

取水输水建筑物丛书

主编 陈德亮

Aqueducts

渡槽

竺慧珠 陈德亮 管枫年 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TV672
Z908.1

取水 构筑物 丛书

主编 陈德亮

Aqueducts

渡槽

竺慧珠 陈德亮 管枫年 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了梁式、拱式、桁架式渡槽的工程布置、结构型式、构造和结构计算,并对斜拉式渡槽、拱梁组合式折线拱渡槽作了一般介绍。在工程规模上以介绍中型渡槽为主,兼顾大型渡槽。此外,本书还适当地反映了近些年渡槽工程发展的新技术成果,对各种设计参数在采用新的研究成果的基础上,有些作了必要的分析比较,有一定的参考价值。为便于读者使用,在阐明基本原理的基础上还附有计算实例及计算用表,内容全面、实用。

近些年来,随着城市生活供水、工业用水及环境用水的迅速增加,跨流域、跨省际调水工程日益增多,特别是南水北调工程的开工,大中型和特大型渡槽发展很快,为了适应这一形势的发展,本书收集了有关这方面的一些资料和研究成果,并做了一定介绍,可供参考。

本书可供渡槽工程设计人员在设计中参考使用,也可作为水利专业师生教学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

渡槽/竺慧珠,陈德亮,管枫年编著. —北京:中国

水利水电出版社, 2004

(取水输水建筑物丛书/陈德亮主编)

ISBN 7-5084-2189-2

I. 渡... I. ①竺...②陈...③管... III. 渡槽—

基本知识 IV. TV672

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 058816 号

书 名	取水输水建筑物丛书 渡槽
作 者	竺慧珠 陈德亮 管枫年 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 14.375印张 386千字
版 次	2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷
印 数	0001—4100册
定 价	40.00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

《取水输水建筑物丛书》

编辑出版工作人员

总 编 辑 王国仪

丛书策划 王照瑜

责任编辑 王照瑜

责任校对 黄淑娜

封面设计 王 鹏

责任印制 刘 萍

 您对本《丛书》有何建议，欢迎来函（电）赐教，我们将会认真汲取，以便今后修订重版。

E-mail: wzyu@waterpub.com.cn

Tel: 010—63202266-2506

序

我国是一个人均水资源紧缺的国家，加之水资源在时间和空间上分布不均，导致水资源供需矛盾更加尖锐。缺水已成为我国经济和社会进步的重要制约因素。努力实现水资源的优化配置，满足经济社会对水资源的需求，以水资源的可持续利用来支撑经济社会的可持续发展，这是建设水利事业的根本目标和基本任务。

1949 年新中国成立以来，我国的用水状况发生了很大变化。新中国成立初期，当时水利建设的主要任务是发展农业，解决粮食问题。1949 年全国总供用水量仅 1000 余亿立方米，而当时农业用水就占全部用水量的 90% 以上，城镇工业用水比重很低。随着经济及社会的发展，特别是改革开放 20 年来，由于城市化进程的加快，这种用水状况有了很大变化。到 1997 年，全国总用水量已达 5566 亿 m^3 ，其中农业用水占 70.4%，而城市生活和工业用水已占到总用水量的 30%。这一趋势是改革开放以来经济社会发展的必然结果。从今后的发展看，农业虽是用水大户，但农业用水的重点是解决节水灌溉，提高用水效率的问题。据专家分析，如果将农业用水的平均有效利用系数从目前的 0.43 提高到 0.55~0.60，则在不增加农业用水的情况下，完全能保证 2030 年人口达 16 亿时的粮食安全。如果再加上农业结构的调整等其他因素，农业用水总量将基本不会有大的改变。中国未来的供水矛盾将集中在城市，供水将主要用于发展城市、发展工业及保护生态与环境。例如，南水北调工程的供水原则就是以城市供水为主，兼顾生态及农业。

实现水资源的优化配置有各种手段，而工程手段就是其中之

一。无论是资源性缺水还是工程性（经济性）缺水，其最主要的工程手段都是在水源处修建取水工程，然后通过输水工程送到用水处。有时，为了把丰水地区的水资源调到缺水地区，还需要实施跨流域的远距离调水，对水资源进行地域上的再配置。在 21 世纪，跨流域调水将是中国水利建设的一大特点。国内外实践经验表明，采用调水工程这一工程手段来改善水资源的不利状况，是促进缺水地区经济发展的重要举措。大的调水工程往往还成为国家发展战略的重要组成部分。我国南水北调工程就是改善国家资源配置、支持经济社会发展的基础性战略工程。此外，为了提高用水效率，实施节约用水，合理计价收费，还需采取量水技术设施这一工程手段。针对上述形势发展的需要，我们特组织有关专家编写了这套《取水输水建筑物丛书》，以更好地为水资源的优化配置服务。

《取水输水建筑物丛书》（以下简称《丛书》）共十一个分册，分别为：介绍从天然水源或人工水源取水的《取水工程》、《泵站》（含输水渠道上的多级提水泵站）、《水闸》（含输水渠道上的节制闸、分水闸、退水闸等）及与之配套的《闸门与启闭设备》；为节约用水、科学用水、计价收费而设置的《量水技术与设施》；以及在输水渠道跨越天然或人工障碍时，在渠道上修建的一系列建筑物《渡槽》、《倒虹吸管》、《隧洞》、《涵洞》、《桥梁与基础》及《跌水与陡坡》等。以南水北调中线工程为例，该工程总干渠全长 1200 多公里，途经三省两市，横跨长江、黄河、淮河、海河四大流域，穿越大小河流 219 条，需修建各类取水及输水建筑物 960 多座，仅大型倒虹吸管就有 95 座，渡槽有 49 座；还有大量的涵洞、节制闸、分水闸、退水闸及与之配套的闸门和启闭设备；还有大批桥梁工程；总干渠上的排水建筑物即达 400 多座。如果加上输水分干渠、支渠上的建筑物，其数量十分可观。此外，在各级输水渠道上还有大量的量水技术设施。以上这些，均是我们这套《丛书》的服务范围。

本《丛书》的服务宗旨是：为水资源优化配置，为提高用水

效率，为实现水资源的可持续利用服务。

本《丛书》的编写遵循以下基本原则：

1. 《丛书》的服务对象以大学本科毕业的水利工程技术人员为主；讨论的工程规模以中型为主，兼顾大型（个别分册例外，如《跌水与陡坡》主要以中小型为主）；写法以“实用”为主。在扼要阐明基本原理的基础上，着重介绍工程的布置、结构形式、构造、计算公式的应用，并介绍一些工程实例，便于广大读者在设计中应用和参考。

2. 《丛书》在重点介绍目前常用的理论方法的同时，注意反映国内外的先进技术，用前瞻眼光预计未来经济社会可持续发展的重大决策走向；注意总结经过实践证明，技术上先进、经济上合理、运用安全可靠的先进经验。使《丛书》既具有现实指导性，又有前瞻性。

3. 为了反映计算机应用技术的发展，《丛书》在有关部分介绍计算机辅助设计或计算的有关内容，但不附源程序。

4. 《丛书》不介绍一般性的施工技术内容，但某些与设计关系密切的施工问题，有特色的施工内容或特殊的施工问题，对读者确有参考价值的，要适当编入。

5. 《丛书》面向全国，尽可能注意照顾地区特点。特别是寒冷地区的冻害及多沙地区的泥沙问题，在建筑物的布置、形式、构造及计算方面加以兼顾。

这套《丛书》在编写过程中得到了各方面的大力支持和真诚帮助，在此一并表示衷心感谢。对书中的缺点、疏漏和不妥，恳请读者批评指正。

陈德亮

2002年8月

前 言

渡槽是渠系水工建筑中应用最广的交叉建筑物之一，除在灌区用于输送渠水进行农田灌溉外，还用于输送城镇生活用水、工业用水。在一些跨流域调水工程中，考虑到水质保护的需要及便于运行管理，干渠（或总干渠）在穿越河流时均采取立体交叉型式，也必然需要修建各种型式的渡槽。

新中国成立以后，随着农田灌溉及其他用水不断增长的需要，渡槽在过水流量、结构型式、施工方法等方面不断得到发展，流量由几立方米每秒发展到几十、一百立方米每秒，结构型式由厚壁矩形槽身变为各种轻型薄壁结构，出现了各种大跨度拱式渡槽，施工预制吊装能力进一步提高，吊重不断增大。近二十多年来，在利用电子计算机及先进设计理论进行各种流量和各种跨度渡槽结构的研究、新材料及新技术（如预应力）应用的研究以及将桥梁工程先进的施工技术应用于渡槽施工等方面，又有了进一步的发展。尽管目前我国渡槽设计理论的研究、渡槽结构型式的多样性，以及渡槽建设的规模等均处于国际前列，但已建工程与南水北调工程中的渡槽相比规模都较小。根据南水北调中线工程总体设计方案，总干渠上有49座渡槽，由于过水流量大而可以分配给各座渡槽的水头损失小，因此建筑物的规模十分巨大。可以预见，随着南水北调工程的建设，渡槽这一建筑物将会有有一个更大的发展。

本书内容包括渡槽设计的基本资料、荷载及其组合；渡槽的总体布置；梁式渡槽槽身、槽墩（架）和基础的型式、布置与计算，渡槽及其地基的稳定性验算；拱式渡槽槽身及拱上结构、主

拱圈、墩（台）及拱座的型式、布置和主拱结构计算；梁型桁架式和桁架梁式渡槽的结构型式和布置以及结构计算简述，桁架拱式渡槽的型式和基本尺寸选定以及结构计算；斜拉式渡槽、拱梁组合式折线拱渡槽一般介绍；渡槽的冻害破坏特征及冻害的防治等。

本书第一章第一～四节，第二章，第三章第四～六节，第五章第一、二节由陈德亮编写；第七章由管枫年编写；其余各章、节由竺慧珠编写。全书由竺慧珠统稿。

本书在编写中采用了原灌区水工建筑物丛书《渡槽》一、二版的一些内容及图表（本书作者中的陈德亮、管枫年也是上述一书中的两位作者），是在《渡槽》一、二版的基础上汇集若干最新资料编写而成的。

本书在编写过程中得到河北省水利水电第二勘测设计研究院、水利部河北水利水电勘测设计研究院、广东省水利电力勘测设计研究院和武汉大学刘忠潮教授的帮助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，诚恳希望读者对书中错漏之处批评指正。

编 者

2005 年 3 月

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 渡槽的作用及发展	1
第二节 渡槽级别的划分	7
第三节 渡槽的组成及类型	9
第四节 渡槽设计的基本资料	11
第五节 荷载及其组合	13
第二章 渡槽的总体布置与设计步骤	22
第一节 渡槽的位置选择	22
第二节 渡槽的水力设计	24
第三节 渡槽进出口及纵剖面布置与设计步骤	33
第三章 梁式渡槽	49
第一节 槽身结构型式与布置	49
第二节 槽身结构计算	66
第三节 预应力混凝土槽身	108
第四节 槽墩与槽架	120
第五节 基础结构	156
第六节 渡槽及其地基的稳定性验算	185
第四章 拱式渡槽	196
第一节 槽身及拱上结构	196
第二节 主拱结构的型式、布置和构造	204
第三节 主拱结构计算	219

第四节 槽墩、槽台及拱座.....	273
第五章 桁架式渡槽.....	304
第一节 梁型桁架式渡槽.....	304
第二节 桁架梁式渡槽.....	308
第三节 桁架拱式渡槽.....	314
第六章 其他型式渡槽.....	349
第一节 斜拉式渡槽.....	349
第二节 拱梁组合式折线拱渡槽.....	369
第七章 渡槽的冻害及防冻害设计.....	373
第一节 渡槽冻害破坏特征.....	373
第二节 渡槽冻害的防治.....	379
附录 A 等截面圆弧拱计算用表	391
附录 B 悬链线无铰拱计算用表	394
附录 C 等截面悬链线双铰拱计算用表	431
附录 D 砖石及混凝土预制块砌体极限强度.....	441
参考文献及参考资料.....	445

第一章 概 述

第一节 渡槽的作用及发展

渡槽是输送渠道水流跨越河渠、道路、山冲、谷口等的架空输水建筑物，是渠系建筑物中应用最广的交叉建筑物之一，除用于输送渠水进行农田灌溉、城镇生活用水、工业用水、跨流域调水等（图 1-1）外，还可供排洪和导流之用。当挖方渠道与冲沟相交时，为排泄冲沟来水和泥沙，不使山洪及泥沙进入渠道，可在渠道上面修建排洪渡槽（图 1-2）。在流量较小的河流上修建闸、坝需用上、下游围堰拦断河道时，可在基坑上面架设导流渡槽，使

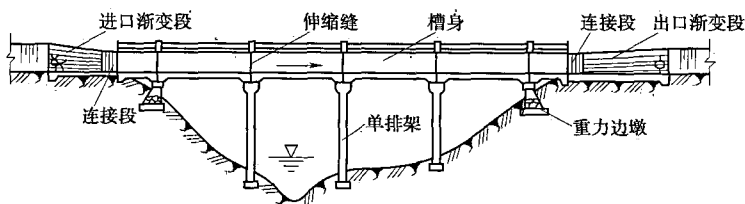


图 1-1 输水渡槽（简支梁式）

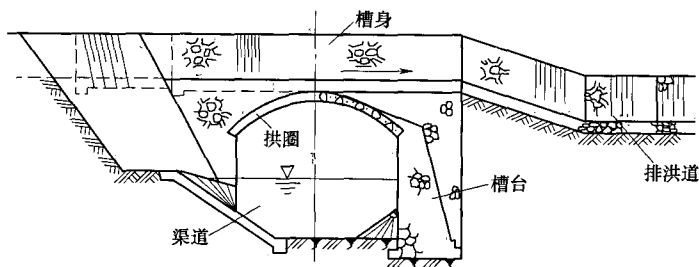


图 1-2 排洪渡槽（实腹拱式）

上游来水通过渡槽泄向下游。本书只讨论渠系工程中的输水渡槽。渡槽顶部一般应设置便道,以通过行人并利于管理和检修。

渡槽在中国已有悠久的历史。古代,人们凿木为槽用以引水,即为最古老的渡槽。据《水经注疏》^[1]:长安城昆明“故渠又东而北屈,迳青门外,于沔水枝渠会。渠上承沔水于章门西。飞渠引水入城。东为仓池,池在未央宫西。”“飞渠”即为渡槽,建于西汉,距今约 2000 年。又据《中国水利史稿》上册^[2]考证,《水经·沮水注》中所述的郑国渠“绝冶谷水”、“绝清水”中的“绝”就是指一种原始形态的渡槽。则渡槽见诸历史记载者就比长安城的飞渠更早,这说明渡槽在中国已有 2000 年以上历史。

20 世纪 50 年代初期,我国新建渡槽多为木、石结构。木渡槽因木材是宝贵资源且维修费用大、寿命不长,故除少数用做临时性引水外,已不再采用。石拱渡槽是就地取材的建筑工程,由于石料的开采、加工和砌筑常为手工操作,需用大量劳力,但可节约水泥、钢材,且施工技术易为群众掌握,因而直到 20 世纪 70 年代,在不少灌区的渡槽工程中石拱渡槽仍占有相当大的比重。至于墩台结构,采用石料砌筑者就更为普遍。20 世纪 50 年代中后期,随着经济建设的发展,采用钢筋混凝土渡槽日渐增多,施工方法以现场浇筑为主。1955 年,黑龙江省首先采用了装配式渡槽,装配式渡槽较现场浇筑可节省大量木材和劳力、显著降低工程造价、加快施工进度,并便于施工管理和提高工程质量,因而到 20 世纪 60 年代初期以后,在许多省区逐渐得到推广,其中以广东省发展最为迅速。广东省湛江地区除在建筑物型式及预制分块构件的造型等方面不断有所创新外,并在研究国外单向曲率壳槽的基础上,提出了 U 形薄壳槽身的结构型式及其计算方法。此外,我国南方地区还建了一些钢丝网水泥 U 形薄壳渡槽,但这种结构不耐久,已较少采用。

20 世纪 60 年代后期至 70 年代中期,在钢材、水泥供应较困难的条件下,渡槽工程中出现了各种类型的少筋、无筋混凝土结构,如三铰片拱式、马鞍式、拱管式、双曲拱式渡槽等,这些型

式由于存在一些缺点，现已很少采用，但确代表了渡槽结构型式发展的一个阶段。桁架拱式渡槽也是这一阶段发展起来的，山东省吸取桥梁工程中这一型式的特点，提出并自 20 世纪 70 年代初开始在山东兴建桁架拱渡槽（图 1-3）。山东是我国修建桁架拱渡槽数量最多、类型最齐全的省份。

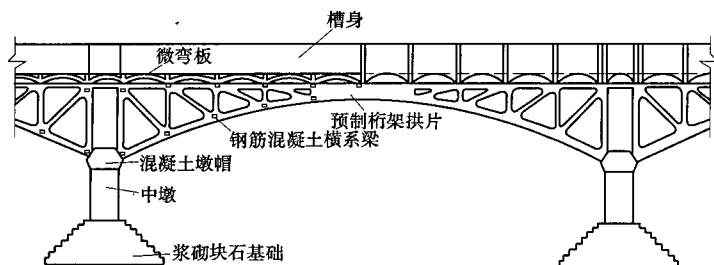


图 1-3 桁架拱渡槽

从 20 世纪 70 年代中期至 80 年代的这一阶段，水利事业发展中有几项工作与渡槽型式的变化发展密切相关：一是水利工作中抓了渠系配套工程建设，以充分发挥水利工程效益；二是大型灌区建设有了进一步发展；三是相继兴建了一些跨流域、跨省的调水工程，如引滦入津、引大入秦等。这些工作使这一时期兴建的渡槽的输水流量，由过去几个、十几个立方米每秒发展到几十个甚至上百个立方米每秒，从而促进了渡槽结构型式的改进与创新。主要体现在下述几个方面：

(1) 各种大跨度拱式渡槽不断涌现，如广西玉林县的万龙双曲拱渡槽，跨度达 126m；湖南郴县乌石江渡槽，主拱采用钢筋混凝土箱形断面，跨度达 110m 等。这些大跨度渡槽的宽跨比远小于 $1/20$ ，其侧向稳定往往成为设计及保证安全运行的突出问题，为了解决此问题，这一时期我国先后试建了十多座拱体变宽、造型新颖、布局轻巧的板拱及肋拱渡槽，其跨径在 80~100m 以上，最小宽跨比达 $1/40 \sim 1/50$ ，取得了成功。工程实践证明，这一阶段建造的变宽拱是解决大跨度小宽跨比拱式渡槽侧向稳定的合理

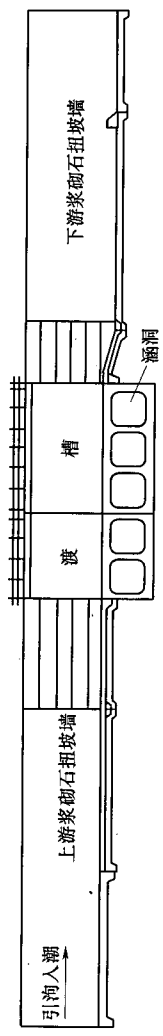
造型。

(2) 预制吊装程度进一步提高, 吊装重量不断增大, 施工技术不断发展。如湖北省引丹灌区的排子河渡槽, 为简支梁式, 一节预制槽身长 21.7m, 吊装重量达 200t, 而槽墩高达 30~40m, 最大墩高 49m, 采用滑升模板法施工, 加快了施工进度, 保证了浇筑质量, 为浇筑高墩、柱开拓了新途径。在此期间, 渡槽工程引用交通部门的转体施工法取得成功, 使用的最大跨度达 78.65m。

(3) 发展了新的结构型式, 如上槽下洞式、斜拉式等。上槽下洞式是为了解决与之交叉的河流洪枯流量及相应水位相差悬殊而渠底与河底高程相差不大这一矛盾提出的一种渡槽型式, 如河北省引沟入潮的穿鲍邱河渡槽^[4] (图 1-4), 上部为引沟运河挡水渡槽, 设计流量 $830\text{m}^3/\text{s}$, 校核流量 $1080\text{m}^3/\text{s}$; 下部为鲍邱河输水涵洞。斜拉结构较早用于桥梁, 20 世纪 50 年代以来斜拉桥得到迅速发展, 我国于 1975 年在四川云阳汤溪河上建成第一座斜拉桥, 1982 年开始斜拉结构被引入渠道输水建筑物, 目前我国已建成的最大的斜拉渡槽为北京二道河斜拉渡槽^[5] (图 1-5), 渡槽全长 276.1m, 斜拉段长 258m, 主跨 126m, 槽身为普通钢筋混凝土半封闭 U 形薄壳结构, 通过设计流量 $5\text{m}^3/\text{s}$, 1988 年建成通水。

(4) 在大、中型渡槽工程中较普遍地使用了预应力混凝土结构, 显著地提高了渡槽的承载力及抗裂性。如河南省陆浑灌区铁窑河渡槽, 设计流量 $32.2\text{m}^3/\text{s}$, 槽身段长 411.4m, 共分 19 跨, 中间 8 跨采用双排架顶应力空腹桁架槽身, 跨度为 37.4m。

20 世纪 90 年代以来, 随着计算技术的迅猛发展, 利用电子计算机及先进设计理论进行了各种流量、各种跨度渡槽结构型式的研究, 以及结构型式优选的研究, 使得渡槽设计更趋先进合理。各种新材料、新技术也不断应用于渡槽工程。例如, 1990 年在湖南省铁山灌区建成的由桁(刚)架拱发展而来的第一座拱梁组合式渡槽——凉清渡槽 (图 1-6), 设计流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$, 校核流量 $21.54\text{m}^3/\text{s}$, 槽身全长 75.2m, 由一跨 50.4m 的拱梁组合式结构和两端各一跨 12.4m 的简支结构组成, 槽身采用半圆薄壳断面, 内



涵洞共五孔每孔净宽 3.5m 渡槽长 20.5m 宽 70m

图 1-4 鲍邱河涵洞式渡槽

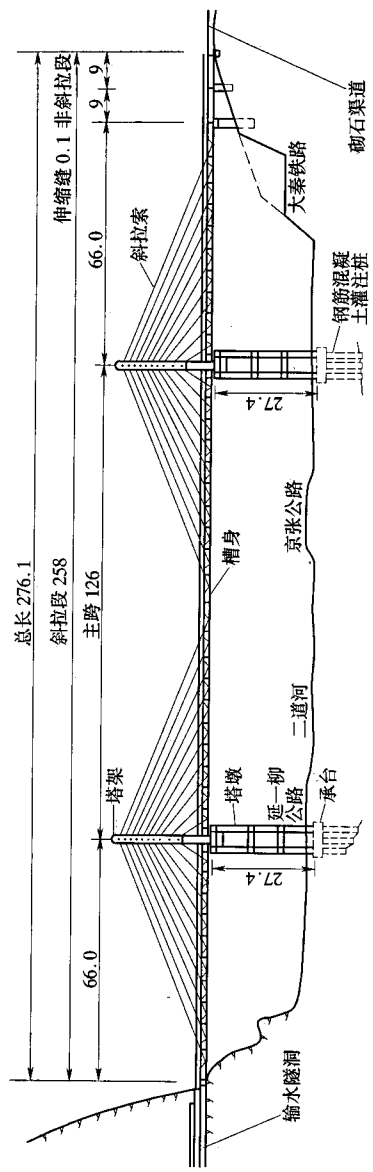


图 1-5 二道河斜拉渡槽 (单位: m)

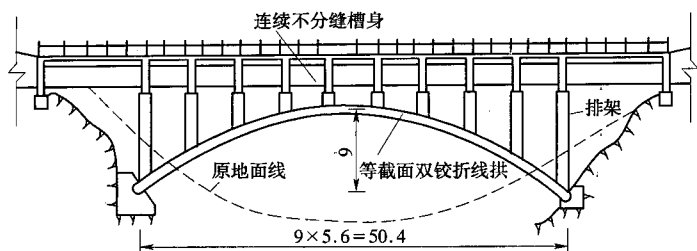


图 1-6 凉清拱梁组合式渡槽 (单位: m)

径 5.52m, 直段高 0.39m, 槽壁厚 13cm, 拱肋采用二次抛物线形等截面双铰折线拱, 矢跨比为 1/5.6, 截面尺寸 0.5m×1.0m。又如广东省东江—深圳供水改造工程, 是向香港、深圳以及工程沿线东莞城镇提供饮用水及农田灌溉用水的跨流域大型调水工程, 该工程中的樟洋渡槽设计流量 $Q=90\text{m}^3/\text{s}$, 采用预应力混凝土 U 形槽身, 纵、横两个方向施加预应力, 槽壁厚仅 30cm, 一节槽身跨度达到 24m, 同时, 又将桥梁工程的先进施工技术——移动模架施工法用于渡槽施工, 取得了良好的经济效益和社会效益。

特别需要提出的是, 改革开放以来, 随着经济及社会的发展, 城市生活用水及工业用水比重增长很快, 中国的供水矛盾已集中到城市, 主要用于发展城市、发展工业及保护环境, 农业用水的重点转为节水灌溉和提高用水效率。为了解决我国水资源分布与供水需求不完全相适应的问题, 需要对水资源作重新分配, 由此南水北调工程列入了国家计划。在南水北调中线总干渠上, 规划修建大型渡槽 49 座, 大部分渡槽设计流量在 $300\text{m}^3/\text{s}$ 以上。目前世界上已建成的最大渡槽为印度戈麦蒂 (GOMTI) 渡槽, 是萨尔达—萨哈亚克调水工程总干渠跨越戈麦蒂河的大型交叉工程, 槽身段长 381.6m, 设计流量 $357\text{m}^3/\text{s}$, 过水槽宽 12.8m、槽高 7.45m, 槽中水深 6.7m, 下部支承结构为空心槽墩和沉井基础。

由于南水北调中线工程总干渠为自流输水, 水头紧张, 可以分配给各座渡槽的水头损失较小, 因而槽身过水断面很大, 不少