

⑥

锚索结构 土体 拉力型锚索 可靠性

锚索锚杆

23-29

新型锚索结构系列及工程应用

田裕甲 吕兵^{VO} 黄家齐 顾寅 唐专林 Tu (f) α

编者注:本刊曾在1999年第3期和第4期刊登了本文作者的文章《压力型锚索与荷载分散型锚索在加固工程中的应用》和《锚索类型的分析》,现应部分读者要求,经作者重新整理、充实了相关内容,对经工程应用验证后的各种锚索结构进行了分析、阐述,本刊将分两次刊登本文,以饕读者。

一、概述

目前在加固工程中使用的锚索类型种类繁多,按不同分类方法可将锚索划分为不同类型。如按外锚头的结构形式分为OVM锚、QM锚、XM锚、弗氏锚等;按锚索体种类分为钢绞线束锚索、高强钢丝束锚索、精轧螺纹钢筋束锚索;按锚固段结构受力状态分为拉力型、压力型、荷载分散型,另外还有可拆除式锚索、观测锚索等。

随着锚固技术的发展,对锚索的要求越来越高,越来越精,特别是永久建设物要求采用永久防护锚索。对外锚头,要求有可靠的锚固效果,避免产生滑丝等因素造成预应力损失。对锚索体要求具有高强、低松弛以及高防护性能。对锚固段,特别是对处于土体中的锚固段,提出更高的要求。锚固段是提供锚固力的根基,由于地质条件复杂,难以确保锚固的可靠性,因此,从改善内锚固段的受力条件出发,完善内锚固段的结构型式,使之提供更高、更稳定的锚固力。

目前从国内外的技术发展现状来看,外锚头部位和锚索体材料的技术参数都不难满足锚固技术的需要,因此,国内外都按锚固段的受力状态分类,以便更有针对性和实用性。

国内按锚固段受力状态分类,则常用的锚索,以拉力型为主,但拉力型锚索在锚固段上部拉应力集中,导致浆体产生开裂,进而影响锚固效果,而压力型锚索克服了拉力型锚索的不足,不仅受力机理合理,使锚固体和被加固体能够提

供更高更稳定的锚固力,还可根据被加固体承载力的大小(如土体),采用荷载分散型锚索,这种锚索在国外已广泛应用,在国内也正在应用,并已获得良好的社会经济效益。下面除了介绍常用的拉力型锚索外重点介绍压力型,特别是荷载分散型等新型锚索,以供推广应用。

二、拉力型锚索

拉力型锚索的锚固段是采用纯水泥浆或水泥砂浆将锚固段部分的锚索体固结在被锚固体的稳定部位,该类锚索采用二次注浆。第一次形成锚固段,第二次是在张拉后进行,主要作用是确保张拉段锚索体的防护,同时也将锚索体的预应力通过浆体的粘结力固结(类似先张法),一旦内外锚头失效也仍将保持预应力。拉力型锚索结构简单,施工方便,造价较低,其结构如图1,但这种锚索作为永久性锚索,其防护性能差,内锚固段受力机理不尽合理,在内锚固段上部应力集中,并随深度衰减如图2,因此在锚固段上部浆体容易开裂,其范围大约在0~3m,特别是0~1.0m范围内钢绞线和浆体之间粘结力被剪切破坏,而且在垂直于锚固体轴向出现可见的裂缝,而在1~3m范围内则出现微缝,进而向深部发展,导致渐进式破坏,影响锚固效果。为了确保锚固力往往加长锚固段长度,结果反而增加成本,也难以保证锚固荷载,由此看来拉力型锚索是最佳选择。

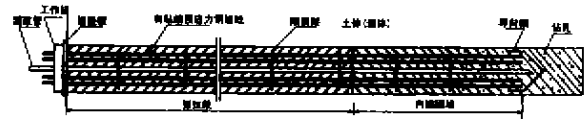


图1 拉力型锚索结构示意图

田裕甲 教授级高工
吕兵、黄家齐 柳州欧维姆工程有限公司 工程师
顾寅、唐专林 柳州欧维姆工程有限公司 技术员

锚索锚杆

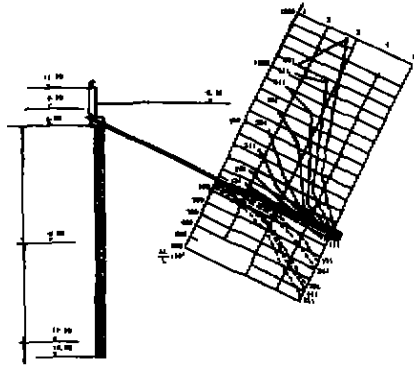


图2 压力型和拉力型锚索的荷载分布图

三、压力型锚索

压力型锚索与拉力型锚索的受力机理不同,如图2,压力型锚索荷载分布的特点:(1)在锚索的根部荷载大,靠近孔口方向荷载明显变小,这样有利于将不稳定体锚定在地层深部,充分利用有效锚固段,从而可缩短锚索长度。(2)浆体受压,被锚固体受压范围更大,可提供更大锚固力。(3)压力型锚索的锚索体采用无粘结钢绞线,因而多一层防护措施,如果采用镀锌或环氧喷涂钢绞线外再包裹一层或二层高密度聚乙烯(即PE)套管,那么具有更高防护性能,因此,可作为永久性锚索,其结构如图3。(4)下锚索后可一次性全孔注浆,这样不仅减少注浆工序,而且即使没施加预应力,靠浆体和土体的粘结力起到一定的作用,这对于正在滑动的滑坡体加固是很有必要的。(5)抗震性能好。

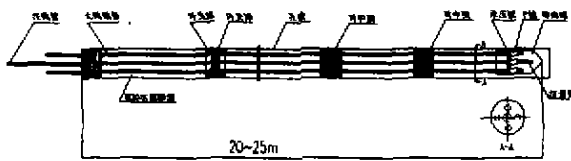


图3 压力型锚索的结构图

胀壳式锚头结构也属于压力型锚索。它是靠机械胀壳将锚头固定在坚硬岩体的钻孔壁上提供锚固力,因此,对钻孔壁的承载力和钻孔直径大小有苛刻的严格要求,其结构如图4。这种锚索的特点是安装方便,可迅速提供锚固力,适合于抢险工程。这种类型的锚索可提供600--1200KN

的锚固力。如果胀壳式锚头与无粘结钢绞线组合,并全孔灌浆,那么可提供更大的锚固力,也就成为压力型锚索的一种。

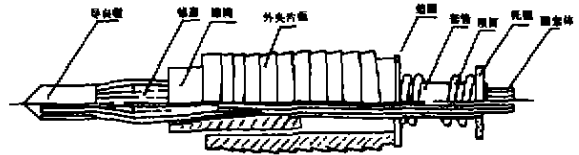


图4 胀壳式锚头结构图

四、荷载分散型锚索

目前使用的锚索结构一般为拉力型,也有少数工程采用压力型,这两种类型,将预应力过于集中传递给锚固段的局部部位,导致锚固体遭受破坏,即使压力型锚索,在承载板上部0到0.25~0.3m范围内的浆体也可能受压破坏。荷载分散型锚索,将施加的预应力分散在整个锚固段上,使应力应变分散减小到确保锚固体不受破坏。这种类型的锚索种类多种多样,大致分为拉力分散型、压力分散型、拉压分散型,下面介绍荷载分散型锚索结构。

(一) 拉力分散型锚索

拉力分散型锚索的锚索体均采用无粘结钢绞线,较简单的拉力型锚索是将处于锚固段中不同长度的无粘结钢绞线末端按一定长度(视土体承载力,一般剥除2~3m)剥除高密度聚乙烯(PE)套管,即变为粘结段,当浆体固结后,锚索预应力通过钢绞线与浆体的粘结力传递给被加固体,从而提供锚固力,如图5。



图5 拉力分散型锚索结构图

也有的无粘结钢绞线外套波纹管,如图6—1,2,3,还有的将波纹套管设在锚固段,并由多段组合,波纹套管之间由接头套管连接,波纹套管与接头套管之间可以相对滑动。在不同长度的无粘结钢绞线末端在波纹管部位剥除与波纹套管同样长度的PE套管。在波纹套管内外注满浆体并

锚索锚杆

固结后,对锚索体施加预应力时,通过粘结段与浆体的粘接力将预应力传递给波纹管,波纹管外浆体至被加固体。接头套管设置在承载力很低的软弱层中,因波纹套管与接头套管之间可以相对滑动,这个部位的软弱层,不承受预应力,这样通过多段粘结段和波纹管段,把预应力荷载分散在被加固体上,从而达到荷载分散的目的,如图6—4,5,6,7。另外,因多段接头套管部位不承受预应力,避免了软弱层产生压缩变形,如果没有软弱层可不设置接头套管。

(二) 压力分散型锚索

压力分散型锚索的锚索体也是采用无粘结钢绞线,较简单的压力分散型锚索结构是,在不同长度的无粘结钢绞线末端套以承载板和挤压套。当锚索体被浆体固结后,以一定荷载张拉对应于承载体的钢绞线时,设置在不同深度部位的数个承载体将压应力通过浆体传递给被加固体,这样对在锚固段范围内的被加固体提供被分散的锚固力,如图7。

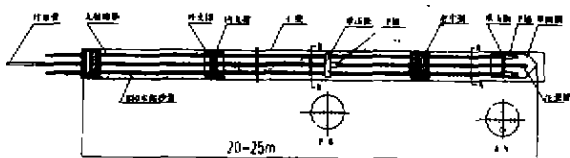
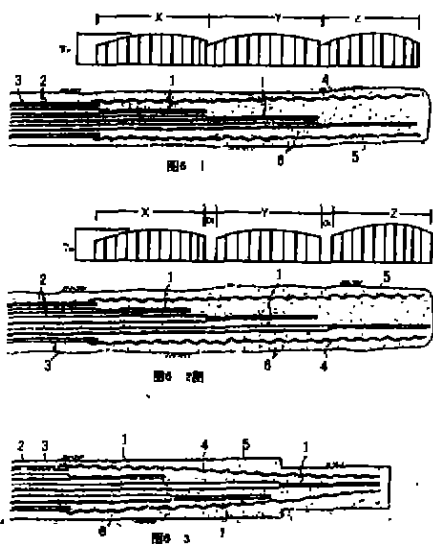


图7 压力分散型锚索结构示意图



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6 拉力分散型锚索结构示意图

还有一种压力分散型锚索是根据给锚索施加预应力时钢绞线均匀伸长这一性质,对一根或数根无粘结钢绞线上,按一定间隔(视被加固体的承载力大小,设置间隔为1~3m)设置挤压套和承载板,挤压套为特殊可滑动结构,其结构如图8。



图8 多级压力分散型锚索结构示意图

滑动间隙可按下式计算得:

$$S_1=0\text{mm(固定端)}$$

$$S_2=P \cdot l/n \cdot A \cdot E-S_1$$

$$S_3=2P \cdot 2l/n \cdot A \cdot E-S_2$$

$$S_4=3P \cdot 3l/n \cdot A \cdot E-S_3$$

$$S_5=4P \cdot 4l/n \cdot A \cdot E-S_4$$

S--特殊可滑动挤压套的移动量(mm)

n--特殊可滑动挤压套个数(个)

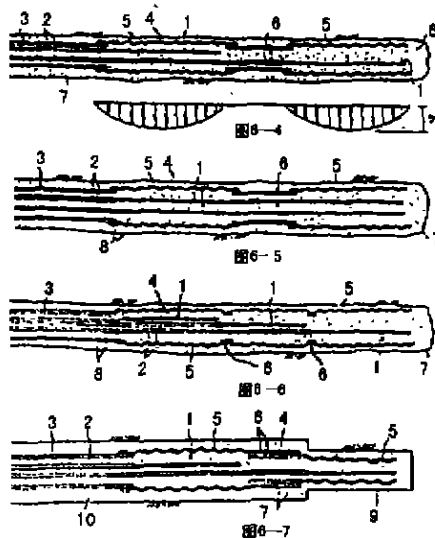
P--张拉力(kg)

l--承载体间隔(mm)

A--张拉钢材断面积(mm²)

E--张拉钢材弹性模量(kgf/mm²)

剪力分散型锚索也是荷载分散型的一种,它的结构是在不同长度的无粘结钢绞线末端用环氧砂



锚索锚杆

浆粘结, 靠剪力和压力将预应力分散作用于锚固段, 其结构如图9。

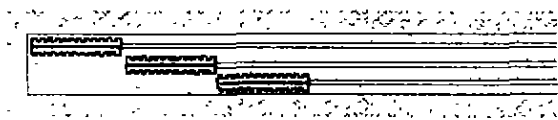


图9 剪力分散型锚索结构示意图

可除分散型锚索结构也可作为压力分散型锚索的一种, 如图10。这种结构的锚索用于深基坑临时支护时具有支护工程完成使命后, 可拆除锚索体中钢绞线的特点。



图10 可除分散型锚索结构图

(三) 拉压分散型锚索

拉压分散型锚索是在两根(或四根)无粘结钢绞线一端剥除1-3mPE套管, 变成拉力型锚固段, 在该端靠近剥PE套管处安装承载板和可移动挤压套, 变成压力型锚固段, 在另外两根(或四根)无粘结钢绞线上也按上两根那样处置, 然后将它们编制在一起, 编索时, 无粘结段呈台阶状布置, 如图11, 这样就可以形成拉压分散型锚索。这种锚索可以提供比拉力分散型、压力分散更为均匀的锚固力, 计算表明, 拉压分散型锚索就率性滑移前其抗拔能力较拉力分散型提高57%、较压力分散型锚索提高21.5%。三种锚索结构型式受力状况对比如图12。

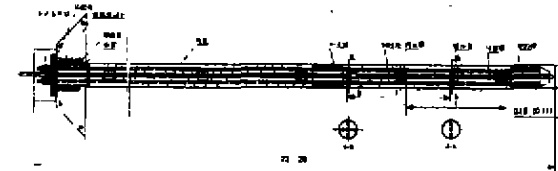


图11 拉压分散型防护锚索

五、工程应用

(一) 压力型锚索在K432边坡加固工程中的应用

1、工程概况

桂柳高速公路K432路段边坡加固工程位于K432下行线潮水隧道口处。该边坡坡角42°, 坡距34~38m, 坡长60m (K431+948~K432+008)。原边坡处理为在开挖隧道形成的坡面上砌一层浆砌石对原始边坡加以保护(见图13、见图14)。在十三天大暴雨的冲刷下, 该边坡出现了下滑的险情: 坡面浆砌石层因边坡下滑而错位开裂, 边坡坡脚挡墙在边坡下滑力作用下外倾, 从隧道口向北约12m的一段挡墙被推倒, 排水沟也因边坡下滑体推力作用下扭曲变形。综合以上现象分析可知: 该边坡已开始滑动, 但暂时处于极限平衡状态, 如不加固, 在大雨或其它因素的影响下, 使边坡下滑堵住隧道口, 将中断桂柳高速公路K432下行线的正常运行。为此通过勘测和稳定分析, 决定采用预应力锚索加固该边坡。

2、勘测与设计

通过对现场相关地层地质情况的了解和评

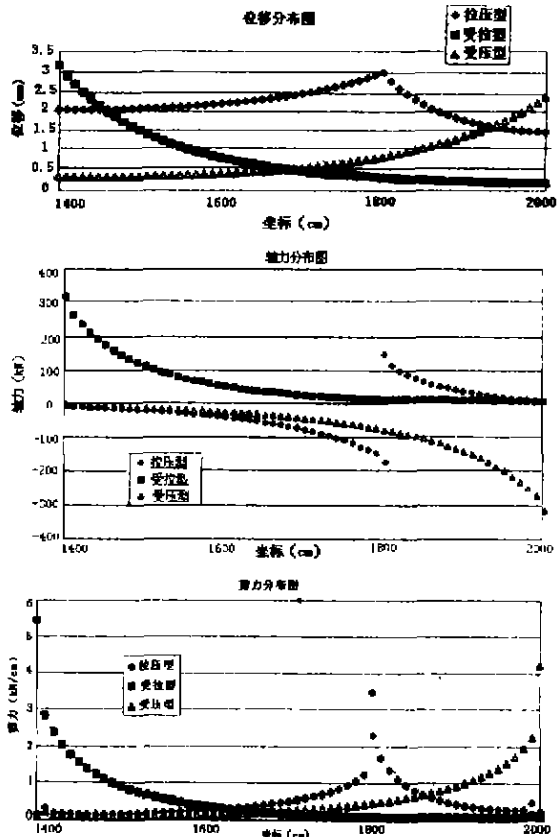


图12 三种类型锚索受力状况比较

锚索锚杆

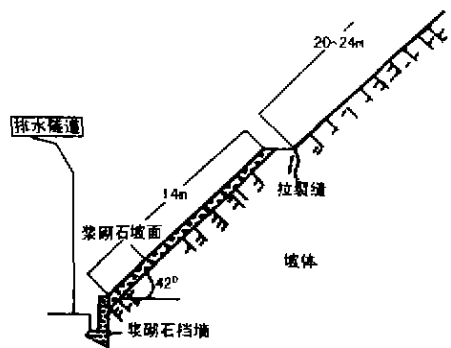


图13 K432 加固边坡剖面

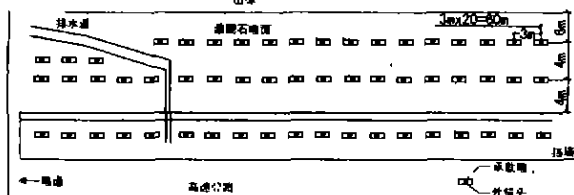


图14 K432 边坡加固工程竣工展开图

估, 大体知道该边坡表层是坡积物, 内夹杂坚硬的石英砂岩和泥质砂岩, 深部基岩为中风化和微风化的石英砂岩, 质坚硬, 难以钻进。在此基础上采用信息法指导施工: 即先大体估计稳定该边坡所需的总锚固力, 然后取基岩作为锚固段的持力层, 确定锚索结构形式和数量, 在其后的具体施工中, 根据钻孔所得的资料确定钻孔深度。为确保锚固力, 内锚固段深入基岩3m~5m以上。最后根据前面施工所得的实测地质资料校核、修订初步设计, 确定最终施加的预应力, 并在此基础上进行稳定分析。

(1) 地质资料分析

根据钻孔所得的地质资料做出各排的基岩露头图(如图15、图16、图17)。

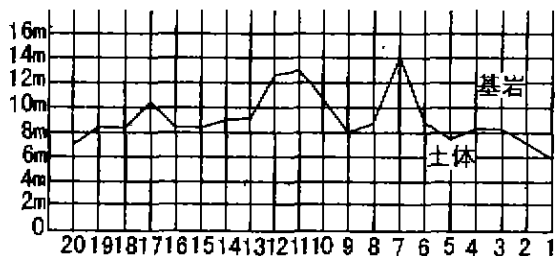


图15 第一排钻孔基岩露头图

山钻孔地质资料和基岩露头图可知, 原先的分析推测基本上是正确的: 边坡浆砌石面层厚约

1m, 挡墙厚约1.5m, 其下为含石块的砂质粘土层, 这一层在不同孔位上厚薄不一, 说明在不同位置, 基岩的风化程度是不同的, 砂质粘土遇水易崩解, 这一层在雨水的渗透下变软, 成为滑动面, 再深处则是风化石英砂岩、泥质砂岩, 坚硬致密。内锚固段设置在中等或微风化的基岩中, 因此能提供足够的锚固力。

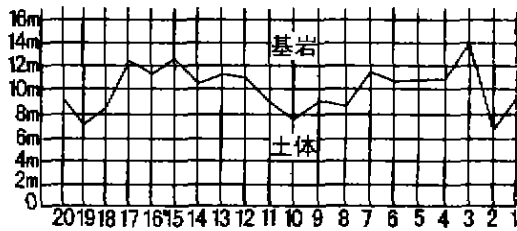


图16 第二排钻孔基岩露头图

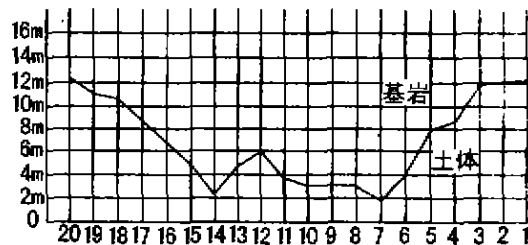


图17 第三排钻孔基岩露头图

(2) 稳定分析

该边坡在浆砌石面层与土体之间, 风化层与基岩之间产生滑动, 本着治理边坡不仅要治标而且还要治本的原则, 我方进行了加大锚固力, 提高安全系数, 以保证该边坡的长期稳定。通过对桂柳高速公路沿线类似边坡滑坡的考察可知: 在滑坡发生时, 滑坡体从顶部(称冠顶)向下拉开一道近乎竖直的面(称滑落崖), 滑坡体沿这个拉裂面滑动, 再往下滑坡面变缓(这个面与水平面夹角近似于土体内摩擦角), 这是一种典型的折面滑动。故按折面滑动对该边坡进行稳定分析:(见图18)

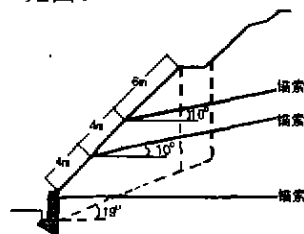


图18 432 边坡稳定分析图

锚索锚杆

土体力学指标: $\gamma = 20\text{kN/m}^3, c = 5\text{kPa}, i = 19^\circ$

$$K = \{ [T_i \sin(\beta + \theta) + W \cos \theta] \operatorname{tg} \theta + cL + \sum T_i \cos(\beta + \theta) \} / \sum W \sin \theta$$

当张拉荷载 $T_1=240\text{kN}/$ 根时, $K_1=1.73$;

当锚固荷载 $T_2=600\text{kN}/$ 根时, $K_2=2.60$;

(3) 加固设计

锚索设计3排, 排间距4m, 索间距3m。选用1860级无粘结钢绞线, 破断力266kN, 每根无粘结钢绞线张拉荷载80kN, 安全系数 $266/80=3.33$, 锚固荷载200kN, 安全系数 $266/200=1.33$ 。每根锚索做一承载墩, 墩上设置一根1.2m长的钢梁。每根锚索施加240kN的预应力, 这是考虑到浆砌石和土体的承载力低, 主要是以满足抗滑稳定为设计依据。

3、锚索结构

原设计采用拉力型锚索, 但考虑到在正在下滑的滑坡体上施工, 为了确保边坡在施工期内的稳定安全, 最终采用压力型锚索。压力型锚索将内锚固段设置在石英砂岩中, 具有承载力高的特征(其结构见图3)。

压力型锚索作用机理如下: 通过锚索尾部的P型锚和承压板将张拉荷载作用于内锚固段下部, 使内锚固段的注浆材料承受压力, 在轴向压力作用下注浆材料径向膨胀, 但该膨胀受到周围岩体约束, 因而在注浆材料与孔壁之间产生挤压咬合力。所以压力型锚索锚固力不仅取决于内锚固段注浆材料与孔壁的粘结力, 而且还取决于两者之间的挤压咬合力。因此与拉力型锚索相比, 在相同长度的内锚固段条件下, 前者具有更高的承载力和更好的耐久性; 并且由于压力型锚索施工采用一次注浆法, 既减少了工序, 又可在未张拉前提供一定的锚固力, 限制施工过程中滑坡体下滑。

4、锚索施工

锚索施工的工艺主要包括: 施工准备、钻

孔、制索、锚索就位、注浆、砌筑张拉承载墩、锚索张拉及封锚。

(1) 施工准备

- ① 设备进场、接通水电;
- ② 按合同要求确定施工范围;
- ③ 测量放线, 确定具体孔位, 挖出孔位上之浆砌石层。

(2) 钻孔

在孔位上搭建施工平台, 钻机就位后着手钻孔, 钻机选用2台XY-300型地质钻机, 采用套管跟进的方法钻孔, 孔径150mm~130mm, 倾角上仰 $10^\circ \sim 15^\circ$, 孔深依具体地质条件而定。

(3) 索

- ① 按孔深及锚索结构图下料;
- ② 按锚索结构图制索;
- ③ 在锚索孔口部位设灌浆管、中间穿排气管和测量导线至前端导向帽内。

(4) 锚索就位

成孔后留下套管, 将锚索用人工抬至孔口, 穿索时避免锚索扭转, 注意保护好对中架、排气管、测量导线和钢绞线的PE外套。锚索下到位后, 在孔口下一节长1.5m, $\Phi 120\text{mm}$ 的波纹管, 以免孔口塌孔。在锚索中插入注浆管, 注浆管入孔口约0.5m。然后用粘土和水泥砂浆堵住锚索孔周围的空隙, 以免注浆时漏浆。

(5) 注浆

锚索就位堵口后, 当堵口水泥砂浆有了一定的强度就可以注浆。利用注浆泵从孔口进行低压注浆, 在注浆过程中, 压力表读数保持在0.5Mpa以下, 停止注浆的标准是排气管出浆液并稳压五分钟, 且测量导线显示孔底已注满浆为准。

注浆材料为鱼峰牌425R普通硅酸盐水泥、中细砂和TQ外加剂。其拌制比例是水泥: 水: 砂: TQ=1: 0.4: 0.5: 0.1。水泥砂浆设计强度大于M30。

(6) 砌筑张拉承载墩

在锚索孔口砌筑张拉承载墩,在承载墩内安装钢梁,钢梁安装时注意使钢梁上的承载板面与锚索垂直,使钢绞线顺直通过承载板面上之预留孔。

(7) 预应力张拉及封锚

预应力张拉前,先对千斤顶、油泵、油表进行配套标定,按标定曲线计算张拉力,张拉采用“双控法”:以控制油表读数为准,伸长量校核,伸长量误差控制在(+10%~-5%)范围内。

张拉施工采用分级、循环张拉的方法。

张拉时选用一台ZB4-500S油泵带动一台YC-20Q千斤顶。张拉工序如下:

第一级	持荷1min锁定	第二级	稳压20s锁定
0.2F _设	测量伸长量	0.45F _设	测量伸长量
第三级	稳压20s锁定	第四级	
0.75F _设	测量伸长量	1.05F _设	

(持荷1min锁定,测量伸长值)

(F_设=240KN)

锚索张拉到设计值后,从锚板外测量10cm切除多余钢绞线。上聚乙烯套模,用1:1水泥砂浆封锚。

5、结论

在高速公路管理处的大力支持配合下,加固工程得以顺利完工,现对该加固工程作一评价:

(1) 通过勘测,查清了边坡的基本资料,找出了边坡下滑的范围及原因,提出了合理的加固设计方案。

(2) 在具体施工中,将拉力型锚索改为压力型锚索、向下成孔改为向上成孔,这两种措施既保证了锚固力,确保了边坡的稳定性和安全性,也保证了工程进度。

(3) 对正在下滑的滑坡体采用58根,每根锚固力为600KN的锚索加固后,其稳定安全系数为2.60,加固后的边坡是经得起考验的。

(二) 压力型锚索与荷载分散型锚索在加固工程中的应用

1、工程概况

桂柳高速公路K412路段路基加固工程位于桂林地区永福县城西6km处。路基基脚为浆砌石挡土墙,墙高7~8m。挡土墙顶有1.8m宽人行道,人行道内护墙顶至路肩坡距21m,坡角32°(见图19)。该处路面多处发生坍滑和沉降,坍滑区长46m(K412+80-K412+126)。路面最大下滑体裂缝距路中心线3.2m,裂缝宽2~3mm;距路中心线10.5m的紧急停车带有多处坍陷,最大坍陷量达50~70mm,裂缝宽度15~50mm(详见图20)。路基基脚挡土墙向外鼓胀,有两处浆砌石已崩落并发生流土。综合以上现象分析可知该段路基处于滑移状态,如果任其发展,路基下滑,不但将中断桂柳高速公路K412上行线,使其难以修复,而且将导致路基上部山体(古滑坡体)下滑,造成严重后果如图22。为此,通过勘测、稳定分析和设计,决定采用压力型和荷载分散型预应力锚索加固该路基。

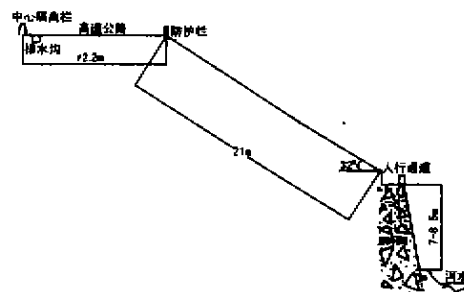


图19 K412 路段上行线加固区路基剖面图

2、勘测及设计

经过现场勘测及多方了解得知该路基为半挖半填式道路施工。根据路面的开裂、下沉情况,分析造成滑坡的原因后,参照有关工程的设计参数,通过稳定分析和计算,提出了该工程加固设计方案。

(未完待续)