

浅谈南水北调中线工程混凝土衬砌板水下修复施工技术

陈露阳

中国南水北调集团中线有限公司河北分公司临城管理处

[摘要]南水北调中线工程是缓解华北地区水资源严重短缺的重大战略性基础设施。中线工程一旦发生输水安全事故,造成供水中断,将会给沿线人民生产用水造成不可挽回的损失。经工程安全事故隐患排查,过水断面混凝土衬砌板的隆起是威胁干渠工程安全、供水安全的主要隐患。在正常通水条件下,对水下损坏的混凝土衬砌板进行修复,是消除安全隐患的有效途径,混凝土衬砌板水下修复施工技术也为中线干渠工程的运行维护提供了技术支持。

[关键词]南水北调;干渠工程;衬砌板;水下修复;技术

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.12.1729

1 引言

2021年主汛期,河北省大部分地区出现暴雨到大暴雨,局部地区特大暴雨,之后又经历了多轮强降雨,南水北调中线干渠工程沿线发生多处水毁,河北分公司组织各管理处对工程安全事故隐患进行了详细排查,发现沿线有多处过水断面混凝土衬砌板隆起、滑塌破坏现象,是总干渠工程安全、供水安全、水质安全的主要隐患。结合南水北调运行维护情况,在确保正常通水条件下,对水下损坏的混凝土衬砌板进行修复施工尤为迫切。

2 干渠工程概况

南水北调中线干渠工程在河北境内设计流量为 $125\sim 235\text{m}^3/\text{s}$,加大流量为 $150\sim 265\text{m}^3/\text{s}$,设计水深为6m左右。干渠工程设计纵坡为 $1/25500$,过水断面边坡为 $1.75\sim 1:2.75$ 。一级马道宽5m,左岸为泥结石路面,右岸为沥青路面。过水断面采用C20F150W6混凝土衬砌,渠坡衬砌厚度为 $10\sim 15\text{cm}$,渠底厚度为8cm,混凝土衬砌下部设复合土工膜及保温板。干渠工程渠内运行水深为5~6m,流量 $180\text{m}^3/\text{s}$,流速 $1.0\text{m}/\text{s}$ 左右。干渠工程不具备停水条件,无法停水维修。

3 水下修复施工关键技术

3.1 水上作业移动平台制作与组装

移动平台上的主要荷载有:拆除衬砌板($2\text{m}\times 2\text{m}$)自重(考虑起吊系数)G1约20kN,施工人员载重G2约16kN,材料、牵引系统、工具运输、提升吊机等载重G3约33kN,平台自重G4约15kN。

平台由42个200L浮筒组成,计算平台浮力 $F_{\text{浮}}=100\text{kN}$ (保证平台有0.5m在水面以上)。 $F_{\text{浮}}>G_1+G_2+G_3+G_4$ 水上移动作业平台由42个浮筒拼装组成,采用槽钢[10#和角钢 $\angle 50\times 50\times 4$ 焊接成箱架,将浮筒放进去,平台与箱架之间通过焊接连接在一起。总长度6m,宽度6m,平台四周固定橡胶轮胎,避免碰撞衬砌板。

3.2 钢模板围堰施工

(1) 钢模板围堰设计

在渠道衬砌区域外,设置三面钢模板围堰,堰顶高出水面0.5m。迎水面围堰拐角处与水流方向成45度角,改

善水流冲刷。纵向围堰与水流方向平行。下游背水面围堰拐角处与水流方向形成45度角。纵向围堰:围堰钢模板由 $90\text{cm}\times 150\text{cm}$, $20\text{cm}\times 150\text{cm}$ 模板拼装。围堰骨架安装完毕后,钢模板按顺序放入导向槽,每组7块 $90\text{cm}\times 150\text{cm}$,1块 $20\text{cm}\times 150\text{cm}$,围堰高度6.5m,超出水面0.5m。横向围堰:横向围堰坡面底层模板按坡比及高度定制,上层模板为拼装钢模板。并对横向不规则模板进行编号,按照编号进行安装。上游迎水面围堰、下游背水面围堰需要架立在边坡上,底层模板高度需根据边坡的高度进行调整,并将底座制作成 $1:2.75$ 的斜坡(根据现场坡比进行调整)。钢模板围堰堰顶超出水面0.5m。钢模板围堰由钢模板架体和钢模板组成。钢模板架体由底座、导向槽和斜撑构成。底座采用槽钢[10制作,底座宽4m,长1.5m。底座中间2m位置设置导向槽,导向槽为一根[10槽钢,高度6.5m。导向槽两侧设置[10槽钢斜撑,用于支撑导向槽,防止发生变形,围堰钢模板放置在架体导向槽内,

(2) 钢模板围堰安装

钢模板围堰架体就位前先确定围堰角度和位置,将第一组架体固定到渠坡上,用钢丝绳与渠道对岸系缆桩牵引固定,将架体缓慢牵引入水。第一组架体安装就位后,第二组架体牵引入水,依次拼装其余几组架体牵引入水,直至最后一组架体拼装入水固定完成。围堰架体入水完成后,在架体底座用铸铁砣码配重,使架体稳固。根据设计计算,围堰架体底座配重 $493\text{kg}/\text{m}$,考虑安全系数配重重量为 $600\text{kg}/\text{m}$ 。钢模板围堰安装完毕后,用 $\phi 10$ 钢丝绳固定在两岸设置的系缆桩上。上游围堰每组钢模板围堰各布设4根钢丝绳(约12组),分别固定在底座和上部斜撑交叉部位。在作业过程中,可将 $\phi 10$ 钢丝绳固定在不同的系缆桩上。钢模板安装时使用浮船运输,在水面上沿导向支架槽下放钢模板,确保导流板下放到底。

3.3 土工膜围堰施工

围堰架体采用槽钢[10制作。挡水面背面设置[10槽钢斜撑,用于支撑挡水面。土工膜围堰在现场拼装完成,在渠道两岸布置系缆桩,系缆桩由 $\Phi 48$ 钢管架体组成并布设牵引绳。围堰架体位置确定在修复衬砌板上游1m处,每组架体采

用吊车放置水中，两岸采用牵引绳牵引。围堰架体入水完成后，用 $\phi 10$ 钢丝绳固定在两岸设置的系缆桩上，确保钢模板围堰的稳定，围堰每组围堰各布设4根钢丝绳，分别固定在底座和上部斜撑交叉部位，架体底座用铸铁砣码或混凝土配重物配重，使架体稳固，防止底座出现滑移等现象。

3.4 水下衬砌板拆除施工

潜水员用破拆工具进行切割，使其破拆部分与完好部分彻底分离。具体施工时主要采用液压圆盘锯及液压潜孔钻进行分割，沿衬砌板中间部位切割，将之分成 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 大小。分割完成后在 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 的衬砌板分3个固定点，每个固定点分4个点进行打孔并固定。衬砌板拆除后，要将衬砌板与下部土工膜剥离。

3.5 基面清理及处理

对基础进行全面检查，检查是否有明显裂缝、隆起或孔洞，并留存录像资料。对局部低于设计基础面高程的部位，由潜水员水下采用砂石袋（砂石袋为土工布（ $400\text{g}/\text{m}^2$ ）袋，碎石粒径不大于 10mm ）进行找平，平整度误差控制在 10mm 以内，砂石袋尺寸根据现场拆除后的渠坡淘刷情况而定，确保新装衬板位置平整且现场尺寸无误后再进行吊放工作。

3.6 复合土工膜修复施工

土工膜修复主要包括两种：一是基础隆起造成土工膜破坏的，在开挖区域边界保留 30cm 的土工膜；二是大面积土工膜敷设破坏的，在修复区域边界保留 30cm 的土工膜。土工膜铺设前按照损坏部位面积提前裁好，在水下由潜水员铺设，搭接处铺设两道SR塑性止水材料，搭接宽度保证不小于 30cm 。根据土工膜破损的情况，采用不同长度的钢管做卷轴，把事先裁剪好的土工膜卷在卷轴上，位于卷轴两端的两名潜水员从上向下依次下移，将土工膜顺次向下铺设，同时另外一名潜水员及时对铺设的土工膜进行压重，以防止水中土工膜的漂浮。土工膜搭接处铺设两道SR塑性止水材料，搭接宽度保证不小于 30cm 。

3.7 保温板修复施工

保温板修复施工首先对于已经损坏的保温板全部拆除，将更换的保温板提前粘贴在预制板下面，随预制板同步铺设安装完成，保温板厚度 3cm ，保温板粘贴采用专用胶。

3.8 钢筋混凝土预制板安装施工

(1) 钢筋混凝土板预制

预制板混凝土等级采用C35W6F150，尺寸为 $0.99\text{m}\times 1.99\text{m}\times 0.1\text{m}$ ，配置单层钢筋，钢筋采用直径 10mm HRB400级钢筋，钢筋间距为 15cm ，钢筋位置处于预制板底部 $1/3$ 处。为保证预制板安装后的整体性及稳定性，在四周设置梯形连接锁扣，每块预制板质量为 461kg ，吊点位于预制板顶部中间位置下侧 35cm 处以及底部中间位置上侧 35cm 处。拼接采用连锁块形式，根据部位不同主要分为6种形式。

(2) 钢筋混凝土预制板安装

由潜水员和专用起吊设备、水上作业移动平台共同配合完成。首先将钢筋混凝土预制板利用 5t 自卸汽车从预制厂运送到施工现场，然后由专用起吊设备配合水上作业平台将钢筋混凝土预制板吊至待安装部位，下水后预制板安装顺序由低层到高层逐层铺装。安装前，在混凝土预制板四周的预留凹槽内填充水下堵漏胶。

在水面将预制板最大限度调整好角度，沉放至距离坡面 5cm 处，由潜水员对其角度进行细致调整，调成完毕后将预制板安装到位，安装完成后潜水员沿预制板四周检查安装情况，达到要求的平整度。安装完成后，由潜水员对预制板接缝进行冲洗清理，清理完成后用专业水下堵漏胶填充密封至预制板顶部。

3.9 混凝土衬砌板结构缝处理

钢筋混凝土板之间的拼接缝应进行水下清理，将缝隙中的杂质冲洗出缝隙，保证缝隙内的洁净。清理作业完成后，采用SR塑性止水材料嵌填对接缝，在SR塑性止水材料填入缝腔，保证填充密实，SR塑性止水材料填充完成后在顶部铺一层具有抗冲刷性的SR水下密封胶。SR塑性止水材料满足以下指标：密度， $\text{g}/\text{cm}^3\geq 1.15$ ；施工度（针入度）， mm ， $1/10\text{mm}:\geq 80$ ；流动度， $\text{mm}\leq 2$ ；流动止水长度， $\text{mm}\geq 135$ ；断裂伸长率， $\%\geq 250$ 。

3.10 录像检查

潜水员用低压水枪对新衬砌板之间的拼接缝进行水下冲洗清理，将缝隙中的杂质冲洗出缝隙。清理作业完成后，潜水员用专业SR塑性止水材料填充对接缝，在SR塑性止水材料填入缝腔，SR塑性止水材料填充完成后在顶部铺一层具有抗冲刷性的水下密封胶。全部处理完成后，潜水员进行水下录像进行复查。

4 结束语

南水北调中线干渠工程自正式通水运行以来，已不间断安全运行8个年头。干渠工程运行期间过水断面发生混凝土衬砌板隆起损坏等现象将是常态。混凝土衬砌板水下修复施工是根据工程所在地的实际情况，在保证输水安全的前提下经常采用的方法之一，它通过对原衬砌板的水下拆除、基面处理、保温板修复、土工膜修复、钢筋混凝土板预制、水下安装及施工缝填充等工艺技术，并采取必要的措施将破损区域修复，可达到“工程安全、供水安全”的目标。

参考文献

- [1] 水利水电工程围堰设计规范 SL645—2013
- [2] 建筑施工模板安全技术规范 JGJ162—2008
- [3] 空气潜水安全要求 GB 26123—2010
- [4] 南水北调中线河北分公司2021年度衬砌板修复项目施工标施工图纸