

# 地埋式污水处理厂电气自控设计要点

钟腾辉

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

**摘要：**本文主要探讨地埋式污水处理厂的电气自控设计。在地埋式污水处理厂中，电气设计是非常重要的部分，它涉及能源供应、设备控制、环境监测、安全生产等方面。本文介绍了地埋式污水处理厂电气自控设计的基本原则及特点，详细阐述了供配电系统、照明系统、自动化控制系统、仪表设置要求、消防系统以及BIM电气模型搭建的设计内容，总结地埋式污水处理厂电气自控设计与常规污水处理厂设计的区别及注意事项，为同类工程电气自控设计提供参考。

**关键词：**地埋式污水处理厂；电气设计；自控系统；BIM模型

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.104

## 引言

地埋式污水厂代表了一种创新的构建方式，适合在土地资源紧张、人口密集或环境较为敏感的区域开展建设项目。选择在这些区域建立地下式污水处理设施，既可以作为独立项目实施，也能与城镇水域治理计划或生态项目等相结合进行。将处理单元安置于地面以下的箱体空间中，厂区地表则转化为具有观赏价值的绿地或公共园区，展现出设计的灵活性。这种方式不仅有效地优化了土地使用，提高了基础建设水平，还成了塑造宜居城市环境的一个发展动向。

作为城市未来发展的一种高效、密集型用地新策略，地埋式污水处理的优势在众多新建或升级改造的污水处理项目中愈发明显。文章着重探讨了地埋式污水处理厂设计特点及注意事项。

## 一、电气设计特点

地埋式污水处理厂污水处理设施操作区域或管道走廊位于地下，且均为高度集约式布置，故其电气设计与传统地上污水处理厂存在很大不同，主要表现在以下几方面：

### 1) 地下箱体布局紧凑，电气设计限制因素多

地埋式污水处理厂属于土地资源的集约利用，为降低投资，地下箱体应尽量压缩大小以及每一层的高度。对电气设计而言，从变配电间的设置位置、大小，配电系统出线型式，电缆敷设方式等各方面都会受到地下箱体空间所限<sup>[1]</sup>。

### 2) 地下箱体容错率小，后期调整空间小，电气设计精准性要求更高

地下箱体采用钢筋混凝土浇筑，且壁板较厚，后期补救难度极大。这就要求各种电气预留孔洞、电缆及设备进出地下箱体的通道等均应在设计时考虑到位，电气设计需要更加精确。

### 3) 电气设计内容更多，专业配合交叉更广

相对于地上污水厂，地下污水厂还需要暖通、消防专业配合；此外，地下箱体环境对污水厂以及人员至关重要。故电气专业设计还需要进行通排风、排烟、消防

设备、地下箱体环境监测的相关电气设计工作<sup>[5]</sup>。

## 二、电气设计

### (一) 负荷分级

《室外排水设计标准》(GB50014-2021) 7.1.11条：“污水厂的供电系统应按二级负荷设计。重要的污水厂内的重要部位应按一级负荷设计。”

《城乡排水工程项目规范》(GB55027-2022) 2.2.14条：“城镇排水工程的供电电源应按照二级负荷设计，重要设备应按照一级负荷设计。”

《重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范》(GB/T29328-2018) 附录B规定，污水处理厂属“重要电力用户”，规范7.2.1条：“重要电力用户均应配置自备应急电源，电源容量至少应满足全部保安负荷正常启动和带载运行的要求”。

综合考虑中断供电可能对该地区的政治经济、居民生活和周围环境等造成的不良影响，合理确定第，地埋式污水厂用电负荷等级。重要的地埋式污水处理厂供电系统，应按一级负荷设计，其他地埋式污水处理厂按二级负荷设计。

### (二) 保安负荷及应急电源

根据《重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范》GB/T29328-2018, 3.1.1条：保安负荷—用于保障用电场所人身与财产安全所需的电力负荷。结合地下污水厂设备断电后可能造成的后果，地埋式污水处理厂的保安负荷主要有：

(1) 防灾安全设备（进水电动闸阀、应急排水泵等）。

(2) 消防系统设备。

(3) 通风系统设备。

(4) 智能化系统设备。

地埋式污水处理厂应当配备专门的紧急备用电源系统。当主电源及其备用电源均发生故障时断电，此系统能够为关键负荷提供稳定的应急电力支持。依据关键用电负荷所需的最长断电容忍时间、所需电力容量以及断电可能导致的后果等因素，可选配不间断电源(UPS)、应急电源系统(EPS)、或柴油发电机等方案。此外，应急电源的布局可以是分散式的，亦可选择集中式，在采用集中布局时，应设立专用的应急电源总线。

### (三) 负荷计算

与地下式污水处理设施相较，传统的污水厂未考虑到增设消防和通风系统的必要性，导致其电力需求普遍较高，且电力设备种类繁多。通过对电力负荷进行精确计算，并考虑污水处理厂的发展阶段及布局等多重因素，能够为变压器的选型及数量提供合理的依据。

地下式污水处理项目的电力需求主要分为两大类：一是与污水处理生产流程直接相关的工艺设备电力需求，包括但不限于泵和风机等动力设备；二是地下工作

区的照明、通风及消防系统等辅助电力需求，特点是设备种类多样且多数时候呈现间歇性工作状态。对于保安负荷，应单独进行负荷计算，并根据需要选择合适的应急发电机组容量。

#### （四）变配电间设计

在设计埋地式污水处理厂的电力系统时，应遵循以下原则：

1) 变电所的位置应尽可能靠近负荷中心，同时考虑到线路的进出便利性和设备运输的方便性。

2) 对于需要设置变电所的地下式污水处理设施，建议20kV及以下的变电所位于设备操作层，并应避免与水池和水渠紧密相邻。如果不得不与水体相邻，那么相邻的墙体必须进行防水处理，确保无渗漏、无结露。

配电间的位置选择应该基于以下考虑：

1) 地下式污水处理设施的高低压总配电间最好单独设立于地面，可以与其他地面建筑合并建设。如果条件限制或工程对地面建筑有特殊要求，总配电间也可以与污水处理车间一起建设，此时应靠近地下车间的出水端，并位于端头位置。

2) 鉴于地下空间的封闭性、布局复杂性、环境湿度、部分区域可能存在有毒或腐蚀性气体以及爆炸危险区域等因素，建议按区域设置配电间，尽量将配电柜、PLC控制柜布置在配电间内，以减少设备的凝结水和腐蚀，有利于设施的稳定运行、维护管理和安全防护。分配电间应避免布置在爆炸危险区域内。

3) 电气设计人员在整个设计周期中应与工艺、建筑等其他专业的设计人员保持密切沟通，以便及时预留配电间的位置和尺寸。

同时应注意以下几个问题：

1) 地下变电所应设置通风、空调设备

地下箱体内存变电所一般设置于水处理构筑物上，环境湿度较大；地下箱体通风条件相对较差，变电所内设备较为集中，变压器、变频器等发热量加大；此外，为防止有毒、易燃气体进入，变配电间需要保持微负压；故地下箱体变配电间应设置完善的通风、空气调节设施；

2) 变配电所应尽可能集中布置；

3) 变配电所地面应适当抬高，防止变电所被淹，且能布置电缆沟；

4) 地下变配电室开门及地面荷载考虑变配电设备搬运工具需求。

#### （五）变、配电系统设计

通常，埋地式污水处理厂应采用两条10千伏电源外线供电，配电系统宜采用单母线分段接线方式。变压器应均匀分布于两段10千伏母线，以便于后期运维人员进行检修和维护。

对于总配电室的低压系统，建议采用单母线分段接线方式，确保工艺设备中的关键负荷（如进水泵、曝气风机等）和处理单元（如前处理系统、二级处理、污泥处理及干化、加药系统等）通过0.4千伏系统的放射式供电得到稳定电力。主要处理单元的二级配电系统设计为双路供电，分别取自不同段低压母线，一用一备，以提高系统的可靠性和安全性。

#### （六）消防电气设计

消防电气主要包括消防供配电系统、应急照明系统、火灾自动报警系统及联动控制三部分内容。

##### 1) 消防供配电系统

消防用电负荷属于污水厂重要用电负荷，采用双回路供电方式，并在设备末端设双电源切换装置。

##### 2) 应急照明系统

应急照明设计主要为备用照明和疏散照明设计；

消防控制室、配电间等与消防有关场所设置了火灾备用照明，照度要求不低于正常照明照度。应急状态下，供电时间不小于180min。

公共通道、楼梯及其前室等场所设置了疏散照明，保证疏散通道地面的最低照度不低于5lx；疏散指示标志的设置间距不应大于20米。疏散照明应设置蓄电池作为自备电源，供电时间不少于30min。

##### 3) 火灾自动报警系统及联动控制

参照GB50116要求，设置集中式火灾报警系统，消防控制室宜设在综合楼或者生产技术楼一层。消防控制室的报警系统由多个关键组件构成，包括：火灾报警主机、联动控制面板、CRT显示屏、打印设备、应急广播系统、直连的消防对讲电话等。

此外，所有需要通过自动火灾报警系统进行联动控制的消防设备，其触发机制应基于两个独立的报警装置发出的信号进行“与”逻辑的合成操作。

对于消防泵、烟雾控制及排烟设备的管理，不仅需要通过联动机制进行控制，而且在消防控制室还应配备手动控制设备，以便直接操作。

消防控制室需配备可以进行直接119报警的外部通信电话。

#### （七）照明设计

地下式污水处理工作区的照明，推荐采用智能化照明控制系统<sup>[4]</sup>。该系统能够依据实际运行情况自动调节亮度（例如在无人监管、巡检、维护或参观等不同场合下），同时兼顾照明效能与节能需求，优化照明的控制及管理。

建议选用LED光源的照明设备。优先选择高效能、具备防水和防腐特性的LED工矿灯或投射灯，这些灯具应安装在金属线槽之下，并沿着墙面或柱子以直线方式布置，以便于未来的检修和维护工作。

#### （八）接地设计

在地下式污水处理设施设计中，接地系统设计是关键因素之一。为了确保电气系统的安全和可靠性，推荐使用TN-S接地系统。此系统确保所有暴露的导电部件均与PE线相连，维持相同的地电位，提高安全性并减少电磁干扰的风险。

#### （九）电缆管线敷设

在电缆布线方面，地下污水处理区的电缆通常通过桥架来布置，并且在接近设备的地方采用穿过保护管的方式进行敷设。桥架的布局主要遵循建筑的梁或柱，且应选用具有防腐性能的材料。如涂塑桥架、不锈钢桥架、铝合金桥架等。

鉴于地下污水处理设施对防火性能的高要求，动力和控制电缆应选择无卤低烟阻燃型号，如WDZB-YJY-

0.6/1kV和WDZB-KVVP-0.45/0.75kV, 以及用于消防设备的WDZBNH-YJY-0.6/1kV电缆。照明线路应采用WDZC-BYJ型无卤低烟阻燃铜芯导线。

从实际项目反馈来看, 由于电缆桥架和保护管的出线点多且分散, 同时后期维护需求频繁, 建议电缆布置应尽可能靠近地面设备区域(如综合管沟), 以便于施工和后期维护, 同时保持系统的可靠性和美观。

### 三、自控系统及仪表

#### (一) 自控系统

地下污水处理设施的自动化控制系统设计至关重要, 它不仅需要集成数据的采集、处理、存储与控制功能, 还要具备必要的安全保护措施。这些设计考虑旨在保障生产的安全性、处理过程的稳定性、优化操作人员的工作环境, 并简化操作与管理流程。符合GB50014和CJJ/T120标准的设计是基础要求。

自控系统应灵活适应现有和未来的需求, 包括数据传输接口的设置或预留。鉴于地下污水处理厂的特殊性, 其土建结构大多一次性完成, 而设备及自控系统的部署则需分阶段进行, 预留足够的扩展接口显得尤为重要。

确保系统供电的不间断电源(UPS)、关键控制设备的冗余设计(包括控制器、电源及通讯网络的冗余)是保障自动控制系统高效可靠运行的关键。这样的设计可以显著降低运维人员的工作负担。对于预处理阶段, 选用耐腐蚀材质的设备是推荐做法。

地下污水处理厂区应配备完善的通讯、广播、视频监控以及安防系统, 考虑到地下环境信号覆盖的挑战, 通讯系统的优化尤为关键, 以满足运维人员的通讯需求。

自控系统的设计需要遵循高标准, 以减轻运维工作量, 确保系统的长期高效运行。

#### (二) 仪表系统

在仪表系统方面, 地下污水处理工程的特殊环境条件, 尤其是对有毒、有害及可燃气体的监测, 要求高度的警觉和准备。设置气体检测仪表是必须的, 相关规范包括《工作场所有毒气体检测报警装置设置规范》和《气体检测报警仪》提供了指导意见。

针对氨、硫化氢和甲烷的监测与报警设备应被部署在关键区域, 如设备操作层的预处理区、生物池厌氧区、污泥处理区; 水处理构筑物层的管廊、辅助车间、集水坑等巡检区域; 以及其他人员密集或易聚集臭气的区域。

### 四、BIM 电气设计建模

地埋式污水处理厂管线复杂, 操作层、管廊层、水处理层、上部结构等各种暖通、给水、消防、电气管线交错分布。通过BIM设计软件建模, 利用碰撞检查合理化设计, 指导后期施工有重要意义。

常用BIM软件设计软件: Revit及基于该平台的三方开发软件、Navisworks。

#### 1、建模原则

- ①能够按照设计参数进行变化;
- ②构件命名、信息命名同一;
- ③构件包含材质、颜色, 命名同一;

④各专业应在同一平台协同协调设计;

⑤构件按照设计规则进行关联, 减少修改时的工作量;

⑥建模应按照先现状环境输入后设计输出, 先主体模型后附属模型的, 先总体后局部的顺序进行建模。

#### 2、模型深度

模型深度应根据设计及施工的不同阶段, 随着工程的深入分别描述; 上一阶段的模型内容和信息应当被传递到下一阶段, 减少重复建模; 可根据工程实际情况对模型深度进行修改或补充, 但应避免不必要的过度建模。

#### 3、电气设计内容

A、电气设计(高低压变配电设备、动力设备、电缆桥架等)

B、照明设计(照明设备平面布置、配电盘布置、节能及照度分析)

C、消防设计(烟感、温感等设计的布置)

D、管线碰撞检测及调整

E、注释及调整出图

### 五、注意事项

根据地埋式污水处理厂的特点, 电气设计需注意以下几点内容:

1、变配电中心面积应该留有一定余量, 为自动气体灭火系统气瓶间和疏散楼梯预留足够的空间。

2、污水处理厂地下空间阴冷潮湿, 非常容易形成凝露防凝露, 建议所有地下供配电设备、就地控制箱等均应设置防凝露装置, 同时照明灯具选用防潮型灯具。

3、变配电中心低压配电系统出现回路应设有分励脱扣器。

4、工艺、电气专业应结合工程情况, 确定污水处理厂应急处理方案, 保证在事故情况或极端情况下, 地埋式污水处理厂人员及设备的安全。

### 结语

地下污水处理厂的设计核心在于构建一个既安全又可靠的自动化控制系统, 这一系统需在经济合理性的基础上, 优化电气设计, 以便简化运行和管理过程。实现这一目标, 需采纳更加自动化和智能化的控制系统选择, 确保通过更加可靠的安全运行环境监测和设备选择, 以及在设计每个阶段引入BIM(建筑信息模型)技术, 为精细化施工指导提供支持, 从而实现卓越的设计成果。

### 参考文献

[1] 杨一烽, 杜炯, 张欣. 国内地埋式污水处理厂的发展现状和关键技术分析[J]. 净水技术, 2021, 40(10): 101-106+117.

[2] 闫自防. 地埋式污水处理厂电气设备巡检与维护分析[J]. 设备管理与维修, 2021, (18): 66-67.

[3] 林辉. 地埋式污水处理厂智能配电系统的应用[J]. 智能建筑电气技术, 2021, 15(04): 35-39.

[4] 巫山峡, 薛晓. 智能照明系统在地埋式污水处理厂的应用[J]. 现代建筑电气, 2020, 11(07): 40-43.

[5] 黄丛慧. 地埋式污水处理厂电气设计的特点分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2020, (05): 90-91.