

铁路工程设计技术手册

涵 洞 与 拱 桥

铁道部第一勘测设计院 主编
兰州铁道学院

中 国 铁 道 出 版 社

1994年·北京

前 言

本手册是根据铁道部基技(1987)88号文“关于编写和修订铁路工程设计、施工手册的通知”，遵照各种有关的国家标准及铁路有关的勘测、设计规范进行编写的。

本手册以铁路系统桥涵设计人员为主要服务对象，内容力求齐全和便于应用。本手册分为两篇，第一篇为涵洞，第二篇为拱桥。

涵洞部分主要包括涵洞施工设计、涵洞结构计算、既有线顶进桥涵三大部分。由铁道部第一勘测设计院童森林主编，参加编写的人员有：朱景洞、魏清生、罗玉衡、李林序、龚巨民等。参加审核者有：王弘、章家骏、张祥等。为本篇提供了丰富资料的有：李持忠、章家骏、朱景洞、程辛卯等。许乃彬、刘传颐、沈永良、何明钊、许复棣、刘启山、冯秉明及路内外有关兄弟单位和同志还曾提供过宝贵资料和有益的帮助，在此表示感谢。

拱桥部分内容以列举有关拱桥设计的基本规定和要求、常用的设计计算方法为主。为提高拱桥设计的效率和质量，提高手册的完整性，还编写了拱桥优化设计、拱桥抗震设计，并备有从拱轴优化、荷载加载到截面设计可一次完成、方便可靠的拱桥设计电算程序，需用者可与编者联系。

拱桥部分由兰州铁道学院王华廉主编。参加编写的人员有：徐若昌、任侠、王步云、杨文奇和华中理工大学唐家祥等。吴鸿庆教授、周大本副教授对本篇的编写给予了许多指导和帮助，谨向他们表示感谢。

在征求意见阶段，专业设计院、第二、三、四勘测设计院对本手册编写曾给予大力协助，提出许多宝贵的修改意见，在此一并致谢。

限于编者的水平，错误和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

一九九一年一月

(京)新登字063号

内 容 简 介

本手册由铁道部组织第一勘测设计院和兰州铁道学院，遵照我国有关的国家标准和铁路勘测设计规范结合涵洞与拱桥的设计实践编写而成。第一篇涵洞，主要由涵洞施工设计、涵洞结构计算、既有线顶进桥涵三大部分组成；第二篇拱桥，列举了拱桥设计的基本规定、要求，常用的设计计算方法和拱桥优化设计、抗震设计、拱桥结构分析及设计专用程序的介绍和算例；附录可做为设计计算的依据。

读者对象：铁路新线、既有线工程设计、施工、科研技术人员及大专院校师生。

铁路工程设计技术手册

涵 洞 与 拱 桥

铁道部第一勘测设计院 主编
兰 州 铁 道 学 院

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 刘启山 封面设计 赵敬宇

各 地 新 华 书 店 经 售

北京顺义燕华印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/16 印张：40.25 字数：1444 千

1994年7月 第1版 第1次印刷

印数：1—4,000册

ISBN 7-113-01337-6/TU·291 定价：29.50 元

目 录

第一篇 涵 洞

第一章 涵洞施工设计	1	三、涵节设计	87
第一节 涵洞类型及选择	1	四、翼墙设计	103
一、涵洞类型选择的一般原则	1	第四节 钢筋混凝土盖板箱涵算例	105
二、各类涵洞的使用条件	2	一、设计资料	105
三、小桥涵洞的技术经济比较	7	二、涵洞轮廓尺寸的拟定	106
第二节 涵洞孔径计算	8	三、洞身盖板设计	108
一、设计洪水频率标准	8	四、洞身边墙设计	110
二、涵洞孔径和净空	9	五、洞身基础设计	114
三、路堤高度检查	9	六、提高节盖板设计	124
四、涵洞水力计算	9	七、双孔涵洞设计	128
五、倒虹吸管水力计算	22	八、翼墙计算	131
第三节 涵洞布置及涵洞设计	26	第五节 石及混凝土拱形涵洞（台阶形弹性地基梁基础）	143
一、涵洞平面位置选定	26	一、理论公式推导	143
二、涵洞纵断面布置	29	二、计算实例	155
三、涵洞长度	33	第六节 高矢拱涵	167
四、涵洞基础设计	50	一、计算说明	167
五、分期投资情况下的若干考虑	59	二、拱轴线的确定原则	167
六、涵洞出入口铺砌及调治建筑物	59	三、拱圈计算理论公式	168
七、检查设备	71	四、计算实例	174
八、涵洞防水	71	第三章 既有线顶进桥涵	181
九、涵洞特别填土	75	第一节 顶进桥涵施工方法及其选择	181
第二章 涵洞结构设计	79	一、一般施工方法的特点及其适用条件	181
第一节 涵洞结构检算的有关规定	79	二、顶进涵洞辅助设施及一般构造	183
一、计算荷载及公式	79	第二节 顶进涵洞设计	184
二、结构检算的有关规定	80	一、一般规定	184
三、关于结构计算的若干说明	84	二、顶力计算	184
第二节 钢筋混凝土圆形涵洞算例	85	三、千斤顶的配置	187
一、设计资料	85	四、后背设计	187
二、管节设计	85	五、刃角的设计与计算	191
三、翼墙检算（从略）	87	六、辅助设施设计	194
四、洞身基础设计	87	七、线路加固	194
第三节 钢筋混凝土矩形涵洞算例	87	八、施工地面排水与降低水位设计	196
一、设计资料	87		
二、涵节结构尺寸之拟定	87		

第二篇 拱 桥

第一章 拱桥的构造与设计	200	一、板拱的拱圈	204
概 述	200	二、拱 肋	207
第一节 拱桥的组成和分类	200	三、拱桥的截面变化规律	207
一、拱桥的组成	200	第四节 拱上结构	208
二、拱桥的分类	200	一、实腹式石拱桥的拱上结构	208
第二节 拱轴形式及选择	203	二、空腹式石拱桥的拱上结构	208
第三节 主拱的构造和尺寸	204	三、钢筋混凝土拱桥的拱上结构	208

四、拱上结构的伸缩缝和铰	209	混凝土拱桥算例	250
五、排水和防水	211	一、设计资料	250
六、上承式钢筋混凝土空腹拱桥构造		二、拱轴选择及弹性中心计算	251
示例	211	三、主要截面内力计算	254
第五节 中、下承式拱桥	211	第四章 拱与拱上结构共同工作的计算	263
第六节 拱桥墩台	212	第一节 概 述	268
一、拱桥桥墩	212	第二节 多余未知量的计算	268
二、拱桥桥台	212	一、 $P=1$ 在基本体系中引起的位移	
三、拱 铰	213	$\Delta_{KP}^{P=1}$	270
第二章 等截面圆弧无铰拱的设计与		二、 $X_1=1$ 在基本体系中引起的位移	
计算	215	$\Delta_{KP}^{X_1=1}$	270
第一节 圆弧拱的几何特性	215	三、 $Y_1=1$ 在基本体系中引起的位移	
第二节 圆弧拱的内力计算	216	$\Delta_{KP}^{Y_1=1}$	271
一、基本结构及弹性中心	216	四、 $Z_1=1$ 在基本体系中引起的位移	
二、弹性中心处多余未知力的计算	217	$\Delta_{KP}^{Z_1=1}$	271
三、恒载作用下的内力计算	220	五、拱截面变化对位移值的影响	271
四、温度变化影响下的内力计算	222	第三节 拱上结构与拱中内力的计算	272
五、影响线	223	一、拱上结构梁中内力	272
六、活载内力计算	223	二、拱中的内力	273
第三节 $L=6m$ 等截面圆弧拱桥荷载内力计		第四节 温度内力的计算	273
算	223	第五章 连拱计算	274
一、设计资料	223	第一节 连拱的内力分析方法	274
二、拱圈几何量	224	第二节 示例	283
三、恒载内力计算	224	第六章 系杆拱桥的设计与计算	287
四、活载内力计算	225	第一节 概 述	287
五、内力组合	227	第二节 下承式刚性系杆柔性拱	287
第三章 悬链线无铰拱桥的计算	228	一、主要尺寸的拟定	287
第一节 悬链线拱轴方程	228	二、初步设计的近似计算	288
第二节 拱轴系数 m 的确定	229	三、刚性系杆柔性拱的内力计算	289
一、实腹式拱桥拱轴系数 m 的确定	229	第七章 拱桥墩台计算	295
二、空腹式拱桥拱轴系数 m 的确定	230	第一节 基本要求与计算原则	295
第三节 拱桥的内力计算	231	一、基本要求	295
一、基本结构和弹性中心	231	二、计算原则	295
二、恒载作用下拱桥的内力计算	232	第二节 桥墩计算	297
三、活载内力计算	234	一、计算荷载	297
四、温度变化和混凝土收缩产生的内力		二、固定墩计算	298
.....	238	第三节 桥台计算	298
第四节 内力组合和主拱的强度验算	239	一、计算荷载	298
第五节 拱圈(肋)的内力调整	239	二、计算荷载的组合	300
一、用千斤顶调整内力	239	第四节 桥墩计算算例	300
二、用假载法调整悬链线拱的内力	241	一、设计资料	300
第六节 拱的其它内力计算	241	二、桥墩尺寸	300
一、裸拱内力计算	241	三、荷载计算	300
二、拱脚位移引起的内力计算	242	四、内力组合	301
三、拱在横向水平力及偏心活载作用下的		第八章 拱桥主要构件的优化设计	303
计算	243	第一节 拱桥优化设计的基本原则	303
第七节 拱的稳定性验算	245	第二节 空腹式拱桥优化设计	304
一、纵向稳定性验算	246	第三节 实腹式拱桥优化设计	306
二、拱的横向稳定性	247	第四节 铁路拱桥优化设计RABOD计算机	
第八节 拱上结构的计算	248	程序使用说明	308
一、拱上结构与拱隔开的情况	248	第五节 空腹式拱桥优化设计示例	310
二、拱上结构与拱共同工作的情况	250	第六节 实腹式拱桥优化设计示例	312
第九节 $L=51m$ 变截面悬链线空腹式钢筋混		第九章 拱桥抗震设计	316

第一节 地震的震级、烈度、基本烈度及设计烈度	316	附表3—9 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{3}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	373
第二节 拱桥震害分析及抗震设计中应注意的问题	316	附表3—10 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{3.5}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	382
第三节 单自由度系统的地震反应	317	附表3—11 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{4}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	391
第四节 多自由度系统的地震反应	318	附表3—12 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{4.5}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	400
第五节 拱桥抗震分析的设计反应谱方法	320	附表3—13 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{5}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	409
第六节 拱桥抗震验算	322	附表3—14 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{5.5}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	418
第十章 拱桥设计计算机程序说明	331	附表3—15 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{6}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	427
第一节 铁路拱桥结构分析及设计专用程序简介	331	附表3—16 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{6.5}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	436
第二节 拱桥设计示例	334	附表3—17 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{7}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	445
附录 常用过水断面正常水深及速度图解	342	附表3—18 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{7.5}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	454
附录一 常用过水断面正常水深及速度图解	342	附表3—19 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{8}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	463
1. 圆形过水断面正常水深及速度图解 ($i=0.001 \sim 0.050$)	342	附表3—20 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{9}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	472
2. 圆形过水断面正常水深及速度图解 ($i=0.050 \sim 0.100$)	344	附表3—21 (1~9) $\frac{f}{L} = \frac{1}{10}$ 时, 圆弧拱影响线计算用表	481
3. 矩形过水断面正常水深及速度图解 ($n=0.017$)	346	附录四 变截面悬链线无铰拱计算用表	490
4. 矩形过水断面正常水深及速度图解 ($n=0.025$)	348	附表4—1 拱轴坐标 $\frac{y}{f}$ 值	490
5. 梯形过水断面正常水深及速度图解 ($i=0.001 \sim 0.100$)	350	附表4—2 拱轴斜度 $1000 \frac{L}{f} \operatorname{tg} \varphi$ 值	492
6. 梯形过水断面正常水深及速度图解 ($i=0.100 \sim 0.700$)	352	附表4—3 拱圈半拱悬臂自重对拱跨 $\frac{1}{4}$ 点和拱脚的弯矩 ($M_{\frac{1}{4}}, M_j$)	
附录二 涵洞长度图解 (单孔)	354	〔表值〕 $\times \frac{r b d_a L^2}{4}$ 即得 $M_{\frac{1}{4}}$	
1. 圆形涵洞长度图解	354		
2. 盖板箱涵长度图解 (填土路堤)	355		
3. 盖板箱涵长度图解 (填石路堤)	356		
4. 拱形涵洞长度图解	357		
附录三 等截面圆弧无铰拱计算用表	358		
附表3—1 圆弧拱轴线纵坐标, Y/L	358		
附表3—2 圆弧拱轴线横坐标, X/L	358		
附表3—3 圆弧拱常变位, $\delta =$ [表值] $\times \frac{R^3}{EI}$	359		
附表3—4 (1~3) 圆弧拱恒载所生弹性中心内力计算系数 B 值	359		
附表3—5 圆弧拱恒载所生弹性中心内力计算系数 C 值	361		
附表3—6 (1~4) 圆弧拱恒载内力计算系数用表, a_1, a_2, a_3	361		
附表3—7 (1~3) 圆弧拱恒载内力计算系数用表	363		
附表3—8 (1~8) $\frac{f}{L} = \frac{1}{2}$ 时, 圆弧拱弹性中心处多余力影响线纵坐标	365		

或 M_s493	附表5—5 $\int_s \frac{y^2 ds}{EI}$ 值表531
附表4—4 系数 C 值表497	附表5—6 $\int_s \frac{X^2 ds}{EI}$ 值表531
附表4—5 弹性中心位置 $\frac{y_s}{f}$ 值表; $y_s =$ 〔表 值〕 $\times f$498	附表5—7 支承垂直反力 V 影响线坐标表532
附表4—6 不考虑弹性压缩时由于恒载产 生的水平推力, 垂直反力和弯 矩表498	附表5—8 $\frac{1}{v_1}$ 值表悬链线拱轴长度= $\frac{1}{v_1} L$546
附表4—7 $V_2 \int_s \frac{y^2 ds}{EI}$ 值表.....498	附表5—9 μ_1 值表 $\mu_1 =$ 〔表值〕 $\times (\frac{v}{f})^2$546
附表4—8 支承垂直反力 V 影响线表499	附表5—10 $\frac{1}{v}$ 值表.....547
附表4—9 v_1 值表, 用表内数值及表 (II) —7 的 $\int_s \frac{y^2 ds}{EI}$ 值, 即可算得 μ_1 值499	附表5—11 μ 值表, $\mu =$ 〔表值〕 $\times (\frac{v}{f})^2$547
附表4—10 v 值表 (用表内数值及表 (II) —7 的 $\int_s \frac{y^2 ds}{EI}$ 值即可算得 μ 值)500	附表5—12 不考虑弹性压缩时, 水平推 力 H_1 影响线坐标表水平 推力 $H_1 =$ 〔表值〕 $\times \frac{L}{f}$; 考虑弹性 压缩时, 水平推力 $H = H_1 (1 - \frac{\mu_1}{1 + \mu}) =$ 〔表值〕 $\times \frac{L}{f} \times (1 - \frac{\mu_1}{1 + \mu})$548
附表4—11 水平推力 影响 线坐 标表 不考 虑 弹 性 压 缩 水 平 力 $H_1 =$ 〔表值〕 $\times \frac{L}{f}$, 考虑弹性压缩 时, 则 $H = H_1 (1 - \frac{\mu_1}{1 + \mu}) =$ 表 值 $\times \frac{L}{f} (1 - \frac{\mu_1}{1 + \mu})$500	附表5—13 不考虑弹性压缩的 弯矩 $\frac{M'}{L}$ 影响线坐标表〔表值〕 $\times L$ 即得 M' 坐标表555
附表4—12 梁式弯矩 $\frac{m_1}{L}$ 影响线坐标表506	附表5—14 V_1 值表计算拱圈自重作用 下的弹性中心弯矩 M_s 及水 平推力 H_s 时有关的系数627
附表4—13 不考虑弹性压缩的弯矩 $\frac{M'}{L}$ 影响线坐标表.....509	附表5—15 V_2 值表计算拱圈自重作用下弹 性中心的水平力 H_s 时有关系 数.....627
附表4—14 V_1 、 V_2 值表计算拱圈自重作 用下的弹性中心弯矩 M_s 及水 平推力 H_s 时有关的系数526	附表5—16 U_1 值表。计算千斤顶在拱顶预 加压力时弹性中心转角的有关 函数。628
附录五 等截面悬链线无铰拱计算用表531	附表5—17 U_2 值表计算千斤顶在拱顶预加 压力时弹性中心开裂度的有关 函数.....628
附表5—1 拱轴坐标 $\frac{y_1}{f}$ 值表531	附表5—18 由于拱圈自重产生的竖向剪力 和弯矩.....629
附表5—2 拱轴斜度 $\frac{L}{f} \tan \phi$ 值表531	主要参考文献及资料636
附表5—3 弹性中心位置 $\frac{y_s}{f}$ 值表〔表值〕 $\times f$ 即得弹性中心位置 y_s 值531	
附表5—4 不考虑弹性压缩时由于全部恒 载产生的水平推力、垂直反力 表531	

第一篇 涵 洞

第一章 涵洞施工设计

第一节 涵洞类型及选择

涵洞一般可按构造形式、建筑材料、水流状态、涵洞轴线与线路中心线平面关系、用途以及施工方法等分类。

按涵洞构造形式可分为圆形涵洞、盖板箱形涵洞、矩形涵洞和拱形涵洞等,其中拱形涵洞又可分为截圆弧拱、三心圆弧拱(即高矢拱)和五心圆弧拱(如卵形涵)。按其建筑材料可分为钢筋混凝土涵洞、混凝土涵洞和石砌涵洞等。按水流状态可分为无压涵洞、半有压涵洞和有压涵洞。按涵洞轴线与线路中心线平面关系可分为正交涵洞与斜交涵洞。按其用途,可分为排洪涵洞、灌溉涵洞、立交涵洞(交通涵)和排洪兼立交涵洞等。按其施工方法来分,还可分为就地砌筑涵洞和预制拼装涵洞;在既有营业线上有在正线便梁(吊轨梁、扣轨梁、工字梁等)之下明挖修筑涵洞和顶进涵洞(如顶入法、顶拉法、对顶法、对拉法、中继间法、牵引法)等之分。

除上述者外,常用涵洞类型还有:当灌溉渠道穿越路堑时,受地形条件限制而采用的倒虹吸管,以及当线路跨越黄土冲沟或山区沟谷,技术经济条件适宜时采用的泄水隧洞。

各类涵洞均应设计为永久性的,一般均有标准图(或通用图、或参考图——以下统简称标准图)可资利用。

一、涵洞类型选择的一般原则

涵洞类型的选择,应根据河沟特征和地形、地质、水文等自然条件,结合涵洞附近的路基高度和路堤填料情况,考虑排洪、灌溉和交通需要,注意养护和施工便利,工程造价和养护维修费用节省,保证铁路运营和附近厂矿、村镇、房舍、农作物的安全等因素进行综合研究比较确定。

涵洞类型选择的一般原则如下:

(一)涵洞应优先选用便于集中制造的钢筋混凝土圆形涵洞和钢筋混凝土矩形涵洞。如当地有符合要求的砂石材料时,也可采用盖板箱形涵洞或拱形涵洞。

在高原地区人烟稀少、气候寒冷、现场施工季节短暂的情况下,或在干旱缺水、施工条件不良地区等新线上修建涵洞,或在既有线上增建涵洞,为

了减少现场工作量、加快施工进度、缩短工期,可结合施工机具设备和运输能力,选用预制拼装式涵洞。

(二)按照设计流量选择涵洞类型时,应保证涵前积水不致漫溢或在上游形成串流危害路基安全(如路基被长期冲刷、浸泡,造成下沉,路堤钻洞、溃决等),防止洪水淹没上游或冲刷下游的农田村舍。在地形比较平坦地区,必须具有保证洪水不致漫溢的地形条件,方可设置涵洞,必要时也可采用积水较低的涵洞类型或适当加大涵洞孔径。

(三)在农田地区设置排灌涵洞时,需考虑抢洪蓄水、集中轮灌、输砂洗碱和岁修清淤的特点,不宜压缩渠道断面和任意改变排灌水位,应优先选用盖板箱形涵洞或矩形涵洞,最好采用单孔涵洞跨越原有渠道,尽量减少积水高度,以免增加大量渠道修建工程。

(四)排洪涵洞和立交涵洞原则上宜分别设置,避免洪水时危及交通安全。如必须设置排洪兼立交涵洞时,要认真分析历史洪水情况,提出全面可靠的技术经济比较资料进行综合研究确定。

通行人、畜、车辆和农业机械的涵洞,应能满足工农业发展的需要,确保通行人、畜和车辆的安全。

(五)对泥石流或含有较多砂石推移质的河沟,有流木、流冰或其他漂流物的河沟以及严寒地区和多年冻土地区有冰锥冰丘的河沟,一般宜设桥不宜设置涵洞,以免造成淤积堵塞危及路基安全。对个别小沟,如能确保泥沙石块渲泄通畅不致淤积,或漂流物顺利通过不致堵塞者,亦可考虑设置较大孔径的涵洞,必要时涵洞净空可适当加大。

(六)位于沼泽、软土等地基土壤较差地区的涵洞,应采用基底压应力较小的轻型结构,如圆形涵洞、矩形涵洞、钢筋混凝土联合基础的盖板箱形涵洞等。

(七)在平坦戈壁滩或草原地区,除充分注意洪水情况合理布置桥涵外,一般涵洞上游积水条件均不甚理想,宜采用盖板箱形涵洞或矩形涵洞等,并适当加大涵洞孔径,以免形成串流影响路基安全。

(八)黄土地区设置涵洞时,需考虑泥流、壅

水钻洞、冲刷切割和湿陷下沉等特点。尽量选用壅水较低的涵洞类型，并适当加大涵洞孔径。

修建在湿陷性黄土地区上的涵洞，应采用对不均匀沉陷敏感性较小的结构，如整基圆形涵洞、整基矩形涵洞和整基盖板箱形涵洞（孔径较大时慎用）等，不宜采用拱形涵洞。

（九）涵洞具有较好的抗震性能，地震区应优先采用，一般采用钢筋混凝土圆形涵洞、钢筋混凝土矩形涵洞和盖板箱形涵洞。

（十）在水库淹没范围内，当沟底在水库正常蓄水位以下时，为了避免产生淤积堵塞和长期淹没、增加养护困难起见，一般不宜选用涵洞；如沟底在正常蓄水位以上时，则可根据水文、地质特征考虑选用涵洞。当沟谷弯曲、地形地质条件适宜时，可将位置提高，改在一侧沟岸上修建涵洞或泄水隧洞。若涵洞位于水库坍岸范围内时，可在按水坝设计和施工的路基上修建对不均匀沉陷敏感性较小的涵洞，如矩形涵洞和整体基础的盖板箱形涵洞。而整体基础圆形涵洞的管壁较薄，管节易于错动，一般不宜选用。

（十一）当线路跨越山区或黄土塬地区的深沟时，要同时考虑高桥和高填涵洞方案，此时必须全面考虑沟谷天然情况、填料来源、占用农田、所需劳动力与三材用量、工程造价、战备要求、施工条件、工期要求以及运营养护维修等因素比选决定。

一般说来，高桥方案可以节省施工劳力、占用农田少、工期短，运营使用通常较好，但施工技术比较复杂、耗费三材较多。高填涵洞方案施工技术比较简单，耗费三材一般较少，当两侧有大量填土可资利用且施工劳力不缺时，较为有利；地基土壤较差时，涵洞基底处理较易且工程量较小，但耗费施工劳力和占用土地较多，工期较长，路基沉降量大，洞身常出现沉陷与坍塌现象，对运营和养护不利，甚至还可能造成难以整修的严重病害。

当采用高填涵洞方案时，可设钢筋混凝土矩形涵洞（必要时需重新进行结构设计）；如地基土壤比较好，可选用拱形涵洞（当水流夹带泥沙较多、磨蚀较重时卵形涵慎用）；如地形条件适宜时，应优先选用泄水隧洞。隧洞孔径要适当加大，以利养护维修和避免改建困难。

（十二）位于隧道口的沟谷（沟谷一侧或两侧有隧道），应充分考虑设桥时架桥机的架梁距离与隧道净空、弃碴出路以及桥涵隧道工期配合等因素，如架桥、弃土有困难，且地形、地质与水文条件许可时，可考虑选用大孔径涵洞。

（十三）位于车站范围内的沟谷或交通道路，如地形、地质和水文条件许可，可优先考虑设置涵洞，但切忌勉强设置涵洞，以免运营中造成严重的病害。

（十四）修建第二线涵洞或改建既有涵洞时，除既有涵洞类型、孔径及其主体工程等有显著缺点必须改变者外，一般均应尽量采用与既有涵洞相同的类型和孔径，或利用旧有涵洞。

在运输比较繁忙的营业线上（路基稳定无下沉）修建排洪涵洞或立交涵洞（地道），当不能修筑便线或修筑便线工程量较大，且地质情况和技术条件比较适宜时，可选择顶进法施工，详见本篇第三章。

二、各类涵洞的使用条件

涵洞类型选择时，应根据各类涵洞的特点，综合现场的实际需要确定，必要时应通过技术经济比较决定。

新建涵洞一般应设计为无压涵洞（各类涵洞标准设计的设计流量均按无压状态临界流设计，最大流量时按无压、半有压或有压状态设计）。仅在特殊情况下，例如倒虹吸管按有压设计，但要求涵节间密封不渗水，涵身、路基及基底具有抗渗稳定性，并对出入口作适当的加固措施。

铁路涵洞常用标准图如表 1-1-1。

各类涵洞的使用条件如下：

（一）整体式钢筋混凝土圆形涵洞（壹桥 5191）

钢筋混凝土圆形涵洞便于集中制造，易于施工，适用于沟床纵坡较缓、流量较小的河沟或渠道。

当水流中夹带泥砂石块或树枝杂草，可能造成淤塞和磨损时，应避免采用圆形涵洞；在经常有水的河沟上，冬季有形成冰锥的可能时，不应采用圆形涵洞；山区铁路修建前交通运输不便，往往造成运送管节的困难或破损，亦不宜采用圆形涵洞，灌溉渠不宜压缩原有流水断面，故在干渠、支渠上不宜采用圆形涵洞；在一般斗渠上应避免采用多孔圆形涵洞。

钢筋混凝土圆形涵洞铁道部标准图（壹桥 5191）孔径为单、双孔 0.75~2.5m，三孔 1.0~2.5m，其洞顶至轨底填方高度见表 1-1-2。在相同排水能力条件下，一般多孔圆形涵洞比单孔为贵，流量分布不均匀，容易造成病害，故一般不宜采用多于两孔的圆形涵洞。

钢筋混凝土圆形涵洞，必须适应运输、安装并满足养护维修的要求，在一般情况下，孔径不宜大于 2.0m 或小于 0.75m。标准图上孔径 2.5m 的圆形涵洞管节，洞顶至轨底填方高度（填土路堤）等于 5~15m 时，每节管节重量为 4.3~5.2t，若采用时应注意施工单位的运输与起吊设备能力。

（二）钢筋混凝土、混凝土及石盖板箱涵（肆桥 5009）

盖板箱形涵洞和拱形涵洞同样适用于沟床纵坡较陡、流量较大、具有积水条件的河沟上。盖板箱形涵洞要求的基底承载力及最小路堤高度均较拱涵为小，其盖板可以预制，施工工期短，对地基不均匀沉陷和地震的适应性较拱涵好，当遇到地基土壤较差或路堤填方较低时宜优先选用。拱形涵洞对地基承载力要求较高，在有石料地区便于就地取材，路堤填方较高且地基土壤较好时，采用拱形涵洞较

铁路涵洞常用标准图概况表

表 1-1-1

序	图 名	图 号	级别	出图日期	编制单位	净 孔
1	整体式钢筋混凝土圆形涵洞	壹桥5191	部标	1977	铁第一勘测设计院	单、双、三孔, $d_0=0.75\sim2.50\text{m}$
2	钢筋混凝土、混凝土及石盖板箱涵	肆桥5009	部通	1978	铁第四勘测设计院	单、双孔, $l_0=0.50\sim6.00\text{m}$
3	拼装式钢筋混凝土盖板箱涵	壹桥5207	院参	1982	铁第一勘测设计院	单孔, $l_0=3.0、6.00\text{m}$
4	斜交钢筋混凝土盖板涵洞	叁桥5009	院设	1983	铁第三勘测设计院	单孔, $l_0=5.0、6.0\text{m}$ 斜交角度 $\theta=20^\circ\sim45^\circ$
5	拼装式钢筋混凝土矩形涵洞	壹桥5193	部通	1979	铁第一勘测设计院	单、双孔, $l_0=0.75\sim3.00\text{m}$
6	钢筋混凝土框架箱涵	肆桥5014	院参	1981	铁第四勘测设计院	单, 双孔, $l_0=2.50\sim6.00\text{m}$
7	石及混凝土拱形涵洞	专桥5004	部标	1980	铁专业设计院	单、双孔, $l_0=0.75\sim6.00\text{m}$
8	混凝土高矢拱形涵洞	壹桥 ⁵¹⁸⁷ 5187-A	院参	1976 1977	铁第一勘测设计院	单、双孔, $l_0=1.0\sim6.00\text{m}$
9	拼装式钢筋混凝土卵形涵洞	叁桥5009	部通	1981	铁第三勘测设计院	单孔、高低式, $l_0=1.00\sim4.00\text{m}$
10	泄水隧洞	叁隧1002	部通	1979	铁第三勘测设计院	单孔, $l_0=2.00\sim5.00\text{m}$
11	铸铁倒虹吸管	肆桥5015	院参	1981	铁第四勘测设计院	单孔, $d_0=0.15\sim0.40\text{m}$
12	钢筋混凝土倒虹吸管	壹桥5205	部通	1982	铁第一勘测设计院	单、双孔, $d_0=0.50\sim1.50\text{m}$
13	小桥涵出入口铺砌	叁桥8011	部通	1982	铁第三勘测设计院	
14	既有顶进桥涵	肆桥 8030—Ⅰ	院参	1979	铁第四勘测设计院	

注: 本表考虑到1988年8月31日止, 并不包括已被取代的标准图。

圆形涵洞洞顶至轨底填方高度表(m)

表 1-1-2

孔径 路堤填料	d_0													
		0.75	1.00	1.25		1.50			2.00			2.50		
填 土		2.0	4.0	4.0	8.0	5.0	10.0	15.0	5.0	10.0	15.0	5.0	10.0	15.0
填 石		1.7	3.5	3.5	7.0	4.5	8.6	12.6	4.5	8.8	13.0	4.5	8.8	13.1

为适宜。

盖板箱形涵洞铁道部通用图(肆桥5009), 孔径有单孔0.50~6.00m, 双孔0.75~6.00 m。一般常用孔径为0.75~3.00m。孔径0.50m者, 仅在特殊情况下应用。孔径0.75m者, 一般仅用于淤积较少的灌溉渠上或排除含泥砂轻微的地面水流。孔径1.00~3.00m的盖板箱形涵洞, 入口分别有提高涵节及无提高涵节两种, 其余各种孔径仅有入口无提高涵节一种。洞顶至轨底填方高度见表1-1-3。孔径小于1.00m者可用石盖板、混凝土盖板或钢筋混凝土盖板, 孔径1.00m及以上者则为钢筋混凝土盖板。边墙一般采用浆砌片石。

(三) 拼装式钢筋混凝土矩形涵洞(壹桥5193)
钢筋混凝土矩形涵洞具有与钢筋混凝土盖板箱

形涵洞相同的优点, 当涵前地形无积水条件时, 可用于以涵代桥; 对地基承载力的要求与需要的最小路堤高度均较拱形涵洞为低, 在软土地基或低路堤地带, 使用较为适宜; 尤其在当地缺水或缺少建筑材料的情况下, 可以预制品拼装施工, 施工条件简化, 并可加快施工进度, 较为有利。但是该类涵洞耗费钢筋数量较多, 成品涵节较重, 所需运输及起吊设备能力较大。

矩形涵洞涵壁较薄, 混凝土保护层厚度较小, 遇洪水水流夹带泥砂石块对涵节磨损较烈的河沟不宜选用。山区铁路修建前交通运输不便, 若须采用矩形涵洞时, 以就地灌筑为宜。

拼装式矩形涵洞铁道部通用图(壹桥5193)孔径有单、双孔 0.75~3.00m, 其中孔径 1.00~2.50m

的高边墙矩形涵洞入口有提高节及无提高节两种，其余孔径高边墙矩形涵洞及各种孔径的低边墙矩形涵洞仅有入口无提高节一种。洞顶至轨底填方高度见表 1-1-4。

盖板箱形涵洞洞顶至轨底填方高度表(m)
表 1-1-3

孔径 d_0	边墙类型			
		0.50	0.75~3.00	3.50~6.00
单孔	高边墙	0.38~3.00	0.38~12.00	0.38~8.00
	低边墙	0.38~3.00	0.38~3.00	0.38~3.00
双孔	高边墙	/	0.38~6.00	0.38~6.00
	低边墙	/	0.38~3.00	0.38~3.00

注：1.当使用钢筋混凝土轨枕时，表中最小填方高度0.38m应改为0.41m；
2.适用于填土路堤填方高度5.0m、8.0m及12.0m的盖板，当填石路堤时，填方高度分别不得超过4.8m、7.2m及10.6m；
3.入口提高节盖板适用于洞身盖板顶至轨底填方高度 $H \leq 12.0\text{m}$ （填土或填石），且路肩高程不得低于（特殊情况外）帽石底。

拼装式钢筋混凝土矩形涵洞洞顶至轨底填方高度表(m) 表 1-1-4

孔径 d_0		0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00
提高节	净高	—	2.3	2.6	2.9	3.6	3.6	—
	填方高度	—	1.0~2.0					—
高边墙	净高	1.5	1.6	1.8	2.0	2.5		
	填方高度	0.38~9.0	0.38~12.0					
低边墙	净高	1.0	1.0	1.25	1.50	2.0		
	填方高度	0.38~4.0	0.38~7.0		0.38~9.0			

注：1.当使用钢筋混凝土轨枕时，表中最小填方高度0.38m应改为0.41m；
2.提高节仅用于高填方高边墙涵洞的入口或填方高度为1.0~2.0m的涵洞全长；
3.填石路堤时，表中最大允许填方高度为2.0m、7.0m、9.0m及12.0m的涵节分别不得超过1.87m、6.35m、8.14m及10.82m。

(四) 钢筋混凝土框架箱涵（肆桥5014）

钢筋混凝土框架箱涵铁四院参考图（肆桥5014）可以看作拼装式钢筋混凝土矩形涵洞（壹桥5193）的补充，后者孔径 $d_0 \leq 3.00\text{m}$ ，框架箱涵孔径有单、双孔2.5~6.0m；洞身断面结构形式为就地灌注钢筋混凝土矩形截面；除出入口节设计为有基外，余均为无基；出入口设计为无提高节形式，但边墙分高边墙及低边墙两类；适应填土高度（顶板顶至轨

底），下限为0.46m，上限对高边墙为5~7m，对低边墙为2~2.5m；要求基底土壤的容许承载力不小于150kPa。

框架箱涵施工复杂，耗费钢筋较多，造价较高，但对地基要求较低，且具有大孔径、高边墙的规格，在较厚松软土层上修建交通涵、排洪涵或排洪兼立交的涵洞时，常为选用对象。

(五) 石及混凝土拱形涵洞（专桥5004）

拱形涵洞按其断面形式可分为圆弧拱、高矢拱（三心拱）及卵形涵洞（五心拱）等。

圆弧拱形涵洞铁道部标准图（专桥5004）内容比较丰富，按基础分有整体式、非整体式、板凳式，按拱圈分有普通式及扁平式，普通式的入口形式有抬高式与不抬高式、扁平式的边墙又有高低之分。各种孔径与填方高度的配合见表 1-1-5。

普通拱圈整体式基础单孔孔径尚有0.75m、1.0m、1.25m三种，入口均有抬高式及不抬高式。其配合填方高度 H 均受涵长控制：无论填土还是填石，对0.75m、1.0m两种孔径者， $1\text{m} \leq H \leq 5\text{m}$ ；对1.25m孔径者， $1\text{m} \leq H \leq 10\text{m}$ 。

扁平式拱形涵洞的边墙较低，通过流量较小，主要用于河床纵坡较缓，流速较小，涵前积水不宜过高的平坦地区，以供农田灌溉及排洪之用。在使用本图时要求所设涵洞孔径与河沟的宽度尽量接近，以防由于孔径压缩过多而引起上、下游水位相差悬殊，影响农田灌溉的效果。

由于圆弧拱拱形涵洞的拱轴线为一截圆形式，受力状态较差，如遇地基不良并发生不均匀沉降时，拱顶和基础易出现裂纹现象，所以在工点设计中，必须严格按照标准图要求并根据地质资料选用。标准图规定：整体式基础拱涵使用于压缩性很小、地基基本承载力在填土高 $H=1.0 \sim 12.0\text{m}$ 时必须大于200kPa， $H > 12\text{m}$ 时必须大于300kPa的各类地基和岩石地基上，但不得使用于湿陷性黄土地基上；非整体式基础拱涵主要使用于压缩性极小，土壤密实度在“密实”以上的各类地基和岩石地基上，但地基基本承载力必须大于500kPa；板凳式基础拱涵主要使用于压缩性极小，土壤密实度基本在“密实”以上的砂类土和“中密”以上的碎石类土以及岩石地基等，地基基本承载力必须大于400kPa。

(六) 混凝土高矢拱形涵洞（壹桥5187、5187A）

高矢拱拱形涵洞铁一院参考图（壹桥5187、5187A）的孔径有单孔1.0~6.0m，双孔1.5~6.0m，适应填土、填石高度为2~25m；入口形式有抬高式及不抬高式两种；基础有整体式及非整体式两种。整基的高矢拱涵要求地基基本承载力：当填土（石）高等于及大于10m时，大于200kPa，当填土（石）高小于10m时不小于150kPa，但不得用于湿陷性黄土、裂隙粘土等不良地质地层上。非整基的高矢拱涵适用于碎石类土、砂类土、粘性土（ $\sigma_0 \geq 350\text{kPa}$ ），要求地基容许承载力大于300kPa。

石及混凝土拱形涵洞洞顶至轨底填方高度表

表 1-1-5

拱圈	基础	入口形式	孔式	孔 径 l_0 (m)	填土路堤		填石路堤	
					最小填方高度 (m)	最大填方高度 (m)	最小填方高度 (m)	最大填方高度 (m)
普通式	整体式	抬高式及不抬高式	单孔	1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0	1.0	30.0	1.0	25.0
			双孔	1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0				
	非整体式	抬高式及不抬高式	单孔	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0	2.0	30.0	2.0	25.0
			双孔	3.0, 4.0, 5.0, 6.0				
	板凳式	抬高式及不抬高式	单孔	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0	1.0	11~12	1.0	9~10
			双孔	3.0, 4.0, 5.0, 6.0				
扁平式	整体式	不抬高式	单孔	1.0, 1.25, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0	0.78	3.00	0.78	3.00
			双孔	1.0, 1.25, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0				

高矢拱形涵洞的矢跨比较大，拱轴线接近于抛物线，当填方高度较大时，拱轴线亦较接近合理拱轴线，因而受力状态较好，断面较小，但与同孔径的普通圆弧拱涵相比，由于边墙较低，排洪能力较小，且不宜用于交通涵。

(七) 拼装式钢筋混凝土卵形涵洞(参桥5008)

卵形涵洞的拱轴线接近于填土荷载的压力线，铁道部通用图(参桥5008)卵形拱涵的拱圈为钢筋混凝土拼装式五心圆弧，形如半个竖立的禽卵，孔径有单孔1.0~4.0m，涵身高度分离式和低式两种。入口形式：高式者有抬高式及不抬高式两种，低式者只有不抬高式一种。配合填土高度如表1—1—6。

拼装式钢筋混凝土卵形涵洞洞顶至轨底

填土高度表(m) 表 1-1-6

孔径 l_0		1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
高式	入口抬高式	1.6~30		1.7~30	1.85~3.0	3~30	3~25		
	入口不抬高式	1~30					1~25		
低式	入口不抬高式	1~4	1~8	1~10			—		

注：对填石路堤，低式卵形涵洞填石高度范围与填土相同，高式卵形涵洞填石高度范围，其下限与填土路堤相同，其上限有所降低，详见(参桥5008)。

基础一般为就地灌筑混凝土或片石混凝土整体式基础，除工程地质特殊的地基土(如湿陷性黄土，裂隙粘土等)外，一般地基上均可适用，当涵顶至轨底填方高度等于及大于10m时，要求地基容许承载力不小于200kPa，当填方高度小于10m时，则要求不小于150kPa。

由于卵形涵洞拱轴线的选择接近于填土荷载的压力线，受力合理，故截面较薄，圬工量少，且使用了适量的钢筋，不易开裂。由于拱圈采用拼装化施工，对成批的具有一定路堤填方高度的较小孔径涵洞，尤其对缺乏砂、石料、水或人烟稀少的地区较为适用，但是涵身截面的拟定，未考虑立交的净空要求。

低式卵形涵洞主要用于平坦地区，其通过流量相对较小，积水不宜过高，一般供农田灌溉或兼做排洪使用。

(八) 泄水隧洞(参隧1002)

泄水隧洞是利用天然地形对弯曲沟谷裁弯取直而设置的一种特殊类型排水建筑物。遇山区深谷或黄土深沟沟谷弯曲，洪水时无堵塞可能且水流不会冲入原沟槽内，或遇深沟沟底地质不良，基底软弱，而修建高桥或长涵均甚昂贵，当地形、地质及水文条件适宜时，常可选用。对地质不良地段，例如松散的流砂地层，特别松散易于坍塌的砂质地层或黄土地层有漏水情况时，须慎重考虑，最好不选用泄水隧洞，以免造成施工困难。

修建泄水隧洞，在施工组织和技术条件方面具有一定的优越性：如修筑洞身与路基填土互不干扰，便于两侧路堑或隧道弃方弃碴；洞身在原土层内受力较小，洞身圬工较节省，基底应力较小，很少发生洞身下沉或裂缝病害，便于养护维修等。

常用的泄水隧洞孔径为2.0~5.0m，铁道部通用图(参隧1002)适用于Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类及Ⅴ类以上的围岩。洞身衬砌厚度按围岩类别计算决定，最小厚度采用20cm；当流量不控制时，Ⅴ类以上围岩视具体条件可不作衬砌，或在出、入口和洞身穿过线路地段设置局部衬砌。在地层变化处，应将围岩较差地段的衬砌向围岩较好地段适当延长，一般为5m。如在严寒地区，受冻害影响地

段的洞身衬砌应予以加厚，最小厚度不宜小于 30cm，混凝土标号亦应适当提高。一般情况，拱圈、边墙、洞身铺底及环框式洞门框均采用150号混凝土。衬砌背后超挖部分的空隙必须回填密实，并与衬砌同时进行。出入口形式可根据地质条件设计，对于Ⅱ～Ⅲ类围岩采用翼墙式，对于Ⅳ～Ⅴ类围岩采用端墙式，对于Ⅴ类以上围岩，当仰坡稳固、岩层坚硬、整体性强、节理不发达又不易风化时，可仅做环框式出入口，不设端墙。

入口分有提高节和无提高节两种，当通过流量较小时，可采用入口无提高节。泄水隧洞衬砌外缘至路基面间设计净厚 (h_a)，建议不小于表 1-1-7 的数值。

衬砌外缘至路基面最小净厚 h_a 表(m)
表 1-1-7

围岩类别 \ 孔径 l_0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	附 图
Ⅰ	10	12	15	18	22	
Ⅱ	6	7	8	10	12	
Ⅳ	5	5	6	7	8	
Ⅴ	4	4	5	5	5	

对于膨胀性围岩、坍方或滑坡断层地带、冻土地区、设计地震烈度为七度以上的地震区、洞口或洞身有滑动可能的倾斜层、洞顶有显著的不对称压力，洞身有较大的地下水压或洞内经常处于高水位时等，不得直接套用通用图，若需要采用泄水隧洞时，应修改通用图或另行设计。黄土性质特殊，应根据新、老黄土特征，比照相应围岩慎重选用衬砌断面及洞口型式，必要时得另行设计。

(九) 倒虹吸管

倒虹吸管系为灌溉渠而设置的一种过水建筑物。当遇不深的路堑，挖方高度又不能满足设置渡槽的净空要求时，通常采用倒虹吸管。一般只用于灌溉渠道，不应用于排洪河沟。

常用倒虹吸管，按建筑材料分为铸铁倒虹吸管和钢筋混凝土倒虹吸管两种。

1. 铸铁倒虹吸管 (肆桥5015)

铸铁倒虹吸管铁四院参考图 (肆桥5015) 孔径有单孔 0.15~0.40m，斜管置于路堑边坡内，水平管置于路堑侧沟以上，均按管顶面与路基边缘顶面齐平设计，以避免机械化养路对铸铁管的影响。对管径 0.25~0.40m 者，为保证管底至侧沟底面有一定的过水高度，设计时宜将侧沟局部顺坡加深。

铸铁倒虹吸管具有管路接头少，防漏性能较好，造价低，施工简便等优点。但孔径较小，通过流量少 (上述孔径通过流量 0.016~0.260m³/s)，不能满足较大灌溉渠道的要求。

2. 钢筋混凝土倒虹吸管 (壹桥5205)

钢筋混凝土倒虹吸管铁道部通用图 (壹桥5205) 孔径有单、双孔 0.5~1.5m，通过流量为 0.3~10.00m³/s。采用入、出口为混凝土矩形竖井与内圆外方的钢筋混凝土水平管整体连接的结构形式。水平管由外套管及内模管组成。内模管采用预制钢筋混凝土圆管，外套管为就地灌注的钢筋混凝土结构。水平管埋置深度，按管顶至轨底覆盖厚度不小于 1.0m 及管顶与路基侧沟底齐平设计，现行通用图采用管顶至轨底高度为 1.41m。竖井入、出口接混凝土矩形槽，为了缩短水平管长度，减少竖井挖基土方，可使部分槽身高出路堑边坡支承于片石砌体上，但砌石高度不宜大于 2.5m。水平管设计长度 l (含竖井壁厚)：当孔径 $d_0=0.5$ m 时， $l \leq 10.0$ m，当 $d_0=0.75$ m 时， $l \leq 14.0$ m；当 $d_0=1.0$ m、1.25m、1.5m 时， $l \leq 20$ m。各种孔径的倒虹吸管入口竖井最大高度 H_{max} (约数) 及出口竖井最小高度 H_{min} 如表 1-1-8。

钢筋混凝土倒虹吸管竖井高度范围表(m)
表 1-1-8

孔 径 d_0	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
入口竖井最大高度 H_{max}	11.2	11.9	12.6	13.3	14.1
出口竖井最小高度 H_{min}	2.85	3.28	3.81	4.38	4.79

注：表列竖井高度指井顶至基底高度。

由于水平管长度不宜过大，故上表 H_{max} 仅单线 $d_0 \geq 1.0$ m 及路堑边坡不缓于 1:1 时方能满足。当要求的入口竖井高度 H_{max} 超过该通用图设计范围时，可采用入口竖井接渡槽 (以代替矩形槽) 的特别设计 (详述从略)。

水平管按弹性地基梁采用共同变形理论计算，适应地基情况如表 1-1-9。

钢筋混凝土倒虹吸管适应地基情况表
表 1-1-9

序	E_0 (MPa)	μ_0	注 解
1	4	0.43	饱和粉砂、软塑砂粘土及粘土
2	16	0.35	砾石、粗砂、中砂、细砂、稍湿粉砂、硬塑砂粘土、粘土和半干硬($e > 0.5$)粘土。
3	46	0.26	卵碎石土、半干硬($e < 0.5$)粘土、岩石风化层、严重风化破碎的软质岩。

注：表中 E_0 为地基土壤的变形模量， μ_0 为泊松比， e 为天然孔隙比。

钢筋混凝土倒虹吸管具有通过流量大、接头少、整体性好、渗漏病害较少等优点,但施工较复杂、造价较高、维修困难。尤其养护不便,仅在通过流量较大的干、支渠上不得已时才采用之。路基填土较低且流量很小的沟渠,应改用低填土的盖板涵。若灌溉高度位于路肩与轨底高程之间时,可采用直径为0.15~0.40m的水平铸铁管。铸铁管的规格和防漏措施与铸铁倒虹吸管要求同。

(十) 既有线顶进桥涵(肆桥8030-II)

既有线顶进桥涵是在既有线上不中断行车的条件下使用的一种特殊施工方法,即在保证列车安全运行的前提下,将铁路路基一侧或两侧已经预制好的钢筋混凝土圆形涵洞或箱形涵洞甚至带有基础的拱形涵洞,利用高压油泵带动油压千斤顶,并借助于预先修好的后背支承,顶入路基内,这种施工方法称为既有线顶进桥涵。

铁道部第四勘测设计院在调查总结既有线利用顶进方法施工增建桥涵的基础上,编制了“既有线顶进桥涵”参考图,图号肆桥8030-II。其目的在于设计小孔径顶进桥涵时,可直接查用有关图表数据,以资简化设计,内容包括1.0m、1.25m、1.50m、2.00m四种钢筋混凝土圆形涵洞和2m×2m~5.5m×5.2m(净跨×净高)15种钢筋混凝土箱形涵洞,除主体结构外按一次顶入法施工配套设计。

三、小桥涵洞的技术经济比较

小桥与涵洞的选择,应根据线路技术条件、桥涵结构类型、水文特征、地形和地质条件、农业和交通需要、工程造价、施工运营与养护维修要求等因素综合比较确定。其主要技术条件如下:

(一) 水文方面

小桥的梁底和墩台支承垫石顶须高出设计水位有一定的安全高度,而涵洞只须上游具有积水的地形条件不致漫溢串流、淹没农田村舍并有足够的路堤高度即可,涵前允许出现较小桥为高的积水。因此,在相同孔径通过无压流的情况下,涵洞的过水能力大于小桥,承受超载流量的条件也较小桥好。但小桥具有桥前积水较低、出口流速较小、垂直线路方向的长度较短等特点,洪水能尽快地通过小桥排离路基,特别是有利于宣泄夹带泥沙、石块或带有漂流物的水流。

(二) 结构方面

在相同路堤高度情况下,对于较宽浅的沟谷而言,小桥顺线路方向的长度较长,且直接承受列车活载,涵洞垂直线路方向的长度则较长,上复填土(或填石),活载影响一般较小,故设涵比设桥所需水泥钢材节省,较为经济。其次,在相同的路堤高度下,在沟床纵坡陡峻的山区沟谷设置涵洞,如涵节错台超过限制,或涵洞基础须设防滑措施尚难保证稳定者,或涵洞挖基及改沟刷方较大、易造成坍落堵塞水流者,往往设小桥较好,且较经济。然而,小桥对基底应力一般要求较高(箱形桥除外),而整体基础涵洞对基底应力要求一般不高。因此,就

地基而言,涵洞比小桥具有较强的适应性。但在地质条件特别恶劣(如淤泥覆盖层较厚)的情况下,设桥配合弹性基础往往又成为较好的可行方案。

(三) 施工方面

一般情况下,涵洞需要的施工机具及施工工艺较为简单,在劳力不缺乏时,整段线路上的涵洞可以配合路基土石方工程全面施工。

(四) 养护方面

小桥的桥面工程比较复杂,须设置人行道,有时尚应设置护轮轨和检查设备,养护维修工作量较大,涵洞顶部有填方覆盖,一般情况下养护维修工作较简单,列车通过也如同路基,连续无间。

综合以上所述,可得出如下结论,以供参考:

(一) 当填料充足,上游有积水条件,沟谷纵坡较缓,水流含泥砂石块较少且无漂流物,特别是车站股道较多,在河沟上设桥不利于调车作业,或位于较高烈度地震区的沟谷,或隧道口外的河沟架桥有困难而弃方可作路堤填料者,在水文、地形和地质条件均适宜的情况下,一般应优先选用涵洞方案。

(二) 遇下列情况之一者,应优先考虑设桥方案。

1. 设计流量较大、上游积水条件较差、若采用涵洞时,涵前积水有可能淹没或危害农田村舍者;
2. 线路跨越冲积锥、泥石流沟,水流含泥砂石块较多的河沟或流冰、流木及树枝杂草等漂流物较多的河沟;严寒地区和多年冻土地区有冰锥、冰丘的河沟;风沙地区和积雪严重地区的河沟;
3. 山前漫流地区,一般地形起伏不大、路堤不高、线路上游无积水条件的天然沟槽且易发生淤积者;
4. 山区河沟纵坡陡峻,设置涵洞采用最大容许的涵节错台亦不易适应天然坡度者;山区傍山线路路堑挖方或半填半挖地段沟床坡度陡峻的小沟(但若下挖设置小桥,将形成上陡下缓且坡差很大的人工沟床,严重破坏天然条件,当有足够的铁路净空时,则宜选用渡槽或明洞渡槽,以免运营时产生水射道心或落石击梁的后患);下游滨临大河的山区沟谷,设置涵洞时其出口临近大河易招致冲刷或大河洪水倒灌造成堵塞淤积者;线路上游有几个小沟汇合,设置涵洞将导致较大的改沟甚至需要开挖并破坏了不良地质的山体平衡者;或深沟高填路堤,预计设涵有长期下沉病害的不良后果者;
5. 淤泥、沼泽、软土覆盖地带的河沟;
6. 在水库淹没范围内常年受水库正常蓄水淹没的支沟,设置涵洞不易养护检修者;
7. 沟床地质条件较差,或线路下游为农田,设置涵洞有可能造成出口剧烈冲刷危及涵洞主体工程并冲毁下游农田者;
8. 在农田和城市地区,为了少占农田,节约用地,减少拆迁房舍建筑,便于人畜车辆通行者;或路堤高度不高、结构高度受到限制,河网地区的河渠有通航或流筏要求者;

9. 灌溉渠道水源含有较多的泥砂,且渠道纵坡平缓,其本身有严重淤积(除可设与小桥过水状态类似的较大孔径涵洞外);或农田地区路堤高度不高、路堤填料不良(例如含盐碱或石膏等)地带的河沟(除可设涵前积水较低的涵洞外)。

(三)除一般技术条件差别明显据以选定桥涵外,个别小桥涵洞则须通过经济比较决定。比选资料必须齐全正确,并在同等条件、同等精度的基础

上进行。经济比较应包括小桥涵洞主体工程、路堤填土和防护加固以及土石方等主要工程项目。工程费用应根据铁路工程施工概算的有关规定求得的工程造价,包括直接费、运杂费和施工管理费以及临时工程费用等。

通过经济比较选定桥涵类型时,即使设桥方案造价略贵一些,一般多选用设桥方案,以争取技术条件的改善。

第二节 涵洞孔径计算

一、设计洪水频率标准

涵洞设计洪水频率标准, I、II、III级铁路均为1/50。

若观测洪水(包括调查洪水)频率小于上述标准的设计洪水频率时,应按观测洪水设计,但当观测洪水频率小于1/100时, I、II、III级铁路应按1/100设计。

设在水库淹没范围内的涵洞,一般仍采用上述设计洪水频率标准。设在水坝下游的涵洞,若水库设计洪水频率标准高于涵洞设计洪水频率标准时,一般按涵洞设计洪水频率标准的水库泄洪量加涵坝之间的汇水流量作为涵洞设计及检算流量;若水库校核洪水频率标准低于涵洞设计洪水频率标准时,

应与有关部门协商,提高水坝校核洪水频率标准使与铁路涵洞的洪水频率标准相同。如有困难,除按河流天然状况设计外,并应适当考虑溃坝时对涵洞可能造成的不利影响,必要时可改为桥梁。

在水坝上下游影响范围内的涵洞,如遇水库淤积严重等情况能造成对涵洞不利影响时,涵洞的设计洪水频率标准可酌情提高。

有压和半有压涵洞的孔径应按设计路堤高度的洪水频率检算。

路堤设计水位的洪水频率标准: I、II级铁路为1/100, III级铁路为1/50。

涵洞附近的路基路肩高程,应高出路基设计水位加壅水高再加0.50m。各种防护加固工程的设计洪水频率标准按表1-1-10的规定办理。

各类防护加固工程的设计洪水标准表 表 1-1-10

项 目		高 度 (m)	防护加固高度 (m)	设计流速标准	附 注
涵洞附近路基		路基设计水位 +0.5	路基设计水位 +0.25	按涵洞设计洪水标准所 计算的入口流速或出口 流速	标准铺砌范围内路堤 边坡加固高度不得低于 锥体高度
涵出 入口 铺 砌	标准铺砌	—	—	按涵洞设计洪水标准所 计算的入口流速或出口 流速	
	显著沟槽、 水流不漫溢	涵洞设计水位 +0.25	涵洞设计水位 +0.25	按涵洞设计洪水标准所 计算的设计流速	
(包括 人工 沟渠)	一 般	涵洞设计水位 +0.25	涵洞设计水位 +0.25	按涵洞设计洪水标准所 计算的设计流速	当沟渠纵坡大于20% 时,考虑未计算急流掺 气作用和糙率的变化, 安全值由0.25m改为 0.50m
	重 要	路基设计水位 +0.25	路基设计水位 +0.25	按路基设计洪水标准所 计算的流速	
不淹没的各式堤坝 和漫流地区的截水 沟及导流堤		堤坝顶面高出路基 设计水位 +0.25	迎水面全高 防护加固	按路基设计洪水标准所 计算的流速,并注意考 虑斜冲股流流速	

注:表列设计水位尚应根据具体情况,分别考虑壅水、淤积、大河倒灌、水库回水及浪高、超高等影响。

二、涵洞孔径和净空

涵洞孔径的确定，除按流量计算外，必须保证设计频率洪水夹带的泥砂、石块和漂流物等安全通过，还要考虑壅水、冲刷对上下游的影响，确保涵洞附近路堤、村镇、农田安全，以及灌溉、交通等的综合利用，也要有足够的净空以方便清淤和养护维修。

对于人烟稀少，水文和气象资料短缺的地区，流量计算精度较差，涵洞孔径计算必须根据地区自然特征结合本章第一节涵洞类型选择的有关原则适当加大。

涵洞的标准孔径为0.75、1.0、1.25、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5和6.0m等13种。盖板箱形涵洞的孔径还设计有0.5m者。

涵洞一般设计为无压的。无压涵洞洞内顶点高出洞内设计频率水位的净空应按表1-1-11采用。

涵洞净空高度表 表 1-1-11

涵洞净高H(m)	圆 涵	拱 涵	矩形涵
≤3	$\geq \frac{1}{4}H$	$\geq \frac{1}{4}H$	$\geq \frac{1}{6}H$
>3	≥0.75m	≥0.75m	≥0.5m

涵洞孔径除按流量计算外，为了养护、检查、清淤和施工的便利，排洪涵洞的最小孔径不应小于1.0m。在有淤积的水流上，涵洞孔径应适当留有余地。泄水隧洞的孔径一般不小于2.0m。

各类孔径涵洞的长度应视其净高（或内径） h_i 而定（采用分段错台设置洞身者应以错台后的最小有效净高为准）。涵洞长度超过下列限值者应加大其净高或孔径。

各式涵洞的长度限制如下：

$h_i=1.0\text{m}$ 者，长度不宜超过15m；

$h_i=1.25\text{m}$ 者，长度不宜超过25m；

$h_i\geq 1.50\text{m}$ 者，长度不受限制。但对于较长（如接近100m）的直线涵洞或短一些的个别曲线涵洞，得视采光要求适当加大孔径，提高 h_i 值。

当采用0.75m孔径，且 $h_i<1.0\text{m}$ 时，长度不宜超过10m；当 $h_i\geq 1.0\text{m}$ 时，长度不宜超过15m。

位于城市或车站范围内有污水流入的涵洞，可根据需要酌予加大孔径。

增建第二线或改建既有线时，如旧涵洞状态良好，其孔径和长度可视具体情况而定。

位于无淤积的灌溉渠道上的涵洞，孔径一般不小于0.75m，全长不宜超过10m，并在可能时酌量增加涵洞净高。对于每年清淤的灌溉渠道，涵洞沟底高程应考虑岁修和淤积厚度酌量埋深，相应在孔径计算中计入此项淤积失效面积。

山区和丘陵区，对于渲泄含有不多砂石的洪水的涵洞，其孔径和净高可酌予加大，洞身纵坡应大

于或接近于天然沟床的不淤积纵坡，以利渲泄（据陇海线宝鸡至天水段多年养护维修经验，山区沟底纵坡 $i\geq 150\text{‰}$ 者为一般轻微泥石流不淤积纵坡）。对于泥石流沟或含有较多砂石推移质水流上个别采用涵洞代替小桥时宜选用拱涵或盖板箱涵，涵洞孔径和净高应按泥石流流量、石块尺寸并结合不淤积纵坡与相应的水位考虑，适当加大孔径，以保证泥砂、石块迅速通过涵洞。

设在受下游大河倒灌影响的支流上的涵洞，其设计流量和水位除考虑天然情况外，还应考虑大河倒灌水位及回水的影响，必要时需加大孔径或抬高净空。

平坦地区路堤低矮，既无蓄水条件也不允许积水过高，涵洞孔径多按小桥计算，对有蓄水条件的沟槽，亦应加大孔径，以减免涵前积水淹没农田村舍和下游流急冲刷破坏。

排洪兼立交或立交专用的涵洞，其孔径和净高尺寸应按与有关部门的协议办理。一般应根据目前交通实际情况适当结合将来发展需要确定，其涵洞孔径与净高随交通种类而异，一般不宜小于下列尺寸：

通行行人及架子车者 $2\text{m}\times 2\text{m}$ （宽 $\times$ 高）；

通行牲畜者 $3\text{m}\times 2.5\text{m}$ （畜牧地区成群牲畜通过，应根据当地具体情况商定）；

通行大车者 $(3\sim 4\text{m})\times (3\sim 4\text{m})$ ；

通行汽车、拖拉机的农村道路 $4\text{m}\times 4.5\text{m}$ 。

当涵洞长度较长时，尚应根据采光需要，人行道以及车辆会让等安全要求，各项尺寸要适当加大。

三、路堤高度检查

在选择涵洞孔径时，须注意检查附近路肩的高程，应满足以下水文条件和构造条件的要求：

（一）按水力条件要求，涵前积水范围内最低点的路肩高程应高出路基设计水位（包括壅水高）至少0.5m。必要时可扩大涵洞孔径或采用双孔涵洞，以降低设计水位。

（二）按结构条件所需的路堤高度，涵洞顶至轨底的填方高度 H 不宜小于1.0m。对 H 小于1.0m者，涵节设计应计算活载冲击力。现行标准图中 $H<1.0\text{m}$ 者均有相应的涵节设计可供选用。路肩高程一般不宜低于涵洞端墙帽石顶面。当路堤高度不能满足上述结构要求时，除必要时调整线路纵断面外，应尽可能改用较小孔径的双孔涵洞或低边墙涵洞。

站场范围内的涵洞，应注意路基面排水斜坡的影响，检查站线或到发线下轨底到洞顶的填方高度是否满足最低要求。

四、涵洞水力计算

涵洞类型选定以后，即可根据设计流量 Q 、最大流量 Q_{max} 、洞身坡度 I 和容许流速 v ，计算涵洞孔径 l_0 （或 d_0 ）及涵前积水深 H_0 。并检查路堤高度

是否符合规范要求, 涵前积水深能否保证运营安全。

(一) 水流类型与水流状态

涵洞水力计算取决于涵洞的水流类型和水流状态, 对不同的水流类型和水流状态应采用不同的方法进行计算。当流量为定值时, 水流类型将受洞身坡度、断面形状和糙率等因素的直接影响, 而水流状态则与水流类型、入口形式、涵前积水深以及上下游沟槽形态等有关。由于洞身长度一般较长, 影响水流状态的因素比较复杂。为正确选定涵洞孔径, 首先应确定水流类型。

1. 水流类型

水流类型有缓流、急流和临界流三种。在明渠中, 当流量为定值时, 水流类型随沟底坡度而变, 若沟底坡度较缓, 则流速较小, 而水深较大; 如沟底坡度较陡, 则流速较大, 而水深较小 (如图1-1-1)。当流量一定时, 若 $h > h_k$, 则 $v < v_k$, 能率 E (即断面单位能量) 随水深 h 增加而增大, 势能大而动能小, 水深流缓, 水流处于缓流状态, 称为缓流; 若 $h < h_k$, 则 $v > v_k$, 能率 E 随水深增大而减小, 势能小而动能大, 水浅流急, 水流处于急流状态, 称为急流; 若 $h = h_k$, $v = v_k$, 能率 E 达到最小值, 即缓流与急流的分界处水流处于临界状态, 称为临界流。兹将临界流、缓流、急流水力特征值计算分述于下:

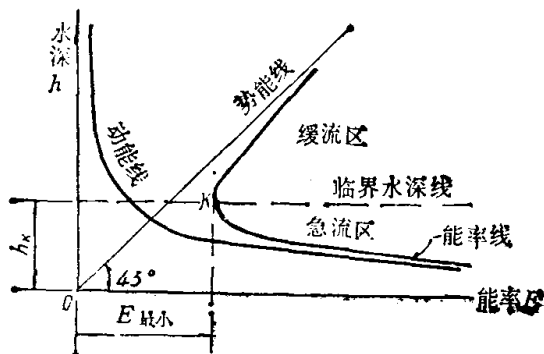


图1-1-1 水流类型图

(1) 临界流

与临界流相应的水深、流速和坡度称为临界水深 h_k 、临界流速 v_k 和临界坡度 I_k 。当流量一定时, 临界流的总能量最小; 当总能量一定时, 则临界流通过的流量最大; 临界流界于缓流与急流之间。按临界流设计的涵洞 (或小桥), 孔径比按缓流设计者小, 净高亦低。而且当流量一定时, 其总能量比按急流设计者小, 可减少其冲刷能力, 以达到安全渲泄设计流量的目的。因此, 设计涵洞 (或小桥), 临界流是最理想的水流类型。各类涵洞标准图当通过设计流量时均按临界流进行计算。

临界流的水力计算公式如下:

临界水深 h_k : 当流量 Q 一定时, 求临界水深的普遍公式为

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{\varepsilon^2 \omega_k^2}{B_k} \text{ 或可写成 } \varepsilon \omega_k \sqrt{\frac{\omega_k}{B_k}} = \frac{Q}{\sqrt{g}} \quad (1-1-1)$$

上式为求洞内临界水深的普遍公式。无论流水断面的形状如何, 凡适合上式的水深即为临界水深, 可用试算法求得。

若流水断面为矩形时, 则临界水深不用试求。矩形断面的水面宽为 b , 过水断面面积 $\omega_k = b h_k$, 则临界水深 h_k 为:

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{\varepsilon^2 b^2 g}} \text{ 或 } h_k = \frac{v_k^2}{g} \quad (1-1-2)$$

临界流速 v_k :

$$\text{因为 } Q = \varepsilon v_k \omega_k = \varepsilon \omega_k \sqrt{\frac{\omega_k}{B_k}} \cdot \sqrt{g}$$

故,

$$v_k = \sqrt{g \frac{\omega_k}{B_k}} \quad (1-1-3)$$

由于 $\frac{\omega_k}{B_k} = \bar{h}_k$ (平均水深), 所以当过水断面为矩形时:

$$v_k = \sqrt{g \cdot \bar{h}_k} = \sqrt{g \cdot h_k} \quad (1-1-4)$$

临界坡度 I_k : 根据谢才流速公式 $Q = \omega_c \sqrt{R I}$,

因水流为临界流时, $Q = \sqrt{\frac{\omega_k}{B_k}} \cdot \sqrt{g} \cdot \omega_k$, 故:

$$I_k = \frac{g \cdot \omega_k}{C_k^2 \cdot R_k \cdot B_k} = \frac{g \bar{h}_k}{C_k^2 R_k} \quad (1-1-5)$$

当为矩形断面时, 由满宁公式 $C_k = \frac{1}{n} R_k^{1/6}$, 所以:

$$I_k = \frac{v_k^2}{C_k^2 R_k} = \frac{n^2 v_k^2}{R_k^{1/2}} \quad (1-1-6)$$

涵前积水深 H_0 按下式计算:

$$H_0 = h_c + \frac{v_c^2}{2g\varphi^2} - \frac{v_0^2}{2g} \quad (1-1-7)$$

以上各式中:

- Q ——流量, m^3/s ;
- B_k (或 b)——临界水深时的过水断面水面宽, m ;
- h_k ——临界水深, m ;
- $\bar{h}_k$ ——临界流时平均水深, m ;
- h_c ——洞口收缩断面处水深, m , 可取 $h_c = 0.9 h_k$;
- ω_k ——临界水深时的过水断面面积, m^2 ;
- v_k ——临界流速, m/s ;
- v_0 ——洞口收缩断面处流速, 可取

$$v_0 = \frac{v_k}{0.9}, \text{ m/s};$$

v_0 ——涵前水流行近流速, m/s , 可用涵前积水断面面积去除设计流量求得。当 $v_0 \leq$

1.0 m/s 时, 流速水头 $\frac{v_0^2}{2g}$ 可忽略不