

# 大伙房水库输水工程喷射混凝土施工工艺研究

孟祥礼<sup>1</sup>, 黄晓辉<sup>1</sup>, 颜秉仁<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110122; 2. 辽宁省水利水电工程局, 辽宁 沈阳 110179)

**摘要:** 大伙房水库输水工程使用 TBM 隧洞掘进机进行挖洞工程施工, 进行了衬砌支护的喷射混凝土施工工艺及参数的研究。通过对钢纤维、聚丙烯纤维喷射混凝土的施工工艺研究, 得出适合本地区喷射混凝土的施工工艺参数, 可供其他类似地区参考。

**关键词:** 施工工艺; 流程图; 工艺参数; 湿喷法; 喷射顺序

**中图分类号:** TV544. 923

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008 - 486X(2006)02 - 0001 - 03

大伙房水库输水工程(又称“东水西调”工程), 是辽宁省“十五”期间一项重要的水利工程, 投资近 60 亿元。该工程从浑江桓仁水库坝下的凤鸣水电站库区引水, 经引水隧洞将水引至新宾县境内的苏子河, 并入浑河, 再经过大伙房水库反调节, 向辽宁中部地区的沈阳、本溪、辽阳、鞍山、营口、盘锦等城市供水。大伙房水库输水工程设计引水流量为 60m<sup>3</sup>/s, 供水保证率为 95%。该工程的建成, 将有效缓解辽宁省中部城市水资源的紧张状况, 为东北老工业基地振兴和发展打下坚实的基础。

大伙房水库输水工程是目前世界上引水隧洞最长的大型跨流域工程, 隧洞长 85. 332km, 主洞洞径 8. 2m。其中近 80km 将采用由美国生产的 TBM 开敞式隧洞掘进机进行施工, 采用大运量、长距离、可控启动、可延伸的连续皮带输送出渣技术。而作为隧洞断面岩石支撑和衬砌的重要手段之一——喷射混凝土支护, 对 TBM 隧洞掘进机掘进进度和安全影响极

大。喷射混凝土的质量和可行性在很大程度上取决于喷射混凝土的施工工艺, 而施工参数的确定是否合理, 必须通过现场试验来进行研究。

## 1 试验目的和配合比设计

### 1.1 试验目的

通过现场试验, 选择合理的施工工艺参数, 鉴别机械设备的性能, 并确认施工操作程序, 最终确定适合本工程的喷射混凝土施工工艺参数, 供本工程参考或应用。

### 1.2 配合比设计

工程设计指标为混凝土强度等级 C25、抗渗标号 W8、抗冻标号 F200。按照混凝土配合比设计的有关规程, 进行原材料的检测, 在此基础上进行混凝土配合比优化设计, 经过室内混凝土各项性能试验, 最终选定 6 种室内混凝土配合比试验方案(参见表 1)。

表 1 室内混凝土配合比试验方案

Table 1 Indoor testing scheme of mix proportion of concrete

| 试验<br>方案 | 水灰<br>比 | 外加剂掺量(kg/m <sup>3</sup> ) |       |    | 沙率<br>% | 材料用量(kg/m <sup>3</sup> ) |       |     |    |     |       | 配合比         |
|----------|---------|---------------------------|-------|----|---------|--------------------------|-------|-----|----|-----|-------|-------------|
|          |         | RG561                     | SA160 |    |         | 水                        | 水泥    | 沙   | 小石 | 钢纤维 | 聚丙烯纤维 |             |
| 1        | 0.45    | 0.6                       | 3     | 70 | 207     | 460                      | 1 215 | 521 | /  | /   | /     | 1:2.64:1.13 |
| 2        | 0.45    | 0.6                       | 3     | 70 | 205     | 456                      | 1 221 | 523 | 50 | /   | /     | 1:2.68:1.15 |
| 3        | 0.45    | 0.6                       | 3     | 70 | 207     | 460                      | 1 215 | 521 | 45 | /   | /     | 1:2.64:1.13 |
| 4        | 0.45    | 0.6                       | 3     | 70 | 215     | 478                      | 1 190 | 510 | 45 | /   | 29    | 1:2.49:1.07 |
| 5        | 0.45    | 0.6                       | 3     | 70 | 212     | 471                      | 1 199 | 514 | /  | 0.9 | /     | 1:2.55:1.09 |
| 6        | 0.45    | 0.6                       | 3     | 70 | 215     | 478                      | 1 190 | 510 | /  | 1.2 | /     | 1:2.49:1.07 |

注: 1—喷素混凝土; 2、3、4—喷钢纤维混凝土; 5、6—喷聚丙烯纤维混凝土。

收稿日期: 2006 - 01 - 02

基金项目: 沈阳农业大学青年教师科研基金项目(200341)。

作者简介: 孟祥礼(1968 -), 男, 辽宁沈阳人, 讲师, 工程师, 从事建筑材料试验研究。

## 2 现场混凝土喷射施工工艺试验

### 2.1 试验场地布置

在工地交通洞进行试验,洞内按试验方案的顺序进行布置,即素喷射混凝土、钢纤维和聚丙烯纤维喷射混凝土共6个试验段,每种试验方案面积约6m<sup>2</sup>。由于洞室较大(9.7m×7.4m),为便于施工试验,搭脚手架,铺竹跳板。

### 2.2 现场喷射混凝土施工工艺试验

本次喷射混凝土试验,根据相关资料及对湿喷法与水泥裹砂法的比较,优选湿喷法。湿喷法具有机械投入少、场地布置方便、施工环节少、易于控制质量、粉尘少等优点。

#### 2.2.1 施工工艺

湿喷法喷射混凝土施工包括前期准备工作、拌制和运输混凝土、喷射作业等一系列过程,具体喷射混凝土施工工艺流程见图1。

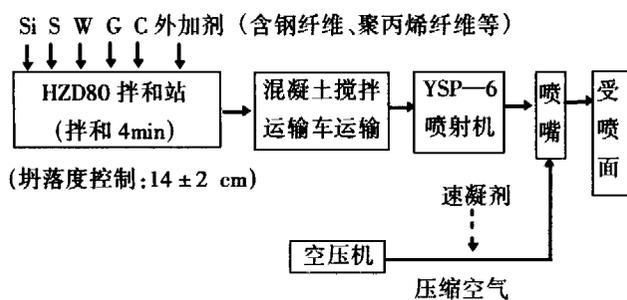


图1 混凝土湿喷法施工工艺流程图

Fig.1 Process flow for wet spray method of concrete

#### 2.2.2 喷射混凝土前期准备工作

喷射混凝土前期准备工作主要包括配合比设计、材料准备、技术供应、试验场地清理、安装喷射混凝土厚度控制标志等。

#### 2.2.3 喷射混凝土的拌制和运输

喷射混凝土的拌制采用 HZD80 型强制式拌和机搅拌。拌和时原材料称量严格控制偏差,减水剂配制成 15% 的溶液后添加。拌和钢纤维混凝土时,先将砂石料、水泥和硅粉预拌和,然后将钢纤维投入搅拌机干拌 1min,再加水拌和 3min,保证钢纤维分散均匀。对聚丙烯纤维称量后将其加入砂石中并使其被包裹,以防飞散。将硅粉预先加入水泥中混合均匀,然后加水拌和 3min,总拌和时间不少于 4min。整个称量拌和过程要由专业人员监督控制,确保拌和质量。混凝土出机坍落度控制在(14±2)cm。

喷射混凝土的运输采用 NISSAN 混凝土搅拌运输车运输,在运输过程中连续均匀搅拌,确保钢纤维或聚丙烯纤维不结团、混凝土不粘罐,运距约 1km。在现场施工工艺试验中,要加强各工序间的联系和衔接,切不可出现混凝土在运输过程中较长时间停放的

现象。另外,运输中要防止雨淋、滴水或杂物混入,喂料前应过筛,剔除可能混入的杂物。

#### 2.2.4 混凝土喷射

喷射试验采用日本产的 MEYCO SUPERMA 型喷射机。喷射前用高压水枪将围岩喷射面冲洗干净,并保持湿润,然后用砂浆将料斗及输料管路湿润,喷射机的工作风压应控制在 0.1~0.2MPa 左右,通过调节风压控制回弹率,减少粉尘。从喷枪嘴到受喷面的距离应控制在 0.6~1.0m 之间,并尽量与受喷面垂直。在喷射作业区,喷射作业一般采用先墙后拱、自下而上的喷射作业顺序,喷头作 20~25cm 直径圆圈绕动并按螺旋形路线顺时针移动进行喷射作业。在凹凸不平面喷射时,首先喷凹面,然后再喷其它部位。若一次喷射厚度不能满足设计要求,可分层喷射,一次喷层以不产生坠落和滑移为适度。后一喷层应在前一喷层终凝之后进行,若间隔时间超过 1h,应把前一喷层表面的乳膜、浮尘等杂物冲洗干净,才可喷射下一层混凝土。速凝剂由计量泵添加,混凝土通过湿喷机振动筛连续均匀供料,避免喷射混凝土输送管道堵塞。在喷层终凝 2h 后进行喷水养护,在 14d 内应使喷层表面经常保持湿润状态。对于喷射混凝土量较大的施工现场,应设专职人员养生。气温低于 +5℃ 时,不得喷水养护,必要时应采取保温防冻措施。对于有外表光滑、美观要求的洞段,在喷层初凝后,需用刮刀将超厚部分刮去,并进行表面喷砂浆或砂浆抹面处理。

### 2.3 现场试验检测结果分析

#### 2.3.1 回弹率的测定

回弹率检测方法是在岩面划出 2m<sup>2</sup> 的试验块,在地上铺彩条布收集全部回弹料,回弹料重量除以喷射料重量即为回弹率。具体各种方案回弹量的试验成果见表 2。

表2 各种方案回弹量试验成果

Table 2 Testing results of spring-back in diverse schemes

| 试验方案     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 喷射重量(kg) | 1516 | 1509 | 1506 | 1520 | 1448 | 1429 |
| 回弹料重(kg) | 311  | 293  | 285  | 216  | 275  | 264  |
| 回弹率(%)   | 20.5 | 19.4 | 18.9 | 14.2 | 19.0 | 18.5 |

注:1—素喷射混凝土;2、3、4—钢纤维喷射混凝土;

5、6—聚丙烯纤维喷射混凝土。

试验结果表明:在钢纤维喷射混凝土中掺入硅粉后,回弹量减少为 216kg,见表 2 中方案 4。

#### 2.3.2 纤维分布均匀性试验

纤维分布是否均匀与混凝土拌和时间密切相关,为了确定最佳拌和时间而进行纤维分布均匀性检测。具体方法是从喷射后尚未终凝的混凝土中切下

重约 2~3kg 的混凝土试样,观察纤维在混凝土中的分布情况,定性评价纤维分布的均匀性。

试验结果表明:在拌和 4~5min、钢纤维掺量 45kg/m<sup>3</sup> 时,纤维在混凝土中的分散均匀性最好。当拌和时间不足或纤维数量增加时,分散性变差,尤其是聚丙烯纤维的成团现象较为明显。

### 2.3.3 纤维体积率的测定

纤维体积率(钢纤维含量)的多少对混凝土的变形性能和韧性指标影响较大。按照规范和试验规程的规定,现场试验采用湿检法。检测结果表明:现场试验测得的钢纤维体积率仅达到规范要求的 90%,究其原因,主要是试验时施工者对机械性能掌握得不好,水平有待提高。

### 2.3.4 一次喷射混凝土厚度试验

混凝土喷射到围岩上后,由于重力作用,在达到一定厚度后,将会出现坍塌和剥离现象。为了检验混凝土在围岩上的一次喷射厚度,在喷射混凝土终凝前用测针插入混凝土至围岩表面,量得混凝土的一次喷射厚度。具体试验结果见表 3。

表 3 混凝土一次喷射厚度试验成果

Table 3 Testing results of a concrete sprayed thickness

| 试验方案       | 1   | 2  | 3  | 4   | 5  | 6   |
|------------|-----|----|----|-----|----|-----|
| 一次喷射厚度(mm) | 100 | 98 | 98 | 111 | 99 | 101 |

注:1—素喷射混凝土;2、3、4—钢纤维喷射混凝土;5、6—聚丙烯纤维喷射混凝土。

经过试验检测发现,掺入硅粉的钢纤维喷射混凝土一次喷射厚度值最高。

## 3 结论

经过现场喷射试验和成果检测分析,最终确定施工工艺参数为:

(1) 风压:拱部喷射 0.15~0.17MPa,边墙喷射 0.18~0.2MPa;(2) 砂浆泵性能:输送能力不小于 4m<sup>3</sup>/h,输出压力应保证输料管叉管处压力不小于 0.3 MPa;(3) 喷射距离:拱部喷射 0.8~1.0m,边墙喷射 0.6~0.7m;(4) 喷射角度:喷枪嘴垂直于受喷面;(5) 一次喷射厚度:控制在 90~110mm;(6) 养护:喷层终凝 2h 后,在环境温度 5℃ 以上喷水养护 14d;(7) 混凝土拌和物的坍落度:宜控制在 14±2cm。

关于喷射混凝土的试验研究经历了较长的时间,也取得了一些成果。而各地对喷射混凝土施工工艺参数研究成果存在差异。主要原因是原材料、特性和施工机械设备存在差异以及工程环境有变化,所以施工前要进行现场实验。要结合工程实际情况,通过试验确定各类参数。

### 参考文献:

- [1] 李亚杰. 建筑材料[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.
- [2] 唐 诏. 硅粉混凝土及其应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995:98-112.
- [3] 霍洪媛. 建筑材料[M]. 北京:中央广播电视大学出版社,2001.

[责任编辑 杨道富]

## Study of Process for Wet Spray Method of Concrete in Dahuofang Reservoir's Water Distribution Project

MENG Xiang-li<sup>1</sup>, HUANG Xiao-hui<sup>1</sup>, YAN Bing-ren<sup>2</sup>

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110122, Liaoning, China;

2. Liaoning Water Conservancy and Electric Power Bureau, Shenyang 110179, Liaoning, China )

**Abstract:** In the Dahuofang reservoir water distribution project, the TBM tunnel tunneling machine is used. This article mainly introduces the lining supports' spray method and its parameter. From the spray method study of steel fiber and polypropylene fiber to get the proper technics which are suitable for this area, then to be the reference to other similar areas.

**Key words:** technics; flow chart; technics parameter; wet spray method; spray order