

高压旋喷锚索在软土地区的应用试验研究

刘魁^{1,2} 徐龙帅¹ 高路皓²

(1. 长安大学地质工程与测绘学院,陕西西安 710054; 2. 信息产业部电子综合勘察研究院,陕西西安 710001)

【摘要】 为了研究高压旋喷锚索在软土地区的应用效果,选取了三组不同锚固长度和不同锚盘数量的高压旋喷锚索在软土地区进行抗拔试验,并对试验结果进行了对比分析。研究发现:高压旋喷锚索具有良好的抗拔力及抗变形性能;采用双锚盘的高压旋喷锚索与采用单锚盘的高压旋喷锚索相比,在抵抗变形能力上有显著的提升;在本次试验条件下,加长高压旋喷锚索的锚固长度对提高其抗变形能力效果并不明显。本次试验对高压旋喷锚索在软土地区工程上的推广运用具有现实的指导意义。

【关键词】 高压旋喷锚索;软土地区;基坑支护;抗拔实验;锚盘

【中图分类号】 TU 942

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2018.02.003

Application Test on High Pressure Jet-grouting Anchor Cable in Soft Soil Area

Liu Kui^{1,2} Xu Longshuai¹ Gao Luhao²

(1. Chang'an University College of Geology Engineering and Surveying, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Electronic Comprehensive Investigation & Surveying Institute of Ministry of Information Industry, Xi'an 710001, Shaanxi, China)

【Abstract】 In order to study the application effect of high pressure jet-grouting anchor cable in soft soil area, three kinds of different fixed anchor length and different number of anchor plate jet-grouting anchor were selected to carry tension experiment to analyze the test result in soft soil area. It was found that high pressure jet-grouting anchor cable had greatly increased the pulling resistance and anti-deformation ability. By using two anchor plates, the ability of anti-deformation has improved significantly compared with using one anchor plate. Under this experimental condition, by increasing the anchor age length of high pressure jet-grouting anchor extension to improve its anti-deformation ability is not obvious. It is of great significance for the application for high pressure jet-grouting anchor in soft soil area.

【Key words】 high presure jet-grouting cable; soft soil area; foundation support; cable tension experiment; anchor plate

0 引言

锚杆锚固是一种较为成熟的岩土锚固技术,能充分发挥岩土自身能量、调用和提高岩土的自身强度和自稳能力,与基坑支护中常用的内支撑支护形式相比,锚杆锚固可以节省大量内支撑和竖向支承的设置和拆除等工程量,因此在经济性上具有较大的优势,且锚杆施工能与基坑土方开挖平行进行,能为土方机械化施工及地下室建造提供宽敞无阻的工作面,大大加快工程建设速度^[1]。尽管锚杆在工程中应用广泛,但也存在缺点和局限性,例如普通锚杆的直径一般较小,侧摩阻力受到很大的限制,抗拔力低。尤其在软弱土层,普通锚杆难以成孔、成锚。国

内外规范规定,一般在软土层中不建议使用锚杆^[2]。高压旋喷锚索是基于旋喷技术新开发出的一种新型岩土锚固技术,该技术在高压旋喷桩技术的基础上实现了大直径的锚固体,同时对软弱土层进行加固,从而大幅度提高了单锚抗拔承载力,有效地克服了软土地层中常规锚杆的难以成孔的应用难题。

近几年,高压旋喷锚索在一些软土地区基坑支护工程中得到成功运用^[3],取得了良好的效益。国内外对锚杆的受力和破坏机理也进行了大量的研究,刘全林^[4]给出了量化评定加劲桩支护对桩侧土体加固效果的方法,建立了加劲桩的加固和支护刚度计算方法;陈新年等^[5]探讨了在锚杆支护中使用

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划(2013KTCL03-12)

作者简介:刘魁,男,1984年生,汉族,山西吕梁人,硕士,工程师,主要从事基坑支护设计与科研方面的工作。

E-mail: 82359552@qq.com

碟形托盘及其组合体进行让压支护的可行性;路威等^[6]基于高压旋喷破土扩孔的物理过程,提出一种便于实际应用的高压旋喷锚杆锚固体直径计算方法;Shen 等^[7]应用水平旋喷复合管技术在上海软土地层中进行了试验;陈志博等^[8]应用有限元软件对大直径锚杆的承载变形特性进行了模拟。前人虽然在理论上取得了进展,但由于土体的离散性、复杂性,仅从理论上研究远满足不了工程应用的需要。因此,有必要进行现场试验研究,本文通过对高压旋喷锚索在嘉兴某基坑现场进行抗拔承载力试验,研究其受力性能和变形特点,进而指导工程实践。

1 高压旋喷锚索的施工工艺和特点

与采用先钻孔后注浆的传统锚杆的施工工艺不同,高压旋喷锚索是在高压旋喷桩工艺上加以改进而成,旋转钻头的水泥浆在高压作用下,从侧翼喷嘴向外喷射,喷射过程中同步对周侧土体进行切割,高压旋转钻头与锚盘相互连接,钻头在动力推动下逐渐向前推进,同时将固定在锚盘上的钢绞线直带入,直至达到设计深度后,钻杆带着钻头自动退出,锚盘留到锚索端部,从而形成具有高承载力的大直径锚杆^[9]。其特点主要表现在以下几方面:

1)通过旋喷搅拌形成大直径水泥桩体的同时,改善了锚索周围土层的性能,一方面增加了锚固体

周围土层的单位侧阻力,另一方面解决了普通锚杆在软土地区施工中,易塌孔、难成锚的难题,使得高压旋喷锚索技术适用于各种土质条件。

2)水泥浆高压旋喷成桩,通过控制喷浆压力的大小,可以形成不同直径的锚固体。成桩直径在软土地区可以达到 700 mm,甚至更大直径。与常规锚杆的锚固体直径 150~200 mm 相比,有着更大的侧摩阻面积,可提供更大的承载力。

2 现场试验方案

2.1 试验主要流程

本次试验流程参照《高压喷射扩大头锚杆技术规程》(JGJ/T 282)^[10]和《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)^[11]等有关规范确定:

①进行高压旋喷锚索放样→②机具就位并施工高压旋喷锚索→③养护高压旋喷锚索→④待强度达到设计要求,进行拉拔试验。

2.2 试验高压旋喷锚索设计参数

本次试验共选取 9 根高压旋喷锚索,分为三组进行抗拔试验,锚索设计参数见表 1。所用锚盘直径 200 mm,厚度为 16 mm;锚索设置单个锚盘时,其位于锚固段底端,设置双锚盘时,分别位于锚固段起点 2 m 处与锚固段底端。本次试验水泥采用 P. O. 42.5 普通硅酸盐水泥,旋喷搅拌压力为 20 MPa,钢绞线抗拉强度等级 1860 MPa。

表 1 高压旋喷锚索试验设计参数

组别	编号	锚索长度 /m	自由段长度 /m	锚固段长度 /m	桩径 /mm	钢绞线规格	锚盘数量 /个	最大试验荷载 /kN
第一组	1-1							
	1-2	19	10	9	500	3×7φ _s 15.2 1860	1	620
	1-3							
第二组	2-1							
	2-2	21	10	11	500	3×7φ _s 15.2 1860	2	620
	2-3							
第三组	3-1							
	3-2	19	10	9	500	3×7φ _s 15.2 1860	2	620
	3-3							

2.3 场地工程地质和水文地质条件

试验场地地貌单元属于长江三角洲冲湖积平原,土层时代主要为第四系全新统 Q₄、上更新统 Q₃,试验所选取土层自上而下土性及参数参见表 2。勘察期间,钻孔内稳定水位埋深 1.5 m 左右,为浅部孔隙潜水,以大气降水垂直渗入补给为主。

表 2 各土层物理力学指标

层号	土性	厚度 /m	天然重度 /(kN·m ⁻³)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
1	素填土①	1.2	18.0	10	12
2	粉质黏土②	1.8	18.4	20	16
3	淤泥质粉质黏土③	3.5	17.6	12	10

续表

层号	土性	厚度 /m	天然重度 /(kN·m ⁻³)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
4	黏土④-1	2.5	19.2	35	17
5	粉质黏土④-2	4.0	19.0	25	17
6	砂质粉土④-2a	3.5	18.6	8	26

2.4 试验方法

试验依据《高压喷射扩大头锚杆技术规程》(JGJ/T 282)^[10]、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086)^[12]等有关规定进行,利用一台 1000 kN 的油压千斤顶对试验高压旋喷锚索分级多循环加、卸荷载,荷载大小由压力传感器通过 RS-JYB 桩基静载测试分析系统控制,并通过精密压力表校核。

锚头位移测量采用 1.5 m 长的 $\phi 40$ mm 钢管打入地下作为测量基准,锚索的锚头轴向位移采用量程为 50 mm、精度为 0.01 mm 的频率式位移传感器,通过 RS-JYB 桩基静载测试分析系统自动采集、存储。

试验中预先估计压力型锚杆的破坏荷载^[13]。

最大试验荷载不应超过钢绞线强度标准值的 0.8 倍,本试验取 620 kN。试验锚索应用于基坑支护工程上的承载力设计值取 310 kN。试验初始荷载取最大试验荷载的 10%,即 62 kN,每级加荷增量取最大试验荷载的 10%,即 62 kN。当出现下列情况时,可认为高压旋喷锚索破坏。

1)后一级荷载产生的锚头位移量达到或超过前一级荷载产生位移量的 2 倍;

2)锚头位移不收敛;

3)锚头总位移超过设计允许位移值。

主要试验设备:RS-JYB 桩基静载测试分析系统、横梁、百分表、基准梁、千斤顶、高压油泵、反力支架等。

3 试验成果及分析

3.1 试验成果

1-1、2-3、3-3 号锚索多循环加、卸载试验数据见表 3—表 5;1-2、2-1、3-1 旋喷锚索荷载-位移曲线见图 1;各试验锚索在最大试验荷载与承载力设计值作用下所对应的位移值见表 6。

表 3 1-1 号锚索试验数

初始荷载 /kN	加载循环 1		加载循环 2		加载循环 3		加载循环 4		加载循环 5		加载循环 6		观测时间 /min
	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	
62	62	7.83	62	17.93	62	23.73	62	29.25	62	34.77	62	41.30	5
	124	16.92	186	32.24	248	42.67	310	54.02	372	66.43	434	79.42	5
	248	31.18	310	43.35	372	54.50	434	67.23	496	80.20	558	95.10	5
	310	39.36	372	51.66	434	65.14	496	78.27	558	91.88	620	105.49	10
	248	38.08	310	51.13	372	64.84	434	77.90	496	91.24	558	105.22	5
	124	28.60	186	46.45	248	59.14	310	71.71	372	84.86	434	100.99	5
	62	17.93	62	23.73	62	29.25	62	34.77	62	41.30	62	48.75	5

表 4 2-3 号锚索试验数据

初始荷载 /kN	加载循环 1		加载循环 2		加载循环 3		加载循环 4		加载循环 5		加载循环 6		观测时间 /min
	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	
62	62	8.61	62	16.28	62	22.11	62	27.68	62	33.20	62	40.93	5
	124	15.72	186	32.24	248	42.67	310	54.02	372	66.43	434	79.42	5
	248	29.60	310	43.35	372	54.50	434	67.24	496	79.81	558	95.10	5
	310	37.79	372	51.66	434	65.14	496	77.12	558	90.67	620	109.45	10
	248	36.08	310	51.13	372	64.84	434	76.61	496	89.95	558	109.10	5
	124	29.00	186	46.61	248	60.58	310	71.71	372	84.86	434	100.99	5
	62	16.28	62	22.11	62	27.68	62	33.20	62	40.93	62	49.02	5

表 5 3—3号锚索试验数据

初始荷载 /kN	加载循环 1		加载循环 2		加载循环 3		加载循环 4		加载循环 5		加载循环 6		观测时间 /min
	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	荷载 /kN	位移 /mm	
62	62	6.54	62	12.60	62	17.08	62	21.32	62	25.26	62	29.92	5
	124	13.33	186	24.35	248	37.19	310	49.67	372	63.24	434	75.00	5
	248	24.72	310	35.62	372	48.58	434	61.06	496	75.84	558	85.29	5
	310	32.86	372	42.89	434	55.73	496	68.57	558	81.42	620	92.54	10
	248	30.77	310	42.04	372	55.00	434	68.07	496	81.21	558	92.23	5
	124	23.87	186	37.92	248	51.60	310	65.91	372	77.37	434	90.00	5
	62	12.60	62	17.08	62	21.32	62	25.26	62	29.92	62	35.35	5

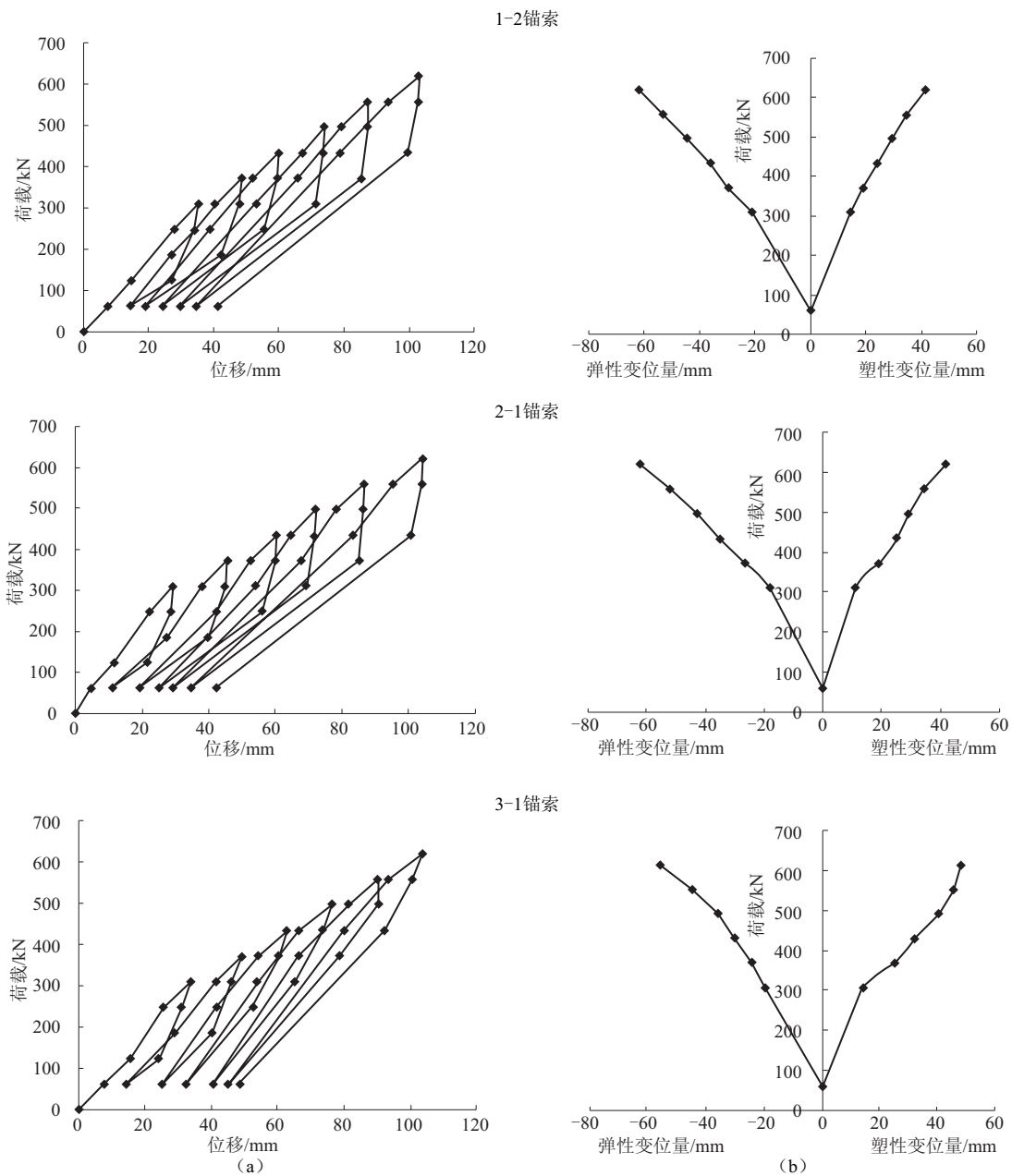


图 1 荷载-位移曲线、荷载-弹性位移和塑性位移曲线

表6 抗拔试验成果表

组别	编号	锚索长度 /m	自由端长度 /m	锚固段长度 /m	桩径 /mm	钢绞线	锚盘数 /个	最大试验荷载作用下位移/mm			承载力设计值作 用下位移/mm
								总位移	弹性	塑性	
第一组	1-1							105.49	56.74	48.75	39.36
	1-2	19	10	9	500	3×7φ _s 15.2	1	103.16	61.90	41.26	35.26
	1-3							116.67	67.41	49.26	34.01
第二组	2-1							103.77	55.46	48.31	33.49
	2-2	21	10	11	500	3×7φ _s 15.2	2	97.33	52.52	44.81	33.96
	2-3							109.45	60.43	49.02	37.79
第三组	3-1							104.12	62.24	41.88	29.20
	3-2	19	10	9	500	3×7φ _s 15.2	2	93.09	53.77	39.32	33.90
	3-3							92.54	57.19	35.35	32.86

3.2 试验成果分析

1) 试验所用的9根高压旋喷锚索在最大试验荷载620 kN作用下均未拔出,平均位移102.85 mm,且未出现明显的破坏迹象,据此其提供的极限抗拔力均大于620 kN;承载力设计值310 kN时对应的平均位移为34.43 mm,位移量均较小,可见试验锚索在承载力设计值作用下还具有一定的安全储备。

2) 采用双锚盘高压旋喷锚索较单锚盘高压旋喷锚索在抵抗变形能力上有显著的提升。第一组试验锚索为单锚盘高压旋喷锚索,最大试验荷载作用下平均位移108.44 mm,承载力设计值作用下的平均位移36.21 mm;第三组试验锚索为双锚盘高压旋喷锚索,最大试验荷载作用下平均位移96.58 mm(较第一组位移减小10.94%),承载力设计值作用下的平均位移31.99 mm(较第一组位移减小11.65%),比较可见采用双锚盘的高压旋喷锚索在抵抗变形能力上有显著的提升。分析其原因,笔者认为,一方面,钢绞线属柔性杆件,单锚盘高压旋喷锚索在施工时,钢绞线容易发生轻微弯曲或位置偏移,而采用双锚盘高压旋喷锚索能更准确地固定钢绞线位置,使其传力明确,因此位移控制效果较好;另一方面,当钢绞线承受拉拔荷载时,拉拔力转换为钢绞线与注浆体间的剪应力,当最大剪应力足够大,钢绞线与土体的黏结面进入塑性流动状态时,最大剪应力将向下移动^[14]。当钢绞线与土体的黏结面达到塑性流动状态并发展至注浆体顶端2 m处时,锚盘将承担部分钢绞线上的拉拔力并将其转化为对注浆体的压力,从而减小剪应力峰值,有助于提高抵抗变形的能力。

3) 由表6可以看出,第二组试验锚索与第三组试验锚索相比,锚固体长度增加2 m,但在最大试验

荷载和承载力设计值作用下,前者位移平均值为103.52 mm和35.08 mm,后者位移平均值分别为96.58 mm和31.99 mm,增大了锚固段长度的锚索,位移并未减小,反而变大,针对这一“反常”现象,笔者分析认为是两方面的因素综合作用的结果,一方面是受施工质量波动和局部土层条件变动的影 响;另一方面,在本次试验条件下,当锚索锚固长度达到9 m时,已接近临界锚固长度,通过增大锚固长度以控制位移的增长,作用不明显,这与文献^[15]的结论是一致的。在设计中应当引起注意,合理设计锚固段长度,避免造成材料浪费。

4) 第一组单锚盘高压旋喷锚索在最大试验荷载作用下的塑性位移平均值为46.42 mm,第三组双锚盘高压旋喷锚索在最大试验荷载作用下的塑性位移平均值为38.85 mm,比单锚盘高压旋喷锚索减小16.31%。张拉过程中产生的塑性位移主要由锚固体与土体的剪切滑移变形及钢绞线与锚固体的剪切滑移变形组成。试验结果表明,采用双锚盘旋喷锚索有利于减少锚固体与土体的剪切滑移以及钢绞线与锚固体的剪切滑移变形的性能,提高锚索的抗滑移能力。塑性变形是锚索在工作过程中预应力损失的主要原因之一。因此双锚盘锚索较强的抗塑性变形能力有利于减小锚杆长期预应力损失。

4 结 论

1) 高压旋喷锚索是一种新型岩土锚固技术,它的优点是可提供较大的抗拔力,适用于各种土质条件,尤其在软土地区更能发挥其优势。

2) 其他条件相同的情况下,采用双锚盘的高压旋喷锚索与采用单锚盘在抵抗变形能力上有显著的提升。

(下转封3页)