

高压喷射扩大头锚杆的设计与施工

邵孟新¹ 曾庆义²

(1. 广东省基础工程公司; 广州 510620; 2. 深圳钜联锚杆技术有限公司; 深圳 518034)

摘要: 本文从高压喷射扩大头锚杆的扩大头形成方法、抗拔工作原理以及抗拔力理论计算公式、设计及施工要点等几个方面全面介绍了高压喷射扩大头锚杆, 可为扩大头锚杆的设计和施工提供参考。

关键词: 设计、施工、高压喷射; 扩大头锚杆

中图分类号: TU323

文献标识码: B

文章编号: 1674-2133 (2008)11- 55- 06

Design and construction on Expansion Bolt of High-pressure Injection

SHAO Meng-xin ZENG Qing-yi

(1. Guangdong foundation engineering company; Guangzhou, 510620, China;

2. Shenzhen Julian bolt technology Co. Ltd., Shenzhen, 518034, China)

Abstract: This article introduced the formation method, working principal, calculating method, design and construction for the expansion bolt of high-pressure injection, which can provide reference for the design and construction of the expansion bolt.

Keywords: design; construction; high-pressure injection; expansion bolt

1 引言

国内外大量的实测资料已经证实, 摩擦型锚杆的锚固体内杆体的轴向力及锚固体表面的粘结摩阻应力传递长度一般均不大于 $10m^{[1]}$ 。因此, 通过进一步增加长度并不能明显地提高锚杆的承载力, 对于这一点在规程 CECS22: 2005 中是通过在锚固段长度的计算公式中引入锚固长度对平均粘结强度的

影响系数来体现的。为了显著提高锚杆的承载力, 人们提出了荷载分散型锚杆^[2] (包括压力分散型锚杆、拉力分散型锚杆、拉压复合分散型)、扩孔型锚杆等类型的锚杆, 它们能改善锚杆的荷载传递机制, 充分调动土体强度, 能大幅度提高锚杆承载力。其中的扩孔型锚杆可在有限长度的锚固体范围内使承载力得以显著提高, 它的扩大头端面可产生支承抗力 (图 1、2), 从荷载传递机制来说它属于摩擦 - 支承复合型锚杆^[3]。

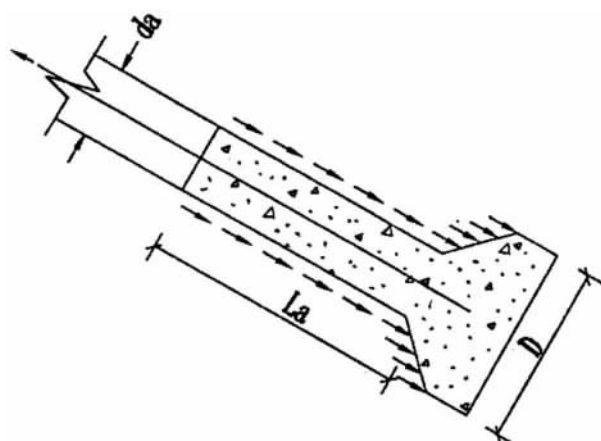


图1 扩孔型锚杆结构示意图

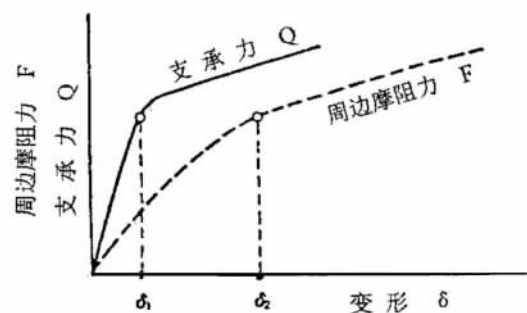
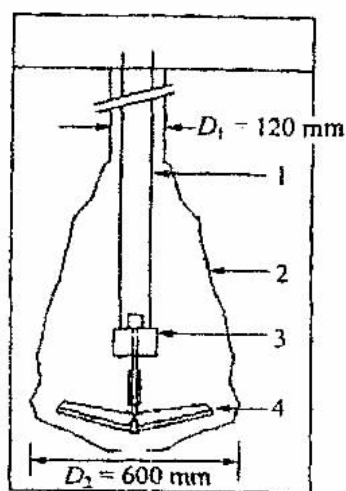


图2 摩擦作用与支承作用图

收稿日期: 2008-10-27

作者简介: 邵孟新(1969.11-), 硕士, 高级工程师, 广东省基础工程公司任技术部经理。现主要从事岩土工程等方面的工作。

扩大头的实现较困难,这是阻碍扩大头锚杆推广应用的主要原因。一般地,扩孔的方法有四种:机械扩孔、爆炸扩孔、水力扩孔和压浆扩孔。台湾某公司开发了用旋转的叶片将锚杆底端扩成直径为0.6m的锥体的扩孔技术(图3),台湾的另一家公司采用特制的扩孔器可在锚固段上扩成多段圆锥形扩体(图4),将原始直径为10cm的钻孔扩成直径30~40cm,长为60~80cm的圆锥体^[4]。某基坑工程应用了爆炸扩孔方法,爆扩空腔约 $\phi 400\text{mm}$ 。最近在我司施工的工程中使用了另一种具有专利技术的扩大头锚杆——高压喷射扩大头锚杆,使用效果很好,现对此作一介绍。



1- 钻杆; 2- 扩体; 3- 联结装置; 4- 旋转叶片

图3 圆锥形扩孔锚杆简图



图4 多段扩孔锚杆

2 高压喷射扩孔形成方法及其特点

2.1 高压喷射扩孔形成方法

高压喷射扩孔是将特殊的喷嘴放于扩大头的设计部位,高压泵产生的高压液体通过喷嘴形成高压

喷射流束切割土体形成扩孔,再用水泥浆置换泥浆充填整个土体空腔,从而形成锚杆的扩大头。

应用时可根据现场试验和设计承载力要求,采用以下概念和工艺:

(1) 分序扩孔:根据现场土质条件和锚杆扩大头设计参数,进行喷水、喷水泥浆的分序扩孔,提高了喷射流束切割土体的效率。并且还可以采用多遍分序扩孔,逐渐加大扩大头的直径。

(2) “软”搅拌:采用水进行喷射扩孔完成后,立即用水泥浆(水灰比1.0~1.5)进行高压旋转喷射。水泥浆所形成的喷射流束像软的搅拌叶片一样,把砂浆搅动起来使之与水泥浆混合,使砂浆成为水泥浆的“骨料”,提高浆体的强度。

(3) 完全置换:扩孔完成后,再行高压注浆置换,以确保水泥浆能完全将泥浆置换出来,保证扩大头锚固体的强度。

(4) 二次注浆:在砂卵石层和地下水流动较大的地方,在扩大头内进行高浓度的二次注浆,必要时可加适量速凝剂。

(5) 充填砂浆:在锚杆扩大头直径大、抗拔力高的情况下,锚杆杆体与扩大头锚固体之间的咬合力将成为影响抗拔力的一个薄弱环节。此时可采用高压砂浆泵灌注水泥砂浆(1:0.5~1)进行置换。

将上述的概念与工艺进行有选择性地使用,以适用于不同的土层地质条件和设计要求,并结合直接钻机成孔、套管跟进钻机成孔、双壁管反循环工艺钻孔和扩孔三种不同的成孔方法,可形成A、B、C三类共十二种施工扩孔方法^[5]。

2.2 高压喷射扩大头锚杆的特点

(1) 与普通锚杆相比,扩大头直径可达到0.6~2.0m,所提供的抗拔力大。

(2) 与普通锚杆相比,扩大头锚杆的锚头位移小,特别适合于对位移限制要求高的地方。甚至对位移有特殊要求的,可以按位移控制进行设计和施工。

(3) 锚杆长度短,大大节省材料和造价。扩大头可以设置在中密以上的砂层和可塑以上的土层中,只要进入稳定地层一定深度,锚杆总长度可以很短,最短的可达7m。

(4) 可靠性高。扩大头锚杆具有承压型锚杆的特性,加之高压喷射对孔壁有明显的“加糙”作用,其可靠性比普通锚杆高。

(5) 与其它的机械扩孔相比,操作简便,成孔质量有保证,造价低。

3 高压喷射扩大头锚杆的工作原理及理论分析

当锚杆杆体强度和杆体与扩大头之间的握裹力足够大时, 承载能力由非扩大头锚固段与土体之间的侧摩阻力、扩大头锚固段与土体之间的侧摩阻力、扩大头的端面支承力组成, 其中扩大头端面的承载能力分析是关键。为此, 须分析其受力作用的机理。在锚杆受力由小到大的过程中, 其承载能力的提供过程、破坏型态见下图 5:

对于阶段 f, 在外围压力作用下, 塑性区内土

体随着拉力的增加得到压缩, 并进行应力状态的调整和塑性区的调整。当扩大头埋深较大, 土体较密实时, 随锚杆拉力的增加, 土体不断压密, 塑性区土体对扩大头的抗力随锚杆拉力的增加而增加, 当拉力一定时, 锚杆位移趋于稳定, 扩大头实现“自锁”。在砂土的三轴压缩试验中, 当围压较大时, 随轴向压力的增加和轴向变形的增大, 土体被不断压密, 当围压 σ_3 大于土样初始密度所对应的临界压力 P_c 时, 土体达到全塑状态后将发生剪缩, 随着轴向压力的不断增加和轴向变形的增大, 土体不断被压密, 直至其密度增大到与 σ_3 相对应的临界密度, 这就是扩大头锚杆阶段性自锁的理论根据。

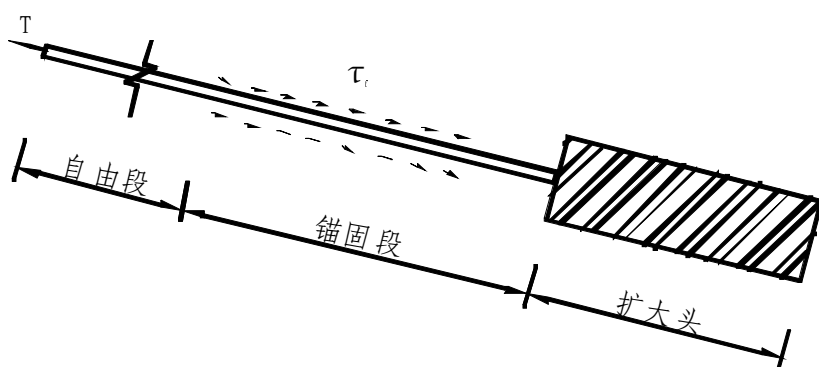


图 5 (a)

锚杆拉力较小, 仅非扩大头锚固段的侧壁受力;

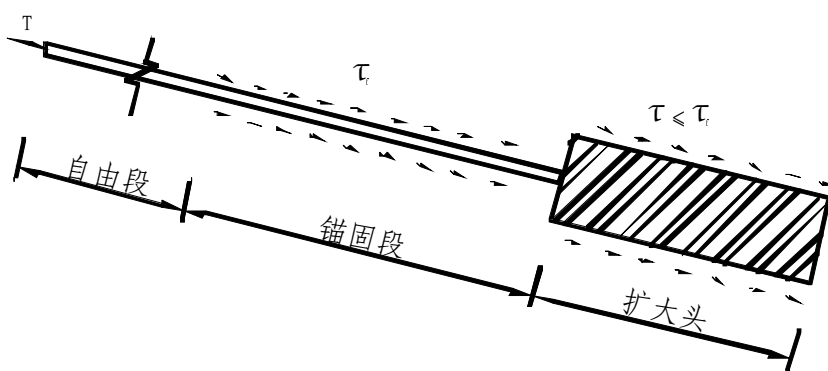


图 5 (b)

拉力增加, 扩大头锚固段侧壁参与受力, 扩大头端部不受力或受力较小;

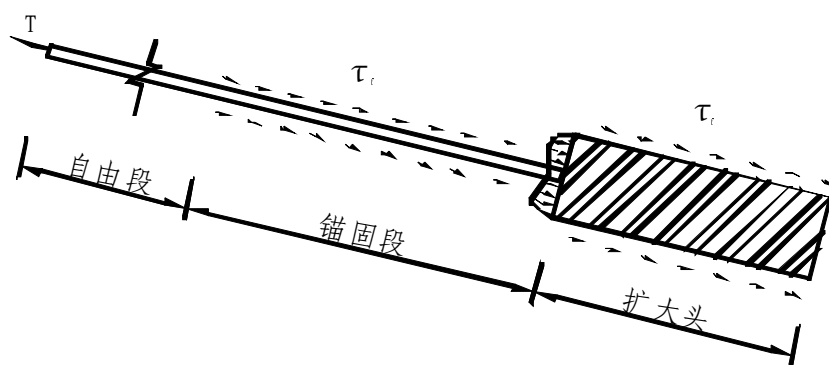


图 5 (c)

拉力继续增大, 扩大头锚固段侧壁受力达到极限, 扩大头开始位移, 其端部开始受压;

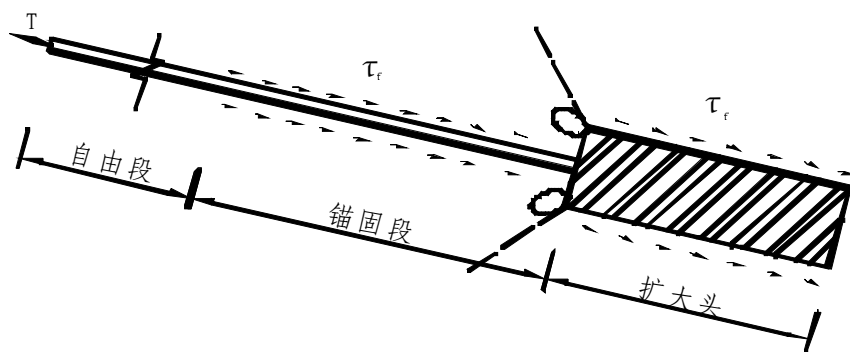


图 5 (d)

拉力继续加大, 扩大头端部土体受压产生局部塑性区, 扩大头位移处于弹性阶段。

压缩区土体强度由 $\sigma_1 = \gamma h$, $\sigma_2 = \sigma_3 = k_0 \gamma h$ 的摩尔应力圆控制;

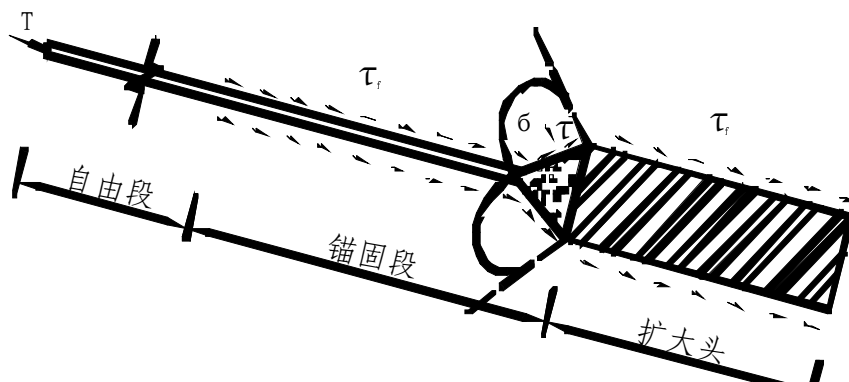


图 5 (e)

拉力继续加大, 扩大头端部土体塑性区范围扩大并连通, 扩大头结束弹性阶段, 开始进入塑性阶段;

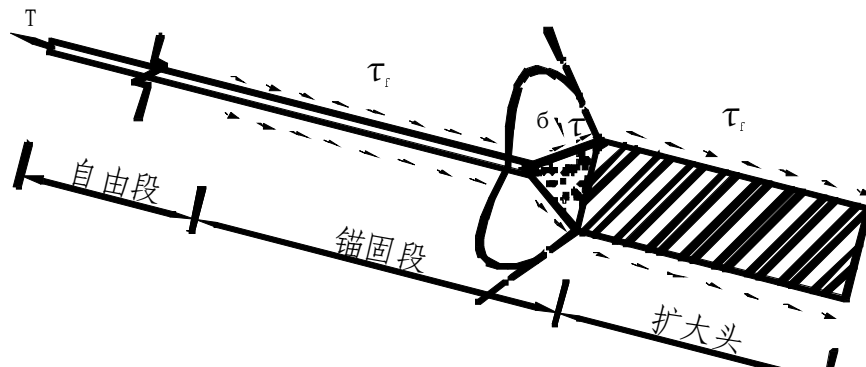


图 5 (f)

锚杆拉力继续加大, 扩大头及其承压端形成的约束核 (亦可称为压密核, 为圆锥体) 整体向前发生较大位移;

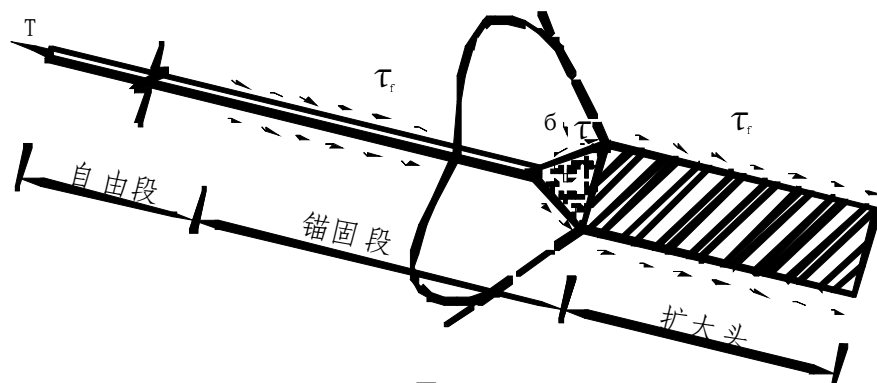


图 5 (g)

极限平衡状态: 锚杆拉力不断增加, 塑性区土体发生剪胀, 锚杆破坏。

图 5 扩大头锚杆的工作过程

当拉力不断增加,塑性区形状和应力分布状态不断调整,使塑性区内所获得的围压 P_c 达到与周边土体密实度和埋深相对应的最大值,同时塑性区土体被压密至与这个围压相对应的临界密度,保持体积不变。这时,如果锚杆拉力再进一步增加,塑性区

土体将发生剪胀,密度反而降低,扩大头位移发生一个突变,导致锚杆破坏。

锚固体与土体间的相互作用达到极限所形成的破坏的力学模型见图 6。

锚杆抗拔力 T 由三部份组成:非扩大头锚固段

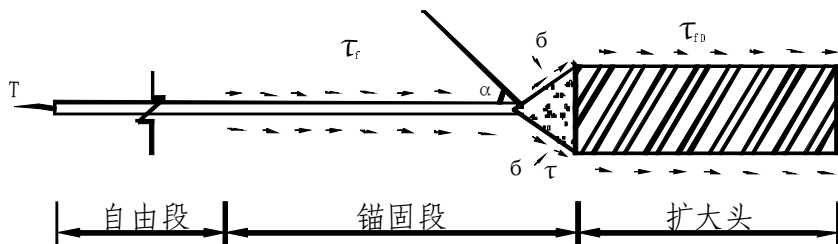


图 6 扩大头锚杆的力学模型图

与土体之间的侧摩阻力 T_1 ,扩大头锚固段与土体之间的侧摩阻力 T_2 ,扩大头端面支承力 T_3 。

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

$$T_1 = \pi d l_d \tau_f$$

式中: d —锚杆钻孔直径;

l_d —非扩大头锚固段长度;

τ_f —钻孔孔壁摩阻力;

$$T_2 = \pi D l_D \tau_{fd}$$

式中: D —扩大头直径;

l_D —扩大头长度;

τ_{fd} —扩大头的侧壁摩阻力,考虑到高压喷射扩孔对孔壁的加糙作用,可采用 $\tau_{fd} = 1.2 \tau_f$;

$$T_3 = \frac{1}{6} \pi D^2 \operatorname{ctg} \alpha (\sigma \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha + \sigma \sin \alpha + c \cos \alpha)$$

式中: $\alpha = 45^\circ - \Phi/2$;

Φ —土体的内摩擦角;

c —土体的内聚力;

σ —约束核锥面上的正应力。

4 高压喷射扩大头锚杆的设计要点

4.1 高压喷射扩大头锚杆的适用对象

(1) 可适用于深基坑支护中,特别适合于:

A.深度大,土质条件差的基坑,当采用“锚杆+排桩”或“锚杆+地下连续墙”的结构型式时,可以用一排扩大头锚杆替代 2~3 排普通锚杆,经济效益显著,并且桩顶位移小;

B.基坑临近旧有建筑物,对变形要求高时,可以采用扩大头锚杆限制位移。根据工程实例对比,扩大头锚杆比普通锚杆减小基坑位移 50% 以上。

(2) 可适用于土质边坡支护。在锚杆类支护结构中使用扩大头锚杆时,可以节省工程造价,提高

安全可靠度。在滑坡治理中或者其它“大桩大锚”的边坡支护结构中,经济效益优势显著。

(3) 可用于作抗浮锚杆。不仅能节省锚杆工程量,经济效益显著,而且更重要的是高压喷射扩大头锚杆位移小的特点特别适合于地下室的抗浮要求。地下室抗浮要求一般采用非预应力钢筋锚杆,而普通锚杆只有通过施加预应力才能减小位移;扩大头锚杆则可以通过采用弹性状态设计达到减小位移的目的。

4.2 高压喷射扩大头锚杆的结构设计要点

(1) 确定锚杆的设计抗拔力:

根据结构功能设计要求,确定单根锚杆的设计抗拔力。当结构功能设计要求或者技术经济分析要求单根锚杆的设计抗拔力很大时,比如大于 1000kN 时,则应根据地层土质条件和扩大头埋置深度进行分析,原则上应进行现场基本试验后确定。我们目前还没有掌握各种土层中扩大头锚杆所能达到的最大抗拔力数值,但在稍密以上的中粗砂层和坡残积土层中,高压喷射扩大头锚杆的设计抗拔力是很大的,采用超过 1000kN 以上的设计抗拔力是可行的。

(2) 选择锚杆的工作状态:

扩大头锚杆不施加预应力也能很好的限制位移。这时需要按照弹性工作阶段来设计锚杆的抗拔力。根据有关类比分析,其位移可以控制在 5~10mm 之内。在实际工程中有些时候需要限制位移但却不能采用预应力锚杆。如地下室的抗浮锚杆以及容易发生预应力损失的情况等,扩大头锚杆特别适合于这些情况。当采用预应力锚杆时,则应选择塑性破坏阶段的抗拔力,以取得最高性价比。由于抗拔力的大小除扩大头本身的几何尺寸以外,还与扩大头埋深和土体的密实状态有关,因此,有条件

时应进行现场原位基本试验。

(3) 扩大头直径与长度

扩大头的直径取决于土质、设备能力和拟采用的工法三个因素。一般可采用 0.6~2.0m 的扩大头直径。扩大头的最小长度由锚杆杆体与扩大头之间的握裹力确定。增加扩大头长度能显著提高弹性状态下的抗拔力水平。

(4) 扩大头的埋深

扩大头应埋置于中密以上砂层和可塑以上的土层中。扩大头的最小埋深应不小于 7~12D (D 为扩大头直径), 且不小于 7m。采用弹性状态设计的扩大头埋深可取较小值。如果纵向埋深过小, 实现扩大头自锁所需要的塑性区土体的二次压实将不充分, 抗拔力将受影响。扩大头到软弱土层也应有一个纵向最小埋深, 否则也会影响到抗拔力。

5 工程应用

惠州华贸中心位于惠州市惠城区江北文昌一路。建筑用地面积 12 万 m^2 , 整个项目由 5 大建筑组团构成。地下室为 2~3 层, 基坑开挖深度因各组团及地形变化约为 7~14.0m, 基坑平面大致呈矩形, 尺寸约为 217m \times 247m。基坑支护设计方案为锚杆+排桩, 锚杆最大设计抗拔力 970kN。

本工程的地质条件的主要特点为除表层填土外, 可塑至硬塑的粘土、粉质粘土层较厚, 强风化砂岩层埋深在 30m 以上。当采用普通锚杆时, 其长度普遍在 35~40m 以上, 施工极为困难且质量难以保证。后来改为采用扩大头锚杆, 其中 EP7 剖面锚杆的设计参数为: 锚杆总长 18m, 自由段长度 10m, 锚固段长度 8m (其中扩大头长度 4m, 扩大头直径 0.4m), 杆体为 5 \times 7 Φ 5 的 1860 级钢绞线, 设计抗拔力 670kN。对最早完成的三根扩大头锚杆进行抗拔力试验, 其中两根(180#、182#)按规范规定取 0.8 倍杆体强度(1042kN)进行基本试验, 没有破坏; 一根 (181#) 超过规范规定按 1.0 倍杆体强度 (1302kN) 进行破坏试验, 拉力到达最大值 1302kN 时钢绞线开始逐股断裂。三根锚杆的荷载-位移曲线见图 7。从试验数据可以看出, 三根锚杆的位移离散性非常小、可靠性高, 说明锚杆的质量性能非常稳定。

6 结论

高压喷射扩大头锚杆将高压喷射原理引入到锚

杆施工中, 设计了一套合理的施工工艺和方法, 在理论方面分析了扩大头锚杆的工作原理和抗拔力计算公式。与其它扩孔技术锚杆相比, 它具有扩大头直径大, 适用性广, 操作简便, 抗拔力大, 位移小, 可靠性高的优势, 具有较高的推广应用价值。

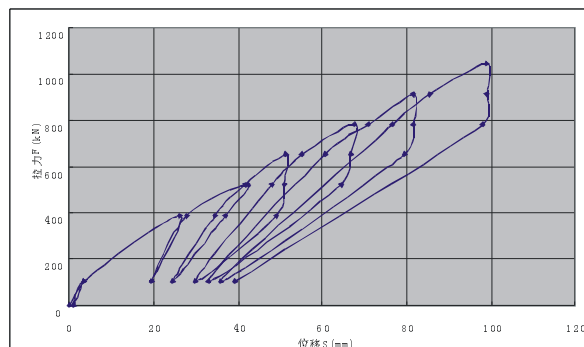


图 7 (a) 182# 锚杆的荷载 - 位移曲线

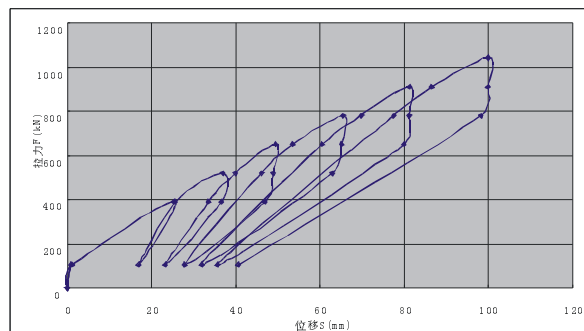


图 7 (b) 180# 锚杆的荷载 - 位移曲线

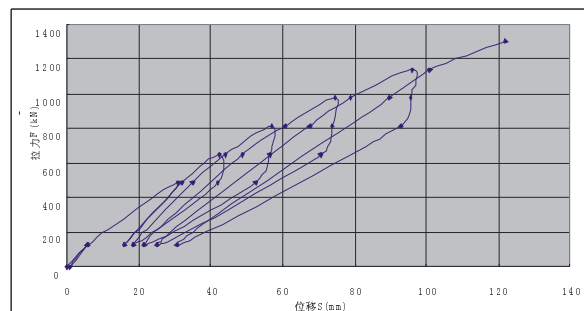


图 7 (c) 181# 锚杆的荷载 - 位移曲线

图 7 华贸中心基本试验锚杆的荷载 - 位移曲线图

参考文献

- [1] 卢肇钧、吴肖铭、刘国楠.《锚定式支护工程实践中几个问题探讨》[C].广东省基坑研讨会.1994.
- [2] 中冶集团建筑研究总院. CECS 22: 2005 岩土锚杆(索) 支护技术规程[S].北京:中国计划出版社,2005.
- [3] 程良奎.基坑锚杆支护的新进展[J].建筑技术,1998(增刊).
- [4] 程良奎.岩土锚固研究与新进展[J].岩石力学与工程学报, 2005(21).