

# 季节冻土区光伏桩基研究现状

## Research Status of Photovoltaic Pile Foundation in Seasonal Frozen Soil Area

田天伦 张裕己

Tianlun Tian Yuji Zhang

黑龙江大学水利电力学院 中国·黑龙江 哈尔滨 150080

School of Water Conservancy and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang, 150080, China

**摘要:** 论文从季节冻土区光伏桩基的工程冻害问题出发,介绍了目前工程上常用防冻胀手段,光伏支架基础形式的选择,光伏螺旋桩基承载力计算方面、室内试验方面、数值模拟方面的一些相关研究进展和成果,以及存在的一些不足之处需要我们继续深入研究和完善。

**Abstract:** Starting from the engineering frost damage of photovoltaic pile foundations in seasonally frozen soil areas, this paper introduces some relevant research progress and achievements in the current engineering antifreeze means, the selection of photovoltaic support foundation form, the bearing capacity calculation of photovoltaic spiral pile foundations, indoor tests, numerical simulation, as well as some deficiencies that need to be further studied and improved.

**关键词:** 季节冻土区; 光伏桩基; 工程冻害; 螺旋桩

**Keywords:** seasonally frozen soil area; photovoltaic pile foundation; engineering frost damage; screw pile

**DOI:** 10.12346/etr.v4i7.6637

## 1 引言

随着社会的发展和时代的进步,人们对新能源的开发和利用越发地关注和重视起来。太阳能作为一种清洁、无污染的可再生能源越来越受人们的青睐。光伏产业也因此最近几年得到突飞猛进的发展。中国光能资源丰富,全国有超过三分之二的区域面积达到发电条件,而这些光能资源丰富的地区又与季节冻土区域有着大量的重叠。众所周知,位于季节冻土区的桩基,非常普遍的存在或多或少工程冻害问题。

## 2 防冻胀措施

工程上常采用的冻胀破坏防治手段有以下几种:强夯加固地基法;换填法把强冻胀土换为非冻胀土,工程常采用粗砂、砾石等作为换填材料;保温法设置 EPS 保温板或其他隔热材料;油性隔离法即在桩周一定冻深范围内涂刷改性沥青、渣油、工业凡士林等油性材料来减小冻胀作用的影响;结构法即选用如螺旋桩、锥形桩这类异形桩,它们利用自身结构的受力特点来抵抗冻胀作用。在实际工程中,到底采用

哪一种或者哪几种桩基防冻胀手段还要根据具体的工程施工条件来进一步考虑选择,总之就是在达到较好的抗冻拔效果的同时尽可能地减少工程量和经济成本。

## 3 光伏支架基础选型

在比较早期的时候钢筋混凝土独立基础是光伏支架基础比较倾向的传统基础形式,因为它具有非常明确的传力途径,受力方便比较可靠实用,不依赖特殊施工机械,适用于大多数工况且其本身具有较强的水平荷载抵抗能力。但其具有土方开挖回填量大、钢筋混凝土用量大、人工用量大和所费工期长的弊端。钢筋混凝土灌注桩基础所用钢筋较少,桩长灵活多变,可随具体地质条件作出调整,既能抗压又能抗拔,受力性能稳定,具有较强的适应性;但其也有工序烦琐,工期较长,孔底残留虚土的问题,多应用于山地和西北黄土地基的光伏支架基础。钢筋混凝土预制桩基础具有可靠的桩身质量、良好单桩承载力、施工简单、较短的工期和良好的经济效益;但其自身存在抗压不抗拔的缺点,要想运用于季

【作者简介】田天伦(1994-),男,中国四川眉山人,在读硕士,从事冻土水文地质与雪冰工程研究。

冻区光伏桩基中就必须增加桩长来增加桩侧摩阻力来抵抗冻拔, 这样造价费用又大大增加。螺旋钢桩基础具有以下一些优点:

①不同于传统直线型桩, 它重新定义了桩土间的作用模式, 通过桩自身的特殊构造与桩周土的咬合作用, 增强了桩的抗压抗拔能力, 桩体的螺旋嵌入也使得桩周土体更加密实, 基础承载力得到提高。

②螺旋钢桩本身也属于预制桩, 因而同样具有施工简单, 成桩速度快, 工期短, 单桩承载力大, 桩身质量好, 经济效益好的特点。

③螺旋钢桩不仅能应用于黏性土、粉土、填土等松软地质, 还能应用于有流沙层和地下水的复杂环境中, 适用范围是又宽又广。

④螺旋钢桩还可以回收再利用, 这是其他桩型所不具有的。由于螺旋钢桩的这些诸多优点也使得它在近年来的季节冻土区的光伏桩基中被广泛应用, 拥有非常光明的发展前景。在下面的内容中也主要介绍螺旋钢桩的一些研究现状。

#### 4 承载力计算方面的相关研究

因为螺旋桩基桩土间作用关系相对复杂, 并且也是一种新兴的桩基形式, 并没有一套属于自身的比较完备的承载力确定方法, 承载力计算公式也是参照直线型桩的承载力公式作出相应调整得来, 适用性欠佳。对此国际有学者人士在相关方面做了一些针对性研究。加拿大的 Diane Jia Ying Zhang 研究了螺旋桩在轴向受压时的承载力特性, 提出了不同土质中螺旋桩的承载能力计算公式, 但缺乏螺旋桩抗冻拔性能的相关研究<sup>[1]</sup>。中国学者董天文<sup>[2-3]</sup>对螺旋桩进行了比较深入的研究: 他的一些论文从叶片与地基的相互影响方面探究了抗拔螺旋桩的工作机理, 但是缺乏螺旋桩抗冻拔方面的研究。

#### 5 室内试验方面的相关研究

在螺旋桩的室内试验研究中, 北京交通大学同学涉及较多, 北京交通大学路基与基础工程研究所自主研发了一种多功能模型试验箱。先后有赵华刚、王腾飞、田彦德三位北京交通大学同学使用这款多功能模型试验箱来做螺旋桩有关冻胀冻拔方面的试验。赵华刚<sup>[4]</sup>通过不同形式螺旋桩型在冻拔试验中的表现, 发现螺旋桩的抗冻拔能力明显优于光滑桩, 并且从各种形式螺旋桩的冻拔量大小中看出双螺旋大叶片桩具有最好的抗冻拔能力, 但赵华刚试验方面的不足在于试验土体冻胀性较弱, 不同模型间冻拔量差别不大, 不利于相互比较, 同时没有设置桩顶荷载也与实际工况有一定出入。王腾飞<sup>[5]</sup>通过室内模型试验, 研究了单向冻结条件下螺旋桩的冻拔响应, 得到了不同桩型的冻拔位移和冻拔力的

发展规律, 明确提出冻土层内严禁布设叶片, 否则会加剧冻拔力的形成。田彦德<sup>[6]</sup>对不同桩型的螺旋钢桩进行了一维单向冻胀融沉研究, 得到了桩身冻拔发展和融化沉降规律。

#### 6 数值模拟方面的相关研究

哈工大的陈然<sup>[7]</sup>利用 ABAQUS 有限元软件分析了螺旋桩在季节性冻土地场中的抗冻拔性能, 并对螺旋桩几何参数对螺旋桩的抗拔性能的影响进行分析, 发现螺距的取值影响着桩土间破坏形式, 并对螺牙倾角和桩的内外径等几何参数做了优化。但陈然模拟的土体模型材料性质过于单一, 没有对螺旋桩定量施加竖直和水平荷载, 这些都不符合真实的工程条件。同为哈工大师弟的孟凯<sup>[8]</sup>在陈然的基础上增加了冻结期与融化期的桩基受力与位移特性分析, 增添了竖直荷载和水平荷载等工况, 确定了土体的最优计算半径, 给出了桩型的最优参数设计值。孟凯同样存在土体参数设置较为简单的问题, 同时忽略土体水分的影响, 这些都是有待改善和需要我们继续深入的地方。

#### 7 结语

尽管目前关于季冻区光伏桩基的研究取得了一些成果, 也提出了一些承载力方面的理论计算公式, 但因为在土体参数设置较为简单, 忽略土体水分影响和荷载施加不完整等某些特定限定假设下得出的结论, 并没有达到工程界的普遍认同。目前的光伏桩基规范也在很大程度上参照了建筑桩基技术规范, 针对季冻土这类特殊土体还宜进行现场试验来确定技术参数, 所以在季冻区光伏桩基方面还有很大的前景和研究空间。

#### 参考文献

- [1] Zhang D. Predicting capacity of helical screw piles in Alberta soils[D]. Canada: University of Alberta, 1999.
- [2] 董天文, 梁力, 王明恕, 等. 极限荷载条件下螺旋桩的螺距设计与承载力计算[J]. 岩土工程学报, 2006(11): 2031-2034.
- [3] 董天文, 李士伟, 张亚军, 等. 软土地基螺旋桩竖向抗拔极限承载力计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1): 3057-3062.
- [4] 赵华刚. 季节性冻土区光伏支架螺旋桩抗冻拔试验研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [5] 王腾飞. 寒区桩基的冻拔稳定性及承载力研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [6] 田彦德. 螺旋钢桩冻胀融沉特性试验研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [7] 陈然. 螺旋桩在季节性冻土地场抗冻拔性能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [8] 孟凯. 季节冻土区光伏支架螺旋桩基受力性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.