

# CF30W8 钢纤维泵送混凝土配合比设计

唐云宏, 李海达

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

**摘要:**通过不同掺量钢纤维组合以及现场工艺试验,设计出了满足锦屏二级水电站调压井部位要求的钢纤维泵送混凝土配合比。

**关键词:**钢纤维;泵送配合比;设计;锦屏二级水电站

中图分类号:TV7;TV43

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)06-0042-03

## 1 概述

锦屏二级水电站总装机容量为4 800 MW,单机容量600 MW,额定水头288 m,多年平均发电量242.3亿kW·h,保证出力1 972 MW,年利用小时数为5 048 h,是雅砻江上水头最高、装机规模最大的水电站。工程枢纽主要由首部低闸、引水系统、尾部地下厂房等永久性建筑物组成,为一低闸、长隧洞、大容量引水式电站。其中位于引水系统末端的四座上上游调压室规模巨大,采用差动式,在水力-机械过渡过程中压差较高(极端工况底板及升管底部最大压差约70 m),同时,竖井高度达140多m,布置在竖井内的事故检修闸门启闭机起重量达800 t。为保证上游调压室结构长期运行安全与耐久性要求,设计单位已明确对

调压室大井1 590 m高程以下大井底板、升管底部及启闭机平台框架结构混凝土采用CF30W8钢纤维钢筋混凝土,总量约4万m<sup>3</sup>。

根据相关文件要求,采用0.4、0.45水胶比,35 mm、60 mm长钢纤维和45 kg/m<sup>3</sup>、60 kg/m<sup>3</sup>的钢纤维掺量对上游调压室CF30W8钢纤维混凝土配合比进行室内试验,并对所推荐的配合比进行现场验证试验,最终确定了各项力学性能满足设计要求、施工性能满足现场施工要求、合理的配合比参数。

## 2 混凝土设计指标

混凝土配合比试验遵循混凝土配合比设计技术指标及相关标准执行,混凝土设计技术要求见表1。

表1 锦屏二级水电站钢纤维混凝土主要设计指标表

| 部位    | 强度等级 | 级配 | 抗渗等级 | 劈拉强度 /MPa | 抗折强度 /MPa | 限制水胶比 | 水泥用量 /kg·m <sup>-3</sup> | 粉煤灰掺量 /% | 钢纤维掺量 /kg·m <sup>-3</sup> |
|-------|------|----|------|-----------|-----------|-------|--------------------------|----------|---------------------------|
| 上游调压室 | CF30 | 二  | W8   | <4        | >5        | 0.45  | <300                     | 20       | 45/60                     |

备注:室内试验时,混凝土坍落度控制标准为:160~180 mm。

## 3 原材料检验

### 3.1 水泥

本次试验采用四川省凉山州乃托水泥有限公

司生产的“乃托牌”P·O 42.5散装水泥(批号W357),对水泥的各项物理性能进行检测,检测结果见表2。

表2 水泥物理性能检验结果表

| 水泥厂家           | 比表面积 /m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> | 标准稠度 /% | 凝结时间 /min |      | 安定性 | 比重   | 抗压强度 /MPa |       | 抗折强度 /MPa |      |
|----------------|--|---------|-----------|------|-----|------|-----------|-------|-----------|------|
|                |  |         | 初凝        | 终凝   |     |      | 3 d       | 28 d  | 3 d       | 28 d |
| 乃托水泥有限公司       | 362                                    | 27.2    | 130       | 197  | 合格  | 3.12 | 26.7      | 50.2  | 5.5       | 7.7  |
| GB175-2007技术要求 | ≥300                                   | /       | ≥45       | ≤600 | 合格  | /    | ≥17       | ≥42.5 | ≥3.5      | ≥6.5 |

由表2可见,本次试验所用的普通硅酸盐水

泥各项物理性能指标均符合GB175-2007规定的技术要求。

收稿日期:2017-10-18

### 3.2 粉煤灰

粉煤灰采用贵州名川粉煤灰有限公司生产的

Ⅱ级粉煤灰,其品质检验结果见表 3。

从表 3 的试验成果可以看出,该批粉煤灰所

表 3 粉煤灰品质检验结果

| 项 目           | 细度 /% | 含水率 /% | 需水量比 /% | 烧失量 /% | 粉煤灰比重 |
|---------------|-------|--------|---------|--------|-------|
| 名川粉煤灰         | 13    | 0.1    | 91      | 5.2    | 2.32  |
| DL/T5055-2007 | ≤25   | ≤1     | ≤105    | ≤8     | —     |

检指标均符合 DL/T5055-2007 中的Ⅱ级灰技术要求。

### 3.3 粗细骨料

粗细骨料采用水电七局模砂沟砂石系统生产的人工骨料,试验所用粗细骨料各项检测指标符合《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2001)规定的技术要求。

### 3.4 外加剂

减水剂采用北京冶建特种材料有限公司生产的 JG-2H 聚羧酸盐缓凝高效减水剂,引气剂采用江苏博特新材料有限公司生产的 JM-2000C

(S)型引气剂。对试验所用的外加剂进行了检测,检测内容包括:减水率、含气量、凝结时间差、泌水率比、抗压强度比,所检项目符合《混凝土外加剂》GB 8076-2008 的相关要求。

## 4 混凝土配合比试验

### 4.1 外加剂掺量的确定

本次试验中采用 0.6%、0.7%、0.8% 三个掺量进行水泥净浆流动度测定,优先选用水泥净浆流动度最大的外加剂掺量进行拌和试验。外加剂掺量优选原则为:混凝土和易性好、达到一定的减水效果(经济性)。

表 4 水泥净浆流动度试验结果表

| 外加剂<br>型号 | 掺量<br>/% | 净浆流动度   |        |       |        |       |
|-----------|----------|---------|--------|-------|--------|-------|
|           |          | 初始值 /mm | 30 min |       | 60 min |       |
|           |          |         | 测值 /mm | 损失 /% | 测值 /mm | 损失 /% |
| JG-2H     | 0.6      | 193     | 183    | 4.1   | 175    | 9.3   |
|           | 0.7      | 210     | 205    | 2.4   | 201    | 4.3   |
|           | 0.8      | 224     | 218    | 2.7   | 213    | 4.9   |

从表 4 中可以看出,减水剂掺量采用 0.7%、0.8% 时,水泥净浆流动度及经时损失均较理想,最终掺量根据混凝土拌和情况确定。

### 4.2 混凝土拌和物性能试验

根据混凝土配合比组合进行室内拌和试验及混凝土拌和物性能评价,包括:棍度、含砂、析水情况、粘聚性及流动性等。通过对每个配合比的用水量、砂率、外加剂掺量等进行调整,待混凝土拌和物的各项工作性能满足要求后进行混凝土凝结时间、坍落度损失试验,并选取两组室内拌和物性能较好的混凝土配合比进行现场工艺性试验,试验内容包括:现场坍落度损失、凝结时间。经室内拌和试验后,两种规格的钢纤维在掺量为 45 kg/m<sup>3</sup> 时和易性相对较好,遂选择 0.45 水胶比、45 kg/m<sup>3</sup> 掺量、35 mm 及 60 mm 钢纤维分别进行现场泵送试验并取样开展了力学试验,将混凝土出口坍落度控制在 160~180 mm;混凝土运输至现场后,35 mm 钢纤维混凝土施工较 60 mm 钢纤维混凝土顺利,但总体效果不理想;遂将混凝土出口坍落度增大至 190~210 mm,其余参数保持不

变后进行了现场试验。试验结果证明:掺 35 mm 钢纤维、45 kg/m<sup>3</sup> 掺量的混凝土和易性较好,现场施工顺利。现场试验情况见表 5。

### 4.3 混凝土力学性能及耐久性试验

根据各种组合的混凝土配合比进行了室内拌和试验及混凝土拌和物性能评价,包括:棍度、含砂、析水情况、粘聚性及流动性等。通过对每个配合比的用水量、砂率、外加剂掺量等进行调整,待混凝土拌和物的各项工作性能满足要求后进行抗压强度(7 d、28 d)、劈拉强度(28 d)、抗折强度(28 d)、轴心抗压强度及静力抗压弹性模量(28 d)、轴心抗拉强度及极限拉伸值(28 d)、抗渗性能(28 d)、抗冻性能(28 d)试验,并选取两组拌和物性能较好的混凝土配合比进行现场工艺性试验(坍落度 160~180 mm),试验结果见表 6。

## 5 确定混凝土施工配合比

根据上述试验结果确定了配合比参数:水胶比选用 0.45、钢纤维型号选用 RC-55/35-BN、钢纤维掺量选用 45 kg/m<sup>3</sup>、现场坍落度控制在 160~180 mm。考虑到机口到现场有约 20~30

表 5 CF30W8 钢纤维二级配泵送混凝土现场试验结果表

| 水胶比  | 减水剂掺量 /% | 引气剂掺量 /万 | 粉煤灰掺量 /% | 钢纤维长度 /mm | 钢纤维掺量 /kg·m <sup>-3</sup> | 砂率 /% | 用水量 /kg·m <sup>-3</sup> | 要求坍落度 /mm | 机口坍落度 /mm | 机口含气量 /% | 现场坍落度 /mm | 现场含气量 /% | 现场泵送情况说明  |
|------|----------|----------|----------|-----------|---------------------------|-------|-------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|---|
| 0.45 | 0.7      | 0.8      | 20       | 35        | 45                        | 46    | 163                     | 160~180   | 171       | 4.5      | 159       | 3.9      | 泵送顺利进入溜槽后流动较慢,钢纤维分布均匀,无结团                                 |
| 0.45 | 0.8      | 0.8      | 20       | 60        | 45                        | 48    | 163                     | 160~180   | 165       | 4.8      | 147       | 4.2      | 钢纤维易搭接在泵机入料口滤网上,需人工清理、混凝土下料较慢,进入溜槽后流动较慢,施工速度较慢,钢纤维有少量结团现象 |
| 0.45 | 0.8      | 0.8      | 20       | 35        | 45                        | 47    | 169                     | 190~210   | 202       | 4.7      | 185       | 4        | 泵送顺利,进入溜槽后流动顺利  |
| 0.45 | 0.8      | 0.8      | 20       | 60        | 45                        | 49    | 169                     | 190~210   | 195       | 4.6      | 170       | 4        | 钢纤维易搭接在泵机入料口滤网上,需人工清理、混凝土下料较慢,进入溜槽后流动较慢,施工速度较慢,钢纤维有少量结团现象 |

表 6 CF30W8 钢纤维二级配泵送混凝土配合比复核(强度)试验成果表

| 水胶比  | 减水剂掺量 /% | 引气剂掺量 /万 | 粉煤灰掺量 /% | 钢纤维长度 /mm | 钢纤维掺量 /kg·m <sup>-3</sup> | 砂率 /% | 用水量 /kg·m <sup>-3</sup> | 要求坍落度 /mm | 实测坍落度 /mm | 实测含气量 /% | 抗压强度 /MPa |      | 劈拉强度 /MPa | 抗折强度 /MPa | 备注 |
|------|----------|----------|----------|-----------|---------------------------|-------|-------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|------|-----------|-----------|----|
|      |          |          |          |           |                           |       |                         |           |           |          | 7d        | 28d  |           |           |    |
| 0.4  | 0.7      | 0.8      | 20       | /         | /                         | 43    | 140                     | 160~180   | 183       | 4.2      | 28.4      | 37.7 | 3.01      | 7.54      |    |
| 0.45 | 0.7      | 0.8      | 20       | /         | /                         | 43    | 140                     | 160~180   | 188       | 4        | 24.3      | 32.8 | 2.59      | 6.42      |    |
| 0.45 | 0.7      | 0.8      | 20       | 35        | 45                        | 46    | 157                     | 160~180   | 171       | 3.9      | 27.5      | 38   | 2.92      | 8.03      |    |
| 0.45 | 0.7      | 0.8      | 20       | 60        | 45                        | 49    | 165                     | 160~180   | 170       | 3.5      | 30        | 38.7 | 3.37      | 10.35     |    |
| 0.45 | 0.7      | 0.9      | 20       | 60        | 60                        | 52    | 175                     | 160~180   | 178       | 3.4      | 31.8      | 42.3 | 3.27      | 11.68     |    |
| 0.45 | 0.7      | 0.8      | 20       | 35        | 60                        | 49    | 158                     | 160~180   | 160       | 3.3      | 28.7      | 39.7 | 2.93      | 9.53      |    |
| 0.4  | 0.7      | 0.8      | 20       | 60        | 45                        | 49    | 165                     | 160~180   | 181       | 3.3      | 32.4      | 43.8 | 3.29      | 11.53     |    |
| 0.4  | 0.7      | 0.8      | 20       | 35        | 45                        | 46    | 163                     | 160~180   | 173       | 3.1      | 33.2      | 45   | 3.19      | 10.9      |    |
| 0.4  | 0.7      | 0.9      | 20       | 35        | 60                        | 49    | 165                     | 160~180   | 177       | 3.8      | 34.2      | 44.2 | 2.89      | 11.18     |    |
| 0.4  | 0.6      | 0.8      | 20       | 60        | 60                        | 52    | 175                     | 160~180   | 174       | 3.2      | 34.4      | 48   | 3.82      | 12.38     |    |
| 0.45 | 0.7      | 0.8      | 20       | 35        | 45                        | 46    | 163                     | 160~180   | 171       | 4.5      | 28.1      | 40.2 | 2.86      | 8.94      | 现场 |
| 0.45 | 0.8      | 0.8      | 20       | 60        | 45                        | 48    | 163                     | 160~180   | 165       | 4.8      | 29.6      | 40.4 | 3.29      | 9.22      | 现场 |

min 的运输时间,机口坍落度需按上限控制,用水量较试验时增加了 3 kg/m<sup>3</sup>。另外,为提高混凝土流动性,将减水剂掺量确定为 0.8%,最终确定的混凝土施工配合比基本参数见表 7。

表 7 混凝土施工配合比参数表

| 混凝土类别 | 强度等级   | 级配 | 水胶比  | 粉煤灰掺量 /% | 减水剂掺量 /% | 引气剂掺量 /万 | 砂率 /% | 要求坍落度 /mm | 材料用量 /kg·m <sup>-3</sup> |     |    |     |     |     |       |       |     |    |
|-------|--------|----|------|----------|----------|----------|-------|-----------|--------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|----|
|       |        |    |      |          |          |          |       |           | 水                        | 水泥  | 煤灰 | 砂   | 小石  | 中石  | 减水剂   | 引气剂   | 钢纤维 |    |
| 泵送    | CF30W8 | 二  | 0.45 | 20       | 0.8      | 0.8      | 47    | 160~180   | 166                      | 295 | 74 | 847 | 580 | 386 | 2.952 | 0.029 | 6   | 45 |

6 结 语

经过现场试验得知:配合比各项性能满足设计施工要求,为保证现场坍落度能满足要求,机口坍落度宜按上限控制,在实际控制过程中,坍落度每增(减)20 mm,混凝土用水量相应增(减)2~5

kg/m<sup>3</sup>。

作者简介:

唐云宏(1971-),男,四川乐山人,工程师,从事水利水电工程施工技术和管理工作;

李海达(1983-),男,云南红河人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术和管理工作。

(责任编辑:李燕辉)