

两种接线金具型式下的特高压变压器 高压侧套管接线柱受力分析

余开伟 梁向阳 汤会增 杨晓东 郭 果

(国网河南省电力公司检修公司 河南 郑州 450007)

摘 要: 在特高压变压器高压侧套管引上线与避雷器 T 接线方式下, 高压套管接线端子普遍采用“U”型与“—”字型两种接线方式, 对高压套管引接线端子进行受力分析与计算, 得出“—”字型接线方式下, 接线柱根部的应力值较小, 有利于设备的安全稳定运行。

关键词: 特高压变压器; 高压侧套管接线端子; 接线方式; 受力分析

Abstract: For "T" connection mode of bushing lifting line in high-voltage side of UHV transformer and lightning arrester, the connection modes with "U" shape and "—" shape are widely used in high-voltage bushing terminal blocks. Through the stress analysis and calculation of high-voltage bushing lead terminals, it comes to the conclusion that the stress value of terminal root is smaller in the connection mode with "—" shape, which is good for the safe and stable operation of the equipment.

Key words: ultra high voltage transformer; bushing terminal in high-voltage side; connection mode; stress analysis

中图分类号: TM411 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)03-0044-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.03.010

0 引 言

1 000 kV 特高压交流变压器是目前世界上变电容量最大, 施工制造安装工艺要求最严格的大型变压器。特高压变压器采用分相和分体式布置, 结构如图 1 所示。变压器安装工艺的质量, 直接决定变压器的运行寿命和安全性能^[1-3]。在 1 000 kV 侧高压套管引上线与避雷器 T 接线方式下, 高压套管端部与引线相连部分普遍采用“U”型或者“—”字型接线方式^[4-6]。

下面对“U”型与“—”字型两种接线方式下高压

套管引线的接线端子进行受力分析, 并采用有限元分析的方法计算接线柱的强度。

1 受力点选取

以某特高压变电站 2 号主变压器 C 相为例, 其接线方式如图 2 所示, 高压套管引上线与避雷器的连接采用 T 接线方式, 高压侧引线采用 4 × JLHN58K-1600 型号导线, 单根 JLHN58K-1600 导线外径 D 为 70 mm。根据实际测量, 套管引上线避雷器引接位置以下的长度 L_2 为 5.6 m, 避雷器引接位置以上的长度 L_1 为 7.5 m, 共计 13.1 m; 避雷器 T 接线长度 L_3 为 8 m, 如图 2 所示。

根据断面图可见, 主变压器套管引上线靠近绝缘子串端部, 其风偏不大, 且引下线弛度较大, 计算中暂不考虑跨线摆动对主变压器套管接线端子的受力影响; 变压器套管端部垂直方向的力不大, 主要是大风时受的轴向和横向水平力, 且轴向水平力较横向水平力小, 所以分析仅计算横向水平力。即选取图 2 中引下线金具与套管接线端子为受力点进行横向水平受力分析, 即可得出变压器高压侧套管接线端子处的最大受力^[7,14]。

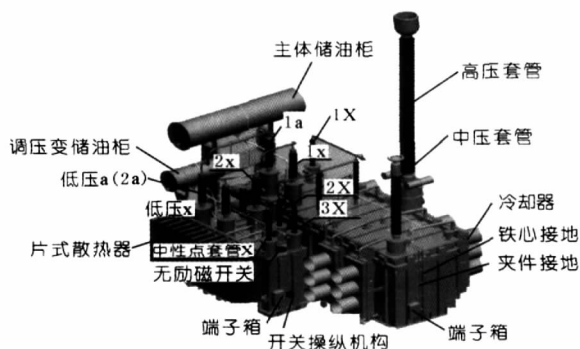


图 1 特高压变压器整体示意图

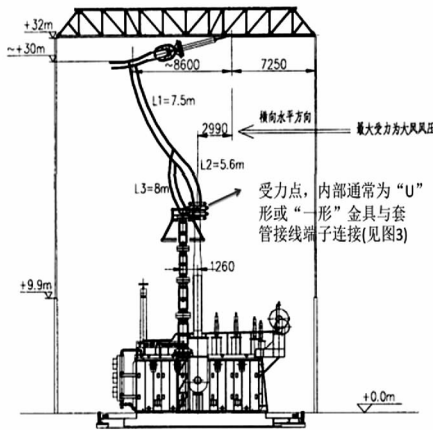


图2 高压套管引上线与避雷器T接线断面图

2 高压套管上引线受力计算

2.1 风力计算

根据《1 000 kV 变电站设计规范》(GB 50697 - 2011) 中 5.1.2 条: 风速选择导体和电器在所处极端环境时的最大风速。根据水文气象资料, 某变电站离地 10 m 高, 100 年一遇 10 min 平均最大风速 V_{10} 为 25.3 m/s, 根据《电力工程高压送电线路设计手册》第 3 章公式(3-1-1), 风速折算公式为

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中: V_h 为安装高度处的风速; V_{10} 为离地 10 m 高, 100 年一遇 10 min 平均最大风速; h 为安装高度; α 为与气象台地面粗糙程度有关的系数。

α 与所在区域地形有关, 分为 A、B、C 三类区系。其中 B 类区系指风力在资源稍小的地区, 例如丘陵、丛林、空旷田野、乡村、大城市郊区、房屋比较稀疏的中、小城镇等, 取 0.16。某变电站属于 B 类区系, 故 α 取 0.16^[8-9]。

主变压器构架高度为 32 m, 扣除耐张绝缘子串的弧垂高度, 主变压器高压套管引上线与跨线连接处的高度约为 30 m, 主变压器高压套管端子板的高度约为 19 m。即主变压器高压套管引上线的最低点高度为 19 m, 最高点高度为 30 m。

因此, 在风速计算中, 取主变压器高压套管引下线的最高点 30 m 进行折算是最保守的情况。

将 $V_{10} = 25.3$ 、 $h = 30$ 、 $\alpha = 0.16$ 代入风速折算公式(1)中, 可计算得折算后 V_h 为 30 m/s。

2.2 风压计算

根据风压计算公式:

$$P = 0.075 V_h^2 \times D \times N / 100 \quad (2)$$

将 $N = 4$ 、 $D = 0.7$ 、 $V_h = 30$ 代入式(2) 得风压为 18.9 kg/m。

风速不均匀系数取 0.75, 以高压套管引上线和避雷器 T 接线为整体, 大风时总的横向风压为 $0.75 \times 18.9 \times (13.1 + 8) = 299.1$ kg (即 2 991 N), 考虑全部风压的 50% 由主变压器套管端部承受(另外 50% 由避雷器和上部跨线连接点承受), 其端部承受的横向水平力为 $0.5 \times 2 991 = 1 496$ N。

2.3 2 号主变压器 C 相高压套管端子受力计算

根据 1 000 kV 变压器技术协议, 变压器套管端部接线端子板的允许受力水平如表 1 所示。

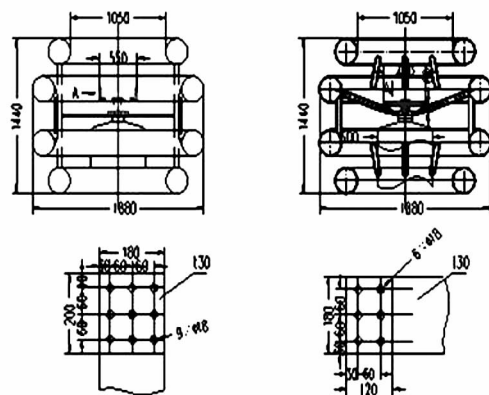
表 1 套管端部接线端子板的允许受力水平

位置	轴向/N	垂直/N	横向/N
高压(1 000 kV)	4 000	2 500	2 500
中压(500 kV)	3 000	2 000	2 000
低压(110 kV)	2 000	1 500	1 500

根据设计院提供的特高压某变电站《大跨线引下线线性计算》导则中相关数据, 可知大风时主变压器高压套管下挂点(套管顶端接线部位) 水平力为 739 N, 叠加上述导线风荷载主变压器高压套管总共承受的横向水平力为 $1 496 + 739 = 2 235$ N, 小于表 1 技术协议中的 2 500 N。

3 高压侧套管接线端子受力分析

3.1 接线方式介绍



高压套管接线端子示意图(U型) 高压套管接线端子示意图(一字型)

图3 高压套管接线端子“U”型与“一”字型示意图

大高差情况下引下线水平受力及风压对其的影响会集中体现在高压套管接线端子处。目前, 主变压器高压侧套管接线端子均采用“U”型与“一”字型金具与引线相连。

根据端子受力计算得到的横向水平受力 2 235 N ,按最大允许载荷 2 500 N 施加于接线端子顶端及金具的顶端 ,并折算至套管接线柱中部位位置的受力。若将力施加于连接金具顶部 ,由于高度增加 ,折算至接线柱中的受力会大大增加。为进一步分析增加连接金具后接线柱的受力情况 ,采用有限元分析的方法对接线柱的强度进行计算^[10-13]。

3.2 “U”型接线端子有限元分析及强度计算

图 4 为“U”型接线端子及连接金具的计算模型。

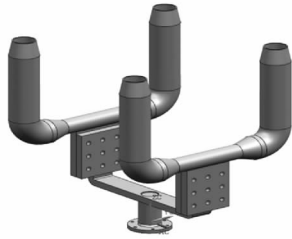


图 4 “U”型接线端子及金具计算模型

以最大受力 2 500 N 考虑 ,对连接金具上部施加水平载荷。图 5 和图 6 分别为“U”型结构模型整体的变形云图及等效应力云图 ,等效应力最大值约为 167 MPa ,位于接线柱根部;最大变形约为 13.2 mm ,位于连接金具上部。

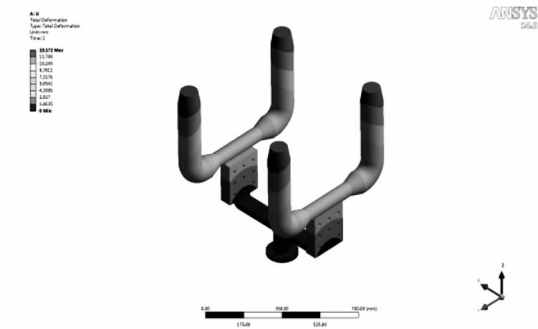


图 5 “U”型结构整体变形云图



图 6 “U”型结构整体应力云图

图 7 和图 8 分别为采用“U”型结构接线端子的套管接线柱变形云图及等效应力云图 ,等效应力最大值约为 167 MPa ,位于接线柱根部;接线柱的最大

变形约为 0.2 mm ,位于接线柱上部。



图 7 接线柱变形云图(“U”型)

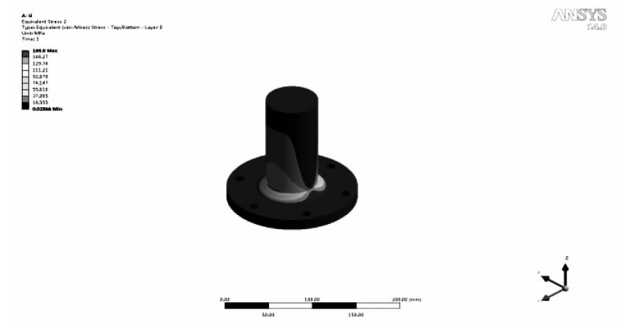


图 8 接线柱应力云图(“U”型)

3.3 “一”字型接线端子受力分析

图 9 为“一”字型接线端子及连接金具的计算模型。

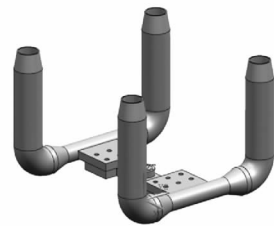


图 9 “一”字型接线端子及金具计算模型

对连接金具上部施加水平载荷 $F = 2\ 500\ N$ 。图 10 和图 11 分别为“一”字型结构模型整体的变形云图及等效应力云图 ,等效应力最大值约为 109 MPa ,位于接线柱根部;最大变形约为 3.5 mm ,位于连接金具上部。



图 10 “一”字型结构整体变形云图

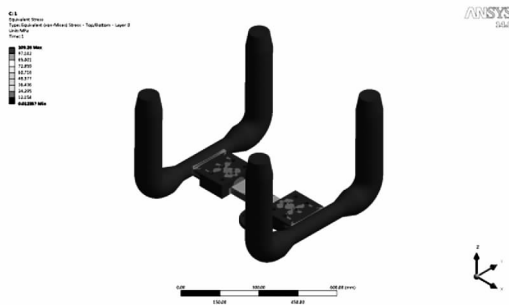


图11 “一”字型结构整体应力云图

图12和图13分别为采用“一”字型结构接线端子的套管接线柱变形云图及等效力云图,等效应力最大值约为109 MPa,位于接线柱根部,接线柱的最大变形约为0.15 mm,位于接线柱上部。



图12 接线柱变形云图(“一”字型)

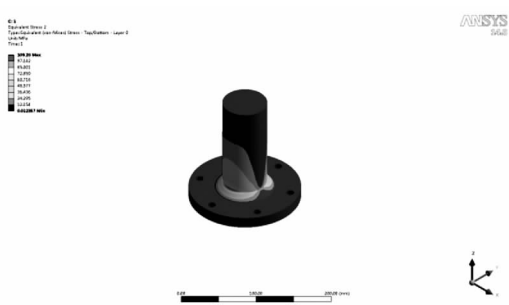


图13 接线柱应力云图(“一”字型)

3.4 两种接线端子受力情况比较

根据上述分析结果可以看出,采用“U”字型的接线端子,端子等效应力最大为167 MPa。查阅套管厂家说明书,紫铜端子的应力承受为170 MPa,等效应力已接近承受极限,变压器高压侧套管在受力较大情况下运行,容易造成接线端子密封面破损致使变压器绝缘降低,严重时会导致电网跳闸停运;而“一”字型接线端子时端子等效应力最大为109 MPa,距离其应力承受极值还有一定裕度,可以完全满足变压器的安全稳定运行。

4 结论

以某特高压变电站2号主变压器C相为例,对高

压套管引上线与避雷器T接线方式下,导线风荷载主变压器高压套管总共承受的横向水平力进行计算,得出其受力满足1000 kV变压器技术协议。对高压套管引上线与避雷器T接线方式下的套管引线接线端子进行受力分析,采用有限元分析的方法对接线柱的强度进行计算,得出“一”字型接线方式下端子的等效应力比“U”字型接线方式下要减少很多,采用“一”字型接线端子会有效地降低整体连接结构的高度,从而使接线柱中部的受力情况改善,降低接线柱根部的应力值,有利于设备的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用设计(1000 kV变电站分册) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [2] GB 50697-2011, 1000 kV变电站设计规范[S].
- [3] 刘鹏, 冯勇, 张施令, 等. 特高压交流套管尾部均压球结构优化研究[J]. 西安交通大学学报, 2012, 46(2): 88-92.
- [4] 张沛红, 单涛. 变压器端部绝缘结构参数化设计及电场分析[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17(2): 76-79.
- [5] 李璿, 王晓琪, 余春雨, 等. 1000 kV特高压交流电压互感器研制现状及性能浅析[J]. 高压电器, 2011, 47(11): 110-114.
- [6] 杜振波, 聂德鑫, 张连星, 等. 基于频域介电谱分析的高压套管绝缘状态评估[J]. 高压电器, 2013, 49(11): 6-11.
- [7] GB/T 2315-2008, 电力金具通用技术条件[S].
- [8] 张勇. 基本风压、雪压统计分析与荷载组合系数研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2011.
- [9] 冯有良. 基于风向的建筑工程设防风速预测研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [10] 秦征. 支持式管母线用支柱绝缘子抗弯强度校验[J]. 广西电力工程, 2001(2): 36-37.
- [11] 张卫纯, 潘风明, 张新根, 等. 基于有限元法的电力变压器金属结构件损耗分析[J]. 高压电器, 2013, 49(11): 55-61.
- [12] 王雪. 基于VC和ANSYS的变压器模型参数计算平台设计[J]. 变压器, 2011, 48(11): 8-10.
- [13] 孙涛, 肖汉宁. 棒形支柱瓷绝缘子弯曲应力的有限元仿真分析[J]. 电瓷避雷器, 2007(2): 19-21.
- [14] 代丽君. 电力变压器高压试验技术探析[J]. 中国高新技术企业, 2016(1): 127-128.

作者简介:

余开伟(1983), 工程师, 主要从事超特高压变电站设备运维检修技术工作。

(收稿日期: 2016-01-30)