

地埋式污水厂电气自动化控制系统设计

王江锋

(杭州富阳水务有限公司, 浙江 杭州 310000)

【摘要】随着城市的疾速扩张,人口激增带动了生活和生产的繁荣,同时也带来了前所未有的污水挑战。提升城市污水管理系统承载力的问题日益凸显,成为推动城市可持续发展的重要议题。各地污水厂接纳流量的差异显著,处理过程中的流量与能耗失衡可能导致处理效率低下,进而影响出水水质的达标。科技进步为污水处理提供了无限可能,为了确保城市建设的全面优化,我们必须把污水处理视为关键环节,积极探索创新策略,以提升其系统性和高效性。

【关键词】地埋式污水厂; 电气自动化; 控制系统; 设计

城市基础设施中的污水处理设施扮演着至关重要的角色,但过去的观察显示,这些设施常常选择建于密集的住宅区或商业楼宇周边。然而,这类设施长时间运作对周边居民的生活质量和工作效率产生了深远影响。在过于注重功能性而忽视美学价值的污水处理站规划中,与周围环境的和谐共生性正面临挑战。因此,迫切需要污水处理厂革新思维,树立新的设计理念,以此为污水处理设计的推进奠定坚实的基础。

一、项目概况

原项目为一座地下水净化设施,鉴于全局发展规划,现计划扩建为一座地下式的污水处理厂,设计处理能力达7万立方米每日。依据地埋式污水处理厂的特性,箱体内部被划分为两层,内含深度处理和生物处理等关键工艺。依照国家设计标准,本工程在施工时将采用二级电力负荷,并配置10kV的双回路供电系统以确保电力供应。在设计中,总变电站及分变电站被安排在箱体上层,各装备有两台变压器,规格分别为2台2500kVA和2台800kVA。变压器采取独立运行模式,万一其中一台故障停运,另一台仍能维持供电,保证系统的稳定运行。此外,项目还结合了智能水务的创新理念,在建设过程中融入这一战略,旨在通过本次全面改造推动智能化进程的加速发展。

二、地下污水厂电气系统的设计

(一) 地下污水处理厂照明设计

为了全面符合地下污水处理设施的运作规范,照明设计可被详细区分为地下照明和地面照明两个主要部分。地下照明涵盖了地下室内的所有设备、工艺区域以及楼梯和走廊的照明,进一步细分为常规照明和紧急照明,后者包括疏散照明和备用照明。

至于地面照明,它涉及道路照明、景观照明以及地面上的总配电室照明等元素。由于地下污水处理厂的天然采光条件有限,因此在设计照明方案时,不仅要确保光照强度和节能标准,还需特别关注地下室内环境的质量,以防止产生不良心理效应。具体策略如下:

1. 工作人员应充分利用地面的吊装孔来引入自然光,尽量减少因空间狭窄和封闭带来的负面影响;
2. 利用太阳光系统的优点,通过导管、通道和光纤设施引导自然光进入地下空间,实现环保无污染的照明;
3. 在设计人工照明时,应综合考虑照明的均匀性、强度和舒适性,创造出符合人类视觉需求且变化丰富的照明环境;
4. 深入理解照明的功能性、使用环境及其重要性,特别是在潮湿的地下车间、配电室和中控室等场所,应配备应急照明设备。

配置方案如下: 1. 应急照明设施被置于楼梯间、防烟楼梯间前室以及疏散通道中,平日兼作常规照明使用; 2. 在地下一层和二层配置火灾应急照明,同时用作日常照明功能; 3. 为确保安全,施工队伍需在各个疏散通道和安全出口安装疏散指示标志及出口指示灯,所有这些设备均由EPS集中供电系统提供支持,确保连续供电时间不少于30分钟,备用灯具不配备独立电源,疏散标志灯和出口指示灯无论平时还是火警时都保持常亮; 4. 在消防控制中心、消防泵房、防排烟风机房、发电机房、变配电房等火灾发生时仍需正常运作的区域,设置应急照明,确保其亮度能满足日常工作需求。

(二) 基于强弱电融合的智能配电方案

智能配电体系架构具备丰富的功能特性,但并非所有功能都适用于当前建设项目,且存在投资过大的挑战。因此,有必要对体系架构进行深度优化,

以适应客户实际需求和现有资金状况，挑选适宜的智能化设备，探索经济有效的解决方案。新型智能配电架构的核心在于互连互通层的设计，其配置选择可从 10kV 和低压配电系统两个层面考虑。10kV 配电系统是智能配电系统的基础，直接影响系统的稳定性和安全性，故在此基础上设置智能中压柜，集保护、监控及智能测温、局部放电检测等功能于一体。对于低压配电系统，考虑到需要远程设定断路器参数和远程控制开关，项目需求将引导选用带有通信接口和电动操作装置的高级断路器。然而，鉴于项目的资金限制，高级断路器的成本过高，无法广泛应用到所有低压电路。配电系统的末端，如 MCC 的主要回路，主要用于电机设备如泵、搅拌器等，部分供电配电回路用于现场维修，由于电机启停可通过远程控制系统完成，这些回路的断路器无需配备远程控制，普通断路器配以智能电力仪表即可满足项目要求。据此，应根据实际情况优化低压配电方案，提升结构清晰度。在关键节点处，安装高级智能断路器，而为降低成本，非关键节点可采用普通断路器搭配电力监控仪表，确保在有限投资下兼顾用户功能需求。

在构建边缘控制层的过程中，可以将其划分为电力监控体系和站控模块等多元结构，以此最大化其实现的功能效益。在传统的配电架构下，通常配置监控系统来监视操作，低压系统的运行数据会实时传输至中央控制室的监控主机。然而，这种方法仅仅停留在数据的原始收集阶段，并未深入分析数据，无法充分提取其中的潜在价值。通过整合电能管理系统到电力监控系统，可以提升软件的数据处理能力，深化数据的价值挖掘，同时将信息应用于电能质量评估、风险预警等多个层面，有效支撑管理和控制任务的执行。在 MCC 低压馈线柜的界面增设站控单元，借助单线图，能清晰展示电站关键电气设备的运行指标，且具备历史数据回溯功能。对于工作人员而言，站控单元的增设提升了数据利用率，提高了巡检效率；当电站发生故障时，它能及时警示运行人员，并通过系统快速定位问题源头，有助于迅速恢复电力供应。

优化后的智能配电解决方案 2.0 版本成功地达成了预设的设计要求。相较于传统的配电策略，此智能方案在电气改造部分提升了 35%，而总体工程成本的增长幅度成功控制在 2% 以下，与客户的全局期望保持一致。借助系统的顶层结构，大数据平台的数据集成能力得以充分展现；通过详细的数据分类和总结，各个层面的信息被深度探索，进而为问题解决提供了定制化的策略，最大化了系统的效能。鉴于该项目的

投资约束以及水务行业数据的高度敏感性，我们预留了接口，计划在未来的实际运营中根据具体发展情况做出最终决策。

（三）电机控制

在地下污水厂进行电气自动化系统的规划时，首要目标是选用前沿且富有创新性的智能监控与管理系统，旨在融合传统的人工操控与 PLC 自动化控制技术。这种整合旨在通过灵活切换两种模式，增强对污水处理设施设备的精确控制能力。鉴于地下环境的特殊性，电气设备通常需具备 IP54 及以上的防护等级，并内置温湿度调节装置。因此，PLC 自动化系统通常被作为主要的自动化控制手段，但同时也鼓励手动控制的运用，以便于定期的维护和故障排查。这样，在遇到地下污水厂电力操作中的突发状况时，能迅速采取应急响应，确保电气自动化控制的高效运作和稳定性能。

（四）变压器容量选择

通过分析整个工厂的设备有效电力需求和配电室的布局特性，我们能够预估所需的变压器容量（以 kVA 计）。电力公司依据用户的变压器申报容量来计收基本电费，如用户申请 800kVA，他们将按照这个级别每月收费，不会因实际使用量未达全容量而减免基本费。因此，变压器的大小并非越大越好，尽管初始投资可能增加，但每月的基本电费支出也会相应增加。选择过小的变压器可能导致电力需求接近其极限，使得设备持续处于高负荷状态，引发过高的发热问题；同时，大型设备的启动瞬间可能会对变压器和电网造成冲击，这是绝对不能忽视的风险。

变压器的理想运行效率通常保持在 60% 左右，此时其损耗最小。然而，过高的负载率应避免，一般建议不超过 85%。在污水处理厂的电气设计中，各种因素需综合考量，一个适宜的变压器负载范围应在 70% 至 80% 之间。重要的是，单台变压器的容量不宜超过 1000kVA。如果全厂的电力需求预计超过这个数值，可以考虑采用多台变压器串联供电的方式。

（五）动力柜及现场控制箱的设计

在规划污水处理厂的电力系统时，通常会将关键设施，如提升泵、回流泵和鼓风机的一级控制回路纳入低压配电室的一级系统。然而，基于子配电室的位置、设备功率、数量以及动力电缆敷设的便利性，提升泵的动力柜会被安置在提升泵房内，而鼓风机的动力柜则位于鼓风机房附近的子配电室内。

污水处理厂的机电设备通常配备现场控制箱或机旁操作箱。两者之间的差异在于：现场控制箱配备

了断路器、接触器、热继电器，以及按钮和指示灯等元件；而机旁操作箱仅包含接线端子和水泵保护器，其前面板装有旋转开关、按钮和指示灯。一级控制回路的组件（断路器、接触器、热继电器，以及变频器和软启动器）会集中在配电室的馈线柜内。在进行电气和自动化系统的综合设计时，可以选择仅设置机旁操作箱，并将控制回路的组件集中置于配电室内，这样，配电室的良好条件有助于延长关键组件的使用寿命。

三、地下污水厂电气自动化控制系统设计分析

（一）PLC 自动化控制系统设计

据多项研究显示，电气自动化控制系统的设计构建源于对分权控制、集成管理以及数据共享理念的深入实践。这套系统主要由现场设备控制器（PLC）、网络传输平台和核心监控单元构成，每个环节都具备独特的功能特性。PLC 和中央监控系统之间通过高效稳定的以太网通信进行数据交互。在地下污水处理厂的通信设施中，普遍采用光纤冗余以太网环形网络，利用 PLC 的强大处理能力实现自动化操作并确保数据流畅传输。

同时，数据库管理系统被有效地整合到整个流程中，实现了污水处理厂信息资源的集中管理和整合，催生出一个集约高效的自动化办公环境。监控系统在此过程中扮演了关键角色，它提供了地下污水处理厂全生命周期的可视化监控，提升了运营效率和透明度。

（二）仪表监测系统设计

在地下污水处理设施的自动化管控中，仪表监测扮演着至关重要的角色，设计者需依据技术领先、经济实用且确保安全的操作标准进行规划。当前，超声波液位计是最常见的监控设备，它不仅能实时反映液位高低，还通过液位开关的反馈调节水泵的启停。对于格栅前后液位的监测，同样依赖于超声波差值测量，以精确控制格栅的工作状态，使之根据实际水位变化自动停止或启动。

此外，对于管道内部流体流量的测量，电磁流量计是首选工具，其设计需综合考虑出水流量、消毒剂投放量、混凝剂使用等因素。为了全面掌握水质状况，进水和出水处还需要配备如 pH、COD、TN、TP、TU 和 NH₃-N 等多元化的水质监测仪表，这些数据将为系统的精准调控提供关键信息。

（三）有毒有害气体预防手段

在污水处理的实践中，不论是地表设施还是地下管道，都可能遭遇有毒有害气体的风险。地面

污水处理厂由于其开放式的结构特性，一旦有害气体泄漏，会迅速扩散至大面积区域，构成严峻的威胁。相比之下，地下处理厂因通风条件受限，若遇到此类情况，气体滞留问题更为突出，可能导致灾难性的后果。因此，解决这一隐患的关键在于提前预防，即员工需从源头上防止毒气生成，一旦发生，应迅速采取有效的遏制措施，并确保预警系统的高效运作。

四、其他专业配合设计

研究表明，地下污水处理厂的消防设计涵盖了广泛的范畴，主要包括总体布局、建筑设计、供水系统、结构工程、空调通风以及电力设施等领域的消防安全策略，例如消防通道、水源供应、建筑防火、电气安全以及排烟防灾措施等。在执行消防设计时，坚持以预防为主、防范与应急并重的原则，灵活运用多种消防手段，确保符合严格的消防规范要求。此外，地下污水处理厂的消防设计中可以融合 BIM 技术的应用，通过构建统一的工作平台，促进各环节间的高效协作，降低错误发生的概率，显著提升设计效率。BIM 模型不仅直观呈现了建筑物和结构组件，还支持进行针对性的模拟实验，根据实验结果动态调整管道布局，确保设计的精确性和实用性。

结论：

综上所述，随着城市经济的急剧增长，居民的物质生活水平显著改善。传统的污水处理设施占地面积广，异味重，对周边环境景观造成显著影响。为应对这一挑战，地下污水处理厂的建设显得至关重要。必须精心整合各种高效的技术手段，深入进行电气自动化控制系统的研发工作。这样一来，不仅可以实现经济效益的最大化，同时也能促进生态环境的可持续发展，为地下污水处理厂的未来发展打下坚实的基础。

参考文献：

- [1] 马宁. 郑州市南三环半地下污水处理厂设计运行特点分析 [D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
- [2] 温翔. 地下式污水处理厂的设计研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [3] 陈小芳. 广州市京溪地下污水处理厂照明设计 [J]. 中国市政工程, 2011(05):60-62+92-93.
- [4] 邱维. 地下污水处理厂设计探讨 [J]. 中国给水排水, 2017(10):12-16+21.
- [5] 郭金堆. 污水厂电气设备的检测与维护管理应用 [J]. 机电工程技术, 2016(12):115-117.