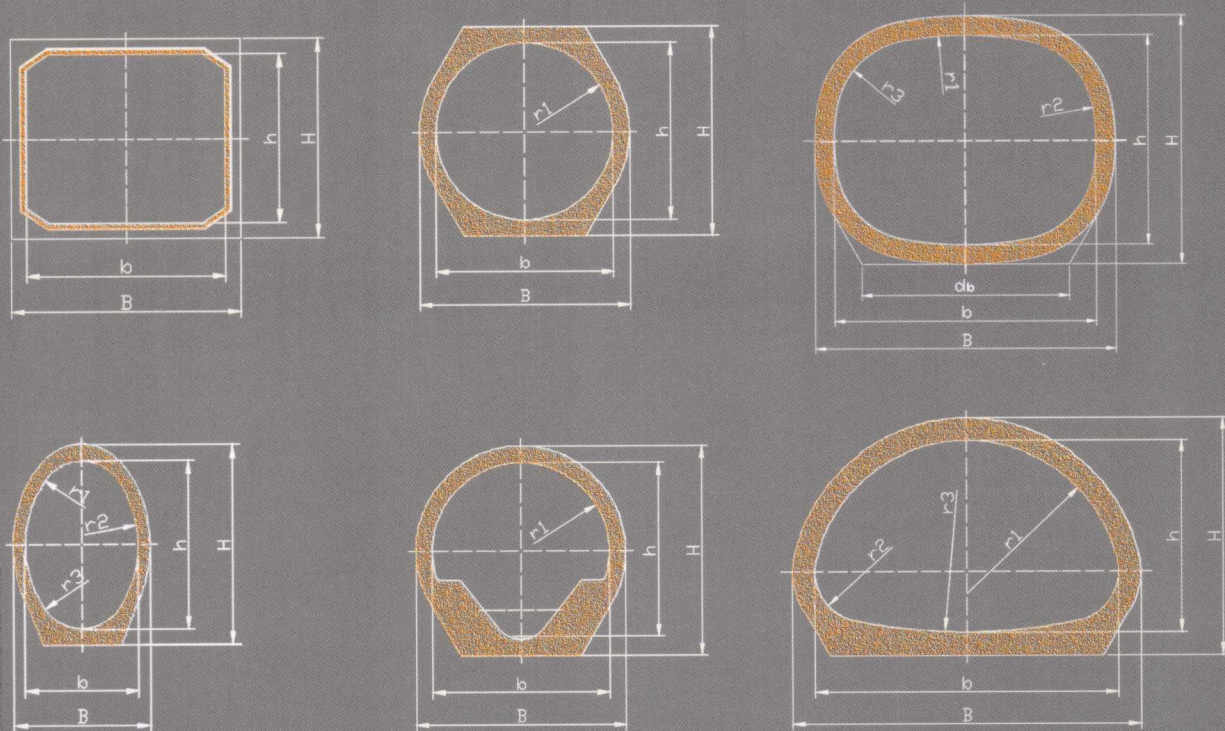


预制异形混凝土涵管 设计与制造手册

YUZHI YIXING HUNNINGTU HANGUAN
SHEJI YU ZHIZAO SHOUC

曹生龙 编著



中国建筑工业出版社

预制异形混凝土涵管 设计与制造手册

曹生龙 编著

湖北工业大学图书馆



01341956

-57



中国建筑工业出版社

TV652.2-62/1

21

图书在版编目 (CIP) 数据

预制异形混凝土涵管设计与制造手册/曹生龙编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012.9

ISBN 978-7-112-14501-0

I. ①预… II. ①曹… III. ①混凝土—泄水涵管—设计—手册
②混凝土—泄水涵管—制造—手册 IV. ①TV652.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 153168 号

本书主要介绍预制异形混凝土涵管的设计、制造工艺及产品应用特点。具体内容包括五部分: 异形混凝土涵管的管型及管型设计方法、异形混凝土涵管的结构计算方法、生产水泥制品的混凝土知识、生产异形混凝土涵管的模具以及制造异形混凝土涵管的工艺内容。通过专业人员对异形钢筋混凝土涵管的结构设计, 科学、合理地确定涵管的形状、壁厚和配筋, 优化涵管的接口密封设计, 降低预制钢筋混凝土涵管工厂化生产的整体成本, 提高钢筋混凝土涵管性能, 克服预制钢筋混凝土涵管的缺陷, 更大发挥预制钢筋混凝土涵管的优势。

本书可供从事混凝土制品专业设计及生产人员学习和使用, 也可作为市政工程专业技术人员、管理人员及有关院校师生的参考用书。

*

*

*

责任编辑: 田启铭 李玲洁

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 刘 钰

预制异形混凝土涵管设计与制造手册

曹生龙 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

华鲁印联 (北京) 科贸有限公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30 字数: 747 千字

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月第一次印刷

定价: 78.00 元

ISBN 978-7-112-14501-0

(22560)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着科学技术的发展,工程结构和造型的多样化,新型结构层出不穷,适合于某些特殊用途的新型(异形)混凝土管道已在国内外广泛应用。这些形状新颖的管道在适应使用功能上有其独特的优势;通过结构形状的变化亦能达到节约材料的目的。为适应我国经济建设的需要,更好地满足各个领域对混凝土管道越来越高的要求,通过广泛收集国内外资料,编写了本书——《预制异形混凝土涵管设计与制造手册》。

编写本书的宗旨也是欲为水泥制品企业专业技术人员提供一本可供生产实践中参考资料。

本书的特点是注重理论联系实际,强调实用性,所用的基础知识尽可能以浅显易懂的文字结合例题进行论述,有利于读者对基本理论的理解和掌握。

本书共分为五章,第一章主要介绍异形混凝土涵管的管型及管型设计方法,罗列了国内外应用较多的几种管型。异形混凝土涵管的管型对涵管的承载能力、材料的使用量、生产成本、施工都有较大影响,因而专列一章介绍异形混凝土涵管的管型设计。

第二章介绍异形混凝土涵管的结构计算方法。本人在从事水泥制品工作的过程中,体会到水泥制品企业的技术人员掌握结构分析能力对企业提高产品质量、降低材料用量、开发新产品、提高分析工程质量事故能力等都有极大好处,因而在本书中用较多篇幅叙述涵管的结构计算方法,从计算涵管结构的基础知识直到各种异形混凝土涵管的结构计算实例。

第三章介绍生产水泥制品的混凝土知识,从水泥、砂石等原材料到混凝土,供生产过程中遇到的问题能在本书中找到可参考资料。

第四章介绍生产异形混凝土涵管的模具。模具是水泥制品生产的主要工装,影响到产品的质量、生产效率、生产成本、操作安全等诸多要素。本章总结了国内常用的各种形式模具,力求先进合理;推荐模具的设计计算方法,从而减轻模具重量、降低材料消耗,使设计的模具更加安全可靠。

第五章是有关制造异形混凝土涵管的工艺内容。介绍适宜于生产异形混凝土涵管立式振动工艺和芯模振动工艺的原理及生产工艺参数。

由于书中涉及专业面广,内容较多,编者知识与经验有限,不足和错误之处,敬请不吝指正。

编 者
2012年5月

目 录

绪言	1
第一章 预制异形混凝土涵管管型设计	4
第一节 椭圆涵管、卵形涵管管型设计	4
一、椭圆涵管管型设计	5
【算例 1-1】 $\phi 1400\text{mm}$ 圆管面积的椭圆涵管管型设计	7
二、卵形涵管管型设计	12
【算例 1-2】 $\phi 1400\text{mm}$ 圆管面积的卵形涵管管型设计	15
第二节 带底座圆管、双底座圆管管型设计	18
一、双底座圆管轮廓线设计	20
二、双底座圆管尺寸计算	20
【算例 1-3】 带底座涵管管型设计	21
三、带底座涵管管型系列产品规格尺寸	22
四、带底座涵管系列产品主要技术参数	23
第三节 四圆拱涵管型设计	23
一、四圆拱涵结构特征	23
二、四圆拱涵轮廓线作图方法	24
三、四圆拱涵管型设计	25
【算例 1-4】 四圆拱涵管轮廓线计算 I	27
【算例 1-5】 四圆拱涵管轮廓线计算 II	28
四、四圆拱涵系列产品主要技术参数	30
第四节 箱涵管型设计	30
一、预制装配化混凝土箱涵形式	30
二、箱涵系列产品主要技术参数	33
第五节 三圆拱涵、半圆拱涵管型设计	33
一、拱涵类型	34
二、三类拱涵对比	35
三、三圆拱涵管型设计	36
【算例 1-6】 110kV 电力管沟三圆拱涵断面设计	37
第六节 预制异形混凝土涵管的接口设计	39
一、接口形式	39
二、预制异形混凝土涵管柔性接口密封设计	44
三、接口密封计算	49

【算例 1-7】 楔形胶圈接口密封设计计算	53
四、接口常用密封胶圈	54
第二章 预制异形混凝土涵管结构设计	62
第一节 用力矩分配法计算混凝土箱涵	62
一、箱涵内力计算基本方法——力矩分配法物理概念	62
二、力矩分配法基本原理	64
【算例 2-1】 力矩分配法计算刚架	66
第二节 混凝土箱涵结构设计	68
一、用力矩分配法计算箱涵内力	68
【算例 2-2】 箱涵结构计算	70
二、箱涵结构计算用表	81
第三节 用力法、弹性中心法计算异形混凝土涵管	81
一、涵管内力计算基本方法——力法简介	82
【算例 2-3】 试用力法计算圆管，作出弯矩图	87
二、结构对称性的应用	89
【算例 2-4】 圆环形框架应用结构对称性求内力	92
三、涵管内力计算基本方法——弹性中心法	94
【算例 2-5】 求等厚圆管在竖向均布荷载作用下的内力	99
四、涵管内力计算基本方法——总和法计算曲线形超静定结构概念	101
五、摩尔 $\int_0^l M_i M_P dx$ 积分表	103
第四节 混凝土椭圆涵管、卵形涵管、三圆拱涵、四圆拱涵和带底座圆管 结构设计	103
一、计算方法简述	103
二、计算步骤	104
三、各种异形混凝土涵管结构算例	108
【算例 2-6】 沟埋式椭圆涵管结构计算	108
【算例 2-7】 沟埋式卵形涵管结构计算	117
【算例 2-8】 沟埋式双底座圆管结构计算	126
【算例 2-9】 沟埋式三圆拱涵结构计算	135
【算例 2-10】 沟埋式四圆拱涵结构计算	146
第三章 预制异形混凝土涵管制造材料选择	156
第一节 混凝土材料选择	156
一、水泥的选择	156
二、骨料的选择	180
三、混凝土用水	190
四、外加剂选择	191
五、常用的矿物掺合料选择	200

第二节 普通混凝土	204
一、普通混凝土的主要技术性质	204
二、普通混凝土配合比设计	226
第三节 其他种类混凝土	234
一、轻混凝土	234
二、纤维增强混凝土	235
三、聚合物混凝土	239
四、自应力混凝土	241
五、高性能混凝土	242
六、未来混凝土展望	246
第四节 混凝土质量控制	250
一、混凝土强度的波动规律	250
二、混凝土强度保证率	252
三、混凝土强度的检验评定	253
第五节 钢筋选择与加工	254
一、钢筋的种类及牌号	255
二、各类钢筋性能	258
三、钢筋的力学性能	269
四、钢筋构件加工	271
第四章 制作预制异形混凝土涵管用钢模	279
一、概述	279
二、钢模设计	279
【算例 4-1】 2200mm×2000mm×240mm 箱涵模板侧模计算	282
【算例 4-2】 4000mm×3000mm 双孔箱涵顶部模板支架计算	285
三、钢模设计示例	293
四、典型异形混凝土涵管钢模图	296
五、钢模结构计算用表	328
第五章 预制异形混凝土涵管的制造	336
第一节 混凝土拌合物的振动密实	337
一、混凝土振动密实成型工艺	337
二、混凝土振动密实原理	338
三、混凝土拌合物的黏度（黏滞度）	339
四、影响混凝土拌合物振实的因素	340
五、混凝土拌合物中振动的传播	344
六、振动成型工艺参数	345
七、薄壁管形制品振动成型工艺	347
八、混凝土振动成型设备	355
【算例 5-1】 内部振动器计算	361

【算例 5-2】 振动台激振器设计	370
第二节 混凝土拌合物制备	374
一、砂石堆场	375
二、混凝土材料贮仓	377
三、搅拌楼	377
四、搅拌质量	389
第三节 立式振动成型工艺制作异形混凝土涵管	390
一、异形混凝土涵管立式振动成型工艺生产工序流程	390
二、操作工序	391
三、操作工序注意点	394
四、涵管的质量要求	395
第四节 芯模振动工艺成型异形混凝土涵管	396
一、芯模振动工艺原理	397
二、芯模振动工艺制管机主要部件	398
三、生产工艺过程	401
四、芯模振动工艺混凝土性能要求	404
五、芯模振动工艺参数	405
六、操作工序注意点	407
第五节 预制异形混凝土涵管常见外观质量缺陷与处理	409
一、裂缝	409
二、蜂窝麻面、空洞漏筋	412
附录	414
A. 箱涵结构计算用表	414
B. 摩尔 $\int_0^l M_l M_p dx$ 积分表	449
C. 法定计量单位	449
D. 常用材料的密度和质量密度	451
E. 常用材料的比热容	452
F. 常用材料的导热系数	453
G. 筛子规格对照表	453
H. 混凝土试验检测方法	454
一、混凝土抗氯离子渗透试验方法	454
二、水泥和混凝土抗硫酸盐侵蚀检测方法	455
三、碱含量计算方法	456
四、砂浆棒法快速检测骨料碱活性	457
五、骨料碱-碳酸盐反应活性试验方法（混凝土柱法）	458
六、矿物微细粉抑制碱-硅反应效果检测方法（玻璃砂浆棒法）	459
七、混凝土抗除冰盐冻融试验方法	460

I. 混凝土的热工计算	461
一、混凝土搅拌、运输、浇筑温度计算	461
二、混凝土养护过程中的温度计算	462
三、混凝土收缩变形值的当量温度	465
四、温度应力的计算	466
五、大体积混凝土浇筑体表面保温层的计算方法	469
参考文献	471

绪 言

现代城市中管道工程优劣能体现人类生活的质量。当前为了提高城市的功能、美化城市的景观,各种公用设施多修成管道,埋设于地下,用于管道工程的水泥制品得到极大的丰富和提高,加速了管道水泥制品的发展,不断改进和增加了管道水泥制品的质量和品种。因而,在管道工程中应用的预制水泥制品除了圆形管道制品外,预制装配化异形混凝土涵管(简称为预制异形混凝土涵管)得到迅速发展,成了管道工程中重要的管材。

异形混凝土涵管常用作现代化城市的地下综合管廊(共同沟)。埋于地下的各种公用管道需定期维修,引起道路破坏、交通阻断,为了避免这些弊病,发展和修建了综合管廊,各种公用管道安装于管廊中,在管廊中完成管道的安装和维修,不需破路,具有很大优点。综合管廊的建设对异形混凝土涵管的应用和发展起了很大推进作用。

大型排水工程和低压输水工程中也用异形管道替代圆形管道。欧、美、日等国应用较多,都已定型并有标准图册,可在工厂中大量生产。异形混凝土涵管虽然在我国管道工程中使用还不够广泛,但它是管道制品中重要的一个品种,随着国家经济实力的增强,也会如同国外一样应用逐渐增多。

预制异形混凝土涵管当前常用的是:箱形涵管(简称箱涵或方涵)、半圆(单心圆)拱涵、三圆(三心圆)拱涵、四圆(四心圆)拱涵、带底座圆管、上下带底座圆管(简称为双底座圆管)、卵形涵管、椭圆涵管、V形涵管、槽形涵管(简称为槽涵)等,如图0-1所示。

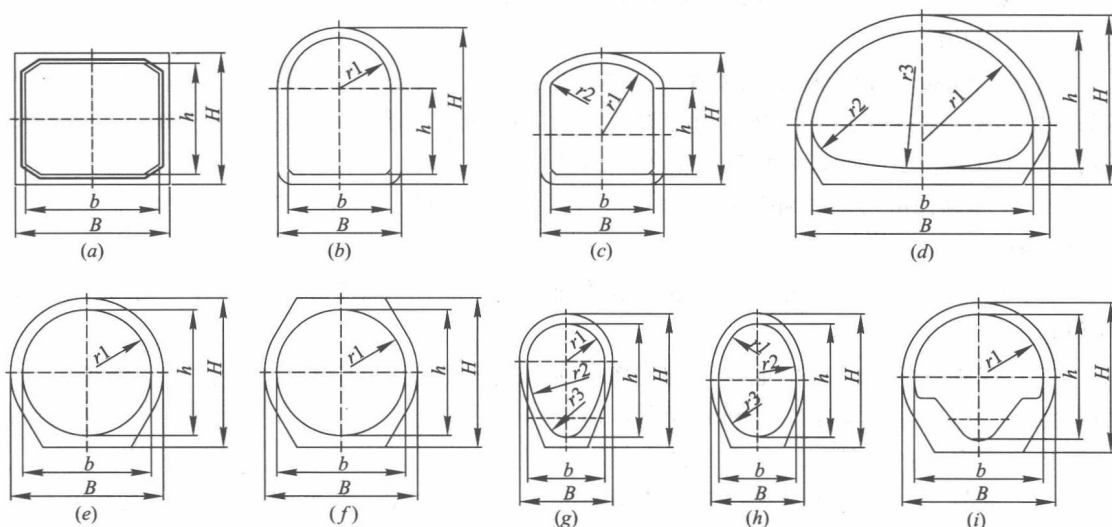


图 0-1 几种异形混凝土涵管断面形状图

(a) 箱涵; (b) 半圆拱涵; (c) 三圆拱涵; (d) 四圆拱涵; (e) 带底座圆管;
(f) 双底座圆管; (g) 卵形涵管; (h) 椭圆涵管; (i) V形涵管

半圆拱涵上顶为单心圆弧、三圆拱涵上顶为三个圆弧组合,二者内底都为平底矩形。四圆拱涵由上顶弧(顶圆弧)、两侧弧(小圆弧)、底弧(大圆弧)四个圆弧组成,故称为四心圆拱涵。卵涵也为四个圆弧组成,不同的是侧弧和底弧的半径值,四圆拱涵侧弧小、底弧大,因而断面为扁平形,卵涵的侧弧半径大、底弧半径小,因而断面为竖窄形。椭圆涵管为竖立的椭圆。各种拱涵下底都为平面或带有混凝土安装底座。

预制异形混凝土涵管主要优点是:①可以根据工程的地理环境等各项条件,合理地调整涵管的宽度和高度,满足输送介质的流量要求和合理地占用地下空间。②可按照工程需要设计成理想的断面形状,优化使用功能。③可以通过合理的断面形状提高承载能力,减少材料用量。④预制异形混凝土涵管制成长度 $1.0\sim 3.0\text{m}$ 一节,每节间采用橡胶圈柔性接口连接,与混凝土圆管的接口相同,具有良好的抗纵向位移及相对转角的闭水性能,一般称之为“柔性”接口,能承受 $1.0\sim 2.0\text{MPa}$ 及以上的抗渗要求,在地基发生不均匀沉降或受外荷载作用、管道产生位移或转角时,仍能保持良好的闭水性能,抗地震功能极强。也可利用接口在一定转角范围内具有的良好抗渗性,可铺设为弧线形管道。

预制异形混凝土涵管都带有平底形管座,相当于在管底预制有混凝土基础,与普通涵管相比:可降低对地基承载力的要求及提高涵管承载能力;管道回填土层夯实易操作、加快施工速度、保证密实效果,简化施工、减少费用。在不良地基软弱土层中应用,更显其优越性。

国内采用现场浇筑方法施工的箱形、拱形混凝土涵管,在铁道、交通和水利工程中已得到较多应用,但现浇异形混凝土涵管的缺陷是:

1. 施工作业时间长、现场湿作业工作量大、需较长的混凝土养护增强时间,开槽后较长时间不能回填,在城市中不利于道路建设缩短施工工期、满足快速放行交通的要求。

2. 在现场制作中,地下水对施工有较大影响,需将地下水降至底板标高以下,才能浇筑混凝土管基,增加施工成本,也不利于生态环境的保护。

3. 现场制作的混凝土抗渗性能不如工厂内制作的混凝土,容易局部发生渗漏,影响管道的使用功能。

4. 现浇混凝土涵管易出现裂缝(涵体侧壁通裂)。裂缝会引起渗漏,影响结构应力状态;如是输送侵蚀性介质,介质通过裂隙浸入周边环境,特别是引起钢筋的锈蚀,影响构筑物承载能力和耐久性,缩短管道的使用寿命。

5. 现场制作的混凝土涵管按一定长度(约 20m)分段,分段间采用橡胶止水带连接,其缺点有:

- (1) 橡胶止水带耐压力差,如输送液体介质,只能在低压状态下工作,一般只用于无压管道。

- (2) 橡胶止水带接口抗地基不均匀沉降能力差。涵管在顶部覆土及附加荷载作用下,引起涵管接口发生上下错位和翘曲变形,造成涵管接口止水带变形,在涵管接口混凝土与橡胶止水带之间产生裂隙,严重的止水带被拉裂。

- (3) 混凝土涵管止水带接口施工质量不易保证,往往由于止水带部位混凝土捣固不密实而留下暗渗漏通道,引起涵管接口渗漏。

- (4) 现场制作的管道分段间隔长度大,地基如有不均匀沉降、或受外荷载(如地震)作用,易发生折断,因此要求提高管道纵向基础承载力,涵管纵向配筋量也需加大。

6. 现场制作生产条件差，结构计算中要加大安全度，增加材料用量。

7. 预制装配化异形混凝土涵管与现场浇制混凝土涵管相比也有不足之处，如：

(1) 大型涵管体大质重，运输安装需要大型运输和吊装设备，增加工程支出费用。

这是影响预制装配化异形混凝土涵管应用的主要障碍，如不能降低其自重，一会增加大型涵管施工难度、二会加大工程运输和吊装的成本，不利于预制装配化异形混凝土涵管的推广应用。

(2) 预制装配化异形混凝土涵管接口多，接口的设计、制作、施工质量要能满足抗渗的要求。

编著本手册的目的即是通过专业人员对预制异形混凝土涵管的结构设计，科学、合理地确定涵管的形状、壁厚和配筋，优化涵管的接口密封设计，降低预制异形混凝土涵管工厂化生产的整体成本，提高预制异形混凝土涵管性能，克服预制异形混凝土涵管的缺陷，更大发挥预制异形混凝土涵管的优势。

预制异形混凝土涵管的开发是地下管道中一种新型管材的补充，在特定条件下有它的竞争优势，在适宜的条件下，应大力提倡、推广应用预制异形混凝土涵管。

各种预制异形混凝土涵管既可在开槽施工工程中应用，也可在顶管工程中应用。较适宜用作雨水污水排水管道、低压输水管道、地下电力、热力、通信等公用设施的套管，预制异形混凝土涵管也是综合管沟（共同沟）管道的优选管材。

第一章 预制异形混凝土涵管管型设计

第一节 椭圆涵管、卵形涵管管型设计

欧美国家在城市排水管道中、小管径系统中常用混凝土椭圆形涵管（简称为椭圆涵管）和混凝土卵形涵管（简称为卵形涵管），如图 1-1 所示，此两种管子均具有内孔非正圆形、高度大于宽度、下部圆弧直径小等特点。

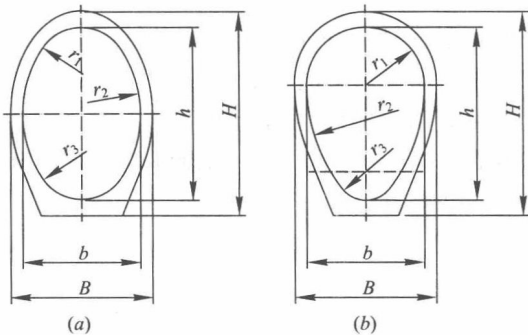


图 1-1 椭圆涵管、卵形涵管管型断面图
(a) 混凝土椭圆形涵管；(b) 混凝土卵形涵管

椭圆、卵形涵管管型的优点较为突出：
①在同样过水面积条件下，顶弧直径小，因而结构内力减小，配筋可减少，材料用量降低，成本降低；
②横向尺寸减小，在地下管线密布、水平布置有困难的场合使用，有其特殊优点（如在宽度较窄居民小区道路下和城区胡同内）；
③底部断面小，流水速度增大，对积聚于管道底部的渣物有自洁作用；
④带有混凝土底座，有提高承载力作用，而且适宜应用椭圆配筋，更能减少钢筋用量。

椭圆、卵形涵管与圆管技术参数对比（以相当 $\phi 1400\text{mm}$ 圆管的涵管为例） 表 1-1

管型		内宽 (mm)	内高 (mm)	断面面积 (mm ²)	相当圆管直径 (mm)	单位管长质量 (t/m)	理论计算环向配筋量	
							面积 (mm ² /m)	质量 (kg/m)
椭圆	承插口式	1200	1800	1.70	1472	1.89	474.2	17.11
	柔性企口式					2.13	501.4	18.29
卵形	承插口式	1200	1800	1.65	1451	2.14	418.0	17.04
	柔性企口式					2.21	426.4	17.50
圆形		1400	1400	1.54	1400	1.76	内层	20.52
							外层	13.58

注：1. 表中的理论计算配筋，以开槽施工、90°土弧基础、覆土深度 4m 工况计算；
2. 混凝土强度等级 C30、钢筋设计强度 360N/mm²、土重度 18kN/m³；
3. 配筋量比较中未计入双层配筋增加的纵向筋和双层钢筋定位卡子的钢筋用量。

从表 1-1 中各项技术参数对比可知，椭圆涵管、卵形涵管的单位管长的质量略有加大，但配筋有很大减少，只为圆形管子配筋量的 1/2 左右。

椭圆涵管和卵形涵管配筋能减少的原理是：①顶圆跨度（直径）减小；②顶、底的壁厚大于圆管的壁厚，加大了最大内力作用区的受力高度，配筋可减少；③竖向高度加大，

侧壁作用对顶、底的反作用加大,减小顶、底的内力,减少配筋量;④带底座涵管,可采用单层椭圆配筋,取消了圆管中的一层构造筋;⑤管座对管体的增强作用,减少配筋。

一、椭圆涵管管型设计

异形混凝土涵管的断面设计难点之一是合理确定外形各部尺寸,在结构计算中也需用到涵管的尺寸数值,因此在本节文中介绍异形混凝土涵管的尺寸计算公式和作图方法。

1. 椭圆涵管轮廓线设计

椭圆涵管管型设计方法:根据过水面积需要及地下空间布局使用要求,确定管涵的内高和内宽,再依据设计经验确定顶圆弧、侧圆弧、底圆弧半径及涵管壁厚。经结构内力计算验算、并以作图或计算验算断面面积,经调整后确定椭圆涵管的内轮廓线、外轮廓线和轴线。

2. 椭圆涵管尺寸计算

预定条件为已知椭圆涵管的内宽、内高、求解其他尺寸,椭圆尺寸计算图见图 1-2,公式如下所示。

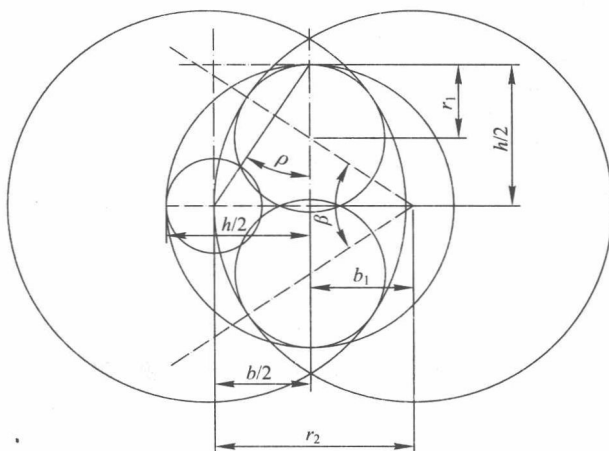


图 1-2 椭圆涵管尺寸计算图

h —椭圆高; b —椭圆宽

(1) 内轮廓线计算

1) 顶圆半弧夹角

$$\alpha = 90^\circ - \arctan[(b/2)/(h/2)] \quad (1-1)$$

2) 底圆半弧夹角

$$\theta = \alpha \quad (1-2)$$

3) 侧圆弧夹角

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + \theta) \quad (1-3)$$

4) 侧圆半径

$$r_2 = [\sqrt{(h/2)^2 + (b/2)^2} + h/2 - b/2] / 2 / \sin(\beta/2) \quad (1-4)$$

5) 顶圆半径

$$r_1 = h/2 - (r_2 - b/2) \tan(\beta/2) \quad (1-5)$$

6) 底圆半径 (见图 1-3)

$$r_3 = r_1 \quad (1-6)$$

7) 侧圆圆心距底距离

$$h_2 = h/2 \quad (1-7)$$

8) 顶圆圆心距底距离

$$h_1 = h - r_1 \quad (1-8)$$

9) 侧圆圆心与竖轴距离

$$b_1 = r_2 - b/2 \quad (1-9)$$

10) 椭圆涵管断面面积 (见图 1-3)

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \\ &= 2\pi r_1^2 \frac{\alpha}{360^\circ} + 2\pi r_2^2 \frac{\beta}{360^\circ} + 2\pi r_3^2 \frac{\theta}{360^\circ} - 2 \times 1/2 (r_2 - b/2) (h_1 - r_3) \end{aligned} \quad (1-10)$$

式中 A_1 ——顶圆面积;
 A_2 ——1/2 侧圆面积;
 A_3 ——底圆面积。

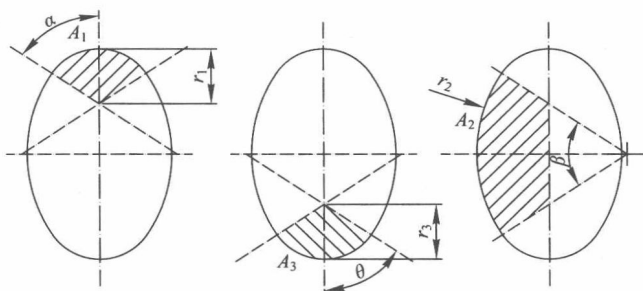


图 1-3 椭圆涵管内轮廓线、断面面积计算图

(2) 外轮廓线计算

1) 椭圆涵管外轮廓线计算 (见图 1-4)

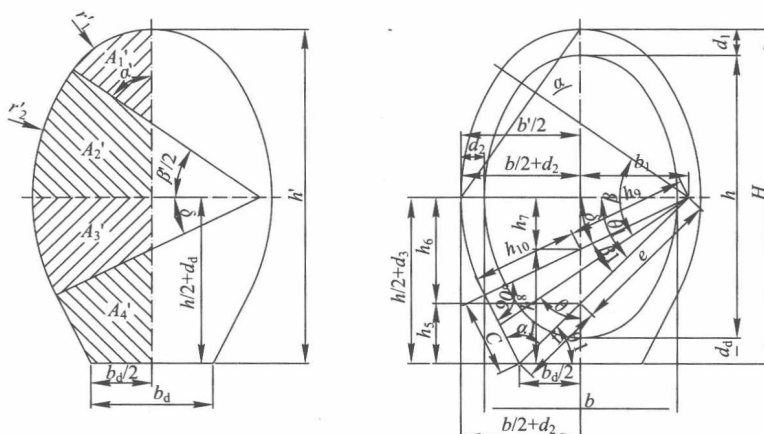


图 1-4 椭圆涵管外轮廓线、断面面积计算图

辅助尺寸计算:

$$h_5 = (h/2 + d_d) - h_6 \quad (1-11)$$

$$b_1 = r_2 - (b/2 + d_2) \quad (1-12)$$

$$h_5/h_6 = (b_d/2)/b_1 \quad (1-13)$$

$$h_5 = h_6(b_d/2)/b_1$$

由式 (1-11)、式 (1-13) 可知, $h_5 = (h/2 + d_d) - h_6 = h_6 b_d/2/b_1$

$$(h/2 + d_d) = h_6 b_d/2/b_1 + h_6$$

$$h_6 = (h/2 + d_d)/(b_d/2/b_1 + 1)$$

$$= (h/2 + d_d)/[1 + b_d/2/(r'_2 - b/2 + d_2)]$$

$$f = [(b_d/2)^2 + h_5^2]^{0.5} \quad (1-14)$$

$$e = (h_6^2 + b_1'^2)^{0.5} \quad (1-15)$$

$$c = [(e + f)^2 - r_2'^2]^{0.5} \quad (1-16)$$

$$\alpha_1 = \arccos[c/(e + f)] \quad (1-17)$$

$$\beta_1 = 90^\circ - \alpha_1 \quad (1-18)$$

$$\theta_1 = \arctan[h_5/(b_d/2)] \quad (1-19)$$

$$\delta = \theta_1 - \beta_1 \quad (1-20)$$

$$h_7 = b_1 \tan \delta \quad (1-21)$$

$$h_8 = (h/2 + d_d) - h_7 \quad (1-22)$$

$$h_9 = b_1/\cos \delta \quad (1-23)$$

$$h_{10} = r'_2 - h_9 \quad (1-24)$$

$$\phi = (90^\circ + 90^\circ)/2 = 90^\circ \quad (1-25)$$

$$\text{四边形周长}/2 = T = (h_8 + h_{10} + c + b_d/2)/2 \quad (1-26)$$

2) 椭圆涵管断面面积计算 (见图 1-4)

$$\text{侧圆圆弧面积} = A'_2 + A'_3 = [\pi r_2'^2 \beta'/2/360 - 1/2 b_1^2 \cos(\beta'/2)] + (\pi r_2'^2 \delta/360 - 1/2 b_1 h_7) \quad (1-27)$$

$$\text{四边形面积值} = A'_4 = [(T - h_8)(T - h_{10})(T - c)(T - b_d/2) - h_8 h_{10} c b_d/2 \cos^2 \phi]^{0.5} \quad (1-28)$$

$$\text{椭圆涵管外轮廓线断面面积} = A' = 2(A'_1 + A'_2 + A'_3 + A'_4) \quad (1-29)$$

【算例 1-1】 $\phi 1400\text{mm}$ 圆管面积的椭圆涵管管型设计

按雨水排水系统设计单位提供的数据, 要求设计过水断面相当直径 $\phi 1400\text{mm}$ 圆管面积的椭圆涵管管型设计。

设定椭圆涵管的接口为柔性企口式、内高 1800mm、内宽 1200mm, 计算椭圆涵管各部尺寸并画出椭圆涵管图。

依据设计经验确定断面内轮廓线: 顶面厚度 $d_1 = 165\text{mm}$ 、侧面厚度 $d_2 = 145\text{mm}$ 、底面厚度 $d_d = 165\text{mm}$ 。

(1) 内轮廓线设计:

1) 顶圆半弧夹角

$$\alpha = 90^\circ - \arctan[(b/2)/(h/2)] = 90^\circ - \arctan[(1200/2)/(1800/2)] = 56.31^\circ$$

2) 底圆半弧夹角

$$\theta = \alpha = 56.31^\circ$$

3) 侧圆弧夹角

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + \theta) = 180^\circ - 2 \times 56.31^\circ = 67.38^\circ$$

4) 侧圆半径

$$\begin{aligned} r_2 &= [\sqrt{(h/2)^2 + (b/2)^2} + h/2 - b/2] / 2 \sin(\beta/2) \\ &= [\sqrt{(1800/2)^2 + (1200/2)^2} + 1800/2 - 1200/2] / 2 \sin(67.38^\circ/2) \\ &= 1245.4163\text{mm} \end{aligned}$$

5) 顶圆半径

$$\begin{aligned} r_1 &= h/2 - (r_2 - b/2) \tan(\beta/2) \\ &= 1800/2 - (1245.4163 - 1200/2) \times \tan(67.38^\circ/2) \\ &= 469.7224\text{mm} \end{aligned}$$

6) 底圆半径

$$r_3 = r_1 = 469.7224\text{mm}$$

7) 侧圆圆心距底距离

$$h_2 = h/2 = 1800/2 = 900\text{mm}$$

8) 顶圆圆心距底距离

$$h_1 = h - r_1 = 1800 - 469.7224 = 1330.2776\text{mm}$$

9) 侧圆圆心与竖轴距离

$$b_1 = r_2 - b/2 = 1245.4163 - 1200/2 = 645.4163\text{mm}$$

10) 椭圆涵管内轮廓线断面面积

$$A = A_1 + A_2 + A_3 - A_4$$

$$\begin{aligned} &= 2\pi r_1^2 \frac{\alpha}{360^\circ} + 2\pi r_2^2 \frac{\beta}{360^\circ} + 2\pi r_3^2 \frac{\theta}{360^\circ} - 2 \times 1/2 (r_2 - b/2) (h_1 - r_3) \\ &= 2\pi \times 469.7224^2 \times \frac{56.31^\circ}{360^\circ} + 2\pi \times 1245.4163^2 \times \frac{67.38^\circ}{360^\circ} + 2\pi \times 469.7224^2 \times \frac{50.51^\circ}{360^\circ} - \\ &\quad 2 \times 1/2 \times (1245.4163 - 1200/2) \times (1330.2776 - 469.7224) \\ &= 1702326\text{mm}^2 = 1.70\text{m}^2 \end{aligned}$$

11) 相当圆管直径

$$D_0 = \sqrt{4A/\pi} = \sqrt{4 \times 1702326/\pi} = 1472\text{mm}$$

椭圆涵管内断面设计结果：断面面积大于 $\phi 1400\text{mm}$ 圆管的断面积，达到设计要求。

(2) 外轮廓线设计：顶面管壁厚度 $d_1 = 165\text{mm}$ 、侧面管壁厚度 $d_2 = 145\text{mm}$ 、底面管壁厚度 $d_d = 165\text{mm}$ 。

1) 外轮廓线宽、高计算

$$b' = b + 2d_2 = 1200 + 2 \times 145 = 1490\text{mm}$$

$$h' = h + d_1 + d_d = 1800 + 165 + 165 = 2130\text{mm}$$

2) 顶圆半弧夹角

$$\alpha' = 90^\circ - \arctan[(b'/2)/(h'/2)] = 90^\circ - \arctan[(1490/2)/(2130/2)] = 55.03^\circ$$

3) 底圆半弧夹角

$$\theta' = \alpha' = 55.03^\circ$$