



新世纪土木工程系列教材

桥梁工程

(下册)

强士中 主 编



高等教育出版社



新世纪土木工程系列教材

理论力学 (第6版) (I), (II)

理论力学

材料力学 (第4版) (I), (II)

结构力学教程 (I), (II)

弹性力学简明教程 (第3版)

工程流体力学

流体力学

土木工程概论 (第2版)

土力学

土木工程地质

土木工程材料

混凝土结构设计原理

混凝土结构设计

钢结构设计原理

钢结构设计

基础工程

土木工程施工

建设项目管理

土木工程预算

荷载与结构设计方法

有限单元法基础

结构力学程序设计及应用

结构抗震设计

砌体结构

土木工程测量

组合结构设计原理

土木工程建设法规

高层建筑结构设计

线路勘测设计

桥梁工程 (上册)

桥梁工程 (下册)

城市道路设计

岩石力学

结构概念和体系

哈尔滨工业大学理论力学教研室 编

武清玺 冯奇 主 编

孙训方等 编

龙驭球 包世华 主 编

徐芝纶

禹华谦 主编 莫乃榕 副主编

李玉柱 苑明顺 编

叶志明 江见鲸 主 编

赵树德 主 编

胡厚田 主编 吴继敏 副主编

黄政宇 主 编

沈蒲生 主编 梁兴文 副主编

沈蒲生 主编 梁兴文 副主编

张耀春 主编 周绪红 副主编

张耀春 主编 周绪红 副主编

赵明华 主编 徐学燕 副主编

刘宗仁 主编 王士川 副主编

田金信 主 编

张守健 主 编

白国良 主编 刘明 副主编

王焕定 焦兆平 编 著

王焕定 张永山 编 著

尚守平 主编 周福霖 副主编

唐岱新 主 编

邹永康 主 编

赵鸿铁 主编 张素梅 副主编

吴胜兴 罗世荣 宋宗宇 编

霍达 主编 何益斌 副主编

李远富 主编 杨少伟 副主编

强士中 主编 邵旭东 副主编

强士中 主 编

李杰 主 编

黄醒春 主编 陶连金 曹文贵 副主编

计学闻 王力 编 著

ISBN 7-04-014492-1



9 787040 144925 >

定价 23.20 元

新世纪土木工程系列教材

桥梁工程

(下册)

强士中 主编



高等教育出版社

内容摘要

本教材是新世纪土木工程系列教材之一,是根据教育部关于拓宽专业面、教材是面向 21 世纪的要求编写的。根据高等学校土木工程专业指导委员会制定的该专业培养方案,“桥梁工程”为一门专业课。本教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业课程内容。本教材分上、下两册。上册适用于土木工程专业本科生,通过学习使学生能基本掌握城市道路、公路及铁路常用中、小跨度桥梁设计和施工的基本知识。下册适用于土木工程专业选修桥梁课群组的本科生使用,各章内容相对独立,可根据需要选用,学习之后学生能基本掌握大、中跨度桥梁设计与施工的基本知识。

本书既可作为土木工程专业及相关专业的专业课程教材,也可供从事桥梁工程研究、设计和施工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程. 下册/强士中主编. — 北京: 高等教育出版社, 2004. 11

ISBN 7-04-014492-1

I. 桥... II. 强... III. 桥梁工程-高等学校-教材 IV. U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099215 号

策划编辑	赵湘慧	责任编辑	李 澈	封面设计	于 涛	责任绘图	朱 静
版式设计	张 岚	责任校对	康晓燕	责任印制	杨 明		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.75
字 数 450 000

版 次 2004 年 11 月第 1 版
印 次 2004 年 11 月第 1 次印刷
定 价 23.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:14492-00

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员:沈蒲生(湖南大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

委 员:(排名先后以姓氏笔画为序)

卫 军(华中科技大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘 明(沈阳建筑大学)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

尚守平(湖南大学)

沙爱民(长安大学)

黄醒春(上海交通大学)

焦兆平(广州大学)

霍 达(北京工业大学)

王 健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(兰州理工大学)

张家良(辽宁工学院)

杨和礼(武汉大学)

周 云(广州大学)

赵明华(湖南大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

廖红建(西安交通大学)

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本部门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写大纲和初稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

2002 年 12 月

前 言

为了适应我国经济体制改革的需要,也是为了与国际教育体制接轨,近年来,我国的原建筑工程、桥梁与地下工程、岩土工程、矿井建设工程、公路和铁道工程等专业已调整归并为土木工程专业。高等学校土木工程专业指导委员会相继成立。

根据高等学校土木工程专业指导委员会制订的该专业培养方案,“桥梁工程”为一门专业课。本教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业课程内容。本教材分上、下两册:上册适用于土木工程专业本科生修习,讲授时间约需40学时,通过学习学生能基本掌握城市、公路及铁路常用中、小跨径桥梁设计和施工的基本知识;下册适用于土木工程专业选修桥梁课群组的本科生使用,各章内容相对独立,可根据需要灵活选用,用36~72学时讲授。学习之后,使学生能掌握较复杂的大、中跨桥梁设计与施工的基本知识,并了解各种桥梁设计规范^①的区别和联系。

本课程的先修技术基础课包括结构力学、结构设计原理(含钢结构)、土力学及基础工程。

《桥梁工程》上册分九章,主要介绍中、小跨径桥梁及支座和墩台设计、施工的基本知识。

《桥梁工程》下册主要介绍预应力混凝土连续梁(刚构)桥、拱桥等大跨径桥梁的结构构造特点、设计的基本内容、计算分析方法及其建造过程和特点,还包括近年来在我国大量修建的,线形复杂、功能多样的立交桥。通过学习,使学生能掌握较复杂的大、中跨径桥梁设计的特点及计算方法。这些内容是《桥梁工程》下册的重点。由于篇幅限制,较复杂的斜拉桥和悬索桥只作概要介绍。

本教材是在国内原有城市道路工程、公路工程 and 铁道工程专业各自独立发行的“桥梁工程”教材基础上,结合现行规范编写而成的。

本书由西南交通大学强士中(第十一章第一节和第二节、第十三章、第十四章)、赵人达(第十章),长安大学贺栓海(第十一章第六节),西南交通大学李小珍(第十一章第三节、第十二章)、卫星(第十一章第四节、第五节)共同编写,西南交通大学研究生任伟平和李贞新参加了本书文稿整理及部分图表绘制工作。全书由强士中统稿,并对各章内容做了适当的增、减和调整。

北京交通大学夏禾教授仔细审阅了全书,并提出许多宝贵的修改意见,使本书增色不少,在此表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,同时将不同的桥梁设计规范融合在一本教材中,也是初次尝试,错误和不足之处在所难免,真诚地欢迎使用者批评指正。

编 者

2004年4月

^① 本教材中所采用的术语和符号均为现行桥梁设计规范中所使用的术语和符号。

目 录

第10章 预应力混凝土连续梁

(刚构)桥	1
10.1 概述	1
10.1.1 孔跨分布	3
10.1.2 截面形式	4
10.1.3 预应力钢筋的形式	5
10.2 预应力混凝土连续梁桥的结构构造	7
10.2.1 支架上施工的连续梁	7
10.2.2 平衡悬臂灌注法施工的连续梁	8
10.2.3 顶推法施工的连续梁	9
10.3 预应力混凝土连续梁桥的设计与计算	12
10.3.1 恒载作用下的内力计算	12
10.3.2 活载作用下的内力计算	17
10.3.3 预应力混凝土连续梁桥次内力的计算	19
10.3.4 预应力混凝土变截面梁的抗剪计算	41
10.4 混凝土刚构桥的构造与计算特点	45
10.4.1 概述	45
10.4.2 刚构桥的类型	45
10.4.3 刚构桥的构造特点	47
10.4.4 刚构桥的结构构造实例	52
10.4.5 刚构桥的设计计算特点	56
本章小结	64
思考题与习题	65
第11章 拱桥	67
11.1 概述	67
11.1.1 拱桥的发展	67

11.1.2 拱桥的受力特点	72
11.2 拱桥的结构体系和分类	72
11.3 拱桥构造	77
11.3.1 普通拱主拱圈的构造	77
11.3.2 拱上建筑的构造	91
11.3.3 其他细部构造	96
11.3.4 其他类型拱的构造	101
11.4 拱桥的设计	111
11.4.1 拱桥的总体布置	111
11.4.2 拱桥拱轴线的选择	116
11.4.3 拱桥横截面设计	123
11.5 拱桥的计算	131
11.5.1 悬链线无铰拱的内力计算	131
11.5.2 拱桥计算的有限单元法	146
11.5.3 拱桥强度与稳定性验算	150
11.5.4 拱桥内力调整	158
11.6 拱桥施工	163
11.6.1 拱桥的就地浇筑施工	163
11.6.2 拱桥的装配式施工和无支架施工方法	171
本章小结	178
思考题与习题	179
第12章 城市立交桥	180
12.1 概述	180
12.2 立交桥的基本特点与布置	181
12.2.1 立交的基本组成	181
12.2.2 立交的分类	182
12.2.3 常用的立交形式及特点	188
12.2.4 立交桥的总体布置及构造	193
12.3 曲线梁桥	200
12.3.1 曲线梁桥的分类	200
12.3.2 曲线梁桥的力学特性	201

12.3.3 曲线梁桥的常用分析方法	204	13.6.5 斜拉桥计算的其他问题	246
12.3.4 曲线梁桥预应力钢筋配置中的 若干问题	206	13.7 斜拉桥的施工	247
12.4 斜梁桥	209	13.8 桥例	248
12.4.1 斜桥的基本概念及分类	209	13.8.1 日本多多罗大桥	248
12.4.2 斜梁桥的特点	212	13.8.2 南京长江二桥南汊桥	250
本章小结	216	13.8.3 武汉长江公路桥	253
思考题与习题	217	13.8.4 上海杨浦大桥	255
第13章 斜拉桥	218	13.9 斜拉桥发展中的问题	258
13.1 概述	218	本章小结	259
13.1.1 斜拉桥得以发展的原因和 条件	219	思考题与习题	260
13.1.2 斜拉桥的受力特点	222	第14章 悬索桥	261
13.1.3 斜拉桥尚需进一步研究的 问题	223	14.1 概述	261
13.2 斜拉桥的总体布置	224	14.2 悬索桥的发展过程	261
13.2.1 孔跨布置	224	14.2.1 古代悬索桥	261
13.2.2 主梁的支承体系	225	14.2.2 现代悬索桥的开端	262
13.2.3 斜拉索的布置	225	14.2.3 世界各国大跨悬索桥	262
13.2.4 斜拉索的索面形状	227	14.3 悬索桥的主要构件	266
13.2.5 斜拉索疏密度的选择	227	14.4 重力刚度以及悬索桥的建造	270
13.2.6 索塔的布置	227	14.4.1 重力刚度的概念	270
13.3 主梁截面的选择和设计	228	14.4.2 悬索桥的施工步骤	270
13.3.1 混凝土梁	229	14.5 悬索桥的设计计算	272
13.3.2 钢梁、结合梁和混合梁	229	14.5.1 大缆曲线形状	272
13.4 索塔的截面设计	232	14.5.2 悬索桥的设计计算理论	275
13.5 斜拉索的构造、锚固和防腐	234	14.6 桥例	278
13.5.1 斜拉索的构造	234	14.6.1 明石海峡大桥	278
13.5.2 斜拉索的锚固	236	14.6.2 塞文桥	280
13.5.3 斜拉索的防腐	239	14.6.3 广东汕头海湾大桥	281
13.6 斜拉桥的计算分析	241	14.6.4 江阴长江大桥	282
13.6.1 斜拉桥内力的整体分析	241	14.6.5 香港青马大桥	284
13.6.2 索力初拟	241	14.7 悬索桥的展望	285
13.6.3 斜拉桥施工内力的计算方法	244	本章小结	285
13.6.4 斜拉桥的非线性问题	244	思考题与习题	286
		参考文献	287

第 10 章

预应力混凝土连续梁(刚构)桥

[本章提要] 本章主要讲述预应力混凝土连续梁的内力分布,大跨度连续梁(刚构)桥的结构体系,孔跨分布,截面形式及几何尺寸拟定,预应力钢筋的布置形式,采用不同施工方法时连续梁桥的结构构造。重点掌握不同施工方法预应力混凝土连续梁桥的恒载内力计算方法,引起预应力混凝土连续梁桥产生次内力的因素和各种次内力的计算,预应力混凝土变截面梁的抗剪计算,刚构桥的构造特点、几何尺寸拟定、内力计算的基本原则和假定、各种因素作用下的内力(次内力)计算。

10.1 概述

预应力混凝土简支梁桥受施工及结构等条件的限制,当其跨径超过一定范围时(如 40 ~ 50 m),就很难做出经济合理的设计。因而,大跨径混凝土桥常采用在内力分布方面较为合理的其他结构体系,如拱桥、悬臂梁桥、连续梁桥、刚构桥和斜拉桥等。本章讨论预应力混凝土连续梁桥和刚构桥。

连续梁是一种古老的结构体系,它具有变形小,结构刚度好、行车平顺舒适、伸缩缝少、养护简易、抗震能力强等优点。连续梁与静定体系的其他形式的梁桥相比,具有较为显著的经济性。仅从连续梁和简支梁的强度与变形的简单比较即可看出这一特点。

从图 10.1.1a、b 可以看出,两跨连续梁内力的分布要比同跨度的简支梁合理,虽然绝对最大弯矩都是 $ql^2/8$,但连续梁跨中最大弯矩只有简支梁的 56%,跨中最大挠度仅为简支梁的 40%。因此,不论从刚度方面还是从强度方面来说,连续梁都可以采用比简支梁要小的跨中梁高。而支点负弯矩值还可以通过调整跨径之比来降低,以受均布荷载作用的三跨连续梁为例,假定梁的各跨截面相同,设边跨跨径为 l_1 ,中跨跨径为 l_2 ,从图 10.1.2 可以看出,当 $\lambda = l_1/l_2 = 0.4 \sim 0.5$ 时,中间支点截面的最大负弯矩值约为 $0.07ql_2^2$,中间跨内跨中截面处的最大正弯矩值约为 $0.055ql_2^2$,显然比等跨布置时为小。

由于连续梁是超静定结构,它又有与静定结构不同的特点:即在结构各部分中内力的大小与抗弯刚度 EI 直接相关。因此,若将连续梁中间支承截面的刚度加大,如变高度梁,可以调低跨中的正弯矩,使预应力钢筋的大部分可以布置在梁的顶部,便于张拉。虽然中间支承处的负弯矩有所增大,但梁的高度也相应地加高了,并不致引起钢筋用量的增多。

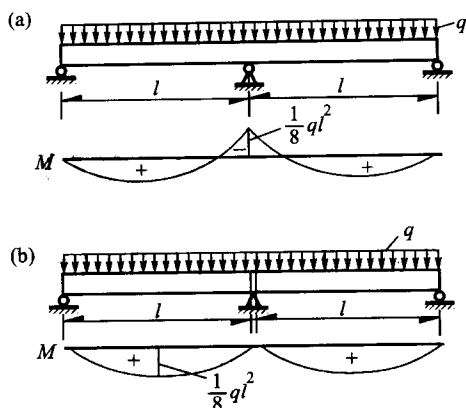


图 10.1.1 简支梁与连续梁的弯矩比较

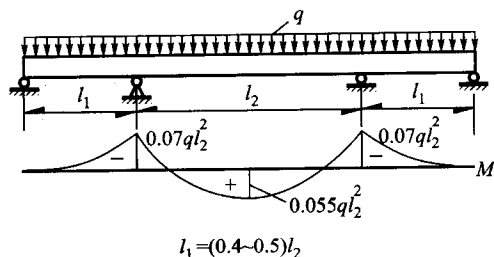


图 10.1.2 三跨连续梁的弯矩图

在连续梁等超静定结构中,可用调整应力的方法使其赘余力在恒载作用下为某预定值,以改善结构中内力的分布,例如借调整连续梁的反力来改变全梁弯矩的分布。也可以利用伸臂平衡重,即在梁端支承的后方做一短的悬臂,并在其上压重。该方法不仅可以减小端跨中部的正弯矩,而且还降低了内支承处的负弯矩,但对三跨连续梁而言,它也增大了中间跨中部的正弯矩。

预应力钢筋的合理使用,有利于纵向顶推、悬臂灌注或悬臂拼装等施工方法的实现,这些施工方法又促进了大跨径预应力混凝土桥梁结构的推广。例如,委内瑞拉的卡罗尼河连续梁桥,最大跨径 96 m,全长约 500 m,采用等高度箱形截面,顶推法施工;日本的浜名大桥,最大跨径达 240 m,采用悬臂灌注法施工。

除上述外,当超载时,连续梁有可能发生内力重分布,提高整个梁部结构的承载能力。对于基础不均匀沉降的影响,只要不使结构物产生破坏性的裂缝,它所引起的附加内力,由于混凝土的徐变特性,可以适当地调整。

连续梁在中间桥墩上只有一个支座,在竖直荷载作用下桥墩只受轴向的压力,除制动墩外,连续梁的桥墩及其基础的尺寸都可以做得小一些。

预应力混凝土连续梁等超静定结构的主要缺点是预应力钢筋的布置难于发挥预加应力的优点。由于在梁的大部分截面内既有正号弯矩,也有负号弯矩,这就迫使预应力合力的偏心靠近截面重心轴,从而降低了预加应力的作用,并且还影响梁的极限承载能力。

构件在偏心的纵向预压力作用下,因受弯矩作用而产生弯曲变形,在连续梁等超静定结构中,若构件的变形受到约束,则在其支承处必然产生附加的反力,从而导致二次弯矩。二次弯矩的符号和原预加力矩的符号相反,致使预压力的偏心向重心轴移动,降低预加应力的作用。

悬臂梁在弯矩分布方面具有连续梁的某些特点,在中间支承处有较大的负弯矩,在跨中部分正弯矩很小,甚至全是负弯矩,预应力钢筋有可能全部布置在梁的顶部。悬臂结构便于用悬臂法施工,因而大跨径桥梁做成悬臂梁的也不少。但是,悬臂端的伸缩缝很大,挠度大,混凝土徐变引起的变形也大,致使桥面变形曲线在设铰的地方发生波折,于行车不利。因此,现已较少采用悬臂结构。

在我国铁路桥梁建设中,1966 年在成昆线用悬臂拼装法建成第一座预应力混凝土铰接悬臂

梁桥—旧庄河一号桥,跨径为 $24\text{ m} + 48\text{ m} + 24\text{ m}$ 。1970 年又用悬臂灌注法建成结构形式相同的成昆线孙水河五号桥,跨径为 $32.6\text{ m} + 64.6\text{ m} + 32.6\text{ m}$ 。1975 年建成的北京枢纽东北环线的通惠河桥,是我国第一座铁路预应力混凝土连续梁桥,系在支架上施工,跨径为 $26.7\text{ m} + 40.7\text{ m} + 26.7\text{ m}$ 。1977 年建成的西延线狄家河桥,是采用顶推法施工的预应力混凝土连续梁桥,跨径为 $4 \times 40\text{ m}$ 。上世纪 80 年代建成的白面石武水大桥(跨径为 $32\text{ m} + 64\text{ m} + 32\text{ m}$ 的双线预应力混凝土铁路连续梁桥)和茅岭江大桥(跨径为 $48\text{ m} + 80\text{ m} + 48\text{ m}$ 的单线预应力混凝土铁路连续梁桥),为我国的大跨径预应力混凝土连续梁桥的发展积累了经验。上世纪 90 年代以来,大跨径预应力混凝土铁路连续梁桥有了进一步发展。1991 年建成的钱塘江二桥主桥,是跨径为 $45\text{ m} + 65\text{ m} + 14 \times 80\text{ m} + 65\text{ m} + 45\text{ m}$ 的双线预应力混凝土铁路连续梁桥(公路桥与铁路桥并列,跨径组成完全相同),其主梁连续长度(联长)居世界第一;1993 年建成的广深准高速铁路线上的石龙大桥,其跨径为 $40\text{ m} + 3 \times 72\text{ m} + 40\text{ m}$,是国内第一座大跨径部分预应力混凝土铁路连续梁桥;1996 年建成的南昆线八渡南盘江大桥,是跨径为 $54\text{ m} + 2 \times 90\text{ m} + 54\text{ m}$ 的部分预应力混凝土 V 形支撑连续梁桥,为我国第一座 V 形支撑铁路连续梁桥。国内铁路预应力混凝土连续梁桥跨径最大者为 1997 年建成的湖南常德沅江桥,主跨达 96 m 。

在我国公路桥梁建设中,预应力混凝土连续梁桥于上世纪 70 年代首次应用于城市桥梁工程,此后发展极为迅速,已成为预应力混凝土大跨径桥梁的主要桥型之一,国内公路预应力混凝土连续梁桥的最大跨径已达 165 m ,跨径组成为 $90\text{ m} + 3 \times 165\text{ m} + 90\text{ m}$ (2000 年建成的南京长江二桥北汉桥)。

连续刚构桥是墩梁固接的连续梁桥。这种体系主要利用墩的柔性来适应桥梁的纵向变形,在大跨高墩连续梁中比较适合。

我国修建了大量的预应力混凝土连续刚构桥,铁路桥梁的代表有攀枝花金沙江大桥,跨径组成为 $100\text{ m} + 168\text{ m} + 100\text{ m}$;南昆铁路上的清水河大桥跨径组成为 $72.8\text{ m} + 128\text{ m} + 72.8\text{ m}$,墩高百米;公路桥梁的最大跨径为 270 m (虎门大桥辅航道桥),跨径组成为 $150\text{ m} + 270\text{ m} + 150\text{ m}$,该桥于 1997 年建成。目前,预应力混凝土连续刚构桥的最大跨径已达到 301 m (挪威的斯道尔玛桥,跨径组成为 $94\text{ m} + 301\text{ m} + 72\text{ m}$,1998 年建成),该桥的特点是:在中跨 182 m 的范围内,采用高强轻质混凝土,有效地降低了桥梁的自重弯矩。

我国重庆石板坡长江大桥复线桥为 7 跨预应力混凝土连续刚构桥,跨径组成为 $86.5\text{ m} + 4 \times 138\text{ m} + 330\text{ m} + 132.5\text{ m}$,在主跨 330 m 梁的跨中部分采用 108 m 的钢箱梁以减小自重弯矩。

以上情况说明,在大跨径的连续梁或连续刚构桥中,为了降低自重内力,采用不同材料组合的混合结构体系是一个值得重视的方向。

10.1.1 孔跨分布

连续梁桥可以做成三跨或者四跨一联的,也可以做成多跨一联的,一般不超过六跨,特殊情况下也有例外(如钱塘江二桥)。每联跨数太多,联长就要加大,受温度变化及混凝土收缩等影响产生的纵向变形也就较大,使伸缩缝及活动支座的构造复杂,对桥梁的墩台也不利;每联长度太短,则使伸缩缝的数目加多,不利于高速行驶。建桥处的地形、地质与水文条件,以及通航要求等对孔跨分布常常起决定性作用;此外,还要结合墩台、基础及支座的构造,综合分析比较才能选

出最优方案。从梁内弯矩的分布情况来看,对于每联三跨以上的连续梁,等跨时边跨的跨中弯矩大于中间跨的跨中弯矩,故常用缩短边跨的办法来调整弯矩的分布,边跨与中跨的比值可在 $0.7 \sim 0.5$ 之间,甚至可选取 0.3 。对于三跨连续梁,边跨与中跨的比值多用 $0.6 \sim 0.67$;对于多跨连续梁,该比值可增大到 0.8 ,当采用悬臂法施工时宜取 $0.5 \sim 0.6$ 。当边跨与中跨之比小于 0.3 时,端支座上将有较大的负反力(即拉力)出现,对此种支座要做特殊处理,例如在桥台上设置构造复杂的拉力支座,或采用在边跨末端压重的办法来消除负反力。在某些施工方法中,预应力混凝土连续梁采用等跨布置也常常是有利的。如采用预制简支梁进行墩上拼装,连接成整体后转变为连续梁的施工方法,跨径布置成等跨就能节约模板,施工简便、迅速。采用顶推法施工的连续梁,由于顶推时悬出端的负弯矩常常控制施工设计,布置成等跨径也比较合理。总而言之,连续梁的孔径布置是多种多样的。设计时应从各个方面作具体的分析,综合比较而定。

10.1.2 截面形式

预应力混凝土连续梁的纵截面可布置成等高度或变高度的形式,跨径大于 60 m 时,多采用变高度梁。但有时为了美观或施工等要求,即使跨径较大,仍采用等高度梁,如委内瑞拉的卡罗尼河桥,最大跨径达 96 m ,为了便于顶推施工,采用等高度梁。

在连续梁桥的截面选择中,不仅要考虑弯矩数值上的变化,而且要考虑弯矩符号的变化。在可变弯矩及轴力的作用下,构件截面的应力状态与截面核心距离有关,当轴向压力作用在截面核心范围内时,截面边缘不出现拉应力。因此,截面的核心距离愈大,轴向压力的偏心可以愈大,即预应力钢筋合力的力臂愈大,预应力的作用便愈可以充分地发挥。如图 10.1.3 所示,对于矩形截面,核心距离约为 $h/3$, h 为截面的高度;具有宽翼缘的 T 形截面,核心距离约为 $0.4h$;箱形截面的核心距离随腹板厚度与截面轮廓尺寸的比值而变化,有可能达到 $0.5h$ 。截面核心距离的选择,主要取决于恒载与活载的比值,对于活载较大的铁路桥梁,宜采用核心距离大的箱形截面。对于用顶推法或悬臂法施工的连续梁,采用箱形截面也是合适的。

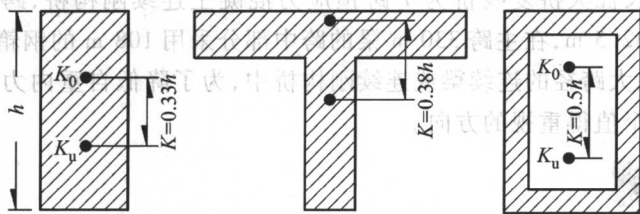


图 10.1.3 截面核心距离

箱形截面在中间支承处的梁高约为跨度的 $1/16 \sim 1/26$ (等高度梁) 或 $1/12 \sim 1/22$ (变高度梁), 铁路桥梁应取较大的比值。变高度梁的跨中梁高与支点梁高的比约为 $0.2 \sim 0.85$, 平均为

0.4 左右。腹板厚度应根据抗剪强度、钢筋的布置以及浇筑混凝土等要求来确定,通常梁在支承处的腹板厚度约为其截面高度的 $1/12 \sim 1/16$ (等高度梁) 或 $1/15 \sim 1/20$ (变高度梁),当腹板内有竖向预应力钢筋时,可取较小值。

对于铁路预应力混凝土连续梁桥,单线铁路梁常用单室箱;双线铁路梁可用两个平行的单室箱,也可用一个单室箱或一个多室箱。

对于公路预应力混凝土连续梁桥,横截面形式主要根据跨径、桥宽以及施工方法来选择。跨径在 20 m 以下者,一般采用实心板或空心板。跨径大于 20 m 时,可采用下缘为马蹄形的 T 梁,为了承受支点附近的较大的负弯矩与剪力,T 形截面可以增大马蹄宽度与肋的宽度,梁肋间距为 1.35 ~ 3.5 m。较大跨度的预应力混凝土连续梁,一般采用箱形截面。

10.1.3 预应力钢筋的形式

考虑连续梁的弯矩沿梁长变化的情况,连续梁跨中部分的钢筋要放置在梁的下翼缘内,中间支承附近的钢筋则应布置在梁的上翼缘内。因此,钢筋最好布置成波浪形,如图 10.1.4a 所示。

为了充分发挥预应力钢筋的作用,使它具有较大的力偶臂,承受正弯矩的梁段,截面重心应尽可能高些;承受负弯矩的梁段,截面重心应尽可能低些。因此,跨度较大的连续梁常设计成高度按曲线形变化的梁,梁的截面重心线也即曲线形,这样可以使预应力钢筋的弯曲平缓些(如图 10.1.4b 所示),有利于张拉工作,减小摩阻损失。

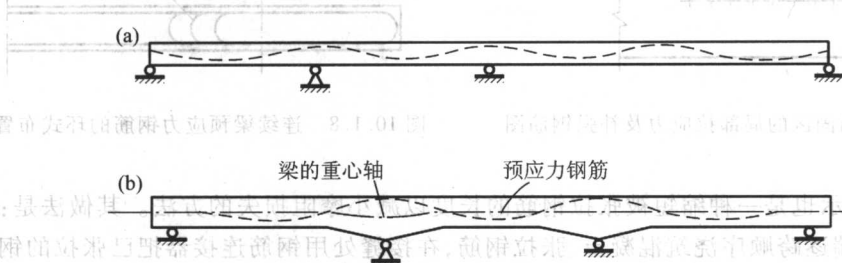


图 10.1.4 就地浇筑连续梁的预应力钢筋布置图

当梁轴线的变化较陡时,为便于张拉,预应力钢筋可以布置成直线形,如图 10.1.5a 所示;或者贯通全梁的预应力钢筋采用直线形的,同时在各中间支承处,配置短的帽筋,如图 10.1.5b 所示,以满足支点负弯矩的需要。这些帽筋锚固在中间支承两边的梁的下翼缘内。

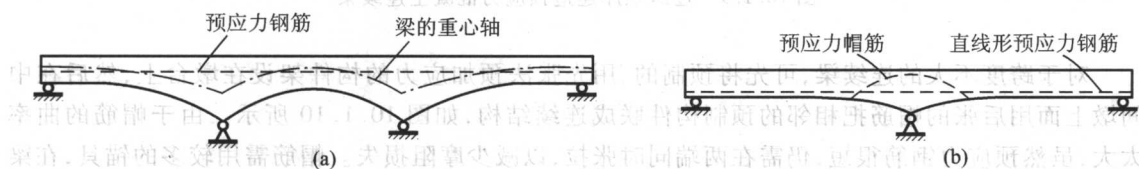


图 10.1.5 连续梁的预应力钢筋布置图

为了减少摩阻损失,可以缩短张拉钢筋的长度,增加张拉的次数,采用交叉配筋的方式把预加力连接起来,如图 10.1.6 所示。这时,预应力钢筋都被锚固在梁的顶部,因为在锚固区有局部

拉应力作用,常可能导致发生裂缝,此处应注意配设普通钢筋,如图 10.1.7 所示。



图 10.1.6 在连续梁中间支承处的交叉配筋图

为了避免交叉配筋引起的过大的局部应力,可以采用如图 10.1.8 所示的环式布置,将钢筋置于明槽中,用强大千斤顶同时张拉,同样可以达到降低摩阻损失的目的。

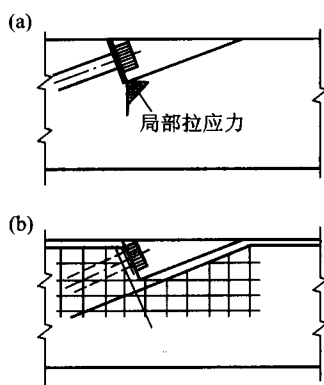


图 10.1.7 梁顶锚固区的局部拉应力及补强钢筋图

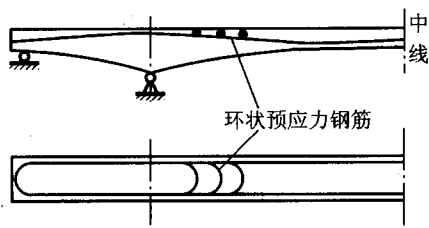


图 10.1.8 连续梁预应力钢筋的环式布置图

图 10.1.9 所示也是一种缩短被张拉钢筋的长度以减小摩阻损失的方法。其做法是:从连续梁的一端向另一端逐跨顺序浇筑混凝土、张拉钢筋,在接缝处用钢筋连接器把已张拉的钢筋连接起来。接缝位置最好选择在梁的反弯点处。

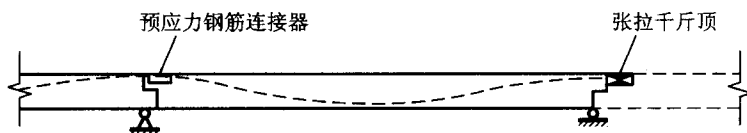


图 10.1.9 逐跨顺序建造预应力混凝土连续梁

对于跨度不大的连续梁,可先将预制的、用先张法预加应力的构件架设在墩台上,然后在中间墩上面用后张的帽筋把相邻的预制构件联成连续结构,如图 10.1.10 所示。由于帽筋的曲率太大,虽然预应力钢筋很短,仍需在两端同时张拉,以减少摩阻损失。帽筋需用较多的锚具,在梁的底缘张拉也比较麻烦,而且须待混凝土达到设计强度后才能进行张拉。若在接缝处桥面板内布设环式预应力钢筋,可利用置于接缝中间的千斤顶,推开梁体达到张拉钢筋的目的,然后填筑接缝混凝土,形成连续结构。后张拉的钢筋全部放在梁的顶板内,施工比较方便。后张拉的钢筋也可以采用曲线形的,如图 10.1.11 所示。逐跨顺序张拉,在接缝处用钢筋连接器把它接长。按

上述各种方式构成的连续梁,其预制跨间构件,如同简支梁那样承受全部自重及施工荷载,附加的恒载和活载等则由张拉后张钢筋所形成的连续结构承受,故亦称为部分连续梁。

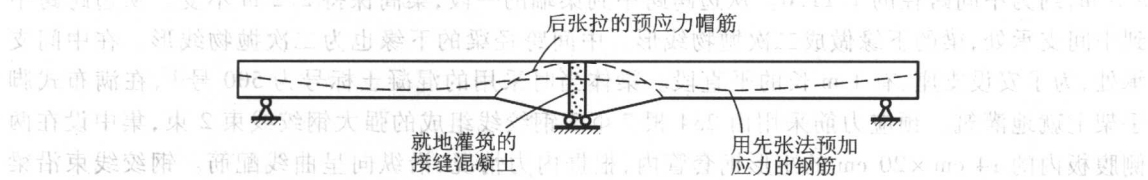


图 10.1.10 用预应力帽筋把预制构件联成连续梁

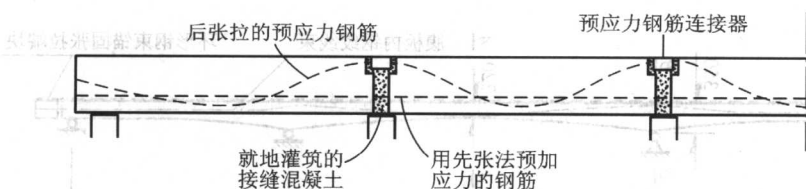


图 10.1.11 用预应力钢筋连接器把后张拉的曲线形预应力钢筋接长

对于用顶推法或悬臂法施工的大跨径桥梁,还要考虑施工过程中的荷载常和运营阶段的荷载符号不同,有些预应力钢筋只是在施工的某一阶段需要,而在运营阶段需用的某些预应力钢筋,在施工阶段反而不利,这就使得钢筋的布置更加复杂。图 10.1.12 为用悬臂法施工的预应力混凝土连续梁的预应力钢筋布置图。其通过支承处的钢筋分段向下弯至腹板内,并锚固于各段的接缝处;跨中部分的钢筋,从反弯点处梁的顶部开始向下弯曲到梁的底部,待接缝混凝土浇筑并达到设计强度后,在桥面板上进行张拉,并锚固于梁的顶部。前者叫做悬臂索,后者则称为连续索。

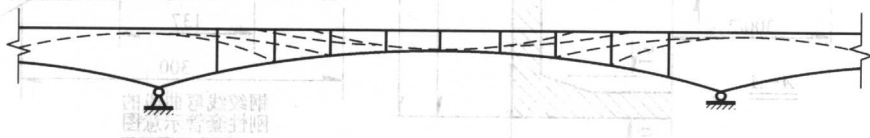


图 10.1.12 用悬臂法施工的连续梁的预应力钢筋布置图

总而言之,设计者可以根据具体情况,采用各式各样的布筋形式来满足施工、运营阶段的受力要求。

10.2 预应力混凝土连续梁桥的结构构造

10.2.1 支架上施工连续梁

1975 年,在北京东北环行线上建成了我国第一座预应力混凝土(双线)铁路连续梁桥——通