

混凝土斜梁桥

黄平明 编著



● 人民交通出版社

混凝土斜梁桥

Hunningtu Xieliangqiao

黄平明 编著

人民交通出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土斜梁桥 / 黄平明编著. — 北京: 人民交通出版社, 1999.5

ISBN 7-114-03364-8

I. 混… II. 黄… III. 混凝土桥; 斜拉桥; 梁桥 IV. U448.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 18179 号

混凝土斜梁桥

黄平明 编著

版式设计: 刘晓方 责任校对: 刘素燕 责任印制: 张 凯

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

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 9.625 字数: 230 千

1999 年 5 月 第 1 版

1999 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3500 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-114-03364-8

U · 02411

内 容 提 要

本书系统介绍了单跨斜梁桥及连续斜梁桥的单梁算法,荷载横向分布算法,预应力混凝土斜梁预加力作用下的内力、次内力计算,混凝土斜梁桥的力学特点、构造特点、施工特点,还对如何进行钢筋混凝土及预应力混凝土斜梁桥设计提出了设计原则和方法等。

本书可供桥梁工程技术人员和大专院校的师生学习和参考。

前 言

中国公路交通近 20 年的高速发展,促进了弯梁桥与斜梁桥的大规模建造。1994 年出版的邵容光教授的《混凝土弯梁桥》与姚玲森教授的《曲线梁》等著作一起,构成了较为完善的弯梁桥理论体系,有效地促进了中国弯梁桥的进一步发展,而在斜梁桥方面,其理论体系的建立却要滞后于中国的桥梁建设。笔者于 1992 年在东南大学师从邵容光教授,着手系统研究斜梁桥。在此之前,斜梁结构分析已取得一定成果。1995 年夏淦、邵容光教授的《斜梁结构分析》的出版为斜梁桥理论体系的建立打下了良好的理论基础。本书就是在这种背景下完成的。

本书共分八章:第一章、第二章介绍了混凝土斜梁桥的基本概念及其特点;第三章、第四章是关于斜梁桥的单梁计算方法;第五章主要介绍了包括斜梁桥各类荷载横向分布计算方法及荷载分布特点;第六章论述了斜梁桥的横向刚度、反力分布及平面位移等特殊点;第七章介绍了斜梁桥的有机玻璃模型试验;第八章的主要内容为预加力引起的内力、次内力以及如何进行钢筋混凝土及预应力混凝土斜梁桥设计等。全书由杨炳成、邵容光教授主审。

由于斜梁桥的特殊性,对其计算已很难像正交桥那样能用手工方式完成。在成书过程中,也完成了斜梁桥分析计算程序,由于篇幅所限,准备随后介绍。

本书在编写时,得到了江苏省交通规划设计院丁军华、孙大才,交通部第一公路设计院魏广胜、刘景刚,西安公路交通大学杨炳成,东南大学邓学钧、叶见曙,扬州市公路处蒋爱祥等同志的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。特别应感谢邵容光教授为本书倾注了大量心血。

本书涉及面较广,在某些方面还不完全成熟或正在演化发展过程中,尽管作者进行了一定努力,但水平所限,难免会有错误,希望广大读者不吝指正,并请与西安公路交通大学桥隧研究所联系(710064)。

黄平明

1999.2

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 斜梁桥的发展与现状	1
1.1.1 背景	1
1.1.2 国外的状况	2
1.1.3 国内的状况	4
1.2 斜桥的基本概念及分类	7
1.2.1 基本概念	7
1.2.2 斜桥分类	9
第 2 章 斜梁桥特点及实例	12
2.1 斜梁桥特点	12
2.1.1 斜梁桥的力学特点	12
2.1.2 斜梁桥的构造特点	15
2.1.3 斜梁桥的施工特点	17
2.2 工程实例	19
第 3 章 单跨斜支承梁计算方法	35
3.1 单跨斜支承梁 ESS 模式	36
3.1.1 ESS 模式的建立	36
3.1.2 支承刚度计算	39
3.1.3 ESS 模式的求解	46
3.1.4 ESS 模式的一些特点	54
3.2 单跨斜支承梁 RSS 模式	54
3.2.1 单跨斜梁的内力与反力	54
3.2.2 单跨斜梁的变形计算	62
3.3 斜梁影响因素分析	75

3.3.1	支承刚度对斜梁的影响	75
3.3.2	弯扭刚度比对斜梁的影响	78
3.3.3	斜度对内力的影响	80
3.4	结论	82
第4章	连续斜支承梁计算方法	84
4.1	连续斜支承梁的 ESC 模式	84
4.1.1	概述	84
4.1.2	ESC 模式的建立及求解	85
4.2	连续斜箱梁桥的统一计算模式	92
4.2.1	概述	92
4.2.2	计算图式	92
4.2.3	支承刚度	94
4.2.4	数例	98
4.2.5	小结	101
4.3	连续斜支承梁的三力矩方程法	101
4.3.1	三力矩方程	101
4.3.2	连续斜梁的内力与变形	106
4.3.3	数例	109
4.4	连续斜梁的影响因素分析	114
第5章	荷载横向分布计算方法	119
5.1	弹性横梁——相干支承法	120
5.1.1	荷载横向分布的计算方法	120
5.1.2	刚度矩阵 $[K_{RT}]$ 及 $[K_C]$	124
5.1.3	不同类型斜梁桥荷载横向分布	127
5.1.4	结论	141
5.2	刚性横梁法	142
5.2.1	荷载横向分布计算公式	143
5.2.2	数例	146
5.3	铰接斜梁(板)的荷载横向分布计算	150
5.3.1	荷载分布计算法	150

5.3.2 数例	154
5.4 广义刚接梁(板)法及荷载分布沿桥跨的变化	159
5.4.1 概述	159
5.4.2 力法方程的建立	160
5.4.3 计算荷载横向分布的方法	165
5.4.4 荷载横向分布沿桥跨的变化	167
5.4.5 结论	180
5.5 斜梁桥横梁的设计计算	180
5.5.1 计算图式	181
5.5.2 斜梁桥横梁的受力特点	182
5.5.3 设计计算建议	185
第6章 斜梁桥的几个特殊问题	187
6.1 斜梁桥的横向刚度	187
6.1.1 概述	187
6.1.2 正交中横梁与阶梯中横梁	189
6.1.3 合理横向刚度研究	192
6.1.4 小结	202
6.2 斜梁桥的反力特性	203
6.2.1 支承反力的分布	203
6.2.2 斜梁桥的反力特征	206
6.3 斜板梁桥的平面位移	207
6.3.1 力与变形的关系	208
6.3.2 特定条件下求解	214
6.3.3 由温度变化,混凝土收缩、徐变和预加力产生的位移计算	215
6.3.4 墩柱和橡胶支座的合变形和合内力	217
6.3.5 数例	218
第7章 模型试验	221
7.1 试验装置及主要测试内容	222
7.2 主梁纵向弯矩	225

7.3 主梁挠度	230
7.4 支座反力与位移	235
7.4.1 反力平衡	235
7.4.2 反力分布	236
7.4.3 锐角支承的位移	238
7.4.4 小结	239
7.5 跨中截面的扭矩分布	239
7.6 “爬移”现象初探	240
第8章 工程设计概要	242
8.1 预加力引起的内力及次内力	242
8.1.1 单跨斜梁预加力引起的内力与次内力	242
8.1.2 连续斜梁预加力引起的内力与次内力	255
8.2 预应力斜梁设计	258
8.2.1 吻合束问题	258
8.2.2 线性变换	260
8.2.3 利用合理配束抵消特定荷载	262
8.2.4 钢筋混凝土构件弯、剪、扭复合受力下的钢 筋设计	263
8.2.5 预应力混凝土弯、剪、扭复合受力构件钢筋 设计	268
8.2.6 预应力混凝土斜梁桥的配束总结	272
8.3 工程设计建议	272
8.3.1 主梁	272
8.3.2 横梁	273
8.3.3 支座	273
8.3.4 其它	274
附表	275
参考文献	294

第1章 概 论

1.1 斜梁桥的发展与现状

1.1.1 背 景

中国国民经济持续稳定的增长和综合国力的增强,带动了高等级公路及城市立体交通的全面发展。自 80 年代以后,斜桥建设进入了实质性的高潮。公路城市建设部门一改过去路线走向服从桥梁的思维方式,使得斜弯结构的桥梁在构造物中的比重越来越大,尤其是高等级公路中的斜梁桥有很大的数量,这就为工程部门提出了许多新的难题。对设计部门来说,斜弯桥设计是非常棘手的事情,一是设计难度大,二是设计周期长。目前设计部门常采用通用结构程序分析斜弯桥结构的内力,这样不仅费时、费机、费力,同时通用程序并不能有效地解决边界条件问题,动态加载也难以实现。更重要的是,对斜桥中的许多关键问题仍然认识模糊。故对斜桥诸多问题如设计理论与方法、力学特点、构造特点、施工要点等的解决就显得非常紧迫、重要。

到目前为止,正桥理论已发展得非常完善。在弯桥方面,姚玲森教授的《曲线梁》及邵容光教授的《混凝土弯梁桥》等著作已共同组成了一个较为完善的理论体系。斜梁桥的理论体系尚未形成,以往的研究大都是分散而零碎的,无论是理论解析或是在数值解析方面都处在研究阶段,尚未能提出作为设计计算的确定方法。直到目前为止,中国尚无一部关于斜梁桥的专著,这就显出对斜桥

研究及认识非常不足。

正、弯桥理论的进一步发展完善,特别是弯梁桥理论的形成成为斜梁桥理论体系的建立奠定了坚实的基础。

正是基于以上这些原因,对斜梁桥设计理论及方法的研究,以及对斜梁桥诸多特性的认识是有很大的理论意义和工程实际意义的。

1.1.2 国外的状况

根据所能查阅到的文献和联机检索(1974 年至今)所得资料,国外对斜梁桥的研究也不够成熟,而且时间跨度非常大,最早的研究可以追溯到 1948 年。而直到现在,对斜桥的研究也没有停滞。但尽管如此,历史上也并没有在某一时期出现研究高潮。

对斜桥设计理论及方法的研究大致有以下几种方法:

- ①实验的方法;
- ②数值解析法;
- ③对正桥理论进行修正的方法;
- ④统计的方法。

最早的试验为 Newmark 等于 1948 年所做的 5 个 1/4 比例模型试验,结构为单跨简支多梁式斜梁桥,由于当时条件的限制,并没有为日后斜梁桥的设计提供很多的建议。

文献[3]是迄今为止最为著名的斜梁桥试验。这一试验历时 4 年(1977 ~ 1980 年),耗资 38.4 万美元。该试验模型比例为 1:2.82,二跨连续箱梁,单箱 4 室断面,仅左孔设有阶梯形中隔板,斜度为 45°,测试荷载包括恒载、使用荷载、超载(即全过程测试),端支承为简支,中支承为单点固结支承。

文献[3]用二种程序对试验结果进行分析:一为 CELL 单元,计算结果视为精确;另一程序为 SAP,单元模式为三维框架单元,它把结构拟化为端部抗扭支承(端隔板抗弯刚度无穷大),中支承为柱支承,偏心荷载通过伸出的刚臂来传递。两种计算结果与试验数据对纵向效应来说都符合得很好,但 SAP 不能解决横向效应问题。

该试验得到如下重要结论:

①跨中最大正弯矩和中支点负弯矩在恒载作用下均小于正桥和弯桥。

②恒载下的最大挠度发生在跨中与钝角支承之间。

③斜桥对荷载位置非常敏感,荷载靠近钝角边中部时,跨中最大弯矩比正桥要小,但在反向位置时比正桥要大。正桥的荷载横向分布理论对斜桥不再适用。

④中隔板的影响不显著。

在数值解析法中,差分法在早期斜交结构分析中应用得较多。现在常用的如薄壁理论、折板理论、有限条法、有限元法、样条子域法、Vlasov 法(广义坐标法)、纽马克数值法等。

Chen 等(1957)用变分法对肋梁板桥进行了分析。通过对不同的梁板刚度比、不同横梁跨度、不同跨径斜梁桥的分析,提出了弯矩及挠度影响系数。

Herdry 和 Jaeger(1957)用格构法分析斜梁桥的荷载分布。在格构法中,主梁及桥面板被拟化为理想的梁单元格构。

Gustafson (1966)提出了有限元矩阵法以分析刚性斜板,并用这种方法分析了二个斜肋梁板桥。

Gustafson 和 Wright(1968)用平行四边形板单元及偏心梁单元对有钢工字梁的组合斜梁进行分析,对斜度及中横梁单元的影响也有论证,但在边界上不能满足斜向相容条件,而且研究并未涉及到荷载分布问题。

自此以后,有限元与计算机才结合起来对斜桥进行分析研究。计算机技术的发展,使得各种数值解析法有效地被利用起来。

文献[8]、[36]、[37]均是用有限元法对多座单跨斜支承肋梁板桥进行分析,并给出荷载分布系数。荷载分布系数与主梁跨径、斜度、横梁跨度等有关。通过这些影响因素对正桥横向分配计算法进行修正,或是给出一个设计标准。

文献[7]则对多跨连续梁桥的弯矩折减进行了分析。分析方法同文献[8]等文。文献[7]专门分析了跨径从 24.4 ~ 36.6m、斜度 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、主梁间距 1.8 ~ 2.7m 的连续斜梁桥的活载纵向弯矩,

共统计了 112 座桥,在斜度 60° 的情况下,内梁纵向最大正弯矩为正桥的 71%,外梁为正桥的 80%,在 AASHTO 荷载作用下,边梁弯矩折减 20%。

自进入 80 年代以后,国外的研究趋势集中表现在用现有的通用程序(如 SAP V、ADINA)对斜梁桥进行分析。

在荷载横向分布研究方面,也还是沿着正交桥的思路,试图通过对正桥横向分布的计算方法进行修正。如 G—M 修正法、Hornberg 修正法、Newmark 法等。文献[17]是集各种修正方法之大成。这些方法对现在的研究及工程设计并无太大的指导意义,因为任何修正的方法都无法解决扭矩的横向分布问题。

在按正桥计算方面,文献[10]的思路是很有特色的。文献[10]完全把斜桥视为正桥,只改变荷载作用位置,即荷载横向位置不变,距支承边距离不变,以此为依据作用在相应的正桥上求解内力及位移。

国外在横向刚度研究方面,可查找的文献并不多。文献[6]研究了内横梁和主梁的相互作用,横梁由框架组成。研究表明过多的横梁是无益的。横梁中最大压力出现在框架对角线上(靠边梁、靠钝角处);最大拉力出现在跨中横向框架的弦杆上;斜度小于 20° 可以按正桥对待;过大的横梁对整个结构的挠度无影响;横梁愈大,其内力愈大。文献[14]的研究表明,横梁宜与纵梁正交布置,对全桥而言,这样的布置横向刚度最大。

工程方面,相对正桥、弯桥而言,由于不可能出现特大跨径及特长的斜桥,即斜桥一般只用在中小跨度的桥梁结构中,故不可能有非常“著名”的斜桥。有记载的斜梁桥在本世纪 50 年代初的前联邦德国。但斜板桥的出现还早些。斜桥的主要使用场合还是在高等级公路及立交结构上,故斜桥的发展是伴随着高速公路及城市立体交通发展而发展的。

1.1.3 国内的状况

我国对斜桥的研究主要是 80 年代以后的事情(70 年代也研

究过差分法求解斜桥),对斜桥的研究可以归纳以下几个特点:

①研究单位非常少。国内土木类主要刊物所载文章不过 40 篇,从事斜桥研究的人也还不多。

②研究力量相对分散。和国外的情况相同,国内也并未在某一时期内出现研究斜桥的高潮。

③研究的范围很窄。荷载横向分布的研究仍然是以修正正桥荷载横向分布计算方法为主,以斜梁理论为基础的荷载横向分布计算方法仅见于文献[23],对单梁分析也非常不足。

④研究与实际脱节。即使在斜板桥中,理论分析计算的反力分布与实际情况难以吻合,这就是说,边界条件的处理远不尽人意;斜梁桥中这一问题仍然很突出。长期以来人们对端横梁、中横梁的设置各抒己见,未形成统一认识。

国内对斜梁桥的研究主要有以下几个方面:

①荷载横向分布

文献[16]用有限元的方法对正斜桥进行计算后给出内力修正系数。文献[17]是国内进行横向分布计算的主要参考文献,但是它提出的许多修正法误差较大,且使用也很不方便。

文献[18]将横梁等效成桥面板,把支承处斜桥面板(三角形板条)视为主梁的弹性支承,把其余的矩形桥面板视为荷载横向分布的传力构造,梁轴变位、内力在峰值处(一个截面)满足相容条件,建立起以主梁单元为基本体系的超静定力学模式,从而对斜梁进行求解。这一方法的贡献主要在于对主梁刚度参数 β_s 、 r_s 进行修正后可按正桥计算荷载横向分布。

文献[23]是国内唯一一篇以斜梁理论为基础的荷载横向分布计算方法,其方法考虑了主梁弯扭耦合特性,与正桥中刚性横梁法原理相同,并首次提出了扭矩荷载分布的概念。

但荷载横向分布的研究,仍然是以对正桥理论进行修正为主,其研究远不如弯桥荷载横向分布那样彻底、完善、系统。

②单跨斜支承梁

文献[26]首次将抗扭转计算图式用于单跨斜箱梁的分析之

中。文献[32]明确表示,单跨斜支承梁在一般情况下承受弯曲与扭转,其弯矩和扭矩两者间的相互作用(耦合)取决于梁截面的弯扭刚度比和斜支承角度。文中对斜支承梁的承载性能进行了论证。

文献[24]在文献[26]、[32]的基础上将其计算图式扩展到各种斜度的单跨斜梁中,并对弯扭刚度比、斜度等影响因素有较深入的探讨,文中导出的反力、内力公式应用起来很方便。对单跨斜梁的研究,国内也仅限于此。

③连续斜支承梁

同单跨斜梁的研究一样,对连续斜梁的研究也很少,国内仅见文献[22]、[25]、[27]、[28]。

文献[27]为国内最早研究连续斜支承梁的文献,基本方法是将单跨斜梁的计算图式引入连续斜梁中,以中间支承处的主梁沿支承线方向的力矩为多余未知力,按力法求解。文献[25]在文献[27]的基础上对该方法系统化,并与正交连续梁的三力矩方程法结合在一起。

文献[22]是以位移法为基础求解连续斜梁(含斜支承刚架)的方法,并以支承处的独立位移为基本未知数。

文献[39]所分析的是连续斜梁中的一种特殊的连续梁,在此类连续斜梁中,中间支承可以不是抗扭支承,如单点铰支承。

在国内研究方面,“斜弯梁桥”课题组(东南大学交通运输工程系[现交通学院],江苏省交通规划设计院)自1991年开始着手较全面地对斜梁桥理论及其应用进行研究。到目前为止,课题组已完成其工作,研究已取得一定成果,这些成果总汇于文献[64]中。文献[64]主要有以下内容:

- ①单跨斜梁结构分析;
- ②A型连续斜梁结构分析;
- ③B型连续斜梁结构分析;
- ④荷载横向分布计算(刚性横梁法、拱支承法);
- ⑤其它求解斜梁的方法,如力矩分配法;

⑥对预加力、次内力有初步分析。

在斜桥工程应用方面,中国的起步非常晚。70年代后零星地修建过一些斜板桥,但此时的斜板桥均是采取整体现浇施工,斜度也不大,基本上也不设支座(简易的油毡支座)。也就是说,没有高速公路的时代,也基本上没有斜梁桥。只是到了80年代中期后才开始有了真正意义上的斜梁桥。而此时的斜板桥也开始采用预制装配的施工工艺。自90年代各大设计院均完成了自己的斜梁(板)桥通用图后,斜梁(板)桥才开始普遍使用。

1.2 斜桥的基本概念及分类

1.2.1 基本概念

1.斜度——指支承边(或支座连线)与桥轴线法线之间的小于 90° 的夹角,以 φ 表示(图1-1),它表示的是斜桥斜的程度。通常,一座单跨斜桥可能有2个斜度,而 n 跨连续斜梁桥可能有 $n+1$ 个斜度。斜度有正负之分,当支承边逆时针旋转至桥梁轴线的法线(右手法则)时,斜度为正,反之为负。

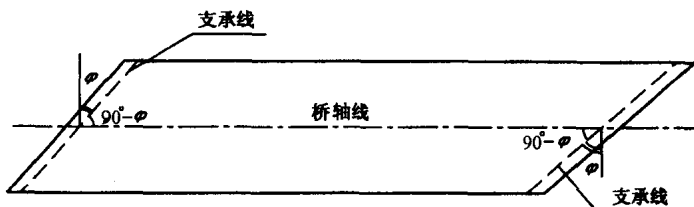


图 1-1 斜桥的斜度

2.斜交角——支承边与桥轴夹角(小于 90°),它与斜度互余,是相对“正交”这一概念的,它不体现斜桥斜的程度,不应将斜度与斜交角混淆。

3.单跨斜支承梁——支承方向不与轴线正交的单跨支承梁即为单跨斜支承梁或单跨斜主梁,简称斜梁。专业上宜称单跨斜支