

软土地基基坑开挖中土钉支护的应用

何承义¹, 张显军¹, 唐世杰²

(1. 黑龙江工程学院 土木工程系, 黑龙江 哈尔滨 150050; 2. 黑龙江北方有色建设有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046)

摘 要 土钉支护为一种用于土体开挖和边坡稳定的新型支挡结构, 其应用已经拓展到软土地基基坑开挖中, 根据工程实际并参照国内外应用研究现状, 论述了土钉支护应用在软土地基的设计、施工方法及对策。

关键词 基坑开挖 土钉支护 软土地基

中图分类号 :TU473.2 **文献标识码** :B **文章编号** :1672-7428(2005)05-0022-03

土钉支护近年来发展很快, 已成为一种重要的基坑支护型式, 它充分利用土体自身的强度, 通过在原位土体中设置钢筋等金属杆件(土钉), 分担土体所承受的外力和自重, 改善土体的受力情况, 并在开挖面构筑钢筋网喷射混凝土面层, 使土钉、面层和原位土体三者构成一个整体而共同工作。土钉支护具有施工方便、性能可靠和突出的经济特性及对周围环境影响小, 对场地土层的适应性强。因此, 土钉支护被广泛应用于基坑开挖工程中。

1 土钉的支护作用及工作原理

土体的抗剪强度较低, 抗拉强度可以忽略, 因而自然土坡只能以较小的高度(即临界高度)直立存在。当土坡直立高度超过临界值或坡顶面超载较大以及其它环境因素发生变化时(如土的含水量改变), 将引起土坡的失稳。为此常采用支挡结构承受侧压力并限制其变形发展(如排桩支挡结构、地下连续墙), 或采用对土体加固方法, 即通过对基坑四周土体的加固, 利用其自身重力挡墙原理, 可满足主动土压力要求。主要形式有: 水泥搅拌桩加固法、高压旋喷桩加固法、网状树根桩加固法、插筋补强法、土钉加固法等。

土钉加固法是由被加固土按一定长度与以分布密度放置于原位土体的细长金属杆件及附着于坡面的混凝土面板所组成。土钉的特点是沿通长与周围土体接触, 又群体起作用, 与周围土体形成复合土体。在土体发生变形的条件下, 通过与土体接触界面上的粘结力或摩擦力, 使土钉被动受拉, 并主要通过受拉给土体以约束加固, 使其稳定。

土钉的抗拔试验表明: 其拔出时的滑移产生摩阻力在土钉侧面紧贴锚固体的界面土膜处, 对于采用一次压力灌浆的土钉, 其不同土质中的界面摩阻力实测值 τ 为: 粘土 130 ~ 180 kPa, 弱胶结砂土 90 ~ 150 kPa, 杂填土 35 ~ 40 kPa, 淤泥则更低。

土钉支护技术的特性决定了其对土层有一定的依赖性, 现有的土钉支护技术规程规定其一般适用于可塑、硬塑或坚硬的粘性土, 胶结或弱胶结的砂、砂土和角砾、填土、风化岩层等。近年来, 我国工程专家对软土地基的土钉支护技术进行了大量的研究, 通过对常规土钉进行改进或对土体进行加固处理等方法也使土钉支护较好地应用于软土地基中。

2 土钉支挡体系的设计与施工

2.1 土钉支护的计算及布置

在方案布置阶段应根据基坑、边坡的几何尺寸来作为土钉的布置, 选择孔径、钉长、间距、土钉杆等的基本参数, 在施工图设计阶段还应验证土钉杆抗拉断裂和土钉锚固力极限状态以及土钉体系的整体倾覆、抗滑移稳定性。

在选定土钉的基本参数后, 在施工图设计阶段需要进行土钉支挡体系的内部、外部稳定分析。软弱土层抗剪强度低, 如果土钉间距较大则难以形成土拱效应, 土钉墙也难以形成一稳定整体, 因此软弱土层适宜适当缩小土钉的间距。

土钉抗拔力的计算: 在软土中, 土钉除了起加固作用外, 还起拉拔作用, 计算时除按规程的方法外, 还可以把土钉看作锚杆。

内部稳定分析: 需验算土钉杆抗拉断裂极限状

收稿日期 2005-02-28

作者简介 何承义(1962-)男(汉族), 辽宁锦州人, 黑龙江工程学院副教授, 路桥专业, 从事土木工程、公路桥梁、地基基础方面的教学与研究工作, 黑龙江省哈尔滨市道外区红旗大街 999 号。

态(在土压力作用下不使土钉端部产生过量的伸长或屈服)和锚固力极限状态(在土压力作用下,土钉内部潜在滑裂面后的有效锚固段应具有足够的界面摩阻力而不被拔出)。

外部稳定分析 在土体支挡体系内部稳定整体作用得到保证的条件下,它的作用类似于重力式挡墙,按常规重力式挡墙验算倾覆、滑移稳定性。凡是按一般概念将软土中土钉作为加固作用,采用短土钉支护就不能满足外部稳定性要求,土钉位移偏大甚至出现滑坡。故以增大土钉长度满足土钉抗拔力最好。

面层构造 土钉结构的面层虽不是结构的主要受力构件,但它是传力体系的一个重要部分,也起保证各土钉杆之间土体的局部稳定性,防止场地土体被侵蚀风化的作用。面层应在每一阶段开挖后立即设置以限制原位土体的位移并阻止原土的力学性质特别是抗剪强度的降低。

2.2 土钉支护的施工

土钉施工需分阶开挖,在开挖好的每一阶面上按下述步骤施工。

(1)成孔 根据设计要求的平面位置、孔深、下倾角、孔径选择合理的钻机、钻具。目前常用多节螺纹钻头干法成孔。

(2)清孔 采用 0.5~0.6 MPa 压力空气将残留及松动的废土清除干净。

(3)置筋 为确保钢筋置中,在钢筋上每隔 3 m 焊一个托架。

(4)注浆 在孔口外设置止浆塞并旋紧,使其与孔壁紧密贴合。由止浆塞上将注浆管插入注浆口注浆。为防止水泥砂浆在硬化过程中产生干缩裂缝,提高其防腐性能,保证浆体与周围土壁的紧密粘合,可掺入一定量的 U 型膨胀剂。为提高水泥砂浆的早期强度,加速硬化,可掺入速凝剂。

(5)披挂坡面结构 水泥砂浆达到设计强度,即可施工面层结构。

3 土钉支挡体系在软土地基应用中的对策

3.1 填土、淤泥计算参数及支护结构整体稳定系数

3.1.1 填土、淤泥计算参数

工程地质勘察报告往往无杂填土、素填土、淤泥等支护结构计算所需的重度(γ)、粘聚力(c)、内摩擦角(φ)等参数,可以统计大量的 γ 、 c 、 φ 参数后,得出应用地区的经验数据。经注浆加固处理后,上述土层的 c 、 φ 值提高 10%~30%,以杂填土 c 值提高明显。

3.1.2 整体稳定系数

支护结构计算最后获得整体稳定系数,条分法作稳定分析,整体稳定系数取 $K=1.2\sim 1.3$ 为宜,基坑深、土质差取高值,反之取低值;基坑支护施工期受大气降水、地下管道渗漏水及土体徐变等不良因素作用,设计时整体稳定系数宜增加 0.1~0.2。

3.1.3 地面荷载对基坑影响的分析

土钉支护设计前应对基坑周边地面荷载进行详细调查,尽量使地面荷载取值接近实际,对紧邻基坑边的建筑物基础埋深、距离、荷载值调查清楚。地面荷载值参加支护计算,是确定支护结构的重要数据。就是在离基坑边的距离大于基坑深度的建筑物荷载,以扩散角法则对基坑壁虽无直接影响,但其仍影响到基坑整体稳定性,降低稳定系数,所以支护设计时仍要进行验算其对整体稳定系数的影响程度。

3.2 无天然粘聚力的杂填土处理

无天然粘聚力的松散状杂填土,其破坏往往没有征兆,会突然塌下来,土钉支护在杂填土中发生塌跨事故屡见不鲜,所以对杂填土需先加固处理后开挖。采用注浆法处理杂填土,其粘聚力可从 0 提高到 10 kPa 以上,可降低杂填土渗透系数,提高其防渗能力。

3.3 基坑降排水

浅层潜水型地下水水面埋深浅(一般小于 1.5 m),主要受大气降水补给。采用注浆法组成防渗帷幕减少浅层地下水漏入基坑中,在基坑底布置排水沟,将坑水导入集水井,用水泵排至坑外。在坑壁设置泄水孔,使土体中水及早泄出,减少坑壁水压力。若施工期间适逢雨季宜在基坑四周做排水沟将雨水导至它处。深层微承压含水层(饱和状粉砂层等)采用井点降水,将地下水水位降至基坑底标高以下,对邻近建筑物应作回灌,达到动平稳,减少建筑物基础的沉降量。

3.4 时空效应的应用

3.4.1 空间效应

(1)改变基坑空间形状,缩短基坑边长,增加基坑角点,减小变形量。如将矩形改成八角形,减少支护工作量,减小长边变形。

(2)在场地条件许可的情况下,改一级放坡为二级台阶式放坡开挖,减小土压力,减少支护工作量,降低工程造价。

(3)场地无法满足土体放坡条件时,可以采取坑壁不同坡度开挖。如对上部松散状杂填土及软~流塑状淤泥质土采用缓坡,下部可塑~硬塑粘性土采用陡坡开挖。

3.4.2 时间效应

- (1)先注浆加固土体后,一般应需停歇养护 3 ~ 4 天,达到一定强度才能开挖。
- (2)一层喷锚支护施工结束,切忌立即向下开挖,应在其它地段开挖,养护 1 ~ 2 天才能向下开挖。
- (3)开挖坡面暴露应加快支护施工,一般要求坡面暴露后在 16 h 内完成支护施工,对未经加固的杂填土、淤泥质土宜在 8 h 内完成支护施工。
- (4)基坑开挖支护施工后,土体仍在徐变,要求在地下结构工程施工过程中及时夯实回填土。

3.5 基坑变形监测及应急措施

3.5.1 基坑变形监测

基坑开挖前在基坑边及邻近建筑物布置监测点,基坑开挖及支护施工期间每天监测(当有事故征兆出现时,应连续监测),通过监测结果的变化及时掌握变形情况及发展趋势,据此决定是否需要反馈设计和采取必要的措施。

基坑开挖必须分层分段均衡进行,且应留 0.3 ~ 0.5 m 的原状土用手工挖至坑底标高。在开挖过程中土体有较大变化的应调整支护结构。

3.5.2 加固措施

- 坡脚部位加固:尤其是坑底处于软弱土层时,底部以下的土体可能发生水平位移,通常在坑底 2 ~ 5 m 范围内考虑加固。
- 加固支护内侧坑底土:该法实际上是提高了坑底土的内摩擦角,从而提高了被动土压力,对增加支护的稳定性和减少位移有利。

渗水较大或开挖时直立困难土层的加固、防水措施:在基底是软弱土层,土的渗透系数较大时,应考虑保护支护周围环境安全并可减少土钉支护位移的方法。如搅拌桩、高压注浆形成阻水帷幕等加固。

3.5.3 应急措施

- 地面出现裂缝,顺裂缝注入水泥与水玻璃混合液,防止地表水灌入增加坑壁压力,地面用水泥砂浆抹平,在裂缝外侧布置钢筋钉,增加抗拉力,稳固变形土体。
- 水平位移达到警戒值,采用水平或斜支撑,在地下结构施工过程中,可采用脚手架加水平支撑,限制水平位移发展。
- 坡脚滑移,采用砂石草包堆叠坡脚,阻止坡脚继续滑移。
- 基坑底隆起,用砂石草包等增加坑底上覆荷载,平稳土压力,限制隆起。
- 下方数据
基坑底发生管涌,加强井点降水,降低地下水

位。

4 工程实例

哈尔滨市某工程 1 层地下室,基坑开挖深度 6 m,开挖深度内各土层物理力学指标如表 1 所示。地下水埋深 1.0 ~ 1.5 m,除人工填土外,其余土层渗透能力相对较差。

表 1 基坑开挖深度内各土层物理力学指标表						
土层名称	状态	天然重度 γ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 c /kPa	内摩擦角 φ ($^{\circ}$)	粘结强度 τ /kPa	厚度 h /m
人工填土	松散	18.0	12.0	10.0	35.0	2.4
淤泥质土	流塑~软塑	17.2	8.0	8.0	20.0	2.2
粉土	中密	20.0	15.0	26.0	80.0	1.4

土钉墙围护方案采用两套轻型井点设备降低地下水位。设计土钉长度 8 m,倾角 15° ,孔径 100 mm,内设一根 $\varnothing 22$ mm 钢筋,土钉采用全长锚固式压力灌浆,间距 1000 mm $\times$ 1000 mm,在基坑壁上布设 $\varnothing 6@250$ mm 单层双向钢筋网片,该网在基坑壁顶面翻边 0.8 m,用 $\varnothing 22$ mm、长 0.8 m 的短钢筋打入土中固定,间距 2 m,在钢筋网外侧加焊 $\varnothing 16@1300$ 加强筋,土钉顶端焊接 4 根 $\varnothing 22$ mm、长 0.20 m 的井字钢筋架,把钢筋网固定在土钉上,在钢筋网上喷射厚 80 mm、强度等级为 C20 的细石混凝土。

该项目基坑围护施工总工期 10 天。挖土基坑底部尺寸为 24.84 m $\times$ 84.36 m,基坑口部尺寸为 26.36 m $\times$ 84.36 m,布置土钉 512 根,施工中投入 2 台电动麻花钻机、1 台 SYB50/50 型液压注浆泵及 1 台 PC - V 型混凝土喷射机。施工质量、经济效益良好。

5 结语

近年来,虽然土钉支护技术应用在软弱地基上有些进展,但还缺乏可靠的经验数据,今后应加强测试数据的收集与研究。实践证明,如能认真对待并采取有效措施,做好设计、施工、监测、反馈环节,预先制定好抢险加固方案,土钉支护技术在软弱地基上应用会更成熟、更经济、更具市场竞争力。

参考文献:

[1] 陈肇元,崔京浩.土钉支护技术在基坑工程中的应用[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
[2] 黄日德.土钉墙原理与设计分析方法[J].防护工程,1998,(2):77-95.
[3] 郑坚.软土地基土钉支护的若干问题及对策[J].工程勘察,2004(6):32-35.
[4] CECS 96-97 基坑土钉支护技术规程[S].