

常用预应力锚索的结构和特点

刘玉堂 翟金明

(总参工程兵科研三所 洛阳 471023)

(续接上期)

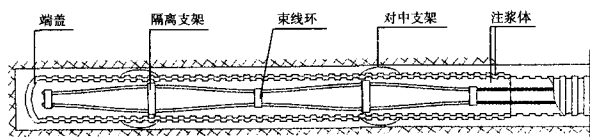


图5 锚固段双层波纹管

3.2 施工中要注意的问题

3.2.1 锚固段钢绞线的清洗

拉力型锚索的拉力是依赖钢绞线与注浆体的粘结力经由注浆体传递给孔周的岩体，因此，锚固段钢绞线上的油脂必须清洗干净。钢绞线上的防锈脂已渗入7根钢丝的内部空间，不能只清洗表面，必须把钢绞线散开，7根钢丝分别清洗干净后再复原。这样做很麻烦，仅适用于锚索量小的工程。对于大型边坡工程，宜采用在封闭容器内用90℃以上高温水喷射清洗，这种方法不用散开钢绞线而且洗得干净；

3.2.2 锚索组装

因为隔离防护层都是各种塑料，用金属丝捆扎易损坏，通常用尼龙带捆扎锚索。组装锚索用的各种对中、隔离支架也不得用金属制做，全部采用模注塑聚乙烯或聚丙烯支架。为了提高锚固段的锚固效果，锚固段做成枣核状。锚索全长均需要按一定间距放置对中隔离支架，防止钢绞线与波纹管接触，保证波纹管内部锚索周围有大致等厚的注浆。将组装好的锚索整体放入波纹管，并在波纹管外侧放置对中支架，以保证波纹管与钻孔壁间有大致等厚的浆体。波纹管内外两侧的浆体是不连通的，要根据锚索的倾角合理放置注浆管和排气管，以确保注浆后钻孔内的所有空间都充满浆体；

3.2.3 隔离防护层的保护与修补

无粘结钢绞线的运输、储存、搬运以及锚

索下料、清洗、组装过程中，钢绞线上的PE套管易与硬物磨擦而破损，各工序的操作应特别小心，一旦发现破损，要及时认真修补，用胶带进行包裹、粘牢，并有足够的搭接长度。波纹管外侧的对中支架要保持适当的间距，防止波纹管垂度过大，避免向孔内送索时波纹管与孔壁磨擦而破裂；

3.2.4 锚具要选用可调整预应力的

一般情况下锚索张拉锚固后要将多余的钢绞线割除，以免影响其它施工作业，也便于锚具的防护。当需要调整锚索预应力时，或者采用调整锚板下垫片厚度的方法，或者采用螺纹螺帽法，专业生产锚具的厂家都有定型产品和操作工具，在订货时注明；

3.2.5 锚具的防护应用专门的防护帽

不少锚固工程无粘结锚索的外锚具采用砼或水泥砂浆覆盖的方法进行防护，这样处理有两个问题，一是当需要调整锚索预应力时，必须把砼保护层破碎，并彻底清除锚具外侧的水泥浆，调整后再用砼封闭，操作繁杂；二是锚具的防护不太可靠。用硅酸盐水泥拌制的砼能在锚具表面形成钝化膜，防止钢铁的锈蚀，但是锚具及其覆盖层是在大气中，比深埋地层中的锚索体环境复杂，大气中的CO₂、酸雨及其它有害物质能使砼碳化，降低其碱度，有可能使锚具失去已形成的钝化膜而锈蚀。无粘结锚索与全长粘结锚索不同，全长粘结锚索受力的局部性特点决定了锚具的锈蚀甚至失效对锚索的加固作用影响不大，无粘结锚索锚具的失效就意味着整个锚索失去任何作用。无粘结锚索外锚具的规范防护方法如图6所示。防护帽一般用模注塑料制成，也可以在现场用铁板制造；防护帽与垫板间设密封垫并有可靠的连接，防护

帽内以及锚索注浆体以外的空间充满防锈脂。在高温天气边坡上的锚索防护帽内的油脂有可能渗漏,可经由防护帽上的注油孔补充防锈油脂;当需要调整锚索拉力时,去掉防护帽即可。

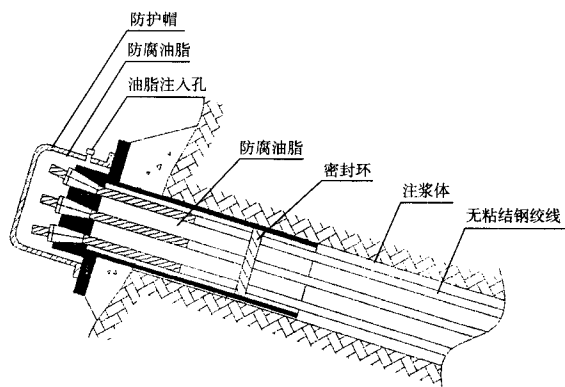


图6 非粘结构型锚索外锚具的防护

3.3 特点

1. 属于拉力集中型无粘结构型预应力锚索,锚具的有效使用期与锚索及被加固的工程相同,要求抗震、抗疲劳。锚具的破坏就意味着锚索失效,直接威胁工程的安全,因此使用期要对锚具妥善保护;

鉴于锚具对无粘结构型锚索的重要性,三峡水电站对3000kN无粘结构型锚索采取了特殊的施工措施^[6],在组装锚索时将张拉端钢绞线上的PE套管多剥离3m,并洗净油脂,锚索组装、施工工艺不变,仅锚索注浆分两次进行,第一次仅注距孔口3m以内的部分,待锚索张拉、锚固、预应力调整之后再将其余部分注满。锚索孔口附近3m长的粘结构型能大大改善锚具长期工作的受力状态;滑移面在岩体深部,3m的粘结构长度也不影响整体锚索自由伸缩性能,无非自由伸缩长度减少3m;

2. 对于岩体的微小变形可在自由段全长调整应力,无论锚索拉力如何变化,始终保持所有钢绞线的拉应力大致相等;

3. 当岩体变形较大时可根据需要随时调节锚索拉力的大小,调整锚索拉力时采用垫片法或螺纹法,无须改变锚片对钢绞线的咬合位

置,不会增大钢绞线的损伤;

4. 抗动载性能好。

3.4 适用环境1. 可用作观测锚索;

2. 适用于大变形岩体加固;

3. 适用于腐蚀性地层及杂散电流密集区的岩体加固。

4. 拉力分散型预应力锚索

4.1 结构

拉力分散型锚索也是属于无粘结构型锚索的一种,锚固段的结构如图7所示,也是近几年出现的新型锚索结构。研究者的初衷是减小锚固段注浆体的拉应力集中,避免注浆体产生拉裂缝。实际上这种锚索锚固段注浆体的受力状态与二次灌浆锚索不同,后者是二次灌浆,先注锚固段浆体,受力最大的地方是浆体自由面,张拉时浆体变形无约束,易于产生裂缝;拉力分散型锚索是钻孔全长一次灌浆,张拉锚索时受拉的注浆体没有自由面,因而也没有浆体开裂的空间,锚固段的破坏只能是钢绞线从浆体中拔出,由于滑动前会产生剪胀,其锚固效果要比二次灌浆拉力型锚索好的多。

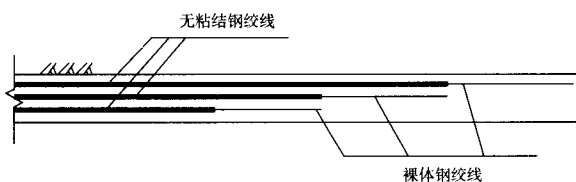


图7 拉力分散型锚索锚固段结构

4.2 施工

1. 将无粘结构型钢绞线按设计长度截断;

2. 剥去拉力锚固段及张拉操作段的PE管,洗净所有油脂,在张拉端钢绞线端部标注表明张拉段长度的可靠标记;

3. 按锚固段在孔中的的设计位置和间距把处理好的钢绞线平放在组装平台上;

4. 用模注塑料对中隔离支架和尼龙带组装锚索;

5. 当用于永久支护时还须在组装好的锚索外面安装波纹管,要注意的是锚索整体都必须

有至少两层隔离防护措施;

6. 锚索放入锚索孔, 全孔一次注浆;

7. 张拉方法与2.3.10相同

4.3 拉力分散型锚索的特点

4.3.1 与压力分散型锚索相比, 结构和施工都相对简单, 没有承压板和挤压套;

4.3.2 把注浆体的拉力分散到处于钻孔不同深度的若干段注浆体上, 既减小了注浆体上的拉力, 也提高了锚固段的利用率。注浆体与孔壁间的剪切应力传递长度有限, 依赖加长注浆长度来平衡锚索拉力不可避免的存在不受力的无效锚固段, 远不如把拉力分散;

4.3.3 在软岩和土体中, 浆体与孔壁间的剪应力控制锚固段的设计长度, 锚索拉力的分散可将浆体与孔壁的接触面积大大增加, 降低了接触面上的剪切应力;

4.3.4 拉力分散型锚索属于无粘结锚索, 对锚具要求抗震、抗疲劳和长期使用中的妥善保护; 长期使用中也会出现各钢绞线受力不一致现象; 调整锚索拉力时同样要采用更换锚片夹持钢绞线位置的方法, 钢绞线的损伤程度加大。

顺便指出, 有的论文在阐述压力分散型锚索的优点时认为^[5]; 当锚索长度相同时, 压力分散型锚索加固岩体的范围大, 压力分散型锚索加固范围在外锚头至最下面的承载体之间, 而拉力型锚索是在外锚头至内锚固段的上半部。这种观点是错误的。无论拉力型或者压力型, 锚索的拉力都是经由注浆体与孔壁的剪力来平衡并传递给孔周围的岩体, 都需要一定长度的注浆体, 所不同的是拉力型锚索的拉力是从注浆体的上部导入, 压力型锚索的压力是经由承压板转换为对注浆体的压力, 由注浆体的下部导入。就加固的范围而言, 二者是相当的。

5. 拉压复合型预应力锚索

5.1 结构

这也是近几年出现的一种新型锚索结构,

锚固段的典型结构如图8所示。承压板与可移动挤压套共同构成压力型锚固部分, 承压板以里的裸体钢绞线构成锚索的拉力型锚固部分。拉力锚固段可以组装成直列型, 也可以组装成枣核状。当作用力相同时, 承压板压缩注浆体的压缩变形要小于钢绞线从注浆体中拔出来的拉伸变形, 所以, 压力锚固部分与压力型锚索不同, 挤压套可以移动, 张拉锚索时拉力段首先受力, 挤压套产生一定位移后承压板才受力, 挤压套移动的距离决定压力部分和拉力部分承担锚索拉力的比例。

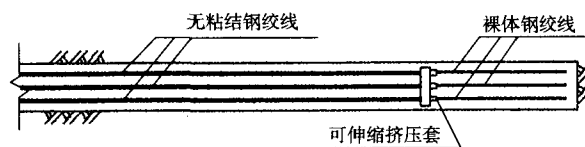


图8 拉压复合型锚索锚固段结构

还有一种拉压复合型锚索属于分散型, 双层防护分散拉压复合性锚索结构如图9所示, 是广西柳州建筑机械总厂研制的专利产品, 其结构特点是承压板和拉力型锚固段分散在钻孔的不同深度段上, 锚固体上的压力和拉力更加分散, 同样地质条件下锚索的设计承载力可以更大。

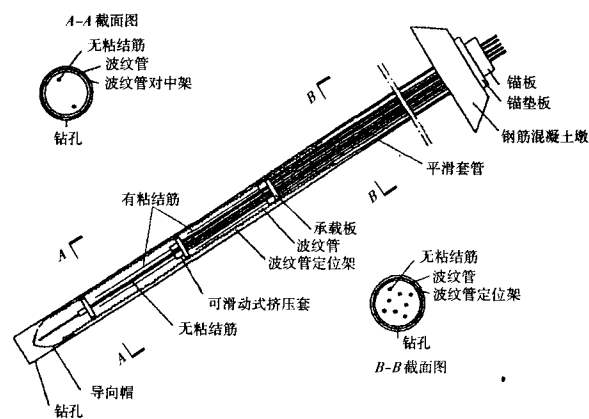


图9 永久型分散拉压复合型锚索结构

5.2 施工要点

5.2.1 拉压复合型锚索属于无粘结锚索, 要选用无粘结钢绞线作为锚索体;

5.2.2 按设计长度截断钢绞线, 剥去张拉

端操作长度和拉力锚固段的PE管,洗净防锈油脂;

5.2.3 在拉压结合部安装承压板和可移动挤压套。四川某工地把承压板安装在锚索的端头,锚固段的上部是拉力型锚固段,由于注浆体与孔壁间的剪切力分布长度有限,锚索的拉力传递不到锚索端头,因此端部的承压板是不受力的。即使在软岩或土中,注浆体与孔壁间产生了滑动,承压板仍不受力,除非钢绞线从注浆体中抽动。

5.2.4 组装锚索时用模注塑料对中隔离架,捆扎用尼龙带;

5.2.5 锚索入孔后全孔一次注浆。当用于永久支护时,应采取措施保证锚索全长都有至少双层隔离防护,如图9所示。

5.3 特点

5.3.1 锚固段的受力合理。无论拉力型锚索或压力型锚索注浆体与孔壁间的剪切应力分布都不均匀,而且传递剪切应力的长度也不大,岩石强度越大表现越突出,因此锚索的锚固段有相当长的区段是不受力的,称为无效锚固段。同样的锚索设计承载力、同样的锚固段长度,锚固段注浆体分为拉、压两部分,既提高了锚固段的利用率,又降低了注浆体与孔壁间的剪切应力峰值,如图10所示;

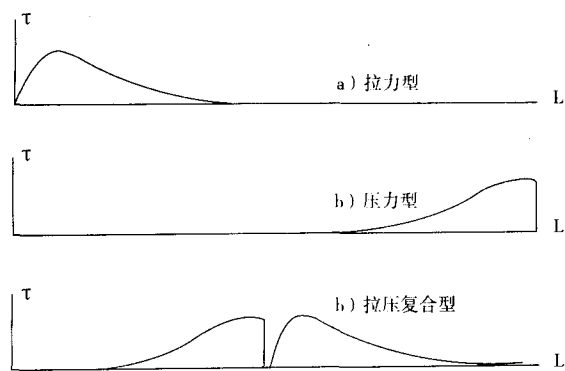


图10 三种锚索锚固段剪应力分布

5.3.2 拉压复合型锚索的受力特点与拉力集中型无粘结锚索相同,调整锚索拉力方便,适应岩体变形能力强,长期工作状态不会出现各

根钢绞线受力不均匀问题,特别适用于观测锚索及大变形岩体加固;当承压板的压强超过注浆体的抗压强度时,就要选择分散拉压复合型锚索;

5.3.3 当锚固段采用分散拉压复合型时,除锚固段利用率高、剪切力峰值低外,锚索的拉力分配到钻孔的不同长度上,在软岩和土体中也可增大锚索的设计拉力,同时产生了与荷载分散型锚索相同的弱点:

5.3.4 拉压复合型锚索的关键是可移动挤压套移动量的设计,它决定钢绞线的拉力在锚固段拉压部分的分配比例,如果挤压套不能位移,锚索的拉力绝大部分由承压板对注浆体的压力承担,拉力部分只承受很小的力;相反,如果挤压套移动量过大,承压板受力很小,甚至变成了拉力型锚索。因此,必须在有代表性的岩体内作出锚固段的拉力—位移曲线:由于锚固段的拉伸变形和压缩变形一般情况下是不相同的,所以还必须作出锚固段的压力—位移曲线。根据这两条曲线设计可移动挤压套的允许位移,达到锚固段拉压部分合理分担锚索拉力的目的。

6. 可回收锚索

6.1 结构

这种锚索的研制源自城市基坑支护。城市规划对每个建设项目都由建筑红线圈定。红线是立体的,包括天空和地下,建设项目的任何永久性结构均不得超出红线,否则视为侵权。喷锚支护在基坑特别是在10m以上的深基坑稳定中显示了快速施工、经济合理的优点而得到推广;基坑周边若有重要建筑物,对基坑坑壁的变形也有较高要求,就要用预应力锚索(杆)。显然,无论锚索或锚杆必然超出红线,这是建筑法规不能允许的。基坑支护是临时性的,结构出地面后要回填,回填前拆出即可,于是出现了可回收锚杆和可回收锚索。可回收锚索的典型结构如图11a所示。

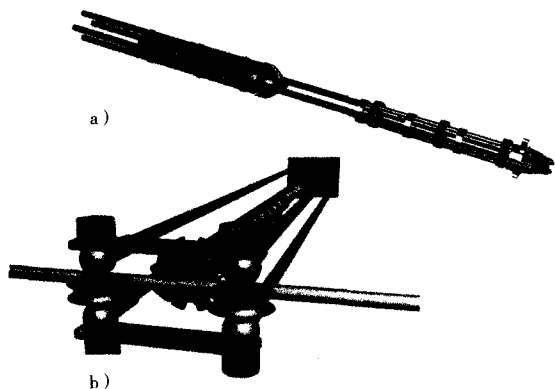


图11 可回收锚索

可回收锚索属于无粘结锚索，由无粘结钢绞线组成，无论锚索有多少根钢绞线组成，一定是偶数，每两根是由一根钢绞线在中点弯曲而成。拆除时拉一根即可把整根钢绞线从锚索中抽出。根据锚索设计拉力的大小和地层情况，也可分为两级、三级或多级。

6.2 施工

6.2.1 把无粘结钢绞线按锚索设计长度的1倍截断，中点作出标记；

6.2.2 钢绞线的中点对准承载头的端头凹槽，用专用弯筋机（见图11b）顶压承载头，使钢绞线呈U形为止。

6.2.3 用尼龙带把钢绞线与承载体牢固的捆扎在一起，在张拉端做好牢固地表示钢绞线长度的相同标记。

6.2.4 将下一级承载体与次长钢绞线一起按照设计距离放入已固定好的索体中，用弯筋机顶压第二级承载体。顶压时注意使第一级索体的钢绞线进入第二级承载头的预留槽中，用尼龙带捆扎牢固，并在端头做好另一种牢固标记，如果有第三级照此操作；

6.2.5 根据锚索的倾角安放注浆管和排气管。锚索入孔后全孔一次注浆；

6.2.6 张拉程序大致与各种荷载分散型锚索相同，差别仅在于同符号的两根钢绞线同步张拉；

6.2.7 拆除是逐根进行的，用超张拉的方法将所有钢绞线的夹片取掉，拉任一根钢绞线即

可把同符号的两根钢绞线拆除。虽然是无粘结钢绞线，由于在通过承载头时要产生弯曲，所以初始拆除力大约需20-30kN的拉力，拉动以后用一般卷扬机施加6-8kN的力即可拉出。

6.3 受力特点

归类于无粘结锚索，具有各种荷载分散型无粘结锚索的基本特性：

必要时可以拆除钢绞线，但承载头和注浆体仍遗留孔中；

锚索的拉力是经由每个承载头传递给注浆体，浆体的端面是承受的压力，因此有人称这种锚索为压力分散型。

这种锚索称这种锚索通常只用于临时支护，当用于永久支护时必须保证整个锚索至少有两层隔离防护。值得设计者注意的是钢绞线与承载头之间的挤压应力很大，已远超过PE管甚至钢绞线上环氧涂层的强度，张拉锚索时很有可能被挤破，局部失去隔离防护层。

7. 压力型锚索

鉴于拉力型锚索的缺点，上世纪80年代国外就提出了压力型锚索问题，由于锚固段注浆体的承压面积不可能太大（与锚索孔面积相等），提高注浆体抗压强度的范围也很有限，压力型锚索一直未得到推广。二滩水电站和小浪底水利枢纽都是国际招标，外国公司推荐的也属于拉力型锚索。最近几年，我国锚索界采用把锚索的集中作用力分散到处于钻孔不同深度注浆体上的办法，创造了本文第二章阐述的压力分散型锚索。这种锚索锚固段注浆体受压、分散，受力状态合理了，然而，由于张拉段受力筋的长度不同带来了新的问题，例如，长期工作时各受力筋拉应力不均匀、施工工艺繁琐、调整锚索拉力时不安全、压力段的合理间距不易确定以及无法做锚索的极限承载力试验等。

最近研究成功一种压力集中型预应力锚索，成都四海岩土工程公司获该项技术专利

权。它是利用高强度、高刚度材料把压力段注浆体硬化,目前最大锚索拉力已达3000kN,当采用双层隔离防护时钻孔直径为180mm,这种锚索既保持了压力型锚索的优点,又克服了压力分散型锚索的缺点,是一种极具发展前途的锚索型式。

8. 屈服锚索

上世纪80年代,为了支护高能爆炸荷载下的地下结构,曾研究了一种屈服锚杆,在核爆炸实验中取得了很好的支护效果,其受力性能如图12所示。当时的设计荷载为200kN,当荷载小于200kN时,锚杆受力曲线为OA段;当锚杆荷载达到200kN时,锚杆屈服,即荷载稳定而变形加大,受力曲线为与横座标平行的AB段,当时的设计的屈服量为200mm,正是依赖允许围岩瞬间产生大变形来抵御爆炸荷载的峰值;B点以后的受力曲线仍回复到锚杆材料的应力应变曲线,以便把锚杆材料的残余强度用尽。屈服锚杆的原材料是钢筋,当加固的范围较大,需要锚杆长度较大时,施工很不方便;当爆炸荷载较大,或地下构筑物空间较大,要求支护力也就加大,于是便有了以钢绞线作受力筋的屈服锚索。与屈服锚杆的差别仅在于长短和支护力的大小,受力性能是一样的。屈服锚索不仅适用于军事工程加固,同样适用于各种埋深很大、地应力很高的地下建筑物的加固,也适用于各种矿山中受采动影响严重的永久性建筑物的加固,如交通巷道、地下泵站等。

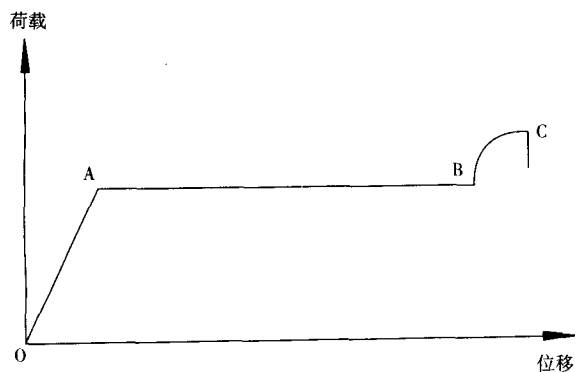


图12 屈服锚杆受力性能

9. 结语

各种锚索都有优点和缺点,我们选用锚索是用它的优点,以适应被加固体的特性和工程要求,以某种锚索的优点与另一种锚索的缺点相对比进行排斥是片面的。本文力求客观、公正地阐述了8种锚索的结构和特点,目的在于使锚索应用者对各种锚索有个较全面的了解,以便根据工程要求、岩体性质、工程环境和希望锚索起到的作用,合理地选用锚索类型,达到工程加固的最佳效果。锚索新技术、新工艺、新结构的推广和应用是锚索发展的需要,锚索规范^[7]对此比较慎重,特别强调应结合工程实际求实创新,既不墨守成规、生搬硬套,又要经过受力性能试验论证、鉴定并经相关部门批准才能在实际工程中应用,目的在于防止某些商业性宣传,把特定条件下的试验结果作为共性和规律推广到所有工程;某些工程特别是某些国家重点工程的教训足以为戒。

参考文献

1. 刘玉堂等. 锚索的锈蚀、防护及永久锚索的合理结构[C]. 岩土锚固技术与工程应用. 北京: 交通出版社. 2004.10.
2. 高大水. 岩土预应力锚索腐蚀与防腐[J]. 岩土锚固工程 2003. (1)
3. 章建庆, 王起才. 缓粘结预应力筋的研究与应用[J]. 海威姆预应力技术. 2003. (1)
4. 刘文华等. 缓粘结预应力钢绞线的试验研究[J]. 海威姆预应力技术. 2003. (1)
5. 燕立群等. 压力分散型锚索与拉力型锚索的比较—再论新型锚索结构系列及工程应用[C]. 岩土锚固技术与西部开发. 北京: 人民交通出版社. 2002. 9
6. 高大水. 三峡永久船闸高边坡预应力锚固技术应用及开发[C]. 岩土锚固技术与西部开发. 北京: 人民交通出版社 2002.10
7. SL46-94. 水工预应力锚固施工规范. 北京: 中国水利水电出版社.