
工业以太网在综合管廊弱电系统中的应用

施耐德电气（中国）有限公司

网络行业应用篇/设备监控与维护

1 概述

未来 3 到 5 年，地下综合管廊的建设和运营逐步成熟，在这个过程中，具备领先技术和先进管理经验的智慧管廊系统才能符合实际的需求。智慧管廊系统的网络架构面临着开放，稳定，易维护，高度自动化等各种实际问题，采用工业以太网架构能够利用工业级成熟的网路架构完美的解决智慧管廊网络架构的问题，可以实现管廊内部机电设备互联互通和统一管理。工业以太网架构适用于管廊弱电系统工程，在地下环境中可以高效可靠的运行。

1.1 背景

我国正处在城镇化快速发展时期，地下基础设施建设滞后。推进城市地下综合管廊建设，统筹各类市政管线规划、建设和管理，解决反复开挖路面、架空线网密集、管线事故频发等问题，有利于保障城市安全、完善城市功能、美化城市景观、促进城市集约高效和转型发展，有利于提高城市综合承载能力和城镇化发展质量，有利于增加公共产品有效投资、拉动社会资本投入、打造经济发展新动力。

2015 年中央财政支持的综合管廊十个首批试点城市：包头、

沈阳、哈尔滨、苏州、厦门、十堰、长沙、海口、六盘水、白银。2016年中央财政支持的综合管廊新增十五个试点城市石家庄市、四平市、杭州市、合肥市、平潭综合试验区、景德镇市、威海市、青岛市、郑州市、广州市、南宁市、成都市、保山市、海东市和银川市。随着城市经济的快速发展，综合管廊建设规模不足、管理水平不高等问题凸显，一些城市相继发生管线泄漏爆炸、路面塌陷、“马路拉链”等事件，严重影响着生命、财产安全和城市运行秩序。针对这些问题，综合管廊成为了一种优秀的解决方案；它是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”。

1.2 实施目标

如何在管廊建设之初就构建一个科学的现代化的智能平台，使得未来的管廊运营管理更加高效稳定，更加智能智慧，是现在我们要攻克的一个课题。

而智慧管廊，智能平台的核心三要素：**开放的企业级平台，工业以太网架构，以及关键的边缘计算控制设备**。因此选择一个合适的网络方案，边缘控制设备，以及开放的平台，对构建智慧管廊平台总体设计是本文需要阐明的目标。

1.3 适用范围

地下综合管廊是指在城市地下用于集中敷设电力、通信、广播电视、给水、排水、热力、燃气等市政管线的公共隧道。

综合管廊弱电系统，也称为综合管廊监控与报警系统，主要由以下几部分组成：

- 管廊运管平台
- 环境与设备监控系统；
- 火灾报警系统（预警与报警系统）；
- 安全防范系统（视频监控、入侵报警等）；
- 通信系统（有线电话、无线对讲等）；

本文介绍重点是管廊运管平台和环境与设备监控系统的方案。也是基于工业以太网应用的核心方案。

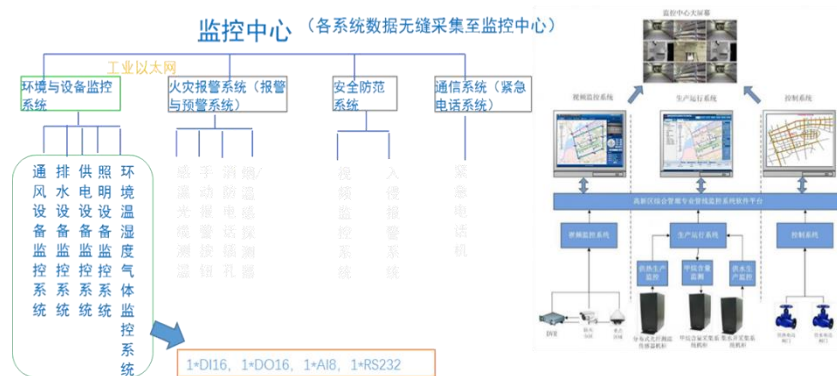


图 1 综合监控系统

根据《城市综合管廊工程技术规范 GB 50838-2015》的要求，综合管廊每 200 米划分防火分区，环境与设备监控系统在每个防火分区内会设置一台 ACU 区域控制单元，负责综合管廊现场防火分区范围内的信号采集、控制信号输出和远程通信等任务，一台 ACU 通常由工业级的可编程逻辑控制器 PLC、工业以太网交换机、UPS 和控制机柜等几部分组成。

此外，智慧管廊运管平台以保障管廊安全、稳定、高效、智慧化监控和运营为目的，基于物联网、大数据、云计算三大技术，帮助管廊业主实现集中监控和运维管理，保障安全，应急预案联

动，大数据分析，持续优化运营。

1.4 在工业互联网网络体系架构中的位置

本方案在工业互联网网络体系架构中，覆盖智能机器与工厂控制系统，工厂控制系统与工厂云平台（及管理软件）。详见工业互联网体系架构图中的 1，5 两部分。

方案通过提供综合管廊内先进的基础自动化设备和硬件控制系统，保障管廊内数据和设备的监控，上传下达各种现场数据和指令，并实现与其他个子系统的联动，为管廊内的设备安全，人员安全，财产安全提供保障。

管廊的运管平台方案，是基于平台的集中监控和运维管理，确保管廊业主日常运维的安全和高效，同时通过平台内的各种应急预案的联动，大数据分析，帮助管廊业主决策支持，持续优化运营。

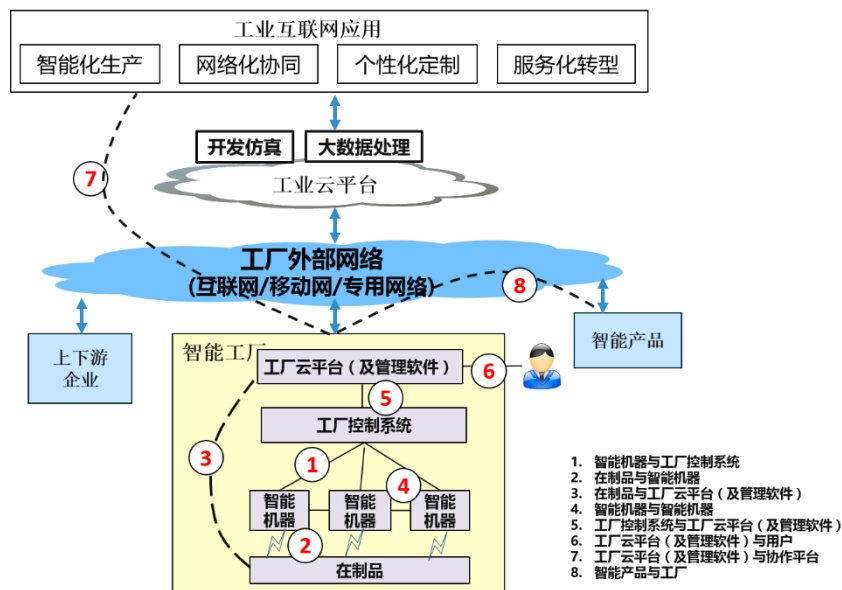


图 2 工业互联网互联示意图

2 需求分析

综合管廊的建设在国内已经掀起了高潮，除了 25 个中央财政支持的综合管廊建设试点城市之外，每个直辖市和省会城市甚至一些中小型城市都开始了综合管廊的建设或者规划。预计未来 3 到 5 年国内的城市管廊公里数将非常庞大，随之而来的是管廊建设及运营的规范化，智能化的要求。目前管廊修建都处于示范段小范围建设或者运营阶段，问题尚未凸显，未来管廊修建的公里数逐渐累积，运营监管的范围将不再是现在的几公里规模。当管廊规模在几十公里后，设备分布的网络拓扑就已经很庞大，如果软硬件达不到一定要求，将系统将面临无法扩展的瓶颈。在管理上，如果没有同一的高效软硬件集成平台，将无法实现自动化管理运营。设想未来城市管廊的规划都在百公里以上，分散的设备和互不兼容的子系统中庞大的监控数据会给管理造成多么大的困境。因此，我们现在架构的设计就要具备前瞻性，在管廊建设之初就应该构建一个从软件到硬件都符合未来应用的现代化智能平台。

3 解决方案

管廊的弱电系统（监控与报警系统）是一个深度集成的自动化平台，它集成了环境与设备监控、安全防范、视频监控、火灾报警、语音通讯、电力监控等子系统。通过集成和互联管廊内的自动化系统，为运营和维检人员提供一个完整的、统一的运管平台。

所以，管廊的运管平台，需要基于物联网、大数据、云计算

三大技术，平台内核采用业界知名的成熟、稳定、可靠的工业 SCADA 软件为基础，通过大量深度开发，完美集成 GIS 技术、BIM 技术于一体，将综合感知和指挥调度、监控运营管理、维修维护管理三大基础功能模块整合于一身，为智慧管廊的建设、运营、维护、管理奠定了坚实的基础。

环境与设备监控子系统的功能是实现了对综合管廊全区域内环境和设备的参数和状态实施全程监控，并将实时监控信息通过 ACU 准确、及时的传输到监控中心的统一管理平台，便于值班人员及时发现现场环境和设备的问题，排除故障以及对警情及时处理，保证管廊的正常运行。方案采用工业以太网光纤环网架构，核心关键设备采用工业级的智能交换机，工业级的边缘控制器 PLC 产品。通过这些自动化平台将工业以太网技术的诸多优势集于一身，从而确保不同控制层级之间、各系统之间和系统内设备之间协同工作更顺畅、更高效。

本文以法国某知名品牌，工业级的 SCADA 软件，以及 Modicon 边缘控制器 PLC 产品为例，介绍工业以太网在管廊运管平台和环境与设备监控子系统中的应用。

3.1 方案优点

综合管廊运管平台的各种功能，都是基于工业以太网实现的。由于以太网是以办公自动化为目标设计的，并不完全符合工业环境和标准的要求，将传统的以太网用于工业领域还存在着明显的缺陷，所以很多厂家推出了工业以太网，借助于工业以太网实现

自动化与信息化的融合，从而实现一网到底。工业以太网是互联网的一种类型，是在互联网基础上的延伸和扩展的网络。工业以太网是基于 IEEE 802.3 (Ethernet) 的强大的区域和单元网络。企业内部互联网(Intranet)，外部互联网(Extranet)，以及国际互联网(Internet) 提供的广泛应用不但已经进入今天的办公室领域，而且还可以应用于生产和过程自动化。以太网主要用在商业环境，而工业以太网主要用在自动化设备上。自动化设备在实时性、确定性、可靠性上远远高于商业环境。商业环境对信息的传输，延时一秒是可以接受的，而某些工业设备对实时性要求是时延不超过几十毫秒，对网络要求不同。

本方案中平台架构和软硬件的技术先进性

(1) 可靠性。系统应确保管廊数据获取、融合、传输等过程的可靠性。其中，感知数据是管廊各项应用的基础和判别依据，可靠的数据获取、融合和传输是保证管廊功能正常运行的基础。热插拔的硬件支持设备不停机维护。

(2) 可扩展性。系统应能够动态调节，为不同网络应用提供可扩展性，包括网络拓扑结构可扩展、服务内容可扩展等。

(3) 兼容性、开放性和易维护性。系统的软、硬件采用模块化、组态化设计，可以方便地进行容量的扩充和功能的维护升级。同时，系统建设基于 Web、B/S 结构，软件设置开放性网络接口，可实现将监测信息上传至监控中心和各级主管部门、单位。

(4) 安全性。监控与报警系统的安全标准要特别保护用户

的信息隐私,为各政府部门、单位提供不同安全级别的网络应用。

3.2 系统架构及网络拓扑设计

根据现在综合管廊用户的使用习惯以及各专业设计院的设计要求,每两个防火分区(400米)设置一个弱电间,弱电间内设置1套区域控制单元ACU(PLC系统),实现环境和设备的监控,系统间的联动,以及大数据采集。

各个ACU搭建光纤环网,并通过接入层交换机通过光纤环网接入监控中心核心层交换机。PLC采用某国际知名品牌Modicon系列高端PLC。结合综合管廊的应用特点,环境与设备监控系统有以下三种PLC控制系统架构在较为常用。

第一种常用架构,常规单机PLC方案(图3),即在各分变电所/人员出入口(通常合建)、各防火分区均设置一套PLC。有时候为了体现变电所/人员出入口的重要性,这里的PLC会要求采用冗余PLC。代表管廊有:苏州吴中太湖新城综合管廊、北京大兴机场工作区综合管廊、景德镇昌南拓展区综合管廊等,这种PLC架构占到60%。

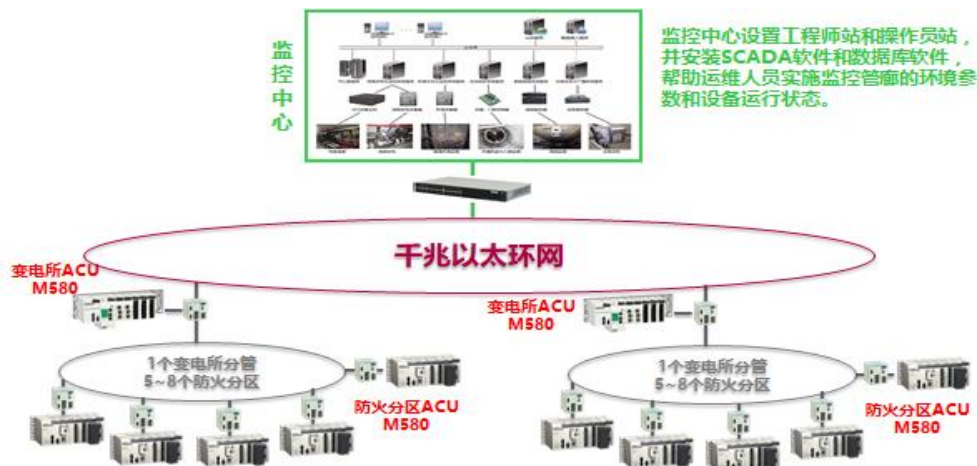


图 3 常规单机方案架构

第二种常用架构，异地冗余 PLC 方案（图 4），即在分变电所设置半套冗余 PLC，与相邻的分变电所的另半套冗余 PLC 通过光纤连接，构成一套完整的异地冗余 PLC，而在防火分区内则设置远程 I/O 站，分变电所的异地冗余 PLC 通过以太环网将分变电所供电范围内的防火分区远程 I/O 站连接在一起，实现统一的远程监控和数据采集。代表管廊有：合肥高新区综合管廊、上海南汇新城综合管廊、吉安君华大道综合管廊等，这种 PLC 架构约占到 20%。



图 4 异地冗余方案架构

第三种常用架构与第二种类似，两个分变电所同样采用异地冗余 PLC，但在远程 I/O 站方面，为现场每台设备均单独设置远程站，如：排水泵远程站、排风机远程站、风阀远程站等。代表管廊有：赤峰中心城区综合管廊、南京江北新区综合管廊、西宁综合管廊等，这种 PLC 架构约占到 10%。

3.3 功能设计

每个综合管廊防火分区设计一套环境和设备监测系统（以

ACU 为核心), 包括: 若干台温湿度传感器、2 台氧气传感器、2 台硫化氢传感器、2 台甲烷传感器和 1 台液位传感器。温湿度、氧气、硫化氢和甲烷传感器分别安装在防火门两侧附件, 靠近人员出入通道位置, 监测管廊内的环境参数。同时, 液位传感器安装于集水坑内, 外接显示装置; 该系统实现对风机, 水泵, 照明控制; 电力监测系统, 视频监控系统, 火灾报警系统, 管线监测系统联动。

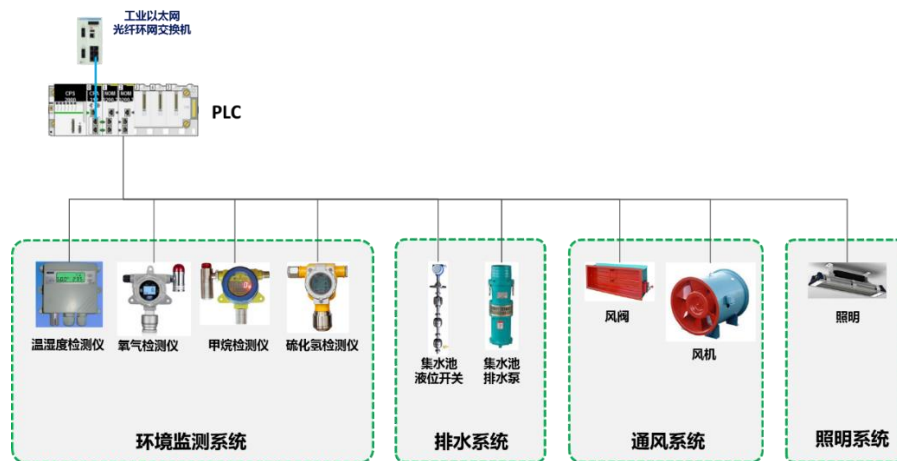


图 5 系统架构

针对综合管廊监控内部的一些管理特性, 综合管廊运管平台要以整个软件为平台核心进行建设, 整个综合管廊监控体系必须要具备高科技运行的软件, 通过对整个监控和报警系统的建设, 将三维地理信息和环境信息以及安全防范信息同视频图像进行融合, 同时要融入多种其他的信息, 建立统一的资源数据库, 保证能够在不同的时间段内调出资源数据库, 并能够结合历史数据库来进行有效的分析和预测, 满足大数据的空间积累, 全面进行融合。

与此同时，综合管廊运管平台应该覆盖所有的综合管廊信息领域，通过分布式方式对所有数据进行实时管理，能够有效地实现系统空间的需求，同时也能够高效集成和扩容，为用户提供高效的平台产品，满足各种不同的需求。

通过分布式实时数据，搭载系统架构等各类信息服务，以及消息总线和服务总线，提供全面的信息交换设置，与此同时，能全面实现系统安全高效的平稳运行，保证各类信息系统的融合，实现从综合管廊监控体系底层到上层的全面调配，满足现场控制到生产调度以及信息化的综合管理。

运管平台面对的用户：

- 管理层和决策者：提供管廊宏观态势感知、3D 导览、应急预案调度等功能。
- 系统维护工程师：提供工程师站，便于实现人员和权限管理，预案、规则、规程编制，日历排程，知识库维护，报表定制等。
- 管廊监控人员：提供设备设施的状态监视、远程和联动控制、报警和故障处理与分析功能。
- 管廊运维人员：提供资产设备管理、巡检、养护、维修等功能
- 管廊运维现场执行人员：提供手机或平板电脑的 App，便于导航指引、现场预案查询、维护辅助（视频、规范规程、图纸、3D 模型等）、现场记录等。

监控中心的运管平台的架构和功能如下图所示：

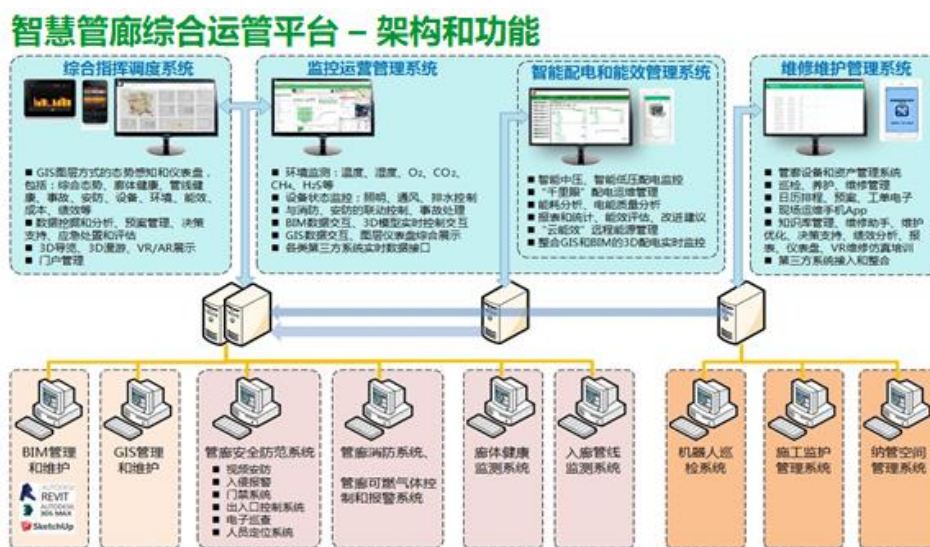


图 6 智慧管廊综合运管平台架构

3.4 安全及可靠性

本方案采用工业级以太网光纤环网方案，确保网络架构的高效和冗余。目前在工业领域主流的工业以太网协议包括：Modbus TCP/IP、EtherNet/IP、ProfiNet、EtherCAT、POWERLINK 等。本方案中的 Modicon 系列高端 PLC 系统，全面支持 Modbus TCP/IP 和 EtherNet/IP 两大工业以太网协议。Modicon 系列 PLC 系统的设计基于开放的以太网技术，从而有效地优化了设备互连和通信。配合性能优越的 X80 通用 I/O 平台和灵活易用的 Advantys STB/ETB I/O 平台，可以完美实现系统的集成；强大的控制器提供更高水平的复杂网络通信、显示和应用控制的处理能力。

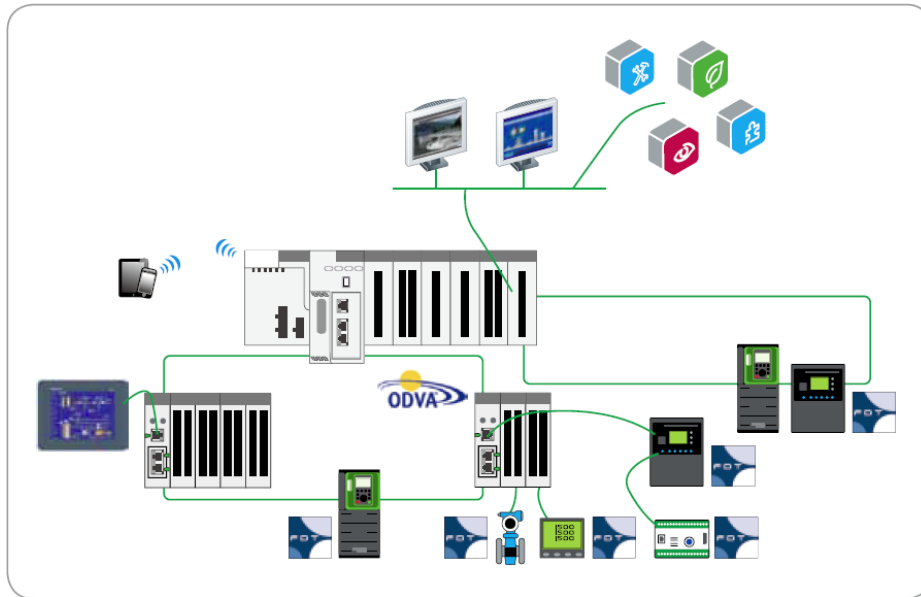


图 7 方案网络架构

4 成功案例

1) 景德镇综合管廊系统

景德镇管廊全长 5 公里，共设 28 个防火分区，是全国主要管廊试点城市，该管廊采用某国际知名品牌的边缘控制器 Modicon 系列 PLC 及 Citet 软件平台系统，采用工业以太网架构。该方案的实施给客户带来可靠稳定的系统，工程和运维的便利，技术的先进性得到客户的一致认可。

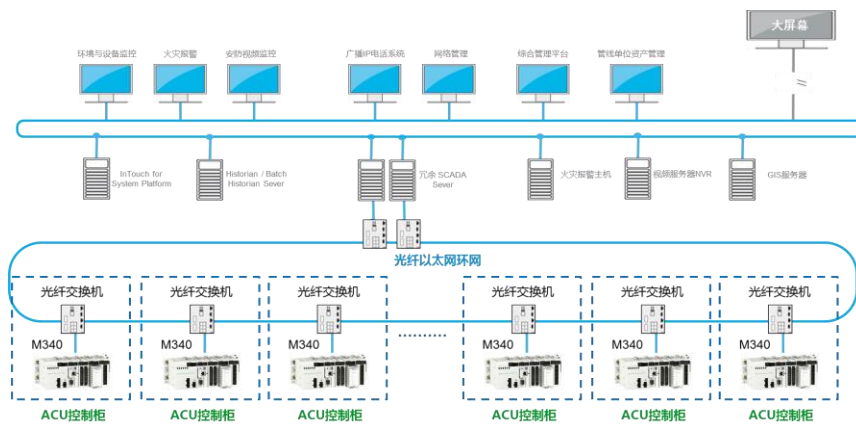


图 8 景德镇管廊系统架构

2) 首钢园区综合管廊方案

首钢园区综合管廊一期工程涵盖首钢园区秀池南街和秀池西路。首钢园区综合管廊收纳了电力、电信、给水、热力等市政管线，管廊总长约 750 米，两舱设计（综合舱、电力舱），设 1 个监控中心(含弱电机房)、14 个防火分区。综合管廊采用 M340 PLC 作为环境与设备监控系统的现地区域控制器。在管廊沿线弱电设备间内设置一台 ACU（内含一台千兆以太网交换机，一套数据采集控制单元，一套 UPS）；每个防火区间设置一套现场控制箱 ACU（内含一台千兆以太网交换机、一套数据采集控制单元、一套 UPS）。

首钢第一条自主投资设计建设的管廊项目，为客户提供完整的顾问服务帮助其建立其对管廊弱电系统的工程能力。

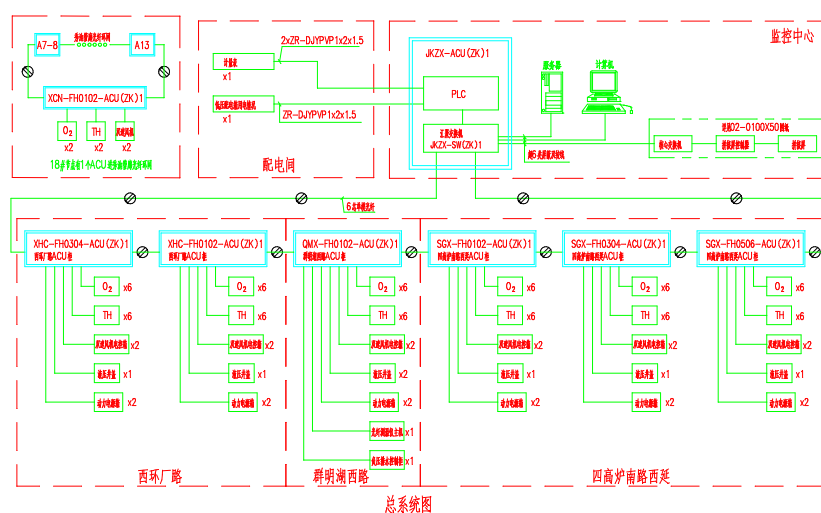


图 9 首钢园区综合管廊总系统架构