

南水北调中线超大现浇U型渡槽 预应力施工技术

熊建武 高秋艳

(中国葛洲坝集团第一工程有限公司 湖北宜昌 443002)

摘要:南水北调中线一期工程湍河渡槽工程槽体结构新颖、受力复杂、结构尺寸位居国内同类工程之首,为相互独立的3槽全预应力混凝土U型薄壁结构,单跨长40m,单跨自重约1600 t。通过开展超大现浇U型渡槽预应力施工技术研究,实现了湍河渡槽槽体机械化施工,大大缩短了工程工期,节省了工程结构成本及施工投资。

关键词:南水北调 超大U型渡槽 预应力 施工

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.06.002

1 工程概况及研究背景

1.1 工程简介

南水北调湍河渡槽全长1030m,槽身为相互独立的3槽预应力混凝土U型薄壁结构,共18跨,每跨40m,槽体内空尺寸(高×宽)7.23m×9.0m,跨中壁厚35cm,端肋壁厚65cm,单跨重约1600 t。渡槽设计流量为350m³/s,加大流量为420m³/s。

渡槽槽体结构新颖、受力复杂,且钢筋密集、预应力管道及相应埋件众多,无论内径、单跨跨度、流量均属世界首例,是南水北调中线中单跨跨度最长、施工难度最大的一项渡槽工程,也是世界上最大的U形输水渡槽。湍河渡槽槽身段上部结构布置图如图1所示。

1.2 研究背景

湍河渡槽槽身体型结构复杂、钢筋密集、预应力管道及相应埋件众多,施工工艺复杂,单跨施工周期长。根据湍河渡槽施工建设总工期要求及施工期导流规划要求,渡槽槽身段需跨汛期连续施工。渡槽槽身若采用传统满堂支架体系,排架基础处理工程量大、成本高,严重制约槽身施工进度。为避免施工期受水流和地表地形的影响,革新传统工艺,节省工程建设成本,加快槽

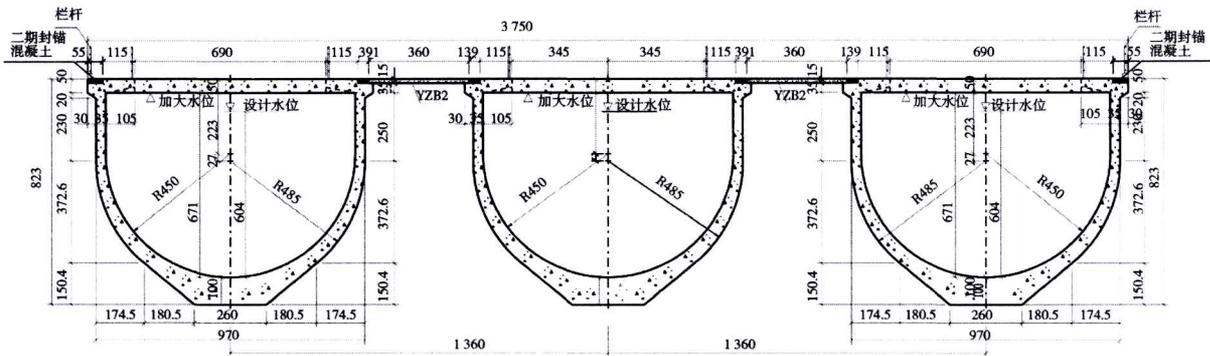
身施工进度,渡槽槽身采用移动式模架造槽机现浇施工。

2 技术难点分析

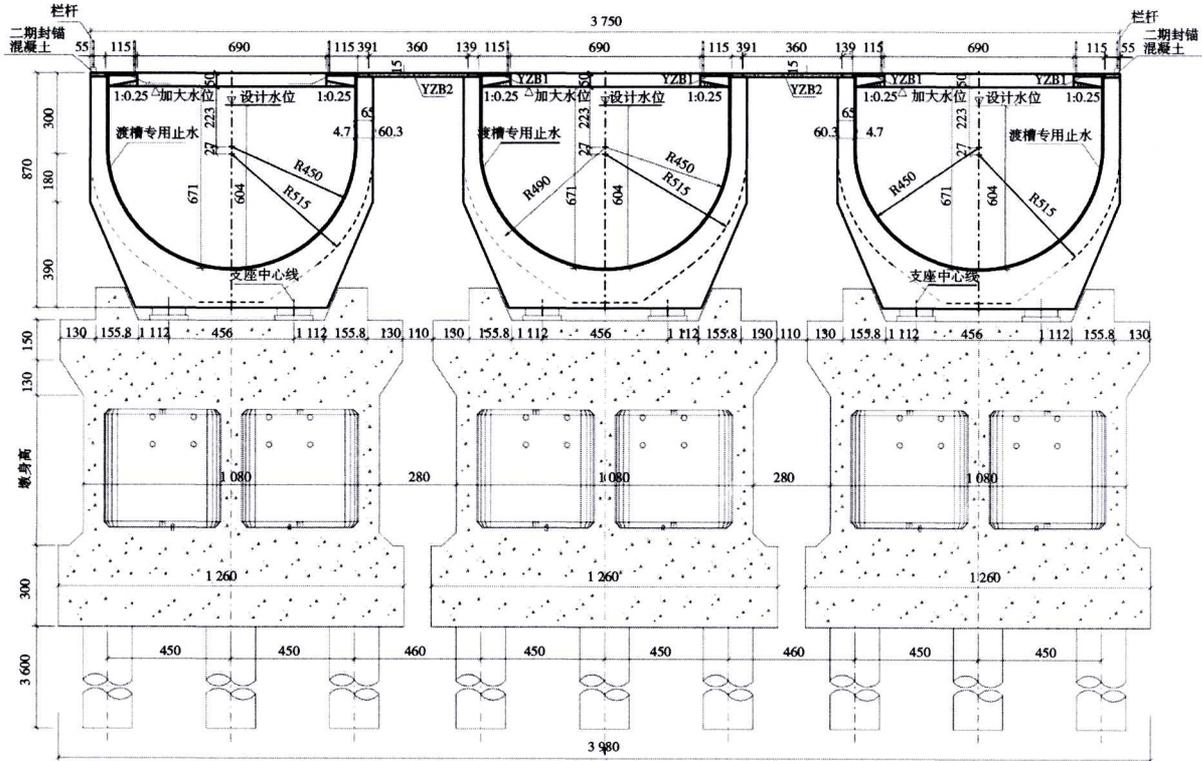
采用移动式模架造槽机替代传统满堂支架体系原位现浇超大U型预应力渡槽,不受河滩软弱地基及跨越河流等复杂地形、地貌的影响,可全年进行施工。该创新工艺存在的技术难点如下:

(1)整体移动式模架造槽机的安装和拆除。湍河渡槽造槽机结构巨大复杂,整体为门架式构造,全机总重1250 t。造槽机安装施工时,需解决各部件吊运、拼装、拆除等工序的组织 and 衔接,并确保安全高效完成造槽机安装、拆除施工。

(2)整体移动式模架造槽机机械化施工替代传统施工工艺原位现浇渡槽。传统工艺进行渡槽槽身施工主要采用满堂支撑体系原位现浇或厂内预制现场吊装的方法。满堂支撑体系进行原位现浇施工需进行基础处理、排架搭设及拆除、模板安拆工程量较大,施工难度大、周期长、成本高。通过开展技术研究,实现渡槽槽身机械化施工,节省工程建设成本,缩短施工周期。



(a) 跨中断面



(b) 支座断面

图1 湍河渡槽槽身段上部结构布置图

(3) 渡槽槽身混凝土质量控制管理。渡槽槽身混凝土采用C50W6F200泵运送混凝土,槽身混凝土强度等级、抗渗、抗冻要求高,对骨料的质量要求高,混凝土的质量控制尤为重要。渡槽槽身结构复杂、钢筋密集、预应力管道及相应埋件众多,混凝土下料极为困难,振捣不便,槽身混凝土浇筑时易出现混凝土架空、蜂窝、空洞等不良现象。

(4) 渡槽预应力张拉质量控制管理。渡槽采用后张法进行预应力张拉,张拉质量实行双控,传统渡槽预应力张拉以人工读取张拉力数值、钢板尺测量液压千斤顶油缸伸长的方法进行施工,人为操作不能确保预应力张拉质量。

3 关键技术研究

3.1 造槽机安装和拆除技术研究

3.1.1 造槽机安装技术研究

造槽机的外梁系统由4条主支腿支撑外主梁框架,外肋及外模安装在外主梁下方形成渡槽外轮廓。由于外主梁跨度大,全长46m,整个外梁系统重495 t,需安立在40m跨的墩台上,且主支腿在外框架形成之前不易固定,为便于安装及达到安全稳妥,使用贝雷架拼装成的临时支撑架作为外梁系统安装的临时支撑系统。根据外梁的分段长度,在槽墩之间合理设置4组龙门式的临时支撑框架,使外主梁接头正好能够搁放在临时支撑梁的顶部,既便于主梁安装轴线及高程的控制,也便于整个外梁在空中的对接拼装。

内梁全长88m,前段依靠行走支腿支撑于两槽墩上,后段与前段的拼接通过内模组装过程中形成的临时平台完成,并在临时平台上铺设轨道,形成一道临时栈桥,供内梁、内模系统准确且便利地行走至外模“U”型内腔中。

3.1.2 造槽机拆除技术研究

移动式模架造槽机外模采用整体拆除方案,

利用10台30 t环链电动葫芦群吊系统分节整体拆除。群吊系统拆除效率高,可在槽体养护、预应力张拉同时做拆除准备工作,对工程直线工期影响较小,可降低造槽机外模分节拆除对相邻未施工槽身的影响。同时可减少在高空进行外模分解、拆除的工作量,安全风险小。

3.2 渡槽机械化施工

3.2.1 支座安装

(1) 在浇筑基础及支座垫石时预留安装孔,采用长度为60cm~70cm、直径为 $\phi 190$ mm的PVC管进行预埋成孔,PVC管的下部用胶布封堵确保预留孔不漏浆。

(2) 安装下预埋组件时用钢楔块楔入下预埋板四角,调平下预埋组件至设计标高,保证下预埋组件底面与垫石之间有20mm左右的灌浆空隙。

(3) 精准确定标高及中心位置后,根据试验室提供的试验参数拌制灌浆材料。

(4) 灌浆时,先灌注支座四个预埋柱脚位置,待四个柱脚灌满后从组件中心部位向四周灌注(四周先用砂浆封堵),直至钢板下部灌注密实。

(5) 灌浆料凝固后安装支座上预埋组件,安装过程中确保其中心准确无误。

3.2.2 槽身钢筋安装

槽身钢筋加工利用系统布置的钢筋加工厂进行制作。槽身环向U型钢筋采用直螺纹套筒连接现场整体吊运,精确定位安装。槽身钢筋一次绑扎完成,绑扎时按先底板再侧墙、先端肋后跨中的顺序进行。U形钢筋采用直螺纹连接,其余钢筋采用绑扎或手工电弧焊焊接。

外层U型进筋安装完成后进行预应力孔道定位钢筋安装、纵向波纹管安装、跨中区面层钢筋安装、环向钢绞线安装、内外层U型钢筋拉钩筋安装。U型钢筋安装完毕时造槽机内模具备行走

条件,槽体钢筋安装基本成型。翼板部位钢筋待槽身拉杆梁吊装到位后再进行安装。

3.2.3 槽身全预应力钢绞线施工

湍河渡槽工程用的钢绞线结构为 1×7 ;公称直径 $\phi 15.2\text{mm}$;公称截面面积 140mm^2 ;强度级别为 1860MPa ;一根钢绞线的最大负荷不小于 260kN ;屈服负荷不小于 234kN ;伸长率不小于 3.5% ;1000h的松弛率不大于 2.5% (70%标准强度)。

3.2.4 内模行走及环向锚垫板安装

(1)内模行走就位:内梁1号腿脱空→内梁携内模前移 40m 到位→内梁各支腿起顶并调整标高。

(2)槽身拉杆梁吊装:槽身拉杆梁为厂内预制,利用造槽机配置的2个5T电动葫芦将其转运至仓内安装。

(3)环向锚垫板安装:槽身翼板钢筋安装及拉杆梁钢筋安装完成后进行环向锚垫板安装,锚垫板旁边用两根通长(40m)的钢筋作为样架筋,将锚垫板边缘与样架钢筋电焊,确保锚垫板水平、顺直、牢靠。

3.2.5 槽身混凝土浇筑

槽身混凝土为UF500纤维素纤维混凝土,其粘聚性强扩散度及流动度差,采用2台 47m 混凝土汽车泵直接送料入仓,单台汽车泵配置3台 8m^3 混凝土罐车承担水平运输。

综合考虑槽身钢筋密集程度、下料窗口布置、振捣影响范围等因素,槽身混凝土采取薄分层浇筑方式。混凝土振捣方式根据浇筑部位分两种,槽身底板混凝土浇筑时振捣方式全部采用插入式振捣。槽身腹板、侧壁及支座部位混凝土浇筑时以插入式振捣为主,附着式振捣器辅助振捣。

3.2.6 渡槽槽身混凝土质量控制措施

研究发明的《一种大型造槽机内、外模变形

控制锁紧装置》,解决了槽身混凝土浇筑施工过程中内外模变形不同步的问题,保证了槽身混凝土浇筑质量满足相关设计规范要求;《一种造槽机施工槽身混凝土浇筑方法》,解决了大型薄壁U型渡槽机械化混凝土浇筑施工过程中混凝土粘聚性强、扩散度及流动度差、下料困难等问题,提高了混凝土浇筑速度,加快了整体施工进度,保证了混凝土外观质量;《一种大跨度U型薄壁渡槽混凝土振捣方法》,通过选择合适的混凝土振捣设备,在整体模板上合适的位置上布置附着式高频振捣器,选择合理的振捣次序及工艺,提高了混凝土振捣施工质量,加快了混凝土施工进度,在造槽机外立面的附着振捣器在人行通道上设置控制柜,无需人员高空操作,提高了工程施工安全性。

3.3 槽身预应力张拉施工

3.3.1 槽身锚索布置

槽底加厚部位布置一层共8束($12 \times \phi_s 15.2$)间距 40cm 的纵向预应力钢绞线,在槽身下部 104.4° 范围内布置一层共22束($12 \times \phi_s 15.2$)间距 40cm 的纵向预应力钢绞线,在槽顶两侧直墙上各布置5束($6 \times \phi_s 15.2$)钢绞线,环向在跨中 $1/2$ 跨区域内布置($3 \times \phi_s 15.2$)间距 18cm 的钢绞线,在两端 $1/4$ 跨内布置($3 \times \phi_s 15.2$)间距 15cm 的钢绞线,环向钢绞线共计241束。

3.3.2 预应力张拉施工

(1) 张拉控制应力

环向预应力钢绞线张拉控制应力为

$$\sigma_{\text{con}} = 0.70 f_{\text{ptk}} = 0.70 \times 1860 = 1302\text{MPa};$$

纵向预应力钢绞线张拉控制应力为

$$\sigma_{\text{con}} = 0.75 f_{\text{ptk}} = 0.75 \times 1860 = 1395\text{MPa};$$

(2) 张拉顺序

本工程采用后张法施工,槽身纵向有粘结预应力钢绞线,单端张拉;环向无粘结钢绞线,两端同步张拉。为保证槽身受力均匀,纵、环向预

应力钢绞线采用对称张拉。钢绞线张拉前先单根预紧再整束张拉，单根钢绞线的预紧力为张拉控制应力的10%左右。

张拉端肋环向钢绞线（23束）→张拉纵向钢绞线（40束）→张拉渐变段至跨中区域环向钢绞线（218束）。

4 国内外现有技术比较

（1）目前国内大跨度桥（渡槽）工程施工主要有运架一体式浮吊、造桥（槽）机和架桥（槽）机方案。湍河为非通航季节性河流，河床浅，漫滩较宽，大型运输船舶和浮吊无法进场，运架一体式浮吊方案不适合湍河渡槽施工。若采用架槽机（渡槽预制-装运-架设），地面运输受汛期洪水影响，工期没有保证，运输道路投入高；空中运输则需将预制好的渡槽从已架设的渡槽顶部转运至待架槽跨，渡槽结构自重加上运槽设备重量超过2000t，而湍河渡槽槽身直段部分厚度仅35cm，难于承受运槽荷载，故架槽机也不适合湍河渡槽施工。造槽机施工以空中作业为主，不需进行地基处理，也基本不受汛期洪水影响，可全年现浇施工作业。

（2）传统工艺进行渡槽施工主要采用满堂支撑体系原位现浇施工。满堂支撑体系进行原位现浇施工需进行基础处理、排架搭设及拆除，模板安拆工程量较大，施工难度大，施工周期长，成本高。

与传统施工工艺相比，采用造槽机进行槽身机械化施工，节约了大量的支撑排架，极大的减少了下部基础处理工程量，大大缩短槽身施工周期，既节省了结构成本及施工成本，又保护了河床生态环境，经济和环保效益突出。

（3）大型渡槽机械化施工技术曾应用于广东东深供水樟洋渡槽工程中，但樟洋渡槽规模较小，应用的造槽机仅为300t级。南水北调湍河渡

槽为大跨度、全预应力、现浇薄壁结构，在同类渡槽中规模最大。研制使用的造槽机重达1200t以上，技术复杂，施工难度大，国内外未见类似规模、难度的技术研究及工程实践。

5 技术水平

（1）本项目技术研究实现了世界最大U型预应力输水渡槽的高效、安全和环保施工，核心技术获10余项专利授权，整体技术水平达到国际领先水平。

（2）本项目技术研究将我国渡槽造槽机施工技术由300t级提高到1200t级，促进了大型渡槽建造机械化施工技术的发展。

（3）中国工程院院士、桥梁工程专家王景全指出，湍河渡槽是目前世界上采用造槽机施工的单跨跨度和重量最大的U型渡槽，具有很强的推广价值。

（4）2014年10月，湍河渡槽工程通过国务院南水北调建设委员会的质量评价，由原水利部总工、设计大师高安泽，中国工程院院士、长江委总工郑守仁等水利行业专家组成的专家委员会检查后认为工程质量满足合同文件、设计和相关规程规范要求。

6 结语

南水北调中线超大现浇U型渡槽预应力施工技术湍河渡槽工程中的成功应用，保证了湍河渡槽工程的整体施工进度和质量，为南水北调中线干线工程的建设做出了积极贡献，促进了我国大型输水渡槽机械化施工技术的发展。随着南水北调工程建设的深入和当前国家加强水利工程建设政策的落实，将会有更多类似大型渠道工程和水利枢纽工程开工建设，也将会遇到更多的大型输水渡槽工程，本技术研究成果为后续南水北调渡槽工程及其他类似大型输水工程的施工提供了借鉴和参考。