

# 浅谈水电站工程中喷射混凝土现场堵管原因及应对措施

时晓龙 朱刘倩

葛洲坝集团试验检测有限公司 湖北 宜昌 443000

**摘要:** 在水电站工程中喷射混凝土主要用于边坡支护、导流洞等隧洞工程的防护与初衬以及渗漏预防工程。从混凝土配合比在施工现场实际应用来看,喷射混凝土相对于普通混凝土工作性强,施工性能好,但实际施工中,虽然混凝土坍落度、强度等设计满足要求,但依然常遇到堵管、卡管现象而影响施工。本次主要从喷射混凝土的原材料、施工配合比、施工工艺等方面进行探讨,分析喷射砼堵管的原因,探寻应对措施,为喷射混凝土施工提供参考意见。

**关键词:** 喷射混凝土施工;堵管原因;原材料控制;配合比优化;施工细节;施工组织程序优化

## 1 喷射砼及施工设备特点

### 1.1 喷射混凝土简介

喷射混凝土按施工机械不同,可分为干喷混凝土和湿喷混凝土。其中干喷技术的应用较早,操作较为简单,可以保障混凝土的密实性,高空输送具有便捷性,但是干喷技术的应用中所产生的粉尘较多,导致其回弹度极高,产生了极大的粉尘污染;湿喷技术的回弹度较低,且具有极高的生产效率,粉尘污染较小,可以提高喷射砼施工的整体质量。但其工序复杂,需要借助于专业的配套设施,成本较高。

### 1.2 施工设备种类及特点

本文根据某水电站施工常用的喷射混凝土施工设备进行讨论,主要对人工干湿喷机、机械臂湿喷机、湿喷台车等三类机械进行分析。<sup>[1]</sup>

#### 1) 人工干湿喷机施工特点及图示

- ①需专业且经验丰富喷射手手持式操作;
- ②喷射方量小、效率低;
- ③场地受限小,可进行边坡补喷等小工程量;
- ④混凝土工作性能对泵送效果影响较小;
- ⑤喷射原理靠风压将砼吹出,需要专业设备辅助(如空压机等)。



图1 人工干湿喷机

#### 2) 机械臂湿喷机施工特点及图示

- ①需培训合格的机械操作手;
- ②喷射效率较高、方量大、适合较大工程量;

③设备使用受场地面积限制地及配套设备影响;

④混凝土工作性能对泵送效果影响较大;

⑤喷射原理靠空压机输送风压将混凝土喷射出去。



图2 机械臂湿喷机

#### 3) 湿喷台车施工特点

- ①需培训合格的机械操作手;
- ②喷射效率极高、适合完成大面积工程量;
- ③设备使用受场地面积限制,但无需配套辅助设备;
- ④混凝土工作性能对泵送效果有影响但不敏感;
- ⑤喷射原理靠自身动力系统压力将混凝土喷射出去。



图3 湿喷台车

## 2 喷射砼堵管原因分析及措施

### 2.1 原材料对喷混施工的影响

#### 1) 水泥

水泥存放时间与温度、化学成分及细度变化都会影响早期水化热,若早期水化热加快,则需水量增加,坍落度损失快等造成混凝土工作性下降而引发堵管。

## 2) 外加剂

湿喷混凝土在掺入减水剂后, 会引入不稳定的气泡, 混凝土在出搅拌机后初期含气量较高, 出机口的坍落度测量值会因气泡含量偏高而偏大, 但经过罐车长时间运输搅拌, 含气量损失会很快, 则湿喷混凝土入仓前的坍落度损失会变大, 当坍落度测量值低于泵送工作范围后, 则易造成堵管的现象。此时, 应适当增加消泡剂掺量, 在混凝土出机时控制混凝土含气量, 避免因含气量损失过快, 导致混凝土坍损过大的情况。

当湿喷混凝土掺入过量高效减水剂时, 水泥浆的浆体易变得稀薄, 从而流动度大, 与集料的粘聚变差, 容易引起混凝土离析、泌水等现象。

## 3) 骨料

骨料含泥量和泥块含量超标, 碎石针片状颗粒含量超标、吸水率大等都会造成混凝土坍落度损失过大, 导致堵管现象的发生。另外, 粗骨料的超逊径含量影响砼的可泵性, 同时违反最大粒径与输送管径的比例规定, 也容易造成堵管。

## 2.2 砼配合比对喷混施工的影响

### 1) 和易性

混凝土的和易性主要指流动性、黏聚性和保水性。混凝土中水泥浆用量、稠度、水泥的品种和细度、外加剂掺入后的性能、砂率、拌合时间、出机时间以及环境和混凝土内部温度等因素都会影响到混凝土的和易性。

混凝土的和易性直接反应了混凝土的泵送性能<sup>[2]</sup>, 混凝土的可泵性一般用10s时的相对泌水率 $S_{10}$  (不宜超过40%)来表示 (一般以10s的相对压力泌水率 ( $S_{10}$ )  $\leq$  40%为可泵送)。

### 2) 砂率

砂率对混凝土的和易性影响较大, 当砂率太小, 则起到润滑作用的砂浆数量减少, 会引起砼的流动性变差, 如果配合比选用过大的水胶比则会造成砼产生离析、流浆等现象; 当砂率太大, 则骨料总的比表面积会增大, 包裹骨料的浆体需求增多, 剩余的浆体变少, 会引起砼的流动性变差、塑性、内聚性变差, 更易分解。如喷射混凝土适当提高砂率可提高混凝土可泵送性, 但砂率过高也会影响混凝土的保塑性能, 增加混凝土坍落度的经时损失率。

### 3) 水胶比

掺外加剂混凝土应保证最低用水量时, 可采取降低水胶比提高工作性且提高强度; 反之, 用水量不足无法保证水泥水化时石膏无法完全溶解, 影响外加剂对水泥适应性。

## 4) 混凝土拌合时间与环境温度

混凝土搅拌时间不能少于30s, 否则, 坍落度不稳定, 造成坍损相对加快。炎热的夏季气温大于25℃或30℃以上时, 相对于20℃时的混凝土坍落度损失要加快50%以上, 当气温低于5℃时, 混凝土坍落度损失很小或不损失。

## 2.3 喷砼堵管常见原因及误区

### 1) 常见堵管原因

混凝土在泵送的过程中的输送阻力随着坍落度的增加而减小。泵送混凝土的坍落度一般控制在160~200mm范围内, 对于距离长和高度大的情况, 泵送一般需要严格控制160mm左右。坍落度过小, 会增大输送压力, 加剧设备磨损, 并导致堵管。坍落度过大, 高压下的混凝土易发生离析而造成堵管。

### 2) 堵管误区

施工现场, 施工人员总认为混凝土坍落度越大越好, 这样会有利于泵送效果。特别是夏季施工过程中, 因环境温度过高导致坍损较大, 便使出机口的坍落度加大, 以为这样就可以减少坍损, 其实是错误的。正常湿喷砼坍落度不宜超过220mm, 若继续增大坍落度则用水量必然要增加, 水胶比会加大, 凝土强度会下降。若持续增加用水量, 则会造成混凝土离析、泌水、堵管、堵泵, 现象发生。

## 2.4 施工组织程序的影响

喷射混凝土施工时, 其工序组织及机械操作情况不当时, 也会造成喷砼的堵管, 影响正常施工。根据工程实践, 本文将主要影响其分为四个阶段, 分别为施工前准备阶段、要料阶段、喷射施工阶段以及喷砼施工完成后的阶段。<sup>[3]</sup>

### 1) 施工前准备阶段

喷射砼施工前, 应做好施工工作面的清理, 喷射手或机械手应持有相关操作证书资格并提前就位, 设备应检查气压、泵管等主要部位的情况是否正常。施工前所有准备工作就绪后, 方可进行下一步的要料施工。

### 2) 要料阶段

施工人员及试验人员应共同确认喷射施工所用的配合比型号, 应与设计要求、施工机械等匹配; 同时应根据现场施工进度, 控制好要料时间、做好车辆调度等工作, 即保证喷射施工机械保持连续工作。否则会出现“料等机”或“机等料”的情况。

### 3) 喷射施工阶段

喷射砼施工过程中, 喷射砼机械操作对是否堵管起到至关重要的影响。施工机械在砼下料前, 应将泵管进

行润洗,润洗用的水泥浆应该一定比例进行调制;喷射施工期间,应保证机械连续喂料避免泵管中进入过多空气;喷水射手应保持连续喷射作业,不易长时间停顿,以免速凝剂在喷头处堵塞;当喷射作业间断时,应重新润管后方可继续作业;当使用掺钢纤维的喷射混凝土时,喷头易被钢纤维刮毛,应关定期检查或更换喷头;机械手在喷砂作业时,应保持正确的操作步骤,随时关注泵压(或风压),避免出现压力不足或压力过载等情况出现。

#### 4) 喷砂施工完成后的阶段

喷射砂施工完毕后,机械手应及时清洗喷射机械,特别是要仔细检查泵管内及相关喷射部分,泵管的渐变段应拆卸清洗,避免混凝土残留物积聚在此处,确保机械喷射部位的畅通。

### 3 提高喷射砂可泵性措施

#### 3.1 粗骨料粒形的选择

粗骨料粒形易选择如下类型:一是最大粒径与输送管径比列(不宜大于1:3);二是超逊径(堆叠造成堵管,不宜大于5%);三是针片状含量(级配不良、卡管堵管,不宜大于5%)。

#### 3.2 粗骨料级配比例的选择

粗骨料优选级配比列建议如下:一是二级配骨料,小石:中石=60%:40%;二是三级配骨料,小石:中石:大石=30%:40%:30%。

#### 3.3 砂的选择

喷射混凝土应适当提高砂率使其具有良好的粘聚性及保水性,砂率宜大于60%;另外改善砂的颗粒级配宜采用级配良好且较小的空隙率的人工砂,细度模数(F.M)宜在2.5~2.8之间。

#### 3.4 水泥的选择

水泥用量要选用最佳值,一般大于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ,过大时将增加混凝土的粘性,使得混凝土失去流动性,增加泵送阻力,造成堵管。另外,C3A含量低、C2S含量高的水泥;水泥细度不宜过细,比表面积不宜大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 。

#### 3.5 外加剂的选择

建议采用合适掺量聚羧酸类泵送剂和引气剂,有缓凝保坍、增塑、润滑、高效减水等性能,可保证低用水量,工作性强,节约水泥,起到温控作用。另外普通萘系减水剂剂:高用水量易骨料分离,砂浆不能充分包裹住骨料起到润滑作用,拌和物和易性较差而导致堵管现象。

#### 3.6 喷混施工细节提升事项

##### 1) 润管

润管原因:首次泵送时,搅拌主机、混凝土运输车搅拌罐、料斗、管道等都要吸附一部分砂浆、用来润滑输送管道。正确的砂浆用量应按每200m管道需 $0.5\text{m}^3$ 砂浆计算,搅拌主机、料斗、混凝土运输车搅拌罐等需 $0.2\text{m}^3$ 左右的砂浆。因此泵送前一定要计算好砂浆的用量。砂浆太少易堵管,砂浆太多将影响混凝土的质量或造成不必要的浪费。砂浆的配合比也很关键,当管道的长度低于150m时,用1:1的水泥砂浆,水泥用量太少也会造成堵管。

润管程序:泵水润湿管道、料斗和混凝土缸内壁,泵水正常以后依次泵送水泥浆、1:2水泥砂浆、与混凝土同组分砂浆,最后才是泵送混凝土。

##### 2) 禁止中途加水

禁止原因:拌制好的混凝土或砂浆再遇到水时,极易造成离析,在泵送时,由于泵送压力,浆体很快被“送走”,将骨料滞留在甬管中,造成堵泵、堵管的现象。

堵管原因:因为砂浆与管道中的水直接接触后,破坏了胶凝包裹层,浆体没有了润滑作用,砂浆产生离析而引起的堵管或堵泵。

##### 3) 泵送异常处理

管道中吸入空气时:可通过反泵将混凝土倒回料斗中重新搅拌,待排出空气后再恢复泵送。

泵送工程中出现异常现象:如泵压升高且不稳定、油温升高、管道振动等情形,可能是管道堵塞,此时应查明原因,不可强行泵送。应通过多次反泵、正泵操作,使混凝土倒回至料斗,重新搅拌后再恢复泵送;可利用木锤敲击方式查找堵塞部位,若能堵住混凝土振松,可重复前述倒回混凝土方法;如果还是不行,只有拆卸管道才能清除堵塞的混凝土了。

#### 结束语

喷射混凝土在水利工程中应用广泛,但常常遇到堵管问题,影响施工进度。因此,通过优化原材料控制、配合比、施工细节和组织程序等措施,可以提高喷射混凝土的可泵性,确保施工顺利进行。

#### 参考文献

- [1]隧道工程混凝土喷射施工技术及其质量控制分析[J].段长高.交通世界,2019(20)
- [2]隧道湿喷机械手施工中堵管和高回弹率的改进措施[J].陈利新.安徽建筑,2020(27)
- [3]从原材料和配合比分析泵送混凝土现场堵管原因及对策[J].朱圣敏.混凝土,2013(4)