

螺旋锚基础在输电线路中的应用

田 佳 赵梦丹

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 湖南 长沙 410014

【摘 要】螺旋锚基础作为一种新型输电线路基础形式，较常规混凝土杆塔基础相比，具有结构简单、绿色环保、机械化程度高、可显著缩短施工周期、经济环保效益显著。螺旋锚基础可缩短工期，降低综合成本，且对地形和植被破坏较小。

【关键词】螺旋锚基础；输电线路；承载力

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.041

1 发展趋势

输电线路作为配电网的重要组成部分，其基础结构的稳定性直接影响线路安全运行。传统现浇混凝土基础存在施工周期长、土方开挖量大、环保性差等问题，尤其在地形复杂、交通不便地区应用受限。螺旋锚基础通过螺旋叶片与土体的机械咬合提供抗拔和抗压承载力，具有免开挖、可快速安装、可回收利用等特点，近年来在输电线路工程中逐步推广。

国内外环保监管对基坑开挖面积、现场混凝土废料产生及处理都有日益严格的要求和限制，国内输电线路工程采用的现浇基础具有开挖量大、弃渣多、机械化程度低等缺点，尤其生态脆弱地区，需在环保型基础应用方面实现突破，诸如实现“挖填平衡”、少混凝土应用与少开挖、零泥浆排放等。跨区域输电线路呈点线状分布，塔位处的地形、交通和地质条件差异性很大，这种单点位、多区域的施工特点要求施工机具设备必须轻便化，而基础尺寸小型化、微型化便是推动输电杆塔基础机械化施工落地的有力举措。因此，围绕基础小型化，打造机械化施工技术体系及推广应用是基础工程技术发展的必然选择，螺旋锚基础正是输电线路工程优先选择的基础型式。

2 技术原理与设计

2.1 技术原理

螺旋锚基础是一种新型绿色环保的基础型式，由锚杆、锚盘(或称锚叶、锚板)、锚头等部分构成，见图1。施工时主要通过杆顶施加扭矩将锚盘及锚杆像螺丝钉一样旋拧至较深持力土层中，利用锚盘、锚杆与土体的摩擦阻力及端承力提供抗拔和抗压承载力。

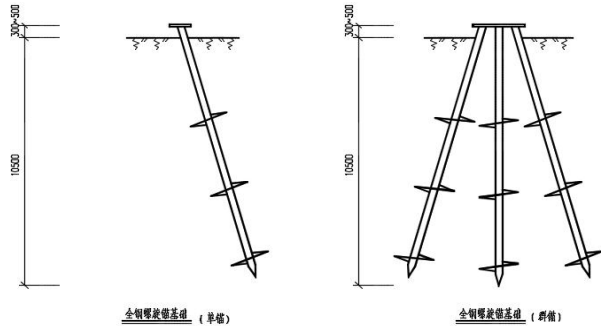


图1 螺旋锚基础

2.2 设计要点

2.2.1 适用条件

可适用于粉土、流塑~硬塑状态的黏性土、松散~中密状态的砂土和碎石土以及黄土、软土等特殊土层，且最大粒径不宜大于50mm。场地土、水对钢结构腐蚀等级为微、弱、中腐蚀的土壤环境，强腐蚀环境经论证后方可采用。坚硬的黏性土以及密实的砂土、碎石土层应用时应经原位工艺验证，并宜通过试验确定设计与施工工艺参数。

2.2.2 设计原则

基础的轴向(含竖向上拔和下压)承载力计算和横向(含水平)承载力计算，并考虑群锚效应；螺旋锚构件和承台结构承载力计算，根据施工受力情况进行锚杆横截面抗拉和抗剪、锚盘与锚杆间焊缝、锚盘抗剪强度验算；必要时，软弱下卧层承载力、抗震、变形验算；对于特许地质条件下应考虑防腐设计。

确定基锚数量和布置方式时作用、抗力采用标准组合、特征值；构件验算时，运行工作状态下作用、抗力采用基本组合、强度设计值；旋拧状态作用、抗力采用扭矩上限值、许用值或标准值；承台结构承载力、确定承台尺寸和钢筋混凝土承台配筋时，作用采用基本组合。基锚竖向承载力安全系数取值见表1。

表 1 基锚竖向承载力安全系数取值

序号	杆塔类别	安全系数		
		抗拔承载力 (Kt)		抗拔承载力 (Kc)
		单锚型	群锚型	
1	直线杆塔	2.0	1.6	2.0
2	耐张 (0° 转角) 及悬垂转角杆塔	2.5	2.0	
3	转角、终端及大跨越塔	3.0	2.5	

2.2.3 结构布置

单锚型可采用与塔腿主材相同倾角的斜向布置方式;群锚型可采用基锚斜向布置方式;基锚与竖向的角度不宜大于 25°。

采用斜向布置时,基础中各锚杆的轴线延长线可相交于上部杆塔主材重心轴线附近。基础承台宜采取立柱偏心或地脚螺栓偏心等结构措施;承台宜根据基锚数量、排布方式等因素确定外形。竖向布置时中心距不宜小于 2 倍的最大锚径;斜向布置时底盘中心距不小于 3 倍的最大锚径,首盘的埋置深度不宜小于 5 倍的首盘直径。

螺旋锚中锚杆宜优先采用热轧无缝钢管,优先采用 Q345 无缝钢管,锚杆的最下端设置锚头,锚头形状可采用圆锥状,锚盘可采用螺旋渐进形,圆锥头部分长度取为 100mm。

锚盘直径不宜小于 200mm 且不宜大于 1200mm,宜取锚杆外径的 2~5 倍,即 360mm~900mm。

锚盘的厚度选择为 25mm,单根螺旋锚锚盘数量不宜大于 5 片,直径变化不宜超过 3 种,15m 的螺旋锚采用四锚盘。

底盘应安装在与锚杆底端竖直净距 2~4 倍锚杆外径的位置;锚盘间距宜取锚盘螺距的整数倍。

此外,锚杆的分节长度应根据施工条件确定,并应尽量减少接头数量,接头段强度不应低于锚杆强度。

套接式连接螺栓数量不宜少于 2 个;螺栓孔径宜比螺栓直径大 1.5mm;套接处接续钢管与锚杆的内外径差不宜大于 4mm。法兰式接头连接螺栓宜采用双螺帽或其他防松措施。

2.3 施工工艺与质量控制

螺旋锚的锚杆可采用人工或机械施钻,人工施钻宜采用偶数推杆,每个推杆受力应均衡。螺旋锚拧入时只能正转不能反转,而且务必确保螺旋锚承台坑壁为原状土。

无缝钢管弯曲度 $\leq 1.5\text{mm/m}$,钢管外径允许偏差为钢管外径的 $\pm 1.0\%$,钢管壁厚允许偏差为钢管壁厚的 $\pm 12.5\%$ 。钢管两端应切成直角,并清除毛刺。钢管内外表面不得有裂缝、折叠、轧折、离层、发纹和结疤缺陷存在。

焊接钢管弯曲度 $\leq 1.5\text{mm/m}$,钢管外径允许偏差为钢管外

径的 $\pm 1.0\%$,钢管壁厚允许偏差为钢管壁厚的 $\pm 12.5\%$ 。钢管两端应切成直角,并清除毛刺,钢管内外表面不得有裂缝、折叠、轧折、离层、发纹和结疤缺陷存在。

锚盘与锚杆的连接应保持垂直,锚盘螺旋外边缘与锚杆中心线的垂直距离应相等,其误差不宜超过 $\pm 3\text{mm}$ 。

锚盘面与锚杆中心线的交角应符合设计要求,其误差不大于 1° 。有两片及以上锚盘组成的螺旋锚,其螺距应相等,锚盘应在同一螺旋面。

锚杆与锚盘的焊接按二级焊缝,施工图中焊缝高度未标注时,要求焊缝高度不得小于被焊件厚度。除进行外观检查外,还应进行超声波探伤,其探伤比例按生产批次不少于 20%。手工焊接的焊缝焊渣必须清除干净,所有焊缝均要求达到 100% 的焊透标准,组装焊接前,连接表面及沿焊缝每边 30~50mm 铁锈、毛刺和油污等必须清除干净。

螺旋锚基础施工工艺流程图,如图 1:



图 2 螺旋锚基础施工工艺流程图

3 经济性分析

3.1 经济比较

以某 35kV 线路工程为例,对比螺旋锚基础与现浇混凝土基础的经济指标,见表 1。采用螺旋锚基础比现浇混凝土基础综合成本降低率约为 25%。

表 1 螺旋锚基础与混凝土基础经济性对比表

序号	项目	螺旋锚基础	混凝土基础
1	单基材料成本 (万元)	0.8~1.2	1.5~2.0
2	施工周期 (天/基)	0.5	3~5
3	机械使用费 (万元/km)	2.0	5.0
4	综合成本降低率	25%	—

3.2 环保效益

基础接近零开挖,无需开挖土方、不扰动原状土、不产生弃土、施工现场无扬尘,可减少施工作业面,减少了对周围植被环境的破坏。

混凝土零用量,可不使用混凝土进行浇筑,避免了水泥、砂石等材料的使用,减少了运输量,不消耗水资源,不产生泥浆等废弃物。

基础养护零等待,可全部为钢结构,施工完毕后无需养护

即可组塔，有利于减少植被破坏及植被快速恢复。

3.3 施工工期

螺旋锚基础施工时间小于直板大柱式基础及灌注桩基础，且无需混凝土浇筑及养护，螺旋锚基础施工完成后即可进行组塔，施工时间缩短约 25%~30%。

表 2 螺旋锚基础与灌注桩基础施工工期对比表

序号	项目	螺旋锚基础	灌注桩基础	工期节省
1	单回直线塔	2.25	3	25%
2	单回耐张塔	3	4	25%
3	双回直线塔	2.5	3.5	28.5%

3.3 应用优势

螺旋锚基础结构简单，较常规混凝土基础具有以下几点优势。

- (1) 螺旋锚基础的锚杆、锚盘、承台等均为钢构件，可以在工厂提前标准化加工、装配，质量有保证。
- (2) 不使用混凝土，节省了基础材料。
- (3) 施工方便、机械化程度高、对水土资源影响较小，通过机械化施工可以显著降低人工和缩短工期。
- (4) 螺旋锚基础可采用异倾角三锚设计以提升水平承载性能，可减小锚杆的直径或厚度以降低工程造价。

3.4 应用存在的问题

螺旋锚基础作为一种新型的支撑输电杆塔的基础型式已在国内外得到初步应用，螺旋锚基础较常规混凝土基础应用还

存在以下问题。

计算原理还不够完备，现行电力行业标准《架空输电线路基础设计技术规程》及国网企标《架空输电线路螺旋锚基础设计技术规范》建议了螺旋锚承载力的计算方法。“锚-土”相互作用的复杂性，使得各种基于假定破坏面基础上的理论研究结果存在较大的误差，其工作机理、设计与施工技术仍处于探索阶段。使用螺旋锚基础，一般都会进行试桩，进行抗拔与抗压静载破坏性试验，以确定螺旋锚单锚竖向抗压、抗拔承载力特征值是否满足设计要求。

防腐设计，螺旋锚基础全部采用钢材，在地上、地下可能形成阴阳极，加速电化学腐蚀。当前螺旋锚基础腐蚀理论研究还不成熟，防腐措施研究还处于初级阶段，规范未根据腐蚀环境分类提出针对性的防腐措施，现行阶段防腐措施需按保守方案考虑。

螺旋锚施工精度要求高，螺旋锚基础无论单锚还是多锚，设计时每根锚杆都会设置入土倾角，来抵抗杆塔传递的横向荷载。施工时，由于土层性质、施工工艺和施工水平等原因，入土倾角虽有动力钻头感应装置，但现场任然难以控制。

4 结论

螺旋锚基础抗拔、抗压、抗倾覆承载能力强，与常规杆塔基础相比，结构简单、施工方便、对水土资源影响较小，通过机械化施工可显著降低人工费用和缩短工期，极大地节约成本。作为一种新型绿色环保型基础，可降低输电线路基础全寿命周期的能耗和碳排放，与同级别同承载力的灌注桩基础和掏挖基础相比，可减少综合碳排放量，施工质量易控制，综合效益明显。

参考文献:

- [1] 王建国,张伟.螺旋锚基础抗拔承载力试验研究[J].电力建设,2020,41(3).
- [2] 张宏艳,李君章,马守峰,朱兆伟,高晓莉.螺旋锚基础在输电线路工程中的应用研究[J].黄河科技学院学报,2024,26(2).
- [2] Q/GDW 10584-2022,架空输电线路螺旋锚基础设计规范.
- [3] Q/GDW 12189-2021,国家电网公司.输变电工程螺旋锚基础应用技术导则.