

OU ZHUANGHONG

QIAOLIANG LUNWENJI

楼庄鸿

桥梁论文集

(二)

楼庄鸿 编著



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

Lou Zhuanghong Qiaoliang Lunwenji

楼庄鸿桥梁论文集

(二)

楼庄鸿 编著



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

内 容 提 要

本书内容包括:对一些类别的拱桥、斜拉桥和悬索桥进行综述,并提供长江、黄河上以及特大跨径桥梁的信息,对一些结构和具体技术问题进行了论述和探索;针对现有桥梁进行技术评定,对规范标准中存在的问题进行分析,并提出改进建议。

本书内容涉及面较广,内涵较丰富,信息量大,可供桥梁工程技术工作者和高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

楼庄鸿桥梁论文集. 二 / 楼庄鸿编著. — 北京 :
人民交通出版社股份有限公司, 2017. 9

ISBN 978-7-114-14161-4

I. ①楼… II. ①楼… III. ①桥梁工程—文集 IV.
①U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 219149 号

书 名:楼庄鸿桥梁论文集(二)

著 作 者:楼庄鸿

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.ccpres.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:北京市密东印刷有限公司

开 本:787 × 1092

印 张:13.25

字 数:326 千

版 次:2017 年 9 月 第 1 版

印 次:2017 年 9 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14161-4

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)

序 言

时光飞逝,2004年出版的《楼庄鸿桥梁论文集》一书,至今已有13个年头了。如今,我已跨入了耄耋之年,虽思维仍很清晰,但困于双眼患黄斑变性病,视力很差,阅读和写字都很困难,基本上已到不得不被迫离开我心爱的桥梁事业的程度了。

在此,我愿意把我写的一些论文汇集成论文集续集,献给同行。精选了22篇论文,以应邀为改革开放而写的《向桥梁强国迈进》的首篇,而大部分论文发表在2004年及以后的桥梁和结构工程分会全国学术会议论文集中,内容涵盖对一些类别的拱桥、斜拉桥和悬索桥进行的综述;提供截至2016年底的长江、黄河和特大跨径桥梁的信息,对桥梁的一些构造和基础技术进行了论述和探索;分析现行的桥梁技术状况评定标准存在的问题并提出改进建议。

收入的唯一一篇2004年以前写的文章,是在1976年写的《等截面悬索线无铰拱计算公式及用表》。由于等截面悬索线无铰拱具有在裸拱状态时压力线和拱轴线完全吻合,即任一拱截面不存在弯矩的特点,已在石拱桥中得到采用。但与此同时,有一阵风过分夸大了其“优”点,甚至以为可以不需考虑其连拱作用,这当然是不正确的。为了澄清,还这种拱以本来的面目,我从正面入手,推导了公式,编制了用表,阐明了悬索线是一种特定的悬链线。由此,统一了认知,用表也为同行在石肋板拱中得到了应用。

这次精选的论文,内容与过去的论文集不重复。由于文章不是很多,故直接按时间编排,不再分类,论文不署名的,是我个人编写的,与人合写的,则署名。

我要感谢交通运输部公路科学研究院的领导,对本文集出版给予的鼓励、支持与关怀。我也要感谢曾毅、陈建璋、庞志华等同志,在我眼力很差的时候,对本书出版进行的具体帮助。谢谢你们。

本书难免有不正确之处,桥梁信息也难免有差错和遗漏,欢迎同行批评指正。



2017年5月

目 录

向桥梁强国迈进.....	1
等截面悬索线无铰拱计算公式及用表	13
墙式嵌岩基础的设计计算	31
我国自锚式悬索桥	37
无背索斜拉桥	47
我国独塔斜拉桥	57
大跨径梁式桥的主要病害及其预防	73
关于石拱桥	78
中国钢拱桥	86
中国大跨径拱桥一览表.....	107
我国多塔斜拉桥.....	114
《公路工程质量检验评定标准》中桥涵工程部分的演变与发展	120
我国钢筋混凝土拱桥.....	124
目前国外索支承桥梁发展的一些动态.....	135
我国主跨 400m 及以上桥梁	141
金沙江、长江上的大桥	156
黄河上的桥梁.....	165
从我国混凝土连续刚构桥一览表说起.....	175
复合式隧道锚碇施工.....	186
钢桥面组合铺装体系构造.....	190
有关公路桥梁技术状况评定的几个问题.....	196
对《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)的几点改进建议	199

向桥梁强国迈进

楼庄鸿 李 强

改革开放以来,公路交通运输业得到了飞跃的发展,从而使公路建设及桥梁建设取得了空前的进展,为了跨越大江大河、海湾及峡谷的需要,修建了很多大跨径桥梁,其中有一些属于世界级的著名大桥,绝大部分是在 20 世纪 90 年代以后建成的。

一、桥型

我国修建的大路径桥梁,包括梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥等四种桥型。

1. 梁桥

这是用得最多的桥型,在我国主要是采用预应力混凝土梁式桥,钢桥极少。预应力梁桥 20 世纪 60 年代开始采用无支架施工方法,由 T 形刚构发展至桥面平顺、无伸缩缝的连续梁,在 20 世纪 80 年代进一步发展到施工中不需转换结构体系,主墩上不需设支座的连续刚构。目前我国最大的连续梁,是主跨 165m 的南京长江二桥北汊桥;完全用混凝土材料的最大连续刚构,是跨径为 $150 + 270 + 150$ (m) 的广东虎门大桥辅航道桥(图 1),位于 $R = 7000$ m 的平曲线上,箱顶宽 15m,箱高支座处 14.8m,跨中 5m。2006 年,我国又建成了重庆石板坡长江大桥复线桥(图 2),跨径 $86.5 + 4 \times 138 + 330 + 132.5$ (m),7 跨连续,在 86.5m 一侧的两个边主墩上,设有支座,其他主墩处梁墩固结,形成连续梁与连续刚构组合的结构体系,其主跨 330m 居该桥型世界首位,其跨中 103m 用钢梁,两侧过渡段各 2.5m,是混合梁。

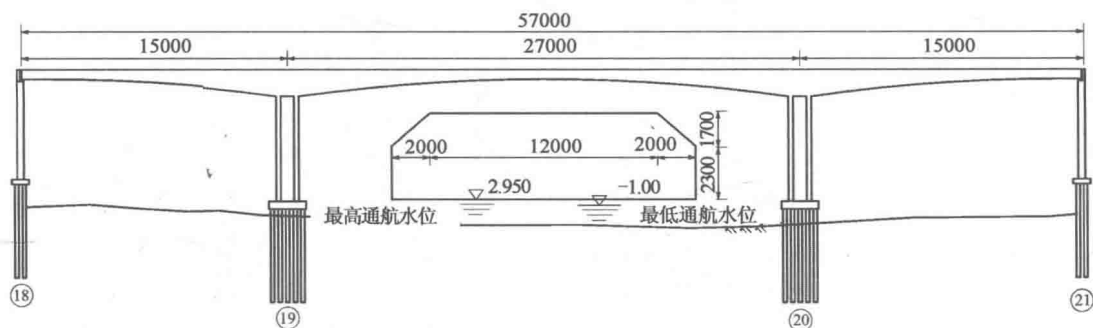
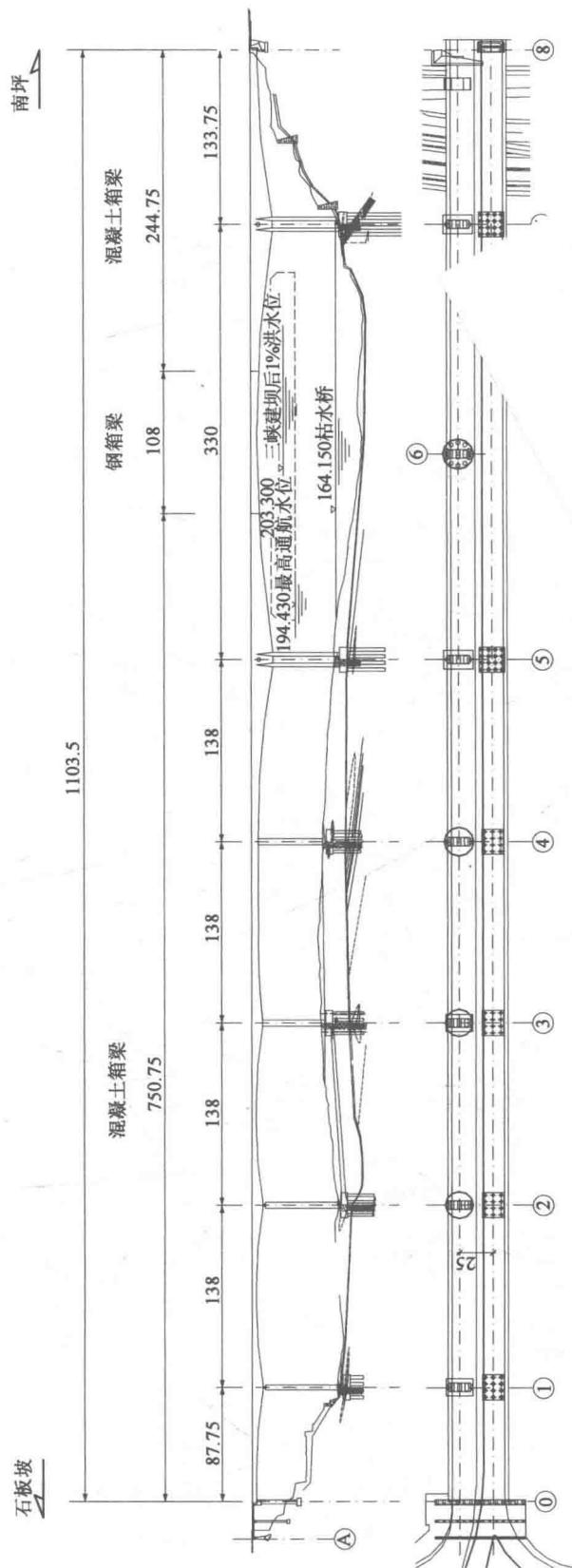


图 1 广东虎门大桥辅航道桥(高程单位:m;尺寸单位:cm)

我国还修建了 V 形支撑梁式桥,可以减小梁高,节省截面,造价经济,外形优美,最大的是主跨为 160m 的广州黄洲珠江大桥。还修建了钢管混凝土桁架梁连续刚构——重庆万州大桥,主跨 120m。



2. 拱桥

我国的大跨径拱桥,以钢筋混凝土拱为主,用得最多的是箱形拱,跨径一般在 60 ~ 150m,采用 3 ~ 5 段吊装施工。再大一些的跨径,往往采用转体施工法(平转施工拱是我国首创)及劲性骨架法施工。最大的是跨径 420 的重庆万州长江大桥(图 3),跨径居该桥型世界首位,用角隅带钢管的劲性骨架法施工,先合龙劲性骨架成拱,然后灌注钢管内混凝土,最后再挂模板将劲性骨架包在浇筑的混凝土中,形成箱形拱。该桥为上承式拱,矢跨比 1/5,拱箱高 7m,有 5 片劲性骨架。

从 20 世纪 90 年代开始,钢管混凝土拱在我国大量涌现。这是我国特有的桥型,现已有 300 座左右。在发展过程中,科技人员花费了大量精力,研究了钢管混凝土的本构关系、合理结构形式,确保管内混凝土的密实,以及节点抗疲劳等,促进了该桥型的科学发展。已建成的世界最大者,是主跨为 460m 的重庆巫山长江大桥,如图 4 所示,为中承式拱,矢跨比 1/3.8,桁拱高拱脚 14m,拱顶 7m。管内灌注 C60 混凝土,钢管混凝土拱肋分 22 段吊装。

我国也正在修建斜拉拱桥,如湖南湘潭湘江四桥,跨径 120 + 400 + 120(m)的中承式飞燕拱,是拱桥与斜拉桥相结合的组合体系。

在更大跨径的一些拱桥上,则采用钢拱。我国已建成及正在建设的跨径超过 400m 的钢拱,见表 1。

我国拱桥 ($L \geq 400\text{m}$) 表 1

桥 名	跨 径(m)	建 成 年	桥 型
重庆朝天门长江大桥	190 + 552 + 190	2008	钢桁系杆拱
上海卢浦大桥	100 + 550 + 100	2003	提篮钢箱系杆拱
宁波京外环甬江大桥	100 + 450 + 100	2009	中承双肢钢箱拱
广州新光大桥	177 + 428 + 177	2006	混凝土三角刚架与下承钢桁系杆组合
重庆菜园坝长江大桥	88 + 102 + 420 + 102 + 88	2006	刚构、钢桁、系杆组合
重庆大宁河大桥	400	2008	上承钢桁拱

由表 1 可知,我国钢拱有两大类型:一类是钢桁拱,以重庆朝天门长江大桥(图 5)最大,居世界首位;另一类是钢箱拱,以上海卢浦大桥(图 6)最大,居钢箱拱的世界首位。

大跨径石拱桥在我国的高速公路上,也曾修建,最大的是主跨 146m 的山西晋城丹河大桥,跨径居世界首位。

在我国拱桥发展过程中,最主要的还是采用钢筋混凝土拱与钢管混凝土拱,仅在特别大跨径时采用钢拱,大跨径石拱桥因需用支架施工,很少采用。

3. 斜拉桥

斜拉桥在我国发展很快,自 20 世纪 60 年代开始修建,现已建 300 多座,其中主跨超过 400m 的已有 39 座,见表 2。我国在斜拉桥总数及跨径超过 400m 的斜拉桥数,均居世界首位。

跨径超过 1000m 的斜拉桥,世界上仅有两座,均在中国。

一座是江苏苏通长江公路大桥(图 7),跨径 $2 \times 100 + 300 + 1088 + 300 + 2 \times 100(\text{m})$,这座桥引起世界关注,具世界最大的跨径(1088m);最深的群桩基础,桩长 120m,承台有足球场那么大;最高的塔(300.4m),最长的斜拉索(577m)。该桥为漂浮体系,箱高 4m,已于 2008 年建成。

另一座是香港昂船洲大桥(图 8),跨径 $3 \times 70 + 80 + 1018 + 80 + 3 \times 70(\text{m})$,边跨的一部分是混凝土梁,主跨是钢梁,是世界上最大的混合梁斜拉桥,梁采用分离双箱,箱高 3.93m,即将建成。

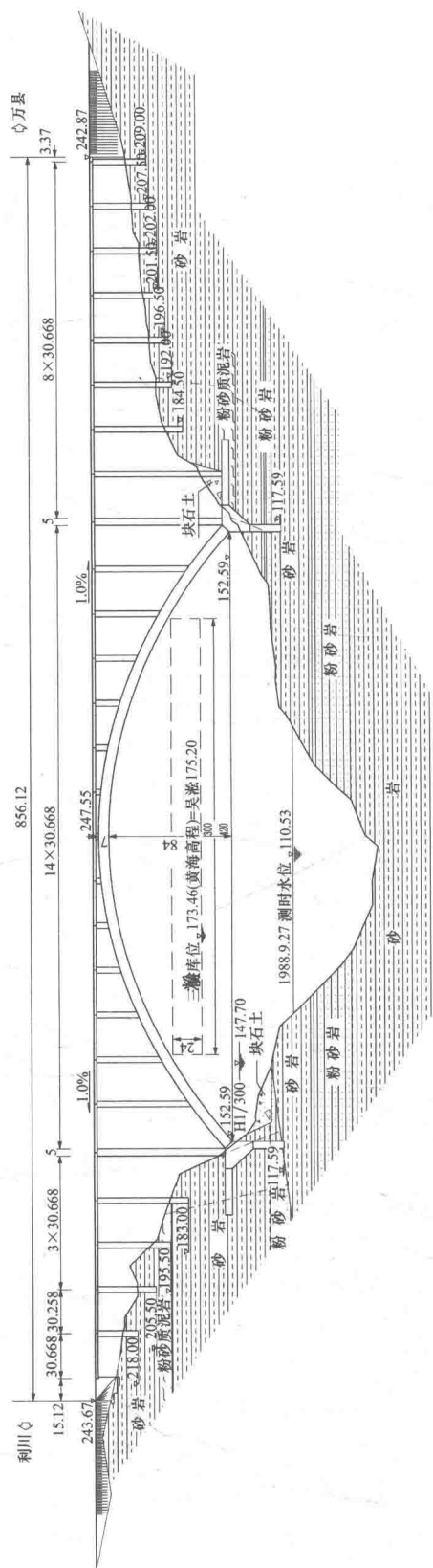


图3 重庆万县长江大桥(尺寸单位:m)

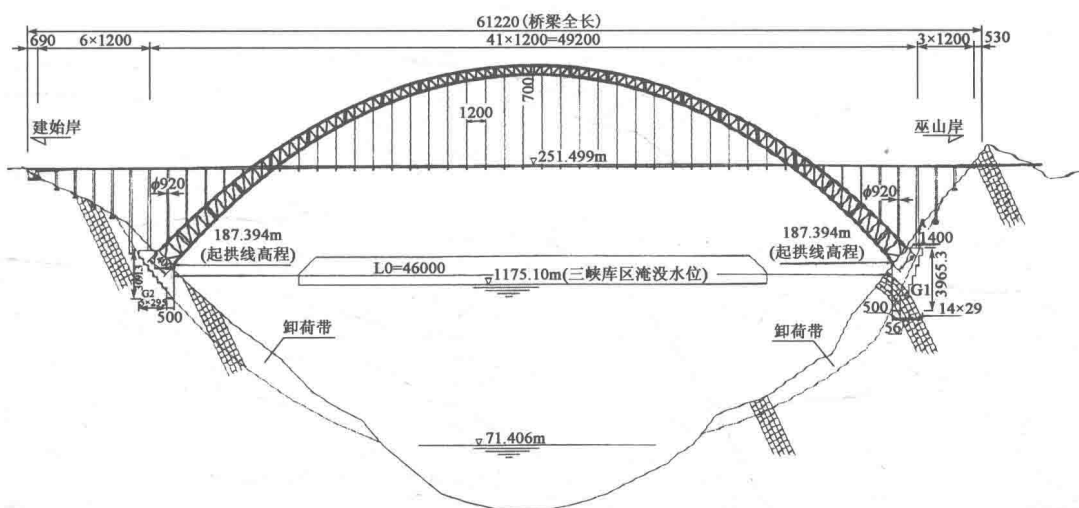


图4 重庆巫山长江大桥(尺寸单位:cm)

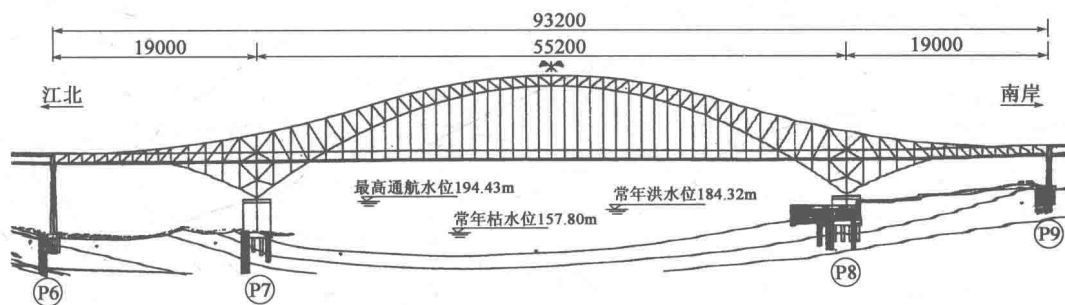


图5 重庆朝天门长江大桥(尺寸单位:cm)

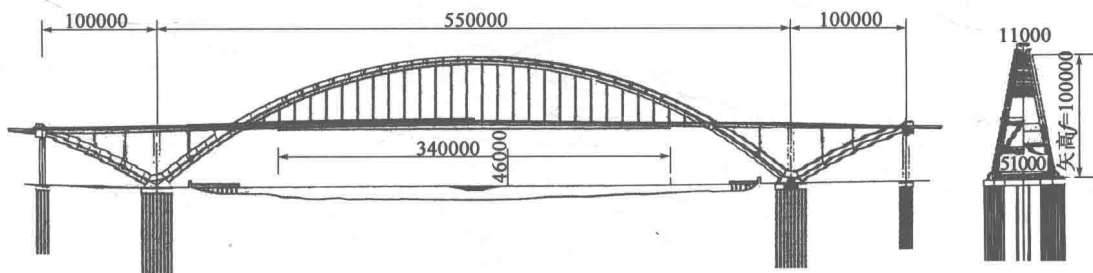


图6 上海卢浦大桥(尺寸单位:mm)

我国斜拉桥($L \geq 400\text{m}$)

表2

桥名	跨径(m)	建成年	类型	备注
湖北荆州长江公路大桥	200 + 500 + 200	2002	混凝土梁斜拉桥	
湖北鄂黄长江公路大桥	55 + 200 + 480 + 200 + 55	2003		
重庆奉节长江大桥	30.4 + 202.6 + 460 + 174.7 + 25.3	2006		
重庆康家沱长江大桥	205 + 460 + 205	2008		
四川宜宾长江大桥	184 + 460 + 184			

续上表

桥 名	跨 径 (m)	建成年	类 型	备 注
重庆长寿长江大桥	207 + 460 + 207	2008		
重庆大佛寺长江大桥	198 + 450 + 198	2002		
重庆涪陵石板沟长江大桥	200 + 450 + 200	2007		
重庆长江二桥	53 + 169 + 44 + 169 + 53	1996		
安徽铜陵长江大桥	80 + 90 + 190 + 432 + 190 + 90 + 80	1995		
湖北郧阳汉江大桥	43 + 414 + 43	1993		
四川合江长江大桥	420			地锚式每侧地锚长 43m
武汉长江二桥	180 + 400 + 180	1995		
福建福州青洲圆江大桥	205 + 605 + 205	2001	组合梁斜拉桥	世界最大组合梁斜拉桥
上海杨浦大桥	40 + 99 + 144 + 602 + 144 + 99 + 40	1993		
香港汀九大桥	127 + 448 + 475 + 127	1997		三塔四跨
重庆江津观音岩长江大桥	193 + 436 + 193	2008		
上海南浦大桥	170 + 423 + 170	1991		
东海大桥主航道桥	73 + 132 + 420 + 132 + 73	2005		
苏通长江公路大桥	2 × 100 + 300 + 1088 + 300 + 2 × 100	2008	钢梁斜拉桥	世界最大斜拉桥
上海长江大桥	107 + 243 + 730 + 243 + 107	2010		
上海闵浦大桥	4 × 63 + 708 + 4 × 43		钢桁	双层行车
江苏南京长江三桥	63 + 257 + 648 + 257 + 63	2005		
江苏南京长江二桥	58.5 + 246.5 + 628 + 246.5 + 58.5	2001		
浙江舟山金塘大桥	77 + 218 + 620 + 218 + 77	2010		
安徽安庆长江公路大桥	50 + 215 + 510 + 215 + 50	2005		
湖北武汉天兴洲长江大桥	98 + 196 + 504 + 196 + 98	2008	钢桁	公铁两用, 双层, 三索面
湖北武汉单山长江大桥	408 + 204 + 460 + 204 + 48	2002		
浙江杭州湾跨海大桥北航道桥	70 + 160 + 448 + 160 + 70	2008		
江苏润扬长江大桥北汊大桥	175.4 + 406 + 175.4	2005		
香港昂船洲大桥	3 × 70 + 80 + 1018 + 80 + 3 × 70	2009	(钢—混)混合梁	世界最大混合梁斜拉桥
湖北鄂东长江大桥	275 + 926 + 275	2010		
湖北荆岳长江大桥	100 + 298 + 816 + 2 × 80 + 70	2010		
武汉白沙洲长江公路大桥	50 + 180 + 618 + 180 + 50	2000		
浙江舟山桃天门大桥	2 × 48 + 50 + 580 + 50 + 2 × 48	2003		
广东汕头礮石大桥	2 × 47 + 100 + 518 + 100 + 2 × 47	1998		
广东湛江海湾大桥	60 + 120 + 480 + 120 + 60	2006		
上海徐浦大桥	40 + 3 × 39 + 45 + 590 + 45 + 3 × 39 + 4	1996	(组合—混)混合 梁斜拉桥	世界最大组合—混
香港汲水门桥	2 × 80 + 430 + 2 × 80	1997		混合梁斜拉桥

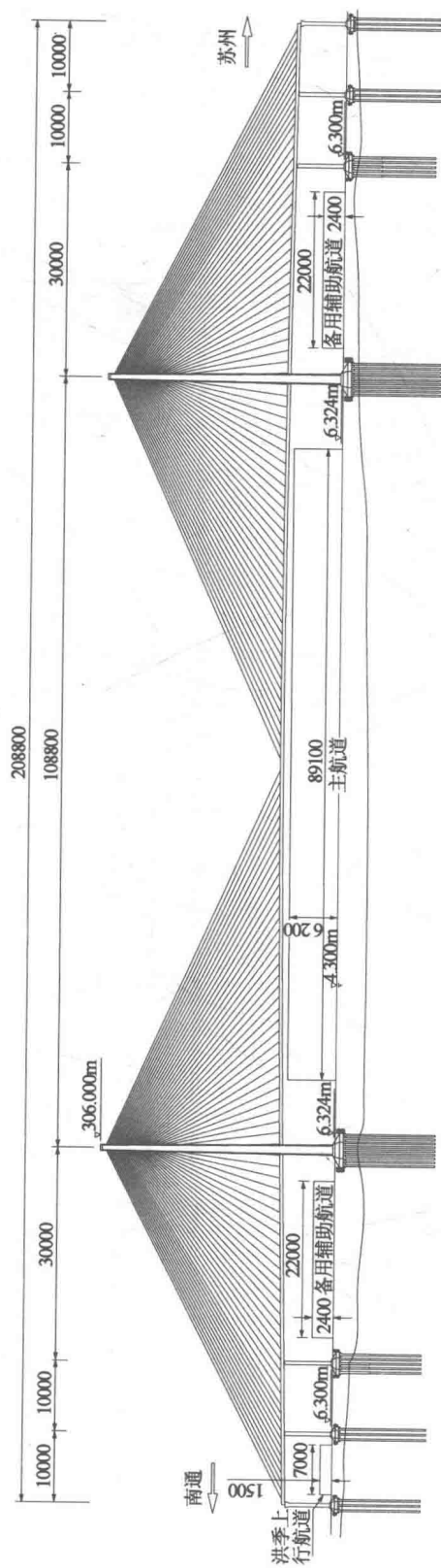


图7 江苏苏通长江公路大桥 (尺寸单位: cm)

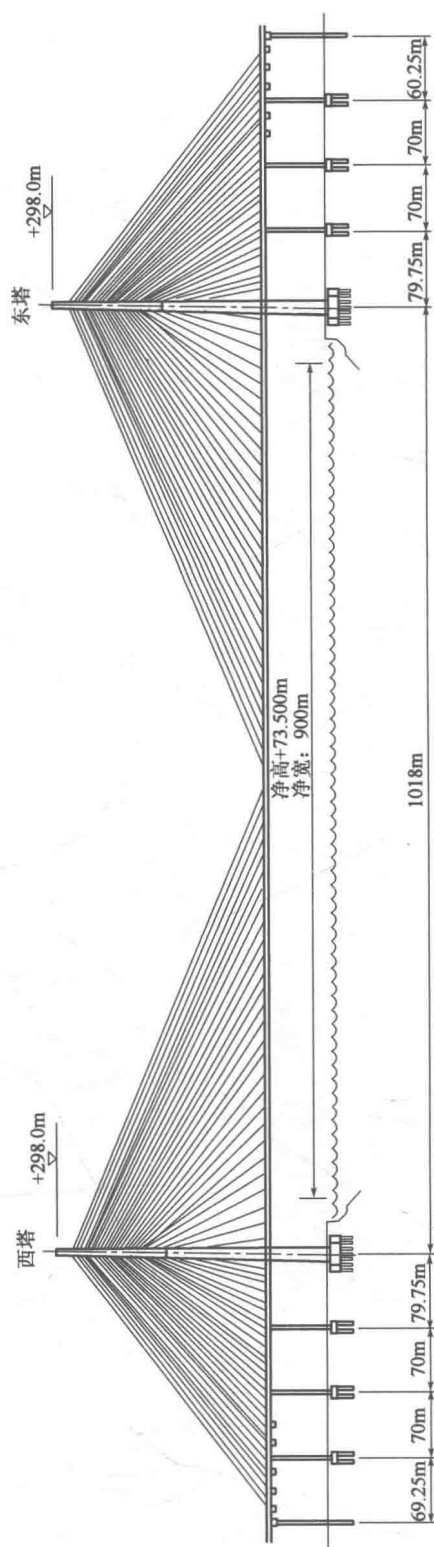


图8 香港昂船洲大桥

我国的斜拉桥建设,从采用的材料来看,以混凝土梁斜拉桥为主,最大的是湖北荆州长江公路大桥,跨径 200 + 500 + 200(m),梁为肋板式截面,高 2.4,是世界第二大跨径混凝土梁斜拉桥。随着跨径的增大,发展为组合梁斜拉桥以至钢梁斜拉桥。组合梁斜拉桥的最著名者是上海杨浦大桥(图 9),主跨 602m,边箱截面,梁高 3m,混凝土桥面厚 26cm。2001 年建成的福州青洲闽江大桥主跨 605m,是世界最大的组合梁斜拉桥,采用工字梁,梁高 3m。一般主跨 600m 以上,应优先考虑采用钢梁斜拉桥。

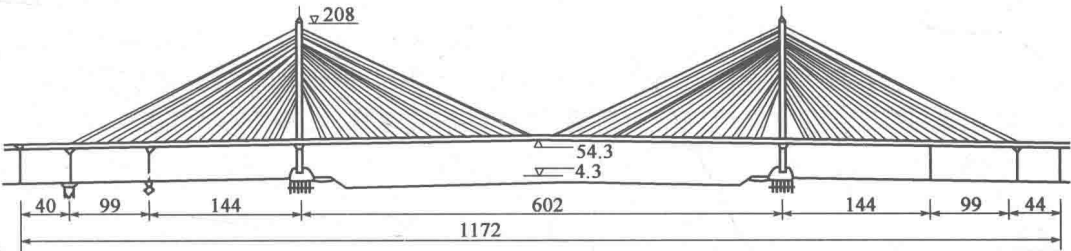


图 9 上海杨浦大桥(高程单位:m;尺寸单位:mm)

为了使边支座不产生负反力,以及减小主跨悬臂施工时梁的应力和挠度,有时在斜拉桥的边跨上采用较重的混凝土材料,形成了边跨为混凝土梁,主跨为钢或组合梁的混合梁斜拉桥。已建成的最大者为主跨 618m 的湖北武汉白沙洲长江大桥,采用双边梁截面,梁高 3m。这种桥型要着重解决力从钢梁到混凝土梁的平衡过渡问题。

从结构体系来看,从 20 世纪 80 年代济南黄河大桥开始,我国斜拉桥已进入第二代密索体系斜拉桥,与第一代稀索体系相比,梁的受力机理已由第一代的受弯为主构件变为受压为主的压弯构件,因而梁的截面大大减小。从 20 世纪 90 年代的安徽铜陵长江公路大桥及重庆长江二桥开始,又进入了第三代轻型斜拉桥,截面更趋轻型化,节省了造价。

关于多塔斜拉桥,我国目前最大的是香港汀九大桥,主跨为 448m 及 475m,大陆是湖北宜昌夷陵长江大桥,主跨两孔 348m,都是三塔斜拉桥。最近,浙江嘉(兴)绍(兴)大桥即将开工,该桥为跨径 70 + 200 + 5 × 428 + 200 + 70(m)的六塔九孔斜拉桥,采用钢梁,梁高 4m。单柱塔,桥面在塔两侧,四索面。这将是我国塔数最多的斜拉桥。多塔连续斜拉桥要着重解决整个结构体系刚度减小的问题。

4. 悬索桥

我国大跨径现代悬索桥都是在 20 世纪 90 年代以后修建的,发展较快,现将跨径 1000m 以上者列于表 3。

我国悬索桥(L≥1000m)				表 3
桥 名	主 跨 (m)	建 成 年	类 型	备 注
浙江舟山西堠门大桥	1650	2009	钢箱,两跨	
江苏润扬长江大桥南汊大桥	1490	2005	钢箱,单跨	
江苏南京长江四桥	1418		钢箱	
江苏江阴长江大桥	1385	1999	钢箱,单跨	
香港青马大桥	1377	1997	钢箱,两跨	双层行车
湖北武汉阳逻长江大桥	1280	2007	钢箱,单跨	
湖南吉首矮寨大桥	1176	2010	钢桁,单跨	

续上表

桥 名	主 跨 (m)	建 成 年	类 型	备 注
广州黄埔珠江大桥	1108	2008	钢箱,单跨	
贵州坝陵河大桥	1088	2009	钢桁,单跨	
江苏泰州长江公路大桥	21 × 1080	2013	钢箱	三塔
安徽马鞍山长江大桥	2 × 1000		钢箱	三塔

由表 3 可知,特大跨径悬索桥的加劲梁,一般都用钢筋加劲梁。已建成最大者为主跨 1490m 的江苏润扬长江大桥南汊大桥(图 10),垂跨比 1/10。箱高 3m。在一些场合,尤其是运输条件较困难的工地,可能采用钢桁加劲梁,以杆件形式运输,比较方便,再在工地组成桁架片,进行安装。已建成的最大者为湖北恩施四渡河大桥,主跨 900m,桁高 6.5m。

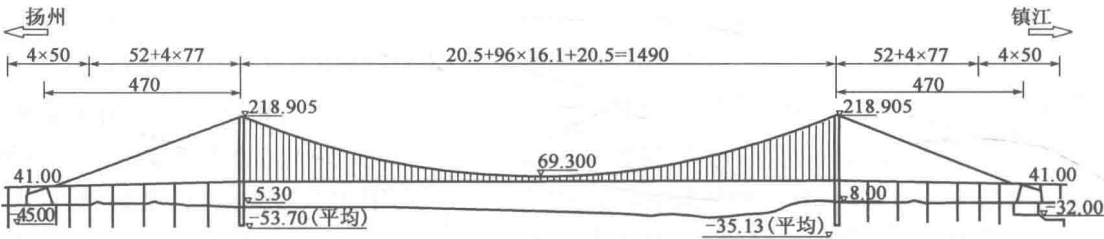


图 10 润扬长江大桥南汊大桥(单位:m)

在一些较小跨径的悬索桥上,加劲梁也有采用混凝土及组合梁者,用混凝土加劲梁的最大者,是广东汕头海湾大桥,主跨 452m,梁高 1.05 ~ 2.2m,三室箱,梁底横向呈圆弧形,是世界最大混凝土加劲梁悬索桥。贵州修建了一些加劲梁为混凝土板的混凝土悬索桥,板高 0.45 ~ 0.6m,最大跨径为 388m。

用组合加劲梁的悬索桥,有主跨 380m 的广西红光大桥和云南临祥澜沧江大桥。后者垂跨比 1/10.85。梁采用开口截面,钢梁高 1.8m,混凝土板厚 25cm,经风洞试验,能满足风致稳定的要求。

在一些宽阔的江面或海面上,修建多塔悬索桥势在必行,江苏泰州长江公路大桥已开工,矢跨比 1/9,梁高 4m。多塔悬索桥要着重解决主塔刚度的选定问题。

悬索桥一般都采用地锚。在一些跨径不大的场合,或修锚碇困难的场合,会修建自锚式悬索桥,主缆直接锚固在加劲梁上。我国已修建一些自锚式悬索桥,或采用钢加劲梁,或采用混凝土加劲梁,最大者为广东佛山平胜大桥,独塔,主跨 350m,是该桥型的世界最大者,钢箱加劲梁,梁高 3.5m,用顶推法施工。该桥型要着重解决通过张拉吊杆使加劲梁和主缆连接而成为桥梁的转换体系的问题。

5. 跨海桥梁

近年来,我国大陆也建成了一些跨海大桥,见表 4。

其中最著名的,是杭州湾及东海大桥,都是水深浪高,岩层埋藏很深,覆盖层中含有浅层气。因此,在含气地层中,不能采用钻孔灌注桩,而改用钢管桩,采用阴极防护方法来防止锈蚀。墩身采用大构件预制安装。引桥上部结构则采用跨径 60 ~ 70m 的梁,整孔预制,整孔吊装。在预制过程中,通过分期施加预应力的工序,避免了梁身出现裂缝的问题。为了整孔运输吊装,研制了大型梁的运输吊装设备,取得了满意的效果。

我国大陆已建的跨海大桥

表 4

桥 名	全长(km)	建 成 年	主 桥	备 注
杭州湾跨海大桥	36	2008	448m 斜拉桥	
东海大桥	26.7	2005	420m 斜拉桥	上海至国际集装箱码头
舟山连岛工程金塘大桥	18.3	2010	620m 斜拉桥	
深港西部通道深圳湾大桥	5.5	2008	180m 独塔斜拉桥	香港侧另有 3.5m 长桥
湛江湾跨海大桥	4	2006	480m 斜拉桥	
青岛海湾大桥	25.9	2012	2 × 260m 自锚式悬索桥	

二、基础

限于篇幅,这里不作详述,仅提出一些趋势性的要点。

1. 钻孔灌注桩

将灌注桩群桩基础及承台用于特大桥梁,特别用在苏通长江公路大桥中。

桩底压浆灌注桩,可以防止桩底沉降,并可提高桩底承载能力。

嵌岩桩设计时可以考虑覆盖层的承载作用。

用集成刚度法分析摩擦桩竖直承载力,得到有限桩长的概念。超过此桩长时(即超长桩),超过部分对竖直承载力不起任何作用。在这样场合下,只能通过增加桩数或增大桩径才能解决^[8]。

用变形协调法来计算桩的竖直承载力。

变截面桩,即承台处桩径加粗,嵌岩部分桩径略减小,得到较广泛的应用。

2. 钢管桩

特别适用于淤泥层及含气层。

用牺牲阳极的阴极防护方法来防止锈蚀。

3. 地下连续墙

已开始用作围护结构,来修建悬索桥的锚碇。

4. 复合基础

特大跨径桥梁的基础中较多采用,使双壁钢围堰与钻孔灌注桩共同承受水平力,可以大大减小桩数。

5. 用冰冻围堰法来施工

吸取煤炭行业经验。已用于主跨 318m 的鄱阳湖口大桥(斜拉桥)低塔的灌注桩基础及主跨 1490m 润扬大桥(悬索桥)南锚碇的施工中。

三、结论

改革开放以来,特别是 20 世纪 90 年代以来,我国已建成一批世界级的著名大桥,设计、施工水平得到很大提高,科技成果累累,桥梁科技书籍大量涌现。

2008 年杭州湾跨海大桥和苏通长江公路大桥的建成,是我国建桥史上的里程碑,标志着我国已开始由世界桥梁大国迈上桥梁强国的行列。

参 考 文 献

- [1] 楼庄鸿. 国内外桥梁现状和发展趋势[C]//楼庄鸿桥梁论文集. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 楼庄鸿,等. 我国主跨400m及以上的桥梁[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会2007年全国桥梁学术会议论文集. 北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 楼庄鸿,等. 几种有特色的组合梁桥[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会2006年全国桥梁学术会议论文集. 北京:人民交通出版社,2006.
- [4] 楼庄鸿,等. 我国已建、在建大跨径斜拉桥、悬索桥[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会2008年全国桥梁学术会议论文集. 北京:人民交通出版社,2008.
- [5] 楼庄鸿. 混凝土加劲梁悬索桥[C]//楼庄鸿桥梁论文集. 北京:人民交通出版社,2004.
- [6] 宋桂峰,等. 我国的预应力混凝土V形支撑桥梁[C]//楼庄鸿桥梁论文集. 北京:人民交通出版社,2004.
- [7] 楼庄鸿,等. 我国自锚式悬索桥[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会2005年全国桥梁学术会议论文集. 北京:人民交通出版社,2005.
- [8] 李靖森,等. 用集成抗压刚度计算基桩的新方法[J]. 桥梁,2006(6).

——本文发表于《中国高速公路》2008年第12期