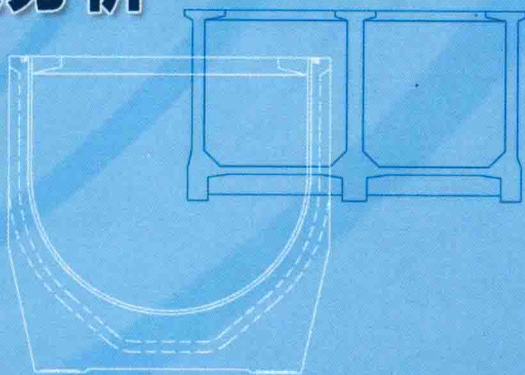




大型钢筋混凝土渡槽 静力及温度分析

马文亮 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大型钢筋混凝土渡槽 静力及温度分析

马文亮 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分为 5 章，以南水北调沙河渡槽结构为例，阐述了大型渡槽静力分析及温度分析研究概况；分别采用混合离散变量优化设计的直接搜索与查点法，对沙河渡槽槽身结构进行了优化设计；对沙河渡槽施工期与运营期进行了静力分析，并对渡槽结构进行了稳态温度场和瞬态温度场进行了分析，计算了相应的温度应力分析。研究内容采用图表等形式表达，丰富易懂，研究成果为大型钢筋混凝土渡槽结构的设计和施工提供了一定的参考依据。

本书可为水工结构工程领域工程师、设计人员、施工技术人员和研究人員提供参考，也可供大中专院校水利工程相关专业师生学习和参考。

图书在版编目（C I P）数据

大型钢筋混凝土渡槽静力及温度分析 / 马文亮著
— 北京：中国水利水电出版社，2016.8
ISBN 978-7-5170-4719-3

I. ①大… II. ①马… III. ①钢筋混凝土—渡槽—分
析静力学 IV. ①TV672

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第209861号

书 名	大型钢筋混凝土渡槽静力及温度分析
作 者	DAXING GANGJIN HUNNINGTU DUCAO JINGLI JI WENDU FENXI 马文亮 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 11.5 印张 251 千字
版 次	2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷
定 价	39.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前言

本书采用有限单元法对南水北调沙河渡槽进行了静力分析和温度分析。研究结果表明：在大型预应力渡槽结构分析中，预应力钢筋的模拟必须考虑力作用点处的局部作用效果，在预应力筋作用点处加上一块垫板，以模拟真实的锚固状态，可以减小预应力筋作用位置上的局部应力集中程度。对渡槽横杆受力分析的结果表明，在渡槽槽身的高宽比较小时，多数横杆受压；随着高宽比的增大，渡槽横杆的轴力由压力转变为拉力；并且高宽比越大，各横杆的拉力也越大。在渡槽槽身的高宽比 $H/B=1$ 的条件下，水深较小时，多数横杆受压；随着水深的增加，渡槽横杆的轴力由压力转变为拉力；并且水深越大，各横杆的拉力也越大。夏季温差工况下，在内壁下方贴角区域，无论是纵向应力，还是横向应力和竖向应力，均具有较大的拉应力。冬季温差工况中，渡槽的外部（底板下的纵梁、横肋、侧墙上的竖肋、纵肋以及上部的拉杆）暴露在冷空气中，温度较低，而其内壁则与水接触，具有相对较高的温度，渡槽的内壁与外部之间有较大温差，内部和外部变形不一致；因而导致渡槽底部的纵梁承受纵向拉应力，底部的横肋和上部的拉杆承受横向拉应力，侧墙上的竖肋承受竖向拉应力，这些部位均具有比较大的拉应力。在施工浇筑阶段，大型渡槽因水化热而在短时间内温度变化较大，但由于渡槽的壁厚较小，温度下降较快，很快就能降低到环境温度，导致槽体内的温度梯度不是很大，因而产生的温度应力也不是很大。

本书作者为华北水利水电大学的马文亮老师。本书在成稿过程中得到了河南省水利勘测设计研究有限公司、华北水利水电大学白新理教授和吴泽玉老师的大力支持与帮助，在此一并表示诚挚的谢意。

限于作者水平，水中内容难免有疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2016年7月

目 录 /

前言

第 1 章 大型渡槽及其研究概况	1
1.1 渡槽及大型渡槽	1
1.2 渡槽结构的发展	2
1.2.1 国外渡槽建设发展概况	2
1.2.2 我国渡槽建设的发展概况	3
1.3 渡槽结构的静力分析研究	4
1.4 渡槽结构的温度应力研究	5
第 2 章 沙河渡槽工程概况	7
2.1 沙河概况	7
2.2 沙河渡槽工程概况	7
2.3 设计荷载及计算工况	10
2.3.1 设计荷载	10
2.3.2 计算工况	11
2.3.3 裂缝控制等级	11
2.4 沙河渡槽槽身结构优化设计方案	11
2.4.1 矩形渡槽槽身结构优化设计方案	11
2.4.2 U 形渡槽槽身结构优化设计方案	15
2.5 小结	18
第 3 章 沙河渡槽施工期与运营期静力分析研究	19
3.1 概述	19
3.1.1 计算要求	19
3.1.2 计算模型	19
3.1.3 荷载	21
3.1.4 荷载组合	22
3.1.5 计算工况	23
3.2 沙河矩形渡槽的结构分析	25

3.2.1 渡槽在施工期的结构分析	25
3.2.2 渡槽在运营期的结构分析	29
3.3 沙河 U 形渡槽的结构分析	69
3.3.1 渡槽在施工期的结构分析	69
3.3.2 渡槽在运营期的结构分析	73
3.4 小结	106
第 4 章 大型渡槽温度及温度应力分析研究	107
4.1 温度场分析	107
4.1.1 温度场问题概述	107
4.1.2 温度场分析的有限单元法	112
4.2 温度应力分析	115
4.2.1 温度应力问题的基本方程	115
4.2.2 按位移求解	117
4.2.3 弹性温度应力问题的有限单元法	118
4.2.4 混凝土徐变和应力松弛	120
4.3 大型渡槽温度及温度应力分析	121
4.3.1 水温计算分析	121
4.3.2 渡槽内外壁温差确定	123
4.3.3 U 形渡槽温度应力分析	126
4.3.4 矩形渡槽温度应力分析	143
4.3.5 施工工况下渡槽温度应力分析	161
4.4 小结	174
第 5 章 结论与建议	175
5.1 主要结论	175
5.2 几点建议	176
参考文献	177

第 1 章 大型渡槽及其研究概况

1.1 渡槽及大型渡槽

渡槽是水利建筑物中应用最广泛的交叉建筑物之一，当输水渠道与河渠、道路、山沟、洼地等相交时，以明渠方式引导渠水，跨越障碍而修建的架空输水建筑物，称为渡槽，俗称“过水桥”。渡槽又称高架渠，是一组由桥梁、隧道或沟渠构成的输水系统。用来把远处的水引到水量不足的城镇、农村以供饮用和灌溉，是输水渠道水流跨越河渠、道路、山冲、谷口等的架空输水建筑物，是灌区水利建筑物中应用最广的立体交叉建筑物之一，除用于输送渠水外还可供排洪和导流之用。

渡槽结构由槽身、支承结构、基础及进出口建筑物等部分组成。槽身搁置于支承结构上，槽身及槽中水的重力通过支承结构传给基础再传给地基。

渡槽的类型，一般是指输水槽身及其支承结构的类型，主要有以下几种分类方法：

(1) 按施工方法分，有现浇整体式、预制装配式及预应力渡槽等。

(2) 按所用材料分，有木渡槽、砖石渡槽、混凝土及钢筋混凝土渡槽等。

(3) 按槽身断面形状分为矩形、梯形、圆形、半椭圆形、抛物线形、U 形等数种。其中以 U 形和矩形槽身应用较广。根据实际需要和结构受力条件，在上述各种断面形状中，还可有带横梁和不带横梁、箱形结构以及设置横向加劲肋之分。

(4) 按支承结构型式分，有梁式、拱式、斜拉式、悬索式及组合式等。梁式和拱式是最基本也是应用最广的渡槽型式。当槽身置于拱架上，荷载主要由拱架承受时，称为拱式渡槽。当槽身置于槽墩或排架上，其受力特点与梁相似，称为梁式渡槽。梁式渡槽按支承点数目及布置位置的不同又分为简支、双悬臂、单悬臂及连续梁式四种型式。

渡槽的下部支承结构由槽台、槽墩、排架、组合式墩架（有重力墩上立排架）以及基础所组成。当梁式渡槽与两岸填方渠道相连时，常采用重力式槽台。当承受拱架或大型钢筋混凝土渡槽时，则采用重力式或空腹式槽墩。而在多孔拱式渡槽中，为防止某一拱圈失事而引起的连锁反应，往往隔 3~5 个槽墩就设一个加强墩。梁式渡槽大都支承在空腹独立支架、单排架或 A 形排架上。某些过河建筑物也有重力墩上再立排架而形成组合式墩架的。

渡槽的基础形式应和支承结构形式相配合,主要有独脚无筋基础、双悬臂肋梁基础、井字形扩大底板基础,管柱和沉桩承台、爆扩桩基础、圆锥薄壳基础等多种。

目前,我国为了解决北方缺水问题,结合我国水资源分布“南多北少”的特点,提出了跨流域调水工程,即南水北调工程。该工程干渠跨越河流、道路等有上千处,因此渡槽成为该工程中必不可少的立体交叉输水建筑物和关键性结构。

大型渡槽是指流量较大或跨度较大的渡槽。南水北调工程中的渡槽就属于流量和跨度都比较大大型渡槽。

1.2 渡槽结构的发展

1.2.1 国外渡槽建设发展概况

据记载,公元前 703 年,在中东西亚地区的亚美尼亚,亚述国王西拿基下令建一条 483km 长的渡槽引水到国都尼尼微,渡槽建在石墙上,跨越泽温的山谷,石墙宽 21m,高 9m,共用了 200 多万块石头,可谓是最早的渡槽。古希腊的许多城市建有良好的渡槽。但古罗马人最为认真,他们把供水系统看作的公共卫生设施的重要部分。罗马第一条供水渡槽是建于公元前 312 年的阿庇渡槽,第十条也是最后一条则是 226 年建成的阿历山大渡槽。最长最壮观的是建于公元前 114 年的马西亚渡槽,虽然水源离罗马仅 37km,但渡槽本身长达 92km。这是因为渡槽要保持一定坡度,依地形蜿蜒曲折地修建。但这些工程都是以经验设计和手工施工的,没有形成理论体系。直到 19 世纪 50 年代以来,渡槽的建设无论是设计方案还是施工工艺都有很大的发展,特别是中国和印度都展开了深入的研究。20 世纪 70 年代,为适应大流量、大跨度的需要,吸收比较成熟的桥梁建设的经验,预应力技术在渡槽建设中逐步得到推广和应用。如 1978 年建造的印度 GOMTI 渡槽,设计流量 $357\text{m}^3/\text{s}$,单跨跨径 31.8m,渡槽采用三向预应力施工技术,预应力混凝土纵向大梁高 9.9m,低碳钢滚轴支座的承载力 12000kN,在当时处于领先地位。

大流量、大跨度的渡槽由于其断面尺寸和结构自重都比较大,对机械设备的起吊能力和安装精度要求过高而难于实现起吊安装,这样导致了施工方法的多种多样。如预制顶推法、现场浇筑法、半现场半装配法等。现代的渡槽建设都很注重对先进技术的引用。桥梁建设中采用的造桥机架设模板的先进思想被引用到渡槽建设中,进一步降低了施工的难度,节省了工程造价。渡槽结构型式的发展也多种多样,如矩形渡槽、U 形渡槽、椭圆形渡槽及圆管形渡槽,可根据不同的工程需要和特点来确定结构的最优型式。

1.2.2 我国渡槽建设的发展概况

渡槽古称“飞渠”，在我国有悠久的历史。古代，人们凿木为槽，引水跨越沟谷，即为最古老的渡槽。2000多年前兴修的郑国渠上就有了渡槽。20世纪50年代之前，渡槽多为石拱或木梁式结构，也有个别为钢筋混凝土的，例如1935年建成的陕西省洛惠渠的曲里、守村两座肋拱渡槽。50年代中后期，随着经济建设的发展，采用钢筋混凝土的渡槽日渐增多，槽身多为矩形厚壁及板梁结构，支承结构多为重力墩，施工方法多为现浇整体式。1955年，黑龙江省首先采用装配式渡槽，60年代初期以后，许多省、市、自治区逐步推广了装配式渡槽，从而也促进了吊装技术和施工设备的改进和提高。

20世纪60年代后期至70年代，我国大型灌区有了很大发展，渡槽流量由每秒几立方米发展到每秒几十立方米；结构既要求适应为数众多的中小跨度，也需适应百米以上的大跨度，主拱结构由常见的实体式矩形截面板拱和肋拱发展到双曲拱和各种截面型式的箱型拱。支承结构出现了双曲拱、三铰片拱、桁架拱、箱拱等。70年代初期，许多地区陆续修建了一批双曲拱渡槽，如山东省青州市东张双曲拱渡槽跨度为100m；广西壮族自治区玉林市1976年修建的万龙双曲拱渡槽跨度达126m；湖南省彬县1975年所建鸟石江渡槽，主拱为箱拱，跨度达110m。

20世纪80年代以来，我国的渡槽建设主要朝着大流量和大跨度方向发展，并且型式也是越来越多样化。目前，南水北调工程规模宏大，投资额高，是世界上空前浩大的跨流域调水工程。其总干渠跨越河流、公路和桥涵1200多处，而渡槽成为该顶工程中必不可少的立体交叉输水建筑物。在2003年开始施工的南水北调东线工程中，矩形截面形式被采用，它的竣工将对矩形渡槽的发展具有重要的意义。

20世纪90年代后期，随着南水北调工程的启动，大型及超大型渡槽极复杂的设计和施工的运用使渡槽的发展进入一个更高的阶段。

我国渡槽技术历经解放后各个时期的发展，到现在在设计理论的研究、结构型式的多样性、建设的规模等方面均处于国际前列。但是，我国目前现有的渡槽同即将实施的南水北调工程中的渡槽相比，规模都比较小，无法真正将现有技术应用于其中。

综上所述，适应各种流量、各种跨度，特别是大跨度渡槽的结构型式已成为目前渡槽发展和研究的方向。这些研究主要有新材料与新技术（如预应力）的应用研究、利用电子计算机及先进设计理论优化选择结构型式的研究、渡槽动力特性及隔震技术的研究、渡槽的动力优化设计和稳定性优化设计理论的研究、渡槽结构老化修复、补强技术的研究等。上述的研究工作有的在逐步发展，有的仍在探索中。可以看出，我国渡槽技术历经新中国成立后各时期的发展，目前无论是在设计理论的研究、结构型式的多样性，还是建设的规模等方面均处于国际前列。可以预见，渡槽工程的结构型式、设计理论、建筑材料及施工技术和自动化设计等方面必将有一个新的发展。

1.3 渡槽结构的静力分析研究

渡槽结构的静力分析主要是采用三维有限元法和解析法两种研究手段建立不同形式的渡槽结构模型,然后对渡槽的内力、应力、变形、位移进行研究。

近年来渡槽结构在静力分析方面主要取得了以下一些研究成果:文献[1]主要采用有限单元法对洺河三槽厢联渡槽进行了结构静力分析,考虑了结构在运行时的空槽、满槽、中槽过水和边槽过水四种工况,得到了槽身结构的应力和变形分布情况。文献[2]主要采用解析法对半椭圆形薄壳渡槽进行了内力分析。该方法针对普通渡槽底部内壁拉内力过大、渡槽的抗裂防渗要求难于满足等工程问题,提出了一种不设横向联系杆的半椭圆形薄壳渡槽结构型式,推导出了用于半椭圆形薄壳渡槽横向内力计算的解析公式。计算结果表明,如果渡槽横截面的椭圆选取合适的长轴和短轴比例,可以使弯矩分布为内壁受压,外壁受拉,也可以取消横向联系杆。文献[3]采用有限元法分析了三向施加预应力的半椭圆形薄壳渡槽,针对该形式渡槽的横向刚度偏小的问题,提出了在槽身横向加肋的工程措施。文献[4]对大跨度预应力混凝土梁式渡槽结构上拱度进行了分析,分析结果表明,预应力、恒载、弹性模量、混凝土的收缩和徐变是影响渡槽结构上拱度的主要因素,而上拱度的预测主要取决于对混凝土徐变的合理估算,为了防止上拱度过大对渡槽结构使用性能的影响,提出对上拱度的控制应采用降低预应力和减小徐变相结合的措施。文献[5]~[8]采用实用空间法对大型多纵梁矩形渡槽进行了受力分析。所采用的实用空间法,就是把复杂的空间结构计算分离成相互联系的两个平面问题。在横向计算中,底部弹性支承在各纵梁上,横梁和底板承受均布荷载,两端承受由侧墙传来的端弯矩和轴向拉力,可求得结构的横向受力与弹性支承反力;然后将弹性支承反力作为荷载在各主梁之间进行横向分配,其反向作用于侧墙和中间纵梁上,进行纵向梁的受力计算。文献[9]采用空间杆系有限元法分析了大型多纵梁斜交渡槽结构受力情况,并将同跨度斜交渡槽与正交渡槽进行计算对比。文献[10]采用三维有限元法对大型上承式桁架拱渡槽进行了分析,得到了组合工况下整体的变形和应力分布规律。根据受力情况对平板橡胶支座的接触方式进行了简化,针对拱脚压应力较大的情况,进行了局部加大的优化处理,取得了较好的效果。文献[11]采用有限元法对大型预应力混凝土箱式渡槽进行分析,得到了渡槽纵向、横向和竖向正应力分布和竖向剪应力分布、跨中槽底竖向位移。结果表明,渡槽预应力锚索布置合理,能满足渡槽结构的应力和变形要求。文献[12]采用三维有限元技术和解析法相结合的方法,考虑桩土联合作用,对东深供水改造工程钢筋混凝土矩形渡槽下部支承结构,在动、静荷载作用下的受力性能进行了分析,并论证了其稳定性能。文献[13]针对钢管混凝土拱组合梁渡槽复杂结构,建立了合理的有限元模型,对渡槽结构整体进行了计算和分析,得出了渡槽结构各构件在不同荷载组合情况下的应力、应变及其最

大值所发生的部位,提出了结构尺寸调整的合理化建议。文献[14]应用三维非协调强化假定应变等参单元求解 U 形薄壳渡槽槽身的应力变形,提出了根据单元应力及内力平衡条件直接求解 U 形薄壳渡槽槽身指定截面上的约束内力,并进而探求相应截面上的弯矩、轴力、剪力等的有效分析方法,探讨了强化假定应变单元(EAS)应变模式的取项多少对计算结果的影响。文献[15]分析了简支梁式斜交矩形渡槽的结构特性,推导出了其内力及支反力的计算公式,并与正交渡槽的受力特性进行了比较。结果表明,斜交渡槽槽身正弯矩较同等跨径的正交渡槽要小,在斜支承处还会产生负弯矩,且反力分布不均匀,钝角处反力大于锐角处反力;随着斜度增大,正弯矩在减小,而扭矩却在增大,具有弯扭耦合作用的特性,建议其截面型式以抗扭能力大的箱形截面为佳。文献[16]采用有限元法详细计算了不同 H/B 下无拉杆和不同拉杆间距简支梁式矩形渡槽槽身的应力,根据计算应力,以最大主应力作为控制标准,分析了 H/B 以及拉杆间距对槽身横截面应力的影响,提出了渡槽槽身应力与拉杆间距之间的关系。文献[17]采用非线性有限元程序,对南水北调中线穿黄连续刚构方案的预应力 U 形薄壳渡槽进行了结构分析,给出了静力分析结果和动力特性分析结果。计算结果表明,与简支方案相比,连续刚构方案结构减小了变形、应力和钢筋用量,最大压应力和最大拉应力均满足规范中的强度设计要求,最大位移也满足刚度要求。文献[18]采用壳体单元和三维等参单元,对大型预应力 U 形薄壳渡槽静动力特性进行了三维有限元分析,给出了静力分析结果,并与模型试验作了对比。结果表明,结构最大压应力和最大拉应力均满足强度要求,最大位移也满足刚度要求,同时进行了结构的动力特性的计算分析,为渡槽的抗震设计提供依据。文献[19]结合南水北调中线工程的漕河渡槽,运用三维有限元法对预应力混凝土渡槽结构的受力性能进行分析,依此证明所采用的渡槽结构型式及尺寸、预应力筋的布置方案是合理的,渡槽结构应力、变形满足规范要求。文献[20]对矩形和 U 形渡槽槽体在均匀流场和湍流场中各取不同的高宽比进行了风洞试验,分别测量了槽内有水和无水两种情况下槽体各个部位的风压系数,进而算得了渡槽结构的风载体型系数。试验结果表明,湍流对渡槽槽体结构风载体形系数有显著影响,研究成果可为渡槽结构的抗风设计提供参考依据。

1.4 渡槽结构的温度应力研究

温度应力在桥梁结构中分析得较多,在渡槽结构中则相对较少。牛桂林^[21]将渡槽简化为平面问题,将温度等效为线形分布,利用结构力学方法计算温度应力,得出以下三条结论:

- (1) 槽外温升对渡槽底肋的固端弯矩影响较大,而对跨中弯矩影响较小。
- (2) 槽外温降对底肋的跨中弯矩影响较大,对固端弯矩影响较小。
- (3) 底肋在温度荷载的单独作用下弯矩为底部受拉的正弯矩,需引起注意。

宋书卿^[22]等人利用空间有限元理论分析了空心渡槽的温度应力,指出空心渡槽的温度应力明显小于普通渡槽的温度应力,孔洞两边等厚度渡槽温度应力小于两边不等厚度渡槽。这种渡槽形式值得在工程中推广和使用,特别对于日均气温变化较大、四季分明的地区。李书群^[23]对洛河渡槽运行期温度应力进行了分析,参考《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60—2004)确定温度分布梯度和温度边界条件,同时忽略水流方向温度的差异,将三维温度问题简化为平面问题。计算结果表明温度应力不可忽视,在某些角隅区域甚至成为控制应力。李书群通过对不同保温材料比较分析,最终选用发泡聚氨酯作为保温材料,以减少太阳辐射和冬季低温的影响。季日臣^[24]利用结构力学方法分析了预应力混凝土箱形渡槽日照温度应力分布情况,模拟夏季顶板太阳直射和腹板太阳直射两种情况,探讨了这两种最不利情况的温度应力,结果表明渡槽槽身将产生可观的温度应力。刘爱军^[25]对渡槽施工期与运营期温度应力进行了分析,得出在施工期间采用蓄热保温法和木模板可以改善早期混凝土的温度应力;在使用阶段,采用预应力方法可以改善混凝土的受力状态,使其满足适用性和耐久性要求。

综上所述,在渡槽应力分析中,温度应力影响到整个结构的受力状态,在局部部位甚至成为控制荷载,所以必须进行分析和验算。在渡槽温度应力分析中,对温度的分布方式应借鉴桥梁结构的温度分布。①要建立一整套符合渡槽温度分布的计算模型;②温度场是与时间参数有关的四维问题,温度分析应该采用瞬态温度场分析;③辐射和大气的影响应该按第三类非线性边界条件来处理,但缺乏渡槽结构温度分布资料,通常取第一类边界条件,这种假定具有很大的近似性。

第2章 沙河渡槽工程概况

2.1 沙河概况

沙河属淮河流域沙颍河水系的一条主要支流，源于鲁山县境内的石人山，于周口市附近的沙嘴与颍河相汇入沙颍河，流域面积 3713km²。沙河渡槽上游集水面积 1918.0km²，百年一遇洪峰流量 6270m³/s，相应洪水位 120.38m（1985 国家高程基准，下同）。上游有昭平台水库，下游有白龟山水库，是平顶山市工业、农业、生活用水的主要水源。大郎河、将相河是沙河河谷平原后期发育的河流，受降水的季节性控制，流量变化极大，枯水期有时出现断流现象，其水文特征值见表 2.1。

表 2.1 大郎河、将相河水文特征值表

河名	交叉点地名		集流面积/km ²	百年洪峰流量/（m ³ /s）	百年洪水位/m
大郎河	鲁山县	核桃园村	129.0	1940	120.36
将相河	鲁山县	大詹营村	26.4	566	118.50

南水北调中线一期工程总干渠沙河渡槽位于河南省鲁山县城东，南起马楼乡娘娘庙村西，北至辛集乡张庄村西接鲁山坡，沿线穿越娘娘庙、叶园、大詹营、赵庄、马庄、核桃园、张庄等村至鲁山坡南缘，场区西约 5km 有焦枝铁路通过，渡槽西、南紧邻 311 国道，渡槽中部有鲁山—平顶山的公路通过，沿线有乡村公路相通，交通便利。

2.2 沙河渡槽工程概况

沙河渡槽工程为总干渠跨越沙河、将相河、大郎河和该处低洼地带的梁式渡槽，旱渡槽以及绕鲁山坡流槽等的组合建筑物。总干渠与沙河及大郎河交叉的建筑物采用梁式渡槽，与将相河交叉及跨越低洼地带建筑物采用箱基旱渡槽，绕鲁山坡的建筑物采用落地矩形流槽。

根据沿线地形、河道形态、地质条件等因素，沙河渡槽总布置为：渡槽全长 7590m，由沙河板梁式渡槽、第一段旱渡槽、大郎河板梁式渡槽和第二段旱渡槽四部分组成，其中板梁式渡槽为双线（即并列双墩或双承台）四槽，旱渡槽为箱基双渡槽输水。沙河板梁式渡槽槽身长 1500m，桩号 SH-2+912.5~SH-4+412.5，两端分设进口连接段 70m，节制闸 25m，出口连接段 35m；第一段旱渡槽自沙河板梁式渡槽出口至大郎河板梁式式渡槽进口，长 3680m；大郎河渡槽槽身长 300m，桩号 SH-8+162.5~SH-8+462.5，两端设有进、出口连接段各 35m；第二段旱渡槽自大郎河板梁式渡槽出口至鲁山南坡与总干渠相接，长 1820m。另外，鲁山坡流槽的长度为 1410m。

沙河渡槽进口处渠底高程 125.262m，出口处渠底高程 123.801m。沙河渡槽退水闸布置在进口渐变段右侧，由闸室、陡坡、消力池、海鳗、尾水渠等组成。

现将建筑物和总干渠设计参数列于表 2.2。

表 2.2 建筑物和总干渠设计参数

设计项目	设计参数	设计参数值
建筑物	设计流量/（m ³ /s）	320
	加大流量/（m ³ /s）	380
	设计水头/m	1.77
	进口渠道设计水位/m	132.262
	进口渠道加大水位/m	133.097
	出口渠道设计水位/m	130.492
	出口渠道加大水位/m	131.129
总干渠	设计流量/（m ³ /s）	320
	加大流量/（m ³ /s）	380
	渡槽进口渠道设计水深/m	7
	渡槽进口渠道加大水深/m	7.835
	渡槽出口渠道设计水深/m	7
	渡槽出口渠道加大水深/m	7.637
	渡槽进口渠底高程/m	125.262
	渡槽出口渠底高程/m	123.492
	渡槽进口渠道底宽/m	25
	渡槽出口渠道底宽/m	25
	渡槽进口渠道内边坡	1∶2
	渡槽出口渠道内边坡	1∶2
	渡槽进口渠道一级马道高程/m	134.60
	渡槽出口渠道一级马道高程/m	132.63
	渡槽进口渠道外边坡	1∶1.5，1∶2

续表

设计项目	设计参数	设计参数值
总干渠	渡槽出口渠道外边坡	1 : 1.5, 1 : 2
	进口渠道底坡	1/26000
	出口渠道底坡	1/26000
	渠道左、右岸一级马道堤顶宽度/m	5

初步设计中，沿程取 12 个控制断面，逐段列能量方程进行计算。所得槽身水力计算成果见表 2.3、表 2.4。

表 2.3 沙河渡槽设计流量下水力计算结果

断面	1	2	3	4	5	6
分段名称	进口渐变段	沙河槽身段	连接段	旱渡槽	连接段	大郎河槽身段
分段长度/m	95	1500	35	3680	35	300
底宽/m	25	4×7		2×12.6		4×7
水深/m	7	6.32	6.32	6.30	6.30	6.313
比降		1/4600		1/5800		1/4600
水头损失/m	0.161	0.326	0.053	0.639	—0.013	0.065
水位/m	132.262	132.101	131.775	131.722	131.084	131.096
底高程/m	125.262	125.781	125.455	125.422	124.784	124.783
断面	7	8	9	10	11	12
分段名称	连接段	旱渡槽	出口渐变段	鲁山坡流槽	出口渐变段	
分段长度/m	35	1925	80	1360	50	
底宽/m		2×12.6		22.5	22.5	25
水深/m	6.313	6.38	6.38	6.36	6.36	7
比降		1/6000		1/6600		
水头损失/m	0.046	0.323	0.085	0.218	—0.132	
水位/m	131.031	130.986	130.662	130.577	130.360	130.492
底高程/m	124.718	124.606	124.282	124.217	124.000	123.492

表 2.4 沙河渡槽加大流量下水力计算结果

断面	1	2	3	4	5	6
分段名称	进口渐变段	沙河槽身段	连接段	旱渡槽	连接段	大郎河槽身段
分段长度/m	95	1500	35	3680	35	300

续表

断面	1	2	3	4	5	6
底宽/m	25	4×7		2×12.6		4×7
水深/m	7.835	7.111	7.091	7.022	6.976	6.994
比降		1/4600		1/5800		1/4600
水头损失/m	0.205	0.346	0.102	0.685	—0.018	0.072
水位/m	133.072	132.892	132.546	132.444	131.760	131.777
底高程/m	125.262	125.781	125.455	125.422	124.784	124.783

断面	7	8	9	10	11	12
分段名称	连接段	旱渡槽	出口渐变段	鲁山坡流槽	出口渐变段	
分段长度/m	35	1925	80	1360	50	
底宽/m		2×12.6		22.5	22.5	25
水深/m	6.987	7.048	7.017	6.987	6.969	7
比降		1/6000		1/6600		
水头损失/m	0.052	0.354	0.095	0.236	—0.160	
水位/m	131.705	131.654	131.299	131.204	130.969	131.129
底高程/m	124.718	124.606	124.282	124.217	124.000	123.492

2.3 设计荷载及计算工况

2.3.1 设计荷载

- (1) 结构自重。含筋率大于 2％时，重度 $\gamma_c=26\text{kN/m}^3$ ；含筋率小于 2％时，重度 $\gamma_c=25\text{kN/m}^3$ 。
- (2) 水重： $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ 。
- (3) 风载：基本风压 $W_0=450\text{Pa}$ 。
- (4) 地震荷载：地震设计烈度 7 度。

2.3.2 计算工况

本次计算主要包括以下内容：①施工期与运营期全程动态跟踪分析（分 22 种工况）；②温度及温度应力分析（10 种温度场和 10 种应力分析结果）。

2.3.3 裂缝控制等级

裂缝控制等级的选择，即要考虑结构构件的可靠性要求，又要兼顾经济合理的原则。针对沙河渡槽结构，采用下面的控制标准。

为了尽可能发挥矩形渡槽结构的优势，且不影响渡槽的正常使用，矩形渡槽设计为预应力混凝土结构，并按抗裂设计进行强度控制。

矩形渡槽的纵向结构一旦开裂，将会严重危害渡槽的正常使用，甚至失效，所以渡槽底部与水接触的部分，纵向按严格抗裂标准控制，其他部位按抗裂标准控制，并要求最大挠度不超过容许值；侧墙和底板结构的横向按抗裂标准控制。同时渡槽结构要满足承载力极限状态设计的要求。

2.4 沙河渡槽槽身结构优化设计方案

2.4.1 矩形渡槽槽身结构优化设计方案

分别采用混合离散变量优化设计的直接搜索与查点法，对沙河渡槽矩形截面槽身结构进行了优化设计。混合离散变量优化设计的直接搜索与查点法具有很强的局部搜索能力。但由于工程结构优化设计问题往往是非凸规划问题，用此方法得到的优化结果可能是一个局部最优解。实际应用时，一般要多取几个初始点，从不同的初始点出发，以便得到不同的优化结果。然后再比较这些结果，选择一个最小值作为问题的全局最优解。尽管如此，有时仍然得不到问题的全局最优解。遗传算法则具有很强的全局搜索能力，进化计算中只计算问题的目标函数，因此它计算过程稳定且获得全局最优解可能性很大。

优化设计时，考虑到施工等方面的要求，设计了如下限制：限制壁厚 x_3 、 x_4 、 x_5 分别不小于 40cm、60cm、80cm；限定侧墙顶部和中墙顶部的预应力筋束数 $x_{10} \geq 1$ （束）、 $x_{11} \geq 2$ （束）；限定侧墙腰部和中墙腰部的预应力（曲线）筋束数 $x_{12} \geq 6$ （束）、 $x_{13} \geq 12$ （束）。