

# 引大入秦总干渠盘道岭隧洞喷射 钢纤维混凝土施工

张 健

(中国水利水电第十工程局, 四川都江堰, 611830)

**摘 要** 本文较为详细地记述了钢纤维喷射混凝土在引大入秦总干渠盘道岭隧洞施工中的应用情况和取得的经验。

**关键词** 引大入秦工程 盘道岭隧洞 钢纤维喷混凝土 施工

## 1 工程概况

盘道岭隧洞是甘肃省引大入秦引水工程总干渠上最长的一座隧洞, 洞长 15 723 km。位于甘肃省永登县境内, 西起大沙沟双牛村, 东至毛家砂沟许家场子。隧洞穿越大通河与庄浪河流域分水岭。埋深较大 ( $H_{\max} = 404 \text{ m}$ ), 其围岩大多属 IV、V 类软岩, 有地下水洞段长约 5 km。隧洞断面形状: 直墙、圆拱, 底板为反拱, 隧洞净宽 4 2 m, 净高 4 4 m, 顶拱为半圆形, 半径 2 1 m, 反拱底板半径为 9 75 m。

盘道岭隧洞的开挖和衬砌是由日本熊谷组(株式会社)于 1986 年 1 月至 1992 年 9 月, 经过 6 年时间完成的。由于诸多原因, 该隧洞完成后出现了一些问题: 隧洞顶拱、侧墙及底板混凝土均发现不同程度的裂缝并观测到裂缝成发展趋势。为此, 甘肃省引大入秦引水工程指挥部决定对盘道岭隧洞进行加固处理。

盘道岭隧洞进口桩号为 76+ 235 000 m, 出口桩号为 91+ 958 000 m, 进口底板高程 2 211. 8 m, 出口底板高程 2 196 092 m。隧洞采用复合式衬砌方式, 整个盘道岭隧洞遗留工程分为两个组进行发包, 华水公司通过竞争获得发包工程第二组中的部分项目。即二组一标的底板混凝土挖除、置换、加厚及防腐涂层; 二组二标中的预应力锚杆制安、钢拱架安装、喷射钢纤维混凝土等。盘道岭隧洞遗留工程二组的工作范围是桩号 82+ 800 000 m 到桩号 91+ 958 000 m, 全长 9 158 m。

## 2 施工方法

### 2.1 简述

根据甘肃省引大入秦引水工程总干渠盘道岭隧洞遗留工程合同文件(YZG—盘遗 9302—1. 2)。在桩号 86+ 402 500 m 至桩号 86+ 507. 500 m 之间, 因地质条件太差, 其泥质砂岩胶结不良、遇水软化、崩解, 地下水丰富, 含有大量结晶性硫酸盐, 对已采用喷射混凝土、锚杆、钢拱架和现浇混凝土等复合衬砌的隧洞, 造成一些损害, 使该段侧墙及底板出现了大于 2 5 mm 的环向、斜向裂缝, 局部地方侧墙还出现扭曲变形。合同文件规定, 对此 105 m 段进行加固处理。即首先将已浇混凝土凿毛, 并按 1. 3 m 间距环向凿槽, 安装 80 根 I 12 钢拱架, 再在墙面上安装钢筋网(20 cm × 20 cm 间距, 96 钢筋), 随后喷射 5 cm 厚钢纤维混凝土(1 185 m<sup>2</sup>, 底板除外), 最后在已喷钢纤维混凝土面上抹 8 mm 钢丝网 400 号水泥砂浆。本文只就二组二标工程中的喷射钢纤维混凝土施工作些论述。

### 2.2 施工布置及设备选型

盘道岭遗留工程共分两个组八个标, 中标单位有五六家。隧洞内各承包商间、各标组之间, 施工干扰很大, 施工通道只有隧洞本身一个, 进、出口只有盘道岭隧洞进口、4 号斜井和出口三个, 加之隧洞长, 洞径小, 洞内通风及散烟靠自然供风等。我们决定将拌和站布置在盘道岭隧洞出口。喷射钢纤维混凝土所需动力用风, 由业主设在盘道岭隧洞出口 200 m 的一台地上, 装有两台 28 8 m<sup>3</sup>/min 电动空压机, 经一条  $\varnothing 150 \text{ mm}$  的压力钢管送于施工工作面。混凝土喷射机选用湖南常德产 HPZU -5 型喷射机。施工用水由业主从盘道岭隧洞进口一高位水池提供, 由于水源不足, 加之水量及水压沿途损耗。我们为保证喷射钢纤维混凝土施工时所需水压, 在工作面设置了数个洗净的大油桶作为贮水罐。并配用一台电压为 220 V, 扬程 8 m 的潜水泵, 施工时, 增加水压。喷射钢纤维混凝土料用手扶拖拉机从洞外

拌和场运至洞内工作面。

### 2.3 施工技术要求

合同技术规范要求,喷射钢纤维混凝土厚 5 cm ( $1.184\text{ m}^2$ ),强度为  $R_{28}=200$  号,钢纤维长度为 25 mm,直径  $\phi 3\text{ mm}$ ,每立方米混凝土内的钢纤维含量为 150 kg;水泥为抗硫酸水泥(525 号),在已喷钢纤维混凝土表面挂钢丝网( $\phi 1\text{ mm}$ ,  $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ )并用 400 号水泥砂浆(厚 8 mm)抹光。

### 2.4 施工措施

喷射钢纤维混凝土我们还是第一次,由于在进行施工准备和施工过程中,没有找到有关喷射钢纤维混凝土的施工规范,钢纤维的选用及掺量按照合同技术规范要求进行,喷射时参照《水利水电地下工程锚喷支护施工技术规范》进行,喷射顺序先边墙、后顶拱,一次性喷够设计厚度 5 cm。

### 2.5 施工方法

#### 2.5.1 材料选择

按合同技术规范要求,我们选用马鞍山钢铁公司生产的剪切型(截面形状矩形,长度方向扭曲形),长度 25 mm,等效直径  $\phi 3\text{ mm}$  的钢纤维。水泥采用永登水泥厂生产标号为 525 号的抗硫酸水泥。骨料及砂选用永登柳树砂石料场生产的成品料,砂石骨料主要物理性能见表 1。速凝剂采用四川自贡生产的奔马牌速凝剂,速凝剂凝结时间测定见表 2。

表 1 砂石骨料主要物理性能表

名称	规格 /mm	饱和面干比重	容重 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	吸水率 /%	含泥量 /%
小石	5~10	2.70	15.4	1	0.05
砂	$\phi 15\sim 5$	2.65	16.3	1.60	2.75

表 2 速凝剂凝结时间测定表

厂家	速凝剂掺量/%	初凝时间	终凝时间	室温 /	水温 /
四川	3.0	3.06	4.22	20	18
自贡	3.5	2.38	3.36	20	18

#### 2.5.2 配合比设计

根据《水利水电地下工程锚喷支护施工技术规范》SDFS7—85,选用胶骨比为水泥 砂石料=1:4,砂率 50%,水灰比 0.4,根据我们原先在引大入秦引水总干渠 39 号隧洞工程喷射混凝土的经验,并按照合同技术规范中对钢纤维掺量(每立方米混凝土 150 kg)的要求,确定配合比为 1:2.89:1.59:0.375(水泥 石子 砂 钢纤维),速凝剂掺量为边墙 3%,顶拱 3.5%。

#### 2.5.3 喷射钢纤维混凝土施工

根据我们确定的配合比配料,上料顺序为:砂、水泥、石子、钢纤维,考虑施工工作面距拌和站较远及洞内通风情况较差等因素,拌和时,适量加水,以

拌和好的混和料略显暗灰色为准。拌和时间为 3 min。拌和好的混和料用手扶拖拉机运至工作面。

在进行喷射前,首先用高压水对受喷墙面冲洗,再用高压风将受喷墙面吹干,随后即进行钢纤维混凝土的喷射工作。把速凝剂按比例(边墙 3%,顶拱 3.5%)洒到钢纤维混凝土混合料上,人工抄盘(每盘  $0.25\text{ m}^3$ )拌和均匀,然后人工上料到喷射机中。喷射机的工作压力控制在  $0.5\text{ MPa}$ ,以保证混和料到达喷头时的压力稳定在  $0.12\text{ MPa}$ ,施工用水控制在  $0.25\text{ MPa}$ 。喷射距离要求喷射手严格按施工技术规范执行,不超出  $0.5\sim 1.0\text{ m}$  的范围,水灰比控制凭目测经验,以喷层具有较好粘性,呈现湿润光泽,无干斑、无滑移流淌等现象为适度。

#### 2.5.4 施工过程中出现的问题及其处理方法

在进行喷射钢纤维混凝土施工时,从骨料的筛选,拌和时间的确定,掺加速凝剂及均匀性的控制,喷射手操作规定等环节,严格把关,但是喷射结果很不理想,混和料回弹率过大,见表 3。输送管时常堵塞,施工缓慢,为减少回弹率,节约材料,提高施工效率,我们对配合比进行了重新设计。首先在原配合比的基础上,每  $\text{m}^3$  钢纤维混凝土中增加 25 kg 的水泥用量,同时适当增大了混和料的砂率。修改后的配合比为水泥 石子 砂 钢纤维=1:2.73:1.51:0.375,速凝剂掺量不变。用新配合比进行喷射钢纤维混凝土施工,回弹率有了很大程度的改善(见表 4),但仍不理想,且有堵塞输料管现象发生。

表 3 喷射钢纤维混凝土回弹量测量数据表

时 间	9:00 ~ 10:00		10:00 ~ 13:00		13:00 ~ 15:00		合计
	10:00	12:00	15:00	17:00	17:00		
喷射方量/ $\text{m}^3$	1.00	2.50	1.75	2.00	7.25		7.25
回弹方量/ $\text{m}^3$	0.49	1.16	0.83	0.98	3.36		3.36
回弹率/%	49.00	46.40	47.43	44.00	46.34		46.34

表 4 喷射钢纤维混凝土回弹量测量数据表

时 间	9:00 ~ 10:00		10:00 ~ 13:00		13:00 ~ 15:00		合计
	10:00	12:00	15:00	17:00	17:00		
喷射方量/ $\text{m}^3$	2	2.25	2.25	1.5	8		8
回弹方量/ $\text{m}^3$	0.49	0.51	0.53	0.32	1.85		1.85
回弹率/%	24.50	22.67	23.56	21.33	23.13		23.13

为了不影响喷射钢纤维混凝土的各项性能指标,我们慎重地将钢纤维的掺量由  $150\text{ kg}/\text{m}^3$  减少到  $120\text{ kg}/\text{m}^3$ ,其他条件配合比不变。调整后的钢纤维混凝土配合比为:水泥 石子 砂 钢纤维=1:2.73:1.51:0.30。根据该配合比施工,情况得到改善,堵塞输料管现象基本排除,回弹率接近普通喷射混凝土回弹水平(见表 5)。施工进度大大加快,减少了材料浪费,后面的施工均按照这个配合比进行。在

进行隧洞顶拱喷射钢纤维混凝土时,速凝剂掺量按3.5%计,遗憾的是,由于盘道岭隧洞各承包单位间施工的干扰,喷射顶拱时,我们未能收集到混和料的回弹率。

表5 喷射钢纤维混凝土回弹量测量数据表

时 间	9 00	10 00	13 00	15 00	合计
	~ 10 00	~ 12 00	~ 15 00	~ 17 00	
喷射方量/m <sup>3</sup>	4	4.5	4.25	3.75	16.5
回弹方量/m <sup>3</sup>	0.58	0.75	0.67	0.52	2.7
回弹率/%	14.5	16.67	15.76	13.87	15.27

### 3 喷射钢纤维混凝土应注意的问题

喷射钢纤维混凝土施工与喷射普通混凝土施工大部分相同,但是,两者间也存在一些差别,故在喷射钢纤维混凝土施工时应注意以下几个问题:

#### 3.1 钢纤维掺量

喷射钢纤维混凝土中的钢纤维掺量,是影响喷射钢纤维混凝土性能的一个重要参数,其掺量决非愈多愈好。虽然我们所进行的喷射钢纤维混凝土施工工程量只有1184m<sup>2</sup>(5cm厚),实验手段也不完善,但是我们认为,钢纤维在喷射钢纤维混凝土中的掺量不应超过120kg/m<sup>3</sup>,其掺量大于此数,施工就很困难。钢纤维对喷输料管磨损较大,并容量堵塞喷浆输料管。最大的问题是造成混和料的回弹量过大;钢纤维在喷射钢纤维混凝土中的掺量亦不能过小,不然,混凝土的各种性能得不到改善。根据《钢纤维混凝土结构与施工规程》,钢纤维最佳掺量为:每立方米混凝土含80~120kg。

#### 3.2 水泥用量和砂率

在喷射普通混凝土的基础上,适当增加水泥用

量和含砂率对减少喷射料的回弹量有好处。水泥用量和砂率的增加量最好通过现场实验来确定。

#### 3.3 钢纤维混凝土的拌和

混合料搅拌时,最好采用分散设备将钢纤维均匀撒入混和料中,或者将钢纤维与其它混和料分层撒入,搅拌好的混和料以钢纤维不结团为宜。

#### 3.4 喷射的工作管

喷射钢纤维混凝土中,由于钢纤维加入后,不仅对输料管磨损大,混和料的输送阻力也相应增加,因此喷射机的工作管压应适当提高。

### 4 针对盘道岭遗留工程喷射钢纤维混凝土设计的几点建议

(1)随着钢纤维生产的工厂化,使钢纤维混凝土得以广泛应用。因为钢纤维喷射混凝土的主要特点是抗拉强度和抗弯强度比普通喷射混凝土提高许多,在进行喷射钢纤维混凝土设计时,应将挂网喷射混凝土中的钢筋网完全取消。

(2)在确定钢纤维掺量时,应严格按照中国工程建设标准化协会标准《钢纤维混凝土结构与施工规程》中的有关条款进行设计,不能主观臆断。

(3)在以喷射钢纤维混凝土为最后支护时,其外面喷敷一层水泥砂浆厚度应不小于10mm,不然,将增大施工难度;同时,应取消钢丝网设计,因为,钢丝网除了给施工增加困难外,别无益处。

作者简介

张健男 中国水利水电第十工程局 工程师

(收稿日期:1998-05-11)

## 四川省水利电力勘测设计协会第二届理事会第二次会议在蓉召开

四川省水利电力勘测设计协会第二届理事会第二次会议于1998年3月30日在水利部四川水利水电勘测设计研究院召开。

此次会议由王传智副理事长主持,谢成荣理事长作了重要讲话,名誉理事杨建、秦寿远和副理事长胡明亮以及其他常务理事等分别围绕此次会议的中心议题广泛发表了意见。

此次会议着重围绕十五大和九届全国人大会议的有关精神就当前水利建设形势和关于勘测设计改革工作等问题进行了研讨。

同时,代表们对如何使协会就发挥其会员单位与各级政

府主管部门的桥梁和纽带作用,当好各级行政部门的参谋和助手,把协会工作搞得更有成效,更加活跃进行了讨论。会议还讨论并通过了增补胡明亮为理事会常务副理事长、罗建为副秘书长的决定,并将协会的办事机构迁至水利部四川水利水电勘测设计研究院,由该院组建办事机构,负责开展协会的日常工作。

四川省水利水电勘测设计协会第二届理事会第二次会议是一次积极、民主的会议,这次会议对协会今后的工作与发展将会起到积极的作用。

水利部四川水利水电勘测设计研究院 王平