

复合土钉支护在夯实填土边坡中的应用

曾宪明¹ 宋红民¹ 李清献¹ 李世民^{1,2}

(1 总参工程兵科研三所 洛阳 471023 2 西安交通大学工程力学系 西安 710055)

摘要:本文简单介绍了采用土钉支护与加筋土(改良)、立面轻型挡墙相结合所构成的复合土钉支护型式的研究与应用状况,给出了夯实填土边坡的复杂破坏模式,在概述洛阳某工程水文与地质条件基础上,介绍了该工程采用上述复合土钉支护的技术方案和施工方法,并依据监测结果和宏观观察对其稳定性进行了评价。

关键词:复合土钉支护 夯实填土边坡 破坏模式 应用

1 概述

复合土钉支护最初被称为改良法^[1]。复合土钉支护是近10年多来在土钉支护基础上发展起来的一种应用非常广泛的岩土工程加固支护工法,它是土钉支护的研究不断深化、与各种岩土工程的其他工法有机结合的产物。钱七虎指出,土钉支护具有浓厚的中国特色^[2]。土钉支护在概念、工作原理、设计方法与应用范围方面大大拓展了国内外土钉墙工法,使我国与国外在锚固类结构研究与应用方面的差距,缩短了10~15年时间。而在土钉支护基础上发展起来的复合土钉支护更具有其新颖性和先进性,国外作为专用名词并无此称谓,尽管国外也不乏采用土钉墙工法与锚杆或锚索或其他工法复合应用的工程实例。

复合土钉支护业已在我国岩土工程的诸多行业中应用,但工程数量最大的仍然是建筑深基坑的支护。实际上,该工法也可有效地应用于岩土边坡工程、地基工程、地下工程和大坝工程等的加固与支护。复合土钉支护适用性强,安全可靠,经济快速,在建筑工程市场很受投资者欢迎。

复合土钉支护的应用实践是先于理论的,迄今为止某些理论尚不成熟,仍处在发展、完善的过程之中。但围绕复合土钉支护的大量工程问题,我国广大工程技术人员和科研工作者已经开展了许多卓有成效的科学技术研究工作。这些工作又有力地促进了复合土钉支护的发展与应用。文献^[3~7]分别报导了在玄武湖隧道工程现场、深

圳畔山花园大厦工程、深圳赛格工程、广州凯城东兴综合大厦工程、长沙星电公寓工程中所作复合土钉支护工作性能测试结果,大体代表了我国复合工程支护现场测试研究水平。文^[8~11]报导的有关成果反映了我国关于复合土钉支护的室内研究进展。文献^[12~17]显示了我国关于复合土钉支护的数值分析发展状况。文献^[18~20]对复合土钉支护的设计理论进行了深入探讨。更多的文献资料报导了复合土钉支护在各类工程中的成功应用(文献略)。

但是,复合土钉支护厚填土边壁(坡)工程的系统室内试验研究成果至今尚未见报导。这里所谓回填土边壁(坡)工程是指构成边壁(坡)的土壤介质全部或大部为回填土。研究表明,非夯实填土边坡取平面破坏模式^[9],而在降雨条件下取折线破坏模式^[10];夯实填土边坡取平面—凸弧面复杂破坏模式,而在降雨条件下取张裂面~悬链面组合破坏模式^[11]。本文介绍了采用复合土钉支护厚夯实填土边坡的一个工程实例,可供相关工程技术人员参考。

2 夯实填土边壁(坡)的复杂破坏模式

根据相似模型原理和相似模型放宽法则,建立并验证了(1)式中的相似法则,式中: π_2 为相似模型第2个主 π 数; F_I 为惯性力, $F_I = \rho l^2 V_2$; ρ 为回填土的密度; l 为长度; V 为速度; F_g 为重力, $F_g = \rho g l^3$; g 为重力加速度; t 为时间; l' , g' , t' 分别为相似模型的长度、重力加速度和时间。

$$\pi_2 = \frac{F_i}{F_g} \rightarrow \frac{\rho l^2 V^2}{\rho g l^3} \rightarrow \frac{V^2}{gl} \rightarrow \frac{l^2 \cdot 1}{l^2 \cdot \frac{1}{l}} \rightarrow \frac{l}{l'} = \sqrt{\frac{l}{l'}} \quad (1)$$

相同重力场 $\rightarrow g=g'$

依据(1)式,在室内大型试验箱(长×宽×高=315cm×250cm×60cm)内进行了夯实填土边坡破坏模式的相似模型试验。研究表明:

(1)人工夯实填土条件下,边坡滑塌面的空间形态既不是圆弧面也不是平面,而是平面与凸弧面的组合形式,即上部为直立平面,下部为凸弧面。上部主要为倒塌破坏,下部主要为滑移破坏。

(2)造成上述破坏形态的机理为:开挖后,土体侧向约束被解除,于是产生侧向变形,并在土体内部产生侧向拉应力。在该拉应力超过介质极限抗拉强度后,土体产生张裂缝,同时使不稳定土体形成相对孤立体。此孤立体连同下部土体的自重荷载形成的剪应力超过相对滑移面的抗剪强度时,滑移面即萌生、发展、形成并发生滑移。此时相对孤立体即成为完全孤立体,并在滑动过程中伴随部分土体倒塌。

(3)由以上试验及理论分析可知,人工夯实填土边坡的破坏模式可以概括为平面-凸弧面组合破坏模式,即复杂破坏模式。

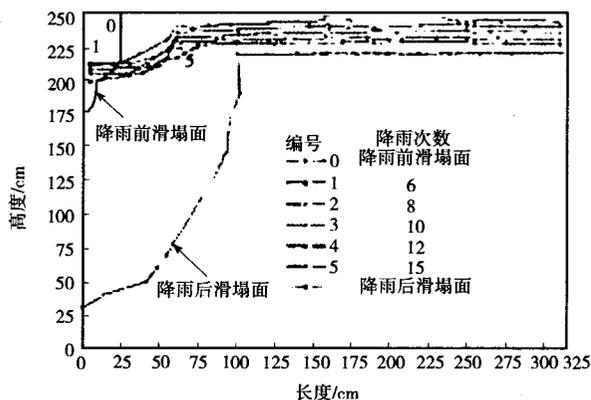


图1 夯实填土边坡降雨前后的滑塌形态

3 工程地质条件

洛阳某工程属于中州渠的一部分。中州渠始

建于上世纪50年代,总长度为12.8Km,原为一条农田灌溉渠。随着城市规模的发展及其环境污染,该渠灌溉功能丧失,逐步演变为一排排污渠,且沿岸建有许多违章建筑。为此洛阳市政府专门成立了综合整治指挥部,进行统一规划和治理。受该指挥部委托,总参工程兵科研三所承担了该渠沿线坡度为1:0.3以上、垂直高度8~16m的全部边坡的设计和加固任务。其中有多处水毁大型塌陷区地段需恢复原貌,且复原后的路面需保证长期车辆行驶及游人观光,这就要求确保坡面长期稳定并能抗雨季洪水冲刷。下面就其中较为典型的一段阐述如下:

该塌陷区总长度为150m,垂直高度为14.5m,水平塌陷宽度上部距边坡顶边线为11.3m,下底宽度为4.7m。裸露的塌陷区表面为混有砖块、垃圾的杂填土,局部为淤泥。其深度约为3m,且延伸进入现存边坡内约有6~7m;3m以下为Ⅱ级湿陷性黄土。其含水量为15%~18%,天然重度为20kN/m³,液限为4%,内摩擦角为20°,内聚力为20KPa。塌陷区上面原有一栋废旧厂房,受塌方影响已全部坍塌。

4 复合土钉支护方案设计

该工程主要是要构造一个高度、宽度和坡度均较大,并能长期抗一定动载和静载的填土边坡。支护参数设计需要考虑的主要因素有:

(1)既有边坡的稳定性。既有边坡成不规则形状,上部内侧有堆积的含垃圾的杂填土,外侧有受滑塌影响的松散体。

(2)拟造边坡的稳定性。拟造边坡必须与原有边坡有机结合为一体,并能保持长期稳定,还要同塌陷区两侧的现存边坡保持一定的协调和美观。

(3)边坡附近的建筑物及其地下、地上设施的安全。既有边坡附近还存在有多而凌乱的建筑物,下部有新建的污水管及其它管线,均不得因边坡变形和地面沉降再有所损坏。因此变形控制是很重要的。

(4)拟造填土边坡竣工后,其坡顶面为市

政道路,需考虑车辆附加动载 $3t/m^2$ 的作用,静载 $0.5t/m^2$ 的作用;坡角处为3m宽的人行道,边坡稳定关乎游人安全;人行道下部为6m深的渠水,水渠边坡采用浆砌块石结构支护。边坡的稳定性分析须考虑此因素影响。

(5) 边坡抗雨水冲刷、侵蚀问题。

(6) 支护结构材料抗腐蚀问题,即耐久性问题。

(7) 支护结构外表面预留伸缩缝问题。

填土边坡的防护预案有如下几种:①一般支挡结构,如浆砌块石挡墙。②护坡桩。③预应力锚索。④土钉支护。

采用挡墙结构,结构可能做得很肥厚。此外由于整体高度过大,且基础底部距渠水仅有3m,支挡效果欠佳。采用护坡桩,造价较高,时间较长,无作业空间,甚至还需在渠水中施作围堰,无法满足原坡面的协调和衔接。预应力锚索拉拔强度很高,但被支护介质较松软,除非锚索很长,否则,难以提供足够锚固力,致使锚索高性能难以发挥。土钉靠群体起作用,其注浆对填土有良好改性作用,但由于既有边坡破碎软弱,成孔质量及拉拔强度要达到设计要求难度较大。经综合分析研究,最终决定采用土钉支护与加筋土(改良)、轻型挡墙相结合的复合结构形式。

复合土钉支护参数的设计采用叠加原理,对于填土边坡的土压力一部分由土钉承担,而另一部分由加筋承担。另外土钉支护还须对既有边坡改性和提供支护力。轻型挡墙具有平衡支护力和安全储备的作用。由于既有边坡及其稳定问题的存在,加之工期较紧,加筋靠既有边坡一侧传统的预制挡板,用垂直向下或倾斜向下的弯头注浆钉替代。靠坡面一侧的预制挡板,用加入钢管的喷射钢筋混凝土面层替代,因而它是一种改良加筋土结构形式。轻型挡墙还需考虑抗冲刷和抗侵蚀等永久性支护问题。

基于以上考虑,且为了简化计算,对土钉抗拔力和加筋土抗侧向压力分别计算后叠加,预设稳定性系数为2.2,经过反复计算后得到的相应支护参数见图2。

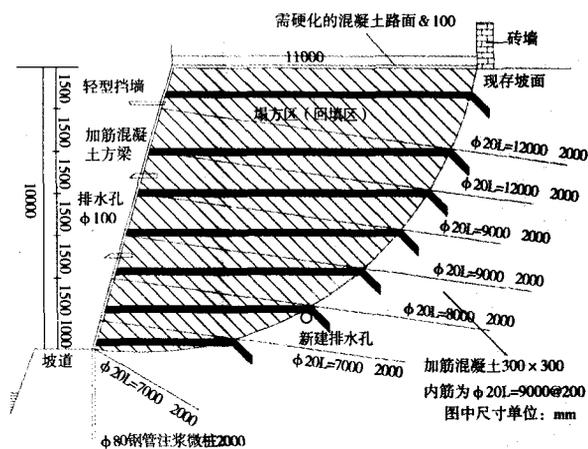


图2 复合土钉支护设计参数

5 复合土钉支护的施工

(1) 回填: 回填土采用无杂质的洛阳黄土。该土质具有可塑性好、湿陷性大的特点。在回填过程中采用填土→适量撒水→夯实的循环施工方法。填筑高度每增加50cm为一个循环,以增加回填土的密实度,减少施工过程中及竣工后边坡的垂直沉降和水平位移。外表面码放的土袋在交错叠放后也需作夯实处理。

(2) 土钉的制作、成孔与注浆: 对于既有边坡上部的杂填土段,采用锚管代替土钉,以解决既有边坡中难以成孔问题,即对现有边坡进行锚管支护,并将其外端露出面层,然后与填土边坡中的钢筋进行焊接。锚管采用扩大头的方式,以便减少设置过程中的摩阻力并使孔壁与管外壁有一定的保护层厚度。注浆前须先用清水冲洗锚管,以冲洗掉管内的土渣。注浆时须采用间歇式多次注浆加压法,以确保浆液饱满。此外,回填土中的锚管及与锚管相连接的土钉(钢筋)采用土中挑槽的方法,使其没入槽中的水泥浆中。待水泥浆有一定强度时进行填土并夯实。对于既有边坡杂填土段下部的黄土层,仍用一般土钉支护,以便节省造价和缩短工期。

(3) 加筋土(改良)结构的施工: 将传统意义上的加筋里端的预制混凝土挡板,用垂直向下或倾斜向下的弯头注浆钉替代,灌浆孔径为 $\phi 150\text{mm}$,弯头钉用长度为1m的 $\phi 20\text{mm}$ 的螺旋钢筋制做而成,再用现浇混凝土(截面尺寸为 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$)包裹。弯头钉外端的挡板用钢筋网喷射混凝土面层替代。

(4) 轻型挡墙施工: 首先, 土袋每码高2m 形成挡土层, 此时即可进行素土回填, 然后在外表面初喷3cm厚的混凝土, 敷设 $\phi 6.5\text{mm}$ 双向200mm \times 200mm钢筋网片, 在网片上水平方向设 $\phi 18\text{mm}$ 的加强筋, 竖向为 $\phi 48\text{mm}$ 的优质钢管。将加强筋牢固焊接在钉头上。再复喷9cm厚的混凝土以形成最终的面层。由于该混凝土层较薄及存在有 $\phi 48\text{mm}$ 的钢管, 故简单定义为轻型挡墙。

6 工程稳定性测试结果及评价

该工程于2003年5月2日开工, 5月23日竣工, 实际工期为21天。在施工过程中, 每填筑、支护一层(2m), 均设点进行位移及沉降观测。最终面层的位移和沉降结果如图3所示。观测结果表明, 地面沉降不明显, 边壁位移较小, 均在允许范围之内。一个月后的6月22日该地区降了一场特大暴雨, 沿岸有些路段出现了滑坡和塌方现象, 很多路面设施出现了不同程度的损毁和破坏。但采用复合土钉支护的该工程地段面层无开裂, 地表完好无损, 整体稳定性良好, 经受住了特大暴雨考验。对此, 工程指挥部和监理部均给予高度评价。该工程是采用复合土钉支护厚层夯实填土、进行土坡复原的一个成功例子。

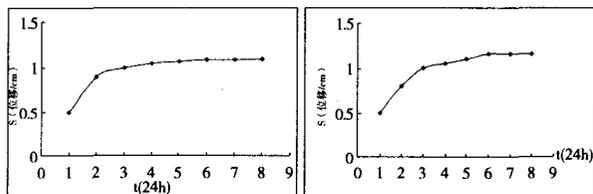


图3 位移和沉降监测结果

7 结语

(1) 边坡破坏模式的正确选取是其稳定性分析和支护参数设计的基本依据。实践表明: 对该工程采用夯实填土的复杂破坏模式进行分析是科学合理的, 可以推广应用类似地质条件下边坡稳定性分析和设计。

(2) 水是工程稳定的大忌, 对填土边坡更是如此。工程实践表明: 做好全方位的防、排水处理是十分必要的。填土过程中, 适量洒水和加强夯实有助于减少后期不均匀沉降, 明显提高其密实度和工程稳定性。

(3) 该工程支护成功表明: 该类型复合土

钉支护方法对于夯实回填土边坡的加固支护是合适的, 其受力均匀、合理, 支护快捷, 安全经济, 具有良好的应用前景。

8 点评

这是一个复原边坡, 需将已大量坍塌掉的部分重新予以恢复并保持长期稳定。其中钉里端采用垂直向下和倾斜向下的、深入稳定原状土中的弯头注浆钉, 受力合理, 型式新颖, 施工方便, 很值得在类似条件下推广应用。

参考文献

- [1] 曾宪明. 岩土深基坑围护现状与发展趋势[A]. 见: 中国土木工程学会防护工程学会第五次学术年会论文集[C]. 重庆: [s. n.], 1996. 419-413.
- [2] 钱七虎. 《土钉支护设计施工手册》序言[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] 张凡, 段建立. 复合土钉支护工作性能的现场测试研究[J]. 建筑技术, 2003, 34(2): 104-105.
- [4] 杨志银, 蔡巧灵. 复合土钉墙模式研究中土钉应力的监测试验[J]. 建筑施工, 2001, 23(6): 427-429.
- [5] 张飞, 刘忠臣. 预应力土层锚杆与土钉墙联合支护的力学工作机制研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(3): 292-296.
- [6] 郑志辉, 贺若兰, 徐勋长, 杨昌甫. 复合土钉支护厚层填土边坡现场试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 898-904.
- [7] 曾宪明, 杜云鹤, 范俊奇, 梁仕发, 肖玲, 李世民. 土钉支护抗动载原型与模型对比试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(11): 1892-1897.
- [8] 孙铁成, 张明聚. 复合土钉支护技术[J]. 工程力学增刊(II), 2002, 59-62.
- [9] 曾宪明, 文高原, 李世民, 汪剑辉, 阎顺. 回填土边坡(坡)相似法则和破坏模式试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(22): 3824-3829.
- [10] 文高原, 曾宪明. 降雨条件下填土边坡(坡)变形破坏特性试验研究[A]. 见: 中国建筑学会建筑施工学术委员会基坑工程专业委员会第三届基坑工程学术讨论会论文集: 基坑支护技术与实践, 2004. 178-186.
- [11] 曾宪明, 文高原. 降雨前后夯实填土边坡破坏模式试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 747-754.
- [12] 宋二祥, 邱玥. 基坑复合土钉支护的有限元分析[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 241-244.
- [13] 杨林德, 李象范. 复合型土钉墙的非线性有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(2): 149-152.
- [14] 宋二祥, 邱玥. 复合土钉支护变形特性的有限元分析[J]. 建筑施工, 2001, 23(6): 370-374.
- [15] 杨志明, 姚爱国. 杆系有限元法求解复合土钉支护结构的位移[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(5): 31-34.
- [16] 周川杰. FLAC^{2D}进行复合土钉支护稳定性分析[J]. 岩土工程界, 2002, 5(6): 39-41.
- [17] 钟正雄, 李象范. 软土地区复合土钉技术的有限元分析[J]. 上海地质, 1999, (3): 28-33.
- [18] 屠毓敏. 土钉支护中超前锚杆的工作机制研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(2): 198-219.
- [19] 赖天文. 复合土钉支护设计参数敏感性分析[J]. 兰州铁道学院学报, 2003, 22(2): 27-29.
- [20] 李象范, 徐水根. 复合型土钉挡墙的研究[J]. 岩土锚固工程, 2002, 40(2): 1-12.