

541394



000000071974S

《科技通讯》丛书之一

曲 形 涵 洞

(内部发行)

出版单位: 铁道部第二工程局
技 术 开 发 部

印刷单位: 铁道部第二工程局
机关青年印刷厂

印 数: 1000册

代 序 言

——铁道部副部长孙永福函

淮昌同志：

拜读了您寄来的《曲形涵洞》书稿，深感这里面浸注您着的心血，是经验总结和研究成果的汇集。

从事铁路建设的老一辈工程技术专家长年累月辛勤劳动，足迹踏遍祖国的山川原野，用自己的智慧为社会主义建设作出了贡献；而长期工程实践积累的丰富经验，更是千金难买的可贵财富。由于种种原因，很多同志没有系统地整理出来，实为憾事。读了您的《曲形涵洞》，更使我从中受到启发。推古验今，期以不惑，总结经验教训是历史的需要，是我们事业的需要。切望更多的工程技术界前辈，能将丰富的实践经验书写出来，充实我们的知识宝库。

遵嘱写序，至今未敢动笔。读了高渠清教

授写的介绍，我认为就是一篇十分贴题的很好的序言。不知道您是否同意这个看法。

我衷心希望这部著作能早日面世。

顺致

安康

孙永福

一九八六年八月十六日

介绍《曲形涵洞》

新建铁路的涵渠工程，占有很大比重，涵洞位置选定的合理程度，对减少工程数量，降低工程造价，有密切关系。

新建铁路的涵洞设计，一般是根据勘测资料，采用定型图选定涵洞类型，以直线与线路作正交或斜交布置，由于地形、地质以及某些涵洞位置附近有建筑物等因素，造成工程数量增加，施工困难，直接影响了施工工期和增加了工程投资。长期以来，从事施工的同志深有体会。

铁道部第二工程局谢淮昌副总工程师（高级工程师），从事铁路建设四十余年，积累了丰富的经验，造诣很深，在施工实践中，曾多次根据地形、地质等各种复杂条件，将原设计的直线涵洞改为曲形涵洞，在满足水流要求的前提下，工程数量节省（含因设置涵洞的土石方开挖工程），修建时间缩短，也解决了施工中遇到的一些特殊困难。

这本《曲形涵洞》是施工经验的总结，它将水力特性计标的各种数据列表，在变更直线涵洞为曲形涵洞时，直接查表便可得出需要数据，为施工现场提供了有利工具，同时也可在设计工作中使用。

相信这本书的出版，将会给铁路建设工作有所贡献。

英国伦敦大学工学博士
国务院学位委员会学科评议组成员
西南交通大学教授
高渠清

目 录

前 言

一、曲形涵洞的应用.....	(1)
二、曲形涵洞水流性状的分析.....	(1)
三、计标原则.....	(8)
四、计标内容.....	(9)
(一) 曲形涵洞水头损失计标.....	(9)
(二) 涵洞提高边墙后净空比值计标.....	(15)
(三) 水面曲线计标.....	(17)
(四) 流量折减系数.....	(28)
五、计标成果表应用举例.....	(30)

附 录

(一) 曲形涵洞水力计标表.....	(33)
(二) 专桥-5004的水力计标.....	(226)
(三) 涵洞尺寸表.....	(237)

前 言

在铁路、公路、水利灌溉等工程建设中，涵渠建筑物无论是数量或造价均占全工程相当的比重，因此涵洞经济合理地勘测设计，是铁路工程必需慎重对待的重要一环。

我国目前涵渠设计大多套用定型图，这对节省设计的人力物力加快建设速度起到很大的作用，但是在以往设计由于地形特殊未因地制宜而套用定型造成不应有的浪费也是有的，尤其是在长大涵洞中反应更为突出。

本书为适应地形提出曲形涵洞的设计方法并解决其计算问题，为方便起见，特将各种数据列表整理成册，作为工具书奉献给读者，期能以助设计和施工人员一臂之力。

本书除用于铁路、公路、水渠、下水道及房建的室外排水道外，尚可供专业教学工作者参考。在编写过程中承蒙成都科技大学李国润教授、宋定春付教授以及铁道部第二工程局梁正宇、张锡桂、曾华新、潘明德等同志的热情支持和参加讨论校正定稿，在此一并表示谢忱。编者限于水平，书中错误在所难免，敬请读者给予指正。

谢淮昌 赵祚明

1985年10月 成都

曲形涵洞水力计标

一、曲形涵洞的应用

目前修建铁路涵洞，无论在山区或平原，常选择在渠道比较顺直的地段。如线路通过的地形比较复杂，为着用直线涵洞垂直于线路作过水通道，往往需要大量的改河改沟，甚至修建许多附属工程。有时这些工程造价比修建涵洞本身的投资还多。能否因地制宜设计修建曲形涵洞，从而减少工程数量，节约投资，这是值得考虑的。实际上，我们有些线路的个别涵洞，在设计和施工中已经做过曲形涵洞，并有一定的效益，经过多年使用，情况良好。

铁路涵洞的截面型式，主要采用拱形和矩形两种，并规定应用无压涵洞。由于拱涵截面型式比矩形在某些水力特性和计标等也较为复杂，我们采用现行铁路涵洞标准设计“专桥——5004石砌及混凝土拱形涵洞”的各项标准和参数作为依据，进行曲形涵洞计标，以供在地形复杂的地区，方便于设计和修建曲形涵洞并节约建设投资。

为了便于查用，特将计标成果参数等列成表格，只须根据设计流量对照“专桥-5004”的相应参数，结合实际地形，选用交角和半径，即可布置有关设计。

二、直线涵洞和曲形涵洞内水流性状的析

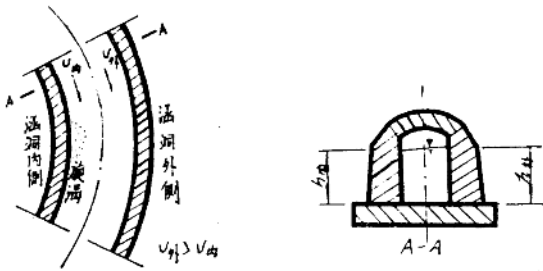
(一) 直线涵洞和曲形涵洞的水流都是恒定非均匀流。水流运动要素中的流量、流速等在直线涵洞内和曲形涵

洞内均不考虑时间因素，即都不受时间的影响和不随时间而变化，洞内的水流都属恒定流（或称稳定流）。按铁路工程技术规范（桥涵）规定，铁路涵洞设计为避免涵前积水过高，对路基造成一侧受压或水流对路基进行渗透，铁路涵洞都应设计为无压的，故洞内均应留有一定净空，水流表面只受大气压力的作用，水面各点相对压强为零。无论直线涵洞或曲形涵洞的水流都属于无压明渠流。同样的，无论直线涵洞或曲形涵洞，即使它的边界几何条件和建筑材料沿程不变，洞内水流由于与周边接触和粘滞作用的影响，会产生沿程阻力，造成沿程水头损失。因此，水流不能保持匀速运动，故直线涵洞和曲形涵洞内的水流既是恒定的，又都是非均匀流的，这是两者的相同点。

（二）直线涵洞的水流为非均匀性渐变流，曲形涵洞的水流为非均匀性急变流。

直线涵洞和曲形涵洞的水流都是非均匀流性质，但就水流流线情形分析，则存在较大差异。直线涵内的水流流线基本上是顺直和平行的，在同一条流线上各点流速仅在速度的大小上表现不同而在方向上则是一致的；曲形涵内水流转弯，各流线都互不平行，且在同一流线上各点的流速大小既不相同而方向又不断变更的（曲线上任一点流速的方向应垂直其相应的曲线半径）；直线涵洞水深可能沿程逐渐增大或逐渐减小，相应的在洞内水面上形成壅水曲线或降水曲线，这种非均匀流属于渐变流现象；曲线涵内的水深不仅在沿程有可能逐渐增加或减小，还由于水流呈曲线运动，因水流受重力和离心力的作用，必然引起水流的横向运动，洞内自由水面的平衡状态遭到变更，曲线外侧水位升高，水深加大，相

反，曲线内侧则水位降低，水深减小，同时曲线内外侧的流



图—1

速也不相同，外侧流速必然大于内侧，甚至在内侧可能形成旋涡（图—1），故曲形涵洞内的非均匀流应属于急变流现象，同样的在纵向水面上可以形成降水或壅水曲线。

（三）直线涵洞断面属棱柱体明渠，曲形涵洞断面属非棱柱体明渠。

在非均匀流中涵洞的过水断面沿程是否改变，是判别渠道属棱柱体或非棱柱体的。直线涵洞横断面包括其形式、尺寸和底坡，如沿程不变则属棱柱体渠道是完全明白的，其过水断面面积 W 仅与水深 h 有关，其函数关系为 $W = f(h)$ 。而曲形涵洞包括涵洞中存在部分直线和部分曲线，因为曲线部分涵洞内外侧的水深是不同的，而直线部分内外侧的水深是相同的，故由不同到相同和由相同到不同，存在一个渐变的过程。因此，存在曲形涵洞的沿程断面是变化的，应属非棱柱体渠道。非棱柱体渠道的过水断面的变化，既与水深 h 有关，也与流程 l 有关，它的涵数关系式为 $W = f(h, l)$ ，故非棱柱体渠道的水流性状比棱柱体渠道要复杂一些。因为水力计算的参数，其中如水力半径 R ，湿周 P_x 等都与 W 有关，

单纯从理论上去分析研究非均匀流的非棱柱体渠道的水流是十分复杂和困难的。

另外，水流在曲形涵内通过时，液体是在重力和离心力的共同作用下，水流质点存在纵向、横向和竖向运动，其流状结构十分复杂，属于三元流运动，从已知明渠弯道水流的实验中观察到弯道区段内断面水面并不是一斜直线，而是曲线状，且各过水断面的横比降，大小也不相等，即使整个弯道的曲率半径相同，横比降的最大位置也并不在弯道中点处。这也说明曲形涵洞内的水流应属非棱柱体渠道。但是在实用上，铁路涵渠的输排水能力仍可按棱柱体明渠处理。故本文后面对水面曲线的分析和计标，仍视曲形涵洞的水流为棱柱形渠道中的非均匀渐变流。

(四) 直线涵内水流类型属二元流，曲形涵内水流类型属三元流。

就直线涵洞和曲形涵洞水流变化特点影响流速来分析，前者如不考虑涵洞两侧边界的影响，断面上任一点的流速，除随断面位置即流程坐标 x 变化外，还和另一空间坐标变量有关。如图一2系直线涵中任一过水断面A—A，以左下角为原点，水深和涵洞宽为纵横坐标，断面上任一点M的流速

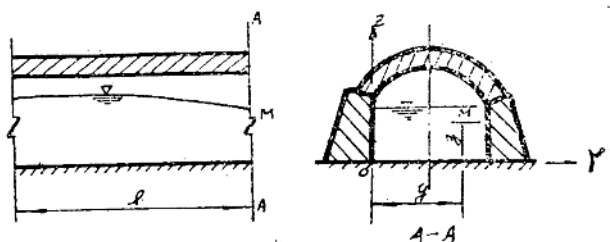
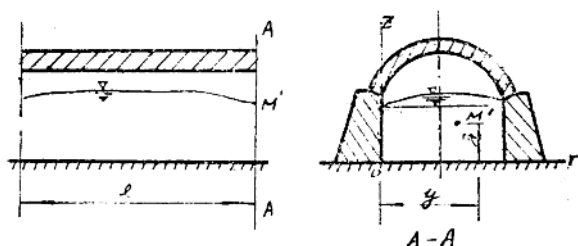


图-2

V_m 只与 z 有关。 V_m 为 Q 和 z 的函数：即 $V_m = f(Q, z)$ ，故直线涵内水流属二元流。

曲形涵内因流线转弯，过水断面上的水面因离心力的作用产生横向运动。实验表明水面呈弧形如图—3，A—A断面上任一点 M' 的流速 $V_{m'}$ 随变量 Q 、 y 、 z 而变化，即 $V_{m'} = f(Q, y, z)$ ，故曲形涵洞的水流属三元流。



图—3

一般在二元流和三元流中因多种因素的影响，对水流运动的分析是相当复杂的，多数情况都应通过试验才能获得某些参数。在水力计算中，常采用简化方法，引入断面平均流速的概念而把总流视为一元流，为了消除或减少用断面平均的流速代替实际流速的误差，采用实验方法求得修正系数。故直线涵洞与曲形涵洞的流速都按一元流来处理，而采用不同的修正系数。

另外，当水流通过涵洞弯道时，液体质点受重力和离心力的共同作用下，水流除具有纵向流速即垂直于过水断面的流速外，还存在径向和竖向流速。这样，由于几个方向流速交织在一起，在横断面内产生一种次生的水流，它从属于主

流而不能独立存在。由于弯道水流的纵向流动和副流叠加在一起构成一种螺旋水流，作螺旋运动的水流质点是沿着一条螺旋状的路线运动和前进的，流速分布极不规则。如图—4为弯道涵渠水流作螺旋流时的示意。



（五）关于曲形涵洞内存在离心力而产生外侧推力、冲刷、淤积等问题。

直线涵洞中的水流，一般只存在重力作用，对两侧墙身产生同样大小的侧压力，曲形涵洞中的水流则存在重力与离心力的共同作用。除对外侧洞身加剧冲刷外，对内外两侧洞身产生的侧压力也不相等。由于水流转弯引起的离心力，其大小与流速平方成正比而与水流曲率半径成反比，如涵洞弯道为圆曲线，可以认为水流曲率半径与圆曲线涵洞的半径相同。由于我们计标采用的标准设计，其限制临界流速不超过 5.0m/s ，同时我们参考曲形涵洞至少选用半径应大于 5.0m ，故涵洞外侧洞身的强度对冲刷是不必考虑的，而洞外路堤填土或填石一般情况都是足够抵御上述推力的。关于淤积问题主要取决于水流中的泥砂杂物等，致于因涵洞存在曲形可能造成淤积则是次要的，根据我们已建成的铁路曲形涵洞的

检验和与邻近直线涵洞相对比，尚未发现淤积严重的问题，故在设计上计标曲形涵洞可以不必考虑。

从上面分析，可将直线涵洞和曲形涵洞的水流性状及其异同，归纳如下：

1. 直线涵洞和曲形涵洞的水流都属恒定的非均匀明渠流，但直线涵洞的水流属非均匀流中的渐变流。而曲形涵洞则为非均匀性急变流。

2. 直线涵洞内的水流流线基本上是顺直和平行的。而曲形涵洞内的水流流线则呈曲线运动。

3. 直线涵洞内任一断面的水面为一直线，并且理论上是水平的。曲形涵洞内任一断面的水面呈一曲面，且涵洞底若两端在同一水平，则弯道外侧的水位高，水深大，弯道内侧的水位低，水深小。

4. 直线涵洞和曲形涵洞沿程水深的变化都可能形成壅水曲线或降水曲线。

5. 直线涵洞渠道断面属棱柱体渠道，其过水断面面积仅与水深有关。曲形涵洞渠道断面属柱非棱体渠道，其过水断面面积不仅与水深有关，而且与流程长度有关。

6. 直线涵洞水流对流速的影响属二元流性质。曲形涵洞对流速的影响属三元流性质。

7. 直线涵洞的水流存在液体的重力作用和液体运动时与洞身的摩阻力等作用，对涵洞两侧产生等同的侧压力，曲形涵洞的水流，除了上述的液体重力和运动时的摩阻力外，还有液体运动时的离心力作用，同时对涵洞两侧产生大小不同的侧压力。

8. 曲形涵洞的水流，比直线涵洞的水流对建筑物有较大

的冲刷力，同时在涵内易形成淤积。

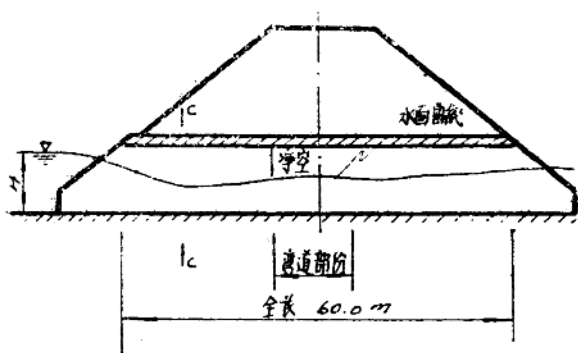
三、计 算 原 则

从直线涵洞和曲形涵洞水流性状的分析中，总的来说，曲形涵内的水力特性和水力计标在理论上要复杂得多。正如分析结论所说，弯涵水流属非均匀性急变流，其断面属非棱柱体明渠，并因水流变化复杂，断面上各点流速有三元流性质。一般分析，工程明渠水流，非均匀流比均匀流复杂得多，而非均匀流中的急变流又比渐变流复杂，非棱柱体渠道水流且具有三元流性质则更为复杂。因此单纯从理论上进行探讨，还没有现成资料和现成公式可供应用。如果从大量的模拟实验中求得必要的资料和参数，则受设备、财力等限制，也没有那种必要。为从实用目的出发，避开纯理论的研究，利用某些近似公式和有关模拟实验数据，简化计标方法，同样可以求得合用的成果。并结合已建成的某些曲形涵洞，调查实际水流通过情况，予以验证。现用铁路“石及混凝土涵洞”标准设计“专桥-5004”为依据，从洞宽 $D = 1.5 \sim 6.0\text{m}$ 的拱形涵洞，按原设计规定的设计流量、流速及其它水力数据，在不改变原设计的结构、型式等基础上，以涵洞长度为 60m 作算例，在涵长中部 30m 处设置弯道，转角 θ 分别从 10° 到 45° ，以每 5° 为一级差，采用弯道半径 10m 及 15m ，分别进行水头损失 (h_w)、涵洞净空占总面的比值 (λ)、边墙增高 (Δd)、回水长度 ($\Sigma \Delta S$)，回水到收缩断面处的水深 (h) 及流量折减系数 (K)，按原设计类型分入口抬高式和不抬高式两类进行计算，使了解有关数据、公式及简单原理的应用。

四、计 算 内 容

(一) 曲形涵洞水头损失计标

一般建涵前直线渠道水流为均匀流，建涵后由于水流受涵前建筑物的挤压，涵前壅水，水位提高，原来均匀流的正常水深在涵洞附近即发生变化。水面线由直线变为曲线，水流由于侧向收缩的影响，形成进口后水面跌落，如图—5。



图—5

因此涵内水流形成非均匀流，总水头线与水面线互不平行且都为曲线，洞内水流在运动过程中，因液体粘滞性作用，产生水流阻力及涵内存在弯道后水流急变的情况下，也产生阻力。克服这些阻力所消耗的机械能，造成水头损失如图—6。

图中 V_1 , V_2 分别为水流断面 1—1 和 2—2 的平均流速, a_1, a_2 为反映相应断面之间差别的动能改正系数 (a_1, a_2 一般因接近于 1, 计标时可取其值为 1)。 h_w 为断面 1—1

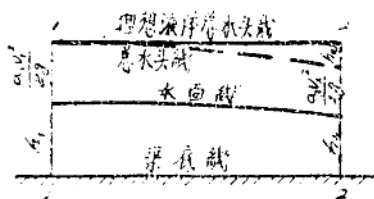


图-6

和 2—2 间的水头损失，其中有因水流受到涵洞边壁的阻碍作用和水流内部存在粘滞性产生的阻力所造成的水头损失，即沿程水头损失 h_f ，另外因涵内存在曲线，水流方向急剧变化，流线发生弯曲，主流脱离边壁，或形成旋涡以及流速分布的改组过程中，水流质点碰撞摩擦做功，消耗能量造成局部水头损失 h_j 。一般涵洞中的水头损失都包括沿程水头损失，同时包括局部水头损失。但可以把二者看成互不干扰，各自独立作用的，这就是水头损失的叠加原则。即：

$$h_w = h_f + h_j \quad (1)$$

在计标中，以上述“专桥-5004”标准图为依据，用涵长为 60m，在中间设置弯道，在通过设计流量 Q_P 和最大流量 Q_{max} 时，原设计已经考虑了沿程水头的损失，因此只考虑加设弯道后所造成的局部水头的损失，并用 h_w 表示，由于曲形涵洞水流为急变流，作用在边界上的动水压强，不易确定，仅作近似分析计标，局部水头损失可以用流速水头 $\frac{V^2}{2g}$ 和阻力系数 ζ 的乘积来表示，即：

$$h_w = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

式中 ξ ——阻力系数，由试验测定或根据试验指标求得。

弯道水头损失 h_w 常用下二种计算方法。

1. 苏联罗索夫斯基 (ПОСОВСКИЙ) 对明渠弯道水流推得的能量损失系数

$$h_w = \left[24 \sqrt{\frac{g}{C}} + 60 \frac{g}{C^2} \right] \left(\frac{h}{r} \right)^2 \frac{\vartheta}{h} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

2. 一般常用明渠弯道水头损失系数

$$h_w = \frac{19.62 \vartheta}{C^2 R} \left(1 + \sqrt{\frac{b}{r}} \right) \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

V ——涵洞内断面平均流速 (m/s) 在附录“专桥-5004 水力性质表”中可查得；

h ——涵洞本身净高 (m)；

g ——重力加速度，采用 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ；

R ——水力半径 (m)；

C ——谢才系数；

b ——水面宽度 (m)，均用涵洞宽 D 计标；

r ——涵洞轴线的弯曲半径 (m)；

ϑ 弯道轴线长度 (m)， $\vartheta = \frac{\theta}{180} \pi r$ ；

θ ——弯道转角，如图—7。

水头损失系数计标举例：

计标入口抬高式

$D = 2.5 \text{ m}$