

囊式扩大头锚索在航道边坡整治中的应用研究

孙 萍¹, 缪海林¹, 唐雨卉², 毛昆明¹, 燕立群³

(1. 金陵科技学院建筑工程学院, 江苏 南京 211169; 2. 皖江工学院水利工程学院, 安徽 马鞍山 243031;
3. 江苏远卓地下工程技术有限公司, 江苏 南京 211100)

摘 要:以南京市秦淮河航道边坡整治工程为背景,选择某一航段左右两岸分别进行普通锚杆和囊式扩大头锚索荷载-位移关系试验。现场试验结果表明,在相同长度、相同规格条件下,囊式扩大头锚索承载力明显更大;在相同设计承载力条件下,囊式扩大头锚索长度明显更小。数值模拟结果显示,应用囊式扩大头锚索可以明显减少桩顶水平方向的位移。得出结论为:应用囊式扩大头锚索替代普通锚杆,能有效提高承载力,控制变形,保证结构安全,具有显著的经济与社会效益。

关键词:囊式扩大头锚索;普通锚杆;航道;边坡整治

中图分类号:TV85

文献标识码:A

文章编号:1672-755X(2021)03-0066-07

Research on Application of Bladder Expansion Anchor Cable in a Channel Slope Regulation Project

SUN Ping¹, MIAO Hai-lin¹, TANG Yu-hui², MAO Kun-ming¹, YAN Li-qun³

(1. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 2. Wanjiang University of Technology, Maanshan 243031, China; 3. Jiangsu Yuanzhuo Underground Engineering Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: Taking the Qinhuai River channel slope regulation project in Nanjing as the engineering background, the left and right sides of a certain river channel section are selected to carry out analysis of the load-displacement relationship between ordinary anchor shank and bladder expansion anchor cable respectively. The field test results show that under the conditions of the same length and specification, the bearing capacity of the bladder expansion anchor cable is significantly increased; under the same design bearing capacity, the bladder expansion anchor cable length is obviously decreased. The numerical simulation results show that the application of bladder expansion anchor cable can significantly reduce the horizontal displacement of the pile top. It can be concluded that the application of bladder expansion anchor cable instead of ordinary anchor shank can effectively improve the bearing capacity, control the deformation, and ensure the safety of the structure, which has significant economic and social benefits.

Key words: bladder expansion anchor cable; ordinary anchor shank; channel; slope regulation

锚杆是一种比较常用的边坡支护装置。普通锚杆由锚固段和自由段构成,锚杆的抗拔力主要取决于锚固段与周围土体之间的摩擦力。由于普通锚杆直径小(一般为110~150 mm),因此单根锚杆抗拔力较小。在深厚软土层中,普通锚杆由于锚固力不足、蠕变较大、注浆不饱满等通常不被采用^[1-2]。

收稿日期:2021-05-21

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51608267);金陵科技学院高层次人才引进启动基金项目(jit-rcyj-201501);金陵科技学院横向课题资助项目(jit-h-2019-026)

作者简介:孙萍(1966—),女,江苏常州人,教授,硕士,主要从事岩土工程及支护的研究。

囊式扩大头锚索是一种端压型锚索^[3-4],由高压旋喷水泥土桩和锚索两部分组成,通过高压旋喷技术对软弱土层进行加固处理。锚索通过可拆卸的钻头装配到钻杆的前端,钻杆在土体中钻孔至设计深度,将锚索钻头带入土体;钻杆为空心钢管的中空通道,向孔壁高压旋喷注浆并切割土体,水泥浆液充填土体空腔形成葫芦状锚固体;锚固段尾部形成扩大头。

20世纪70年代,法国 Soletanch、瑞典 Atlas、原西德 Klamm 和英国 Fndedile 等公司先后将扩孔钻头试用在一些工程实例上^[5-6]。我国对扩大头锚索研究起步较晚,相关文献较少,在中国知网搜索关键词“扩大头锚索”,截至2020年10月,获得学术期刊论文58篇、研究生学位论文4篇、会议论文6篇,其中最早一篇发表于2008年。丘建金等^[7]在滨海软土地地区地铁周边某深大基坑支护设计中提出:采用普通锚杆,其有效锚固力一般不大,而且会引起支护结构较大的变形;采用扩大头锚索,严格控制施工质量,大大加快工期,既保证了周边地铁的安全运营,又降低了工程造价。朱建等^[8]在临海地区软弱土大面积深基坑工程支护设计中提出钢板桩+扩大头锚索的支护形式。梁志美^[9]提出,在淤泥土层中采用扩大头锚索的锚固长度可比普通锚杆的锚固长度小,扩大头锚索抗拔力是普通锚杆抗拔力的2~3倍。陈开明^[10]、韩永昌^[11]提出扩大头锚索在深厚软土地层基坑支护结构选型及设计中的加固效果十分明显。金炯球^[12]在某大型基坑工程采用上部为扩大头锚索、中下部为混凝土支撑的混合支护结构,大大节约了工程成本,缩短了工期。崔来当^[13]提出旋喷扩大头锚索在深厚软黏土超大深基坑支护中通过控制注浆压力可以确保扩大头直径,通过控制水泥浆水灰比和注浆量可以确保扩大头水泥土强度。

囊式扩大头锚索在航道边坡整治工程中的应用研究及相关文献很少。为了验证囊式扩大头锚索在航道边坡整治中的应用效果,本研究选取南京市秦淮河航道边坡整治的某一航段为试验段,分别进行囊式扩大头锚索和普通锚杆的荷载-位移关系的试验和数值模拟研究分析。

1 工程概况

秦淮河航道溧水石臼湖—江宁彭福段起点为天生桥河入石臼湖口处,终点为江宁彭福村,经过溧水区和江宁区,地面高程▽10.0~40.0 m(吴淞高程)。该航道位于江苏西南部宁镇丘陵、岗地分布区,境内多低山、丘陵和阶地、垄岗,地质条件变化较大。项目试验段位于溧(溧水)马(马鞍山)高速桥航道,共计48 m。

1.1 地质条件

两岸边坡地层主要为素填土层、粉质黏土层、淤泥质粉质黏土层等。

1-1粉质黏土层(Q4):灰黄色,局部夹碎石,可塑状态,局部软塑状态,成分不均,性质不均,试验段分布较普遍。

1-2淤泥质粉质黏土层(Q4):灰色,流塑,高孔隙比,具高压缩性,局部含腐殖质,具腥臭味。该层土质较差,开挖时需考虑软土对边坡的影响。

1-2a粉质黏土层(Q4):灰色,软塑~可塑,具中偏高压缩性;夹于1-2层间,局部地段分布。

3-1粉质黏土层(Q3):灰黄~黄灰色,含铁锰结核,可塑~硬塑状,中等~中等偏低压缩性。

3-1a粉质黏土层(Q3):灰黄色,可塑,局部软塑,具中等压缩性;夹于3-1层间,局部地段分布。

1.2 物理力学参数

项目左岸、右岸边坡场地土层物理力学参数分别如表1、表2所示。

表1 左岸边坡土的物理力学参数

土层编号	土层名称	土层厚度/m	土的重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$
1a	素填土	1.3	18.0	31.1	10.1
1-2	淤泥质粉质黏土	4.2	19.1	13.6	9.8
3-1a	粉质黏土	4.8	19.0	21.8	11.2
3-1	粉质黏土	3.5	19.5	50.0	17.0

表 2 右岸边坡土的物理力学参数

土层编号	土层名称	土层厚度/m	土的重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$
1-1	粉质黏土	1.0	19.1	32.5	14.4
1-2	淤泥质粉质黏土	1.5	17.4	13.6	9.8
1-2a	粉质黏土	0.7	19.2	30.5	10.8
3-1	粉质黏土	2.6	19.5	50.0	17.0
3-1a	粉质黏土	0.9	19.0	21.8	11.2
3-1	粉质黏土	4.3	19.5	50.0	17.0

1.3 项目难点

项目的难点在于本航段为平地开河,航道两岸边坡距离溧马高速桥主桥墩较近,河道宽度受限,稍有不慎,将影响溧马高速桥的正常使用;且左岸场地范围内淤泥质粉质黏土层较厚,对边坡稳定存在不利影响。因此,必须采用有效的围护结构进行岸坡防护。

根据现场条件,本航段最初拟采用 U 型钢板桩+胸墙+普通锚杆的支护方案,但由于地层中淤泥质粉质黏土层较厚,具有压缩性高、力学强度低的特点,利用普通锚杆很难达到抗拔承载力的设计要求^[14]。在满足承载能力的前提下,普通锚杆的设计长度过长将导致难以施工和施工效果难以控制等,给后期工程安全带来隐患。经过技术论证,本航段边坡拟采用囊式扩大头锚索,利用锚索钻机在土层中钻进成孔,在钻孔内置入完整的囊袋、锚索,将囊袋注满水泥浆,对锚索周围土层进行高压旋喷注浆,使锚索与原有地层形成新“岩体”。该工艺一方面可以增大锚固体截面,使锚固体与土体之间的摩阻力增大;另一方面囊袋逐渐扩大并挤压周边土层,使周边土层压密,扩大头端头与挤压土层之间形成端承力^[15]。

由于囊式扩大头锚索在航道边坡工程中的应用尚无案例可以借鉴,因此选择同一试验段左右两岸分别开展囊式扩大头锚索与普通锚杆试验,进行对比研究。

2 现场试验

2.1 试验方案

现场试验时锚杆的参数、材料、施工工艺及其所处的地质条件应与工程锚杆的相同;同一条件下试验的锚杆数量应不少于 3 根。采用 6 次循环加载法^[16]。考虑现场试验结果的可对比性,分别选择同一航段左岸和右岸各布置 1 组试验锚杆,每组 6 根,分别为 3 根普通锚杆、3 根囊式扩大头锚索。

试验组一布置于航道右岸边坡,锚杆长度均为 22 m,锚杆平面布置如图 1 所示,其中普通锚杆(即图中分散压缩型锚索,下同)编号为 LK32、LK33、LK34,囊式扩大头锚索编号为 LK20、LK21、LK22。在相同长度、相同规格条件下,对普通锚杆与囊式扩大头锚索的抗拔承载力进行现场试验。

试验组二布置于航道左岸边坡,锚杆平面布置如图 2 所示,其中普通锚杆长度均为 30 m,编号为 LK1、LK2、LK3,囊式扩大头锚索长度均为 18 m,编号为 LK17、LK18、LK19。在相同抗拔承载力条件下,对普通锚杆与囊式旋喷扩大头锚杆的长度进行现场试验。

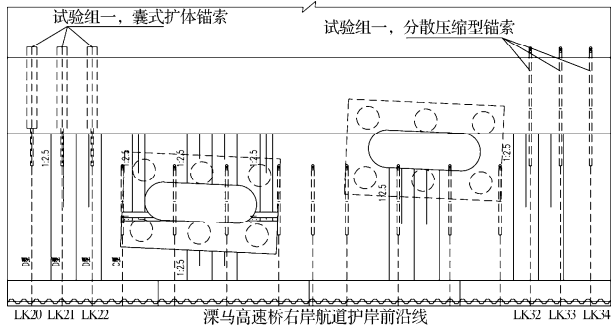


图 1 右岸试验锚杆布置

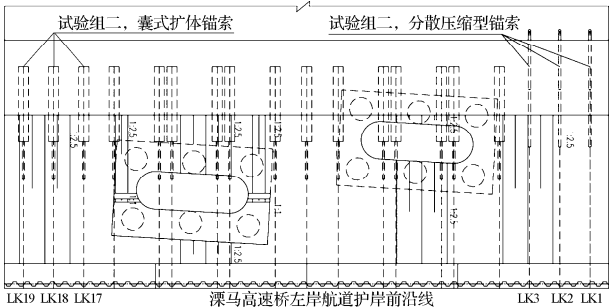


图 2 左岸试验锚杆布置

普通锚杆抗拔力极限值采用公式(3)计算^[16]。

$$R_k = \pi d \sum q_{sik} l_i$$

(3)

式中: R_k 为锚杆抗拔力极限值(kN); d 为锚杆的锚固体直径(mm); l_i 为锚杆的锚固段在第 i 土层中的长度(m); q_{sik} 为锚固体与 i 土层之间的极限粘结强度标准值(kPa),具体如表 4 所示。

表 4 极限粘结强度标准值^[16]

土层编号	土层名称	极限粘结强度 标准值/kPa
1-1	粉质黏土	19.1
1-2	淤泥质粉质黏土	20.0
1-2a	粉质黏土	55.88
3-1	粉质黏土	68.52
3-1a	粉质黏土	37.6

依据锚杆的设计参数、土的物理力学性质以及锚固体与土层间的极限粘结强度标准值,估算试验锚杆抗拔力极限值。试验组一右岸囊式扩大头锚索和普通锚杆的抗拔力极限值分别约为 400 kN 和 295 kN,试验组二左岸的囊式扩大头锚索和普通锚杆的抗拔力极限值均约为 475 kN。

2.3 现场试验结果

2.3.1 右岸现场

对囊式扩大头锚索 LK20、LK21、LK22 做抗拔极限承载力基本试验,取最大试验荷载 400 kN 进行 6 次循环加载,荷载-位移关系曲线见图 4;同样,对普通锚杆 LK32、LK33、LK34 取最大试验荷载 295 kN 进行 6 次循环加载,荷载-位移关系曲线见图 5。

试验结果显示,在相同地质条件下,当锚杆长度相同时,囊式扩大头锚索具有更高的抗拔承载力。

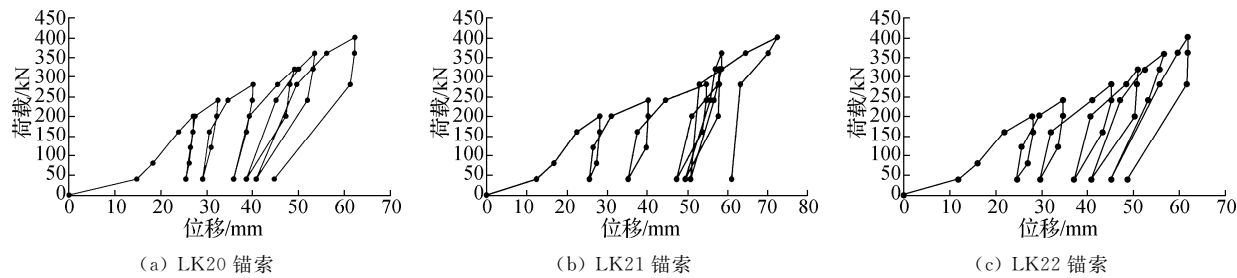


图 4 右岸囊式扩大头锚索荷载-位移关系曲线

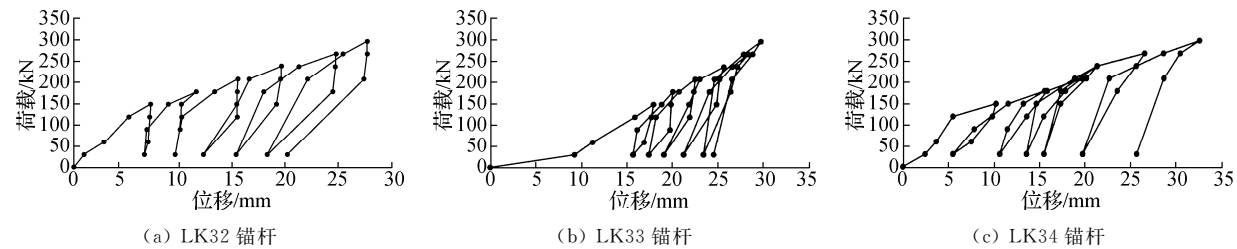


图 5 右岸普通锚杆荷载-位移关系曲线

2.3.2 左岸现场

左岸囊式扩大头锚索长度为 18 m,编号 LK17、LK18、LK19;普通锚杆长度为 30 m ,编号 LK1、LK2、LK3。取最大试验荷载 475 kN 进行 6 次循环加载,荷载-位移关系曲线如图 6 所示。(以 LK1 为例,其余锚杆情况类似。)结果显示,在相同地质条件下,当承载力相同时,囊式扩大头锚索长度较普通锚杆长度明显减小。

对比左右两岸试验结果还可以看出,尽管左岸囊式扩大头锚索长度较右岸囊式扩大头锚索长度短,但是由于左岸扩体段直径(800 mm)大于右岸扩体段直径(500 mm),因此,左岸的囊式扩大头锚索的抗拔承

载力明显增大。

3 数值模拟分析

3.1 建模概述

以航段右岸边坡工程为背景,取与试验相同条件的数据,建立 ABAQUS 有限元软件模型(图 7),分析囊式扩大头锚索和普通锚杆的受力性能。采用实体单元 CPS4 模拟排桩和土体,欧拉梁单元 B31 模拟锚索;排桩和锚索采用线弹性模型,土体采用 M-C 弹塑性本构模型;排桩和锚索采用 Tie 接触模拟,即两者绑定在一起,忽略桩与锚索之间的位移;锚索与土体之间定义为 Penalty 函数摩擦接触,摩擦系数为 0.3。模型底部约束竖向位移,两侧约束水平向位移。

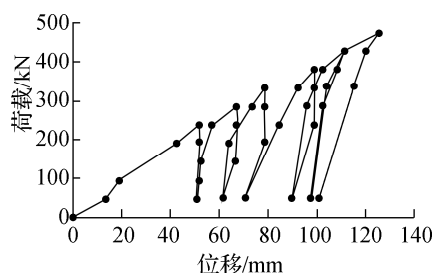


图 6 左岸锚杆(LK1)荷载-位移关系曲线

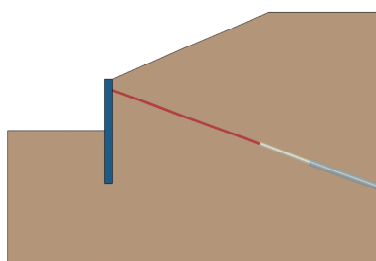


图 7 排桩-锚索-边坡有限元模型

3.2 数值模拟结果

3.2.1 锚索承载力分析

图 8 为右岸锚索抗拔承载力分析云图。从图中可以看出,当边坡稳定时,囊式扩大头锚索抗拔极限承载力可达到 452 kN,普通锚杆只有 300 kN。说明在相同外部环境下,囊式扩大头锚索能大幅提高支护能力以平衡土压力,使得边坡更安全。

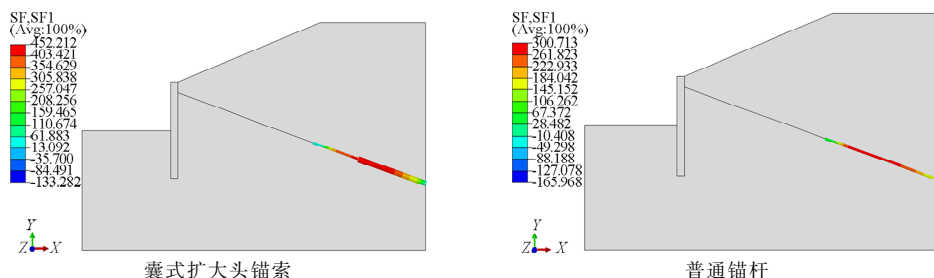


图 8 右岸锚索抗拔承载力分析云图(单位:kN)

3.2.2 支护桩顶水平位移分析

图 9 为右岸桩顶水平位移分析云图。采用囊式扩大头锚索时桩顶水平位移 19 mm,采用普通锚杆时桩顶水平位移 24 mm。说明在相同外部环境下,采用囊式扩大头锚索支护可以有效减小支护桩顶水平位移量,降低工程隐患。

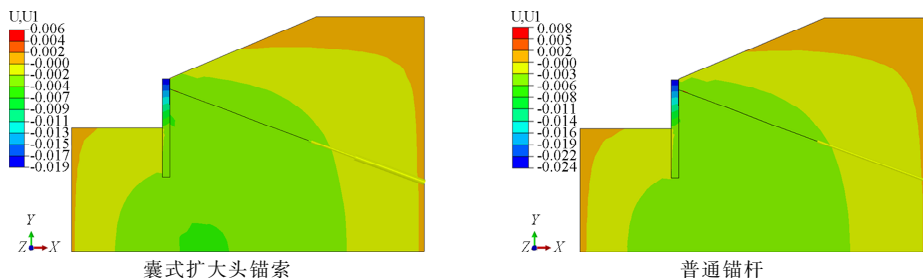


图 9 右岸桩顶水平位移分析云图(单位:m)

4 结 语

计算锚杆抗拔极限承载力理论值,并以该值作为预估破坏荷载,采用循环加载法进行锚杆抗拔力基本试验。本航段现场试验结果表明,在航道边坡整治工程中,囊式扩大头锚索较普通锚杆具有明显的优势。主要表现在:1)在满足相同设计承载力要求的条件下,所需的囊式扩大头锚索长度远小于普通锚杆。据测算,在锚杆长度不增加的条件下,相比普通锚杆,囊式扩大头锚索承载力明显提高,提高35%以上。2)囊式扩大头锚索抗拔力的效果主要取决于扩体段(囊袋部位)变截面的端头挤压力,承载能力可靠。试验表明,通过增加扩大头直径,可以明显提高承载力。3)囊式扩大头锚索的囊袋有统一的尺寸规格,利于控制扩体段注浆量以及注浆效果。

右岸试验段的数值模拟结果同样表明,囊式扩大头锚索抗拔极限承载力明显高于普通锚杆,而且能有效控制支护桩顶水平位移。但数值模拟分析中排桩和锚索采用线弹性模型,因此分析结果与现场试验数据之间存在一定差距。如何建立更接近实际工程的数值模型,缩小数值分析与现场试验之间的差距,为工程决策提供准确可靠的数值模拟分析结果,后期还需要做大量的研究。

参考文献:

- [1] 陶铸,范钦建,宋德鑫.旋喷加筋水泥土桩锚支护技术在深基坑工程中的应用[J].岩土工程技术,2015,29(3):158-162
- [2] 杜明芳,李帅兵,王清山.止水帷幕后插筋与旋喷锚索联合支护在软土地场地的应用[J].施工技术,2014,43(17):26-29
- [3] 戴巍巍.深基坑支护工程施工旋喷锚索与常规锚索技术比较[J].科技创新与应用,2015(13):253
- [4] 黄小平,平扬,张梁.扩大头锚索在某复杂环境下深基坑支护工程中的应用[J].中国农村水利水电,2013(6):139-140,144
- [5] 王立峰.扩大头锚杆技术与工程应用[D].武汉:湖北工业大学,2018
- [6] 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
- [7] 丘建金,吕晶,李爱国.滨海软土地区地铁周边深大基坑支护技术与分析[J].工程勘察,2014(Z1):843-851
- [8] 朱建,李泽杰.临海地区软弱土大面积深基坑工程快速支护设计[J].西部探矿工程,2014(10):178-180
- [9] 梁志美.扩大头锚索在淤泥地层基坑支护中的应用[J].建设科技,2015(13):123-124
- [10] 陈开明.扩大头锚索在横琴软土深基坑支护中的应用[J].西部资源,2015(4):190-191
- [11] 韩永昌.某深厚软土地层基坑支护结构选型及设计实录[J].福建建材,2016(8):37-39,87
- [12] 金炯球.桩加锚撑混合支护结构在软土地区深基坑中的应用[J].广东土木与建筑,2017(3):34-36
- [13] 崔来当.旋喷扩大头锚索在深厚软粘土基坑支护中的应用[J].山西建筑,2018,44(27):73-74
- [14] 李云峰,彭小林.扩大头锚索在地铁深基坑施工中的应用[J].建筑监督检测与造价,2008(10):25-28
- [15] 李岳.旋喷扩大头锚索在深基坑工程中的应用[J].工程技术研究,2019,4(2):215-216
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部.高压喷射扩大头锚杆技术规程:JGJ/T 282—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012

(责任编辑:湛江)