

高原特高压站 1000 kV 构架吊装受力分析

周 瑞¹,黄仕豪¹,肖 哲²,刘 军¹,南清华¹

(1.江西省送变电工程有限公司,江西 南昌 330200;2.湖南电力工程咨询有限公司,湖南 长沙 410007)

摘 要:文中对某高原特高压交流站构架参数进行阐述,通过对 1000 kV 构架横梁及其吊索进行受力理论分析,确定合理的吊点,为吊车、吊索的选择提供理论计算基础。采用 midas Gen 2021 软件进行仿真验算,其结果表明该吊装方案可行、吊点合理,为后续高原特高压的吊装作业提供了理论和实践基础,具有一定的指导和参考意义。

关键词:特高压变电站;高海拔;构架吊装;受力分析

中图分类号:TM 752.5 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)02-0030-03

0 引言

近年来,随着能源需求不断增大,特高压工程建设也日益增多,尤其是西南地区清洁能源输出这种状况,对推动特高压输变电工程建设发挥了很大的作用。这部分地区基本上属于高海拔地带,地理环境相对平原地区较为恶劣。电网施工难度增大,特别是吊装作业,受低温、低压及氧气含量低影响,人员、机械施工效率低。因此,文中主要研究高原条件下^[1-3],1000 kV 格构式构架吊装受力分析,其结果对吊车、吊具选择具有一定的参考指导意义,同时为后续高原特高压构架吊装提供技术参考。

1 构架吊装参数

某高原特高压站 1000 kV 出线侧构架由 3 柱出线构架柱和 2 榀构架梁组成,主变侧构架由 2 组“门”构架,共 4 柱构架柱和 2 榀构架梁组成,合计 7 柱 4 梁,钢材总重约 465.69 t。构架柱采用格构式钢柱,构架梁采用格构式钢管组成的长方形断面衍架。爬梯、平台、走道采用 6.8 级螺栓,其余梁柱连接、法兰、柱腹杆、梁腹杆两端均采用 8.8 级镀锌粗制螺栓。

出线侧构架横梁底部距地面 44 m,横梁长度 57.5 m,较平原地区长度增加 12 m,柱上避雷针顶部距

地面高度 72 m,较平原地区高度增加 10 m,最大吊装重量 34.6 t,吊装高度更高且重量更大,增加了吊装难度。

2 模型建立

2.1 计算模型

根据 1000 kV 构架安装图纸,采用有限元计算程序建立构架横梁计算模型,组装好的构架梁重量 G 为 34.6 t,长度 L 为 57.5 m,由于构架柱竖向截面为正方形结构,吊点选择在同水平面的两根主材上^[4-5]。将构架梁作为整体考虑,假设载荷 q 为线性均匀分布,其结构图如图 1 所示:

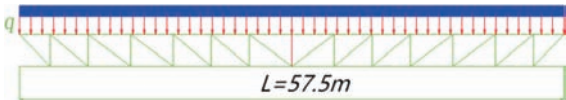


图 1 构架横梁结构图

2.2 受力分析及吊点选择

为了构架梁吊装时受力均匀,计划每根主材采用两点吊装的方式(构架梁竖截面为正方形结构,共计四个吊点),假设吊点距离两端头距离一致,均为 a ,吊点处拉力为 F ,则在此时受力分析图如图 2 所示:

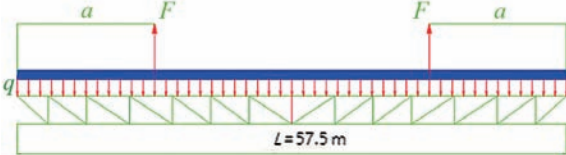


图 2 构架横梁受力分析图

收稿日期:2024-09-17

作者简介:周瑞(1989),男,大学本科,工程师,技师,现从事变电站施工技术工作。

在平衡吊装时,横梁各部分受力均匀,受力大小为 $F=G/2\div 2=8.65\text{ t}$,再进行各段间剪力和弯矩分析,OA段受力如图3所示。

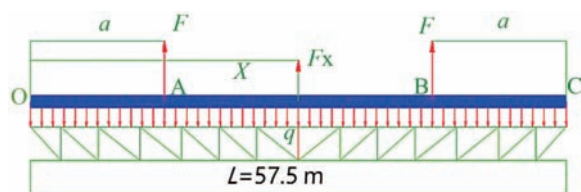


图3 构架横梁OA段受力分析图

在吊装平衡时,OA段受力计算如下: $F=G/2\div 2=8.65\text{ t}$,剪力为 $F_x=q\times X$,弯矩为 $M_x=1/2\times q\times X^2$ 。

构架横梁AB段受力分析图如图4所示。

AB段受力计算如下:剪力 $F_x=q\times a+q\times (X-a)-F=q\times X-F$ 。

弯矩 $M_x=1/2\times q\times X^2-F\times (X-a)$ 。

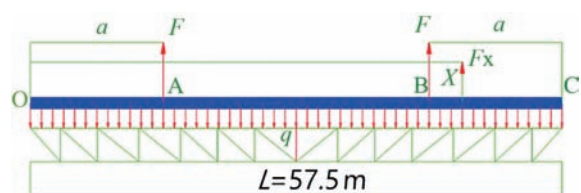


图4 构架横梁AB段受力分析图

构架横梁BC段受力分析图如图5所示。

AB段受力计算如下:剪力 $F_x=q\times X-F-F$,弯矩 $M_x=1/2\times q\times X^2-F\times (X-a)-F\times (X-27+a)$ 。

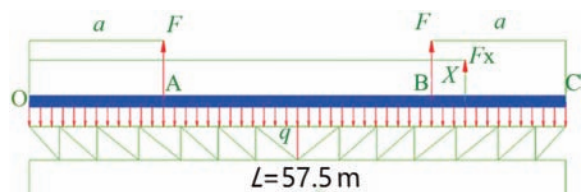


图5 构架横梁BC段受力分析图

综上所述,可绘制构架梁整体剪力和弯矩图如图6所示。

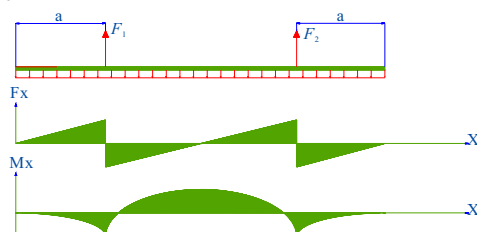


图6 构架横梁剪力和弯矩分析图

由 dM_x/dF_x 可求得,在 $a=0.207\times 27$ 时,构架梁受到的最大弯曲应力最小,即构架梁的变形最小。

1000 kV 架构出线梁 $L_2=57.5\text{ m}$,吊点距离端点距

离 $a=57.5\text{ m}\times 0.207=11.9\text{ m}$ 。

由于最佳理论吊点的地方没有垂直件和斜件的支撑,受力强度不好。为降低吊装时吊车出臂的高度,吊点应尽量向构架梁中心偏移,因此选择每端距端部距离为15.2 m(此处为垂直件和斜件的交叉处)的位置作为吊点,同时,在吊点位置采用小木方进行补强,以提升吊装的可靠性。

根据计算要求需要对横梁吊装进行扰度校验,横梁吊装时最大挠度值:

$$f_{\max} = \frac{q(L - 2 \times a)^4}{384EI} \times (5 - 24\lambda^2) \quad (1)$$

其中 a 为吊点距离构架梁端部距离,取15.2 m; EI 为构架梁刚度,取 $2.19\times 1014\text{ N}\cdot\text{mm}^2$,比例极限的柔度值:

$$\lambda = \frac{a}{L - 2a} = 15.2 \div (57.5 - 2 \times 15.2) = 0.56 \quad (2)$$

根据构架厂家技术规范要求,最大挠度应不大于 $15\ 200\div 1\ 500=10.13\text{ mm}$,且不大于5 mm,因此取 $f_{\text{允许}}=5\text{ mm}$,求得 $(f_{\max}=3.28\text{ mm}) < (f_{\text{允许}}=5\text{ mm})$,由以上计算可得,在吊装过程中,构架梁的弯曲变形量很小,所选吊点能够满足吊装要求。

2.3 吊索受力分析

在吊装过程中,钢丝绳受力分析图如图7所示,为计算方便,下列计算中重量及受力单位统一采用t,长度及高度单位采用m。

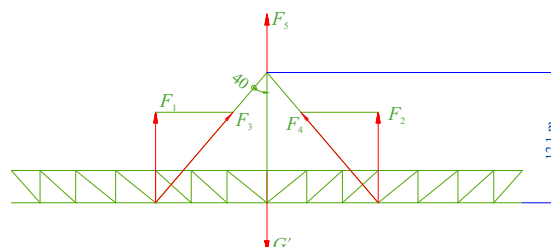


图7 构架横梁OA段受力分析图

图中:

$$G' = \frac{G}{2} = \frac{34.6\text{ t}}{2} = 17.3\text{ t} \quad (3)$$

由 $F_1+F_2=G'$,而且在平衡吊装时, $F_1=F_2$,可得:

$$F_1 = F_2 = \frac{G'}{2} = \frac{17.3}{2} = 8.65\text{ t} \quad (4)$$

由钢丝绳与吊钩垂线夹角为 40° ,可求得钢丝绳所受力 F_3 、 F_4 为:

$$F_3 = F_4 = \frac{F_1}{\cos 40^\circ} = \frac{8.65\text{ t}}{\cos 40^\circ} = 11.28\text{ t} \quad (5)$$

钢丝绳按照6倍安全系数考虑,经查钢丝绳坡段

拉力表可知, $\Phi 32.5$ 的钢丝绳满足吊装需求。

3 吊装工况横梁应力及变形验算

采用 midas Gen 2021 软件建立仿真模型, 钢梁采用格构式钢管组成的长方形断面桁架^[6], 吊装情况下, 软件计算结果如图 8—11 所示。

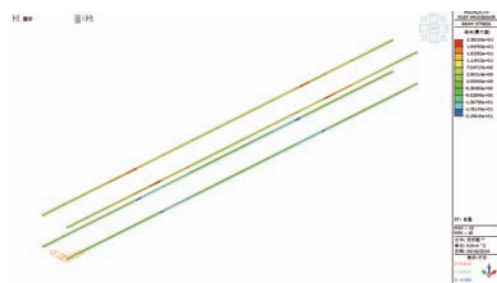


图8 弦杆应力云图

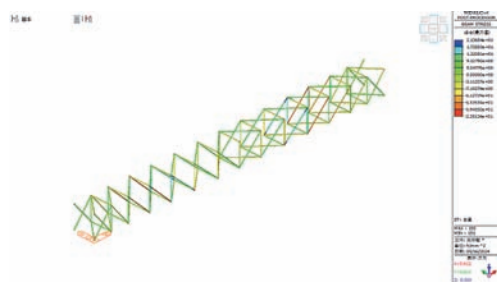


图9 腹杆应力云图

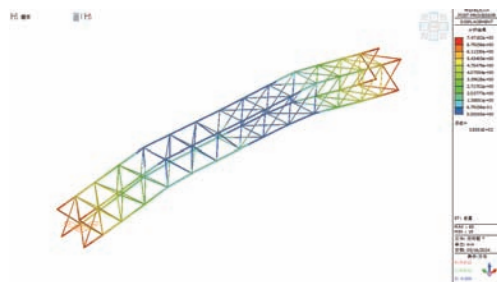


图10 整体应力云图



图11 整体变形云图

经仿真试验结果分析, 在起吊过程中, 桁架梁产生的最大组合应力为 23.6 MPa, 位于吊点处上部弦杆处, 应力值小于材料设计强度 215 MPa, 满足强度要求, 起吊过程中吊点布置满足承载力要求。起吊桁架最大竖向变形为 7.5 mm, 位于桁架两端, 变形值 $< 15\ 250\ \text{mm} \times 2/500 = 61.0\ \text{mm}$, 变形满足要求。综上所述, 吊点布置较合理, 吊装方案可行。

4 结语

近年来, 特高压变电站的建设进入高峰期, 高原地区居多, 构架吊装作为变电站建设的重大风险点之一, 是施工过程中需要重点关注的作业, 其安全质量至关重要。文中以某高原 1000 kV 交流特高压站构架吊装作为示例, 对其百万构架横梁吊装及其吊索进行受力理论分析, 以构架梁吊装过程所受应力和变形尽可能小为原则, 结合构架梁实际结构, 确定吊点位置。同时利用 midas Gen 2021 软件建立仿真模型, 对理论计算进行验证。结果表明, 该吊装方案可行, 吊点位置正确。该方案可为后续高原特高压的吊装作业提供理论和实践基础, 具有很强的指导和参考意义。

参考文献:

- [1] 张永涛, 周仁忠, 高纪兵. 崇启大桥大节段整体吊装技术研究[J]. 中外公路, 2010(6): 132-136.
- [2] 陈鸣, 孙钊. 大跨度复杂钢结构施工过程中的若干技术问题及探讨[J]. 中国战略新兴产业, 2021(6): 140-141.
- [3] 石春秀, 杨允宁. 大跨度非对称钢桁架吊装施工及有限元受力分析[J]. 兰州工业学院学报, 2021, 28(3): 21-24.
- [4] 马克东, 吴相平, 吴天宏. $\pm 800\ \text{kV}$ 特高压试验基地构架吊装方案[J]. 云南电力技术, 2009(5): 56-57.
- [5] 商赤民, 郭靖. 变电站格构式构架施工吊装研讨[J]. 中国企业管理, 2019(3): 86-87.
- [6] 王粤术, 兰碧海, 张敏. 特高压变电站格构式构架吊装施工方法[J]. 中国企业管理, 2019(2): 84-85.