

# 高海拔地区污水处理厂电气设备的选型

董建明, 杨振荣

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司 西安分公司, 陕西 西安 710018)

**摘要:** 高原地区海拔高,其环境特点是空气密度低、常年气温低、紫外线辐射较强,这种环境条件对常规电气设备的运行会产生一定的影响。以日喀则地区拉孜县县城污水处理厂为例,重点介绍了高低压成套开关柜、电气元器件、变压器、柴油发电机等常用电气设备的绝缘、温升受高海拔影响,其在选型上与正常环境中的不同之处,并通过选用特殊环境产品、采用降容使用等措施,保证运行的安全可靠。

**关键词:** 高原地区; 污水处理厂; 电气设备选型

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)12-0061-04

## Selection of Electrical Equipment for Wastewater Treatment Plant in High Altitude Area

DONG Jian-ming, YANG Zhen-rong

(Xi'an Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,  
Xi'an 710018, China)

**Abstract:** Due to the high altitude, the environment of plateau area is characterized by low air density, low temperature all the year round, strong ultraviolet (UV) radiation. The environmental conditions will affect the normal operation of the electrical equipment. Taking the municipal wastewater treatment plant in Lhaze County in Xigaze area as an example, the insulation and temperature rise of common electrical equipment, such as sets of high and low voltage switchgear, electrical components, the insulation of the transformer, diesel generators were mainly introduced. Its selection is difference in that in normal environment, and the safety and reliability of operation can be ensured by choosing a special environmental products and adopting measures such as reduced capacity.

**Key words:** plateau area; wastewater treatment plant; selection of electrical equipment

近年来,随着国家经济的发展,对西藏高原地区的开发力度加大,而这些地方的海拔高度从2 000~5 000 m不等,如拉萨市海拔为3 649 m、日喀则地区拉孜县为3 936 m。在高海拔地区选择电气设备时与在正常环境中不同,常规电气设备参数是在海拔不超过1 000 m,温度不超过40℃、不低于-5℃等环境中试验得出的,而在高海拔地区使用时电气设备参数的选择与其不同。高原地区气候特点为空气稀薄、密度低、气压低、常年气温低、昼夜温差较大、紫外线辐射较强。这些气候特点一定程度上会影响

电气设备的绝缘及温升。

### 1 项目概况

日喀则地区拉孜县县城污水处理厂处理规模为3 000 m<sup>3</sup>/d。污水处理主要工艺为预处理+混合/反应/沉淀+人工湿地+紫外消毒过滤,具体流程如图1所示。本工程主要的用电设备为格栅、提升泵、搅拌器、曝气风机、加药成套设备、污泥脱水成套设备等,其电压等级均为220/380 V,计算有功负荷为227 kW,补偿后无功负荷为38 kvar,视在功率为240 kVA。

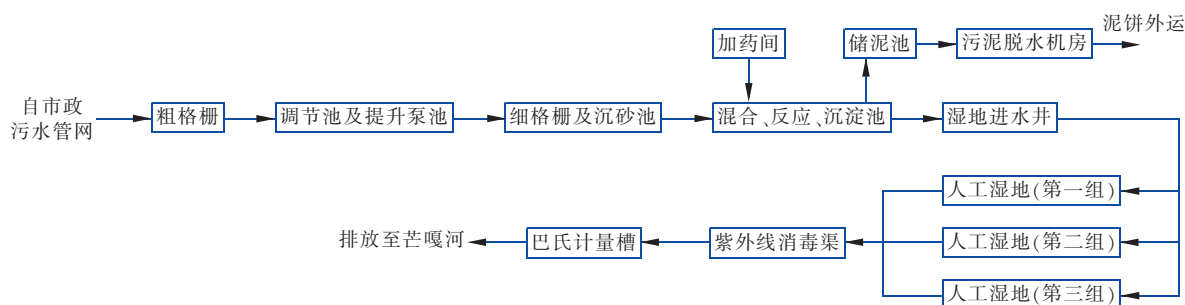


图1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

## 2 电气设计及设备选型

### 2.1 电气设计总体方案

本工程负荷等级为二级,但因规模较小,总负荷小,考虑到供电经济性,采用一路10 kV电源作为工作电源、备用一台柴油发电机的供电方式。当10 kV工作电源故障时,柴油发电机自动投入使用,向二级负荷及部分重要负荷供电。

工程中设置3台10 kV高压柜、1台变压器(400 kVA)、6台低压配电柜、1台柴油发电机。10 kV侧采用单母线结线,进线受电总开关设过电流保护、电流速断保护。

工艺设备中负荷重要的设备(重要工段的水泵、鼓风机等)及成套设备组(污泥脱水系统、加药系统等)均由变电室0.4 kV系统放射式供电;工艺设备中小容量设备如刮泥机、电动闸门、排水泵等采用动力配电箱及设备现场电控箱的两级配电方式,既保证了主要设备的供电可靠性,又减少了电缆数量。

本工程所在地为高海拔地区,海拔高度为3 936 m,大气压力约61.7 kPa,最热月月平均温度为14.5℃,最冷月月平均温度为-3.2℃,极端最高温度为28.5℃,极端最低温度为-21.3℃,最热月平均相对湿度为53%,年平均雷暴日为78.8 d/a<sup>[1]</sup>。这样的气候特点,对常规电气设备的绝缘及温升产生较大影响。本工程针对所处环境特点,对高低压成套开关柜、电气元器件、变压器、柴油发电机等设备参数在选型时加以修正,以满足使用要求。

### 2.2 高压电气设备选型

高压电气产品受高海拔环境的影响主要体现在:空气密度低,以空气绝缘的高压设备,其外绝缘强度降低;以空气对流散热的设备,其散热效率降低,温升升高。由于本工程中总负荷较小,电流较

小,且随着海拔的升高空气温度相应递减,通过高压导体及设备引起的温升基本上可以忽略。所以高压电气产品的选型主要考虑其绝缘水平是否满足。

#### 2.2.1 高压开关柜

根据国标《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》(GB/T 11022—2011),额定电压有效值为12 kV时其绝缘水平见表1。

表1 额定电压范围的额定绝缘水平

Tab. 1 Rated insulation level of rated voltage range kV

额定电压有效值 $U_t$	额定短时工频耐受电压(有效值) $U_d$		额定雷电冲击耐受电压(峰值) $U_p$	
	通用值	隔离断口	通用值	隔离断口
12	42	48	75	85

高压开关柜的绝缘试验是在海拔1 000 m的环境下进行的,而项目所在地海拔为3 936 m,根据《特殊环境条件 高原用高压电器的技术要求》(GB/T 20635—2006)进行修正:

$$U_N = K_H \times U_0 \quad (1)$$

$$K_H = e^{\frac{m(H-1\,000)}{8\,150}} \quad (2)$$

式中  $U_N$ ——在海拔1 000 m以下区域试验的高压电器设备的耐受电压,kV

$U_0$ ——高压电器设备的额定耐受电压,kV

$K_H$ ——高海拔环境中外绝缘强度校正因数

$H$ ——海拔高度

$m$ 取1。

经计算: $K_H = 1.43$ ,即绝缘试验耐压值增加43%,额定工频耐受电压有效值经计算为68.64 kV(隔离断口),额定雷电冲击耐受电压峰值为121.55 kV(隔离断口)。因本次工程高压柜仅为3组,考虑到产品若特殊制造成本会较高,故采用了额定电压等级较高的KYN44-24型开关柜,其额定工频耐受电压有效值为79 kV(隔离断口),额定雷电冲击耐

受电压峰值为 145 kV(隔离断口),满足要求。

### 2.2.2 高压元器件

海拔增高,空气密度变小,高压设备外绝缘受到影响,其强度降低。海拔每升高 100 m,其强度降低值约为 1%,当海拔为 2 000 m 以下时,影响不大,超过 2 000 m 时,需要加大元器件之间的空气间隙以满足绝缘要求,或采用加强绝缘的高原型产品。本工程主要元器件如断路器采用 VHS-24-1250/31.5,其额定工频耐受电压有效值为 79 kV(隔离断口),额定雷电冲击耐受电压峰值为 145 kV(隔离断口),满足高原环境条件。

### 2.3 低压成套开关柜及元器件的选型

高海拔地区空气稀薄,紫外线辐射较强,当海拔超过 2 000 m 后,开关设备的绝缘及耐压水平、设备的散热能力都因海拔的增加而降低,同时开关电器的灭弧能力也因海拔增加而降低。常规的低压成套设备基本能满足高原的使用条件,但须对温度、电气间隙、绝缘耐压进行校验修正<sup>[2]</sup>。

#### 2.3.1 成套开关柜

成套开关柜的温升:通常来说,海拔每升高 100 m,低压成套开关设备内绝缘强度降低 1%,低压开关电器及母线的温升增加约 0.1~0.5℃。同时,高海拔地区的室外气温会随着海拔升高而递减,递减率为每升高 100 m,气温降低约 0.5℃。对于室外设备,环境温度的降低可以补偿因海拔升高带来的温升;对于室内成套配电设备则须采用降容使用。

电气间隙:在现行国家标准《低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验》(GB/T 16935.1—2008)中,对海拔超过 2 000 m 使用的低压开关柜内电气间隙及爬电距离均给出了数据,经 GB/T 16935.1—2008 表 A.2 计算得出表 2。

表 2 电气间隙及爬电距离

Tab.2 Electrical gap and creepage distance

海拔/m	电气间隙倍增系数	电气间隙/mm	爬电距离/mm
2 000	1.00	10	12
3 000	1.14	11.4	13.7
4 000	1.29	12.9	15.5
5 000	1.48	14.8	17.8

本工程中采用户内 MNS 型低压配电柜,海拔高度按 4 000 m 考虑,要求成套开关柜在制作时最小电气间隙为 12.9 mm,最小爬电距离为 15.5 mm。

绝缘耐压:对于低压成套设备的介电试验,其工

频耐受电压及冲击耐受电压值应根据国家标准《特殊环境条件 高原用低压电器技术要求》(GB/T 20645—2006)进行修正(见表 3)。其试验电压应为常规产品的标准规定值乘以修正系数。

表 3 工频耐受电压和雷电冲击耐受电压的海拔修正系数

Tab.3 Elevation correction coefficient for power frequency tolerance voltage and lightning impulse tolerance voltage

产品使用地点海拔/m		2 000	3 000	4 000	5 000
海拔修正系数	0	1.25	1.43	1.67	2.00
	1 000	1.11	1.25	1.43	1.67
	2 000	1	1.11	1.25	1.43
	3 000	0.91	1	1.11	1.25
	4 000	0.83	0.91	1	1.11
	5 000	0.77	0.83	0.91	1

#### 2.3.2 低压元器件的选型

随着海拔的升高,低压电器的温升问题比较突出,每升高 100 m,开关电器温升增加约 0.4 K。对于室外设备,由于海拔升高,环境温度下降,温度的下降量完全可以补偿开关电器的温升增加量。而室内设备因环境温度变化不大,所以采用降容使用措施。本工程使用低压断路器在 4 000 m 海拔高度的降容系数为 0.78,即在设计时,回路计算电流不超过  $0.78I_e$  ( $I_e$  为额定电流)。

其次,海拔升高,空气介电强度降低,引起产品空气绝缘耐压水平降低。为保证可靠性,采用了高一级的绝缘电压等级,以增强电气产品的外绝缘强度。一般情况下低压电网的额定电压是 400 V,本次采用低压开关电器的额定电压为 690 V,经查资料,本产品 4 000 m 海拔时,额定工作电压  $U_e$  约为 548 V,满足 400 V 工作要求。

采用热脱扣器作为过载脱扣部件的断路器、热继电器,在高原环境中,尤其在户内使用时由于散热不好,会使脱扣特性发生变化。与正常环境相比,设定同样的脱扣电流值,很可能会缩短脱扣时间,造成频繁跳闸。但各个制造商的产品特性会有差别,因此在使用时根据所在环境调节电流整定值,从而满足使用要求。

### 2.4 变压器的选型

国家标准《电力变压器 第11部分:干式变压器》(GB 1094.11—2007)第 11.3 条规定,当所设计的变压器是在海拔超过 1 000 m 处运行,而其试验却是在正常海拔处进行时,变压器的温升限值应相应递减,以 1 000 m 为基础,超过部分以每 500 m 为



一级,按下列数据相应降低:对于自冷变压器,2.5%;对于风冷变压器,5%。

本工程所处海拔高度为3 936 m,采用10/0.4 kV干式变压器,室内安装,风冷方式,经计算变压器的温升限值降低 $(3\,936 - 1\,000)/500 \times 5\% = 29.4\%$ 。

本次采用变压器绝缘等级为H级,容量为400 kVA,允许温升为125 K,设计使用时允许温升值不超过95.6 K。

绝缘:国标《电力变压器 第11部分:干式变压器》第12.2条规定,当变压器在海拔4 000 m以下运行时,海拔高度每提升100 m,变压器的绝缘强度会随着相应的阶梯降低1%。本工程变压器额定耐受电压增加值: $(3\,936 - 1\,000)/100 \times 1\% = 29.3\%$ 。即,10 kV变压器额定短时耐受电压为 $35\text{ kV} \times (1 + 29.3\%) = 45.26\text{ kV}$ 。

## 2.5 柴油发电机的选型

通常柴油机的额定功率是指:在正常环境中,机组连续运行12 h(包括超负荷110%运行1 h)的输出功率,即大气温度为20℃、大气压力为101.325 kPa、相对湿度为50%。而高海拔地区(海拔高度在2 000 m以上时),因为空气密度小,空气含氧量低,柴油机吸入的燃烧氧气量不足,导致燃油燃烧不完全,使机组输出功率下降<sup>[3]</sup>,而海拔在2 000 m以下时功率无需修正。

由于本工程采用的是涡轮增压柴油机,在大气压力降低时涡轮膨胀比增加,压缩比也增大。大气压力对增压柴油机输出功率的影响要小一些。计算时,功率按海拔每升高100 m,下降1.1%计算。

本工程计算二级负荷约为220 kW,按所处海拔为3 936 m计,发电机功率修正量为 $(3\,936 - 2\,000)/100 \times 1.1\% = 21.3\%$ ,选取发电机功率应为 $220 \div (1 - 21.3\%) = 280\text{ kW}$ ,最终选定柴油发电机功率为300 kW。

## 2.6 其他

高原低气压会使密封电器产品内外压力差增大,容易引起外壳变形、开裂,导致内部气体或液体向外泄漏,因此选用的产品在制造时要适当调整密封体内的压力并进行试验。

同时,高原地区太阳热辐射较高,对于户外的电气设备,太阳热辐射的增加将引起较大的附加温升。

随着海拔的增高,紫外线强度大幅度提高,紫外线使有机绝缘材料加速老化。故室外设备须设置遮阳罩,室外配电箱材质选用不锈钢。

## 3 结语

高原上的小型污水处理厂,因环境差异,对电气设备提出了更高要求,电气设备生产商应针对高原环境加大对产品的研发力度,不断完善高海拔产品。

## 参考文献:

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供电设计手册(第4版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2016.  
China Aviation Planning and Design Institute (Group) Co., Ltd.. Design Manual for Industrial and Civil Power Supply and Distribution (4th ed)[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2016(in Chinese).
- [2] 杜毅威. 高海拔环境民用建筑电气设备的选择[J]. 建筑电气, 2010, 29(1): 5-9.  
Du Yiwei. Selection of electric equipments for civil buildings in high altitude environment[J]. Building Electricity, 2010, 29(1): 5-9(in Chinese).
- [3] 曾以雄, 刘衡. 高海拔地区柴油电站设计[J]. 建筑电气, 2008, 27(12): 5-7.  
Zeng Yixiong, Liu Heng. Design of diesel-driven power stations in high-altitude areas[J]. Building Electricity, 2008, 27(12): 5-7(in Chinese).



作者简介:董建明(1983-),男,山西朔州人,本科,工程师,从事市政电气工程及其自动化设计工作。

E-mail: 9993516@qq.com

收稿日期: 2018-01-18