

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.08.063

特长隧道智能配电系统设计与应用

王 颖

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 隧道智能配电系统是高速公路智能交通系统的重要组成部分,安全可靠的配电系统是保证隧道安全运营的基础。对市场上能够应用的智能化硬件产品进行调研,以施耐德电气的智能配电系统在 G98 环岛高速三亚崖州湾隧道工程中的应用为例,通过分析隧道传统配电系统存在的问题,结合隧道日常管理与运营维护的实际特点,提出智能配电系统的总体架构,探讨在工程上如何构建智能配电系统,实现运维管理的智能化,最优化,保障隧道平安、高效、持续健康发展。

关键词: 特长隧道;智能配电系统;系统架构;运维管理

中图分类号: U453.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0232-06

0 引言

近年来,随着我国高速公路网的快速发展,出现了越来越多的隧道群、特长隧道,如何更好地保障隧道运营安全,是隧道设计和运营中考虑的首要问题[1]。隧道是一个相对封闭的环境,运营环境较为特殊,通风、消防、照明、通信、监控等配套设施是保证隧道安全高效运营的基础,因此为这些负荷提供安全可靠的供配电显得尤为重要[2]。传统被动的进行运行维护的配电系统已无法适应交通产业日益增长的数字化、智慧化管理以及运维的需求,基于物联网、大数据及智能决策技术深度融合的智能配电系统具有可靠性高、运行维护主动、安全性高以及互联互通性强等特点,并且为满足隧道实际的需求还可以进行扩展设计,从数字化过渡到智慧化,建立“人——设备——数据”的互联互通,从经验驱动创新发展到数据驱动,使其可以更好地满足隧道自动化运维、管理的需求。本文基于智能配电系统的技术特点与优势,结合隧道配电系统运营的实际需求,以 G98 环岛高速三亚崖州湾隧道工程实例为切入点,通过优化隧道内供配电方案,确定了隧道工程的智能配电系统设计方案及其应用方向和要点,提升了隧道供配电设施供电安全性和可靠性,有力保障了隧道平安、智慧、高效和可持续运营。

收稿日期: 2021-09-08

作者简介: 王颖(1983—),男,本科,工程师,从事电气设计工作。

1 工程概况

海南 G98 环岛高速是沟通海口至三亚两城市,连接海口市、澄迈县、临高县、儋州市、洋浦经济开发区、白沙县、昌江县、乐东县、三亚市的交通主干线,也是海南省高速公路网中的主骨架。现状 G98 环岛高速为路堤形式,从崖州湾科技城重点片区中间穿越,对片区有严重的割裂作用,两侧地块无法沟通,严重制约崖州湾科技城重点片区的建设发展。该工程是海南 G98 环岛高速的一部分,位于三亚市崖州湾科技城重点片区,为新建 G98 环岛高速隧道段项目,隧道规模为双向四车道,长度为 3.93 km,其中暗埋段 3.09 km,隧道中间未设置匝道,主线为双向四车道并两应急通道设计,其中隧道 10 kV 变电所总体布置如图 1 所示。



图 1 隧道 10 kV 变电所总体布置图

2 隧道用电负荷及供电方案设计

隧道工程的供电应确保隧道安全可靠地正常运行,满足设计规范中对不同等级负荷的供电要求。

2.1 负荷分级

G98 环岛高速三亚崖州湾隧道重要电力负荷的分级如下:

(1)一级负荷:隧道内应急照明、基本照明、射流风机、消防泵、消防风机、监控设备等,其中应急照明等为特别重要负荷。

(2)二级负荷:加强照明、排水泵等其余负荷。

(3)三级负荷:检修电源等其余负荷。

2.2 供电电源及接线方案设计

根据负荷分布的特点,隧道拟设4座分变电所,隧道1#、4#变电所为地面式泵站变电所,按照当地行业管理要求,另增设1路柴油发电机为备用电源的主接线,低压侧为单母线分;隧道2#、3#变电所为以隧道射流风机为负荷中心和主要负荷的变电所,主接线为两路10 kV双变压器接线,低压侧为单母线分段,中间设联络开关,接线方案如图2所示。

2.3 负荷计算

根据表1负荷计算,隧道采用两路10 kV电源供电。受隧道用地条件限制,该工程隧道与管理中心变电所距离较远,分别以管理中心变电所、隧道1#

变电所作为受电电源点,隧道10 kV电源引自城市电网,两路电源同时运行,当一路电源退出运行时,另一路电源应能承担隧道100%负荷正常运行,不能同时停电。

该工程用电负荷按变电所的设置分为:(1)隧道风机和照明用电;(2)泵站用电;(3)管理用房建筑照明和消防用电。

3 隧道智能配电系统架构

近年来,随着制造工艺的提高、信息技术的发展,结合最新技术的新型智能配电系统便应运而生。该系统是基于物联网的数字化配电解决方案,结合控制技术、云计算和大数据分析与服务等,将配电系统中的智能设备互联互通,从安全性、可靠性、稳定性等方面,对配电系统各个环节、重要运行参数进行在线、实时监测以及设备健康状态的预测,为配电系统合理调配及能源数据的科学分析提供智能辅助决

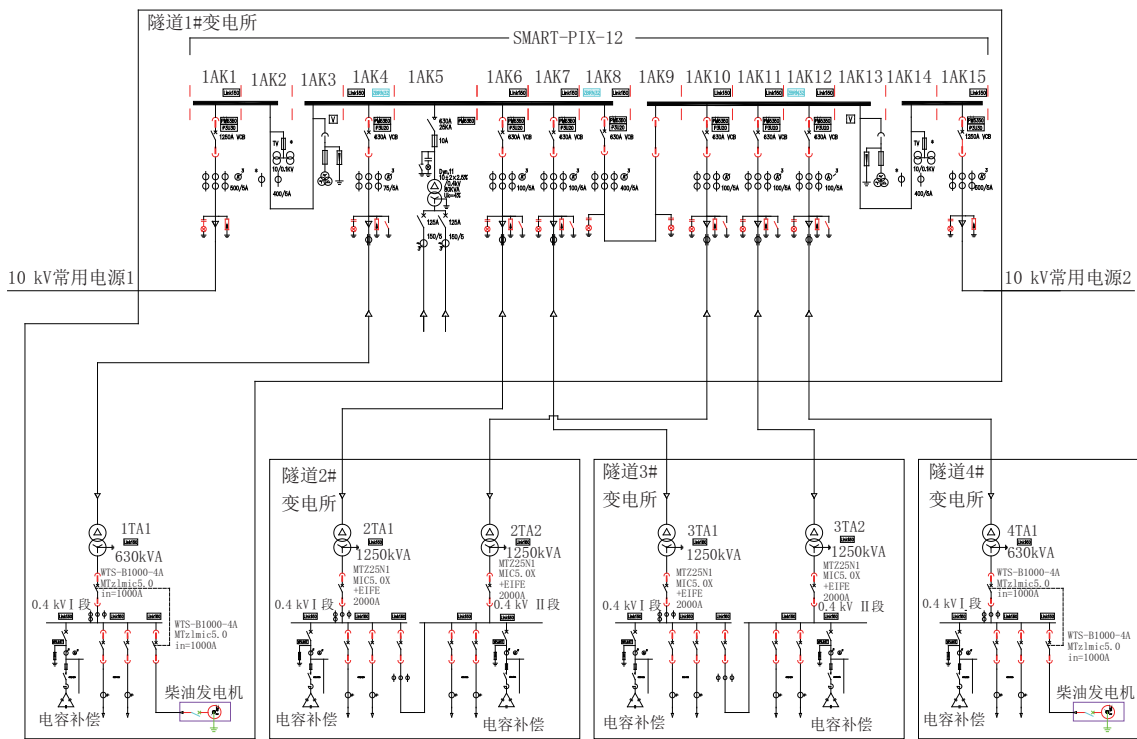


图2 隧道接线系统图

表1 变电所负荷计算表

名称	装机容量/kW	计算功率/kW	无功补偿容量/(kV·A)	最大单机容量/kW	变压器容量/(kV·A)	负载率/%	事故保证率/%
管理中心变电所	769	557.37	2 × 100	30	2 × 400	72	74
隧道1#变电所	611	383.4	1 × 200	90	1 × 630	66	—
隧道2#变电所	1 462	1 119	2 × 500	30	2 × 1 250	49	100
隧道3#变电所	1 499	1 119	2 × 500	30	2 × 1 250	49	100
隧道4#变电所	611	383.4	1 × 200	90	1 × 630	66	—

策^[3-4],实现主动性高效维护,保障配电运行更加安全、可靠,全方位地改善了传统的配电系统。

由于国家目前尚未颁布相关智能配电系统的标准及规范^[4-5],设计人员在具体工作中无行业依据,隧道项目智能化配置一般需要多个单体整体监控,包括隧道、泵站、城市道路、管理站等,采用强弱电一体

化或中低压一体化方案,也可根据项目不同采用三遥或四遥监控模式以及现场手动与远端遥控相结合方式,本文通过智能配电系统与传统电力监控系统的对比(见表2),并综合考虑隧道实际运维管理的需要,给出一种智能配电系统的架构方案,如图3所示。

通过智能配电系统的上述管理,全方位改善配

表2 智能配电系统与传统电力监控系统架构功能对比

功能	价值	功能描述	智能配电系统	传统电力监控+能源管理
运行维护管理	提升可靠性及安全性 提升运维效率	运行状态及现场报警管理	√	√
		实时/历史数据、历史故障记录,运行报表及查询管理功能	√	√
		图纸资料及联系人信息管理,相关信息可通过柜门二维码快速访问	√	×
		电力设备维护和预防性维护过程信息管理	√	×
		基于物理设施的单线图管理	√	×
		配电室运行日报、报警周报	√	×
电气资产管理	提升可靠性和安全性 提升运营效率 提升设备使用效率	手机等移动终端监测,自动/人工生成工单及派单,实现无人值守	√	×
		电气资产设备安装信息、静态动态参数配置信息	√	×
		可通过web端登陆、APP二维码扫描等方式多维度查询及资产报告	√	×
		断路器老化分析管理	√	×
能源效率管理	提升能源使用效率	发电机健康管理	√	×
		能源数据监测、采集	√	√
		电能分析和展示功能 能耗报告	√	√
电能质量管理	提升可靠性及安全性	故障录波、瞬时波形分析功能	√	×
		电压合格率对比分析(骤变分析报告)	√	×
		谐波分析	√	√



图3 隧道智能配电系统架构方案

电系统,可提高供电的可靠性、安全性以及高效性,实现预防性维护,提升隧道的运营效率和设备使用效率,提高隧道运营中的能源利用率。上述架构可通过智能化的电力设备、集成化的控制系统与基于物联网大数据和人工智能的有机结合实现,如图4所示。

4 智能配电系统在隧道中设计与应用

4.1 智能配电系统设计拓扑

通过调研目前主流智能配电系统领域产品线及

其配套的软件系统,本隧道工程智能配电系统设计采用了如图5所示的系统网络拓扑图,项目配电室现场部署软硬件一体的站控管理单元,便于现场实现配电站的主动运维。

4.2 主要硬件设备和软件系统选型

电气设备应具有盐雾不易腐蚀的性能,在沿海地区使用过程中保障设备运行安全、可靠。同时,各类硬件可选配的功能十分丰富,设备选型以经济合理为基本原则,既要保证系统功能的实现,又要避免

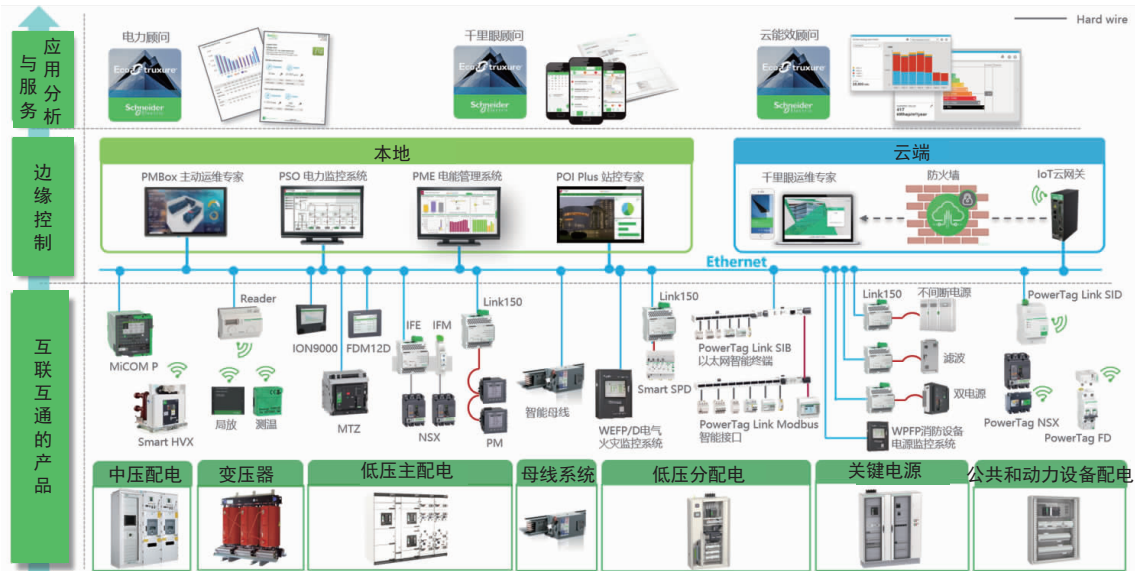


图4 智能配电系统三层架构

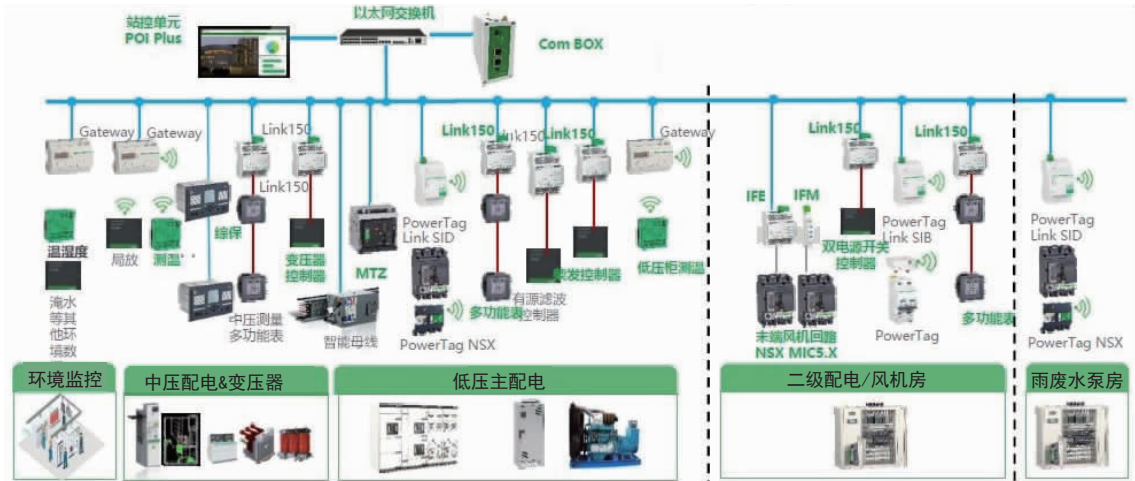


图5 隧道智能配电系统网络拓扑图

配置过高造成浪费。隧道内五座变电所无人值守,要求高、低压设备互通互联具有智能配电系统功能,并配有相应数字化,监控平台及通信组件。隧道所应用的配电系统,在常规情况下系统中低压配电柜配置了众多类型的仪表,主要用来动态监测系统的运行状态,及时掌握系统的变化情况。高压开关柜选用智能型金属铠装中置移开式开关柜,具有卓越的抗内部电弧能力;低压开关柜选用智能型金属封闭固定分隔式;变压器选用节能型干式变压器。

4.2.1 PremSet 屏蔽式固体绝缘开关柜

4.2.1 PIX 中置式金属铠装柜

该工程选用的中压 Pix 系列原厂柜采用空气绝缘,防止隧道内高湿度变化气候环境中产生凝露带来的危险,在断路器室和电缆室内分别装设加热器,同时还能防止腐蚀的发生。主动运维智能单元 PMBOX 可就地显示实时变电站设备信息,主动运维智能单元 APP 手机能直接读取 NFC 预存储的信息,

还可支持远程运维操作,实现对关键参数的实时监测与诊断,大大减轻人力操作时间和运维成本。

4.2.2 Blokset 智能低压配电柜

该工程选用满足高可靠性要求的低压成套设备 Blokset,适用于 400 Hz 以下,额定电压 690 V,绝缘电压 1 000 V,额定电流 6 300 A 及以下的电力供电系统,符合 IEC60439-1、IEC60529、IEC60947 等相关标准,将具有高级保护和通信功能的元件集成到设备中,能够实现电能的精准测量及开关状态的轻松捕捉,系统具备高水准的可靠性和安全性,并加强了对人身和设备安全的保护。高质量、高可靠性的产品保证了供电的连续性和系统的耐用性。

4.2.3 数字化运维管理平台——千里眼

千里眼是基于云计算的开放平台工具,将智能硬件中的信息进行安全汇集和处理,对配电设备和场所进行高效易用的资产管理、状态监测、运维作业和数字服务,全面实现低压柜的移动运维功能。办公

室管理人员通过网页 PC 端,可以全面细致地进行资产、派单管理和事件追踪,同时还能实时数据单线图看板。现场运维人员则可通过手机 APP 端接收工单任务,定位故障位置,通过扫码访问,快速查看资产数据,记录拍照,处理留档作业,实现移动运维管理。

千里眼的资产管理,通过设备信息二维码读取,图纸文档云端储存,信息流转便捷高效,能提供详细完整的台账信息,实时数据的显示;千里眼的报警管理,通过在线监测实时数据,分析历史数据,对设备故障及时准确报警,并可设置区分不同等级的报警,通过短信通知接收人第一时间获取报警信息,通过报警属性来管理、筛选和导出报警信息;千里眼的运维管理,从连接设备到与“人”的互通,实现管人、管车、管站点。制定周期性、预防性维护计划和提醒,自动或手工生成、派发临时的维护任务工单,对历史数据、现场照片、运维日志、设计信息等进行归档分析,执行闭环管控;千里眼的工单管理,可将工单创建,工单执行日期提前短信推送执行人,并对工单、运维日志、设备资产等报表报告定期分析,防患未然。

4.2.4 Power SCADA Operation 电力监控系统

Power SCADA Operation 集成了从设备层到配电网层的所有信息,通过优化设备效率和自动化操作控制,并结合电网保护、电力参数仪表和监控平台,从而保证设备安全、可靠、高效的运行。采用分层分布式结构,分监控管理层、通讯接口层、现场间隔层三层,保护、测控功能不受通讯网络的影响,确保系统的安全性和可靠性。将趋势和报警相结合,快速识别和隔离故障,减少停机时间;当报警等事件发生时,通过实时地捕获需要监控的关键信息并采取正确的决策,延长设备寿命和正常运行时间,减少人工维修时间,极大提高配电系统的可用性。

4.3 系统功能概述

该工程智能配电系统在传统电力监控系统的基础上和能源管理完美融合,通过数据通讯将现场设备层的综合保护装置、多功能电表、变压器温控器以及智能断路器的有效信息自动地、实时地采集到电力监控系统,可以提供多方位的实时状态监测,为隧道配电系统的运行提供安全、可靠、高效的监控解决方案。

通过可视化电力系统监控界面,可以提供隧道 10 kV 变配电单线图系统显示、0.38 kV 各个配电室

配电单线图系统显示,并且支持动态着色功能,区分带电和不带电的设备,同时还可实时显示现场设备的运行状态和各种测量值等。

当系统出现故障或者其他报警信号时,根据事件等级进行严重程度判别,发出相应报警信号,自动对报警信息进行数据存储,记录故障类型,自诊断功能根据报错信息确定故障部位,然后报警和闭锁故障元件,保证其它部分正常工作,降低故障影响范围。故障录播功能还原故障前后的电流、电压等参数变化情况以及开关的动作顺序,有助于运维人员判定事件发生的顺序并进行根本原因的分析,缩短事件响应时间和提高安全性。

能耗管理系统精确记录各项能源消耗,将采集的能耗数据通过数字化的仪表盘进行分项对比,自动执行同比、环比、变化趋势、不同能耗介质对比,统计能源消耗情况,并提供便于用户观察的图形表现方式。系统将离散的能源信息通过有效的分级和组织,变成动态生动的数据,将能耗分摊或按负荷类型进行分类,反映各个用能设备的用能特点。系统投运后获得相当数量的数据信息后,能够统计分析不同的因素对能源使用状况的影响,从而辅助运维单位分析预测和优化能源使用。灵活设置与电力公司相匹配的账单结构,通过账单分析避免不正常的能源成本增长,还可预设多年的账单结构,将能源数据转换成可追踪的碳排放。

电能质量监视与分析能够对整个系统范围内的电能质量进行持续的数据采集与监测分析,能够对安装在配电网中任何地点的电气信号进行精确分析以识别任何电能质量扰动数据,进而分析其对系统和相应安装地点设备产生的危害。现场电能质量监测装置同步的对所有的电压电流信号进行波形捕捉,捕捉到的波形存储在装置内存中,并送达到操作员工作站中,便于操作员操作分析。

运维管理系统主要用于向运维人员进行设备维护、资产管理提供决策依据。断路器在配电系统中起着决定性作用,充分考虑产品工艺、材质、设备运行温度、运行时间、分合闸次数的相关信息,对断路器绝缘性能、机械性能、电力性能的全方位监控,通过建模分析,对断路器进行电气老化、机械老化分析和综合评估,并定期向运维人员推送老化分析报告。维护计划管理功能通过设备寿命设置预警阈值,提供维护计划和工单管理,提供清晰准确的工作日程,节省维护成本并提高电气系统安全性。

