

土钉和锚杆在基坑支护中的应用与比较

阮永芬¹, 郝建华², 王东¹, 牟杰¹, 张伟³

(1 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224; 2 中国有色金属工业昆明勘察设计院, 云南 昆明 650051;

3 云南省第六建筑工程公司 第五工程处, 云南 昆明 650046)

摘要: 随着地下空间被广泛应用, 基坑支护的设计和施工成为基本建设工程中日益突出的问题. 在众多基坑支护的设计与施工方案中, 土钉支护和锚杆支护是比较常用的两种不同的支护方式. 但在实际施工过程中, 经常把土钉支护和锚杆支护误看成是同一种支护方式. 本文根据理论以及具体的工程实例, 从多方面对两种支护方式进行分析比较.

关键词: 基坑支护; 土钉支护; 锚杆支护

中图分类号: TV 551 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)01-0061-04

Application and Comparison between Soil Nail & Anchor-Rod in the Foundation Pit

RUAN Yong-fen¹, HAO Jian-hua², WANG Dong¹, MOU Jie¹, ZHANG Wei³

(1 Faculty of Civil and Architecture Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China

2 Kunming Institute of Survey, Design and Research, Chinese Nonferrous Metal Industry, Kunming 650051, China

3 The No. 6 Architectural Company, Kunming 650046, China)

Abstract As the underground space is widely used, the design and construction of the foundation pit supports excavation becomes a crucial problem nowadays in the significant constructions. Among all the designs and construction plans of the foundation pit, soil nail and anchor rod supports excavation are two different types of support that are widely used in the construction. But in the real construction process, soil nail and anchor rod are often regarded as the same type of supports excavation. A comparison and analysis is made between these two different types of supporting method from different angles combined with practical examples.

Key words foundation pit supports excavation; soil nailing supports excavation; anchor rod supports excavation

0 引言

随着经济的高速发展, 城市建设用地日趋紧张, 建筑不断朝着高层空间和地下空间方向发展, 地下空间被广泛应用, 基坑的设计和施工成为基本建设中日益突出的问题. 同时基坑围护设计还不十分成熟, 施工管理往往不够规范, 绝大多数还是靠决策者的经验来确定.

在昆明量大而面广的工程项目中, 不少为含有一层地下室的多层或小高层建筑. 基础埋深一般是 5~8 m, 且多数地处闹市区, 周围环境复杂, 地下管网密集, 施工场地狭小, 业主对基坑支护费用控制又很紧. 对基坑若采用大开挖又受空间影响而无法施工; 如采用板桩围护, 打入或拔出时引起的土体扰动会给周围建筑带来严重影响; 用搅拌桩加围护桩的支护, 又因为成本过高, 有些业主不愿意投入. 针对此现状选用实用而价廉的土钉支护方案是合适的, 当然也有不少业主采用锚杆支护. 在实际施工过程中, 由于施工人员对两种支护方式的原理认识不多, 经常把土钉支护误看成锚杆支护, 认为土钉不过是小尺寸的锚杆而已. 本文结合昆明市一个具体的实际工程的基坑支护, 从工程的周边环境条件和本地的施工条件等方面, 对工

收稿日期: 2005-05-08 基金项目: 云南省高等教育教学、科研带头人经费资助; 云南省技术合同项目 (项目编号: 2004051); 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目经费资助 (项目编号: 2005PY01-36).

第一作者简介: 阮永芬 (1964.10~), 女, 硕士, 教授. 主要研究方向: 土动力学, 边坡工程, 深基坑支护.

程的可操作性、可靠性、经济性、地层适应性方面来对两种支护方式进行分析比较。

1 土钉支护与锚杆支护的作用机理

锚杆是一种受拉杆件。在土层中斜向成孔,埋入锚杆后灌入水泥浆(或水泥砂浆),依靠锚固体与土体之间的摩擦力、拉杆与锚固体的握裹力以及拉杆强度的共同作用,来承受作用于支护结构上的荷载。从工作机理来看,较好的土层中,锚杆以平衡不稳定土体的压力为主,在特殊不良地质中则以改造土层的物理力学性质为主。

土钉墙是用钢筋作为加筋件,依靠土与加筋件之间的摩擦力,使土体拉结成整体,并在坡面上喷射混凝土,以提高边坡稳定性。从工作机理来看,设置土钉旨在建立一种新的稳定地质体。

土钉墙特点:

- 1) 钢筋安置在无应力的土体中,只有土体受力后才使钢筋受力;
- 2) 通过土与加筋杆件的摩擦粘结而支撑钢筋应力,加筋区形成类似于重力式的挡土结构,用来支撑从不加筋土体传来的推力;
- 3) 结构面层在土钉墙中通常是喷射混凝土面层;
- 4) 钉体与土体是密不可分的,组成一个有机整体,共同作用,互为补充;
- 5) 土钉墙尽可能保持或提高了土体的自支承力,以及最大限度的利用基坑侧壁土体的自支承力;土钉墙协同工作强化了土体的自支承能力;
- 7) 土钉墙土体变形破坏是有级序的,在一点突破,随后扩展形成规模,导致基坑失稳。
- 8) 土体改造的重点放在突破部位。这里先确定最危险滑动面,然后再进行稳定验算。

2 土钉支护与锚杆支护的区别

在护壁过程中,土钉与锚杆从表面上看有类似之处,因此有人误将土钉看成锚杆,认为土钉不过是小尺寸的锚杆而已。实际上这两种支护方式存在差别,具体表现在:

1) 应力问题

锚杆是一种新型受拉杆件,它的一端与工程结构物联结,另一端锚固在地基土层或岩体中,作用于支护结构上的荷载是通过拉杆传给锚固体,再传给锚固土层的,以承受结构物的上托力、拉拔力、倾侧力或支护结构的土压力、水压力,它利用地层的锚固力维持结构物的稳定。注浆式锚杆是在锚杆设置后施加预应力,以防止支挡结构产生位移,这是一种被动受力机制;土钉一般不施加预应力或施加相对来说很小的预应力,要求产生有限的位移,以使摩擦阻力得以充分的发挥,是一种主动受力机制。

2) 粘合长度

锚杆只在锚固长度范围内才作为受力段与周围土体接触,其荷载只在锚固段内传递;土钉是沿着全长与土体完全粘合,其荷载传递沿整个土钉与土的界面进行。

3) 设置密度

土钉采用高密度方式,一般为 0.5~2.0m 设置一根,因而即使一根土钉单元失效,对坡体稳定性也不产生影响。从受力考虑,对土钉施工定位精度要求比锚杆低。

4) 工作机理

预应力注浆锚杆将库伦破裂面前的主动区作为荷载,通过锚杆传至破裂区后的稳定土内;土钉是以新奥法理论为基础,在加筋杆作用下把潜在滑裂面前的主动区的复合土体视为具有自承能力的稳定土体,以阻止土体的侧向位移,支撑未加筋区域土体的侧压力,保证整体稳定性。

5) 承受荷载

锚杆可承受荷载达 400 kN 以上,其端头部的构造较土钉复杂,以防止面层冲切破坏。锚杆的挡土构筑物:包括各种钢板桩、各种类型的钢筋混凝土预制板桩、灌注桩、旋喷桩、挖孔桩、地下连续墙等竖向支护结构;土钉一般不需要很高的承载力,单根土钉受荷一般在 100 kN 以下,面层的结构较简单,利用喷射混凝土

土及小尺寸垫板即可满足要求。

6) 施工规模

单根锚杆长度一般特长, 多在 15~45 m 范围内, 需要大型机械进行施工; 土钉相对而言施工规模较小。土钉加固施工是“自上而下”分段开挖, 所以土钉墙中最大变形发生在墙的上部, 加固荷载趋于随深度更加均匀, 类似于支撑开挖, 并在墙的较小部位减小。

土钉的抗拔荷载传递机理, 当拉力逐渐施加于土钉被拉端时, 靠近抗拉端处的土钉单元受到拉伸而产生相对土体与拉力方向相同的变形, 与此同时, 土钉侧表面受到土体的向内摩擦力。土钉荷载通过所发挥出来的侧向摩擦阻力传递到土钉周围的土体中(降低了土体分担的作用), 致使土钉的轴向拉力和拉伸变形沿土钉长度方向而递减。在土钉相对位移等于零处, 其摩阻力尚未发挥作用而等于零。随着荷载的逐渐增加, 土钉体的拉伸变形量和位移量逐渐增大, 内部土钉段周围土体因此而产生摩擦阻力; 当土钉周侧的摩擦阻力全部发挥出来达到极限状态时, 土钉周侧土体发生剪切破坏, 位移增长速度显著增大, 并收敛于某一常数, 土钉以均匀的速度被拔出。由此可见, 抗拔作用下, 土钉系统荷载的传递过程可以简单描述为: 土钉位移和轴向拉力沿长度方向递减, 土钉周侧的摩擦阻力沿长度方向逐渐被调动起来。

3 设计比较

3.1 工程概况

昆明市 A 组团商住楼地处昆明市盘龙江东岸, 工程为 19~32 层高层建筑, 下设地下车库一层, 工程总建筑面积为 5580 m², 总用地面积为 6943 m², 钻孔灌注桩基础, 基坑挖深分别为 5.3 m, 6.4 m, 7.1 m。场地地下水埋藏较浅, 稳定水位在地表下 0.3~3.30 m。主要为接受大气降水和地表水渗入补给的上层滞水, 部分受江水影响。考虑到开挖时间在 7 月份, 正处于昆明雨季, 地下水位取在地下 1 m。

本工程场地南侧为长春路, 西侧为滨江大道, 地下室外边线距路边线距离不大, 而这两边挖深较大, 是基坑支护设计重点, 东侧、北侧相对开阔, 基坑开挖较小。土层特性及物理力学参数如表 1。

表 1 土层特性及物理力学参数

Tab 1 Soil specific properties and parameters of physical-mechanical

编号	土层名称	层厚 /m	重度 /kN·m ⁻³	$\Phi /(^{\circ})$	C /kPa	土层特性
1	杂填土	2.3	18.5	12	15	松散状, 稍湿, 以碎石为主
2	淤泥质粉质粘土	3.1	17.1	6	13	流塑状, 高压缩性, 饱和, 成分以粘粒为主, 夹有粉土薄层
3	粉质粘土	1.4	16.1	3.6	18.6	塑状, 高压缩性, 饱和
4	粘土	5.9	18.7	15	45	流高压缩性, 饱和

3.2 土钉的支护结构设计

由于上层填土成分以碎石为主, 并含有块石和建筑垃圾, 如选用灌注桩或水泥土搅拌桩, 打桩、搅拌困难; 采用冲击成孔灌注桩造价高, 施工工期长; 选用土钉注浆支护, 不但施工速度快, 杆体与土层粘结强度高, 钢管外的水泥浆保护层可防止锈蚀, 而且造价低。经以上分析比较, 采用将钢管打入土层, 进行管内注浆的土钉注浆支护技术。

土钉采用 $\Phi 48$ 钢管, 施工时将钢管前端封闭, 在钢管壁上沿长度方向每隔 0.5 m 设 $\Phi 48$ 的圆孔沿圆周均匀分布, 并呈梅花状布置, 圆孔从离坑壁 3.0 m 处开始设置, 直至钢管底部, 当土钉遇到大石块难以打入时, 可挪动一下位置继续施工, 也可采取加长周边土钉长度的处理方法, 以确保土钉整体的有效锚固长度, 土钉注浆水灰比为 0.5, 注浆压力不小于 0.5 MPa, 当土层松散, 浆液消耗量较大时, 可向水泥浆液中加入水玻璃, 并采用间歇式注浆。

基坑挖深 7.1 m, 设 5 排, 土钉长度, $L = 6 \sim 8$ m, 按 80°放坡, 土钉布置图如图 1 所示。为防止地表水流入基坑, 基坑周围设置排水沟, 土钉墙面层采用 100 mm 厚的 C20 混凝土, 水灰比为 0.5。墙面配 $\Phi 6 @ 200$ * 200 钢筋网。

3.3 锚杆的布置和施工

1) 锚杆布置

锚杆上下排间距不宜小于 2.5 m, 所以取三排锚杆布置, 锚杆上下、水平方向间距取 2.0 m. 锚杆锚固体上覆土层厚度不应小于 4.0 m, 锚杆锚固长度不应小于 4.0 m. 锚杆长取 12~16 m. 倾斜锚杆的倾角不应小于 13°, 并不得大于 45°, 以 15°~35°为宜. 本设计取倾角 15°. 锚杆的布如图 2 所示.

2) 土锚的施工

土层锚杆施工过程包括钻孔、安放拉杆、灌浆和张拉锚固. 在基坑开挖至锚杆埋设高度时, 循环进行第二层施工. 土层锚杆钻孔用旋转式钻孔机. 土层锚杆的拉杆用粗钢筋. 制作锚杆需要用切断机、电焊机或对焊机等. 灌浆材料用 425 硅酸盐水泥进行浆液配合. 锚固段注浆应分两次进行, 第一次灌注水泥砂浆, 第二次应在第一次注浆初凝后进行, 压纯水泥浆, 注浆压力不大于上覆土压力的 3 倍, 也不大于 8.0 MPa.

3) 锚杆的预应力张拉

锚固体强度达 75% 的设计强度时, 可进行预应力张拉. 为避免相邻锚杆张拉应力的影响, 可采用“跳张法”, 即隔一拉一的方法; 正式张拉前, 应取设计拉力的 10%~20%, 对锚杆预张拉 1~2 次, 使各部位接触紧密, 杆体与土层紧密, 产生初剪; 正式张拉应分级加载, 每级加恒载后 3 min 记录伸长值, 张拉到设计荷载(不超过轴力), 恒载 10 min 再无变化可以锁定; 锁定预应力以设计轴力的 75% 为宜.

3.4 锚杆、土钉支护的比较

锚杆、土钉支护的比较如表 2 所示.

表 2 土钉支护和锚杆支护的比较

Tab 2 Comparison of Soil nailing supports excavation and anchor rod supports excavation

方案	土钉支护	锚杆支护
长度、倾角	取五层土钉, 由上到下, 长度分别为 $L_1 = 8.0 \text{ m}, L_2 = 7 \text{ m}, L_3 = 7 \text{ m}, L_4 = 6.5 \text{ m}, L_5 = 6 \text{ m}$, 倾角 10°	取三层锚杆, 锚杆 $L_1 = 14 \text{ m}, L_2 = 16 \text{ m}, L_3 = 12 \text{ m}$
直径间距	Φ48 钢管, 间距 1.0×1.0 m	II 级钢筋 2Φ35, 水平间距 2 m
安全系数	内部整体稳定安全系数为 1.933 > 1.3 外部整体稳定安全系数; 抗滑安全系数 1.45 > 1.3, 抗倾覆安全系数 3.278 > 1.5, 抗隆起安全系数 2.65 > 1.2	整体安全系数 2.5 > 1.5
缺点	昆明地区采用该技术的经验不多, 土钉墙的作用相当于挡土墙, 但其挡水性能不强.	造价较贵, 施工规模大, 所需要的设备要求高
优点	造价低, 土方施工工作面大, 施工规模小, 需要的设备简单, 安全可靠.	施工技术成熟, 安全可靠.

根据支护的特点、业主要求, 综合以上方案的优缺点, 我们选择土钉支护.

(下转第 73 页)

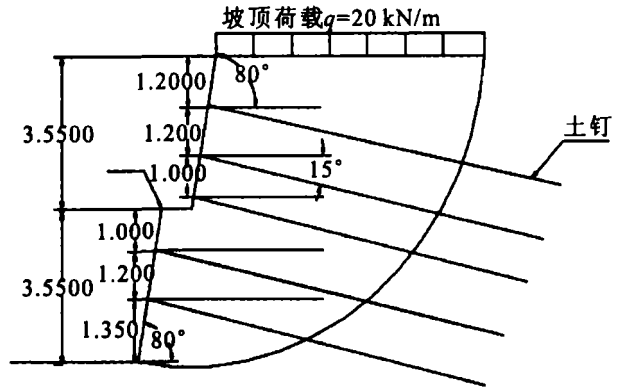


图1 土钉布置图

Fig.1 Soil nailing arrangement

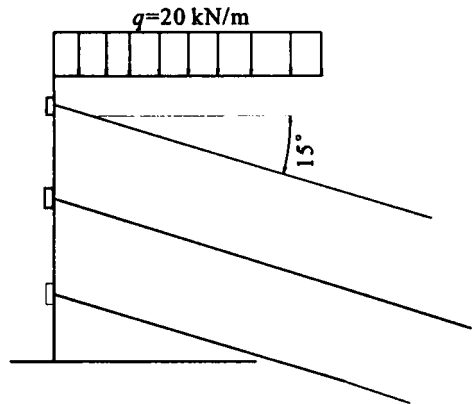


图2 锚杆布置图

Fig.2 Anchor rod arrangement

供质量保证.

6 结语与建议

高速公路水泥混凝土路面行车道上产生磨损破坏, 常规养护修复工程得不到质量保证, 应该通过设计理论及设计规范的引导, 对水泥混凝土路面的结构组合设计进行调整, 在面层之上加铺一层沥青混合料保护层, 既能延长水泥混凝土路面的使用寿命, 又能改善刚性路面的行车条件, 还为将来的养护修补工程提供质量保证.

参考文献:

- [1] 刘勇, 刘朝晖. 旧水泥混凝土路面加铺复合式路面结构方案设计 [J]. 中南公路工程, 2004, (6): 92~95.
- [2] 姚祖康. 路面管理系统 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [3] 傅智, 李红. 公路水泥混凝土路面施工技术规范 (JTGF30-2003) 实施与应用指南 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [4] 黄晓明. 水泥混凝土路面设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [5] 交通部公路水泥混凝土路面推广组. 水泥混凝土路面研究 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.
- [6] 周水兴, 向中富. 桥梁工程 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003.
- [7] 申爱琴. 水泥与水泥混凝土 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [8] 交通部管理司. JTJ073.1-2001, 公路水泥混凝土路面养护技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [9] 交通部管理司. JTGF30-2003, 公路水泥混凝土路面施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [10] 交通部管理司. JTJ071-98, 公路工程质量检验评定标准 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

(上接第 64 页)

4 结论

综上所述, 通过对土钉与锚杆进行多方面的比较, 可以看出业主是很愿意采用土钉支护技术. 本工程土钉支护方案在实际施工中无论是对周围环境的影响、自身的位移、变形情况来说都在设计计算范围内, 土钉与土体 (特别是昆明地区软土地基) 的握裹力能满足设计计算要求. 由此可见土钉支护是一种很有发展前途的、较为新型的支护方式, 在经济上有着强有力的竞争力, 是一种有着广泛市场的基坑支护手段.

参考文献:

- [1] 秦四清. 土钉支护机理与优化设计 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [2] 钱宏, 等. 复杂环境下的土钉墙围护技术的研究 [J]. 建筑施工, 2000, (23).
- [3] 严文武, 等. 基坑支护的技术经济分析 [J]. 建筑经济, 2000, (4).
- [4] 林宗元. 岩土工程治理手册 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [5] 余诗刚. 土钉墙设计施工与监测手册 (美国交通部联邦总局 FHWA-SA-96-069R) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.