

# 旋喷自带钢绞线锚杆现场试验研究

崔江余<sup>1</sup>, 贺长俊<sup>2</sup>, 杨桂芹<sup>3</sup>

(1. 北京交通大学隧道与地下工程教育部工程研究中心, 北京 100044; 2. 北京城建集团有限责任公司, 北京 100088;  
3. 北京城建设计研究总院, 北京 100037)

**摘要:** 高压旋喷是一种较成熟的地基处理技术, 将高压旋喷技术与地质钻机有机地结合起来可形成一种自带钢绞线的新型锚杆。结合工程实际介绍了三根该新型足尺锚杆抗拔破坏试验的情况, 并与二根足尺传统锚杆的试验结果进行了对比, 旋喷自带钢绞线锚杆利用高压旋喷技术在软弱土层中可形成抗拔力较大的锚固体, 利用特殊工艺在旋喷加固土体的同时可将钢绞线直接带入预设土层中, 克服了传统锚杆不能在软弱土层中施工的局限性, 而且根据需要还可在设定的土层中形成扩大头(即变截面), 这样可大大增加锚杆的抗拔力, 试验成果对研究高压旋喷自带钢绞线锚杆的受力机理提供了较完整的资料, 对该锚杆在工程上的推广应用具有现实的指导意义。

**关键词:** 高压旋喷; 锚杆; 自带钢绞线; 基坑支护; 抗拔承载力

**中图分类号:** TU472      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4548(2009)12-1947-05

**作者简介:** 崔江余(1962-), 男, 山西晋城人, 博士, 从事隧道与岩土工程及建筑物改造与病害处理的教学和科研工作, E-mail: cuijiangyu@263.net。

## Field tests on jet-grouting self-boring anchors

CUI Jiang-yu<sup>1</sup>, HE Chang-jun<sup>2</sup>, YANG Gui-qin<sup>3</sup>

(1. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100088, China; 3. Beijing Urban Engineering & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100037, China)

**Abstract:** Jet-grouting is a mature technique for foundation treatment. Combination of the jet-grouting with geological drilling rig will make a new type of self-boring anchors. Tests on the uplift destruction of three full-scale anchors are introduced, and the test results are compared with those of two traditional full-scale anchors. The jet-grouting self-boring anchors use the jet-grouting to form a better anchor-body in the soft soil by taking strand to the default soil with jet grouting, which overcomes the traditional deficiency that the anchor bolts can not be used in the soft soil. Another advantage is that the jet-grouting self-boring anchors can make an expansion of the end (variable cross-section), which can significantly raise pull-out force. The study results will provide more complete experimental data of high pressure jet-grouting self-boring anchors. And it is of great significance to use the present anchors in projects.

**Key words:** high pressure jet-grouting; anchor; self-boring; bracing of foundation pit; uplift capacity

## 0 引 言

在岩土工程界, 桩锚支护技术已成为一种主要的支护形式, 也是一种较为成熟的技术。岩土锚固技术能充分发挥岩土能量、调用和提高岩土的自身强度和自稳能力, 可节约工程材料, 确保支护工程稳定和施工安全<sup>[1]</sup>。尽管锚杆在工程上应用较为广泛, 但也存在一些缺点和局限性, 例如, 锚杆一般直径较小, 与土体的接触面积有限, 侧摩阻力受到很大的限制, 抗拔力低。尤其在特殊土层, 如淤泥、软土、松散砂层、饱和流塑黏土和有丰富地下水源的情况难以成孔、成

锚。此时, 锚杆成型后如同在豆腐渣中插入钢杆, 抗拔力难以保证。国内外规范规定, 一般在软土层中不建议使用锚杆。

随着工程建设的需要, 近几年也开发了一些锚杆新技术, 如一次性成锚压浆技术、扩大头锚杆及可拆卸锚杆等, 但抗拔力低和软弱土层中难以施工的问题一直没有很好解决, 主要原因是传统锚杆施工工艺所限, 锚杆周围土体性质没有得到改善, 锚杆与周围土体的单位摩阻力小等等。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(C08B20010)

收稿日期: 2009-03-20

锚杆的破坏机理国内外也进行了大量的研究<sup>[2]</sup>,但对离散性很大的土体仅从理论上研究远满足不了工程上的需要,有必要对其进行现场试验,以便指导工程实践。旋喷自带钢绞线锚杆<sup>[3]</sup>是最近开发出来的一种新型锚杆,它不同于传统锚杆和土钉。该锚杆可适用于各种地质,尤其对深厚淤泥、软土、流砂、饱和流塑土层等更能发挥其优势。

本文主要针对该新型锚杆的抗拔性能进行现场试验,通过试验进一步探讨其受力性能和变形特点,为该锚杆在工程上的推广应用积累资料。

## 1 施工工艺和特点

旋喷自带钢绞线锚杆主要工艺是首先用高压旋喷技术对软弱土层进行加固,在旋喷搅拌的同时将钢绞线直接带入土中形成锚杆,根据需要还可形成扩大头。主要表现在以下几方面:

(1) 将高压旋喷技术与地质钻机有机地结合,利用高压旋喷强大的压力将土体和水泥浆(根据需要可适当添加外加剂)就地混合,形成水泥土,得到较大的锚固体。

(2) 通过钻头和锚固板相互连接,施工时可自带钢绞线。在高压旋喷成锚过程中,一边旋喷一边将钢绞线带入设计要求的位置。

(3) 锚端设有锚固体。锚固体是一钢构件,其作用是连接钻头和钢绞线。当旋喷自带钢绞线锚杆施工到设计要求的位置时,钻杆带着钻头自动退出,锚固构件留到设计锚杆端部,完成了锚杆的施工。此时,锚固体在锚杆端与水泥土形成一个很好的锚固端,锚固体与钻头连接参见图 1(a),锚固体与钢绞线的连接参见图 1(b)。

(4) 锚杆直径可控性好。由于本工艺锚杆直径是通过高压泵调整压力的大小来实现的,故可根据工程土性及工程具体情况随时调整压力大小来达到设计的锚杆体直径。一般直径可达 200~800 mm。

(5) 抗拔力大,抗拔力主要来自以下几个方面:

a) 较大的锚杆体直径增加了锚杆体与土层的侧阻面积。

b) 高压旋喷注浆改善了锚杆周围土层的性能,增加了锚固体周围土层的单位侧阻力。

c) 锚杆端部的锚固体形成的锚固端与锚杆结合成一体,要达到极限破坏,必须将整个锚杆水泥土柱体连同锚固端从土层中拔出,改变了传统锚杆仅靠锚杆体与土层侧阻提供抗拔力。



(a) 锚固体与钻头连接



(b) 锚固体与钢绞线连接

图 1 锚杆端部锚固体连接

Fig. 1 Connection of end of anchor bolt with anchor-body

## 2 试验概况

共选取三根新型锚杆和两根传统锚杆进行对比试验研究。

### 2.1 工程简介

旋喷自带钢绞线锚杆试验在北京地铁五号线雍和宫车站基坑内。该车站位于北二环雍和宫桥南侧的雍和宫大街。车站全长 128.2 m, 宽约 30 m, 其中车站南端约 104 m 长的范围采用明挖顺做法施工, 明挖基坑的深度约 23 m (西侧及南端头) 和 21.7 m (东侧), 基坑西侧采用土钉墙联合钻孔灌注桩加预应力锚杆支护技术, 南北两端头处采用钻孔灌注桩加四道钢支撑支护。基坑支护现场参见图 2(a), 旋喷高压设备参见图 2(b)。北端约 24.2 m 长的范围处于北二环的辅路下为埋置于地下三层的单层结构, 采用平顶直墙暗挖法施工。试验在基坑西侧进行。

### 2.2 工程地质及水文地质概况

车站范围场地主要为第四纪地层, 现状地面标高为 44.40 m, 土层自上而下土性及参数参见表 1。本场地下水为赋存与第四纪地层中的上层滞水、潜水和承压水。地震基本烈度为 8 度, 建筑场地类别为 II 类, 在地震烈度 8 度的情况下, 地面以下深度 20 m 范围内为不液化土层。



图 2 地铁五号线雍和宫车站旋喷锚杆  
Fig. 2 Jet-grouting self-boring anchors in subway Line 5

表 1 各土层物理力学性质

Table 1 Physico-mechanical properties of soils

编号	土性	土层厚度/m	$\gamma /(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力/kPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )
(1)	人工填土	3.6~7.8	16.0	10	15.0
(2) <sub>1</sub>	粉质黏土	4.0~11.2	17.5	34	30.3
(2) <sub>2</sub>	粉细砂	3.8~14.6	18.0	0	30.0
(3) <sub>1</sub>	中粗砂层	1.1	19.0	0	30.0
(3) <sub>2</sub>	粉质黏土	3.0~7.3	17.5	34	30.3
(3) <sub>3</sub>	粉细砂	0.7~3.9	18.0	0	30.0
(4)	粉土	3.5~9.8	17.5	26	14.18
(5)	卵石砂土层	7.0~15.2	20.0	0	41.50

表 2 锚杆设计参数

Table 2 Design parameters of anchors

编号	长 /m	自由段 /m	锚固段 /m	直径 /mm	倾角 /( $^{\circ}$ )	钢绞线	设计极限荷载 /kN
1	24	6	18	350	15	4×7φ5 1860	1170
2	24	6	18	350	15	6×7φ5 1860	1350
3	21	6	15	350	20	7×7φ5 1860	1350
4	20	5	15	150	15	7×7φ5 1860	1350
5	20	5	15	150	15	7×7φ5 1860	1350

2.3 试验锚杆设计及参数

锚杆设计基本参数、设计极限荷载见表 2。

标准执行该规程。

3.3 试验成果

#2 锚杆试验加载循环及每级荷载对应的位移参见表 3, 其它锚杆试验数据参见文献[6~7]。荷载 - 位移曲线见图 4。

3 试验方法及成果

3.1 主要试验仪器

100 t 千斤顶 2 台, JKIII 型全自动静载测试仪 2 个, 精密压力传感器 1 只, 高压油泵、反力支架、电子数显百分表 2 只及基准梁等。试验安装及加载试验情况见图 3。

3.2 试验方法

采用千斤顶逐级对锚杆施加拉拔力, 用压力传感器控制每级荷载, 由两个电子数显百分表测得锚头位移。试验依据《土层锚杆与施工规程》<sup>[4]</sup>CECS22: 90 和《锚杆喷射混凝土支护技术》<sup>[5]</sup>GB50086, 采用分级循环加载法。加载等级、位移观测时间及锚杆破坏



(a)

表3 #2 锚杆试验数据

Table 3 Test data of anchor No. 2

初始荷载 Q/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
	Q/kN	S/mm	Q/kN	S/mm	Q/kN	S/mm	Q/kN	S/mm	Q/kN	S/mm	Q/kN	S/mm	
—	187.5	0.00	187.5	4.80	187.5	11.66	187.5	19.27	187.5	24.73	187.5	32.01	5
—	—	—	37.5	8.94	562.5	20.44	562.5	26.61	562.5	32.70	562.5	49.30	5
—	—	—	562.5	16.10	750.0	27.97	937.5	39.84	937.5	46.20	1125.0	73.33	5
187.5	562.5	13.7	750.0	24.29	937.5	36.98	1125.0	50.58	1312.5	62.55	1400.0	92.85	10
—	—	—	562.5	23.84	750.0	36.78	937.5	50.03	937.5	62.32	1125.0	92.24	5
—	—	—	37.5	19.42	562.5	35.44	562.5	46.46	562.5	56.59	562.5	85.51	5
—	187.5	4.80	187.5	11.66	187.5	19.27	187.5	24.73	187.5	32.01	187.5	58.30	5

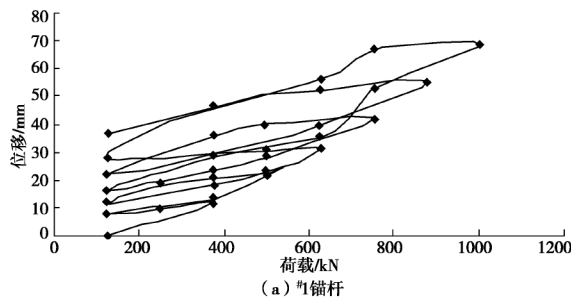


(b)

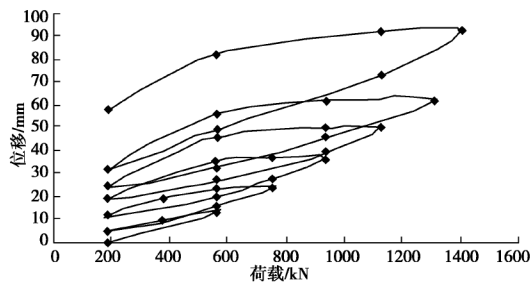
图3 试验安装及加载试验

Fig. 3 Preparation and loading tests

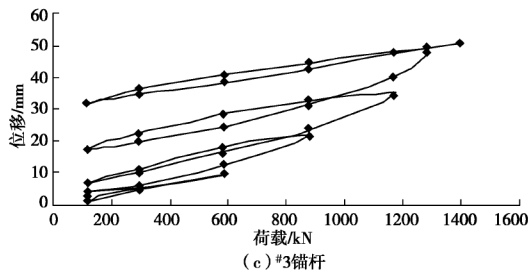
试验最大加载值及所对应的位移值见表4。



(a) #1锚杆



(b) #2锚杆



(c) #3锚杆

图4 荷载-位移曲线

Fig. 4 Load-displacement curves of anchors

### 4 试验成果描述

#1~#3 锚杆为旋喷自带钢绞线锚杆, #4、#5 为传统锚杆。旋喷自带钢绞线锚杆试验过程描述如下:

(1) #1 试验锚杆当循环荷载加至 1000 kN 时未拔出, 且未显示出明显的破坏迹象, 因此锚杆体提供的极限抗拔力不小于 1000 kN。

(2) #2 试验锚杆当循环荷载加至 1400 kN 时, 锚头位移明显加大, 锚杆被拔出。根据#2 锚杆荷载-位移曲线及荷载与弹性和塑性位移关系, #2 锚杆的极限抗拔力确定为 1300 kN。

(3) #3 试验锚杆当循环荷载加至 1458 kN 时, 有两根钢绞线被拉断, 无法继续加载, 停止试验。根据规范判定标准, 试验锚杆极限抗拔力不低于 1400 kN。

(4) #4 锚杆为传统锚杆, 试验极限荷载为 750 kN。

(5) #5 锚杆为传统锚杆, 试验极限荷载为 850 kN。

### 5 旋喷自带钢绞线锚杆与传统锚杆的比较

由上面分析可以看出, 旋喷自带钢绞线锚杆极限抗拔力明显高于传统锚杆的极限抗拔力, 参见表 4, 旋喷自带钢绞线锚杆极限抗拔力所对应的变形也明显低于传统锚杆的极限抗拔力所对应的变形。将试验锚杆极限抗拔力换算为单位长度、单根钢绞线所能提供的抗拔力分析可看出, 3 根旋喷自带钢绞线锚杆平均所能提供的抗拔力为 10.03 kN/m/根; 2 根传统锚杆所能提供的抗拔力为 6.56 kN/m/根。从现场试验分析可以看出: 对于单位长度锚杆、单根钢绞线, 旋喷自带钢绞线锚杆极限抗拔力是传统锚杆极限承载力的 1.53 倍, 平均提高 53%。

可以看出, 无论从极限承载力还是抵抗变形能力, 旋喷自带钢绞线锚杆性能明显高于传统锚杆, 从提供单位力所消耗的材料分析可知, 承载力提高 53%, 反过来也可认为材料可节省 53%。所以对于实际锚杆提供一定的抗拔力时, 可节省材料 53%。从本次试验可看出, 旋喷自带钢绞线具有明显的经济效益。

表 4 试验最大加载值及相应位移值  
Table 4 Values of ultimate load and deformation

编号	长 /m	直径 /mm	倾角 /( $^{\circ}$ )	钢绞线	最大加载 /kN	最大位移 /mm			单位长度、单根钢绞线提供的力 /kN	
						锚头	弹性	塑性	平均	提高
1	24	350	15	4 $\times$ 7 $\phi$ 5 1860	1000	68.6	31.70	36.90	10.42	
2	24	350	15	6 $\times$ 7 $\phi$ 5 1860	1400	92.9	34.55		9.72	10.03
3	21	350	20	7 $\times$ 7 $\phi$ 5 1860	1458	51.2	16.09	32.22	9.92	
4	20	150	15	7 $\times$ 7 $\phi$ 5 1860	877	143.3			6.26	
5	20	150	15	7 $\times$ 7 $\phi$ 5 1860	960	83.4			6.86	1.00

## 6 结 论

旋喷自带钢绞线锚杆是一种新型锚杆, 它的优点是可提供较大的抗拔力, 施工时可自带钢绞线连续完成锚杆施工, 能在饱和和软土层中施工。但对它的受力机理、施工工艺、机具开发等诸多方面实验研究还有待于深入开展工作, 以期使旋喷自带钢绞线新型锚杆在工程中得到更多、更广泛的应用。

需要进一步研究的问题:

- (1) 旋喷自带钢绞线锚杆抗拔受力机理的研究。
- (2) 钢绞线、水泥土、锚端共同受力的研究。
- (3) 钢绞线、锚杆体位移和侧阻力协调的研究。
- (4) 不同土层与旋喷压力关系的研究。

(5) 施工机具的改进与研究, 如对自带钢绞线钻进困难的改进、钻进时水泥土浆液流失较多的措施研究等。

### 参考文献:

- [1] 程良奎, 杨志银, 等. 岩土加固实用技术[M]. 北京: 地震出版社, 1994. (CHENG Liang-kui, YANG Zhi-yin, et al. The practical technology of the rock and soil reinforcement[M]. Beijing: Seismological Press, 1994. (in Chinese))
- [2] 崔江余. 基坑锚杆支护破裂面模式分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(2): 337 - 340. (CUI Jiang-yu, Mode analysis of sliding plane for foundation pit anchor[J]. Chinese

Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(2): 337 - 340. (in Chinese))

- [3] 崔江余, 贺长俊. 自带旋喷钻头的成束钢绞线锚杆: 中国, ZL200320100593.6[P]. 2003. (CUI Jiang-yu, HE Chang-jun, Fascicular strand anchor with Jet-grouting drill: China, ZL200320100593.6[P], 2003. (in Chinese))
- [4] CECS22:90 土层锚杆设计与施工规范[S]. 北京: 中国计划出版社. (CECS22:90 Anchor rod design and construction of norms[S]. Beijing: China Planning Press. (in Chinese))
- [5] GB50086—2001 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社. (GB50086—2001 Anchor shotcrete support technical specifications[S]. China Planning Press. (in Chinese))
- [6] 冶金工业工程质量监督总站检测中心. 锚杆极限抗拔力[R]. 2003. (DJ)字(2003)第 P036 号, 北京. (Supervision and Testing Center Station. The limit anti-stubbs of the anchor[R]. 2003. (DJ) (2003) NO.P036, Beijing. (in Chinese))
- [7] 北京市建设工程质量检测中心第三检测所. 锚杆抗拔力试验报告[R]. 2004. 京建质检 J3-G 字 2004 第(MG001)号, 北京. (The Third Detection Institute of Beijing Construction Engineering Quality Inspection Center. The test report of anti-stubbs of the anchor[R]. 2004. NO. J3-G, 2004(MG001), Beijing. (in Chinese))