

高海拔环境民用建筑电气设备的选择

杜毅威 (中国建筑西南设计研究院有限公司, 成都市 610081)

Selection of Electric Equipments for Civil Buildings in High Altitude Environment

Du Yiwei (China Southwest Architectural Design and Research Institute CORP. LTD, Chengdu 610081, China)

Abstract Due to special requirements for selection of electric equipments to be used in high altitude environment, influence by high altitude environment on electric equipments is analyzed, and how to select electric equipments used in high altitude environment is discussed.

Key words High altitude Plateau environment Temperature rise Insulation withstand-voltage Verification

摘 要 高原环境在选择电气设备时有其特殊要求, 分析高海拔环境对电气设备的影响, 探讨如何选择在高海拔地区使用的电气设备。

关键词 高海拔 高原环境 温升 绝缘耐压 校验

1 引言

我国的西南地区有很多城镇处于海拔超过 1 000 m 的高原地区, 如四川康定海拔 2 616 m、云南丽江海拔 2 393 m、西藏拉萨市海拔 3 649 m。高原地区电气设备的选择与正常环境有较大的不同。常规型电气设备的电气参数及设备数据是按正常使用环境制

造的, 在使用时要求电气设备应使用在产品标准规定的正常使用环境条件——海拔 1 000 m 以下 (低压开关电器及成套设备在海拔 2 000 m 以下), 周围空气温度不超过 40 ℃ 等等。

高原气候具有常年气温低、气压低、空气稀薄、湿度低、日夜温差大等特点。以拉萨市为例, 其气候环境条件为: 大气压力约 64.5 kPa; 最热月月平均温度 15.5 ℃, 最冷月月平均温度 -2.3 ℃, 极端最高温度 29.4 ℃, 极端最低温度 -16.5 ℃; 最热月平均相对湿度 53%; 年平均雷暴日 72.6 d/a; 地震设防烈度 7 度。这样的气候特点, 对电气设备的温升及绝缘等方面会有很大的影响。

高原环境在选择电气设备时有其特殊要求, 在选择上应选用适合相应海拔高度级别的高原型产品, 或校验所选的常规型电气设备的电气参数能否满足相应海拔高度级别的使用环境要求。目前国家已制定了用于海拔 1 000 m 以上至 5 000 m 高原特殊环境条件的电气装置技术要求的一系列标准, 基本能满足我国高原地区建设对电气设备的要求。

下面就民用建筑 (供配电电压主要在 10 kV 及以下) 如何选择变配电等电气设备进行分析、探讨, 供设计人员设计高原地区工程项目时参考。

具有这种安全私密性, 技术才有发展的可能。

2.2.5 绿色环保节能

人类生活在地球上, 气候变化直接关系到人类的生存。而绿色环保节能是每一个家庭每天所面对的问题。大大小小的各个方面都体现了人类在征服地球, 地球也在征服人类。

3 结语

总之, 随着科技的发展, 尤其是计算机技术的广

泛应用, 建筑的功能日益丰富, 建筑电气已成为以电气技术、计算机技术和通信技术为手段, 创造、维持和改善建筑空间的电、光、热、声以及通信和管理环境的一门科学。

2009-12-03 来稿

编者注

本文作者作为《中国电气工程大典 第 14 卷 建筑电气工程》的编著人之一, 受本刊之约撰写本文。在此对此书的所有编著者及中国电力出版社致谢!

2 高压电气设备选择

高原环境对高压电气设备的影响很大,主要表现为,散热条件变差,电气装置的外绝缘降低,但对内绝缘影响不大。

2.1 高压元器件

当海拔增加时,空气密度降低,散热条件变差,使高压电器在运行中温升增加,但空气温度随着海拔高度的升高而相应递减,其值基本可补偿海拔升高对电器温升的影响,因此高压元器件在5 000 m以下高海拔地区使用时其额定电流可保持不变。

随着海拔的增加,气压降低,空气变得稀薄,空气绝缘强度也在降低,元器件外绝缘强度也随之减弱,海拔1 000~5 000 m,每升高100 m,其外绝缘强度降低约1%。当海拔在1 000~2 000 m时,对于3~10 kV等级的高压元器件,因其绝缘尚有一定裕度,在实际运行中未发现由于高海拔影响而造成绝缘击穿事故,因此当产品使用在1 000~2 000 m时,可按常规型产品选用。当海拔在2 000 m以上时,应采取加强保护或加强绝缘的措施,来保证高压元器件的安全运行,如母线采用热缩材料包覆、增加元器件之间的空气间隙、选用高原型产品等。

2.2 高压开关柜

高压开关柜出厂试验中的绝缘试验及导体载流量是在正常海拔(海拔1 000 m及以下)的地区进行的,若在高原地区使用,应作适当的校正。

根据国标《特殊环境条件 高原用高压电器的技术要求》(GB/T 20635-2006),高压开关设备以其额定工频耐压值和额定脉冲耐压值来鉴定其绝缘水平。对于10 kV开关柜来说,其额定电压为12 kV;额定工频耐压有效值为32 kV(对隔离距离)和28 kV(各相之间及对地);额定脉冲耐压峰值为85 kV(对隔离距离)和75 kV(各相之间及对地)。

按国标《特殊环境条件 高原用高压电器的技术要求》校正:

$$U_{\text{工}} = K_H \cdot U_{\text{工}0}$$

$$U_{\text{脉}} = K_H \cdot U_{\text{脉}0}$$

$$K_H = e^{m_0 \left(\frac{H-1000}{8150} \right)}$$

式中: $U_{\text{工}}$ —— 高海拔额定工频耐压值, kV;

$U_{\text{脉}}$ —— 高海拔额定脉冲耐压值, kV;

$U_{\text{工}0}$ —— 额定工频耐压值, kV;

$U_{\text{脉}0}$ —— 额定脉冲耐压值, kV;

K_H —— 高海拔校正因数(取 $m_0 = 1$, 适用于雷电冲击、工频及操作冲击干试验电压);

H —— 海拔, m。

如海拔3 649 m的拉萨市,查 K_H 为1.38,相应的出厂试验耐压值应增加约38%。

高压开关柜在室外使用时,空气温度随着海拔的升高而相应递减,可补偿海拔升高对导体温升的影响,因此其额定电流可保持不变,而室内高压开关柜中导体的载流量将受到影响,其降容系数见表1。

表1 高海拔环境条件下高压开关柜中
导体载流量综合修正系数

Tab. 1 The comprehensive correction factor of conductor ampacity in high-voltage switching cabinet in high altitude environment

实际环境温度 (℃)	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
修正系数	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67

注: 导体最高允许温度+70℃,适用范围为矩形导体。

3 低压电气设备选择

常规型低压电气设备正常使用的海拔高度为2 000 m以下,超过2 000 m时,常规型低压产品应作高海拔校验或选用高原型产品。高原型低压元器件要求在其明显部位标注适用于海拔高度等级的标志,如G2-3适用于海拔最高2 000 m以上至3 000 m, G3-4适用于海拔最高3 000 m以上至4 000 m, G5表示适用于海拔最高5 000 m。对高原型低压成套设备,要求在其铭牌上标出适用的海拔高度等级,如G3适用于海拔最高2 000 m以上至3 000 m, G4适用于海拔最高3 000 m以上至4 000 m, G5表示适用于海拔最高5 000 m。

3.1 低压元器件

根据国标《特殊环境条件 高原用低压电器技术要求》(GB/T 20645-2006)及高海拔地区实际使用报告,现有常规型低压电器在高原地区使用时应注意的问题如下:

a. 温升。现有常规型低压电器产品，使用于高原地区时，其动、静触头和导体以及线圈等部分的温度随海拔的升高而递增。其温升递增率为海拔每升高 100 m，温升增加 0.1~0.5 K，大多数产品均小于 0.4 K。在室外环境使用时，高原地区气温随海拔的升高而降低，其递减率为海拔每升高 100 m，环境空气温度降低 0.5℃，气温降低足以补偿海拔升高对电器温升的影响，低压电器的额定电流值可保持不变。但室内环境的温度随海拔升高其变化不大，补偿作用相对较弱，因此低压电器的温升极限值不变，需考虑降低容量使用，其额定不间断电流的降容水平可参见相关产品在不同海拔下的降容说明。

b. 绝缘耐压。常规型低压电器在海拔 2 500 m 时仍有 60 % 的耐压裕度，通过对常规型国产常用继电器与转换开关等的试验，在海拔 4 000 m 及以下地区，均可在其额定电压下正常运行。国外低压开关具有较高的工作电压，用于高海拔环境时，为保证可靠性，其额定工作电压要相应降低，可参见相关产品说明。

c. 脱扣及动作特性影响。采用热脱扣器作为脱扣部件的断路器、热继电器，在高原环境作用下，由于散热条件的变化其脱扣特性会发生一定的偏移，虽然各产品自身的电气机械特性不一，偏移程度有一定的分散性，但均在其技术条件规定的特性曲线范围内。具体产品的脱扣特性可在高海拔模拟环境或在现场调节电流整定值，使其满足产品使用环境的脱扣特性要求。

采用电子脱扣器的低压电器产品的脱扣动作特性基本上不受高原条件影响，其脱扣特性不需另外调整和修正，但应充分考虑电子功率元件的散热问题。

在高原环境作用下，常用熔断器的熔断特性最大偏差均在允许偏差的 50 % 以内。通过分析低压熔断器在不同环境温度下的时间-电流特性曲线，熔体在过载时，熔断时间随环境温度降低而增加，在 20℃ 以下时，变化的程度会更大些，因此在高原地区使用熔断器作为配电线路的过载保护时，要着重考虑受温度影响的上下级之间的选择性配合，而熔断器在作为短路保护时，熔断时间不随环境温度变化，由此可见，熔断器在高原环境下使用时的可靠性和保护特性较好。

d. 接通和分断短路电流能力及使用寿命影响。海拔升高，空气密度降低，使以空气为灭弧介质的低压空气断路器等产品灭弧困难，通断能力下降，电气寿命缩短。

在高海拔地区使用的开关器件和元件应按海拔高度的升高，降低额定接通和开断电流容量，降容系数见表 2。

表 2 开关器件和元件在高海拔环境条件下额定接通和开断电流容量的降容系数

Tab. 2 The derating factor of rated on / off ampacity of switch devices and components in high altitude environment

安装海拔高度 H (m)	降容系数
$2\,000 < H \leq 2\,500$	0.93
$2\,500 < H \leq 3\,000$	0.88
$3\,000 < H \leq 3\,500$	0.83
$3\,500 < H \leq 4\,000$	0.78
$4\,000 < H \leq 4\,500$	0.75
$4\,500 < H \leq 5\,000$	0.68

e. 耐低温性能。在高原环境下，电气产品应具有耐受高海拔地区低温的能力，尤其是室外使用选型时，应注意产品耐低温性能，查实该地最低温度值，选用相匹配的耐低温产品。

3.2 低压成套设备

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：

a. 温升。通常随着海拔升高，环境温度的降低可以补偿因海拔升高带来的温升，因此在高海拔地区使用时其额定电流可保持不变。对容量较大、结构紧凑、出线回路多、发热大的低压成套设备，如输入电流 1 250 A 以上的成套设备，可采用降低电流额定值的等级标定使用。

b. 电气间隙。以空气作为绝缘介质的低压成套开关设备和控制设备，随海拔的增加，应增大电气间隙。如低压成套设备以海拔 2 000 m 为基准，其空气最小间隙为 8 mm，按国标《特殊环境条件高原电工电子产品 第 1 部分：通用技术要求》(GB/T 20626.1-2006) 中 5.3 条表 2，当其用于海拔 4 000 m 时，产品设计的最小电气间隙应为 $8\text{ mm} \times 1.29 = 10.32\text{ mm}$ 。

c. 绝缘耐压。应对低压成套设备工频耐受

电压和冲击耐受电压进行修正,按国标《特殊环境条件 高原电工电子产品 第1部分:通用技术要求》5.6.1中表3,如设计选择的低压成套设备在海拔2000m处的额定冲击耐受电压(U_{mp})为8kV,当其用于海拔4000m时,其在海拔2000m试验地点的额定冲击耐受电压值应为 $8\text{ kV} \times 1.25 = 10\text{ kV}$ 。

4 干式变压器选择

应校正变压器高原环境使用时的温升限值和额定短时外施耐受电压值。

4.1 温升限值

国家标准对民用建筑中常用的环氧树脂干式变压器用于高海拔地区的温升限值有明确的校正要求。根据国标《电力变压器 第11部分:干式变压器》(GB 1094.11-2007)第11.3条高海拔处的温升修正,对于在海拔1000m以上运行的变压器,而其试验是在正常海拔处进行时,其温升限值应相应递减。海拔超过1000m部分以500m为一级,安装海拔高度每增加一级,温升限值按自冷式变压器降低2.5%、风冷式变压器降低5%。对海拔3000m使用的干式变压器温升限值降低为,风冷式:

$$(3000 - 1000) / 500 \times 5\% = 20\%$$

自冷式:

$$(3000 - 1000) / 500 \times 2.5\% = 10\%$$

对F级绝缘的环氧树脂风冷式干式变压器允许温升为100K,设计温升值应控制在80K。

对H级绝缘的环氧树脂自冷式干式变压器允许温升为125K,设计温升值应控制在110K。

4.2 额定短时外施耐受电压值

根据国标《电力变压器 第11部分:干式变压器》第12.2条,当变压器被规定在海拔为1000~3000m之间运行,而其试验是在正常海拔处进行时,其额定短时外施耐受电压值,应根据安装地点的海拔超过1000m的部分,以每100m增加1%的方式来提高,在海拔超过3000m的地区运行时,其绝缘水平应由供、需双方协商确定。对海拔3000m处使用的标称电压10kV干式变压器的额定短时外施耐受电压值须增加为:

$$(3000 - 1000) / 100 \times 1\% = 20\%$$

即:

$$35\text{ kV} \times (1 + 20\%) = 42\text{ kV}$$

另外,变压器在高海拔地区温度低于-25℃的户外使用时,还应选用满足严寒气候条件-50~+40℃的变压器。

5 柴油发电机选择

高原地区空气稀薄,空气含氧量低,柴油不能充分燃烧,柴油发电机的输出功率大幅下降。一般柴油发电机出厂标定的额定输出功率均为标准参考大气条件下海拔1000m(也有500m的,依产品而有所不同)以内的额定输出功率,海拔每升高100m,柴油发电机输出功率下降1%左右,在海拔4000m处,柴油发电机的输出功率下降约30%。

另外,在高原地区使用的柴油发电机应选用涡轮增压机组及免维护蓄电池,或直接选用适合高原地区使用的高原型专用机组。

6 电线电缆选择

对高原地区宜选用交联聚乙烯电线电缆,不宜选用对气候适应性差的聚氯乙烯绝缘电线电缆。对气温低于-25℃的高原室外环境,应选用耐寒电缆,明敷设且无遮盖时还应选用耐阳光照射和适应较大温差的电缆如交联乙烯-丙烯橡胶电缆(乙丙橡胶EPR电缆)。

7 需考虑的其他因素

由于高原地区交通不便,工程可施工时间短,在变配电设备的采购、运输、安装及调试等方面与平原地区相比有许多困难,在选用时,应多考虑设备的通用性、互换性、经济适用性等因素,在订货时应对产品海拔高度的适用等级作明确说明。

8 结束语

我国的西部地区,大部分属少数民族聚集区,经济相对落后,随着国家国力增强,对西部地区的开发和投入的不断增加,高原地区的建设项目也不断增多,对高原型电气产品的需求不断增大。希望各电器生产企业加大对高原型产品研发和改进的投入,生产出更多更好的高原型产品,满足高海拔地区