

高原环境下 110 kV 城网迎峰过冬的可行性研究

刘春艳¹, 李钊年¹, 李文秀¹, 王佐亮²

(1. 青海大学, 青海 西宁 810016; 2. 青海桥头铝电有限公司, 青海 西宁 810016)

摘要: 针对高寒地区特殊的气象条件, 研究了 110 kV 城网中提高导线温度的可行性及提高导线温度后主变的过载能力, 并给出了计算依据和结果。线路试运行结果表明, 将导线允许温度从 70℃ 提高到 80℃ 时, 除部分配套金具不能满足要求外, 主变及其他均能安全运行。

关键词: 高寒地区; 导线容许温度; 主变; 过载能力; 输送容量

Feasibility study of 110 kV urban network running at power peak in winter with plateau environment

LIU Chun-yan¹, LI Zhao-nian¹, LI Wen-xiu¹, WANG Zuo-liang²

(1. Qinghai University, Xining 810016, China; 2. Qinghai Qiaotou Aluminium & Power Co., Ltd, Xining 810016, China)

Abstract: This paper studies feasibility and major transformer's over loading ability of improving temperature of conducting wire in 110 kV urban network in a condition of special plateau environment, then provides calculation basis and results. The test run result of transmission line shows that if we increase permitted temperature of conducting wire from 70℃ to 80℃, the major transformer and other devices can be safe in operation except that a part of auxiliary accessories can not meet the need.

Key words: high and cold area; permitted temperature of conducting wire; major transformer; over loading ability; transmission capacity

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)08-0063-04

0 引言

随着国家对西部大开发战略的实施, 青海国民经济得到了持续高速的发展, 企业的生产能力得到了大幅提高, 人民生活质量逐步改善, 电能供需矛盾日益突出, 造成青海电网缺电严重。由于青海电网的改造已基本完成, 网架结构已基本定型, 输电通道的输电能力受到限制, 电力供应与电网输送能力严重不足的问题日益突出。青海电网 8 个 330 kV 变电站中有 6 个主变容载比已超过规程规定, 西宁、海东、海北、海南 4 个供电地区的 14 个 110 kV 变电站接近满载运行, 部分新增负荷处于待电投产状态, 电力传输“瓶颈”问题凸现。而到了冬季, 由于取暖负荷的增加以及各高耗能企业用电负荷的大幅增加, 使电力传输的“瓶颈”问题更加突出。虽然线路最初架设时是按负荷发展预测情况而选择导线截面的, 但由于用电负荷的发展与社会经济的发展密切相关, 它随着地方经济的发展而变化, 因此存在不可预见性, 实际也是如此。因此, 在基本不

改变现有线路的基础上增加电网输送能力就成为符合西部实际条件的、行之有效的方法。

风速、日照、气温等自然条件是影响导体允许载流量的主要因素。目前, 大部分国家均按照自己国家的自然环境, 取用不同的风速、日照、气温和导线允许温度等边界条件^[1,2]。我国取用的边界条件为: 环境温度 35℃; 风速 0.5 m/s; 日照强度 1 000 W/m²; 吸热系数 0.9; 散热系数 0.9; 导线允许温度 70℃。考虑到高原环境下特殊的气候条件和是否能够在满足导线热稳定的前提下达到输送更多功率的目的, 根据青海电力公司所提供的参数, 我们将导线允许的最高温度定为 80℃ 来进行研究。

通过提高现有线路导线工作温度的方法而增加线路输送容量, 国内对于此类项目的关注和研究是从 2003 年底开始的, 到目前, 一些率先进行尝试性探索的供电企业已经获得了一些值得借鉴的经验。华东电网公司在 2003 年度夏前成功地将常州-无锡-苏州双回路 500 kV 线路的导线稳定输送限额从 220 MW 提高到了 260~280 MW; 广州、郑州、大连局均采用预防性试验规程中修试年限的上限

值,将变压器、断路器等设备的修试周期由一年一次改为三年一次,减少了设备的停电时间,提高了设备的出力。

本文选取西宁 110 kV 城网中应用较多的两种导线 LGJ185/30 和 LGJ240/40,对影响线路导线载流量的一些因素进行了分析,对线路在高寒地区气象条件下的导线载流量进行了修正,从而达到了提高线路输送容量的目的。并根据变压器的实际运行情况,通过计算等值空气温度确定冬季高峰负载超铭牌容量运行的能力,满足变压器运行时绕组温度的限制,从而在不影响变压器寿命的前提下,重新核定了变压器的超铭牌容量运行能力,确保变压器在安全运行的前提下,尽量挖掘变压器正常超铭牌容量运行能力,以满足电力负载不断增长的需要。

1 导线载流量的计算模型

输电线的热容模型以线路的热平衡方程为基础建立。由于 IEEE738-1993 标准^[3]中考虑的因素全面,基于此标准得出导体稳定导线载流量计算式为

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r - q_s}{R(T_c)}} \quad (1)$$

式中: q_c 为导线对流散热, q_r 为导线辐射散热, q_s 为导线日照吸热, I 为导线电流值, $R(T_c)$ 为导线在温度 T_c 时的交流电阻值。

1.1 风速对导线载流量的影响

当辐射系数与吸热系数不同时,对于两种不同型号的导线,风速从 0.5 m/s 变为 1 m/s,导线允许载流量的变化如表 1 所示。

表 1 风速与导线载流量的关系

Tab.1 The relationship between wind speed and conducting wire carrying capacity

风速/m·s ⁻¹	最高允许温度/(°C)	导线载流量/A		载流增量/(%)	
		185 mm ²	240 mm ²	185 mm ²	240 mm ²
辐射系数 $\epsilon=0.5$, 吸热系数 $\alpha=0.5$					
0.5	70	407.0	469.7		
1.0	70	483.2	553.5	18.7	18.7
0.5	80	469.7	553.1		
1.0	80	553.5	651.6	17.8	17.8
辐射系数 $\epsilon=0.9$, 吸热系数 $\alpha=0.9$					
0.5	70	398.3	467.2		
1.0	70	471.2	552.6	18.3	18.3
0.5	80	472.8	557.0		
1.0	80	552.3	650.1	16.8	16.8

由表 1 可见,在 70°C 和 80°C 时对于两种型号的

导线,当风速从 0.5 提高到 1.0 时,对于旧线载流量分别提高 18.3%和 16.8%,对于新线载流量分别提高 18.7%和 17.8%。而对于不同截面的导线,其载流量的提高比例是相同的。

1.2 环境温度对载流量的影响

当辐射系数与吸热系数不同时,对于两种不同型号的导线,当环境温度从 40°C 降低为 35°C 时,导线允许载流量的变化如表 2 所示。

表 2 环境温度与导线载流量的关系

Tab.2 The relationship between environmental temperature and conducting wire carrying capacity

环境温度/(°C)	导线最高允许温度/(°C)	导线载流量/A		载流增量/(%)	
		185 mm ²	240 mm ²	185 mm ²	240 mm ²
辐射系数 $\epsilon=0.5$, 吸热系数 $\alpha=0.5$					
35	70	488.9	574.9	9.6	9.7
40	70	446.2	524.2		
35	80	558.4	657.6	6.9	6.9
40	80	522.6	615.2		
辐射系数 $\epsilon=0.9$, 吸热系数 $\alpha=0.9$					
35	70	481.6	565.8	10.9	7.5
40	70	434.1	508.9		
35	80	561.0	660.9	11.2	7.5
40	80	522.1	614.6		

由表 2 可见,在 70°C 和 80°C 时对于两种型号的导线,当环境温度从 40°C 降低到 35°C 时,对于旧线载流量分别提高约 11%和 7.5%,对于新线载流量分别提高约 9.7%和 6.9%。而对于不同截面的导线,其载流量的提高比例大致相同。

1.3 导线允许温度对载流量的影响

当导线允许温度从 70°C 变化到 80°C 时,导体载流量的变化如表 3 所示。

表 3 导线允许温度与载流量的关系(环境温度为 35°C)

Tab.3 The relationship between the conducting wire permitted temperature and the wire carrying capacity environment temperature for 35°C)

导线最高允许温度/(°C)	导线载流量/A		载流增量/(%)	
	185 mm ²	240 mm ²	185 mm ²	240 mm ²
辐射系数 $\epsilon=0.5$, 吸热系数 $\alpha=0.5$				
70	488.9	574.9		
80	558.4	657.6	14.2	14.4
辐射系数 $\epsilon=0.9$, 吸热系数 $\alpha=0.9$				
70	481.6	565.8		
80	561.0	660.9	16.5	16.8

由表 3 可见,对于两种型号的导线,当最高允许温度从 70°C 提高到 80°C 时,对于旧线载流量分别

提高 16.5%和 16.8%，对于新线载流量分别提高 14.2%和 14.4%。导线截面越大，其载流量的提高越多。

由以上分析来看，对于同一导线：

- (1) 将导线允许温度从 70℃提高到 80℃时，导线允许载流量可提高大约 14%以上。
- (2) 导线截面越大，则最高允许温度从 70℃提高到 80℃时，载流量的增量就越大。
- (3) 由于线路压降主要由线路的电抗决定，而电抗主要由频率来决定，且电抗远大于电阻。因而，线路压降可控制在标准允许的 5%以内，能够满足电能质量要求。

2 导线发热损耗比较与经济分析

2.1 导线发热损耗比较

从系统运行的角度出发，选取两种不同型号的导线，当导线发热允许温度由 70℃提高到 80℃时，“线损功率/输送”的增量约 0.7%~1.5%，“年损能量/输送”的增量约 0.4%~1.0%，而且导线 80℃持续运行的时间很短暂，由此增加的线损甚小。

2.2 提高导线发热允许温度的经济性分析

(1) 在高原环境下，提高导线允许温度 10℃，输送容量最少约可升高 14%左右，GB1179—83 计算的 80℃钢芯铝绞线的载流量比 70℃时平均提高 22.4%，该值与国家标准计算值相比相差了约 8%，主要原因是高原气候条件的影响。

(2) 导线允许温度从 70℃提高到 80℃后的孤垂增加，对大量线路的投资总额影响不大，虽然在多种不利因素重迭的特殊情况，有可能产生相当的孤垂差额，但从总体来看，提高导线允许温度后，补偿上述孤垂差额导致的杆塔升高和投资增加，对大量线路的投资总额影响不大。

(3) 提高导线允许温度后显著增加输电容量，电阻损耗增加甚微。

环境温度为 20℃~30℃时，线温 80℃运行的能损约比 70℃运行时高 30%~50%，但此短暂过程占全年运行时间的 0.057%，由此增加的短暂损耗，在年运行线损中所占比重甚微。输送能力的提高，意味着无论由系统稳定要求的运行方式还是负荷骤增形成的输送瓶颈，都可得到相应的缓解。损耗增加的代价与年输送能力的提高相比，是微乎其微的。

3 变压器正常超铭牌容量运行能力核定依据

变压器的正常超铭牌容量运行能力在正常情况下的过负载能力和事故情况下的过负载能力。变压

器正常过负载能力可以经常使用，而事故过负载能力只允许在事故下使用。其遵循下列限制条件：

- (1) 以油浸式自然冷却变压器为研究对象；
- (2) 不损失变压器的正常使用寿命；
- (3) 正常过负荷时变压器的过载能力不超过 50%；
- (4) 正常过负荷时绕组热点温度不超过 140℃。

4 变压器正常超铭牌容量运行能力的理论分析

变压器在正常运行时允许过负载，这是因为变压器在一昼夜内的负荷，有时是高峰，有时是低谷。在低谷时，变压器在较低的温度下运行；其次，在一年内季节性的温度也在变化。因此在变压器绝缘和寿命不受影响的前提下，变压器可以在高峰负荷及冬季时过负荷运行。

4.1 变压器的温升计算

变压器由于发热不均，计算时通常用平均温升和最大温升（或热点温升）表示。

如果变压器负荷与额定负荷不同，温升将需要计算和修正。油的温升与油中损耗成正比，绕组温升与铜耗成正比^[4, 5]。因此，当负荷为 K 时，顶层油的温升为：

$$\tau_t = \tau_{tN} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x \quad (2)$$

绕组对油的温差为：

$$\tau_g = \tau_{gN} K^{2y} \quad (3)$$

式中： τ_t 为 K 负荷时顶层油温升； τ_{tN} 为额定负载时顶层油温升； R 为额定负荷下，短路损耗对空载损耗之比； K 为浮在系数，即实际负荷与额定负荷之比； x 为计算油温的指数，对于自然油循环冷却取 0.8； y 为计算热点温度指数，随冷却方式而异，一般取 $y=x$ ； τ_g 为 K 负荷时绕组热点对顶层油的温差； τ_{gN} 为额定负荷时绕组热点对顶层油的温差。

4.2 超铭牌容量运行能力的计算

对于自然油循环冷却方式，在任何负载下，绕组热点温度等于环境温度、顶层油温升以及热点与顶层油之间温差之和，即：

$$\theta_h = \theta_0 + \tau_{tN} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x + \tau_{gN} K^{2y} \quad (4)$$

式中： θ_h 为热点温度（不考虑导线电阻影响）； θ_0 为环境温度。

4.3 计算数据

变压器在运行过程中，预期寿命和老化程度与绕组温度呈指数关系。在高温时，绝缘老化的加速远远大于低温时绝缘老化的延缓。目前尚没有一个简单的准则来判断变压器的真正寿命，一般在工程上用相对预期寿命和老化率来表示变压器的老化程度。变压器的相对预期寿命和老化率都牵涉绕组热点温度，标准 GB/T15164-1994《油浸式变压器负载导则》中规定，热点温度 98℃是计算变压器热老化的基准值。由于油浸式变压器是 A 级绝缘，允许把 105℃作为允许运行平均温度，118℃作为最高允许运行温度。因此，只要变压器的绕组热点温度不超过 118℃，是可以允许变压器适当过载的。

表 4 给出了导线允许工作温度提高后，主变各时段的正常过负荷能力和绕组热点平均温度计算值。

表 4 主变正常过负荷和绕组热点平均温度计算值

Tab.4 The calculated results of the normal over-load of main transformer and the average temperature of winding hot-spot

冬季按 11 月至 3 月计算，每月正常过负荷和绕组热点平均温度					
月 份	11	12	1	2	3
正常过载能力/	1.23	1.23	1.37	1.39	1.37
绕组热点平均温	107.3	106.9	106.9	106.8	107.1
冬季按 12 月至 2 月计算，每月正常过负荷和绕组热点平均温度					
月 份	12		1		2
正常过载能力/倍	1.36		1.41		1.43
绕组热点平均温度/	112.444		111.476 9		111.385 4
1 月 15 日，高峰时段正常过负荷和绕组热点平均温度					
时 间	8: 00		20: 00		
正常过载能力/倍	1.5		1.5		
绕组热点平均温度/	117.058 5		117.058 5		

由此可以看出，这种确定变压器过载能力的方法是可行的和合理的。在不损失变压器使用寿命的前提下，考虑到高原环境下的实际情况，变压器可适当过载。(1) 年平均温度不到 20℃ (西宁市为 8℃)^[6]，变压器年平均负荷可适当过载；(2) 夏季时负荷达不到变压器的额定容量，冬季负荷高峰时可适当过载；(3) 午夜及中午时负荷达不到变压器的额定容量，每日负荷高峰时段可适当过载。

5 结语

分析结果表明，在高原环境下，将导线允许温

度从 70℃提高到 80℃是完全可行的。西宁 110 kV 城网中的 6 条线路在此研究的基础上进行了试运行。运行结果表明，除一小部分配套金具需要进行更换外，所有 6 条线路均能安全运行，主变运行良好。这一研究结果为更好地解决高寒地区电力输送能力不足的“瓶颈”问题提供了理论依据和运行经验。

参考文献

[1] 张海峰, 李钊年, 沈权海. 高寒地区110kV城网中提高导线允许温度的可行性研究[J]. 继电器, 2006, 34(10): 67-69.
ZHANG Hai-feng, LI Zhao-nian, SHEN Quan-hai. Feasibility Study of 110 kV Urban Network on Increasing Conductor Allowable Temperature in Alpine-cold Region[J]. Relay, 2006, 34(10): 67-69.

[2] 叶鸿声, 龚大卫, 黄伟中, 等. 提高导线允许温度的可行性研究和工程实施[J]. 电力建设, 2004, 25(9): 1-7.
YE Hong-sheng, GONG Da-wei, HUANG Wei-zhong, et al. Feasibility Study on Increasing Conductor Allowable Temperature and Engineering Practice[J]. Electric Power Construction, 2004, 25(9): 1-7.

[3] IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors[S].

[4] 王佐亮. 提高导线允许运行温度后主变超铭牌容量运行能力的核定[J]. 变压器, 2007, (9): 1-3.
WANG Zuo-liang. Checking and Ratification of Overload Ability of Main Transformer after Raising Conductor Allowable Temperature[J]. Transformer, 2007, (9): 1-3.

[5] 洪淑月, 施晓钟. 电力系统的数学模型与仿真研究[J]. 电工技术学报, 2003, (4): 72-76.
HONG Shu-yue, SHI Xiao-zhong. Study on Mathematical Mode and Simulation of Power System[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, (4): 72-76.

[6] 张忠孝. 青海地理[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2004.
ZHANG Zhong-xiao. Qinghai Geography[M]. Xining: Qinghai People's Press, 2004.

收稿日期: 2008-04-22; 修回日期: 2008-09-01

作者简介:

刘春艳 (1971-), 女, 副教授, 主要从事电气工程及其自动化方面的教学和科研工作. E-mail: lcy305@sina.com