

# 输电线路山区悬挑式钢架基础应用研究

朱伯文 刘逸蕾 来弈澎 刘畅 吴学锋  
国核电力规划设计研究院 北京 100095

**摘要:** 山区陡峭山壁上的塔位选择是输电工程技术人员关心的热点问题,悬挑式钢架基础能够有效解决塔位极其受限或全方位高低腿难以满足的立塔问题。本文以悬挑式钢架基础为研究对象,建立了有限元模型,并对其进行了静力分析和经济性比对。结果表明:悬挑式钢架基础的变形以主梁弯曲变形为主,其内力主要集中在外侧主梁及与其连接的支撑杆上,与常规的山区基础相比,悬挑式钢架基础在整体造价上更具经济优势。

**关键词:** 输电线路;悬挑式钢架基础;静力分析

## 引言

我国是一个多山的国家,包括丘陵和山原在内的山地面积约占全国土地总面积的三分之二<sup>[1]</sup>,且呈现西高东低的分布态势。但我国能源和负荷的地理位置却呈现逆向分布,68%的水能资源分布在西南地区,绝大部分风能、太阳能资源分布在西北地区,但70%以上的能源需求却集中在中部和东部沿海地区<sup>[2]</sup>,将电能从能源基地输送到负荷中心势必要通过山区。随着我国国民经济的飞速发展,用电负荷日益增长,为满足输送容量,高压线路越来越多,使得线路走廊愈发紧张<sup>[3]</sup>。这一现象在山区尤为明显,新建线路在选线阶段由于山壁陡峭,个别塔位找不到合适的立塔位置不得不选择绕行,导致线路总长度增加,曲折系数增大,工程建设成本大幅上涨,严重影响电网建设的经济效益。

针对陡峭山壁立塔的问题,不少专家学者开展了一

些列研究<sup>[4-7]</sup>。胡超等人<sup>[8]</sup>基于常规的掏挖基础提出了子母基础的理念,并建立了母基础—连梁—子基础—土体相互作用模型,利用数值分析计算了子母基础与常规掏挖基础的受力和位移差异。冯勇等人<sup>[9]</sup>结合西南地域高陡边坡地区输电线路的设计经验,采用高低腿+钢支架的方式论证了高陡边坡立塔的合理性。辜良雨等人<sup>[10]</sup>采用数值分析的方法,研究了山壁陡峭位置处输电线路基础水平位移对铁塔受力性能的影响,并推荐了山区挖孔桩基础顶部和地面处的水平位移限值。

本文针对陡峭山壁立塔问题,提出一种悬挑式钢架基础,如图1所示。该基础以高边坡上整体岩石作为支撑点,通过设置钢桁架平台,为角钢塔四腿提供支撑点,形成一种稳定结构,适用于立塔位置极其受限、基础开挖非常困难或全方位高低腿难以解决的塔位。

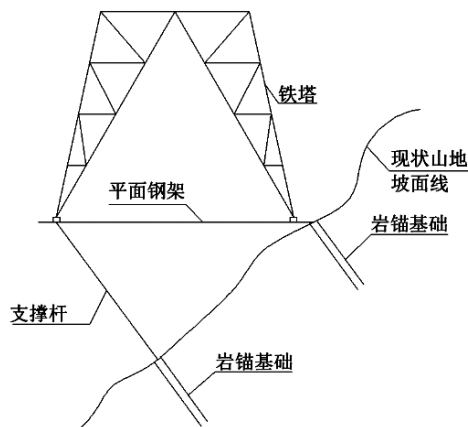


图1 悬挑式钢架基础

## 1 有限元模型

### 1.1 单元及边界条件

本文基于某有限元软件搭建了悬挑式钢架基础的有

限元模型进行计算,有限元模型如图2所示。其中钢架采用梁单元、支撑杆采用杆单元模拟,钢架与岩石锚杆的连接采用固定约束,支撑杆与岩石锚杆采用铰接。

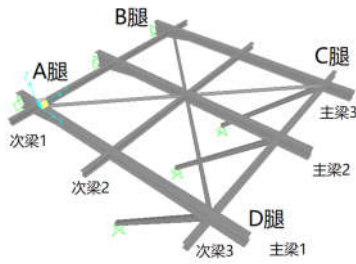


图2 悬挑式钢架基础有限元模型

1.2 材质与规格

有限元模型的钢材选用Q420，主梁及次梁采用H型钢，主梁与山体固接2m范围内为变截面梁，截面由H600×300×16×20mm渐变为H450×300×16×20mm，其余部分为等截面梁H400×300×16×20mm；次梁为等截面

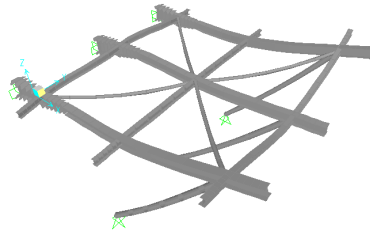


图3 悬挑式钢架基础变形图

(位移放大50倍)

求解得到的位移变形图如图3所示，从图3可以看出，主梁1-3发生了弯曲变形，且主梁1、3的变形幅度大于主梁2。绘制悬挑式钢架基础计算简图如图4所示，图中虚线为变形前的位置，实线为变形后的位置。从图4可以看出，假设仅有荷载T的作用，由于荷载T作用在铰接点，此时主梁可简化为悬臂梁结构，整体呈现向上挠曲的变形趋势，但在荷载N的作用下，主梁先发生了向下的弯曲变形，后由于变形协调，又发生了向上的挠曲变形。此外，支撑杆在该荷载作用下处于受拉变形状态。

主梁2的变形幅度比主梁1、3的程度小，主要是荷载

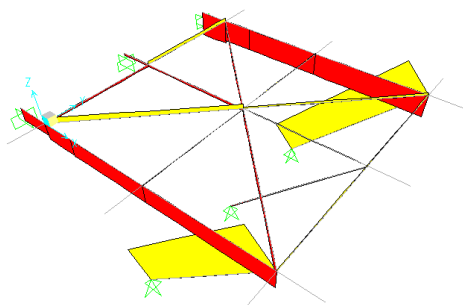


图5 轴力云图

梁H300×300×14×18mm；支撑杆和钢架斜材采用圆钢管，支撑杆截面为D402×14mm；钢架斜材截面为D152×8mm。

2 悬挑式钢架基础受力分析

假设A、B腿受压，C、D腿受拉，对有限元模型施加如表1所示的荷载，并进行静力求解，从位移和内力两个方面分析悬挑式钢架基础的受力状态。

表1 塔腿施加荷载值

腿号	Fz	Fx	Fy
A/B	259kN	-32kN	27kN
C/D	-322kN	-38kN	33kN

注：上拔力为正，下压力为负。

2.1 位移分析

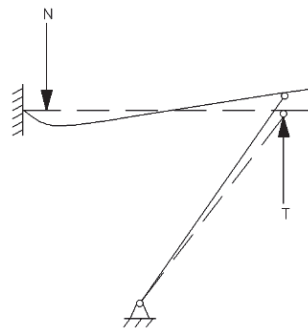


图4 悬挑式钢架基础受力简图

直接作用在了主梁1和3上，且主梁2受到支撑杆和次梁3的约束作用，导致了其位移程度要小于主梁1和3。

2.2 内力分析

绘制悬挑式钢架基础的轴力云图、XY平面内和XZ平面内的弯矩云图，分别为图5、图6和图7。从图5可以看出，轴力比较凸显的位置位于主梁1和3及与他们连接的支撑杆，支撑杆的轴力主要是由C、D两腿竖直方向的作用力产生，而主梁1、3的轴力则主要由荷载中的X分量产生。从图5还可以看出，主梁2及与其连接的支撑杆的轴力很小，仅在结构中起到连接和提供支撑刚度的作用，因此可以考虑降低主梁2及其连接杆的规格，以达到节约钢材的目的。

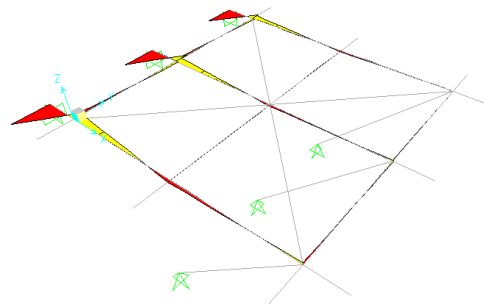


图6 XY平面内弯矩云图

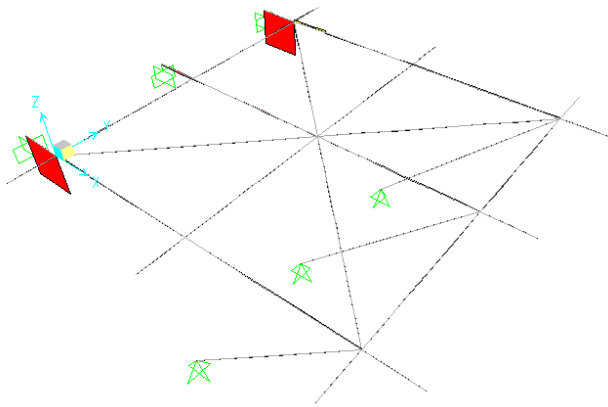


图7 XZ平面内弯矩云图

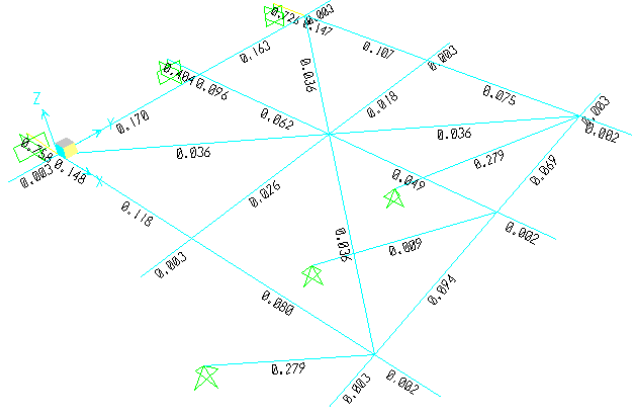


图8 整体应力比

从图6和图7可以看出由于主梁1-3的端部约束为固定约束,因此在集中力的作用下,端部的弯矩值最大,由于Z方向的作用力远大于其他两个方向,因此图7中主梁端部的弯矩值较其他部位更加明显。

提取整个悬挑式钢架基础结构的应力比图,如图8所示。从图8可以看出,整个悬挑式钢架基础结构应力比最大的部位位于主梁靠近固定约束的端部,达到了0.76,再次证明了主梁端部采用变截面梁的正确性。

### 3 悬挑式钢架基础的经济性分析

为了对比分析悬挑式钢架基础的经济性,选取相同的单回路直线塔和单回路转角塔的基础作用力,并在相同的塔基断面、地质条件下进行分析,山地坡度选择50°,地质参数取 $f_k = 500\text{kN/m}^2$ , $\gamma = 21\text{kN/m}^3$ , $\tau_c = 40\text{kPa}$ ,选取高低腿+支撑钢塔架与悬臂式钢架基础进行技术指标对比,各基础型式材料量见表2。

表2 两种高陡边坡基础材料量对比表

基础类型	塔型	混凝土 ( $\text{m}^3$ )	钢筋 (t)	土石方 ( $\text{m}^3$ )	铁塔接腿增重 (t)	支承钢塔架重量 (t)	钢架重量 (t)
高低腿配支撑腿	单回路直线塔	40.10	1.37	40.00	1.20	1.35	—
悬臂式钢桁架基础		32.54	0.96	31.52	—	—	3.5
高低腿配支撑腿	单回路转角塔	65.68	2.65	65.00	2.60	3.5	—
悬臂式钢桁架基础		52.54	1.68	50.85	—	—	8.04

从表2可以看出,对于单回路直线塔,悬臂式钢架基础相比高低腿配支撑塔架的连接型式的基础混凝土节约18.9%,钢筋节约29.9%,土石方开挖量降低21.2%,钢架重量相比于铁塔接腿及支撑塔架重27.1;对于单回路转角塔,基础混凝土节约20.0%,钢筋节约36.6%,土石方开挖量降低21.0%,钢架重量相比于铁塔接腿及支撑塔架重24.1%。整体造价上,悬挑式钢架基础更具经济优势。

### 4 结论

本文以输电线路山区悬挑式钢架基础为研究对象,搭建了有限元模型,对其静力特性及经济性进行了分析,得到以下结论:

- (1) 悬挑式钢架基础适用于立塔位置极其受限、基础开挖非常困难或全方位高低腿难以解决的塔位。
- (2) 悬挑式钢架基础的变形以主梁的弯曲变形为主,且外侧主梁的变形程度大于中间主梁。
- (3) 悬挑式钢架基础的内力主要集中在外侧主梁及

与其连接的支撑杆上,中间主梁及其连接的支撑杆受力较小,其规格和材质可以适当降低。

(4) 悬挑式钢架基础整体应力最大的部位位于主梁靠近固定约束的端部,此处主梁建议采用变截面的型式。

(5) 与常规的山区基础相比,悬挑式钢架基础在整体造价上更具经济优势。

### 参考文献

- [1]赵松乔.我国山地环境的自然特点及开发利用[J].山地研究,1983,(03):1-9.
- [2]朱伯文.特高压单柱拉线塔塔线体系风振响应研究[D].华北电力大学,2016.
- [3]胡选,钟小江,康东升,等.分体式悬垂转角塔在1000kV双回输电线路中的应用[J].电力建设,2012,33(3):38-44.
- [4]张文翔,邱昊茨,李扬森,崔强,张振华.山区输电线路掏挖-锚杆复合基础设计关键技术研究[J].土工基

础,2021,v.35;No.157(06):698-703.

[5]麻坚,袁建国,应健,肖志鹏,吕庆,王真理. 山区输电线路转角塔压力型锚索承台基础研究[J]. 浙江电力,2019,v.38;No.279(07):53-57.

[6]钟维军,庞红旗. 山地输电铁塔掏挖式、岩石嵌固式与板式基础的比较分析[J]. 浙江电力,2013,v.32;No.207(07):15-17.

[7]方勇灵,郁学勤. 山区送电线路铁塔埋头式基础设计[J]. 电力建设,1995,(01):21-22+38.

[8]胡超,曾二贤,徐彬. 陡峭山区输电铁塔子母基础框架的数值分析及应用[J]. 内蒙古电力技术,2016,v.34;No.171(01):10-14.

[9]冯勇,鄢秀庆,李彦民,何松洋,刘强,周建军. 高陡边坡地区输电线路设计对策研究[J]. 电力勘测设计,2022, No.167(05):11-16.

[10]辜良雨,马海云,蒋锐,陇源杰,付卫斌,张利如,王仲富. 山区输电线路基础水平位移对铁塔和基础设计的影响[J]. 电力勘测设计,2022,No.169(07):25-30+35.