

建筑技术

斜坡桩基水平承载变形特性试验研究

谢剑铭 许锡昌* 陈善雄 姜领发

(中国科学院 武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室 武汉 430071)

摘要 利用自行研制的地基基础模型试验装置,通过埋置不同临坡距的模型桩,采用单桩水平加卸载试验方法,研究了临坡距对桩身变形及承载力的影响。研究成果表明:在水平推力较小时,每级荷载下的循环加卸载具有很好的重复性,说明桩身及其周围土体变形为弹性变形。在水平推力较大时,每级荷载下的单循环加卸载重复性较差,存在残余变形,说明桩身周围土体存在塑性变形;同时桩身应变随着临坡距的增加而减小。临坡距对斜坡输电塔桩基础的水平承载性能有较大影响,临坡距离较大时,水平临界荷载和极限承载力均较大;在桩径和桩长不变的情况下,通过加大临坡距离,可有效提高水平承载能力。

关键词 斜坡 桩基 承载力

中图分类号 TU435; 文献标志码 B

随着我国电力事业的快速发展,输电线路建设用地的日益紧张;尤其在我国的中西部地区,不少输电线路穿越山岭重丘区斜坡上。在基础设计时,主要考虑承载力和变形两大块,其中又以承载力为第一考虑因素,其次进行变形验算。因此,承载力占据了基础设计至关重要的地位。输电铁塔在建造和运营中往往会受到较大的水平向作用力。水平向的作用力对于斜坡桩基具有很大影响。斜坡地区输电铁塔桩基水平承载力确定的合理性对输电铁塔的建设至关重要,它直接关系到整个铁塔结构的安全运营和使用寿命。

20世纪初以来,国内外众多学者开始研究水平荷载作用下桩受力特性的理论。到20世纪60年代,由于大直径桩的兴起和普遍使用,促使该项研究得以广泛的开展。目前,已有很多水平承载桩的作用机理及其受力特性分析方面的相关理论和方法,为桩基在港口码头、海堤工程等以水平荷载为主要控制荷载的工程中得以广泛应用奠定了理论

基础^[1]。其中大部分研究还是停留在平面地基下的桩基础水平受力研究,主要有久保^[2]在砂槽中进行了模型试验,观察桩基础的变形特性,提出了土反力和桩应变关系的表达式;Saglamer、Parry^[3]在砂土中利用模型桩进行了不同密度和荷载形式的荷载试验,从试验中推断了初期循环加载期间砂土地基侧向基床系数的变化;Allen、Reese^[4]为探讨 $p-y$ 曲线的性状,在成层黏性土中进行了模型试验。章连洋、陈竹昌^[5]利用模型试验进行了循环荷载试验和循环荷载后再加载试验,探讨了荷载大小、频率、循环次数和加载历史等因素的影响;王梅等^[6]试验研究了水平荷载作用下单桩非线性 m 法;徐枫^[7]通过对某已建建筑物单桩水平承载力的探讨,从中得出了一些结论供桩基水平承载力计算作参考借鉴。因此,对于斜坡地基下的桩基础受力承载特性的研究尚少,本文基于斜坡地基埋深模型桩,探讨了不同临坡距下的桩基水平承载特性。

1 斜坡桩基模型试验

1.1 试验装置

模型试验采用自行研制的可双向加载的地基基础模型试验装置(专利号:201110399399),该装置长6.0 m×宽3.0 m×高3.5 m,可开展斜坡地基、复合地基、桩基等模型试验,装置示意图见图1。

2013年1月23日收到

第一作者简介:谢剑铭,男,硕士研究生,研究方向:土体本构关系及地基稳定性。E-mail: nov.jmay@gmail.com。

*通信作者简介:许锡昌,男,博士,副研究员,硕士生导师,研究方向:特殊土土力学。E-mail: xcxu@whrsm.ac.cn。



(1) 地基基础模型试验装置



(2) 试验过程照片



(3) 桩身应变测量系统



(4) 水平千斤顶

图1 模型试验装置照片

1.2 模型桩设计及埋设

根据主要研究内容、装置实际尺寸和试验的需要,试验槽内自斜坡向内埋设2根模型桩,具体位置见图2,其中模型桩设计如图3,试验过程中利用静态电阻应变仪采集数据。

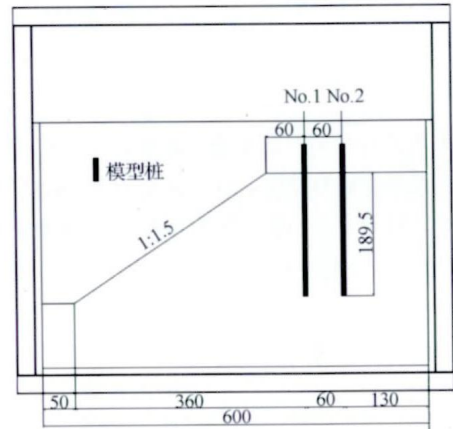


图2 模型桩埋设示意图

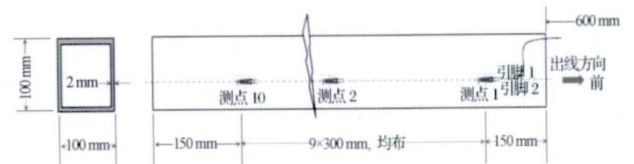


图3 桩身应变片设置示意图

1.3 土体填筑

试验装置填筑用土为武汉洪山黏性土,土体天然含水量在15%—20%之间,采用分层填筑方式,松铺厚度控制在30 cm左右,采用HCD90型电动冲击夯压实。填筑前通过试夯,夯实6遍后干密度可控制在 $1.6 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 之间,厚度约25 cm。每层填筑后,测定压实土的含水量和干密度,若干密度低于 1.6 g/cm^3 ,则多夯1~2遍,并重新检测干密度,直至满足干密度标准为止。

填筑到设计标高后统一刷坡,坡比为1:1.5。

1.4 试验方案与过程

对于斜坡桩基础而言,影响塔基承载力的因素较多,包括基础埋深、基础尺寸和临坡距离等,为深入研究斜坡桩基础下的承载力发展规律,尽量减少各因素间的交叉影响,只考虑临坡距离对承载力发展规律的影响。

试验拟模拟斜坡桩基础, 基础平面尺寸为 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$, 基础埋深为 1.9 m , 斜坡坡比为 $1:1.5$, 考虑两种临坡距离(见图 2), 即基础中心点距离边坡 0.6 m 和 1.2 m 。

本次试验共开展了 2 组试验, 采用单桩水平静载试验逐级循环加载的方式, 每级加载量 1.2 kN , 初步分 10 级, 试验时每级加载进行单向多循环, 每级荷载施加后, 恒载 4 min 后可测读水平位移, 然后卸载至零, 停 2 min 测读残余水平位移, 至此完成一个加卸载循环。如此循环 5 次, 完成一级荷载的位移观测, 试验中间不得停顿。当水平位移超过 $30 \sim 40\text{ mm}$ 时, 停止加载。

2 试验结果与分析

2.1 桩顶水平位移变化规律

2.1.1 No. 1 模型桩

图 4 给出了 $H_0 - t - x_0$ 、 $H_0 - \Delta x_0 / \Delta H_0$ 、 $H_0 - x_0$ 曲线。

从图 4(1) 可以看出, 在荷载较小时, 曲线波动性较小, 加载-卸载循环具有很好的重复性, 但当荷载较大时, 曲线波动较大, 加载-卸载循环重复性较差, 达到 12.51 kN 时, 位移接近 35 mm , 终止了试验。

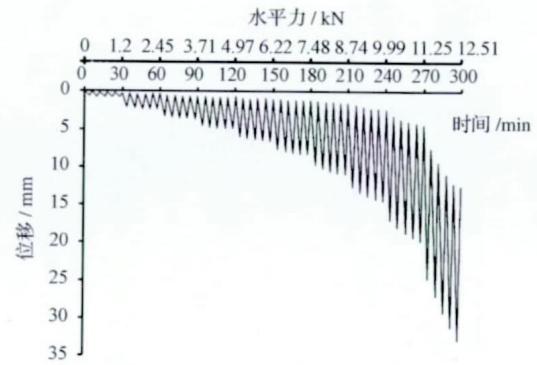
在图 4(2)、图 4(3) 曲线中, 在荷载较小时, 曲线呈现较缓的趋势, 随着荷载逐级加大, 曲线斜率也逐级加大。同时, 可以明显地看到两个拐点, 分别是第一拐点 7.48 kN 、第二拐点 9.99 kN 。

2.1.2 No. 2 模型桩

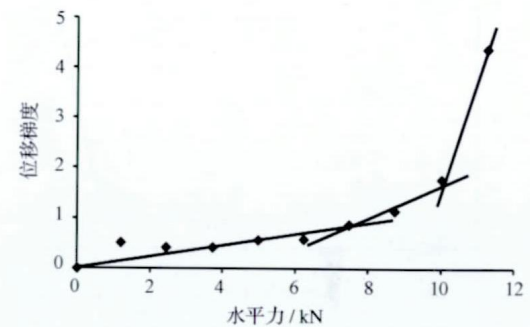
图 5 给出了 $H_0 - t - x_0$ 、 $H_0 - \Delta x_0 / \Delta H_0$ 、 $H_0 - x_0$ 曲线。

从图 5(1) 可以看出, 在荷载较小时, 曲线波动性较小, 加载-卸载循环具有很好的重复性, 但当荷载较大时, 曲线波动较大, 加载-卸载循环重复性较差, 达到 12.51 kN 时, 位移接近 35 mm , 终止了试验。

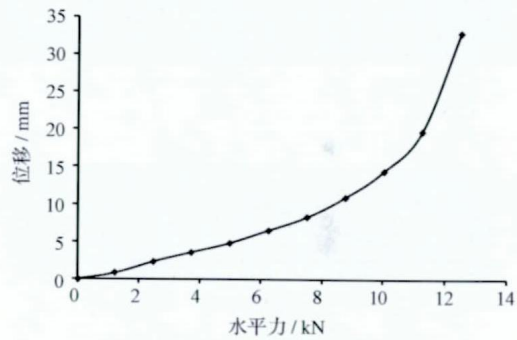
在图 5(2)、图 5(3) 曲线中, 在荷载较小时, 曲线呈现较缓的趋势, 随着荷载逐级加大, 曲线斜率也逐级加大。同时, 可以明显地看到两个拐点, 分别是第一拐点 8.74 kN 、第二拐点 13.78 kN 。



(1) 水平力-时间-位移 (H_0-t-x_0) 曲线



(2) 水平力-位移梯度 ($H_0-\Delta x_0/\Delta H_0$) 曲线



(3) 水平力-位移 (H_0-x_0) 曲线

图 4 No. 1 模型桩位移变化规律曲线

2.2 桩身应变变化规律

2.2.1 No. 1 模型桩

图 6 给出了 4.97 kN 荷载下桩身应变-深度、 11.25 kN 荷载下桩身应变-深度、各级荷载最后循环加载时桩身应变-深度曲线。

从图 6(1)、图 6(2) 中两种不同荷载下桩身应变-深度曲线中可以看出, 在水平荷载较小时 (4.97 kN) 加载-卸载循环具有很好的重复性, 当水平荷载超过 10 kN 时 (11.25 kN) 加载-卸载循环重复性较差。

图 6(3) 各级荷载最后循环加载时应变-深度曲

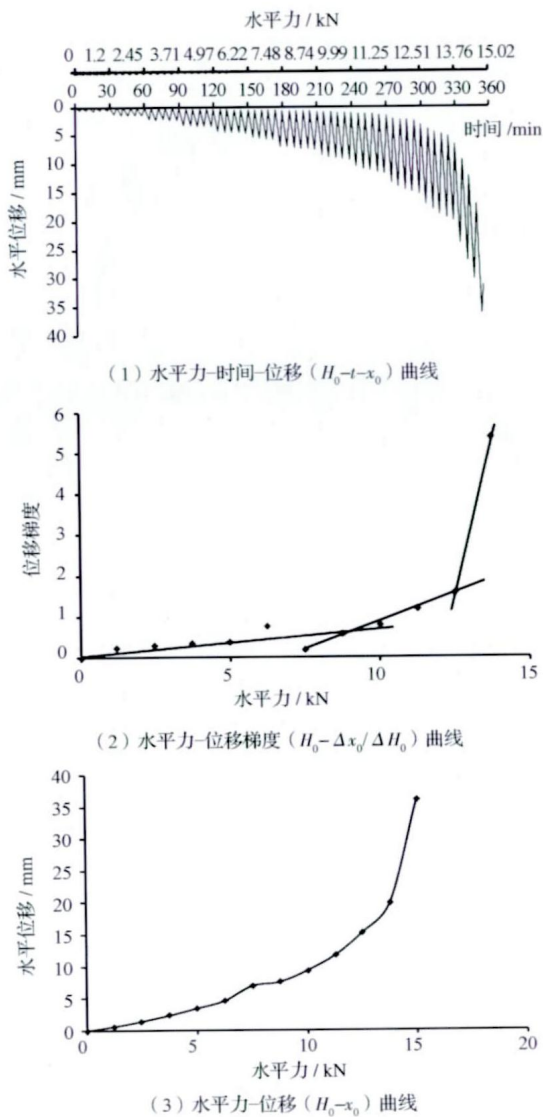


图 5 No. 2 模型桩位移变化规律曲线

线,可以看出不同荷载下最大桩身应变大概都位于桩身上部 1/6 桩身处,应变零点位于桩身下部 1/6 桩身处。

2.2.2 No. 2 模型桩

图 6 给出了 4.97 kN 荷载下桩身应变-深度、13.76 kN 荷载下桩身应变-深度、各级荷载最后循环加载时桩身应变-深度曲线。

从图 7(1)、图 7(2) 中两种不同荷载下桩身应变-深度曲线中可以看出,在水平荷载较小时(4.97 kN) 加载-卸载循环具有很好的重复性,当水平荷载超过 10 kN 时(13.76 kN) 加载-卸载循环重复性

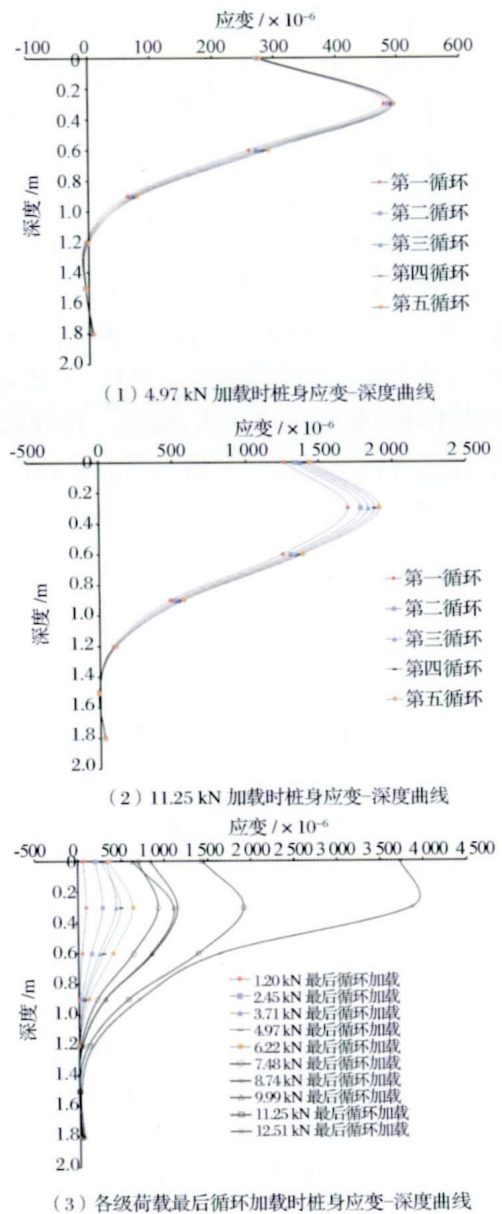
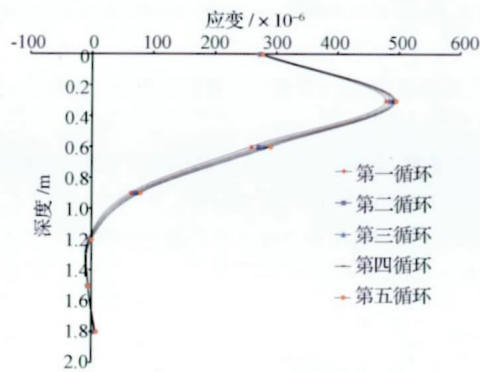


图 6 No. 1 模型桩应变变化规律曲线

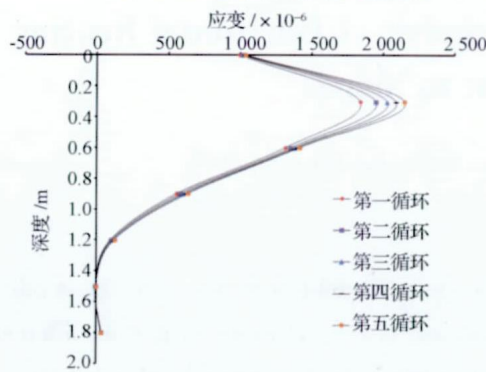
较差。

图 6(3) 各级荷载最后循环加载时应变-深度曲线,可以看出不同荷载下最大桩身应变大概都位于桩身上部 1/6 桩身处,应变零点位于桩身下部 1/6 桩身处。

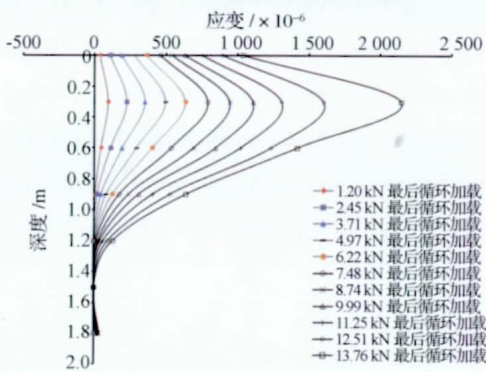
结合图 6(3) 和图 7(3),可以明显地看到,在水平荷载较小情况下,两根桩身应变变化规律大致相当,但随着荷载的逐级加大, No. 1 模型桩的应变规律整体大于 No. 2 模型桩。说明在较大荷载情况下,临坡距越小,对桩身的刚度要求越



(1) 4.97kN 加载时桩身应变-深度曲线



(2) 13.76kN 加载时桩身应变-深度曲线



(3) 各级荷载最后循环加载时桩身应变-深度曲线

图7 No. 2 模型桩试验结果

大,因此,在临坡距较小的情况下,应当加大桩的刚度。

2.3 临坡距对桩基承载性能的影响

图8给出了No.1和No.2模型桩水平推力-位移关系对比曲线。

根据 $H_0 - \Delta x_0 / \Delta H_0$ 曲线,取曲线上第一拐点对应的水平荷载值为单桩水平临界荷载,取第二拐点对应的水平荷载值为单桩水平极限承载力。计算结果见表1。

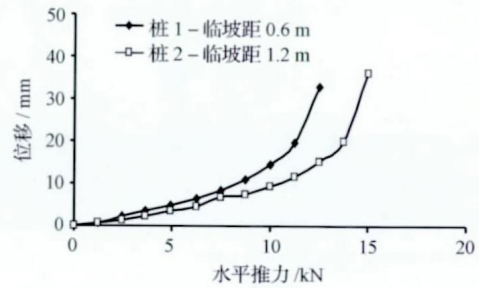


图8 水平推力-桩顶位移分布对比曲线

表1 No. 1 和 No. 2 模型桩承载力对比表

模型桩编号	单桩水平 临界荷载/kN	水平极限 承载力/kN	说明
No. 1	7.48	9.99	临坡距 0.6 m
No. 2	8.74	13.78	临坡距 1.2 m

从表1可以看出,临坡距对水平临界荷载和极限承载力均有较大影响,从图6也可以看出,临坡距离较大时,水平推力所对应的桩顶位移也较大。说明临坡距离较大时,临坡一侧土体厚度较大,所提供的水平抗力也较大,桩承受水平推力的能力越强。在边坡空间较大时,通过加大临坡距离,在桩径和桩长不变的情况下,水平承载能力可有效提高。

3 结论

通过室内模型试验方法,研究了斜坡桩基的水平承载变形性能,主要结论如下:

(1) 在水平推力较小时,每级荷载下的循环加载卸载具有很好的重复性,说明桩身及其周围土体变形为弹性变形;在水平推力较大时,每级荷载下的单循环加载卸载重复性较差,存在残余变形,说明桩身周围土体存在塑形变形。

(2) 斜坡地基条件下,桩基础水平加载时,最大桩身应变位于桩身上部1/6附近,而应变零点位于桩身下部1/6处。

(3) 在水平荷载较小情况下,临坡距对桩身应变变化规律影响不大,但随着荷载的逐级加大,临坡距越小,桩身应变整体越大。

(4) 临坡距离较大时,水平临界荷载和极限承载力均较大,反之亦然,因此,通过加大临坡距离,在桩径和桩长不变的情况下,水平承载能力可有效

提高。

参 考 文 献

- 1 马志涛. 水平荷载下桩基受力特性研究综述. 河海大学学报(自然科学版) 2006; 34(5): 546—551
- 2 K·久保. 侧向受荷桩性质的实验研究. 桩基(水平力)译文. 天津大学水利系桩基规范专题小组, 1978
- 3 Saglamer A M, Parry R H G. 侧向受荷单桩的模拟试验研究. 工业建筑情报, 1981; (34): 68—76
- 4 Allen J D, Reese L C. Small scale tests for the determination of p - y curves in layered soils. OTC 3737, 1980
- 5 章连洋, 陈竹昌. 黏性土中侧向受载桩的模型试验研究. 岩土工程学报, 1990; 12(5): 40—50
- 6 王梅, 楼志刚, 李建乡, 等. 水平荷载作用下单桩非线性 m 法试验研究. 岩土力学, 2002; 23(1): 23—27
- 7 徐枫. 基于原型试验的单桩水平承载力分析. 岩土工程学报, 2011; 33(2): 291—294

Preliminary Experimental Study on Development of Horizontal Bearing Capacity of Pile Adjacent to Slope

XIE Jian-ming, XU Xi-chang*, CHEN Shan-xiong, JIANG Ling-fa

(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, P. R. China)

[Abstract] Through laying model pile at different distance from slope in model test device, the single pile loading and unloading tests in horizontal force to research the deformation and bearing capacity of pile in different distance from slope are used. Research shows that each stage of loading under cyclic loading and unloading has a good reproducibility when the horizontal force is small, thus it indicates that deformation is elastic in pile and its surrounding soil. However, each stage of loading under cyclic loading and unloading has a bad reproducibility and exist residual deformation when the horizontal force is large, thus it indicates that deformation is plasticity in pile and its surrounding soil. Meanwhile, pile strain increase with distance from slope decreases. Distance from slope has a great influence in horizontal bearing capacity of pile, critical load and bearing capacity in horizon increase with distance from slope increase. It can obvious improve horizontal bearing capacity through increasing distance from slope when pile diameter and pile length is constant.

[Key words] slope pile foundation bearing capacity