

# 宝珠寺电站高边坡喷锚支护与质量控制

杨宁瑞

(水电五局 广元昭化 628007)

**摘要** 本文通过对宝珠寺电站高边坡喷锚支护的施工过程总结,阐述高边坡喷锚支护的施工方法,并对水泥、骨料、拌合水、速凝剂等进行试验分析,以便选择适合于喷锚支护的各项技术指标,并总结出高边坡喷锚支护的质量控制标准。

**关键词** 宝珠寺 边坡 喷锚支护 质量控制 力学性能

## 1 宝珠寺电站右岸边坡地质概况

宝珠寺电站右岸布置有大型拌合楼及一系列配套工程,其拌合系统的早日形成对加快电站建设有极其重要的作用。但是位于右岸560m高程平台拌合楼内侧下游冲沟附近边坡,从403~618m高程之间,岩体松动明显,成块状或碎块状,排列零乱无规则,夹泥较多,岩石均已强烈风化;从504~603m高程之间,岩层受挤层面向上弧状拱起,岩块之间张开宽度较大,多充填次生质和岩屑,含水量较高。松动岩体上游边界为破碎带,其产状为北东75°,倾向南东,倾角38°~42°,上部发育较陡(见图1松动岩体位置示意图)。由于右岸缆机平台的开挖,造成了地表水下渗的条件,拌合楼平台内侧边坡的开挖造成了松动岩体的高陡临空面,地表水沿开挖面下渗,使得松动体内含水量增高,引起边坡塌滑,不但影响拌合楼的施工运行,还会危及缆机平台下游端基础及其外侧边坡的稳定,其岩石为页岩,裂隙发育,层面切割严重,尤以485m高程以上部位为全风化地段;又由于开挖时炮孔较深,群炮爆破,振动较剧,开挖出的边坡不宜长期暴露,让雨水浸蚀,在高温下风化

垮塌。所以经设计,施工单位共同研究决定,采用锚杆,挂网的喷锚支护措施。

## 2 水泥、骨料、拌合用水、速凝剂的选用

### 2.1 水泥

**2.1.1 水泥品种的选择** 水泥品种和标号应根据工程使用要求选择,当加入速凝剂时,还应考虑水泥对速凝剂的相容性。我们根据宝珠寺电站右岸边坡岩石情况,决定采用江油水泥厂生产的425<sup>#</sup>普通硅酸盐水泥,通过对它的细度、标准稠度、凝结时间、体积安定性及强度进行试验,其结果能够满足施工

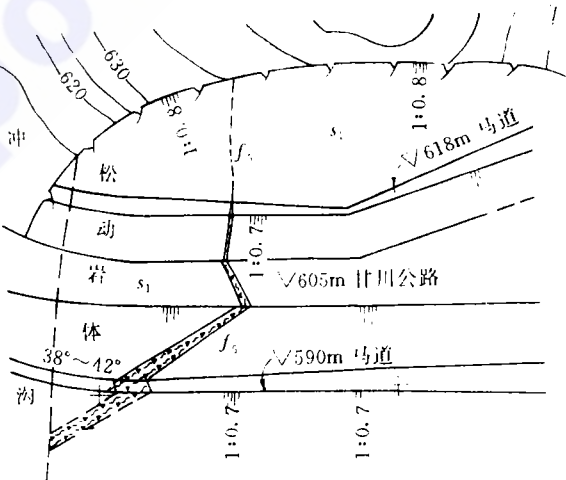


图1 松动岩体位置示意图

要求。

2.1.2 水泥与速凝剂的相容性分析 速凝剂与水泥的相容性,同水泥中铝酸三钙(C<sub>3</sub>A)和硅酸三钙(C<sub>3</sub>S)的含量有关。若C<sub>3</sub>A和C<sub>3</sub>S含量高,则速凝剂效果好。为此,我们对江油425<sup>#</sup>水泥成份进行分析,其数据见表1:

从以下三组数据可以看出,这种水泥的早期强度较高,与速凝剂相容能力强,对于右岸高边坡喷锚工程的施工具备了良好的条件。

表1 江油425<sup>#</sup>普通硅酸盐水泥成分分析

硅酸三钙 C <sub>3</sub> S(%)	铝酸三钙 C <sub>3</sub> A(%)
33	4
36	10
35	14

## 2.2 骨料

2.2.1 砂 采用白田坝人工砂,细度模数为2.5~3.2,该砂坚硬耐久,粒径小于0.075mm的颗粒含量为17%,达到了水泥与集料良好粘结的性能要求。砂子的含水量控制在4%~7%,当含水率较低时,喷射中会产生大量的粉尘;含水率较大时,混合料湿度太大,易使喷射机粘料,并可能造成堵管,影响喷射工作的正常进行。

2.2.2 石子 采用坚硬耐久的卵石或碎石,但以卵石为好,粒径范围控制在5~20mm范围内。当掺入速凝剂时,应避免采用活性二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)的石料做集料,以免发生碱-集料反应而使喷锚混凝土开裂破坏。含泥量不能超过3%,以免影响喷锚质量。

2.2.3 拌合用水 对喷锚混凝土用水的要求与普通混凝土的要求相同,不能使用污水、pH值小于4的酸性水、含硫酸量(按SO<sub>3</sub>计)超过水重1%的水及海水。浑浊度不超过5度的饮用水即可用于喷锚混凝土工程的施工。

2.2.4 速凝剂 为了缩短凝结时间,提高早期强度,增加一次喷层厚度,减少回弹损

失,改善其在含水岩石中的适应性,在喷射混凝土中加入速凝剂。但是掺用速凝剂会降低混凝土的后期强度。因此,处理好速凝剂的掺用量与速凝剂的类型,在喷锚施工中是一项很重要的工作。因而我们对速凝剂的性能进行了比较,其试验数据如表2。

表2 速凝剂性能分析

种类	主要成份	掺用量(占水泥重%)	技术性能	生产单位
红星一型	铝氧熟料 碳酸钠 生石灰	2.5~4	可使水泥在2~4min内初凝,4~8min终凝。	四川自贡市大安建材厂
782型	矾土 铝氧熟料 石灰	6~7	可使水泥在3min内初凝,10min内终凝。	上海硅酸盐制品厂

通过试验,红星一型的性能能够满足宝珠寺工地的喷锚工程需要,达到或超过了设计R<sub>28</sub>=19.6MPa的要求,见表3。

表3 红星一型强度(试验数据)

龄期(d)	抗折强度(MPa)	抗压强度(MPa)
1	3.5	11.8
2	3.9	20.4
3	4.6	24.6

2.2.4.1 速凝剂的作用原理。在水泥中掺入速凝剂后能消除水泥中石膏的缓凝作用,因为速凝剂各组分间的反应生成物NaOH能与石膏中的CaSO<sub>4</sub>生成Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,从而使溶液中CaSO<sub>4</sub>浓度显著下降,于是铝酸三钙C<sub>3</sub>A就非常迅速地进入溶液,析出水化物,并进一步与CaSO<sub>4</sub>生成含水硫酸钙,使水泥迅速凝结。

2.2.4.2 速凝剂掺量对水泥速凝剂效果的影响。速凝剂掺用量的多少,直接与水泥的凝结时间,混凝土强度有很大关系,见表4及图2。

表4 速凝剂掺入量对凝结时间的影响

速凝剂掺量(占水泥重的%)	掺入方法	水灰比	温度(°C)	凝结时间	
				初凝	终凝
0	干掺	0.4	20~25	5'57"	6'44"
2	干掺	0.4	20~25	1'18"	5'12"
3	干掺	0.4	20~25	1'24"	3'9"
3.5	干掺	0.4	20~25	1'55"	2'50"

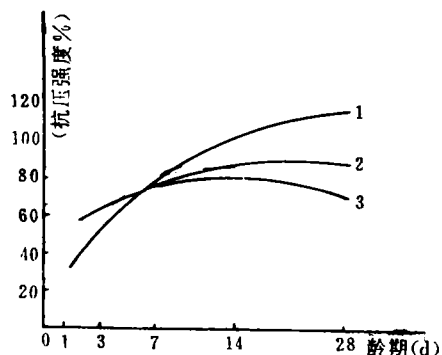


图2 速凝剂对喷锚强度的影响  
1. 无速凝剂; 2. 掺 2%; 3. 掺 3%。

若喷锚混凝土表面出现干壳、施工中粉尘较大、回弹量较大,说明水灰比太小。水灰比适宜时,混凝土表面平整,骨料、水泥配合性能好,呈水亮光泽,粉尘回弹量较小,所以喷锚混凝土水灰比应控制在 0.4~0.5 范围内。

表 5 砂率对喷混凝土性能影响

性能	砂率 (%)		
	<45	>55	45~55
回弹率	大	较小	较小
管路堵塞	易	不易	不易
混凝土强度	高	低	较高
混凝土收缩	较小	大	较小

水灰比对喷锚混凝土强度见图 3,对回弹率的影响曲线见图 4。

### 3 配合比与温度控制

#### 3.1 配合比

喷锚混凝土配合比的确定必须满足下列条件:

1. 能达到和满足设计要求;
2. 回弹量少;
3. 粉尘少;
4. 粘附性好,能得到密实的混凝土;
5. 不发生堵管现象。

#### 3.2 胶骨比

喷锚混凝土的胶骨比。即水泥与骨料之比,采用 1:4~1:4.5。水泥过少,回弹量大,初期强度增长慢;水泥过多,不仅不经济,而且会产生大量粉尘,硬化后混凝土的收缩也较大,使混凝土的抗渗、抗冻、抗侵蚀等性能严重降低。所以经过试验,水泥用量每方混凝土为 375~400kg。

#### 3.3 砂率

经过试验分析采用 45%~55%。砂率对喷混凝土性能影响如表 5 所示。

#### 3.4 水灰比

喷锚混凝土用水在喷嘴处加入,水量可由喷锚工人通过水阀控制。当喷锚混凝土表面出现流淌、滑移、拉裂时,说明水灰比太大;

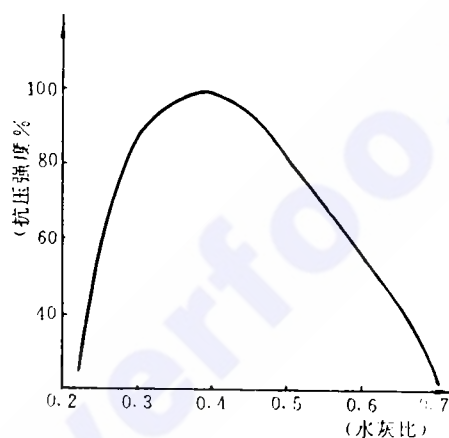


图 3 水灰比对喷锚混凝土强度的影响

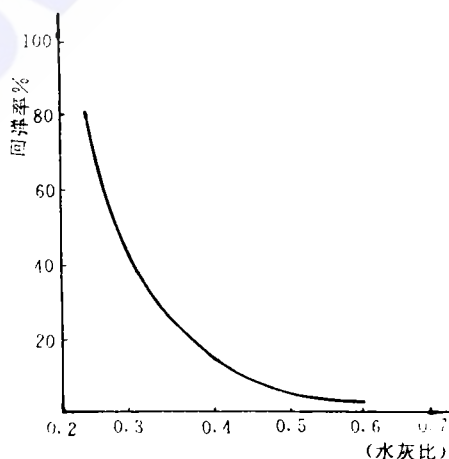


图 4 水灰比对喷锚混凝土回弹的影响

### 3.5 温度

温度对水泥与速凝剂的相容性也有影响。宝珠寺电站混凝土边坡喷锚施工在1987年9月份开始。所以对于施工期间的温度控制,温度对喷锚混凝土质量的影响是保证喷锚混凝土质量的一个重要环节。经现场测试,其温度对凝结时间的影响如表6。

表6 温度对喷锚混凝土凝结时间的影响

速凝剂名称	速凝剂掺量(%)	施工温度(°C)	凝结时间	
			初凝	终凝
红星一型	3	25	1'26"	2'40"
		20	2'27"	3'41"
		14	2'35"	3'47"

从实验数据可以看出,对于喷锚混凝土温度应控制在15~25°C之间为宜。

## 4 施工工艺的选择

宝珠寺电站右岸边坡岩体风化严重,且坡陡山高(喷锚范围:高程为420~650m,坡度1:0.7,桩号0-110~0+274),选用适宜于输送距离长,性能稳定的机械设备,对于高

边坡的防护施工是至关重要的。

### 4.1 喷锚方式

喷锚方式有干式和湿式两种,为了充分利用宝珠寺工地现有材料和机械设备,对两种施工方法进行了比较,如表7。

表7 干、湿式工艺比较

项目	干式	湿式
混凝土质量	拌合水在喷嘴加入,混凝土质量取决于作业人员的熟练程度。	能事先将水、材料正确计量,充分混合,质量容易控制。
压送距离	能进行远距离压送	不能远距离压送
粉尘	较多	较少
回弹	较多	较少
适用性	易加入速凝剂,适应性强	不易加入速凝剂,适应性差
喷头操纵	喷头脉冲少,操纵方便	常有脉冲现象,喷头操作较费劲
养护	容易	不容易

两种施工方法分析;由于干式喷锚方法比较简单,又有丰富施工经验的人员承担,所以在宝珠寺电站采用了干式喷锚支护方法。

### 4.2 工艺流程

干式

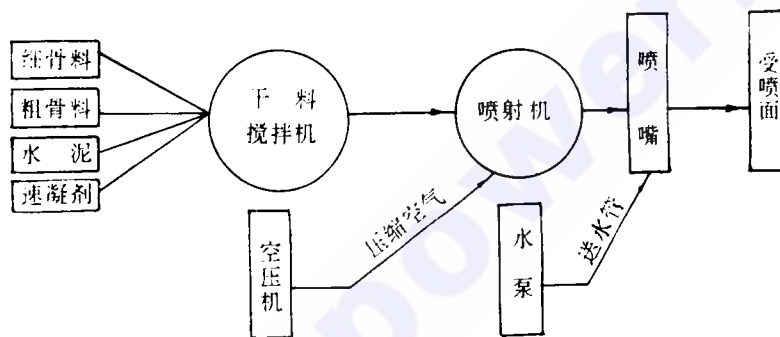


图5 干式工艺流程图

## 5 质量控制标准与主要性能分析

### 5.1 质量控制标准

质量标准的严密性和适应性,是一个工程是否优质的关键,由于国内目前还没有关

于高边坡喷锚支护的标准,对于如何提高工程质量,使工程施工在控制范围内进行,以达到和满足设计要求,是制定质量控制标准的前提条件。为此,根据宝珠寺电站岸坡岩石情况,拟定了喷锚支护标准如下。

5.1.1 岩体边坡的质量控制标准 (1)高边坡开挖应避免反坡,如出现反坡,均应处理

成顺坡或满足设计要求；(2)在喷射混凝土之前，必须用风枪冲洗喷锚面，直到无松动岩体为止；(3)边坡表面无树根、草皮、乱石、腐蚀土、有害裂隙、洞穴应堵塞后，才能喷射混凝土。

**5.1.2 喷锚混凝土质量控制标准** (1)对钢筋锚杆进行拉拔试验，每100根抽检3组，每组至少1根；(2)水泥标号不低于425#，砂子采用中砂或粗砂，含泥量不得超过3%，最大粒径在5~20mm之内，含水量在4%~7%范围之内，砂率在45%~55%之间；(3)掺加速凝剂不能超过3%，喷锚混凝土水灰比在0.4~0.5为宜；(4)对于喷锚施工，要求喷射距离在0.8~1.2m，喷射角度在70°~100°，喷射稠度水灰比在0.5~0.55之间；(5)喷层厚度的控制。埋设有刻度标志的标志桩或者在锚杆上设置厚度标志，底层厚度控制在3~4cm，面层厚度在8~10cm左右，在检查时每100m<sup>2</sup>检查3点，也可钻孔检查其厚度；(b)锚杆长度大于孔深6~10cm，除去污物、铁锈，锚杆长度偏差不得超过10mm；(7)为保证锚固质量，不许用水冲孔，如需清孔，可用风枪冲洗；(8)要求锚孔注浆饱满，防止锚杆松动；(9)喷锚混凝土终凝2h后，必须洒水养护；(10)试样每100m<sup>2</sup>取1组，每组至少3个。

## 5.2 主要性能分析

喷锚混凝土的性能除与原材料的品种和质量，拌合物配合比，施工工艺和施工条件等因素有关外，还与施工人员的技艺有直接关系，下面对力学性能等方面加以分析。

### 5.2.1 力学性能

1. 抗压，抗拉强度。当拌合物高速向受喷面喷射时，水泥颗粒和集料的重复猛烈冲击，使混凝土层连续得到压密，同时喷射工艺可以采用较小的水灰比，这就保证了喷锚混凝土具有较高的抗压和抗拉强度，其强度值经过试验列于表8中。

表 8

水 泥	配合比	速凝剂 (占水泥 重量%)	抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)
			3d	28d	28d
普通硅酸 盐 425 号	1:2:2	0	10~14	30~40	1.2~3.4
水泥	1:2:2	4.0~2.5	16~20	18~23	2.10~3.56

试件尺寸:10cm×10cm×10cm，抗拉强度用劈裂法求得，掺入速凝剂能使喷锚混凝土的早期强度明显提高。

2. 粘结强度。喷锚混凝土必须考虑的粘结强度有两种:即抗拉粘结强度和抗剪粘结强度。抗拉粘结强度是衡量喷锚混凝土在受到垂直于结合界面上的拉应力时保持粘结的能力;而抗剪粘结强度则是抵抗平行于结合面上的作用力,实际上作用在粘结界面上的应力则是这两种应力的结合,喷锚混凝土的粘结强度见表9。喷射混凝土前对受喷面的清洗,对于喷锚混凝土与其它材料的粘结强度有很大影响。因此,受喷面必须清理干净。

表 9 喷锚混凝土的粘结强度

类 型	配合比	速凝剂	粘结强度 (MPa)
与岩石粘结	1:2:2	0	1.5~2.0
与岩石粘结	1:2:2	2.5~4	1.0~1.5

### 5.2.2 变形性能

收缩,喷锚混凝土包括干缩和热缩。干缩主要由水灰比决定,较高的用水量会出现较大的收缩,而粗集料则能限制收缩的发展。因此,采用粒径较大,级配良好的粗骨料,可以减少干缩;热缩取决于水泥,水化热所导致的温升,水泥用量低和速凝剂掺量少的喷锚混凝土热缩较小,薄层结构的热缩也比厚层结构少。

### 5.2.3 耐久性

1. 抗冻性。宝珠寺电站最冷期温度为5~10℃,所以抗冻性只作分析,没有做试验。喷锚混凝土的抗冻性较好,由于在喷射过程中,会自动带入一部分空气,它有助于减少水的结冻压力对混凝土的破坏作用。坚硬的集料,较小的水灰比,较多的空气含量与适宜的气泡组织,都有利于提高喷锚混凝土的抗冻



性,相反采用软弱的多孔易吸水的集料,密实性差或混入回弹料并出现蜂窝,夹层及养护不当而造成早期脱水的喷锚混凝土不可能有良好的抗冻性能。

2. 抗渗性。影响喷锚混凝土抗渗性的主要因素是水和水泥用量、骨料以及养护条件,喷锚混凝土固有的低水灰比和高水泥用量有利于提高抗渗性。级配良好的集料,密实度和孔隙率低均可增加防水性能。

## 6 结 语

宝珠寺电站右岸高边坡防护工程,经过两年多的施工,完成喷锚面积 17333.5m<sup>2</sup>。保护了边坡的稳定,为右岸拌合系统的早日形成和投产赢得了时间,充分体现了喷锚支护施工简单,防渗、防风化效果好的特点,为宝珠寺电站建设边坡的防护提供了成功的经验。

## 二滩水电站河床胜利截流

二滩水电站比原计划提前 14 天,于 1993 年 11 月 26 日下午 3 点 23 分河床 1.5<sup>#</sup> 戛堤胜利合龙,大江截流成功雅砻江被拦腰截断,江水驯服地流进世界最大的左右两个高 23m、宽 17.5m 的巨型导流洞,绕过坝区流向下游。承担大江截流的中外施工企业在现场围堰桥上升起了中、意、法三国国旗,庆祝这项关键性工程的顺利完成。

12 月 11 日,中共中央政治局委员、国务院副总理邹家华视察了二滩水电站,他代表党中央、国务院及江泽民总书记、李鹏总理对二滩水电站截流成功表示热烈祝贺,对全体建设者表示慰问,对参加这一工程的外国朋友表示感谢;他要求把二滩水电站建设成全世界质量最好的工程。

二滩水电开发公司总经理孙中弼代表全体建设

者感谢党和国家领导同志的关心,表示不负重托,努力工作,确保质量和工期,用好每一个铜板,按期建成发电。

12 月 12 日上午,邹家华副总理代表党中央、国务院召开了二滩水电站建设现场办公会,就工程进展情况,以及需要解决的问题等发表了重要讲话。

二滩水电站位于四川攀枝花市境内,是我国水电建设史上一项具有里程碑意义的工程,它拥有中国第一座 240m 的高坝,我国第一次采用单机容量 55 万 kW 的大型水轮发电机组,总装机容量 330 万 kW。工程建设的规模、技术的复杂和施工的难度均是前所未有的。

(二滩水电开发公司 陶 涛)

## 羊湖电站引水隧洞全线贯通

1993 年 10 月 1 日晨 4 时羊湖电站长达 5883m 的引水隧洞全线贯通。羊湖电站自 1989 年复工兴建以来,引水隧洞的施工一直是人们关心和担心的焦点,羊湖电站能否按期建成发电引水隧洞是关键。引水隧洞通过地段工程地质、水文地质条件复杂,塌方、涌水时有发生,洞内缺氧更为严重,施工条件极为艰苦,给现场设代和施工工作带来很大困难。为确保引水隧洞按时贯通,成勘院驻现场设代人员与武警水电官兵一道,发扬“羊湖”精神,不怕苦、不怕累、

不怕流血、流汗,深入施工第一线,哪里有困难,哪里有危险,哪里就有设代人员。成勘院战斗在羊湖工地的同志,急工程所急,想工程所想,不分白天、黑夜,放弃了星期天、节假日休息时间,哪里需要就奔向哪里。在设代人员的密切配合与支持下,经过三年时间的艰苦努力,克服了重重困难,按期完成了引水隧洞石方洞挖任务。羊湖电站引水隧洞的顺利贯通,为工程按期建成发电奠定了基础。

(摘自《成勘院报》1993 年第 20 期)