

黄沙港闸反拱底板水下修补加固技术

余解民¹, 蔡洪卿²

(1. 江苏省水利科学研究所, 江苏 南京 210007; 2. 盐城市水利工程管理处, 江苏 盐城 224002)

摘要:通过对土围堰施工、钢围堰施工和水下施工 3 种方案的对比分析, 确定黄沙港闸反拱底板修补加固采用水下施工技术。介绍底板裂缝的修补材料、水下施工工艺和在多泥沙环境下采用异型薄层钢筋混凝土加固反拱底板的水下施工技术。

关键词:水闸; 反拱底板; 裂缝修补; 加固; 水下施工

中图分类号:TV698.2⁺2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)03-0041-03

黄沙港闸位于射阳县黄沙港镇, 1972 年 6 月建成并投入运行, 共 16 孔, 总宽 96.6 m, 净宽 83 m。闸底板采用素混凝土反拱形式, 厚度 50 cm (通航孔为 70 cm), 底板与闸墩不分缝, 系 16 跨连拱结构, 闸墩采用混凝土与砌石混合结构。

黄沙港闸的闸基土质为灰色粉砂, 夹有少量壤土, 贯入击数 $N = 10 \sim 30$ 击, 渗透系数 $k = 1.2 \times 10^{-4}$ cm/s。从 1981 年开始, 潜水检查陆续发现 7 号孔、14 号孔、1 号孔、2 号孔、16 号孔反拱底板上发生弯曲状裂缝, 裂缝的位置和走向为偏于拱顶顺水流方向。其中 7 号孔出现裂缝最早, 长度贯穿整个底板, 缝宽 2 ~ 3 mm, 缝口两侧有高差, 1996 年检查发现这条缝上有两段向上冒水。其它孔的裂缝缝宽较小, 部分缝口有钙质覆盖。

反拱底板裂缝和渗水危及水闸安全, 修补加固考虑过 3 种方案: ①打土坝施工。因闸周围及上下游河道两侧民房密布, 无法取土, 远处调土势必耗费巨大人力物力, 且打坝排水产生的荷载变化对水闸结构影响很大, 有可能使裂缝扩展, 故不可取。②钢围堰施工。由于反拱底板表面形状复杂, 为保持反拱受力特点, 经计算需做 7 套钢围堰, 且分块施工接缝处理工作量大, 工期要 2 年以上, 亦予以舍弃。③水下施工。随着科学技术发展, 各种新材料问世, 以及潜水作业技术的进步, 经过充分调研论证, 水下施工的可行性较好, 不需排水施工, 节约工期, 减少投资, 同时对水闸运行干扰较小。为了克服多泥沙环境对施工的影响, 确保反拱底板加固的质量和工期, 实施中采取了循序渐进的谨慎步骤, 先进行模拟试验, 取样检测各种新材料的实际性能; 再对有裂缝渗漏的 7

号孔和没有裂缝的 8 号孔进行试验性修补加固; 然后逐步向其余各孔推广实施。施工中探索总结出的异型薄层钢筋混凝土水下施工技术, 对混凝土水下病害整治有积极的指导意义。

1 裂缝的修补方法

反拱底板裂缝破坏分为有渗水裂缝和不渗水裂缝两种, 有渗水裂缝修补方法如下:

a. 修补材料的选择。黄沙港闸 7 号孔裂缝潜水检查发现有渗水现象, 且缝开裂宽度较大, 必须进行封缝和灌浆堵漏。封缝材料选用 PBM 聚合物混凝土 (砂浆), 它具有快速固化, 固化时间为几分钟至几十分钟可调, 早期强度高, 粘结力强, 可在水下施工的特点。经取样实测, PBM 封缝力学性能试验结果为: 轴拉强度 0.78 MPa, 剪切强度 3.3 MPa, 抗弯强度 1.59 MPa。灌浆材料选用了 HW 和 LW 水溶性聚氨酯, 这是一种既能防渗堵漏又能固结补强的灌浆材料, 灌入裂缝后, 在周边密封的水环境中发泡膨胀, 能有效地形成弹性体而充实裂缝, 两者可以任意比例互溶。黄沙港闸反拱底板为 50 cm 厚的素混凝土, 要求灌浆材料应具有较好的堵漏性能, 同时必须具备一定的粘结强度, 模拟试验时采用 $HW:LW = 8:2$, 取样检测其劈拉强度为 0.22 MPa, 后在实际施工中调整为 $HW:LW = 6:4$ 。

b. 施工工艺。①摄像检查, 采用水下摄像机 (浑水镜头) 对裂缝的形状、走向、宽度进行摄像检查并进行标识; ②骑缝凿槽, 沿裂缝走向用手风钻一个连一个地钻孔, 再用风钻将孔与孔之间未凿通的部分修通, 形成一条 4 cm × 4 cm 的“U”形槽; ③钻孔插管,

7号孔上游裂缝长1.96 m,一次灌浆.下游裂缝长9.1 m,分为4段灌浆,5个封边孔孔径 $\varnothing 38$ mm,孔深0.4 m,21个灌浆孔孔深0.2 m,门槛底部封边孔外再钻一个灌浆孔,以备对门槛下的裂缝灌浆,灌浆管采用硬质管加软木塞,外露约10 cm长;④封缝灌浆,将“U”形槽内的渣屑淤泥用高压水枪清理干净后用橡皮泥嵌封裂缝,以避免PBM浆液流入封堵灌浆通道,就绪后将PMB聚合物倒入槽内和封边孔内,与底板面平即可,封缝完成4 h以后即可进行灌浆.裂缝灌浆在上、下游两侧分别进行,在下游潮水位高于上游水位时灌下游侧;在下游潮水位低于上游水位时灌上游侧.灌浆时按顺序进行,当某孔灌浆时,待邻孔出浆后,将出浆管套上软管扎紧,然后保持压力2~3 min即完成,灌浆压力控制在0.1~0.15 MPa为宜.第一次灌浆完成后,间隔1~2 d进行第二次灌浆,以保证密实(图1).

c. 质量保证措施.反拱底板裂缝修补的每道工序均在水下作业,质量控制主要采取以下措施:①在施工前制定周密的施工方案,对每道工序使用的工具、材料、作业方式都力求详尽、合理、可行,例如钻孔深度控制、“U”形槽成形检测、封缝灌浆材料来源及配比、灌浆顺序等都作出具体明确的控制要求;②在施工过程中全过程进行水下摄像,由监理工程师实时监控;③切实做好清淤,黄沙港闸河水悬移质较多,回淤较严重,在整个工期内,清淤工作贯穿始终,清淤工作使用各种方法综合进行,包括负压吸泥、高压水冲洗和开闸冲淤换水等.

对有裂缝但不渗水的闸孔底板,按设计要求仅需沿裂缝宽度20 cm范围内用PBM砂浆涂层3遍.该道工序是在清淤后用水下录像确定缝隙位置后,在缝隙上做好标记(用细铁丝插入缝隙内),然后用

风镐将沿缝隙20 cm范围内混凝土表面打毛并清碴,这时即可进行涂层作业.涂层时,PBM砂浆在盆内拌制好后送到水下,由潜水员沿裂缝将PBM砂浆倒在底板上,再用刮板将其刮平,直到每层厚度在0.5~1 cm即可.

2 底板加厚补强方法

2.1 设计要求

设计要求在原反拱底板上浇筑一层标号为C25厚20 cm的水下不分散混凝土(NNDC),内配 $\varnothing 20@60$ 长为40 cm的锚筋使新老混凝土连成整体,提高反拱底板的受力性能.并要求新浇的混凝土成形后仍为反拱曲面,达到表里强度相等且与老混凝土之间良好结合.

2.2 施工步骤

施工步骤如下:①打毛,由潜水员在水下用风镐将底板混凝土表面打毛,露出粗骨料;②钻锚筋孔,用风钻水下钻孔,孔距60 cm,孔深20 cm,孔径 $\varnothing 40$ mm;③安装锚固剂及锚筋,在锚筋孔内安放药卷式锚固剂,并插入 $\varnothing 20$ 长40 cm的螺纹钢筋,注意控制好锚杆与底板表面的垂直度;④钢筋网片制作安装,钢筋网片按 $\varnothing 12@500$ 的要求在陆上制作,完成后吊装至水下焊接到锚固筋上,钢筋网片置于新浇混凝土的上部,保护层厚度为6 cm,下游部分分为两块浇筑.顺水流向的钢筋在接头一端先制成垂直弯钩,待拆模后凿除端部混凝土露出钢筋,在水下扳直后,与下一片钢筋网在水下焊接,搭接长度为12 d.为方便施工,顺水流向钢筋采用光面钢筋,垂直水流方向主筋采用螺纹钢筋;⑤顶模制作与安装(图2),为保证新浇混凝土的曲面形状,采用4 mm钢板和L75 $\times$ 8角钢拼焊成顶模,每孔共3块,共制

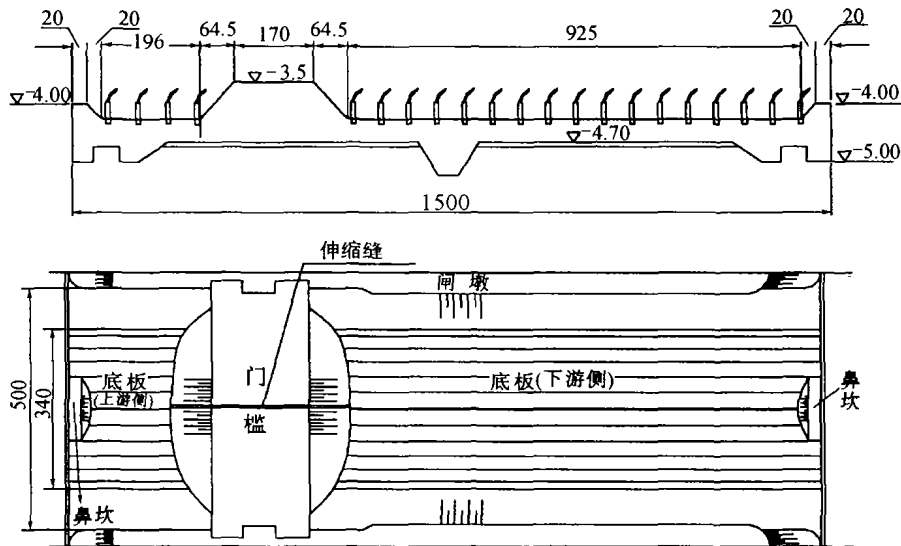


图1 7号孔裂缝灌浆示意图

作两套周转使用,顶模的进料口设在模板的几何中心,位于拱顶的最低处,另在模板的四角(最高处)设4个溢出口,由于泵送混凝土入仓后,压力很大,顶模固定不牢,会被挤压上抬,导致浇筑失败,因此,顶模安装固定较为关键,实际施工中,采用螺栓燕尾锚孔固定、加压重的办法;⑥浇筑混凝土,采用一台500L立式强制搅拌机搅拌,与HB30型混凝土泵配套供料入仓,待模板四角预留的溢出口溢出混凝土后,把溢出口封堵,3~5d后即可拆模,并水下割除露出混凝土表面锚固模板的螺栓(图3)。

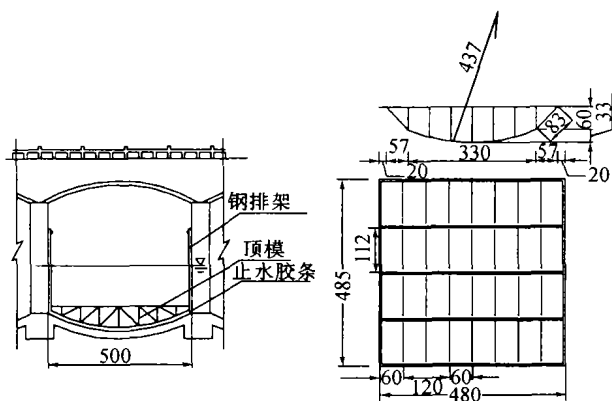


图2 顶模示意图

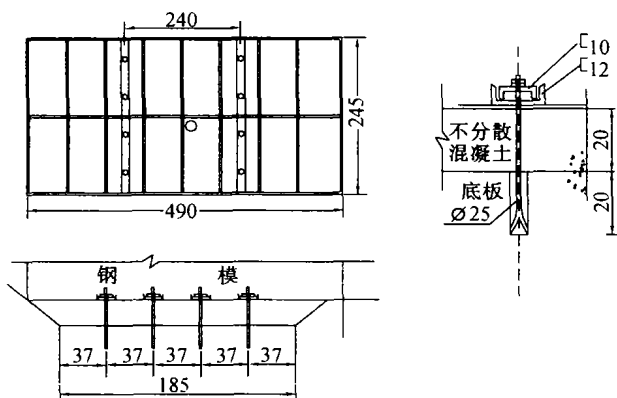


图3 模板固定示意图

2.3 新材料、新工艺

a. 药卷式锚固剂.锚固技术在底板加固中是提高新老混凝土结合强度必不可少的施工技术,而目前常用注浆式锚杆充填密实度差、固化速度慢、锚固强度低等,且不宜在水下作业.施工中采用了中国水利水电科学研究院研制的药卷式锚固剂,锚固力强,使用方便而且价格低廉,对安装好的锚杆,经任意抽样用配重法进行拉拔试验,每根锚杆在承受1~1.2t拉力时,无任何松动现象.在每块底板上使用了锚杆180根,以保证新老混凝土结合强度达到设计要求。

b. 不分散混凝土.为了有效限制水下混凝土浇筑过程中分散和离析,避免水泥流失,提高混凝土的粘聚力,保证质量,在混凝土中掺用了南京水利科学

研究院研制的NNDC-2型抗分散剂,这种混凝土有极好的流动性,可自流平、自密实,不需振捣,坍落度为20~25cm,塌落扩展度为48~58cm,泌水率为0.005%,即基本不泌水,且抗渗性能好,其钢筋握裹力达6.92MPa,抗钢筋锈蚀性能良好。

c. 泵送挤压浇筑混凝土工艺.混凝土浇筑入仓,吸取了泵送法、导管法和推移法的优点.由于浇筑厚度只有20cm,而且仓型是反拱型,所以混凝土向四周的推移力只有靠输送泵来完成.为了使导管口在一开始就被埋入混凝土中,又必须采用导管法的原理,先将竖向管装满混凝土后,再接上泵管,并连续将混凝土送入浇筑仓内,管口混凝土便迅速向四周摊铺,很快就抬高至钢顶模,管口被埋入混凝土内.随着混凝土陆续入仓,混凝土就向四周不断扩展范围,空箱内的水被混凝土挤出,通过排水孔排出仓外,空箱内水的位置不断地被混凝土占领,达到全部被混凝土置换,混凝土浇筑完成.拆模后,水下摄影检查混凝土表面光滑密实,无蜂窝麻面现象,经检测强度达到设计标准。

2.4 关键技术

a. 混凝土的标号与强度.底板新浇混凝土设计标号为C25,在模拟试验时,取样试验的水下混凝土试件强度较机口取样的试件强度损失约16%,为满足设计要求,实际施工中提高一个等级(按C30配制).混凝土的配合比,由南京水利科学研究院按现场所用的原材料试配提供。

b. 新老混凝土的结合强度.保证新老混凝土的结合强度,关键在控制好打毛质量及浇筑前清仓干净,但水下打毛不可能达到陆上打毛的质量,顶模盖上之前,必须开闸放水冲淤,结合水下作业将底板表面彻底清理.模拟试验时取样试验结果显示单纯混凝土结合强度仅及整体强度的50%左右,锚固增强是有效方法之一.研究成果表明,锚筋能够提高劈拉强度70%左右,提高剪切强度50%左右。

c. 模板密封.顶模是保证新浇薄层混凝土强度的条件,因在水下架立钢模,加之底板表面形状复杂,模板尺寸不能一步到位,钢模安装就位后两则留有5cm的间隙,模板两端的空隙为保证浇筑厚度准确,使用木板拼接成形,以便于在水下调整,在调整到位后,所有的间隙都用土工布卷成条状沿缝隙塞紧,阻止浆液泄漏。

3 结 语

黄沙港闸反拱底板水下修补加固工程于2000年12月完成,一年来的运行安全正常.采用异型薄层钢筋混凝土水下施工,具有设计方(下转第58页)

说”,它由 Rinaldo^[8]创立;其三是“波动学说”.根据“粒子学说”得出了若水滴之间存在着弱相互作用,则流域瞬时单位线与水滴的流域汇流时间的概率密度函数等价的结论.根据“扩散学说”得出的结论是流域汇流是地貌扩散与水动力扩散共同作用的结果.根据“波动学说”,净雨经过由坡面和河网组成的水道网传播就成为流域出口断面流量过程线.由于根据这些理论导出的流域水文响应与地形地貌参数有关,为区别计,称这样流域水文响应为地貌瞬时单位线(GIUH).目前已形成3类具有实用性的推求地貌瞬时单位线的基本途径^[9]:一是以 Horton-Strahler 河流分级理论为基础,应用统计物理学中处理大量“粒子”随机运动宏观表现的方法来建立^[6,7];二是以水系生成的随机理论为基础,通过水系的链分布函数导出宽度函数的期望值来建立^[8];三是通过分析将 Nash 模型瞬时单位线改造成地貌瞬时单位线^[10].

地貌瞬时单位线的研究反过来又促进了定量地貌学的发展.目前已在河系拓扑、分形及随机模拟方面取得了一批重要的研究成果,例如揭示了河系分叉规律及河系、坡度、集水面积等分布规律,发现并解释了面积与河长之间的定量关系.随着 DEM 技术的发展,人们已能方便地利用 DEM 来自动生成河系及流域形状,自动提取河系拓扑参数和流域地形地貌参数.

水文学与地貌学的交叉和相互渗透正在导致地貌水文学的兴起.

参考文献:

- [1] Rosso R. An introduction to spatially distributed modeling of basin response [A]. In: Eosso R. Advances in Distributed Hydrology [C]. Bergamo: Water Resources Publication, 1992. 3 ~ 30.
- [2] 赵人俊. 流域水文模拟 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. 131 ~ 138.
- [3] Abbott M B, Bathurst J C, Cunge J A, et al. An introduction to the european hydrological system [J]. J Hydrol, 1986(87): 45 ~ 77.
- [4] Ambroise B, Freer J, Beven K J, et al. Application of a generalized TOPMODEL to the small Ringelbach catchment, Vosges, France [J]. Wat Resour Res, 1996(32): 2147 ~ 2159.
- [5] Garrote L, Bras R L. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models [J]. J Hydrol, 1995 (167): 274 ~ 306.
- [6] Rodriguez-Iturbe I, Valdes J B. The geomorphological structure of hydrologic response [J]. Wat Resour Res, 1979(15): 1409 ~ 1420.
- [7] Gupta V K, Wagmire E, Wang C T. A representation of an

instantaneous unit hydrograph from geomorphology [J]. Wat Resour Res, 1980(16): 855 ~ 862.

- [8] Rinaldo A, Marani A, Rigon R. Geomorphological dispersion [J]. Wat Resour Res, 1991(27): 513 ~ 525.
- [9] 芮孝芳. 地貌瞬时单位线研究进展 [J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 345 ~ 350.
- [10] 芮孝芳. 利用地形地貌资料确定的 Nash 模型参数的研究 [J]. 水文, 1999(3): 6 ~ 10.

(收稿日期: 2002-03-05 编辑: 张志琴)

(上接第 43 页)

案合理,选用的材料、工艺先进,工序安排周密,技术关键明确等特点.20 世纪 60 ~ 70 年代,江苏省内采用素混凝土反拱底板的工程较多,大部分都存在类似隐患,黄沙港闸反拱底板水下修补加固技术为江苏省同类型工程的加固走出了一条新路.

参考文献:

- [1] 姚立宏. 水下回流缝灌浆技术在水闸加固中的应用 [J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(6): 51 ~ 52.
- [2] DL/T5100-1999, 水工混凝土外加剂技术规范 [S].
- [3] SL27-91, 水闸施工规范 [S].

(收稿日期: 2002-01-22 编辑: 张志琴)

(上接第 47 页)

3.2 检测

a. 平面尺寸. 营船港闸全部板桩施工结束,经施工单位和监理工程师共同检测,闸室底板、上游翼墙底板下板桩轴线偏差在 1 ~ 2 cm,高程偏差最大为 2 cm;下游翼墙底板下轴线偏差 2 ~ 3 cm,高程偏差最大在 4 cm,满足设计要求.

b. 接缝试水. 在接头两侧各挖深度在 1.5 m 左右的坑,一侧注水,另一侧检查是否渗漏,若出现渗漏现象可凿除上部重浇或在两侧重注混凝土,本工程 36 个接头基本无渗漏现象.

4 结 语

预制冲沉板桩是钢筋混凝土板桩施工的另一种方法,它具有接头少,防渗效果好,施工工期短,价格便宜等特点,主要适用于粉、砂性地基.本闸最大冲沉深度 7.5 m,目前为江苏省冲沉最深的.估计冲沉深度可达到 10 m 左右,但板两侧的倒塌范围会增加,起吊设备需加强.

参考文献:

- [1] 徐琬. 冲沉防渗板的设计与施工 [J]. 江苏水利, 1999(3): 17 ~ 18.

(收稿日期: 2001-02-15 编辑: 熊水斌)