

陆元春 等◎编著

Key Technology of Long-span PC Fin Back Continuous Beam Bridge

大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥 关键技术



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

大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥 关键技术

陆元春 等 编著



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

内 容 提 要

本书以国内首座大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥——上海市两港公路大治河桥为背景,详细介绍了大跨径预应力混凝土鱼脊连续梁桥的结构设计、景观设计、抗震设计、施工和施工控制、大吨位支座及减隔震产品研发等方面的关键技术和实践经验。

本书可作为从事该领域研究、设计、施工和施工控制的工程技术人员及相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥关键技术 / 陆元春
等编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司,
2015.4

ISBN 978-7-114-12208-8

I. ①大… II. ①陆… III. ①长跨桥—预应力混凝土
桥—连续梁桥—研究 IV. ①U448.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 077715 号

书 名:大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥关键技术

著 作 者:陆元春 等

责任编辑:王文华 牛家鸣

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内大街斜街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 1/16

印 张:17.25

字 数:390千

版 次:2016年1月 第1版

印 次:2016年1月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12208-8

定 价:65.00元

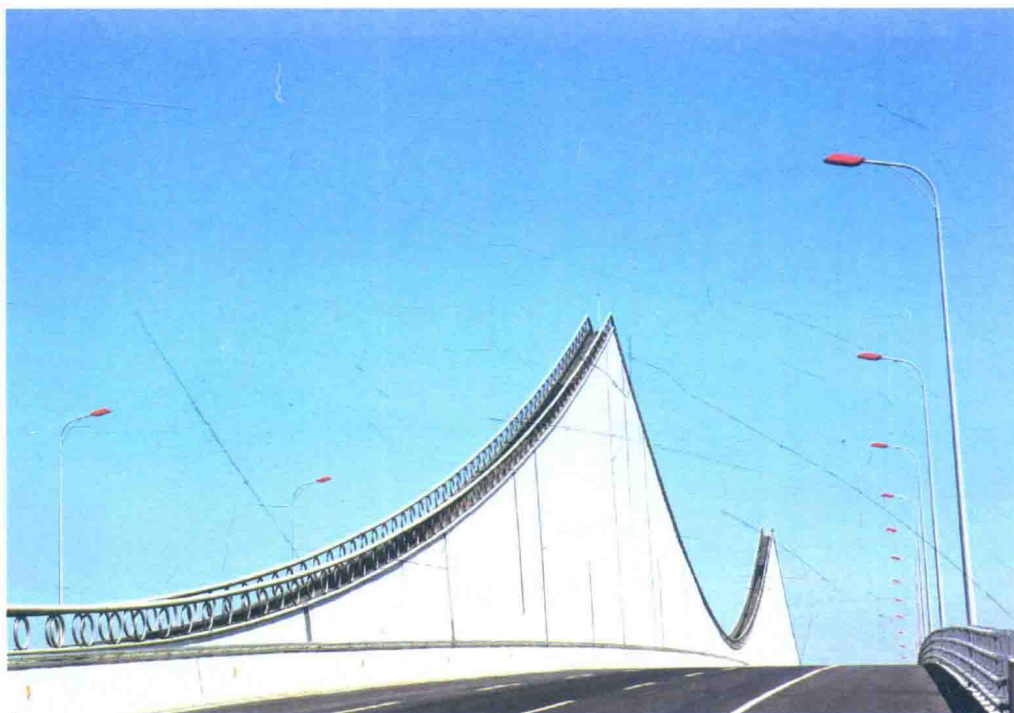
(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



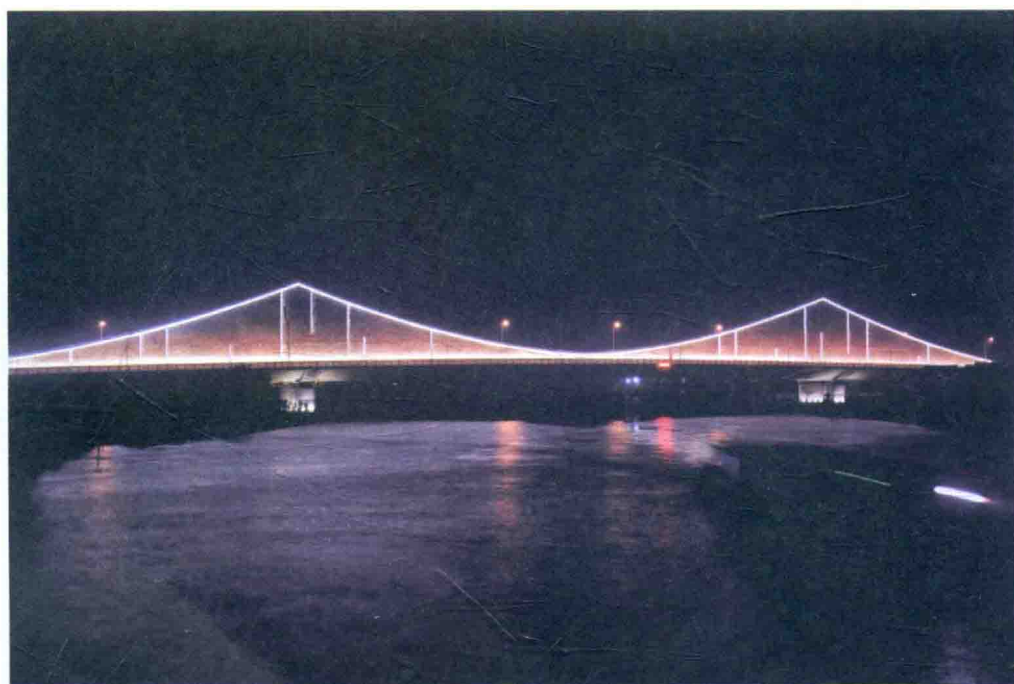
主桥竣工照片(全景)



主桥竣工照片(鸟瞰)



主桥竣工照片(桥面上)



主桥竣工照片(夜景)



a)



b)



c)



d)



e)

鱼脊墙整体分段、局部分层浇筑



a) 压力传感器



b) 试验现场

鱼脊墙预应力孔道摩阻试验



a)



b)

预应力孔道灌浆足尺模型试验



a)



b)

150MN 全使用寿命超大吨位球型钢(减隔震)支座



a)



b)

弹塑性 E 型钢阻尼器



a)



b)



c)



d)

48000kN 大吨位预应力钢束群锚足尺模型及试验



主桥合龙



a)



b)

主桥成桥荷载试验

本书编委会

主 编 陆元春

编委会成员单位和参编人员

设计单位：

上海市城市建设设计研究总院

傅 梅 左 涌 何晓光 朱鹏志 李雪峰 周 成

沙丽新 田 丰 唐祖宁 聂志宏 蔡 亮 芮浩飞

俞 露 赵成栋 管闻达 周小溪

同济大学

李建中

武汉鑫拓力工程技术有限公司

吴成亮

建设单位：

上海鑫东投资发展有限公司

周秋国 潘金龙

检测单位：

上海同丰工程咨询有限公司

王水龙 王自彬 宋万平 杨 明

施工监控单位：

同济大学

李元兵

施工单位：

江西有色工程有限公司

廖坤岗

序

在百米跨度的桥梁工程领域,耐久、经济、技术成熟的预应力混凝土连续结构桥得到了最广泛的应用。不过,当跨度增大到200m时,它的经济性不再突出,桥下净空占据过多、徐变挠度过大等技术缺陷愈加凸显,以致常被耐久性较差、占据较大桥上空间的其他下承式桥型取代。能否在保持固有优点、克服缺陷的条件下,提升预应力混凝土连续结构桥的跨越能力?中国第一座大跨度预应力混凝土鱼脊梁桥——上海市两港公路大治河桥的胜利建成回答了这个问题:这是可能的!本书将从该工程如何从容地实现158m跨越能力的实践出发做出论证。

与传统的预应力混凝土连续梁桥相比,鱼脊梁桥的外形迥异。其实,它们的结构体系相同,预应力工艺和施工原理也相同,构造差异仅在梁体断面有无鱼脊墙。然而,正是因为有了鱼脊墙,预应力结构性能得到大幅改善。本书将论述其中有趣的内在关系。

鱼脊墙带给大治河桥的利多还是弊多?众多评价褒贬不一。不过,它给每个观桥者都留下难忘记忆的事实证明了它独特的个性。本书记载了这个规模不算大的工程在景观设计中如何吸引多方的关注热情,形成生动活泼的创作局面。醒目但阻风面积大的鱼脊墙给建筑和结构设计都带来了宽广的创作和革新空间,这是鱼脊梁桥技术继续向前发展的又一个推动力。

在世界上已建成的十来座鱼脊梁桥中,大治河桥以158m跨度位居第二,以35m桥宽位居第一。如此宽而长的结构只在桥面中央设单片鱼脊墙,结构空间效应的分析与掌控既重要又复杂。本书将详细介绍该问题是如何解决的。

此外,大跨度预应力混凝土鱼脊梁桥建设实践中涉及的其他关键问题,本书也都一一做了介绍,值得一读。

目睹工程建设的全过程,我得到一个印象:在科技自主创新成为中国经济转型动力的历史洪流中,含有大治河桥建设团队这一潺小溪。任何一个精心策划、设计与建设的工程在实践过程中必定会得到攀登技术更高峰的启示。对此,他们已经有实际领悟,新的构思正在产生,有理由对他们寄予期待。

瑞典交通局桥梁专家:侯引程

2015年03月06日

前 言

预应力混凝土鱼脊连续梁桥是一种具有较强竞争力的新式混凝土梁式桥型,具有下承式布置特点,对传统大跨变高度预应力混凝土连续梁桥型形成了突破与改进,除了具备传统大跨混凝土梁桥的优点外,还具有受力性能优异、耐久性能良好、有利工程总体布置、建筑构成良好等优点。

鱼脊轮廓与结构力线吻合,体现了利用结构自身美的设计理念。特别适合跨度大、通航净高低的桥跨布置要求,在开阔的桥址环境中,更容易形成与环境协调的景观。

本书是对大跨度预应力混凝土鱼脊连续梁桥理论研究和工程实践的成果总结,重点介绍了上海市两港公路大治河桥建设过程中所面临的设计施工技术问题及研究成果,这些成果在大桥建设中得到了成功应用。本书第1章对预应力混凝土鱼脊连续梁桥的国内外发展现状和技术问题进行了讨论,并对应用工程的背景情况和设计、施工方案进行了介绍;第2章阐述了大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥的空间受力特性和设计方法,涉及总体设计和计算分析的建议、空间效应分析、横隔板的影响、温度场及风效应和设计验算等方面;第3章介绍了预应力设计方案,着重讨论了大吨位鱼脊预应力钢束张拉及锚固方案的优化;第4章介绍了矮墩、大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥抗震设计和减隔震措施;第5章介绍了鱼脊梁桥景观设计技术及方案;第6章论述了大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥温度场、风效应和极端风载下的结构与行车安全性;第7章介绍了大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥施工及施工控制的关键技术;第8章介绍了支座及减隔震产品的研发,包括150MN全使用寿命大吨位球型钢支座应用技术和特种钢弹塑性阻尼减隔震设计技术;第9章对鱼脊梁桥的进一步应用进行了探讨。

感谢瑞典交通局的桥梁专家侯引程先生,从最初方案构思到工程实施,侯引程先生给予了宝贵的指导与关注,也让我们领略了前辈对结构技术与艺术精湛的认识与境界;感谢同济大学的李国平、李建中、薛伟辰教授为工程的设计及本书的顺利出版给予的无私帮助;也为整个建设团队感到自豪,各方的共同努力保证了工程建设的顺利实施。值此《大跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥关键技术》出版之际,谨向对两港公路大治河桥建设给予支持以及参与大桥建设的人员致以敬意和感谢!

陆元春
2015年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 鱼脊梁桥发展历史及现状	1
1.2 大跨鱼脊连续梁桥结构特点	7
1.3 大跨鱼脊连续梁桥关键技术	12
1.4 两港公路大治河桥工程简介	14
2 大跨鱼脊连续梁桥设计方法及空间受力特性	23
2.1 概述	23
2.2 总体设计及结构分析	23
2.3 结构空间受力效应分析	28
2.4 横隔板对箱梁截面应力影响的分析	40
2.5 温度场效应分析	44
2.6 设计验算	47
2.7 结论	66
3 大跨鱼脊连续梁桥预应力设计	67
3.1 概述	67
3.2 预应力设计方案	67
3.3 大吨位鱼脊预应力钢束锚固方案的优化	71
3.4 大吨位钢束锚固仿真分析及试验研究	73
3.5 结论	108
4 大跨鱼脊连续梁桥抗震性能	110
4.1 概述	110
4.2 抗震设防标准和地震动输入	112
4.3 结构动力模型与动力特性	119
4.4 反应谱分析	120
4.5 非线性时程(无阻尼器)分析	124
4.6 减震设计与减震效果	128
4.7 抗震验算	133
4.8 大治河桥 E 型阻尼器性能测试试验	135
4.9 结论	138
5 大跨鱼脊连续梁桥景观设计	140
5.1 概述	140
5.2 环境条件及适应性	140

5.3	鱼脊梁桥的鱼脊景观设计	141
5.4	亮化景观设计	151
5.5	其他景观细节处理	155
5.6	结论	157
6	大跨鱼脊连续梁桥温度场与风效应的仿真分析	159
6.1	概述	159
6.2	大跨鱼脊连续梁桥温度场仿真模拟	160
6.3	大跨鱼脊连续梁桥风效应研究	170
6.4	大跨鱼脊连续梁桥行车安全性分析	179
6.5	结论	189
7	大跨鱼脊连续梁桥施工和监控关键技术	190
7.1	概述	190
7.2	大跨鱼脊连续梁桥总体施工方案	190
7.3	大跨鱼脊连续梁桥施工关键技术	192
7.4	大跨鱼脊连续梁桥施工监控关键技术	219
7.5	大吨位基桩承载力自平衡法测试的应用	234
7.6	结论	241
8	150MN 超大吨位球钢(减隔震)支座及减隔震产品的研发	242
8.1	150MN 超大吨位球钢(减隔震)支座	242
8.2	弹塑性钢阻尼器	246
9	总结与展望	250
9.1	鱼脊梁桥的应用总结	250
9.2	鱼脊梁桥的应用展望	251
9.3	结语	252
	参考文献	254

1 绪 论

1.1 鱼脊梁桥发展历史及现状

1969 年在德国 Nuremberg 市, Dyckerhoff 和 Widmumm 为通勤铁路建造了世界上第一座鱼脊梁桥。其跨径为 27~40m, 单片鱼脊墙, 两侧布置适用单线轨道的桥面; 40m 跨采用双悬臂加挂孔的结构形式; 梁墩固结, 双薄壁桥墩, 如图 1.1 所示^[1]。

德国在 1972 年建成的在 Frankfurt 附近跨越 Main 河的 Hocdnt 工厂公铁两用二桥, 是一座独塔斜拉+鱼脊悬臂梁协作体系的桥梁。铁路布置在中间, 公路车道布置在两侧, 主跨为 148m+33m(独塔斜拉桥侧 148m, 设半铰)。鱼脊墙采用双片, 形成中间轨道和两侧公路之间的分隔。这座桥由 U. Finsterwalder 公司管理, Dyckerhoff and Widmamm 设计和建造, 如图 1.2 所示^[1]。



图 1.1 Nuremberg 铁路高架桥, 最大跨径 40m(1969 年)^[1]

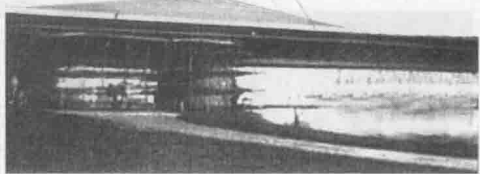
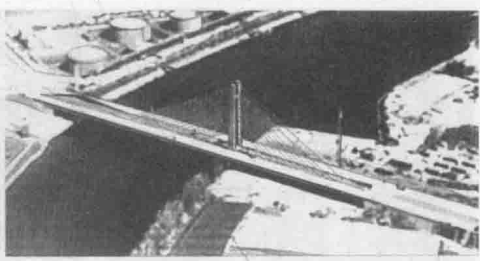


图 1.2 Hocdnt 工厂公铁两用二桥
鸟瞰图、鱼脊侧视图^[1]

1987 年 3 月竣工的 Barton Creek Boulevard 桥(Austin, Texas), 是美国唯一的一座鱼脊梁桥, 跨 Barton 小河。因桥址环境本身有较高的环保要求, 中墩布置远离溪河, 主跨 104m, 四车道公路桥。结构体系为刚构, 主梁采用等断面, 中间布置单片鱼脊墙, 如图 1.3 所示^[2]。

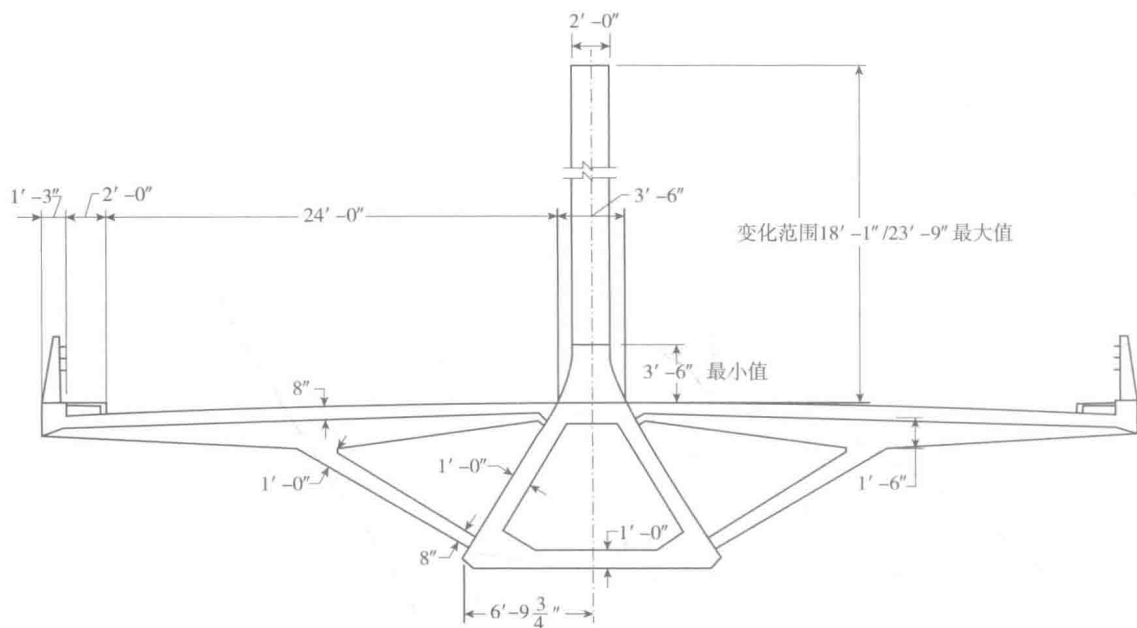
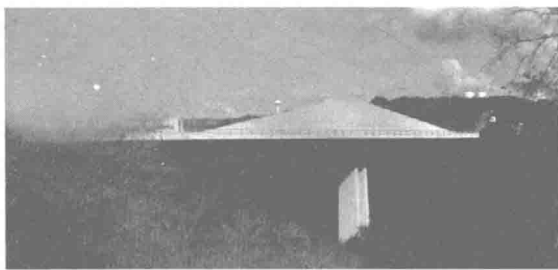


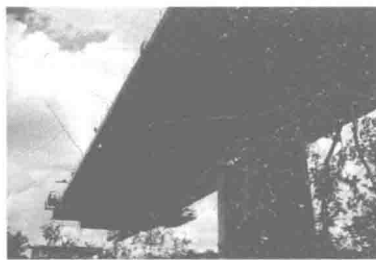
图 1.3 Barton Creek Boulevard 桥横断面布置示意^[2] (单位:ft-in)

注:1ft=0.3048m,1in=0.0254m。

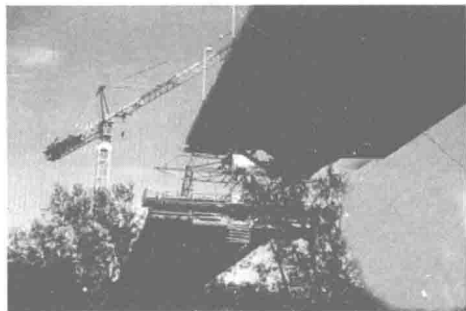
施工采用平衡悬臂浇筑,鱼脊墙的成型采用随主梁的伸长逐层加高的方式。大桥的设计和施工也许在世界上是平衡悬臂浇筑的后张法鱼脊梁桥的首次应用,如图 1.4 所示。图 1.5 为 2008 年拍摄的 Barton Creek Boulevard 桥。^[3]



a)竣工(中跨跨径104m)



b)施工照片1



c)施工照片2



d)施工照片3

图 1.4 Barton Creek Boulevard 桥施工照片^[4]

因该桥桥型非常独特,美国桥型库将它归类为一个用其他材料、方法进行设计和施工的桥型。虽然 Barton Creek Boulevard 桥是一个非常创新的桥梁,并且工程材料用量也相当节省,但由于某些原因,并没有得到很好的推广,相关的介绍资料也很少。www. Bridgemapper.com 是第一个介绍它的主要桥梁网站^[3]。



图 1.5 运营中的 Barton Creek Boulevard 桥
(2008 年摄)^[3]

1990 年建成的瑞士 Pont Sur Le Rhone 桥,是 9 号高速公路跨越 Riddes 附近的 Rhone 河的一座桥梁,为三跨预应力混凝土鱼脊连续梁桥,跨径为 55m + 143m + 55m,边中跨比为 0.385。桥梁横向采用上下行分离两座桥的布置方式,形成单座桥 2 车道 + 紧急停车带的功能断面。单座桥由箱梁和两侧鱼脊墙组成,桥面宽度 12.0m。桥墩处结构总高度 9.7m,高跨比 1/14.7。桥梁总体布置如图 1.6 所示。经过大桥或从外观看时,这些鱼脊墙使桥梁具有一种独特的魅力,如图 1.7 所示^[5]。图 1.8 为 2012 年拍摄的 Pont Sur Le Rhone 桥。

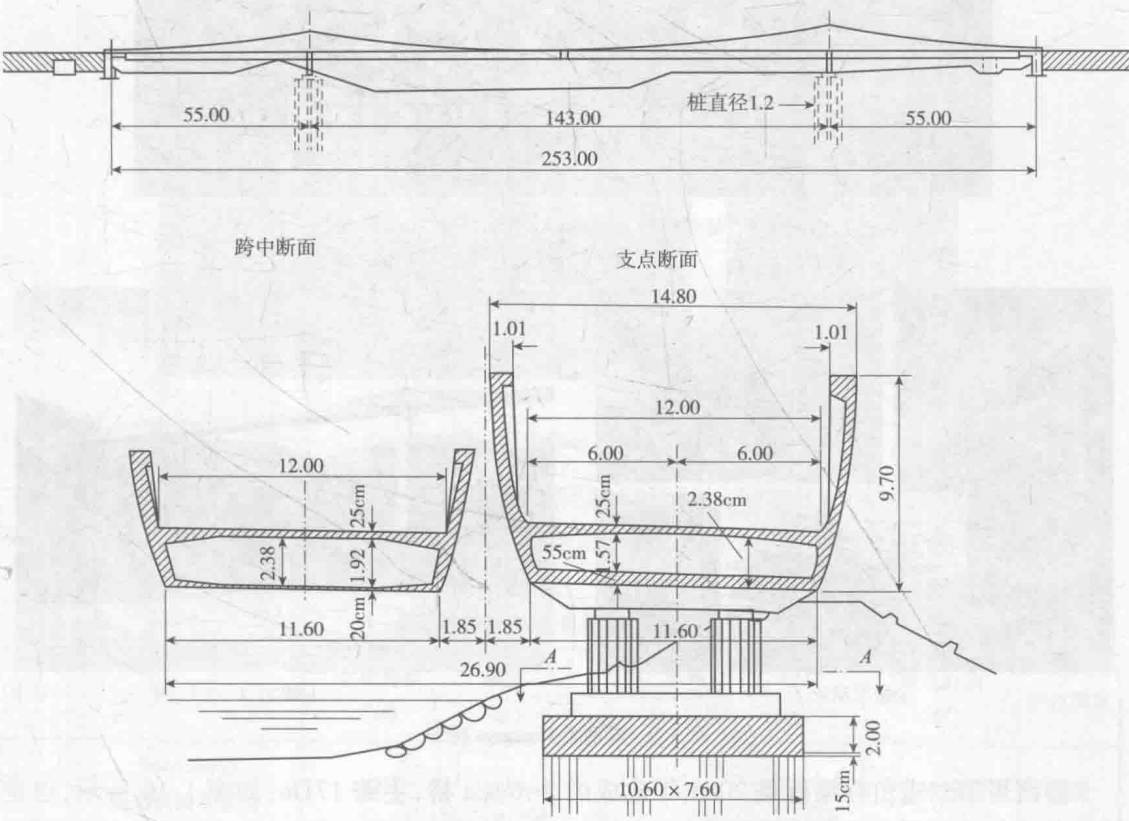


图 1.6 瑞士 Pont Sur Le Rhone 桥总体布置示意^[5] (尺寸单位:m)

墨西哥第一座鱼脊梁桥是 1991 年建成的 Papagayo 桥,是 Mexico Veracruz 高速公路上的的一座跨越 Papagayo 河和水库的桥梁,主跨 141m,双向 4 车道,如图 1.9 所示^[6]。