

黄土地区光伏电站桩基承载力试验研究

王进玺

陇东学院土木工程学院 甘肃 745000

摘要:光伏电站支架基础是电站的重要组成部分,数量较大,直接影响电站的正常使用,因此,支架基础类型直接关系到支架系统的结构安全、现场的施工进度和整个光伏发电项目的造价成本等。本文针对黄土地区光伏电站支架桩基础进行了室内实验,对其承载力进行了分析,研究表明沉降变形控制的安全系数 FS 是承载力控制安全系数 FQ 的 2 倍;黄土桩基产生适当沉降是可控的。研究结论对黄土地区光伏电站支架基础的设计及施工提供依据。

关键词:黄土地基;光伏电站;支架桩基;承载力

一、概述

随着社会的发展,环境保护和新能源开发利用已经成为人类社会目前首要问题,在我国最近几年,光伏电站项目建设如火如荼,西部黄土地区光伏电站支架基础类型较多,主要有混凝土独立基础、螺旋钢管桩基础、微孔灌注桩基础和预应力管桩基础等^[1-3],如图 1 所示。



图 1 光伏电站支架及桩基础

大量学者对支架基础也进行了大量深入的研究,取得了丰硕的成果。黄小东等针对光伏地面电站管桩基础与土体相接触的受力特性,采用有限元方法模拟管桩基础的极限承载力,并对最不利情况下管桩的安全性进行分析^[4];刘丰敏等对光伏发电与大棚农业混合发展项目中光伏支架的桩基础进行单桩水平承载力的计算方法进行了研究^[5]。但对黄土地区支架桩基础承载力研究较少,西北地区特别是甘肃地区气候条件差,长期以来经济发展相对落后,随着甘肃省一个中心两翼齐飞的发展规划,黄土地区大规模光伏电站工程建设已经开始。鉴于此,系统研究黄土地区光伏电站支架基础的工程力学特性和深厚黄土地基中的桩基工程问题具有重要的现实意义。

为了更加准确地掌握黄土的工程力学特性,在甘肃省通渭县光伏电站工程项目区域内钻探取样,进行了三个钻孔取样如图 2,分别取了 6 m、12 m 和 18 m 三个土层的土样,利用 TSZ-6A 型应变控制式三轴仪进行了深厚黄土的工程力

学特性研究,研究了原状黄土的无侧限剪切强度、重塑黄土的加载-卸载力学特性,不同含水量、不同围压以及初始应力场对黄土强度的影响和黄土结构性对其强度的影响。根据相似理论,构建了室内桩基试验模型,在实验室进行了深厚黄土地基桩-土作用试验研究,研究了黄土桩基础的单桩承载力问题。



图 2 通渭县光伏电站项目取样点

黄土地区光伏电站支架的桩基问题,归根结底就是桩基础与黄土之间的相互作用问题。但这个问题是十分复杂的,没有现成的理论模式和公式可循,而且,桩基础与黄土之间的这种相互作用,与黄土本身的工程力学特性休戚相关。甘肃地区广泛分布着深厚的黄土层,该区黄土质地疏松、空隙大、垂直节理发育。黄土沉积层在形成过程中,由于地质作用、气候和沉积环境等作用的不同,各个地区的黄土沉积层具有其特有的工程属性。要研究黄土地基中的桩基问题,必须先研究清楚研究地区黄土地层中土体的工程力学特性。

二、单桩基桩承载力室内试验

(一) 桩-土作用模型试验

黄土具有特殊的结构性及力学特性,这导致对黄土地基中的桩基形态的研究,很难得出普遍性规律,进而为工程实践服务,鉴于此,本文以甘肃省通渭县光伏电站项目为研

研究对象,进行了深厚黄土地基中的桩基承载力和桩-土作用室内模型研究。

研究了深厚黄土中单桩承载力问题,对深厚黄土地区光伏电站支架桩基工程的设计和和实践,提出有意义的建议和措施。采用相似理论建立模型,模拟真实物理现象的发生,得出相应的规律,以便为实际问题提供理论指导,这需要模型物理量与原型物理量之间存在一定的相似性,否则无法保证模型试验得出的理论规律能真实地反映实际的物理现象。相似参数及材料的合理选择直接关系到试验数据的可靠性,为了能使模型试验模拟的结果真实客观地反映原型滑坡的相关规律,模型材料相关特性参数满足相似定理的要求。

为了有针对性的进行项目试验,以甘肃省通渭县光伏电站项目场地黄土为研究对象,进行试验。经室内试验测得,试验土层的密度为 2.1 g/cm^3 ,最大干密度为 1.74 g/cm^3 ,含水率为 20.6%,土粒比重为 2.7 g/cm^3 。如表 1 所示。

表 1 地基土物理力学参数

试验土样	$\rho (\text{g/cm}^3)$	w (%)	G_s
	2.1	20.6	2.7

进行实验时,采取慢速荷载维持法加载。将预估的极限承载力等分为不少于 8 级加载,用油压千斤顶施加荷载,每级荷载增量为 30 kPa,当每级荷载维持到 S-t 曲线稳定或者 24 小时稳定标准时施加下级荷载,直到单桩或群桩失效破坏时停止试验。

(二) 单桩承载力分析

试验宏观反映黄土地区桩-土之间的变化过程与黄土桩基(单桩)的宏观应变、应力发展规律。深厚黄土地基中电站支架的单桩沉降变形具有如下一些特性。

对应的 $N = 4.5\%, 5.5\%, 2.2\%$,与传统经验相比(对于大直径桩可取 $S = (0.03 \sim 0.06) D$,其中 D 为桩端直径)所对应的荷载值作为其极限荷载值 Q_u ,这里 N 的值恰好介于(3%~6%)之间。同时,也告诉我们,对桩基工程而言,沉降(变形)控制条件与承载力控制条件并不完全协调,承载力控制是将极限承载力除以安全系数(二次折减)得到承载力特征值。

通过上述,桩基承载力控制与桩基沉降控制的不一致性,深厚黄土地基具有很强的非线性特性,桩-土之间的相互作用对于沉降影响很显著所以,黄土桩基产生相应量值的沉降变形是必须的,也是可控制的。

光伏电站支架基础一般较短,取具有代表性的桩长 10 cm, 20 cm 研究,由图 3 及 4 可知,整个试验分为以下六个阶段。

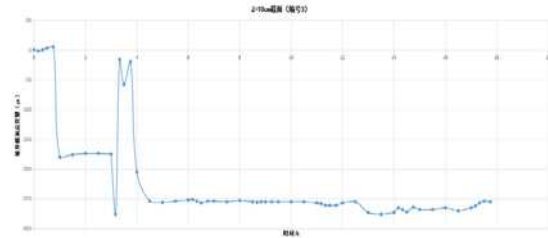


图 3 桩身截面应变随时间变化图 (-t) (Z = 10 cm)

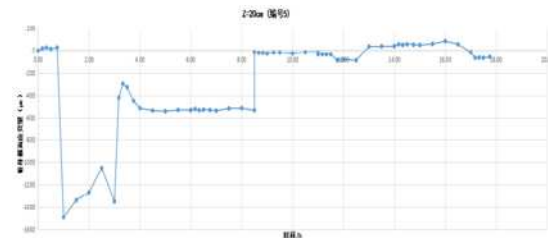


图 4 桩身截面应变随时间变化图 (-t) (Z = 20cm)

1. 应变增长阶段

应变随着荷载的增加会逐渐增大。

2. 应变降低阶段

在前期荷载施加以后,桩体的应变增长了一部分,同时桩周土也达到了固结和压缩。

3. 弹性等应变沉降阶段

随着荷载的继续施加,虽然荷载总量是越来越大,但是桩土截面的应变量变化幅度不大,基本上遵循一个等应变状态。

4. 突变阶段

随着荷载的继续增大,桩体周围土体的摩阻力由于相对运动已经发挥到某一个极限状态。

5. 塑性等应变沉降阶段

后期,随着荷载的继续增大,桩体与桩周土共同作用,共同变形。

6. 桩基失效阶段

外部荷载继续增大,当增大到某个程度,桩土之间产生明显的滑移,摩阻力变小或失效。

从空间(随 z 的变化)层面来看,随着阶段性加载过程,桩体应变和应力与桩体竖向深度的变化规律为由于分阶段加载对测量数据的干扰,整个测量数据局部跳跃性较大,寻找规律不太容易。为了研究问题的方便考虑,特选择(4.0 h ~ 8.0 h)阶段进行宏观规律的研究: $z=10 \text{ cm}$ 处,桩体绝对应变区间为 [200 ~ 250]; $z = 20 \text{ cm}$ 处,桩体绝对应变区间为 [400 ~ 600]。由此可知,桩体应变和应力总体而言,顶部小,中部较大,下部较小。

三、结束语

试验表明,随着阶段性加载过程,桩体应变和应力与桩体竖向深度的变化规律为整个测量数据局部跳跃性较大,寻找规律不太容易。为了研究问题的方便考虑,特选择(4.0

h ~ 8.0 h) 阶段进行宏观规律的研究: z=10 cm 处, 桩体绝对应变区间为 [200 ~ 250]; z=20 cm 处, 桩体绝对应变区间为 [400 ~ 600]; z=30 cm 处, 桩体绝对应变区间为 [150 ~ 200]; z=40 cm 处, 桩体绝对应变区间为 [100 ~ 150]; z=50 cm 处, 桩体绝对应变区间为 [0.00 ~ 100]。由此可知, 桩体应变和应力总体而言, 顶部小, 中部较大, 下部较小。

参考文献:

[1] 张鑫. 大棚型日光温室性能及其应用技术研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.

[2] Hassanien R H E, Li M, Lin W D. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 54: 989-1001.

[3] Zhang L, Xu P, Mao J C, et al. A low cost seasonal solar

soil heat storage system for greenhouse heating: Design and pilot study [J]. Applied Energy, 2015, 156: 213-222.

[4] 黄小东, 姜涛, 梁宝建, 王鹏, 张超, 牛斌. 地面光伏电站管桩基础极限承载力的模拟计算 [J]. 太阳能, 2015(07): 37-39.

[5] 刘丰敏, 杜风雷. 光伏支架桩基础水平承载力计算方法与试验研究 [C]// 第十届深基础工程发展论坛. 0.

通讯作者: 王进玺, 1980年, 男, 甘肃白银人, 现任陇东学院土木工程学院讲师, 工学硕士。研究方向: 道路与桥梁工程。

基金项目: 甘肃省高等学校创新能力提升项目(2019A-118)。