

第四届结构工程新进展国际论坛文集

The 4th International Forum on Advances in Structural Engineering

混凝土结构与材料新进展

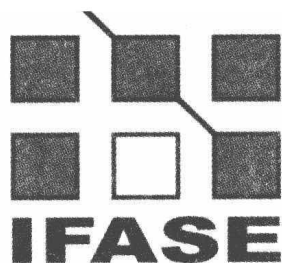
Progress in Concrete Structures and Materials

吴智深 吴刚 缪昌文 主编

Editors in Chief: Zhishen Wu, Gang Wu & Changwen Miao

第四届结构工程新进展国际论坛文集

The 4rd International Forum on Advances in Structural Engineering



混凝土结构与材料新进展

Progress in Concrete Structures and Materials

吴智深 吴刚 缪昌文 主编

Editors in Chief: Zhishen Wu, Gang Wu & Changwen Miao

中国建筑工业出版社

China Architecture & Building Press

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构与材料新进展/吴智深, 吴刚, 缪昌文主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010. 11

ISBN 978-7-112-12538-8

I. ①混… II. ①吴…②吴…③缪… III. ①混凝土结构-国际学术会议-文集②混凝土-建筑材料-国际学术会议-文集 IV. ①TU37-53
②TU528-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 196202 号

责任编辑: 赵梦梅 刘婷婷

责任设计: 李志立

责任校对: 王 颖 王雪竹

混凝土结构与材料新进展

Progress in Concrete Structures and Materials

吴智深 吴刚 缪昌文 主编

Editors in Chief: Zhishen Wu, Gang Wu & Changwen Miao

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京盛通印刷股份有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{3}{4}$ 字数: 718 千字

2010 年 11 月第一版 2010 年 11 月第一次印刷

定价: 78.00 元

ISBN 978-7-112-12538-8

(19821)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言 Preface

当前,中国正在从事世界上最大规模的土木工程建设。中国土木工程(包括结构工程)持续的、大规模的建设,为结构工程技术的发展、学科的建设、人才的培养、队伍的壮健,特别是自主创新能力的提升,提供了历史性的机遇。正是基于这种时代背景,由中国建筑工业出版社、同济大学《建筑钢结构进展》编辑部、香港理工大学《结构工程进展》(Advances in Structural Engineering)编委会联合主办,东南大学土木工程学院、混凝土及预应力混凝土结构教育部重点实验室、江苏省建筑科学研究院有限公司和高性能土木材料国家重点实验室联合承办的第四届“结构工程新进展国际论坛(The 4th International Forum on Advances in Structural Engineering)”在江苏南京进行。

本届论坛主题是“混凝土结构与材料新进展”。目前,我国每年的混凝土用量约为13~15亿立方米,钢筋用量约为2000万吨,用量接近全世界总用量的50%,钢筋混凝土仍将是我国今后相当长时期内主要工程结构材料,同时,在世界范围内,如何应对既存的大量混凝土结构的耐久性问题也是土木工程师们共同关注的问题。如何通过新材料的快速推广、预应力等技术的创新应用、结构体系的优化设计、智能化方法的合理引入等,推动混凝土及混凝土结构的高性能化,提高混凝土结构的安全性、耐久性是当前的主要研究热点。在此背景下,本论坛选择“混凝土结构与材料新进展”为主题具有重要意义。论坛荣幸地邀请到了25位特邀报告专家,报告主题涵盖了混凝土结构与材料的各个领域,阐述了该领域内的最新发展信息,向与会者提供了一个与专家学者互动并获取宝贵经验的机会。

感谢论坛特邀报告人,他们不仅在大会上做了精彩的报告,而且部分特邀报告人还奉献了精心准备的论文,使得本书得以顺利出版。

感谢论坛自由投稿作者以及参加本次论坛的所有代表,正

是大家的积极参与和配合,才使得本次论坛能够顺利举行。

感谢中国建筑工业出版社、同济大学《建筑钢结构进展》编辑部、香港理工大学《结构工程进展》编委会对本次论坛的指导、支持和帮助。

感谢东南大学土木工程学院、混凝土及预应力混凝土结构教育部重点实验室、江苏省建筑科学研究院有限公司和高性能土木材料国家重点实验室对本次论坛成功主办的努力和付出。

目 录 Contents

前言

Preface

第 1 章 Chapter 1	1
基于病害研究的大跨径 PC 箱梁桥设计探讨 (吕志涛, 潘钻峰, 王景全)	2
1.1 引言	3
1.2 箱梁构造及箍筋的合理设计	3
1.3 腹板下弯束的设置	7
1.4 剪切变形对挠度的影响	9
1.5 基于不确定性分析的体外备用束设计	12
1.6 结论	14
参考文献	15
第 2 章 Chapter 2	17
混凝土与预应力混凝土结构的受剪设计与评估	18
SHEAR DESIGN AND EVALUATION OF REINFORCED AND PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES (Michael. P. Collins and Evan. C. Bentz)	18
2.1 INTRODUCTION	18
2.2 THE MODIFIED COMPRESSION FIELD THEORY (MCFT)	22
2.3 MCFT ANALYSES OF BEAMS AND COLUMNS	27
2.4 CODE-BASED MCFT SHEAR STRENGTH EQUATIONS	30
2.5 EXAMPLE CALCULATIONS USING MCFT SECTIONAL MODEL	32
2.6 EFFECT OF AXIAL LOAD AND PRESTRESSING ON SHEAR STRENGTH	33
2.7 THE SIZE EFFECT IN SHEAR	34
2.8 SHEAR CAPACITY OF TRANSFER SLABS	37
2.9 MCFT SHEAR STRENGTH FOR DISTURBED REGIONS	40
2.10 OVERALL ACCURACY OF THE FOUR CODES	44
2.11 EXAMPLES OF EVALUATION OF SHEAR SAFETY OF EXISTING STRUCTURES	45

2.12 CONCLUDING REMARKS	51
REFERENCES	53
第3章 Chapter 3	57
混凝土材料：高强度与耐久性（Hans. W. Reinhardt）	58
CONCRETE MATERIALS: HIGH-TECH AND SUSTAINABLE	58
3.1 INTRODUCTION AND DEFINITIONS	58
3.2 ACHIEVING CONCRETE WITH HIGH-PERFORMANCE PROPERTIES	59
3.3 CHALLENGE OF SUSTAINABILITY	72
3.4 STRUCTURES	76
3.5 CONCLUSIONS	77
REFERENCES	77
第4章 Chapter 4	81
混凝土性能的多尺度模拟—融合材料与结构力学（Koichi MAEKAWA, Tetsuya ISHIDA, Toshiharu KISHI）	82
MULTI-SCALE MODELING OF CONCRETE PERFORMANCE-INTEGRATED MATERIAL AND STRUCTURAL MECHANICS	82
4.1 INTRODUCTION	82
4.2 BASIC COMPUTATIONAL SCHEME	84
4.3 MULTI-SCALE MODELING	86
4.4 NUMERICAL SIMULATIONS	114
4.5 CONCLUSIONS	123
REFERENCES	124
第5章 Chapter 5	133
预制装配式混凝土结构的研究进展（黄小坤，田春雨）	134
5.1 概述	134
5.2 预制装配式混凝土结构体系	135
5.3 预制装配式框架结构的研究	136
5.4 预制装配式剪力墙结构的研究	138
5.5 预制装配式结构的连接设计	141
5.6 展望	143
参考文献	143
第6章 Chapter 6	145
混凝土结构耐久性的使用寿命预测研究新进展（金伟良，许 晨，金立兵）	146
6.1 引言	147
6.2 需要回答的问题	147
6.3 混凝土结构使用寿命预测新方法—METS	148
6.4 基于 METS 方法的氯盐侵蚀环境下混凝土结构使用寿命预测	149
6.5 讨论	156

6.6 结语与展望	156
参考文献	157
第7章 Chapter 7	159
钢筋混凝土建筑结构的防爆设计和安全评估—从构件到建筑结构系统（李 兵）	160
BLAST RESISTANT DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS - FROM COMPONENTS TO STRUCTURAL SYSTEM	160
7.1 INTRODUCTION	160
7.2 LOCAL AND GLOBAL STRUCTURAL RESPONSES OF A TALL BUILDING	161
7.3 DEFORMATION-CONTROLLED DESIGN OF REINFORCED CONCRETE FLEXURAL MEMBERS	164
7.4 RESIDUAL STRENGTH OF BLAST DAMAGED REINFORCED CONCRETE COLUMNS	167
7.5 DRIFT-CONTROLLED DESIGN OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES	175
7.6 CONCLUSIONS	177
REFERENCES	179
第8章 Chapter 8	181
纳米混凝土的多功能特性（李 惠，欧进萍，肖会刚，关新春，韩宝国）	182
MULTIFUNCTIONAL NANOMATERIALS FILLED CONCRETE	182
8.1 INTRODUCTION	182
8.2 SELF-SENSING NANO-CONCRETE AND STRUCTURE	183
8.3 MECHANICAL PROPERTIES OF NANO-CONCRETE	190
8.4 CONCLUSIONS	194
REFERENCES	195
第9章 Chapter 9	199
混凝土动力损伤：研究进展与发展趋向（李 杰，任晓丹，黄桥平）	200
9.1 导言	200
9.2 率相关性的物理机制	201
9.3 动力损伤的细观模拟	203
9.4 弹塑性随机动力损伤模型	206
9.5 结论	213
参考文献	214
第10章 Chapter 10	217
高层混凝土结构隔震设计的研究与实践（刘伟庆，王曙光，杜东升）	218
10.1 引言	219
10.2 高层混凝土隔震结构隔震效果探讨	219
10.3 高层混凝土隔震结构不同阻尼比地震影响系数修正	221
10.4 高层混凝土隔震结构上部结构的设计原则	222

10.5 高层混凝土隔震结构隔震层的设计原则·····	224
10.6 工程实践·····	226
10.7 结论·····	231
参考文献·····	231
第 11 章 Chapter 11 ·····	233
冲击与爆炸作用下混凝土结构的受力机理与分析研究进展 (陆 勇)·····	234
MECHANICS AND COMPUTATION OF CONCRETE STRUCTURES SUBJECTED TO SHOCK AND BLAST LOADS - SOME RECENT PROGRESSES·····	234
11.1 INTRODUCTION·····	234
11.2 GENERAL CHARACTERISTICS OF BLAST LOADING AND RC STRUCTURAL RESPONSE·····	235
11.3 DYNAMIC RESPONSE OF RC BEAM-COLUMN MEMBER SUBJECTED TO SHOCK-BLAST LOADING·····	238
11.4 DYNAMIC RESPONSE OF CONCRETE MATERIAL UNDER HIGH STRAIN RATE LOADING·····	245
11.5 CONCLUDING REMARKS·····	252
REFERENCES·····	252
第 12 章 Chapter 12 ·····	255
高性能混凝土对低碳经济的影响 (缪昌文)·····	256
12.1 引言·····	256
12.2 高性能混凝土实现低碳经济的技术途径·····	258
12.3 结论·····	264
参考文献·····	264
第 13 章 Chapter 13 ·····	267
多因素耦合作用下混凝土结构耐久性研究 (牛荻涛)·····	268
13.1 引言·····	269
13.2 酸雨和碳化共同作用下混凝土中性化研究·····	269
13.3 承载混凝土碳化规律研究·····	272
13.4 冻融—碳化共同作用下混凝土损伤试验研究·····	273
参考文献·····	277
第 14 章 Chapter 14 ·····	279
混凝土抗震结构的高性能化及其设计理论 (吴智深)·····	280
14.1 引言·····	281
14.2 结构增强 FRP 材料及高性能开发·····	283
14.3 通过 FRP 加固混凝土结构的抗震性能·····	287
14.4 提高混凝土结构抗震性能的设计理论·····	299
14.5 结论·····	310
参考文献·····	311

第 15 章 Chapter 15	315
混凝土再生混合构件的基本力学性能研究及应用（吴 波，赵新宇）	316
15.1 引言	317
15.2 外置型钢再生混合构件的基本力学性能	319
15.3 再生混合钢筋混凝土构件的基本力学性能	337
15.4 工程应用	349
15.5 施工工艺	354
15.6 结论与展望	354
参考文献	355
第 16 章 Chapter 16	359
超高韧性水泥基复合材料与既有混凝土粘结力学性能及耐久性防护加层的 试验研究（徐世烺，王 楠）	360
16.1 引言	360
16.2 超高韧性水泥基复合材料与既有混凝土粘结性能试验研究	362
16.3 后浇超高韧性水泥基复合材料\既有混凝土复合梁弯曲控裂性能研究	366
16.4 后浇 UHTCC 耐久性防护层加固钢筋混凝土梁弯曲试验研究	373
16.5 集中荷载作用下后浇 UHTCC 简支双向混凝土板的试验研究	380
16.6 结论	385
参考文献	386
第 17 章 Chapter 17	389
城市轻轨混凝土梁长期性能试验研究和时随分析（薛伟辰，刘 婷，王 巍）	390
17.1 引言	391
17.2 试验设计	391
17.3 长期试验结果与分析	392
17.4 步随法时随全过程分析	394
17.5 结论	395
参考文献	395
第 18 章 Chapter 18	397
丙类与乙类设防 RC 框架结构抗地震倒塌能力对比（叶列平，陆新征，汤保新）	398
18.1 引言	399
18.2 算例结构设计	400
18.3 基于 IDA 的地震倒塌率分析	401
18.4 抗地震倒塌能力评估	405
18.5 结构地震抗倒塌能力的合理目标值	411
18.6 结论及需进一步研究的问题	413
参考文献	414
第 19 章 Chapter 19	415
公路大跨径预应力混凝土桥梁设计指南成果简介	

(赵君黎, 张喜刚, 冯 茑, 翟慧娜) 416

19.1 指南编制背景 416

19.2 章节编排 417

19.3 主要内容简介 418

19.4 结论 421

参考文献 421

第 20 章 Chapter 20 423

活性粉末混凝土梁受力性能 (郑文忠, 卢姗姗, 李 莉) 424

20.1 引言 425

20.2 RPC 基本力学性能试验研究 425

20.3 RPC 简支梁受力性能试验研究 427

20.4 钢筋 RPC 连续梁塑性性能试验研究 433

20.5 结论 436

参考文献 436

第四届“结构工程新进展国际论坛”简介

第四届论坛特邀报告人简介

第 1 章 | Chapter 1

基于病害研究的大跨径 PC 箱梁桥设计探讨^{*}

吕志涛, 潘钻峰, 王景全

(东南大学 混凝土及预应力混凝土结构教育部重点实验室, 江苏南京 2100961)

提 要: 近二十年来, 很多大跨径预应力混凝土箱梁桥在运营一段时间后, 出现了跨中下挠和梁体开裂的两大病害, 而且变形和裂缝常常是“并发症”, 严重影响了这些桥梁的正常使用性能和耐久性, 甚至引起结构安全问题。当前, 导致这些病害的原因还没有完全明确。本文基于大跨径预应力混凝土箱梁病害的调查研究, 从箱梁桥的箱梁构造设计、箍筋设置、纵向预应力设计等方面对箱梁桥进行了研究分析, 对导致箱梁结构长期下挠的主要成因在机理上进行了解释, 研究了斜裂缝出现后箱梁剪切变形对总挠度的影响。基于收缩徐变及预应力效应的不确定分析, 对体外备用预应力束在大跨径预应力混凝土箱梁桥中的应用和设计进行了研究。结果表明, 高跨比设置过小、腹板下弯束的取消或腹板下弯束设置不足是产生箱梁开裂下挠病害的主要原因; 出现斜裂缝之后薄壁箱梁的剪切变形对主梁下挠的影响不可忽视。

关键词: 箱梁桥; 下挠; 斜裂缝; 高跨比; 腹板下弯束; 剪切变形; 备用束

ISSUES IN DESIGN OF LONG-SPAN PC BOX GIRDER BRIDGES BASED ON INVESTIGATION ON BRIDGE DISEASES

Z. T. Lü, Z. F. Pan, J. Q. Wang

(Key Laboratory of R. C. & P. C. Structures, Ministry of
Education, Southeast University, Nanjing, 210096, China.)

Abstract: In the past twenty years, excessive deflections and cracks in the box girders have commonly appeared in some long-span prestressed concrete box girder bridges after a period of operation, reducing the serviceability and durability of bridges. However, the causes of excessive deflections and cracks are still not clear. Based on the investigation on the preceding two problems, the long-span PC box girder bridges are studied from several aspects, such as the high-span ratio, longitudinal prestress design, composition design and configuration of stirrups. Moreover, the cause mechanism of excessive deflection problem is explained, and the impact of shear deformation on structural deflection is studied after the formation of inclined cracks. In addition, the efficiency of different layouts of spare

* 基金项目: “十一五” 交通部科技攻关重大专项 (200631800001), 江苏交通科学研究项目 (09Y012)

tendons is compared for improving the deflection problems, and the determination of spare tendons is performed through the uncertainty analysis of creep, shrinkage and prestress effects. Research indicates that the smaller high-span ratio and the cancellation or insufficiency of web's bent-down tendons are the main causes for the preceding two problems, and the effects of shear deformation and development of inclined cracks on the deflection could not be ignored.

Keywords: box girder bridge, deflection, inclined crack, high-span ratio, web's bent-down tendons, shear deformation, spare tendon

1.1 引言

近二十年来,一些大跨径预应力混凝土箱梁桥在运营一段时间后,普遍出现“腹板开裂”和“跨中下挠”等质量通病。而且裂缝和下挠均随时间延续而不断发展,直接影响着结构的安全性与正常使用性能,对结构的耐久性造成很大危害,这些问题一直困扰着桥梁设计工程师和工程管理人员。对于桥梁病害的原因,多次在全国桥梁学术会议上有所探讨,归结起来,主要包括如下因素:桥梁超载,预应力损失过大,施工不当,混凝土的收缩、徐变,梁空间作用,温度效应等。近年来,很多学者认为纵向预应力数量不足是产生下挠的主要原因。一些学者基于荷载平衡思想,对预应力抵消恒载的作用效应进行了研究,提出了一些设计方法,如“恒载零弯矩设计方法”^[1,2],“合理成桥状态设计方法”^[3]等,特别是零弯矩设计方法在国内多座桥梁中得到了应用,其基本思想是配置足够多的纵向预应力使梁处于接近轴压状态,从而达到减小长期变形发展的目的。对于200m跨以下的预应力混凝土桥梁,按零弯矩设计方法增大预应力配筋量可以做到接近零弯矩的状态,但对于大跨径桥梁,由于恒载比例增加,且受到截面尺寸的限制,体内难以布置足够的预应力筋来抵消恒载,所以大跨径箱梁桥的病害问题还无法真正解决。

本文根据对已出现病害的大跨径箱梁桥的结构特性的调查和分析,从高跨比、腹板及配筋设计、纵向预应力束设计、下挠原因推演等方面对箱梁桥进行了研究分析,并研究了混凝土梁斜向开裂后,剪切变形对总挠度的影响。针对上述质量通病,提出可通过设置后期备用束(体内束或体外束,或者两者并用)得以改善,通过运营期内定期检测,在必要时张拉备用钢束,改善桥梁内力及变形状态,而备用束量的设计可根据长期变形置信界限值与确定性计算值的差异的来确定。

1.2 箱梁构造及箍筋的合理设计

1.2.1 高跨比的设计

众所周知,结构变形不仅与所受到的作用力有关,结构自身的刚度对变形影响也很大,高跨比是影响结构刚度的一个重要因素。目前,箱梁桥的跨度和宽度均趋于增加,而箱梁构造尺寸却因要求兼顾轻型美观的原因设计得越来越小,从而增加了箱梁桥的正常使

用性能（裂缝和变形）对各种荷载效应的敏感性。为限制挠度的过大发展，以往研究往往偏重于预应力筋用量的增加，尽量多地抵消恒载作用，而对箱梁结构构造的研究偏少。高跨比是影响主梁受力的重要参数之一，其值增大对桥梁结构的影响主要体现在两个方面：适当增加梁高，可增加主梁的刚度，改善截面的受力状态；大跨径箱梁桥中的预应力效应很大程度上是利用预应力的偏心弯矩来抵消恒载的，适当增大高跨比，在预应力筋用量不变的情形下，纵向预应力筋的偏心距增大，增加了预应力利用效率，而恒载增加十分有限。所以适当增加高跨比，是一种有效抑制后期下挠病害的有效方法。本文对国内外近 80 座连续刚构的墩顶及跨中梁高的高跨比进行了统计，如图 1 所示。从中可以看出，目前对于采用普通混凝土或高性能混凝土的连续刚构，墩顶截面跨高比通常为 $1/15 \sim 1/20$ ，跨中截面为 $1/40 \sim 1/65$ 。而对于采用轻质高强混凝土或部分钢结构的连续刚构，其恒载效应减小，高跨比可适当减小，由图 1 看出，部分梁段采用轻质混凝土或钢结构后，墩顶高跨比一般可小于 $1/20$ ，跨中高跨比可做到 $1/70$ 以下。高跨比的下降是桥梁上部结构轻型化的表现，但高跨比太小，主梁刚度得不到保证，此外，腹板的受剪面积减小，截面主拉应力增大，从而增加了后期病害发生的几率。表 1 中出现病害的大跨径箱梁桥，其高跨比均相对较小。澳大利亚的 Getway 桥其采用的高跨比相对较大，目前还没有文献报道其下挠过大问题。

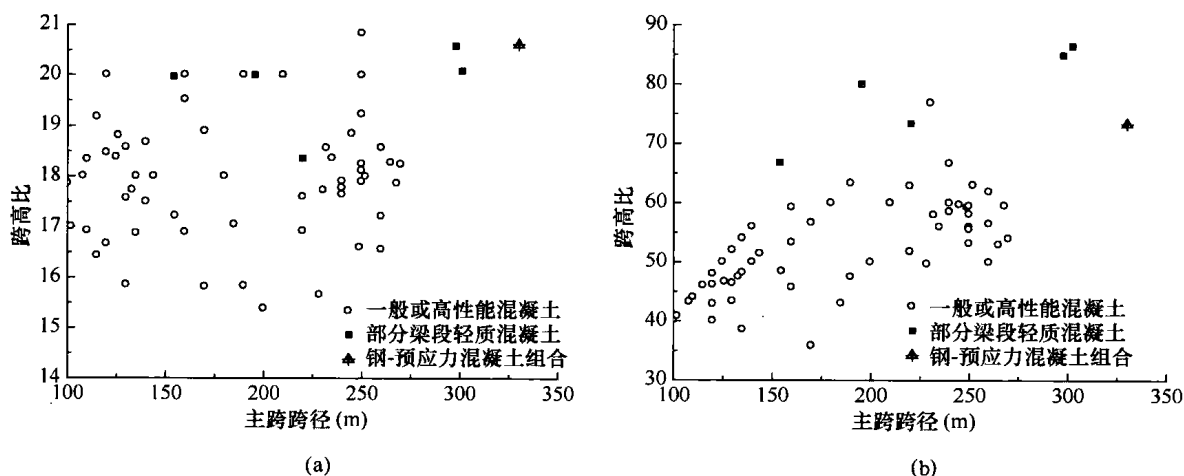


图 1 预应力混凝土连续刚构跨高比统计

(a) 根部主梁跨高比；(b) 跨中主梁跨高比

国内外几座大跨径箱梁桥的病害调查

表 1

跨径组合 (m)	国家	桥型	悬臂束	高跨比		腹板斜裂缝	下挠量 (cm)	测量时成桥年数
				根部	跨中			
140+240+140	中国	连续刚构	直线束	1/17.8	1/60	—	31.7	—
162+3×245+162	中国	连续刚构	直线束	1/18.9	1/59.8	有	30.5	7
150+270+150	中国	连续刚构	直线束	1/18.2	1/54	有	26	7
65+125+180+110	中国	连续刚构	直线束	1/18	1/60	有	—	—
105+4×160+105	中国	连续刚构	直线束	1/20	1/53.3	有	22	10

续表

跨径组合 (m)	国家	桥型	悬臂束	高跨比		腹板斜裂缝	下挠量 (cm)	测量时成桥年数
				根部	跨中			
99+195+99 (Parrotts Ferry)	美国	连续刚构 (轻骨料混凝土)	—	1/20	1/80	有	63.5	12
72+241+72	帕劳	带铰 T 构	直线束	1/17	1/65.8	有	139	18
100+220+100 (Stovset)	挪威	连续刚构 (中跨部分 轻质混凝土)	—	1/18.3	1/73.3	—	20	8
94+301+72 (Stolma)	挪威	连续刚构 (中跨部分 轻质混凝土)	—	1/20.1	1/86	—	9.2	3
主跨 260 (Getway)	澳大利亚	连续刚构	—	1/16.6	1/50.0	—	—	—

以某主跨跨径 268m 的预应力混凝土连续刚构为例, 分析高跨比对结构长期变形的影响。该桥箱梁顶板宽 16.4m, 底板宽 7.5m。根部梁高为 15m ($h_1/L=1/17.9$), 跨中梁高为 4.5m ($h_2/L=1/59.6$), 梁底线形按曲线 1.6 次抛物线布置, 箱梁截面如图 2 所示, 悬臂束部分采用了下弯束, 节段划分及预应力布置见图 3。中跨合龙束 15 对, 在合龙时, 先张拉了 12 对合龙束, 预留了 3 对后期底板张拉束 (Z6, Z10 和 Z14), 预期成桥一年后进行张拉, 以期改善桥梁的运营后的内力和变形状况。

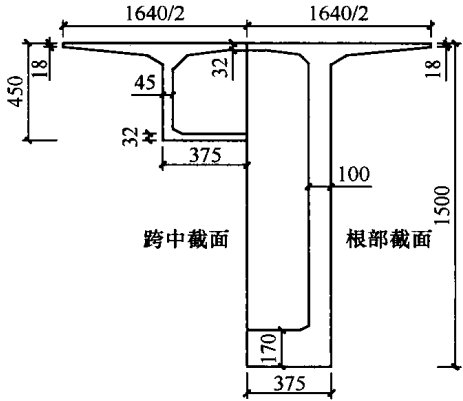


图 2 箱梁典型截面图 (cm)

现以墩顶处梁高作为变化参数来研究该桥的长期性能, 分别取 17m ($h_1/L=1/15.8$) 和 14m ($h_1/L=1/19.1$), 相应的, 跨中梁高改变为 5m ($h_2/L=1/53.6$) 和 4m ($h_2/L=1/67$), 梁底曲线仍按 1.6 次抛物线布置。计算长期变形时, 混凝土收缩徐变模式采用 CEB-FIP78 模型。成桥后跨中挠度的发展如图 4 所示。

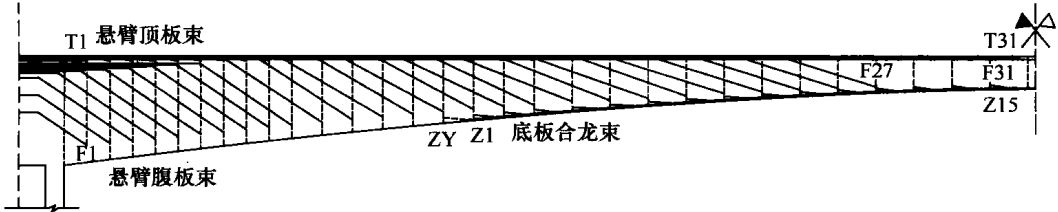


图 3 带有下弯束的纵向预应力配束方案

从图 4 可以看出, 将墩顶及跨中的高跨比从原先的 1/17.9、1/59.6 分别增加至 1/15.8、1/53.6 后, 30 年后的跨中挠度从 17cm 减少至 7.6cm; 如将墩顶及跨中的高跨比分别减小至 1/19.1、1/67 后, 30 年后的跨中挠度为 25.5cm 左右, 所以适当控制高跨比是抑制长期变形过大的一个有效措施。也有学者提出, 墩顶截面对主梁变形影响较大, 为

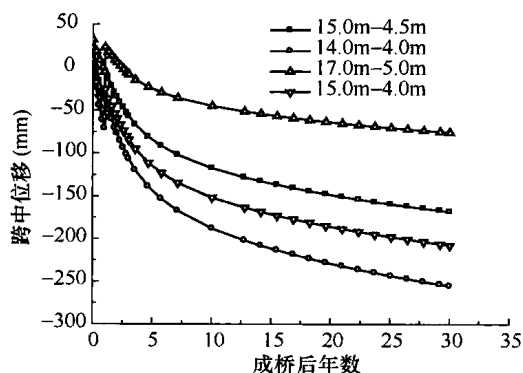


图4 不同高跨比下的跨中挠度发展

减轻自重,可适当减小跨中截面高跨比,其实不然。本文分析了保持墩顶高跨比不变($h_1/L=1/17.9$),将跨中截面减小至4.0m($h_2/L=1/67$),跨中长期变形的计算结果如图4所示。从中可以看出,将跨中截面减小0.5m后,30年后的跨中挠度为20.8cm,比原高跨比下的17cm有所增加。这是因为,减小跨中截面高度后,减小了中跨合龙束的偏心距,从而降低了其抵消恒载效应的效率。目前,新建的几座大跨径的预应力混凝土连续刚构,汉源大树大渡河大桥(133m+255m+133m)、柏溪金沙江大桥(140m+249m+140m)、庙子坪岷江大桥^[4](125m+220m+125m)墩顶高跨比分别为1/15.9、1/16.6和1/16.3,均比表1中已出现病害桥梁的高跨比要大。

1.2.2 腹板和箍筋的合理配置

如前所述,由于对桥梁轻型、超柔和美观的追求,现代箱梁桥的箱壁越来越薄,特别是腹板尺寸日趋减薄,从而削弱了箱梁的抗裂和抗剪能力,使混凝土箱梁更易出现裂缝。

腹板斜裂缝出现后,不易完全闭合,不像弯曲裂缝在使用阶段多数情况下可以闭合,所以对斜裂缝控制需更加严格。不少设计人员,认为箱梁腹板斜裂缝问题严重,可采用多配箍筋的办法。这混淆了抗裂与抗剪承载力两者的概念。应当认识到,提高截面的抗剪承载力与增加抵抗斜裂缝出现荷载能力(提高受剪抗裂性)并不是同一回事。抗裂性能不好不等于抗剪承载力差,加密箍筋的做法的确对提高抗剪承载力有利,但箍筋并不能防止腹板斜裂缝的出现,提高不了斜截面的抗裂性。况且,箍筋增多,减小了混凝土截面,更不利于抗裂。当然,多配箍筋,对斜裂缝出现之后的开展具有抑制作用。所以,在箱梁满足抗剪承载力和构造的要求下,无需多加配置箍筋。一味地增大配箍量,可能导致腹板混凝土浇筑的不密实,反而影响了施工和混凝土浇筑质量。而且,在抗剪承载力中,若混凝土抗剪截面过小,加再多的箍筋也无用。

腹板厚度和主拉应力大小息息相关,箱梁腹板的尺寸往往是根据规范通过抗剪承载力验算得到。但是,常常在满足规范抗剪承载力的前提下,并不能防止裂缝的发生,只能控制斜裂缝宽度在0.2mm以下。腹板变薄后,一方面,腹板主拉应力对各项荷载效应变得更为敏感,如果某一荷载变化超出设计者的预期值,可能会引起主拉应力的超限;另一方面,钢筋的布置变得困难,也影响了混凝土浇筑质量。合理地增大腹板厚度,既能提高抗剪承载力,又能有效地改善箱梁的抗裂性能,便于施工中的钢筋布置,尤其预应力在腹板上的锚固。

还应提出,前些年,不少设计人员在设计纵向预应力束时,取消腹板下弯束,通过下式计算截面的抗剪能力:

$$\tau = \tau_a + 0.2\sigma_x + 0.4\sigma_y \quad (1)$$