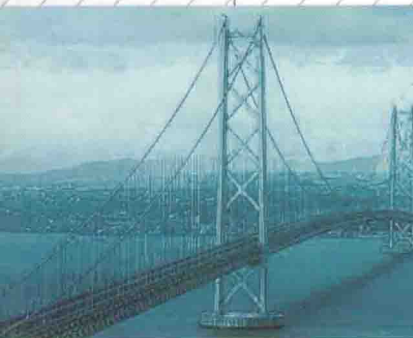


INNOVATIVE DEVELOPMENT OF
URBAN BRIDGES AND MUNICIPAL PROJECTS

基于**创新**理念的

城市桥梁与市政建设

◎ 穆祥纯 著



人民交通出版社
China Communications Press

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF
URBAN BRIDGES AND MUNICIPAL PROJECTS

基于**创新**理念的

城市桥梁与市政建设

◎ 穆祥纯 著



人民交通出版社
China Communications Press

图书在版编目(CIP)数据

基于创新理念的城市桥梁与市政建设 / 穆祥纯著.

—北京: 人民交通出版社, 2012.9

ISBN 978-7-114-10040-6

I. ①基… II. ①穆… III. ①城市桥—桥梁设计—研究
②市政工程—设计—研究 IV. ①U448.15②TU99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 198326 号

书 名: 基于创新理念的城市桥梁与市政建设

著 作 者: 穆祥纯

责任编辑: 赵瑞琴

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.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 20.5

彩 插: 8

字 数: 603 千

版 次: 2012 年 10 月 第 1 版

印 次: 2012 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10040-6

定 价: 68.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

内 容 提 要

本书主要介绍了基于创新理念的城市桥梁与市政工程的设计、建设及思考,内容包括城市桥梁的设计与建设、城市桥梁的防灾减灾与风险评价、国外城市桥梁建设的考察与思考、城市交通与建设的实践及思考、市政工程信息化建设与标准化建设的探索、城市广场夜景照明工程和新农村路网布局设计探索和特大城市繁华地区行人和自行车系统的对策研究等。本书立足于科学发展前沿,在作者几十年从事城市桥梁与市政工程设计分析、理论研究和实践探索的基础上,结合国内外典型工程实地考察研究精心编著而成。

本书既可作为高等院校桥梁工程、市政工程及相关专业的本科生和研究生教学参考书,也可作为从事上述工程领域的科研人员、高等院校教师、生产和施工技术人员的参考用书。

Abstract

This book mainly describes the design and construction of urban bridges and municipal engineering projects based on innovative ideas. The contents include design and construction of urban bridges, disaster prevention and reduction and risk evaluation of urban bridges, investigation and study of overseas urban bridge construction, practices and thoughts on urban transport and construction, development of informatization and standardization of municipal engineering projects, and design of nighttime lighting for city squares as well as design of new rural road network. From a perspective of advanced scientific development, research on countermeasures for pedestrian and bicycle systems in downtown areas of mega cities, this book is carefully edited on the basis of the author's decades of experience on the design and analysis, theoretical study and practical exploration of urban bridges and municipal engineering projects, combined with field investigation of typical projects both home and abroad.

This book may be used as a reference book for both undergraduate and graduate students of bridge and municipal engineering in universities and scientific researchers, professors and technical personnel in the aforementioned engineering fields.

序

桥梁是人类所建造的最古老、最壮观、最美丽的建筑工程之一。城市桥梁的建设积聚了浓厚的民族文化内涵,蕴藏着历代人民的聪明才智和精湛技艺,成为一个城市的象征。市政建设集中反映了一个城市的人文与科学,是城市的灵魂和名片。随着我国城市桥梁与市政建设的逐步完善,摆在设计工作者面前的一个显著问题是如何突破自我、实现创新。此创新不仅是技术的创新,更是深层次的设计理念的创新。

本书的作者——北京市市政工程设计研究总院副院长穆祥纯长期从事城市桥梁与市政工程设计,时刻关注相关领域发展与创新,在城市桥梁与市政建设的设计理念和发展创新上投入了大量的心血,对我国城市桥梁的设计与建设、城市桥梁的防灾减灾与风险评价、城市交通与建设的实践、市政工程信息化建设与标准化建设的探索等方面进行了深入系统的研究,取得了丰硕成果,在国内外学术刊物和国际会议上发表了近百篇高水平的学术论文,在城市桥梁与市政建设方面有很高的学术造诣及实践经验。本书是其多年来辛勤工作的心得和总结,也是献给有志于从事城市桥梁与市政建设事业读者的一份礼物。

纵观全书,与同类已出版的论著比较,本书具有十分鲜明的特色:本书从创新理念出发,阐述作者对城市桥梁与市政建设的反思,观点新颖、令人耳目一新;结合世界各地文化、历史及艺术内涵,对具有代表性的城市桥梁与市政工程进行了深入思考,令人深受启发;书中镶嵌着大量优美的、具有浓郁民族文化特色的城市桥梁及市政建筑图片,令人流连忘返;本书内容充实、讲解深入浅出,文字优美、语言生动,令人茅塞顿开。

本书是一部集实用性、科学性、可读性和先进性为一体的难得的专著。我深信,不论是高等院校桥梁工程、市政工程及相关专业的在校学生还是从事上述工程领域的科研人员、高等院校教师、生产和施工技术人员,通过阅读此书,都会受益匪浅。

谨此祝贺本书的出版。

北京交通大学教授、博士生导师



2012年8月

前言

人们常说“十年磨一剑”。

回首往事:1992年本人第一次在全国桥梁学术会议上发表论文(在此之前仅在单位内部刊物上发表过几篇论文);1993年38岁担任北京市市政工程设计研究总院副院长至今;1998年起兼任中国工程建设标准化协会副理事长;2004年被聘为桥梁专业教授级高级工程师;2009年获国务院颁发的政府特殊津贴;2010年获全国工程建设标准化先进个人;截至2012年2月,近20年来在全国桥梁学术会议及国内各类核心刊物上发表学术论文近百篇;所发表的学术论文,在中国知网(清华同方)和万方数据平台上的被引频次和下载频次较高。

在过去的近20年,本人的工作较忙,行政事务较多。特别是1993年至1996年期间在总院的深圳分院和海南分院担任领导工作;在这四年多的时间里,整天忙于开拓市场,组织完成设计任务,配合施工等,无暇潜心研究点学术问题,但分院的工作经历和实践也为自己积累了许多实际的经验。本人作为一名专业技术人员,一直秉承着“文章千古好,仕途一时荣”的理念。近20年来在领导岗位上尽管有许多浩繁的工作,但自己始终丢不下所热爱的专业技术工作,密切关注我国桥梁工程领域的建设、创新和发展,关注一些桥梁领域的前沿问题,尤其是城市桥梁的创新和发展,始终坚持每两年在全国桥梁学术会议上发表一篇有分量的,且以城市桥梁为主题的学术论文,并在其他有影响的学术刊物上发表论文。这些需要潜心钻研,要比别人多花一些时间,多下一些工夫,扎扎实实地做一些基础性的研究工作。

记得2004年在湖南长沙召开的第十六届全国桥梁学术会议,我的论文《论城市桥梁结构的安全度和耐久性问题》,被安排在大会上交流。当其他专家在会上介绍我国在建的一些大型、跨世纪桥梁工程时,我在会上介绍城市桥梁结构的安全度和耐久性问题的研究成果,受到了广泛的赞扬。特别是得到项海帆院士的首肯,对于我是极大的鞭策和鼓励。

我和美国工程院院士、中国工程院院士邓文中先生相识于1994年海口世纪大桥的评审会上,当时我作为海南岛上的评标专家参加了该大桥的评标工作;2004年3月在广东佛山再次与邓文中院士相遇,并与他进行了深入的交谈,邓院士鼓励我要继续耕耘,潜心钻研,并提示要密切关注世界桥梁工程的“创新、稳妥和艺术化”;他不赞成刻意的、一味地追求和突破建桥的世界纪录。邓院士提出当下建桥破一下世界纪录没有意义,一座美丽的、高质量的桥梁则永远是出色成就的里程碑。与这位哲人的几次短暂接触,使我受益匪浅,终生受益。

从基于创新理念的城市桥梁和市政建设方面,本书向读者呈现20年来笔者的研究成果,大体分为九个部分:城市桥梁建设;城市桥梁设计;城市桥梁防灾减灾与风险评价;国外城市桥梁建设;城市交通与建设的实践及思考;市政工程信息化建设;工程建设标准化;城市广场夜景照明工程和新农村路网布局;特大城市繁华区域行人和自行车系统的案例分析。应该说,在我国大力推进现代化建设的伟大进程中,本书的这些内容能够为读者提供有借鉴意义的资料和经验,在我国由桥梁建造大国迈向建造强国的进程中,将引起读者和相关人士的一些思考。这亦是笔者编著本书的初衷,也可以说是作者20年磨一剑吧。

在此,我要由衷地感谢本人工作的单位——北京市市政工程设计研究总院以及历届领导和同事们对我的指导、关怀和呵护,正因为有一个宽敞和厚重的平台,使我有一个不断成长的发展空间和施展实践才能的人生舞台;也使我近十多年来有机会赴世界上许多发达国家考察其城市建设特别是城市桥梁建设情况;也正因为有幸赶上我国快速发展的建设时期,通过参与和主持一批重大工程项目,积累相关的实践经验,也引发了自己思考一些问题;特别是当今提倡和关注绿色、节能、环保、安全、和谐和可持续发展的理念,使我深感应关注和处理好我国城市建设特别是城市桥梁建设的创新性、安全性和经济性,这亦是我今

后应继续研究的课题。

我还要衷心感谢中国土木工程学会理事长、住建部原副部长谭庆琰先生为本书题词：“业精于勤，厚积薄发，潜心致远”，谭副部长的题词是对我多年来研究成果的充分肯定和厚爱。

我们北京勘察设计行业的老领导——北京工程勘察设计行业协会顾问，首都规划建设委员会原副主任、秘书长，北京市书法协会原会长宣祥鏊先生也为本书题词，激励我要“欲穷千里目，更上一层楼”，这既是对我莫大的鞭策，其高超的书法作品也为本书大大增辉。

我的良师益友——中国工程勘察设计大师，北京市市政工程设计研究总院原总工程师、教授级高级工程师、国家有突出贡献专家高士国先生为本书题词“一份耕耘，一份收获”。在过去时间里，我一直得到高士国总工的指导和帮助，在此深表谢意。

本书在编写过程中，参考和借鉴了近年来国内外城市桥梁与市政工程设计相关的论文、著作、标准、规范等，并已将主要参考文献附在本书后面，在此对有关作者和出版社深表感谢。本书引用绝无侵权之意，特此申明。

我要特别感谢北京交通大学教授、博士生导师朱尔玉老师为本书的出版所作出的指导和辛勤工作，衷心感谢他带领科研团队中周勇政博士以及韩广晖、马奔、赵祎、周小歆、刘驰昊五名硕士研究生，结合我的学术论文及创新工作对本专著进行了系统的整理、归类和编辑工作，应该说本书的出版发行离不开朱尔玉教授及其学生们的鼎力支持和辛苦工作；同时，北京市政总院的吴娜、宋增国同志也为本书的出版做了大量的编务工作。

在此，对北京市市政工程设计研究总院、北京交通大学、人民交通出版社在本书出版过程中的大力支持和帮助，一并致以衷心的感谢。此外，作为北京市海淀区人民政府的顾问，本人也十分感谢海淀区政府对本书出版的鼎力支持和资助。

由于作者水平和时间有限，书中难免有挂一漏万和缺点错误，恳请读者指正。

著作者

2012年8月于北京市政总院

目 录

第1章 城市桥梁建设	1
1.1 城市桥梁的安全度和耐久性探讨	1
1.2 创新技术在城市桥梁建设中的应用	6
1.3 现代预应力技术在我国城市桥梁建设中的创新和发展	12
1.4 新型桥梁支座在我国城市桥梁建设中的创新和发展	22
1.5 案例探讨1——香港城市桥梁建设的创新和发展	29
1.6 案例探讨2——矮寨特大悬索桥	36
第2章 城市桥梁设计	38
2.1 城市大跨度桥梁设计的有关问题	38
2.2 创新技术在城市桥梁设计中的应用	43
2.3 城市桥梁景观设计	49
2.4 城市桥梁结构防水技术	54
第3章 城市桥梁防灾减灾与风险评价	70
3.1 城市桥梁的防灾减灾	70
3.2 城市桥梁风险评价的研究	85
第4章 国外城市桥梁建设	90
4.1 美国城市桥梁建设	90
4.2 德国城市桥梁建设	104
4.3 英国城市桥梁建设	111
4.4 法国城市桥梁建设	117
4.5 意大利城市桥梁建设	124
4.6 加拿大城市桥梁建设	133
4.7 西班牙城市桥梁建设	141
4.8 丹麦城市桥梁建设	149
4.9 北欧四国城市桥梁建设	156
4.10 巴西城市桥梁建设	159
4.11 阿根廷城市桥梁建设	161
第5章 城市交通与建设的实践及思考	164
5.1 北京城市交通的发展战略研究	164
5.2 历史文化街区交通建设的实践及理性思考	179
5.3 从上海世博会看城市建设的创新及其相关启示	192
5.4 国外城市交通与建设的启示	198
5.5 市政公用工程设计地下管网实务操作的若干思考	236
第6章 市政工程信息化建设	250
6.1 计算机集成应用系统在工程设计中的实现	250
6.2 勘察设计行业软件正版化与国产化的若干思考	255
6.3 勘察设计企业信息化建设的实践及思考	258

6.4 案例探讨——网络化市政工程集成应用系统	264
第7章 工程建设标准化	272
7.1 工程建设标准化的现状综述	272
7.2 案例分析——论城市广场石材铺装的技术标准	281
第8章 城市广场夜景照明工程和新农村路网布局	288
8.1 基于创新设计理念的城市广场夜景照明工程	288
8.2 基于创新理念的新农村路网布局规划设计	294
第9章 特大城市繁华区域行人和自行车系统的案例分析	297
9.1 引言	297
9.2 本案例研究区域的总体情况	297
9.3 区域内行人和自行车系统现状分析	299
9.4 国内外城市行人、自行车系统相关发展经验	301
9.5 区域行人和自行车交通系统改善措施	303
9.6 对策建议和结语	308
附录 世界大跨度桥梁一览表	310
附录一 世界大跨度悬索桥一览表	310
附录二 世界大跨度斜拉桥一览表	311
附录三 世界大跨度拱桥一览表	312
附录四 世界大跨度混凝土梁桥一览表	313
附录五 世界大跨度公、铁两用斜拉桥一览表	313
附录六 世界大跨度铁路桥一览表	314
参考文献	315

1.1 城市桥梁的安全度和耐久性探讨

1.1.1 背景

众所周知,城市桥梁通常指城区范围内建造的跨河、跨江、跨海桥梁,立交桥梁及人行天桥等。我国现行的《城市桥梁设计荷载标准》(CJ J77—98)将城市桥梁称为:“城市内新建、改建的永久性桥梁和城市高架道路结构以及承受机动车辆荷载的其他结构物。”

人类进入 21 世纪后,世界各地纷纷建造大规模的城市桥梁(特别是大跨径桥梁和立交桥梁)。随着我国现代化进程的加快,城市桥梁建设进入新的发展阶段。譬如:

(1)2001 年建成的北京四环快速路,全长 65.3km,有 147 座各类桥梁,桥梁总面积为 48.5 万平方米(含城市立交 57 座、高架桥 7 座),2003 年建成的北京五环路高速路,全长 97km,各类桥梁面积达 70 万平方米。

(2)2003 年 5 月动工兴建的杭州湾跨海大桥全长 36km,其中桥长 35.57km,是目前世界上已建和在建跨海大桥中最长的一座,总投资为 118 亿元。大桥建成后,宁波至上海间的陆路距离将缩短 120km。

(3)2003 年 7 月动工修建的上海东海大桥,是一座完全建造在外海海域的大桥,该大桥全长 31.1km(主桥跨径为 420m),这标志着我国桥梁建设事业已跨入世界的前列。

城市桥梁作为建桥所在地城市景观的重要组成部分,依其工程寿命将存在相当长的时间,因此桥梁结构的安全度和耐久性问题已引起人们的高度重视。近年来国内外发生不少桥梁倒塌事故,很多是属于非正常设计和非正常施工造成的,其中包含着工程建设出现的腐败现象(如重庆綦江虹桥倒塌事故),亟须加强法治,严格执行基建程序,确保工程质量。

国外专家曾说过:“规范的超载系数,绝不可能达到足以防备设计可能的大错误,但是许许多多的中小错误都可以用规范的超载系数来防备。”“规范是分析、设计和偏于安全的思路的结合。”城市桥梁结构的安全度与耐久性是一对孪生兄弟,需慎重研究,统筹考虑。近些年我们面临的情况是:桥梁结构安全问题虽已受到重视,但各种事故却时有发生;耐久性常被忽略,却潜伏着不安全的隐患,影响着桥梁结构的使用年限。

1.1.2 内涵及相关问题探讨

何谓城市桥梁结构的安全度?笔者认为,城市桥梁结构的安全度亦是合理地确定桥梁的结构可靠度。结构可靠性的定义为:在规定的时间内(即设计基准期),在规定的条件下,结构完成预定功能的能力。它包括安全性、适用性、耐久性三个方面。用概率来研究和描述就是所谓的结构可靠度。

安全性就是指结构在正常施工和正常使用条件下,承受可能出现的各种作用的能力以及在偶然事件发生时和发生后仍保持必要的整体稳定性的能力。

适用性是指结构在正常使用条件下满足预定使用要求的能力。

耐久性是指结构在正常使用条件下,随时间变化而仍能满足预定功能要求的能力。

我们所关注的城市桥梁结构的安全度亦即桥梁结构的可靠度评价,主要是对其承载能力的评定和确定,公路桥梁结构在这方面做了深入的研究。其结构可靠度指标 β 作为概率极限状态下结构安全度的主要度量指标,是衡量桥梁结构可靠性相对统一的数量化指标。我国现行的公路桥梁结构按承载能力极限状态下,采用目标可靠度评价指标,反映了我国公路桥梁结构设计的可靠度水平。

何谓城市桥梁的耐久性问题?应该说此问题近20年来逐渐被人们所重视。笔者认为,对我国桥梁结构耐久性的研究要略晚于建筑结构对此问题的研究。在世界范围内,对混凝土耐久性的重视始于20世纪70年代末。清华大学陈肇元院士曾撰文指出:“建筑物的耐久性是建筑物及其构件在给定的期限内并在各种作用下维持其功能的能力,而建筑物及其构件的使用寿命则是在其建造完工或生产制成以后,仅在一般的维护条件下,其所有性能均能满足原定要求的期限。”英国学者也提出:“耐久性预测不可能是一门精确的科学,建筑物的预测寿命只能是个估计。”国内外专家近年来十分关注桥梁结构,将在设计基准期内是否满足预定的功能要求作为桥梁可靠性评价的重要指标。如美国的北卡罗来那、内布拉斯加和明尼苏达等州,将桥梁剩余寿命作为评价桥梁的重要因素。

研究成果表明,耐久性的研究和评价对桥梁结构寿命的延长和防止重大事故的发生将会产生巨大的经济效益和社会效益。总体说来,桥梁耐久性是对未来的预测。国际标准ISO2394:1998《结构可靠性总原则》中明确:“结构设计的目的是尽量减小结构或结构构件的失效概率,保证其可靠度……结构与结构构件的耐久性是指其在工作寿命期内,适当的维护条件下在其所处环境中保持正常工作的能力。”并提出要注意一些诸如结构预期用途、要求的性能、环境条件、材料性能、结构体系、构件形状、结构细部构造、工艺质量和控制水平、专门的防护措施以及在设计工作寿命期的维护等相关因素的影响。

近些年来,国内外在城市桥梁建设上,设计安全度和耐久性出现的问题屡见不鲜,甚至出现危及公众安全的事件。笔者认为,如下若干问题应引起桥梁建设者的高度关注。

(1) 已建常规城市桥梁设计标准低,造成安全隐患。

我国在20世纪60~70年代修建的桥梁,限于当时的社会经济发展水平,其设计荷载标准较低,而且大部分城市和公路桥梁如今仍在服役,已不适应交通量日益增长的需要,面临着恢复和提高现有旧桥的承载能力及通行能力,延长桥梁的使用寿命,消除交通安全隐患。

桥梁安全性的评价实质就是其承载能力评定,它是桥梁可靠性评价的主要内容。通过调查发现,不少城市已建的常规城市桥梁结构(指一般结构)因设计、施工、材料、养护管理、交通荷载的变化以及所在环境的侵蚀、偶然事故等原因导致桥梁整体或组成它的基本部件在强度、变形、刚度等方面的损坏而影响桥梁结构在正常使用条件下的安全性和耐久性方面存在相当多的问题。例如北京西长安街的一座跨河桥建成于1969年,经40多年的运行,近期发现桥梁损坏严重,主梁混凝土40%低于设计强度,钢筋53%出现中度以上锈蚀,全桥普遍出现混凝土剥落、开裂和碳化现象,故近期对该桥进行大规模的修缮和维修加固。据悉,北京市现有各式桥梁3790座,其中552座属危桥和病桥,亟待改造和升级。

(2) 车辆超载对桥梁结构带来损害。

近年来车辆严重超载对城市桥梁的安全度和耐久性带来很大的隐患。例如1994年通车的深圳市北环路,原设计荷载为汽车-超20级,挂-120级。但它是深圳市连通香港唯一的货运通道,来往于深圳、东莞等地的香港货柜车行驶速度经常为90km/h(原设计车速最高为50km/h)、货柜车载重为76~90t,最高为110t(原设计荷载超20级重车为55t重),因此该路段上的一座立交桥由于超载造成破损严重,影响了正常使用。经采用碳纤维加固主梁,并对中墩及桥梁基础进行加固方满足要求。我国华北和华南地区的一些桥梁,由于经常过往超载的车辆(如运煤车、货柜车),造成桥梁结构严重受损,其使用寿命大大缩短,甚至成为危及人民群众生命财产安全的重大隐患。

(3) 混凝土品质的变化造成桥梁使用寿命和耐久性降低。

在过去的一个时期,人们关注混凝土的质量往往是以单一的强度指标作为标准,导致了我国水泥工业对水泥强度的片面追求。水泥细度的增加,水泥熟料中早期强度的提高,促使水泥矿物成分含量增大,这些措施虽有利于提高混凝土的强度,但不利于其耐久性。而混凝土养护不利,以及外部环境的恶化(酸雨等),都对混凝土造成严重腐蚀,致使桥梁使用寿命和耐久性的降低。

自20世纪80年代以来,工程建设领域以提高耐久性为目标,广泛采用高性能混凝土,已在世界各地引起人们的广泛重视。桥梁结构从下部结构到上部结构,从小跨径到大跨径,高性能混凝土得到了广泛的应用,耐久性和结构强度均提高了一倍左右。研究成果表明,高性能混凝土通过增加活性掺料减少水泥用量,具有良好的耐久性、工作性、强度和体积的稳定性。

(4) 北方城市桥梁除冰盐对桥梁耐久性产生不利影响。

自20世纪70年代开始,我国北方地区(特别是北京城区)为保证冬季雪后道路交通畅通,在立交桥梁上大量采用除冰盐。通过调查发现,使用10~20年的桥梁,除冰盐对桥梁结构的钢筋产生严重的腐蚀,使用不到10年的桥梁,在氯离子影响下,钢筋也处于锈蚀状态。我国北方冬季气候非常干燥,使用除冰盐后,盐水很容易进入结构混凝土中而达到饱和。在外界环境非常干燥的条件下,混凝土中的水流方向发生逆转,纯水通过混凝土的毛细孔向外蒸发,混凝土内部的盐分浓度增加,又使其向混凝土内部扩散,并形成恶性循环。

据调查,除冰盐引起的钢筋锈蚀是北方城市桥梁结构破坏的重要原因。按照欧洲国家对混凝土中钢筋腐蚀速度的研究成果,钢筋从开始锈蚀至破坏的时间约为总寿命的1/3,而北京的不少立交桥梁的使用寿命受除冰盐的影响,远远不能达到人们对桥梁结构预期寿命的要求。近年来在部分城市推广的新型除雪剂仍含有盐分,对桥梁耐久性也会造成不利的影响。

(5) 桥梁结构防水不当影响结构的安全性和耐久性。

从20世纪90年代初,人们对城市桥梁防水技术开始关注并进行专题研究(北京从首都机场高速公路开始,上海从南浦大桥开始),主要是因为城市桥梁漏水对桥梁结构腐蚀十分严重,严重影响桥梁的使用寿命(如20世纪70~80年代修建的北京二、三环上的立交桥梁)。不少城市桥梁不做防水或防水不利造成桥面渗水、钢筋锈蚀、铺装层剥落、碱集料反应等,引起混凝土胀裂等问题,严重影响了桥梁的耐久性和正常使用寿命,以及行车的舒适性和安全性。

(6) 施工监测不力产生的不利影响。

桥梁施工监测是针对工程施工过程中结构的关键部位,对主要施工方法及关键技术进行控制。加强对施工过程中的监测控制,是保证桥梁结构安全、可靠、确保工程质量的必要措施。城市桥梁设计中应充分考虑施工过程的变化情况(如构件运输、体系转换、振动荷载等),并应满足正常使用的需要。如果未充分考虑桥梁的结构储备和体系形成的各种不利因素,将桥梁结构视为正常使用情况的结构,会产生十分不利的问题,将危及桥梁结构的安全,这方面的经验、教训在国内外的建桥史上屡见不鲜。

城市桥梁(特别是大跨径城市桥梁)的施工监控问题,是桥梁建设中十分重要的问题,也关系到其结构安全度和耐久性。譬如,悬索桥的施工特点是一旦主缆安装就位,主缆内力、挠度则完全取决于结构体系的形成过程、索鞍和塔顶及主梁之间相互连接情况、结构自重、施工荷载和温度场变化过程,因为后期将无法人为地再调整主缆内力和位型。因此在悬索桥的施工中,控制主缆无应力下料长度、主缆在自重力作用下的初始安装位置(初始垂度和线形)、索鞍初始预偏量的计算等将成为悬索桥施工过程计算的关键。必须根据实际观测结果经分析识别得到结构实际参数,并计算和调整各施工阶段控制点高程、位移量、内力和应力的理论值,这是悬索桥施工监控的重要环节。若施工监控不力则后患无穷。

又如斜拉桥施工中必须建立监测系统,一切施工步骤都必须按预定的程序严格执行。施工过程中(如混凝土斜拉桥的现浇工艺)每个步骤内力和变位都是可以预报的,因此应不断进行监测,并提高预报

的可靠性,这也是一个安全警报系统,如果预报与实测值相差较大,必须停工检查,分析原因,以确保桥梁结构的安全。

(7) 桥梁结构新发展带来的新问题。

近些年来,因交通功能需要,各大中城市在修建道路立交时,采用了一批弯桥、坡桥、斜桥、独柱弯桥及异型结构(如点支承的异型平板桥),反映了我国城市立交桥结构的新发展。由于我国尚未有成熟的设计规范来指导设计,致使一段时间不少城市桥梁出现了问题。

深圳及周边地区的不少弯箱梁桥于2000年左右,相继出现桥梁支座脱空甚至梁体位移的事故。如深圳连接笋岗西路和泥岗西路的一座立交桥的匝道桥,已建成通车两年,其主联连续梁于当年6月上旬突然发生梁体变位,全联连续梁在各墩位均有不同程度的切向、径向和扭转变位。其中端部扭转角达 2.42° ,最大水平位移为220mm,最大径向位移为470mm。该立交桥梁经加固(主梁抬起、平移复位、加固约束)后,改变了原来结构体系。桥梁加固投入了大量资金。究其原因,主要是桥较长,抗扭跨径较大,在温度力长期反复作用下,随着结构发生侧向水平位移翻转的时间增加。因此结构的横桥向累计位移是造成梁体水平位移及翻转变化的重要因素,而人们事先对此问题的认识是不够的。

前些年在城市桥梁建设上一度出现单纯追求结构上轻巧的现象,这说明部分桥梁专家未充分考虑到单薄也严重影响其耐久性。此外,我国部分城市的独柱支承预应力弯桥发生支座脱空的现象也比较严重,主要原因是对预应力钢束产生的扭矩认识不足,结构计算分析中未计入预应力对扭矩的影响;支座预偏心设置和支承体系设计不合理;设计中对长期荷载,特别是对温度力、制动力、收缩、徐变引起的平面外水平变位认识不足,水平限位措施不利等,导致了上部结构在长期荷载作用下的“水平爬行现象”。不少独柱弯梁桥的部分支座脱空现象,对其结构的安全度和耐久性等将产生十分不利的影响。

1.1.3 研究趋势及相关对策措施

研究趋势:城市桥梁结构的安全度(结构可靠度)和耐久性问题是涉及多学科并与工程应用有着极为密切关系的问题,研究和逐渐深化认识该问题,对桥梁结构能否符合安全可靠、耐久适用、经济合理、技术先进,确保质量的要求,起着重要的作用。近年来,国内外学者和桥梁建设者对城市桥梁结构的安全度和耐久性问题给予了充分重视,并取得了显著成果。研究的趋势综述如下。

(1)近年来我国在工程结构可靠性的研究方面取得很大进展,即由正常使用期可靠性的研究,拓展为结构生命全过程可靠性的研究,以可靠度为尺度来分析、估计结构的耐久性,进而为结构的耐久性设计和已有结构的维修加固提供依据,这是工程结构可靠度的主导研究趋势。

(2)国内外学者对结构物(建筑、桥梁结构等)的耐久性和使用寿命的研究已成为结构工程学科的主要发展前沿。国际上一些权威的混凝土结构设计规范和规程都修改了与耐久性有关的规定,有的规范明确了不同结构的设计使用寿命,有的则提高了对混凝土强度等级、水灰比、保护层厚度及配比等方面的要求。美国公路桥梁规范(AASHTO,1994)规定在含盐分的环境下混凝土水胶比不高于0.5,欧洲规范规定桥梁结构的混凝土的水胶比不高于0.4。国外对一些大跨梁桥结构,针对其具体的侵蚀环境,规定了其耐久性和使用寿命的分析预测内容,并提出了量化指标。

(3)国内外学者积极开展桥梁结构耐久性评定标准的研究。研究成果表明,桥梁结构耐久性评定标准不仅应考虑承载力的可靠性,还应综合考虑结构的经济、社会和环境效益,结构破坏和功能丧失所造成的损失,以及社会经济发展水平和公众对风险的承受力等诸多因素。还将开展对耐久性机理的研究,各类结构损失数据的统计、社会发展水平以及公众承受力对标准的制约性工作等研究。

(4)高性能混凝土(大于C60级,称为HPC)自20世纪80年代在桥梁建设领域得到迅速推广。HPC是利用超细矿物掺料(粉煤灰、碱矿渣、硅灰等)替换混凝土中的一部分水泥,再掺加高效减水剂,使混凝土在大量减少水泥用量和水化热的同时,具有高流动度、高密实度与高后期强度。HPC桥梁的耐久性是一般混凝土的2倍,有利于节约资源,减少空气中 CO_2 含量,且利用了工业废料,有利于环境保护,这项研究成果在铁路和公路桥梁建设中已得到广泛的应用。

(5) 针对近年来一些城市桥梁中弯桥,特别是独柱预应力弯梁接连出现问题的情况,有关部门正在编制我国曲线梁桥设计指南,并适时纳入相应设计规范中。将通过综合分析研究,明确曲线梁桥上部结构的合理跨径,包括扭转跨径与扭矩峰值的合理分布,下部结构(墩柱、基础类型)的合理选择。通过对曲线梁桥结构体系的研究,提出结构体系稳定性的相关措施和规定,以满足正常使用的需要,提高该类桥型的安全度和耐久性。

(6) 解决城市桥梁防水问题日益受到各方面的关注。随着我国城市桥梁建设的迅猛发展,桥梁防水问题作为提高结构的耐久性措施已摆到十分重要的位置,且发展前景十分广阔。目前不少设计人员对桥梁防水设计重视不够,对防水材料,特别是对一些新型防水材料缺乏系统的了解,因而在设计图纸上无细化的防水设计,无选材说明,往往造成选材不当,降低了设计标准,影响桥梁使用寿命和耐久性。据悉,有关部门正在编写我国城市桥梁防水设计和施工规范。

据此,近期桥梁防水技术的标准化工作已提到重要日程,并逐步与国际接轨,国外的一些成功经验将被借鉴和采用。桥梁专用防水材料的研制、开发和生产将有极大的发展。科研、材料、设计、施工和管理等部门将加大合作力度,开发一批桥梁专用防水卷材和防水涂料将指日可待。高性能混凝土在城市桥梁结构中广泛应用将提高桥梁结构的自身防水能力。国内和国际的交流与合作将更加广泛,我国城市桥梁防水技术将广泛吸取其他行业防水技术的成功应用经验,促进桥梁建设的发展。

相关措施:

(1) 提高常规混凝土(小于 C40 级)的品质。由于我国还是一个发展中国家,地域广阔,经济发展很不平衡,常规混凝土仍广泛应用。因此应依据使用条件对混凝土的各项性能指标及结构构造提出具体要求,如水灰比的控制要求、混凝土的抗冻性、抗渗性能要求、保护层厚度要求、裂缝控制要求、设计使用寿命期间受到的氯离子侵害的保护措施。并在施工期间,严格控制原材料质量和生产程序,从而减少混凝土性能上的变异,提高混凝土的品质和整体质量,以确保桥梁结构的安全度和提高耐久性。

(2) 应加快我国高性能混凝土的研究和推广应用。高性能混凝土具有高工作性、高耐久性、高尺寸稳定性和高强度以及高抗氯离子渗透性能。为延长桥梁结构的使用寿命,应积极推广高性能混凝土和高强钢材,以达到提高混凝土强度并加快其硬化过程的目标,提高混凝土的耐久性。我国工程建设领域,特别是桥梁工程应将高性能混凝土的研究和推广应用作为确保桥梁结构安全和提高耐久性的重要对策措施。

(3) 进一步完善桥梁结构耐久性的构造设计。在材料、环境等因素相同的条件下,不断完善桥梁结构的混凝土耐久性设计,譬如加大混凝土保护层的厚度,延缓钢筋钝化膜的破坏,延迟氯化物对钢筋的腐蚀,将减少正常维修费用并延长结构使用寿命。适当加大桥梁结构的结构尺寸,解决配筋密度过密时造成的混凝土浇筑困难,集料分布不均匀,混凝土密实度下降等;提高桥梁防撞能力,以确保防撞系统与主体结构的耐久性。

(4) 加快桥梁结构防水规范的编制和应用。近年来桥梁建设者已取得共识,城市桥梁的防水设计和施工对其安全度和耐久性至关重要,因此急需编写有关标准和规范,规范设计和防水施工的关键环节,对设计人员提出具体的技术要求,应进一步改进我国桥梁防水结构设计,充分认识到桥梁结构自身防水功能是解决桥面漏水问题的症结所在。在构造设计上应充分考虑桥梁的耐久性要求,提高结构的防水性能和功能,从混凝土材料的选择和施工技术方面进行研究。要提高混凝土本身的密实程度,抑制和减少混凝土内部孔隙的产生,堵塞和杜绝渗水的通道,使外部水分无法渗入材料的内部。同时对混凝土外加剂也应进行系统的研究。目前不少桥梁施工采用早强剂,产生大量水化热,必然增加混凝土收缩及徐变带来次应力影响等问题,对此应予以充分的重视,并采取相应的对策措施。

积极研制和开发适合桥梁结构施工和工作环境专用的防水材料,材料应具有较高的强度和优良的防水性、延伸性、抗裂性,能适应车辆荷载、温度变化等作用下产生的变形;要具有良好的耐热、耐寒性能,能适应较大的温度变化;要具有良好的黏结性、抗剪切性和抗疲劳性,能使防水材料 with 桥梁主梁混凝土和桥面铺装间有可靠的连接;还应满足防水施工工艺简单、便于掌握、造价适中、运输和储存方便的要求,并确

保防水质量。

(5)加强新型复合材料的研究和推广应用。自20世纪80年代以来,以提高耐久性为目标的新型复合材料在桥梁建设中得到广泛应用。如纤维加劲塑料(FRP),它具有抗海水、抗酸、抗磷等腐蚀的优点,其强度又大于高强钢丝。一些发达国家对FRP在桥梁建设中的应用进行专题研究开发,发展了各种FRP力筋体系、FRP板材和卷材,建成了一些FRP桥及FRP力筋的预应力混凝土桥和斜拉桥。但FRP仍处于试验、研制阶段。我国应积极开展FRP在桥梁工程中的应用研究工作,在高效优质补强旧桥和易腐蚀的桥梁单向受拉件中以FRP代替钢材。

(6)重视特殊环境下的钢筋混凝土的防护。特殊环境的桥梁(如处于海洋环境下),由于海水中氯离子浓度较高,约为19000mg/L,钢筋极易受腐蚀。主要是处于浪溅区的钢筋混凝土易发生钢筋腐蚀破坏,其次是水位变动区和大气区。需在材料技术上采取相应对策措施:①采用环氧涂层钢筋;②采用阴极保护技术;③采用混凝土表面涂层技术;④采用不同的外加剂,如高效减水剂、泵送剂、缓凝剂,以及外加阻锈剂防护等。

(7)加强对城市弯、坡、斜、异型桥梁及大跨径城市桥梁(斜拉桥、悬索桥、刚构桥及拱式桥)安全度及耐久性的研究。应针对以往存在的问题,采取相应的对策措施,确保城市桥梁结构的安全性、稳定性和耐久性。要修订和完善城市桥梁相应的设计规范及施工规程;加强对城市弯、坡、斜桥和异形桥梁及大跨径城市桥梁安全度及耐久性的研究,以使设计和施工符合耐久性的要求,确保桥梁结构的正常使用。

(8)加强国内、国际城市桥梁结构安全度和耐久性问题的学术交流。应不断搜集和了解国外该领域的发展动态,总结正反两方面的经验教训,树立技术创新观念,重视城市桥梁结构安全度和耐久性问题研究和成果转化,发挥科研、材料、设计、施工、管理等各方面的积极作用,开展学术交流,共同携起手来,不断探索大家共同关心的问题,在祖国现代化进程中,推动我国桥梁事业的发展,促进我国桥梁建设的技术进步。

1.2 创新技术在城市桥梁建设中的应用

1.2.1 城市桥梁建设的发展沿革

1)北京

北京是中国的首都,由于其所处的地理位置特殊(无宽、深的大江大河),且大规模城市建设起步较早,因而其城市桥梁在我国桥梁建设上有其独特之处。近30年来,北京地区建设了一大批复杂立交桥、城市跨线桥梁、轻轨铁路高架桥梁等各类大、中型桥梁,大多呈现弯、坡、斜受力特点。北京市市政工程设计研究总院担负了北京地区90%以上桥梁工程的设计任务。如1986年修建的永定河大宁水库永定大桥,全长1120m,是北京目前最长的跨河桥梁,该工程获得了国家优质工程银奖;1987年建成的北京东便门立交系我国首次采用独柱支承的预应力弯箱梁结构,该研究课题获北京市科技进步二等奖;1991年的北京广安门立交采用了预应力混凝土、钢筋混凝土等多种材料并用的点支承异形板桥,桥梁面积达2.1万平方米,实现了我国城市异形板桥结构设计的突破;1994年开始在八达岭高速公路建设中设计了钢管混凝土拱桥、大跨径预应力弯桥等,八达岭高速公路工程获得了鲁班奖和詹天佑大奖;1992年设计的首都机场高速公路四元立交,达到了当时立交设计的最高水平,获得了首届中国土木工程詹天佑大奖(见图1-1);2001年竣工的北京市四环路,全线桥梁147座,桥梁面积达48.5万平方米,桥梁设计人员从结构耐久性、结构形式、新技术、新工艺等方向进行了优化和创新,达到了国内同类项目的最高水平,获得了2003年度中国土木工程詹天佑大奖;2003年10月设计完成的北京五环路共建立交55座,其中大型互通式立交12座,特大桥11座,全线桥梁259座,桥梁面积69.4万平方米时,获得了2005年度国家优质工程奖和詹天佑大奖;1993年修建的五环路石景山南站高架桥系转体施工的斜拉桥,创造了预应力混凝土曲

线斜拉桥单铰转体质量达 1.4 万吨的世界纪录。截至 2007 年底,北京地区已建成各式立交 400 多座,可称中国之最。近年来北京地区又在城市桥梁新桥型的设计和建设上有了跨越式的发展:譬如在北京京承高速路潮白河上成功修建了一座矮塔斜拉桥;在地铁 5 号线清河桥修建了国内第一座曲线斜拉桥;在昌平南环大桥修建了亚洲第一的自锚式悬索桥(见图 1-2)。这说明城市桥梁建设在设计理念上亦有了新的提高,在新材料、新技术、新工艺的应用上迈出了坚实的一步。



图 1-1 北京四元立交桥



图 1-2 京昌平南环大桥(自锚式悬索桥)

2) 上海

上海在我国城市桥梁建设史上,特别是大跨径城市桥梁建设上占有举足轻重的地位。20 世纪 70 年代,上海市政府在山东省设计了济南东天桥立交桥,系当时国内第一座斜腿刚构的城市桥梁。1982 年上海建设了我国第一座斜拉桥——卵港桥。之后,又在上海火车站附近建造了国内第一座城市斜拉桥——上海恒丰路桥。

1990 年上海市政府在重庆嘉陵江上设计了石门大桥,系我国第一座独塔单索面斜拉桥。20 世纪 90 年代之后,上海黄浦江上建造了一批世界级的城市桥梁,如南浦大桥、杨浦大桥(见图 1-3)、徐浦大桥和卢浦大桥等。近年来上海市政府又设计了重庆鹅公岩长江大桥(主跨为 $L=600\text{m}$ 的悬索桥)和上海东海大桥(全长 31.6km 的跨海大桥,见图 1-4)。



图 1-3 上海杨浦大桥

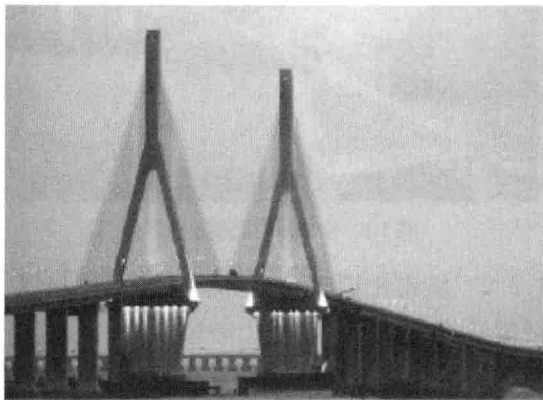


图 1-4 上海东海大桥

3) 天津

天津市在我国城市桥梁建设上占有重要的地位。天津市 1987 年建成 260m 的永和斜拉桥以来至今已修建 9 座斜拉桥,包括主钢边混混凝土独塔斜拉桥——塘沽海河大桥(主跨为 310m),斜独塔斜拉桥——海河保定桥(主桥跨径为 51m + 120m),以及拱形斜独塔斜拉桥——河北路立交子牙河桥(主跨为 145m)等。还建造了两座新颖的钢管拱桥,其中海河大沽桥为不对称拱桥(24m + 106m + 24m,系由美籍华人邓文中院士构思设计的不对称拱肋钢管拱桥);海河奉化大桥系三跨中承式钢拱桥(56m + 138m + 56m),其箱形钢拱肋为三维曲线造型,箱顶板呈弧形,箱形钢拱肋之间由几个形状各异的金属叶片状隔板相连接,桥形新颖别致。

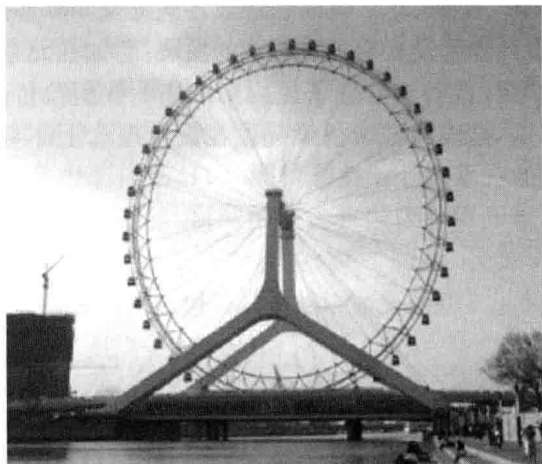


图 1-5 天津慈海桥

同时,天津市又修建了自锚式悬索桥——子牙河咸阳路桥(主跨为 115m),以及集交通、观光、游览为一体的巨型摩天轮桥梁——慈海桥,上层供车辆行驶,下层供行人通行,并设有餐厅、娱乐等设施,该桥采用日本川口卫设计事务所的设计方案,见图 1-5。

4) 重庆

重庆市是我国第四个直辖市,在 20 世纪 80 年代修建了重庆长江大桥(1980 年 7 月通车)和石门大桥(1988 年建成,上海市政府设计)。随着直辖市的建立,重庆市城市桥梁建设蓬勃发展。重庆市计划 1996~2020 年修建 16 座大型跨江桥梁。最近十多年来相继修建了朝天门长江大桥(主桥为 190m + 552m + 190m 的中承式钢桁连续系杆拱桥,2007 年底

建成)、菜园坝长江大桥(见图 1-6,主跨为 420m 的目前国内最大的公共交通和城市轻轨两用大跨径拱桥,且集刚构、钢桁梁和系杆拱为一体的组合结构体系,它的建成通车将主城区的江北、渝中和南岸三区紧密连接起来,形成重庆市的又一条南北大通道)和石板坡长江复线大桥(2006 年 8 月竣工通车,形成石板坡姊妹桥,它将 330m 梁桥的中部改用 103m 的钢梁,形成钢混结构,成为钢桁结构桥的世界第一跨)。

5) 其他城市

其他城市如广州、南京和武汉等,近 20 年来在城市桥梁建设上亦有颇丰的建树。如先期建设的广州海印大桥和番禺大桥,近年来修建的南京长江二桥、三桥以及武汉长江二桥、武汉天兴洲长江大桥等典型工程,都为我国城市桥梁建设的创新和发展做出了积极的努力。图 1-7 为江苏南京长江二桥。



图 1-6 重庆市菜园坝长江大桥

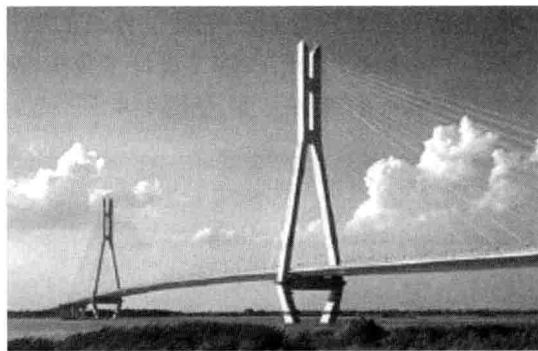


图 1-7 江苏南京长江二桥

1.2.2 城市桥梁建设的创新技术

1) 设计理念和设计思想上的创新

如安全度和耐久性设计思想的引入、IT 技术在结构分析中的应用等。在工程设计中,设计人员更加注重资源节约、全生命周期(全寿命理念)以及桥梁美学的理念。譬如近年来许多城市桥梁,不仅注重其交通功能,并充分考虑人们对城市景观的要求和对建筑艺术的享受,有的将常规的墩柱和主梁设计成流线型,收到良好的效果。

2) 城市桥梁设计水平的新发展

主要体现在大跨度桥梁设计水平的提高上。从 1991 年上海南浦大桥建成至今我国已建成数以百计的城市大跨径桥梁,其中苏通大桥系世界上最大跨径的钢斜拉桥(跨径为 1088m),上海卢浦大桥是世界上最大跨径的钢拱桥(主跨为 550m),连接扬州和镇江两座城市的润扬大桥是我国现今跨度最大的悬索桥(主跨为 1400m)。而上海东海大桥和杭州湾大桥的成功建成,充分说明我国在大跨径桥梁建设水平上已跻身世界前列。图 1-8 为江苏苏通大桥。