

研究生教学用书

高等桥梁结构理论

(第二版)

Advanced Theory of Bridge Structures

项海帆 等 编著 范立础 主审



人民交通出版社
China Communications Press

研究生教学用书

高等桥梁结构理论

Advanced Theory of Bridge Structures

(第二版)

项海帆 等 编著
范立础 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

新版《高等桥梁结构理论》共 5 篇 19 章,着重介绍桥梁规范条文的理论依据、桥梁设计计算公式的由来,以及桥梁电算的理论基础和方法。本书可使读者从原理和问题的本质上认识桥梁结构的受力特性,既掌握扎实的桥梁分析理论,又有现代的计算和分析能力,为更好地从事桥梁研究工作和桥梁设计打下理论基础。

本书可作为土木工程专业桥梁方向研究生的教材,也可供从事桥梁科研、设计的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高等桥梁结构理论/项海帆等编著. --2 版. --北京:人民交通出版社,2013. 9

ISBN 978-7-114-10874-7

I. ①高… II. ①项… III. ①桥梁结构 IV.

①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 210028 号

研究生教学用书

书 名:高等桥梁结构理论(第二版)

著 作 者:项海帆 等

责任编辑:曲 乐 王文华

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:32.25

字 数:825 千

版 次:2001 年 4 月 第 1 版 2013 年 9 月 第 2 版

印 次:2013 年 9 月 第 2 版 第 1 次印刷 总第 6 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10874-7

定 价:70.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

第二版前言

《高等桥梁结构理论》是1981年由同济大学肖振群、张士铎和范立础三位教授为改革开放后的第一批硕士研究生所开设的专业课。1984年肖振群教授去世后,由留学回国的项海帆教授接下钢桥计算理论部分,并根据当时国外现代桥梁理论发展和国内桥梁建设的新形势增加了包括几何非线性、桥梁稳定、结合梁等新内容,将钢桥计算理论扩展成钢桥和结合梁桥计算理论以及大跨度桥梁(斜拉桥和悬索桥)计算理论两个部分。

经过近20年的教学积累,于2001年由人民交通出版社正式出版教材,供全国高校桥梁专业的硕士生课程参考使用。1997年,杜国华和陈忠延教授先后退休后,由肖汝诚、陈艾荣和李国平三位年轻教授先后承担起这门课程的教学工作,以后又有石雪飞、吴定俊、陈惟珍、徐栋等教授陆续加入,共同讲授这门硕士生的重要专业课程。

进入21世纪后,讲授内容有了很多修改和补充,以适应桥梁计算分析理论和软件的不断向前发展。一些在计算机前时代的古典近似理论虽然仍具有理论的魅力,但毕竟有限元法和数值计算已成为主要的分析手段,因此,如何培养研究生既有扎实的理论基础,又有现代的计算和分析能力,并把两者结合起来成为他们理论分析水平和创造力的源泉,同时又能对现行规范条文的理论意义有正确和深入的认识,都是我们在本课程的教学经常考虑的问题。

最近热议中的“钱学森之问”使我们深感教育改革的迫切性,而更新教材内容,改变教学方法不仅是大学教师的职责,也是培养创新人才的重要环节。2012年是同济大学桥梁学科建立60周年,为了纪念已故的李国豪、周念先、钱钟毅和陈超四位教授对同济大学桥梁专业所做的奠基性贡献,以及对他们在前30年的辛勤教学工作表达后辈的感恩之情,我决定组织同济大学桥梁工程系的年轻一代教授们共同努力,对《高等桥梁结构理论》进行改写,新版对章节内容做了较大的更新,同时还增加了一些新的篇章。

第1章绪论由项海帆撰写。第1篇桥梁空间分析理论,包括薄壁箱梁、斜梁桥和曲线桥以及新增补的城市空间异型桥梁的内容,由吴定俊、石雪飞分工撰写。第2篇混凝土桥梁分析设计理论,包括徐变、收缩、温度、裂缝控制、强度、耐久性计算,以及新增补的三维体内和体外配索理论等内容,由李国平、徐栋分工撰写。第3篇钢桥和组合桥梁分析理论,包括稳定、正交异性桥面板、疲劳和各

类组合桥梁计算等内容,由吴冲、陈惟珍、刘玉擎分工撰写。第4篇大跨度桥梁结构分析理论,包括几何非线性、稳定分析和各类大跨度桥梁的计算等内容,由肖汝诚、贾丽君分工撰写。第5篇新增加的桥梁施工控制理论,包括控制原理、算法和各类桥梁的施工控制特点等内容,由石雪飞、陈德伟分工撰写。全书最后总结性的一章为21世纪桥梁结构理论的发展展望,包括①高性能材料的发展和应用;②各类组合结构、混合体系和创新构造的发展;③桥梁防灾控制技术的发展和前瞻内容,由葛耀君撰写。全书由项海帆负责统稿,范立础主审。

本书也是同济大学桥梁工程系各有关研究室近10年来在培养研究生、理论联系实践方面的研究总结,包括在软件开发和参加规范研究中的一些成果。全书共5篇19章,80余万字,希望能对全国桥梁专业的研究生教育改革发挥重要作用,并为培养新一代有创造力的领军人才,解答“钱学森之问”贡献一点力量。错误和不当之处望国内同仁批评指正。

项海帆
2013年1月

第一版前言

《高等桥梁结构理论》是同济大学在 80 年代初为桥梁工程硕士研究生开设的专业课。本课程是在桥梁专业本科《桥梁工程》的基础上对内容进行深化,着重介绍一些设计公式和规范条文的理论依据,使研究生能从原理上和问题的本质上去认识桥梁结构的受力性能,为今后从事研究工作打下理论基础,并掌握基本的研究方法。

《高等桥梁结构理论》最早由肖振群、张士铎和范立础教授讲授,分别担当空间分析理论、钢筋混凝土桥梁和预应力混凝土桥梁计算理论以及钢桥计算理论三大部分内容的教学工作。1984 年肖振群教授去世后,由项海帆教授接下钢桥计算理论部分,并根据当时斜拉桥的发展形势增加了包括几何非线性、桥梁稳定等内容的大跨度桥梁计算理论,即第四部分内容。在近 20 年的教学过程中,内容多有增删,但基本骨架保持不变。1990 年后,陈忠延教授和杜国华研究员经常替代工作日渐繁忙的项海帆和范立础教授分担有关部分的教学工作。

1997 年起,两位年轻的教授陈艾荣和肖汝诚接下了这门课程。为了将我们的教学经验留给后人,特编写此教材,希望能对今后桥梁专业的研究生培养有所裨益。

本书共分四篇。第一篇:桥梁空间分析理论,由张士铎教授编写;第二篇:钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁计算理论,由杜国华研究员和张士铎教授合编,并请李国平教授作了补充;第三篇:钢桥和结合梁桥计算理论,由陈忠延教授编写,从德国学成回国的陈惟珍教授作了补充;第四篇:大跨度桥梁的计算理论,由肖汝诚教授编写。全书约 50 万字。

在编写过程中,我们还约请了原上海城建学院院长金成棣教授对第一篇和第二篇,上海铁道大学胡匡璋教授对第三篇,项海帆教授对第四篇作了初步审阅,并统一了全书的符号系统。编者根据初审意见又作了一次认真的修改,形成了送审稿。全书最后由同济大学姚玲森教授进行主审。

项海帆 张士铎 杜国华
陈忠延 肖汝诚 李国平
2000 年 7 月 28 日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 近代桥梁结构理论的回顾	1
1.1.1 拱桥和悬索桥的古典计算理论	1
1.1.2 桥梁稳定理论	2
1.1.3 桁架分析理论	2
1.1.4 混凝土结构设计理论	3
1.1.5 悬索桥的挠度理论和非线性分析	4
1.1.6 梁排计算理论(荷载横向分布问题)	5
1.1.7 钢结构疲劳理论	5
1.1.8 其他桥梁结构分析和设计理论	6
1.2 现代桥梁结构理论的发展	6
1.2.1 有限元法分析软件	6
1.2.2 预应力混凝土技术	7
1.2.3 各向异性桥面和结合梁	8
1.2.4 斜拉桥的复兴	9
本章参考文献	9

第1篇 桥梁空间分析理论

第2章 薄壁箱梁弯曲、扭转、畸变分析	13
2.1 概述	13
2.2 薄壁箱梁弯曲的剪力滞分析	14
2.2.1 薄壁箱梁剪力滞的基本概念与变分解法	14
2.2.2 影响剪力滞效应的主要因素和剪力滞变化规律	19
2.2.3 剪力滞效应的数值解法和有效宽度方法的应用	20
2.2.4 箱梁负剪力滞效应	22
2.3 薄壁箱梁的扭转分析	24
2.3.1 薄壁箱梁自由扭转	24
2.3.2 箱梁的约束扭转	27
2.3.3 箱梁约束扭转算例	31
2.4 薄壁箱梁畸变分析	35
2.4.1 畸变基本概念和畸变荷载	35
2.4.2 畸变的应变能与控制微分方程	37

2.4.3 畸变微分方程边界条件及求解方法	42
2.4.4 畸变弹性地基梁法计算算例	44
2.5 扭转、畸变解析解和有限元解的比较	46
2.5.1 有限元计算模型	46
2.5.2 扭转、畸变产生的正应力比较	47
2.5.3 扭转、畸变产生的剪应力比较	47
2.6 小结	48
思考题	48
本章参考文献	49
第3章 斜梁桥及曲线梁桥分析	50
3.1 概述	50
3.2 斜梁桥分析	50
3.2.1 斜梁桥的受力特点	50
3.2.2 斜桥简化计算方法	55
3.3 曲线梁桥的分析	63
3.3.1 曲线梁桥的受力特点	63
3.3.2 曲线梁桥的计算方法	69
3.4 斜桥及曲线桥的有限元法分析	78
3.4.1 梁格法求解斜桥及曲线桥	78
3.4.2 空间预应力筋的模拟	79
3.4.3 斜桥及曲线桥的活载影响面加载	80
3.5 小结	81
思考题	81
本章参考文献	82
第4章 空间异型桥梁结构分析	83
4.1 概述	83
4.2 异型桥梁的形式及其受力特点	83
4.2.1 异型梁桥	83
4.2.2 异型拱桥	84
4.2.3 异型斜拉桥	95
4.2.4 异型悬索桥	103
4.3 异型索支承桥梁几何形状优化及稳定分析	104
4.3.1 几何形状优化	104
4.3.2 单吊索面异型桥梁的横向稳定	105
4.4 空间异型桥梁的有限元模型建模特点	106
4.4.1 有限元模型单元类型的选择	107
4.4.2 边界条件的合理模拟方法	108
4.5 小结	108

思考题	109
本章参考文献	109

第2篇 混凝土桥梁分析设计理论

第5章 混凝土桥梁徐变、收缩及温度效应分析	113
5.1 概述	113
5.2 混凝土徐变、收缩效应分析	114
5.2.1 徐变、收缩的基本定义及特性	114
5.2.2 混凝土弹性模量、徐变及收缩的数学表达式	116
5.2.3 徐变、收缩的应变与应力关系方程	118
5.2.4 徐变、收缩效应的分析方法	120
5.3 混凝土温度效应分析	128
5.3.1 热物理性能与温度作用特点	128
5.3.2 温度场的分析方法	129
5.3.3 温度分布的简化形式	133
5.3.4 温度效应的分析方法	136
5.4 小结	142
思考题	143
本章参考文献	143
第6章 混凝土的强度理论、有限元分析和压杆拉杆模型	144
6.1 概述	144
6.2 混凝土强度理论和本构关系	144
6.2.1 应力张量和 Haigh-Westergaard 坐标系	144
6.2.2 混凝土破坏准则	148
6.2.3 混凝土的本构关系	152
6.3 混凝土结构的弹塑性有限元分析	155
6.3.1 钢筋混凝土结构的有限元模型	155
6.3.2 有限元模型中混凝土裂缝的处理方式	158
6.4 压杆拉杆模型(Strut-Tie-Model)	162
6.4.1 压杆拉杆模型的基本概念	162
6.4.2 构建压杆拉杆模型的基本方法和设计应用步骤	164
6.5 小结	169
思考题	170
本章参考文献	170
第7章 混凝土桥梁空间效应的实用精细化分析	171
7.1 概述	171
7.2 混凝土桥梁结构的空間效应	172
7.2.1 箱梁的薄壁效应、面内效应和面外效应	172

7.2.2	直箱梁桥和弯箱梁桥的薄壁效应系数	173
7.2.3	宽箱梁桥各道腹板的荷载分配	174
7.2.4	宽翼缘桥梁的剪力滞效应	176
7.3	混凝土桥梁的完整验算应力与实用精细化模型	178
7.3.1	混凝土桥梁的常见裂缝形式	178
7.3.2	混凝土桥梁的完整验算应力	180
7.3.3	实用精细化模型与验算应力	184
7.4	混凝土桥梁实用精细化模型的应用	189
7.4.1	空间网格模型计算箱梁桥的完整验算应力	189
7.4.2	折面梁格模型计算宽箱梁桥的荷载横向分布	192
7.4.3	七自由度模型计算箱梁桥的薄壁效应系数	194
7.5	小结	196
思考题		196
本章参考文献		197
第8章	混凝土桥梁耐久性分析设计	198
8.1	概述	198
8.2	材料的性能劣化机理与损伤规律	198
8.2.1	混凝土材料的劣化与损伤	199
8.2.2	混凝土中钢筋的锈蚀与损伤	205
8.3	锈蚀损伤构件的性能及承载力	212
8.3.1	构件受力性能退化的主要因素	213
8.3.2	构件破坏的过程与特征	214
8.3.3	构件截面的承载力	215
8.4	结构耐久性的预测与设计	216
8.4.1	结构耐久性设计的理论基础	217
8.4.2	结构使用年限的预测方法	218
8.4.3	结构耐久性设计的实用方法	220
8.5	小结	225
思考题		225
本章参考文献		225

第3篇 钢桥和组合桥梁分析理论

第9章	钢桥构件稳定性分析	229
9.1	概述	229
9.2	轴心受压构件整体稳定	229
9.2.1	理想受压构件弹性屈曲	229
9.2.2	几何初始偏心受压构件弹性屈曲	232
9.2.3	等截面轴心受压构件的弹塑性稳定	233

9.2.4 存在残余应力的受压构件弹塑性稳定	235
9.3 薄板翘曲稳定	237
9.3.1 薄板弹性翘曲稳定分析基本方程	237
9.3.2 单向均匀受压薄板的弹性翘曲稳定	240
9.3.3 单向非均匀受压简支板的弹性翘曲稳定	243
9.3.4 均匀受剪简支板的弹性翘曲稳定	244
9.3.5 加劲板的弹性稳定	244
9.4 钢桥构件稳定实用计算方法	249
9.4.1 受压板件的翘曲稳定	249
9.4.2 板件翘曲稳定与构件整体稳定的相关分析	253
9.5 小结	257
思考题	258
本章参考文献	258
第10章 钢桥抗疲劳分析	259
10.1 概述	259
10.2 疲劳分析的基本原理	260
10.2.1 若干重要概念	260
10.2.2 疲劳的分析方法	264
10.3 新建钢桥的抗疲劳设计方法	266
10.3.1 影响疲劳的主要因素	266
10.3.2 名义应力设计方法	270
10.4 既有钢桥剩余寿命预测方法	273
10.4.1 线弹性断裂力学——应力强度因子(K方法)	273
10.4.2 弹塑性断裂力学——J积分(J方法)	276
10.4.3 疲劳裂纹扩展	277
10.4.4 剩余寿命预测	278
10.5 小结	281
思考题	282
本章参考文献	282
第11章 正交异性钢桥面板分析	283
11.1 概述	283
11.2 结构性能分析	284
11.2.1 盖板子系统	285
11.2.2 加劲盖板子系统	285
11.2.3 纵肋和横梁面内弯曲子系统	287
11.2.4 畸变	288
11.3 分析理论和方法	290
11.3.1 Pelikan-Esslinger 法	291

11.3.2 有限元分析方法	300
11.4 钢桥面板设计方法	305
11.4.1 设计水平和验算内容	305
11.4.2 钢桥面板疲劳分析方法	306
11.4.3 疲劳细节类别	307
11.4.4 抗疲劳设计计算	311
11.4.5 算例	311
11.5 小结	314
思考题	314
本章参考文献	314
第12章 组合桥梁分析	316
12.1 概述	316
12.2 组合桥梁结合性能分析	317
12.2.1 组合构件结合性能分析	317
12.2.2 混合结构结合性能分析	320
12.3 组合桥梁截面应力分析	322
12.3.1 组合梁结合作用机理	322
12.3.2 组合梁荷载作用下截面应力分析	323
12.3.3 组合梁长期作用下截面应力分析	324
12.4 组合桥梁连接件作用分析	326
12.4.1 连接件基本力学性能	326
12.4.2 组合桥梁有限元分析方法	327
12.4.3 混合梁结合部有限元分析实例	328
12.4.4 组合索塔锚固区有限元分析实例	330
12.5 连续组合梁负弯矩区作用分析	332
12.5.1 负弯矩区性能改善措施分析	332
12.5.2 连续组合梁桥计算分析	334
12.6 小结	336
思考题	336
本章参考文献	336

第4篇 大跨度桥梁结构分析理论

第13章 桥梁结构几何非线性分析	341
13.1 概述	341
13.2 几何非线性有限元方法	342
13.2.1 总体拉格朗日列式法(Total Lagrangian Formulation)	343
13.2.2 更新的拉格朗日列式法(U. L 列式)	344
13.2.3 T. L 列式与 U. L 列式的异同及适用范围	344

13.3 桥梁结构分析常用单元的切线刚度矩阵	345
13.3.1 平面桁架单元	345
13.3.2 平面柔索单元的切线刚度矩阵	348
13.3.3 平面梁单元的切线刚度矩阵	351
13.4 桥梁结构几何非线性分析若干特殊问题的讨论	352
13.4.1 稳定函数与几何刚度矩阵	352
13.4.2 弯矩对轴向刚度的影响	353
13.4.3 活载的几何非线性分析	354
13.4.4 几何非线性调值计算	355
13.5 非线性方程组的求解	357
13.5.1 增量法	357
13.5.2 Newton-Raphson 法	357
13.5.3 收敛准则	359
13.5.4 计算实例	359
13.6 小结	364
思考题	365
本章参考文献	365
第 14 章 大跨度桥梁的稳定分析	366
14.1 概述	366
14.1.1 稳定理论的发展历程	366
14.1.2 三类稳定问题	367
14.2 第一类稳定问题的弹性及弹塑性稳定分析	368
14.2.1 线弹性有限元分析	368
14.2.2 非线性稳定问题的近似求解	369
14.3 拱桥稳定分析和非保向力效应	370
14.3.1 圆弧拱的平面屈曲	370
14.3.2 圆拱的面外稳定	371
14.3.3 拱桥稳定与非保向力效应	373
14.3.4 非保向力效应的有限元分析	375
14.4 材料非线性有限元方法	375
14.4.1 材料非线性问题	375
14.4.2 应力—应变关系与屈服准则	376
14.4.3 本构矩阵的增量表达式	377
14.4.4 有限元方法	379
14.5 桥梁结构的极限承载力	381
14.5.1 极限承载力和全过程分析	381
14.5.2 单元模式与破坏形态的选取	382
14.5.3 非线性方程的求解	382

14.6 计算实例	383
14.6.1 建立有限元模型	383
14.6.2 极限承载力分析	384
14.6.3 破坏过程及破坏形式分析	384
14.7 小结	385
思考题	386
本章参考文献	386
第15章 斜拉桥结构分析	387
15.1 概述	387
15.2 概念设计阶段的近似分析方法	388
15.3 斜拉桥恒载受力状态的优化	390
15.3.1 索力优化的基本概念	391
15.3.2 斜拉桥索力优化方法评述	391
15.3.3 索力优化的影响矩阵法	392
15.4 斜拉桥有限位移理论分析	396
15.4.1 施工仿真分析	397
15.4.2 斜拉桥的空间分析	400
15.5 斜拉桥的稳定分析	402
15.5.1 加劲梁的面内稳定实用计算	402
15.5.2 主塔的稳定估算	404
15.5.3 斜拉桥稳定分析的有限元方法	404
15.5.4 静风作用下的横向稳定分析	405
15.6 计算实例	407
15.6.1 成桥合理状态及施工状态计算	409
15.6.2 静力非线性的影响	410
15.7 小结	413
思考题	413
本章参考文献	413
第16章 悬索桥结构分析	415
16.1 概述	415
16.2 悬索桥的实用近似分析	416
16.2.1 悬索桥的受力特征	416
16.2.2 成桥状态的近似算法	417
16.2.3 加劲梁在竖向荷载作用下的近似分析	419
16.2.4 水平静风荷载作用下的实用计算	422
16.3 主塔受力分析	423
16.3.1 纵向荷载下主塔实用算法	423
16.3.2 横向荷载作用下主塔受力分析	424

16.3.3 主塔的稳定分析	424
16.4 悬索桥成桥状态和施工状态的精确算法	425
16.4.1 吊索在恒载作用下的轴力计算	425
16.4.2 真实索形的迭代计算	426
16.4.3 悬索桥施工状态分析	427
16.5 计算实例	431
16.6 小结	434
思考题	435
本章参考文献	435

第5篇 桥梁施工控制理论

第17章 现代桥梁的施工控制	439
17.1 概述	439
17.2 现代系统控制基本原理	440
17.2.1 控制系统	440
17.2.2 最优控制系统基本原理	441
17.2.3 优化问题的求解	442
17.3 现代桥梁施工控制的总体思路	443
17.3.1 现代桥梁施工控制的目的与内容	443
17.3.2 现代桥梁施工控制的各种思路	444
17.4 设计阶段与施工控制相关的工作	448
17.4.1 施工过程模拟计算方法	448
17.4.2 确定成桥后的理想受力状态的方法	449
17.4.3 确定施工中的控制目标的方法	450
17.4.4 施工控制精度标准的确定方法	454
17.5 施工现场控制阶段工作	456
17.5.1 现场控制数据	456
17.5.2 参数估计的方法	456
17.5.3 控制调整量计算方法	458
17.5.4 施工阶段现场测试	460
17.6 小结	462
思考题	462
本章参考文献	462
第18章 各类桥梁的施工控制	464
18.1 概述	464
18.2 大跨度连续体系梁桥的施工控制	464
18.2.1 梁桥施工控制问题的提出	464
18.2.2 预应力混凝土连续体系梁桥的病害分析	465

18.2.3	预应力混凝土连续体系梁桥的施工特点及控制对策	469
18.2.4	预应力混凝土连续体系梁桥施工控制重点关注问题	470
18.3	大跨度拱桥的施工控制	473
18.3.1	拱桥的施工特点	473
18.3.2	施工过程中对大跨度拱桥拱轴线的影响	474
18.3.3	大跨度拱桥施工过程设计	475
18.3.4	扣索辅助悬臂拼装拱圈的施工控制	478
18.4	斜拉桥的施工控制	479
18.4.1	斜拉桥的施工特点	479
18.4.2	悬臂浇筑混凝土斜拉桥	480
18.4.3	悬臂拼装混凝土斜拉桥	481
18.4.4	钢主梁斜拉桥	482
18.4.5	钢与混凝土结合梁斜拉桥	483
18.4.6	钢与混凝土混合梁斜拉桥	484
18.5	悬索桥的施工控制	485
18.5.1	悬索桥的施工特点及控制需要关注的重点	485
18.5.2	悬索桥设计与控制的计算	487
18.5.3	施工过程中的控制调整	490
18.6	小结	490
思考题		491
本章参考文献		491
第 19 章 总结与展望		492
19.1	桥梁结构工程发展趋势	492
19.1.1	土木工程师的未来使命	492
19.1.2	可持续桥梁工程需求	493
19.1.3	多学科交叉方法发展	494
19.2	桥梁结构理论发展展望	495
19.2.1	三维精细化结构数值分析方法	495
19.2.2	高性能复合材料组合结构分析方法	496
19.2.3	结构试验和现场实测的验证作用	496
19.2.4	耐久性和全寿命结构设计理论与方法	497
19.2.5	可持续性评价指标体系与方法	498
19.3	结语	498
本章参考文献		499

第1章

绪 论

“高等桥梁结构理论”是一门在本科“桥梁工程”专业课基础上,针对硕士研究生教学的加深课程,故称为“高等(Advanced)”,旨在从理论上加强硕士生桥梁设计中进行分析和计算的能力,加深对桥梁结构的力学性能和桥梁病害的理解,提高对桥梁设计规范中条文的认识和把握。同时,在这门重要课程中会启发硕士研究生进一步从事桥梁结构理论研究的志趣,激励他们继续攻读博士学位,增加在学科前沿攀登高峰的动力。

本课程只涉及桥梁结构的静力学理论,包括桥梁空间分析、钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁分析、钢桥和组合桥梁分析、大跨度桥梁分析以及桥梁施工控制分析等理论。关于桥梁结构的动力学理论将在另一门课程中讲授。

1.1 近代桥梁结构理论的回顾

1.1.1 拱桥和悬索桥的古典计算理论

近代土木工程从17世纪中叶至20世纪中叶的约300年间,经历了最初100余年的“理论奠基时期”(1660~1765年)。意大利学者伽利略(G. Galilei, 1564~1642年)于1638年出版的著作《关于两门新科学的对话》中论述了材料的力学性质和强度概念;随后,1660年英国学者胡克(R. Hooke, 1635~1703年)建立了材料的应力和应变关系的胡克定律;以及1687年英国学者牛顿(I. Newton, 1642~1727年)关于力学的三大定律,共同奠定了土木工程的理论基础。

法国政府于1715年率先成立了路桥部,并于1747年建立了世界第一所工科大学——法国巴黎路桥学校。在1765年英国工业革命发生前,由法国工程师佩罗内(J. R. Perronet, 1708~1794年)领导的巴黎路桥学校研究了石拱桥的压力线,并用力学和材料强度理论对拱圈和桥墩的尺寸进行了计算,建造了许多坦拱桥(图1-1),使欧洲的石拱桥设计达到了很高水平。虽然欧洲坦拱桥的出现比中国隋朝的赵州桥晚了一千多年,但却是建立在理论基础上的科学设计。



图1-1 法国巴黎的协和桥

近代桥梁发展的第二个时期是从18世纪英国工业革命到19世纪后半叶的“进步时期”(1765~1874年),金属材料逐渐替代天然的石料和木料,成为桥梁的主要建筑材料。1779年,英国工程师Abraham Darby III(1750~1790年)设计建造了世界第一座跨度30.65m的