

斜梁结构分析

夏 淦 邵容光 著

江苏科学技术出版社

序进行较详细的分析和推演,比较系统地给出了各种不同斜梁在典型荷载作用下的内力与变形的大量计算公式。为了清楚了解斜梁的受力特性以及便于实际应用,书中绘出了相当数量的各种类型曲线并给出了许多计算辅助用表。为了适应各种不同需要,扩大应用范围,书中既有适合于电算的方法,也有采用手算的方法。本书随后还介绍了斜梁由预加力、温度变化和支承变位引起的次内力计算方法。最后两章试图探讨解决单梁式斜箱梁桥和多梁式斜梁桥的设计计算问题。对于单梁式斜箱梁桥,书中提出了较实用的恒、活载内力计算方法,并给出了计算示例。对于多梁式斜梁桥,书中介绍了邢志成提出的刚性横梁法和著者提出的广义弹性支承连续梁法等两种实用方法来计算斜梁桥的荷载横向分布。

本书在撰写过程中得到了东南大学丁大钧教授和同济大学范立础教授的指点和鼓励,著者对此表示衷心的感谢。我们期望本书能对有关工程技术人员有所裨益,限于水平,不当之处,恳请批评指正。

著 者

1994年10月

斜梁结构分析

夏 淦 邵容光 著

出版发行:江苏科学技术出版社
经 销:江苏省新华书店
照 排:南京金花园轻印刷厂
印 刷:无锡春远印刷厂

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 14.25 插页 4 字数 350,000
1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷
印数 1—1,500 册

ISBN 7—5345—1987—X

TU · 41 定价:24.00 元

责任编辑 王永发

我社图书如有印装质量问题,可随时向承印厂调换

致 读 者

社会主义的根本任务是发展生产力,而社会生产力的发展必须依靠科学技术。当今世界已进入新科技革命的时代,科学技术的进步不仅是世界经济发展、社会进步和国家富强的决定因素,也是实现我国社会主义现代化的关键。

科技出版工作肩负着促进科技进步,推动科学技术转化为生产力的历史使命。为了更好地贯彻党中央提出的“把经济建设转到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来”的战略决策,进一步落实中共江苏省委、江苏省人民政府作出的“科技兴省”的决定,江苏科学技术出版社于1988年倡议筹建江苏省科技著作出版基金。在江苏省人民政府、省委宣传部、省科委、省新闻出版局负责同志和有关单位的大力支持下,经省政府批准,由省科学技术委员会、省出版总社和江苏科学技术出版社共同筹集,于1990年正式建立了“江苏省金陵科技著作出版基金”,用作支持自然科学范围内的符合条件的优秀科技著作的出版补助。

我们希望江苏省金陵科技著作出版基金的建立,能为优秀科技著作在江苏省及时出版创造条件,以通过出版工作这一“中介”,充分发挥科学技术作为第一生产力的作用,更好地为我国社会主义现代化建设和“科技兴省”服务;并能带动我省科技图书提高质量,促进科技出版事业的发展和繁荣。

建立出版基金是社会主义出版工作在改革中出现的新生事物,期待得到各方面给予热情扶持,在实践中不断总结经验,使它

逐步壮大和完善。更希望通过多种途径扩大这一基金,以支持更多的优秀科技著作的出版。

这次获得江苏省金陵科技著作出版基金补助出版的科技著作的顺利问世,还得到江苏联合信托投资公司的赞助和参加评审工作的教授、专家的大力支持,特此表示衷心的感谢!

江苏省金陵科技著作出版基金管理委员会

前 言

随着交通事业的不断发展,为了适应改善道路的线型,或者当线路受到建筑物及其他障碍物的限制时,往往需要修建斜支承梁式结构(简称斜梁结构或斜梁桥)。在某些情况下建造斜桥,不但能使整个线路美观流畅,而且能缩短桥长,节省投资和材料,提高经济效益,因此斜梁结构已广泛用于高等级公路、城市道路和立交枢纽中。据统计,在高速公路上斜桥的数量可达到整条线路桥梁总座数的40%~50%。因此,斜梁桥的结构分析等已成为国内外许多专家学者密切关注的课题之一。此外,在房屋建筑和某些特殊建筑中也常会遇到斜梁结构。

从广义上说,斜梁结构包括斜梁、斜交刚架等结构型式。虽然这种结构中的主要构件为直线形构件,但由于斜支承的存在导致其弯曲和扭转发生耦合,因而使其结构分析变得更加复杂。近年来国内陆陆续续发表了一些有关斜梁结构方面的研究论文,但较系统的研究成果极为罕见,迄今尚未见到系统地介绍斜梁结构分析方面的著作出版。随着高等级公路尤其是高速公路等在我国迅速发展,工程技术人员迫切需要对斜梁结构的受力性能等有比较全面的了解,并有既精确而又简便的实用计算理论和方法问世,本书正是为满足这一现实需要而编写的。近年来,著者对斜梁结构的受力性能、分析方法等做了较系统的研究,本书即是这些研究成果的总结,是在已发表有关论文的基础上增加大量尚未发表过的内容撰写而成。

本书首先系统地介绍了著者提出的斜梁结构的多种分析方法,按静定斜梁、超静定简支斜梁、连续斜梁和竖腿斜交刚架的顺序

目 录

第一章 概述	1
1.1 斜梁结构的型式	1
1.2 斜角与斜度的定义	2
1.3 基本假定及分析途径	2
第二章 静定斜梁的分析	5
2.1 静定斜梁的内力	5
2.1.1 静定斜梁的型式	5
2.1.2 正负号规定	6
2.1.3 典型荷载作用下的反力与内力	6
2.2 静定斜梁的变形	18
2.2.1 竖向集中荷载 P 作用下的变形	19
2.2.2 集中扭矩荷载 T^* 作用下的变形	22
2.2.3 其他典型荷载作用下的变形	24
第三章 超静定简支斜梁的分析	28
3.1 超静定简支斜梁的内力	28
3.1.1 竖向集中荷载 P 作用下的反力与内力	29
3.1.2 集中扭矩荷载 T^* 作用下的反力与内力	34
3.1.3 其他典型荷载作用下的反力与内力	37
3.1.4 几种特殊斜梁及其受力性能	42
3.2 超静定简支斜梁的变形	54
3.2.1 竖向集中荷载 P 作用下的变形	54
3.2.2 其他典型荷载作用下的变形	62
3.3 超静定简支斜梁的影响线	83

3.3.1	支承反力影响线	83
3.3.2	截面内力影响线	85
3.3.3	变形影响线	92
3.4	超静定简支斜梁的反力特性与考虑内力重分布的计算方法	97
3.4.1	超静定简支斜梁的反力特性	97
3.4.2	内力重分布与计算方法	102
3.4.3	几点结论	109
第四章	A 型连续斜梁的分析	110
4.1	概述	110
4.2	超静定简支斜梁在梁端力矩作用下的内力与变形 ...	111
4.2.1	超静定简支斜梁在 M_A 作用下的内力与变形	111
4.2.2	超静定简支斜梁在 M_B 作用下的内力与变形	115
4.3	A 型连续斜梁的三力矩方程	119
4.3.1	三力矩方程的一般形式	119
4.3.2	三力矩方程的几个特例	128
4.3.3	A 型连续斜梁的内力与变形	130
4.3.4	计算示例	135
4.4	两跨 A 型连续斜梁的分析	143
4.4.1	全跨均布荷载 p 的作用	143
4.4.2	全跨均布扭矩 t 的作用	149
4.4.3	竖向集中荷载 P 的作用	151
4.4.4	集中扭矩荷载 T^* 的作用	158
4.5	三跨 A 型连续斜梁的分析	165
4.5.1	均布荷载 p 的作用	167
4.5.2	均布扭矩 t 的作用	169
4.5.3	竖向集中荷载 P 的作用	170
4.5.4	集中扭矩荷载 T^* 的作用	184

第五章 B 型及混合型连续斜梁的分析	200
5.1 任意多跨 B 型连续斜梁的分析方法	200
5.1.1 赘余力的求解	200
5.1.2 任意多跨 B 型连续斜梁的内力与变形	204
5.2 两跨 B 型连续斜梁的分析	209
5.2.1 均布荷载 p 的作用	210
5.2.2 均布扭矩 t 的作用	213
5.2.3 竖向集中荷载 P 的作用	215
5.2.4 集中扭矩荷载 T^* 的作用	222
5.3 三跨 B 型连续斜梁的分析	231
5.3.1 均布荷载 p 的作用	232
5.3.2 均布扭矩 t 的作用	235
5.3.3 竖向集中荷载 P 的作用	237
5.3.4 集中扭矩荷载 T^* 的作用	257
5.4 混合型连续斜梁的计算原理简介	276
第六章 竖腿斜交刚架的分析	278
6.1 引言	278
6.2 四力矩方程及其应用说明	279
6.2.1 四力矩方程一般式的推导	279
6.2.2 几个特例	281
6.2.3 四力矩方程在竖腿斜交刚架分析中的应用说明	282
6.3 计算示例及讨论	284
第七章 斜梁的次内力分析	289
7.1 斜梁由预加力引起的次内力计算方法	289
7.1.1 引言	289
7.1.2 预应力混凝土简支斜梁的次内力	290
7.1.3 预应力混凝土连续斜梁的次内力	295
7.1.4 连续斜梁次内力算例	297

7.1.5 结语	299
7.2 预应力斜梁设计中的几个基本问题	301
7.3 温差引起的次内力分析	310
7.3.1 《桥规》中有关日照温差的内力计算规定	310
7.3.2 超静定斜梁由温差引起的次内力	312
7.3.3 计算示例	315
7.4 支承位移引起的次内力分析	316
7.4.1 支承位移引起的次内力公式推导	316
7.4.2 计算示例	320
第八章 用力矩分配法分析斜梁	322
8.1 力矩分配法有关公式的推导	322
8.1.1 计算模型与符号规定	323
8.1.2 形常数与载常数的计算	324
8.1.3 两端铰固时的刚度系数、传递系数与固端力矩	324
8.1.4 仅一端铰固时的刚度系数与固端力矩	326
8.1.5 特例与说明	327
8.2 计算示例	331
8.3 力矩分配法实用表格的编制及算例	337
8.3.1 实用表格说明	337
8.3.2 利用实用表格的计算示例	361
第九章 单梁式斜箱梁桥的实用计算方法	369
9.1 单梁式斜箱梁桥设计内力的计算方法	369
9.1.1 恒载内力计算	370
9.1.2 活载内力计算	370
9.2 计算示例	372
第十章 多梁式斜梁桥的荷载横向分布计算	386
10.1 刚性横梁法	387
10.1.1 计算假定与图式	387

10.1.2	荷载横向分布计算公式	388
10.1.3	计算示例	396
10.1.4	斜梁桥横梁的设计计算特点	401
10.2	广义弹性支承连续梁法	407
10.2.1	拱支承的概念与计算图式	407
10.2.2	弹簧常数的计算	410
10.2.3	荷载横向分布计算	412
10.2.4	小结	415
附表		417
附表 1	超静定简支斜梁在全跨均布荷载作用下的内力值	417
附表 2	超静定简支斜梁在全跨均布扭矩荷载作用下的内力值 ...	422
附表 3	超静定简支斜梁在竖向集中荷载 P 作用下的内力值	424
附表 4	超静定简支斜梁在集中扭矩荷载 T^* 作用下的内力值	428
附表 5	超静定简支斜梁在梁端力矩作用下的内力值	434
参考文献		446

第一章 概 述

1.1 斜梁结构的型式

支承线与梁轴不成直角的梁式结构通常称为斜梁结构,包括斜肋板式结构、斜格子梁和斜箱梁结构等型式。

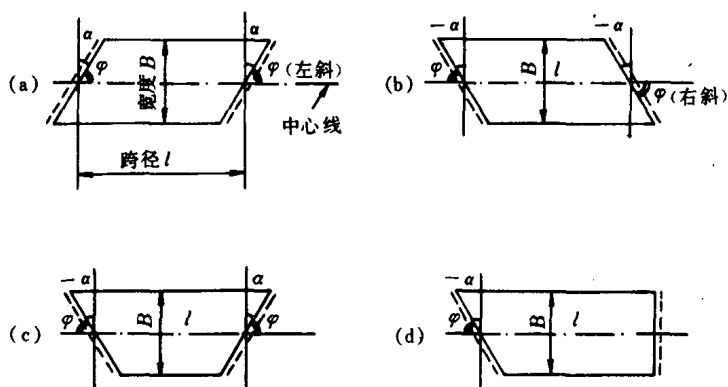


图 1-1 斜梁结构的平面形状

斜梁结构的平面形状,由于环境条件的限制会有各种各样的形式,图 1-1 表示了几种最主要的形式。其中图 1-1a、b 所示的平行四边形斜梁结构在工程上用得最多,但图 1-1c、d 所示的等腰梯形和直角梯形斜梁结构也常会遇到。显然,各支承线的方向可以是任意的,这样便形成了各种平面形状的斜梁结构。当所有支承线与梁轴都成直角时即为一般的正梁结构,可见正梁结构是斜梁结构

的特例。

按静力特性,斜梁可分为简支梁、悬臂梁、连续梁和竖腿刚架等型式,每种斜梁的结构和受力特性均不尽相同。

1.2 斜角与斜度的定义

目前国内外关于斜角的定义有两种方法,如图 1-1 中的 α 和 φ 所示。为清楚起见,将梁轴中心线与支承线构成的不大于 90° 的角 φ 称为斜(交)角,而将梁轴中心线的垂线与支承线构成的角 α 称为斜度。显然,斜度 α 和斜角 φ 互为余角。

应该注意,图 1-1a、b 表示的平行四边形斜梁结构在许多方面是不同的。为区分起见,相对梁轴而言当 φ 在右边时称为右斜 φ (图 1-1b),当 φ 在左边时称为左斜 φ (图 1-1a)。如左、右斜的方向搞错,则成为方向相反的平行四边形斜梁结构。斜度 α 当从支承线向梁轴中心线垂线方向的旋转为逆时针方向时, α 为正(图 1-1a);反之,向顺时针方向旋转时, α 为负(图 1-1b)。 α 的变化范围为 $-90^\circ < \alpha < 90^\circ$ 。显然,当所有 α 均为零时即为相应的正梁结构。

1.3 基本假定及分析途径

进行斜梁结构的分析,首先要选择合适的计算图式。例如,对于图 1-2a 所示的较窄的箱形截面简支斜梁桥,可以采用单根斜梁的计算图式,如图 1-2b 所示,其中主梁既有抗弯刚度也有抗扭刚度。一般情况下,箱梁的端部在支承方向均设有刚劲的端隔板(或端横梁),因此支承线上横梁 AB 和 CD 的抗弯刚度可假定为无限大,抗扭刚度为零,主梁刚结在横梁 AB 和 CD 之间。这样,受载时主梁沿横梁方向的扭转为零,而在垂直于横梁方向可以自由转动。

工程实践中常遇到的斜梁结构,在很多情况下都可以简化为

主梁和十分刚劲的斜横梁构成的单主梁式斜梁结构进行分析,这在国内外很多文献^[1,2]中均有论述,具体细节将分别在有关章节中阐述。另外,要进行多梁式斜梁系结构的实用分析计算,也需要单根主梁斜梁结构的分析作为基础。因此,必须首先对各种类型的单根主梁斜梁结构(简称斜梁)进行深入的分析和讨论。

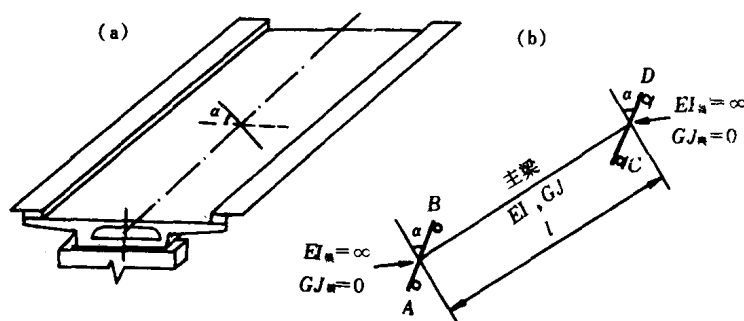


图 1-2 简支窄斜箱梁桥的计算图式

本书首先以单根斜梁为对象研究其计算方法,讨论其受力特性并给出若干便于应用的计算图表,然后进一步研究斜梁系结构的实用计算方法。利用本书研究成果基本上可以解决工程上(主要是桥梁工程中)常用的斜梁结构,包括简支和连续的斜箱梁桥、多梁式斜梁桥及竖腿斜交刚架等的结构分析和计算问题。

斜梁和正梁的基本微分方程是相同的,但由于斜支承的存在使支承处的边界条件不易精确满足,故一般不采用基本微分方程进行精确求解。有限单元法、有限条法等数值方法是分析斜梁结构的有效方法,然而设计计算这类结构时,上机条件、所费机时是一个不可忽视的因素。

分析斜梁的另一有效途径是采用杆件系统的结构力学方法。对于图 1-2 所示的斜梁,主要承重构件——“主梁”,虽为一直线形杆件,但由于斜支承的存在使主梁中的弯曲和扭转相互耦合,因此

从本质上说,斜梁的分析属空间分析的范畴。因而,书中采用的分析斜梁的方法即为研究空间杆系的结构力学方法。此法不但简单明了,便于分析斜梁结构的受力特性,而且能得到计算图式的精确解。

一般说来,对于钢筋混凝土或预应力混凝土结构,薄壁结构效应较小,故分析时可忽略横截面翘曲所引起的内力影响。另外,对于箱梁中设有有一定数量横隔板的斜梁,其截面畸变也可忽略。因此,单根斜梁可以采用单纯扭转理论进行分析,其基本假定概括为如下两点:

(1)斜梁的横截面在变形后仍保持为平面,则不产生翘曲扭矩和翘曲双力矩;

(2)变形后斜梁的横截面周边形状保持不变,即无畸变内力。

如有必要,斜梁的翘曲内力和畸变内力,也可像正梁结构的实用分析计算时一样另行计算。

与其他有关文献不同,本书的分析讨论与推演等大多针对各支承斜度均为变量的最一般情况,因此有关结论和公式有着普遍的适应性和较广的应用范围。

第二章 静定斜梁的分析

2.1 静定斜梁的内力

2.1.1 静定斜梁的型式

正梁的所有结构型式都可能被应用于斜梁结构中,如简支梁、悬臂梁、固端梁及连续梁等。斜梁中的支承也有多种型式,图 2-1 是几种常用支承型式的表示方法。图 2-1a 所示的支承称为抗扭固定斜支承,它既能抵抗斜支承方向的扭转,又能抵抗水平位移(即水平固定铰支座,用符号“ $\circ$ ”表示),但在斜支承的垂直方向能自由转动;图 2-1b 所示的支承则称为抗扭活动斜支承,它能抵抗斜支承方向的扭转,但不能抵抗水平位移(即水平活动铰支座,用符号“ $\triangle$ ”表示),在斜支承的垂直方向也能自由转动;图 2-1c 所示的支承称为固端支承,它有两种表示方法,能抵抗所有方向的转动和位移;图 2-1d 所示的支承称为点支承,它只能抵抗竖向移动。

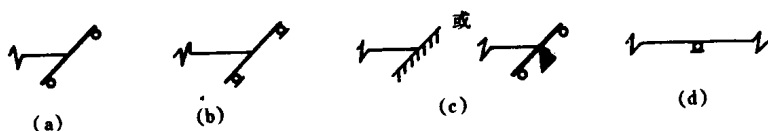


图 2-1 支承类型

(a)抗扭固定斜支承; (b)抗扭活动斜支承; (c)固端支承; (d)点支承

静定斜梁的基本形式如图 2-2a、b 所示,一端为抗扭固定斜支承,另一端为点支承的简支斜梁。其他静定斜梁可以是如图 2-2c 所示的单悬臂梁、图 2-2d 所示的双悬臂梁等型式。单悬臂斜梁和双悬臂斜梁的悬臂部分内力可采用与正梁相同的方法利用静力平衡条件求得,这样悬臂斜梁锚孔的计算与静定简支斜梁的计算方法无异。因此,静定简支斜梁的分析是其他静定和超静定斜梁分析的基础。下面主要就静定简支斜梁(图 2-2a、b)这种基本型式来推导其反力、内力和变形的计算公式,并讨论其受力性能。

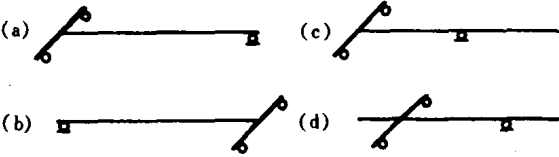


图 2-2 静定斜梁的型式

2.1.2 正负号规定

在分析斜梁时,通常采用图 2-3a 所示的 $A-xyz$ 直角坐标系,正号的外荷载和内力分别见图 2-3a、b。挠度 w 、挠角 θ 与扭角 ϕ 的方向与相应外荷载的方向相同者为正,相反者为负;竖反力以向上为正;反力扭矩(T_A 、 T_B 等)以向左为正。

2.1.3 典型荷载作用下的反力与内力

一、竖向集中荷载 P 的作用

左端为抗扭固定斜支承、右端为点支承的简支斜梁,在竖向集中荷载 P 作用时的计算图式如图 2-4a 所示, P 距左端的距离为 $x = \xi l$,则根据平衡条件可容易地求出支点反力,即由 $\sum M_x = 0$ 、 $\sum M_y = 0$ 、 $\sum Z = 0$ 导得,其结果为