

喷锚支护施工与管理

——渔子溪二级水电站引水隧洞衬砌经验之一

左显成

(水利电力部第十工程局)

一、工程概况

渔子溪二级水电站引水隧洞支护，计有钢筋混凝土、浇注混凝土、喷射混凝土、锚喷和不衬砌等五种类型。

引水隧洞总长为7723m(包括汛期引水隧洞112m)。断面为圆形和马蹄形，开挖断面36~42m²，隧洞纵坡3.536‰~6.639‰。喷锚衬砌段总长5455m，为隧洞全长的70.8%。喷射混凝土量为25 100m³，锚杆10 530根，喷敷混凝土面积96 281m²。

隧洞最大埋深830m。岩体为花岗闪长岩、石英岩、变质岩等，较完整，坚固系数 $f=2\sim7$ 之间，属13~14级岩类。岩石单位弹抗系数 $K_0=150\sim900\text{kg}/\text{cm}^3$ ，湿抗压强度 $R_w=900\sim1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

二、喷锚支护施工

喷锚支护分一次喷锚支护和二次喷锚支护。一次喷锚支护为隧洞开挖过程的安全支护；二次喷锚支护为永久性支护，均为200[#]混凝土。

(一) 一次喷锚支护

一次安全支护是根据开挖过程中，围岩可能出现变形失稳所确定的一种支护形式。

隧洞一次性支护采用以下五种类型：

1. 局部锚杆支护 隧洞围岩整体性较好，由于岩体受节理、裂隙等互相切割形成不稳定体，均采用局部插入式水泥砂浆锚杆支护。锚杆直径为 $\varnothing 18\sim 20\text{mm}$ 螺纹钢筋，并垂直于被裂隙切割的层或块体布置，长度3m。

2. 系统锚杆 在隧洞开挖施工中，围岩节理、裂隙很发育，有塌方的危险，采用系统锚杆支护(图1)，以提高围岩的自稳能力。锚杆采用 $\varnothing 18\sim 20\text{mm}$ 螺纹钢筋，杆体插入岩石3m，呈梅花形布置。锚杆间距1.5m左右，横断面排距1.3m，锚杆垂直于隧洞周边。

3. 喷锚支护 围岩较软弱，节理、裂隙较发育，爆破将引起局部塌方，先施喷5~7cm厚混凝土，再布系统锚杆，使围岩稳定。

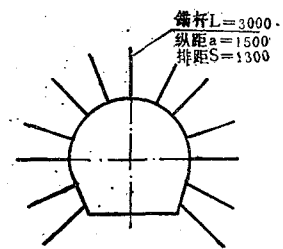


图1 系统锚杆支护

4. 喷、锚、挂网、再喷 断层带由于挤压错动, 形成破碎带, 开挖爆破后, 即出现掉块或塌方现象。这类围岩, 首先用喷混凝土封闭, 再作系统锚杆和挂金属网并焊接, 使金属网成为整体, 再喷射混凝土。

5. 钢拱架与喷锚支护 2*支洞下游主洞有一段长约330m, 因 f_{e4-7} 断层走向 ($60^\circ \sim 65^\circ \text{NW}$), 与洞轴线 (方位角 $63^\circ 20'$) 交角很小, 且倾角 $50^\circ \sim 58^\circ$, 对隧洞开挖施工带来了很大困难。

该段围岩的坚固系数 $f=2$, 单位弹抗系数 $K_0=250 \text{ kg/cm}^3$, 岩性以中粗花岗岩闪长岩为主, 局部夹有长英岩和石英岩。断层带宽6m, 由糜棱岩、断层泥、压碎岩块等组成, 并有地下水。

开挖过程中, 经喷锚支护仍有坍塌, 左边顶拱坍方高度约3m, 宽度3m, 长10m左右, 迫使采用11kg 钢轨拱架和喷锚联合支护 (见图2)。

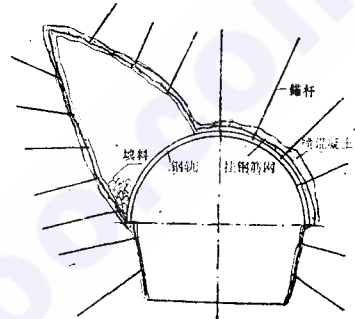


图2 钢拱架与喷锚支护

(二) 二次喷锚支护

二次喷锚支护按施工设计图进行永久性的喷锚衬砌施工, 要求喷锚支护有较好的可靠性和耐久性; 控制喷射混凝土的厚度和表面平整度 (起伏差), 以满足过水要求。

1. 二次支护的喷锚类型 引水隧洞的喷锚支护分四种类型, 详见表1。

表1 渔子溪二级水电站喷锚支护类型

喷锚类型	长度 (m)	设计最小厚度 (cm)	最大起伏差 (cm)	锚杆 (根)	挂网钢筋	备注
甲型	1556.070	10	20			设计喷混凝土标号为200
乙型	2723.71	5	25			设计喷混凝土标号为200
丙型	1125.933	10	20	螺纹钢 $\phi 20 \text{mm}$, 长 3m共10530根	$\phi 10$, 网格 $20 \times 20 \text{cm}$	设计喷混凝土标号为200
加强丙型	48.47	15	20		$\phi 10$, 网格 $15 \times 15 \text{cm}$	

2. 喷锚施工新工艺 二次支护喷锚施工是按照设计和喷锚规范进行的。为了使喷锚达到设计和规范要求, 对喷锚作为一项重点技术攻关试验, 取得了可喜成果。

(1) 施工程序。首先检查隧洞开挖横断面 (按测量断面图) 是否达到规定要求, 然后再插入锚杆和挂钢筋网, 并将钢筋网与锚杆焊为整体, 以免喷射混凝土时出现弹动, 而后挖出隧洞周边脚, 冲洗岩面, 进行中间验收。

喷射混凝土先喷隧洞周边脚, 再喷边墙, 最后喷顶拱。借鉴渔子溪一级隧洞运行中边脚部份喷混凝土易受水流冲刷, 因此, 本工程对洞边脚处理给予了足够重视。

(2) 分段和喷射方法。引水隧洞喷混凝土分段, 一般按喷射机单根输料管控制范围而定 (大约20m左右)。

喷射混凝土为人工操作喷头, 螺旋式喷射, 沿边墙水平线上升, 最后封顶拱。

(3) 渗漏水段处理

a. 钻孔安设导管排水。在渗漏水漫溢的地方, 钻2~3m深的孔, 孔径为40~44mm,

插入内径 25.4mm 的橡胶管排水, 胶管长度为 2~4m, 使渗漏水集中在管内排出。

b. 插管导水。这种方法只用于渗漏水较小的地方。在喷混凝土时, 用橡胶管对准渗水集中点, 然后在胶管周围喷射混凝土, 使滴水 and 渗漏水从胶管中引出。

c. 设导水孔。局部地方零星滴水, 虽然很小, 但也会使喷混凝土受滴水潮解坍塌。对这种情况用木棍顶到滴水点, 再喷混凝土, 到喷平后, 将木棍转动抽出, 形成滴水孔。

d. 加大速凝剂掺量。滴水潮湿洞段, 按设计配比掺速凝剂用量不能奏效时, 适当增加速凝剂的掺量, 可以封住渗漏水或使滴水集中排出。对使用红星一号速凝剂时, 其掺量最多不能超过水泥用量的 4%。

(4) 冬季施工。本电站位于阿坝州汶川县境内, 冬季气温较低, 有 3~4 个月平均气温低于 5°C, 最低达 -9.5°C。在此气温下进行喷混凝土施工, 应有保温措施。本工程喷混凝土的拌合设备设在洞外, 故加设了保温棚。由于洞内气温高于洞外, 对喷射混凝土基本无不利的温度出现, 可以正常喷射。

三、施工管理

(一) 施工组织

喷锚施工组织专业化生产, 干喷法约 17~20 人, 水泥裹砂法喷射混凝土约 22~27 人。日两班制作业, 每个班组使用一台喷射机, 每台机负责施工 20m。这便于施工管理和质量检查。

(二) 施工技术

1. 质量管理

(1) 喷锚原材料。喷锚原材料所用水泥要求新鲜, 钢材有合格证。并经试验室对水泥、钢材作抽样检查。

砂的细度模数 2.4~2.5, 砂子饱和面干比重 2.72, 石子饱和面干比重 2.78。

喷混凝土和砂浆锚杆用水与混凝土用水要求同。

红星一型速凝剂能满足喷射混凝土的初凝(2分钟)、终凝(10分钟)的要求。

减水剂在前期用木钙与 FDN 复掺, 后期为 NF-1 与木钙复合掺用。通过试验和应用均有良好的减水效果。前期减水剂有沉淀现象, 后期经调整改换品种, 未再出现沉淀现象。

(2) 抽样检查。水泥砂浆配合比为水泥:砂 = 1:1。

喷射混凝土各种工艺均用大板(40×45×15cm)取样(大板为木板直角边和钢筋直角边模两种), 作为抗压和抗拉试件; 另取样作抗渗、弹性模量。其各种试件试验结果见表 2。

(3) 喷射混凝土表面控制和喷层厚度控制。喷射混凝土表面的起伏差是用半径 3.3m、弧长 3m 的样架量测, 以控制喷后表面的平整度(详见《四川水力发电》1986 年第二期 30~31 页)。实测起伏差成果见表 3。

喷射混凝土厚度控制, 采用钻孔法和预留孔法。每 10m 洞长布 7 个测点, 顶拱布 3 个

(沿圆心角45°、90°、125°布孔)、边墙各布2孔。用钢卷尺量测。若不满足最小设计厚度则补喷。成果见表3。

表2 喷射混凝土物理力学指标

喷射工艺	试件组数	水泥标号	设计混凝土标号	抗压强度	抗拉强度	粘结强度	弹性模量	抗渗指标	离差系数	合格率	保证率	备注
				kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²		C _V	%	%	
干喷法	69	425 525	200	201								
水泥裹砂法	53	525	200	241	17.6	6.05* 6.24*	2.7×10 ⁵	≥37	0.156	100	86	1984年7月
水泥裹砂法		425	200	343					0.13	100	99.94	1985年10月
双裹并列法	27	425	200	359	27.7			>20	0.092	100	99.00	1985年10月
水泥裹砂法	23	425 525	200	300					0.12	100	99.7	1984年7月至 1985年3月
潮料掺浆法	36	425	200	264.5	20.6				0.182	94	91	1985年10月
综合值	405	425 525	200	259					0.300	76	77	1984年至 1986年

* 直接拔拉法和劈裂法

表3 喷射混凝土起伏差和厚度实测值

支护型式	隧洞长度 (m)	起伏差测点 (个)	平均起伏差 (cm)	最大平均起伏差 (cm)	厚度测点 (个)	平均喷层厚度 (cm)
甲型	850.5	170101	5.24	15.15	598	22.10
乙型	1484.0	29380	4.71	15.01	1043	17.93
丙型	877.7	17554	5.69	15.81	617	22.17
戊型	46.0	920	7.40	18.40		
综合值	3258.2	65164	5.14	15.28	2258	20.94

表4 喷射混凝土经济分析和粉尘浓度

喷射工艺	水泥用量			综合工效		喷射混凝土单价 元/m ³	节约投资 %	平均回弹率 %	小于5微米的粉尘浓度 mg/m ³	备注
	设计量 kg/m ³	喷敷量 kg/m ³	节约 %	完成量 m ³ /工日	提高工效 %					
干喷法	464	573	0	0.142	0	230.68	0	24.1	86.5	1984年8月
干喷法	464	610	0	0.162	0	213.86	0	24.1	86.5	1985年9月
水泥裹砂法	404*	432	33	0.198	33.4	182.85	20.7	14.3	8.06	1984年8月
水泥裹砂法	370*	384	37	0.306	88.8	186.61	12.7	11.2 网	2.4 (7次)	1985年10月
双裹并列法	320*	382	37.2	0.310	91.0	210.23	1.7	7.6	2.9	1985年10月
潮料掺浆法	300*	364	42.1	0.284	75.3	186.98	12.6	12.6	2.4	1985年10月

* 按理论绝对体积法计算水泥单耗量

2. 喷射混凝土经济技术指标和社会效益 锚杆支护和挂网等未作经济分析。喷射混凝土曾进行了两次测算（包括喷射混凝土的粉尘浓度分析），成果列于表4。

新工艺喷射混凝土比干喷混凝土的各项技术经济指标都有明显的优越性，说明了喷射混凝土新工艺很有推广的价值。同时，新工艺喷射混凝土粉尘浓度很小，有利于改善施工条件，保证喷射混凝土工人的身体健康，很受职工欢迎。

实测喷射混凝土容重列表5。

表5 水泥配量换算表

喷射工艺	喷射混凝土 理论容重 γ_1 (kg/m ³)	实测喷射 混凝土容重 γ_2 (kg/m ³)	折算系数	水泥实配量 (kg/m ³)	备注
水泥裹砂法	2499	2380	0.97	392	1984年8月
				359	1985年10月
双囊并列法	2447	2342	0.96	307	1985年10月
潮料掺浆法	2468	2345	0.95	285	1985年10月

四、结束语

渔子溪二级水电站引水隧洞的喷锚施工应用新工艺加快了施工速度，提高了质量，同时也改善了施工条件，降低了喷射混凝土粉尘浓度，也降低了工程造价，并节约了水泥用量，经济与社会效益十分显著。