

# 均布式压力分散型锚索体系在工程中的应用

任志农

(新疆水利水电勘测设计研究院勘测总队 昌吉 831100)

**摘要:**在加固软弱岩土体的工程中采用均布式压力分散型锚索有效的避免了预应力损失,解决了其它形式锚索钢绞线受力不均的难题,提高了锚索受力安全性。采用磁通量传感器测量系统在线远程监控技术监测,可实时监测安装完成后锚索预应力的变化过程,有效的掌控边坡应力场的工况,并对其健康状况进行智能化评估。

**关键词:**加固 岩土体 压力分散型锚索 预应力 监测

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2017.03.004

## 1 工程概况

新疆渭干河克孜尔水库是建在活断层上的一座水库,是目前塔里木河水系渭干河流域上的一座以灌溉、防洪为主,兼有水力发电、水产养殖和旅游等综合效益性的大型控制性水利枢纽工程。工程规模为一等大(I)型,场区基本烈度为Ⅷ度,主要建筑物为1级,次要建筑物为3级,设计烈度为8.5度。

主坝右坝肩山体岸坡自然坡比1:1~1:0.75,为规模巨大的倾倒地,坝基为第三纪泥质胶结泥岩、砂岩互层。两条顺河向仍在活动的断层 $F_1$ 、 $F_2$ 分别从主坝右坝肩以外1.5km与副坝右坝肩下通过,使右坝肩含有相对软硬相间的岩层,层间结构面发育,据其变形的程度可划分为强倾倒地、弱倾倒地、微倾倒地。强倾倒地水平厚度24m~40m,岩层向坡外倾倒地弯曲变形强烈,随着倾倒地弯曲变形角度的增长,垂直岩层面产生张拉裂隙或裂隙,及层间错动,使岩体变得很破碎,垂直层面的张拉裂隙,有的已发展成规模较大的倾向坡外的张拉裂隙,宽度0.3m~0.6m,最大1.2m。裂隙内充填物为架空的碎块石及少量泥砂,块石直径大于0.4m~0.5m,架空空隙最大达1.2m,有的可见雨水淋漓的痕迹,张拉裂隙发育深度30m~40m,张拉裂隙之上的倾倒地变形岩体有向下滑动迹象。强倾倒地表面5m~9m,风化剧烈,短小裂隙密集,将岩体切割成碎块状。根据平硐揭露的张性滑裂缝,除充填碎(块)

石、夹泥及架空结构,充填物松散外,在滑裂缝裂面上有挤压拖拽现象,裂缝有错动的迹象。

削坡处理后发现岩体内有较多贯通裂缝,缝宽5cm~15cm。在后续的锚索钻孔过程中在不同深度遇到裂缝以至于产生卡钻、不返风、埋钻等现象。

坝基岩石裂隙水中硫酸根离子含量( $so_4$ )约在500mg/l~600mg/l,对普通水泥混凝土具有强腐蚀性。

## 2 边坡加固内容及要点

为确保该边坡的稳定性及水库安全运营,结合边坡病害分布的基本状况以及稳定计算分析,提出以下加固设计目标及措施。

### 2.1 加固设计目标

(1)对边坡岩体进行削坡减载,清除边坡强分化层,削除部分卸荷裂隙及部分不稳定小滑塌体;

(2)对边坡进行喷射砼防水、防风化封闭保护;

(3)对边坡进行固结灌浆以提高其抗剪能力;

(4)对边坡进行预应力锚索加固,使其安全稳定;

(5)设置观测设施,长观加固工程的工况及岩土体的变形情况。

### 2.2 加固处理设计

#### 2.2.1 开挖工程

土方开挖工程主要在右坝肩岸坡进行土石方明挖，在边坡设置四级马道，放缓平均坡度，坡面开挖顺开裂缝向下开挖至一级马道高程，边坡开挖坡度为1:0.06~1:0.6，一级马道以下按设计坡度1:1开挖，开挖方式以人工配合挖掘机免爆破碎头对坡面破碎及风化严重的基岩进行自上而下削除，以保证坡面岩石完整和防止受到过大的扰动。

## 2.2.2 锚喷支护工程

### 2.2.2.1 挂网喷护

为确保右坝肩山体在水库运行期间的安全，在削坡施工完成后的山体上进行锚杆及钢筋挂网施工，并喷护厚度10cm的C25一级配混凝土进行防水、防风化保护。

钢筋网采用 $\phi 8@200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 热轧I级光面钢筋，钢筋网和锚杆相连接，以加强支护的整体性，钢筋网的铺设采用现场捆扎布设。

喷射施工前清理受喷面，受喷面验收合格后，在锚筋上设立喷厚标志，受喷面作业顺序采用自下而上分段分区方式进行。完成第一层喷射后，清理回弹物料，然后进行下一层喷射施工，喷射作业分片进行，按照从下往上施喷，呈“S”形运动；喷射作业时，连续供料，并保证工作风压稳定。喷混凝土终凝2h后，喷水养护。

### 2.2.2.2 系统锚杆施工

按照设计要求的孔位、孔深、孔轴方向进行钻孔施工。采用“先注浆后安装锚杆”的方法，锚杆材料用 $\phi 25\text{mm}$ II级螺纹钢筋由人工将锚杆尽快插入充满浆液的孔内直到孔底。砂浆锚杆养护28天后，安装张拉设备加载至规定的设计吨位时停止加载。锚杆施工工艺流程见图1。



图1 锚杆施工工艺流程图

#### (1) 钻孔

锚杆钻孔采用 $\phi 52\text{mm}$ 的煤电钻钻孔，钻孔孔位根据设计要求所示间排距确定具体孔位，孔深偏差小于 $\pm 5\text{cm}$ ；孔轴方向需满足施工图纸的要求。

#### (2) 钻孔冲洗

清孔采用高压风脉动冲洗孔内岩粉，直至洁净。

#### (3) 注浆

注浆采用MZ-30锚杆注浆机边拌合边注浆，注浆水泥采用42.5MPa普通硅酸盐水泥，对于下倾式的锚杆孔，注浆管插至距孔底处50cm左右，注浆直至孔口冒浆为止。在灌浆过程中，若发现有浆液从岩石锚杆附近裂缝流出时及时封堵，以免继续流浆。锚杆注浆后，在砂浆凝固前，不得敲击、碰撞和拉拔锚杆。

#### (4) 锚杆安装

锚杆材料按施工图纸要求，选用 $\phi 25$ 螺纹钢筋。钢筋在使用前进行取样试验，合格后方可投入使用。采用“先注浆后安装锚杆”的方法，由人工将锚杆尽快插入充满浆液的孔内直到孔底。

## 2.2.3 预应力锚索工程

根据地质情况，右坝肩岸坡由于岩石滑动的不确定性加固范围稍加扩大。采用C30钢筋混凝土锚固梁，锚固梁的节点上设置预应力锚索，锚索内锚固段位于新鲜岩体内，采用均布式压力分散型预应力锚索体系，设计荷载1000kN，长度设为35m和40m交错布置，间距为4m、排距为5m。索体由6根直径为15.2mm的双层PE环氧喷涂无粘结钢绞线成束组成，锚索体中间安设一根 $\phi 20\text{mm}$  PVC管作为注浆管。

锚索垂直滑裂面布置，与水平夹角为 $-15^\circ$ 。锚固梁的砂浆锚杆间距1m，呈梅花型布置。 $\phi 22$ 砂浆锚杆长2.5m，深入岩石2.15m，进入锚梁0.35m。锚梁混凝土标号C30（二级配），采用高抗硫硅酸盐水泥，钢筋保护层35mm。

锚索施工工艺流程：钻孔→（锚索制作）安装锚索→注浆→锚墩制作→安装外锚头→张拉→封锚

#### (1) 钻孔

首先确定的钻孔位置，进行平台搭设、钻机就位、接通风管、电路，采用 $\phi 90\text{mm}$ 潜孔锤进行钻孔用压缩空气吹净浮渣后先进行充填灌浆。由于岩体破碎，裂隙发育，根据岩石情况，钻孔

采用分段钻进，分段充填灌浆。钻孔水平下倾角为 $15^\circ$ ，钻孔深 $35.0\text{m} \sim 40.0\text{m}$ 。钻孔施工前严格定位定向，倾斜角度偏差应小于 $1.5^\circ$ ，水平方向偏差应小于 $2.5^\circ$ ，详细记录孔位的地质资料。灌浆完成后待凝7天，用 $\phi 130\text{mm}$ 冲击器进行扩孔，孔内如遇到破碎或塌孔现象需再次灌浆，直到保证钻孔孔壁稳定为止，钻孔到设计深度后应反复回钻3~5次，安装锚索前应对钻孔洗孔处理，确保孔底无残渣。

### (2) 锚索制作

钢绞线采用柳州欧维姆机械股份有限公司生产的UPS15E2双层PE环氧喷涂钢绞线。锚索采用OVM压力分散型锚索结构制作。钢绞线的切割使用砂轮锯，每个内锚头外圈处钢绞线采用钢绑扎带绑扎，自由段钢绞线每间隔 $1.50\text{m}$ 采用钢绑扎带绑扎，沿锚索的轴线方向每隔 $1.50\text{m}$ 设置隔离架，锚固段每隔 $1.0\text{m}$ 设置隔离板一块。经检验合格的锚索按编号整齐、平顺堆放，存放于干燥、通风的场地。

### (3) 锚索安装

安装锚索前严格检查钻孔深度、锚索长度是否与设计相符，检查张拉段长度是否准确，外包PE管是否有破损，隔离架固定是否牢固。下锚索前对孔口进行保护，锚索一次性放索到位避免在安装过程中反复拖动索体，以防泥土、石块和杂物带入孔内，安装完毕后，对外露钢绞线用保护罩进行防护。

### (4) 锚墩制作

锚墩结构：上台面 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，基础 $1200\text{mm} \times 1200\text{mm}$ ，与锚索轴向垂直，高 $400\text{mm}$ ，锥角 $45^\circ$ ，采用C30混凝土，锚墩内设3层 $\phi 8\text{mm}$ 间距为 $150\text{mm}$ 的正方形钢筋网，钢筋两端设锚固弯钩。并预留与锚梁连接的 $\phi 22\text{mm}$ 预埋螺纹钢筋。

### (5) 锚固段的注浆

锚固段的锚固采用灌注净水泥浆工艺，将 $\phi 20\text{mm}$ 塑料管附在锚索体上，一同送入孔内，水泥净浆采用 $42.5\text{MPa}$ 高抗硫水泥，水灰比 $0.45 \sim 0.50$ 左右，用注浆泵向孔内注浆，浆液面下降及

时补注，直至浆液稳定在孔口为止。

### (6) 张拉

1) 当锚索孔口钢筋混凝土达14天龄期后（不低于设计强度的75%）即可对锚索张拉。

2) 张拉设备采用YDC240QX-200型千斤顶进行预紧，YCW150型千斤顶进行整体张拉。油压表、油泵、高压油管以及相关变形量测系统和固定设施，经有资质的质量监督检测部门标定。张拉前按标定曲线计算出与张拉加荷载对应的油表读数。

3) 张拉前，清理承压板面，并检查承压板后面的混凝土质量，锚具安装时，锚板对正，夹片片位要均匀，并打紧。用YDC240QX-200型张拉千斤顶分组单根逐一顺序张拉，预紧油压 $7.51\text{MPa}$ 。张拉过程中认真记录千斤顶的读数以及试验索在不同张拉吨位时的伸长值，记录成果及时报送监理人。每次进行锚索张拉必须通知监理及业主在场进行监控。

由于右坝肩山体为破碎的岩体，在高强应力的作用下将发生蠕变变形。完成首次张拉锁定后，锚索索体在一定时间内存在松弛现象，预应力有所损失，故在完成所有预应力锚索张拉后间隔一段时间，对所有锚索进行二次补偿张拉以满足设计要求的锁定应力。

## 3 施工的重点与难点

### 3.1 施工的重点

#### (1) 钻孔

确定的钻孔位置，进行平台搭设、钻机就位、接通风管、电路，采用 $\phi 90\text{mm}$ 潜孔锤进行钻孔用压缩空气吹净浮渣后先进行充填灌浆。灌浆完成后待凝7天，安装锚索前应对钻孔洗孔处理，确保孔底无残渣。

(2) 边坡岩体裂隙水中硫酸根离子含量( $\text{SO}_4$ )约在 $500\text{mg/l} \sim 600\text{mg/l}$ ，对普通水泥混凝土及钢材具有强腐蚀性，为保证加固体的安全性、永久性必须采用防腐性能强的钢绞线及锚具和高抗硫的水泥；

(3) 此次张拉除用油表读数和伸长量进行张拉应力控制和校核外,还采用磁通量传感器对张拉过程和张拉后预应力筋束的锚固应力进行监测,并根据监测数据对锚索进行补偿张拉,以确保锁定张拉应力精确性,满足设计及规范要求,保证工程质量;

(4) 施工过程必须有相关资质的监控单位进行监测,及时采集数据,以确保张拉安全性以及预应力的损失和补偿张拉力的大小、时机。

### 3.2 施工的难点

(1) 右坝肩山体岸坡倾倒体内局部发生过蠕变变形,倾倒体内岩体松动,风化剧烈,有不同宽度的张裂缝发育。倾倒体分布宽广,致使钻孔效率、围岩注浆低下,重复钻灌待凝直至设计孔深。使岩体的节理、裂隙得到充填固结以提高抗剪强度,降低由于岩土体在预应力的作用下蠕变使得锚固力损失;

(2) 均布式压力分散型锚索内锚段结构部件较多,需要精确的编制,又采用双层PE管环氧涂层钢绞线,因此对锚索编制运输安装需要较高的技术要求;

(3) 由于边坡山高坡陡加之工作面狭窄,锚索体长且重,施工机械、张拉设备上下移位,极易导致安全事故的发生。

## 4 本工程加固技术的关键点及应用经验

(1) 软弱岩土体中采用均布式压力分散型锚索有效的避免了钢绞线应力和锚索预应力损失;

(2) 均布式压力分散型锚索是软弱岩土体加固较好的一种方法,索体钢绞线全长等长,解决了其它形式锚索钢绞线受力不均的难题。锚固段浆体与孔壁的摩阻应力分散在三个承载体上,应力峰值极大地降低,对应每个承载体的应力分布向孔口衰减,提高了锚索受力安全性。可以充分利用锚固段地层孔壁的抗剪强度,从而提供更大的抗拔力;

(3) 采用公称直径为 $\phi 15.24\text{mm}$ 表面喷涂环

氧树脂无粘结的钢绞线(双层PE管),与之配套的均布式压力分散型YJM15-6XJA, OVM锚具避免了岩土体的应力及硫酸根离子的腐蚀,保证了张拉力的锁定值;

(4) 采用锚索可使作用力均匀分布于需加固的边坡上,对地形、地质条件适应力强,施工条件易得到满足,对岩土体基本不产生扰动和破坏,维持结构面本身的力学性能不变,对不稳定体产生主动应力,属于主动的加固技术,是不稳定岩土体加固中最有效的加固技术之一;

(5) 该均布式压力分散型锚索可重复再张拉,有效调整、改善岩体(蠕变变形)受力状态,从而保证岩土体应力场处于安全工况;

(6) 采用磁通量传感器测量系统在线远程监控技术监测,可实时监测安装完成后锚索预应力的变化过程。使预应力加固体系做到“可测”、“可调”,定期进行检测和评估,以确保锚索的安全性和耐久性。评估岩体的安全状况,便于有效的掌控边坡应力场的工况。建立边坡长期健康监测系统。力求对加固后边坡运行工况进行实时监控,并对其健康状况进行智能化评估。

## 5 结语

从工程应用中可见, OVM压力分散型锚索体系是利用索体各级锚固单元将锚索预应力进行分散的锚索结构,其结构合理,能大大提高锚索孔壁粘结力利用率,避免了岩体及内锚固段中应力过分集中,提高锚索的承载能力。重视耐久性,对锚索各部分采取了有效的防腐措施,可确保在工程有效服务年限内锚索不被腐蚀和破坏。

群锚预应力技术具有施工安全快捷、节省材料、降低造价且可以大幅有效的加固不稳定体等优点,加固工程的实施,保证了岩土体应力场处于安全工况,由此保障了水库安全运行,取得了良好的社会效益和经济效益,赢得了业主的赞誉,也为新疆水利、交通等类似工程提供了良好借鉴。