

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2018.02.015

# 水电站应用导管法水下浇筑不分散混凝土的实例

覃林涛

(湖北省长阳土家族自治县水利水电局,湖北 宜昌 443500)

**摘要:**湖南省益阳市某水电站大坝上游弧门前有大面积冲刷坑,最深处达3 m,最浅处约0.6 m,存在比较严重的冲刷破坏,通过应用导管法水下浇筑不分散混凝土的方法对破坏区域进行补强加固,区域水力学条件大为改善,抗冲蚀能力明显提高,成功消除了危及大坝安全稳定运行的重大隐患,确保了电站发电、防汛两不误。

**关键词:** 破损缺陷;絮凝剂;导管法;水下不分散混凝土

**中图分类号:** TV73      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1671-3354(2018)02-0058-05

## Non-dispersible Underwater Concrete Construction by Tremie Method in a Hydropower Station

QIN Lintao

(Changyang Tujia Autonomous County Water Conservancy and Hydropower Bureau, Yichang 443500, China)

**Abstract:** In a hydropower station in Yiyang City of Hunan Province, large area scour damage is found in the dam body before the radial gate with the maximum scour depth of 3 m and the minimum of 0.6 m. Then, the damaged area is repaired using the non-dispersible underwater concrete. The tremie method is adopted for the underwater concrete construction. After the treatment, the regional hydraulics conditions are greatly improved and the anti-scouring ability is dramatically increased. The major risk that would affect the safe and stable operation of the dam is eliminated successfully. Both the power generation and flood control requirements are satisfied.

**Key words:** damage; flocculant; tremie method; non-dispersible underwater concrete

作者长期从事国内外水库大坝类水工建筑物的各种水下病害检查、维护、修补工作,前期已撰文介绍过聚合物混凝土在水下修补工程中的应用,如应用吊罐法水下浇筑HK-PBM-3聚合物混凝土、环氧混凝土等。下面以湖南省益阳市某水电站水下修补工程为例,介绍导管法水下浇筑不分散混凝土在水工建筑物修补工程中的具体应用。

### 1 工程问题

该水电站位于湖南省资江下游的桃江县,水库正常蓄水位55.7 m,校核洪水位65.6 m,正常蓄水位对应库容为3 400万m<sup>3</sup>,总库容为9 700万m<sup>3</sup>,日调节水库,装机容量55.5 MW,Ⅲ等。电站枢纽主要建筑物由溢流坝(拦河坝)、河床式厂房、船闸、开关站及副坝等组成。溢流坝布置于主河床,为混凝土重力坝,坝顶

高程为66.3 m,坝顶长265.7 m,最大坝高26.8 m,其右岸设单级船闸。溢流坝段设置5扇10 m×9.5 m(宽×高)与18扇10 m×6.5 m(宽×高)表孔弧形闸门。厂房布置于河床左侧,总长102 m,与左岸台地副坝相接。副坝系粘土斜墙填碴混合土坝,坝顶长900.0 m,最大坝高9.3 m。

电站地基由沉积、浅变质的古老岩层组成,为深灰、灰绿色砂质板岩,灰绿色泥质板岩,粉砂岩,中薄状。18号孔~21号孔冲刷部位为青灰、灰绿色砂质板岩夹变质粉砂岩区域。

某专业公司对大坝上、下游进行水下检查和地形测量,并经潜水员水下摸测、录像确认,发现上游17号~21号弧门前有大面积的冲刷坑:冲刷坑位于17号~21号孔弧门前,最近的距18号孔与号19号孔弧门中间桥墩约1.5 m,距20号孔弧门约10 m,坑最深处达

收稿日期:2018-01-03

作者简介:覃林涛,男,工程师,从事水电站施工监督方面的工作。

3 m,最低处约0.6 m。冲刷坑整体呈弧形,弧顶朝向上游方向(见图1)。

冲刷坑大致分布在:

- 1) 18号孔与19号孔间闸墩位置的k0+007~k0+011、k0+019~k0+026两处;
- 2) 19号孔及其与20号孔间闸墩位置的k0+015~k0+026处;
- 3) 19号孔与20号孔间闸墩位置的k0+017~k0+020处。

水下检查还发现坑底有大量砾石堆积,砾石堆积厚度在1~1.4 m之间,主要为砾石和泥砂,其中直径

20~40 cm的砾石约占60%。

为确保电站水工建筑物的安全稳定运行,需尽快对17号~21号弧门上上游水下冲刷区域进行混凝土回填修补。

## 2 确定方案

### 2.1 破坏成因

长期的水流冲刷磨蚀,是造成破损缺陷的主要原因,特别是水流中掺混了大量石块,加重了破坏程度。

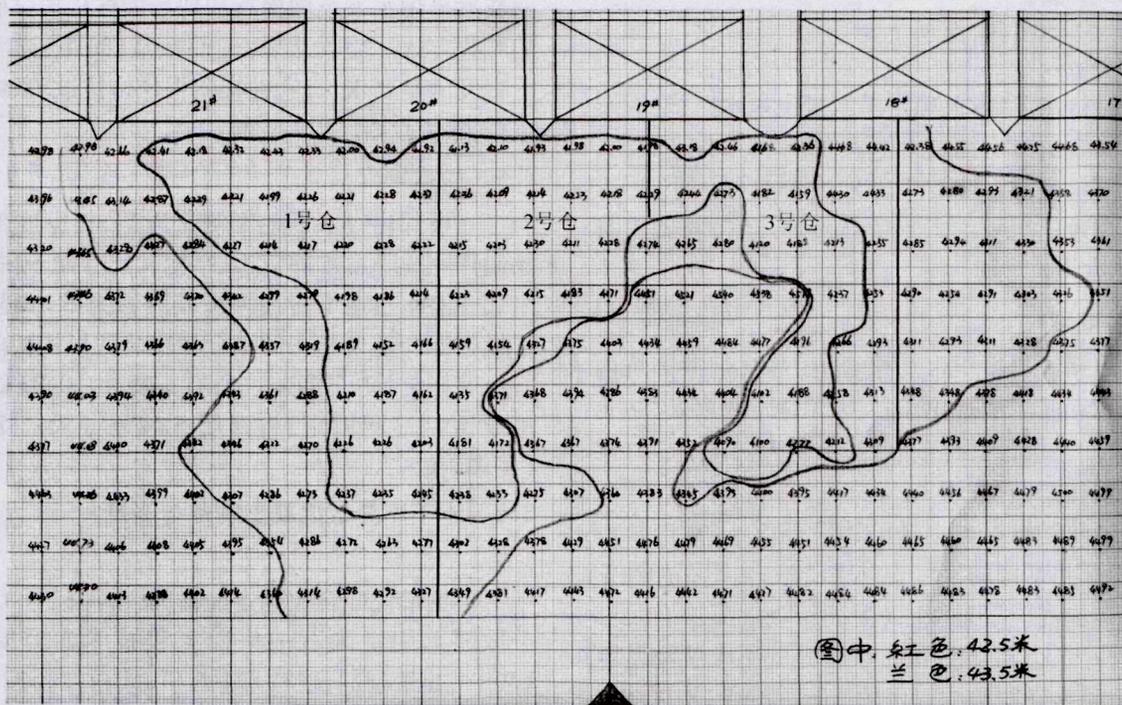


图1 水下冲刷坑示意图

### 2.2 修补材料选择

可用于水下修补的材料主要有两类,一是聚合物混凝土,二是水下不分散混凝土。聚合物混凝土的特点是:强度高,抗冲耐磨性能好,能够很好地与基层面相结合;在水中抗分散性能强,能够自流平、自密实,但造价高。水下不分散混凝土的特点是:在水中具有较强的抗分散性,能够自流平、自密实,强度可调整,能够不低于原有的混凝土强度,造价低,但对施工工艺控制要求高,适合大方量浇筑。经过综合对比分析,本工程采用C25水下不分散混凝土浇筑。

水下不分散混凝土是在普通混凝土拌合物中加入絮凝剂,使水泥颗粒之间形成架桥结构,增大了吸附

力,提高了粘性,抑制了骨料的沉降和离析,从而使混凝土在水下硬化前获得了一定程度的抗分散性,同时也赋予普通混凝土适宜的流动性和满意的施工性能。从根本上解决了水下混凝土的抗分散性能、施工性能和力学性能三者之间的矛盾,真正实现了水下混凝土的自流平和自密实。

### 2.3 方案概述

清理冲刷坑基面,植入HRB335 $\phi$ 25螺纹钢,坑内浇筑水下不分散混凝土,回填混凝土顶面标高为43.5 m,使新老混凝土连成整体,以提高结构整体受力性能(图2)。

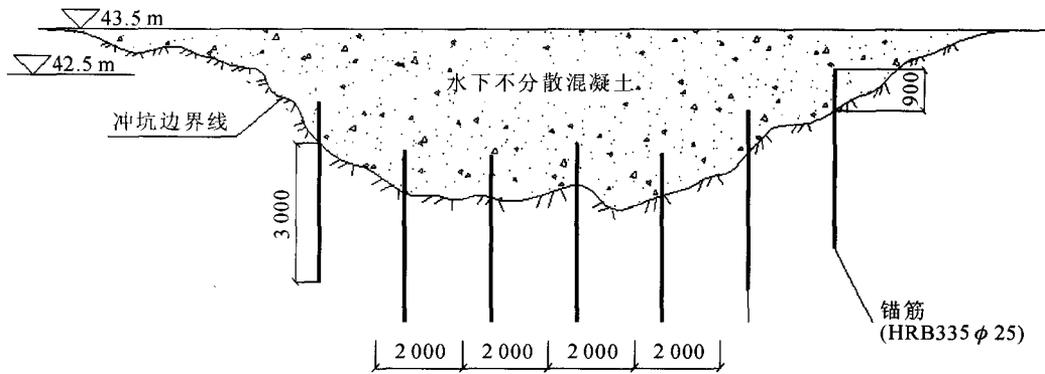


图2 冲刷坑修补加固示意图(单位:mm)

### 3 施工步骤

#### 3.1 复查测量

首先进行水下复查,确定潜水员出入水路线,对影响工作和安全的障碍物做出标识,确保潜水作业安全。潜水员水下检查冲刷坑破坏情况、测量范围大小,遇有新的破坏用水下测量工具测量其破坏尺寸,并做出具体说明。

#### 3.2 基坑处理

用吸泥系统与高压水相相结合的方式,把冲刷坑内淤积的砾石和淤泥清理出至待浇筑的冲坑远处,防止迴淤、倒流回基坑,确保清理后基坑内无淤泥、石块、混凝土块、渣屑和其它杂物。

使用液压链锯沿破损缺陷边缘外 5 cm 划出切割边线,以保证将受损的混凝土彻底清除;切割深度在钢筋保护层范围内应尽量深,以保证新浇混凝土有足够的嵌固深度,但在切割和凿除过程中不得扰动甚至损及钢筋;凿除切割边线以内的破损混凝土,用以增加新老混凝土的粘结力。

#### 3.3 钢筋布设

为了增强被浇筑冲刷坑内新老混凝土的结合强度,使之成为一个整体,在修补区域内布设锚固筋。

1) 钻孔。潜水员在水下测量并确定锚筋孔的位置,在 42.5 m 等高线之内,按孔距 2 m 布孔。潜水员操控可以逐节接长钻杆的风动钻进行钻孔,孔深 3 m,孔径  $\phi 32$  mm。锚筋长 3.9 m,锚入基岩 3.0 m,露出河床 0.9 m,钻孔深度可视基岩地质情况适当调整。锚筋孔布置呈梅花型,钻孔时从 17 号深孔至 21 号深孔按序进行。深的冲坑区域内布孔密度可适当降低,深坑四周适当加大布孔密度。

2) 植筋。清洗锚筋孔,然后采用灌浆机水下灌注环氧锚固剂、埋设锚筋,锚入端开口,打入倒楔子,用以

增加抗拔力。每根锚筋的抗拔力要达到 20 kN 以上。完成后采用水下录像检查和现场抽样抗拔试验相结合的验收方式。验收结果:锚筋数量、间距、锚固深度和垂直度满足要求,每仓抽样 2 根作抗拔试验,结果显示抗拔力均远大于 20 kN/根。

#### 3.4 模板制安

立模部位经水下地形测量以后,根据底部形状现场制作完成随形木模板,其结构和尺寸便于拼接,以便组装。潜水员水下清理模板安装线上的障碍,以便随形模板能和基岩紧密结合。安装随形模板的同时进行封底堵漏,防止漏浆。所有模板由 HRB335 $\phi 25$  的螺纹钢钢筋网固定,将回填区域划分为三个浇筑仓(见图 1)。

#### 3.5 水下不分散混凝土制备与浇筑

##### 3.5.1 制备

根据最优配合比确定原材料:水泥标号 425 号,不分散剂选用中国石油集团工程技术研究院生产的 UWB-Ⅱ 絮凝剂,砂料为中粗砂,卵石粒径控制在 5~20 mm 之间。

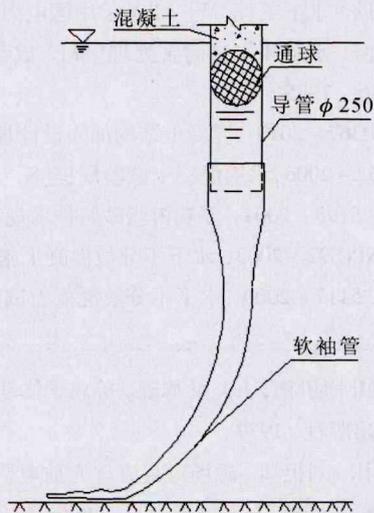
混凝土生产:在四台 0.5 m<sup>3</sup> 的强制搅拌机上连续拌制,确保浇筑强度不小于 120 m<sup>3</sup>/d。

##### 3.5.2 导管法介绍

采用隔水埋管导管法浇筑(通常称之为“导管法”),其核心技术是两道隔水措施:浮球隔水和软袖管隔水,见图 3。

浇筑工序是:在浇筑第一罐混凝土之前,把软质浮力圆球投入导管,球浮在水面上;然后通过溜槽把已拌制好的混凝土倒入漏斗,再进入到导管,导管内的混凝土与浮球接触,并推动浮球下移。在下移的过程中,混凝土由于有球体的隔离,不与水接触,不受下降时水流的冲刷。混凝土中的胶粘颗粒不受损失,有利于水下混凝土强度的提高。浮球到底后,经过软袖管出水,由于软袖管是平卧在基岩上,混凝土不会全部流出,而会

把不渗水的软袖管封堵住,外水不会进入,导管内是无水的。用同样的方法进行浮球浇筑2~3次,以保证不渗水的软袖管始终埋在混凝土里,形成埋管浇筑。即



便是不连续浇筑,中间停浇时,导管内也不会进水。这种浇筑方法,既避免了水流对流态混凝土的冲洗,也避免了浇筑过程中的骨料离析。

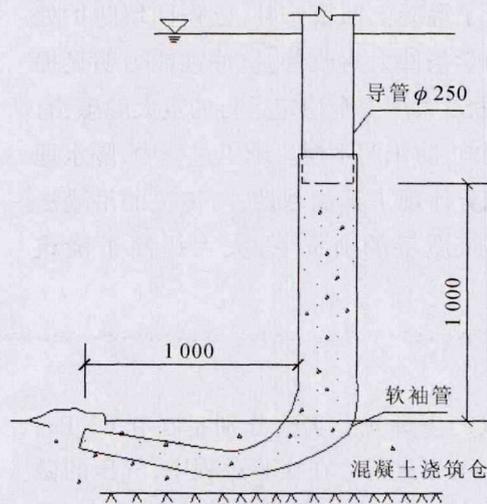


图3 隔水埋管浇筑法示意图

### 3.5.3 浇筑

浇筑顺序为3号、2号、1号仓。首先把软质浮球投入导管,再把拌制好的混凝土通过溜槽、漏斗连续倒入导管,混凝土推动浮球进入浇筑面。浮球浮出水面后,可打捞起来重复使用。在头三罐混凝土浇筑过程中,由潜水员在水下检查、控制,确保软袖管埋入流态混凝土中,达到导管不返水的要求。在浇筑过程中,如发现管内进水,一定要用浮球法再浇筑,同时检查软袖管,确保其始终处于埋没状态。水下不分散混凝土实际浇筑量为850 m<sup>3</sup>左右。

### 3.5.4 过程控制

过程控制是决定导管法成败的关键,尤其要注意以下四方面:

1)混凝土倒入。应使它徐缓倾倒进承料漏斗,防止不连续倒入,致使导管内空气不能及时排除而产生高压气囊。

2)随时检查。在浇筑过程中要随时作水上和水上检查。水上检查导管壁是否由于混凝土浆粘挂在管壁上形成堵塞,并及时疏通;水下检查软袖管是否始终处于埋没状态,并及时调整使它埋没好;同时检查模板漏浆情况,及时封底堵漏

3)导管调节。随着水下混凝土浇筑面的上升,超过1.0 m时,要拆除导管上部的导管节(使用手拉葫芦辅助)。在拆除过程中,避免软袖管和导管内进水,如果进水,应该再用浮球法浇筑二次。浇筑面上升小于1.0 m时,软袖管可以自行调整,无需提升导管。

4)移浇筑船。在浇筑过程中,要随时移动浇筑船,使它的位置始终处于浇筑面上方。浇筑半径(自流平半径)控制在2.5 m。

### 3.5.5 取样

混凝土浇筑过程中机口取样每仓取2组样,每组做3个试块;混凝土浇筑完成28 d后,钻芯取样,每仓取两个,共6个,芯样孔径为155 mm,深度至河床基岩以下0.5 m,钻芯取样完成后对钻孔采用C25混凝土进行封堵。

### 3.5.6 验收

采取水下测量、现场取样和钻芯取样综合验收方式。现场验收结果为:水下不分散混凝土浇筑仓面平整,高差小于50 cm,仓面高程达到设计要求(图4)。机口取样、钻芯取样均达到设计强度,混凝土密实度、透水率满足规范要求,轴心抗压强度大于250 kN/cm<sup>2</sup>。



图4 水下不分散混凝土浇筑24 h后

## 4 结 语

本次水下修补工程对电站 17 号~21 号弧门上游水下冲刷坑进行了混凝土回填修补,已作回填防护处理的区域其水力学条件大为改善,抗冲蚀能力明显提高,成功消除了危及大坝安全稳定运行的重大隐患,有效确保了电站发电、防汛两不误。施工过程中,隔水埋管导管法浇筑充分体现了其优越性,与传统的吊罐法相比,在保证浇筑质量的前提下,大大提高了浇筑效率。

(上接第 36 页)

的气压下也可以产生辉光。实验分别是在 0.03 Pa、0.04 Pa 和 0.05 Pa 下进行。在实验过程中,气压的微小改变就可能影响实验结果。根据实验数据画出的图 7 中,0.04 Pa 和 0.03 Pa 下的两条曲线之间的区别不是很明显,可能是在实验的过程中,气压发生了很微小的改变,但是这种微小的改变并没有影响到实验结论,故实验数据还是可信的。

## 6 结 语

通过本次实验,对数据进行整理和分析后,得到以下结论。

1) 在高真空磁场条件下,直流辉光放电区伏安特性曲线的变化特性和没有磁场条件下的大致相同。

2) 在一个极板上加上永磁体的情况下,辉光等离子体的电子密度随气压的升高而升高,随辉光电流的升高而升高。

3) 外加磁场后,真空室内在很低的气压下也可产生辉光,故这种磁场的加入降低了真空灭弧室的绝缘性能。

4) 磁场下电子密度随气压变化的特性可以用来进行真空度的检测。

### 参考文献:

- [1] 王季梅. 真空开关的现状与发展趋势[J]. 电力设备, 2005, 6(2): 1-5
- [2] 赖小红. 真空开关的现状与发展[J]. 江苏理工大学学报: 自然科学版, 2000, 21(3): 78-82
- [3] J.R. 罗思. 工业等离子体工程[M]. 吴坚强, 等. 译. 北京: 科学出版社, 1998

### 参考文献:

- [1] 黄国兴, 纪国晋. 混凝土建筑物修补材料及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009
- [2] 陈惠欣. 水下工程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006
- [3] 陆文海. 水工建筑物病害处理[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1985
- [4] GB 50367-2013, 混凝土结构加固设计规范[S]
- [5] SL 352-2006, 水工混凝土试验规程[S]
- [6] DL/T 5193-2004, 环氧树脂砂浆技术规程[S]
- [7] Q/CNPC 92-2003, 水下不分散混凝土施工技术规范[S]
- [8] DL/T 5117-2000, 水下不分散混凝土试验规程[S]
- [9] T. J. M. 博伊德, J. J. 桑德森. 等离子体动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1977
- [10] 魏合林, 刘祖黎. 磁场对直流辉光放电阴极鞘层中电子输运过程的影响[J]. 物理学报, 1995, 44(2): 225-232
- [11] Dmitry F A, German S B, Dmitry V Y. Alferov. DC vacuum arc extinction in a transverse axisymmetric magnetic field[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2009, 37(8): 1433-1437
- [12] 白彦东, 魏合林. 弱磁场中辉光放电等离子体参数诊断[J]. 武汉: 华中理工大学学报, 1998, 26(7): 10-12
- [13] 赵青, 刘述章, 童洪辉. 等离子体技术及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009
- [14] 董华军. 真空开关电弧形态研究及其等离子体参数诊断[D]. 大连: 大连理工大学, 2009
- [15] 陶孟仙. 等离子体特性的静电探针测量技术[J]. 佛山科学技术学院学报: 自然科学版, 2000, 18(3): 11-15
- [16] 袁方园, 陆文琪, 林国强. 利用朗缪尔双探针诊断电弧离子镀等离子体参数[J]. 真空科学与技术学报, 2009, 29(5): 509-512
- [17] Auciello O, Flamm D L. 等离子体诊断[M]. 郑少白, 胡建芳, 郭淑静, 等. 译. 北京: 电子工业出版社, 1994
- [18] 徐学基, 诸定昌. 气体放电物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996
- [19] Smirnov B M. Modeling of gas discharge plasma[J]. Physics - Uspekhi, 2009, 52(6): 559-571
- [20] 关根志. 高电压工程基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003
- [21] 张洪志, 崔海峰, 姚斌. 气体放电等离子体特性测量 I-V 曲线不对称性的研究[J]. 物理实验, 2006, 26(7): 34-38