

# 谏壁抽水站混凝土缺陷修补及加固

高 红<sup>1</sup>, 王贤网<sup>1</sup>, 高欣欣<sup>2</sup>

(1. 镇江市华源建设监理中心, 江苏 镇江 212003; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

**摘要:**介绍了改性聚氨酯灌浆材料、环氧灌浆材料、建筑结构胶、聚丙烯纤维、丙乳砂浆、堵漏剂等修补材料的主要性能。针对谏壁抽水站增容除险改造工程混凝土出现裂缝、碳化等缺陷, 提出采用上述材料进行化学灌浆、聚丙烯纤维砂浆和粘贴钢板加固等修补方案。经修补加固后的抽水站混凝土性能及表观状况得到明显改善。

**关键词:**谏壁抽水站; 混凝土缺陷; 混凝土修补; 加固

**中图分类号:** TV675      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1006-7647(2009)S1-0122-04

谏壁抽水站位于太湖流域湖西镇江市谏壁镇长江岸边, 是一座大型双向电力抽水泵站。该站建于 1975 年, 安装有 6 台 2.8CJ-70 型立式全调节轴流泵, 单机流量  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , 配套电机为 TDL-325/30-40 型立式同步电动机, 功率 1 600 kW。抽水站设计总流量为  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , 总装机容量为 9 600 kW, 双向进水流道, 断流方式为快速平板钢筋混凝土闸门, 其中进水流道 24 扇, 出水流道 12 扇, 共 36 扇。采用液压启闭机集中控制, 附属设施有中控室、高压输变电及与之配套的进出水河道等。抽水站对太湖湖西地区的抗旱排涝发挥了巨大的作用。受当时技术水平和施工条件限制, 设计标准难以达到现行规范要求。到大修改造时, 抽水站已运行 27 年, 工程已出现不同程度的老化, 影响正常使用。依据国家太湖治理规划要求, 该站抽水流量将由  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  提高到  $160 \text{ m}^3/\text{s}$ , 电机功率增容为 1 800 kW/台, 总装机容量提高到 10 800 kW。因此需要更换老式主机泵, 增设微机控制系统, 改造启闭机系统及其他辅助设施, 与此同时必须对主、副厂房、控制室等混凝土结构缺陷、老化部位进行修补加固处理, 以满足运行要求。该大修改造工程是“治太”的重点工程。

## 1 抽水站混凝土存在的缺陷

2002 年 3 月由扬州大学工程测试中心对抽水站混凝土结构进行了检测。裂缝检测情况见表 1。裂缝分布主要部位为边墩、胸墙、中墩、出水流道、闸门等, 裂缝宽度大都在 0.1 mm 以下, 长度为 650 ~

2 800 mm 不等。一些部位裂缝出现渗水现象。碳化为闸站工程混凝土通病, 该站位于化工企业密集的谏壁镇, 混凝土工程受当地空气和水质的腐蚀严重, 经检测抽水站混凝土表面碳化深度达 25 ~ 35 mm。上述混凝土裂缝及碳化的处理是该次增容除险加固工程中的重要内容, 也是工程的重点和难点。

## 2 混凝土缺陷修补材料

### 2.1 改性聚氨酯灌浆材料

改性聚氨酯灌浆材料由异氰酸酯与水溶性聚醚合成而得, 同时加以改性。主要性能: 黏度为 100 ~ 400  $\text{MPa} \cdot \text{s}$  (22℃); 黏结强度大于 110 MPa; 固结体抗压强度大于 1.5 MPa; 固结体抗渗性大于 0.8 MPa。

### 2.2 EA 改性环氧灌浆料

EA 改性环氧灌浆料具有强度高、收缩小、黏结好、可灌性好等优点。主要性能: 固结体抗压强度为 15 ~ 40 MPa; 固结体抗拉强度为 3 ~ 7 MPa; 黏结强度为 5 ~ 15 MPa; 黏度为 20 ~ 100  $\text{MPa} \cdot \text{s}$ 。

### 2.3 LZ 建筑结构胶

LZ 建筑结构胶是一种触变性的双组分建筑结构胶黏剂, 我国建筑结构黏结剂的出现是 20 世纪 80 年代初期。1978 年辽阳化纤总厂采用法国西卡杜尔 314 建筑结构胶把钢板粘贴在梁底部进行补强, 加固了开裂部位, 恢复正常使用功能<sup>[1]</sup>。其主要组成部分是环氧类树脂, 环氧树脂最早的专利是由 Castan 于 1938 年在瑞士取得的<sup>[2]</sup>。当各组分按一定比例混合拌匀后, 在常温下很快固化成黏膜, 对金

表 1 抽水站混凝土结构主要裂缝统计

| 构件名称     | 位置   | 裂缝部位                              | 裂缝情况        |       |    |
|----------|------|-----------------------------------|-------------|-------|----|
|          |      |                                   | 宽/mm        | 长/mm  | 走向 |
| 边墩       | 东侧   | 长江侧水泵墩交接处裂缝 1 条                   | 0.20 ~ 0.80 | 2 100 | 垂直 |
|          |      | 运河侧进水流道处裂缝 1 条                    | 0.01 ~ 0.05 | 2 800 | 垂直 |
|          | 西侧   | 长江侧水泵墩交接处有 0.6 m <sup>2</sup> 裂缝区 | 0.01 ~ 0.05 | 600   | 垂直 |
| 胸墙       | 1 号孔 | 长江侧水泵层垂直裂缝 2 条                    | 0.02 ~ 0.05 | 1 800 | 垂直 |
|          |      |                                   | 0.05 ~ 0.10 | 1 500 | 垂直 |
|          |      | 运河侧水泵层进水流道处垂直裂缝 2 条 ,水平裂缝 1 条     | 0.05 ~ 0.15 | 2 200 | 垂直 |
|          |      |                                   | 0.01        | 700   | 垂直 |
|          |      |                                   | 0.01 ~ 0.02 | 1 050 | 水平 |
|          |      |                                   |             |       |    |
|          | 2 号孔 | 运河侧水泵层进水流道处垂直裂缝 2 条               | 0.02 ~ 0.04 | 2 100 | 垂直 |
|          |      |                                   | 0.02        | 1 750 | 垂直 |
|          | 3 号孔 | 长江侧水泵层垂直裂缝 1 条                    | 0.05 ~ 0.08 | 900   | 垂直 |
|          |      |                                   |             |       |    |
|          |      | 运河侧水泵层进水流道处水平裂缝 2 条 ,垂直裂缝 1 条     | 0.02        | 1 600 | 水平 |
|          |      |                                   | 0.02        | 2 600 | 水平 |
|          |      |                                   | 0.01        | 700   | 垂直 |
| 中墩       | 4 号孔 | 运河侧水泵层进水流道处水平裂缝 1 条               | 0.01        | 700   | 水平 |
|          |      |                                   |             |       |    |
|          | 5 号孔 | 长江侧联轴层胸墙内侧垂直裂缝 1 条                | 0.05 ~ 0.10 | 1 800 | 垂直 |
|          |      |                                   |             |       |    |
|          | 6 号孔 | 运河侧水泵层进水流道处垂直裂缝 1 条               | 0.02        | 1 400 | 垂直 |
|          |      |                                   |             |       |    |
|          | 6 号孔 | 长江侧水泵层垂直裂缝 1 条                    | 0.02 ~ 0.05 | 1 100 | 垂直 |
|          |      |                                   |             |       |    |
|          | 6 号孔 | 运河侧水泵层进水流道处垂直裂缝 1 条               | 0.01        | 600   | 垂直 |
|          |      |                                   |             |       |    |
| 出水<br>流道 | 4 号孔 | 联轴层东隔墩东侧垂直裂缝 1 条                  | 0.05 ~ 0.10 | 1 600 | 垂直 |
|          | 6 号孔 | 长江侧联轴层与水泵层之间板水平裂缝 1 条             | 0.50 ~ 0.80 | 1 200 | 水平 |
| 闸门       | 1 号孔 | 长江侧东侧壁中部有垂直裂缝 1 条                 | 0.20 ~ 0.50 | 1 530 | 垂直 |
|          | 2 号孔 | 长江侧东侧垂直裂缝 1 条                     | 0.01 ~ 0.02 | 2 200 | 垂直 |
|          | 6 号孔 | 长江侧东侧垂直裂缝 1 条                     | 0.02 ~ 0.05 | 650   | 垂直 |
| 闸门       | 2 号机 | 运河侧出水门中部从顶到底有 2 条纵向裂缝             | 1.00 ~ 2.00 | 4 000 | 垂直 |
|          |      |                                   |             |       |    |

属、混凝土等材料均有良好黏结性能<sup>[3]</sup>。①黏结性能 钢与钢的剪切黏结强度(7 天)大于或等于 18 MPa ;钢与钢的抗拉黏结强度(7 天)大于或等于 20 MPa ;钢与混凝土的黏结抗弯强度和抗拉强度均发生在混凝土部分上。②结构胶抗拉强度大于或等于 18 MPa。③具有较好的抗水、油、碱及稀酸介质的能力。

2.4 聚丙烯纤维

聚丙烯纤维是以丙烯单体在一定条件下聚合而成的结构规整的结晶型聚合物。聚丙烯纤维具有耐化学腐蚀、加工性好、质轻、蠕变收缩小、价格低廉等特点,在低纤维掺量下,对砂浆混凝土的抗冲击性能、韧性、耐疲劳性能、抗渗性能等方面都有明显的改善<sup>[4]</sup>。

纤维采用了江苏省丹阳合成纤维厂生产的 C-X 系列“丹强丝”,长度 12 mm,密度小于或等于 0.91 g/cm<sup>3</sup>,抗拉强度大于或等于 300 MPa,拉伸极限小于或等于 28%,初始模量大于或等于 3 850 MPa,碱性溶解度大于或等于 0.3%,熔点在 160 ~ 170℃之间。

2.5 丙乳砂浆

丙乳砂浆为聚合物水泥砂浆,具有优异的黏结、抗裂、抗冻、防渗、防腐、抗氯离子渗透、耐磨、耐老化等性能,适用于各类混凝土结构的防渗、防腐护面及混凝土缺陷、裂缝修补工程<sup>[5]</sup>,应用实例超过 300

个,其成本低、施工方便、无毒,适合潮湿面黏结。在拨卜拦河坝修补冲磨破坏修补工程中<sup>[6]</sup>,使用丙乳砂浆修复锈蚀钢筋表面,取得了良好效果。

根据文献[7]研究表明,在水灰比和流动度相同的情况下,丙乳砂浆的透水压力在 115 MPa 以上,可见丙乳砂浆具有很高的抗渗透性。该次所采用的丙乳砂浆,灰砂比为 1:2,聚灰比为 0.275:1,28 d 抗压强度大于 30 MPa,抗拉强度大于 6 MPa,抗折强度大于 8 MPa,透水压力大于 1.8 MPa。

2.6 RD 防水堵漏剂

RD 防水堵漏剂由无机、有机多种材料复合而成,具有速凝、早强、抗渗等特点。主要性能:初凝时间小于或等于 6 min,终凝时间小于或等于 14 min,1 h 抗压强度为 12 MPa,抗渗标号大于或等于 1.5 MPa。

3 缺陷修补方案

谏壁抽水站与谏壁电厂循环水泵房建在一起,合用 1 条进出水河道,故抽水站除险加固施工须在不断流情况下进行,难度较大。根据混凝土缺陷情况,采用了不同修复处理方法。

3.1 混凝土裂缝修补

抽水站边墩、胸墙、中墩、出水流道、闸门裂缝主要是由于长期运行时温度应力、收缩以及原施工混

凝土配合比不当等因素造成的。修补分渗水与不渗水 2 种情况。经分析裂缝变形已趋稳定,从耐久性 & 运行要求考虑,需对裂缝进行处理。

### 3.1.1 渗水裂缝的修补

渗水裂缝均为贯穿缝,修补施工步骤如下:

a. 沿缝凿开宽 10 cm、深 8 cm 左右的 U 形槽,将槽清洗干净。

b. 用堵漏剂砂浆封缝,形成灌浆通道并埋设灌浆嘴,灌浆嘴间距视漏水情况而定,裂缝首尾部均应设置 1 个灌浆嘴。

c. 用改性聚氨酯浆液灌浆堵漏,根据水压情况选择灌浆压力,通常取 0.3 ~ 0.5 MPa。

d. 灌浆材料固化后,抹丙乳砂浆至与缝槽边缘混凝土面相平。丙乳砂浆修补的施工工艺为(其他部位用丙乳砂浆修补工艺与此类同):①混凝土基面处理。为了使丙乳砂浆和基底混凝土能很好地黏结,首先用钢丝刷刷除表面浮层污物,然后用清水冲洗、润湿,使混凝土基底处于饱和面干状态。②丙乳砂浆配制。按照胶砂比 1:2 配料,分别堆放,先将水和丙乳按比例混合均匀,水泥和砂混合均匀后倒入拌和盘中,然后将混合液慢慢倒入。每次拌和量控制在 45 min 以内用完为宜(人工抹压施工)。水灰比的控制标准是在满足和易性要求的前提下尽量选用小水灰比。③人工抹灰。先用丙乳净浆打底,然后抹压砂浆。每次抹砂浆厚度控制在 5 ~ 10 mm,要求砂浆层密实,表面平整光滑。④养护。丙乳砂浆抹压后约 4 h 开始初凝,此时采用加湿养护,砂浆终凝后再继续潮湿养护,养护时间为 7 d。

### 3.1.2 不渗水裂缝的修补

采用壁可注入法,施工工艺流程为:表面处理→布置注入座→裂缝口注入凝胶→表面修饰检测。

a. 表面(基面)处理。用钢绞刷沿裂缝走向清洗 5 cm 左右范围内的混凝土表面。清除各种油污、浮尘、挂灰,清洗干净后用干布抹掉表面的灰尘并用电吹风吹干。用有机溶剂清洗缝面。

b. 布设注入座。注入座采用专用 EA 封口胶泥和注浆嘴,施工中选择表面平整处布置注入座。沿裂缝走向布置 2 ~ 3 只/m,并在裂缝的分岔点增设注入座,并注意灌浆注入座的贯通。注入座用环氧腻子进行固定。

c. 封闭裂缝。沿裂缝走向 5 ~ 10 cm 范围,抹 2 mm 厚的封口胶,该封口胶的涂抹宽度可以适当加宽。注入座之间的裂缝用环氧腻子进行封闭。

d. 用压缩空气试气。检验灌浆通路是否贯穿贯通,封闭层是否漏气,如有问题,应重新封闭。

e. 注入灌浆料。选用 EA 改性环氧灌浆材料,

将注入的连接管安装到注入座上,压浆至规定的 0.4 MPa,持续 3 min 左右,压力表不下降为止。将注入器移至下一个灌入座,如此顺序进行,若裂缝有倾斜式垂直走向的,要从较低一端开始向上推进,防止压力不到而不能灌浆。

f. 通过试验确定浆液固化时间。裂缝灌浆完毕浆液固化后,拆除注入器和注入座,用机械或砂轮机去除封缝腻子,并磨平。

g. 灌浆效果检查方法(任选 1 种):①打斜孔穿过灌浆缝,做压水试验,看其是否渗水,渗水则为不合格;②取芯样,看其充填情况,并做抗压试验。

### 3.2 混凝土碳化表面修复

根据检测情况,混凝土表面碳化深度基本小于 35 mm,碳化深度小于钢筋保护层,钢筋尚未被腐蚀,未影响到结构安全。碳化修复部位主要为边墩、胸墙、中墩等。

对工程碳化混凝土采用聚丙烯纤维砂浆进行表面修补处理。对于部分碳化深度较深、结构钢筋有可能受到影响的混凝土采用外贴钢筋网的方法进行补强。将聚丙烯纤维按比例掺入到水泥砂子中,制成聚丙烯纤维砂浆,可明显提高砂浆抗裂能力,砂浆的抗渗、抗冻、耐久性得到提高,改善了砂浆的变形特征和韧性。聚丙烯纤维在砂浆中具有良好的分散性,能明显改善砂浆的和易性,减少泌水和离析,砂浆施工性能良好。

#### 3.2.1 施工工艺

聚丙烯纤维砂浆修补的工艺流程:混凝土表面处理→补配钢筋网→纤维砂浆配制→粉刷施工→检测。

a. 基面处理。用人工凿除表面已碳化部分的混凝土层,至新鲜的混凝土面。凿除中为保证砂浆的黏接,每隔 1 m 左右凿开 1 条 30 cm × 50 cm 的深凹槽,用高压水清洗,清除油污,并保持湿润达 24 h 以上,以利修补砂浆与老混凝土的结合。

b. 补配钢筋网。在需要补配钢筋网的部位,应轻凿开主筋 15 cm × 20 cm(宽 × 长),并将  $\phi 4@50$  的钢筋网焊至主筋上,保证焊接质量,再用聚丙烯纤维水泥砂浆分 2 次以上粉刷。

c. 粉刷。聚丙烯纤维粉刷厚度每层控制在 20 mm ± 2 mm,间隔时间控制在 1.5 ~ 2 min。

d. 养护。砂浆外露面用塑料膜或草袋覆盖,洒水养护 14 d 以上。

#### 3.2.2 聚丙烯纤维砂浆的配制

工程修补砂浆设计采用 M30 聚丙烯纤维砂浆。配制砂浆水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥,砂子采用粒径小于 2.5 mm 的中砂,纤维采用聚丙烯纤维,

纤维长度为 12 mm。砂浆灰砂比为 1:2,水灰比为 0.40,纤维的掺入量为  $1.1 \text{ kg/m}^3$ 。

为了使纤维在砂浆中分布均匀,首先将水泥和砂干搅拌,再加水搅拌,与此同时加入纤维搅拌。搅拌时间适当延长 1~2 min,使纤维和砂浆充分拌和,达到均匀。

### 3.2.3 修补检测

在施工现场取砂浆试块检测抗压强度、抗折强度和黏接强度。检测修补表面平整度,有无空鼓和裂缝现象。对有缺陷处进行重新凿除粉刷。

### 3.3 粘贴钢板补强修补

5 号泵电机支撑混凝土(联轴层胸墙内侧)存在 1 条长 1800 mm、宽 0.05~0.1 mm 的垂直裂缝,为避免承载力不足,设计采用粘贴钢板法进行修补加固。钢板粘贴采用南京水利科学院研制开发的 LZ 建筑结构胶。

粘贴钢板的施工工艺流程:基面处理→卸载→配制黏胶剂→粘贴钢板→固定加压→固化等强→卸载检测→钢板防腐粉刷。

粘贴钢板法施工:

a. 基面处理。在需要粘贴的混凝土表面用钢绞刷清除浮渣或粉尘,并用砂轮机进行磨平,清除到新鲜混凝土表面,用压力清水冲洗,稍干后以 30% 的盐酸溶液涂敷,于常温下放置 15 min,再用尼龙刷刷除表面腐蚀物,并用清水反复清洗干净,晾干后涂上结构胶。钢板厚 8 mm,必须进行除锈处理,用砂轮将钢板黏结面打磨粗糙,打磨纹路应与受力方向垂直。

b. 卸载。粘贴钢板前应对被加固的构件卸荷。可以拆除的机电设备进行拆除自然卸荷。在构件受力部位采用多台千斤顶均匀顶升,顶升力以不出现裂缝为准,使钢板粘贴后强度未达到时不受力为原则。

c. 配制 LZ 建筑结构胶。LZ 建筑结构胶由南京水利科学院研制,是一种触变性的双组分建筑黏结胶,甲、乙组分按 2:1 重量比进行配制。甲、乙 2 种组分混合后,用转速 100~300 转/min 的搅拌机搅拌约 15 min,至色泽均匀为止,容器不得有油污,搅拌应同一方向搅拌,避免搅拌容器内产生气泡。

d. 粘贴。黏胶剂配制好后,用抹刀同时涂抹在已经处理好的混凝土表面和钢板上,厚度为 3~1 mm,中间厚两侧薄,将钢板直接粘贴在涂刷了黏胶剂的混凝土表面,黏好钢板后,用木槌轻轻敲击钢板,如有空洞声应重新粘贴。

e. 固定加压。钢板粘贴好后,应对其固定加

压,使钢板的粘贴牢固,利用特制的夹具夹紧顶好加压,压力保持在 0.06~0.1 MPa 之间,以胶液刚从钢板边缘挤出为度。

f. 固化、卸载检测。LZ 结构胶可在常温下固化(保持 20℃ 以上),24 h 后即可拆除夹具和支撑,3 d 后可受力使用。若温度低于 15℃,应采取人工加热,一般采用红外加热或其他方法,但要均匀加热。最后用小锤轻敲检查有无空鼓现象,若在边缘可用钻具在空鼓边缘钻  $\varnothing 4 \sim 6 \text{ mm}$  的孔,压注配制好的结构胶,反复上述步骤,直至无空鼓现象。

g. 防腐、粉刷。构件加固完毕后,钢板表面可以直接粉刷丙乳砂浆或聚丙烯纤维砂浆进行保护。

## 4 结 语

谏壁抽水站混凝土修补工程于 2004 年 5 月中旬开工,2004 年 10 月完工。修补后的混凝土裂缝不再渗漏,并且得以补强处理。抽检 5 条裂缝做压水试验,恒压(0.3 MPa)30 min,没有出现渗水现象。碳化表面聚丙烯砂浆修补后表面平整,无脱空现象。抽检聚丙烯纤维砂浆 28 d 平均抗压强度达到 40.3 MPa,抗折强度达到 9.8 MPa,黏接强度为 1.6 MPa。可满足抽水站混凝土抗碳化耐久性要求。粘贴钢板法加固钢板粘贴无空鼓,结构胶充填密实。修补加固后的抽水站已于 2005 年 4 月投入使用,迄今运转情况良好。修补加固中采用的材料及方法对类似工程具有很好参考价值。

参考文献:

- [1] 江镇海. 建筑结构胶黏剂的应用及发展[J]. 建材工业信息, 2000(12): 7-8.
- [2] 樱井富美夫. 日本建筑学会志[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1997.
- [3] 祝烨然, 黄国平, 胡智农, 等. LZ 建筑结构胶的研制和应用[J]. 化学建材, 2000(2): 25-29.
- [4] ALHOZAIMY A M, SOROUSHIAN P, MIRZA F. Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic[J]. Cement and Concrete Composites, 1996, 18: 85-92.
- [5] 林宝玉, 卢安琪, 庄英豪, 等. 丙烯酸酯共聚乳液水泥砂浆的研究与应用[J]. 水利水运科学研究, 1981(1): 53-67.
- [6] 蔡亮, 王希尧, 栾希年, 等. 小型拦河坝修补与加固两例[J]. 水利水运科学研究, 1998(9): 68-71.
- [7] 刘卫东, 赵治广, 杨文东. 丙乳砂浆的水工特性试验研究与工程应用[J]. 水利学报, 2000(6): 43-45.

(收稿日期 2009-05-07 编辑: 方宇彤)