

扩大头锚索在成都膨胀土地区的应用

赵蜀健,张莲花,赵石力

(成都理工大学 环境与土木工程学院,四川 成都 610059)

摘要: 膨胀土干湿交替环境下,具有反复湿胀干缩变形的特性,这使得传统锚索在膨胀土地区的表现一直不佳。依托于实际工程进行的此次试验,旨在研究扩大头锚索这种改进型锚索在成都膨胀土地区的应用效果。试验分析了高压旋喷扩大头锚索的施工参数,并对比了不同种类扩大头锚索的表现。结果表明:旋喷扩大头锚索施工,在旋喷时间 20 min、旋喷压强 70 MPa 和旋喷时间 27 min、旋喷压强 25 MPa 时可取得较理想的施工效果,且扩大头锚索在成都膨胀土地区有着良好的支护表现,其抗拔力远超传统锚索。

关键词: 扩大头锚索;膨胀土地区;工程效果分析;施工参数分析

中图分类号: TU475+.5

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2019)04—0098—04

Application of Bit Expanded Anchor Cable in Chengdu Expansive Soil Area

ZHAO Shujian, ZHANG Lianhua, ZHAO Shili

(The College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Expansive soil presents a repeated swelling-shrinking deformation in the alternation of wet-dry environment, this makes the performance of traditional anchor cable in expansive soil always unsatisfactory. This experiment, based on an actual project, aims to analyze the application effect of the bit expanded anchor cable, which is an improved anchor cable, in the expansive soil area of Chengdu. The construction parameters of the high-pressure rotary-jet bit expanded anchor cables were analyzed and compared with the performance of different types of bit expanded anchor cables. The results show that the construction of the rotary-jet bit expanded anchor cable can achieve better construction results when the rotary spray time is 20 min, the rotary jet pressure is 70 MPa, the rotary spray time is 27 min, and the rotary jet pressure is 25 MPa, and the bit expanded anchor cable have a great support performance in Chengdu expansive soil area, its pull-out capacity far exceed the traditional anchor cable.

Keywords: bit expanded anchor cable; expansive soil area; analysis of engineering effect; analysis of construction parameters

1872年,在英国北威尔士的一家板岩采石场,第一批锚杆投入使用,并且获得成功^[1]。1966年,受扩底桩启发而研发出扩大头预应力锚索在美国成功使用^[2]。时至今日,扩大头锚杆(索)技术不断发展且成功应用于岩土工程中。

随着社会的发展,城市人口不断攀升。这种变化使得城市中的交通、绿化等问题愈发凸出,城市的空间利用率也自然而然成为城市发展中的一个重要指标。在此基础上,地下工程与深基坑项目成为提

高城市空间利用率的一个重要手段,越来越多的深基坑开始出现,而锚索则在深基坑作业中扮演着至关重要的角色,在帮助社会及城市建设的同时,也产生了巨大的经济效益。

1 膨胀土与扩大头锚索

1.1 膨胀土特性

膨胀土在我国范围内分布广泛,是一种典型的“问题”土^[3],其含有较多的膨胀性黏土矿物,因此

具有“裂隙性、胀缩性和超固结性”的特征^[4-5]。由于含有膨胀性黏土矿物且具有微结构和孔隙的特征,使得膨胀土的渗透特性与普通黏性土相比显得更为复杂^[6]。以上诸多特征,让膨胀土在经历气候等周期性变化所导致的干湿循环及胀缩变形后,其力学性能指标会发生明显的变化^[7-9],这也对膨胀土地区的岩土工程施工造成了巨大的影响。

1.2 扩大头锚索受力与破坏形式

传统锚索与扩大头锚索都由三个部分组成(见图1):锚头、自由段和锚固段^[10],两者的区别在于锚固段。传统锚索锚固段为等直径体,完全依靠锚固体与周围土体间的摩擦阻力和粘结力将锚固段固定在土(岩)层中,被称为纯摩擦型锚索^[11],这种锚索在增大摩擦力时在一极限值^[12-13],而存扩大头锚杆抗拔力来源除了锚固体的侧向摩擦力之外,还有扩大头锚固体的前端土体所带来的正压力,属于摩擦-端压型锚索。扩大头锚索的抗拔力 T 应如图2所示,由三部分构成^[14]即:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

$$T_1 = \pi D_1 L_1 \tau_f \quad (2)$$

$$T_2 = \pi \tau_{fd} L_2 D_2 \quad (3)$$

$$T_3 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \sigma_d \quad (4)$$

式中: T_1/T_2 为锚索普通/扩大头锚固段与土地间摩擦力; T_3 为扩大头部分最前端挤压土体所产生的端阻力; L_1/L_2 为锚索普通/扩大头锚固段长度; D_1/D_2 为锚索普通/扩大头锚固段直径; τ_f/τ_{fd} 为锚索普通/扩大头锚固段与土体间摩擦系数; σ_d 为扩大头部分最前端挤压土体产生的端阻力系数。

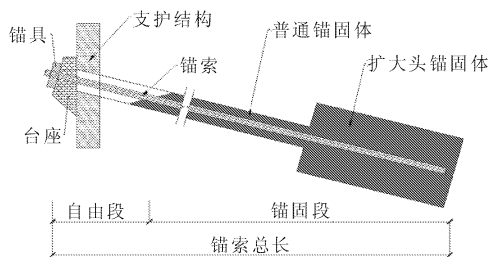


图1 扩大头锚索结构示意图

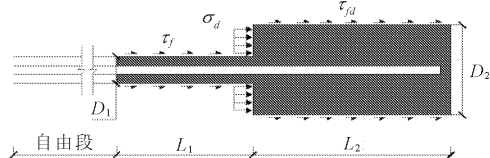


图2 扩大头锚索受力示意图

2 工程应用

2.1 工程概况

试验依托于成都市龙泉驿区帝一广场基坑支护工程,其土层参数指标如表1所示^[15]。

表1 帝一广场基坑土层各项参数指标

岩土名称	厚度 /m	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模量 /MPa	泊松比	黏聚力 /kPa	摩擦角 /($^\circ$)
1 填土	1.0	18.0	30	0.2	15	10
2 黏土	2.3	19.0	45	0.2	25	15
3 粉质黏土	12.7	20.0	80	0.2	30	20
4 黏土	2.1	19.0	45	0.2	28	18
5 粉土	2.6	18.5	40	0.2	25	16
6 黏土	3.0	19.0	45	0.2	28	18
7 粉土	4.5	18.5	40	0.2	25	16
8 强风化岩	11.8	21.0	180	0.2	40	35

基坑深度 15.3 m ~ 15.8 m,基坑安全等级为一级,支护采用排桩+锚索支护结构,锚索倾角均为 20° ,杆体材料采用 $5\Phi \cdot 17.8$ 钢绞线,锚索锚固部分普通段成孔直径 150 mm,扩大头段扩孔直径 600 mm,注浆材料为素水泥浆,水泥采用 P. O 42.5 级,水灰比为 0.4,支护结构具体分布如图3所示。

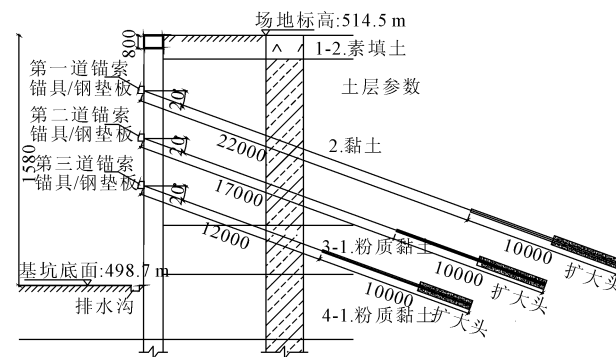


图3 支护剖面图

2.2 施工参数实验

此项目为确定的高压旋喷施工参数对于工程质量的影响,设计了6组高压旋喷扩大头锚索,用于对比施工中旋喷压力和旋喷时间对于锚索成品质量的影响。实验采用的高压旋喷扩大头锚索全长 10 m,其中扩大头部分长度为 5 m。结果如表2所示(其中 M0 为旋喷开始前 150 mm 成孔直径所对应的理论周长)。

(1) 将 M0、M1、M2、M3、M4 作为一组,比较旋喷压力与锚固体周长之间的关系,进行回归分析,分别求得线性与非线性拟合公式:

表 2 实验所取参数及实验结果

编号	旋喷时间 /min	旋喷压力 /MPa	测量周长 /cm	成品质量
M0	0	0	47.12	
M1	20	20	87.00	挖出的扩大头锚固:
M2	20	25	94.00	体质感坚硬、表面粗
M3	20	30	97.00	糙度较高、与土体无
M4	20	35	108.00	明显分界、边界由强
M5	15	25	88.00	度较高的水泥土逐渐
M6	25	25	98.00	过渡为黏土。

$$c = -0.016P^2 + 2.25P + 47.31; \quad R^2 = 0.986 \quad (5)$$

$$c = 1.71P + 48.91; R^2 = 0.979 \quad (6)$$

式中: c 为锚固体周长; P 为旋喷压力; R 为相关系数。

从图 4 和上述公式中都可以看出, 锚固体周长随旋喷压力增大而增大。式(5)与式(6)中相关系数相近, 非线性拟合所得结果略优于线性拟合, 对式(5)进行求导可得, 旋喷压力 70 MPa 时, 周长达达到最大值 126 cm。

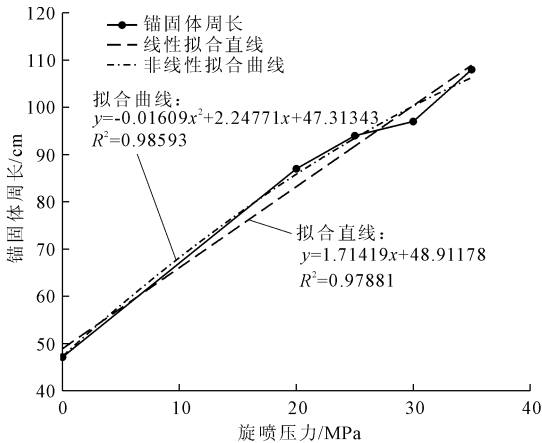


图 4 旋喷压力与锚固体周长关系图

(2) 将 M0、M2、M5、M6 作为一组, 比较旋喷时间与锚固体周长之间的关系, 进行回归分析, 分别求得线性与非线性拟合公式, 图 5 及公式如下:

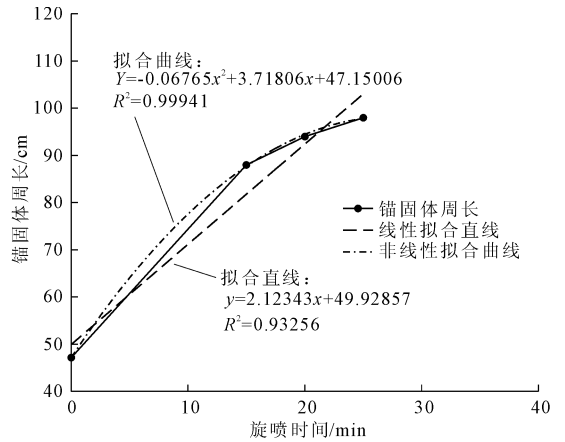


图 5 旋喷时间与锚固体周长关系图

$$c = -0.068t^2 + 3.72t + 47.15; \quad R^2 = 0.999 \quad (7)$$

$$c = 2.12t + 49.93; R^2 = 0.933 \quad (8)$$

式中: c 为锚固体周长; t 为旋喷压力; R 为相关系数。

从图 5 和上述公式中都可以看出, 锚固体周长随旋喷时间增大而增大。式(7)与式(8)中相关系数相差较大, 非线性拟合所得结果明显优于线性拟合, 对式(7)进行求导可得, 旋喷时间 27 min 时, 周长达达到最大值 102 cm。

2.3 锚索基本试验检测

(1) 锚索参数及试验方法。在基坑支护施工完成, 锚索的固结体强度达到设计强度的 75% 时, 文本中取 A 区第一道、第二道、第三道、B 区第三道, 共计 12 根锚索进行比较, 编号方式为: 区号 - 道数 - 自选编号, 锚索基本数据见表 3。

表 3 锚索基本参数

编号	桩径 /m	桩间距 /m	锚索	(成孔/扩孔直径) /mm	(锚索/锚固/扩大头长度)/m	锚索标高 /m
A-1-1~A-1-3	1.2	2.0	第一道	150/600	32/10/4.0	冠梁顶下 3.5 m
A-2-1~A-2-3	1.2	2.0	第二道	150/600	27/10/3.5	冠梁顶下 7.5 m
A-3-1~A-3-3	1.2	2.0	第三道	150/600	22/10/4.0	冠梁顶下 10.5 m
B-3-1~B-3-3	1.2	2.0	第三道	150/600	22/10/3.5	冠梁顶下 10.5 m

检测采用千斤顶反复加载, 精密百分表测量位移。试验采用循环加、卸载法, 共分 6 个循环, 具体加、卸载方式及判定条件采用《四川省建筑地基基础检测技术规程》^[16] (DBJ51/T014—2013) 中附录

H 里 H. 1 中基本试验的要求。在实验进行中出现下列情况之一时终止加载: ① 桩头位移不收敛; ② 某级荷载作用下, 桩头上拔量达到前一级荷载作用下的 5 倍。

(2) 试验结果。试验结果见表4。

表4 基本试验检测结果

编号	试验最大荷载 /kN	最大累计拔出量 /mm	编号	试验最大荷载 /kN	最大累计拔出量 /mm
A-1-1	1115	18.94	A-3-1	1288	19.31
A-1-2	1115	18.78	A-3-2	1288	19.99
A-1-3	1115	19.21	A-3-3	1288	19.99
A-2-1	1225	21.02	B-3-1	1257	20.55
A-2-2	1225	20.70	B-3-2	1257	19.88
A-2-3	1225	19.57	B-3-3	1257	20.83

2.4 试验结果分析

将试验数据进行如下分组见表5。

表5 试验数据分组

锚索	分组
A-1-1~A-1-3	第一组
A-2-1~A-2-3	第二组
A-3-1~A-3-3	第三组
B-3-1~B-3-3	第四组

(1) 对比第一组与第三组、第二组与第四组数据可以发现,在锚索长度减小、锚固长度和锚固形式等条件不变的情况下,增加锚固深度,可以在一定程度上提高锚固能力。第二组对比第四组数据,锚固深度在3.5 m基础上增加4.0 m,在试验最大荷载提升2.6%的情况下,最大累计拔出量基本保持不变;第一组对比第三组数据,锚固深度在3.5 m基础上增加7.0 m,在试验最大荷载提升15.5%的情况下,最大累计拔出量只增长了4%,效果明显。

(2) 对比第三组与第四组数据可以发现,在锚索长度减小、总锚固长度不变、锚固深度不变、扩孔直径不变的情况下,增大扩大头部分在锚固段所占比例,可有效提高锚固效果。第三组对比第四组数据,可以看出只是将10.0 m锚固段的扩大头长度从3.5 m提升至4.0 m,从前文式(1)、式(2)、式(3)得知,增大了扩大头锚固段与土体之间的摩擦力 T_2 ,减小了普通锚固段与土体摩擦力 T_1 ,但总体的锚固力 T 增加了;从工程实际效果来看,在试验最大荷载提升2.5%的情况下,最大累计拔出量反而降低了3.2%,与理论结果相符。

2.5 成都膨胀土地区囊式扩大头应用对比

除旋喷扩大头锚索外,也有学者^[17]在成都龙泉驿膨胀土地区进行了囊式扩大头锚索试验,试验土层各项参数指标见表6。

试验中使用的囊式扩大头锚索分为两类,共计

六根。所有锚索采用P.O 42.5级,水灰比0.4的素水泥浆作为注浆材料,倾角为30°,成孔直径150 mm,扩孔直径600 mm,采用4 Φ 15.2钢绞线。试验采用分级循环法,实验结果见表7。

表6 龙泉驿区某工地土层各项参数指标

岩土名称	重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	压缩模量 E_s /MPa	黏聚力 c_k /kPa	内摩擦角 ϕ_k /(°)
杂填土	16.5	—	—	—
素填土	18.6	—	15	10
可塑黏土	19.2	5.0	40	20
硬塑黏土	19.8	9.0	70	21
粉质黏土	19.5	6.5	39	17
中砂	18.5	10.5	—	23
稍密卵石	21.0	24.5	—	35
强风化泥岩	21.5	13.5	60	22
中风化泥岩	24.0	不考虑压缩	—	—

表7 囊式扩大头锚索抗拔承载力试验结果

分类	编号	(锚索/锚固/扩大头长度)/m	最大试验荷载/kN	锚头最大位移量/mm
第一类	1#	13/10/3	1100	41.33
	2#	13/10/3	1100	42.77
	3#	13/10/3	1100	39.41
第二类	4#	20/10/3	1100	33.85
	5#	20/10/3	1100	34.29
	6#	20/10/3	1100	37.48

对比前文中帝一广场基坑项目的试验数据,可以发现虽然囊式扩大头锚索由于多种原因,在最大位移量较上文旋喷扩大头锚索有较大量的增长。但囊式扩大头锚索和旋喷扩大头锚索的最大试验荷载都达到了1 000 kN以上且并未发生破坏,相比于传统锚索有巨大的提升,并且完全满足了工程需要。

3 结论

通过工程项目的试验分析与对比,结论如下:

(1) 根据对帝一广场基坑项目的施工参数实验结果分析得出,在此次实验条件下,旋喷时间为20 min时,旋喷压强为70 MPa可获得最优效果;旋喷压强为25 MPa时,旋喷时间为27 min可获得最优效果。

(2) 旋喷扩大头锚索与囊式扩大头锚索在膨胀土地区使用时有良好的表现,两者承载能力要远高于传统锚索;随着埋深越深和扩大头段距离越长,扩大头锚索的承载力也越增大,锚索的位移则越小。

(下转第121页)

粘结强度刚性桩不同,表现的破坏方式为剪切破坏,其破坏面介于基坑底部与桩端持力层之间。

(4) 强度折减过程中未考虑土钉结构体的参数折减,相关工作有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 朱建新,温小军,罗明高,等. 土钉墙与高压旋喷桩在基坑工程中的联合应用[J]. 工程建设与设计,2004(6):34-36.
- [2] 谢永明. 软土基坑水泥搅拌桩-土钉组合支护结构的研究与应用[J]. 福建建筑,2009(8):56-58.
- [3] 郝峰. 高压旋喷桩复合土钉墙 Plaxis 有限元分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):52-55.
- [4] 汪志鹏. 土钉墙和高压旋喷桩在泛海·花园基坑中的应用[J]. 水电站设计,2010,26(2):75-77.
- [5] 许岩剑,肖仁成,钟德明. 软土基坑中水泥搅拌桩和土钉联合支护稳定性分析[J]. 市政技术,2011,29(1):128-130.
- [6] 程文若. 复合土钉墙支护在长江 I 级阶地软土基坑中的应用[J]. 土工基础,2013,27(4):12-16.
- [7] 陈子玉,宋彦辉,严豪. 有限元强度折减法应用的几

个问题及拓展[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(5):196-200.

- [8] 赵杰,邵龙潭. 基坑土钉支护边坡有限元稳定性分析方法探讨[J]. 岩土力学,2008,29(6):1654-1658.
- [9] 赵杰. 边坡稳定有限元分析方法中若干应用问题研究[D]. 大连:大连理工大学,2006.
- [10] 古海东,杨敏. 基于强度折减法的土钉支护结构稳定性分析[J]. 同济大学学报,2012,40(7):1003-1007.
- [11] 杨有成. 强度折减法在斜坡稳定性分析中的适用性研究[D]. 北京:中国地质大学,2008.
- [12] 裴利剑,屈本宁,钱闪光. 有限元强度折减法边坡失稳判据的统一性[J]. 岩土力学,2010,31(10):3337-3341.
- [13] 王树和,郑政,张举兵,等. 土钉墙支护基坑对临近地下管线的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2015,13(6):20-24.
- [14] 王曙光,滕延京,段启伟,等. 土钉墙变形及土钉内力特征研究[J]. 土木工程学报,2015,48(S2):36-40.
- [15] 庞晓明. 水泥土搅拌桩复合土钉支护基坑的变形与稳定性分析[D]. 上海:上海交通大学,2007.

(上接第 101 页)

参考文献:

- [1] 李晓军,李世民,徐宝. 岩土锚杆、锚索的新发展及展望[J]. 施工技术,2015,44(7):37-43.
- [2] 刘波,张功,杨伟红,等. 扩大头锚索在饱和粉细砂层中的受力特性[J]. 地下空间与工程学报,2016,12(2):412-419.
- [3] 曾召田,刘发标,吕海波,等. 干湿交替环境下膨胀土变形试验研究[J]. 水利与建筑工程学报,2015,13(3):72-76.
- [4] 杨相. 膨胀土工程特性试验研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2018.
- [5] 何鹏. 膨胀土力学特性研究及边坡稳定性分析[D]. 西安:西安理工大学,2018.
- [6] 袁俊平,丁巍,蔺彦玲,等. 浸水历时对裂隙膨胀土渗透性的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2014,12(1):83-86.
- [7] 陈亮,卢亮. 土体干湿循环过程中的体积变形特性研究[J]. 地下空间与工程学报,2013,9(2):229-235.
- [8] 冷挺,唐朝生,徐丹,等. 膨胀土工程地质特性研究进展[J]. 工程地质学报,2018,26(1):112-128.
- [9] 李凌芸. 基于干湿循环的膨胀土工程特性试验研究

[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.

- [10] 涂兵雄. 预应力锚杆柔性支护法机理与力学行为研究[D]. 大连:大连理工大学,2013.
- [11] 任德斌,常思萌,王国业. 扩大头锚杆结构参数优化研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016(3):466-475.
- [12] 李芬祥. 深基坑桩锚支护的数值模拟分析[D]. 马鞍山:安徽工业大学,2013.
- [13] 黄明华,赵明华,陈昌富. 锚固长度对锚杆受力影响分析及其临界值计算[J]. 岩土力学,2018,39(11):125-133,154.
- [14] 李阳,王利超,冯振华,等. 扩大头抗拔锚杆承载特性理论分析与数值模拟[J]. 西南公路,2017(3):150-155.
- [15] 曹帅. 旋喷扩大头锚索在帝一广场基坑项目中的应用研究[D]. 绵阳:西南科技大学,2018.
- [16] 四川省建筑地基基础检测技术规程:DBJ51/T014—2013[S]. 成都:西南交大出版社,2013.
- [17] 袁贵兴,张炳焜,胡蓉. 膨胀土地区压力型囊式锚索抗拔承载力试验研究[J]. 四川建筑,2015,35(3):124-127.