输电线铁塔膨胀土基础原位静力载荷试验

付建华,党承华,张　冬,史长莹

(河北工程学院水利系,河北 邯郸　056021)

摘要:通过 12 次现场标贯试验、32 组室内试验对邯郸至石家庄 500 kV 输电线路工程膨胀土地区进行了较为详细的勘查和试验,在充分掌握试验场地工程地质概况的基础上,进行了 6 组膨胀土基础原位静力载荷试验,通过计算、分析、修正得到了膨胀土的比例极限、极限承载力、设计承载力和变形模量,为邯郸至石家庄 500 kV 输电线路铁塔基础设计与施工提供依据.

关键词:膨胀土;原位静力载荷试验;承载力;变形模量

中图分类号:TU41　　文献标识码:B　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0126-03

关于膨胀土中的基础原位下压还少见于文献,计算参数取值缺乏必要的经验和数据,规范规程中未做具体的规定[1].正在安全运行中的邯郸至石家庄(邯石)500 kV 超高压输电线路,穿越河北邯郸 20 km 的膨胀土地区[2].

为本工程铁塔基础设计之需要,也为今后膨胀土地基条件的铁塔基础设计提供参考,从 1999 年 2 月至 1999 年 7 月决定进行邯石 500 kV 输电线路工程膨胀土基础原位静力载荷试验.根据试验方案,先后进行了地基土的原位静力载荷试验,测试了极限下压荷载,进行了理论分析和计算,得到了膨胀土的比例极限、极限承载力、设计承载力和变形模量并提出了对工程实际应用有指导意义的参数,达到了预期目的.

1　试验场地土的特性

1.1　试验场地工程地质概况

根据沿线现场调查,膨胀土主要分布在邯石 500 kV 输电线路 J31—J33 及变电所附近.从其出露情况而言,膨胀土均有厚度不等的黄土状粉土覆盖,向下逐渐过渡到砂石岩层,覆盖厚度不同.

试验场地位于邯郸市西北部,丘陵向平原过渡地带的薛三陵村.为了探明地质情况,进行了详勘,共钻孔 8 个,总进尺 68.5 m,取样 32 个,标贯试验 12 次,室内试验 32 组,由试验资料(表 1)分析知,场地土层主要为膨胀土,属内陆冰湖沉积,沉积时代为新第三纪上新世(N2)到第四纪早更新世(Q1).试验场地出现的膨胀土类型,由上至下为:

a. 灰绿色膨胀土,主要分布在原位试验坑以南、地势较高处,层厚约 2.5 m,裂隙发育,探坑中可见脉状方解石,矿物成分以蒙脱石为主(占 32%),伊利石(占 8%)及高岭石(占 12%)次之,该层土呈饱和状,自由膨胀率为 55.2%,膨胀力为 68.0 kPa,收缩系数为 0.4,标贯 N63.5 为 16 击(该层的平均标贯击数),主要物理力学指标见表 1[3].

表 1　灰绿色膨胀土的特性指标

项目	黏粒含量/%	含水量/%	自由膨胀率/%	膨胀力/kPa	线缩率/%	体缩率/%	收缩系数
平均值	14.90	22.40	55.20	68.00	6.09	6.01	0.40
标准差	2.28	2.07	9.64	14.90	0.51	2.59	0.12
变异系数	0.15	0.09	0.17	0.22	0.09	0.43	0.31
统计个数	10	10	10	10	10	10	10

b. 黄褐色膨胀土,埋藏于灰绿色膨胀土之下,层厚约 2 m,个别位置夹极少量石英砂,裂隙发育,矿物成分以蒙脱石为主,伊利石及高岭石次之,该层土呈饱和状,自由膨胀率为 50.3%,膨胀力为61.5 kPa,收缩系数为 0.33,标贯 N63.5 为 19 击(该层的平均标贯击数),主要物理力学指标见表 2[3].

表 2　黄褐色膨胀土的特性指标

项目	黏粒含量/%	含水量/%	自由膨胀率/%	膨胀力/kPa	线缩率/%	体缩率/%	收缩系数
平均值	15.20	21.70	50.30	61.5	5.48	4.96	0.33
标准差	2.20	2.97	3.86	8.03	0.39	1.03	0.06
变异系数	0.14	0.13	0.08	0.13	0.07	0.21	0.18
统计个数	10	10	10	10	10	10	10

c. 红黄褐色膨胀土,埋藏于黄褐色膨胀土之下,未钻穿,层中夹少量铁锰结核,裂隙发育,矿物成分以蒙脱石为主(占 17%),伊利石(占 7%)及高

作者简介:付建华(1963—),男,副教授,天津人,从事水利水电工程教学与研究工作.

岭石(占15%)次之,该层土呈饱和状,自由膨胀率为50.3%,膨胀力为62.6 kPa,收缩系数为0.35,标贯N63.5为17击(该层的平均标贯击数),主要物理力学指标见表3[3].

表3 红黄褐色膨胀土的特性指标

项目	黏粒含量/%	含水量/%	自由膨胀率/%	膨胀力/kPa	线缩率/%	体缩率/%	收缩系数
平均值	15.10	20.90	50.30	62.60	5.53	5.37	0.35
标准差	1.74	3.73	3.86	12.90	0.37	1.83	0.10
变异系数	0.12	0.17	0.14	0.21	0.07	0.34	0.28
统计个数	12	12	12	12	12	12	12

试验场地中部以北仅表层约0.5 m出现灰绿色膨胀土,其下为黄褐色膨胀土,试验场地中部以南出露较全.

由试验可以看出,场地膨胀土膨胀潜势为弱.

1.2 试验场地土的初步评价

a. 试验场地地势较高,不存在大面积的积水问题,但是对于铁塔基础局部可能存在积水,试验按积水和不积水两种情况进行.

b. 场地膨胀土暴露于地表,地表可见宽度为10 mm左右的裂缝,均由地表膨胀土失水收缩引起.据调查,在雨水较大时裂缝会自动闭合,说明该地区的膨胀土具有明显的胀缩特性.根据室内渗透试验、现场试坑注水试验及现场调查,该地区的膨胀土的透水性是很微弱的.根据室内测试和现场调查,发现膨胀土干燥时很硬,承载力可达300~500 kPa,人工挖掘很困难,遇水后泥化,黏性很大,当地老百姓戏称这种土为"干了硬,湿了泞,不干不湿挖不动".其干缩使当地农房绝大部分产生裂缝,雨季裂缝宽度减小,旱季裂缝加大.观察发现该地区的膨胀土具有在水中迅速崩解的特性.由于膨胀土失水产生裂缝、遇水出现崩解、泥化,可使土体结构产生破坏,强度降低,所以现场施工开挖时应采取严格保护措施,防止土体遭受长时间的暴晒、风干、浸水或充水.

c. 根据《中国裂度区划分图》(1990)场区地震基本裂度为Ⅶ度.场地最大冻土深度为0.37 m.

d. 场地多年气象资料见表4,大气影响深度按4 m考虑.

表4 邯郸多年气象资料

月份	降水量/mm	气温/℃	蒸发量/mm	月份	降水量/mm	气温/℃	蒸发量/mm
1	3.9	-2.0	57.3	7	170.5	26.9	239.3
2	6.8	0.8	88.2	8	155.6	25.6	169.0
3	12.4	7.2	157.0	9	49.9	20.7	338.1
4	27.7	15.0	249.0	10	33.4	14.4	128.5
5	33.8	21.0	317.7	11	15.3	6.5	63.3
6	54.9	25.8	289.0	12	4.9	0.2	48.4
年总量					569.1		2144.8

e. 由上可知,场地膨胀土膨胀潜势为弱.

f. 试验场地土按其成因和性质属Ⅰ类膨胀土,根据标贯及室内试验,场地土的承载力约为300 kPa.

2 原位静力载荷试验

2.1 静力载荷试验的目的

静力载荷试验是地基土原位测试的一种,它直接测定土的力学性质,可在较大范围内测试土体,故测试结果远较土样更具代表性[4].试验目的在于确定地基土的临界荷载P_{cr}、极限荷载P_u,为基础设计提供地基土的承载力,为估算地基变形、确定地基土的变形模量E_0提供依据.

2.2 试验设备及仪器

本项试验使用的设备、仪器主要有:①承压板:厚30 mm,0.5 m^2方形钢板.②千斤顶:1 000 kN自动稳压千斤顶.③测力仪:500 kN传感器及自动测力仪.④钢梁:大型工字钢一架及中型工字钢若干架.⑤配重:每块为1t混凝土块,共65 t.⑥百分表:50 mm百分表若干块.静力载荷试验设备及安装见图1.

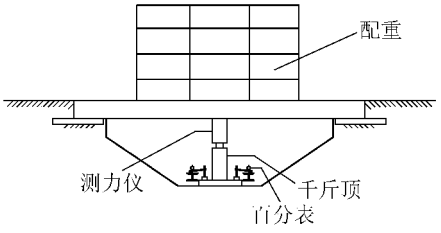


图1 静力载荷试验设备及安装图

2.3 试验方法及要点

试验方法采用相对稳定法.具体步骤如下[5]:

a. 试坑开挖.开挖试坑底面宽为1.5 m×1.5 m.为防止膨胀土失水开裂,破坏土体结构,使土体强度降低,影响试验精度,施工时需进行二次开挖.第一次开挖预留20 cm厚土不挖,待试验时再进行二次开挖.试验场地地下水位较深,安装设备时不考虑地下水的影响.

b. 设备安装.安装设备自下而上进行,承压板置于试坑中央,在承压板下铺垫2 cm厚的中砂,以保证承压板与土层平整接触.承压板中心、千斤顶中心、传感器中心、反力构架中心,在一条垂线上.

c. 沉降观测装置的固定.采用两根5 m长的工字钢上架设两块50 mm百分表,工字钢的支承点距承压板中心点2.5 m,以保证观测装置的固定点在土体变形所涉及的范围之外.

d. 荷载采用分级加荷.每级荷载增量按预计极限荷载的1/10,按每级25 kN施加.

e. 沉降稳定观测标准.一小时沉降不大于0.1 mm认为沉降稳定,可加下级荷载.

f. 试验土体出现极限压力的标志.荷载增加不

多，沉降急剧增加．认为土体已破坏，停止试验．

2.4 数据整理

静力载荷试验共设 6 个试点，对 $P \sim S$ 和 $S \sim t$ 的原始记录用平均值法（实质为修正后的沉降值与真值的离差平方积为最小）进行修正．修正公式[6]为

$$S' = S_0 + CP \tag{1}$$

$$C = \frac{N\sum P_i S_i - \sum P_i \sum S_i}{N\sum P_i^2 - \left(\sum P_i\right)^2} \tag{2}$$

$$S_0 = \frac{\sum S_i \sum P_i^2 - \sum P_i \sum S_i}{N\sum P_i^2 - \left(\sum P_i\right)^2} \tag{3}$$

式中：S' 为修正后的沉降值，mm；S_0 为直线方程在沉降 S 轴上的截距，mm；C 为直线方程的斜率，mm/N；P 为承压板单位面积上所受的压力，N；P_i 为荷载级的单位压力，N；S_i 为相应于 P_i 的沉降观测值，mm；N 为荷载级数．

界限压力值采用 2 倍沉降增量法确定，即当某级压力下的沉降增量 ΔS_{i+1} 大于或等于前级压力下沉降增量 ΔS_i 的 2 倍时，则取该前级压力为比例界限压力．采用破坏荷载的前一级荷载作为极限荷载 P_u，见表 5．

表 5 承载力汇总

试坑号	比例界限承载力 P_{cr}/(10^{-3}MPa)	极限承载力 P_u/(10^{-3}MPa)	试坑号	比例界限承载力 P_{cr}/(10^{-3}MPa)	极限承载力 P_u/(10^{-3}MPa)
1	556	610	4	304	348
2	309	338	5	460	465
3	273	312	6	304	340

2.5 变形模量

变形模量可根据实验数据由下式得出：

$$E_0 = (1 - \mu^2)\frac{P}{sd} \tag{4}$$

式中：E_0 为地基土的变形模量，MPa；μ 为地基土的泊松比，取 0.42；P 为承压板上的总荷载，N，取各比例界限对应值；S 为与荷载相应的沉降量，mm；d 为承压板直径，为方形板时取等代直径 $d = 798$ mm．

由以上公式计算出各试点的变形模量见表 6．土的变形模量平均值为 9.18 MPa．

表 6 各试点的变形模量

试坑号	P/(10^{-3}N)	S/mm	E_0/MPa	试坑号	P/(10^{-3}N)	S/mm	E_0/MPa
1	278	21	13.66	4	152	22	7.12
2	155	21	7.57	5	230	37	6.42
3	136	10	14.06	6	152	25	6.27

3 结 语

虽然膨胀土的地基承载力较高，对于一般建筑物而言地基承载力不是主要矛盾，但由于其裂隙发育且外界条件变化如雨季与旱季以及气温、季风的变化对其承载力大小都有影响，特别是随含水量的增加，承载力急剧下降[7]．因此，准确合理地评价膨胀土的地基承载力有着极其重要的意义，尤其是对于荷重大的建筑物．考虑将来塔基可能出现局部积水、膨胀土的含水量增加、承载力降低等原因，建议：设计塔基地基土的承载力取 0.28 MPa；地基土的变形模量可按 9.18 MPa 取用．

参考文献：

[1] 姜新佩．开挖回填式基础抗拔承载力的理论研究[J]．水利水电技术，2003，34(11)：40-42．

[2] 宿辉．膨胀土地基抗拔试验研究[J]．水利水电技术，2002，33(5)：47-49．

[3] 河北工程学院，河北省电力勘测设计研究院．邯石 500 kV 输电线路工程膨胀土地基浸水载荷试验研究报告[R]．1999．

[4] 刘特洪．工程建设中的膨胀土问题[M]．北京：中国建筑工业出版社，1997．

[5] SDGJ62—84，送电线路基础设计技术规定[S]．

[6] SDGJ112—87，膨胀土地区建筑技术规范[S]．

[7] 吴礼年．合肥地区膨胀土地基承载力的分析探讨[J]．岩土工程技术，2001(1)：31-33．

（收稿日期：2005-03-23 编辑：马敏峰）

（上接第 111 页）

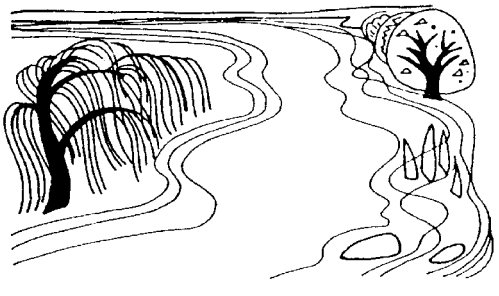
其成果有一定的实用价值，可推广应用．

参考文献：

[1] 王兴泰．工程与环境物探新方法新技术[M]．北京：地质出版社，1996：108-132．

[2] 汤洪志．高密度电阻率法二维成像技术及其在工程勘查中的应用[J]．工程勘察，2003(5)：62-64．

[3] 赵敏敏．高分辨率电阻率法 CT 探测技术在病险水库勘察中的应用[J]．中国水利，2004(1)：54-58．

[4] 郭建强．地质灾害勘查地球物理技术手册[M]．北京：地质出版社，2003：91-131．

（收稿日期：2005-05-19 编辑：熊水斌）