

深圳 LNG 外输管道工程智能监控的建立与探索

杨 赫, 牟晓亮

(国家管网集团有限公司 西气东输分公司, 广州 510000)

摘要:随着物联网、大数据技术的发展,“智能管道”与“智慧管网”逐渐成为油气管道行业发展的趋势。如何利用现有物联网、大数据技术,丰富管道建设工程管控手段,成为提升管道建设工程质量的重要课题。结合深圳 LNG 外输管道工程试点应用情况,从管道建设工程的角度对智能监控进行探索。通过对管道建设工程智能监控构建基础,数据采集、录入、传输与同步,工程项目管理系统实施以及智能化监控系统现状进行研究,从物联网的建立、数据可视化角度进行分析,总结出智能监控在深圳 LNG 外输管道工程的成果和存在的问题。最后,针对智能监控在后续管道工程上的应用提出了建议和方向。

关键词:管道工程;物联网;智能监控

中图分类号:TE89 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)04-0215-08

低碳经济与环境保护已成为当今世界发展主题,天然气作为一种高效、清洁、优质能源,是近几十年内发展低碳经济、实现节能减排的必然选择。中国也提出了“合理布局天然气管道及配套设施,基本形成覆盖全国的天然气骨干管网,实现气源多元化、管道网络化、气库配套化、管理自动化、调度统一化”的天然气管道发展目标^[1]。

深圳 LNG 外输管道是国家天然气互联互通战略的首批重点工程,建成后将形成海外进口 LNG 气源与“中亚气”“中缅气”结网集输,极大提高管网调气灵活性,填补珠三角地区资源缺口,是实现“南气北送”“全国天然气一张网”格局的重要组成部分。该工程利用智慧管道建设一平台(基于数字孪生体的智慧管网工业互联网平台)实现三协同(工程服务商协同、设备制造商协同、油气上下游协同)、落实六智能(智能设计、智能工地、智能设备、智能管线、智能运行、智能决策)。建设智慧管道就是要建成“全数字化移交、全智能化运营、全生命周期管理”的油气管网,使之具备全方位感知、综合性预判、一体化管控、自适应优化的主要能力,保障油气管网本质安全、经济高效的运营管理目标。智慧化的实施将顺应国家和广东省对当地产业发展的要求,促进地方产业结构升级和能源结构优化。

1 概述

1.1 工程概述

深圳 LNG 外输管道工程起自深圳 LNG 应急

调峰站,全长约 64.3 km,设计压力为 10 MPa,设计输量为 $4\,600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (其中为中海油迭福 LNG 代输 $1\,600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),管径 1 016 mm,途经深圳市大鹏新区、坪山区和龙岗区、惠州市新圩镇、东莞市清溪镇,止于西气东输二线广州—深圳支干线。沿线共设置工艺场站 2 座,分别为首站、清溪清管站,共设置 1 座 A 类监控分输阀室和 4 座 B 类监控分输阀室,管径 D 为 1 016 mm,材质为 L485M,设计压力为 10 MPa,设计输量为 $4\,600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。无河流大型穿越工程,沿线河流中型定向钻穿越工程 2 处,河流小型定向钻穿越工程 3 处,隧道穿越山体 1 处。

1.2 智能化管道的提出

《德国 2020 高技术战略》中提出“工业 4.0”,以信息物理系统(CPS)为基础,建设智能工厂并实现生产过程智能化^[2]。美国提出“工业互联网”战略,通过智能系统和智能决策在企业中的逐步推进,通过数据传输、多数据应用和数据分析,重新整合创造出“工业互联网”^[3]。2015 年 7 月 4 日,国务院印发《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》^[4]。随后国家发改委《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》^[5]指出,鼓励煤、油、气开采、加工及利用全链条智能化改造,以互联网手段促进化石能源供需高效匹配、运营集约高效。国家发改委、能源局发布的《中长期油气管网规划》^[6],到 2025 年全

收稿日期:2020-11-13

基金项目:国家自然科学基金(41872118)。

作者简介:杨赫(1990—),男,黑龙江大庆人,国家管网集团有限公司西气东输分公司,工程师,研究方向为工程管理。

国油气管网将从 12 万 km 发展到 24 万 km, 倍增式发展对管道本质安全和运营效率提出更高的要求, 油气管网纵向配置优化油气行业内部资源, 与其他能源实现横向多能互补, 成为未来能源互联网重要组成部分。

当前, 油气管道已应用 SCADA 等系统对管道运行实现初步的智能控制, 然而对管道建设阶段管控智能化管控的研究依然十分欠缺, 在物联网、大数据和人工智能的信息技术背景下, 如何使管道在建设阶段向全面优化、智能化发展是目前亟待解决的问题^[7-12]。笔者首次对深圳 LNG 外输管道工程智能监控进行综合研究, 以期为该工程智能化管控提供可靠理论基础。

2 管道建设工程智能监控构建基础

2.1 数据采集、录入、传输与同步

智能化管道工程使用 PCM 系统数据采集, 可达到施工全过程数据采集的及时性、准确性、真实性、完整性以及确保过程可追溯。依托 PCM 全生命周期数据库, 构建工程建设项目智能管控中心, 实现了施工资源、工程进度、质量、过程资料的动态

管理。

PCM 系统数据包括结构化数据及非结构化数据的采集。结构化数据是指可以通过具有严格理论模型的关系数据库的数据表进行表达的数据, 如数字符号等。对施工过程中产生的数据, 如焊口数据、中心线控制点、防腐、穿跨越数据等, 具体以 PCM 系统生成的数据移交模板类型为准, 及时录入系统; 非结构化数据是指无法通过具有严格理论模型的关系数据库的数据表进行表达的数据, 如文本、音乐、视频等。通过在线添加的方式上传系统。如各类施工方案、两书一表、开停工报告; 并包括对施工人员、施工工器具信息的采集, 包括资质证书及相关工设备质量证明文件。

数据录入从营地建设、施工现场进出管理、质量管控等方面, 利用物联网和移动互联网技术, 通过设置闸机、视频监控、手机 App, 实现对人、机、料、法、环的全方位实时监控, 变被动“监督”为主动“监控”。数据录入按照要求通过项目管理助手、PC 采集至 PCM 系统, 再由 PCM 系统统一向中油管道数据中心移交。数据录入流程如图 1 所示。

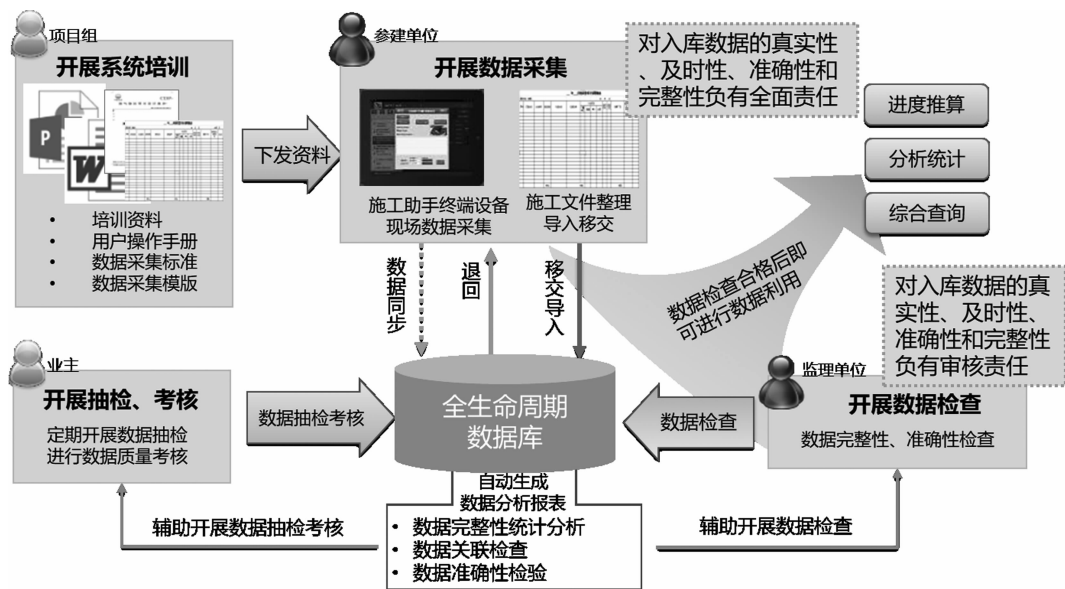


图 1 数据录入流程

数据传输是工况监控部分数据通过传感器模块搭配 4G 网络实现工况数据实时回传。视频监控部分同一作业区存在多路摄像头的情况下, 使用 NVR(网络刻盘录像机)将视频数据统一存储和上传服务器。连头、下沟等单个摄像头的情况下, 直接通过摄像头自带存储卡进行存储。线路视频主要依托 4G 网络传输, 在现场满足 4G 信号传输的条

件下, 实现自动实时传输; 在无 4G 信号情况下, 离线存储在 NVR 或存储卡中, 存储在本地存储卡的视频数据无法补传到服务器, 存储在 NVR 的视频数据可以补传。新建站及扩建站现场视频影像主要依托有线网络传输。智能管道示意图如图 2 所示。

数据的同步根据现场网络环境, 有网络信号的情况下进行实时传输; 如果没有网络, 可将数据存

储在数据采集助手内置的小数据库中，等到驻地有网络时在进行异步传输。

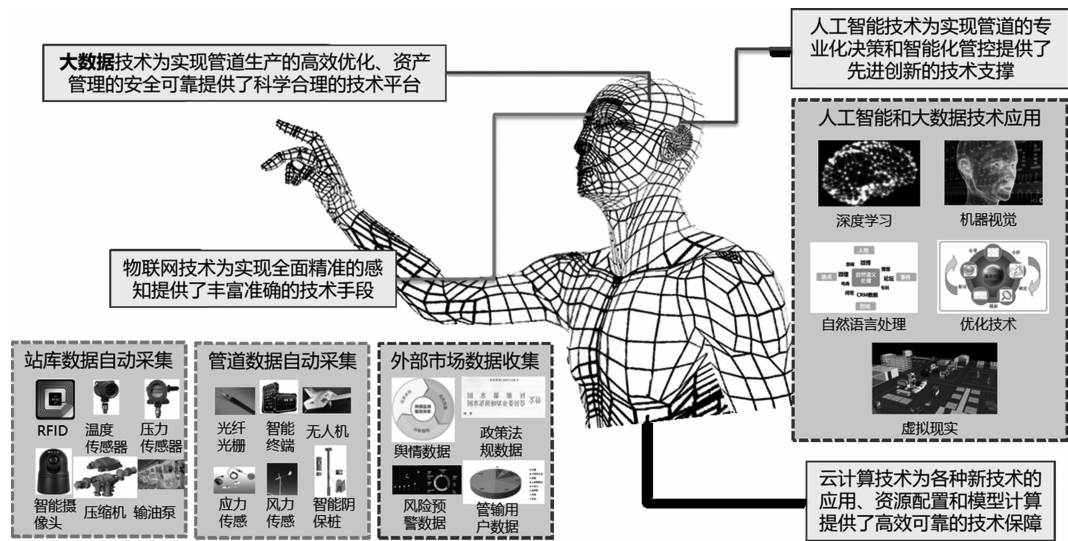


图 2 智能管道示意图

2.2 工程项目管理系统实施

通过手机助手或者 PC 端按照 PCM 系统功能模块的要求，及时完成进度报表填报、物资采购申请、质量问题整改闭合等内容，通过系统工具对项目进行良好把控。利用 PCM 系统中的工程 OA 功能模块，及时将项目情况汇报监理、业主。

2.3 智能化监控系统现状

油气管道建设工程与一般点状建设项目区别极大，具有施工技术多样、施工环境复杂、人员设备流动大的特点。因此，对于油气管道建设工程而言，搭建智能化监控系统是一项复杂且庞大的系统工程。首先要建立起一套覆盖工程全过程的物联网系统，对施工过程进行监控，对施工数据进行采集。然后针对不同类型的数据进行分析处理，为工程管理提供决策依据。

目前油气管道建设工程智能化监控系统仍处于逐步探索的发展阶段，通过固定式摄像头、执法记录仪、无人机航拍等手段，基本达到了对重点施工现场的远程监视与事后追溯功能。但对于施工过程实时数据的分析处理，以及对数据的可视化展示方面，还不能达到对施工过程进行有效指导与管控的要求。大部分项目仍采用传统的项目管理模式，未能将施工过程数据与监控手段充分结合，管理效率依然处于较低水平^[13-16]。

3 智能监控在深圳 LNG 工程的探索与实践

3.1 物联网的建立

为了保障深圳 LNG 工程数据采集的及时性、完

整性和准确性，建设管道物联网系统，包括线路焊接机组、防腐机组、开挖回填机组、小型穿跨越机组视频监控、场站及隧道智能工地等，在防腐、站场、隧道等重点作业段施工现场应用固定式摄像头，在焊接、站场、隧道建设智能工地，并实施执法记录仪与无人机航拍监控，为智能化管道的运行提供终端设施，实现了关键施工作业现场的实时监控，实时掌握现场作业情况，作业全过程留痕；实时监视施工机具工况数据，发现问题及时预警；施工数据现场采集，关键数据自动输出，确保数据真实、准确的目标。

结合深圳 LNG 外输管道工程自身特点，根据线路和站场的实际情况，建设智能监控系统如下：建立站场智能工地 1 个，半自动焊接智能工地 4 个，自动焊智能工地 4 个，隧道智能工地 2 个；防腐机组智能监控 2 个，定向钻机组智能监控 2 个，河流顶管智能监控 2 个；无人机设备 3 套，可穿戴移动摄像设备（执法记录仪）2 套。

3.1.1 线路焊机组智能工地搭建

焊接机组智能工地建设包括“现场组网”“视频监视”“焊接数据智能监控”，采集数据与 PCM 全生命周期数据库实现对接。

现场组网通过 UPS 电源为 4G 路由器和无线 AP 供电，4G 流量卡装入 4G 工业路由器放置在施工暖棚内，无线 AP 单侧有效范围 75 m 左右，安装在板房两侧，实现 150 m 范围内无线布控。

视频监视通过无线布控球直接对作业面进行监控，布控球电源来自内置电池，通过现场组网或者第三方 4G 流量卡直接上网传输视频影像。

焊接数据智能监控系统适用于本工程所涉及的不同焊接工艺的焊接方式。通过实时采集机组人员、焊机设备、焊接参数信息、环境信息等数据，配合上位机软件构建焊接质量智能管控系统，实现对野外焊接施工的远程管理和质量控制。系统应具有较强的抗电磁干扰能力，宽压供电，稳定可靠；防护等级高，箱体小巧，安装、使用便捷。

3.1.2 防腐机组、开挖回填机组、小型穿跨越机组视频监控

通过布控球直接对作业面进行监控，布控球电源来自内置电池，通过第三方 4G 流量卡直接上网实施传输视频影像。安装布控球安装位置及监视角度由现场 HSE 管理人员及监理单位人员根据危险源及质量监控点的重要程度进行确定。

3.1.3 站场智能工地搭建

站场影像监控系统将固定影像采集+移动影像采集，宏观场景监控和隐蔽工程监控相结合实现站场施工过程关键工序全程影像记录。人车进出管控，封闭施工区域，严控施工站区内人员和车辆合规性管理。整合上述系统与工程进度相结合，实现站场一体化管控。

站场工程智能工地建设包括现场组网、视频监控和重点区域进出场 3 部分，除“视频监视”与线路有所不同，其他两部分基本相同。

站场施工的视频监视设定 3 个固定监视和 1 个机动监视，其中两处固定监视设计为鹰眼摄像头，分别布置在对角围墙上，鹰眼摄像头布置高度不低于 5 m，用于监视场内整体的施工情况，如场地平整、土建施工、建筑施工等。

在工艺设备安装过程中，工艺设备区内设置一个固定监视摄像头，使用海康布控球套装，用于进行工艺主要设备安装施工的实时监控，内摄像头可布置在棚顶，也可根据实际环境和要求进行调整。

在整个站场施工过程中，设置一个可移动的临时监视摄像头，使用布控球套装，当围墙对角鹰眼摄像头无法监视到的地点，或重点质量施工管控点，或其他管理要求设置额的监控点，则使用可移动的机动监控摄像头，机动摄像头可布置在三脚架上，根据实际管理需要进行移动监控。

3.1.4 隧道智能工地搭建

隧道工程出口、入口分别建立 1 个智能工地。通过智能闸机、视频监控摄像头、气体检测智能设备，确保施工人员进出管理受控，并做好火工品的监控。通过隧道智能工地的搭建，做到实时掌握现场作业情况，作业全过程留痕；实时监视施工机具工况数据，发现问题及时预警；施工数据现场采集，关键数据自动输出，确保数据真实、准确；施工过程的数据具有可追溯性。

结合深圳液化天然气应急调峰站外输管道项目隧道工程特点及智能工地建设方案要求雷公山隧道工程智能工地设施布置如下：隧道出口闸机 1 台，闸机连接监控屏 1 个，布控球 2 个；隧道入口闸机 1 台，闸机连接监控屏 1 个，布控球 2 个。隧道工程智能工地建设包括现场组网、视频监控和重点区域进出场 3 部分，在外围人员入口处增加人脸和车辆识别闸机，在隧道洞口工作区增加视频监控，在隧道内增加人员定位系统。结合现场实际情况完成隧道出入口智能工地布置，如图 3 所示。

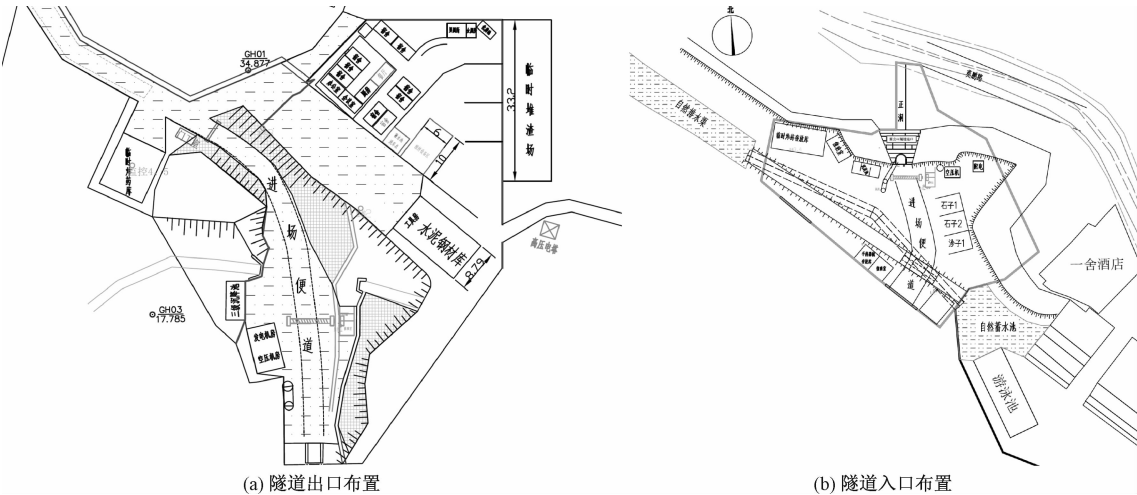


图 3 隧道工程出口、入口智能工地布置示意图

3.1.5 执法记录仪与无人机

将无人机、可穿戴移动摄像机应用和半自动焊接工况采集融入智能管控中心,完善了智能管控中心功能,形成智能管控中心三大功能模块,综合管控、可视化监控、工况可视化监控等专题模块。

通过研究应用,构建无人机管控平台,实现工程建设期各项目无人机综合管控、定期和不定期快速安全巡检、重点区域突击检查、关键工序快速巡查、前端智能图像识别、终端自动报表输出。

现场监理人员通过佩戴可穿戴移动摄像设备对关键工序和隐蔽工程进行影像数据采集,有利于加强管道工程施工现场的过程监管力度,实现关键工序、重要事件的可追溯、可查询。起到双向威慑作用,提升检查者和被检查者安全、规范作业意识。

3.2 数据可视化

深圳 LNG 工程建立智能管控平台,在平台上实现项目级、专题级、机组级 3 个维度的可视化应用,全面集成资源数据、进度数据、质量数据、视频信息、工况信息,通过可视化和分析服务,构建工程监视预警中心,远程实时掌握施工现场情况,出现问题自动预警,提高工程过程质量管控。按照业务管理的需要,对工程建设涉及的进度、质量、资源等管理要素进行深入挖掘、分析与展示,为决策支持提供数据支撑和依据。将线路、站场工程等三维模型进行轻量化处理,转化为通用格式,并与实体数据、业务资料、管理信息、现场视频等进行关联和挂接,实现工程概况、施工部署、进度模拟、属性信

息的三维立体化综合展示,直观形象掌握工程总体情况,推进数字化设计成果的延伸应用,支持工程项目综合管理。智能管控平台层级如图 4 所示。



图 4 智能管控平台层级

3.2.1 综合管控专题

综合管控专题模块集成工程整体信息,包括工程简介、工程进展、资源投入、焊接质量、投产倒计时等宏观数据,可视化展示项目形象进度等综合情况,并实现日常机组作业影像监控与施工过程信息相融合,提升机组施工过程管控维度,如图 5 所示。同时提供管道路由三维地图位置展示,为上级决策者提供一目了然、可以迅速感知的工程信息,如图 6 所示。

3.2.2 可视化监控管理专题

可视化监控管理专题模块实现影像数据与具体施工管控要求相结合,深化施工过程管控应用,如图 7 所示。本模块集合不同工序不同机组的全部视频监控数据,包括焊接、防腐、定向钻、隧道以及站场,并涵盖无人机航拍和移动式执法记录仪的视频数据,做到对全部工序、重点地段的实时远程监控,



图 5 综合管控专题

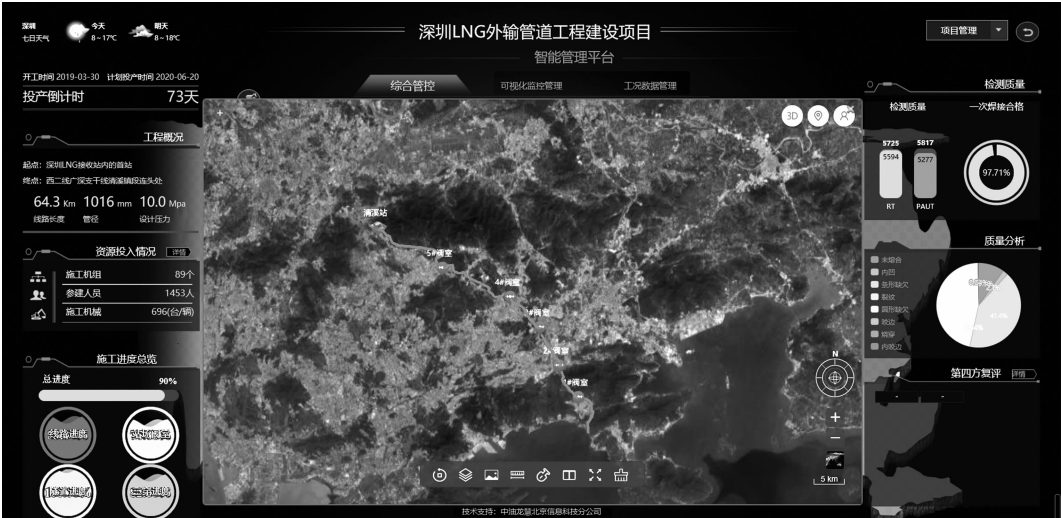


图 6 三维地图位置展示



图 7 可视化监控管理专题

同时结合现场监理巡检+业主检查的管控方式，一方面营造利刃高悬的氛围，消除现场作业人员侥幸心理，提高现场“三员”的责任心，另一方面可以更好地为不同层级的管理者展示现场实时情况。与仅依靠人力去现场检查的传统管控模式相比，提供了更便捷有效的工程质量、安全管控手段。

3.2.3 工况数据管理专题

工况数据管理专题模块，通过焊接数据智能监控系统，实现焊接工况数据远程可视、可查，深化焊接施工过程管控颗粒度，对分析焊接数据、提升焊接质量起到积极作用。结合焊接工艺规程，通过对焊接电流、电压、送丝速率、温度等数据的采集与分析，对超出焊接工艺的数据提供实时报警与历史记录，并自动计算每道焊口层数道数，达到焊接工况数据可追溯，同时为项目管理者分析焊接质量提供辅助支持。

焊接数据智能监控系统通过采集、传输、分析现场焊接参数，远程监控现场焊接过程，从而达到控制现场焊接质量的目的。系统由两部分构成：前端采集传输系统和后端数据分析处理系统。前端采集传输系统由终端控制器、二维码扫描枪、电参数传感器、温度传感器和焊枪传感器组成。参数设置包括焊接工艺、ID、焊口编号、设备编号、焊工编号、工艺上下限等内容。焊口、设备、焊工信息由无线扫描枪录入，并增加了临时应急焊口录入通道，防止扫描枪故障导致无法录入的情况。焊接工艺参数已经提前在系统中完成录入，由于本工程执行多种焊接工艺，无法对焊口编号与焊接工艺一一对应，需要现场焊工手动选择。后端数据分析处理系统对采集的实际参数进行处理，对照焊接工艺上下限，展现不同参数的超限信息，并自动计算焊口

层数道数,智能分析焊工在焊接过程中对焊接工艺的执行情况。

工况数据管理专题主界面如图 8 所示,工况数据分析界面如图 9 所示。



图 8 工况数据管理专题主界面



图 9 工况数据分析界面

4 问题与建议

4.1 移动通信网络信号问题

深圳 LNG 外输管道工程地处珠三角地区,移动通信网络信号基本达到全覆盖,但在部分山区段仍然存在信号较弱、无法实时传输信号的情况,该项目对无法实时传输的数据采取事后手动上传的方式。建议后续在智能化监控应用过程中,进一步研究如何对移动网络信号不好地区进行数据传输,探讨其他备用传输方式或者断点续传的可行性,减轻设备维护人员压力。

4.2 工况数据管理系统的兼容性与可靠性

工况数据采集设备与焊接设备属于两套不同的系统,工况数据采集设备需由系统维护人员提前

安装在相应的焊接设备,对设备抗震、防日晒雨淋、耐久性的要求极大,需要在使用中进行维护。此外,设备在使用过程中不可避免需受到人员操作的影响,一定程度上增加了焊接机组工作量,增加了人为不可控因素的风险。建议后续深化数据采集方式,打通数据采集系统与 PCM 系统实时数据链路传输,实现扫描焊口二维码使焊接工艺规程自动适配;对工况数据采集设备与焊接设备整合的可行性进行研究,消除人为因素影响,减少维护人员负担。

4.3 智能管控分析与反馈

由于现场作业环境等因素影响,作业人员很难在现场感知工况数据智能监控报警信息。此外,由于无法在现场查询历史数据,对偶尔出现的电压和

电流超限行为很难做到及时纠偏。建议后续进一步优化现场报警功能,让现场焊工能够及时感知具体焊接参数超限信息,以做好现场及时纠偏;完善可视化视频数据、焊接数据智能统计分析,实现智能管控决策输出。

5 结语

深圳 LNG 外输管道工程对智能监控系统进行了试点应用,实现了对施工过程的多维管控,推动管道建设工程智能监控和数据分析技术发展。通过监控摄像头、执法记录仪、工况数据采集、无人机、智能闸机设备的互联与整合,建立了工程监控物联网系统,在平台上实现项目级、专题级、机组级 3 个维度的可视化应用,达到了对工程焊接、防腐、土建、三穿、站场等各个工序的全方位实时监控,提高工程过程质量管控。通过监控数据可视化,为项目管理人员决策提供了数据支撑,达到了进度、质量、安全的实时管控与事后追溯,为后续智能监控系统在其他工程上的应用提供了积极的借鉴意义与参考价值。

参考文献

[1] 聂中文,黄晶,于永志,等.智慧管网的建设进展及存在的问题[J].油气储运,2019,38(11):1-9.
[2] 德国 2020 高技术战略[R].德国:2017.
[3] 王巨洪,张世斌,王新,等.中俄东线智能管道数据可视化探

索与实践[J].油气储运,2020,39(2):169-175.
[4] 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见国发[2015]40号[R].北京:国务院,2015.
[5] 关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见发改能源[2016]392号[R].北京:国家发展改革委,国家能源局,工业和信息化部,2016.
[6] 中长期油气管网规划发改基础[2017]965号[R].北京:国家发展改革委,国家能源局,2017.
[7] 李柏松,王学力,徐波,等.国内外油气管道运行管理现状与智能化趋势[J].油气储运,2019,38(3):241-250.
[8] 程万洲,王巨洪,王学力,等.我国智慧管道建设现状及关键技术探讨[J].石油科技论坛,2018,37(3):34-40.
[9] 王昆,李琳,李维校.基于物联网技术的智慧长输管道[J].油气储运,2018,37(1):15-19.
[10] 蔡永军,蒋红艳,王继方,等.智慧管道总体架构设计及关键技术[J].油气储运,2019,38(2):121-129.
[11] 李遵照,王剑波,王晓霖,等.智慧能源时代的智能化管道系统建设[J].油气储运,2017,36(11):1243-1250.
[12] 周小冬,刘民军,鲁万卿,等.基于物联网技术的智慧工地建设[J].施工技术,2018,47(4):1008-1010.
[13] 徐建辉,聂中文,蔡珂.基于物联网和大数据的全生命周期智慧管道实施构想[J].油气田地面工程,2018,37(12):6-13.
[14] 董绍华,张河苇.基于大数据的全生命周期智能管网解决方案[J].油气储运,2017,36(1):28-36.
[15] 唐建伟,王予东,余倩,等.长输管道施工建设项目群的工程化管理模式[J].油气储运,2017,36(4):449-454.
[16] 苏卫东.油气长输管道工程的施工风险管理探析[J].全面腐蚀控制,2019,33(7):51-53.

Establishment and Exploration of Intelligent Monitoring of Shenzhen LNG Pipeline Project

YANG He, MU Xiao-liang

(Pipechina West East Gas Pipeline Company,Guangzhou 510000,China)

Abstract: As the development of Big Data and The Internet of Things in recent years, intelligent pipeline network has become a trend in oil and gas pipeline industry. An important issue of using the existing Internet of Things and Big Data technology to enriching the management and control methods of pipeline construction was raised. Explores intelligent monitoring from the perspective of pipeline construction engineering. Through research on building the foundation of intelligent monitoring and control in pipeline construction project, data collection, input, transmission and synchronization, project management system implementation and intelligent monitoring system status, summarizes the achievements and problems of intelligent monitoring in the Shenzhen LNG pipeline project from the establishment of the Internet of things and data visualization analysis. At last, suggestions and directions are put forward for the application of intelligent monitoring in subsequent pipeline projects.

Key words: pipeline project;internet of things;intelligent monitoring and control