

文章编号: 1002-0268 (2004) 07-0026-04

新型锚杆及岩土锚固新技术

张乐文¹, 刘传波²

(1. 山东大学岩土与结构工程研究中心, 山东 济南 250061;
2. 济南市公路管理局, 山东 济南 250013)

摘要: 岩土锚固是岩土工程领域的重要分支, 在边坡、基坑、矿井、隧洞、坝体等工程建设中获得广泛应用。本文综合论述了国内外常见的新型锚杆以及岩土锚固新技术, 如单孔复合锚固技术、锚杆杆体材料新技术、软土锚固新技术等, 这对岩土锚固工程实践有一定指导意义。
关键词: 新型锚杆; 岩土锚固; 单孔复合锚固技术; 软土锚固
中图分类号: TD353 **文献标识码:** A

New Type Bolts and New Anchorages Technique of Rock and Soil

ZHANG Le-wen¹, LIU Chuan-bo²

(1. Geotechnical & Structure Engineering Center of Shandong University, Shandong Jinan 250061, China;
2. The Administration Bureau in Jian, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Anchorages of rock and soil is one of important branches in geoengineering, and is widely used in engineering construction such as: slope, foundation pit, mine, tunnel, dam etc. This paper reviews a lots of new type bolts at home and abroad and some new anchorage technique of rock and soil, for example: single bore multiple anchor system, new technique of bolts body material, achievement of soft soil anchorage, which are significant to anchorage engineering practice of rock and soil.
Key words: New types of bolt; Rock and soil anchorages; Single bore multiple anchor system; Soft soil anchorages

岩层和土体的锚固是一种把受拉杆件埋入地层的技术^[1]。锚固技术按应用对象分为岩石锚杆、土层锚杆和海洋锚杆; 按是否预先施加应力分为预应力锚杆和非预应力锚杆; 按锚固机理分为粘结型锚杆、摩擦型锚杆、端头锚固型锚杆和混合型锚杆; 按锚固体传力方式分为压力型锚杆、拉力型锚杆和剪力型锚杆; 按锚固体形态分为圆柱型锚杆、端部扩大型锚杆和连续球型锚杆。

1 新型锚杆

1.1 快硬水泥锚杆

快硬水泥锚杆是一种新型粘结式锚杆, 近年来国外研究发展很快, 如瑞典、法国、美国等已批量生产, 我国煤矿近两年也在研究各种快硬水泥锚杆, 取得了一定的成果, 如煤炭部煤炭科研院建井所, 中国

矿业学院, 西安矿业学院等均已研制成功, 并已少量试生产。

快硬水泥锚杆以快硬水泥药包取代树脂药包, 杆体与杆头部结构与树脂锚杆相同。安装时先将水泥浸水 2~3min, 再投入锚孔底部用杆体搅破并迅速凝固。

1.2 扩头地锚^[1]

台湾卢锡焕发明了保壮 PCBA 扩孔地锚。其扩孔要点是: (1) 组装 PCBA 旋转扩孔预应力锚杆杆体, 包括安装扩孔叶片, 旋转变化锚头, 预应力钢绞线, 钢绞线与变化头相接处防水处理等。(2) 将带有 PCBA 旋转扩孔装置的预应力锚杆体下放至钻孔预定深度。(3) 液压钻机转动钻杆, 扩孔时叶片张开, 上下旋转, 岩屑、碎片随水冲出孔外, 部分沉渣则留在孔底, 待灌浆时再与之混合。(4) 灌注水泥浆, 必要时

加砂,边灌浆、边旋转扩孔叶片,使孔内沉渣与水泥浆体混合,以低压灌至溢满孔口为止,停留 20min,再次灌浆。(5)回收钻杆,扩孔钻头则留置于孔底,作为扩头地锚的锚固结构。

1.3 二次高压灌浆锚杆^[2]

借助特别的注浆管和密封袋,以压力高达 3~3.5MPa 的注浆工艺,使第一次注浆形成的强度约为 5MPa 左右的注浆体产生贯通裂缝,浆液则沿裂缝深入土体中,在锚杆上形成一串球状体,不仅可以提高锚杆周围土体的抗剪强度,还能增大土体与锚固体间的接触面积,从而显著地提高锚固强度。

1.4 让压锚杆(屈服锚杆)

普通的粘结式锚杆和机械式锚杆,一旦达到破断载荷,则造成杆体断裂而失去支护作用;或者一旦位移过大,锚杆的锚固力将由最大值下降到很小乃至完全丧失锚固力。导致围岩失稳破坏。为了使锚杆始终保持满足设计要求的足够大的锚固力而杆体不发生断裂破坏,又要使锚杆适应较大的位移而保持其锚固力。西德采矿研究中研制了多种可伸长的让压性锚杆。

一是改变锚杆结构:(1)在锚杆垫板,螺母处考虑,例如可压紧一个弹簧垫圈,这就是技术上最简单的一种让压锚杆,但它仅承受 7~8t 的力,而且让压性较小。(2)在杆体运动时将许多钢珠置于一个内部为锥形的套筒内,通过不断将钢珠拉入套筒而恒定地保持力的传递,工作阻力可在 20~25t 以上。从恒定性,特别是从载荷的可调性来看,这种系统显然是效率最高的,其缺点是造价较高,而且需要较大的钻孔直径。

二是改变锚头的结构,使用楔形锁紧器锚头的摩擦滑动锚杆和可伸长的滑动锚杆。前者在锚头处使用楔形锁紧器,随着杆体的移动,楔子将越楔越紧而最后阻止杆体滑移。后者在锚头端装有强度相当大的特殊钢组成的剪切凸块,锚杆杆体外面套有一根 100cm 长的钢管,并将树脂砂浆注入杆体与套管、套管与钻孔之间,使其粘结在一起。当锚杆受力时,剪切凸块以旋转方式剪碎树脂砂浆填料,从而使锚杆伸长,产生较大的滑动距离,并保持恒定工作阻力 15~18t。

1.5 螺旋锚

螺旋锚是螺旋锚片锚杆的简称,它由螺旋锚片、螺杆和杆头组成。它最早应用在桩基的静载荷试验和静力触探试验中作为加载的反力装置,最近一、二十年来,在加拿大、美国等欧美国家已经将螺旋锚作为一种有效的、新型的土锚技术和承压板的基础形式广

泛地运用于各种土木工程中。

近年来兴起的螺旋锚,通过锚杆施加旋转力矩,将锚杆旋入土中,它的优点有:施工速度快、工程造价低,对临时性结构可以重复利用,施工过程中对土层的扰动程度和范围小,能充分利用土体强度,施工完毕可立即承受载荷。

1.6 可回收锚杆^[3]

可回收锚杆是指用于临时性工程加固的锚杆,在工程完成后可回收。可回收锚杆施工与普通锚杆并没有很大的差异,只不过是使用了经过特殊加工过的张拉材料、注浆材料和承载体。目前该种锚杆在国外正处于发展阶段,而国内还未见使用的报道。如按其结构可分为如下三类。

(1)机械可回收锚杆:是将锚杆体与联结器联结起来,在回收时施加与紧固方向相反的力矩,使锚杆体与机械的联结器脱离后取出。

(2)力学式可回收锚杆:是使用特殊被复的钢丝作为锚杆体,使钢丝与注浆体隔离,回收时对每一根钢丝进行张拉,直到钢丝被一根根抽出。

(3)化学式可回收锚杆:是先在锚杆的锚固段安装发热装置或爆破装置,在回收时使用点火装置把锚杆从锚固段与自由段处切断,然后将其收回。

1.7 自钻式注浆锚杆

自钻式注浆锚杆也称为注浆锚杆,即用带钻头的钻杆为锚杆杆体,进行凿孔到一定深度,放在孔中注浆的锚杆。它一般用在松软破碎岩层中,因成孔困难,钻杆拔出,孔即坍塌。

自钻式注浆锚杆的钻头,有活钻头和死钻头两种。在材质和形状上,有硬度 60HRC 的十字钻头和金刚石钻头等。

1.8 塑料锚杆^[4]

塑料锚杆是近几年研制的新产品,已在内蒙东胜、福建天湖山矿等使用,德国埃森 Essen 煤矿也推广应用。塑料锚杆是为降低成本,节约钢材,特别是它的锚固力可达 200~300kN,抗腐蚀性强、重量轻、可切割、可弯曲搬运等优点,而研制的新产品。公认为是今后的发展方向。

塑料锚杆有两种,一是塑料锚杆,二是玻璃钢锚杆。塑料锚杆是金属杆体和塑料的合制品。如锥体、杆体、垫板和螺帽为金属,胀壳为塑料制品。玻璃钢锚杆是一种以合成树脂为粘结剂,玻璃纤维为增强材料制成的复合材料。采用拉挤成型方法制成的玻璃钢杆体。其相对密度为 1.8~2.1,抗拉强度 600~700MPa(钢杆体相对密度 7.8,抗拉强度 340~

500MPa), 可以部分代替钢锚杆, 节省钢材。玻璃钢杆体具有可切割性, 可弯曲和良好的防腐蚀性, 很适合煤巷和综采工作面使用。

1.9 分散压缩型锚杆^[4]

分散压缩型锚杆是指将无粘结力的钢绞线弯曲加工成 U 型, 分别装入数个按一定间距配置的承载体上, 张拉钢绞线时, 在锚固体内部以承压方式作用于灌浆材料, 形成压缩分散型锚固体, 其使用功能完成后, 钢绞线可从无粘结包裹体中抽出。

这种锚杆的结构特征为, 通过对锚固体施加压缩应力及使用数个承载体, 具有把传递到地层的周边粘结摩阻应力峰值控制到最低限度和分散到整个锚固体上的效果。

1.10 砂固结内锚头预应力锚杆^[5]

砂固结锚固技术是近几年来出现的新型锚固技术, 与前述锚固技术不同, 它所利用的是砂的膨胀性产生的与岩壁的摩擦力作用而提供锚固力。

砂固结内锚头预应力锚杆特点是:

(1) 用膨胀木材料制成空心圆柱体做封口。封口吸水(吸潮)后自身膨胀而起封砂作用, 无需通过其他手段紧固封口, 因此封口可以深入到钻孔中, 从而内锚头砂体长度可以适当减小, 锚杆自由段得到加长。

(2) 采用预制砂柱体的办法解决输砂问题。在天然散砂中添加少量水泥浆做为粘结剂, 用类似做蜂窝煤的办法预制空心砂柱体。锚杆安装时, 把砂柱体和膨胀木封口套到杆体上, 然后推入钻孔中, 无需专门的灌砂机械, 工艺简单, 操作方便。

2 岩土锚固新技术

2.1 单孔复合锚固技术^[6]

传统的岩土锚固方法, 即拉力型锚杆在锚杆受荷时, 不能将荷载均匀地分布于固定长度上, 会产生严重的应力集中现象。由于粘结应力分布的不均匀性, 随着锚杆上荷载的增大, 在荷载传至固定长度最远端之前, 在杆体与灌浆体或灌浆体与地层界面上就会发生粘结效应逐步弱化或脱开的现象。

为了从根本上改变拉力型锚固方法的弊端, 冶金部建筑研究总院等单位已研究成功单孔复合锚固方法(其结构见图 1)。该方法是在同一钻孔中安装几个单元锚杆, 而每个单元锚杆有自己的杆体, 自由长度和固定长度, 而且承受的荷载也是通过各自的张拉千斤顶施加的, 并通过预先的补偿张拉(补偿各单元锚杆在同等荷载下因自由段长度不等而引起的位移差),

而使所有单元锚杆始终承受相同的荷载。

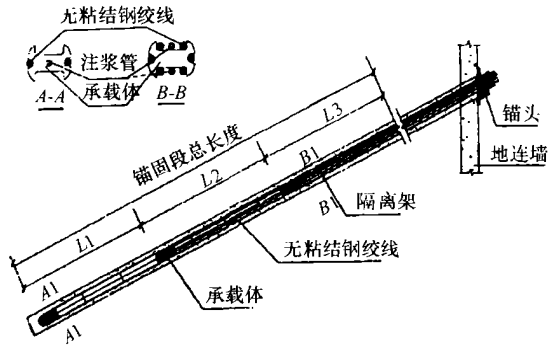


图 1 单孔复合锚固技术

这种新型锚固体系, 可将集中荷载分散为几个较小的荷载作用于固定段的不同部位, 使粘结应力峰值大大降低, 因单元锚杆的固定长度很小, 不会发生粘结效应逐步弱化, 能使粘结应力均匀地分布在固定长度上, 最大限度地调用整个锚杆固定长度范围内的地层强度, 锚杆承载力可随固定长度的增长而按比例的提高。与拉力型锚杆相比, 承载力可提高 30%~200%。

目前, 单孔复合锚固已成功地用于北京中国银行总行基坑支护工程, 北京华澳中心基坑工程、首都机场地下车库抗浮结构工程和北京虎峰山庄边坡工程中。在中国银行大厦基坑工程中使用的单孔复合锚固法为一个钻孔内安放 4 根单元锚杆, 每根单元锚杆的固定段长度 5.0m, 固定段位于粉质粘土和中细砂层中, 在 1 500kN 荷载作用下, 无异常变化。

冶金部建筑研究总院开发的单孔复合锚固体系是一种压力分散型锚杆, 它是将无粘结钢绞线绕承载体弯曲成 U 型构成单元锚杆。这种锚杆用于永久工程, 由于预应力筋(钢绞线)有油脂、聚乙烯及灌浆体包围, 形成多层防腐, 大大提高了锚杆的耐久性。用于临时工程, 使用功能完成后, 可方便地拆除芯体, 不构成对周边地下工程开发的障碍。

2.2 锚杆杆体材料新技术

目前, 锚杆杆体材料一般使用各种类号的热轧钢筋, 对大吨位长锚杆, 常采用精轧螺纹钢作为锚杆杆体材料。精轧螺纹钢的力学性能见表 1。

表 1 精轧螺纹钢的力学性能

公称直径 /mm	牌号	屈服强度 $\geq$ /N $\cdot$ mm $^{-2}$	抗拉强度 $\geq$ /N $\cdot$ mm $^{-2}$	伸长率/%
25	15MnSiB	930	1080	
32	40SiMnV	735	885	7

精轧螺纹钢强度高, 可根据需要, 用接头接长, 因此可制作大吨位长锚杆。非金属材料作杆体材料,

特别是塑化玄武岩（强度指标见表 2），玻璃纤维（性能、规格见表 3，表 4）等材料具有强度高、重量轻、防腐性能好、易切割等优点，是锚杆杆体材料今后发展的方向。

表 2 塑化玄武岩锚杆强度指标

破坏强度	拉伸	压缩	弯曲	拉伸时的弹性模数
MPa	1080~1880	460~490	670~700	89000~93000

表 3 玻璃纤维锚杆的性能

序号	性能	数据	序号	性能	数据
1	抗拉强度 MPa	1200	5	密度 kg·m ⁻³	2 0
2	弹性模量 MPa	50	6	泊松比	0.30
3	抗剪强度 MPa	200	7	热膨胀率/%	5×10 ⁻⁶
4	破坏变形/%	3.1	8	玻璃含量/%	70

表 4 玻璃纤维锚杆的规格

项目	性能参数				
杆体直径/mm	15	17	20	22	25
抗拉力/kN	180	220	320	400	470
抗剪力/kN	35.3	45.4	62.8	76.0	98.1

2.3 软土锚固取得重大突破^[8]

软土主要由细粒土组成，一般具有松软、含水率高、孔隙比大、压缩性高和强度低的特点，主要分布在沿海一带。改革开放以来，沿海地区高层建筑蓬勃兴起，并要求快速经济地建造一大批深基坑工程，它为软土锚固的发展提供了契机。

应当说我国软土锚固技术与世界先进水平相比是毫不逊色的。其主要成果可归纳为 3 方面：

（1）采用可重复灌浆技术，大幅度提高了软土中锚杆的承载力。该技术是借助于密封袋、注浆套管、注浆枪等特殊的结构构造，能在一次灌浆体强度达 5MPa 后，实现二次或多次重复高压（3.5~4.0MPa）劈裂灌浆，使水泥浆能较均匀地沿锚固段全长向周围土体渗透、挤压和扩散，以显著提高灌浆加固土层的抗剪强度，从而使灌浆体与土层界面上的粘结强度及锚杆承载力提高 0.6~1.0 倍。可重复灌浆型锚杆已在天津、上海、深圳、厦门等地的软土基坑工程中得到广泛应用。

（2）基本上掌握了软土中锚杆蠕变变形和预应力值变化的规律。对塑性指数大于 17 的软土（不包括

淤泥）在锚杆荷载作用下的蠕变变形及锚杆荷载随时间的变化特性进行了较深入的研究，提出了以下一些基本认识：①用较小的应力水平，即当锚杆锁定荷载与极限承载力的比值小于 0.53，能使锚杆的蠕变变形控制在容许范围内；②锚杆相联系的桩墙支挡结构出现较大位移时，锚杆荷载（预应力值）会急剧增大，故锚杆锁定荷载值以取设计值的 0.7~0.85 为宜；③锚杆的预应力损失大于 10% 时，可通过重复张拉加以补偿。

（3）在实践中，找到了控制软土基坑周边位移的若干有效方法。控制软土基坑周边位移的方法主要有：①在地下水位较高的软土地层中开挖基坑，应设可靠的止水帷幕，阻止坑边地下水的流失。②适当加大桩墙结构尺寸和加密锚杆，以提高支护结构刚度。③锚杆成孔采取跳钻，即在水平方向上每隔 2~4 个锚杆孔位钻孔，并随即完成插筋、注浆作业，使单位时间内对单位体积土体的扰动范围降低到最小程度。④土方开挖要分层实施，使卸荷作用的应力调整缓慢发生。基坑周边应随开挖，随锚固，使无支承长件下坑边所暴露的时间尽可能短，所敞露的面积尽可能小。⑤当基坑周近有密集建（构）筑物时，可在建（构）筑物周边设置垂直向的微型桩，以改变应力传递途径，减少基坑周边位移对建（构）筑物的影响。

参考文献：

[1] 程良奎，张作，杨志银. 岩土加固实用技术 [M]. 北京：地震出版社，1994.

[2] 唐保付，等. 二次高压灌浆提高土锚承载力机理研究 [C]. 岩土锚固新技术论文集，北京：人民交通出版社，1998

[3] T F Herbst. Removable Ground Anchors—answer for Urban Excavations [C]. London: Ground Anchorages and Anchored Structures, 1997

[4] 程良奎. 深基坑支护的新进展 [C]. 岩土锚杆新技术论文集，北京：人民交通出版社，1998.

[5] 陈荣. 一种新型的岩石加固锚杆——砂固结内锚头预应力锚杆的试验及理论研究 [D]. 中国科学院武汉岩土力学研究所，1998.

[6] A D Barley. The Single Bore Multiple Anchor System [C]. London: Ground Anchorages and Anchored Structures, 1997.

[7] 程良奎. 单孔复合锚固法的机理与实践 [C]. 岩土锚固技术的新进展论文集，北京：人民交通出版社，2000

[8] 程良奎. 岩土锚固的现状与发展 [J]. 土木工程学报，2001，34（3）：7—16