

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

田裕甲

【摘要】自从对锚索类型按内锚固段受力状态科学地分为：拉力型、压力型、荷载分散型；荷载分散型又分为：拉力分散、压力分散、拉压分散型以来，引起岩土锚固工程界技术人员的极大关注，并广泛采用荷载分散型锚索对高速公路边坡、路基以及深基坑支护等复杂地基的加固工程中取得了可喜的成果。当然，对于承载力高的岩体边坡、坝基、洞室加固及抗浮工程，对各种构造物的锚固工程中荷载分散型锚索也不能不说是最佳的选择。

本文介绍近年来大量采用荷载分散型锚索结构取代以往常用的拉力型锚索的工程实例，特别是对压力分散型锚索与拉力型锚索受力状态的分析比较以及各种功能的优势，肯定其结构的合理性、良好的防护措施、可靠的锚固效果以及方便的工艺，经济的造价，说明新型锚索结构取代拉力型锚索的必然性，这无疑将是岩土锚固界的一场技术革命。

【关键词】压力型锚索 荷载分散型锚索 拉力分散型锚索 压力分散型锚索 拉压分散型锚索

一、现状

经过多年研究，于一九九七年在广西桂柳高速公路边坡及路基加固工程以及鹿寨磷氨化肥厂永久性深基坑和荔浦电站大坝坝基加固工程中采用压力型、压力分散型、拉压分散型锚索获得良好的社会经济效果以后，对锚索按内锚固段受力

状态提出科学的分类，即：拉力型锚索、压力型锚索、荷载分散型锚索，荷载分散型锚索又分为拉力分散、压力分散、拉压分散型锚索，如图 1。

所谓新型锚索结构是指压力型锚索和荷载分散型锚索系列，它们相对于以往常用的拉力型锚索受力机理更合理、锚固效果更好、经济效益可

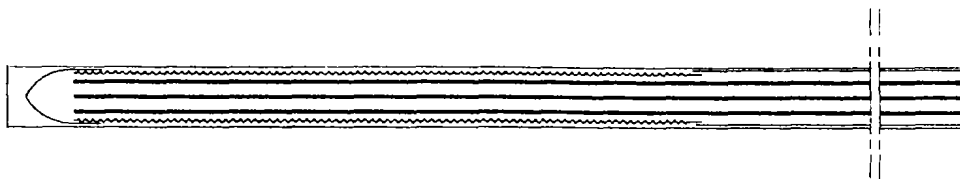


图 1-1 拉力型锚索

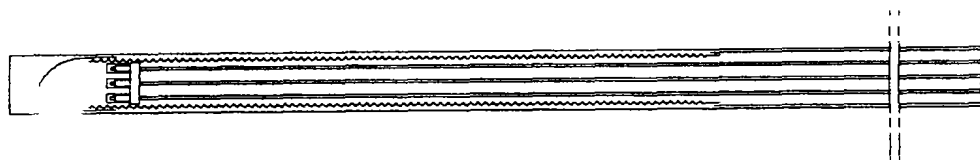


图 1-2 压力型锚索



图 1-3 拉力分散型锚索

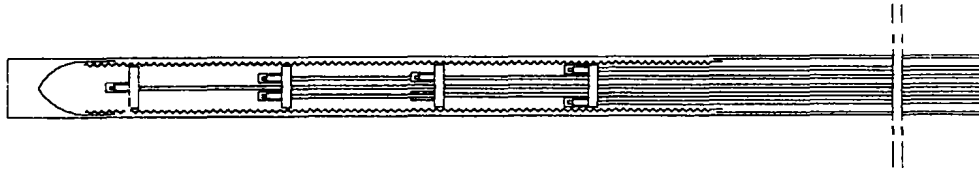


图 1-4 压力分散型锚索

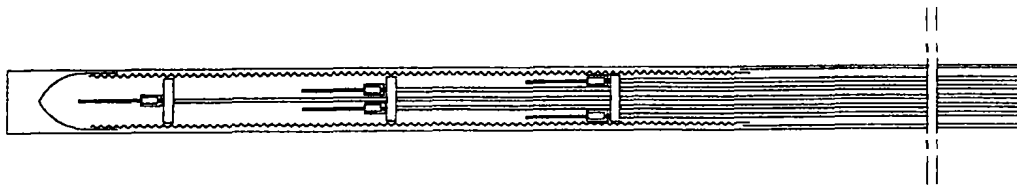


图 1-5 拉压分散型锚索

图 1 锚索类型图

观、应用范围更广。这两种锚索对软弱岩体，特别是承载力低的土体永久性加固具有不可替代的作用，因此，在诸多工程中压力型和荷载分散型锚索，特别是压力分散型锚索被广泛应用。

例如：广西桂柳高速公路路基和边坡加固工程中近 20 个工点用压力型、压力分散型、拉压分散型锚索达 2000 根左右。广西鹿寨磷氨化肥厂永久深基坑和荔浦电站大坝坝基用 1000~1400kN、长 20~38m 的锚索 100 多根。

江苏淮安京杭运河三线船闸永久钢板桩闸室等用近 1600 根 4 个承载体的压力分散型锚索，在承载力低的亚粘土混粉砂或亚粘土夹薄层粉砂、局部为粉砂层，呈可塑状的土体中最高荷载超过 800kN。（另文详细介绍）

云南省个旧—冷墩公路边坡破碎岩体加固工程中用拉力型锚索无论如何也达不到设计荷载，而用四个承载体的压力分散型锚索，其锚固荷载

达到 1600kN。

某大型地下洞室最大跨度 30m，高 55m，长 900 多米，对该洞室大量采用压力型或压力分散型锚索加固地下洞室。

今年年初我们受越南交通部范光线副部长的邀请组成了中国专家组（由柳州市建筑机械总厂、北京机械化施工公司、水利部松辽委科学院组成），对 1700km 长的越南某工程进行现场考察和咨询。正在施工的 1300km 长路基开挖后有 230 处边坡坍塌。由于砂岩、页岩组成的山体被开挖后很快脱水风化，强度急剧下降，边坡难以自稳，大量的高 20~60 多米的边坡坍塌后形成最大坡比为 1:1.5，结果大面积的森林植被遭受破坏。对此我们建议对正在开挖的路基边坡暂停施工，针对不同的地质结构，采取不同的支护措施。对坍塌严重的高边坡采用边开挖、边喷混凝土、格梁、长锚索进行加固。使坡比控制在 1:0.5 以内。目前

决定对 60m 高的不稳定边坡进行试点加固。该工程也将大量采用压力型或压力分散型锚索。

二、各种类型锚索内锚固段受力状态

随着高速公路网的全面铺开,城市扩建改造、地铁工程、人防工程、大型水电工程上马,岩土工程对象的地质条件越来越复杂,大量的强风化、中风化岩体以及软弱地基有待加固。因此,选择加固复杂地基的永久性锚索类型迫在眉睫,采用以往常用的拉力型锚索已很难满足工程需要。压力型、荷载分散型锚索类型(如图 1)则可以满足承载力低的复杂地层中,能够提供比拉力型锚索更可靠、锚固荷载更大,相对寿命更长的永久性建筑物的加固工程要求。这决定于各种类型锚索的结构和锚索内锚固段应力分布状态,如图 2。

图 2-1 为拉力型锚索内锚固段应力分布状态,这种类型的锚索内锚固段应力分布规律为内锚固段上部浆体拉应力集中与钻孔壁与被加固体之间的剪应力过于集中,从而导致浆体拉裂,浆体与孔壁之间被剪切破坏,迫使钢绞线与浆体之间开裂,浆体与孔壁之间被剪切破坏,导致锚固段向

下转移。

为了证实这一现象,曾结合新建大楼基础加固工程进行了如下试验研究:在卵石、砂砾石、粘土、粉砂地层中垂直打孔,安装 9 根各 3 组拉力型、压力型、荷载分散型锚索内锚固段受力破坏状态的基本试验。

锚索钻孔在直径 $\Phi 120\text{mm}$,是由 6 根 $\Phi 12.7\text{mm}$ 无粘结钢绞线组成。锚索体自由段长 4.0m,锚固段长 5.0m,最下端留 0.5m 空间。拉力型锚索内锚固部位将无粘结钢绞线剥除 5m 长的 PE 套管,并用柴油清洗干净油脂。当锚索在钻孔中就位后灌浆,达到设计强度后施加预应力,最大荷载为 500kN。

在结合新建大楼基础开挖时,对上述 9 根 3 组不同类型的锚索锚固体进行开挖。首先挖到 3.5m (自由段)之后以每次 1.0~1.5m 的深度分多次挖掘锚固体周围地基,挖出和剖开锚固体,按此顺序直到 9.5m 深。

锚固体的外观每种形式大体都相同,都被浆体材料包裹卵石和砂砾石。由于卵石和砂砾石孔隙大,锚固体直径都扩大到 160mm 左右,有的水

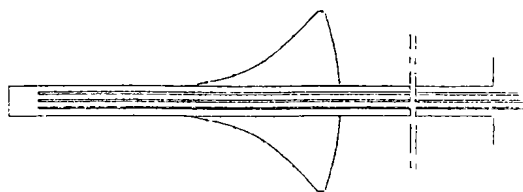


图 2-1 拉力型锚索水泥砂浆体与孔壁间剪应力沿内锚固段长度分布状态

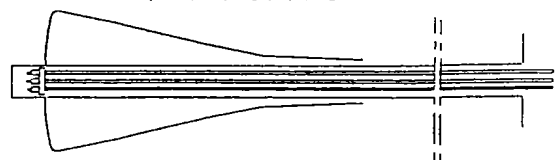


图 2-2 压力型锚索水泥砂浆体与孔壁间剪应力沿内锚固段长度分布状态

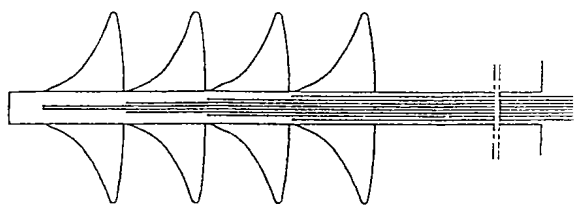


图 2-3 拉力分散型锚索水泥砂浆体与孔壁间剪应力沿内锚固段长度分布状态

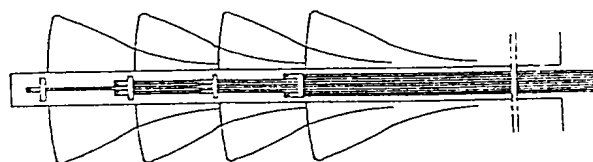


图 2-4 压力分散型锚索水泥砂浆体与孔壁间剪应力沿内锚固段长度分布状态

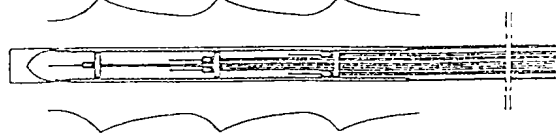


图 2-5 拉压分散型锚索水泥砂浆体与孔壁间剪应力沿内锚固段长度分布状态

图 2 内锚固段应力分布图

泥浆浸入地层的部分，直径达到 200~300mm。在地下水的的作用下，孔隙较大的地层中，浆体被稀释，锚固体直径达到 Φ 600mm 左右的大球状，在粘土、粉砂成分较多的地层中，锚固体直径只扩大到 Φ 200mm 左右。

挖出后将各种锚固体沿纵向剖开，观测到的状态如下：

(一) 拉力型锚索：在锚固段上部 0~3.0m 区间内，沿锚索体轴向（断面方向）出现开裂现象，越往下裂隙越小。在 0~1.0m 区间内钢绞线与浆体已脱开，水泥浆体呈现圆饼状拉开，在 3m 以下部位没发现开裂现象。

(二) 压力型锚索：当张拉力达到 360~480kN 时，内锚固段下部被破坏，即承载体上部 0.25~0.3m 范围内浆体完全被压碎。这是由于浆体中掺入孔

底残留物以及泥浆，洗孔工艺不完善导致浆体强度低，又由于承载体上部压应力过于集中造成压碎状态。其他地方未受到损伤。

(三) 荷载分散型锚索：剖开观察结果，挤压套、浆体均未发现破坏。

基于上述原因，推出更为合理的锚索类型，其基本出发点是：水泥砂浆或纯水泥浆以及被加固体都具有抗压、不抗拉的共同特性，据此，推出压力型或荷载分散型锚索类型。

压力型锚索（如图 1-2）内锚固段应力分布特点如图 2-2，但承载体上部浆体压应力集中，并向孔口方向逐渐衰减，在粉土中同样荷载下，最大压应力集中值仅为拉力型锚索内锚固段上部拉应力集中值的 2/3（如图 3），即压力型锚索锚固段承载力比拉力型锚索大 33%。这种类型的永久性锚

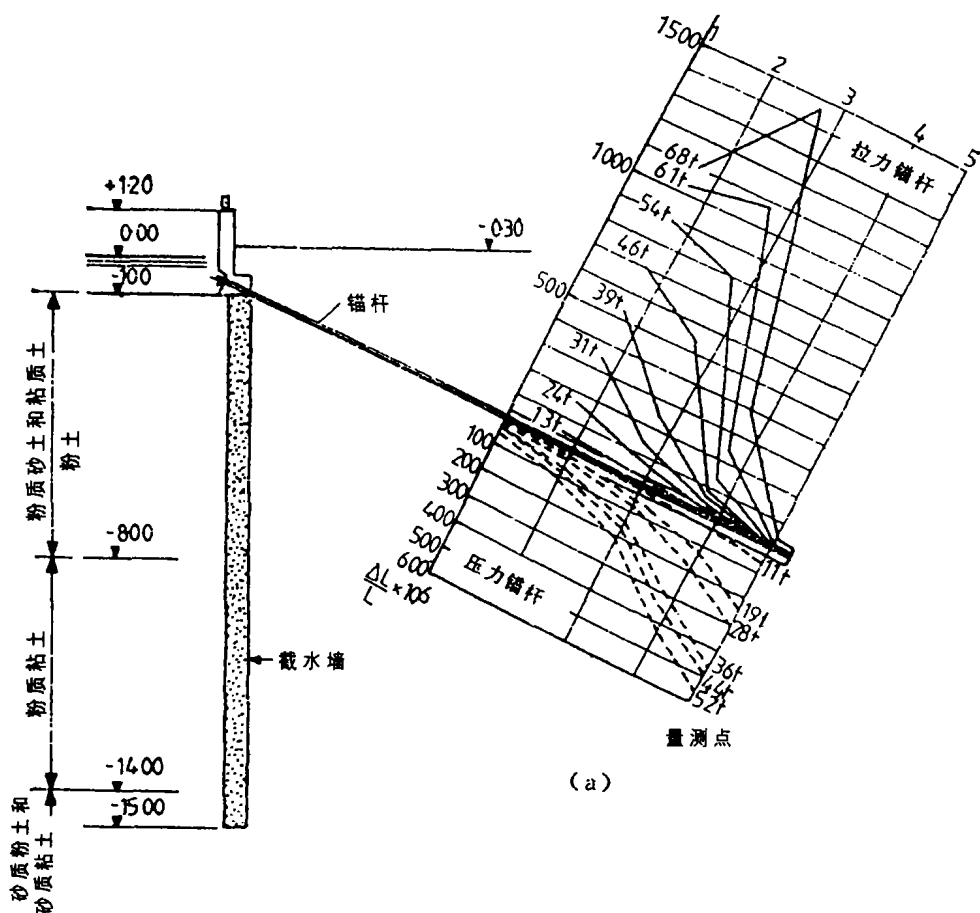


图 3 压力型锚索和拉力型锚索荷载分布图

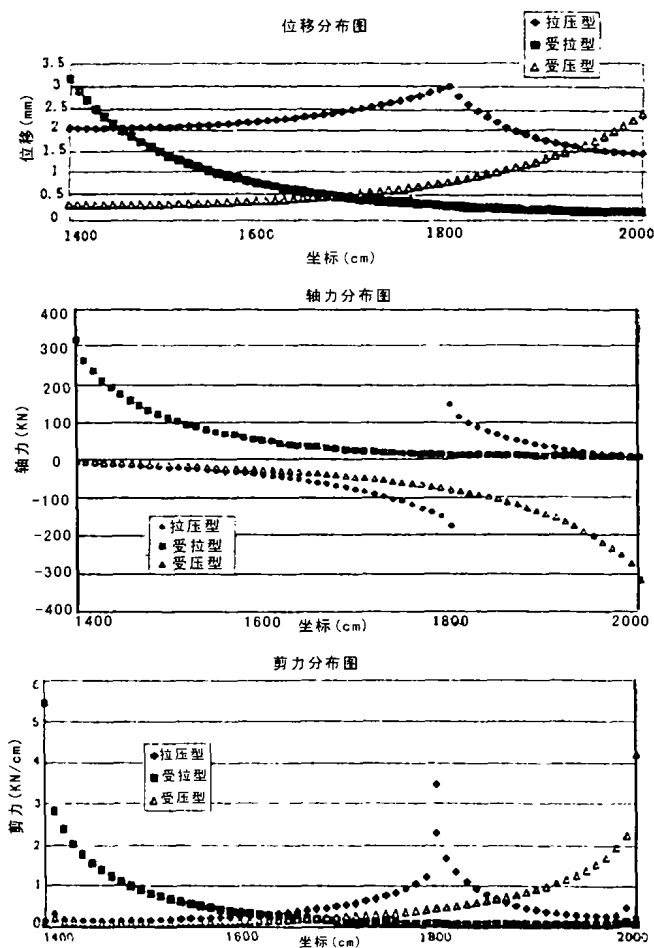


图 4 三种类型锚索受力状况比较

索对于承载力高的岩体和含铁质致密粘性土在锚索荷载较低时（即岩体中小于 1000kN，土体中小于 300kN）可以优先选择使用。但压力型锚索孔底承载体上部浆体毕竟承受较大压应力，而且对于土体孔壁约束力又小，故往往造成浆体被压碎导致较大的预应力损失。通过观测表明，由于孔底浆体强度受孔底残留物的掺入而降低，导致 25~30cm 范围内浆体被压坏，也是影响锚固效果的原因之一。

拉力分散型锚索（如图 1-3）的应力分布如图 2-3，这种类型的锚索可以把拉力型锚索内锚固段上部集中的拉应力较均匀地分散在整个锚固段内，但毕竟受力机理不尽合理，不能作为最佳选择。

压力分散型锚索（如图 1-4）的应力分布如图 2-4。这种类型锚索，以合理的机理，简单的结构，

把荷载均匀分布在整個锚固段，即使在复杂地基中也可提供较大而可靠的锚固力，因而得到广大岩土锚固工程技术人员的重视，并被广泛应用在工程实践中。

拉压分散型锚索（如图 1-5）内锚固段应力分布如图 2-5。这种类型的锚索结构，内锚固段受力最为均匀，它集中了拉力分散和压力分散型锚索的优点于一体，因此，在复杂地基的软弱岩、土体中可提供比其他类型锚索更大而可靠的锚固力。有限元计算分析表明，拉压分散型锚索就塑性滑移前，其抗拔能力较拉力型锚索提高 57%，较压力型锚索提高 21.5%，如图 4。但这种类型的锚索结构比较复杂，在设计这种类型的锚索和工程应用中要认真对待。

除了上述五种类型的锚索外还有多种多样的

可除式锚索类型，其主要结构如图5、6、7、8，这种类型的锚索，在深基坑支护工程完成其使命后，可以把钢绞线抽出来。它同时也可以作为压力分散型锚索结构的一种。

还有一种锚索类型是在内锚固段设置由多段组合的波纹管，波纹管之间根据需要用波纹管联接，它们之间可以相对滑动，如图7。波纹管为拉力分散型锚索结构，当在波纹管内外注满浆体并固结后，对锚索施加预应力时，通过粘结段与浆体的粘结力将预应力传递给波纹管、波纹管外浆体至被加固体。波纹管接头套管设置在软弱夹层部位，如淤泥质土层。因波纹管与接头套管之间可以相对滑动，这个部位的软弱夹层部位不承受预应力，当然也就不产生压缩变形，这样可以

避免由于软弱夹层的压缩变形导致预应力损失，当然这种类型锚索的结构设置应严格按地层钻孔柱状图，把波纹管套管准确设置在软弱夹层部位才能获得预期效果。

为了确保锚索的永久防护效果，除采用无粘结钢绞线，靠高密度聚乙烯（PE）套管保护钢绞线，与空气和有害离子（如氯离子、硫离子等）腐蚀源隔绝外，将整个锚索体套以聚乙烯波纹管，并在被波纹管内外灌以纯水泥浆，这样PE套管、纯水泥浆、波纹管、纯水泥浆四层防护钢绞线，达到永久防护的目的。图8为压力分散型永久防护锚索和拉压分散型永久防护锚索的典型结构图。

也有在钢绞线钢丝表面通过静电将特制环氧粉体均匀喷涂在钢绞线上自身防护，然后在钢绞

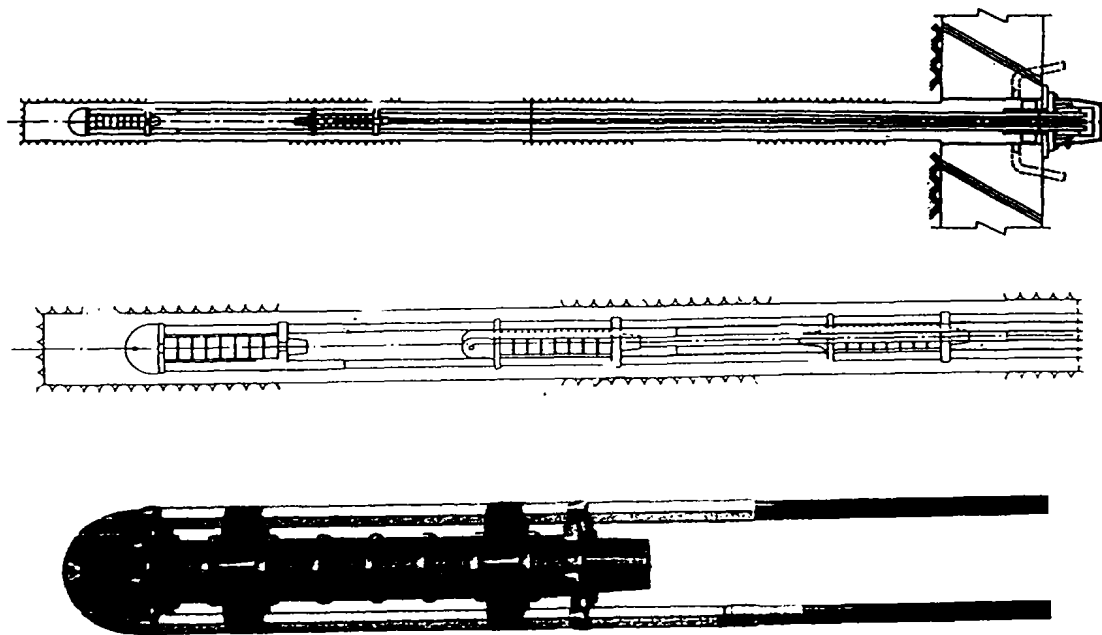


图5 可除式锚索结构图之一

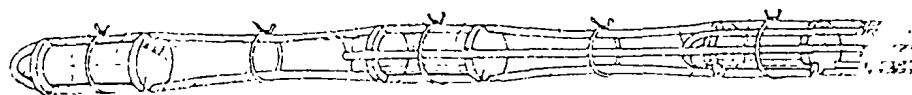
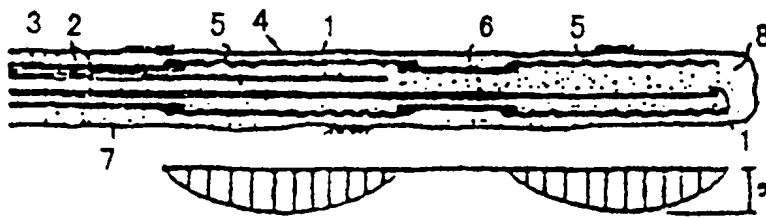


图6 可除式锚索结构图之二



1、张拉材料 2、无粘结套管 3、自由段套管 4、锚固段套管
5、分段波纹套管 6、接头套管 7、钻孔 8、固结材料

图 7 拉力分散型锚索结构示意图

线外涂油、挤塑薄层透明塑料和高密度聚乙烯材料套管，再在钢绞线锚索体外套以聚乙烯波纹管，波纹管内灌纯水泥浆。这样，可达到六层防护的永久性锚索。这种锚索可用在极恶劣的地质环境中，如靠近海水浸蚀的建筑物加固或一级

建筑物，类似百年甚至千年校核的永久性水电站工程中。

三、压力分散型锚索与拉力型锚索结构对加固效果的比较

为了使从事广大岩土锚固工程技术人员能够

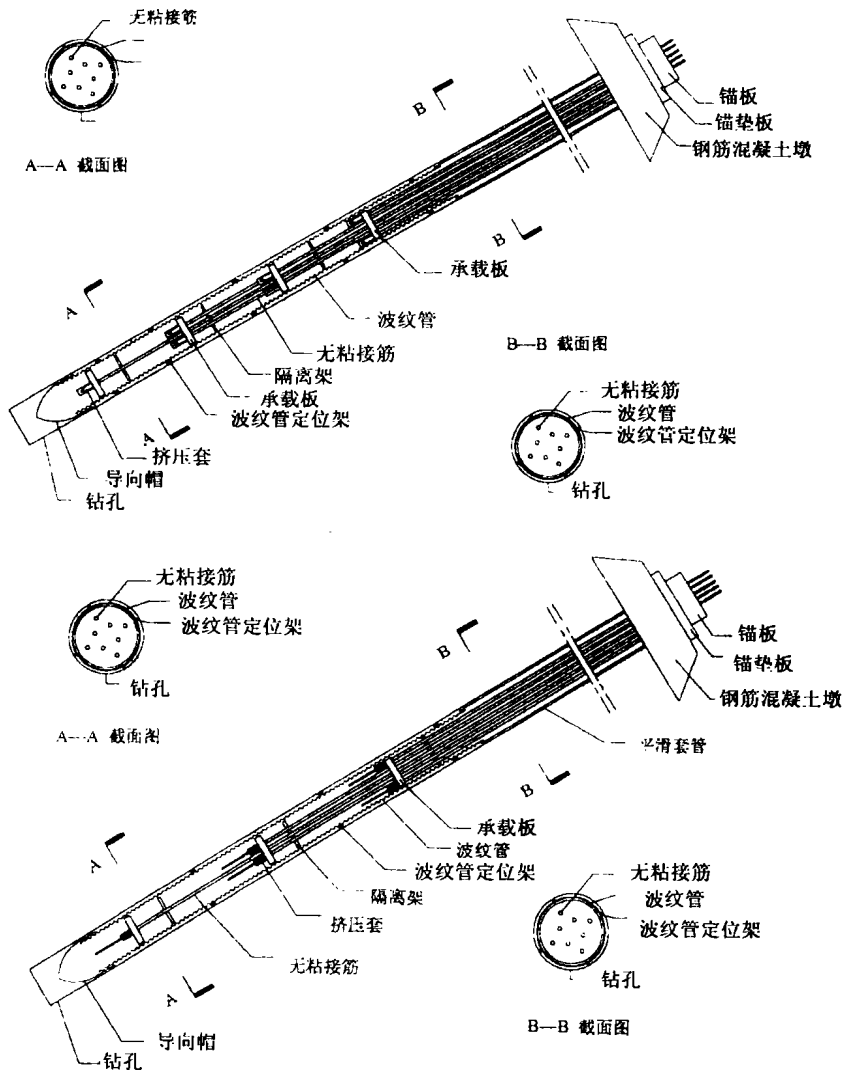


图 8 永久防护岩土锚固系统

有目标地选择最合理的锚索结构, 取得最佳锚固效果, 同时又能满足经济的造价, 以适应市场竞争的需要, 把压力分散型锚索与至今仍广泛使用的拉力型锚索进行全面比较如下:

(一) 压力分散型锚索可以消除拉力型锚索锚固段上部拉应力集中导致锚固段产生逐渐近性破坏, 直至失效的后顾之忧。

压力分散型锚索由于机理合理、受力均匀, 可以确保提供可靠的锚固效果。这种锚索, 特别适合于加固承载力低的基坑和公路边坡等永久性支护工程中。

(二) 压力分散型锚索比拉力型锚索防护效果好

由于压力分散型锚索锚索体是由无粘结钢绞线组成, 无粘结钢绞线是在钢绞线外涂一层去水黄油与石蜡的混合物, 然后用高密度聚乙烯材料(即 PE) 挤塑成型。因此, 它比光面钢绞线组成的拉力型锚索多一层防护保护, 可以避免氯离子、硫离子的腐蚀和氢脆破坏。

(三) 压力分散型锚索比拉力型锚索预应力损失小

目前广泛使用的夹片群锚体系是靠张拉锚索体时绞线伸长, 当达到超张拉(一般为设计荷载的 110%) 后卸载, 钢绞线在回缩时带着夹片跟进锁定, 这时钢绞线的回缩量为常数, 一般为 6mm。锚索预应力损失在确认内锚固段锚固的可靠性, 并排除被加固体的压缩变形(这对压力分散型和拉力型机会是均等的) 外, 预应力损失的百分比为钢绞线的回缩量(即 6mm) 与锚索体的伸长量之比。

对同样长的两种锚索相比, 压力分散型锚索因为是无粘结钢绞线, 故张拉时全长伸长, 而拉力型锚索只有张拉段(即锚索长度减去内锚固段长度) 伸长, 当然伸长量就小, 预应力损失就大。

(四) 压力分散型锚索, 只要承载体间距设计合理, 锚固段全部为有效锚固段, 而拉力型锚索则不可避免的存在无效锚固段。

压力分散型锚索承载体在钢绞线的下端, 当对锚索体施加预应力时, 荷载直接传递到承载体上, 并对被加固体施加预应力, 因此, 只要承载

体间距合理, 则全长为有效锚固段。而拉力型锚索是在锚固段上部应力高度集中并迅速衰减, 到锚索的下部几乎没有荷载, 从而造成无效锚固段。

(五) 压力分散型锚索可一次性完成灌浆工序, 而拉力型锚索则必须进行二次灌浆

压力分散型锚索, 在锚索孔中就位后可一次性全孔灌浆。这样做的好处是减少工序, 同时当浆体固结后可对被加固体的不稳定体提供抗滑力。试验表明 $\Phi 150\text{mm}$ 的钻孔直径中灌浆固结后 10m 长的水泥浆柱体在淤泥质粘土、粉土、粉砂层中可提供 200kN 左右的抗拔力。这对于滑坡体加固过程中起到至关重要的作用。

拉力型锚索则只能先对内锚段灌浆, 待浆体强度达到设计强度(即 30MPa) 时张拉锁定后才能对张拉段二次灌浆。这样不仅多一道工序, 延长工期外, 更为严重的是对滑动的滑坡体加固时, 由于不能及时提供锚固力而使已经完成内锚段灌浆的滑坡体下滑造成不可挽回的损失。如韶关公路边坡加固时就因上述原因造成上千万元的损失, 且影响了施工工期。

(六) 压力分散型锚索在同样地质条件下比拉力型锚索提供更大的锚固力

压力分散型锚索由于受力机理合理, 特别对于复杂而软弱地基加固时, 通过多个承载体比拉力型锚索提供 2 倍、3 倍甚至 4 倍、5 倍的锚固力。

(七) 压力分散型锚索。当滑坡体产生位移时, 适应变形能力大, 而拉力型锚索则不能。

压力分散型锚索钢绞线可以全长自由变形(或伸长或缩短), 故当滑坡体产生位移或深基坑壁向基坑位移时适应变形能力强, 而拉力型锚索则适应变形能力差, 甚至造成剪切破坏, 导致工程失事。

(八) 压力分散型锚索对于复杂地层的锚固具有独特的效应, 而拉力型锚索则不能

所谓复杂地质是指钻孔穿过的地层为处于饱和状态的砂土、粘土砂岩互层, 中间还夹有 2m 和 3m 的泥浆层(如图 9), 泥浆层处于流动状态, 对这种地层用拉力型锚索是难以满足要求的。根据钻孔柱状土, 严格按承载力高的砂岩、粘土层所处的位置设置压力分散型锚索的承载体, 并通过

16个排水管排水固结后施加预应力达到预期效果。

对于被断层、节理裂隙切割，甚至有 0.5 ~ 1.5m 宽缝隙的岩体也可以将承载体准确设置在承载力高的岩体中达到加固山体的目的。

(九) 压力分散型锚索由于其结构特点决定可以调整预应力，或增加、或减小

如果由于被加固体压缩变形，预应力损失大时，可进行补偿张拉，达到预期的设计值。如果滑坡体滑移或基坑壁变形过大使锚固荷载过大，甚至趋于屈服状态，则可卸载后重新张拉锁定。拉力型锚索则难以做到。

(十) 压力分散型锚索可以作为观测锚索，即

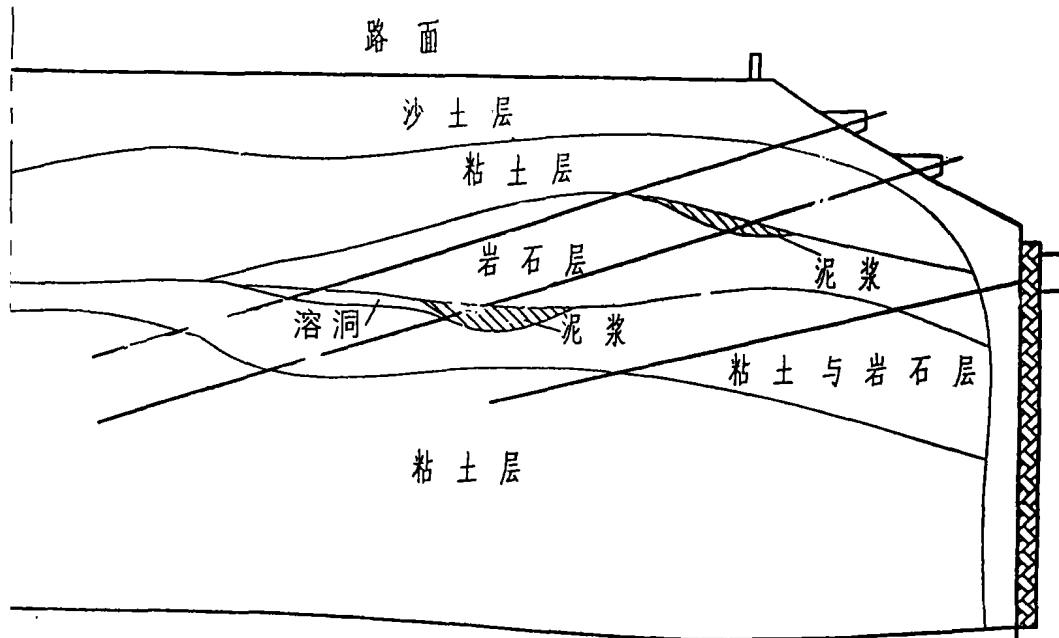


图 9 桂柳高速公路路基地层分散图

在锚板与垫板之间安装测力传感器，则可长期观测锚索荷载大小变化。拉力型锚索则不能。

(十一) 压力分散型锚索抗震性能好，因为作为锚索体的无粘结钢绞线可以在弹性范围内自由伸缩，适应变形能力强。

(十二) 压力分散型锚索与拉力型锚索在同样长度的情况下，被加固的范围大。因为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，是从外锚头至内锚固段上半部范围内，即由于存在无效锚固段而减小加固范围。

(十三) 压力分散型锚索可以准确判断，确定有效锚固段长度，比起拉力型锚索由于不可避免

地存在无效锚固段而缩短锚索长度，因此，前者的总造价比后者可降低 10~20%。

最后应该提醒的是，压力分散型锚索应确保外锚头的锚固效果，一旦外锚头滑丝或夹片咬合钢丝部位锈蚀引起断丝导致预应力松弛至破坏，那将造成严重的后果。而拉力型锚索由于张拉段灌浆，浆体把钢绞线与孔壁胶结，即使外锚头失效，仍能保持预应力，这一点后者优越于前者。以上观点如有不当之处敬请批评指正。