

公路设计与施工 新技术系列
GONGLU SHEJI YU SHIGONG XINJISHU XILIE

公路钢波纹管涵洞 设计与施工技术

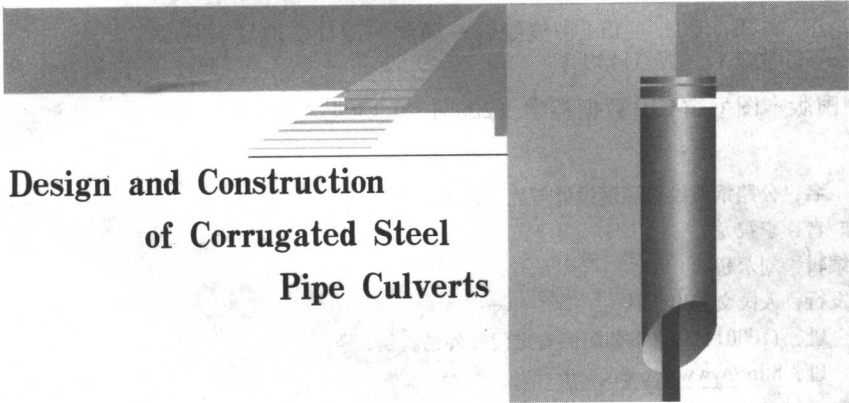
李祝龙 编著



人民交通出版社
China Communications Press

公路设计与施工 新技术系列
GONGLU SHEJI YU SHIGONG XINJISHU XILIE

公路钢波纹管涵洞 设计与施工技术



Design and Construction
of Corrugated Steel
Pipe Culverts

李祝龙 编著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书是在交通部标准规范专题“公路钢波纹管涵洞设计与施工技术研究”基础上总结提炼而成。全书共分九章,内容包括:概述、设计内容和适用条件、水力计算、波纹钢结构的受力分析、力学性能测试与分析、力学性能有限元分析、结构与构造设计、腐蚀与防腐蚀、施工技术。

本书可供公路工程设计与施工人员使用,也可供相关院校师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路钢波纹管涵洞设计与施工技术/李祝龙编著. —北京:人民交通出版社, 2007.1
ISBN 978-7-114-06239-1

I. 公… II. 李… III. ①波纹管—涵洞—设计②波纹管—涵洞—工程施工 IV. U449

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第130424号

书 名:公路钢波纹管涵洞设计与施工技术

著 作 者:李祝龙

责任编辑:刘永超

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)85285838, 85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×960 1/16

印 张:17

字 数:276千

版 次:2007年1月 第1版

印 次:2007年1月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06239-1

印 数:0001~3500册

定 价:35.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

FOREWORD

众所周知, 钢结构具有良好的延性, 抗拉、抗压、抗剪强度较高, 构件结构断面小、自重轻, 施工速度快, 可提供大跨度结构。1996 年我国钢产量首次突破亿吨大关, 1998 年我国钢产量已达 11434 万吨, 而且每年增产 300 万吨, 2005 年钢产量达 3.494 亿吨。钢产量的增长为发展我国建筑钢结构事业创造了极好的时机。随着科学技术水平的不断提高和我国钢材工业的发展, 空间钢结构越来越得到人们的青睐。空间结构是指结构的形态呈三维状态, 在荷载作用下具有三维受力特性并呈空间工作的结构。平板网架、网壳以及悬索结构等空间结构在我国得到了广泛的应用, 已为人们所熟悉。钢波纹管材料就是一种典型的空間结构。

公路涵洞中, 涵洞的不均匀沉降是其破坏的主要形式之一。从材料与结构的本质关系上分析, 采用柔性、高强度的钢波纹管涵洞, 不仅具有适应地基与基础变形的能力, 可以解决因地基基础不均匀沉降导致的涵洞破坏问题; 而且钢波纹管涵洞由于轴向波纹的存在使其具有优良的受力特征, 轴向和径向同时分布因荷载引起的应力应变, 可以更大程度上分散荷载的效应, 更好地发挥钢结构的优势。尤其在多年冻土、软土、膨胀土、湿陷性黄土等不良工程岩土地区, 利用钢波纹管结构修筑涵洞更具有优势, 也更具有广阔的应用前景。

为解决多年冻土地地区涵洞工程病害, 提高涵洞工程在多年冻土地地区的使用寿命, 改善青藏公路多年冻土地地区路基横向排水条件, 1997 年中交第一公路勘察设计研究院(原交通部第一公路勘察设计院)结合青藏公路整治工程实施状况, 修建波纹管涵洞 2 道, 作为试验工程; 1998 年 9 月又修建波纹管涵洞 1 道作为对比研究, 取得了初步成功。1998 年~1999 年该院结合高原多年冻土地地区公路修筑技术研究项目, 针对波纹管在青藏高

原的应用进行了研究,初步研究了波纹管涵洞的受力特征。

为推广公路工程钢波纹管涵洞技术,指导公路工程钢波纹管涵洞设计与施工,2000年~2003年中交第一公路勘察设计研究院继续开展了交通部标准规范专题“公路钢波纹管涵洞设计与施工技术研究”。形成了4个研究分报告和总报告,并根据研究结果推荐了公路单管钢波纹管涵洞设计通用图。

2005年1月18日,受交通部公路司的委托,中国工程建设标准化协会公路工程委员会在西安组织召开了“公路钢波纹管涵洞设计与施工技术研究”专题审查验收会。2005年4月12日陕西省交通厅在西安组织召开了“公路钢波纹管涵洞设计与施工技术研究”课题鉴定会。专家们认为:课题组对钢波纹管涵洞适用条件、受力分析、设计及防腐技术与施工工艺的研究满足生产需要,并可作为制订规范的依据,成果填补了我国公路单管钢波纹管涵洞设计与施工领域的空白。

2005年~2006年中交第一公路勘察设计研究院又组织开展了“公路钢波纹管涵洞设计软件”的研究与开发,通过程序嵌入有限元分析软件进行参数分析,以达到可视化控制设计的目的。

从国外钢波纹管涵洞的应用及防腐调研情况看,钢波纹管涵洞具有较强的适应能力,经过防腐处理后的钢波纹管涵洞能够使用50年。综合分析现有国内防腐技术,虽然距离国外防腐技术存在一定差距,但采用规定的防腐方案后的钢波纹管涵洞的寿命应达到20~30年以上。如果考虑钢波纹管涵洞防腐的养护(大修、二次防腐)、设计腐蚀富余量(厚度)的安全系数,钢波纹管涵洞的耐腐蚀寿命也可达到50年(或以上)。

从公路的寿命周期和服务水平的变化看,涵洞服务年限达到50年时完全能满足一般公路的需求,所以钢波纹管涵洞完全可以适合一般公路。

对特殊岩土地区,如多年冻土、膨胀土、软土、湿陷性黄土等地区,一般情况下钢筋混凝土圆管涵或盖板涵在使用过程中均出现不同程度的损坏,较严重的病害为地基或基础不均匀沉降导致涵洞破坏。这些地区钢筋混凝土圆管涵或盖板涵的使用寿命有时低于20年。而应用钢波纹管涵洞则完全可以解决因地基变形导致的涵洞破坏,同时可以减小路面因地基沉降引起的应力集中。所以,钢波纹管涵洞在上述地区更具优越性。涵管为柔性结构,有利于改善软土地基结构物与路堤交界处的“错台现象”,提高行车的舒适度与安全性。

本书是在7年多研究的基础上,进行进一步总结,并对公路钢波纹管

涵洞的设计内容和方法进行充分分析之后,同时参照了国内外该领域研究与应用情况,形成系统的目前可指导工程设计和施工的技术著作,可供工程技术人员参考,也可供相关研究人员和院校师生参照。

本书共分九章,第一章概述,第二章设计内容和适用条件,第三章水力计算,第四章波纹钢结构的受力分析,第五章力学性能测试与分析,第六章力学性能有限元分析,第七章结构与构造设计,第八章腐蚀与防腐蚀,第九章施工技术。

在研究和撰写这本论著过程中曾得到长安大学戴经梁教授、王秉纲教授、申爱琴教授、陈忠达教授、郝培文教授,西安工业大学刘百来副教授和中交第一公路勘察设计研究院武懋民教授级高工、汪双杰教授级高工、罗满良教授级高工、章金钊教授级高工、赵永国副总工、赵述曾副总工、焦臣高工,以及刘毅、刘戈、张济民、马楠、陈砚等工程师的指导、支持和帮助,还得到了青海省公路科研勘测设计院房建宏副院长、黑龙江省交通科学研究所慕万奎高工、衡水益通金属制品有限责任公司刘洪林、王志宏、蔡枫等的支持和协助,特此向他们表示深深的谢意。部分工程资料由青海省公路科研勘测设计院、黑龙江省交通科学研究所、衡水益通金属制品有限责任公司提供。

由于我国在钢波纹管涵洞设计和施工方面尚未颁布相关的技术规范,书中尚有许多内容不太成熟,需进一步探讨和研究,加之编著者水平有限,书中多有不足之处,请读者批评指正。

编著者
2006年10月

序

PREFACE



我国钢产量已经占据世界首位，公路工程建设也在大量使用钢结构。《公路钢波纹管涵洞设计与施工技术》即是针对钢管涵洞而编著的。

在“二战”期间及解放初期，我国公路建设曾用过钢波纹管涵洞。然而几十年来，国内关于钢波纹管涵洞的研究与应用却一直无人问津。世纪之交国内开始了关于此领域的相关研究，并取得了一系列可喜成果。

从材料与结构的关系角度来看，钢波纹管涵洞是一种典型的空间薄壳钢结构，具有空间钢结构的优势，不仅可以适应大变形环境，而且可应用于大跨径的特殊情况。本书在小孔径特殊情况的研究基础上，介绍了切实可行的设计与施工技术，极具实用性。

本书是该领域国内第一本著作。该书不仅从力学角度分析研究了钢波纹管结构的特殊性，揭示其内力分布规律和控制要素，而且包含了水力特征、腐蚀与防腐蚀、结构与构造设计及施工技术，内容全面、丰富，可以作为工程技术人员设计与施工的技术指南，也可以作为同类研究项目的参考和高等学校研究生的学习用书。

中交第一公路勘察设计院承担公路钢波纹管涵洞设计与施工技术课题的研究和成果的推广工作已有10年的历史，结合青藏公路等项目的建设，取得了有价值的成果。作者及时将这些极具应用价值的成果汇集成书，对传播新技术、将科技成果尽快转化为生产力，将起到积极的推动作用。愿本书的出版对该项新技术的推广应用，对我国公路事业的发展起到积极的推动作用。

戴经梁

2006年12月
于长安大学

目录

CONTENTS

第一章 概述	1
第一节 涵洞类型及适应性.....	1
第二节 钢波纹管涵洞的研究及应用现状.....	7
第三节 钢波纹管涵洞的应用效果	15
第四节 钢波纹管涵洞的研究及应用趋势	24
第二章 设计内容和适用条件	26
第一节 公路钢波纹管涵洞设计内容	26
第二节 公路钢波纹管涵洞的适用条件	28
第三章 水力计算	32
第一节 层流与紊流	32
第二节 圆管涵洞孔径计算	46
第三节 满宁公式糙率系数的估计方法	50
第四节 浅波涵洞的糙率	53
第五节 深波涵洞的糙率	57
第四章 波纹钢结构的受力分析	58
第一节 薄壳及旋转对称壳	58
第二节 波纹管结构的应力分析	63
第三节 工业压力管道内力分析	70
第四节 柔性涵管的受力特征	73
第五节 涵洞荷载计算	91
第五章 力学性能测试与分析	95
第一节 测试工况	95
第二节 测试结果分析.....	102

第六章 力学性能有限元分析	114
第一节 分析方法与判据.....	114
第二节 模型的建立及分析过程.....	115
第三节 模型计算的精度分析.....	118
第四节 波形与壁厚相同时的受力特征规律.....	122
第五节 不同壁厚对波纹管涵受力的影响.....	139
第六节 不同荷载对波纹管涵受力的影响.....	140
第七节 不同波形对波纹管涵受力特征的影响.....	141
第八节 波纹管涵与圆管涵在受力上的差异.....	142
第九节 小结.....	148
第七章 结构与构造设计	149
第一节 美国公路桥梁规范设计方法.....	149
第二节 美国钢铁学会设计方法.....	156
第三节 韩国公团设计方法.....	167
第四节 基于有限元分析的结构设计方法.....	175
第五节 基础和回填设计.....	180
第六节 细部构造及管材要求.....	182
第七节 洞口选择与处理.....	183
第八章 腐蚀与防腐蚀	189
第一节 腐蚀的定义及分类.....	189
第二节 金属结构在土壤中的腐蚀.....	191
第三节 钢在水溶液环境中的腐蚀.....	211
第四节 钢在大气中的腐蚀.....	213
第五节 金属表面的防腐蚀方法.....	215
第六节 国外钢波纹管涵洞的防腐蚀及效应.....	229
第七节 我国公路钢结构的防腐蚀相关要求.....	238
第八节 我国钢波纹管涵洞的防腐蚀.....	242
第九章 施工技术	247
第一节 钢波纹管涵洞的施工工艺.....	247
第二节 施工关键技术及要求.....	250
参考文献	259

第一章

概 述

第一节 涵洞类型及适应性

涵洞主要是为宣泄地面水流(包括小河沟)而设置的横穿路基的小型排水构造物,适用于流量小,漂浮物少,不受路堤高度限制的河沟或灌排水道。小桥和涵洞不同,是为公路跨越小河流、山谷等天然或人工障碍物(如人行小道、机耕道或地方道路)而建造的构造物,它适用于跨越流量大、漂浮物多、有泥石流、冲积堆或深沟陡岸、填土过高的河沟。当所需通过的流量较小时,可选用涵洞。

涵洞的设计应充分考虑设计洪峰流量、设计洪水位、泥石流及漂流物的通过、施工工艺、材料、基础条件,此外还应考虑施工工期、养护和维修等方面问题。多年冻土地区还应考虑涵洞修筑对下卧多年冻土的热干扰。

1. 涵洞的分类*

(1)按建筑材料分类

常用的有石涵、混凝土涵、钢筋混凝土涵、砖涵,有时也可用陶瓷管涵、铸铁管涵、波纹管涵、石灰三合土涵等,各自的适用性和优缺点见表 1-1。

不同材料涵洞的适用性和优缺点

表 1-1

种 类		适 用 性	优 缺 点
常用	石涵	产石地区,可做成石盖板涵、石拱涵	节省钢筋、水泥,经久耐用,造价、养护费用低
	混凝土涵	可现场浇筑或预制成拱涵、圆管涵和小跨径盖板涵	节省钢筋,便于预制,但损坏后维修和养护较困难

注: * 涵洞的分类是在文献 [3] 的基础上补充完善的。

续上表

种 类		适 用 性	优 缺 点
常用	钢筋混凝土涵	用于管涵、盖板涵、拱涵；软土地基上可用箱涵	涵身坚固，经久耐用，养护费用少。管涵、盖板涵安装运输便利，但耗钢量较大，预制工序多，造价较高
	砖涵	平原或缺少石料地区，可做成砖拱涵，有时做成砖管	便于就地取材，但强度较低；水流含碱量大或冰冻地区易损坏
其他	陶瓷管涵	陶、瓷产地，定型烧制	强度较高；运输、安装时易碎
	铸铁管涵	工厂化生产的金属定型产品	强度很高；但长期受水影响易锈蚀
	波纹管涵	用于管涵、拱涵或管拱涵	力学性能好；但施工管节接头不易处理，易锈蚀
	石灰三合土涵	可做成石灰三合土管涵或拱涵	强度较低，造价低；但水流冲刷极易损坏

(2)按构造形式分类

可分为管涵(通常圆管涵)、盖板涵、拱涵、箱涵。以上4种不同构造形式涵洞的常用跨径见表1-2，各种构造形式涵洞的适用性和优缺点，可参见表1-3。钢波纹管结构涵洞有时可制成管拱或椭圆截面，其跨径较表1-2有所增大。

不同构造形式涵洞的常用跨径

表 1-2

构造形式	跨(直)径(cm)
圆管涵	50*、75、100、125、150
盖板涵	75、100、125、150、200、250、300、400
拱涵	100、150、200、250、300、400
箱涵	200、250、300、400、500

注：①带“*”号仅为农用灌溉涵；

②盖板涵中用石盖板时跨径多为75cm、100cm、125cm，其余均为钢筋混凝土盖板涵。

各种构造形式涵洞的适用性和优缺点

表 1-3

构造形式	适 用 性	优 缺 点
管涵	有足够填土高度的小跨径暗涵	对基础的适应性及受力性能较好，不需墩台，圬工数量少，造价低
盖板涵	要求过水面积较大时，低路堤上的明涵或一般路堤的暗涵	构造较简单，维修容易。跨径较小时用石盖板；跨径较大时用钢筋混凝土盖板
拱涵	跨越渗沟或高路堤时设置。山区石料资源丰富，可用石拱涵	跨径较大，承载力较大，但自重引起的恒载也较大，施工工序繁多
箱涵	软土地基时设置	整体性强，但用钢量多，造价高，施工较困难

(3)按洞顶填土情况和孔数分类

按洞顶填土情况可分为明涵和暗涵两类。明涵是指洞顶不填土的涵洞，适用于低路堤、浅沟渠；暗涵是指洞顶填土大于 50cm 的涵洞，适用于高路堤、深沟渠。

涵洞按孔数分为单孔、双孔、多孔等。

(4)按水力性质分类

此种分类方法是根据水流通过涵洞的可能状态，进行必要的判断，定出涵洞水力计算图式。涵洞水力计算图式可分为无压力式、半压力式、压力式涵洞和倒虹吸管，涵洞水流的外观描述和适用性见表 1-4，涵洞水力图式见图 1-1。

不同水力性质涵洞的分类

表 1-4

水力性质	外观描述	适用性
无压力式	进口水流深度小于洞口高度，水流受侧向束夹，进口后不远处形成收缩断面。下游水面不影响水流出口，水流流经全涵保持自由水面	要求涵顶高出水面，涵前不允许壅水或壅水不高时
半压力式	水流充满进口，呈有压状态，但进口不远的收缩断面及以后的其余部分均为自由水面，呈无压状态	全涵净高相等，涵前允许一定的壅高，且略高于涵进口净高
有压力式	涵前壅水较高，全涵内充满水流，无自由水面。一般出口被下游水面淹没，但升高式进水口（流线型），且涵底纵坡小于摩阻坡度时，出口不被下游水面淹没	深沟高路堤，不危害上游农田/房屋前提下，涵前允许较高壅水
倒虹吸管	进出口设置竖井，水流充满全部涵身	横穿路线的沟渠水面高程基本同于或略高于路基高程

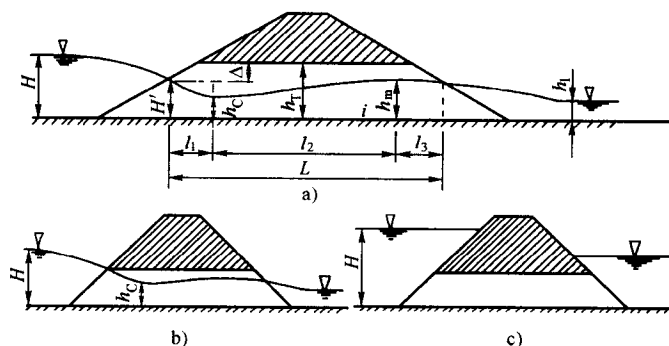


图 1-1 涵洞水力图式

a)无压力式；b)半压力式；c)压力式涵洞

(5)按涵洞洞身形式分类

- 1)平置式坡涵，如图 1-2a)所示。
- 2)平置式阶梯涵，如图 1-2b)所示。
- 3)斜置式坡涵，如图 1-2c)、d)、e)所示。

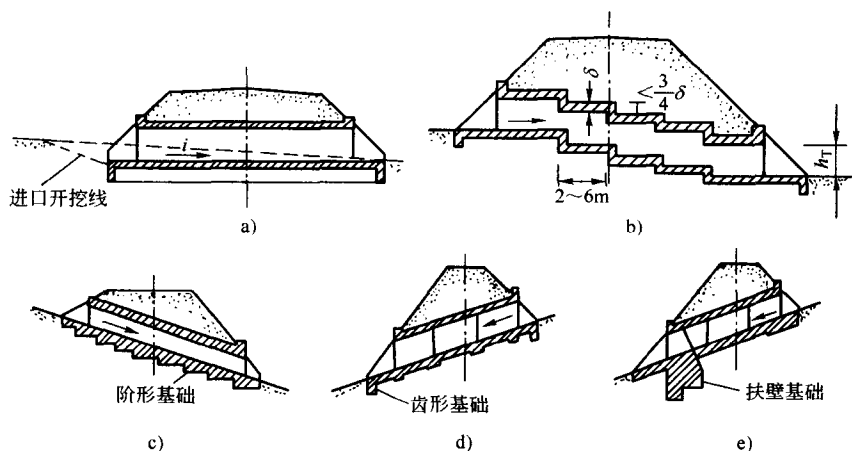


图 1-2 涵洞洞身形式

(6)按涵底坡度分类

对无压非均匀流涵洞，其泄流特性必须计及洞长与底坡的影响。按涵底坡度可分为：缓坡涵洞、平坡涵洞、急坡及临界坡涵洞。

1)缓坡涵洞及平坡涵洞

设涵洞底坡为 i ，临界坡为 i_K 。当 $i < i_K$ 时，称为缓坡涵洞，如图 1-3 所示。

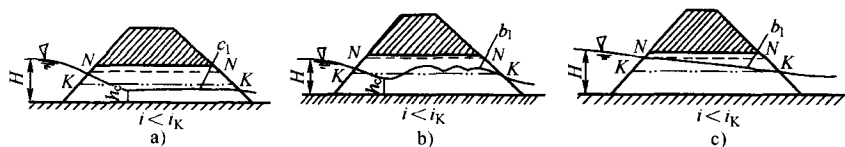


图 1-3 缓坡涵洞

如图 1-3a)所示，当涵洞长度较短时，收缩断面后水流将以 c_1 型壅水曲线流出洞口；全涵为急流，泄流量受收缩断面控制，为宽顶堰自由出流。如图 1-3b)所示，若涵洞长度较长， c_1 型水面曲线将穿越临界水深线 $K-K$ 而发生水跃，并以 b_1 型水面曲线经临界水深 h_K 流出洞口，但因

$h_c < h_K$, 泄流特性仍与宽堰相似, 泄流量受收缩断面控制, 亦可按临界流条件计算。如图 1-3c) 所示, 若涵洞过长, 水跃将逆流向上游移动并淹没收缩断面, 全涵呈缓流, 洞内将以 b_1 型水面曲线经临界水深 h_K 流出洞口, 泄流量可按临界流条件计算。

对于平坡涵洞, 如图 1-4 所示, 其泄流特性亦与上述相似。这表明, 对平坡及缓坡涵洞, 洞长对泄流能力有影响。

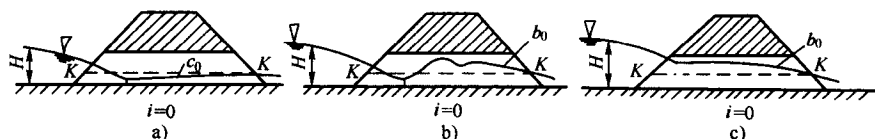


图 1-4 平坡涵洞

洞长对过水能力有影响的涵洞, 称为“长涵”, 洞长对过水能力无影响的涵洞, 称为“短涵”。试验得出, 当 i 较小时, “长涵”与“短涵”的判别标准有:

$$L_K = (64 - 163m)H$$

式中: m ——涵洞流量系数, 一般 $m=0.32 \sim 0.36$;

H ——涵前水深(m);

L_K ——“长涵”与“短涵”的临界长度。由此有:

$$L \geq L_K \quad \text{长涵}$$

$$L < L_K \quad \text{短涵}$$

“长涵”的泄流特性与明渠流类似; “短涵”的泄流特性与宽顶堰类似, 其泄流量由涵前水深 H 决定。

2) 急坡及临界坡涵洞

当涵洞底坡 $i > i_K$ 时, 称为急坡涵洞; $i = i_K$ 时, 称为临界坡涵洞。

如图 1-5a) 所示, 当洞长较短时, 水流将以 c_2 型水面曲线流出洞口; 如图 1-5b) 所示, 当洞长较长时, 水流将以 b_2 型水面曲线流出洞口; 如图 1-5c) 所示, 当洞长较短时, 水流将以 c_3 型水面曲线流出洞口。此外, 若涵洞长度足够时, 水流都经过涵洞末端正常水深断面流出洞口。由此可知, 急坡涵洞及临界涵洞全涵均为急流, 洞内不会发生水跃; 当长度足够时, 其出口均为正常水深, 泄流能力只与涵前水深有关, 但与洞长无关。

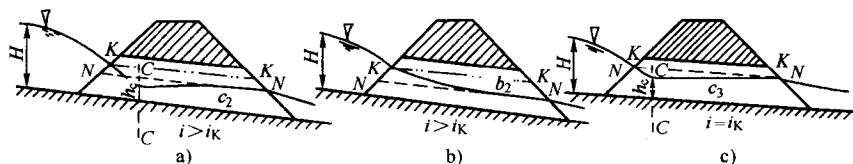


图 1-5 急坡涵洞

2. 涵洞的适应性

(1) 石拱涵

石拱涵是山区公路最常用的一种结构形式。其优点是可就地取材，造价低，易施工，结构坚固寿命长，自重及超载潜力大。适用于盛产石料地区；可用于流量大于 $10\text{m}^3/\text{s}$ ，跨径大于 2m ，路堤高度在 2.5m 以上，地基条件良好的河沟；适应填土高度一般可达 30m 。缺点是建筑高度大，难以预制施工，难修复，占用劳动力多，工期长，对地基要求高。其常用孔径有 $0.75\sim 6.00\text{m}$ 。

(2) 石盖板涵

石盖板涵的优点是：可以就地取材，结构坚固，建筑高度小，对地基和基础要求不高，施工简便，易于修复，适用于石料缺乏地区；可用于流量在 $10\text{m}^3/\text{s}$ 以下，跨径在 2m 以下的河沟，缺点是力学性能较差。

(3) 钢筋混凝土盖板涵

钢筋混凝土盖板涵的优点是：建筑高度较小，可预制拼装，施工简便，对基础要求不高，易于修复，适用于缺乏石料地区，流量大、填土高度受限制及高等级公路。其缺点是钢材用量大，造价高。它适应的填土高度一般小于 12m ，通常可预制或现场浇制。预制拼装可节约模板，缩短工期，不受气候影响，适用于桥涵多而集中，并有运输吊装条件的公路。现场浇制整体性好，适用于工程分散、改建旧路中的单个涵洞及高标准公路的涵洞。

(4) 钢筋混凝土箱涵

钢筋混凝土箱涵涵洞适用于较软弱的地基（如软土地基），但因造价高，施工困难，一般低等级公路少用。

(5) 钢筋混凝土圆管涵

钢筋混凝土圆管涵的优点是力学性能好、构造简单、工程量小、工期短、施工方便，适用于石料缺乏地区，可用于孔径为 $0.5\sim 1.5\text{m}$ 、流量为 $10^3\text{m}^3/\text{s}$ 以下的小型涵洞。一般采用单孔较为经济，其缺点是清淤困难。其适应的填土高度可达 15m 。

3. 公路钢波纹管涵洞的优点

波纹管涵洞是采用波纹状管或由波纹状板通过连接、拼装形成的一种涵洞形式。波纹管或板由钢、铝或塑料等材料制成。

对公路涵洞来说,涵洞的不均匀沉降是其破坏的主要形式之一。从材料与结构和功能的本质关系上分析,采用柔性、高强度的钢波纹管涵洞,不仅具有适应地基与基础变形的能力,可以解决因地基基础不均匀沉降导致的涵洞破坏问题,而且钢波纹管涵洞由于轴向波纹的存在使其具有优良的受力特征,轴向和径向同时分布因荷载引起的应力应变,可以更大程度上分散荷载的效应,更好地发挥钢结构的优势。尤其在多年冻土、软土、膨胀土、湿陷性黄土等不良工程岩土地区,利用钢波纹管结构修筑涵洞更具有优势,也更具有广阔的应用前景。与路基工程迥然不同,多年冻土地区涵洞下冻土顶板(上限)呈拱形,对应路基中心处顶板(上限)比两侧(如路肩)高,这样导致涵洞工程存在不均匀的变形趋势,使用波纹管涵洞后通过波纹的伸展可以适应地基的不均匀变形。

研究表明,公路钢波纹管涵洞具有以下优点:

- (1)跨径较大时,工程实际造价比同类跨径的桥、涵洞低;
- (2)施工工期短,主要为拼装施工;
- (3)采用标准化设计、生产,设计简单,生产周期短;
- (4)生产不受环境影响,进行集中工厂化生产,有利于降低成本,控制质量;
- (5)现场安装不需使用大型设备,安装方便;
- (6)减少了水泥、块片石或碎石、砂等的用量,有利于环保;
- (7)有利于改善软土、膨胀土、湿陷性黄土等特殊地基结构物处的不均匀沉降问题,提高了公路服务性能,减少了工后养护成本;
- (8)解决北方寒冷冰冻地区和沿海软土地区等对涵洞混凝土结构的破坏问题;
- (9)有利于改善软土地基结构物与路堤交界处的“错台现象”,提高行车的舒适度与安全性。

第二节 钢波纹管涵洞的研究及应用现状

1. 国外研究现状

波纹管最早诞生于英国(1784年)。1896年美国率先进行波纹板通道、

涵管的可行性研究,并首次应用于涵洞;1913年首条波纹板涵洞被应用于英国苏格兰爱丁堡近邻的农田灌溉;1923年美国铁路工程协会在伊利诺斯州中央铁路进行波纹板通道的测试;1929年加拿大首座波纹管应用于一煤矿中;1931年澳大利亚首次建成8m汽车通道一座;1990年《日本高速公路设计规范》制定了波纹管设计技术规范。随着波纹管在世界各地的安装使用,证明此种结构物在各种使用情况下的通用性,而且其寿命已超过了设计寿命。

在美国、加拿大等,波纹管涵已被广泛应用于公路工程,并制定了设计、制造及施工安装手册,积累了较为成熟的波纹管涵设计理论及修建经验。韩国自1997年开始研究应用钢波纹管涵洞,主要采用北美的相关技术,到2004年在韩国相继修建了700余处波纹钢板涵。目前非洲多数国家在基础设施建设中也大量使用钢波纹管涵洞。

美国钢铁学会 AISI 出版的 Modern Sewer Design(1999 年版),以及美国钢铁学会 AISI 和加拿大钢波纹管协会共同出版的 Handbook of Steel Drainage & Highway Construction PRODUCTS(2002 年版)等手册系统地讨论了钢波纹管排水管道和涵洞的应用、设计、施工。表 1-5 为其不同类型钢管应用的大小、波形、厚度和形状,其所采用的防腐技术及要求见表 1-6。

AISI 不同类型钢管应用的跨径、波形、厚度和形状 表 1-5

管 类 型	跨径(或直径) (mm)	波形 (mm)	厚度范围 (mm)	形 状
钢波纹管	150~450	38×6.5	1.32~1.63	圆形
	150~900	51×13	1.32~2.01	圆形
	300~2400	68×13	1.32~4.27	圆形、管拱
	1350~3600	75×25	1.63~4.27	圆形
	1350~3600	125×25	1.63~4.27	圆形
	1350~3600	75×25	2.01~4.27	管拱
	1800~3000	125×25	2.77~4.27	管拱
结构板管	1500~8010	152×51	2.82~9.65	圆形、管拱、椭圆或其他形状

从国外的研究与应用看,国外对钢波纹管涵洞的受力研究较少,研究主要侧重在防腐问题上,设计多为较保守的经验方法。关于钢波纹管涵洞的防腐问题,国外主要有以下研究及结论。