

高海拔特重冰峻岭地区输电线路结构创新措施综述

辜良雨¹, 蒋锐¹, 甘运良², 翟洪利², 陈俊帆¹, 王伸富¹, 王波¹

(1. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021;

2. 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司, 广东 广州 510663)

摘要:针对高海拔、特重冰、峻岭地区输电线路导线荷载大、地形陡峭、铁塔根开大、铁塔级差有限、基础工程量大、常规施工方法效率低等特殊问题,结合工程设计经验,从全过程经济性、可靠性、可行性以及环保性综合考虑,提出了送电结构专业的创新措施,包括3种钢架延长腿、三类新型铁塔、两种新型基础方案。

关键词:高海拔;特重冰;峻岭;输电线路;铁塔;基础

中图分类号:TM752 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)01-0009-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6945.20210103

Study on Structure Innovation Measures for Transmission Line in Steep Mountains with High Altitude and Heavy Icing

Gu Liangyu¹, Jiang Rui¹, Gan Yunliang², Zhai Hongli², Chen Junfan¹, Wang Shenfu¹, Wang Bo¹

(1. CPECC Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610021, Sichuan, China;

2. EHV Power Transmission Company of China Southern Power Grid Co., Ltd.,

Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: Aimed at steep mountains with high altitude and heavy icing, the transmission line has some special problems, such as heavy load of earth wire, steep terrain, large size of tower, lack of tower legs, large amount of foundation project quantity and low efficiency of conventional construction methods. Combined with the rich experiences in engineering design, and from the comprehensive consideration of economy, reliability, feasibility and environmental protection in the full cycle, the structure innovation measures of transmission line are put forward, including three kinds of steel to extend the leg, three kinds of new tower type and two kinds of new foundation type.

Key words: high altitude; heavy icing; steep mountains; transmission line; tower; foundation

0 引言

就输电线路而言,海拔1500 m以上为高海拔,导线覆冰厚度在30 mm以上为特重冰,相对高差500 m以上的山地为峻岭。相比常规地区,高海拔、特重冰、峻岭地区(以下简称“高特峻地区”)输电线路通常存在导线荷载大、地形陡峭、铁塔根开大、铁塔级差有限、基础工程量大、常规施工方法效率低等特殊问题。而高特峻地区输电线路一旦出现安全问题,抢修和运维成本太高,因此在该地区的设计应该充分从全寿命角度考虑,适当提高线路本体的可靠度,保证该地区输电线路的安全。

针对这些特殊问题,结合西南电力设计院在该

类地区丰富的工程经验,从全过程经济性、可靠性、可行性以及环保性综合考虑,对送电结构专业提出了一些创新工程措施。

1 铁塔设计创新措施

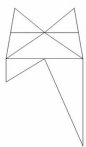
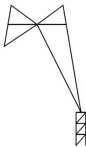
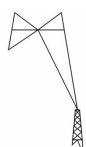
1.1 钢架延长腿

为了避免开方和基础外露过大,保证输电线路在高特峻地区的安全,设计了钢架延长腿相关的设计技术,主要采用的技术方案分为3种:整体钢架、独立钢柱和独立小塔,各种钢架型式如表1所示。

结合以往工程经验,高特峻地区钢架延长腿选择的初步原则如下:

1) 当塔位地形坡度在35°以内时,各型铁塔均

表1 3种主要钢架型式

组合方式	示意图	方案说明	优点	缺点
平腿 + 整体支架		上部铁塔采用平腿,下部支架是整体结构,水平力可自由传递。	铁塔整体变形小。施工方便,铁塔加工和组立与常规铁塔基本相同。	没有发挥上部铁塔长短腿的优势,钢架耗钢量较高。
高低腿 + 独立格构柱		上部铁塔采用全方位高低腿,下部格构柱可自由组合,塔腿水平力依靠格构柱传递到基础。	充分利用上部铁塔长短腿的特点,级差可提高2~6 m。	钢柱顶部变形大,连接位置节点处理比较复杂。
高低腿 + 独立小塔		上部铁塔和下部小塔采用全方位高低腿,下部小塔可自由组合,水平力依靠小塔传递到基础。有竖直型式和倾斜型式两种。	充分利用铁塔长短腿的特点,级差可提高8~11 m。	小塔顶部变形大,连接位置节点处理比较复杂,小塔基础的混凝土量较高。

可使用整体钢架;

2)当塔位坡度不大于 40° 时,可采用独立格构柱,同时格构柱高度不宜高于6 m;

3)当塔位坡度超过 40° 时,宜采用独立小塔,小塔高度一般为8.0~11.0 m。

几种钢架的工程实例如图1所示。



(A) 角钢整体钢架



(B) 钢管整体钢架



(C) 竖直独立塔架



(D) 倾斜式独立塔架

图1 几种钢架的工程实例

1.2 新型铁塔型式

针对高特峻地区铁塔受力大、根开尺寸大、铁塔级差有限等问题,设计了单(双)极直柱塔、单极酒杯塔以及三(两)脚塔。

1.2.1 直柱门型塔

为了解决铁塔级差不够的问题,设计了单(双)极直柱门型塔,如图2所示。

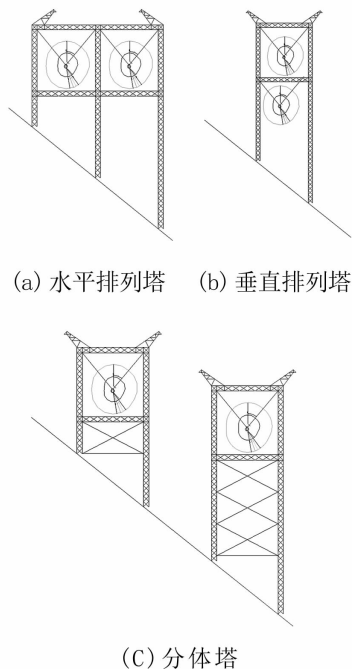


图2 直柱门型塔

在高特峻地区的狭窄山梁或山脊塔位,采用这

种直柱门型塔优点明显,直柱长度可根据地形进行设计,主动适应地形坡度需要。直柱钢构架的横向和纵向宽度可根据塔型实际使用情况下的横向与纵向荷载比例确定,确保提供足够的横向和纵向刚度,保证杆塔受力安全。

直柱基础本体工程量和基面开方量较常规塔更少,对于环境破坏小,施工也简单;但是征地面积较常规塔型大,且铁塔受力较常规塔复杂。后续需要结合电气性能方面要求做进一步的分析,并进行模拟计算和真型塔试验后方能采用。

图3为双极直柱门型塔的效果图。



图3 双极直柱门型塔效果

1.2.2 单极酒杯塔

相比上述直柱塔,从单极运行、减小根开、适宜陡坡地形角度出发,设计了单极酒杯塔,如图4所示。

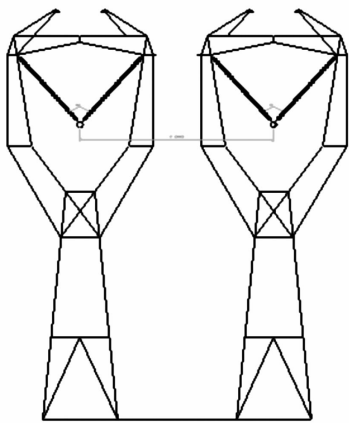


图4 单极运行的酒杯塔

该种塔型将直流线路的同塔双极架设拆分为两个单极运行,以此来避免过大的扭距和扭转变形问题。

其优点为:1)可根据地形随意选择塔位,极间距的大小不影响铁塔受力;2)不受覆冰断线和不均匀冰情况下的扭转变形影响,仅承受横向弯矩和纵向弯

矩;3)每个塔的外荷载仅有同塔双极运行的一半,单重轻且构件规格较小,有利于施工运输和组装。

其缺点为:1)基础开挖数量多,基础混凝土和土石方工程较干字型塔略大,不利于环保;2)当两个单极塔距离较近时,部分基础可能会交叉带土,不能充分发挥基础的抗拔承载力;3)运行检修上不方便,需要两次登塔。

综上所述,单极运行的酒杯塔虽然有塔位选择灵活、塔重轻等特点,但是占地多的缺点比较明显;经济性和环保性较差,而安全性没有得到明显提高,建议极其特殊地区全方面考虑后再行采用。

1.2.3 三(两)腿塔

结合以往经验设计了三腿塔和两腿塔(见图5)。在二自线(1996年设计)中曾成功使用该类型的铁塔,可以解决部分陡坡铁塔级差不够的问题。

1.3 铁塔创新措施经济性分析

以某特高压工程30 mm冰区ZC30303-78 m为例,塔位地形陡峭约45°,级差不能满足要求。从环境保护、水土保持角度尽量做到塔位“零开方”,考虑一个塔腿采用特殊处理方案,对多种方案进行综合技术经济对比,如表2所示。

从上述分析可以看出,在高特峻地区陡峭塔位,采用三腿塔经济性最好,采用独立格构柱和独立小塔经济性略优于基础加高,采用整体钢架造价最高,但是整体钢架变形最小,安全性最好。

从施工难度看,独立格构柱、独立小塔以及基础加高方式的施工难度最高,三腿塔最简单。从环保角度看,独立格构柱和独立小塔基础数量更多,对环境破坏更大,而钢架基础荷载最大,基础型号最大,三腿塔破坏最小。

因此,结合经济性、安全性、施工难度以及环保性,推荐优先选用三腿塔。若仍然不能满足级差要求,再结合施工条件选择各类钢架方案。

2 基础设计创新措施

2.1 子母基础^[2]

个别塔位基础露出地面太高,水平承载力难以满足时,可采用子母基础型式,如图6所示。该基础采用一种带连梁的框架结构基础体系,与铁塔相连的基础称为“母基础”,与“母基础”相连的叫“子基础”。该基础型式可以减小母基础的尺寸,整体可

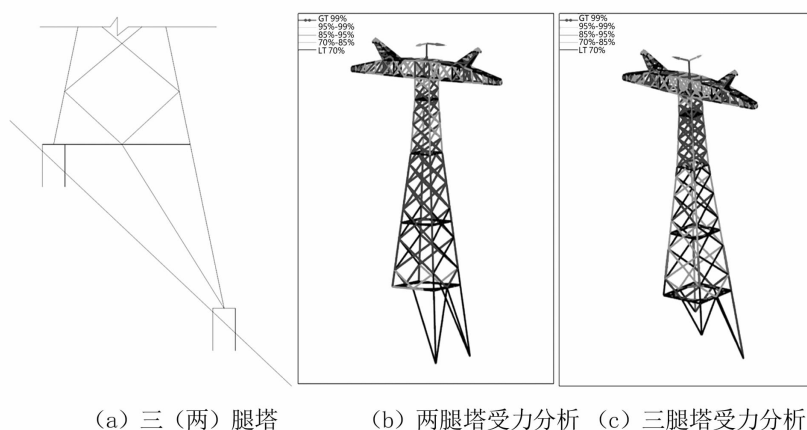


图5 三(两)腿塔受力分析

表2 高特峻地区特殊塔位多方案综合技术经济对比

项 目	三腿塔	常规塔 + 整体钢架	常规塔 + 独立格构柱	常规塔 + 斜独立小塔	常规塔 + 基础加高
各方案高度/m	—	钢架高:18	格构柱高:9	小塔高:11	加高:9
钢材/t	161.5	179.3	180.7	175.7	155.7
基础混凝土/m ³	164.8	231.3	181.2	204.5	268.0
基础钢筋/t	14.8	19.6	17.7	18.6	23.0
铁塔造价/万元	161.5	179.3	180.7	175.7	155.7
基础混凝土造价/万元	57.7	81.0	63.4	71.6	93.8
基础钢材造价/万元	10.4	13.7	12.4	13.0	16.1
主要工程量造价合计/万元	229.5	274.0	256.5	260.3	265.7
比值系数	0.86	1.03	0.97	0.98	1.00

注:①上述处理方式均按上边坡不开方原则进行测算。

②塔材按1万元/t,基础混凝土按0.35万元/m³,钢筋按0.7万元/t。

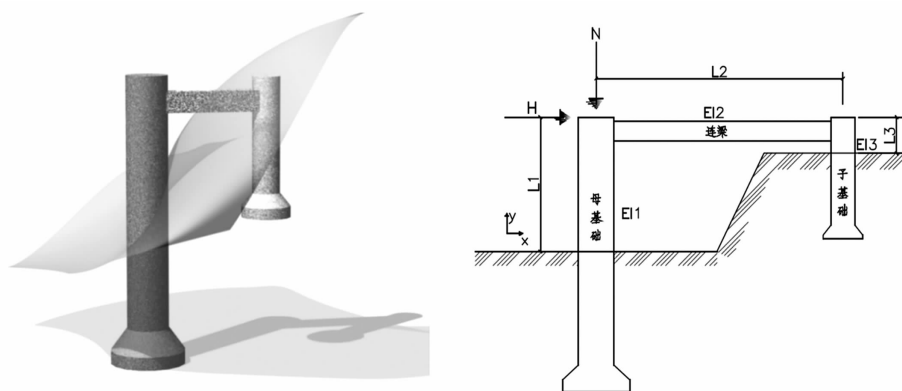


图6 子母基础三维图和布置图

以减少基础混凝土方量。

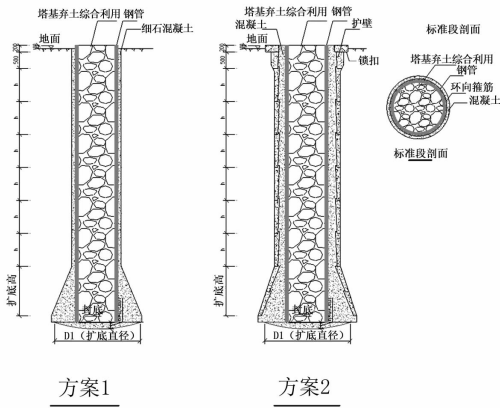
但该基础型式施工工艺复杂,对于环境破坏较大,仅推荐在个别特殊地区作为露出地表面太高的基础加强采用。

2.2 新型钢管桩基础

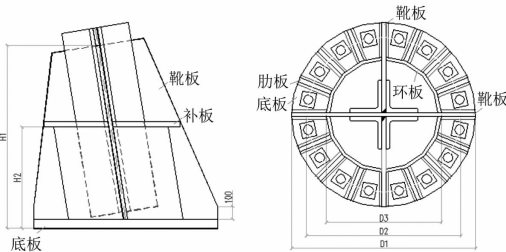
目前输电线路常用的山区基础型式多为钢筋混凝土结构,采用人工开挖,但在峻岭地区的陡坡上施

工难度非常大,且高海拔、重冰区基础混凝土方量大,施工现场开挖的弃土多且向外运输困难,而弃土处理不当引起塔位安全风险较大^[3]。

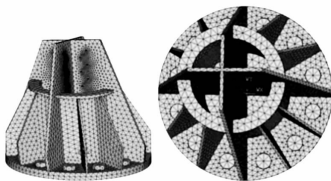
针对上述问题,创新设计了一种新型钢管桩基础,不仅可以减少本体基础工程量的运输及现场浇筑量,还对就地处理弃土提出了新方式,对于不同的荷载情况考虑了两种方案,如图7所示。



(a) 两种方案钢管柱基础



(b) 塔腿和基础连接



(c) 塔腿和基础连接结构分析

图 7 新型钢管桩基础

2.2.1 方案说明

方案 1 采用钢管桩和孔壁间灌注细石 C30 混凝土,预留空隙约 60~100 mm。基础最顶上标准节孔壁需修筑护壁和锁口,其余段可利用钢管柱作为坑壁支护结构。方案 2 采用钢管桩和孔壁间灌注常规混凝土,预留 200~300 mm。基础全部修筑护壁和锁口,以保证基础开挖时坑内的工人安全。

钢管采用内法兰连接,分段重控制在 1.5 t 以内(分段长约 2.0 m),方便采用中型索道运输。

2.2.2 主要优点

1) 中空的钢管桩可以回填大部分弃土,大大降低了以往施工弃土顺坡丢弃后引起的塔位风险问题,最大程度地降低对环境的破坏;

2) 基础混凝土工程量的减少,可以减小现场浇筑混凝土以及材料堆放的场地,减少水泥、沙、石头和施工用水的运输量,也可以较少对塔位环境的破坏;

3) 可利用钢管柱接地,减少接地沟的开挖,减

少对环境的破坏。

2.2.3 理论计算原理

1) 计算应同时考虑承载力极限状态和正常使用极限状态,承载力计算应考虑抗压、抗拔以及水平承载力计算。

2) 抗拔计算可按照《架空输电线路基础设计技术规程》^[4]中“复合式沉井基础”中要求执行,上拔承载力考虑基础自重、回填弃土自重及基础与土体见的摩擦力来抵抗,其中抗拔折减系数需结合真型试验实测值分析归纳。

3) 抗压计算可按照《架空输电线路基础设计技术规程》中“复合式沉井基础”中要求执行,下压承载力应考虑孔壁的侧摩阻力、基础地基反力以及土体的弹性抗力。

4) 水平承载力计算可参考《建筑桩基技术规范》^[5]和《架空输电线路基础设计技术规程》,但需进一步分析,对取值参数进行优化。

5) 应按《钢结构设计标准》^[6]对钢管桩进行局部屈曲计算。

6) 应验算钢管桩在设计地面处的水平变位。

7) 基础的本体强度按《混凝土结构设计规范》^[7]和《型钢混凝土组合结构技术规程》^[8]执行。

2.2.4 典型塔位综合对比分析

以某特高压工程 40 mm 冰区 ZC30403-78 m 为例,塔位地形陡峭约 35°~45°,采用索道运输,下面采用常规挖孔基础和新型钢管桩基础进行了综合对比分析,详见表 3。

表 3 常规挖孔基础和新型钢管桩基础综合对比

方 案	常规基础	钢管桩基础方案 1	钢管桩基础方案 2
钢管壁厚/m	—	0.02	0.02
钢管外壁直径/m	—	2	1.6
基础直径/m	1.8	2.2	2.2
基础全长/m	12	14	14
单基塔基础方量/m ³	134	37	100
单基塔护壁方量/m ³	34	2	25
单基塔基础挖方量/m ³	168	250	238
钢筋运输量/t	12	0	3
钢管运输量/t	0	14	11
材料总运输量/t	414	107	315
弃土处理方案	外运	回填+外运	回填+外运
余土量/m ³	168	39	125

从表 3 可以看出,新型钢管桩可极大地降低塔

(下转第 69 页)