

曲线 梁桥 计算

孙广华 著

人民交通出版社



曲线梁桥计算

Quxian Liangqiao Jisuan

孙广华 著

人民交通出版社

(京)新登字091号

内 容 提 要

本书共分两篇。第一篇系统介绍了圆弧曲杆有限单元法、曲线梁桥冲击系数算法、重力、非重力荷载下曲线梁桥内力横向分配算法。第二篇介绍了曲线梁桥预应力钢筋摩擦应力损失计算方法和曲线梁桥预应力钢筋合力重心线的计算方法。上述方法应用方便、总体精度高、计算速度快,广泛应用于我国曲线梁桥的设计。

本书可供桥梁专业教学、研究和设计人员应用参考。

曲线梁桥计算

孙广华 著

插图设计:王惠茹 正文设计:崔凤莲 责任校对:张莹

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

三河曙光印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 8.875 字数: 200 千

1995年2月 第1版

1995年2月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4000册 定价: 14.00 元

ISBN 7-114-01935-8

U·91323

前 言

1982年至1992年,作者在东南大学交通运输系从事桥梁工程教学与科研时,曾对平面曲线梁桥的设计理论进行了深入系统的研究。本书就是这些研究工作的总结。

书中第一篇重点介绍平面曲线梁桥的内力横向分配算法。作者依据平板(厚板)梁模型、半波正弦荷载的等作用量原则和内力(而非荷载)横向分配原则建立的这套算法,是对直梁桥荷载横向分配理论的重要推广,它适用于直梁、曲梁,开口截面、闭口截面、不对称截面,重力荷载和非重力荷载,成为一套完整的梁式桥设计理论。对于曲线梁桥冲击系数和钢筋混凝土曲线梁桥配筋计算,作者也提出了有说服力而且简单的算法。这些方法已编制成计算机程序,并已在国内广泛应用。

第二篇介绍曲线梁桥预应力钢筋位置的计算方法。其核心内容是作者提出的梁式桥预应力钢筋重心线的保压力线变换概念和定理。这个定理的理论意义在于,它把梁式桥预应力钢筋位置的设计,由传统的验算过程转变为求解过程。它有可能为梁式桥的预应力设计带来重要革新,虽然还要再做一些工作,但是轮廓前景已经可以看出来。顺便提及,在本书行将出版时,另一套以验算过程计算预应力平面曲线梁桥,考虑分阶段施工和各项应力损失的程序已由作者发展出来,并应用于实际设计。

作者深信,本书所介绍的方法,是发展梁式桥CAD系统最好的理论基础,在这个基础上开发梁式桥CAD,难度小,工作量小,适用面广。

对桥梁力学有兴趣的大学生和年青的工程师们，如果能从本书悟出一点研究复杂力学问题的思想、方法，作者将感到无比欣慰。

作者的研究工作曾得到恩师李国豪教授(同济大学)和丁大钧教授(东南大学)的支持，得到国内许多设计院同行们的支持，东南大学其他许多老师以及学生也都曾给以各种形式的帮助和鼓励。在此，谨向上述前辈、老师、同行、学生致以衷心感谢！

作者同时向亲爱的夫人朱莲芳女士表示深深的谢意！由于她多年来的支持、奉献与鞭策，使我顺利地完成了这本书的编写。

1994年11月

于珠海市

目 录

第一篇 曲线梁桥力学分析与 钢筋混凝土曲梁配筋计算

第一章	绪论	1
§ 1.1	曲线梁桥在交通工程中的地位	1
§ 1.2	曲线梁桥设计与施工中的主要问题	4
§ 1.3	我国在曲线梁桥设计科研中的成绩	5
第二章	计算曲线梁桥内力和变形的有限单元法	7
§ 2.1	圆弧曲杆的变形微分方程	7
§ 2.2	解析方法简介	16
§ 2.3	有限单元法计算曲线梁纵向影响线	19
§ 2.4	曲线梁桥横截面拟定及桥梁宽度对内力计 算精度的影响	31
§ 2.5	曲线梁桥的冲击系数	35
第三章	重力荷载下曲线梁桥的内力横向分配算法	42
§ 3.1	开口截面曲线梁的内力横向分配算法	42
§ 3.2	刚性截面法计算曲线梁内力横向分配算法	58
§ 3.3	考虑横截面弹性变形的箱形梁桥内力横向 分配算法	67
§ 3.4	内扭矩的横向分配与剪应力计算	85
§ 3.5	活载与恒载下内力的横向分配	91
第四章	非重力荷载下平面曲线梁的内力及内力横	

向分配.....	104
§ 4.1 温度升降、混凝土收缩内力.....	104
§ 4.2 水平温度力与曲线梁桥设计.....	110
§ 4.3 太阳照射、支座不均匀沉降内力.....	119
第五章 预设支座偏心法改善曲线梁桥内力.....	131
§ 5.1 原理及适用条件.....	131
§ 5.2 用刚臂模拟支座偏心.....	133
§ 5.3 与刚臂相连的圆弧曲杆单元刚度矩阵.....	136
§ 5.4 支座偏心对内力的影响.....	137
§ 5.5 偏心距的选择.....	141
第六章 钢筋混凝土曲线梁桥的配筋计算.....	144
§ 6.1 工型截面抗弯强度计算.....	145
§ 6.2 工型截面剪扭强度计算.....	146
第七章 曲线梁桥力学分析程序及配筋程序简介.....	166
§ 7.1 曲线梁桥力学分析程序.....	166
§ 7.2 钢筋混凝土曲线梁桥配筋程序.....	168

第二篇 预应力混凝土 平面曲线梁桥计算

第八章 绪论.....	170
§ 8.1 预应力平面曲线梁桥设计中的若干问题.....	170
§ 8.2 国外预应力混凝土曲线梁桥研究与设计概况...	172
§ 8.3 本篇的研究重点与工作基础.....	175
第九章 单主梁、常数预加力情况	183
§ 9.1 情况与假定.....	183
§ 9.2 预应力索对曲梁的作用力.....	185
§ 9.3 预应力在曲梁中产生的弯矩与压力线.....	188

§ 9.4	预应力钢筋合力重心线的保压力线变换·····	189
§ 9.5	曲线梁桥预应力钢筋合力重心线的设计方法·····	198
§ 9.6	压力线的选择·····	202
§ 9.7	保压力线变换方法的名称与精度的讨论·····	203
§ 9.8	保压力线变换方法在直梁桥设计中的应用·····	206
第十章	单主梁、非常数预加力情况 ·····	211
§ 10.1	情况与假定·····	211
§ 10.2	两类节点及预应力索对曲梁的作用力·····	212
§ 10.3	预应力弯矩与压力线·····	216
§ 10.4	单主梁、非常数预加力情况下的保压力线变换·····	217
§ 10.5	非常数预加力与压力线的选择·····	219
第十一章	多主梁、非常数预加力情况 ·····	225
§ 11.1	基本问题·····	225
§ 11.2	力学模型与符号·····	225
§ 11.3	预应力弯矩与压力线·····	228
§ 11.4	多主梁、非常数预加力情况下的保压力线变换·····	229
第十二章	斜腹板箱形截面曲线梁桥 ·····	239
§ 12.1	基本问题·····	239
§ 12.2	斜腹板内预应力索的作用力·····	240
§ 12.3	预应力弯矩与压力线·····	242
§ 12.4	斜腹板情况下预应力钢筋合力重心线计算·····	243
第十三章	弹性支座及任意平面形状梁式桥 ·····	250
§ 13.1	弹性支座·····	250
§ 13.2	任意平面形状梁式桥·····	252

第十四章 减小运算过程中矩阵体积的途径	255
§ 14.1 必要性	255
§ 14.2 利用桥梁在跨径方向的对称性	255
§ 14.3 利用子结构法	257
第十五章 关于保压力线变换方法的几点总结	259
第十六章 曲线梁桥预应力摩擦损失计算	262
§ 16.1 空间曲线的几何特性——挠率与曲率	262
§ 16.2 空间曲线的切线转角与曲线长度	266
§ 16.3 局部偏差系数与摩擦系数的取值	268
附录 梁式桥预应力设计软件系统框图	272
参考文献	273

第一篇 曲线梁桥力学分析与 钢筋混凝土曲梁配筋计算

第一章 绪 论

§ 1.1 曲线梁桥在交通工程中的地位

曲线梁桥是现代交通工程中的一种重要桥型。高等级公路的设计要求中小桥梁的平面布置服从公路线形,因此曲线梁桥和斜交桥非常多。在公路及城市道路的立体交叉工程中,曲线梁桥是实现各方向交通联结的必要手段(如图 1-1)。高大的桥梁两端的引桥,往往采用曲线梁桥(如图 1-2)。在山区公路的选线设计中,若能在必要的地段采用曲线梁桥,则可能大大减少展线长度,获得可观的经济效益(如图 1-3)。目前

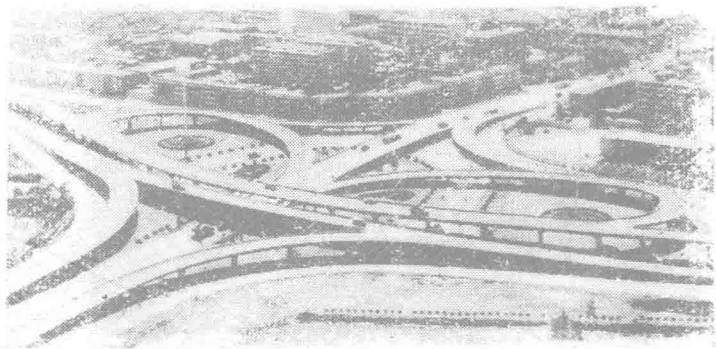


图 1-1 天津中山门立交桥(天津市政设计院供图)

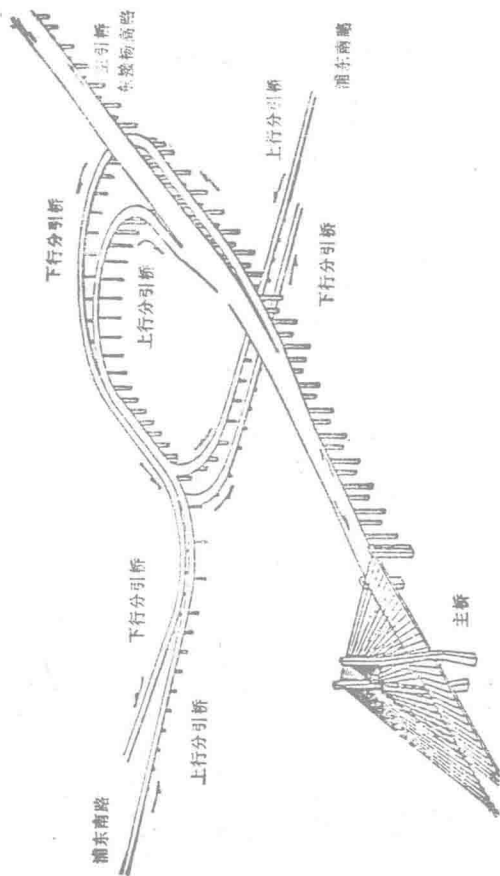


图 1-2 上海南浦大桥浦东引桥

我国各地各等级的公路中,都存在有路与桥直角联结、桥头道路展线困难的情况,既影响路、桥的通行能力,又影响行车安全。在这些地方,如改建为曲线梁桥,必能使交通状况大大改善。可以肯定地说,随着交通事业的发展,在新建公路、改建公路以及城市道路中,必定会有越来越多的曲线梁桥建造起来。

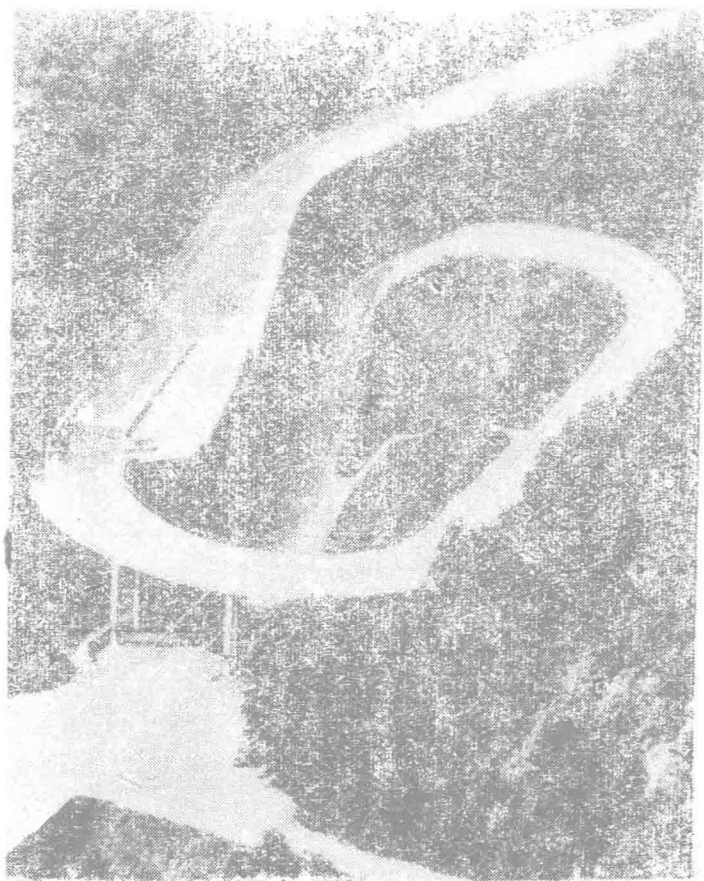


图 1-3 山区公路中的曲线梁桥

§ 1.2 曲线梁桥设计与施工 中的主要问题

曲线梁桥设计中存在的主要问题是力学分析。这个问题又可分为两个部分:

第一,要找到一种精度高、计算速度快、应用方便的力学分析方法。在计算技术高度发达的今天,对任何确定的结构物都可以进行高精度的内力分析。不过对于桥梁来说,由于活荷载的位置、个数、量值等等的可变性,若用通用的有限单元法来计算桥梁各部位的最大最小内力,工作量将十分巨大。除非特别重要并且力学体系复杂的桥梁,总是避免采用通用的有限元分析法。所以,从设计角度讲,对曲线梁桥要研究快速计算的方法,具体来说,就是要研究适当的内力横向分配法。在这方面国内已经较早、较多地进行了研究。

第二,不但要研究曲线梁桥的快速分析方法,还要研制相应的分析手段,即计算机软件。因为即便是十分简化的曲线梁桥计算方法,仍是十分复杂。没有相应的计算机软件,任何好的计算方法都难以在工程实践中应用。

曲线梁桥施工一般要采用有支架的现浇法,这种方法工期长、造价高,而直梁桥广泛应用的预制拼装施工法,在曲线梁桥中较难采用。若采用预制(顺桥向划分成若干梁条)拼装施工,则应注意解决以下两个问题:第一,应正确计算各梁条在自重力作用下的挠度和扭转角,以便设置适当的预拱度,同时各梁条之间应预留一定宽度的现浇带,以适应各梁条变形不等所造成的错位;第二,采取措施防止梁条在架设过程中翻转,如在跨中设临时支撑、梁端设临时的抗拔锚固等。不管采用什么施工方法,曲线梁桥的施工期、施工费用都会比同样跨

径的直梁桥长些、高些。但是在曲线梁上费用的稍微增加,会在其它方面得到补偿,如行车条件改善、道路长度缩短等等。

§ 1.3 我国在曲线梁桥设计 科研中的成绩

近 10 多年来,我国的交通事业有了迅速的发展,曲线梁桥也在我国从无到有地发展起来。广州、北京、天津、大连、厦门、南京、青岛、太原等许多城市都较早地修建了由曲线梁组成的大型立交桥。其中天津市中山门蝶形立交桥在满足交通功能要求的前提下,占地面积较小,造价低,造型优美、线条流畅,是我国城市立交桥中的杰作。这些曲线梁中,矩形截面、箱形截面、外高内低的左右不对称截面都有。在平面布置方面,最小中心半径 25m,有单跨或多跨连续的,也有闭合圆环式的。在材料方面,有普通钢筋混凝土的,也有预应力混凝土的。在施工方法上,大部分采用支架上现浇法,也有采用悬臂浇筑法、顶推法和预制拼装法的。总之,从设计到施工,形式丰富多彩,显示了我国桥梁工作者可贵的创造与探索精神。

在国内开始大量建造曲线梁桥之前,我国不少高等院校、科研单位就已经开始了有关理论的研究,从国外引进并继续发展了有限条分析方法,建立了基于曲杆(弹性薄壁杆)或平面格构模型的专用分析程序,提出了包括本书内容在内的一整套曲线梁桥内力横向分配算法,研制了相应的曲线梁桥力学分析程序,这些成果都已用于或广泛用于桥梁工程设计中,收到了较好的效果。另外,还进行了数目较多的曲线梁桥模型实验和实桥测试,这些实验及测试成果验证了理论成果,丰富了我们对于曲线梁桥力学特征的了解。可以肯定地说,我国在

曲线梁桥设计理论的研究方面,有许多创新,达到了相当实用的阶段和较高的水平,比之国外在这方面的成就毫不逊色。我国的广大桥梁工作者,应该充分利用这些成果,在道路、桥梁的设计中充分显示曲线梁桥的优越性。

第二章 计算曲线梁桥内力和变形的有限单元法

曲线梁桥的上部结构如果可以被简化为一根弧形的杆件,即弹性薄壁杆件,将会大大简化它的力学分析。原苏联已故学者伏拉索夫(В. З. Власов)在创立弹性薄壁理论时,引进了以下基本假定:

1. 杆件壁厚与杆件横截面的最小尺寸相比,要足够小(小于 $1/10$);
2. 横截面最大尺寸与杆件长度相比,要足够小(小于 $1/10$);
3. 对于弧形杆件,横截面最大尺寸与杆件剪力中心线半径相比,要足够小(小于 $1/10$);
4. 横截面形状与尺寸沿杆长度不变。

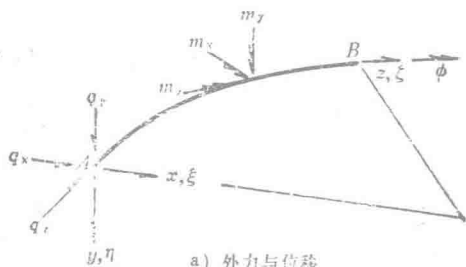
如果这些条件能够满足,就可以认为杆件的横截面是刚性不变形的,从而能建立杆件的变形微分方程。作为桥梁结构,特别是钢筋混凝土或预应力混凝土的曲线梁桥,常常不能满足上述第 2、3 条假定。但是,用弹性薄壁杆理论与有限单元法相结合分析曲线梁桥,简单可靠,误差也不大,故在实践中普遍采用。

§ 2.1 圆弧曲杆的变形微分方程

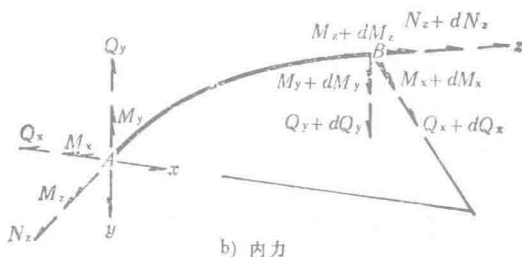
§ 2.1.1 坐标与符号

图 2-1 中的弧线 AB 表示位于曲线坐标系 xyz 中的圆

弧曲杆微段, z 轴沿弧长方向, x 轴沿半径方向。



a) 外力与位移



b) 内力

图 2-1 外力、内力、位移符号及正方向

沿弧长 AB 作用有任意分布力 q_x, q_y, q_z 和任意分布力矩 m_x, m_y, m_z , 分布力矩的量纲是 $N \cdot m/m$ 。

杆端 A 的线位移为 ξ, η, ζ , 分别位于 x, y, z 方向上, 杆端 A 绕 z 轴的扭转角为 ϕ 。杆端 B 的线位移为 $\xi + d\xi, \eta + d\eta, \zeta + d\zeta$, 扭转角为 $\phi + d\phi$ 。

以上外荷载和位移的矢量, 凡与坐标轴一致的, 都为正。

圆弧曲杆的弯矩 M_x (绕 x 轴) 以使杆件下沿受拉为正, 弯矩 M_y (绕 y 轴) 以使曲杆外侧受拉为正, 扭矩 T_z 以其矢量沿 z 轴以杆内指向杆外为正, 轴向力 N_z 以使杆件受拉力为正。剪力 Q_x, Q_y 的正方向规定见图 2-1。简单地说, 当曲线坐标轴 z 是由 A 指向 B 时, 如果这些内力的矢量在 B 端与