

污水处理厂10 kV三电源四分段系统设计与分析

陆晓桢

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 针对大型污水处理厂供电可靠性要求高、负荷连续性强的特点,对10 kV三电源四分段配电系统进行设计与分析。结合污水处理厂工艺负荷特性、相关设计规范及运行检修的需求,以某污水处理厂10 kV三电源四分段配电系统为工程实例,重点研究了系统供电可靠性、负荷分配原则及运行灵活性。结果表明,该配电系统可有效提升供电可靠性与运行调度灵活性,缩小故障停电范围,满足污水处理厂连续稳定的运行要求,同时降低电气设备一次投资及运维管理复杂度。研究结果可为同类污水处理厂配电系统的优化设计与安全运行提供技术参考。

关键词: 污水处理厂;配电系统;三电源四分段;系统可靠性

中图分类号: TU991.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0371-05

Design and Analysis on 10 kV Three-power Four-segment System for Wastewater Treatment Plant

LU Xiaozhen

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In view of the characteristics of high requirements for power supply reliability and strong load continuity in large-scale wastewater treatment plants (WWTPs), the design and analysis on a 10 kV three-power four-segment power distribution system are conducted. Combined with the process load characteristics, relevant design codes, and operation and maintenance requirements of WWTPs, taking the 10 kV three-power four-segment power distribution system of a WWTP as an engineering example, the power supply reliability, load distribution principles and operation flexibility of the system are emphatically studied. The results show that the power distribution system can effectively improve the power supply reliability and operation scheduling flexibility, narrow the scope of power outage caused by faults, meet the requirements of continuous and stable operation of WWTPs, and reduce the one-time investment in electrical equipment as well as the complexity of operation and maintenance management, which can provide a technical reference for the optimal design and safe operation of power distribution systems in similar WWTPs.

Keywords: wastewater treatment plant (WWTP); power distribution system; three-power four-segment; system reliability

0 引言

污水处理厂作为重要的民生工程,中断其供电有可能造成较大的损失,根据相关设计规范,城镇污水处理厂的供电电源应按二级负荷设计^[1-3],重要设备应按一级负荷设计^[2]。

二级负荷的供电系统,宜由两回线路供电^[1]。当一回线路中断供电时,其余线路应能满足全部一级及二级负荷的用电需要^[4]。一级负荷应由两个电源供电,当一个电源发生故障时,另一个电源不应同时

受到损坏^[5-6]。中小型的污水处理厂,多采用10 kV的供电电压等级,随着污水处理厂规模的增大,用电负荷容量增加,供电电压会提高至35 kV,也有超大型污水处理厂采用110 kV供电电压的^[7-8]。

污水处理厂的10 kV配电系统多采用双电源进线单母排或分段单母排的接线方式^[9],二路电源互为备用,每路电源应能承担污水厂的全部二级负荷^[3]。随着污水处理厂规模的增大,用电负荷相应增加,当污水处理厂的用电负荷容量需求超过了当地电网的10 kV供电容量时,供电电压等级需要提高至35 kV或者110 kV。供电电压等级提高,厂内配变电设备的电压等级需要相应提高与供电电压匹配。如果以多路10 kV供电,能满足污水处理厂对供电可

收稿日期: 2026-02-10

作者简介: 陆晓桢(1975—),女,本科,高级工程师,从事市政工程电气设计咨询工作。

靠性、系统安全性和运行连续性的要求,则污水处理厂内采用 10 kV 配电系统,无需配置更高电压等级的配电设备,可降低厂内电气设备的一次投资,降低电气设备运维管理的复杂程度和运维人员的资质要求。

以郑州市某污水处理厂一期工程为例,分析大型污水处理厂 10 kV 配电系统采用三电源四分段接线方式,通过合理的系统设计和负荷分配,实现供配电系统的可靠性和运行灵活性,满足污水处理厂连续安全运行的要求^[10]。

1 污水厂负荷情况

郑州市某污水处理厂一期工程,设计规模 65 万 m³/d,出水水质一级 A 标准,装机容量 27 094 kW,计算容量 19 103 kW,主要用电负荷为水泵、鼓风机、搅拌器等设备。其中 9 台鼓风机为 10 kV 电压等级,其余

水泵、搅拌器等设备均为 380/220 V 电压等级。

工程所在地城市电网没有 35 kV 电压等级,为 110 kV/10 kV 电压。当地 10 kV 电网的供电能力,每路可供电 8 000 ~ 9 000 kVA。根据污水厂的计算容量和负荷等级,采用 2 路 10 kV 电源无法满足污水厂用电容量的需求。若采用 110 kV 电压供电,会大幅增加污水厂的建设投资,经与当地供电公司沟通,同意污水处理厂申请多路 10 kV 电源。经技术经济比较,本工程采用了 3 路 10 kV 电源的方案。

根据污水厂的工艺流程和总平面布置,一期工程设 10/0.4 kV 变配电所 5 座(1#~5#),其中 1#、2#、4#变配电所内各设 2 套 10/0.4 kV 的变配电系统,3#、5#变配电所内各设 1 套 10/0.4 kV 的变配电系统,每套变配电系统均为双变压器,0.4 kV 为单母排分段带联络的接线方式。各变配电系统的负荷容量和变压器容量见表 1。

表 1 变配电所负荷表

变配电所设置	变配电系统	装机容量/kW	计算容量/kW	变压器设置/kVA	变压器负载率/%	变压器事故保证率/%
1#变配电所	A 系统	1 819	1 280	2×1 000	68	73
	B 系统	1 474	1 085	2×800	73	69
2#变配电所	A 系统	1 928	1 285	2×1 250	55	91
	B 系统	2 448	1 669	2×1 250	74	67
3#变配电所		4 519	3 100	2×2 500	67	75
4#变配电所	A 系统	2 860	1 987	2×2 000	53	94
	B 系统	3 577	2 433	2×2 000	64	78
5#变配电所		1 159	774	2×630	65	77
小计		19 784	13 613	22 860	—	—

污水厂内的 9 台鼓风机为 10 kV 电机,负荷见表 2。

表 2 10 kV 鼓风机电机负荷表

设备名称	单机容量/ kW	安装 台数/台	使用 台数/台	安装容量/ kW	使用容量/ kW
鼓风机	910	7	5	6 370	4 550
鼓风机	470	2	2	940	940
小计	—	—	—	7 310	5 490

由表 1、表 2 可知,污水厂一期工程总装机容量 27 094 kW,总计算容量 19 103 kW。

2 10 kV 电源方案比选

根据污水厂的计算容量,对 10 kV 电源进行多方案比选。

方案一:按常规做法,10 kV 配电系统采用双电源进线单母排分段的接线方式^[3],由于计算容量超过 2 路 10 kV 电源的供电能力,故需采用 4 路 10 kV 电源,每 2 路互为备用,形成 2 套独立的 10 kV 配电系统。

电源 1~2 配电至 1#、3#、4#变配电所,电源 3~4 配电至 2#、5#变配电所和 10 kV 鼓风机(见表 3)。

表 3 4 路电源配电方案

电源	配电范围	变压器及 10 kV 电机的 安装容量	计算容量/ kW
电源 1~2	1#变配电所 3#变配 电所 4#变配电所	16 600 kVA	9 885
电源 3~4	2#变配电所 5#变配 电所 10 kV 鼓风机	6 260 kVA+7 310 kW	9 218
小计	—	22 860 kVA+7 310 kW	19 103

从表 3 可知,将厂内各变配电所的变压器和高压鼓风机分配到不同的 2 组 10 kV 电源下,在厂内形成 2 套 10 kV 配电中心,每套 10 kV 配电系统均采用单母排分段带联络的接线方式。每路电源可承担所负载的全部二级负荷。能满足污水厂运行需求。

方案二:采用三路 10 kV 电源,10 kV 系统采用三电源四分段的接线方式^[11-12]。三路电源的运行方式为三常用,互为备用。正常情况下三路电源同时

运行,当一路电源因故退出运行时,另二路电源负载全厂所有二级负荷。全厂设 1 座 10 kV 配电中心。

经技术经济比较,确定采用方案二。图 1 所示为污水处理厂的三电源四分段接线简图。

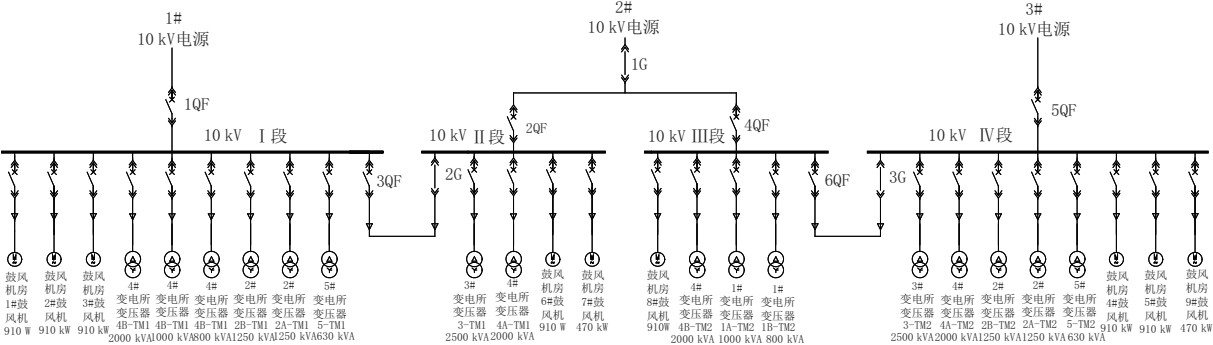


图 1 三电源四分段接线简图

该接线方式采用三路电源(1#、2#、3# 10 kV 电源)、四段母排(I 段、II 段、III 段、IV 段),正常工况下三路电源供电,各电源和母排所负载的负荷见表 4。

7 台 910 kW 鼓风机的运行工况为 5 用 2 备,按 5#、6#鼓风机为备用进行负荷计算。

从表 4 可知,每路电源所负载的计算容量均小于 7 000 kW,即使当该路电源所承载的备用鼓风机投入运行,所承载的计算容量也不超 7 300 kW,在当地 10 kV 电网的供电能力范围内,且 2 路电源能满足本工程全部二级负荷的用电容量需求。3 路电源引自上级 2 座不同的 110 kV 站,其中 2 路电源引自一座 110 kV 站的不同主变,满足污水厂二级负荷对电源可靠性的要求。故 3 路电源满足污水厂用电需求。

3 三电源四分段接线分析

为满足污水处理厂的运行要求,以及当一路电源故障停电时,另二路电源保证污水厂全部二级负荷的配电,三电源四分段接线系统在设计上需要重点考虑并解决以下问题:

- (1)下级各变配电系统的 2 台变压器需分别接在不同电源下,当任何一路外线电源停电时,不会引起下级任一变配电系统的 2 台变压器同时停运。
- (2)10 kV 鼓风机尽量均衡分布在三路电源下,且当任何一路外线电源停电,不得引起所有鼓风机停机。
- (3)当任一路外线电源停电时,可通过 10 kV 的母联切换使所有变压器和鼓风机能受电。
- (4)极端情况下,当二路外线电源停电时,能保证部分鼓风机以及下级每套变配电系统至少有一台变压器能受电,可通过厂内运行切换保证重要负荷的配电。

从图 1 可见,该接线方式是将 2# 电源下分接两

段母排 II 段和 III 段,1# 电源接 10 kV 母排 I 段,3# 电源接 10 kV 母排 IV 段,形成三电源四分段的接线。10 kV 母排 I 段、II 段,以及断路器 1QF、2QF、3QF 形成两进线一母联接线,10 kV 母排 III 段、IV 段,以及断路器 4QF、5QF、6QF 形成两进线一母联接线。

正常情况下,三路电源正常供电,母联断路器 3QF、6QF 分闸,进线断路器 1QF、2QF、4QF、5QF 合闸,四段母排正常受电,下级所有变压器和鼓风机均可正常受电。

以下分析当任一路电源停电时,系统如何切换以保证全部二级负荷的配电。

当 2# 电源停电时,将进线断路器 2QF、4QF 分闸,母联断路器 3QF、6QF 合闸。1# 电源负载 I 段、II 段母排,3# 电源负载 III 段、IV 段母排。

当 1# 电源停电时,先分闸进线断路器 1QF、4QF,再闭合母联断路器 3QF、6QF,此时由 3# 电源负载 III 段、IV 段母排,2# 电源负载 I 段、II 段母排。

当 3# 电源停电时,先分闸进线断路器 5QF、2QF,再闭合母联断路器 3QF、6QF,此时由 1# 电源负载 I 段、II 段母排,此时 2# 电源负载 III 段、IV 段母排。

通过上述进线和母联断路器的切换,当任一路外线电源停电时,10 kV 的四段母排均可受电,下级所有变压器和鼓风机均可正常运行,不影响污水处理厂的正常运行。

以下分析极端工况下当任二路电源停电时,系统如何切换以保证重要负荷的配电。

当 1# 电源和 3# 电源停电,2# 电源正常供电时,10 kV 母排 II 段、III 段正常受电, I 段、IV 段失电。此时先分闸进线断路器 1QF、5QF,再闭合母联断路器 3QF、6QF。通过母联断路器的闭合,2# 电源可送电至 I 段、II 段、III 段、IV 段母排。此时需要注意的是在闭合母联断路器 3QF、6QF 前,需要对下级变压器、

表4 负荷分配表

电源	母排	负荷/(kVA/kW)	变压器 及 10 kV 电机 的安装容量/ (kVA+kW)	计算 容量/ kW
1#电源	I 段	1# 变配电所	1A-TM1(1 000) 1B-TM1(800)	6 930 + 2 730 6 993
		2# 变配电所	2A-TM1(1 250) 2B-TM1(1 250)	
		4# 变配电所	4B-TM1(2 000)	
	II 段	5# 变配电所	5-TM1(630)	3 014
		鼓风机房	1#鼓风机(910) 2#鼓风机(910) 3#鼓风机(910)	
		3# 变配电所	3-TM1(2 500)	
2#电源	II 段	4# 变配电所	4A-TM1(2 000)	4 500 + 1 380 3 309
		鼓风机房	6#鼓风机 (910 备用) 8#鼓风机(470)	
		III 段	1# 变配电所	
3#电源	IV 段	4# 变配电所	1A-TM2(1 000) 1B-TM2(800)	7 630 + 2 290 5 787
		鼓风机房	4B-TM2(2 000)	
		5# 变配电所	5-TM2(630)	
	IV 段	鼓风机房	4#鼓风机(910) 5#鼓风机 (910 备用) 9#鼓风机(470)	5 787
		2# 变配电所	2A-TM2(1 250) 2B-TM2(1 250)	
		3# 变配电所	3-TM2(2 500)	

注:表中TM为变压器编号,括号内为变压器容量,kVA;鼓风机后括号内为鼓风机容量,kW。

鼓风机等负荷先切除部分,以免总负荷超过2#电源的供电能力,引起进线断路器跳闸。

当2#电源和3#电源停电,1#电源正常供电时,10 kV母排I段母排正常受电,II段、III段、IV段母排失电。此时先分闸进线断路器2QF、4QF、5QF,再闭合母联断路器3QF。通过母联断路器的闭合,1#电源可送电至I段、II段母排。此时下级各变配电系统均有1台变压器可受电,鼓风机有5台可受电。

当1#电源和2#电源停电,3#电源正常供电时,10 kV母排IV段正常受电,I段、II段、III段母排失

电。此时先分闸进线断路器1QF、2QF、4QF,再闭合母联断路器6QF。通过母联断路器的闭合,3#电源可送电至III段、IV段母排。此时下级各变配电系统均有1台变压器可受电,鼓风机有4台可受电。

由此可见,当极端工况有二路电源停电时,通过污水厂内变配电系统的切换,仍能保证重要负荷的供电,保证污水厂的核心工艺不中断,提高运行的安全性和灵活性^[13]。

三电源四分段接线可做到10 kV母排分段停电检修,检修时仍能保证污水厂重要负荷的供电,不会引起全厂停运,满足污水厂的运检要求。

4 结 语

(1)结合污水处理厂的负荷情况和周边城市电网的电压等级及供电能力,当污水厂的用电负荷容量超过2路10 kV电源的供电能力时,经技术经济比较可采用3路10 kV电源供电,厂内10 kV配电系统采用三电源四分段的接线方式。3路独立电源同时供电,且至少有两回供电线路分别来自两个不同变电站^[14],在不提高供电电压的同时,提高了供电冗余度,供电可靠性大幅提升。

(2)10 kV配电系统采用三电源四分段的接线方式,其中一路电源分接两段母排,通过合理的负荷分配和各断路器间的合闸闭锁逻辑,实现任一路电源失电时不影响污水厂的正常运行,任二路电源失电时能保证污水厂重要负荷的供电,保障污水处理厂的安全稳定运行,减小故障影响范围。10 kV母排分段检修时减少停电范围。

(3)随着智能配电技术的成熟,三电源四分段接线方式与智能软硬件深度融合,提高主动运维能力和精细化管理^[15],将更有利于污水处理厂供配电系统的可靠性、安全性和运行灵活性。

(4)10 kV电压供电,与35、110 kV电压供电相比,降低了供电电压等级,污水厂内无需35 kV或110 kV的配变电设备,三电源四分段接线方式在满足用电容量需求和供电可靠性的同时,减少了电气设备的一次投资,降低了运维管理的复杂程度和安全运维的风险。

参考文献:

[1] GB 50052—2009 供配电系统设计规范[S].

[2] GB 55027—2022 城乡排水工程项目规范[S].

[3] 中国市政工程中南设计研究总院有限公司. 给水排水设计手册第8册 电气与自控[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

[4] 中国航空规划设计研究总院有限公司.工业与民用供配电设计手册[M].北京:中国电力出版社,2016.

[5] GB 55024—2022 建筑电气与智能化通用规范[S].

[6] GB 51348—2019 民用建筑电气设计标准[S].

[7] 上海市政工程设计研究总院.污水处理厂改扩建设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.

[8] 何钦,刘志华.超大型污水处理厂供配电系统研究[J].建筑电气,2020(3):29-34.

[9] GB 50053—2013 20 kV 及以下变电所设计规范[S].

[10] CJJ/T 120—2018 城镇排水系统电气与自动化工程技术标准[S].

[11] 水利电力部西北电力设计院.电力工程电气设计手册·电气一次部分[M].北京:中国电力出版社,2018.

[12] 王敏.上海白龙港城市污水处理厂工程电气设计体会[J].城市道桥与防洪,2011(12):66-71.

[13] 顾春芳,方靖,王鉴梁.单母分段三电源快切系统的设计与实现[J].自动化应用,2023(8):46-50.

[14] GB/T 29328—2018 重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范[S].

[15] 高智箭,肖亮.地下污水处理厂智能配电方案设计[J].天津建设科技,2022(32):69-72.

(上接第 370 页)

[7] 姚亮.跨高速公路曲线钢箱梁顶推施工技术[J].铁道建筑技术,2022(9):155-159.

[8] 银庆友,王亮,王树臣,等.T构下部转体系统施工关键技术研究[J].工程与建设,2025,39(5):1188-1191.

[9] 骆洪飞.钢桁梁步履式顶推施工控制技术及工程应用[J].建筑机械化,2026,47(1):125-129.

[10] 马伟敬.城市过街天桥抗倾覆稳定性计算与分析[J].交通世界,2021(16):103-104.

[11] 李国桢.基于抗倾覆稳定性分析的桥梁结构设计研究[J].科技资讯,2024,22(21):159-161.

[12] 陈旭勇,李建强,杨宏印,等.基于改进设备的钢桁梁顶推施工线形及应力控制[J].土木工程与管理学报,2018,35(1):43-47.

[13] 钟智华,杨晨,彭涛,等.大跨度钢桁梁桥顶推施工多尺度有限元分析[J].中国水运,2025(22):126-128.

[14] 肖静.钢结构桥梁的施工监控与质量控制[J].中国金属通报,2023(11):237-239.

[15] 刘爱龙.桥梁施工监控及桥梁裂缝成因分析[J].四川水泥,2019(3):38.

[16] 吴腾飞.大跨度桥梁施工监控技术及应用[J].内江科技,2024(12):60-61.

[17] 黄小峰,王荣辉.钢桁梁制造和拼装误差对桁架内力的影响分析[J].科学技术与工程,2012,12(19):4833-4838.

[18] 苏里,于照辉.大跨度钢桁架连续梁桥施工技术与施工监控分析[J].工程建设与设计,2019(20):161-162.