

文章编号:1671-6833(2017)05-0061-04

大型预应力混凝土矩形渡槽槽身结构型式研究

陈玉英

(河南省水利勘测设计研究有限公司 工程设计二院,河南 郑州 450016)

摘 要: 结合南水北调中线双洎河渡槽探讨大型预应力混凝土矩形槽槽身结构型式. 采用平面结构力学法和三维有限元法相结合的方式对槽身结构方案进行配筋和混凝土应力计算, 并对槽身混凝土应力、施工方案和投资进行比较, 得出大型预应力混凝土矩形渡槽宜采用边墙和底板均无肋的板式结构, 此种结构混凝土应力更均匀、利于抗裂, 亦便于机械化施工, 为今后大型预应力混凝土矩形渡槽的设计施工提供参考.

关键词: 大型预应力混凝土矩形槽; 板式矩形槽; 南水北调中线工程

中图分类号: T672.3 文献标志码: A doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2017.05.020

0 引言

随着解决区域性水资源短缺的大型调水工程增多(如引江济淮、引绰济辽等),输水渡槽特别是梁式渡槽,具有跨越能力强、水头损失小、运行检查直观、维护方便等优点,在调水输水工程中被广泛采用. 目前有关渡槽的研究如大跨度渡槽的结构型式研究、渡槽的动力特性及减隔震研究^[1-2]、大型渡槽施工技术装备研究^[3]、渡槽运行风险识别和预警关键技术研究等仍在进行中,这一系列的研究成果助推大型渡槽朝着大跨径、机械化施工、自动和精细化运行方向发展. 大型渡槽要实现大跨径比较经济的方式是选用合适的槽身结构型式、采用预应力混凝土结构. 笔者结合南水北调中线双洎河渡槽的实情选取合理的槽身结构型式(简支梁式双厢预应力混凝土矩形槽),借鉴前期双洎河渡槽项目^[4]和沙河渡槽项目^[5]成果,并结合设计和施工需要,优化矩形槽槽身结构型式,为今后大型预应力混凝土矩形渡槽的设计施工提供参考.

1 工程概况

南水北调中线双洎河渡槽位于河南省新郑市,渡槽设计流量 305 m³/s,加大流量 365 m³/s,

全长 810 m,槽身长 600 m,渠道设计水深 7 m,槽内设计水深 6.67 m,渡槽总设计水头 0.22 m.

渡槽所跨越的双洎河百年一遇洪峰流量为 4 770 m³/s、三百年一遇洪峰流量为 6 850 m³/s. 区内地质条件为上第三系软岩 N_{1L} 黏土岩、砂岩上覆第四系冲洪积层轻壤土、细砂、砾石^[6],Ⅶ度地震区.

双洎河渡槽因流量大、水头少,槽身过流断面巨大,槽身采用简支梁式渡槽,可利用其巨大的过流断面兼作纵向承重结构. 槽身纵向采用简支梁式、跨径 30 m,横向采用矩形断面,四槽,单槽净宽 7 m,槽高 7.9 m,两槽共用中隔墙成为整体的一联,共两联;每联槽身对应下部结构为一空心墩+承台+摩擦桩基础;两联相互独立.

2 大型双厢预应力混凝土矩形槽槽身结构型式方案研究

2.1 前期结构型式及成果

沙河渡槽槽身结构研究^[5]时,矩形槽方案槽身为双厢即 2 槽一联,边墙及底板均带肋,单槽净宽 7 m、槽高 7.8 m,跨径 30 m,槽身材料为 C50 预应力混凝土. 槽身结构分析和数值模拟结果显示,矩形槽混凝土应力在底肋、侧肋、底板、边墙结

收稿日期:2017-03-17;修订日期:2017-05-01
基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB04A05)
作者简介:陈玉英(1971—),女,河南商城人,高级工程师,主要从事水利水电工程设计工作,E-mail:1660273312@qq.com.

合处集中明显,加载时墙底内侧有拉应力,最大值为 2.68 MPa.可见大型矩形槽在边墙和底板带肋时结合部位应力高,且钢筋密集、混凝土施工质量的不易控制,对结构的局部受力不利,提示可进一步研究减少肋,并进行经济技术包括应力的对比分析后,合理确定槽身型式.

2.2 双厢预应力混凝土矩形槽身结构型式方案

带肋槽身结构,肋的主要作用为将侧墙和底板划分为若干板块并支承板块,目的为减少板的厚度.槽壁作为纵向承重结构时,既受弯又受剪,结构力学分析主要是由墙板的厚度和高度组成的截面来受力,而其侧肋基本不起作用,故首先考虑去掉侧墙的竖肋及水平肋,保留底板下底肋和槽顶拉杆,如图 1.为进一步改善应力分布,减少应力集中,去掉所有肋成为板式结构,保留槽顶拉杆,如图 2.

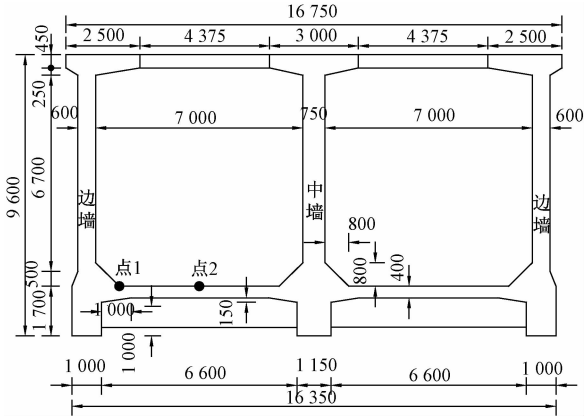


图 1 矩形槽(底板带肋)横断面图(尺寸单位:mm)

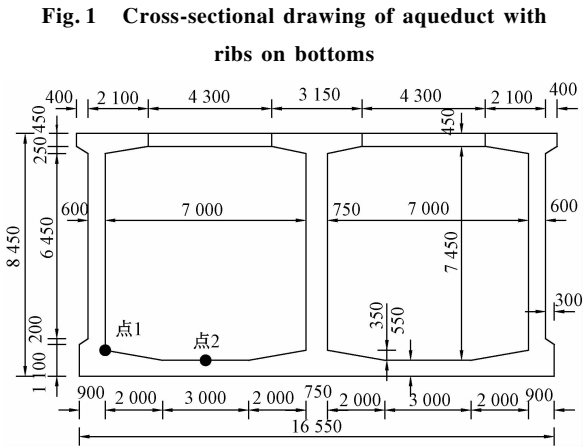


图 2 板式矩形槽横断面图(尺寸单位:mm)

Fig. 2 Cross-sectional drawing of rectangular plate-type rectangular aqueduct

2.3 渡槽槽身结构受力分析

槽身结构受力分析有平面结构力学法和三维有限元法.平面结构力学法是渡槽工程中常用的计算方法,对于中小型渡槽,简化计算经过多年的

工程实践检验是可靠的;而南水北调中线工程大型渡槽的体形及规模已超出了普通梁式渡槽的范畴,双泊河渡槽槽身跨宽比小于 2.0,跨高比 3.4 左右,为深受弯构件,采用简化的平面结构力学法不足以准确模拟渡槽的受力状况,更不能反映渡槽的薄弱部位.三维有限元法需采用应力配筋,而目前规范无明确的方法.因此对槽身先采用传统的结构力学法进行结构内力及配筋计算,然后应用有限元程序 ANSYS 对其进行模拟,分析整个槽身的变形和应力情况,如不理想,返回调整结构尺寸或配筋重新模拟计算,将平面结构力学法和有限元法结合使用,相互验证、补充,从而首先在理论上保证渡槽结构安全、经济最优^[7].槽身计算荷载有:自重、水压力、风压力、人群荷载、温度荷载、预应力等.槽身结构设计技术要求“在任何荷载组合条件下,槽身内壁表面不允许出现拉应力”^[8].槽身材料:C50 混凝土,钢绞线 $\Phi^*15.2$,张拉控制系数取 0.75.

(1)平面结构力学法^[9]

槽身配筋计算按承载能力极限状态设计,正常使用极限状态校核.

承载能力极限状态设计表达式为:

$$KS \leq R,$$

式中: K 为承载力安全系数,基本组合取 1.35,偶然组合取 1.15; S 为荷载效应组合设计值; R 为结构构件的承载力设计值.

正常使用极限状态设计表达式为:

$$S_k(G_k, Q_k, f_k, a_k) \leq c,$$

式中: $S_k(\cdot)$ 为荷载效应标准组合值函数,取 1.0; c 为结构构件达到正常使用要求规定的变形、裂缝宽度或应力等的限值; G_k, Q_k 为永久荷载、可变荷载标准值; f_k 为材料强度标准值; a_k 为结构构件几何参数的标准值.

两种槽身结构的一节槽身的预应力钢绞线配筋量及纵梁最大挠度值见表 1.

(2)三维实体有限元法

采用大型有限元通用程序 ANSYS 进行槽身应力及变形分析,槽身混凝土采用实体单元(SOLID45)模拟,预应力钢绞线采用杆单元(LINK8)模拟.预应力以钢绞线的有效预应力折算成杆单元的初始应变后施加到有限元模型上.一节槽身在槽底支承端设减隔震支座,两端各有 3 个支座,上游端中间为单向(顺槽向)移动支座、另两个为双向(顺槽向、横槽向)移动支座,下游端中间为固定支座、另两个为单向(横槽向)移动支座,在槽

表 1 一节槽身预应力钢束配筋量及挠度值

Tab.1 Quantity of prestressed steel strand and deflection value in a cross aqueduct

槽身结构型式	部位	纵向	横向	竖向	最大挠度 c/mm
矩形槽 (底板带肋)	边墙	2×14×7×7φ5	—	2×122×5×7φ5	1.18
	中墙	27×7×7φ5	—	122×5×7φ5	1.42
	底板	2×6×5×7φ5	61×9×7φ5	—	—
	底肋	—	13×2×9×7φ5	—	—
板式矩形槽	边墙	2×14×7×7φ5	—	2×128×5×7φ5	1.25
	中墙	21×7×7φ5	—	128×5×7φ5	1.51
	底板	2×7×7×7φ5	128×7×7φ5	—	—

底支承单元上施加支座不可移动方向的约束.对槽身由于温度变化产生的温度应力采用有限元计算^[10-11],夏季月平均温差 5.8℃(内侧 26℃,外侧 31.8℃);冬季月平均温差 6.8℃(内侧 3℃,外侧 -3.8℃).进行温度应力计算时,将混凝土实体单元(SOLID45)转换为热单元(SOLID70)计算结构在温度场作用下产生的应力.对槽身结构最不利温变工况为满槽水夏季温升,槽内壁受拉,带底肋槽身内侧最大横向拉应力 2.19 MPa、竖向拉应力 1.73 MPa、纵向拉应力 1.93 MPa,板式槽身内侧最大横向拉应力 1.94 MPa、竖向拉应力 1.55 MPa、纵向拉应力 1.68 MPa.两种槽身结构的关键对比点(如图 1、图 2)跨中断面三向应力(控制工况:静力荷载+夏季温升+预应力)见表 2.

表 2 槽身混凝土应力值

Tab.2 Concrete stress value of aqueduct			
槽身结构型式	应力方向	点 1	点 2
矩形槽 (底板带肋)	纵向	+1.21	-2.43
	横向	+1.93	-3.97
	竖向	+1.62	-0.42
板式矩形槽	纵向	-0.89	-2.13
	横向	-0.73	-8.49
	竖向	-3.33	-0.07

注:“+”表示拉应力;“-”表示压应力.

从表 2 可见,矩形槽带肋结构在肋与底板、槽壁结合处应力集中明显,且施加预应力对腋角部位混凝土产生的预压应力有限,槽身内侧过水面仍出现较大的拉应力,同样南水北调中线涉河渡槽为三箱一联底板带肋矩形槽结构,施加预应力后槽身内侧过水面仍有拉应力^[12],所以不利于抗裂、防渗漏,而无肋的板式矩形槽槽身内壁完全为受压状态,从而在理论上保证槽身不渗漏,结构耐久性更强.

2.4 施工方案及投资对比

大型渡槽槽身的施工方法有满堂支架法、预制架槽法和造槽机施工法.双泊河常年有水,

且河道表层为松散土.满堂支架法需要施工导流、汛期槽身不能施工、支架地基必须处理;预制架槽法,需要预制、存放场地和提槽机、运槽机及架槽机,一次投入设备费约 5 100 万元,另外需租用和处理场地;造槽机法在槽墩施工完成后造槽机在墩顶行走,完成槽身施工,常年可施工,不需导流、不需增加施工场地.3 种施工方法相比较满堂支架法投资最少、预制架槽法投资最大,考虑工期和施工质量,采用造槽机施工.两种槽身结构型式的主要工程量及投资见表 3.从表 3 中可以看出,板式矩形槽相对于带底肋的矩形槽投资更省.

表 3 槽身方案比选主要工程量及投资

Tab.3 Major quantities and investments of comparative aqueduct		
槽身结构型式	矩形槽(带底肋)	矩形槽(无肋)
施工方案	造槽机	造槽机
槽身 C50 混凝土/m ³	44 955	42 140
墩帽 C30 混凝土/m ³	11 070	11 070
墩身 C30 混凝土/m ³	27 073	27 073
承台 C30 混凝土/m ³	20 215	20 215
桩长(桩径 1.8 m)/m	21 950	21 659
普通钢筋/t	13 492	13 052
预应力钢绞线/t	2 093	2 130
施工设施投资/万元	4 100	4 000
建筑工程投资/万元	20 322	19 923
总投资/万元	24 422	23 923

3 结论

(1)从结构应力分布上看,板式矩形槽比带肋结构矩形槽应力分布更均匀,也可以使槽身内壁过水面完全处于受压状态,而带肋结构在肋与梁、板结合部位应力集中明显,即使施加预应力槽内壁仍有拉应力.

(2)从施工方面考虑,板式矩形槽比带肋矩形槽结构外形更平顺,模板制作、钢筋绑扎、混凝

土振捣更方便,也更适于机械化施工,施工质量和工期易于控制.

(3)从投资方面比较,板式结构比带肋结构更省.

所以,大型预应力混凝土矩形渡槽宜采用板式槽身结构,施工时可采用一次成型的造槽机或架槽机方案(两者根据经济比较选取).

参考文献:

[1] 陈厚群.南水北调工程抗震安全性问题[J]. 中国水力水电科学研究院学报, 2003, 1(1): 17-22.

[2] 季日臣,唐艳,夏修身,等. 大型梁式渡槽采用摩擦擦支座的减隔震研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(3): 213-217.

[3] 董必钦.南水北调中线大型渡槽重大技术装备研发应用及前景分析[J]. 中国水利, 2013(20): 66-68.

[4] 华北水利水电学院,河南省水利勘测设计院.南水北调中线工程预应力混凝土渡槽结构设计与试验研究[R]. 郑州:华北水利水电学院,河南省水利勘测设计院, 2002.

[5] 华北水利水电学院,河南省水利勘测设计研究有限公司.沙河渡槽方案优选及结构分析研究报告[R]. 郑州:华北水利水电学院,河南省水利勘测设计研究有限公司, 2009.

[6] 河南省水利勘测有限公司. 南水北调中线一期工程总干渠双洎河渡槽工程初步设计地质勘察报告[R]. 郑州:河南省水利勘测有限公司, 2009.

[7] 沈凤生. 特大型输水工程跨河梁式渡槽若干关键技术问题探讨[J]. 水利规划与设计, 2014(1): 1-4.

[8] 南水北调中线建设管理局. 南水北调中线一期工程总干渠初步设计梁式渡槽土建工程设计技术规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.

[9] 水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. SL191—2008 水工混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.

[10] 冯晓波. 特大型渡槽的温度应力分析[D]. 武汉水力电力大学土木建筑工程学院, 1999.

[11] 冯晓波,夏富洲,王长德,等. 南水北调中线大型渡槽运行期温度场的计算[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(2): 25-28.

[12] 王刚,任德记,周亮,等. 南水北调中线大型预应力渡槽有限元分析[J]. 中国农村水利水电, 2011(3): 90-93.

[13] 河南省水利勘测设计研究有限公司. 南水北调中线全线充水试验双洎河渡槽结构安全分析报告[R]. 郑州:河南省水利勘测设计研究有限公司, 2014.

Research of Large-scale Prestressed Concrete Rectangular Aqueduct Body Structure Type

CHEN Yuying

(Henan Water & Power Engineering Consulting Co. Ltd, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: Based on Shuangji River aqueduct in the middle route of South-to-North Water Transfer Project, the structural type of large prestressed concrete rectangular aqueduct was examined. Plane structural mechanics method and 3d finite element method was used for calculation of reinforcement and concrete stress. By comparing the concrete stress, the groove construction method and the investment of different modes, it was concluded that slab structure of unribbed side wall and bottom plate was the appropriate structure for large-scale prestressed concrete aqueduct, and the structure of which had more balanced concrete stress, concrete cracking resistance, and was more convenient for mechanized construction. This paper provided a reference for the design and construction of large prestressed concrete rectangular aqueduct.

Key words: large prestressed concrete rectangular aqueduct; plate type rectangular aqueduct; middle route of south to north water transfer project