

蒙古国某深基坑安全越冬保温防护技术研究

胡敏红, 刘磊, 岳文泽, 史晓飞, 张叶

(建设综合勘察研究设计院有限公司, 北京 100007)

摘要:在实际工程中,通常存在一些规模较大,施工工期较长,需要越冬的基坑。而基坑的安全越冬,必须做好保温防护工作。本文依托蒙古国首都乌兰巴托市某建筑深基坑工程,对深基坑安全越冬保温防护技术开展研究,通过采用B2级聚苯板对基底土进行保温防冻;采取搭设暖棚的方式对基坑侧壁渗漏区域进行保温;采用电伴热,外加岩棉的保温措施,使基坑正常降水。根据现场实际施工情况,以上的保温防护技术对基坑安全越冬是有效的,并可为今后基坑工程安全越冬的保温防护提供借鉴。

关键词:深基坑工程;安全越冬;保温防护;B2级聚苯板;电伴热

中图分类号:TU47 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)04-0103-07

Research on cold-insulation and protection for safety overwintering of deep foundation pits in Mongolia

HU Minhong, LIU Lei, YUE Wenzhe, SHI Xiaofei, ZHANG Ye

(Comprehensive Institute of Geotechnical Investigation and Surveying Limited Company, Beijing 100007, China)

Abstract: In practical construction, there are usually some foundation pits with large scale, long construction period and are overwintering. Therefore, the work of proper cold-insulation and protection needs to be done. Based on a deep foundation pit project of a building in Ulaanbaatar, the capital of Mongolia, this paper studies the cold-insulation and protection technology for safety wintering of deep foundation pits. B2 grade polystyrene board is used to insulate and prevent freezing of the soil at the bottom of the pit. Greenhouse was built to keep the leakage area on the side wall of the foundation pit warm. Measures of electric heat tracing and insulation with rock wool are adopted to ensure normal dewatering of the foundation pit. The actual construction situation confirmed the effectiveness of the above technology, which can provide reference for the insulation and protection of safe overwintering of foundation pit projects in the future.

Key words: deep foundation pit engineering; safe overwintering; cold-insulation and protection; B2 grade polystyrene board; electric heat tracing

0 引言

蒙古国地处北纬 $41.7^{\circ}\sim 51.6^{\circ}$,冬季为11月到次年4月,年平均最低气温约 -36°C 。在实际的工程中,通常存在一些规模较大,施工工期较长,需要越冬的基坑^[1]。而基坑在越冬过程中,由于温度降低,会使基坑底面地基土及侧壁出现不同程度的冻胀^[2]。基底处地基土一旦冻胀,会造成地基土扰动

且地基承载力下降^[3];基坑侧壁冻胀,不仅会使支挡结构出现较大变形,也会造成桩间护壁开裂^[4-5]。因此严寒地区深基坑越冬保温防护关系到整个工程项目的安全性、可靠性和稳定性^[6-7]。

本文依托蒙古国首都乌兰巴托市某建筑深基坑工程,根据现场施工现状,从基坑底部防冻、基坑侧壁防冻及冬季降水维持3个方面进行保温防护研

收稿日期:2023-05-30;修回日期:2023-06-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.04.014

第一作者:胡敏红,女,汉族,1990年生,工程师,地质工程专业,硕士,长期从事岩土工程勘察设计技术工作,北京市东直门内大街177号,18811794733@163.com。

引用格式:胡敏红,刘磊,岳文泽,等.蒙古国某深基坑安全越冬保温防护技术研究[J].钻探工程,2023,50(4):103-109.

HU Minhong, LIU Lei, YUE Wenzhe, et al. Research on cold-insulation and protection for safety overwintering of deep foundation pits in Mongolia[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4): 103-109.

究^[8-9],保证基坑安全越冬。

1 工程概况

1.1 基坑概述

蒙古国首都乌兰巴托市某建筑基坑平面形状呈“凸”字形,平面尺寸约为 65×60 m,基坑面积约 2970 m^2 ,基坑周长约为 232 m 。基坑大面积开挖深度为 16.4 m ,局部深坑开挖深度达 20.65 m 。基坑西北侧为办公楼(Max tower),地上13层,地下1层;东北侧是公寓,地上3层,条形毛石基础;西侧为一条约 7 m 宽的道路,道路西侧为博物馆,地上3层,条形毛石基础。

本工程基坑支护采用护坡桩+预应力锚索支护结构,分为6个支护区段(见图1)。地下水控制采用坑外管井降水。

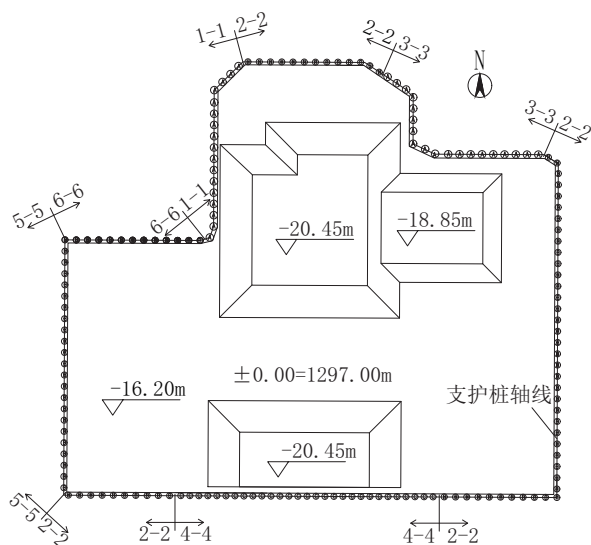


图1 基坑支护桩平面布置

Fig.1 Layout plan of support pile of the foundation pit

1.2 场地地层及水文地质条件

场地埋深 45 m 范围内的土层按照其土性类别差异共划分为6个工程地质层,自上而下分别描述如下:

人工填土层(tQ_{IV}):浅黄—黑褐色,以粘土质砾为主,含建筑垃圾,土层厚度 $0.8\sim 1.5\text{ m}$ 。

第四系:

①含砂粘土质砾(apQ_{III-IV}):浅黄色,冲洪积土,土层厚度 $1.8\sim 21.1\text{ m}$,冻结深度 3.51 m 。

②级配良好砾(apQ_{III-IV}):浅黄色,级配良好的

冲积砾石,石块分布较宽,土层厚度 $1.2\sim 5.6\text{ m}$,冻结深度 3.51 m 。

③级配良好砂—粘土质砂(apQ_{III-IV}):浅黄色,冲洪积土,级配良好,土层厚度 $1.8\sim 1.9\text{ m}$,冻结深度 2.99 m 。

④含砾石粘土质砂(apQ_{III-IV}):棕至淡黄色,冲洪积土,土层厚度 $1.8\sim 21.1\text{ m}$,冻结深度 2.46 m 。

上第四系一下白垩系:

⑤含砾石粘土质砂(LK_I):珍珠灰至白灰色,含砾石的粘土质砂来源于湖泊,无钻孔穿透该层,最大揭露厚度 26.5 m ,冻结深度 2.46 m 。

本场地共发现2层地下水,含水层均为含砂粘土质砾层。第1层水初见水位埋深 $5.5\sim 7.0\text{ m}$,稳定水位埋深 $5.1\sim 6.5\text{ m}$,含水层厚度约为 $1.5\sim 3.3\text{ m}$ 。第2层水水位埋深为 $9.7\sim 13.5\text{ m}$,含水层厚度约为 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ 。

2 基坑越冬前工程现状

2.1 基坑土方开挖现状

基坑越冬前,整体已开挖至 -16.2 m 标高,基坑内剩余总土方量虚方约 3600 m^3 。基坑东侧局部区域完成垫层施工。此时坑底地层为①含砂粘土质砾和②级配良好砾,场地冻土深度按 3.60 m 考虑。基坑局部已挖至基底的设计标高,部分区域现状开挖标高至基底设计标高的土层厚度 $< 3.60\text{ m}$ 。本基坑越冬时,若不对基坑底部采取防冻措施,基底土层将发生冻结,来年开春时基底土又将融化。基底土的冻融,将会造成地基扰动,使地基承载力下降。

2.2 基坑支护现状

基坑越冬前,护坡桩、冠梁已经全部施工完成。4-4支护区段第5道锚杆未完成,5-5区段、6-6区段的第4道锚杆正在施工中。基坑侧壁共有5处明显渗漏区域。有的区域侧壁渗漏最高点已至第1道腰梁,有的区域流水情况严重。基坑越冬,天气寒冷,侧壁渗漏将导致冻胀问题,使基坑的安全性降低^[10],进而对周边建筑物产生影响。

2.3 基坑降水现状

本工程地下水控制采用管井降水。降水井沿基坑四周布置在护坡桩外侧,降水井深度为 25.0 m ,数量为21口。基坑越冬前,降水井已全部施工完成,且随着基坑开挖,持续抽水,保证地下水水位至少低于开挖面 0.5 m 。排水管道材料为碳钢,管径为 300

和150 mm两种规格,冬季降水,若排水管道中的水结冰,则会导致整个排水系统无法正常工作,影响地下水的抽降。

3 基坑越冬保温防护技术研究

3.1 保温防冻方案的选取

由于基坑所在地年平均最低温度约 -36.0°C ,现场余土不足以满足场地地基保温覆盖的要求,为保证基坑安全过冬,需采用保温材料对基底土进行保温防冻。我国东北地区冬季基坑底部大多采用珍珠岩进行保温覆盖,以保证基底土不被冻结。本项目位于蒙古国,项目所需的施工材料均从我国运送,蒙古国11月份将进入冬季,根据项目进度,基坑越冬准备时间只有1个月。而现场有用于建筑墙体保温的B2级聚苯板,该材料也具有保温防冻功能。考虑到造价成本及工程进度,本工程最终选用B2级聚苯板对基底土进行保温防冻。

基坑侧壁之前渗漏严重的区域,施工现场已搭设暖棚,该方式对于基坑侧壁渗漏区的防冻有很好的效果,且造价成本低,施工操作简单。本次对于新出现的渗漏区域,沿用现场搭设暖棚的方式,保证侧壁渗漏区越冬时不会发生冻结。

冬季降水维持采用电伴热,外加岩棉(厚度25 mm)保温的措施。和传统的蒸汽及热水伴热相比,电伴热具有以下显著优点:(1)电伴热装置简单,发热温度均匀;(2)节约能源,电伴热一般都实行自动控制,可以根据所伴热物体的温度变化,而自动调节消耗的能量;(3)适用范围广;(4)容易控制,可通过温度控制系统;(5)施工简便,日常维护量小。

3.2 基坑底部防冻措施

膨胀珍珠岩导热系数为 $0.070\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})^{[11]}$,聚苯板导热系数为 $0.039\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})^{[12]}$,可见聚苯板的保温性能远优于膨胀珍珠岩,为保险起见按照膨胀珍珠岩的参数进行计算^[13],聚苯板对土壤冻结影响系数暂按 $\beta=3.8$ 计算。场地冻土深度按3.60 m考虑。

本工程基坑面积约 2970 m^2 ,基坑内剩余总土方量虚方约 3600 m^3 。依据各区域施工现状及基础埋深,分区域对基底采取保温措施(见图2)。

3.2.1 I区及I₁区

已完成垫层和塔吊部分(I区)的区域面积约 490 m^2 ,考虑施工方便,将I₁区与I区同时处理。

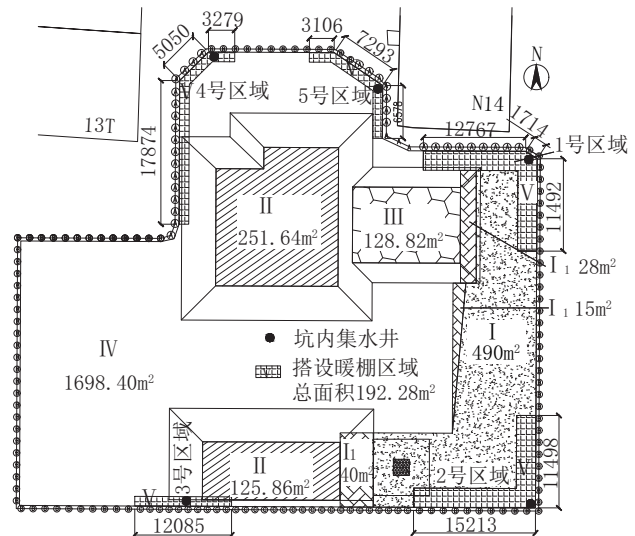


图2 基底保温分区及侧壁暖棚搭设区域

Fig.2 Sub-areas for cold-insulation and areas with warm shed on side

I₁区域面积约为 83 m^2 ,用土和木模板将I₁区整平至与I区同样标高(-15.95 m)。然后覆盖聚苯板,聚苯板应错缝搭接,拼接严密。聚苯板上覆盖棉毡,棉毡上覆盖塑料布,确保融化雪水不进入聚苯板内。塑料布上方覆盖5 cm土或多层板,作为压重及防火材料。垫层及塔吊基础处保温断面见图3。

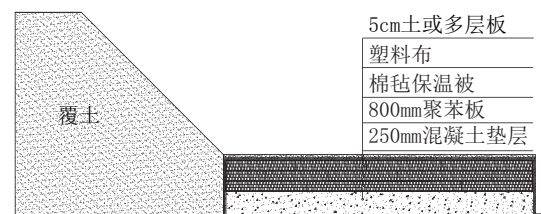


图3 垫层及塔吊基础处保温断面

Fig.3 Cold-insulation section of cushion and tower crane foundation

I区及I₁区聚苯板厚度计算:本场地冻土深度按3.60 m考虑,I区及I₁区垫层厚度250 mm,塑料布顶覆土或多层板厚度50 mm,合计300 mm, $H=3.6-0.3=3.3\text{ m}$,聚苯板对土壤冻结影响系数按 $\beta=3.8$ 计算,则 $h=H/\beta=3.3/3.8=0.868\text{ m}$ 。综合考虑聚苯板上覆棉毡、塑料布等保温措施及聚苯板保温效果优于膨胀珍珠岩,取聚苯板厚度80 cm,可满足I区及I₁区冬季基底不受冻^[14]。

3.2.2 II区

II区为基坑北侧及南侧加深区域,该区域坑底

标高为 -20.45 m ,区域面积为 377.50 m^2 ,现状坑底标高为 -16.20 m ,与该区最终开挖基底标高差为 $20.45-16.20=4.25\text{ m}$,大于冻土深度 3.60 m 。所以Ⅱ区不需要采取保温措施。

3.2.3 Ⅲ区

Ⅲ区为基坑东北侧加深区,该区基底标高为 -18.65 m ,区域面积为 128.82 m^2 ,现状基底标高为 -16.20 m ,与该区最终开挖基底标高差为 $18.65-16.20=2.45\text{ m}$,由于冻土深度为 3.60 m ,需覆土厚度为 $3.60-2.45=1.15\text{ m}$,覆土方量约 $1.15\times 128.82=148.15\text{ m}^3$ 。

3.2.4 Ⅳ区

除上述区域及搭设暖棚区域(Ⅴ区)外,其余为Ⅳ区。该区域均已开挖至基底,基底标高为 -16.20 m ,面积约 1698.4 m^2 ,按坑内剩余总虚土方量 3600 m^3 减去Ⅲ区覆土量 148.15 m^3 计算,该区域可覆土层厚度约为 $(3600-148.15)/1698\approx 2.00\text{ m}$ 。本场地完成覆土整平后,覆盖木模板作为聚苯板保护层,模板上方覆盖聚苯板。聚苯板上方覆盖棉毡和塑料布进行保温。覆盖塑料布搭接长度为 $50\sim 100\text{ cm}$,塑料布上方覆盖 5 cm 土或多层板,作为压重及防火材料。该区域保温断面图见图4。

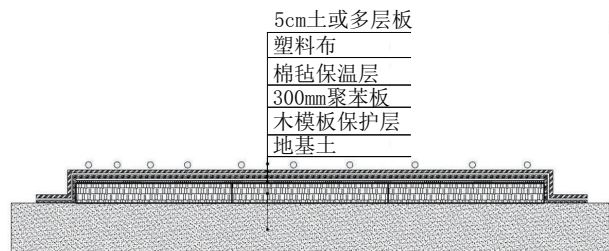


图4 覆土及西侧未开挖至基底区域保温断面图

Fig.4 Covering and treatment of the west side without excavation to the base

Ⅳ区聚苯板厚度计算如下:本场地冻土深度按 3.60 m 考虑,Ⅳ区先覆盖 2.00 m 厚虚土,松散土对土壤冻结影响系数 $\beta=1.2^{[15]}$,塑料布顶覆土或多层板厚度 50 mm ,所以 $H=3.6-2\times 1.2-0.05=1.15\text{ m}$,聚苯板对土壤冻结影响系数按 $\beta=3.8$ 计算,则 $h=H/\beta=1.15/3.8=0.302\text{ m}$ 。综合考虑聚苯板上覆棉毡、塑料布等保温措施及聚苯板保温效果优于膨胀珍珠岩,取聚苯板厚度 30 cm ,可满足Ⅳ区冬季基底不受冻。

3.2.5 Ⅴ区

Ⅴ区为坑内搭设暖棚区域,该区域地基土位于暖棚内,无需再采取其他保温措施。

3.3 基坑侧壁防冻措施

基坑侧壁渗漏区域,采取搭设暖棚的方式进行保温,暖棚高度应高于漏水点。暖棚搭设具体位置参见图2。

(1)1号区域:暖棚搭设总长约 26 m ,该区域侧壁渗漏最高点至第2道腰梁,暖棚应搭设至第2道钢腰梁(约 -8.00 m)处,搭设底标高为 -15.95 m ,搭设高度约 8.00 m 。

(2)2号区域:暖棚搭设总长约 27 m ,该区域侧壁渗漏最高点至第1道腰梁,暖棚应搭设至第1道钢腰梁(约 -5.00 m)处,搭设高度约 11.00 m 。由于2号区域东南角处流水情况严重,为防止溅入砖胎模内部的水流入垫层,在暖棚脚手架内侧砌筑厚 120 mm 、高 200 mm 的挡水台,同时在此处砖胎模底部间隔 3 m 设置 $240\times 200\text{ mm}$ 的流水口,将溅出的水有序的导入排水沟内集中抽走,保证垫层处的保温效果(见图5)。

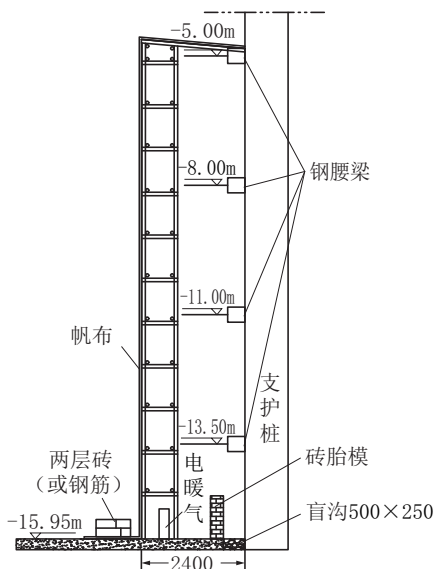


图5 2号区域侧壁渗漏部位防护措施

Fig.5 Protection for the leakage part of the foundation pit in the 2# area

(3)3号区域:暖棚搭设总长约 12 m ,该区域侧壁渗漏最高点至第2道腰梁,暖棚应搭设至第2道钢腰梁(约 -8.00 m)处,搭设底标高为 -16.2 m ,搭设高度约 8.20 m 。

(4)4号区域:暖棚搭建总长约26 m,该区域侧壁渗漏最高点至第3道腰梁,暖棚应搭建至第3道钢腰梁(约-11.00 m)处,搭建底标高为-16.2 m,搭设高度约5.20 m。

(5)5号区域:暖棚搭建总长约17 m,该区域侧壁渗漏最高点至第2道腰梁,暖棚应搭建至第2道钢腰梁(约-8.00 m)处,搭建底标高为-16.2 m,搭设高度约8.20 m。

暖棚内使用电暖气进行取暖,设置专箱、专线接入电暖气,接入电暖气数量根据暖棚大小进行调整,保证保温棚内温度不低于0℃。同时在暖棚内放入酒精温度计,对暖棚内进行温度监测。为保证暖棚钢管架整体稳定,暖棚钢管架与腰梁或支护桩应有可靠连接,尤其是较高的部位。

3.4 冬季降水维持措施

本工程排水管道材料为碳钢,管径为300 mm和150 mm两种规格,冬季降水,排水管道采用电伴热,外加岩棉(厚度25 mm)保温的措施,确保降水的正常进行。电伴热散热量的计算及部分参数的取值参考国家建筑标准设计图集(图集号03S401)中电伴热设计说明章节及供货方提供的产品说明书,本工程选用的电伴热功率为 $Q_m=25\text{ W/m}$ 。

电伴热散热量计算公式:

$$Q = q \Delta t K C E$$

式中: Q ——每米管道的散热量, W/m ; q ——管道的散热量, 1°C/mh ; $\Delta t = T_w - T_H$; T_w ——维持温度,取 5°C ; T_H ——环境最低温度,取 -36°C ; K ——保温材料导热系数,取0.044; C ——管道材料修正系数,取1; E ——安全系数,取1.2。

经过计算,管径300 mm的排水管,每米管道采用5根伴热电缆直线敷设;管径150 mm的排水管,每米管道采用3根伴热电缆直线敷设。

4 基坑保温防冻期间监测数据分析

本工程基坑监测内容包括基坑水平位移监测、竖向位移监测、锚索轴力监测,基坑西北侧办公楼(Max tower)及东北侧3层公寓楼水平和沉降位移监测。基坑越冬时间为11月至次年4月,本次数据分析采用10月至次年5月的监测数据。基坑监测点平面布置详见图6。

4.1 基坑水平及竖向位移监测分析

基坑水平及竖向位移监测点共有15个,本次选

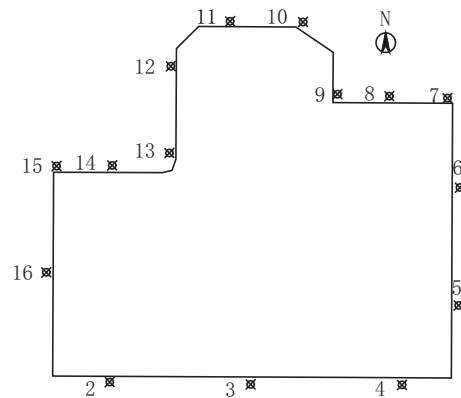


图6 基坑监测点平面布置

Fig.6 Layout plan of monitoring points of the foundation pit

取2、6、9、13、15号的监测数据进行分析。根据监测报告,水平及竖向位移监测变形累计控制值的绝对值均为35 mm,由图7和图8可以看出,水平及竖向位移监测数据累计值均未超出控制值。

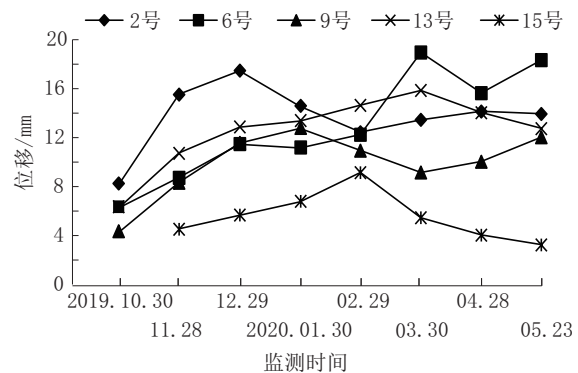


图7 基坑水平位移监测累计量

Fig.7 Accumulated value of horizontal displacement monitoring for foundation pits

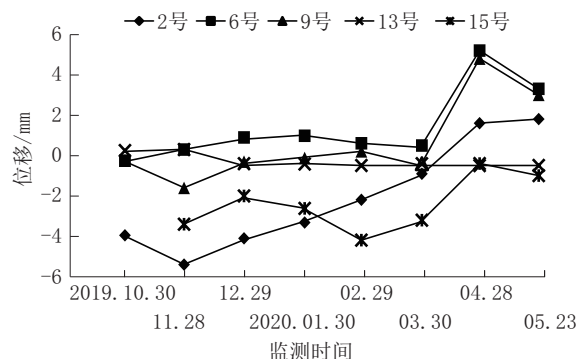


图8 基坑竖向位移监测累计量

Fig.8 Accumulated value of vertical displacement monitoring for foundation pits

4.2 基坑锚索轴力监测分析

本基坑安全等级为一级,1-1/第2道锚杆轴向拉力标准值 $N_k=516$ kN,3-3/第2道锚杆 $N_k=250$ kN,3-3/第3道锚杆 $N_k=426$ kN,4-4/第3道锚杆 $N_k=463$ kN。锚索轴力控制值 $\leq 0.65f_{\text{锚}}$ (锚杆锁定值)或 $\geq 0.8R_k$ (锚杆极限抗拔承载力标准值),根据图9可知,锚索轴力监测值均未超出控制值。

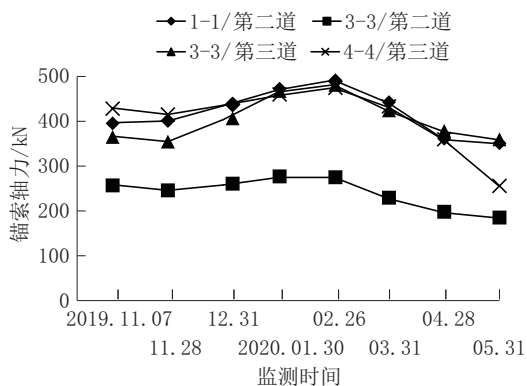


图9 基坑锚索轴力监测值

Fig.9 Monitoring values of axial force of anchor cables in foundation pits

4.3 基坑周边建筑物水平及沉降位移监测分析

基坑东北侧3层公寓楼水平及沉降位移监测点共4个,基坑西北侧办公楼(Max tower)水平及沉降位移监测点共1个。根据监测报告,水平及沉降位移监测变形累计控制值的绝对值均为35 mm,水平及沉降位移监测数据累计值均未超出控制值。

5 基坑越冬保温防冻实施效果

(1)本工程采用B2级聚苯板对基底土进行保温防冻,次年五月复工时,先将基底开挖至设计标高,然后均匀布置钎探点,对地基土进行钎探测试,钎探结果表明越冬过后地基土均匀,接着进行地基土静载荷试验,试验结果表明,越冬后地基土承载力依然满足要求。说明采用B2级聚苯板对坑底土保温防冻是有效的。

(2)基坑侧壁渗漏区域采取搭设暖棚的方式进行保温。基坑过冬期间,桩间护壁大面积裸露在空气中,其后的桩间土出现冻结,并产生冻胀,造成桩间护壁开裂。次年春季复工,将受损、开裂、脱落及存在安全隐患部位的桩间护壁混凝土清除,重新喷射了混凝土。根据监测结果,基坑水平、竖向位移,

锚索轴力,基坑东北侧3层公寓楼及西北侧办公楼水平及沉降位移监测均正常,监测数据均未超出控制值。说明对基坑侧壁采取的越冬措施保证了基坑及周边建筑物的安全。

(3)基坑冬季降水维持采用电伴热,外加岩棉(厚度25 mm)保温的措施。根据降水井内水位的监测,井内水位越冬期间均维持在-17.5~-18.0 m,满足降水维持要求。说明保温措施有效。

6 结语

本工程采用B2级聚苯板对坑底土壤进行保温防冻;采取搭设暖棚的方式对基坑侧壁渗漏区域进行保温;采用电伴热,外加岩棉的保温措施,确保了基坑降水的正常进行。

该基坑历经寒冬,第2年春季复工时,基坑及周边建筑物各项监测指标均满足相关规范要求。说明以上的保温防护技术对基坑安全越冬是有效的。该技术可为今后基坑工程安全越冬的保温防护提供借鉴。

参考文献(References):

- [1] 刘守花. 哈尔滨某越冬桩锚支护深基坑安全性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
LIU Shouhua. Study on the safety of a deep foundation pit with pile-anchor supporting through winter in Harbin [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016.
- [2] 史迪菲. 季冻区基坑支护结构冻胀防护措施研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2017.
SHI Difei. Research on the frost heaving protection measure of retaining structure on foundation pit in season frozen area [D]. Changchun: Jilin Jianzhu University, 2017.
- [3] 李鲁忠. 冬季土体冻胀对基坑支护工程的影响及处理措施[J]. 技术园地, 2012, 30(10): 75-78.
LI Luzhong. Foundation pit support project affected by freezing earth expanding in winter and deal with measure [J]. Technical Scope, 2012, 30(10): 75-78.
- [4] 李欣, 马瑞杰. 水平冻胀力对越冬基坑稳定性的影响[J]. 工程地质学报, 2000(S1): 296-298.
LI Xin, MA Ruijie. The influence of horizontal frost heave force on the stability of overwintering foundation pits [J]. Journal of Engineering Geology, 2000(S1): 296-298.
- [5] 高鹏飞, 章昌保, 杨永新. 包头某越冬基坑桩锚支护结构受力变形监测分析[J]. 内蒙古科技大学学报, 2014, 33(4): 394-396.
GAO Pengfei, ZHANG Changbao, YANG Yongxin. The deformation monitoring and analysis of a winter foundation pile anchor retaining structure in Baotou [J]. Journal of Inner Mongolia

- University of Science and Technology, 2014, 33(4):394-396.
- [6] 王家伟. 季节冻土地区深基坑桩锚支护体系安全性研究[J]. 交通科学与工程, 2012, 28(1):52-55, 83.
WANG Jiawei. Study on the security of an ultra-deep foundation pit with the pile anchor support structure in the seasonal frozen earth[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2012, 28(1):52-55, 83.
- [7] 申向东, 姬宝霖, 王丽萍, 等. 在冻胀力作用下的挡土墙可靠性分析[J]. 工程力学, 2002(S1):217-221.
SHEN Xiangdong, JI Baolin, WANG Liping, et al. Reliability analysis of retaining walls under frost heave force[J]. Engineering Mechanics, 2002(S1):217-221.
- [8] 赵连平. 深基坑越冬冻害的预防及处理[J]. 中国科技信息, 2015(5):130-131.
ZHAO Lianping. Prevention and treatment of winter freezing damage in deep foundation pits[J]. China Science and Technology Information, 2015(5):130-131.
- [9] JGJ 118—2011, 冻土地区建筑地基基础设计规范[S].
JGJ 118—2011, Code for design of soil and foundation of building in frozen soil region[S].
- [10] 崔高航, 刘守花, 王兆亮. 哈尔滨市某桩锚支护深基坑工程监测[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(7):144-150.
CUI Gaohang, LIU Shouhua, WANG Zhaoliang. Excavation monitoring of a pile anchor support deep pit in Harbin[J]. Journal of Building Structures, 2016, 37(7):144-150.
- [11] 编委会. 建筑施工手册(第五版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012:726-727.
Editorial Committee. Building Construction Manual (5th Edition)[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 726-727.
- [12] 中国建筑标准设计研究院. 外墙外保温建筑构造(10J121)[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010:95.
China Institute of Building Standard Design & Research. External Insulation Building Construction of Exterior Wall (10J121)[M]. Beijing: China Planning Press, 2010:95.
- [13] 黄晓燕. 关于冬期基坑选择珍珠岩进行保温覆盖的方法实际应用[J]. 工程科技, 2007, 61(3):268-269.
HUANG Xiaoyan. On the practical application of the method of selecting perlite for thermal insulation covering of foundation pit in winter[J]. Engineering Technology, 2007, 61(3):268-269.
- [14] 董嘉莲, 周松, 倪自玉, 等. 严寒地区桩锚深基坑越冬保温防护技术研究[J]. 地基与基础, 2018, 45(4):105-106.
DONG Jialian, ZHOU Song, NI Ziyu, et al. Research on winter thermal insulation protection technology for deep foundation pit of pile-anchor in severe cold area[J]. Building Technology Development, 2018, 45(4):105-106.
- [15] JGJ/T 104—2011, 建筑工程冬期施工规程[S].
JGJ/T 104—2011, Specification for winter construction of building engineering[S].

(编辑 王文)