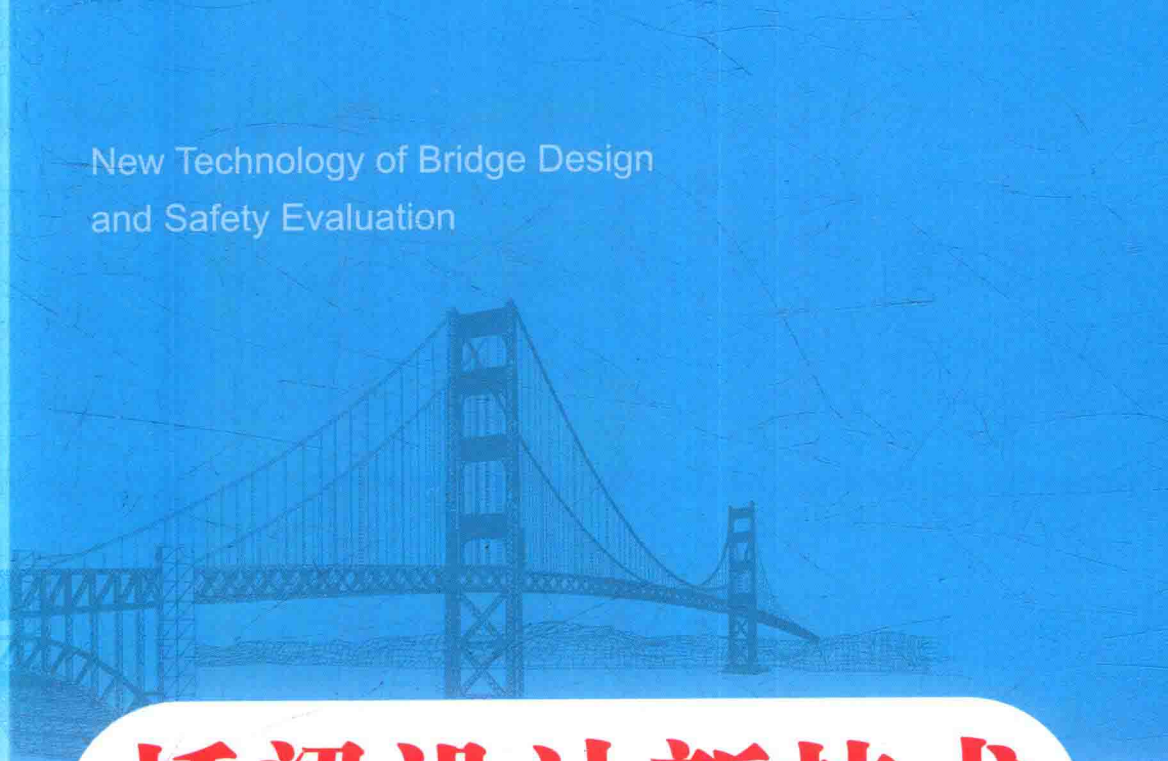


New Technology of Bridge Design
and Safety Evaluation



桥梁设计新技术 及安全性能评价

李作恒 梁 栋 著
赵文忠 戎 贤



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

桥梁设计新技术 及安全性能评价

李作恒 梁 栋 赵文忠 戎 贤 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书分为四个部分,分别为第一部分:HRB500 钢筋在桥梁工程中的应用研究;第二部分:空心板梁桥设计新方法研究;第三部分:预应力梁的破坏机理研究;第四部分:高墩简支变连续梁桥抗震性能研究。

本书可作为建筑和桥梁设计、施工工作者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁设计新技术及安全性能评价 / 李作恒等著. —
北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.9

ISBN 978-7-114-14142-3

I. ①桥… II. ①李… III. ①桥梁设计—研究 IV.
①U442.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 249546 号

书 名: 桥梁设计新技术及安全性能评价

著 作 者: 李作恒 梁 栋 赵文忠 戎 贤

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 14.5

字 数: 243 千

版 次: 2017 年 9 月 第 1 版

印 次: 2017 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14142-3

定 价: 48.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

随着桥梁工业的发展,桥梁的安全问题也越来越引起人们的关注,而桥梁结构本身的形式、设计、施工工艺都会成为影响桥梁安全的重要因素。现如今我国工程建设工艺持续发展,越来越多的结构形式新颖、跨径大的桥梁被设计施工并投入到使用当中。但是对于这些结构复杂的大跨径桥梁如果继续使用普通强度钢筋,会造成钢筋用量增大,容易造成混凝土振捣不密实,从而引起安全隐患。所以,发展低成本高性能钢筋已经成为需要迫切解决的问题,而研究其工程应用也是非常重要的。为了在预应力混凝土桥梁结构中推广应用 HRB500 级钢筋,有必要进行相关研究。通过在桥梁中用 HRB500 钢筋替换全部或部分受力主筋,利用高强钢筋弹性模量与普通钢筋相近而强度高的材料特性来改善桥梁的受力性能和变形性能,拓展其在工程建设中的应用范围。

同时,在我国公路交通事业蓬勃发展的同时也出现了一些严峻的问题,各级公路的交通量逐渐加大,车辆的吨位与载质量逐渐增加,超载车辆数量急剧增长。在我国公路上现有旧桥数量巨大,特别是 20 世纪 80 年代以前修建的桥梁,运行已经超过 30 年。这些桥梁大多承载能力不足,加之年久失修、维护不够,使得这些桥梁绝大多数属于带病工作。当今的交通量和车载形式已经远远超过了 20 世纪的桥梁设计承载极限。车辆超载使得梁板间连接的企口缝发生破坏,破坏了梁板间的格局联系,导致荷载横向传递不畅,造成单梁板受力等不利状况,轻则危及交通,重则造成严重的交通事故。简支板梁桥出现这种“单梁板受力”的严重病害的原因之一是设计及理论上的缺陷。目前横向内力分布应用的是铰接板法。应用该方法的前提条件是桥梁横向刚度和纵向刚度之比很小,而实际中空心板的横向刚度很大,而铰缝刚度很弱。实践证明,一般经过 3 年左右时间,铰缝由于荷载和应力集中就会

出现断裂。基于上述原因,必须进行以改进空心板梁桥受力模式为目的的研究,以实现彻底解决“单梁板受力”问题。

目前我国高速铁路与高速公路蓬勃发展,为了满足高架桥的安全与质量以及充分适应交通运输载质量逐渐增加的需要,对这些桥梁的安全性进行研究是十分有必要的。大量实践证明,桥梁安全性研究不但是在竣工验收时对桥梁工程内在质量进行评定最直接和最有效的方法和手段,而且为设计理论、施工技术积累了经验,为桥梁建设总体水平的提高创造了条件,也为桥梁正常运营养护提供了技术依据。所以进行桥梁的安全性研究不但可以为决策者对桥梁的承载能力做出科学的判断,而且能够提供直观的依据,因此,对桥梁进行安全性研究具有较强的理论意义和广阔的应用前景。对于新建桥梁而言,通过荷载试验以及针对性较强的数值模拟,可为桥梁竣工验收、发展桥梁设计理论和提高施工工艺水平,不断地积累技术数据并提供科学依据;对于已建桥梁而言,通过桥梁安全性研究可以客观地了解桥梁的工作现状,正确地评估桥梁的承载性能,为桥梁的安全运营提供指导。因此,桥梁安全性研究是一项具有社会价值与经济意义的工作。

我国对先简支后连续梁桥研究时间并不晚于世界其他国家,但由于该桥型在国内公路桥梁建设中普及历程较为缓慢,发展相对滞后,无论是研究成果还是施工技术与国外领先世界水平相比还有一段差距。在交通运输工程事业蓬勃发展的今天,简支变连续梁桥所表现出来的良好的经济性、适用性、安全性,使该桥型在桥梁工程领域得到推广使用,此种施工方法必将收到巨大的社会效益,使标准化桥梁设计工作得以向前推进。但简支变连续梁桥的抗震设计目前依然比较困难,针对它的抗震设计理论很不成熟,没有统一的标准,缺乏相关的规范和足够的抗震设计依据。最近十年来新建的简支变连续梁桥,几乎都没有经历过强震的检验,因而其震害资料严重匮乏,没有高烈度地震作用下的使用经验。因此研究分析简支变连续梁桥的地震反应特点,掌握其地震响应规律和合理的抗震设计方法,进一步完善先简支后连续梁桥抗震方面的理论,时不我待。

基于上述背景,本书作者在广泛调查研究的基础上,编写了本书,以飨读者。本书分为四个部分,第一部分:HRB500 钢筋在桥梁工程中的应用研究;第二部分:空心板梁桥设计新方法研究;第三部分:预应力梁的破坏机理研

究;第四部分:高墩简支变连续梁桥抗震性能研究。本书在成书过程中经过有关专家的详细审阅,他们为本书提出了非常宝贵的意见和建议,在此向他们表示衷心的感谢。

本书可作为建筑和桥梁设计、施工工作者的参考用书,同时恳请广大同行对书中的错误与不妥之处进行批评指正。

编 者

2017 年 6 月

目录

第一部分 HRB500 钢筋在桥梁工程中的应用研究

第 1 章 绪论	3
1.1 引言	3
1.2 无黏结预应力混凝土结构特点及研究现状	4
1.3 HRB500 级钢筋的性能及在桥梁工程中的应用研究概况	5
1.4 研究的背景及意义	6
1.4.1 研究背景	6
1.4.2 研究意义	6
第 2 章 无黏结部分预应力混凝土梁的设计制作	8
2.1 引言	8
2.2 试验梁的设计制作	8
2.2.1 试验梁的设计参数	8
2.2.2 试验梁的施工制作	11
第 3 章 无黏结部分预应力混凝土梁受弯性能的试验研究	13
3.1 无黏结部分预应力混凝土梁试验研究	13
3.1.1 试验概况	13
3.1.2 非预应力筋应变、预应力筋应力及混凝土应变	17
3.1.3 裂缝开展及其规律	23
3.1.4 挠度变化规律	23
3.1.5 试验梁受力特点及破坏特征	27
3.1.6 基本试验结果	28
3.2 无黏结部分预应力混凝土梁预应力筋极限应力增量分析	28

3.2.1	影响无黏结预应力筋极限应力增量的因素分析·····	28
3.2.2	无黏结部分预应力混凝土梁预应力筋极限应力增量的计算方法···	30
3.2.3	无黏结部分预应力混凝土梁预应力筋极限应力增量分析·····	36
3.3	无黏结部分预应力混凝土梁正截面抗弯承载力分析·····	37
3.4	无黏结部分预应力混凝土梁挠度分析·····	39
3.4.1	试验梁挠度计算方法·····	39
3.4.2	试验梁挠度计算值与实测值对比分析·····	41
3.5	无黏结部分预应力混凝土梁正截面抗裂性能分析·····	44
3.6	无黏结部分预应力混凝土梁裂缝间距分析·····	45
3.7	无黏结预应力筋应力增量与跨中挠度关系分析·····	47
第4章	HRB500 钢筋在实桥中的应用研究·····	51
4.1	工程概况·····	51
4.2	HRB500 钢筋设计指标·····	53
4.3	配置 HRB500 钢筋桥梁的现场试验·····	53
4.3.1	试验目的·····	53
4.3.2	试验方法·····	54
4.3.3	右幅桥梁受力钢筋变换情况·····	54
4.3.4	试验内容·····	54
4.3.5	试验方案·····	54
4.3.6	试验结果及分析·····	57
4.4	配置 HRB500 级钢筋的节材效益分析·····	57
4.4.1	情况·····	57
4.4.2	经济效益分析·····	58
4.4.3	社会效益·····	58
4.5	本章小结·····	58

第二部分 空心板梁桥设计新方法研究

第5章	绪论·····	63
5.1	研究背景·····	63
5.2	问题提出·····	64
5.3	桥梁加固方法·····	65

5.3.1	桥面补强层加固法	66
5.3.2	增大截面与配筋加固法	66
5.3.3	体外预应力加固法	66
5.3.4	粘贴钢板加固法	67
5.3.5	改变结构形式加固法	68
5.3.6	增设主梁加固法	68
5.3.7	锚喷混凝土加固法	68
5.3.8	增设横梁加固法	69
5.3.9	粘贴纤维布(板)加固法	69
5.4	加固效果评定指标	69
5.5	国内外加固研究现状	69
第6章	空心板桥破坏情况及原因简述	71
6.1	装配式空心板桥破坏形态	71
6.2	原因分析	72
6.2.1	设计理念的偏差	72
6.2.2	铰缝施工工艺的影响	73
6.2.3	其他因素	74
6.3	本章小结	74
第7章	现有荷载横向分布系数计算理论分析	76
7.1	引言	76
7.2	荷载横向分布理论	76
7.3	计算方法	77
7.3.1	铰接板法	77
7.3.2	刚接板法	80
7.3.3	有限单元法	82
7.3.4	计算方法对比	83
7.4	本章小结	85
第8章	空心板桥模型及加固	86
8.1	引言	86
8.2	基于 ANSYS 的有限元分析	86
8.2.1	有限元模型建立	86

8.2.2 荷载处理与边界条件	88
8.3 有限元模型分析	88
8.3.1 空心板桥体外预应力加固原理及影响因素	88
8.3.2 模拟计算工况	89
8.3.3 因素一:体外预应力大小	90
8.3.4 因素二:体外预应力钢筋桥长方向布置	95
8.3.5 因素三:体外预应力钢筋桥深方向位置	96
8.3.6 因素四:铺装层厚度	97
8.3.7 因素五:铰缝深度	98
8.4 不同跨径桥梁加固方案探究	99
8.5 本章小结	101
第9章 空心板梁桥试验模拟分析	103
9.1 引言	103
9.2 板桥模型试验简况及加载工况	103
9.2.1 模型试验简况	103
9.2.2 试验工况	104
9.3 试验测试内容和方法	105
9.3.1 试验测试内容	105
9.3.2 测点布置和测试方法	106
9.4 静载试验结果及分析	106
9.4.1 预应力大小改变对挠度的影响	106
9.4.2 梁深位置对挠度的影响	109
9.4.3 纵向预应力筋布置对挠度的影响	110
9.5 本章小结	113

第三部分 预应力梁的破坏机理研究

第10章 绪论	117
10.1 概述	117
10.2 桥梁安全性研究的意义	117
10.3 国内外桥梁安全性研究综述	118
10.4 荷载试验在桥梁安全性研究中的应用	119

10.4.1	静荷载试验	119
10.4.2	动荷载试验	119
10.4.3	公路桥梁荷载试验的一般程序	120
第 11 章	试验梁的设计与施工	121
11.1	试验目的及工程概况	121
11.1.1	试验目的	121
11.1.2	工程概况	121
11.2	试验梁材料的基本性能	122
11.2.1	混凝土材料的力学性能	122
11.2.2	普通钢筋的力学性能	123
11.2.3	预应力钢筋的力学性能	123
11.2.4	锚具与支座材料的规格及性能	123
11.3	试验梁的内力计算	123
11.3.1	试验 T 梁的永久作用效应计算	124
11.3.2	试验 T 梁的可变作用效应计算	125
11.3.3	试验 T 梁的荷载作用效应总汇及加载控制荷载计算	130
11.3.4	试验 T 梁配筋图	132
11.4	本章小结	135
第 12 章	试验梁的加载与测点布置	136
12.1	试验梁基础设计	136
12.2	加载装置设计	136
12.2.1	锚筋轴向拉力设计值计算	137
12.2.2	锚筋截面面积应满足的要求	137
12.2.3	锚筋的有效锚固长度计算	137
12.2.4	锚筋布置	137
12.2.5	加载梁及加载梁梁帽选择	138
12.3	测试项目与测点布置	140
12.3.1	试验测试的项目及方法	140
12.3.2	具体试验梁的测点布置	143
12.4	加载实施与控制	145
12.4.1	试验加载阶段划分	145

12.4.2	试验梁加载方案	145
12.4.3	试验梁加载稳定时间控制	146
第 13 章	试验结果分析	147
13.1	试验 T 梁实测试验结果分析	147
13.1.1	正常使用状态结果分析	147
13.1.2	开裂状态结果分析	148
13.1.3	正常使用极限状态的分析	149
13.1.4	极限承载能力(破坏)状态的分析	149
13.2	试验箱梁实测试验结果分析	150
13.2.1	正常使用状态结果分析	150
13.2.2	开裂状态结果分析	151
13.2.3	正常使用极限状态分析	151
13.2.4	极限承载能力(破坏)状态分析	152
13.3	试验 T 梁的预应力损失分析	152
13.4	有黏结预应力混凝土结构使用阶段预应力钢筋的应力分析	153

第四部分 高墩简支变连续梁桥抗震性能研究

第 14 章	绪论	159
14.1	先简支后连续梁桥的发展概况	159
14.1.1	先简支后连续梁的优点	159
14.1.2	国内外研究现状	160
14.2	先简支后连续梁桥抗震研究概况	161
14.2.1	地震及震害	161
14.2.2	先简支后连续梁桥的震害分析	161
14.2.3	先简支后连续梁桥抗震现状	163
第 15 章	先简支后连续梁桥动力特性分析	164
15.1	结构自振特性分析基本理论	164
15.1.1	动力学有限元方程的建立	164
15.1.2	特征值的求解方法	166
15.2	依托工程基本资料	166
15.2.1	邢汾高速公路某大桥	166

15.2.2 建模说明·····	168
15.3 单片梁模型的分析·····	170
15.3.1 静力等效原理·····	170
15.3.2 自振频率分析·····	171
15.4 全桥模型的分析·····	173
15.4.1 基础模型自振特性的研究·····	173
15.4.2 上部结构设计参数对结构自振特性的影响·····	177
15.4.3 下部结构设计参数对结构自振特性的影响·····	180
15.5 本章小结·····	183
第 16 章 先简支后连续梁桥的时程分析 ·····	185
16.1 时程分析法的基本理论·····	185
16.1.1 Newmark 数值求解法的基本原理·····	185
16.1.2 阻尼矩阵的确定·····	187
16.2 研究采用的地震波·····	187
16.3 弹性时程分析计算结果·····	189
16.3.1 模型的建立·····	189
16.3.2 模型的加速度反应·····	191
16.3.3 模型的速度反应·····	195
16.3.4 模型的位移反应·····	199
16.3.5 模型的内力反应·····	204
16.4 减隔震设计桥梁抗震性能的量化分析·····	206
16.5 本章小结·····	211
参考文献 ·····	213

第一部分

HRB500钢筋在桥梁工程中的应用研究

第1章 绪 论

1.1 引 言

无黏结预应力混凝土结构(Unbounded Prestressed Concrete members, UPPC)是预应力结构的一个较新分支,主要有两种形式:一是直接将预应力筋布设于混凝土结构外,又称为体外索无黏结预应力混凝土结构,该种结构形式施工简便,适用于箱形结构;另一种是将预应力筋布设在混凝土内部,但预应力筋孔道内预先注有防腐润滑脂而省略了后续的孔道注浆工序,预应力筋与周围混凝土可沿钢筋长度方向发生自由滑动。鉴于该种结构形式的预应力筋与周围混凝土未黏结在一起,预应力筋内应力理论上通长相等。实际上,无黏结预应力结构的预应力筋在结构内起到的是拉杆的作用,其受力形式为内部超静定。本部分研究配有非预应力筋的无黏结部分预应力混凝土矩形梁。

早在20世纪20年代,美国人 Dill R E 就提出了无黏结预应力的构想,即充当预应力筋的材料在张拉后能够相对周围混凝土发生沿钢筋长度方向的自由滑动。直到20世纪50年代,随着大跨度平板结构的不断发展,无黏结预应力结构才开始在美国得到广泛的应用。20世纪60年代,美国出现了内涂润滑油脂外包硬塑料护套的预应力钢绞线。到1970年该工艺得到重大改进,应用挤压涂塑成型工艺制作无黏结预应力钢绞线,随后获得了美国专利而逐渐发展成熟。随着无黏结预应力钢绞线在工程实际中的广泛应用,很大程度地促进了无黏结预应力技术的迅速发展。几十年来,无黏结预应力混凝土结构在民用与工业建筑工程、水利工程、桥梁工程等诸多领域得到广泛应用。由于无黏结预应力混凝土结构具有经济性能好、施工便利的优点,许多国家广泛应用这种结构。

我国的无黏结预应力技术的研究及应用晚于国外,该结构在我国的应用始于20世纪60年代,在房屋建筑中,首次成功采用涂抹沥青的冷拉钢筋作为无黏结预应力筋应用于屋架下弦中。自此以后,对无黏结预应力结构的基本性能研究先后在北京、云南、上海等地广泛开展。在此期间,一部分高校及科研单

位开展了采用高强钢丝或钢绞线作为无黏结预应力筋的可行性研究,并同期研究了无黏结预应力结构的结构性能及无黏结筋的施工工艺。1986年出版的《部分预应力混凝土结构设计建议》一书中,系统介绍了无黏结预应力混凝土结构的设计理论及方法,这些研究作为日后大规模推广该技术创造了前提条件,自此以后,无黏结预应力混凝土结构在我国房屋建筑中开始得到广泛应用。

近年来,为扩大无黏结预应力结构的应用范围,我国相关部门开展了对无黏结部分预应力结构体系在桥梁工程中应用的理论及试验研究,并修建了近10座实桥。如北京部分立交桥、汕头海湾大桥等均采用无黏结后张部分预应力混凝土结构。所建桥梁工作状况表明,无黏结预应力混凝土结构设计理论的采用使得结构性能较之全预应力混凝土结构改善明显,在结构的反拱度控制以及减少因预应力过大而导致的端部纵向裂缝方面效果良好;极限状态下亦表现出良好的延性和耗能能力。加之该工艺施工简便,解决了先张法预应力构件制作过程中需要大型张拉设备和预制场地的问题,并简化了后张法有黏结预应力构件制作过程中预留孔道及灌浆等复杂工序;较之普通钢筋混凝土桥的制作可减小构件的截面尺寸,减少构件自重。技术经济分析结果表明,无黏结后张部分预应力混凝土桥梁的性能可靠,造价低廉,同时具有施工简便、周期短等优点,具有显著的经济效益和社会效益。

目前国内外对无黏结预应力混凝土结构的研究主要侧重于配置普通非预应力筋的无黏结部分预应力混凝土。国内钢筋混凝土结构中应用的钢筋强度等级较之发达国家普遍低1~2个等级。近年来,天津大学、郑州大学、同济大学及河北工业大学等院校对配置HRB500级钢筋的钢筋混凝土结构开展了广泛而深入的研究,为HRB500级钢筋在工程中的应用提供了大量理论依据和设计参考。

1.2 无黏结预应力混凝土结构特点及研究现状

采用无黏结预应力混凝土结构时,其预应力筋的张拉锚固工艺相当便利。无黏结筋可如非预应力筋一样按设计要求快速准确布置于模板内后浇筑混凝土,待混凝土强度达到张拉要求后进行预应力筋的张拉锚固,预应力筋与周围混凝土之间无黏结,预应力筋内拉力靠端部锚具传递至混凝土。而同样配筋的有黏结结构的施工过程,需在浇筑混凝土前预埋波纹管,待混凝土达设计规定的强度后在波纹管内穿预应力筋,待混凝土满足张拉要求后进行预应力筋的张拉,张