

砂土地基基坑的冻结施工设计

欧阳振华

(北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

【摘要】 冻结法一般是利用人工制冷的方法使软土及不稳定含水地层土体冻结, 从而起到加固和防水作用的一种施工方法。以复杂工程地质条件下砂土地基基坑为例, 详细介绍了冻结法处理基坑的设计过程。

【关键词】 冻结法; 冻土墙; 砂土; 冻胀; 设计

【中图分类号】 TU 472.9

Construction Design of Sandy Soil Foundation Pit with Freezing Method

【Abstract】 Generally, freezing method is a construction technique which apply artificial coolant to freeze soft soil and instability soil which contains water or moisture in order to make the working face stable and waterproof. Giving the sandy soil foundation with complex geological conditions as an example, introducing the whole design process of how to stabilize soft soil foundation with freezing method.

【Key Words】 freezing method; frozen wall; sandy soil; frost heaving; design

1 工程地质概况

某高校逸夫教学楼位于地下水丰富、水位较高的砂、砂砾层地基上。砂、砂砾层厚20~35 m, 且密实、渗透性大, 渗透系数为20~40 m/d。拟开挖的基坑周围都是建筑物。以前建造的临近逸夫楼的科技楼采用传统的地基开挖方法, 因地下水流速较大, 水位较高, 基坑在开挖过程中出现流砂现象, 处理花费很多, 却没有取得理想的效果。因此, 教学楼决定采用冻结法进行开挖施工。

2 冻结法

2.1 冻结法原理

冻结法是利用液态氮或二氧化碳膨胀的方法, 或利用普通的机械制冷设备与一个封闭的液压系统相连接, 通过热量交换, 使软而湿的土形成有规则的冻土结构体—冻结壁, 冻结壁具有相当的强度, 可以抵抗周围的水土压

力, 隔绝地下水与工作面的联系, 工程在冻结壁的保护下进行施工。

2.2 冻结法的优点^[1]

- (1) 适应性强;
- (2) 支护结构灵活, 易于控制;
- (3) 具有良好的隔水性能;
- (4) 对环境无污染, 符合环保要求。

3 冻结技术设计

3.1 冻土室内实验^[1~4]

为掌握拟开挖基坑地基冻土力学性能, 指导冻结工程设计与施工, 按煤炭部行业标准《人工冻土物理力学性能试验》(MT/T 593—1996)进行了试验。

3.1.1 冻土强度试验

试验进行了常温(20℃)土样强度试验和-5℃, -10℃, -15℃三个温度水平下的冻土强度试验, 试验结果见表1。

表 1 地基土在不同温度下力学性能试验结果

温度 / $^{\circ}\text{C}$	抗压强度 /MPa	粘聚力 /MPa	内摩擦角 / $(^{\circ})$	弹性模量 /MPa
20	0	0.001~0.005	22	0
-5	5~8	0.85	25.5	130~222
-10	8~11	1.07	28.6	203~460
-15	11~15	1.22	30.2	310~670

从表 1 可以看出,土体降温冻结以后,其强度增大到常温下强度的几十倍甚至上百倍。

3.1.2 冻土蠕变试验

冻土单轴蠕变满足:

$$\epsilon_t = A(T) \sigma^B t^C \quad (1)$$

式中: ϵ_t 为轴向应变; $A(T)$ 为与时间相关的蠕变系数, $\text{MPa}^{-B} \cdot \text{h}^{-C}$; σ 为轴向应力, MPa; t 为加载时间, h; B 为应力指数; C 为时间指数。

对地基土体,在 -8°C 、 -12°C 两个温度水平下进行单轴蠕变试验,测得其参数见表 2。

表 2 地基土冻土单轴蠕变试验参数

温度/ $^{\circ}\text{C}$	$A(T)/(\text{MPa}^{-B} \cdot \text{h}^{-C})$	B	C
-8	1.21×10^{-2}	1.5	0.3
-12	5.95×10^{-2}	1.5	0.3

冻土单轴蠕变试验系数与三轴蠕变系数具有如下关系:

$$A(T)' = 3^{-(m+1)/2} A(T) \quad (2)$$

式中: $A(T)'$ 为三轴蠕变参数, $\text{MPa}^{-B} \cdot \text{h}^{-C}$; $A(T)$ 为单轴蠕变参数, $\text{MPa}^{-B} \cdot \text{h}^{-C}$; m 为冻土强化系数, $m = 1/B$ 。

3.2 确定冻结深度

根据工程地质资料、基坑深度和断面形状及尺寸和冻土墙结构形式确定冻结深度深于基坑底 4 m, 基坑深 8 m, 冻结深度为 12 m。

3.3 确定冻土墙平均温度

基坑为平面冻土墙,全断面自上而下开挖,每挖深 2 m 进行一次现浇砼支护,每段开挖时间为 7 d 左右,在冻结壁暴露的时间内,必须有较低的冻土平均温度,以保证冻土墙的强度和变形能力,设计平均温度为 -12°C 。

3.4 冻结技术设计

3.4.1 地压计算

地压的计算根据下式确定:

$$p = \gamma HA + p_w \quad (3)$$

或
$$p = 13 H \quad (4)$$

式中: γ 为土体重度, kN/m^3 ; H 为土层厚度, m; A 为土侧压系数, $A = \tan^2(45 - \varphi/2)$; φ 为土体内摩擦角, $(^{\circ})$; p 为地压, kPa; p_w 为水压, kPa。

确定冻结壁承受的最大地压为 105 kPa。

3.4.2 确定冻结壁厚度

假定冻结壁厚度是均质的,按厚壁筒粘弹性变形理论设计计算冻结壁厚度:

$$e = D \left[\sqrt{\frac{\sigma_s}{\sigma_s - 2p}} - 1 \right] \quad (5)$$

式中: e 为冻结壁厚度, m; D 为基坑开挖半径, m; σ_s 为冻土 20 d 抗压强度, $\sigma_s = \sigma_0 (T/T_0)^{-\xi}$, MPa; σ_0 为冻土瞬时无侧限抗压强度, MPa; T 为每段高开挖和砼支护时间, h; T_0 为冻土瞬时无侧限抗压强度对应的破坏时间, h; p 为地压, MPa; ξ 为冻土试验参数。

根据计算,取冻结壁厚度为 1.8 m。

3.4.3 冻结孔的布置

设计采用小孔间距,大口径冻结管作为主体四周冻结器。共布置 327 个孔,其中 100 个周边孔,孔间距 1.5 m,均匀布置;周边孔距离基坑开挖线 1.0 m,采用 $\phi 159 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 无缝钢管;主体中间布置冻结孔 219 个,孔间距 2.0 m,均匀布置,冻结管采用 $\phi 127 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 无缝钢管,冻结深度比主体深 4.1 m;在角点及中间位置处采用 $\phi 127 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 无缝钢管布置 8 个测温孔。其布置详见图 1。

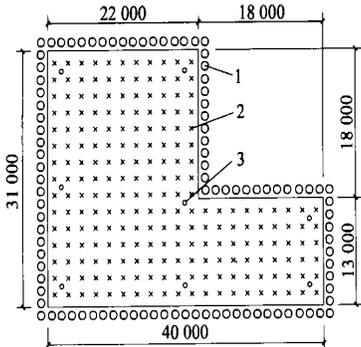
3.4.4 确定冻结需冷量

设计盐水温度为 $-25^{\circ}\text{C} \sim -28^{\circ}\text{C}$,冷量损失取 20%,则总冷量:

$$Q = 1.20(Q_{\text{孔}} + Q_{\text{护筒}})$$

$$Q_{\text{孔}} = 168 \text{ 万, kJ/h}$$

护筒的冷量消耗包括纵向传热和横向传热,依据传到的毕渥准则原理推算。



1—周边冻结孔 2—主体冻结孔 3—测温孔

图1 冻结孔的布置 (单位:mm)

毕渥系数为: $B_i = \alpha\delta/\lambda = 0.018 \rightarrow 0$

说明钢护筒的传热以横向传热为主,纵向传热可以忽略不计,而横向传热在土层中为有效传热,在设计时的20%冷量损失中已经包括该部分冷耗。故 $Q_{\text{护筒}}$ 可以忽略不计,即:

$$Q = 1.20 Q_{\text{孔}} = 1.20 \times 168 = 201.6 \text{ 万, kJ/h}$$

3.4.5 选择冻结设备

根据设计盐水温度和以上计算所得的冻结所需冷量,选择3台KY-2KA20C型螺杆制冷机组,工作时开动2台,另外一台备用,设计工作情况下制冷量226.8万kJ/h,满足工程需要。

3.4.6 预测冻结时间

冻结交圈速度按50mm/d计算,则主体冻结孔交圈时间为20d,估计冻结时间达到30d时,冻结壁厚度基本达到1.8m,主体部分基本冻结,可以开始基坑开挖。

3.4.7 冻土墙暴露面的绝热保护

设计提供两种方案,一是喷一层砣,它不但可以作为隔热材料,还可以作为承载结构的一部分;二是把旋喷桩和冻结法结合起来,利用旋喷桩隔热,同时与冻土墙联合护壁。两种设计方案可以根据现场施工条件选择。

3.5 抑制冻胀防止下沉

冻土墙解冻时脱水,往往会引起土体体积收缩,使地层产生下沉,对周边建筑物有很大的破坏作用,而要开挖的基坑位于四面都是建筑物的空地上,在施工过程中必须采取措施,

保证周边建筑物的安全,因此,抑制冻胀防止下沉成为必须解决的问题。

为了解决这一问题,设计采取以下措施:

1)降低冷却温度,增大冻结速度。冻土墙平均温度采用 -12°C 。

2)冻结范围控制在必要的最小限度。基坑与周边建筑物的最小间距5.2m,设计冻结壁厚度1.8m,冻结孔距基坑开挖线1.0m,冻结厚度没达到影响周边建筑物的范围。

3)利用钻孔使地基产生沉降和松动,与冻胀抵消部分变形。

4)根据下沉量,采用从地层中注入水泥浆的方法,解决冻融下沉问题。

4 结语

1)按照设计方案施工,基坑在冻结30d后开挖,开挖过程中没有出现较大的弯曲和变形,保证了开挖安全进行。

2)基坑处理费用比科技楼地基处理费用节省约50万元,而且安全可靠,保证了工程的顺利完工。实践表明,在特殊条件下,采用冻结法处理是一种经济安全的方法。

3)对周边建筑物进行沉降监测,结果表明周边建筑物的沉降符合要求,没有产生较大的不均匀沉降,说明防止冻胀产生的下沉的设计是成功的。

4)对高含水量的不稳定软弱地层的地下工程,采用冻结法处理,可以有效地起到加固和防水作用。

参 考 文 献

- 1 河海大学,江苏宁沪高速公路股份有限公司.交通土建软土地基工程手册.北京:人民交通出版社,2001
- 2 刘景政,杨素春,钟冬波.地基处理与实例分析.北京:中国建筑工业出版社,1998
- 3 杨平.冻结法用于深基坑坑壁维护的可行性研究.山东矿业学院学报,1996,15(4):12~16
- 4 曹光保,周芳.冻结法施工软土深基坑的可行性研究.淮南工业学院学报,2000,20(6):23~27

收稿日期:2003-05-29