

研究生教学用书

箱形梁设计理论 (第二版)

Design Theory of Box Girder

郭金琼 房贞政 郑振 编著



人民交通出版社
China Communications Press

研究生教学用书

Design Theory of Box Girder

箱形梁设计理论

(第二版)

郭金琼 房贞政 郑 振 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

《箱形梁设计理论》(第二版)共分九章。第一章概论;第二章箱形梁弯曲;第三章箱形梁的刚性扭转;第四章箱形梁的畸变;第五章箱形梁的横向内力;第六章箱形梁(板壳)问题有限元法;第七章简支箱梁有限条法;第八章带隔板的连续箱梁有限条法;第九章弯箱梁畸变分析刚度法。本书每章都附有算例。考虑到本书作为研究生教材,读者具有较好的数学、力学基础,因此内容叙述较为简练。

本书主要作为结构工程和桥隧专业研究生教学用书,亦可供相关专业师生和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

箱形梁设计理论 / 郭金琼等编著. —2版. —北京:人民交通出版社,2008.10
ISBN 978-7-114-07186-7

I.箱… II.郭… III.箱梁桥—设计—高等学校—教材
IV.U448.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 074753 号

研究生教学用书

书 名:箱形梁设计理论(第二版)

著 作 者:郭金琼 房贞政 郑 振

责任编辑:吴德心 曲 乐

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:18.75

字 数:325千

版 次:1991年12月 第1版 2008年10月 第2版

印 次:2008年10月 第2版 第1次印刷 累计第2次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07186-7

印 数:0001~2000册

定 价:32.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问: 王秉纲 (长安大学)

主任委员: 沙爱民 (长安大学)

副主任委员: (按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员: (按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铨砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘书长: 沈鸿雁 (人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成面向 21 世纪交通版高等学校教材(公

路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向 21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21 世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21 世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001 年 12 月

第二版 前言

本书的第一版在1991年出版。第一版的内容是箱形截面梁弯曲和扭转的基本和经典理论,书中的内容比较全面地反映了编著者对箱形截面梁的受力性能开展长期、系统的研究的成果。该书出版后在高等院校和工程设计单位得到广泛的使用,尤其在土木工程研究生和箱形截面桥梁设计工程师中的使用更为普遍。

随着土木工程的飞速发展,尤其是大跨桥梁工程的建设,箱形截面梁得到更为广泛的应用,箱形截面形式和构件的材料应用都有了新的发展。同时由于计算机在土木工程中的广泛应用,几乎使土木工程结构的设计与计算发生了根本性的变革。目前可应用于箱形梁结构分析的有限元应用软件已经不少,也很成熟,应用也极为普遍。但基于箱形梁基本理论的计算机方法,是应用于分析等截面箱梁的有限条方法和应用于分析变截面箱形梁有限段分析法,因此,本书在第二版时增加有限条方法在等截面箱形梁分析中的应用和有限段法在变截面箱形梁中的应用。增加介绍这两部分内容的目的在于加深读者对有限元方法、半解析法的计算机方法等概念的理解,有利于提高结构分析的能力,同时更适合作为研究生的教材使用。

恳切希望读者对本书的缺点和错误及时告知编著者,以便及时更正。

编著者

2008年8月31日

于福州大学

第一版 前言

箱形截面由于具有良好的结构性能,因而在现代各种桥梁中得到广泛应用。各种结构形式的预应力混凝土桥梁,采用箱形截面尤其能适应构造和施工要求。由于箱形截面的广泛应用,箱形结构的受力分析引起了国内外学者的普遍关注。如美国就有十来个研究中心,各有侧重地对箱形结构的受力进行系统而深入的研究,研究成果拟作为修订桥梁设计规范的理论依据。鉴于福州大学在这方面所进行的工作,1987年在上海召开的“交通部高等学校公路、桥梁及交通工程专业教材编委会”确定由福州大学编写《箱形梁设计理论》一书,作为桥梁工程专业和结构工程专业教材编委会的统编教材。

本书共分五章。第一章概论,扼要介绍箱形梁的结构特点、受力特点及各种分析方法,使读者在学习结构分析及计算方法之前,对箱形梁有一个全貌了解。第二章箱形梁弯曲,着重介绍箱形梁的剪力滞分析,其中关于剪力滞等,均反映了作者的理论研究成果。第三章箱形梁的刚性扭转,除了介绍传统的箱梁扭转理论,并进行小结与讨论外,还介绍了变截面箱形梁的扭转分析方法。这对于当前设计大跨径变截面桥梁,具有工程应用意义。第四章箱形梁畸变。关于畸变微分方程的建立有多种方法,本书推荐了力学概念清晰、推导严谨的板梁框架法,在这一章中,还提出了应用影响线计算等截面箱形梁的畸变值,以及应用等代梁法求解变截面箱形梁的畸变应力的方法;从算例中可看出:计算方法简捷,便于工程实际应用。第五章箱形梁的横向内力,作者根据框架分析法的基本原理,推导了带伸臂等截面箱形梁以及变截面箱形梁的横向内力计算公式,将复杂的箱形梁结构空间分析问题转化为一般结构力学的方法求解,具有学术创造性。

本书作为研究生教材,着眼于介绍结构分析方法。书中所介绍的分析方法具有力学概念强、解题思路清晰、推导严谨等特点,作为研究生的教学内容是适宜的。我们希望读者在学习时能着眼于大局,诸如力学图式的选取,基本假定的选用,以及解题思路和分析步骤等,而不要只局限具体公式的演算。这样才能学得扎实、深入,才能有效地提高结构分析的能力,为培养独立科研能力打下基础。

本书所提供的实用计算方法,解决了以往分析方法不完善和应用不方便的缺陷,这对于完善现代化大跨径桥梁的工作设计也起着指导作用。书中每章都

附有算例,可供工程设计人员参考。

在编写时,考虑到本书为研究生教材,读者具有较好的数学力学基础,编写内容力求叙述简捷,文字精炼。篇幅虽然不多,但内容牵涉面较广,学习时可以有所侧重地选读。本书由福州大学郭金琼、赵振铭、房贞政、郑振、占开火等编写,郭金琼任主编,上海城市建设学院金成棟主审。

由于篇幅限制,以及编者水平所限,教材中不可避免地存在不完善和谬误之处,敬请读者批评指正。

编者

1991年8月

第1章 概论	1
§ 1.1 箱形截面的结构特点及其应用	1
1.1.1 箱形截面的特点	1
1.1.2 箱形截面在各类桥梁上的应用	2
1.1.3 箱形截面的构造要点	4
§ 1.2 箱形梁的受力特点及分析方法	6
1.2.1 箱形梁的受力特点	6
1.2.2 箱形梁的分析方法	8
第2章 箱形梁的弯曲	12
§ 2.1 箱形梁的弯曲正应力——梁弯曲初等理论	12
§ 2.2 箱形梁的弯曲剪应力	13
2.2.1 实腹梁的弯曲剪应力	13
2.2.2 箱形梁的弯曲剪应力	15
2.2.3 箱形截面的剪切中心	19
§ 2.3 矩形箱梁剪力滞的变分法	23
2.3.1 变分法的基本假定	24
2.3.2 基本变分方程的推导	24
2.3.3 翼板中的应力与剪力滞系数	27
2.3.4 简支箱梁、悬臂箱梁的剪力滞效应	28
2.3.5 连续箱梁剪力滞效应的叠加法求解	33
2.3.6 剪力滞效应的参数分析	36
§ 2.4 梯形箱梁剪力滞的变分法	39
2.4.1 考虑剪力滞效应的位移函数	39

2.4.2	剪力滞的基本微分方程	40
§ 2.5	变截面箱形梁剪力滞的差分解法	42
§ 2.6	箱形悬臂梁的负剪力滞效应	45
2.6.1	箱形悬臂梁剪力滞效应的变分解答	46
2.6.2	应用平面有限元的分析	48
2.6.3	负剪力滞效应的影响因素	49
第3章	箱形梁的刚性扭转	51
§ 3.1	箱形梁的自由扭转	51
3.1.1	单室箱梁的自由扭转	51
3.1.2	多室箱梁的自由扭转	54
3.1.3	分离式的多室箱梁自由扭转	56
3.1.4	自由扭转的纵向位移	57
§ 3.2	箱形梁的约束扭转	59
3.2.1	约束扭矩正应力	60
3.2.2	约束扭转剪应力	61
3.2.3	确定扭转中心的位置	63
3.2.4	约束扭转的微分方程及其解	65
3.2.5	约束扭转公式推导小结与讨论	71
3.2.6	简支梁的扭转分析	74
3.2.7	连续梁的扭转分析	76
3.2.8	算例	78
§ 3.3	差分法解变截面箱梁约束扭转	84
3.3.1	箱梁扭转微分方程用差分表示	84
3.3.2	静定问题的解	87
3.3.3	超静定问题的解	88
3.3.4	算例	90
第4章	箱形梁的畸变	93
§ 4.1	概述	93
§ 4.2	畸变荷载的分解与组合	95
4.2.1	垂直偏载	95
4.2.2	水平偏载	97
4.2.3	支点倾侧(所谓三条腿)的畸变荷载	97

4.2.4	畸变荷载的组合	98
§ 4.3	等截面箱形梁的畸变微分方程推导	98
4.3.1	各板元平面力系	99
4.3.2	各板元平面外力系	104
4.3.3	单室矩形箱梁的畸变微分方程	107
4.3.4	梯形截面箱形梁的畸变	108
4.3.5	双室矩形截面箱形梁的畸变	109
§ 4.4	畸变应力计算	110
4.4.1	弹性地基梁比拟法(BEF 相似法)的应用	110
4.4.2	用初参数法作箱形梁畸变值影响线	112
4.4.3	应用影响线求畸变值	115
4.4.4	算例	116
§ 4.5	等代梁法求变截面箱形梁的畸变应力	124
4.5.1	角点铰接的折板式箱形结构分析	125
4.5.2	框架抵抗畸变作用的分析	128
4.5.3	等代梁的挠曲微分方程	129
4.5.4	实际应用及推广	131
4.5.5	等代梁挠曲微分方程的求解	133
4.5.6	算例	134
第 5 章	箱形梁的横向内力	138
§ 5.1	概述	138
§ 5.2	框架分析法	139
§ 5.3	等截面箱形梁的横向内力	144
5.3.1	加支承的框架分析	144
5.3.2	支承释放的结构分析	144
5.3.3	内力叠加	154
5.3.4	算例	154
§ 5.4	单对称及双对称矩形箱梁的横向内力	158
5.4.1	单对称矩形箱梁	158
5.4.2	双对称矩形箱梁	160
§ 5.5	变截面箱形梁的横向内力	161
5.5.1	对称荷载作用的内力分析	162
5.5.2	反对称荷载作用的内力分析	165

5.5.3 内力叠加	175
第6章 箱形梁(板壳)问题有限元法	176
§ 6.1 箱梁(板壳)单元刚度矩阵的组成	176
6.1.1 平面应力状态	177
6.1.2 弯扭应力状态	177
6.1.3 组合应力状态	177
§ 6.2 坐标转换	186
第7章 简支箱梁有限条法	191
§ 7.1 板条平面刚度矩阵	191
§ 7.2 板条挠曲刚度矩阵	201
§ 7.3 箱梁壳条刚度矩阵的组成	206
§ 7.4 箱梁壳条相应的节线荷载	210
7.4.1 条元平面相应荷载矩阵	210
7.4.2 条元挠曲相应荷载矩阵	213
§ 7.5 坐标系统的转换	215
§ 7.6 条元应力的计算	216
7.6.1 条元平面应力	216
7.6.2 条元挠扭力矩	217
§ 7.7 平面应力板条计算机程序	217
7.7.1 平面应力条公式	218
7.7.2 程序框图	220
§ 7.8 简支箱梁有限条法程序设计	221
第8章 带隔板的连续箱梁有限条法分析	223
§ 8.1 有限条法—柔度法联合解问题	223
§ 8.2 柔性隔板的分析	227
8.2.1 平面应力状态隔板	228
8.2.2 加劲支架形隔板	228
§ 8.3 理论计算与试验结果分析	231
第9章 变截面弯箱梁分析的有限段刚度法	238
§ 9.1 概述	238
§ 9.2 薄壁曲线箱梁弹性变形能计算	239
9.2.1 法向应变能	239
9.2.2 剪切应变能	246

9.2.3	框架抗畸应变能	247
9.2.4	畸变转角产生的附加曲率与弯矩 M_x 耦联应变能	247
9.2.5	弹性应变能计算	247
9.2.6	弹性控制微分方程	248
§ 9.3	薄壁曲线箱梁总刚度方程	249
§ 9.4	薄壁曲线箱梁的弯曲、剪力滞及约束扭转的刚度法分析	250
9.4.1	微分方程组的边界条件	250
9.4.2	单刚元素分析	251
9.4.3	等效节点荷载	256
9.4.4	曲梁单元的坐标转换	259
9.4.5	几何边界条件	260
9.4.6	弯曲、剪力滞及约束扭转刚度法分析的程序设计	261
§ 9.5	弯箱梁畸变分析的刚度法	262
9.5.1	分析箱形梁畸变的方法	262
9.5.2	弯箱梁畸变微分方程	262
9.5.3	与弹性地基梁微分方程的比拟关系	263
9.5.4	弯箱梁畸变分析的单元刚度矩阵	264
9.5.5	等效节点荷载	266
9.5.6	边界条件及横隔板的处理	268
9.5.7	弯箱梁畸变分析刚度法程序设计	268
9.5.8	薄壁曲梁挠曲扭转分析的刚度法主程序设计	269
参考文献		277

第1章

概 论

§ 1.1 箱形截面的结构特点及其应用

1.1.1 箱形截面的特点

箱形截面具有良好的结构性能,因而在现代各种桥梁中得到广泛应用。

1. 箱形截面的优点

(1) 截面抗扭刚度大,结构在施工与使用过程中都具有良好的稳定性;

(2) 顶板和底板都具有较大的混凝土面积,能有效地抵抗正负弯矩,并满足配筋的要求,适应具有正负弯矩的结构,如连续梁等;

(3) 适应现代化施工方法的要求,如悬臂施工法、顶推法等,这些施工方法要求截面必须具备较厚的底板;

(4) 承重结构与传力结构相结合,使各部件共同受力,达到经济效果,同时截面效率高,并适合预应力混凝土结构空间布束,更能收到经济效果;

(5) 对于宽桥,由于抗扭刚度大,跨中无需设置横隔板就能获得满意的荷载横向分布;

(6) 适合于修建曲线桥,具有较大适应性;

(7) 能很好适应布置管线等公共设施。

2. 箱形截面之不足

显然,箱形截面也存在一些不足之处,需要引起设计者的充分重视。如箱形截面属薄壁结构,除受力钢筋外,还需配置大量构造钢筋,这对于中等跨径的桥梁,有时会导致用钢量比工字形或 T 形截面增多。而对于大跨径桥梁,由于箱形截面是实腹式梁,比起空腹式的桁架结构自重大。减轻自重是大跨径桥梁的重要课题,在设计时必须采取措施减轻自重,以节省材料,使造价经济。近年来由于三向(即纵向、横向、竖向)预应力的应用,可以采用薄壁、少肋的所谓宽箱截面,收到良好的经济效果。

1.1.2 箱形截面在各类桥梁上的应用

箱形截面早期应用于普通钢筋混凝土悬臂梁桥和连续梁桥,一般采用在支架上现浇施工。近代由于预应力混凝土的发展,同时由于现代施工技术的进步,箱形截面更加广泛应用于各种现代桥梁,而且一般采用无支架施工。首先是梁式桥梁上应用最为普遍,据统计,在已建成的预应力混凝土桥梁中,当跨径超过 60m 后,除极少数外,其横截面大多为箱形截面,其结构形式有简支、悬臂、T 形刚构、连续梁等。截面形式如图 1-1。

简支梁一般为预制安装,采用单箱或多箱式,公路桥梁最大跨径达 76m;铁路桥梁则采用单箱单室等高梁,跨径在 40m 以内。

悬臂梁桥、T 形刚构桥以及连续梁桥一般采用悬臂施工法建造。连续梁桥也可采用顶推法施工。这些施工方法都充分发挥箱形截面的优越性。大跨径梁式桥多采用变高度梁,其最大跨径已达 270m。图 1-2 为国外桥梁截面形式。

在城市高架桥中,采用梯形单箱单室截面与单柱墩配合,具有外形简洁、美观,桥下通视良好的优点,得到广泛应用(图 1-3)。

在现代斜拉桥中,也广泛应用箱形截面(图 1-4),特别是采用单索面时,由于箱形截面的主梁抗扭刚度大,有利于承受偏心荷载,而且也便于拉索与主梁的连接,如图 1-4b)。采用三角箱的斜拉桥具有风动力性能良好的优点,如图 1-4c)。

此外,在拱式桥梁中,大跨径的钢筋混凝土拱桥大都采用箱形截面。箱形截面中性轴居中,能抵抗相等的正负弯矩,适应拱中各截面正负弯矩的变化;抗扭

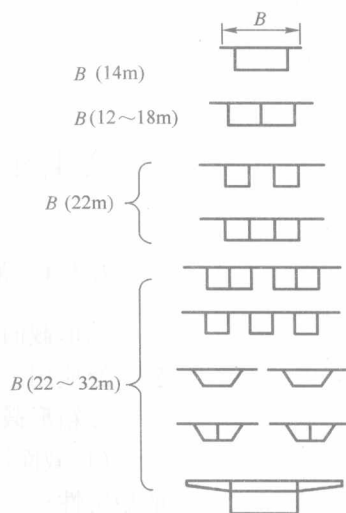


图 1-1 箱形截面形式