

砂土地层深基坑桩锚支护体系的受力与变形

赵文, 韩健勇, 李慎刚, 关永平

(东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110819)

摘 要: 通过对沈阳华强金廊城市广场项目基坑进行长期监测, 对该深基坑的桩顶水平位移、桩体水平位移及变形和锚索预应力值进行了分析, 探究了桩锚支护体系受力特点和变形规律。研究表明: 砂土地层基坑围护结构变形的时间效应不显著, 围护桩桩顶水平位移空间效应特征明显, 围护桩桩体水平位移呈两头小、中间大的鱼腹状变形, 桩体受锚索预应力影响产生类似简支梁变形曲线, 锚索受季节性冻胀影响显著, 且从上到下影响逐渐减小; 桩锚支护体系采用 600 mm 桩径的围护桩具有工程可行性, 控制变形能力较强。

关 键 词: 桩锚支护; 变形; 砂土地层; 冻胀; 空间效应

中图分类号: TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)04-0576-06

Stresses and Deformations in Pile-Anchor Support System of Deep Foundation Pit in Sandy Layers

ZHAO Wen, HAN Jian-yong, LI Shen-gang, GUAN Yong-ping

(School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China, Corresponding author: HAN Jian-yong, E-mail: hanlw@163.com)

Abstract: Based on the long-term monitoring data of the foundation pit of Golden City Square project in Shenyang, the horizontal displacements and deformations on the pile top and in the pile body, as well as the prestress in the anchors were analyzed in order to understand the mechanical characteristics and deformation laws in the pile-anchor support system. Results showed that time effect of deformation in the support system of the foundation pit is not significant in sandy layer. However the spatial effect of the horizontal displacements on the pile top is significant. The horizontal displacements of the pile body take on a fish belly shape with small values at the two ends and large values in the middle. Due to the effect of the prestress in the anchor, the deformation curve of the pile body is similar to that of a simply supported beam. Anchors are significantly affected by seasonal frost heavy, whose influence is gradually reduced from top to bottom. The 600 mm diameter supporting piles in the pile-anchor support system are capable of controlling the deformation, thus being feasible in this project and having a broad application prospect.

Key words: pile-anchor support; deformation; sandy layer; frost heavy; spatial effect

随着城市地下工程的不断增多, 地下空间开发的规模也越来越大, 产生了大量深基坑开挖工程。目前, 由于桩锚支护体系与内支撑及土钉支护相比具有控制土体变形能力强、施工方便、造价低等显著优势, 得到了持续广泛的应用。桩锚支护体系是由护坡桩、锚索(土层锚杆)、腰梁和锁口梁 4 部分组成, 他们之间相互联系、相互作用、相

互影响, 共同受力和变形, 形成一个有机的整体, 能很好地控制基坑土体变形^[1]。但是, 桩锚支护体系深基坑工程发生的事故也迅速增加, 造成了巨大的经济损失。对于深基坑开挖过程中基坑围护结构的研究不断扩大, 深基坑的支护设计也逐渐转向变形设计, 这种设计方法对于桩锚支护体系的变形特性提出了更高的要求。因此, 在深基坑开挖过程中对桩锚支护体系的受力、变形分析及

安全评价显得至关重要^[2-7]。

文献[8]以兰州市庙滩子某深基坑工程为例,利用有限元软件 PLAXIS 进行模拟,并将计算结果与监测数据进行分析,两者基本吻合.文献[9]对深基坑开挖进行有限元模拟,分析基坑变形与地表位移的关系,提出预测地表位移变化的方法.文献[10]针对台北软土地区,给出了软土条件下基坑变形特性.文献[11]采用线性拟合控制图法对深基坑桩锚支护体系的稳定性进行评价,及时发现异常点,可保证基坑的安全稳定性.结合工程实测资料对围护结构的围护效果和变形特性进行分析,为深基坑桩锚支护体系设计和施工提供了依据.现有文献表明大量深基坑工程中多采用直径 800 或 1 200 mm 的大直径桩作为围护桩,本工程围护桩为直径 600 mm 的长螺旋压灌桩,在现有工程中较为少见,其变形特点有别于大直径围护桩.

本文结合沈阳华强金廊城市广场项目深基坑工程,通过对监测数据的研究分析,获得砂土层深基坑桩锚支护体系的受力、变形规律,为今后类似工程提供依据.

1 工程概况

沈阳华强金廊城市广场项目基坑位于沈阳市和平区青年大街的西侧,南一经街的东侧,西滨河路和十二纬路之间的地段.华强金廊城市广场项目基坑分两期开挖,一期基坑是十三纬路以南的场地基坑,二期基坑尚未开挖.一期基坑占地面积约为 33 548.1 m²,拟建建筑物为地下 5 层,基坑开挖深度为 23.1 m,局部基坑开挖深度为 14.9 m,地下 2 层.根据场地的岩土工程勘察报告,基坑所处的地层参数见表 1.由表 1 可以看出,基坑内土层为砂性土.

表 1 土层物理力学参数
Table 1 Physical and mechanical parameters of soil strata

层号	土层名称	层厚/m	容重 (kN·m ⁻³)	内摩擦角 (°)
1	杂填土	4.6	16.66	10
2	中粗砂	0.5	19.11	30
3	砾砂	16.9	19.60	36.4
4	中粗砂	3.1	19.11	33.4
5	圆砾	20.9	20.58	37.8

一期基坑西侧为南一经街,距基坑 9.7 m,南一经街对面为会所、青年变电所及住宅楼,会所距基坑边最近为 22.8 m,青年变电所距基坑边的距离为 26.4 m,住宅楼距基坑最近为 24.2 m.南侧为沈阳市地税局,最近处距离基坑边为 32.1 m.东侧为青年大街,距离基坑 37.6 m.基坑周边建筑物较多,地下管线复杂,距离地铁隧道较近,周边环境复杂,对基坑变形的要求更高.

基坑支护结构采用长螺旋压灌桩结合预应力锚索的桩锚支护体系,桩间土挂网喷混凝土保护.根据场地及地质条件,基坑采用直径 $\phi 600$ mm 间距 1 100 mm 的长螺旋压灌桩,桩长为 27 和 17.4 m.基坑共设 7 排预应力锚索,南侧局部区域设 3 排.预应力锚索采用高强度低松弛 7 根直径 $\phi 5$ mm 的钢绞线,锚索与水平向夹角为 15°,锚索孔位允许偏差为 100 mm.锚索成孔直径为 150 mm.桩锚支护具体设计参数见图 1.

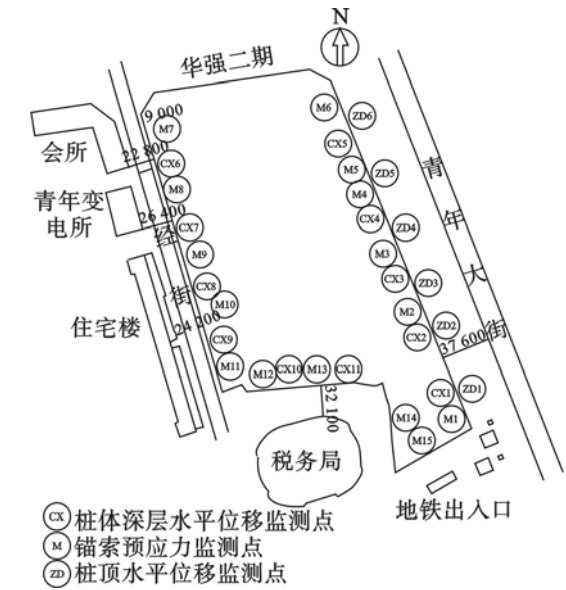


图 1 基坑平面图及测点布置图 (mm)
Fig. 1 Layout of foundation pit and location of monitoring points (mm)

在基坑周围布置桩体深层水平位移测点,即测斜管 CX1~CX11.每隔 30 个桩位安装一排锚索计,每排对应锚索层数布置 7 层,局部布置 3 层,用来测量锚索预应力.具体布置方式见图 2.

2 监测结果分析

2.1 桩顶水平位移

由于基坑开挖面积较大,一次性开挖会造成青年大街一侧基坑壁临空面过长,对基坑的稳定性造成一定的影响.因此,最终采用分段开挖出土

的方式进行施工,将 ZD5 以北 40 m 范围内的土保留,把基坑分隔成南北 2 个小基坑,大大缩短了

基坑临空面长度,起到了良好的支撑作用,提高了基坑的安全性和稳定性.

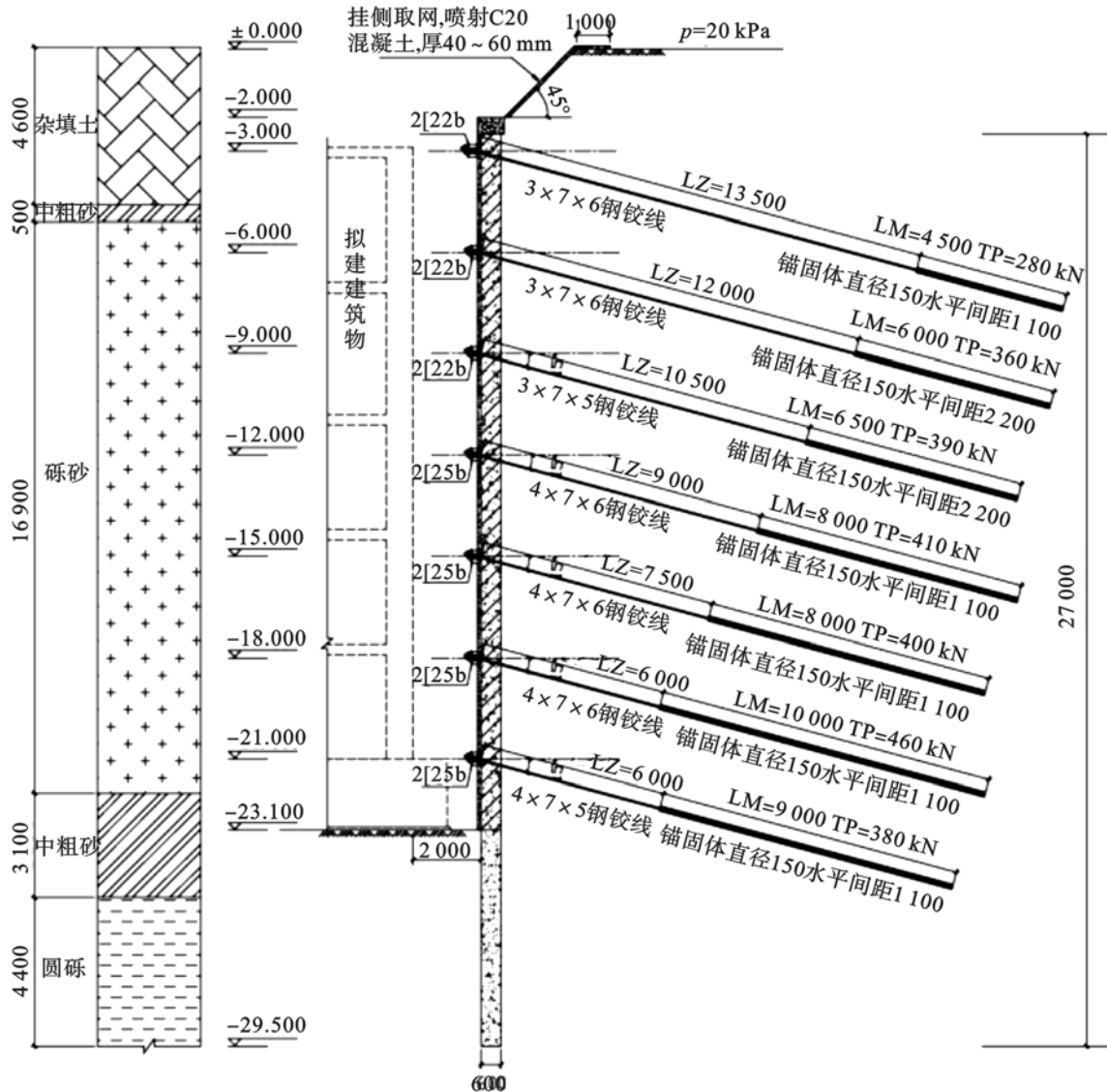


图2 基坑支护结构示意图(mm)

Fig. 2 Schematic diagram of foundation pit support structure (mm)

本文选取基坑东南侧 5 处 (ZD1 ~ ZD5) 桩顶水平位移测点的监测数据进行整理分析. 基坑东南侧区域基坑壁较长, 易发生支护结构的过大变形, 邻近青年大街一侧围护桩桩顶最大水平位移达到 30.69 mm, 基坑西侧和南侧围护桩桩顶水平位移为 19.91 和 9.64 mm.

该区域在 2012 年 11 月末到 2013 年 1 月初进行开挖出土工作, 基坑开挖到第四层时进入冬休期. 由图 3 可以看出, 在基坑开挖过程中桩顶水平位移迅速增大, 之后到 4 月中旬增长缓慢. 这与软土地层有较大差别, 软土具有流变性, 使得围护结构和周围土体具有明显的时效性.

针对每层土体开挖后的桩顶水平位移监测值进行整理分析, 得到各个工况 (开挖 1 ~ 6 层分别

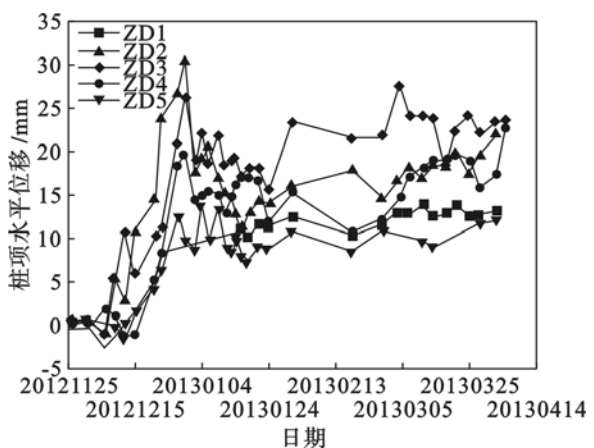


图3 桩顶水平位移监测结果

Fig. 3 Monitoring results of horizontal displacements at pile top

为工况1~6)下桩顶水平位移的空间效应,见图4.图中曲线是用正态分布拟合得到的,各工况下的桩顶水平位移拟合曲线表现出较好的规律性:最大位移值出现在基坑中部区域,中部两侧的桩顶水平位移值随距离的增大而减小.基坑开挖初期,围护桩受土体开挖影响范围较小,桩顶水平位移主要集中在基坑中部80 m范围内;随着开挖深度增加,围护桩变形区域不断扩大,基坑边角区域桩顶水平位移比逐渐增大,受空间效应影响,基坑中部区域位移最大.

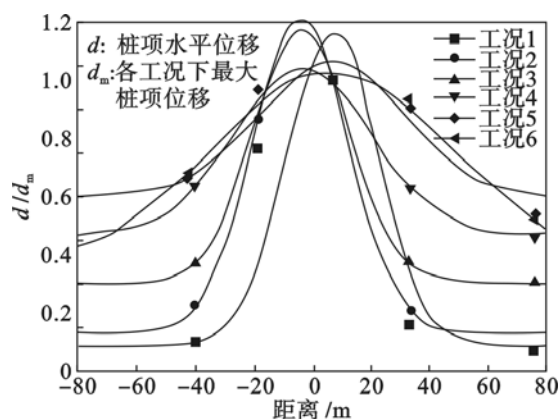


图4 桩顶水平位移的空间效应
Fig. 4 Spatial effect of horizontal displacements at pile top

此外,值得注意的是,由于ZD2测点后方堆放大量钢筋及混凝土模板,桩后地面荷载超重,使围护桩桩顶产生大量位移,ZD2位移速率达到4.3 mm/d,超出了3 mm的桩顶水平位移速率控制标准.地面超载撤除后,测点水平位移变形趋于正常.

2.2 桩体水平位移

本文选取布置在基坑东侧和南侧的测斜管2(CX2)和测斜管11(CX11)的数据进行整理分析.得到了各个工况(施工1~7道锚索分别为工况1~7)下的桩体深层水平位移曲线,见图5.

从图中可以看出,基坑在开挖至第一道锚索时,桩体水平位移值较小,且位移曲线呈线性分布;随着基坑开挖深度不断增加,位移值开始增大,且开挖面以上产生较大位移.围护桩底部由于入土较深,周围土体受开挖扰动较小,故桩体水平位移值很小.桩体总体变形呈两头小、中间大的鱼腹状.

CX2是埋设在桩后土体内的测斜管,距基坑支护桩的水平距离为2 m,CX11是埋设在桩体内的测斜管.文献[1]表明,桩后土体测斜管变形小于对应围护桩的变形.但由于在CX2处10 m范

围内,第四层锚索上方没有及时挂网喷护,基坑暴露时间过长,导致该处桩间土脱落严重,使得桩后土体向基坑内移动,因而CX2测得的水平位移值较真实值偏大.CX2和CX11两根测斜管测得对应桩体深层水平位移最大值分别为28.03和16.65 mm,最大位移值出现在围护桩中部的某个位置.桩体水平位移均未超出50 mm的变形控制标准,桩锚支护体系控制变形的效果显著.

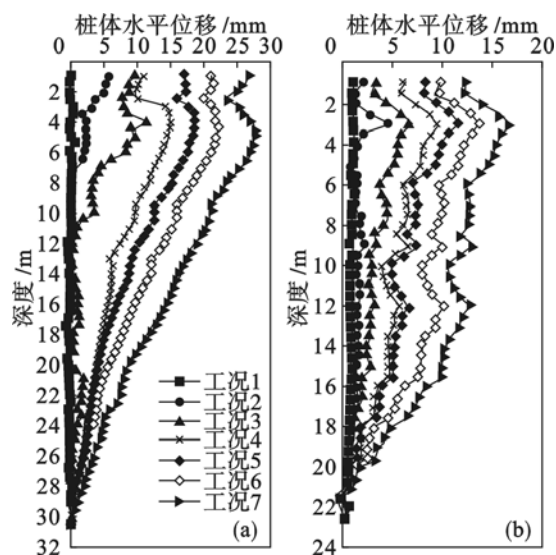


图5 不同工况桩体水平位移曲线
Fig. 5 Horizontal displacement curves of pile body under different conditions
(a)—CX2; (b)—CX11.

2.3 锚索预应力

图6为各剖面锚索预应力曲线及对应的温度变化曲线.从12月1日起气温明显下降,一直持续到2013年4月1日,最低气温达到 -28°C .随着温度的降低,锚索预应力增大趋势明显,分析原因为冻胀影响.其中,M14测点第一排锚索在冻胀期间从93 kN增加到129 kN,增幅最大值为36 kN,增长39%;M2第一排锚索在冻胀期间从71 kN增加到126 kN,增幅最大值为55 kN,增长77%.从图中可以看出,各剖面第一道锚索预应力增幅最大,从第一道锚索向下,锚索预应力变化幅度依次降低,冻胀影响时间依次减少.各排锚索预应力至12月30日增大至峰值,冻胀影响持续近60 d,3月1日后随着气温回升,锚索预应力缓慢降低.锚索在锁定后的3~7 d内预应力损失较明显,锚索预应力损失范围为2.53~41.88 kN,为初测预应力值的3.3%~36.3%,平均损失为14.6%.锚索预应力前期损失较大,逐渐趋于稳定.分析原因为锚索体系的回弹变形以及锚墩周围土体变形引起的.锚索预应力张拉会造成上层

锚索的预应力减小,但这种现象不显著,预应力减小值较小。

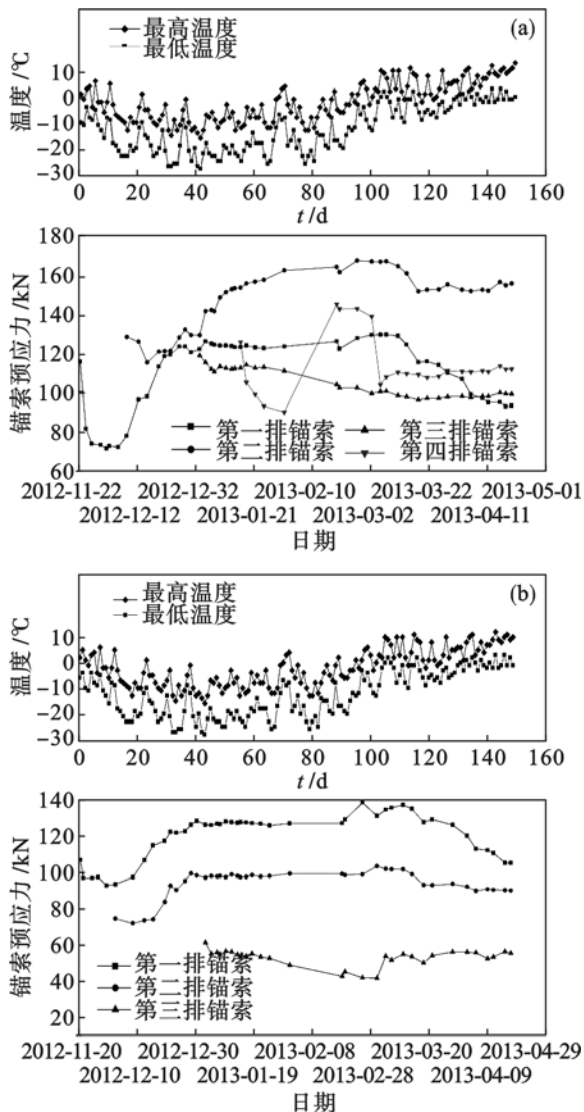


图6 锚索预应力与温度变化曲线

Fig. 6 Curves of prestress and temperature in anchors
(a)—M2; (b)—M14.

2.4 锚索拉力与支护桩的关系

在桩锚支护体系中,锚索与支护桩相互作用,形成一个共同受力和变形的整体. 锚索的约束使桩体受力成为近似连续梁的结构体系,大大改善了桩单独作用时悬臂结构的受力状态,同时各道锚索的约束也对桩体变形产生了影响. 由图7可以看出,支护桩桩体变形整体呈现两头小、中间大的鱼腹状变形趋势,但由于锚索的存在,桩体深层水平位移出现类似简支梁受力的位移曲线分布. 由于围护桩采用直径600 mm的灌注桩,小桩径使得桩体抗弯刚度较小,从而导致桩体的变形受锚索预应力影响较为显著.

锚索预应力除了对桩体变形和受力产生影响外,沿锚索长度方向对其周围地层也会产生影响,

从测桩体水平位移测点CX2的位移曲线可以看出,CX2为埋置在桩后土体内的测斜管,其变形同样受到锚索预应力影响,但影响较小.

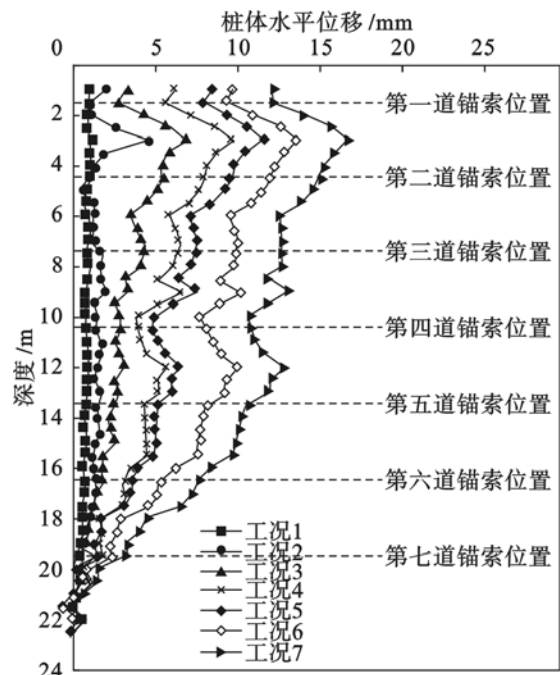


图7 桩体水平位移与锚索预应力关系

Fig. 7 Relationship between horizontal displacement of pile body and prestress in anchors

3 结 论

1) 基坑桩顶水平位移值的改变主要发生在基坑开挖阶段,围护结构变形的时间效应并不显著. 围护结构变形的空间效应明显,基坑中部区域位移较大,边角区域位移较小,并且随着开挖深度增加,围护桩变形区域从中间开始向两边逐步扩大.

2) 基坑锚索预应力受冻胀影响显著,增幅最大值为55 kN,增长77%. 由于冻胀造成的锚索预应力增大有可能使锚索拉力超过其承载力设计值. 因此,在设计阶段考虑冻胀荷载影响是十分必要的,同时应严格控制地下水位高度以及渗漏水源,以减小冻胀作用影响.

3) 通过对锚索预应力值的大量观测,发现锚索张拉后初期预应力损失较大,平均为初测预应力的14.6%,后期锚索预应力逐渐趋于稳定.

4) 桩体水平位移曲线表现出两头小、中间大的鱼腹状变形规律,受锚索预应力影响呈现类似于简支梁变形特性,围护桩最大位移值为28.03 mm,满足基坑变形的控制标准,直径600 mm的围护桩在桩锚支护体系中控制变形能力显著,具有良好的应用前景.

(下转第595页)