

大吨位压缩分散型锚索的设计与应用研究

李海民 李鑫 韦勇生 易蕃炜

【摘要】 针对目前我国岩土锚固工程中较多运用单一的拉力型锚固工法且一般没有进行较好防护处理的现状, 本文通过云南省个旧-冷墩公路边坡工程中采用压缩分散型锚索的设计应用从而解决了在软弱岩土体中需提供大吨位锚固力的问题, 介绍了压力型锚固工法, 特别是运用了新型材料-环氧全喷涂无粘胶钢筋线作为锚索体的杆材, 较好地解决了永久锚固工程中的防腐问题。希望通过此文, 能为岩土锚固工作的同仁们起到抛砖引玉的作用, 从而能更加完善我国的岩土锚固工法。

【关键词】 岩土锚固 压缩分散型锚索 环氧全喷涂无粘胶钢筋线 耐久性 防护

1. 工程概况

1.1 地质概况

个旧-冷墩公路 $K_{22+136.01} \sim K_{22+511.30}$ 段位于云南省个旧市保和乡政府驻地以北沟谷地带, 与河床高差20~55米。该段地形横坡十分陡峻, 坡度最低50度, 最高达80度, 坡脚局部形成陡壁。

此段坡体地层岩性依次主要为上覆层为坡洪积碎石土, 层厚介于1.9~34.6米之间; 其次为亚粘土(粉质粘土), 层厚为0~23.7米; 及下伏板岩、灰岩等, 板岩、灰岩其露头较深。坡体的最表层2.5米为最近堆积的碎石土。此段坡体岩石体的总体情况是节理发育, 岩土体较破碎。

该段路线位于普洒河下游区, 上下游海拔高差达1600米, 加之该地区雨量集中, 一次降雨大, 使得普洒河具有水流速度快, 携砂、石能力强、对岸坡的冲刷剧烈等特点。

1.2 边坡处治设计概况

根据地质勘探资料和坡体稳定性分析计算, 对此坡体的综合处治设计方案如下:

上坡体: 分三大区块进行处治

a. $K_{22+316} \sim K_{22+396}$ 段采用预应力锚索间夹非预应力短锚杆进行防护, 锚索间距竖向8米, 横向6米; 锚杆间距与锚索间距相同。根据边坡稳定性要求, 此段共布设3排 \times 11根共33根锚索, 锚索长25米, 每根锚索施加60吨的预应力; 布设3排 \times 10根共30根每根5米长的锚杆进行处治。锚索、锚杆地梁均采用框格梁的防护形式。

b. $K_{22+396} \sim K_{22+468}$ 段采用间距 4×4 米, 长10米的锚杆框格梁防护, 锚杆总数 6×17 根共102根。

c. $K_{22+468} \sim K_{22+516}$ 段共设 4×4 米间距8排 \times 13根共104根锚杆, 锚杆长度设为8米, 地梁仍采用框格梁形式。

上坡体格梁内采用TBS植被喷射种草, 以固结表层碎石防止冲刷。TBS植被是一种新兴的科技产品, 它是一种能存活在碎石土、碎石以及混凝土上的草种, 其配比情况是将TBS草种与一定比例的水、泥土、水泥、碎石和特有的营养成分配成浆液状, 再用混凝土喷射机喷到坡面暴露部分, 养护让其长出草来, 起到既固结碎石防冲刷又能绿化环境的双重作用。目前我国已研发成功

李海民: 柳州欧维姆工程有限公司
李鑫: 云南省公路规划勘察设计院

TBS植被, 并已成功运用于工程实践之中。

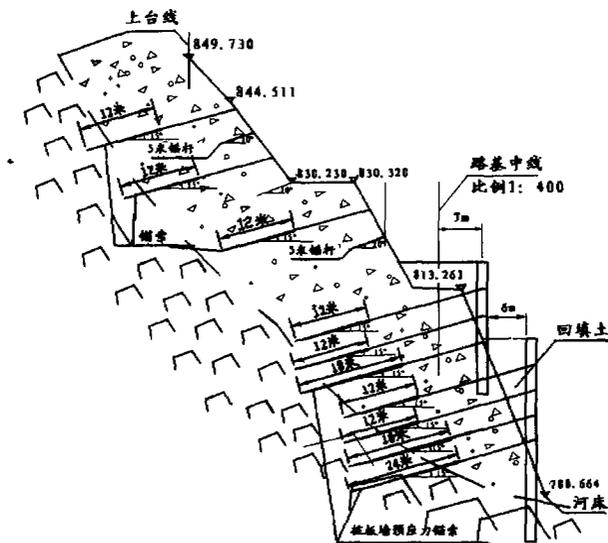
下坡体: $K_{22+346} \sim K_{22+314}$ 段, 根据实际地形, 采用二级预应力锚索桩板墙加回填土处治后形成稳定的下台路基。桩间距4米, 锚索孔间距也是4米。第一级桩板墙共设43根桩, 桩上共布设107根预应力锚索; 第二级桩板墙共设42根桩, 桩上共布设105根预应力锚索。桩的断面尺寸为 1.5×2 米, 按多支挡超静定桩设计, 最高桩达20米高(露出坡面线), 基础埋深12米, 根据回填土土压力计算, 桩上预应力锚索最大设计吨位1600KN, 最小750KN。

为保护下排桩桩脚土体的稳定, 在桩周围共

布设有长12米的锚杆, 锚杆总数共67根, 地梁仍采取格梁形式。下坡体坡脚处为防止河水的冲刷, 设计采用5~10m高的护岸墙进行防护。施工横断面示意图见图一。

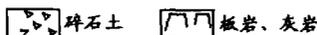
2. 桩上预应力锚索的设计

2.1 锚索结构形式的选择: 根据设计要求和现场实际地质情况, 大吨位锚索主要锚于碎石土、亚粘土中。鉴于土体破碎、抗剪强度低, 又由于压力型锚索具有比拉力型锚索较突出的下列优点: ①锚索承力体根部荷载大, 靠近孔口方向荷载变小, 有利于将不稳定体锚固在地层深处, 充分利用有效锚固段, 缩短锚索长度。②浆体受



施工横断面示意图 图一

地质图例



表一 拉力型锚索与分散压缩型锚索的工作性能比较

项目	普通拉力型锚索	分散型锚索
岩土-水泥浆体间的粘结摩阻应力分布状况	沿锚固体长度分布极不均匀, 应力集中严重, 易发生渐进性破坏	沿锚固体长度分布较均匀
岩土-水泥浆体间的粘结摩阻应力值	总拉力大, 粘结摩阻应力值大	总拉力可分散成几个较小的压力, 粘结摩阻应力值显著减小
粘结摩阻强度	灌浆体受拉不会引起水泥浆体横向扩张而增大粘结摩阻强度	灌浆体受压产生横向扩张而使粘结摩阻强度增大
锚索承载力	锚固长度超过一定值后, 承载力增长极其微弱	锚索承载力随锚固段长度增加而增加
耐久性	灌浆体受拉, 易开裂, 防腐性差	灌浆体受压, 不易开裂, 预应力筋外有油脂、PVC涂层及水泥浆体多层防腐, 耐久性好

压, 被锚固体受压范围更大, 可提供更大锚固力。③锚索体采用环氧全喷涂无粘结钢筋绞线, 外涂油脂后, 再热挤PE护套, 形成多层防护, 具有更高防护性能。④索体就位后可一次全孔注浆, 注浆工艺简单。两种不同受力型锚索工作性能比较见表一, 其锚固体周边粘结摩阻应力分布形态见图二。因此本次设计采用压缩分散型锚索结构形式。

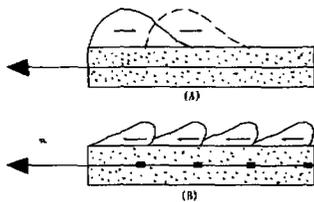
2.2 压缩分散型锚索的设计计算 (仅以1600KN级锚索为例)

锚索设计荷载 $T_d = 1600\text{KN}$

锚固体直径 $d_A = 150\text{mm}$

锚固段安全系数 $F_s = 1.5$

锚固段总长:



锚索锚固体周边粘结摩阻应力分布

(A) 拉力型 (B) 分散压缩型

图二

$$L_a = (F_s \cdot T_d) / (K \cdot \pi \cdot d_A \cdot q_a) \\ = (1.5 \times 1600 \times 10^3) / (0.95 \times 3.14 \times 150 \\ \times 10^3 \times 230 \times 10^3) = 23.4(\text{m})$$

$$\text{取 } L_a = 24\text{m}$$

式中: K —折减系数

q_a —粘结摩阻强度

锚索钢筋绞线根数 $m_1 = T_d / (0.6A \cdot f_{pk}) = 10.3$ 根, 取 $m_1 = 11$ 根

每个承载体的抗拉拔力 $T_0 = 780\text{KN}$

则承载体个数 $m_2 = T_d / (0.6T_0) = 3.42$ (个)

取 $m_2 = 4$ 个

各承载体间间距由内向外设为:

$$6.5\text{m} + 6.5\text{m} + 4.5\text{m} + 6.5\text{m} = 24\text{m}$$

2.3 压缩分散型锚索结构形式示意图图三所示 (仅以1600KN级锚索为例)

2.4 锚索杆体材料: 选用OVM-UI型环氧全喷涂无粘结钢筋绞线, 其防腐性能优越, 适合边坡工程的永久锚固与防护, 特别适合有盐害的岩土

表二 OVM-UI环氧树脂全喷涂防腐PE钢筋绞线性能表

规格 (mm)	强度级别 (MPa)	公称截面积 (mm^2)	最小破断荷载 (KN)	弹性模量 (MPa)
$\phi 15.24$	1860	140	263	1.95×10^5
破断延伸率	松弛率	耐湿热性、盐水性、碱性腐蚀性	涂膜耐冲击性	
> 3.5	< 1.5	良好	良好	

工程,其防腐结构断面图和主要性能见如表二和图四

2.5 锚索倾角的选择:

根据最经济的锚索倾角 $\beta = \theta - (45^\circ + \phi/2)$, 此边坡的平均倾角 $\theta = 65^\circ$, $\phi = 30.5^\circ$, 得出 $\beta = 5^\circ$, 实际选择时结合具体地形条件锚索倾角取为 15° , 这在经济上是可以接受的。

2.6 外锚头设计

外锚头设计包括垫板、锚具以及封锚钢护罩。个冷路边坡采用质量优越,事故率极少的 OVM 锚具(锚固效率系数 $\eta_A \geq 0.95$),其相应配套垫板、封锚钢护罩等也选用 OVM 的特殊加工品。外锚头示意图见图五。

2.7 灌浆浆体强度的设计计算

承载体承受荷载: $T = T_d / m_i \times 3 = 440 \text{KN}$

承载体承压面积:

$$S = \pi D^2/4 = 3.14 \times (138 \times 10^{-3})^2/4 = 0.015 (\text{m}^2)$$

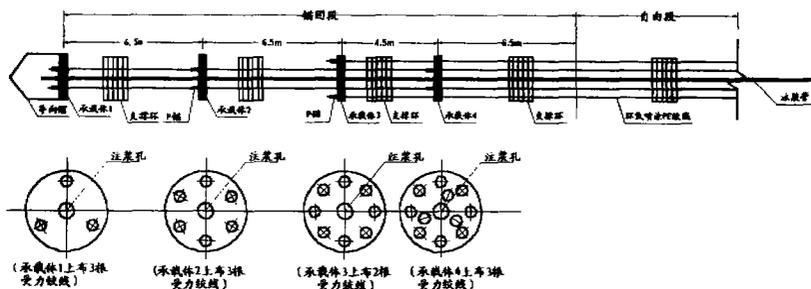
浆体设计强度:

$$M = KT/S = 1.5 \times 440 / 0.015 = 44 (\text{MPa})$$

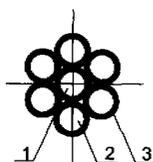
2.8 灌浆材料配合比设计

水泥选用普通硅酸盐 525[#], 水灰比 0.38, 外加 10% UEA—Z 的复合膨胀剂和 0.6% 的 UNF—5 高效早强减水剂。此设计配比强度 T_d 可达 50MPa, T_{28} 可达 80MPa, 不但满足了压力型锚索需要高强度灌浆材料的特点,而且因其早期强度高,有效缩短了等待时间,进而加快了施工进度。

3. 预应力锚索的防护设计

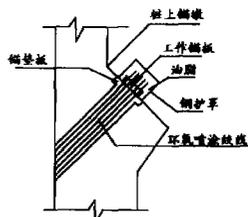


图三 压缩分散型锚索结构形式示意图



1. 芯线 2. 侧线 3. 环氧树脂防腐膜

图四



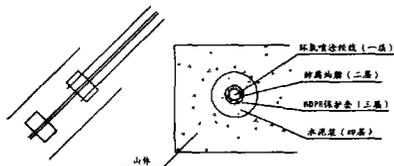
图五 外锚头示意图

岩土锚固结构的使用寿命主要取决于锚索(杆)的耐久性。而影响耐久性的最大威胁来自腐蚀。预应力锚索腐蚀的主要危害是地层和地下水的侵蚀性质、锚索防护体系的失效、双金属作用以及地层中存在的杂散电流。这些危害引起不同形态的腐蚀发生,如全面腐蚀、局部腐蚀和应力腐蚀。对预应力锚索来说,除了来自侵蚀介质引起的腐蚀外,高拉应力作用下的应力腐蚀会直接引起钢绞线的断裂。

为切实提高高边坡永久锚固工程的耐久性,结合本工程实际,施工中采用以下防腐措施:

3.1 预应力锚索施作和施工一定按施工规范要求,必须保证钢绞线的水泥浆握裹厚度大于2cm。

3.2 锚索结构采用压力分散型锚索,索体材料选用OVM-U1型环氧无粘结钢绞线。这种杆材的钢绞线外用高压静电技术将每股钢丝全喷上一层环氧树脂,其后再外裹油脂、热剂PE涂层及水泥浆体包裹,形成多层防护,且锚索工作时水泥浆体受压,不易开裂,能大大提高锚索的耐久性。索体防护示意图如图六:



图六 索体防护图

3.3 锚孔灌浆结束后,由于浆液的下沉,在外锚头背面一定长度的自由段内形成空腔,及时施作二次补浆,使灌浆密实有效防护索体。

3.4 对压缩分散型锚索的载体(内锚头)进行防腐处理,内锚头与外露绞线涂水柏油、油脂再外套PVC软管。锚索外锚头在施工中即进行防

护,对锚头板涂防锈油漆,锚头则采用盒式钢保护罩封闭,张拉工作结束后将钢保护罩内充满油脂,锚头板则用3cm厚的 C_{30} 素混凝土进行封锚。

3.5 控制锚索钢绞线所承受的应力水平,使其不超过钢绞线抗拉强度标准值的60%,减少因高拉应力作用下的应力腐蚀而引起的钢绞线的脆断失效。

4. 大吨位压缩分散型土锚基本试验的研究

为验证设计的安全性、合理性,并为设计提供较实际的参数,同时也为了检验锚索结构的可靠性、造孔工艺、灌浆工艺的可行性,在工程大面积施工前进行了锚索基本试验的施工。

根据理论设计计算得出的各种吨位级别的锚索锚固段长度和所采用的压缩分散型结构形式,共做了6束锚索基本试验。750KN级、1200KN级、1600KN级锚索各做2组。试验锚索结构布设与设计结构相同。750KN级锚索锚固段设为:6.5m+5.5m=12m,分两段锚固;1200KN级锚索锚固段设为:6.5m+6.5m+5m=18m,分三段锚固;1600KN级锚索锚固段设为6.5m+6.5m+4.5m+6.5m=24m,分四段锚固。试验锚索锚固段基本都锚于碎石土和亚粘土中。

压缩分散型锚索进行整体拉拔存在以下难点:由于索体采用多段式锚固,不同承载体上的钢绞线长度不相等,若直接进行整体拉拔则钢绞线的受力将极为不均,钢绞线长的受力小,短的受力大。为解决此问题,试验中采用了整体张拉千斤顶与补偿张拉小千斤顶相结合的方法予以了很好的解决,主要思路是对每一级加荷用小千斤顶按由内向外的顺序将需要进行补偿的每一个承载体上的钢绞线以伸长量控制为标准对各钢绞线进行力的补偿,补偿到位以后再整体拉拔至该级荷载,此后再补偿→再整体拉拔,一级一级补偿后再整体拉拔到位,直至达到基本试验检验荷载的目的。

在此仅对压缩分散型锚索的整体拉拔程序和试验拉拔结果予以阐述：

4.1 整体拉拔 (图7)

4.1.1 锚索试验加荷检验循环流程为：

①第一循环：0.1A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷10min → 0.1A_{f_{pk}}

②第二循环：0.1A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.2A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.4A_{f_{pk}} 持荷10min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.2A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.1A_{f_{pk}}

③第三循环：0.1A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.4A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.5A_{f_{pk}} 持荷10min →

0.4A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.1A_{f_{pk}}

④第四循环：0.1A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.5A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.6A_{f_{pk}} 持荷10min →

0.5A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.1A_{f_{pk}}

⑤第五循环：0.1A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.5A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.7A_{f_{pk}} 持荷10min →

0.5A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.1A_{f_{pk}}

⑥第六循环：0.1A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.6A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.8A_{f_{pk}} 持荷10min →

0.6A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.3A_{f_{pk}} 持荷5min → 0.1A_{f_{pk}}

(未完待续)



世界第一虹我来托起

从去年9月份至今，市建筑机械总厂已经在号称“世界第一虹”的上海卢浦大桥建设关键项目招标中，陆续拿下了标的为1200多万元的OVM产品供货及施工合同，其产品质量再次享誉上海滩。

市建机总厂OVM锚具产品此前曾在上海南浦大桥、杨浦大桥、徐浦大桥和东方明珠电视塔等大型重点工程的建设中声名大振，成为全国市场占有率最大的锚具生产企业。近几年，国外一些生产同类产品的公司通过合资办厂或独资设厂等形式，逐步逼近国内锚具市场，使该厂面临着极大的竞争压力。

去年初开工建设的上海卢浦大桥全长6公里，总投资22亿元人民币，主跨550米，一跨过江，由此成为同类桥中世界第一，号称“世界第一虹”。该桥中承拱为世界罕见的空间提篮结构，是全桥建设中技术难度和施工难度最大的部位，其中临时塔所采用的临时拉索锚具产品的质量及施工技术，又是保证该桥中承拱施工可以顺

利进行的关键。所以这一项目成为中国“入世”前后，市建机总厂与国内外竞争对手争夺市场的“焦点”，其结果关系到企业的行业地位、品牌声誉及今后一系列重大项目的竞争。参加该项目竞争的除了市建机总厂外，还有法国VSL公司等3家国内外锚具生产企业。由于建机总厂多年来不遗余力开展技术创新，其产品质量及技术不仅与世界同步，而且还开发和储备了自己独有的技术和产品。同时，该厂在上海和国内做过多项类似的工程，有这方面工程项目的经验积累，服务工作也在全国有口皆碑，因此该厂在与对手的竞标中脱颖而出，一举拿下了这项标的为800多万元的供货及施工合同。以此为契机，该厂在随后的竞标中又拿下了引桥等300多万元的分包项目合同。

据了解，目前建机总厂已经完成了对施工方案专家论证工作。

原载于《柳州日报》2001.1.20 记者周思生报道