

文章编号: 1000-7598 (2009) 06-1615-05

扩体型锚杆的研制及其抗拔试验研究

胡建林, 张培文

(中冶集团建筑研究总院, 北京 100088)

摘 要: 在研制锚杆机械扩孔器的基础上, 进行了扩体型锚杆的工艺试验和抗拔试验研究。试验结果表明, 所研制的锚杆机械扩孔器对地层具有良好的适应性; 扩体型锚杆较普通锚杆的承载力平均提高 20 %~30 %, 最大为 66 %; 扩体型锚杆的轴向应变陡降现象明显, 具有显著的端承效应。

关 键 词: 岩土锚固; 锚杆机械扩孔器; 扩体型锚杆; 抗拔力; 锚杆端承效应

中图分类号: TU 47.13

文献标识码: A

Development of underreamed anchor and experimental study of uplift resistance

HU Jian-lin, ZHANG Pei-wen

(Central Research Institute of Building and Construction, MCC Group, Beijing 100088, China)

Abstract: The technological and uplift tests of underreamed anchors are carried out based on the development of mechanical underreamed devices of anchorage. The results show that the mechanical underreamed device has good adaptability for geology conditions; the bearing capacity of underreamed anchor increases by 20 %-30 % on an average than that of the normal anchor, and the maximum bearing capacity increases by 66 %; the phenomena of axial strain steep dropping for underreamed anchor show the end-bearing effect of underreamed anchors obviously.

Key words: geotechnical anchorage; mechanical underreamed device; underreamed anchor; uplift resistance; anchor end effect of bearing capacity

1 引 言

虽然岩土工程本质上是友好的, 但由于施工方案并非建立在全面可持续发展观(技术、经济、社会指标)上, 因而引起因工程建设而产生自然灾害^[1]。为了使这类灾害降低到最小程度, 在岩土工程中广泛采用锚固技术, 因其能较充分地调用和提高岩土体自身强度和自稳能力, 提高其抗灾害能力; 而对工程结构来说, 还可大大缩小结构物体积和减轻结构自重, 显著节约工程材料, 并有利于施工安全。目前, 该项技术已经成为提高岩土工程稳定性和解决复杂岩土工程问题最经济、最有效的途径之一^[2], 并且已在我国的深基坑支护、边坡整治及结构抗浮等工程中得到广泛的应用。但该项技术仍存在许多关键性问题没有得到根本性解决^[2-4], 从而影响和制约了岩土锚固技术在工程应用领域中的发展, 而基于环境岩土工程的新型锚杆如扩体型锚杆的研制、

锚固机理及应用等就是其中一个方面。所谓扩体型锚杆就是在锚杆的底端或锚固长度内的不同位置, 在钻孔时分别进行机械或水力等方法扩孔, 灌浆后形成糖葫芦状(或洋葱头状)的锚杆体, 通过扩大部分, 可有效地提高锚杆体的抗拔能力。扩体型锚杆在岩土边坡抗滑和结构抗浮等加固方面有着重要的作用^[5], 但目前这一技术在国内外尚处于探索阶段。而对扩体型锚杆的锚固效果, Mickovski 等学者^[6]通过对洋葱等植物根系对砂、土壤固结的机理进行了系统的试验研究, 并得到了抗拔力与深度和直径成正比的规律, 且抗拔力可提高 15 %~50 %。

目前关于锚杆的设计, 认为锚杆的极限承载力与锚杆的固定长度成正比。计算锚杆极限承载力的公式为

$$T_u = \pi D L_a q_s \quad (1)$$

式中: T_u 为锚杆的极限承载力; D 为钻孔直径; L_a 为锚固段长度; q_s 为灌浆体与岩土体界面上的粘结

强度标准值。

Barley 教授给出的修正公式为^[7]:

$$T_u = \pi D L_a \psi q_s \quad (2)$$

式中: ψ 为与固定长度有关的有效因子。

由式(1)和式(2)可知,当需要锚固的地层和灌浆工艺确定后,锚杆灌浆体与地层间的粘结强度 q_s 也就确定了,因此锚杆的极限承载力主要由锚固体的直径 D 和锚杆锚固段长度 L_a 来确定。从优化的角度来考虑,目标函数是锚杆的极限承载力,因此优化锚固体的直径 D 和锚杆锚固段的有效长度 L_a 这两个变量,对提高锚杆承载能力和锚固的经济效益来说是至关重要的。从技术角度来说,增加锚杆的有效长度来提高锚杆承载能力是受到限制的,而从材料的性价比来说,增加锚杆的有效长度来说无疑会增加锚固工程的费用。

但目前国内工程界普遍使用的直孔圆柱型锚杆,它具有承载能力较低的致命弱点,且锚杆锚固段长度设计偏长。尽管通过压力灌浆可提高锚杆的承载能力,但其经济效益、施工效率以及质量控制方面都还欠缺,这些都制约了预应力锚杆的进一步推广应用。

因而开发机械扩孔锚杆技术,在锚杆锚固段底部或不同部位采用专门的机械装置,将钻孔扩大至原直径的 1~2 倍,提高锚固体与岩土体的接触面积,并利用扩孔锚固体的端承作用,在缩短锚固段长度的情况下,成倍地提高单位锚固长度上的锚杆承载力,不但可显著地节省工程材料,大幅度降低工程成本,而且又可加快工程建设速度,推动预应力锚杆技术的进一步研究与应用^[8]。

2 机械扩孔机具的研制^[9]

尽管扩孔锚杆能提高锚杆的承载力,但其实践中的难点却在于如何将切屑的岩土体顺利排出,并实现扩孔器的张开和完成扩孔后的收缩。切削岩土体的排出,目前主要通过液体(水)和气体介质,本研究通过在扩孔器特定位置设置泄水孔,来减少扩孔器与岩土体的摩擦阻力,在实现扩孔的同时,将切屑物排出孔外。另外,为了在特定的位置实现扩孔,即在完成基准孔的基础上,将钻孔孔径扩大。根据机械绞刀原理,通过对扩孔器施加一定的外力,实现机械绞刀的逐渐张开,并达到设计的要求;同时,在完成扩孔任务后可自动收缩。以上功能主要是通过滑动套装的中心筒(中心筒内装有压缩弹簧)和空心的中心轴以及三个均匀安置的长臂和短臂相互铰接组成的伸长臂来实现的。

3 现场试验研究

3.1 扩孔锚杆的工艺研究^[10]

为了验证所研制的扩孔机具的排屑效果、对不同地层的适应性以及不同方位等因素影响下的扩孔效果,选取北京大钟寺基坑(东区)北侧坡道平台作为现场工艺试验场地。坡道平台标高约为-8.00 m,按三种地层进行垂直扩孔锚杆工艺试验,地层力学参数如表 1 所示,几何剖面如图 1 所示,试验数量、扩孔位置详见表 2,采用护壁套管钻进。对于水平扩孔锚杆工艺试验,在坡道标高-18.5 m 处进行,锚杆倾角为 7° ,采用螺旋钻钻进,试验数量、扩孔位置详见表 3。扩孔锚杆钻孔直径为 150 mm,扩孔长度为 800 mm,扩孔直径为 300 mm。相邻扩孔锚杆距离不小于 1.5 m。扩孔效果如图 2 所示。

表 1 地层力学参数表

编号	土层	c /kPa	ϕ /($^\circ$)	γ /(kN/m ³)
1	3-1 粉质粘土	20.8	13.3	19.8
	3 粉细砂	12.0	0.0	18.5
2	3-2 中砂	12.0	0.0	19.0
	4 粉质粘土	31.4	15.0	20.1
3	4-1 粘质粉土	11.5	26.2	20.3

表 2 垂直扩孔锚杆工艺试验

Table 2 Technological test of vertical underreamed anchors

编号	钻孔深度 /m	土层	扩孔数量	扩孔位置	试验孔数	标贯击数 /次
1	2.2	砂质粉土	1	2.2m	3	8~13
2	3.8	砂层	1	3.8m	3	27~35
3	10.8	粘质粉土	1	10.8	3	19~21
4	3.8	砂质粉土	2	2.2	1	8~13
		砂层		3.8		27~35
5	10.8	砂层		3.8		27~35
		粘质粉土	2	10.8	1	19~21

表 3 水平扩孔锚杆工艺试验

Table 3 Technological test of horizontal underreamed anchors

编号	钻孔深度	土层	扩孔数量 /个	扩孔位置 /m	试验孔数 /个	标贯击数 /次
1	5	粘质粉土	1	5	2	19~21
2	15	粘质粉土	2	8	1	19~21
				15		

3.2 扩孔锚杆的承载力及传力机制的研究

为了更好地研究扩孔锚杆的承载力及其传力机制,对扩孔锚杆与普通锚杆进行了对比研究。试验地点为大钟寺基坑(东区)北东侧,锚杆分布及工程地质条件如图 3 所示,锚杆间距为 3 m,其承载力试验如表 4 所示,其中 1、3、5 为普通圆柱型锚

杆, 2、4、6 为扩孔锚杆。

扩孔锚杆传力机制研究为 2 组, 计 4 根(1~4[#]), 杆体为精轧螺纹钢筋, 钢筋计布置如图 4 所示。其试验结果如图 5(抗拔力与变形、弹性变形和塑性变形关系)、图 6(不同测试位置处的应变曲线)所示。

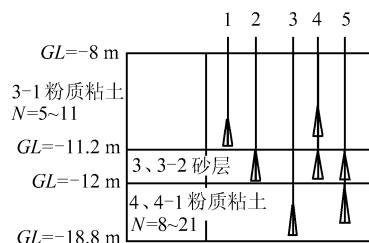


图 1 工艺试验示意图

Fig.1 Schematic diagram of technological test



图 2 (a) 砂层扩孔效果 (b) 粉质粘土扩孔效果
Fig.2 Effect photos of hole expansion in sand layer (a) and silt clay (b)

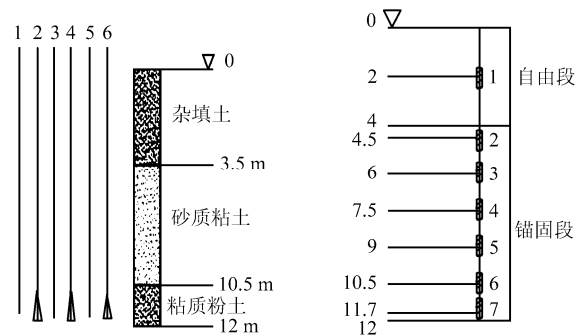


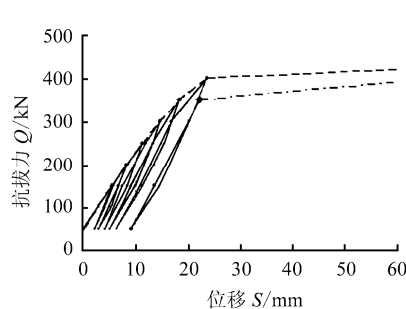
图 3 力学试验示意图 图 4 钢筋计布置图 (单位: m)

Fig.3 Schematic diagram of mechanical test Fig.4 Layout of steel bar meter (unit:m)

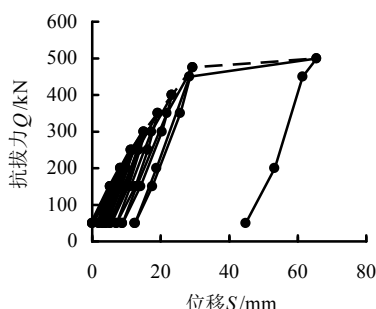
表 4 锚杆承载力对比试验

Table 4 Comparative test of bearing capacity of anchors

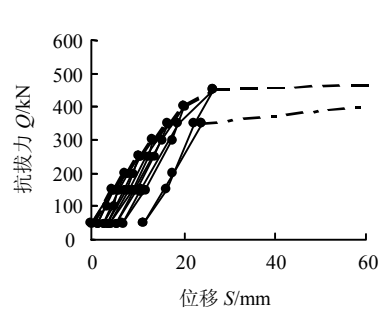
锚杆类型	基准孔直径 /mm	自由段长度 /m	锚固段长度 /m	扩孔个数 /个	扩孔位置	试验数量 /根	锚杆体直径 /mm
圆柱型普通锚	150	4	8			3	4φ15.24(1根) 1φ32(2根)
单扩孔锚杆	150	4	8	1	锚固段底部	3	4φ15.24(1根) 1φ32(2根)



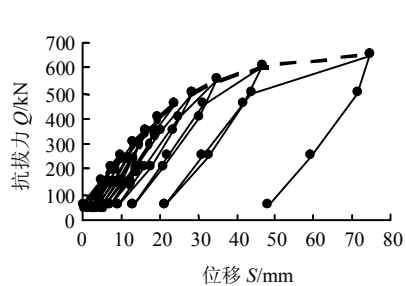
(a) 1[#] 锚杆抗拔力与变形关系



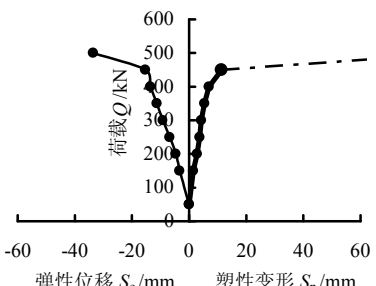
(b) 2[#] 锚杆抗拔力与变形关系



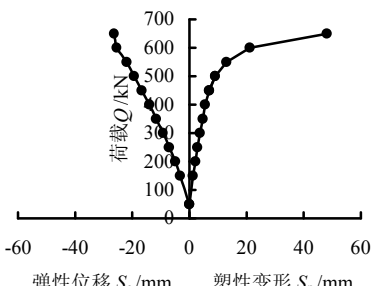
(c) 3[#] 锚杆抗拔力与变形关系



(d) 4[#] 锚杆抗拔力与变形关系



(e) 3[#] 锚杆弹性变形和塑性变形关系



(f) 4[#] 锚杆弹性变形和塑性变形关系

图 5 抗拔力与变形关系及弹性和塑性变形关系

Fig.5 Relations of uplift resistance and deformation & elastic and plastic deformations

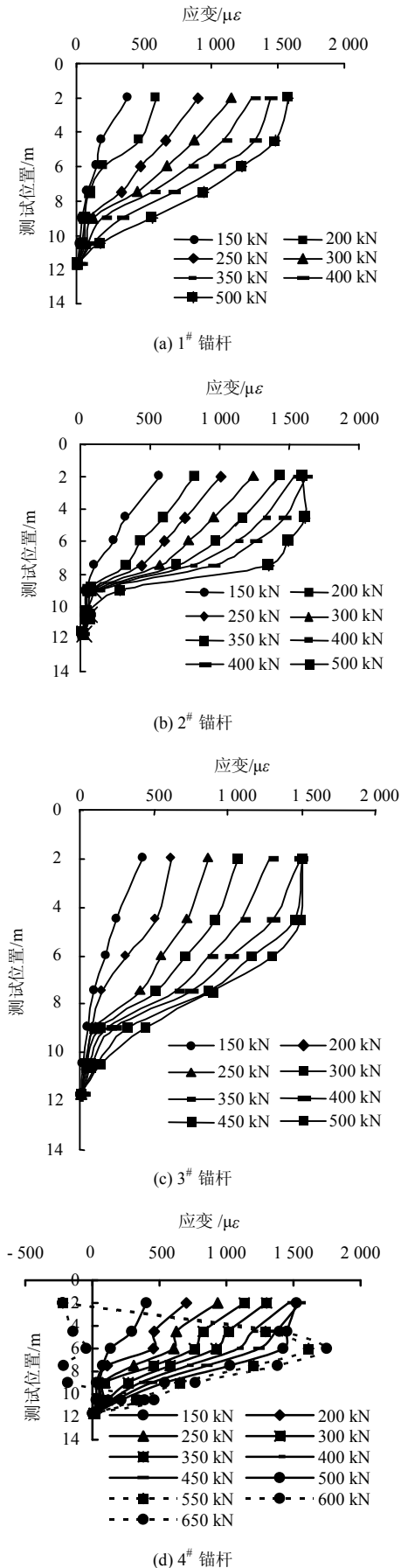


图 6 不同锚杆的应变测试结果(1#~4#)
Fig.6 Strain test results of different anchors (1#~4#)

表 5 锚杆试验结果

Table 5 Results of anchor tests

锚杆 编号	最大加载 载/kN	极限抗拔力 综合取值 /kN	极限抗拔力卸载 后所对应的变形/mm		
			锚头 变形	弹性 变形	塑性 变形
1	450	400	25.54	14.38	9.16
2	500	475	29.29	16.77	12.52
3	500	450	26.77	15.33	11.44
4	650	600	46.58	25.42	21.16
5	440	360	29.45	19.29	10.16
6	480	440	45.85	26.36	19.49

4 试验结果分析

(1) 通过扩孔锚杆的工艺试验, 其试验结果表明所研制的扩孔机具具有良好的排屑效果及扩孔效果(如图 2 所示)。

(2) 所研制的扩孔器不仅能进行垂直扩孔, 而且能进行水平、任意角度方向的扩孔, 并根据需要在基准孔的预定位置进行扩孔, 从而形成多个扩体。

(3) 由力学试验结果(图 5 及表 5 所示), 对于锚固段长度 8 m、底部扩孔的情况下(扩孔位置为粘质粉土 $N=5$), 扩孔锚杆较圆柱型普通锚杆承载力平均提高 20%~33%, 最高为 66%, 这和文献[5]的结论较为相近。假如对同一锚杆采用多个扩体, 那么其抗拔力的提高幅度可能更为显著, 从而在结构抗倾、抗浮等领域得到广泛应用。

(4) 由图 6 可知, 扩体型锚杆与普通锚杆的轴向应变相比具有陡降的现象, 具有明显的端承效应。

5 结 语

(1) 成功研制了机械锚杆扩孔器, 并在砂土和粉质粘土中进行了现场扩体试验。根据普通锚杆和扩体型锚杆的对比试验研究结果, 扩体型锚杆可提高锚杆的承载力, 具有明显的端承效应。

(2) 根据现场的几组对比试验结果, 初步说明了该机械锚杆扩孔器具有广阔的工程应用前景, 并具有进一步研究及推广的价值。

(3) 对于其他地质条件下的扩体效果, 以及同一锚杆上的多个扩体的锚固效果, 尚有待进一步进行系统研究。

致谢: 本课题得到刘波、杨松、柳建国等所领导以及程良奎教授的大力支持和帮助, 也得到了地基检测中心及作业队的支持, 在此深表谢意。

参考文献

- [1] 钱七虎. 岩土工程与我国可持续发展战略[J]. 岩土工程界, 2003, 6(1): 23—26.
Qian Qi-hu. Geotechnical engineering and the strategy of our nation sustainable development[J]. **Geotechnical Engineering World**, 2003, 6(1):23—26.
- [2] 程良奎. 岩土锚固的现状与发展[J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 7—12, 34.
CHENG Liang-kui. Present status and development of ground anchorages[J]. **China Civil Engineering Journal**, 2001, 34(3): 7—12, 34.
- [3] IVANOVIC A, STARKEY A, NEILSON R D, et al. The influence of load on the frequency response of rock bolt anchorage[J]. **Advances in Engineering Software**, 2003, 34: 697—705.
- [4] 张强勇. 岩土工程强度与稳定计算及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [5] LIAO H J, WU K W, SHU S C. Uplift behaviour of a cone-shape anchor in sand[C]//Proceedings of International Conference on Ground Anchorage and Anchored Structures. London: The Institution of Civil Engineers, 1997: 401—410.
- [6] MICKOVSKI S B, ENNOSL A R. Model and whole-plant studies on the anchorage capabilities of bulbs[J]. **Plant and Soil**, 2003, 255(2): 641—652.
- [7] BARLEY A D. The single bore multiple anchor system, ground anchorages and anchored structures[C]//Proceedings of International Conference on Ground Anchorage and Anchored Structures. London: The Institution of Civil Engineers, 1997: 65—75.
- [8] 廖洪钧, 吴国维, 许世宗. 砂土中垂直锥形扩座地锚锚碇行为[C]//第七届大地工程学术研讨会论文集: 金山: [s. n.], 1997: 463—470.
- [9] 中冶建筑研究总院有限公司. 扩孔器: 中国, ZL200520112651.6[P]. 2006-09-27.
- [10] 中国京冶建设工程承包公司. 机械扩孔锚杆施工方法: 中国, 200510115919.6[P]. 2007-05-16.
- [4] 葛修润, 蒋宇, 卢允德, 等. 周期荷载作用下岩石疲劳变形特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(10): 1581—1585.
GE Xiu-run, JIANG Yu, LU Yun-de, et al. Testing study on fatigue deformation law of rock under cyclic loading[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22(10): 1581—1585.
- [5] RAY S K, SARKAR M, SINGH T N. Effect of cyclic loading and strain rate on the mechanical behaviour of sandstone[J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 1999, 36(4): 543—549.
- [6] 宋喜艳, 罗仁安, 单一峰, 等. 岩石疲劳强度试验和弹性理论分析初步研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(增2): 171—174.
SONG Xi-yan, LUO Ren-an, SHAN Yi-feng, et al. An experimental study and elasticity theory analysis of fatigue strength of rocks[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(Supp.2): 171—174.
- [7] 左宇军, 李夕兵, 唐春安, 等. 受静载荷的岩石在周期荷载作用下破坏的试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(5): 927—932.
ZUO Yu-jun, LI Xi-bing, TANG Chun-an, et al. Experimental investigation on failure of statically loaded rock subjected to periodic load[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(5): 927—932.
- [8] 谢和平. 岩石混凝土损伤力学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [9] 蒋宇. 周期荷载作用下岩石疲劳破坏及变形发展规律[硕士学位论文D]. 上海: 上海交通大学, 2003.
- [10] 吴鸿遥. 损伤力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.

上接第1614页