

文章编号: 1000-7598-(2005) 11-1766-05

基坑支护可拆型锚杆技术研究及应用

赵海生^{1,2}

(1. 西安理工大学, 西安 710048; 2. 河南省建筑科学研究院, 郑州 450053)

摘要: 为了避免给周围后续工程造成施工障碍和引起法律上的纠纷, 基坑支护中的临时锚杆在失去作用后应将其拆除。通过对锚杆荷载传递特性的分析和在现场原型试验研究的基础上, 提出了一种仅拆除拉杆材料的可拆型锚杆技术。该技术通过在拉杆材料和注浆体之间设置隔离措施来拆卸锚杆, 并通过带传力杆的承载体将锚拉力分散传递于注浆体中。工程实例表明该技术方法简单可行, 且由于受力合理, 可拆型锚杆的技术性能也较普通锚杆明显有所提高。

关键词: 基坑; 锚拉支护; 拉杆; 可拆型锚杆; 无粘结钢绞线

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Study and application of technique of removable anchor rod to foundation pit engineering

ZHAO Hai-sheng^{1,2}

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Henan Provincial Academy of Building Research, Zhengzhou 450053, China)

Abstract: To avoid making barriers for follow-up engineering and save from a trouble of law, the temporary anchor rods of foundation pit brace should be removed when they have no effects. After some analyses of load transfer behavior of anchor rod, and based on the results of field test, a type of technique of removable anchor for which the pull rod can be removed, is proposed. By setting separation layer between pull rod and slip casting body to remove pull rod, and by setting bearing body with pole to disperse load to slip casting body, this technique is realized. Actual engineering example shows that this technique is easy and feasible. Because of the stress in removable anchor rod is reasonable, its technical characteristics are higher than traditional anchor rod too.

Key words: foundation pit; anchor-pull brace; pull rod; removable anchor rod; noncohesive steel stranded wire

1 引言

随着我国城市建设事业的发展, 城市用地越来越紧张, 为充分利用地下空间资源, 基坑的深度也越来越深。由于基坑周围经常有其他建筑物和市政公用设施, 基坑的安全稳定不但涉及到基坑本身和新建建筑物基础的施工, 而且还会对其周边建筑物和设施造成影响, 因此基坑支护已成为目前基础工程中的一个工程热点问题。

从受力型式来看, 目前我国在深基坑支护方面采用的结构体系主要有: (1) 悬臂式支护结构体系; (2) 重力墙式支护结构体系; (3) 支撑、锚拉式支护结构体系。锚拉支护技术从结构受力上是支撑、锚拉式支护结构体系的一种, 由于其具有受力合理、造价低、支护稳定性好、基础施工便利等优点, 在

深基坑支护工程中常被采用, 但其存在一个致命的隐患, 是由于锚杆在地下沿基坑四周的向外辐射, 造成临近后续建筑物或市政工程等地下结构设施的施工障碍, 不仅会造成一定的经济损失, 而且导致法律上的纠纷。随着公众对维护地下空间资源意识的增强以及对地下空间资源开发利用的增加, 使得这项技术的应用遇到了越来越多的挑战。如何保证锚杆的支护作用, 又使其不至于对周围后续工程的施工造成影响, 成为锚拉支护技术应用于基坑支护时研究解决的问题^[1~4]。

2 解决方案

2.1 锚杆拆除方案

作为基坑支护中临时构件的锚杆, 在一般情况下当基础工程施工至±0.00, 基坑回填至锚杆端头

标高附近时锚杆的作用已失去意义，可在此时将锚杆拆除，从而消除周围后续工程的施工隐患。

拆除锚杆最直接的方法是将锚杆整体拆除，即在锚杆作用失去意义时将锚杆整体拔出。这种方案虽然将地下障碍物彻底清除，但存在以下问题：

(1) 拔出难度大 如欲将锚杆整体拔出，所施加的拉力必须大于土对锚杆产生的摩阻力，拔出力可能为锚杆设计拉力的 2 倍或数倍，增加了拔出难度。同时也有可能由于锚杆周围土体的摩阻力大于锚杆体材料的抗拉能力，使杆体拉断而无法全部拔出。另外，在锚杆可以拆除时一般场地都比较狭小，较大的拔出力也使施工设备体积增大而难于放置。

(2) 对周围建筑物影响较大 在锚杆整体拔出过程中所施加的拉力传于土中使基坑产生新的变形，甚至出现新的滑动面，造成基坑滑坡事故隐患。锚杆在整体拔出后，土体中原锚杆体充填部分变成空洞必然使原锚杆周围土体产生变形，从而对上部建筑物和设施造成一定的影响。

实际上给基坑周围后续工程施工造成隐患的主要是锚杆中的拉杆材料。锚杆中的注浆体部分，由于其强度相对较低、截面较小，很容易被其他施工机械顺利破碎并穿过，不会给后续临近建筑物或设施的基础施工造成太大的影响。而锚杆中的拉杆材料——钢筋或钢绞线，由于其强度高、韧性好，很难被破碎、切断或穿越，加上锚杆一般位于地下一定深度，更增加了处理拉杆材料的难度。

既然给基坑周围后续工程施工造成隐患的主要原因是锚杆中的拉杆材料，则可在锚杆作用失去意义时仅仅拆除拉杆材料而余注浆体部分，虽然对周围后续工程的施工仍有一定的影响，但大大降低了后续工程的施工难度。由于该种方案拆除的仅仅是拉杆材料而仍保留注浆体部分，不会象整体拆除方案那样形成空洞而对土体造成大的扰动，从而保证了基坑和上覆建筑物的安全。由于仅需将拉杆材料拔出，拔出力较小，对场地的要求和拔出设备的能力也相对较低。

比较上述两种锚杆拆除方案可知，拆除拉杆材料方案具有对土体扰动小、简单易行等优点，决定采用锚杆部分拆除即拉杆材料拆除方案。该方案需具备下列两种功能：(1) 使用功能在基础工程施工过程中，提供一定的锚拉力而确保支护工程的安全、可靠；(2) 拉杆可拆性在施工结束后，基础回填至锚杆头标高处、锚杆失去了作用意义时将拉杆材料方便、快速地拆除。

2.2 实现方法

为了实现拉杆的可拆性功能，可以通过在拉杆与注浆体之间设置隔离措施使拉杆材料与注浆体之间失去粘结力，以便在锚杆失去作用时将拉杆材料拆除。

可拆型锚杆的使用功能的实现，可通过将锚头对锚杆的拉力转化为锚杆土层深处端部的压力，再通过注浆体与周围土体的摩阻力将该压力传递于土体中，从而使锚杆提供承载能力来满足可拆型锚杆的使用功能要求。

综合拉杆材料的可拆性和锚杆使用功能的要求，可考虑将一根连续的、周围可与注浆体隔离的并具有一定柔性的拉杆材料(如无粘结钢绞线)在锚杆孔底成 U 型穿过锚杆的底端返回至孔口，作为 2 根成对使用来实现锚杆的可拆性和使用功能。

由于拉杆材料的面积较小，且注浆体的抗压强度相对较低，在 U 型底部拉杆对注浆体产生相当大的局部压应力，有可能使此处的注浆体被压碎而影响锚杆的承载力。为了减少此处的压应力，可在此处增加一个与拉杆 U 型对应的弧形钢制承载体(图 1)，增加此处的受压面积，通过承载体将压力均匀作用于底部注浆体上使注浆体不致于因局部应力过大而被压碎。

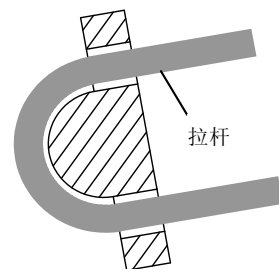


图 1 承载体
Fig.1 Bearing-body

2.3 技术要点

如图 2 所示，为了使锚杆提供锚拉力将出露于孔口的一根通长柔性拉杆的两端皆锚固于锚固端上，锚头处的拉力相当于 2 根的拉杆传递于锚杆底端的承载体，承载体又将拉力转化为压力而传递于注浆体上，再由注浆体与土体之间的摩阻力来承担，从而实现锚杆的使用功能。

当锚杆失去作用意义时放开锚头处对拉杆的锚固对一端施加拉力，由于拉杆与注浆体之间无粘结及拉杆具有一定的柔韧性，通过弧形承载体即可将拉杆拔出(图 3)，亦即实现了锚杆拉杆材料的拆除，为后续工程消除了施工隐患。

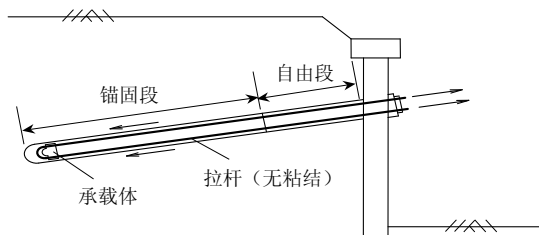


图2 可拆型锚杆的使用状态

Fig.2 Working state of removable anchor rod

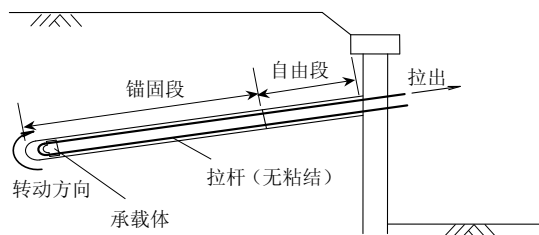


图3 可拆型锚杆钢绞线的拆除

Fig.3 Removal of steel stranded wire of removable anchor rod

3 试验研究

3.1 试验目的及方案

设置可拆型锚杆的最终目的是为了提供锚拉力, 必须考虑到施工工艺必须简单快速、操作简便, 还应考虑到该方法的地层适应范围。为了定性地检验上述技术方法的可行性, 结合国家工程桩动测资质考核基地承载力考核桩的静载试验, 进行现场试验研究, 有三方面的内容: (1) 检验可拆型锚杆施工的可能性; (2) 检验可拆型锚杆的使用功能即承载力性能; (3) 检验可拆型锚杆拉杆拆除的可行性。

由于拉杆材料需穿绕承载体, 拉杆材料需具有一定的柔性, 同时为了实现可拆性, 拉杆四周和注浆体之间必需有一定的隔离措施。为此拟采用两种拉杆材料和隔离措施进行试验: (1) 采用钢丝绳作为拉杆材料, 套在钢丝绳之外的硬质塑料波纹管作为隔离措施。该方案简单易行, 且费用低廉, 试验数量为 4 根; (2) 采用无粘结钢绞线为拉杆材料, 利用钢绞线与保护套管之间满涂的黄油作为隔离措施, 该方案试验数量也为 4 根。

为了比较可拆型锚杆和普通拉力型锚杆的承载性能, 同时设置 2 根尺寸和可拆型锚杆相同的普通拉力型锚杆, 通过承载力试验来比较其承载性能。

3.2 试验及结果

所有试验锚杆的承载体皆采用钢板和钢管焊接而成的上述结构型式。整个场地土层以黄土状粉土为主。锚杆孔采用洛阳铲人工成孔, 孔径为 180 mm,

长 6 m, 采用水灰比为 0.45 的水泥浆注浆而成。试验结果如下:

(1) 施工可能性 所有 8 根可拆型锚杆从成孔、安放拉杆材料到注浆成杆等均可正常进行, 但拉杆材料绕穿承载体显得不便和费时。

(2) 承载力性能 承载力试验结果表明, 虽然所有试验锚杆皆可以提供所预估的抗拉力 120 kN 而不至于使杆体拔出而破坏, 但可拆型锚杆和普通拉力型锚杆相比, 在加载过程中特别是在初期荷载作用下明显存在锚头位移的增加很快而荷载上升缓慢、位移较大的现象, 且位移相差较大。每根锚杆的承载力试验结果详见表 1。

(3) 可拆性能 拆除试验结果表明拉杆材料皆可以被抽出, 但所需拉力不同。所有无粘结钢绞线的拆除拉力相对稳定 (约 13~20 kN), 而采用波纹管作隔离体的钢丝绳在拔出时所需的拉力相差较大, 其中 2 根可由人工直接拔出, 另外 2 根必须首先使用千斤顶施加 15~60 kN 的拉力使其拉动后才能拔出。对使用千斤顶拔出的钢丝绳表面进行观察, 发现局部有水泥浆的痕迹, 分析可能是由于波纹管破裂造成漏浆而使钢丝绳与注浆体之间产生了粘结力。

表1 承载力试验结果及可拆型锚杆拆除拉力
Table 1 Results of load test and removing loads of removable anchors

编号	锚杆型式	最大荷载 /kN	位移 /mm	最大拆除拉力 /kN	备注
C1-1	可拆型(钢绞线)	120	70.47	13.6	
C1-2	可拆型(钢绞线)	120	200.52	19.4	
C1-3	可拆型(钢绞线)	120	50.29	12.6	
C1-4	可拆型(钢绞线)	120	110.81	15.2	所有锚杆
C2-1	可拆型(钢丝绳)	120	34.82	人工拉出	试验均未
C2-2	可拆型(钢丝绳)	120	36.77	人工拉出	达到极限
C2-3	可拆型(钢丝绳)	120	59.54	15.0	承载力。
C2-4	可拆型(钢丝绳)	120	97.48	56.4	
P1	普通型(钢丝绳)	120	17.75		
P2	普通型(钢丝绳)	120	16.54		

3.3 分析与讨论

理论上分析, 可拆型锚杆在拉杆受力后通过承载体直接将拉力传递到锚固体根部, 压力使锚固体产生压缩变形, 压缩变形使锚杆注浆体与锚杆周围土体之间产生相对位移, 从而使土产生对锚杆体的摩擦力(图 4(a))。由于直接将荷载作用在锚杆根部, 其附近受力和变形最大沿锚杆轴线向外, 随着和自由段与锚固段交接处的距离越来越远, 由于土层摩擦阻力的作用, 锚杆体所受的压力和压缩变形越来越

小, 注浆体与土体之间的摩阻力分布一般为深部大、自由段与锚固段交接处最小, 使得深部土体受力和变形较大而浅部土体受力和变形较小。而普通型锚杆的摩阻力分布与可拆型锚杆相反(图 4(b)), 其受力和变形一般是外部大、深部小。另外, 外部的土层一般较差, 可提供的摩阻力较小, 而深部的土层一般较好, 可提供较高的摩阻力。相比而言, 可拆型锚杆较普通型锚杆受力更加合理。从荷载传递机理上说, 上述可拆型锚杆是一种压力型锚杆^[2, 3], 更有利于对支护结构的变形控制, 具有比普通的拉力型锚杆更高的技术性能。

但表 1 的试验结果却和上述理论分析结果相矛盾。从试验结果来看, 可拆型锚杆的锚头位移不但比普通拉力型锚杆的小反而比普通拉力型锚杆的大, 文献[3]中也有类似结果, 在理论上这显然解释不通。另外, 基坑支护中锚杆的功能之一是控制基坑的变形, 这就要求基坑支护中的锚杆不但要有足够的锚拉力, 而且还必须有尽量小的锚头位移, 而上述可拆型锚杆的位移是如此之大, 且不同锚杆的位移相差很大而不稳定, 显然其不能应用于实际工程支护中。

为了弄清楚试验结果与理论分析矛盾的原因, 初步分析认为可能是注浆体与承载体结合处的浆液未注饱满、质量不容易保证而造成注浆体底端被压坏所致。在此基础上, 对锚头位移最大的一根可拆型锚杆 C1-2 进行了开挖检查。发现该锚杆承载体与注浆体结合处由于固定钢绞线材料的影响使底端受压面积明显减小, 此处的浆体也夹有部分泥土, 浆体质量差, 其整个承载体已经嵌入注浆体中。

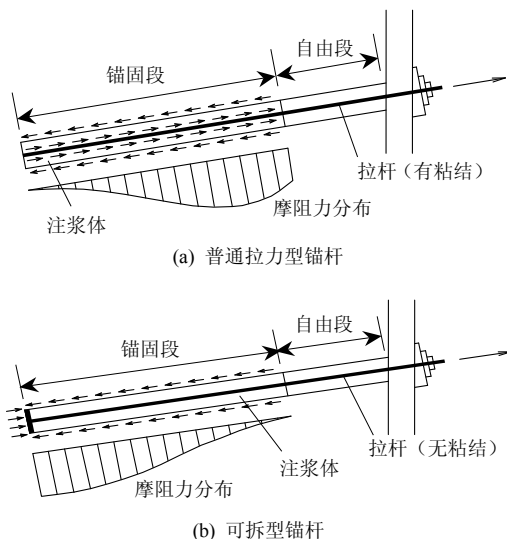


图 4 锚杆拉力的传递

Fig.4 Transmission of tension in anchor rod

3.4 方法改进

通过试验虽然证明了上述方法的可行性, 但仍有很多地方需要进一步的改进: 首先在可拆性方面, 采用波纹管作为隔离措施显得不稳定, 拔出力相差较大, 拉杆与注浆体的隔离措施以使用无粘结钢绞线为最佳, 采用波纹管作为隔离体要慎重, 必须保证波纹管的完整性, 可采用优质材料的加厚管和通过在管中充满水等措施, 确保波纹管内不得进入水泥浆。其次, 可拆型锚杆的锚头位移过大会直接影响该项技术在实际工程中的实用性, 之所以产生过大的变形, 其原因是注浆体与承载体结合处浆体质量不容易保证所致, 使得锚杆承载性能极不稳定。为保证此处的注浆体质量, 不使锚杆产生过大的变形, 一种方法是对孔底进行二次高压注浆, 使得此处的浆液饱满, 确保此处的注浆体质量, 但当承载体的压力大于浆体强度时注浆体仍然会被压坏^[3]; 另一种方法是沿锚杆分段增设承载体, 降低每个承载体的压力, 将锚拉力分段传递于注浆体中^[2~4], 但设置过多的承载体反而会更加影响到注浆体的质量, 承载体处仍然会有浆液不饱满、强度较低而被压坏的可能性, 由于此处的注浆体质量不稳定, 无法确保每个承载体端部处的注浆体不被压坏。

笔者提出一种操作简单且受力合理的方法, 即通过增设一传力杆(图 5)对图 1 中的承载体进行改进, 一方面由于传力杆将承载体的压力分散传递于注浆体中, 不至于造成与承载体结合处的注浆体所受压力过大而产生过大的变形或被压坏; 另一方面由于传力杆直接进入注浆体中一定长度, 承载体具有多个传力点, 即使承载体端部的注浆体质量稍差, 荷载仍然可以通过传力杆传递于注浆体中, 而不至于产生过大的变形或注浆体被压坏的现象发生, 不但确保了荷载传递的稳定性, 质量容易保证, 而且对现场施工的要求也较低。为了承载体与拉杆材料现场连接的方便, 承载体中穿拉杆的孔应采用开放型并配合方便的固定措施来加以改进。

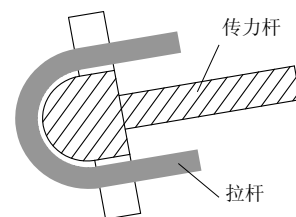


图 5 改进后的承载体

Fig.5 Bearing body after improvement

4 工程实例^[5]

4.1 工程概况

河南省某公司二号高层职工住宅楼, 地上 30 层, 地下 1 层, 基础埋深 -6.5 m。由于其距周边建筑物和城市道路较近(图 6), 且地下水位较高, 地质条件较差, 必须对基坑进行支护。

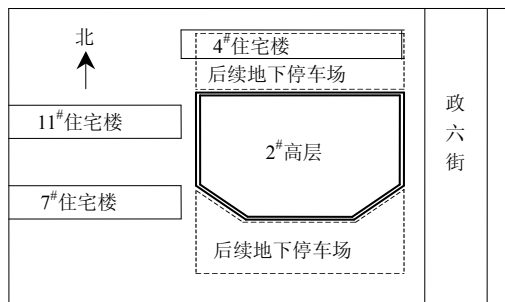


图 6 基坑平面图

Fig.6 Foundation pit plan

经方案比较, 决定采用由顶圈梁连接的排列式混凝土钻孔灌注护坡桩、深层搅拌桩及预应力锚杆组成的全封闭锚拉式支护体系进行支护。由于该工程南北两侧为拟建地下停车场的场地, 为避免给后续工程造成施工隐患, 南北两侧的锚杆须采用可拆型锚杆支护, 待基础施工至 ± 0.00 , 基坑回填至锚杆下 0.5 m 时, 要求将南北两侧的锚杆拉杆材料全部拆除。

4.2 锚杆试验

锚杆采用上述可拆型锚杆, 拉杆采用 $d=15$ mm ($7\phi 5$ mm) 的全长无粘结钢绞线, 锚固体直径 160 mm, 倾角为 27° , 19° 交替布置, 长度为 19 m, 设计锚杆抗拉力为 225 kN。为了确定锚杆的承载力和检验钢绞线拆除的可行性, 施工前在局部开挖的基坑内进行了 3 根锚杆试验。

图 7 为典型的 T1#锚杆承载力试验荷载-位移曲线, 其它 2 根与其相类似。3 根锚杆的承载力试验结果表明锚杆的承载力满足设计要求。

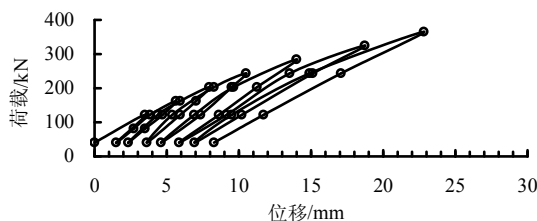


图 7 T1#锚杆承载力试验荷载位移曲线

Fig.7 Tension and displacement curve of testing anchor rod No.1

承载力试验后对 3 根试验锚杆进行了钢绞线的拔出拆除试验, 结果表明 3 根试验锚杆的钢绞线均可顺利抽出。经过工程现场试验, 证明了该方案的可行性, 随后进行了基坑大面积的开挖和工程锚杆的施工。

4.3 支护效果

为了做到信息化施工, 在基坑开挖和基础施工中对基坑及周围建筑物、道路等进行了变形监测。图 8 为具有代表性的基坑北侧顶圈梁中点水平位移随时间的变化曲线。基坑的水平位移观测结果表明, 基坑水平变形发展最快的是挖土刚开始的 3~28 d 内, 此后的发展逐渐平缓, 整个施工过程中的最大水平变形为 22.5 mm, 未超过设计的 45 mm, 且周围的建筑物、围墙、道路等均未发现明显的裂缝、沉降等现象, 达到了预期的支护效果。

当基础施工至 ± 0.00 , 基坑回填至锚杆锚头标高下 0.5 m 左右时, 将南北两侧的可拆型锚杆无粘结钢绞线全部拆除 (拆除拉力为 25~35 kN), 消除了后续地下停车场建设时的施工隐患。

为了与普通的拉力型锚杆进行性能比较, 将采用普通锚杆的 1#高层住宅楼基坑相同位置水平位移观测点的数据也绘于图 8 中。1#高层住宅楼位于该工程南侧 40 m, 除基坑锚杆为普通锚杆外其它与该工程基本相同。由图 8 可以看出, 采用可拆型锚杆不但消除了后续地下停车场施工的隐患, 其支护效果也有明显的改善。

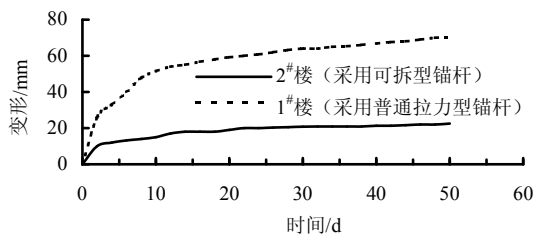


图 8 基坑水平位移变化曲线

Fig.8 Horizontal displacements of pit top vary with time curve

5 结 语

本研究提出的可拆型锚杆技术虽然仅仅是部分拆除, 但由于拆除了对后续工程施工影响最大的拉杆材料, 剩余的注浆体部分很容易被其他施工机械顺利破碎并穿过, 使周围后续工程的施工难度大大减小。

为了避免承载体底端的注浆体由于压力过大而破坏, 在承载体上增加一传力杆, 不但可有效地分

散对注浆体的压力而使承载体端部注浆体不被压坏，而且还可以大大提高可拆型锚杆承载性能的稳定性。

本文提出的可拆型锚杆技术简单易行，在拆除过程中和拆除后对锚杆周围土体的扰动都很小，保证了基坑和上覆建筑物的安全，且从受力机理及工程实例的支护效果来看，技术性能上也较普通拉力型锚杆有较大的改善。

由于地下空间资源日趋紧张，为了既合理地利用地下空间，同时又避免对周围后续工程的建设造成不良影响，基坑支护中采用可拆型锚杆技术无疑是一个较好的解决方案，尤其是在目前普通型锚杆引起的法律纠纷越来越多的情况下更值得大力推广。

参 考 文 献

- [1] 程良奎, 范景伦. 压力分散型锚杆的应用与研究[J]. 冶金工业部建筑研究总院院刊, 2000, (2): 1—8.
- [2] 张乐文, 汪稔. 岩土锚固理论研究之现状[J]. 岩土力学, 2002, 23(5): 627—631.
- [3] 顾亮. 压力型锚杆的抗拔试验[J]. 工程勘察, 1999, (1): 10—12.
- [4] 盛宏光, 聂德新, 傅荣华. 可回收式锚索试验研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, (4): 68—72.
- [5] 河南省建筑科学研究院. 土层可拆型锚杆技术应用研究[R]. 郑州: 河南省建筑科学研究院, 2001.