysis of coal mine working face positioning WSN[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2014, 43(2): 351-355.

[作者简介]



丁恩杰 (1962-), 男, 中国矿业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为矿山物联网关键理论与技术。



胡青松 (1978-), 男, 中国矿业大学副教授, 主要研究方向为矿山物联网和移动目标定位。