

国外道路工程涵洞设计软件综述

吴政

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

Copyright © Universe Scientific Publishing Pte Ltd

DOI: 1.18686/bd.v1i2.109

出版日期: 2017年2月1日

摘要: 介绍了涵洞设计和分析的目的、涵洞设计准则和考虑的因素以及国外道路工程中 20 个常用的涵洞水利设计软件的主要功能、算法、开发年限、输入和输出参数等, 供从事国际道路工程设计的人员参考。

关键词: 道路工程; 涵洞设计; 软件

1 引言

涵洞是道路工程纵、横向排水构造物的重要组成部分之一。一般平原地区每公里至少设置 1-3 道涵洞, 而山区道路工程至少设置 3~5 道涵洞。排水结构物一般占道路工程造价的 15-25%左右。涵洞设计的优劣对道路工程的质量、进度和费用影响较大。本文介绍了国外道路工程涵洞设计常用的软件, 每个软件的功能、所使用的计算方法, 输入和输出参数和涵洞设计应考虑的参数等。

2 涵洞设计和分析的目的

涵洞设计分析的目的是确定涵洞的大小, 位置及其功能。涵洞除了满足过水能力外, 还应考虑杂草、废弃物和树桩等通过涵洞。涵洞的大小主要指涵洞的尺寸和长度; 涵洞的布置主要取决于水道的位置、方向以及道路线形设计; 涵洞的功能主要指涵洞的过水能力、结构稳定性、耐久性、安全性、造价和易维护性。

3 涵洞设计准则

涵洞设计应与所在公路等级性质、具体使用条件相结合, 遵循安全、经济、美观、环保的原则, 并充分考虑造价、便于施工、维护及因地制宜等多方面因素。涵洞设计需考虑涵洞水利学、汇水面积、确切的水文资料, 此外, 还应考虑涵洞的施工和安装等。

4 涵洞设计应考虑的因素

4.1 水文设计

设计洪水重现期的确定, 洪峰流量的确定。一经确定设计洪水重现期, 则洪峰流量就可确定, 确定的方法有: 推测法、回归方程法、SCS 法等。通过涵洞的流量实际上是降雨强度和降雨历时的函数, 可通过雨量记录进行统计分析确定。涵洞上游的残余物很可能会堵塞涵洞而导致涵洞失效, 在涵洞设计时应予以重视。

4.2 涵洞位置设计

涵洞位置可地形来判断, 合适的排水沟渠的位置、易于污水的位置。涵洞入口允许水深 (AWD) 是上游涵前最大的允许水深, 可由涵前填土高度来确定。这取决于涵洞处的地形和线形设计。涵洞入口允许水深 (AWD) 与洞高之值比常常采用等于 1。涵洞所用材料、形状和大小由经济性比较进行选择。涵洞设计与现场特性紧密相关, 如, 涵长的决定、允许水深、涵顶填土高度、涵底坡度、进口几何特性。涵顶填土高度与荷载设计、线形设计及其标准和地形等密切相关。

4.3 水利设计

涵洞水利设计往往假定通过涵洞的水是稳定的无压水流, 涵洞的横断面和涵底坡度是无变化的。涵洞的水利特性与上、下游水道的特性相关, 由此, 通过涵洞的水利特性可划分为进口控制和出口控制两种。其流态控制也可进一步划分为流入

控制和出流控制断面。入流控制是指涵洞泻洪能力取决于入流量，也就是进入涵洞多少水，涵洞就能宣泄多少水，涵洞泻水速度大于入流速度，涵洞下游水利特性不影响涵洞的泻洪能力，临界水深在涵洞进口前。绝大多数涵洞，特别是地势平坦的地区（纵坡小于3%）是入流控制为主。这是因为涵洞的过水能力取决于涵洞入口几何特性，涵洞入口几何特性任何微小的变动都会影响涵洞进出水的过流量。

表格 1 影响入流控制和出流控制的因素

影响因素	入流控制	出流控制
水头标高	Y	Y
进口面积	Y	Y
进口构造	Y	Y
进口形状	Y	Y
涵洞糙率	-	Y
涵洞形状	-	Y
涵洞面积	-	Y
涵洞长度	-	Y
涵底坡度	-	Y
尾水高程	Y	-

出流控制较入流控制复杂，出流控制是指涵洞无法渲泻掉流入涵洞的水。也就是说，流入涵洞的水大于流出涵洞的水；影响涵洞的宣泄能力的因素与入流控制相同，但同时，受尾水高程和洞身特性包括涵洞的糙率系数、横断面积、长度、涵洞的长度和涵底坡度等的影响。当涵洞受出流控制时，改变涵洞洞身特性或改变尾水高程均将影响涵洞的过水能力。影响涵洞入流控制和出流控制的因素见表 1。

4.4 涵洞类型选择

涵洞设计可根据需要选择圆管涵、盖板涵、箱涵或石拱涵。

5 涵洞设计软件

20 个国外常用的涵洞设计软件列入表 2。从表中可看出，国外绝大多数涵洞设计软件是采用 Normann 于 1985 年开发的算法为主。

表 2 二十个国外常用的涵洞设计软件汇总表

序号	涵洞设计及分析程序名称	主要功能	算法	开发年限
1	CAP-Culvert Analysis Program	涵洞设计与分析	Bodhaine	1969
2	CHAN v.2	汇水面积计算	Normann	1985
3	Culvert Master	涵洞设计与分析	Normann	1985
4	Xing-Risk	涵洞失事灾害分析	Piche et al.	1988
5	Drainage Calculator	涵洞设计	Normann	1985
6	Drain Calc	排水系统设计与分析	加州公路	
7	Eagle Point Watershed Modeling V7.0s	河道分析	Normann	1985
8	Eagle Point Water Surface Profiling	水横截面分析	HEC-2	
9	Fish Pass	涵洞鱼道设计	Powers and Orshborn	
10	Fish Xing	涵洞鱼道设计	Norman, Behlke at al.	

序号	涵洞设计及分析程序名称	主要功能	算法	开发年限
11	HEC-RAS v2.2	河道分析	Normann	1985
12	HY-8	涵洞设计与分析	Normann	1985
13	HYDrain	洪水分析	Normann	1985
14	Hydro CAD	涵洞设计与分析	-	
15	Hydro Cal Hydraulics, V1.2a	涵洞设计与分析	Normann	1985
16	Hydro Culv v1.02	涵洞设计与分析	水工理论	
17	Mac Culvert	涵洞设计与分析	Normann	1985
18	Quick Pipe Pro	涵洞设计与分析	Normann	1985
19	River CAD	河道分析	Normann	1985
20	THSYS	涵洞设计与分析	HEC-12, HEC-22	

表中很多软件已更新并适用于最新的计算机系统。上述大部分软件侧重于水利设计、部分含有水文设计和防冲刷设计等。结构设计需由另外的结构设计软件来完成。

表 3 各设计软件输入参数

程序序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
单位选择	Y		Y	Y				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y
洪峰流量确定		Y	Y	Y				Y			Y	Y	Y	Y					Y	
水面线选择	Y	Y	Y			Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
水面曲线选择		Y					Y					Y	Y	Y					Y	
使用预定的降雨曲线		Y	Y	Y	Y	Y	Y					Y	Y	Y					Y	
道路标高选择			Y								Y	Y	Y					Y	Y	Y
道路宽度选择			Y	Y				Y			Y	Y	Y					Y	Y	Y
路面参数选择			Y					Y			Y	Y	Y					Y		Y
池塘设计选择	Y							Y			Y	Y	Y	Y			Y		Y	
堤岸保护选择			Y	Y								Y	Y							Y
抛石设计选择																			Y	
顶填土高选择			Y	Y				Y				Y	Y					Y		
使用堰流公式		Y	Y				Y	Y			Y	Y	Y	Y				Y	Y	Y
非漫顶选定			Y								Y	Y	Y					Y	Y	
最大允许水头选定	Y		Y	Y		Y	Y	Y			Y	Y	Y			Y	Y	Y	Y	Y
进水口标高选择	Y	Y	Y	Y			Y	Y	Y		Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
进水口构造选择	Y	Y	Y	Y				Y			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
进水口系数选择	Y	Y	Y	Y			Y	Y	Y		Y	Y	Y		Y		Y	Y	Y	Y
出水口标高选择	Y	Y	Y					Y		Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
出水口构造选择	Y							Y			Y									Y
出水口系数选择							Y	Y			Y			Y		Y				Y
材料选择		Y	Y			Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y		Y		Y	Y	Y	Y
波纹管设计选择		Y					Y	Y	Y	Y	Y				Y			Y	Y	

程序序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
尾水设置选择	Y	Y	Y				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
尾水形状选择	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
结构大小选择			Y	Y		Y	Y	Y		Y							Y	Y	Y	Y
用户自定义结构物尺寸	Y	Y	Y				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
涵底坡度选择		Y	Y	Y			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	
不同涵底坡度的确定																				Y
涵长选择	Y		Y			Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y
线形选择	Y		Y																	
落差设置	Y		Y								Y	Y	Y							
负标高选择		Y	Y								Y				Y					
满宁常数选择	Y	Y	Y			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
用户自定义天然坡度	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y			Y	Y
其它水道形状选择		Y	Y			Y	Y	Y			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y
多个涵洞选择	Y	Y	Y			Y	Y	Y			Y	Y	Y	Y				Y	Y	Y
多个涵洞标高选择	Y	Y									Y	Y	Y							Y
多个涵洞形状选择	Y	Y									Y	Y	Y							Y
分水岭模型选择		Y			Y		Y	Y			Y									Y
鱼道设计选择										Y	Y									

表格 4 各设计软件输出参数

程序序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
涵洞大小			Y		Y	Y						Y	Y							Y
涵洞纵坡			Y			Y		Y				Y	Y		Y	Y	Y	Y		Y
进口控制尾水深	Y	Y	Y					Y				Y	Y			Y	Y	Y	Y	Y
进口控制水头深	Y	Y	Y					Y			Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
进口控制泻洪量		Y	Y			Y	Y	Y			Y	Y	Y		Y			Y	Y	Y
出口控制尾水深	Y	Y	Y					Y		Y	Y	Y	Y			Y	Y	Y	Y	Y
出口控制水深	Y	Y	Y					Y		Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
出口控制流量		Y	Y					Y	Y		Y	Y	Y		Y			Y	Y	Y
涵洞纵坡类型			Y					Y		Y	Y					Y		Y		
水流特性	Y		Y					Y		Y	Y	Y	Y			Y		Y	Y	
能量曲线								Y			Y				Y					Y
水深	Y		Y					Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y			Y	Y
水流面积	Y							Y		Y	Y			Y	Y	Y			Y	Y
湿周	Y					Y		Y		Y						Y				Y
水力半径																Y				
水面宽	Y														Y	Y				
佛罗伊德常数	Y											Y	Y		Y					

程序序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
进口流速	Y		Y								Y					Y	Y		Y	
出口流速	Y	Y	Y			Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
总泻流量	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y
通过道路的泻流量		Y	Y				Y	Y			Y	Y	Y					Y	Y	Y
通过涵身的泻流量	Y	Y	Y			Y	Y	Y			Y	Y	Y					Y	Y	Y
正常水深			Y			Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
临界水深	Y		Y					Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y
临界坡度			Y								Y				Y				Y	Y
出口冲刷						Y		Y	Y									Y	Y	
牵引力											Y								Y	
水面曲线			Y				Y			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y
汇总报告	Y	Y	Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
水面线横断面		Y						Y	Y	Y	Y	Y	Y		Y	Y			Y	
流量历时线			Y										Y	Y						
鱼道过鱼量									Y	Y										
环境风险评估				Y																

6 结语

设计师可根据具体的工程问题和计算需求选择合适的设计软件。涵洞设计是一个不断反复的过程,根据水利设计的结果所确定的涵洞大小、形状、数量以及所用的材料并结合线形设计后,其结果不一定让设计者自己满意,因此,会重复上述过程以确定最佳设计效果。涵洞设计时需综合考虑多方面因素,需结合当地筑路材料、填土高度、施工条件、工程费用和造价、养护维修条件等因素,最终选择经济合理且满足排水功能的排水结构物。掌握涵洞设计软件可有效的解决工程问题,对设计师来说这是必要和必备的工具,可起到事半功倍的效果。

参考文献

- [1] United States Department of Agriculture. A Guide to Computer Software Tools for Culvert Design and Analysis, November 1999.
- [2] FHWA-IP-83-6, Structural Design Manual for Improved Inlets & Culverts, 1983.
- [3] Tennessee Department of Transportation, Design Procedures for Hydraulic Structures, 2001.
- [4] FHWA-SA-98-080, User's Manual for WSPRO, 1998.
- [5] FHWA-NHI-01-020, Hydraulic Design of Highway Culverts, 2001.