

结构与施工计算实例丛书

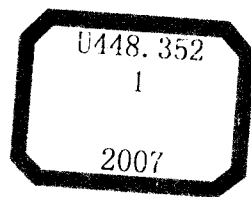
预应力混凝土 桥梁结构

宋玉普 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

结构与施工计算实例丛书



预应力混凝土桥梁结构

宋玉普 编著

机械工业出版社

本书为“结构设计与施工计算实例”丛书之一。全书共分14章,主要内容为:国内外桥梁结构的发展现状、存在问题、研究方向及2020年的发展目标;预应力混凝土空心板梁桥;预应力混凝土连续曲线箱梁桥;缓粘结预应力混凝土桥;横张预应力混凝土桥;预应力体外索桥;预应力混凝土刚构桥;预应力混凝土V形支撑连续梁桥;双壁(柱)墩预应力混凝土连续梁和连续刚构桥;预应力混凝土脊骨梁桥;预应力混凝土系杆拱桥和桁式拱桥;双层桥面预应力混凝土桥;预弯组合梁桥。本书各章均附有典型的设计和施工计算实例,以供读者参考和应用。

本书可供广大桥梁工程设计、施工及监理人员参考使用,也可作为大专院校土木工程专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

预应力混凝土桥梁结构/宋玉普编著. —北京:机械工业出版社, 2007.6

(结构设计与施工计算实例丛书)

ISBN 978-7-111-21156-3

I. 预… II. 宋… III. 预应力混凝土桥—结构设计

IV. U448.352.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第035429号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:薛俊高 版式设计:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2007年6月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·11.75印张·1插页·431千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21156-3

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国经济建设的飞速发展，预应力混凝土结构的应用越来越广泛，目前已遍及建筑、桥梁、电视塔、核安全壳、混凝土采油平台、坝体中引水洞和排沙洞等的衬砌、闸墩、渡槽、地下洞室、坝体和高边坡加固、水处理池和水池、球形塔和筒仓仓壁等。鉴于此，为便于建筑工程设计和施工人员掌握基本的计算方法，通过具体的工程实例达到举一反三的目的，机械工业出版社特组织编写了该套“结构设计与施工计算实例丛书”，该套丛书包括《混凝土结构设计和施工细部计算示例》、《预应力混凝土建筑结构》、《预应力混凝土特种结构》和本书。

在“21世纪土木工程实用技术丛书”中的《钢筋混凝土结构》和《新型预应力混凝土结构》中已介绍了静定和超静定预应力混凝土结构和各种新型预应力混凝土结构的基本设计原理和方法。在此基础上本书重点介绍预应力混凝土桥梁结构的设计与施工实例，以便于工程设计、施工、监理人员参考应用。

本书不同于设计手册和会议论文集，它是按桥梁结构类型进行分类，将多篇关于同一工程实例的文章归纳总结，按桥梁结构类型进行叙述，这样便于设计、施工和监理人员查找。另外，本书中同一桥梁结构类型，可能由于设计方法和施工方法的不同，而有很多实例，从而便于设计、施工和监理人员按自己的设计、施工方法查找相关的实例，以供参考。全书共14章，内容分别为：第1章绪论，介绍了国内外桥梁结构的发展现状，我国在桥梁建设中尚存在的问题及2020年的发展目标。第2章预应力混凝土空心板梁桥，包括先张法、后张法有粘结混凝土空心板梁桥、部分预应力混凝土空心板梁桥、无粘结预应力混凝土空心板桥，预应力混凝土斜空心板桥，预应力混凝土连续空心板梁桥。第3章预应力混凝土连续曲线箱梁桥，包括公路与铁路交

叉的预应力混凝土连续曲线箱梁桥、预应力混凝土连续曲线箱梁引桥和立交桥。第4章缓粘结预应力混凝土桥,介绍两座缓粘结预应力混凝土桥的施工实例。第5章横张预应力混凝土桥,介绍两座横张预应力混凝土桥的设计和施工实例。第6章预应力体外索桥,包括预应力体外索桥的设计和加固实例。第7章预应力混凝土连续刚构桥,包括直线和曲线形预应力混凝土连续刚构桥的设计和施工实例。第8章预应力混凝土连续斜拉索桥,包括预应力混凝土连续刚构斜拉索桥的设计和施工。第9章预应力混凝土V形支撑连续梁桥,包括V形支撑连续梁桥的优缺点和几个问题的分析,并介绍了V形支撑预应力混凝土连续梁桥的设计和施工实例。第10章双壁(柱)墩预应力混凝土连续梁和连续刚构桥,包括双壁(柱)墩预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥的特点和设计与施工实例。第11章预应力混凝土脊骨梁桥,包括脊骨梁桥形结构的设计、分析和预应力体系及脊骨梁桥形结构用升板法施工的新工艺。第12章预应力混凝土系杆拱桥和桁式拱桥,包括预应力混凝土系杆拱桥的设计与施工,预应力混凝土桁式组合拱桥的设计与施工。第13章双层桥面预应力混凝土桥,包括双层桥面预应力混凝土简支梁桥、双层桥面预应力混凝土连续刚构桥、双层桥面预应力混凝土系杆钢管混凝土拱桥、双层桥面预应力混凝土斜拉桥的设计与施工。第14章预弯组合梁桥,包括国内外预弯组合梁桥的发展现状;预弯组合梁桥的工作原理、施工顺序、时效分析及设计和施工实例。

由于预应力混凝土桥梁结构的发展较快,本书难免有缺漏之处;另外由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

宋玉普

2007年元月于大连理工大学

目 录

第 1 章 绪论	1	3.2 预应力混凝土连续曲线箱梁引桥	78
1.1 国内外桥梁建设的发展现状	1	3.3 曲线预应力混凝土连续箱梁立交桥	92
1.2 我国桥梁发展中的问题	5	参考文献	94
1.3 我国桥梁技术的主要研究方向	6	第 4 章 缓粘结预应力混凝土桥	96
1.4 我国 2020 年桥梁建设的发展目标	7	4.1 概述	96
参考文献	10	4.2 缓粘结预应力混凝土桥的施工实例	97
第 2 章 预应力混凝土空心板梁桥	11	参考文献	107
2.1 预应力混凝土空心板梁桥的特点	11	第 5 章 横张预应力混凝土桥	108
2.2 部分预应力混凝土空心板梁桥的设计和试验研究	13	5.1 概述	108
2.3 有粘结预应力混凝土空心板梁桥的工程实例	18	5.2 横张预应力混凝土桥的工程实例	108
2.4 无粘结预应力混凝土空心板梁桥的工程实例	31	参考文献	118
2.5 先张与后张无粘结混合配筋空心板桥	40	第 6 章 预应力体外索桥	119
2.6 预应力混凝土斜空心板桥	44	6.1 概述	119
2.7 预应力混凝土连续空心板梁桥	60	6.2 预应力体外索桥的设计和施工	120
参考文献	64	6.3 预应力体外索加固桥梁	140
第 3 章 预应力混凝土连续曲线箱梁桥	65	参考文献	151
3.1 公路与铁路交叉的预应力混凝土连续曲线箱梁桥	65	第 7 章 预应力混凝土连续刚构桥	153
		7.1 预应力混凝土连续刚构桥的特点	153
		7.2 直线预应力混凝土连续刚	

构桥	161	空间分析	244
7.3 曲线预应力混凝土连续刚		11.4 脊骨梁桥形的预应力	
构桥	170	体系	245
参考文献	195	11.5 脊骨梁桥形结构试验	245
第8章 预应力混凝土连续斜拉		11.6 脊骨梁桥形结构用升板法施工	
索桥	196	的新工艺	246
8.1 概述	196	参考文献	246
8.2 预应力混凝土连续刚构斜拉索		第12章 预应力混凝土系杆	
桥的设计和施工	196	拱桥和桁式拱桥	247
8.3 预应力混凝土斜拉主桥		12.1 概述	247
合龙设计	202	12.2 预应力混凝土系杆拱	
参考文献	205	桥设计	248
第9章 预应力混凝土 V 形支撑		12.3 单拱面预应力混凝土系杆	
连续梁桥	206	拱桥设计	255
9.1 概述	206	12.4 预应力混凝土系杆钢管混凝	
9.2 V 形支撑结构桥梁中几个问题		土拱桥施工技术	260
的分析	209	12.5 预应力混凝土系杆拱桥拱肋	
9.3 V 形支撑预应力混凝土连续梁		现浇施工	273
桥的工程实例	212	12.6 预应力混凝土桁式组合拱桥	
参考文献	222	的设计	275
第10章 双壁(柱)墩预应力混		参考文献	285
凝土连续梁和连续刚		第13章 双层桥面预应力混凝	
构桥	223	土桥	286
10.1 双壁(柱)墩预应力混凝土连		13.1 双层桥面预应力混凝土简支	
续梁桥的特点	223	梁桥	286
10.2 预应力混凝土连续刚构桥采用		13.2 双层桥面预应力混凝土连续刚	
双壁(柱)墩的应用		桁桥	290
实例	223	13.3 双层桥面预应力混凝土系杆钢	
参考文献	240	管混凝土拱桥的施工控制	296
第11章 预应力混凝土脊骨		13.4 双层桥面预应力混凝土斜拉	
梁桥	241	桥设计与施工	304
11.1 概述	241	参考文献	316
11.2 脊骨梁桥形结构的设计	243	第14章 预弯组合梁桥	317
11.3 脊骨梁桥形结构的三维		14.1 概述	317

14.2 预弯组合梁的工作原理和制 作施工顺序	318	14.4 预弯组合梁的时效分析	323
14.3 预弯组合梁的电算设计 程序	320	14.5 预弯组合梁设计和施工 实例	332
		参考文献	366

第 1 章 绪 论^[1]

1.1 国内外桥梁建设的发展现状

自 1956 年瑞典建成世界上第一座现代斜拉桥——斯特伦松德桥（跨径 182.6m）以来，斜拉桥经过了短短 50 年的发展，已经成为 500~800m 范围内最具竞争力的桥型。目前世界上已经建成 40 多座跨径大于 400m 的斜拉桥。其中，1995 年法国建成了诺曼底桥（跨径 865m），1999 年日本建成了目前世界上跨径最大的斜拉桥——多多罗大桥（跨径 890m）。在大江河口的软土地基或不适于修建悬索桥锚碇的地区，斜拉桥的跨径具有更大的发展余地。在结构形式方面，目前大跨径的斜拉桥都采用了密索体系；为提高抗风性能，都采用了流线形气动性能良好的主梁形式；在材料方面，大跨径斜拉桥一般采用钢梁、叠合梁或组合梁。近年来，多塔斜拉桥、自锚与地锚相结合的斜拉桥、无背索斜拉桥、部分斜拉桥（实际应归入梁桥一类）等结构形式也有较大发展。

悬索桥方面，1883 年建成的位于纽约跨越伊斯特河的布鲁克林大桥（跨径 486m）是近代悬索桥的开端，在 20 世纪 20 年代悬索桥的建造曾达到了一个高峰。自 1931 年主跨为 1066m 的跨越哈得逊河的乔治·华盛顿大桥成为第一座支点间跨越长度达到 1000m 的桥梁以来，世界上已建成了近十座超过千米的悬索桥，其中日本明石海峡大桥以 1991m 的跨径位居首位。悬索桥的大缆以 AS 法或 PPWS 法制造，美国、英国、法国、丹麦等国均采用 AS 法。日本、中国采用 PPWS 法。塔架形式一般采用门式框架，材料用钢或混凝土，美国、日本、英国采用钢塔较多；中国、法国、丹麦、瑞典采用混凝土塔。加劲梁有钢桁架梁和扁平钢箱梁，美国、日本等国采用钢桁架梁较多，中国、英国、法国、丹麦采用钢箱梁较多。锚碇有重力式锚碇和隧道锚碇，采用重力式锚碇居多。近年来，自锚式悬索桥、单主缆悬索桥、独塔悬索桥、多塔悬索桥等结构形式有较大的发展。

在协作体系的发展方面，1938 年德国的狄辛格就提出了协作体系的构思雏形。1966 年葡萄牙的泰戈斯河桥和 20 世纪 90 年代初法国的坦卡维尔桥在加固时将悬索桥增加斜拉索形成了协作体系。但真正意义上从设计到施工都采用协作体系的桥梁是我国的乌江大桥。近年来，世界上也有多座大桥提出了协作体系方

案,如丹麦的大海带桥、土耳其伊兹米特海峡桥、印度巴厘海峡桥等。

拱桥方面,国外大跨径钢拱桥发展较早。世界上较为显著的大跨径钢拱桥有1977年建成的美国新河桥(跨径518m)、1932年建成的澳大利亚悉尼港桥(跨径503m)等;混凝土拱桥有1980年建成的南斯拉夫克尔克一桥(跨径390m)。

连续梁桥(包括连续刚构桥)方面,近年来各国修建预应力混凝土连续刚构桥很多。1998年挪威建成了stoema桥(主跨302m,世界第一)和Raftsunder桥(主跨298m,世界第二)。目前美国、日本及西欧的一些发达国家在预应力桥梁科研、设计、施工及设备与产品开发等方面已建立了完整的标准与规范体系。对于一些成熟的桥梁结构已开始全面采用工厂标准、系列化生产;对于一些新型预应力材料,不仅已进行了长期的理论研究,而且已将部分成果试用于实际结构,如纤维增强材料作为预应力材料已逐步推广试用,相应的预应力材料产品、专用预应力设备包括智能化设备的开发体系已较完善;利用各种结构优点形成的新型预应力结构体系,在新型预应力材料、设备技术的支持下,成为预应力桥梁结构体系发展的一个新方向。

改革开放以来,我国的桥梁建设事业经历了一个辉煌的发展时期,建成了一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工难度大、现代化品位和科技含量高的大跨径桥梁,我国桥梁建设水平已达到了国际先进行列。

首先在大跨径桥梁方面,斜拉桥作为一种缆索承重体系,在跨径200~800m的范围内占据着优势,在跨径800~1100m特大跨径中也将扮演重要角色。我国已建成各种类型斜拉桥100多座,其中跨径大于200m的有50多座,已成为拥有斜拉桥最多的国家。多年来,我国在斜拉桥设计、施工技术、施工控制、斜拉索的防风、雨、振等方面,积累了丰富的经验。1991年建成的上海南浦大桥——主跨为423m的结合梁斜拉桥开创了我国修建400m以上大跨径斜拉桥的先河,大跨径斜拉桥如雨后春笋般地发展起来。据统计,到2003年9月为止我国修建跨度大于400m的斜拉桥共有27座,其中已建成通车18座,在建9座。目前在世界已建成的十大斜拉桥中,中国占有6座;跨度600m以上的斜拉桥世界仅有6座,中国占了4座。另外,夷陵长江大桥(双跨348m)是世界最大跨度的三塔混凝土斜拉桥。目前,我国正在建设的香港昂船洲大桥、江苏苏通大桥,其主跨均达到1000m以上,斜拉桥建设技术由此将要有新的突破。

另一种大跨度桥梁为悬索桥,它是特大跨径桥梁的主要形式之一,当跨径大于800m时,悬索桥方案几乎具有垄断地位。我国近期内建成了汕头海湾大桥(主跨452m)、西陵长江大桥(主跨900m)、虎门大桥(主跨888m)、宜昌长江大桥(主跨960m)以及名列世界第四位的江阴长江大桥(主跨1385m),名列世

界第五位（公铁两用桥名列第一位）的香港青马大桥（主跨 1377m）等 11 座大跨度悬索桥。正在建设的润扬长江大桥，主跨 1490m。目前，我国正在规划建设舟山西堠门大桥（主跨 1650m）和香港青龙大桥（主跨 1418m）等大跨径悬索桥。

斜拉桥和悬索桥混合而成的协作体系桥梁具有良好的经济性能、较高的结构刚度等特点，因此，近年来也成为国内研究的一个热点。在工程实践方面，我国于 1997 年建成了跨径为 288m 的乌江大桥，并且在近年来的多项工程中的设计阶段提出了协作体系方案，如伶仃东航道桥、润扬大桥、卢浦大桥等。

拱桥是我国历史悠久的、源远流长的一种技术，近年来也有较大发展。2001 年建成的山西晋城丹河大桥（跨径 146m）是世界上最大跨度的石拱桥。在混凝土拱桥施工方面，我国根据工程条件的不同，采用了缆索吊装架设法施工、拱架法施工、支架法施工、劲性骨架法施工等。目前，我国的广州丫髻沙大桥（主跨 312m 的中承式钢骨混凝土拱桥）、重庆万县长江大桥（主跨 420m 的混凝土拱桥）、贵州江界河大桥（主跨 330m 的混凝土桁架拱桥）、上海卢浦大桥（主跨 550m 的中承式钢箱拱桥）均保持各类型拱桥的世界纪录。据统计，世界上已建成 5 座跨径大于 300m 的混凝土拱桥，中国占 3 座；自 20 世纪 90 年代以来，中国已建成跨径大于 200m 的 13 座钢管混凝土拱桥。目前，正在建设的巫山长江大桥（主跨 460m）又将是一座创世界纪录的特大跨径钢管混凝土拱桥。

预应力混凝土连续刚构桥比预应力混凝土连续梁桥和预应力混凝土“T”形刚构桥有更大的跨越能力。我国于 1988 年建成的广东洛溪大桥（主跨 180m），开创了我国修建大跨径预应力混凝土连续刚构桥的先例。十多年来，预应力混凝土梁桥在全国范围内已建成跨径大于 120m 的有 70 多座。目前世界上已建成跨度大于 240m 的预应力混凝土连续梁桥 17 座，中国占 7 座。近几年相继建成了虎门大桥副航道桥（主跨 270m）、泸州长江二桥（主跨 252m）、重庆黄花园大桥（主跨 250m）、黄石长江大桥（主跨 245m）、重庆高家花园桥（主跨 240m）、贵州六广河大桥（主跨 240m），近期还将建成一大批大跨径预应力混凝土连续刚构桥。

我国在中小跨度桥梁建设方面，也取得了令世人瞩目的成绩。随着高等级公路、一般公路及铁路的大规模建设，中小跨径的桥梁、立交桥等形式多样，工程质量不断提高，为交通运输提供了安全、舒适的服务。中小跨度桥梁中广泛采用了板梁桥、T 形梁桥、连续箱形梁桥、T 形刚构桥、连续刚构桥等桥形。板式桥是公路桥梁中量大、面广的常用桥形，它构造简单、受力明确，可以采用钢筋混凝土和预应力混凝土结构，可做成实心和空心，就地现浇可适应各种形状的弯、

坡、斜桥。特别适用于建筑高度受到限制的情况和平原区高速公路上的中、小跨径桥梁,可以减小路堤填土高度,少占耕地和节省土方工程量。普通钢筋混凝土板梁跨径一般在 13m 以下,预应力混凝土板梁的经济跨径可以达到 25m 左右。预应力混凝土 T 形梁有结构简单、受力明确、节省材料、架设安装方便、跨越能力较大等优点,其最大跨径以不超过 50m 为宜,再加大跨径不论从受力、构造、经济上都不合理。箱形截面梁能适应各种适用条件,特别适合于预应力混凝土连续梁桥、变宽度桥。因为嵌固在箱梁上的悬臂板,其长度可以有较大幅度的变化,并且腹板间距也能放大,而且箱梁有较大的抗扭刚度,所以箱梁能在独柱支墩上建成弯斜桥;而且连续梁桥具有桥面接缝少、梁高小、刚度大、整体性强、外形美观、便于养护等优点。连续刚构可以多跨相连,也可以将边跨松开,采用支座,形成刚构—连续梁体系。一联内桥面无缝,改善了行车条件;梁、墩固结,节省了支座;合理选择梁与墩的刚度,可以减小梁跨中弯矩,从而可以减小梁的建筑高度。所以,连续刚构保持了 T 形刚构和连续梁的优点。连续梁桥和连续刚构桥的跨径适用范围较广,从 20~300m 之间均可采用。

20 世纪 90 年代以来,随着我国国民经济的发展,桥梁建设进入了一个全面发展的阶段,近 20 多年来,我国先后建造了近百座大跨度桥梁。在建设五纵七横主干公路的同时,我国开始了跨海工程建设。交通部规划的沿海高等级公路干线上有 5 个大型跨海工程,它们自北向南依次跨越渤海海峡、长江口、杭州湾、珠江口伶仃洋和琼州海峡。杭州湾通道、东海大桥、湛江海湾大桥等都已全面开工,其他大型跨海工程都正在或已经进行了可行性研究。伴随着我国西部大开发重大战略举措的实施,在地形、地貌、水文条件复杂的西部地区,作为交通设施重要组成部分的桥梁工程建设也日新月异。另一方面,随着城市化程度的提高和经济的发展,城市交通模式趋于多样化,大中城市中高架轨道交通线的建设在我国也步入了快速发展的时期。这些重大桥梁工程建造费用巨大,在国民经济和社会生活中起着十分重要的作用,为我国桥梁建设事业的发展提供了极好的机遇。另外,国内在近期将迎来新一轮高速公路、高等级公路及高速铁路的建设高潮,在这些工程中将遇到大量的常规工程,为中小跨度的桥梁发展、完善设计及建造技术提供了机遇。

纵观大跨径桥梁的发展趋势,可以看到世界桥梁建设必将迎来更大规模的建设高潮。就中国来说,规划中的五个大型跨海工程有待建设。其中难度最大的渤海湾跨海工程,海峡宽 57km,建成后将成为世界上最长的桥梁;琼州海峡跨海工程,海峡宽 20km,水深 40m,海床以下 130m 深未见基岩,常年受到台风、海浪频繁袭击,正在筹建 1600m 的悬索桥。此外,还有舟山大陆连岛工程以及

长江、珠江、黄河等众多的桥梁工程。在内陆，沿长江又掀起了一轮建桥高潮。重庆、湖北、江苏近年来都有多座大桥落成。目前正在建设的有润扬长江大桥（1490m 悬索桥）、苏通长江大桥（1088m 斜拉桥）、四川省巫峡长江大桥（460m 中承式钢管桁架拱桥），香港特别行政区也正在建设青龙大桥（1418m 悬索桥）、昂船洲大桥（超千米斜拉桥）。

在世界范围内，跨海大桥的修建方兴未艾。丹麦、日本等新近崛起的桥梁强国也都在筹划新一轮大型桥梁工程。丹麦的费曼带海峡总宽 19km，水深处达 30m，准备建造 $3 \times 724\text{m}$ 的多跨斜拉桥；在日本政府新的国土构想和道路准备计划中列入了 7 条海峡的跨海桥梁工程，其中包括东京湾、伊势湾、纪淡海峡、丰予海峡等，在这些工程中准备采用 3000m 级的大型悬索桥；另外，意大利于 2005 年开始建设本土和西西里岛之间的墨西拿海峡桥——3300m 的悬索桥；美国正在建设主跨 385m 的自锚式不对称独柱塔空间索面悬索桥——新的 San Francisco - Oakland Bay Bridge 东桥；印尼正在筹建 2300m 的巴厘海峡协作体系桥。

1.2 我国桥梁发展中的问题

通过国内和国外桥梁发展的比较，可以看出国内桥梁的发展过程中主要存在如下问题。

(1) 设计创新问题 多数设计存在缺乏创新、经济指标差以及设计不合理等问题，缺少采用新结构、新材料和新工艺的激励机制和以创新为主的评价标准；设计单位要做从可行性研究直至施工图的全套工作，不利于设计创新；在设计文件日益增厚的同时，对设计理念的陈述却很简略，缺少说服力；施工单位不做施工图，难以发挥其经验和设备优势，也不利于施工技术的创新；工程指挥部包揽一切，评奖争名，挫伤了设计和施工人员的积极性。

(2) 工程质量问题 与国外一座大桥动辄几十年的前期准备和研究相比，国内的桥梁设计周期和施工工期显得过短，由此完工后常常带来遗憾，甚至留下隐患。近年来在桥梁建设中出现了几次重大的事故，甚至导致桥梁的坍塌。目前业主包工不包料甚至租赁设备造成层层分包的做法、材料市场存在假冒伪劣问题、施工监理和监测制度不完善等情况，大大损害了桥梁质量和使用的耐久性。有人预言中国桥梁的维修高潮会提前到来，这将是桥梁建设中极大的浪费。

(3) 桥梁的美学问题 目前中国桥梁发展的规模和速度令世界称奇，但同时，匆忙建成的大桥是否给人以美感值得反思。中国桥梁对美学重视不够，给

人以笨拙、呆板、粗糙的印象。人们对环境和景观的要求日益提高,这就要求桥梁工程师要提高艺术素养,和建筑师合作,重视美学设计。

(4) 主动参与国外大桥建设的积极性不够 今后要加强参与国际大桥设计竞争和施工竞标,在和外国同行的竞争中确立中国桥梁的国际地位。

1.3 我国桥梁技术的主要研究方向

针对上述存在的问题,在桥梁技术的发展趋势和主要研究领域方面,主要包括以下内容。

1) 大跨度桥梁向更长、更大、更柔的方向发展,引发了对各种杂交组合体系、协作体系以及三向组合结构和混合结构等创新结构体系的研究,以充分发挥不同材料和体系各自的优点,并最终获得高经济指标、可靠的结构连接以及安全方便的施工工艺。

2) 轻质高性能、耐久材料的研制和应用。新材料应具有高强、高弹模、轻质的特点,玻璃纤维和碳纤维增强塑料从最初作为加固补强材料向最终替代传统的钢材和混凝土两种基本建筑材料方向发展,从而引发桥梁工程材料的革命性转变。在这一过程中,高性能、轻骨料混凝土,超强度钢材和预应力钢材及其防腐工艺的进步也不会停止。

3) 在理论分析方面,借助计算机和非线性数值方法的不断进步,使力学模型日益精细化,仿真度提高,可以在设计阶段逼真地描述大桥在地震、强风、海浪等恶劣自然条件下施工和运营的全过程,为决策提供动态的虚拟现实图像。

4) 大型工厂化预制节段和大型施工设备的整体化安装将成为桥梁施工法的主流,计算机远程控制的建筑机器人将逐渐代替目前工地浇筑或分割成小型块件的拼装施工。在运用新技术的桥梁工程精细化施工中,工期的可控性大大加强,操作人员可大批量减少,而且施工安全性也容易得到保证;材料、构件尺寸及质量等的可控性得到加强,使工程质量得到整体提高;同时有条件采用抗腐蚀性能良好的材料及采用标准化方法对结构进行防护性涂装,以提高材料和结构的耐久性,延长桥梁的使用寿命。

5) 大型深水基础工程。目前世界桥梁基础尚未超过 100m 深海基础工程,下一步需进行 100~300m 深海基础的实践。

6) 桥梁的健康监测和旧桥加固。随着桥梁的长大化、轻柔化和行车速度的提高,大跨度桥梁在运营阶段可能出现结构振动过大以及构件的疲劳,应力过大、老化失效、开裂等问题,并由此危及桥梁的正常使用和安全。这就需要建立

完善的健康监测系统,对容易发生损伤的部位及时做出诊断和警报,对桥梁结构的健康状况进行评定,并向养护部门提供维修或加固的决策,以保证桥梁的使用寿命。同时,我国在经历了二十几年交通事业的迅速发展时期之后,现有桥梁存在的荷载等级不足、年久失修等问题逐渐显现,旧桥的检测和加固的重要性也迫在眉睫。通过正确评估旧桥的现有承载能力,以及研究发展旧桥的加固方法,可以延长桥梁结构的使用寿命,更好地保障交通的畅通,获得更大的经济效益。

7) 重视桥梁美学及环境保护。桥梁是人类最杰出的建筑之一,著名的大桥都是一件件宝贵的空间艺术品,成为陆地、江河、海洋和天空的景观,成为城市标志性建筑。21 世纪的桥梁结构必将更加重视艺术造型,重视桥梁美学和景观设计,重视环境保护,达到人文景观同环境景观的完美结合。

8) 大型桥梁工程的营建管理技术。随着工程规模的日益扩大,对管理者的要求也逐渐提高。对大型的复杂工程,各工序的前后衔接安排及工期控制,物力和财力的安排及调度,设计、施工、监理、工程控制等各方的工作关系协调等问题成为制约工程质量的重大因素。通过营建管理技术的研究,培养一批既有工程技术,又有管理经验的高素质工程主管人员,对提高大型桥梁工程的质量至关重要。

9) 中小跨度桥梁方面。虽然中小跨度桥梁看似技术简单,但由于其数量巨大,因此即使是小的技术改进也能带来可观的经济效益。在今后的发展中,要加强标准图设计,节省设计资源;形成规模化、标准化构件预制、拼装,提高施工质量,降低施工费用;应用高强度材料,如高标号混凝土、高强度钢材(保证焊接性能)等,减轻结构自重,提高跨越能力。

10) 桥梁设计、施工规范、标准的更新。近年来桥梁建设中出现了一些工程质量事故,对我国桥梁规范的适用范围提出了疑问。普遍的看法是目前的规范用于跨度小于 200m 的中小跨度桥梁还是合理的,是有实验依据的,但不适用于近年来跨度迅速增大的桥梁工程,需要专门针对大跨度桥梁推出专门的规范。因此,应当加快中国桥梁规范的更新和修改周期,改变我国桥梁规范滞后于技术发展的被动局面。

1.4 我国 2020 年桥梁建设的发展目标

我国 2020 年桥梁建设的发展目标为:

1. 科技水平进入国际先进行列

我国桥梁工程学科经过了“学习与追赶”、“提高和跟踪”两个发展时期,现

正逐步进入“创新和赶超”时期。要想得到国际同行的认可，要想在国际桥梁界占有一席之地，必须提高工程的科技含量，创造自己的原创技术成果。以下按研究方向分别介绍 2020 年科技发展目标。

(1) 抗震方面 完善各类桥梁的抗震设计方法。开发桥梁抗震分析和设计，用大型集成软件平台并争取实现我国“桥梁抗震规范”的软件化；研究纤维增强材料对方形、空心墩和桥梁节点的抗震性能的有效加固措施和方法；利用智能材料的自我调节功能和良好的滞回耗能特性，开发新一代的桥梁减、隔震装置和支座。

(2) 抗风方面 考虑巨大的静风变形、几何非线性、由结构运动和紊流引起的气动力非线性，寻找更为合适的理论分析方法和气动力表达式以及相应的新型实验技术；进行更多的实现自然风和振动响应的现场实测以及结构风振响应的再分析。通过实测与分析的不断比较来检验所用理论的可靠性，并不断对其进行改进；通过各种手段（理论分析、CFD 分析、PIV 流迹试验等）对桥梁风致振动的机理以及许多现阶段只能通过风洞试验来验证的抗风设计中的流体和结构的互相作用机理作进一步的研究；进一步完善桥梁 CFD 技术，为建立“数值风洞”和更进一步的“桥梁抗风虚拟现实”奠定更科学和坚实的理论基础。

(3) 健康检测方面 损伤识别和各种主动、被动控制技术的应用将使结构的养护和维修更为科学和及时，并提高结构的耐久性。通过对已有结构现场实测和非线性分析可以对结构的状态进行正确的评估，并预告其剩余寿命；基本实现具有自动识别结构损伤和评定结构可靠性的监测系统，使大桥向智能化结构的方向不断发展。

(4) 振动控制方面 完成由被动控制方式向主动控制方式的转化，更好地解决实际桥梁工程的振动问题；探索新型智能材料和装置在结构振动控制领域的应用；开发出新一代的振动控制装置并实现市场化。

(5) 预应力混凝土桥梁方面 进行新型预应力混凝土桥梁结构体系、新材料、新技术的应用和配套设备与产品的开发；逐步进行新型结构设计、施工标准与规范的制定；实现桥梁设计与施工的标准化、系列化，菜单式选择分跨、跨度，最后进行现场简单组装；大型工厂化预制和大型施工设备的整体化安装将成为桥梁施工法的主流，计算机远程控制的建筑机器人将逐渐代替目前工地浇筑或分割成小型块件的拼装施工，使工程质量和耐久性提高，工期缩短，操作人员减少，而且施工安全性也容易得到保证。

(6) 组合结构桥梁方面 逐步进行波纹钢腹板组合梁桥、钢桁架腹杆组合梁桥、钢管混凝土组合梁桥、钢管混凝土桁架桥、钢桁架与混凝土桥面板组合桁架

梁、钢与混凝土混合梁斜拉桥等新型组合结构桥梁的研究与实施；对各种新型组合桥梁结构制定相应的设计与规范。

(7) 铁路桥梁方面 对铁路桥梁进行动力仿真计算，开展桥梁与高速列车的车—桥—风耦合振动研究；对铁路钢桥，尤其是下承式或半穿式钢桁架梁桥进行阻尼减振可行性分析；结合轨道结构方面的最新研究成果，提出更经济合理的轨道交通高架桥梁设计方案；进行高架桥梁降振减噪技术的系统研究。另外，我国即将展开大规模的高速铁路建设。为了使高速铁路桥梁具有高平顺性，以保证列车运行的安全性和旅客乘坐的舒适性，对桥梁竖向和横向刚度比普通铁路桥梁具有更高的要求。对大跨度桥梁，甚至将成为控制设计的标准。因此，对高速铁路桥梁的刚度要求的研究也将成为近时期内研究的热点。

2. 设计和营建能力达到国际先进水平

21 世纪我国进入建设跨海工程的高峰期。中国沿太平洋高速公路包括五个工程，从北到南依次为：渤海海峡、长江口、杭州湾、珠江口和琼州海峡。此外，还有舟山连岛工程、台湾海峡工程和大规模的城际高速铁路的建设，其中，全长 34.8km 的杭州湾通道，全长 32km 的东海大桥都已全面开工。这样大规模的桥梁建设在世界桥梁发展史上是罕见的。

(1) 拱桥 已经建成的上海卢浦大桥为跨径 550m 的钢箱拱桥，正在建设的重庆市巫峡长江大桥为主跨 460m 钢管混凝土拱桥。可以预见 2020 年国内拱桥的最大跨径在 550~700m 之间，我国钢管混凝土拱桥、钢箱拱桥、混凝土拱桥都可能保持世界跨度纪录。

(2) 斜拉桥 已经开工建设的苏州—南通长江公路大桥为主跨 1088m 钢箱梁斜拉桥将称为世界最长的斜拉桥，即将开工建设的香港 Stonecutters 大桥为主跨 1018m 分离双箱斜拉桥，跨径也超过了 1000m。可以预见 2020 年斜拉桥的最大跨径将可能达到 1200m。苏通长江公路大桥与昂船洲大桥在世界斜拉桥排行榜中将位于前 5 名的位置。

(3) 悬索桥 珠江口连接香港、珠海、澳门的港珠澳大桥工程提出 1688m 悬索桥方案，青岛—荒岛连接工程和舟山连岛工程中都提出了跨径超过 1600m 的悬索桥方案，在跨越长江口的崇明越江通道工程中也提出了跨径 2300m 的悬索桥方案，可以预见 2020 年国内悬索桥的最大跨径有可能达到 2200m 左右，将处于世界前 6 名的位置。

3. 在技术条件方面

目前各学科间出现交叉和综合的趋势。桥梁工程学科的发展与 IT 技术、通信技术、控制技术、材料科学等高科技领域的发展密不可分，还与数学、力学等