

马来西亚 Pantai 地埋式污水厂环网供配电结构设计

王 亮

(北控水务集团有限公司, 北京 100102)

摘 要: 针对马来西亚 Pantai 污水处理厂的地下构造、当地气候潮湿炎热多雨以及污水厂内供电负荷性质等特点,提出了环网供配电结构及柴油机应急辅助模式,保证了供电系统的可靠性、灵活性,并且在电气设备产品选型方面,充分考虑了污水厂内的腐蚀气体以及潮湿环境,电气设备的电路板采用防腐喷涂并增大配电室内通风效果。鉴于 Pantai 污水厂内大量运行的大功率变频器给供电电源质量带来很大影响,为使设备安全经济运行,从供配电角度入手,系统内增加了无源滤波器,从而避免了电磁谐波干扰以及引起电气设备过热。

关键词: 污水处理厂; 供配电; 环网结构; 谐波干扰

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)22-0063-04

Power Supply and Distribution Structure Design of Ring Network for Pantai Underground Wastewater Treatment Plant in Malaysia

WANG Liang

(Beijing Enterprises Water Group Limited, Beijing 100102, China)

Abstract: According to the underground construction, the local climate (humid, hot, rainy) and power consumption property of equipment built in Pantai WWTP of Malaysia, the ring network power supply structure and diesel engine emergency auxiliary model were proposed, which could guarantee the reliability and flexibility of power supply system. In the selection of electrical equipment products, corrosion gas and wet environment in wastewater treatment plant were fully considered. The circuit board of electric equipment adopted anticorrosive spraying and increased the ventilation effect of distribution room. Considering the influence of high power inverter on power supply quality in Pantai WWTP, the passive harmonic filter was adopted to ensure equipment security and economic operation. With the harmonic filter applied in the power supply system, the electromagnetic harmonic interference and electric equipment overheating could be avoided.

Key words: WWTP; power supply and distribution; ring network; harmonic interference

Pantai 污水处理厂是马来西亚第一座地埋式污水处理厂,设计处理量为 $32 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,服务人口为 142 万人,主体工艺分成水线和泥线两部分。污水厂位于马来西亚西部半岛,常年气温处于 $21 \sim 38^\circ\text{C}$,湿度为 98%,厂内电气系统设计和选型中充分考虑到以上气候因素以及污水厂内腐蚀气体含量高因素,做到因地制宜,合理布置变配电室位置,做

好通风以及配电室内空调的设置。由于全地下污水处理厂的土建结构特点,电气供配电系统设计需要充分考虑到全厂的供电系统的可靠性,一旦供电系统发生故障,导致污水处理系统停止运转,污水不能及时外排造成设备与人身的伤害,会给污水厂运营带来不良的社会影响以及经济损失,因此对 Pantai 污水处理厂配电系统进行了合理可靠的设计,例如

11 kV 主接线采用双路进线环形结构,并且在 400 V 低压侧的负荷进行了主要负荷和非主要负荷的分路供电等。

1 Pantai 污水处理厂电气系统的设计原则

按照马来西亚政府污水局 JPP 的招标文件,IEC 62271—200,IEC 60947,BS 7671:2008 以及马来西亚本地电气设计标准 Suruhanjaya Tenaga (ST),SPAN 等的规定进行污水处理厂的设计,供配电系统设计应遵循以下原则:

① 供电的可靠性

按照马来西亚本地 SPAN 设计规范要求,污水处理厂供电系统按照二级负荷设计,采用两路电源供电,高压进线变电所内应设置两台以上变压器,当任意一台变压器故障断开时,其余变压器能保证厂内所有用电设备安全运行。

Pantai 污水处理厂是地下式污水处理厂,在电网或者高压进线 2 路电源故障情况下,必须保证出水提升泵站、原水进水电动闸门以及主要工艺操作区域照明、通风系统、配电室制冷系统的正常工作,鉴于以上系统需求,全厂的负荷性质定义为一级负荷来设计,增设 2 台 2 000 kW、11 kV 柴油发电机来保证供电系统的可靠性。

② 设备选型设计的合理性、经济性

根据污水处理厂内工艺设备的功率大小,合理选择电压等级和电机启动方式,从而确定马达控制中心和主电源配电柜的母线汇流排尺寸以及电气设备的短路电流耐受能力,并进行电气设备的动稳定和热稳定的校验计算^[1],在这个计算设计过程中,合理选择设备型号对污水处理厂的安全运行和投资建设成本费用至关重要。Pantai 污水厂的 33 kV 和 11 kV 开关分别采用西门子 8DA10 固定式 SF6 开关和 SION 3AE1 式真空开关。按照短路电流计算和系统仿真,33 kV 和 11 kV 高压开关的短路电流耐受时间选择 3 s,短路电流为 20 kA。

电气系统设计过程中考虑到污水厂内环境以及本地气候影响,例如马来西亚年平均湿度达到 98% 以上以及污水厂内腐蚀气体含量高,在设计和选型过程中特意对电气柜的构造以及电气元器件的应用范围加以考虑。Pantai 污水厂内所有高低压电气柜选用 IP54 的防护等级,低压配电柜内采用 FORM 4B 分割形式,有效地将电源回路和控制回路分开,同时为了控制配电柜的温/湿度,高低压柜内配置了

温/湿度控制器以及加热器保证柜内干燥,以免电气元器件受到潮湿空气腐蚀。污水厂内的大量变频器运行产生的热量和周围高温环境对电气设备安全运行带来很大隐患,配电室内的通风和制冷效率的计算尤其重要,Pantai 污水厂设计过程对配电室内所有变压器和变频器产生的热量进行有效计算从而选择出合适的空调制冷容量。开关柜内电气设备选型方面,尤其是变频器格外注意应用场合,污水厂内腐蚀性气体会大面积侵蚀电路板内电子元器件,造成变频器驱动板或者 PLC 控制电路板失灵,鉴于以上问题,Pantai 污水厂的变频器以及 PLC 电路板全部进行了防腐处理,防腐等级达到 IEC 654 - 4 - 1987 或 Class 1、2 和 3 等级。

③ 配电室以及电气设备布置合理性

由于污水厂内存在大量的腐蚀气体及其高温高湿环境,所有配电开关柜、马达启动器以及控制柜全部安装在装有空调通风系统的配电室内,室外的现场操作箱体也采用不锈钢材质,并且对室外的现场操作箱支架做了热镀锌处理,同时配电室的位置要尽量靠近主要设备负荷中心,降低电气回路的电压降以及电缆长度。

2 变配电设计方案

2.1 供电电源和电压等级

马来西亚 Pantai 污水处理厂供电按照 33 kV 两回路电源供电设计,33 kV 高压侧主接线采用单母线分段,设置母联开关。正常运行时,母联开关断开,两路电源同时工作,一旦一路电源进线故障,另一路电源能承担全厂 100% 负荷。鉴于 Pantai 污水厂是重要负荷,属于一级负荷范畴,除上述两路电源外,还增设了应急电源,即两台 11 kV、2 000 kW、50 Hz 柴油发电机,能保证全厂特别重要负荷连续工作 8 h。

2.2 负荷计算及变压器容量选择

污水处理厂内用电负荷可以分为工艺设备动力负荷和辅助照明两大类,工艺设备动力负荷主要为泵类和风机,这一类负荷计算需要根据设备的流量、扬程、机械效率计算出相应的轴功率^[2],再采用轴功率法计算出负荷吸收功率,其余的工艺设备负荷采用需用系数法进行计算;厂内的辅助照明负荷、配电室照明、办公室用电负荷按照单位建筑面积用电指标计算,污水处理厂用电负荷的计算结果如表 1 所示。

表 1 污水厂用电负荷计算结果
Tab. 1 Calculation results of power load for WWTP

项 目	装机容量/ kW	有功功率/ kW	无功功率/ kVar	补偿容量/ kVar	视在功率/ kVA	变压器配置
污泥处理车间 + 中水回用 系统 + 紫外消毒系统	1 679	875. 3	565. 4	150	972. 6	2 台 1 600 kVA 变压器(一用一备) 运行,负荷系数为 0. 61
矩形沉淀池 + 污泥回流泵站	2 635. 7	1 641. 9	1 060. 1	300	1 824. 3	2 台 2 500 kVA 变压器(1 用 1 备) 运行,负荷系数为 0. 72
A ² O 生化池 + 预处理(A 线)	2 660	1 651	1 066	300	1 834	2 台 2 500 kVA 变压器(1 用 1 备) 运行,负荷系数为 0. 73
A ² O 生化池 + 预处理(B 线)	2 611	1 634	1 055	300	1 815	2 台 2 500 kVA 变压器(1 用 1 备) 运行,负荷系数为 0. 72
污水厂负荷总计	9 585. 7	5 802. 2	3 746. 5		6 455. 9	

2. 3 功率因数补偿和谐波过滤器设置

依据马来西亚当地供电部门 TNB 对工业用电的行业要求,用户端的功率因数不得低于 0. 9(滞后),以免影响电网的供电质量。以上的负荷计算表明,补偿前的功率因数只能达到 0. 86,因此,需要对功率因数进行补偿,Pantai 污水厂在低压侧集中补偿,动态电容补偿器分别装在各个 0. 4 kV 低压配电室,经低压侧补偿后,在 33 kV 侧进行电能质量监测,发现全厂功率因数达到 0. 93 以上,既满足了电力部门的要求,又减少了系统的线路损耗以及变压损耗^[3]。

另一个电能质量要求就是电压谐波值,设计阶段采用 SKM 电力系统分析软件对 Pantai 的变配电系统进行谐波仿真测试,发现电压谐波 THD 在 33 kV TNB 侧已经达到 17%,为了满足电业局和 IEEE 519 标准要求,电源进线侧电压谐波 THD 不能大于 5%,大量高次谐波存在电力系统中,会引起电气设备过热造成电能损耗、电气设备老化等问题,同时高次谐波发出的电磁信号还会引起控制系统失灵。针对配电系统内存在的电能质量问题,污水厂内大于 15 kW 的电机变频器都安装了 Mirus 无源滤波器,全厂运行后,33 kV 侧电能仪表监测到电压谐波 THD 控制在 3% 以下,有效地抑制了高次谐波的产生和危害。

2. 4 变配电系统

全厂电压等级分为 3 层,33、11、0. 4/0. 23 kV,按照对供电可靠性的要求,变压器的容量及分布、工艺区间等情况,不同电压等级采用不同电气主接线方式的配电形式。

① 33 kV 配电系统

33 kV 配电系统采用单母线分段,设置母联开关,以双回路放射式配电方式供电给 11 kV 系统,33 kV 采用 SF6 气体绝缘固定式开关柜,开关柜配置了微机式综合保护装置实现 33 kV 电力系统的短路、接地、低电压保护。33 kV 两路进线电源断路器与母联开关断路器之间设置电气与机械联锁,以确保任何情况下只允许其中 2 台断路器处于合闸状态。

② 11 kV 配电系统

11 kV 主配电柜位于 33 kV 用户配电室隔壁,采用单母线分段,设置母联开关,以双回路放射式配电方式供电给 1#、2#、3#、4# 变配电室,变配电室内的 11 kV 金属铠装抽出式真空开关柜,采用双侧供电环式配电方式,开路环式,其供电可靠性高,运行比较灵活。

③ 0. 4 kV 低压配电系统

低压配电系统采用 TN - S 供电模式,变压器中性点接地和电气系统保护接地共用接地装置,保证接地系统电阻值≤1 Ω。0. 4 kV 配电系统采用双电源供电,单母线不分段配电方式。正常运行时 2 路进线(1 用 1 备),当一路工作进线出现故障时,自动切换到另一路电源。

0. 4 kV 低压系统采用联络空气断路器开关将重要负荷和常规运行负荷分开,一旦 TNB 33 kV 双路电源故障,自动切除低压侧常规运行负荷段回路,柴油发电机开始启动运行,提供电源给重要负荷段工作。

3 结语

马来西亚 Pantai 污水厂电气系统设计完全遵循
(下转第 70 页)

结果表明,出水水质稳定优于一级 A 排放标准,具体如表 4 所示。

表 4 实际进、出水水质(2015 年—2016 年)

Tab. 4 Actual influent and effluent quality(2015 - 2016)

mg · L⁻¹

项目	进水	一期出水	二期出水	混合出水
COD	110.63	33.05	12.82	21.38
BOD	58.32	—	—	6.08
SS	233.37	18.81	3.61	7.00
NH ₃ - N	21.92	7.10	1.35	2.69
TN	24.80	11.61	9.30	9.64
TP	1.89	0.49	0.36	0.43

4 结论及建议

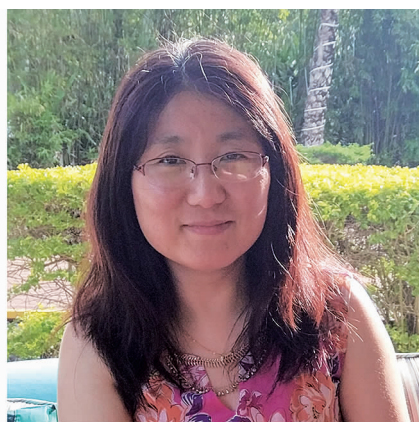
神定河污水处理厂升级改造工程充分利用二期 MBR 工艺的优势,使 MBR 系统的处理规模由 $11 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期 A/O + 二沉池工艺降负荷运行,处理规模由 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 降至 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理总规模达到 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,且通过合理调控,实际出水水质的各项指标均优于一级 A 排放标准,可为当前采用传统工艺的污水处理厂升级改造提供参考。

参考文献:

- [1] 吴媛媛,张彩云,曹明浩,等. 神定河污水处理厂提标

改造——CAS - MBR 复合工艺[J]. 净水技术,2016, 35(4):11 - 15,87.

Wu Yuanyuan, Zhang Caiyun, Cao Minghao, et al. Upgrading and reconstruction of Shendinghe WWTP in application of combined process of CAS - MBR[J]. Water Purification Technology, 2016, 35(4): 11 - 15, 87 (in Chinese).



作者简介:侯晓庆(1981 -), 女, 陕西三原人, 本科, 工程师, 主要从事膜工艺设计等相关工作。

E - mail:houxiaqing@originwater.com

收稿日期:2018 - 05 - 04

(上接第 65 页)

BS 和 IEC 的基本原则和要求,设计中关注电气设备的工作环境、马来西亚的设计规范以及地下污水厂不同于其他污水处理厂的配电系统设计与负荷等级,从而保证了污水处理厂的安全、可靠、经济运行。

参考文献:

- [1] 刘介才. 工厂供电[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
Liu Jiecai. Factory Electricity Supply[M]. Beijing:China Machine Press, 2010(in Chinese).
- [2] 马胜利. 关于电气设计说明书写作的探讨[J]. 科技创新导报, 2011, (36): 224 - 225.
Ma Shengli. Discussion on the electrical design specification writing[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011, (36): 224 - 225(in Chinese).
- [3] 汤蕴璆. 电机学[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.
Tang Yunqiu. Electromechanics[M]. Beijing:China Machine Press, 2011(in Chinese).



作者简介:王亮(1981 -), 男, 河北唐山人, 本科, 工程师, 高级电气自控工程师, 主要从事水处理工程的电气与自动化系统设计工作。

E - mail:wangliang2@bewg.net.cn

收稿日期:2018 - 04 - 11