

取水新水建筑物丛书

主编 陈德亮

Culverts

涵洞

熊启钧 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

取 水 输 水 建 筑 物 丛 书

主 编 陈 德 亮

Culverts

涵洞

熊启钧 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了涵洞工程的结构布置、水力设计及结构设计内容。以大量算例详细介绍了各种流态涵洞的过水能力计算及消能计算、排水涵洞的设计流量计算及调洪演算、各种型式涵洞的内力计算、钢筋混凝土结构计算及挡土墙的结构计算等。书中还以算例形式详细介绍了作者编制的有关涵洞工程水力计算及结构计算的 10 个电算程序,其中钢筋混凝土结构计算、重力式挡土墙及闸墙计算程序也适用于其他类型水工建筑物的设计。配合本书的出版,作者无偿将其提供给读者,由中国水利水电出版社发布在网上供读者免费下载使用。本书内容丰富实用,电算程序更有实用价值。

本书可供水工专业及其他有关专业设计人员在设计中参考使用,也可作为水利专业院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

涵洞/熊启钧编著. —北京:中国水利水电出版社,

2006

(取水输水建筑物丛书/陈德亮主编)

ISBN 7-5084-4058-7

I. 涵... II. 熊... III. 涵洞工程—基本知识

IV. U449

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 106278 号

书 名	取水输水建筑物丛书 涵洞
作 者	熊启钧 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 11.75 印张 316 千字
版 次	2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	35.00 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

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

在取水输水及灌区工程中，涵洞是最常见的一种建筑物型式，其特点是数量多，规模小，结构比较简单，设计工作相对比较简单，主要就是水力计算及结构计算。因此本书也以介绍涵洞工程的水力设计及结构设计内容为主，同时也结合部分工程实例介绍各种型式涵洞的结构布置。

涵洞的水力设计主要是过流能力（孔径）计算及消能防冲计算。各有关技术文献关于涵洞水力计算方法及计算公式的介绍相互间有一定的出入，有的个别计算公式及计算方法还有值得商讨之处，有的对涵洞流态判别的分析介绍及某些计算参数的确定方法比较繁琐。从实际工程角度考虑，涵洞流态的判别及某些计算问题是需要和可以简化的，本书即对涵洞的水力计算问题作了适当的归纳简化，并对有的计算方法及计算公式进行了必要的分析比较，以确定比较合理的计算方法及计算公式。

涵洞的结构设计主要是通过洞身的内力计算确定各部位的结构尺寸以及钢筋混凝土构件的配筋量。无论是箱涵还是盖板涵或拱涵，都有不止一种常用的内力计算方法，本书也从实际工程角度考虑，对每种结构型式的涵洞分别选择介绍一种比较成熟适用的内力计算方法。

此外，本书还以一定的篇幅介绍了排水涵洞的水文水利计算以及涵洞进出口连接段挡土建筑物的结构计算。

本书的编写原则是以实用为主，除了必要的基本理论介绍外，各种流态涵洞的过流能力（孔径）计算、消能防冲计算，以

及各种结构型式涵洞的结构计算,均用算例形式对计算方法、计算公式及各种设计参数的采用作了详细介绍。同时也以算例的形式介绍了排水涵洞设计流量的确定和调洪演算的方法,以及挡土墙的结构计算方法及分析比较。

涵洞的设计问题虽然比较简单,但由于同一个工程的涵洞数量较多,计算工作量仍不小。为了提高设计质量及设计效率,作者将本书所介绍的有关涵洞工程设计的主要计算项目均编制成电算程序,每个电算程序在书中也均以算例形式,采用与书中各手算算例相同的基本资料,对程序的特点、操作使用方法、输入输出格式及计算成果等作了详细的介绍。程序的名称分别为:“单孔矩形断面涵洞水力计算”、“涵洞水位流量关系计算”、“矩形断面无压渠涵(暗渠)水力计算”、“圆形断面无压渠涵(暗渠)水力计算”、“圆形压力管道(单管)水力计算”、“涵洞消能计算”、“排水涵洞调洪演算”、“箱涵内力计算”、“钢筋混凝土结构计算(SL/T 191—96《水工混凝土结构设计规范》)”、“重力式挡土墙及闸墙计算”。其中除箱涵内力计算为 Excel 电子计算表格(包括单孔箱涵内力计算、双孔箱涵内力计算、三孔箱涵内力计算、双孔不对称荷载箱涵内力计算 4 个电子计算表格)外,其余各程序均采用 Visual Basic 语言编制,可在各种版本的 Windows 操作系统中使用。各程序的共同特点是极其简单实用,操作使用简便,结合实际,针对性强,成果清楚明了,当进行多方案比较及优化设计时,其优越性更明显。除涵洞工程的设计外,这些程序中的钢筋混凝土结构计算、重力式挡土墙及闸墙计算程序也适用于其他类型水工建筑物的设计。多数电算程序在作者工作单位的有关设计项目中运用,效果及效益显著。作者认为,对水工专业的设计人员来说,这些电算程序也许比一般的计算方法介绍更有实用价值。为了使这些程序能在取水输水工程的设计工作中发挥更大的作用,有利于水利建设事业,配合本书的出版,作者无偿将其提供给读者,由中国水利水电出版社发布在网上供读者免费下载使用,网址为 www.waterpub.com.cn。书中有关程序介绍

的部分，也相当于程序的使用手册。

本书在编写中得到河南省水利勘测设计研究有限公司（原河南省水利勘测设计院）有关同事的帮助。陈德亮教授促成了作者对本书的编写，并对编写内容提出了很多宝贵的意见及建议，特此表示感谢。

由于成书时间短，个人水平所限，本书内容难免有不足甚至错误之处，欢迎读者在使用过程中提出宝贵意见，以便有机会再版时修正完善。

作 者

2006 年 5 月

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 取水输水工程中的涵洞工程	1
第二节 渠道输水工程等别及涵洞级别划分与设计规范	4
第三节 涵洞工程设计的基本资料	7
第二章 涵洞的工程布置	8
第一节 涵洞工程的总体布置	8
第二节 涵洞工程的洞身结构布置	9
第三节 涵洞进出口连接段布置	17
第三章 涵洞的水力设计	22
第一节 涵洞的流态判别	22
第二节 涵洞的流量计算公式	26
第三节 涵洞过水能力(孔径)计算类型及计算方法简述	31
第四节 无压流短洞孔径计算	32
第五节 无压流长洞孔径计算	35
第六节 半压力流涵洞孔径计算	42
第七节 非淹没压力流涵洞孔径计算	43
第八节 淹没压力流涵洞孔径计算	45
第九节 涵洞进口水深及水位流量关系计算	47
第十节 渠涵(暗渠)的水力计算	52
第十一节 涵洞的消能防冲设计	67
第十二节 涵洞水力计算的电算	88

第四章 排水涵洞的水文水利计算	105
第一节 排水涵洞设计流量的确定.....	105
第二节 排水涵洞的调洪演算.....	117
第三节 排水涵洞调洪演算电算程序.....	127
第五章 荷载计算	130
第一节 洞顶垂直土压力计算.....	131
第二节 侧向水平土压力计算.....	133
第三节 水压力计算.....	135
第四节 汽车车辆荷载计算.....	137
第五节 自重力计算.....	140
第六节 荷载的作用分项系数.....	140
第六章 箱涵的结构设计	142
第一节 弯矩分配法计算单孔及双孔箱涵弯矩.....	142
第二节 单孔箱涵的结构计算.....	147
第三节 双孔箱涵的结构计算.....	177
第四节 迭代法计算三孔箱涵弯矩.....	194
第五节 三孔箱涵的结构计算.....	198
第六节 不对称荷载作用的箱涵结构计算.....	226
第七节 地基承载力验算.....	250
第七章 盖板涵洞的结构计算	258
第一节 单孔盖板涵洞的结构计算.....	258
第二节 多孔盖板涵洞的结构计算.....	288
第八章 拱涵的结构计算	292
第一节 拱圈的结构计算.....	292
第二节 拱座(侧墙)及洞底板的结构计算.....	296
第三节 拱涵算例.....	297
第四节 拱涵工程实例.....	311
第九章 涵洞进出口挡土建筑物设计	318

第一节	挡土墙的土压力计算.....	319
第二节	挡土墙的稳定性验算.....	324
第三节	挡土墙的基底应力及截面应力验算.....	326
第四节	重力式挡土墙计算.....	327
第五节	半重力式挡土墙计算.....	349
第六节	挡土墙的电算程序.....	354
参考文献		360

第一章 概 述

第一节 取水输水工程中的涵洞工程

一、涵洞工程的设计特点

在取水输水工程的各种建筑物中，涵洞工程的规模相对较小，结构型式也比较简单，但数量却是较多的，例如湖南省韶山灌区总干渠上有 130 余座涵洞；河南省陆浑灌区总干渠上有 50 余座涵洞；陆浑灌区东一干渠及东二干渠上共有 170 余座涵洞。虽然涵洞的结构型式比较简单，但由于数量较多，因此设计工作量也不小，过去在灌区工程的设计中，对涵洞的设计多采用定型设计的方式以减小设计工作量。涵洞工程的主要设计内容是包括孔径计算及消能计算在内的水力计算，以及洞身的结构计算，因此本书的重点及主要篇幅也是结合算例，介绍各种流态涵洞的孔径计算和消能计算，以及各种结构型式洞身断面的结构计算。同时，为了减少计算工作量，提高设计效率，作者将涵洞水力计算及结构计算的主要项目均编制了电算程序，对进行涵洞工程设计的人员有很高的实用价值，本书也将以一定的篇幅介绍这部分电算程序的编制使用说明及示例。

二、涵洞工程的分类

（一）按作用分类

取水输水工程中的涵洞，按作用可分为输水涵洞及排水涵洞两大类。

1. 输水涵洞

输水涵洞位于输水渠道上，与上下游渠道相连，输送渠水。在以下几种情况时多需修建输水涵洞。

1) 当输水渠道与公路、铁路、河沟或另一渠道交叉，输水

渠道的渠底很低，渠身可从公路、铁路、河沟或另一渠道的底部穿过时，多修建输水涵洞。

2) 当输水渠道由城区穿过，为了安全或避免污染，或渠道通过的地段紧临其他地面建筑物或其他原因，不宜修建明渠时，需将渠道顶部封闭形成输水涵洞，在开挖修建完成后再回填恢复至与原地面相平，这种输水涵洞通常称作暗渠或渠涵，其长度多为数十米甚至数百米。从河沟底部穿过的输水涵洞，如河道较宽，涵洞相应较长，也常称作暗渠，例如南水北调总干渠与河道交叉，且渠道水位低于河底较多时，修建的穿河输水涵洞就称作暗渠。

3) 傍山修建的输水渠道，为了减少开挖量并防止坡面坍塌或坡积物入渠造成淤堵，有时也在部分渠段采用渠涵（暗渠）的结构布置型式。

4) 隧洞的进出口多有较长的深挖方段，如按稳定边坡修建明渠，挖方量可能很大，也不利于工程安全，有时也按较陡的临时边坡开挖，修建成明挖洞，然后再回填土恢复原地形，这种结构布置型式也相当于渠涵（暗渠）。

5) 上级渠道向下级渠道分水的口门，如果上级渠道的渠堤较高，而分水流量及所需分水口门的孔径很小，不宜做成开敞式分水闸时，就需采用涵洞式分水闸的布置型式，这是一种带闸门的输水涵洞。

2. 排水涵洞

排水涵洞是取水输水工程中最多种涵洞类型，其作用是排泄洪水或涝水，主要用在以下几种情况。

1) 穿渠排水涵洞（排洪涵洞）。这是取水输水工程中最多种排水涵洞，当输水渠道与河、沟、山冲等交叉，河、沟、山冲等底部低于渠底较多时，就需修建穿渠排水涵洞排泄洪水。上述韶山灌区总干渠及陆浑灌区各干渠上的涵洞均为穿渠排水涵洞。

2) 排涝涵洞。平原地区河道两侧低洼地带在汛期常因降雨形成内涝积水，多修建排涝涵洞排水。在这种情况下，需在涵洞

进口设闸门控制，在河水位较高时，关闭闸门以防河水倒灌，当河水位较低时再开闸排涝。

3) 平原地区输水渠道与小河沟交叉，沟底略高于渠底或与渠底相平，且沟道流量不大，不超过渠道的承受能力时，有时也修建穿渠堤的排水涵洞，使沟水入渠。在这种情况下，也需在涵洞上设控制闸门，以防止渠水倒灌入沟；如沟道纵坡较陡，渠水入沟后回水长度很短，也可不设闸门。

4) 排水渠系中的各级排水沟与道路或渠道相交时，需在道路或渠下设置排水涵洞，这类排水涵洞规模多较小，一般多为预制钢筋混凝土管。

(二) 按洞身结构布置型式分类

涵洞按洞身结构布置型式主要分为箱涵、盖板涵洞、拱涵及圆管涵。此外，南水北调中线总干渠河渠交叉建筑物中的涵洞式渡槽，其下部支承结构也是涵洞的一种结构布置型式。

1. 箱涵

箱涵为矩形断面现浇整体式钢筋混凝土结构，其优点为结构承载能力高。流量及洞径较大或内水压力较大的涵洞多采用箱涵，例如南水北调中线总干渠上的左岸排水涵洞及渠涵（暗渠）均采用箱涵，其排水涵洞的孔宽一般为 3m 左右，孔数为 1~3 孔；渠涵（暗渠）每孔的宽度为 6m 左右，2 孔或 3 孔一联。

2. 盖板涵洞

盖板涵洞的盖板一般为预制钢筋混凝土结构，侧墙及底板根据洞径及荷载大小，可分别采用浆砌石、素混凝土或钢筋混凝土结构。盖板涵洞的优点是施工简单，但因盖板为简支结构，因此其承载能力相对较低，且防渗条件差，故多用于中等规模及洞顶填土高度不大的无压涵洞。一般从居民区附近经过的输水暗渠多采用盖板涵洞的结构型式。

3. 拱涵

拱涵多为浆砌石结构，也有采用预制素混凝土及钢筋混凝土拱圈的。拱涵的优点是拱圈承载能力较大，能就地取材，当地基

较好时,拱涵顶部的填土高度可超过 20m。20 世纪 70 年代前后修建的灌区工程,其渠系上的涵洞多采用拱涵,例如上述韶山灌区总干渠及陆浑灌区各干渠上的涵洞,除流量很小的采用预制混凝土圆管涵外,其余均为拱涵。

4. 圆管涵

圆管涵为管壁较薄的钢筋混凝土管,主要用于小流量的排水涵洞。由于圆形模板的施工难于平面模板,因此一般很少采用现场浇筑混凝土施工,而是采用水泥制品厂的预制混凝土管定型产品,同时受预制定型管孔径的限制,且涵洞如为无压流时,圆形管可利用的有效过水断面相对较小,因此孔径较大的涵洞,多采用其他断面型式。预制混凝土管圆管涵的优点是受力条件好,承载能力大,设计施工简单,一般不需要进行结构设计,可直接根据涵洞的设计荷载条件,参照预制混凝土管定型产品的性能指标,选用相应规格的涵管即可。本书因此也不介绍圆管涵的结构计算。

5. 涵洞式渡槽

下部为多孔一联的钢筋混凝土箱形排水涵洞,上部为钢筋混凝土矩形断面输水渡槽。

(三) 按洞身建筑材料分类

涵洞按洞身建筑材料可分为钢筋混凝土结构涵洞、浆砌石结构涵洞及混合材料涵洞等。箱涵及圆管涵为钢筋混凝土结构,盖板涵洞也有全部采用钢筋混凝土结构的;全部采用浆砌石结构的有拱涵,在石料丰富及有砌石经验的地区多采用浆砌石拱涵。除箱涵及圆管涵外,盖板涵及拱涵的不同部位也常采用不同的建筑材料。

第二节 渠道输水工程等别及涵洞级别划分与设计规范

一、渠道输水工程等别及涵洞级别的划分

涵洞工程的级别可分别按以下两种标准的规定确定,如两者

确定的级别不相同，则取其大者。

(1) 按 SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》的规定，先由表 1-1 确定工程的等别，再由表 1-2 根据工程等别确定建筑物级别。

表 1-1 渠道输水工程分等指标

项 目	工 程 等 别				
	I	II	III	IV	V
保护城镇及工矿企业的重要性	特别重要	重要	中等	一般	
保护农田 (万亩)	≥ 500	100~500	30~100	5~30	< 5
治涝面积 (万亩)	≥ 200	60~200	15~60	3~15	< 3
灌溉面积 (万亩)	≥ 150	50~150	5~50	0.5~5	< 0.5
供水对象重要性	特别重要	重要	中等	一般	

表 1-2 永久建筑物级别

工程等别	主要建筑物	次要建筑物	工程等别	主要建筑物	次要建筑物
I	1	3	IV	4	5
II	2	3	V	5	5
III	3	4			

按 SL 252—2000 的规定，失事后损失巨大或影响十分严重的工程的 2~5 级主要永久性建筑物，经过论证并报主管部门批准，可提高一级；失事后损失不大的工程的 1~4 级主要永久性建筑物，经过论证并报主管部门批准，可降低一级。当永久性建筑物基础的工程地质条件复杂或采用新型结构时，对 2~5 级建筑物可提高一级设计。

表 1-1 中，“保护城镇及工矿企业的重要性”的判别标准，按 SL 252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》“条文说明”，可参考表 1-3 确定。

(2) 按 GB 50288—99《灌溉与排水工程设计规范》的规定，包括涵洞在内的各种灌排建筑物的级别，根据过水流量大小，由