

# 大吨位压力分散型锚索在边坡工程中的应用

李海民 李鑫 赵干明 李丽芬 黄晓宜

**【摘要】**压力分散型锚索结构由于其合理的受力机理以及在软弱岩土体中能更有效发挥土体承载力而提供较大锚固力的优点,在边坡工程中正被日益得到应用与推广。本文着重介绍大吨位压力分散型锚索在云南个旧至冷墩公路边坡工程锚索基本试验中的应用。

**【关键词】**压力分散型锚索 环氧全喷涂PE钢绞线 锚固 边坡 试验

## 1、试验的由来

个旧~冷墩公路K<sub>22+336.01</sub>~K<sub>22+513.39</sub>回头湾段下台线边坡采用上下二级预应力锚索板桩增加回填土进行处治,同排桩间距4×4m,上排桩顶标高与下台公路路基线一致。最高桩高19m,基础埋深9m,桩上以4×4m(竖向)布设4孔压力分散型锚索。根据回填土侧压力计算,锚索最大设计吨位达1600KN。大吨位锚索锚于Q<sup>Ⅲ</sup>的碎石土及Q<sup>Ⅲ</sup>的亚粘土中。碎石土状态为中密~密实,亚粘土处于硬塑状态。

鉴于此工程的重要性以及大吨位土锚目前在国内尚无较多借鉴经验的情况,同时也为了使正式工程施工得以安全、经济、可靠,因此在进行大规模施工之前,先进行发预应力锚索基本试验的施工。

## 2、试验目的

2.1 检验适合此坡体的造孔工艺、灌浆工艺。

2.2 检验新型防腐材料环氧全喷涂无粘结钢筋绞线 with OVM 锚固体系的适用性试验。

## 2.3 确定锚索、锚固段承载力的安全性。

2.4 验证设计的安全性、合理性与经济性。

2.5 对工程施工提出建议。

## 3、试验方法

试验依据云南省公路规划勘察设计院下发《锚索基本试验方案》、《锚索基本试验大纲》以及土层锚杆设计与施工规范CECS22:90和《水土预应力锚固设计规范》SL212-98,在现场选择具有代表性的K<sub>22+380.00</sub>~K<sub>22+410.00</sub>高程在789.00米的区段,按照锚索施工工艺进行。

## 4、试验孔布设和锚索特征

根据设计与业主要求,结合现场施工条件,锚索试验共布设6孔,三种吨位级别的索体各布置2孔。鉴于大吨位的索体需锚于碎石土体中和此工程为重点性永久边坡工程的实际,锚索结构采用受力机理合理、能充分利用承载力较低土体的抗剪强度的压力分散型锚索,同时为了满足永久锚固工程要求较强防腐性能的需要,锚索预应力筋材料选用OVM-U<sub>1</sub>型环氧全喷涂无粘结钢筋绞线,对预应力筋材料形成三层防腐,能更有效地防止盐害的危害。其锚索特征见试验锚索设计参数表(表1)及锚索结构图(图一)。

## 5、试验过程

李海民:柳州威维姆工程有限公司

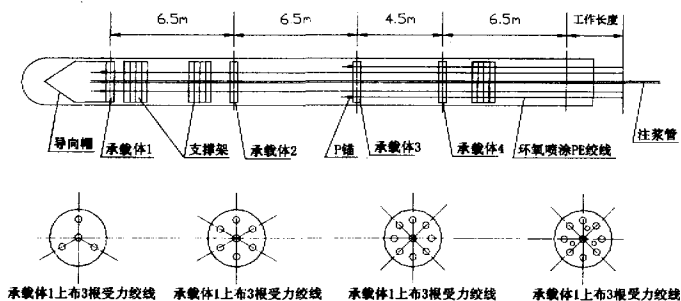
李鑫:云南省公路规划勘察设计院

表1 试验锚索设计参数表

编号	特征	孔位里程 (m)	孔位标高 (m)	钻孔孔 深 (m)	钻孔孔径 (mm)	钻孔倾角 (°)	锚固长度 (m)	锚具型号	设计吨位
1#		K <sub>22-384.00</sub>	789.00	25	150	15°	24	OVM15-11	160t
2#		K <sub>22-398.00</sub>	789.00	20	150	15°	19	OVM15-8	120t
3#		k <sub>22-392.00</sub>	789.00	15	150	15°	14	OVM15-5	75t
4#		K <sub>22-396.00</sub>	789.00	25	150	15°	24	OVM15-11	160t
5#		K <sub>22-400.00</sub>	789.00	15	150	15°	14	OVM15-5	75t
6#		K <sub>22-404.00</sub>	789.00	20	150	15°	19	OVM15-8	120t

压力分散型锚索结构形式示意图

(仅以 160t 级锚索为例)



4段锚固

图1

试验过程包括以下步骤：试验准备、造孔、编束、穿束、灌浆、砼承载墩浇筑、试验拉拔。工艺流程见图2。

### 5.1 试验准备

5.1.1 预应力锚索材料及设备选择：根据设计及规范要求，锚索索体材料选用OVM-U<sub>1</sub>型环氧全喷涂无粘结筋高强度低松弛预应力钢绞线，此材料具有较强耐腐蚀，防盐害的性能。主要性能见下表2。锚具采用OVM锚固体系，其自锚能好，性能优良，主要技术参数为：锚固效率系数  $\eta_A > 0.95$ ；破断总应变  $\epsilon_{t0} \geq 0.2\%$ ；内缩量  $\lambda$

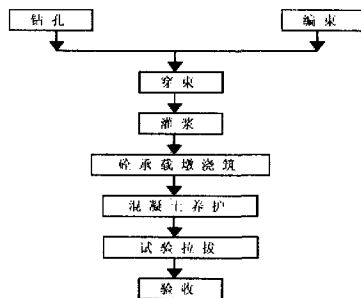


图2 预应力锚索试验施工工艺流程图

≤5mm；锚口摩擦损失系数为0.025。

张拉千斤顶选用柳州市建筑机械总厂生产的YDC240Q型千斤顶进行预紧和补偿张拉，YCW100-200和YCW250A型千斤顶进行整体拉拔。高压油泵选用OVM品牌ZB4-500型高压电动油泵。

5.1.2 附属设施建设：根据试验总体布置，进行附属设施建设，主要包括风水电系统、施工平台、灌浆平台以及施工便道的架设。

5.1.3 配套标定：进行张拉机具（千斤顶、油泵、油表）的检验及配套标定。

### 5.2 造孔

造孔机械采用MG-50型锚杆钻机，钻头采用φ130、φ150的十字潜孔冲击钻头和φ150的合

金钻头联合使用。先用φ130、φ150潜孔冲击钻头钻至设计深度，后用φ150合金钻头扫孔，并结合高压风清孔。造孔成果记录见表3。

### 5.3 编束

编束工艺：编束通知单→下料→清洗→锚固端挤压P锚→编束→库存

5.3.1 试验锚索的编束在造孔进行的同时进行。

5.3.2 根据试验钻孔孔深外加2m工作长度按试验索相应结构尺寸进行绞线下料，下料用砂轮切割。

5.3.3 将切割好的无粘结喷涂抹绞线一端剥除PE20cm，将剥除部分除污洗干净。

5.3.4 用GYJ60A型挤压机对剥除部分挤压上

表2 OVM-U环氧树脂全喷涂防腐PE钢绞线性能表

规格 (mm)	强度级别 (MPa)	公称截面积 (mm <sup>2</sup> )	最小破坏荷载 (KN)	弹性模量 (MPa)	破断延伸率	松弛率	耐湿热性、盐水性、酸碱性、腐蚀性	涂膜耐冲击性	可弯曲性、柔软性
φ15.24	1860	140	263	1.95 × 10 <sup>5</sup>	>3.5	<1.5	良好	良好	良好

表3 造孔成果记录表

锚孔编号	施工时间			钻进深度		套管规格、长度 (mm、m)	锚孔实测直径 (mm)	锚孔实测倾角 (°)	围岩情况	清孔情况
	起	止	时间 (h)	本次	累计					
1#	2001.7.25	2001.7.26	16	12.2	/	φ168、12.2	172	15°	碎石土	/
	2001.7.27	2001.7.29	24	13	25.2					
2#	2001.7.31	2001.8.1	12	13.3	/	/	152	15°	碎石土	/
	2001.8.1	2001.8.2	12	6.9	20.2					
3#	2001.8.3	2001.8.3	5	10.7	/	φ168、8.4	170	15°	碎石土	/
	2001.8.3	2001.8.5	14	4.5	15.2					
4#	2001.8.6	2001.8.7	11	25.2	25.2	/	153	15°	碎石土	好
	2001.8.8		5	13.06	/					
5#		2001.8.8	3	2.14	15.2	/	151	15°	板岩	好
	2001.8.9		7	16.06	/					
6#		2001.8.9	2	4.2	20.26	/	152	15°	板岩	/
	2001.8.10	2001.8.10	4	/	/					
备注	1#孔、3#孔钻、塌孔其前12.2m和8.4m下168mm套管钻进，余后孔深用φ150钻头钻进。									

P锚。

5.3.5 按照由内向外的顺序将相应长度的绞线等进各自的承载体内, 放好内、外支撑, 支撑架每1米放1个, 用所扎丝绑扎牢固, 绑扎过程中应保证绞线顺直。

5.3.6 编束完成后, 对不同位置处的承载体上相应的绞线外露端做好标记, 应保证整体拉拔时能清楚哪根绞线对应于哪一承载体。

5.3.7 编好的锚束应妥善保管。

#### 5.4 穿束

穿束工序: 穿束通知→运输→检查→穿束

5.4.1 在造孔及编束合格、造孔清孔干净之后进行。穿束前, 对注浆管进行一次复查, 确保畅通。

5.4.2 穿束采用人工运输、人力推进的方法, 借助穿束辅助平台进行, 最小转弯半径为6m。

5.4.3 锚索穿入锚孔时, 应保持平顺、均匀推进, 索体后部要抬起, 与孔倾角相一致。

5.4.4 索体外露部分满足工作长度时即到位, 停止穿束。

#### 5.5 灌浆

锚孔注浆采用3SNS系列高压注浆泵从孔底低压返浆技术进行灌注。注浆材料根据现场远程输送以及压力分散型索体结构要求高强度配比浆体的特点, 试验中采用普硅525<sup>#</sup>水泥, 配比为水

灰比0.38, 外加10%的UEA复合型膨胀剂和0.6%的高效早强减水剂的浆材进行注浆, 从试验结果来看, 此配比强度5天可达53.2MPa, 28天可达82.8MPa的理想效果。

注浆过程中为保护浆体的密实性, 采用①尽量延长浆体的拌和时间, 使浆体达到最佳拌和效果; ②从孔底返浆, 待浆液溢出孔口才开始按注浆管; ③控制注浆压力的措施进行。

#### 5.6 砼承载墩制作

砼承载墩浇筑工序为: 基础清理→布钢筋笼→安装波纹管、螺旋筋→立模→验收→浇筑→砼养护→安装可拆式垫板

5.6.1 按试验要求尺寸清理基础、扎筋、安装波纹管、螺旋筋、立模。

5.6.2 现场配制C<sub>30</sub>混凝土, 进行承载墩浇筑, 并振捣密实。

5.6.3 承载墩浇筑好后, 进行脱模养护, 直至达到设计标号。

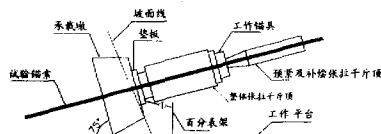


图3

表4

加 荷 增 量 (A, f <sub>pk</sub> %)	初始荷载	--	--	--	10	--	--	--
	第一循环	10	--	--	30	--	--	10
	第二循环	10	20	30	40	30	20	10
	第三循环	10	30	40	50	40	30	10
	第四循环	10	30	50	60	50	30	10
	第五循环	10	30	50	70	50	30	10
	第六循环	10	30	60	80	60	30	10
观测时间 (min)		5	5	5	10	5	5	5

## 5.7 试验拉拔

试验拉拔机具组装示意图如图3。

5.7.1 锚索试验加荷等级与观测时间如表4。

5.7.2 锚索拉拔试验前，须对每个锚孔相对应的浆体试块进行抗压试验，试块强度超过设计要求和承载墩混凝土强度达到试验要求后方可进行拉拔试验。

5.7.3 锚索拉拔试验张拉控制程序

压力分散型锚索结构进行整体拉拔存在以下难点：

① 承载体上PE绞线不等长，若直接整体拉拔则绞线受力不均，绞线长的受力小，短的受力大；

② 每一检查加荷循环采用补偿张拉以后卸荷至初时荷载时由于补偿力未能全部卸掉而使绞线的残余变形无法直接测出。

在试验中我们采取以下措施得以解决：针对绞线不等长受力不均的问题，采用大千斤顶套小千斤顶，用小千斤顶进行补偿张拉，用大千斤顶进行整体拉拔的方式解决，对绞线残余变形无法直接测出的问题，则采用在整体拉拔前对一些绞线在自由状态下准确量出其长度，待拉拔结束后

再在自由状态下量出其相应长度，二者差值的平均值即为其近似残余变形量值。

每一检验循环张拉控制程序如下：

① 拉拔准备：剥除工作段的PE，洗净绞线，按图2的张拉机具组装示意图组装好；

② 先将大千斤顶空打出一定长度的活塞行程，以使每一循环结束后便于退锚，同时锁死与大千斤顶配套的高压油泵的载流阀；

③ 将相应吨位的垫环、工作锚具安放好在大千斤顶上；

④ 用YDC240Q小千斤顶按承载体由孔底到孔口方向的顺序将每根绞线预紧至 $0.1A \cdot f_{pk}$ 的力，同时顶压至6MPa锁定；

⑤ 用大千斤顶整体拉至 $0.1A \cdot f_{pk}$ 的力，测量初值、记录；

⑥ 用YDC240Q顶将长于基准绞线（以离孔口最近的承载体上的绞线为基准）的钢绞线进行该循环的下一级加荷补偿，补偿完一个承载上的绞线后再补偿下一个承载体上的绞线，顺序仍按由内向外进行，直至补偿完毕，补偿完每一根绞线后需顶压锁定；

⑦ 用大千斤顶束体张拉至该级次的荷载，

表5

锚索编号	施工锚孔深度(m)	施工锚孔孔径(mm)	拉拔机具	配套标定曲线方程(KN)	试验荷载(KN)	对应油压(MPa)	设计力值(KN)	实际安全系数
1#	25.2	前12.2m为 $\phi 172$ 、后13m为 $\phi 150$	YCW250A	$T=43.62P-10.0$	2288	52.7	1600	1.43以上
2#	20.2	152	YCW250A	$T=43.62P-10.0$	1664	38.4	1200	1.39以上
3#	15.2	前18.4m为 $\phi 170$ 、后6.8m为 $\phi 150$	YCW100-200	$T=18.50P-17.40$	1040	57.2	750	1.39以上
4#	25.2	153	YCW250A	$T=43.62P-10.0$	2288	52.7	1600	1.43以上
5#	15.2	151	YCW100-200	$T=18.50P-17.40$	1040	57.2	750	1.39以上
6#	20.2	152	YCW250A	$T=43.62P-10.0$	1920	44.2	1200	1.6以上
备注	6#锚索超过规范张拉至 $0.923A \cdot f_{pk}$ ，未见破坏，其余都拉至 $0.8A \cdot f_{pk}$ 未予破坏。							

按试验方案规定进行加压观测、记录。重复⑥、⑦工作直至加荷至该循环的最大检验荷载；

⑧按规范和《试验方案》中的规定一级一级卸荷、观测、记录；

⑨每一循环拉完后须卸掉补偿的力，再按以上②~⑦工作进行下一循环的加荷检验，如此进行直至拉拔结束；

⑩拉拔完一束锚索后，按以上①~⑨工作进行下一束锚索的拉拔。

#### 5.7.4 拉拔试验张拉成果统计与分析

①试验锚索张拉成果见表5

②锚索张拉伸长量成果记录表(表6)

③拉拔试验张拉成果分析

根据造孔成果记录，试验索6束中既有碎石土加板岩，又有全孔都是碎石土的情况，而压力分散型锚索的结构特点是分段锚固，分散承力，鉴于岩体锚固力高，土体相对较低的事实，现仅对试验索中有代表性的索体和锚于碎石土中的承载体进行分析。

4<sup>#</sup>孔：全孔碎石土，实际孔径153mm，孔深25.2m，除去工作长度锚索有效锚固段预计不超过24m，按24m计算，现土体提供总抗拔力

2288KN以上，则根据公式  $T = \pi \cdot D \cdot L \cdot q_s$ ，实际土体摩擦阻力  $q_s \geq T_{\text{试验}} / (\pi \cdot D \cdot L) = 2288 / (3.14 \times 0.153 \times 24) = 198.5$  (KPa)。

6<sup>#</sup>孔：16.06m的碎石土，4.2m的板岩，实际孔径152mm，由于承载体2到孔底的距离为约5m，因此承载体1全被锚于岩体中，计算时不考虑进去，则碎石土中的有限锚固段计算为14m，提供抗拔力  $1920 - 1920/8 \times 2 \text{根} = 1440\text{KN}$  以上，由此得出碎石土的极限摩擦阻力  $q_s \geq 1440/3.14 \times 0.152 \times 14 = 215.5\text{KPa}$ 。

试验拉拔中对6<sup>#</sup>孔进行了超规范拉拔，使每根钢筋线受力达到0.923A<sub>fptk</sub>，其余5孔均拉拔到0.8A<sub>fptk</sub>，6孔锚固体均未见破坏，由此可看出6<sup>#</sup>孔得出的 $q_s$ 值应较接近碎石土体的真实摩擦阻力值一些，这一点也可从《土层锚杆设计与施工规范》CECS22：90中的列出的设计参考值得以验证，对于中密的碎石土其摩擦阻力值 $q_s$ 介于220~250Kpa之间。由此若以6<sup>#</sup>孔得出的 $q_s$ 值返算三种吨位级别锚索的锚固段所能提供的抗拔力与各自设计值的比值(即为锚固段的安全系数)均大于1.55，满足规范中1.5的安全系数的要求。

锚索张拉伸长量情况见表6，由表中理论量

表6

锚索级别	75级		120级		160级	
	理论伸长量	实际伸长量	理论伸长量	实际伸长量	理论伸长量	实际伸长量
第一加荷循环(0.3A · $f_{pk}$ )	26mm	23mm	26mm	22mm	23mm	22mm
第二加荷循环(0.4A · $f_{pk}$ )	35mm	33mm	35mm	33.5mm	30mm	32mm
第三加荷循环(0.5A · $f_{pk}$ )	44mm	41mm	44mm	43mm	38mm	41mm
第四加荷循环(0.6A · $f_{pk}$ )	53mm	52mm	53mm	53mm	46mm	49mm
第五加荷循环(0.7A · $f_{pk}$ )	62mm	61mm	62mm	63mm	53mm	57mm
第六加荷循环(0.8A · $f_{pk}$ )	71mm	69mm	71mm	72.5mm	60mm	65mm
备注	表中伸长量是根据压力分散型锚索结构的形式特点，用小千斤顶补偿张拉以后，整体拉拔时大型千斤顶上的理论和实际伸长量。					

与实际伸长量的对比情况可看出, 试验中锚索绞线处于弹性变形中, 伸长值很有规律性, 且钢绞线的实际伸长值与理论伸长值之间的误差, 在控制范围之内, 符合规范要求。

#### 6、试验结论

①通过锚索基本试验, 得出此坡体碎石土体的摩阻力在215.2Kpa以上, 从而得出三种吨位的索体锚固段安全系数都在1.55以上, 故可以认为此种结构锚索是安全、可靠的, 同时也验证了设计的安全、合理、经济性。

②试验中采用MG-50A锚杆钻机配套使用潜孔锤、合金钻以及跟进管钻进工艺适合此坡体的实际。

③试验中改原灌浆材料水泥砂浆为普硅525#水泥, 配比为水灰比0.38, 外加10%UEA复合膨胀剂和0.6%UNF-5高效减水剂的浆体, 其可灌性

好, 强度高, 5天可达53.2MPa, 28天可达82.8MPa, 利于施工和缩短工期。

④环氧全喷涂PE钢绞线防腐性能优越, 与OVM锚具配合性很好, 很适合重点边坡工程的永久锚固与防护, 特别适合于盐害的岩土工程。

#### 7、结语

通过试验锚索的全过程施工, 工程监理、业主及设计单位验收后一致认为: 该锚索试验是成功的, 达到了既定的试验目的和要求, 为该工程提供了宝贵的试验数据, 为下一步边坡预应力锚索的正式施工提供了宝贵的试验数据, 为下一步边坡预应力锚索的正式施工积累了施工经验。同时认为: 压力分散型锚索结构对充分发挥软弱岩土体的有效锚固力和锚索杆体的防腐性能等多方面均具有较大优越性和广阔的发展前景。

## 环氧树脂涂层预应力钢绞线

为从根本上解决特殊环境中钢绞线的长久防腐问题, 适应预应力技术发展的要求, 柳州建筑机械总厂于1995年从日本引进预应力材料环氧粉末喷涂防腐工艺设备, 即对构成钢绞线的芯线及外周的六根侧线的表面用静电喷涂的方法, 均匀地喷涂上专用环氧树脂粉末并加热熔融及冷却固化, 从而在钢绞线各钢丝表面形成一层致密的保护膜, 该保护膜对各种各样的腐蚀环境具有优良的耐蚀性, 同时该新型防腐钢绞线具有与母材钢绞线相同的强度特性及相同的混凝土粘结强度, 且其柔软性与喷涂前相同, 它还具有与普通钢绞线共用锚具和张拉设备的优点, 是未来防腐领域

预应力工程首选钢绞线。

涂层制作: 将除锈后的钢绞线完全松开, 采用静电喷涂的方法使环氧树脂均匀喷涂在每根钢丝上, 固化后控制复原。经固化后的涂层钢绞线表面应光滑完整, 不应有明显的下垂、突起、异物附着等。钢绞线涂层的厚度应为0.12~0.18mm, 单位重为1.19kg/m ( $\Phi^{11}$ 5.2)。

环氧涂层钢绞线可涂油包PE管, 成为无粘结环氧涂层钢绞线。OVM环氧涂层钢绞线已用于锦沈高速公路桥梁体外预应力束。柳州建机总厂有美国PCI环氧涂层钢绞线使用指南。

(原载于《预应力技术信息》2001第(70期))