

# 造桥三十六年

邓文中

清华大学出版社





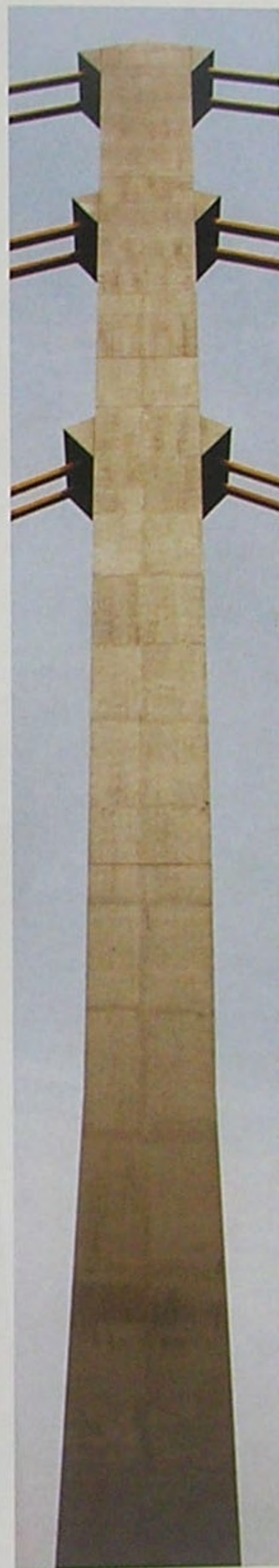
西海大桥 (Seohae Grand Bridge), 韩国



# 造桥三十六年

## 邓文中的桥梁图集

著者 邓文中  
译者 秦 权



清华大学出版社  
北京



版权 © 2001 邓文中 (Man-Chung Tang)

保留所有版权。未经作者许可，本出版物的任何部分不得被复印、存储到检索系统，或被以任何形式、以任何电子的、机械的、照相的、录音的或其他方式传播。

英文版由美国纽约 TANGO INTERNATIONAL, LTD. 2002 年出版  
www.bridgetango.com

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

造桥三十六年 / (美) 邓文中著, 秦权译.

— 北京: 清华大学出版社, 2003.7

书名原文: 36 Years of Bridges

ISBN 7-302-06873-9

I. 造... ①邓... ②秦... II. 桥梁工程—设计—美国—图集

IV. U442.5-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 054514 号

责任编辑: 徐晓飞

书 名: 造桥三十六年

作 者: 邓文中

出版者: 清华大学出版社 (北京清华大学学研大厦, 邮编 100084)

<http://www.tup.com.cn>

印刷者: 北京雅昌彩印有限公司

发行者: 新华书店总店北京发行所

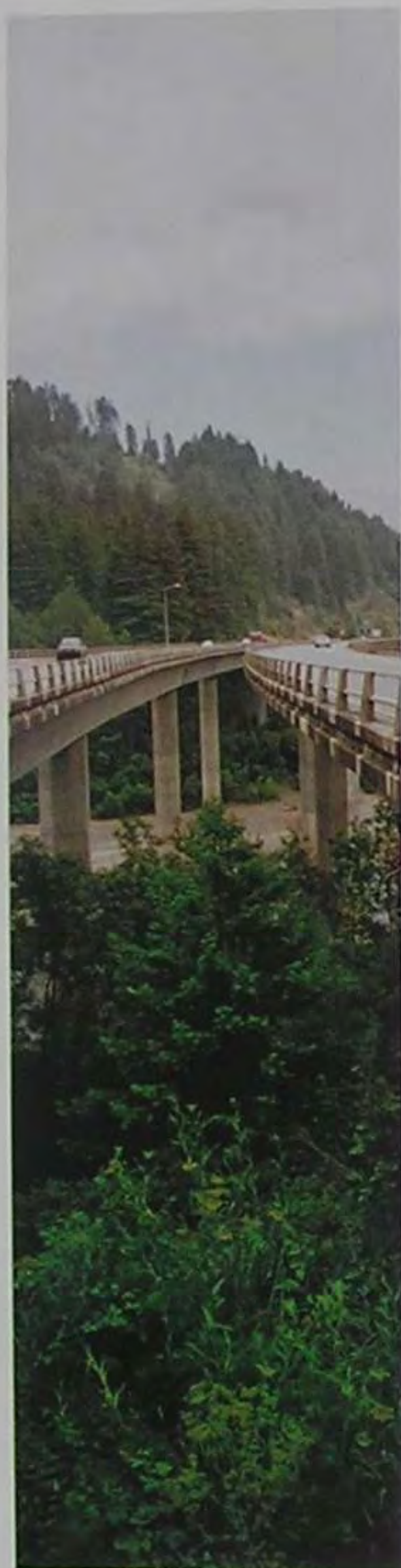
开 本: 240 × 320 印张: 20 字数: 300 千字

版 次: 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06873-9 / TU · 199

印 数: 0001 ~ 1250

定 价: 248.00 元



鳗鱼河 (Eel River) 桥, 美国加利福尼亚

## 关于这本书的几句话

桥是具有美感的结构物。多数桥看上去都是优雅的和赏心悦目的。每座桥本身就是一件艺术品、一座纪念碑。纪念碑并没有实用价值, 但桥则必须具有实用价值而且能安全地使用; 此外, 其建造还受预算的限制。一座设计得成功的桥是在形式、功能和经济三方面的创造性的集合体。

在过去三十六年里, 我幸运地有机会参加了许多富于美感的桥梁方面的工作。从而得以收集了大量桥的图片, 既有在施工中的, 也有成桥后的。我一直渴望能与同我一样喜欢欣赏桥梁之美的人们分享。

在新千年的开始, 在我从事桥梁工作三十六年后, 也是我到了六十三岁时, 我决定实现这个愿望。

这本书收集了我参与过的桥中的一部分。我参与的这些结构物工作内容不完全相同——包括设计、优化设计 (重新设计)、设计审核、直到施工设计, 或者作为特别顾问。

这本书中的桥都同时满足以下三个条件: (1) 我本人参与过其工作; (2) 我是按合同工作的, 义务咨询的不算; (3) 图片必须有意义; 或则在美学上, 或则在工程展示上。

我感到参与这些桥的工作的每一分钟都是一种享受。我希望读者也欣赏这些图片。对工程界的读者, 我还附有一些相关工程的简要说明。

邓文中  
Man-Chung Tang

2001 年于旧金山



## 桥梁索引

以下是本书包含的桥的清单。桥名按英文字母排序。方括号内的数字是页码。第2行是中文名字及我参与的工作。

很多人因为这些桥的成功做出了贡献。我很抱歉不能在这里——列出他们的名字。本书只反映我本人36年的桥梁工作。

Acosta Bridge, Florida, USA [22-25] 阿考斯塔桥。美国 佛罗里达 <设计>	Humen Suspension Bridge, Guangdong, China [107] 虎门悬索桥。中国 广东 <特别顾问>
Alex Fraser Bridge, British Columbia, Canada [26-28] 阿列克·福拉瑟桥。加拿大 温哥华 <施工设计>	I 205 Columbia River Bridge, Oregon, USA [105] I 205 哥伦比亚河桥。美国 俄勒冈 <深水墩设计>
ALRT Skytrain Bridge, British Columbia, Canada [29-31] ALRT 捷运桥。加拿大 温哥华 <设计 + 施工设计>	I 205 Columbia River Bridge, Washington, USA [96] I 205 哥伦比亚河桥。美国 华盛顿 <设计 + 施工设计>
Baytown LaPorte Bridge, Houston, Texas, USA [116-120] 湾镇桥。美国 德克萨斯 休斯敦 <修改设计 + 施工设计>	I 75/I 595 Interchange, Florida, USA [46-47] I 75/I 595 跨线桥。美国 佛罗里达 <施工设计>
Bedford Bypass Bridges, Nova Scotia, Canada [111] 贝德福1号和2号支桥。加拿大 诺瓦 <设计 + 施工设计>	Intercity Bridge, Trenton, Canada [104] 市内桥。加拿大 安大略 参藤 <特别顾问>
Belle Isle Access, Virginia, USA [16-20] 美丽岛通道桥。美国 弗吉尼亚 <设计>	Kao Ping Creek Bridge, Taiwan, China [112] 高平溪桥。中国 台湾 <设计审核>
Burlington Skyway, Burlington, Ontario, Canada [110] 伯灵顿高架路。加拿大 安大略 伯灵顿 <特别顾问>	Kipapa Stream Bridge, Hawaii, USA [49] 奇帕帕河桥。美国 夏威夷 <设计 + 施工设计>
Chesapeake Bay and Delaware Canal Bridge, USA [92-94] 切萨皮克湾和特拉华运河桥。美国 特拉华 <设计审核>	Kishwaukee River Bridge, Illinois, USA [78-79] 基示乌吉河桥。美国 伊利诺依 <修改设计 + 施工设计>
Dames Point Bridge + Approaches, Florida, USA [56-65] 但点桥 + 引桥。美国 佛罗里达 <修改设计 + 施工设计>	Knie Bridge, Dusseldorf, Germany [74-77] 格尼桥。德国 杜塞尔多夫 <设计>
Dan Chiang River Bridge, Taiwan, China [150] 淡江大桥。中国 台湾 <设计>	Koror Babelthuap Bridge, Palau, South Pacific [113] 哥罗·巴布图阿桥。南太平洋 帕劳 <设计 + 施工设计>
Denny Creek Bridge, Washington, USA [88-89] 戴尼溪桥。美国 华盛顿州 <设计>	Lewiston-Clarkston Bridge, Idaho, USA [99] 列维斯顿·克拉克斯顿桥。美国 爱达荷 <施工设计>
Dong Da Road, Shinchu, Taiwan, China [112] 东大路桥。中国 台湾 新竹 <设计>	Linn Cove Viaduct, North Carolina, USA [90-91] 林湾高架路。美国 北卡罗来纳 <施工设计>
East Huntington Bridge, West Virginia, USA [114-115] 东亨顿桥。美国 西弗吉尼亚 <施工设计>	Melbourne City Link, Melbourne, Australia [84-85] 墨尔本西线桥。澳大利亚 墨尔本 <设计 + 施工设计>
Eel River Bridge, California, USA [80-83] 鳃鱼河桥。美国 加利福尼亚 <设计 + 施工设计>	Muskegon River Bridge, Michigan, USA [97] 目斯克公河桥。美国 密执安 <修改设计 + 施工设计>
First New Haeng Ju Bridge, Seoul, Korea [102-103] 新幸州一桥。韩国 汉城 <设计 + 施工设计>	Mythuan Bridge, Vietnam [131] 媚川桥。越南 <施工设计>
Genesee River Bridge, New York, USA [51] 哲内西河桥。美国 纽约 <施工设计>	Nanjing Second Yangtze River Bridge, Jiangsu, China [140-143] 南京长江二桥。中国 江苏 <特别顾问>
Gilo Bridge, Jerusalem, Israel [48] 吉罗桥。以色列 耶路撒冷 <施工设计>	Nanpu Bridge, Shanghai, China [122,124] 南浦大桥。中国 上海 <设计审核 + 特别顾问>
Glebe Island Bridge, Sydney, Australia [126-130] 奥里岛桥。澳大利亚 悉尼 <施工设计>	Neuenkamp Bridge, Duisburg, Germany [12-15] 纽恩坎桥。德国 杜伊斯堡 <设计 + 施工设计>
H3-Kaneohe Interchange, Hawaii, USA [87] H3-加尼奥跨线桥。美国 夏威夷 <设计审核>	Niulan River Bridge, Taiwan, China [48] 牛栏河桥。中国 台湾 <修改设计 + 施工>
H3-Windward Viaduct, Hawaii, USA [86-87] H3-向风坡高架路。美国 夏威夷 <设计>	Palmetto Expressway/SR 826 & I 75 Interchange, Florida, USA [42-44] 帕乐美托高速路/SR 826和I 75跨线桥。美国 佛罗里达 <设计>

Panchiao Viaduct, Panchiao, Taiwan, China [112]  
板桥高架路。中国 台湾 板桥 <设计>

Parrotts Ferry Bridge, California, USA [36-38]  
鹦鹉渡口桥。美国 加利福尼亚 <修改设计 + 施工设计>

Penang Bridge, Penang, Malaysia [52-54]  
槟城大桥。马来西亚 槟城 <修改设计 + 施工设计>

Pine Valley Creek Bridge, California, USA [6-9]  
松谷溪桥。美国 加利福尼亚 <修改设计 + 施工设计>

Potengi Bridge, Natal, Brazil [150]  
波腾治桥。巴西 纳他 <设计>

Quincy Bridge, Illinois, USA [121]  
昆士桥。美国 伊利诺依 <施工设计>

Ramp I, Miami, Florida, USA [45]  
I号匝道。美国 佛罗里达 迈阿密 <施工设计>

Red River Bridge, Louisiana, USA [106]  
红河桥。美国 路易斯安那 <修改设计 + 施工设计>

Robert E. Lee Bridge, Virginia, USA [17-19]  
罗伯特·李桥。美国 弗吉尼亚 <设计>

San Francisco Oakland Bay Bridge, USA [151-153]  
旧金山奥克兰海湾桥。美国 旧金山 <设计>

Second Panama Canal Bridge, Panama [150]  
巴拿马运河二桥。巴拿马 <设计>

Second New Haeng Ju Bridge, Seoul, Korea [102]  
新幸州二桥。韩国 汉城 <设计 + 施工设计>

Section 9C, Central Artery, Massachusetts, USA [44]  
中央主干线9C段。美国 马萨诸塞 <设计>

Seohae Grand Bridge, Assan Bay, Korea [132-139]  
西海大桥。韩国 牙山 <设计 + 施工设计>

Seven Miles Bridge, Florida, USA [47]  
七哩桥。美国 佛罗里达 <监理>

Shubenacadie Bridge, Nova Scotia, Canada [106]  
叔本那卡狄桥。加拿大 诺瓦 <施工设计>

Sidney Lanier Bridge, Georgia, USA [144-147]  
西尼·拉尼耶桥。美国 佐治亚 <设计>

Sixteenth Street Bridge over I 465, Indiana, USA [104]  
跨越I 465国道的16街桥。美国 印第安纳 <设计>

SLRT Calgary, Canada [96]  
SLRT卡尔加里里。加拿大 卡尔加里 <施工设计>

South Boston Bypass, Massachusetts, USA [98]  
南波士顿支线。美国 马萨诸塞 <设计>

Sunshine Skyway Bridge, Florida, USA [32-33]  
阳光大道桥。美国 佛罗里达 <设计审核 + 施工监理>

Sun Yat Sen Freeway Extension, Taiwan, China [99]  
中山高速路扩建工程。中国 台湾 <施工设计>

Tagus Suspension Bridge, Lisbon, Portugal [108-109]  
塔古斯悬索桥。葡萄牙 里斯本 <监理施工>

Taiipo Trunk Road Bridges, Hong Kong, China [50]  
大埔干线桥。中国 香港 <设计 + 施工设计>

Talmadge Memorial Bridge, Georgia, USA [66-73]  
谭美纪念桥。美国 佐治亚 <设计>

Tungling Yangtze River Bridge, Anhui, China [55]  
铜陵长江大桥。中国 安徽 <特别顾问>

Twelve-Mile Creek Bridge, Ontario, Canada [100-101]  
12哩溪桥。加拿大 安大略 <施工设计>

Upper Middle Road Bridge, Ontario, Canada [39-41]  
上中路桥。加拿大 安大略 <设计>

Vail Pass Bridges, Colorado, USA [96]  
伟依山口桥。美国 科罗拉多 <施工设计>

West Seattle High Level Bridge, Washington, USA [21]  
西雅图高桥。美国 华盛顿 <上部结构设计>

West Seattle Swing Bridge, Washington, USA [34-35]  
西雅图开合桥。美国 华盛顿 <上部结构设计>

Wuhan Second Yangtze River Bridge, Hubei, China [55]  
武汉长江二桥。中国 湖北 <特别顾问>

Yangpu Bridge, Shanghai, China [123,125]  
杨浦大桥。中国 上海 <设计审核 + 特别顾问>

Yelcho Bridge, Chaiten, Chile [10-11]  
耶鲁口河桥。智利 Chaiten <设计 + 施工设计>

## 方 案 Concept Design

Baytown Bridge [154]  
湾镇桥

Gualatuba Bridge [155]  
瓜拉图巴桥

Mathews Bridge Extension [155]  
麦休桥扩建工程

Portsmouth Bridge over the Ohio River [154]  
普茨茅斯桥

Williamsburger Bridge [155]  
威廉斯堡桥

Woodrow Wilson Bridge [154]  
伍德罗威尔逊桥





松谷溪 (Pine Valley Creek) 桥, 加利福尼亚

松谷溪桥是美国第一座分段现浇混凝土桥。主跨 137 米, 高出谷底 122 米。该地区要求环境保护, 因此施工对山坡只能有最低限度的干扰。



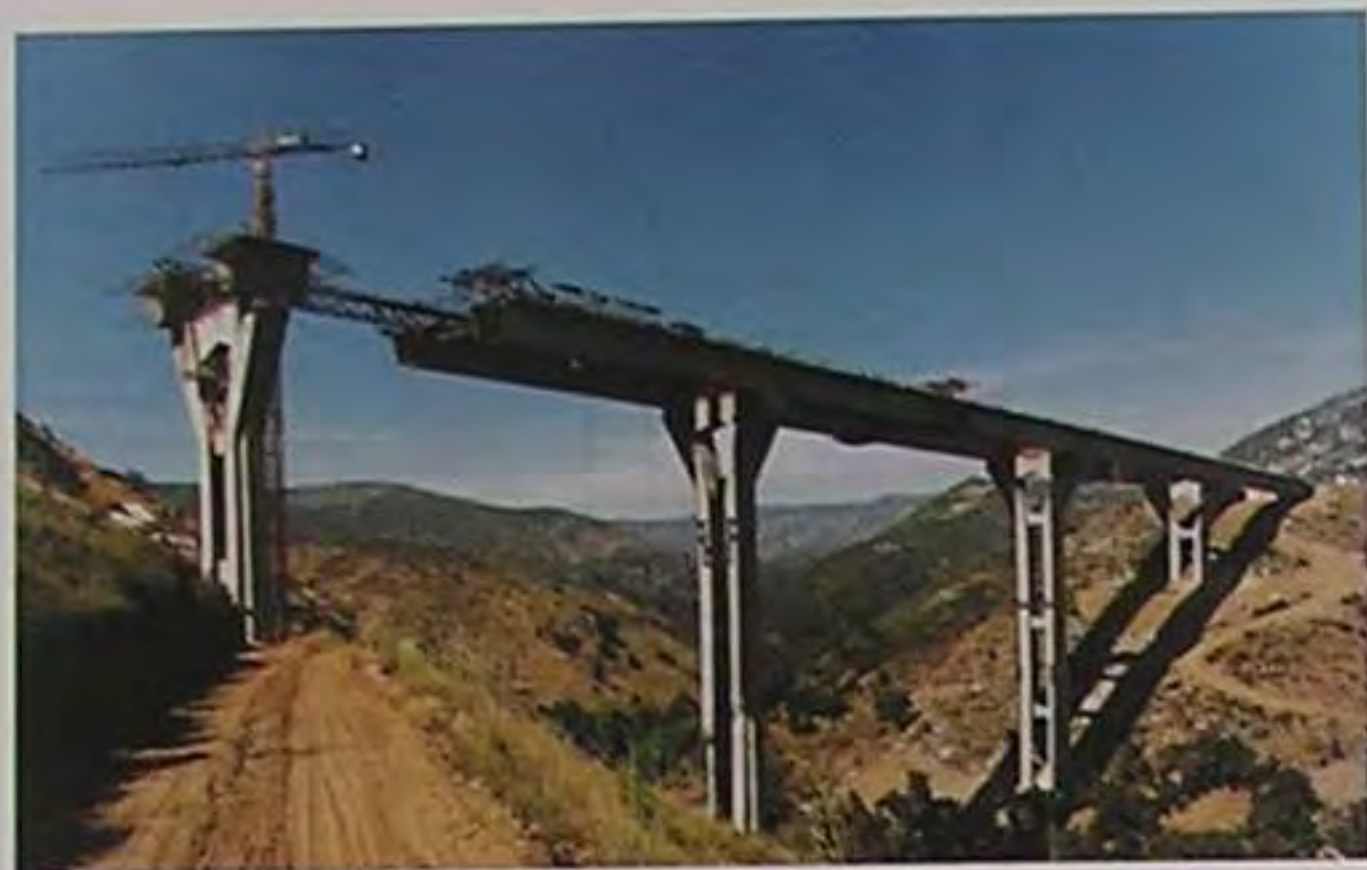


## 松谷溪桥

建造这个美国第一座分段现浇混凝土大跨桥时的主要困难是恶劣的地势。在从一端向另一端施工时，用一个门式桁架直达施工面，这样就避开了粗糙的山坡，实现了高效率。

因为1972年时的美国还没有使用过这种施工方法，所以我们还必须设计门式桁架、挂篮和模板。

完工后门式桁架在储存时锈掉了，但建造松谷溪桥时使用过的挂篮，在过去25年里被反复用来建造美国、加拿大以及其他国家的许多悬臂桥。



高桥墩太柔，难以承受施工中的不平衡弯矩。所以，我们用了竖向拉索帮助桥墩抗弯。

所有纵向、横向和竖向预应力筋都是高强Dywidag螺纹钢筋。

在当时，这座桥带给美国施工界许多新技术。大型单室箱梁中的抗剪钢筋，把高桥墩钉住以防止倾覆的岩石锚，甚至箱梁梁段混凝土的浇灌顺序都要现设计。这真是特殊的经历！

我们不得不在没有规范的情况下设计这座桥。

由于Klaus Bimeslehner先生必须在慕尼黑工作以便使用那里的计算机，工作期间打了大量的越洋电话。庄全枝先生也因此成为岩石锚专家。

此桥施工十分成功！

在这座桥的施工期间，我们以价值工程的观点重新设计这座桥。经常是，早晨我们跟在萨克拉门托的 Bert Bezzoni 先生讨论这个设计，晚上则跟在工地的 Don Ward 先生讨论确认工程量。

今天，完工25年后，松谷溪桥仍然是美国造得最好的分段桥。



松谷溪桥，加利福尼亚

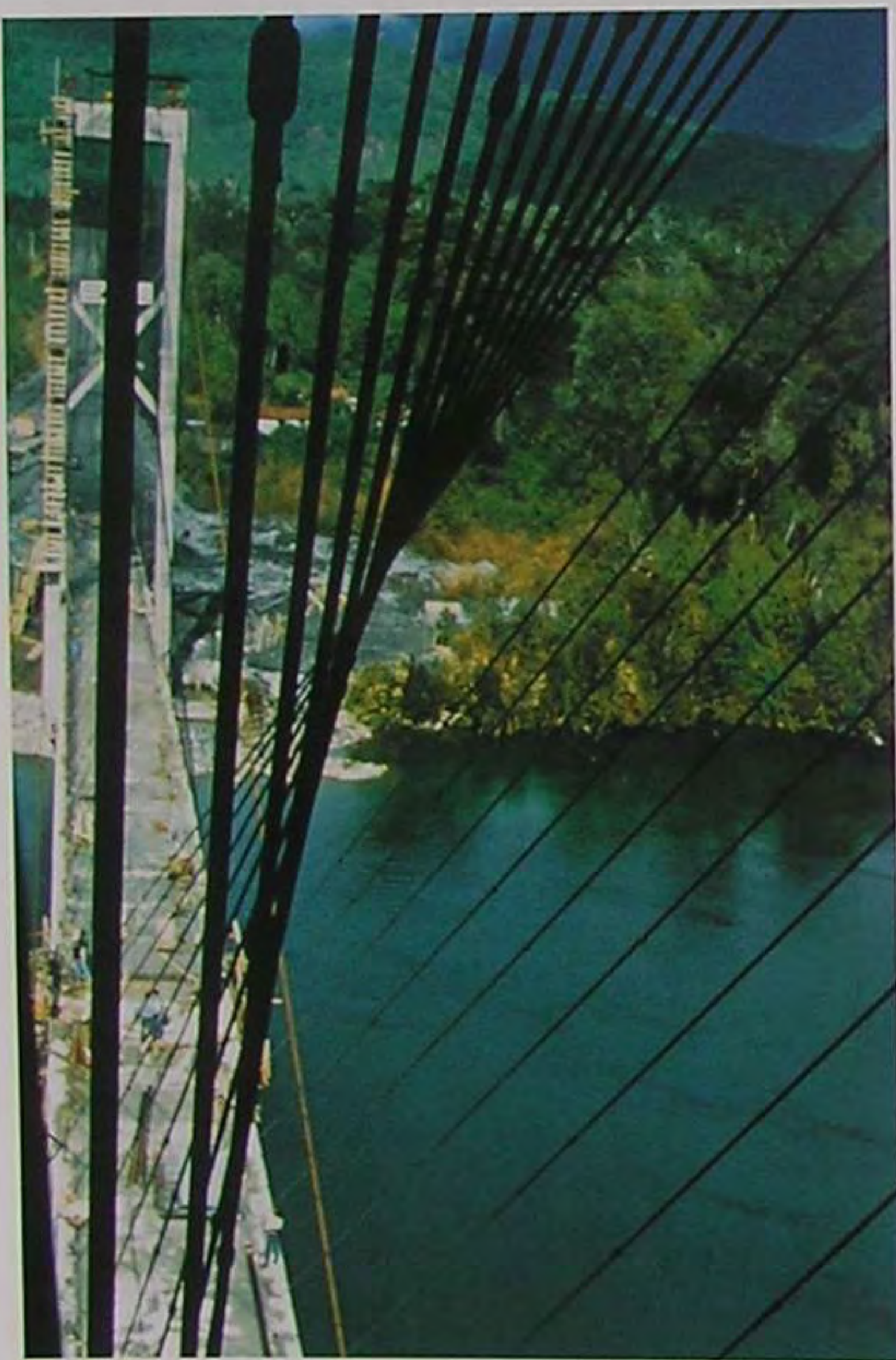
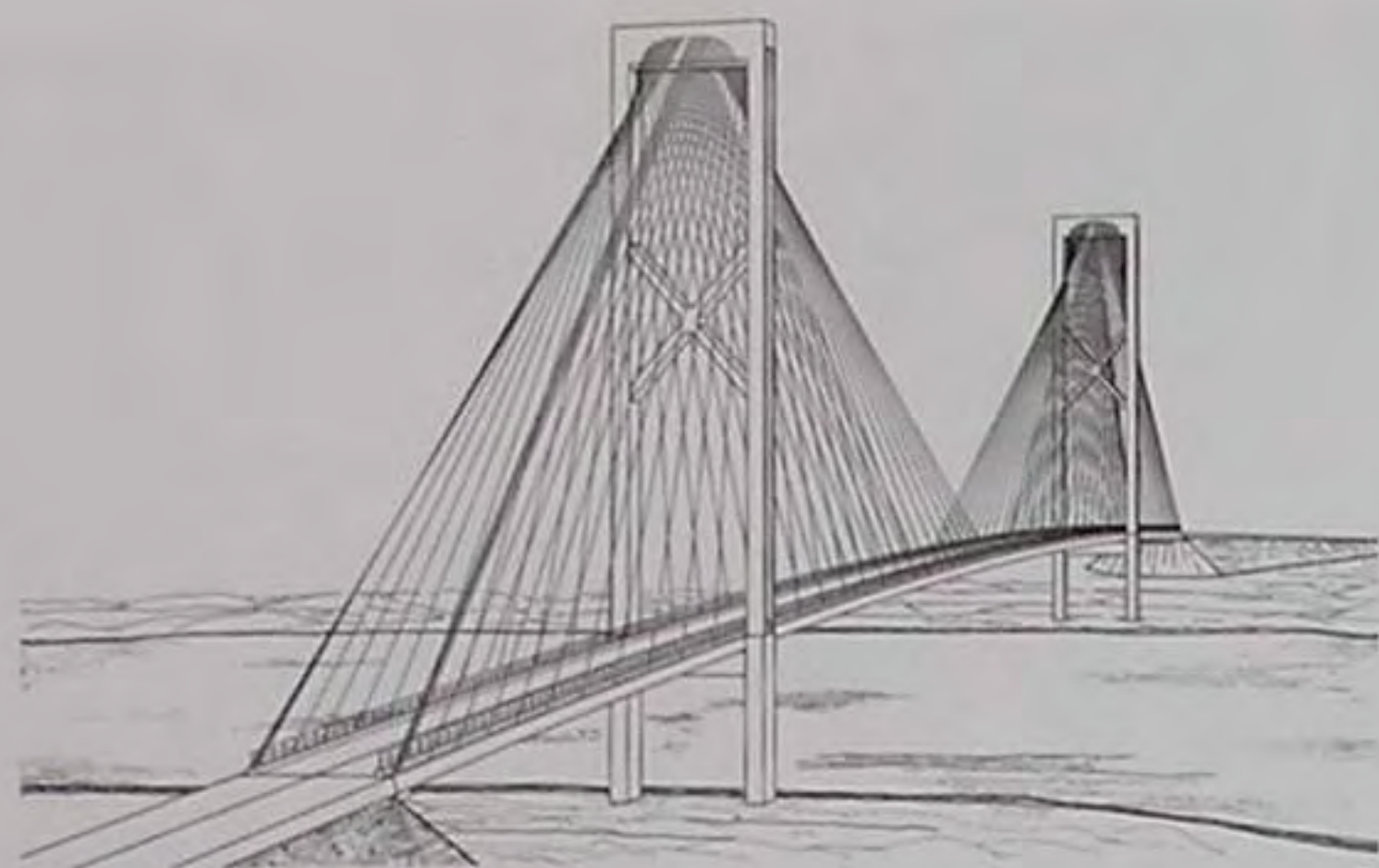
完工25年后，与 Juergen Plaehn 先生重访此桥。





耶鲁口 (Yelcho) 河桥, 智利, Chaiten

此桥位于智利南部, 主跨140米。桥面是两个边梁和实心混凝土板。混凝土塔和梁都是现浇的。



我们怎样才能偏僻而又美丽的地方建造一座优雅而又最便宜的桥? 而且没有重型设备!

耶鲁口河桥的设计是独特的。它的拉杆, 当然是直的, 但看上去在空间却像是弯曲的。这些拉杆上端沿一条水平线锚在塔顶的横梁上, 而下端则锚在桥面的边缘。

每根拉杆由一根直径36毫米的高强Dywidag螺纹钢组成。改变拉杆在梁上的间距使所有拉杆的拉力大致相等, 才能够使所有拉杆都用单根同样截面的钢筋来做。

进料时螺纹钢是每段15米长。吊装时用螺纹套筒连接成所需的长度。

我们也设计了轻而且简单的模板挂篮供施工现浇桥面时用。



耶鲁口河桥, 智利





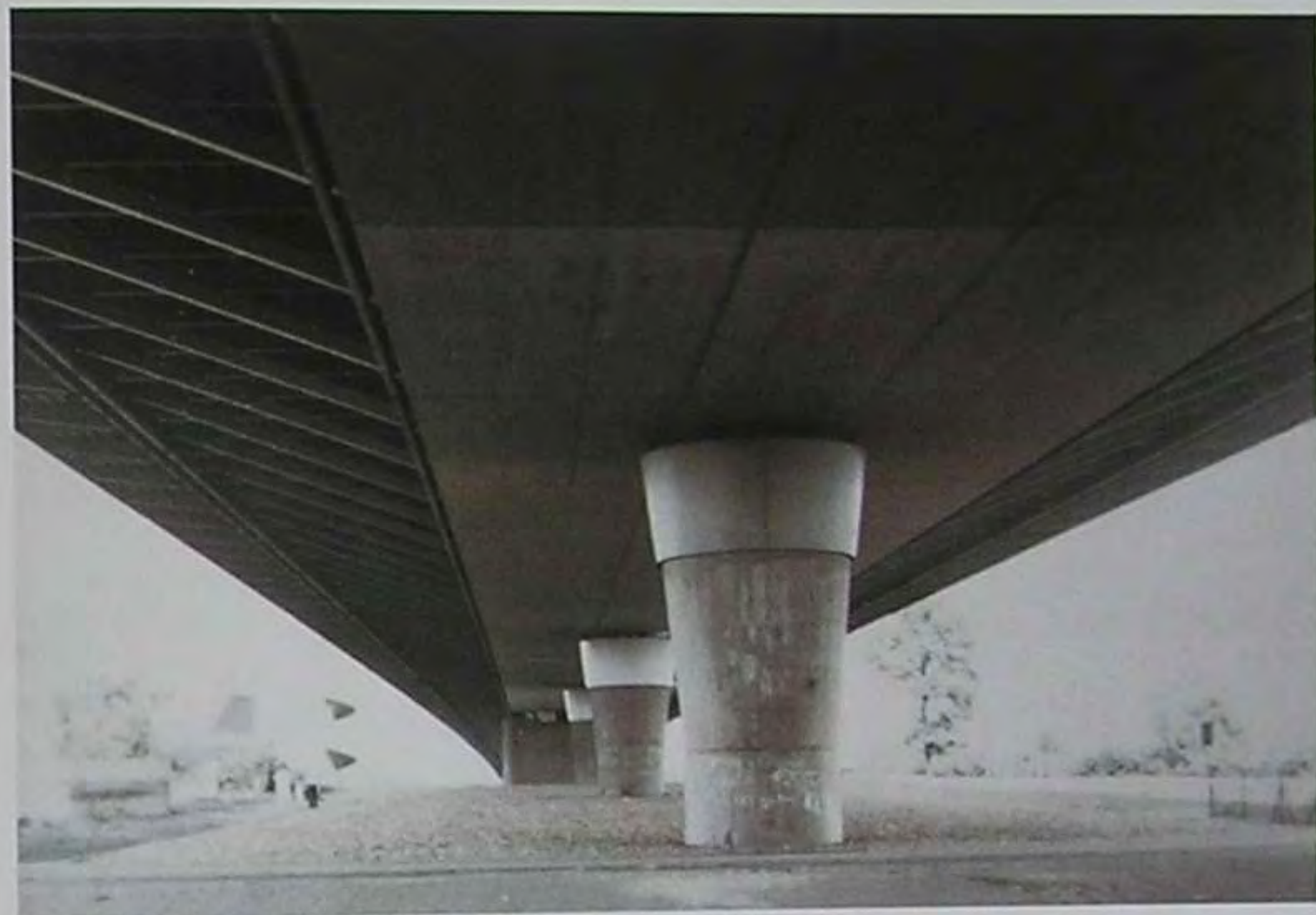
纽恩坎 (Neuenkamp) 桥，德国，杜伊斯堡

(郑今宁摄)

这座桥的所有拉杆都是由5型截面钢丝绞成的索股组成的自锁绞股索。他们由索鞍支持，连续通过桥塔。所有早期的斜拉桥普遍使用索鞍。这是从悬索桥传下来的概念。

索鞍有三种，固定的、滑动的和转动的。通常会在一座桥上混合使用不同的索鞍以达到最优的边界条件。

这座桥在世界上第一次用机械阻尼器抑制拉杆的风振。见图中上排拉杆。



在莱茵河上的纽恩坎桥，德国，杜伊斯堡

在1970年完工时，350米跨的纽恩坎桥是世界最大跨斜拉桥。它也是世界最宽的桥。单索面在中心线上，边跨所有桥墩都是单柱墩，位于主梁的中线上。在中央的箱梁提供承受偏心荷载所需的抗扭刚度。塔柱和桥台上各有一对支座以抵抗主梁的扭矩。

边跨墩是摆式墩，可在纵向运动。它们与上部结构铰接，以承受拉力和压力。

拉杆都是由自锁绞股索组成的。全桥包括主梁、塔和拉杆的总用钢量仅为每平方米桥面面积350千克。

这座桥的所有拼缝，包括全部现场拼缝都是焊接的。这也是世界上第一次。

**世界纪录：**我幸运地有机会参与许多创世界纪录跨度的工作，但这是自然出现的。

我的经验是，世界纪录不会保持很久。当我设计和施工格尼桥(320米)和纽恩坎桥(350米)时，它们的跨度都是世界纪录。这两个记录很快都被打破了。最大跨度很快就会超过1000米。

我不认为我们应当仅仅为了创世界纪录就花更多的钱。相反，我们应当尽力设计出美观和技术先进的结构。破一次世界纪录没有什么价值，但一座美观且高质量的桥永远是出众的纪念碑。

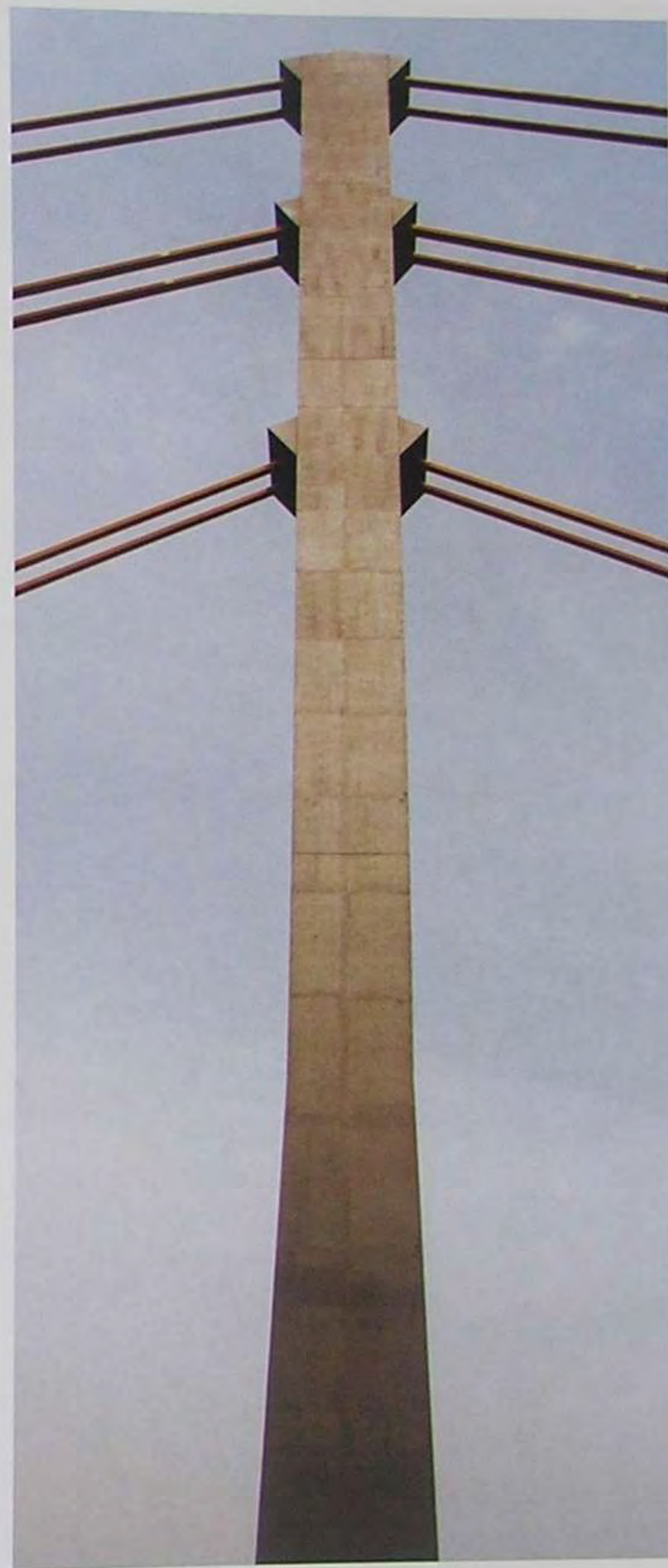




在莱茵河上的纽恩坎桥，德国，杜伊斯堡

这个工程投标时设立了有奖设计竞赛。我们提出了两个方案：350米单跨变截面钢箱梁和这个斜拉桥方案。钢箱梁方案获得第一名，斜拉桥方案是亚军。但斜拉桥方案造价明显低，于是被选中用于最后设计和施工。

在莱茵河上的纽恩坎桥，德国，杜伊斯堡



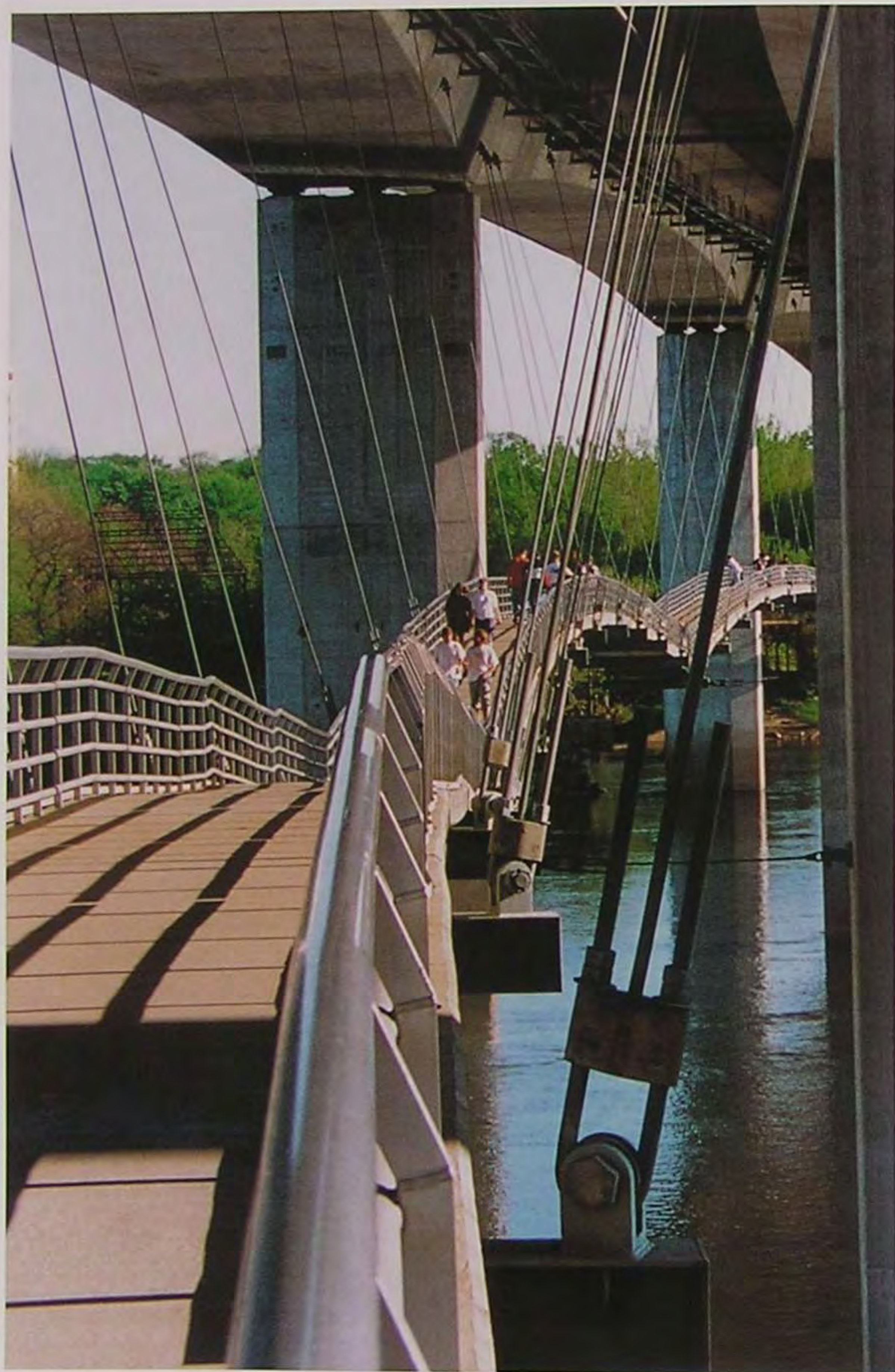
#### 一个新钢种用来造塔

当时新开发出来一种具有很高强度的新钢种，NAXTRA70，被用于纽恩坎桥的桥塔。其屈服强度为700 MPa，尚未列入规范，所以我自己制作了全部设计图表。

塔宽只有1.9米，在49米高度内保持不变。

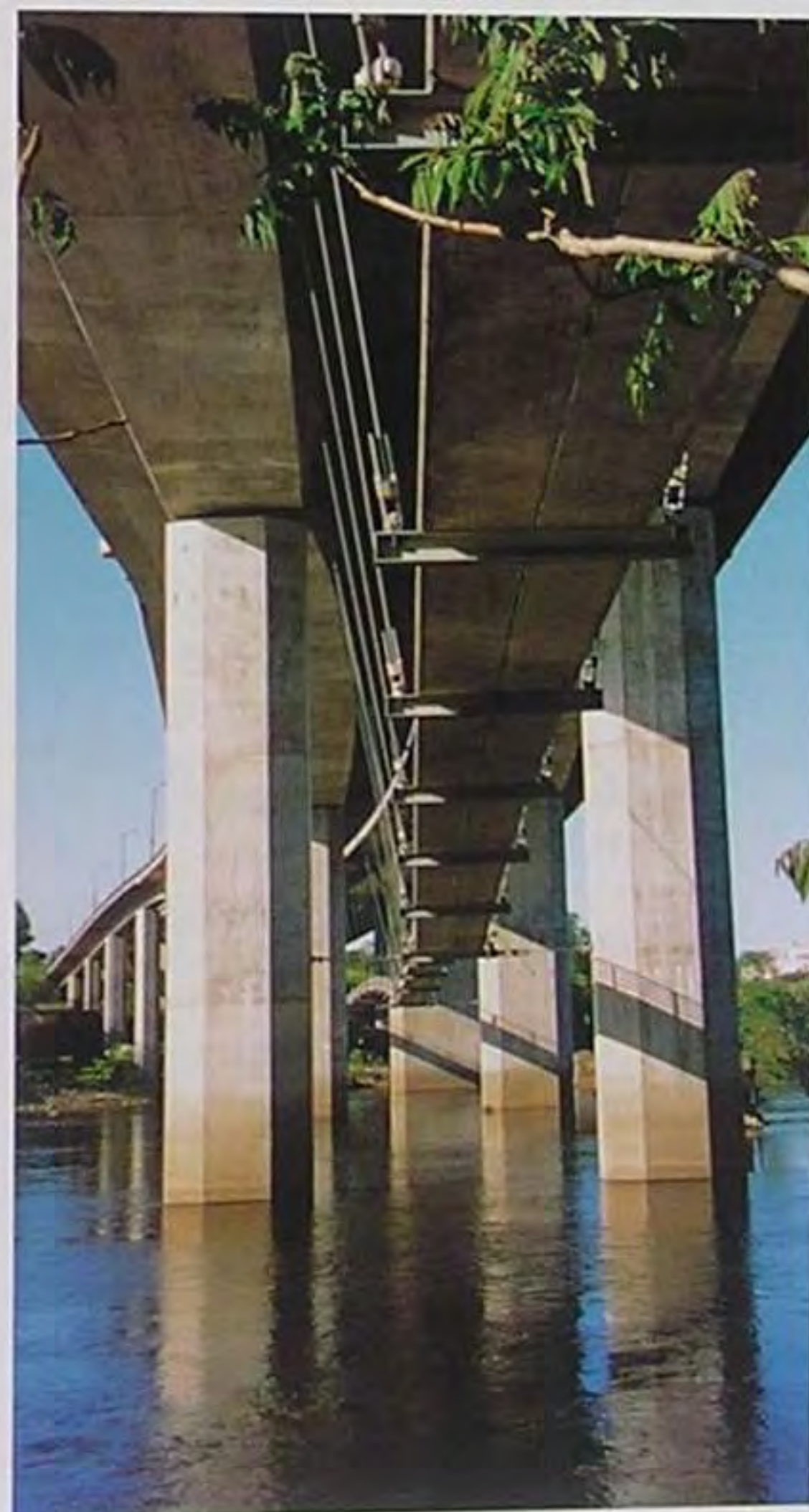
这个钢种性能卓越。这张照片是在2001年，即建成后30年拍的。





美丽 (Belle)  
岛通道桥

此步行桥，位于  
美国弗吉尼亚  
的里奇蒙得  
(Richmont)。



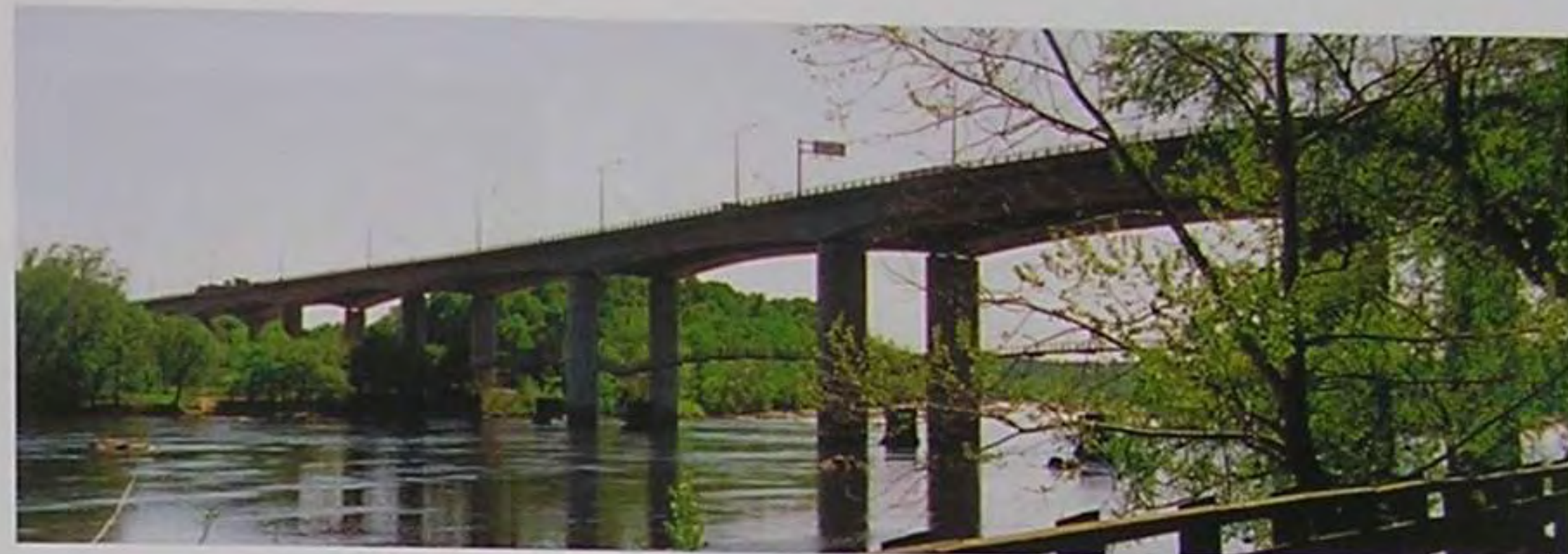
美丽岛通道桥  
—挂在罗伯特·李 (Robert E. Lee) 桥下

当地人们渴望有一条低位入口通到美丽岛。该岛位于詹姆斯 (James) 河中心。两岸景色秀丽，所以应当有一条同样令人赏心悦目的人行道。

把这条人行道挂在 (当时正在施工的) 罗伯特·李桥下面。这条人行道好像飘在空中，看上去格外轻巧。



美丽岛通道桥  
——挂在罗伯特·李桥下，弗吉尼亚，里奇蒙得



罗伯特·李桥于1988年完工，  
美丽岛通道桥于1990年完工。



美丽岛通道桥







阳光下的  
美丽岛通道桥!



西西雅图高桥, 美国, 华盛顿

西西雅图 (West Seattle) 高桥横跨杜瓦密施 (Duwamish) 河, 跨度为 114 米 - 180 米 - 114 米, 桥面宽 32.3 米, 于 1983 年用平衡悬臂法建造。



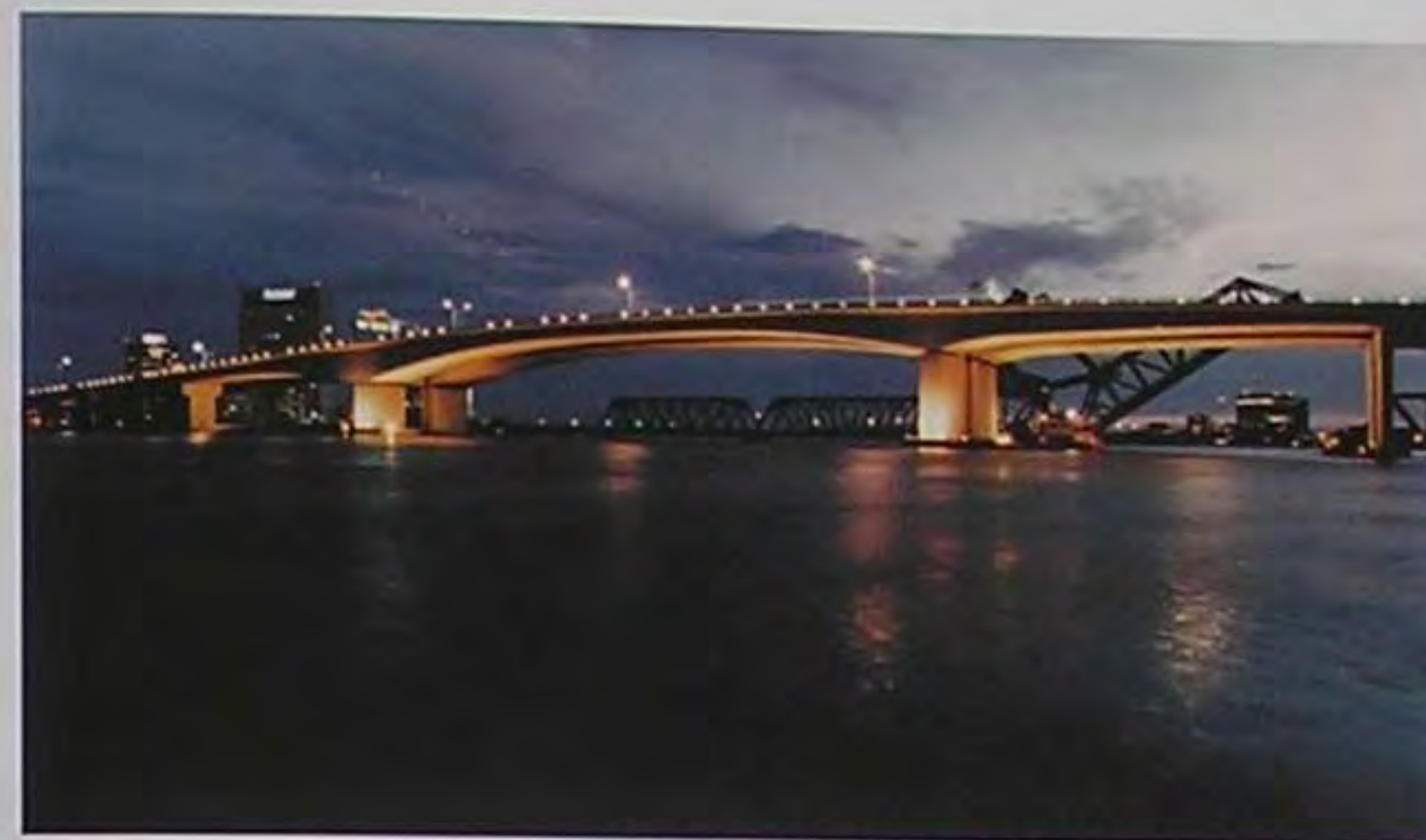


阿考斯塔 (Acosta) 桥的主跨是为每方向三车道和一条轻轨设计的。在引桥部分，轻轨则由分离的结构支持。



圣·约翰河上的阿考斯塔桥，佛罗里达，Jacksonville

此桥于1994年完工，照片摄于2001年。



圣·约翰 (St. John) 河上的  
阿考斯塔桥，佛罗里达，Jacksonville

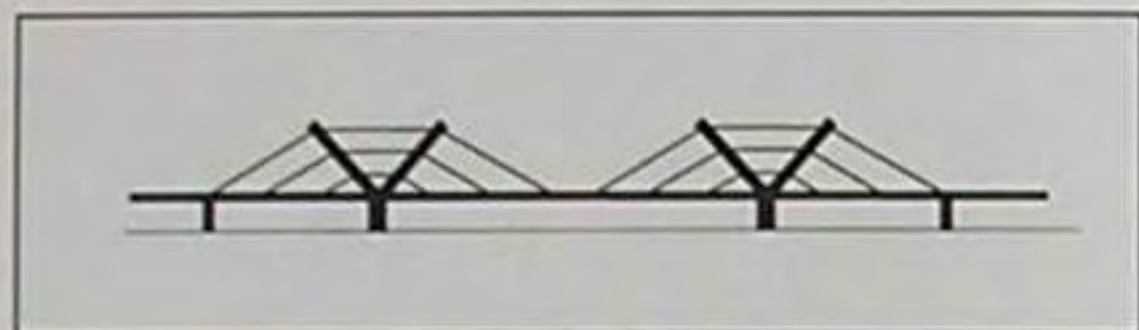
在夜间，

在黄昏，

在清晨！







# 圣·约翰河上的阿考斯塔桥，佛罗里达，Jacksonville

此桥独特的非对称构图呼应了现场的几何约束，也使这座桥更优雅，更引人注目。

1989年，我原想把这座桥设计成斜塔斜拉桥，因为现有航道是在右边跨，航道上方只容许很小的结构高度。斜拉桥本来会是一个很好的桥型。但是，在对这一地区仔细研究后，我认为对附近建筑物而言，斜拉桥会过分突出。

为适应195米的主跨，对称设计的边跨主梁截面高度将超过限度。为适应航道净空的要求，右边跨被缩短到82.3米，左边跨则被伸长到110米，以把更多的重量移到左边。于是形成非对称构图。





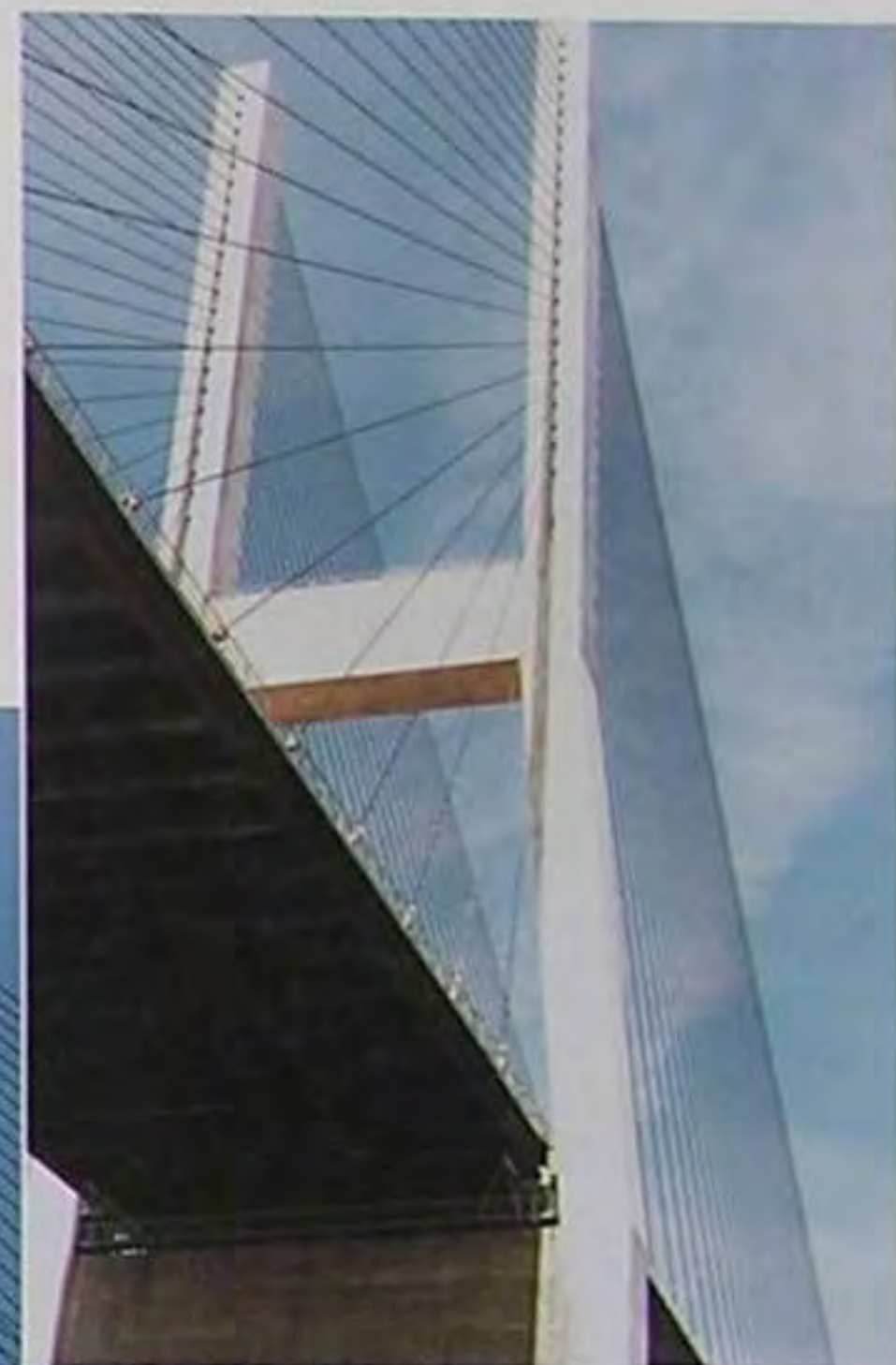


在福拉瑟 (Fraser) 河上的阿列克·福拉瑟 (Alex Fraser) 桥, 加拿大, 温哥华



当1986年刚完工时, 福拉瑟桥是世界最大跨的斜拉桥。这座465米跨的桥使用了联合梁, 由纵向钢边梁和钢横梁支持预制混凝土桥面板。拉杆为平行钢丝, 外包挤压成型的高密度聚乙烯套管。施工工期为30个月。

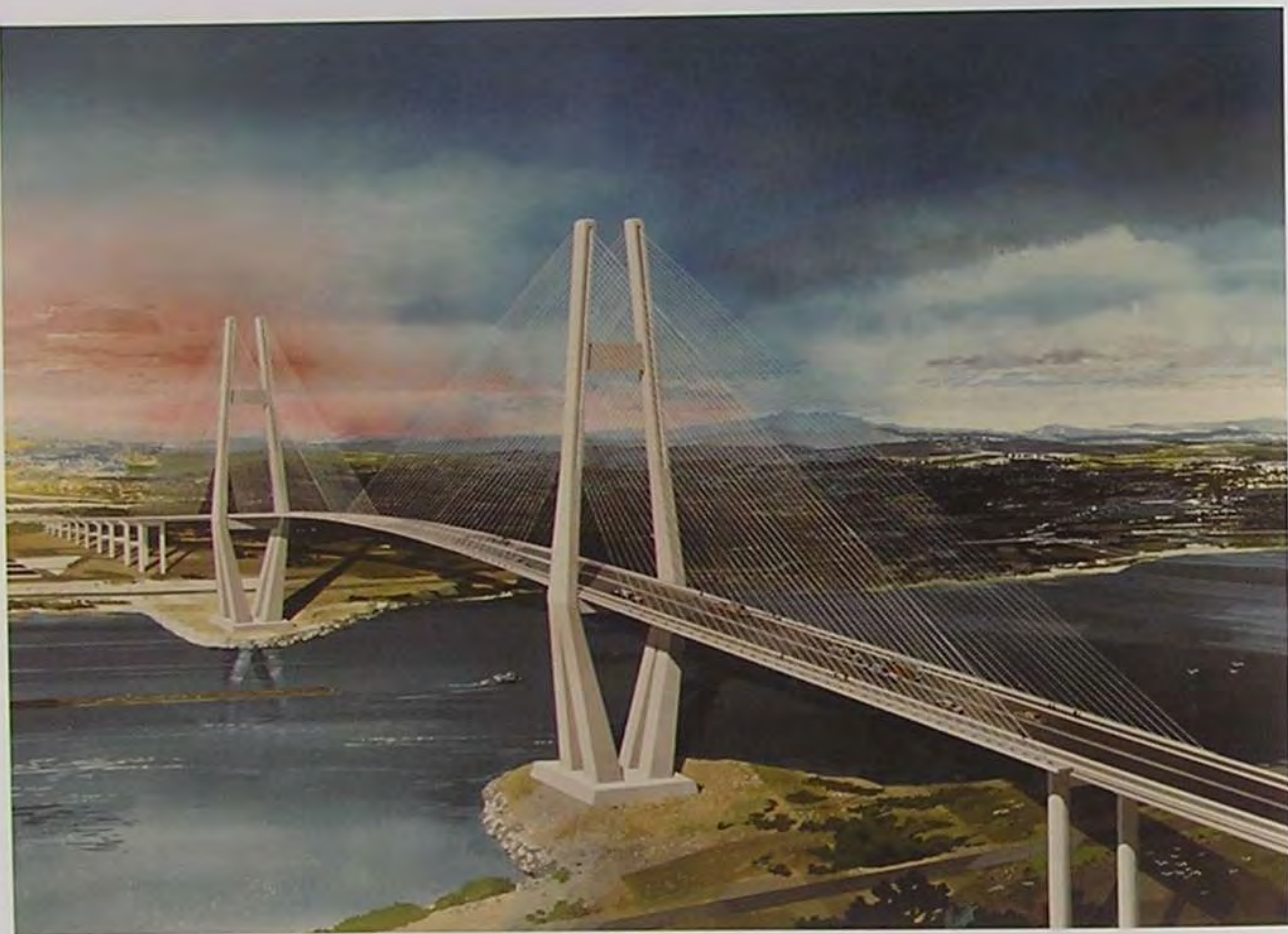
我们没有采用设计者推荐的施工方法, 而改为使用4台美制桅杆转臂式起重机。这样显著加快了施工进度, 使之得以在30个月的期限内完工。



在福拉瑟河上的阿列克·福拉瑟桥, 加拿大, 温哥华







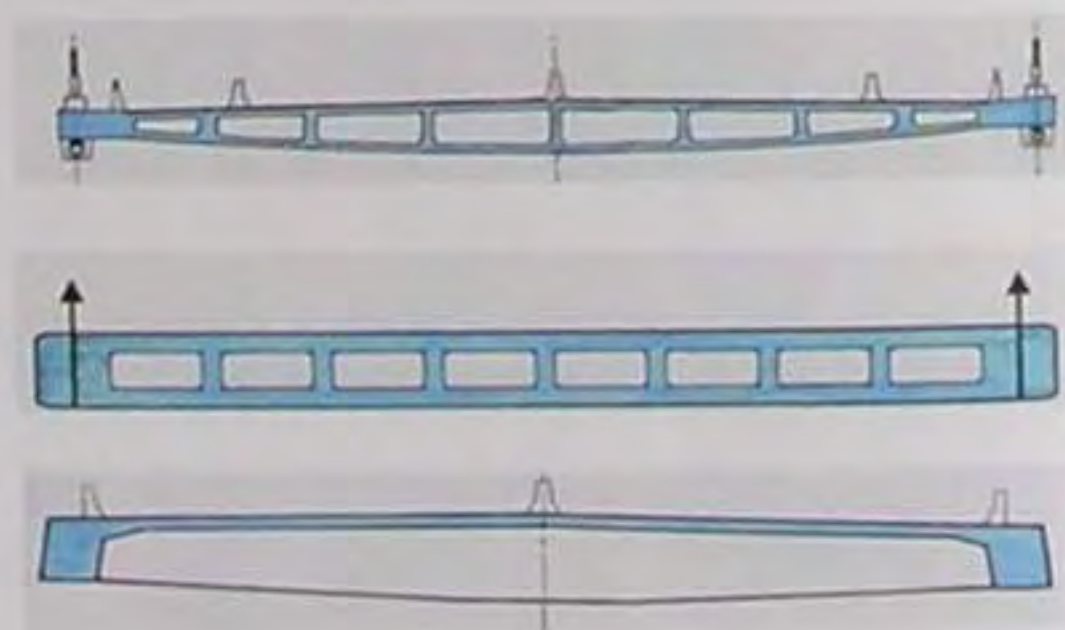
阿列克·福拉瑟桥——阿纳西丝 (Annacis) 岛桥，混凝土方案，加拿大，温哥华

我们给这座桥做出的混凝土方案是十分优雅的。不幸的是，尽管许多人对这优美的塔形赞美不已，其造价对竞争激烈的投标来说是太高了，最后没有选中这个方案。

在初步设计阶段 Larry Bush 先生、Ulich Finsterwalder 先生和我多次讨论过主梁的造型。我们讨论了下方的两个方案，它们来自我那时参与设计的另外两座桥。

我们喜爱柔性主梁，但又担心气动力作用下刚度不足，因为这种梁抗扭刚度低。那时没有很多柔性梁的风洞试验数据可供参考。经过多次修改我们选定了右上图方案，它有较大的抗扭刚度，并且有较好的气动力造型。

如果我今天设计这座桥，我会使用最下方的横截面。



ALRT 捷运桥，加拿大，温哥华

在 1988 年这座桥完工时，340 米的跨度是捷运桥跨度的世界记录。有两线轨道跨越福拉瑟河。

拉杆用平行钢丝，端部安装冷铸 (Hi-Am) 锚头。锚头在桥面处间距为 11 米。桥面用分段预制混凝土拼装工法，每段 12.56 米宽，5.5 米长。主梁截面总高度只有 1.1 米。



这个设计是在阿列克·福拉瑟桥建成后进行的。我们决定使用更简洁的截面形式。

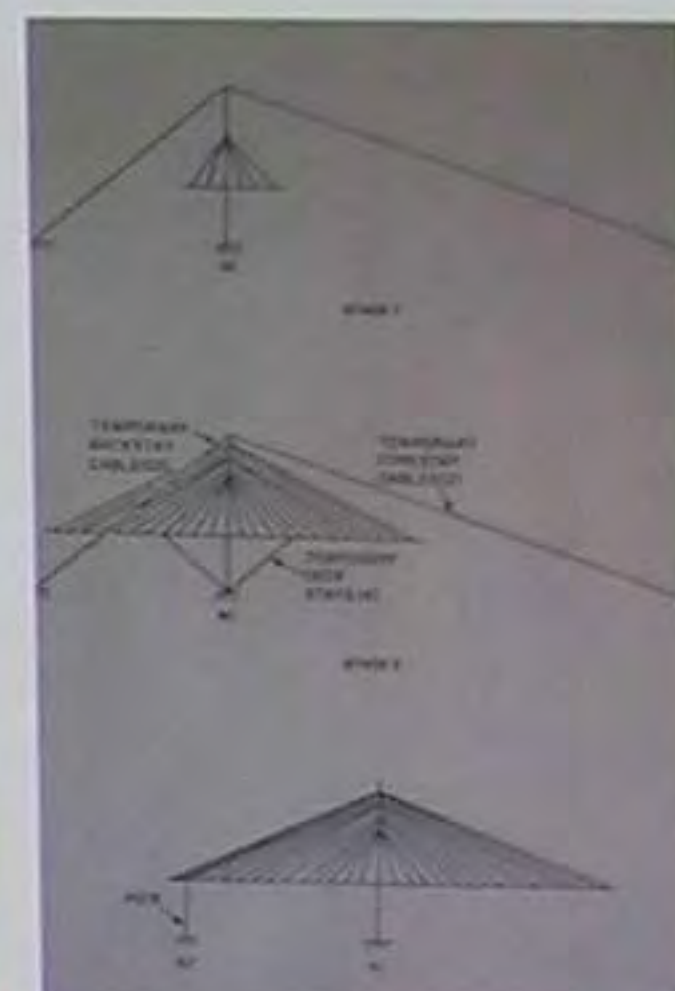




ALRT 捷运桥，加拿大，温哥华



这是我和 E. H. Baik 先生一同工作的第二座桥。他是这两座桥的承包公司的项目经理。当我们一起为横城大桥工作时，他送了两个聪明的青年工程师，S. W. Kim 先生和 H. Y. Shin 先生，到我们纽约的办公室去研习美国的桥梁设计方式。马来西亚的横城大桥完工后 S. W. Kim 跟随 E. H. Baik 先生去温哥华建造 ALRT 捷运桥。在温哥华，他和一位漂亮的加拿大籍韩裔小姐结婚。然后一起回到韩国并成立了自己的咨询公司。H. Y. Shin 先生在日本取得了博士学位，然后成功地建造了韩国汉城机场附近的 Yongjung 桥，目前世界最长的自锚式悬索桥。



ALRT 捷运桥，温哥华

主梁由厚度仅为 40 厘米的实心板和两个截面高度为 1.1 米的边梁组成。其刚度极小，必须设计一个特别的吊机来起吊梁段。

我们先把 11 米长的桥面板节块切成两段，然后用一个由长索挂在塔顶上的吊机起吊这两段。由于吊机挂在塔顶上，所以起吊时主梁并不承受吊机和板段的重量。在最前边的拉杆装好并施加应力后，上述荷载被转移到主梁上。吊机的设计使得每前移一次可先后起吊两块板段。

吊机一段段前移时，始终由长索挂在塔顶，从而其大部分重量不会加给主梁。

施工期间为抑制湍流风引起的抖振，用斜系索把桥面与塔底拉紧，而且需安装连至塔顶的前索和背索（见右上图）。这些辅助索提高了桥的自振频率，于是把气动反应降低到可接受的水平。

在边跨端部连接到端墩后，这些辅助索即被拆除。







跨越坦帕 (Tampa) 湾的阳光 (Sunshine) 大道桥, 佛罗里达, 坦帕

(此照片蒙杨斌先生提供)

#### 工程师和渔夫:

我很少钓到鱼, 因为我没有耐心坐在那里等鱼儿上钩。

在坦帕湾的阳光大道桥施工期间, 我得每月到佛罗里达参加技术顾问委员会和管理委员会的会议。人们告诉我, 如果我在佛罗里达, 我应当放几天假去钓鱼。于是有一天, Tom Meredith 先生、Jack Campo 先生、John Sandeen 先生和我, 这座桥的工程监理公司的四个合伙人, 租了两条船去钓鱼。出人意外地, 我们一起竟然钓到差不多 700 千克的鱼。

我奇怪钓鱼竟然如此容易。我立刻发现, 原来船长有声纳和全部现代化设备, 能精确确定鱼儿的位置。所以我们的船总是在鱼群的上方。此外, 船长还设定了吊钩的深度。

可怜鱼儿, 这不是场公平的比赛!



阳光大道桥是法国 Brotonne 桥的“姊妹”, 两者都使用中心单箱梁和单索面, 甚至连拉杆的颜色都一样。

但是, 阳光大道桥使用全预制分段施工法, 而 Brotonne 桥则使用混合的——既有预制也有现浇的——施工法。

阳光大道桥于 1987 年完工。

阳光大道桥的拉杆由 7 丝钢绞线索股组成, 外包钢管, 钢管漆成黄色。下图是在大约四分之一的拉杆涂好漆时拍的, 很引人注目。







西西雅图开合桥，  
美国，华盛顿，西雅图

混凝土开合桥的想法使Erich Aigner很兴奋。于是，我们提出了悬臂的，斜拉的，组合的……设计方案。

无论从技术上还是美学上，平衡悬臂最适合这个桥位。因为一座更高的桥已经立在这里，平衡悬臂箱梁与原有的位置较高的箱梁更相匹配。

西西雅图开合桥，  
华盛顿，西雅图

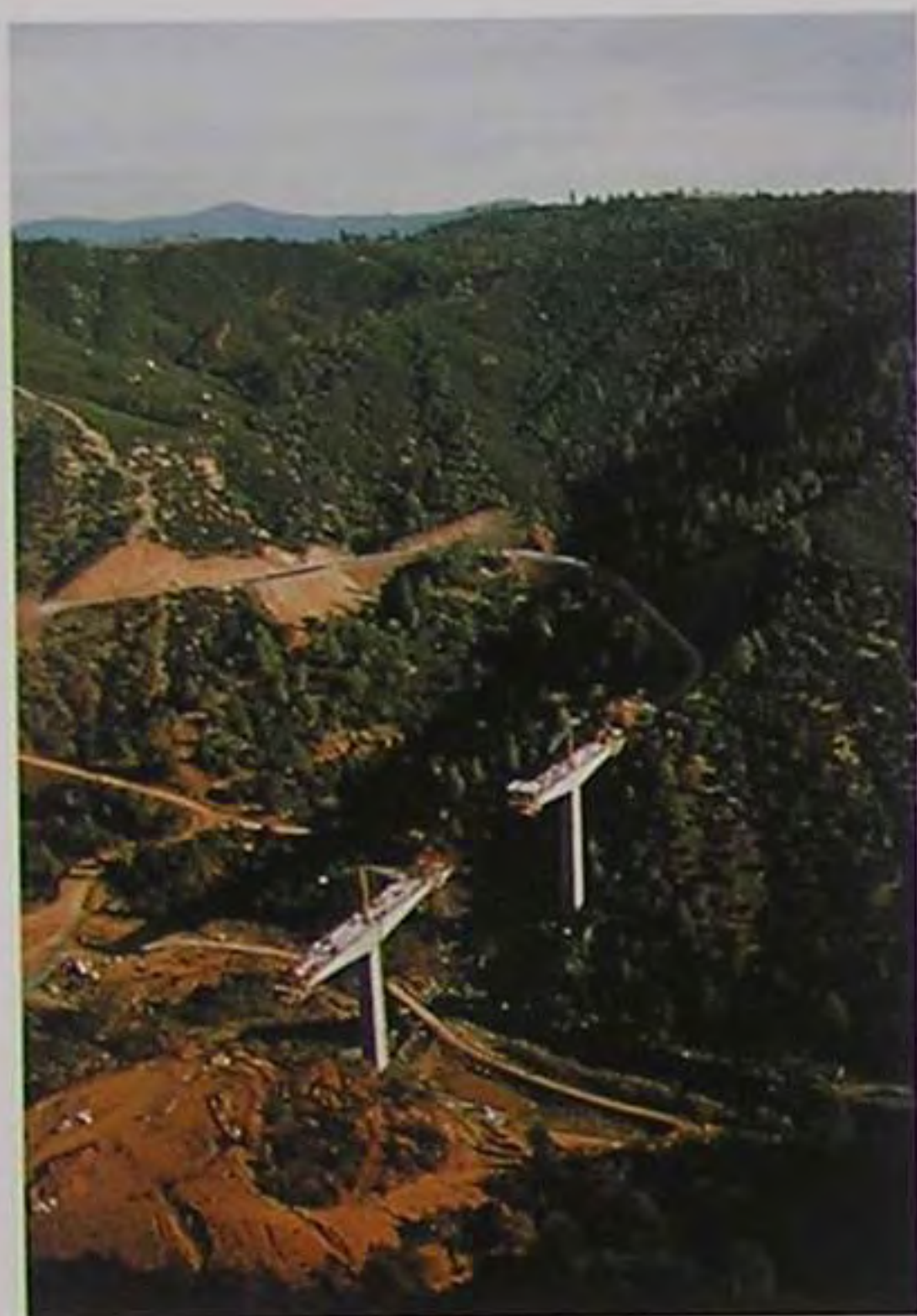


当我们在1984年提出用混凝土建造这个152.5米跨的世界最大开合桥时，人们是不大相信的。投标的结果证明这个方案不仅比钢桥方案更经济，而且更容易建造，因为这个标价比钢桥方案低30%。

桥的两半部分各自沿着河两岸施工，完工后向河中心转，居然闭合得很好，这既令人惊奇，又是在预料之中的。

桥完工于1991年，这里是十分繁忙的水道，每小时就要开合一次，这座桥已经这样工作超过十多年。



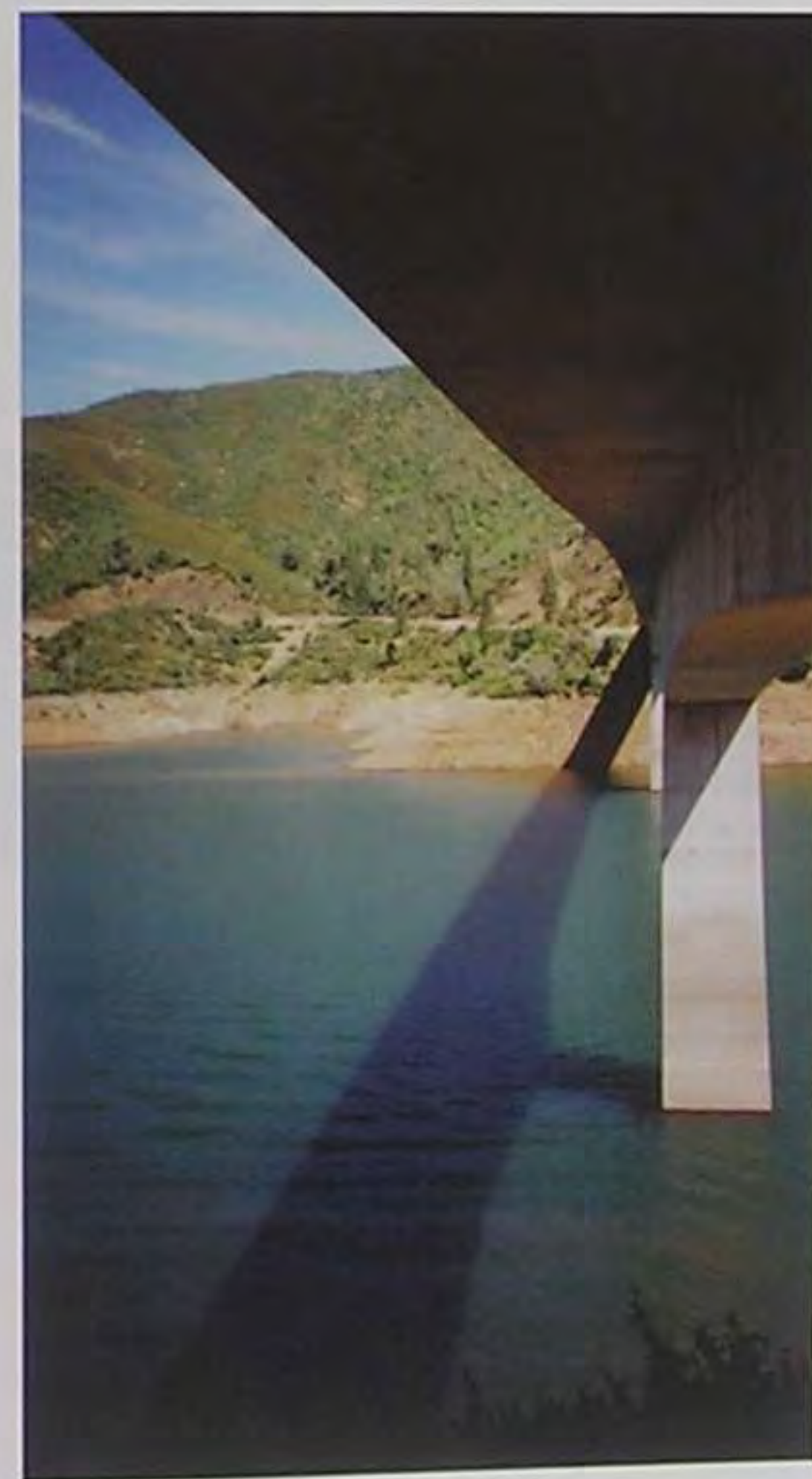
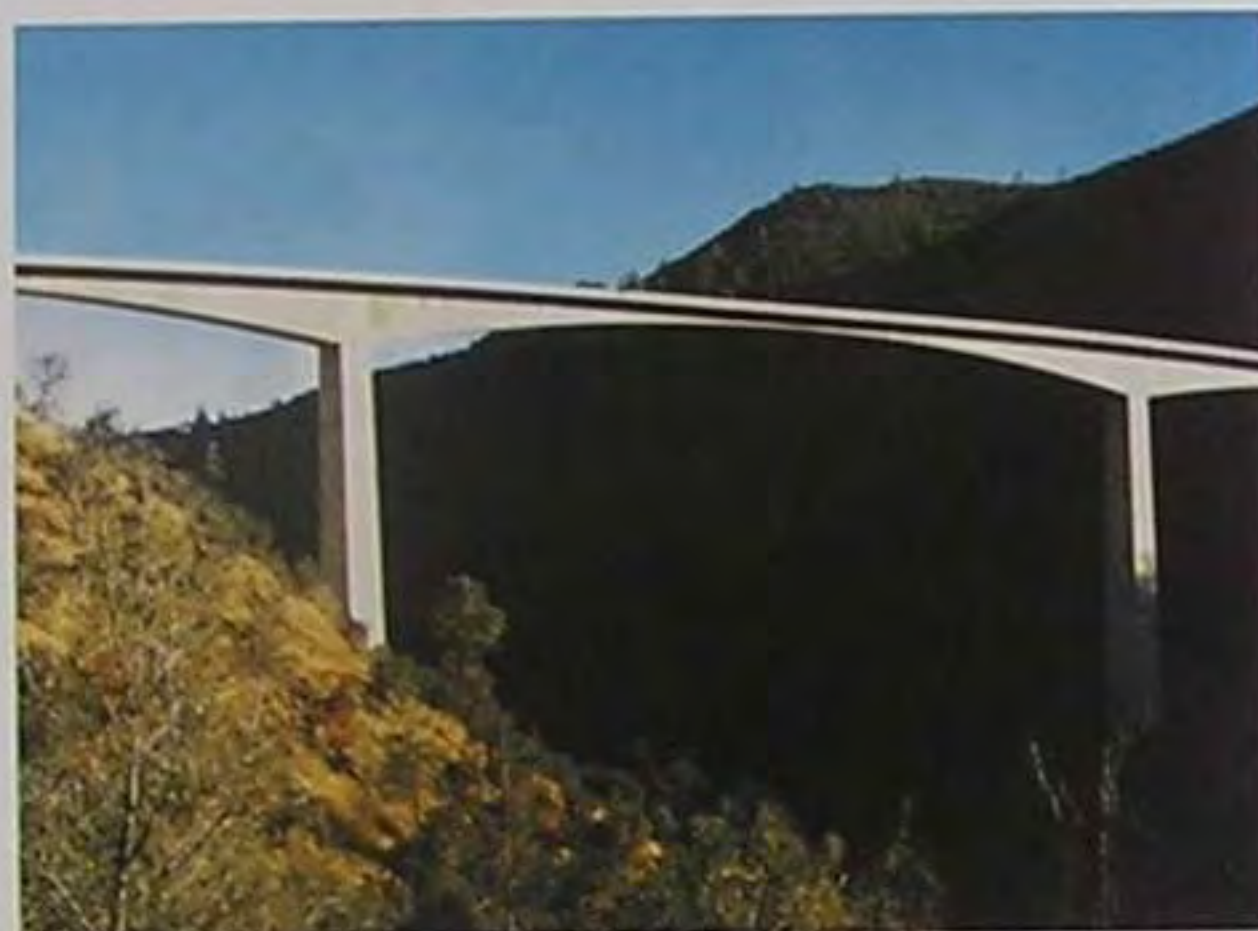


鸚鵡渡口 (Parrotts Ferry) 桥, 美国, 加利福尼亚

这座桥跨越一座水库。施工时水库尚未蓄水, 于是得以在陆地施工。

左图是在平衡悬臂法施工过程中。右图是刚完工的桥。下图是使用 20 年以后拍的。水位很高, 桥墩的下部已经看不见了。

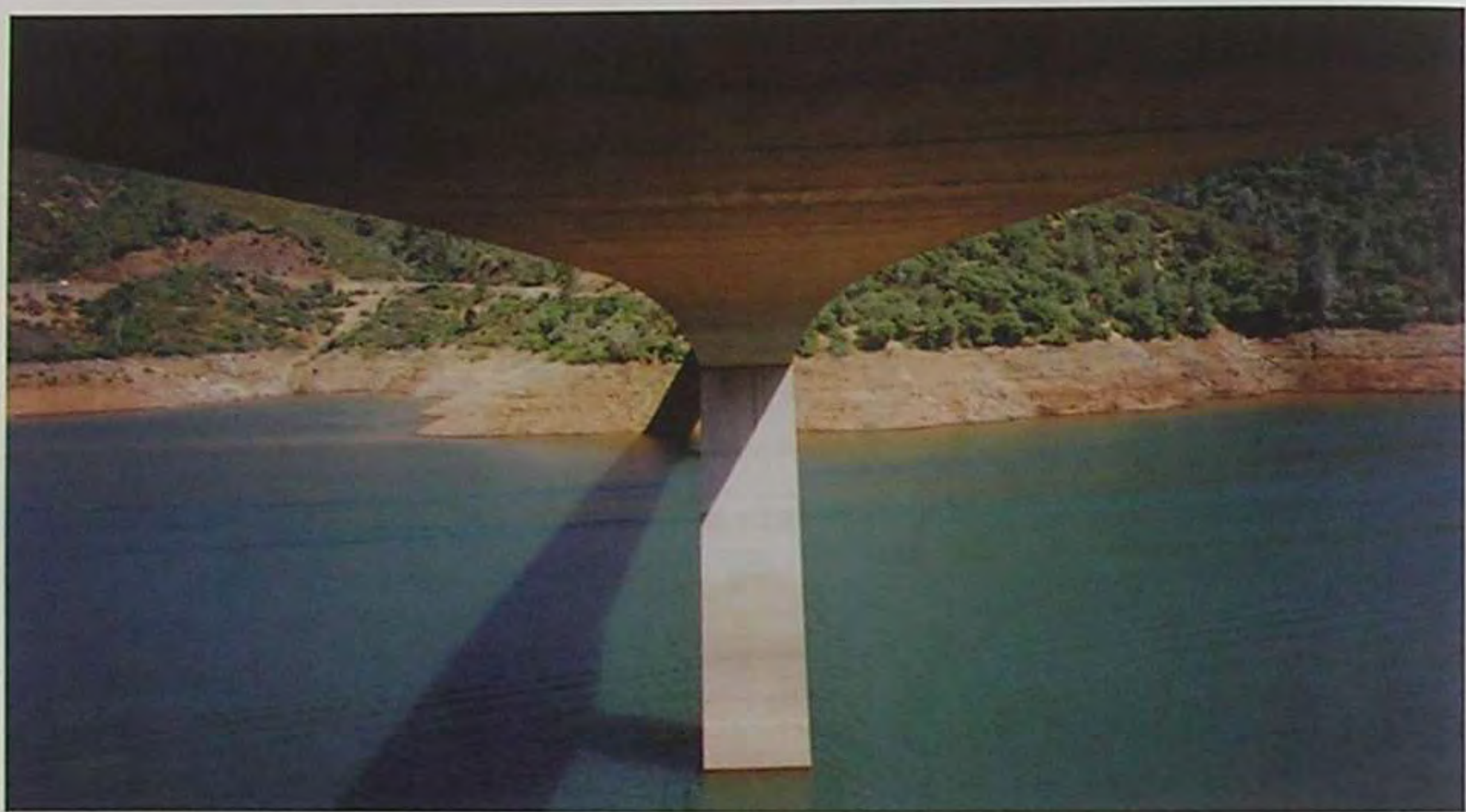
此地景色幽美, 是十分受欢迎的休闲场所。



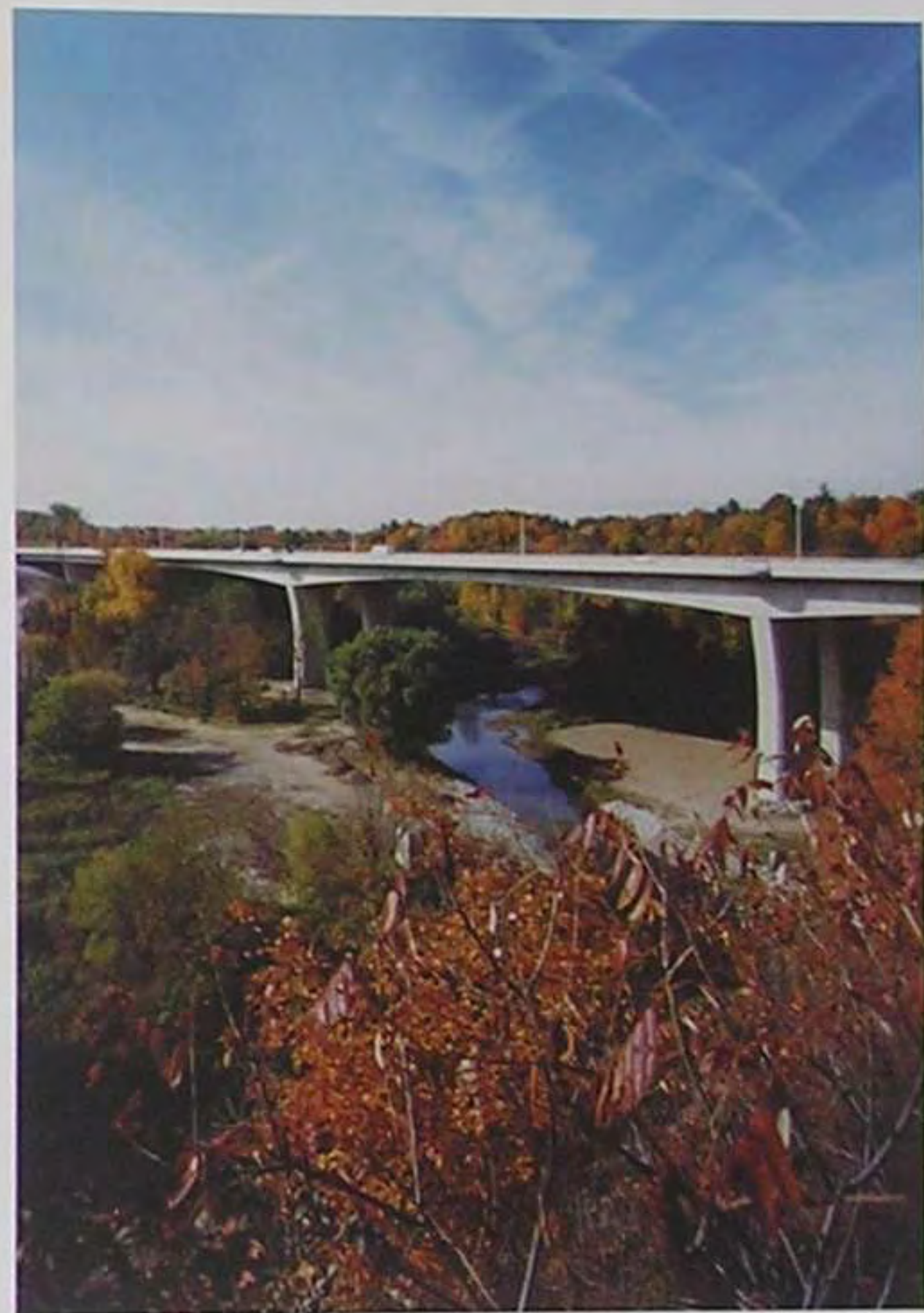
鸚鵡渡口桥, 加利福尼亚, Sonora

鸚鵡渡口桥是世界上第一座大跨轻质混凝土桥, 主跨 195 米。施工期间, 我们非常担心缺少轻质混凝土的蠕变数据。施工时的挠曲是按业主提供的实验数据计算的。结果, 桥的变形比计算的大。经过改建, 成功地纠正了变形。





鸚鵡渡口桥，加利福尼亚——由下向上看！

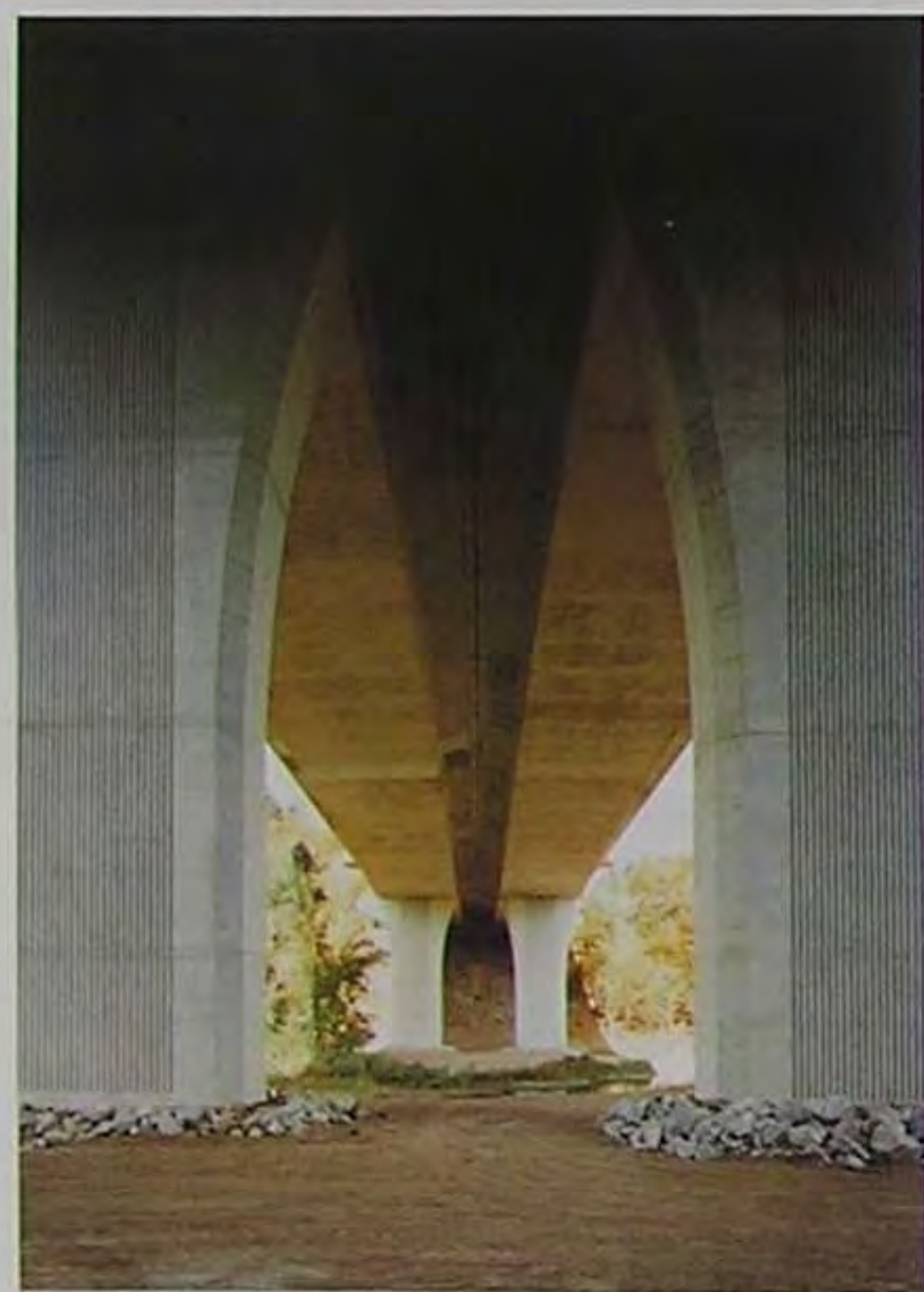


跨越16哩溪的上中（Upper Middle）路桥，  
加拿大，安大略

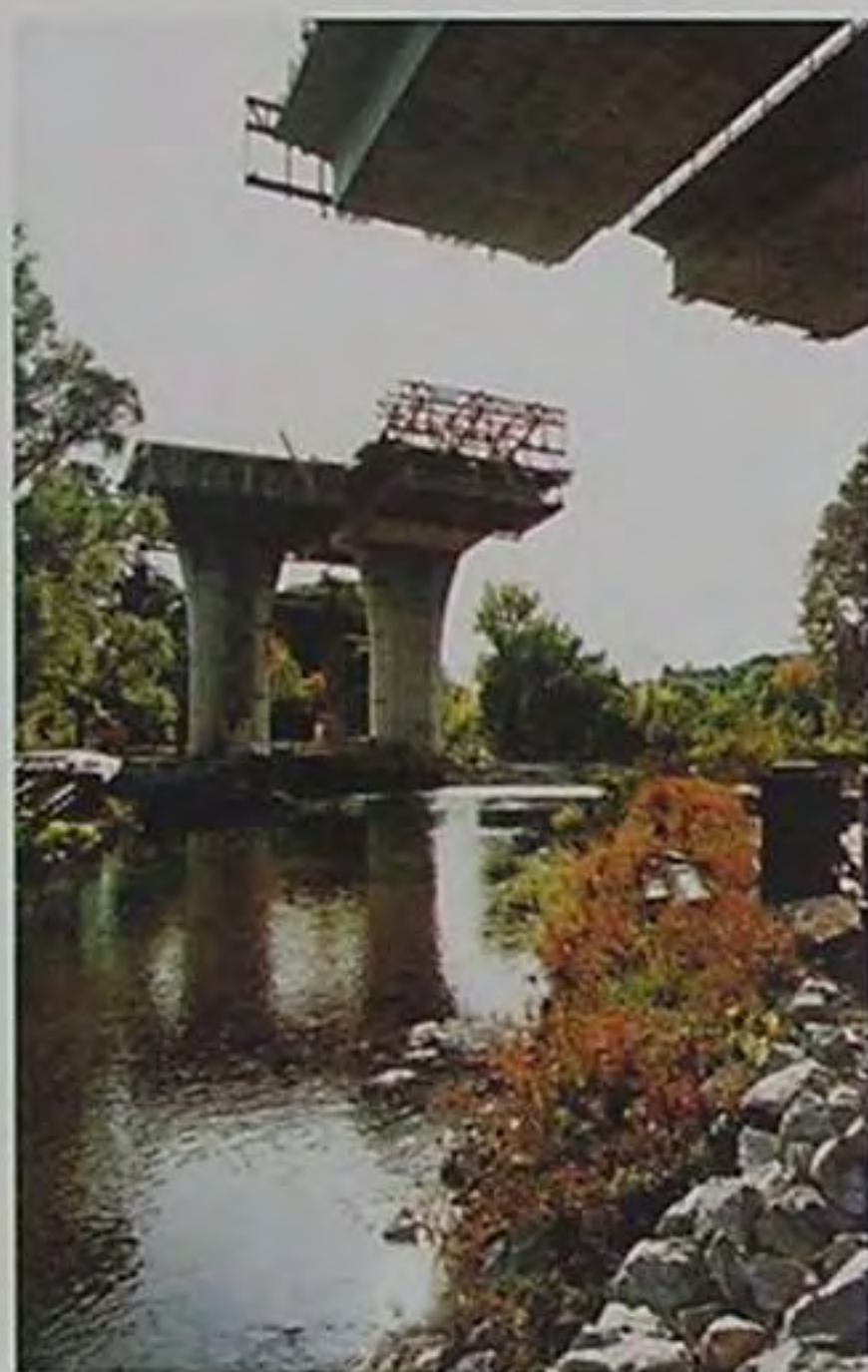
此桥跨越一个高尔夫球场，有开阔的景观。美学考虑十分重要。它完工于1993年。

（上中路桥的所有图片由 McCormick Rankin 提供）





跨越16哩溪的上中路桥，加拿大，安大略



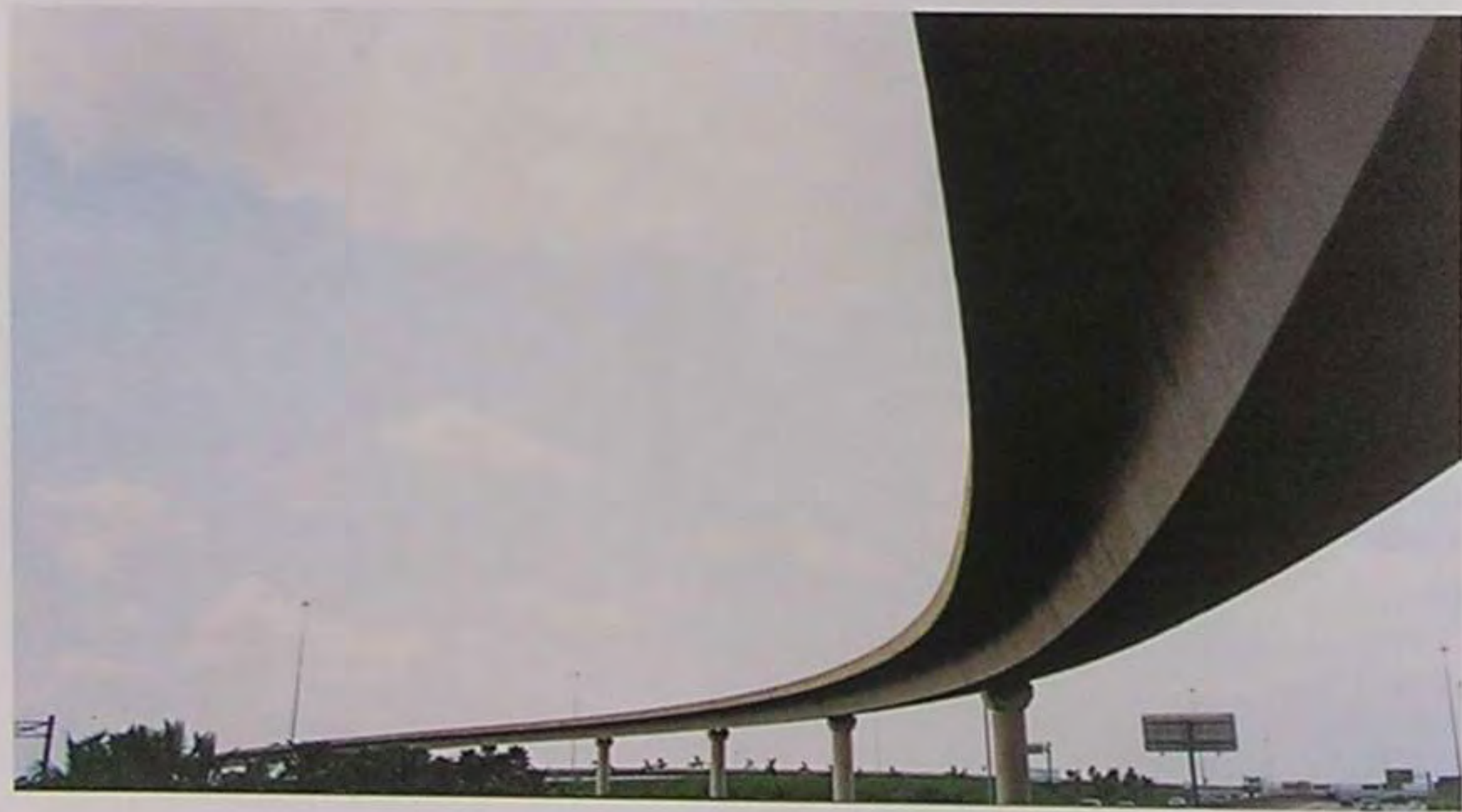
此桥用平衡悬臂法施工，端跨则用支架。主跨100米。



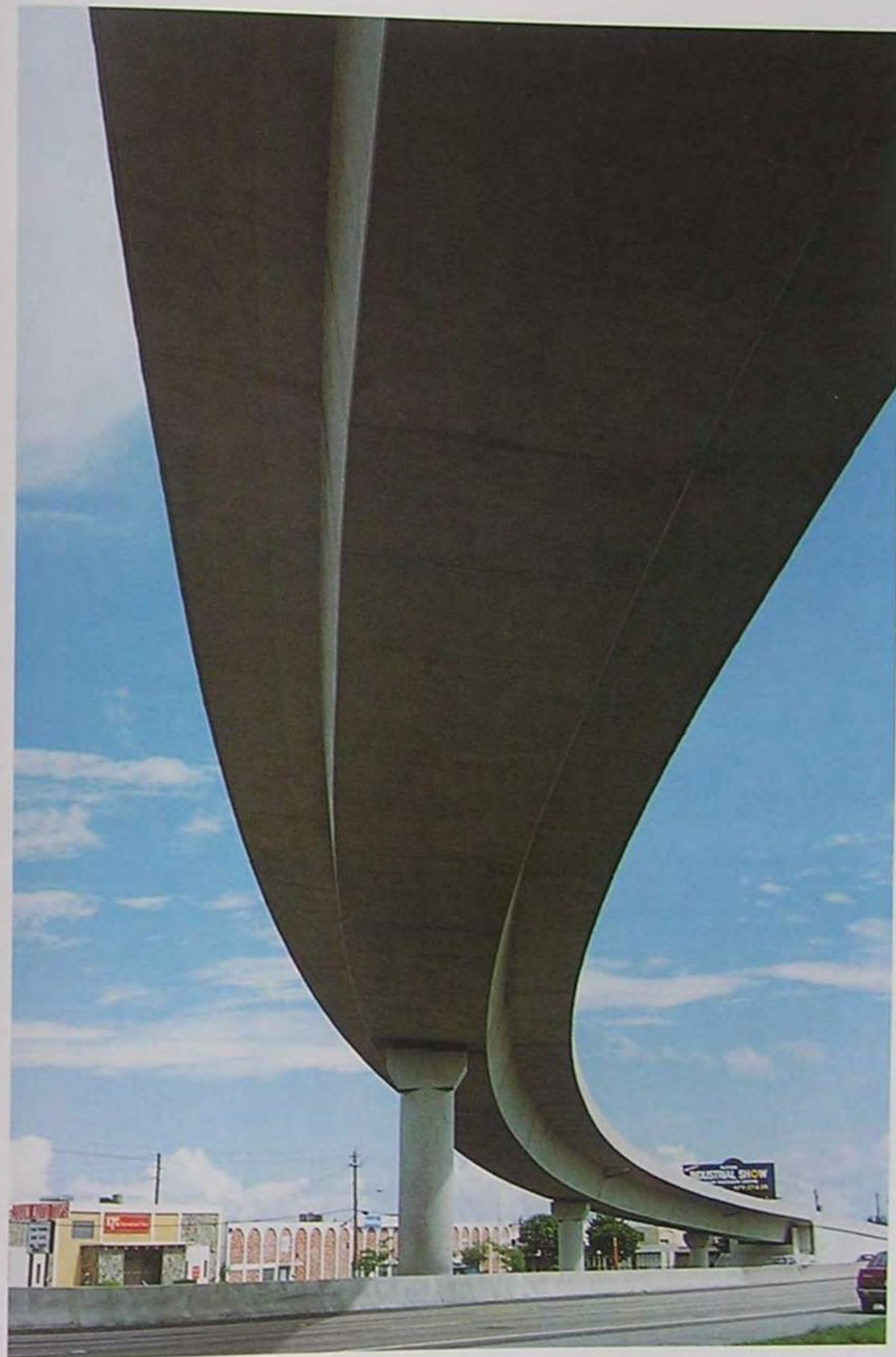
跨越16哩溪的上中路桥，  
加拿大，安大略

设计一座桥时，应当充分考虑行人的感觉，提供适当的区域以便行人停留、休息和欣赏大自然的美景，使得在这座桥上散步成为一种享受。





帕乐美托 (Palmetto) 高速路 / SR 826 和 I 75 跨线桥,  
佛罗里达, 迈阿密



帕乐美托高速  
路和 I 75 跨线  
桥, 佛罗里达,  
迈阿密





### 帕乐美托高速路 / SR 826 和 I 75 跨线桥

这里共有 5 座桥，全都在 1986 年完工。这座桥是美国最早的一座预制分段施工的立交桥。在平原地区吊车是吊装梁段的理想工具。



### 中央主干线 9C 段， 美国，马萨诸塞

波士顿的中央主干线和隧道工程位于一段难以施工的场地。施工必须在已有的房屋和其他结构间的狭小场地间进行。这与迈阿密的帕乐美托现场完全相反。

9C 段用预制分段法建造。桥面宽度是变化的。

### 桥墩的形状！

桥墩可以有不同形状，但一座桥的所有桥墩必须和上部结构以及周围环境相互融合。



左图，西海大桥有高大的桥墩。中图，但点桥的引桥有外观简洁的桥墩。右图，阿考斯塔桥的三个不同形状的桥墩彼此相互融合。



在迈阿密，I 号匝道和帕乐美托高速路跨线桥有柔美的曲线。







I 75/I 595 劳德戴尔 (Lauderdale) 堡跨线桥, 佛罗里达

整个跨线桥共有 79 跨, 跨度从 36.5 米到 61 米, 总长 3.45 千米, 含 1366 个预制段。

在这个工程中, 吊车的高效率使得原定 1000 天的工期被缩短了 300 天。使用吊车的优点是可以同时用许多台, 于是可以同时施工许多对悬臂梁。

整个跨线桥于 1987 年用预制箱梁段建造。

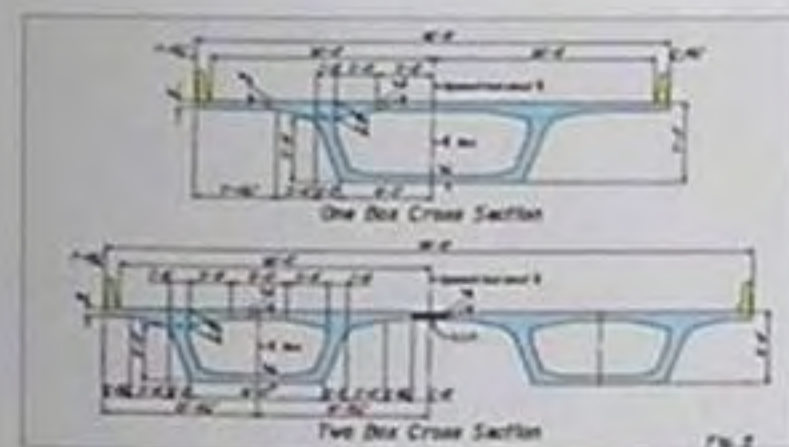
比较平坦的地区特别适合吊车操作。



I 75/I 595 跨线桥,  
美国, 佛罗里达, 劳德戴尔堡

平衡悬臂施工由几座桥墩同时开始。一对强有力的钢梁用来夹紧悬臂梁端, 使得浇注合龙段时不必担心温度变形, 使主梁平顺。

图中, 包在桥墩外面的临时钢框架用于帮助桥墩抵抗施工时的不平衡弯矩。

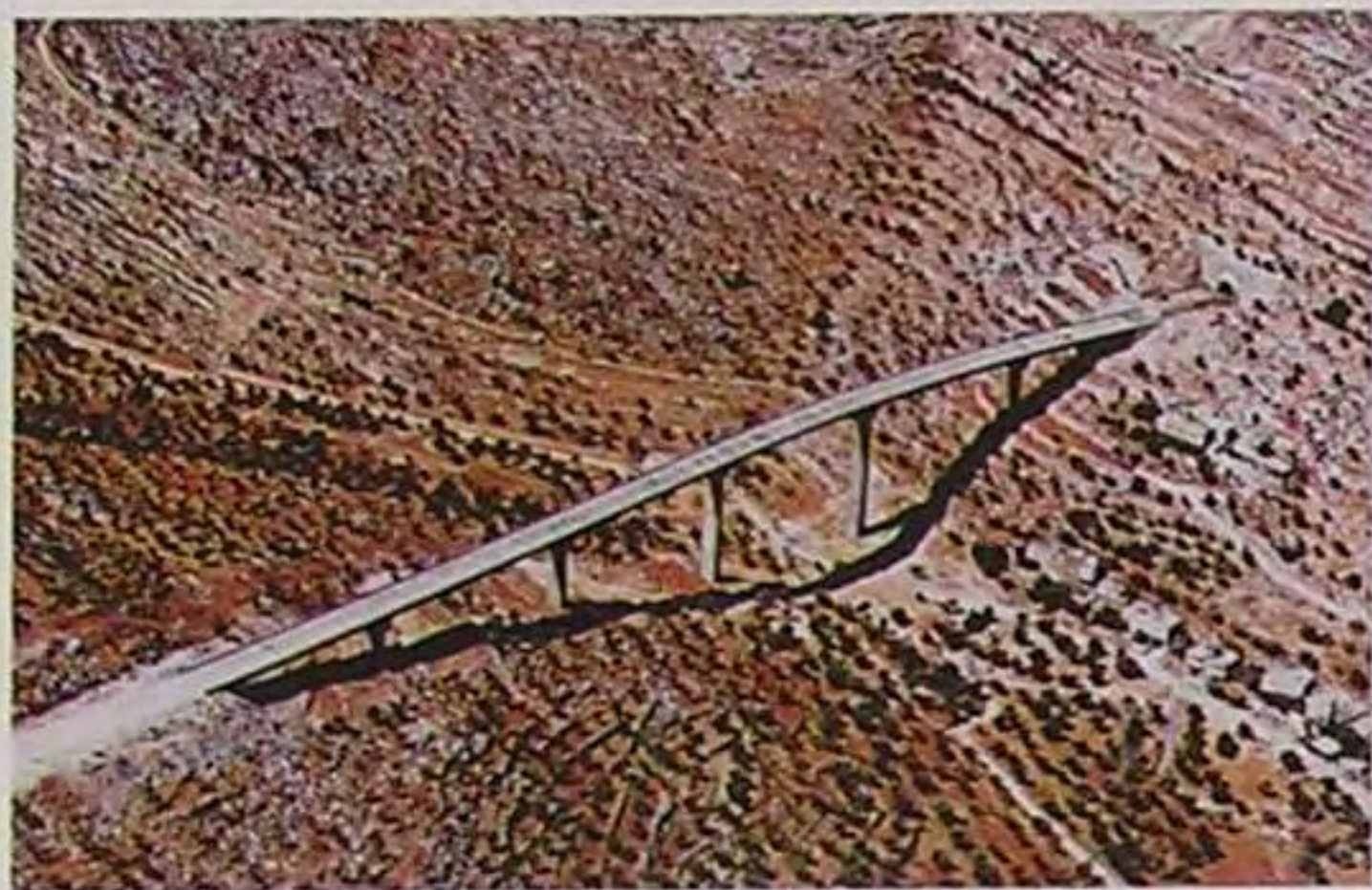


七哩桥, 美国, 佛罗里达

这里开阔的水域适合驳船运输。梁段在别处浇注, 用驳船运至施工现场。全跨梁是用一台桁架式吊机一块块吊装的。桁架长度为两倍跨度, 每顶推一次桁架可先后起吊两跨的梁。







奇帕帕 (Kipapa) 河桥, 夏威夷, 瓦胡 (Oahu)

(对页)

一座天堂中的桥——在景色宜人的夏威夷的一座漂亮的桥。

这座桥是在夏威夷的瓦胡。当地土质软弱, 湿的时候没有承载力。代替通常的支架施工, 我们把平衡悬臂法引入这个天堂, 来建造此混凝土分段箱梁桥。这个工作是在20世纪70年代中期, 是当时的前沿水平。

这里有一个小故事。一个星期五早晨, 我们负责美国西部事务的经理 Juergen Plaehn 先生来电话, 说夏威夷的奇帕帕河桥的工程招标了。我们讨论后断定, 即使设计者考虑支架施工, 但悬臂施工法会更适当。当务之急是让投标的承包商知道混凝土、钢筋和预应力筋的用量。他们星期一就得知道这些数字, 而我们必须确保这些数字的精度在3%以内。我们只有72小时来计算和设计它们。

我们的总经理 Richard Heinen 先生说: “我们应当开始这件事!” 于是我们动手了。

叫来生力军——我的太太, 她也是结构工程师。我们设计了悬臂施工的方案。我们及时为投标确定了材料用量。我们赢得了这个工程, 建造了这座桥。出乎预料的是, 实际材料用量与估计的相差不超过3%。

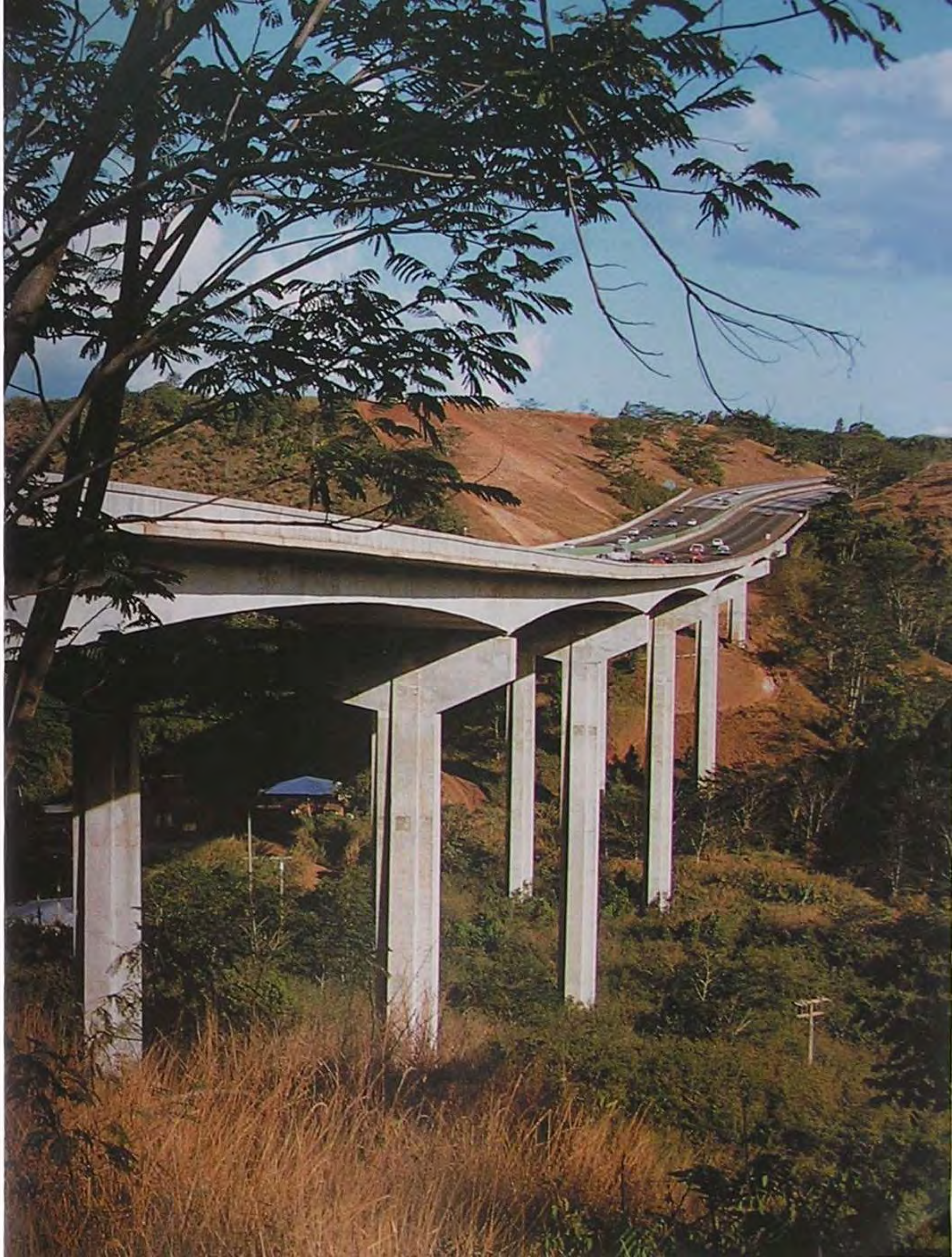
吉罗 (Gilo) 桥, 以色列, 耶路撒冷

这座桥完工时是以色列第一座预制分段桥, 也是以色列最大的桥。大量橄榄树形成特别的景观。

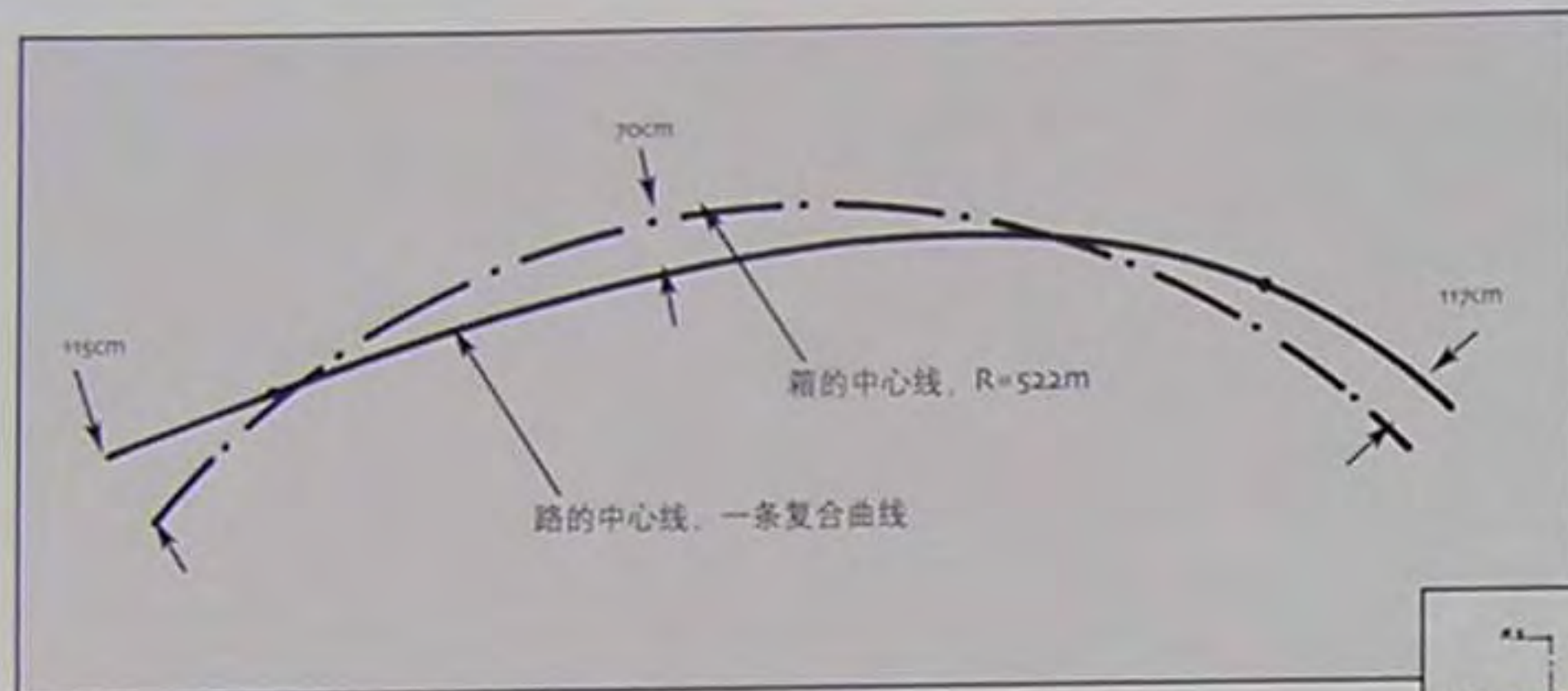
(图片蒙以色列市政局提供)

牛栏河桥, 中国, 台湾

这是一座用现浇平衡悬臂法施工的混凝土分段桥。





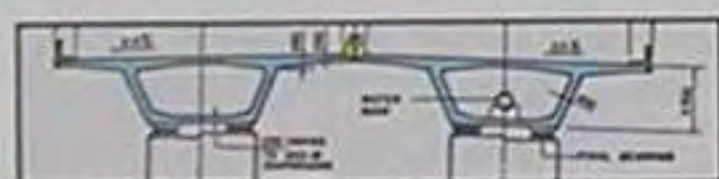
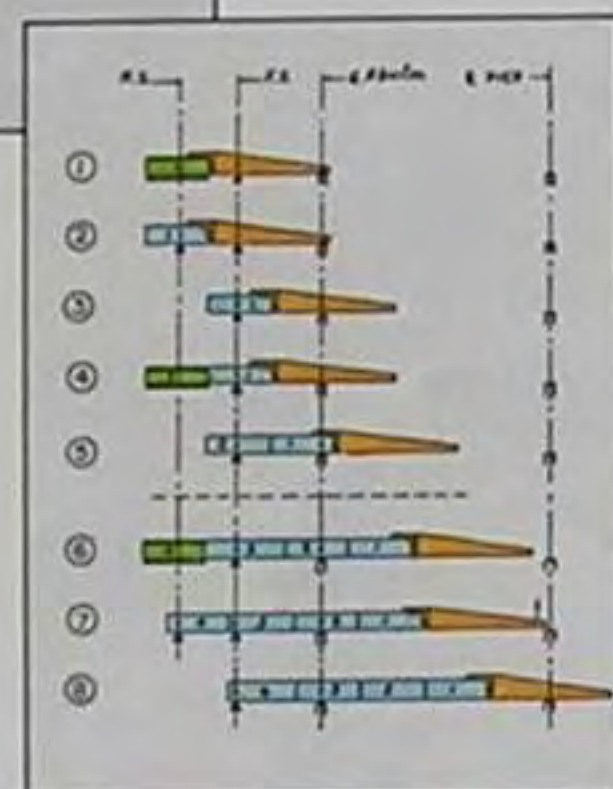


每个上部结构总长242米，典型跨42米。单箱在横桥向和顺桥向都施加预应力。顺桥向预应力筋是直径36毫米的高强Dywidag螺纹钢筋。横桥向预应力筋是直径32毫米的高强Dywidag螺纹钢筋。

桥面宽12.8米。



逐步顶推



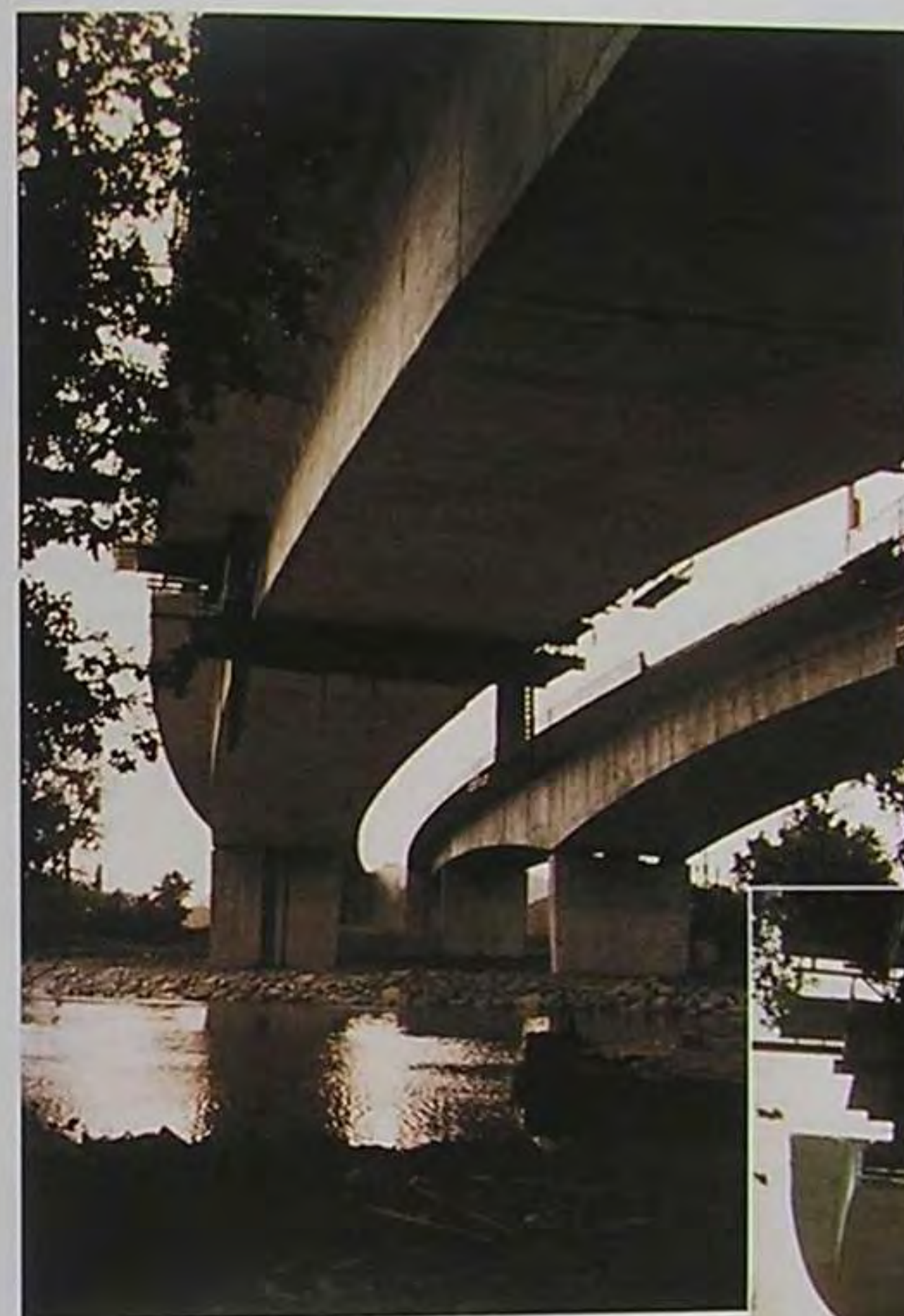
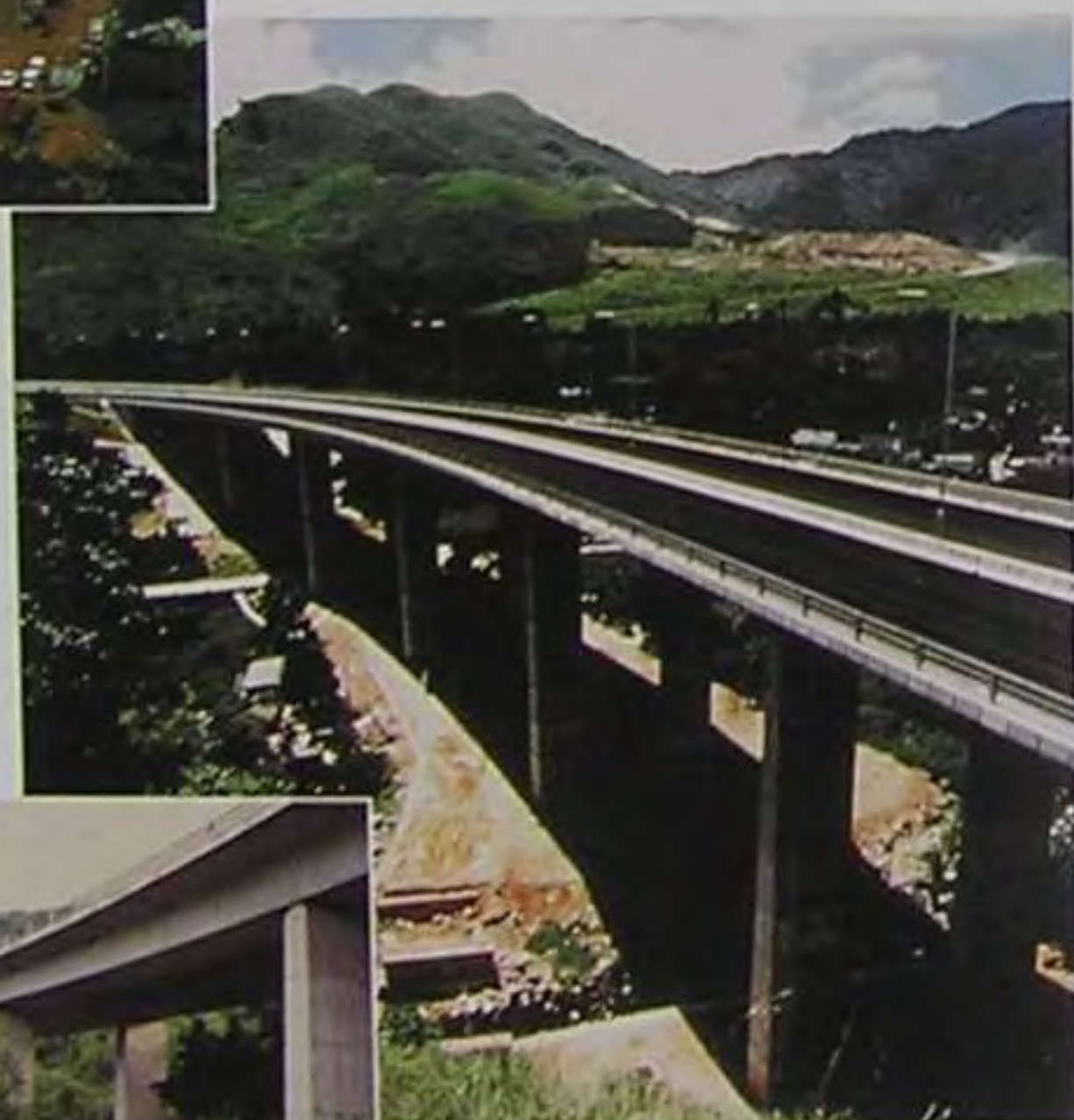
# 大埔干线桥，中国，香港

一共8座桥要用顶推法施工，是香港地区第一次用这个方法。难点是其中一对桥不是等曲率曲线，其路线是一段圆弧、一段过渡曲线和一段直线。一般来说不能用顶推法施工。

由于路权受到严格的限制，不容许改变其路线。

我设法使顶推法能建造这座桥。方法是：使中心箱梁设计成一段圆弧曲线，从而得以顶推，而桥面则保持其复杂的线形（见上图）。结果桥面在箱梁上的位置连续改变，主梁各处横截面都不一样。

这样做使分析变得复杂，但桥得以成功地建造。



# 哲内西(Genesee)河桥，美国，纽约，Rochester

这是纽约州第一座用分段悬臂法建造的桥。于1981年完工。它有两个上部结构，沿着同一条曲线。

这个地区施工季节很短，所以，第一季先施工在河的一侧两半部分的上部结构，第二季再施工剩下的两半部分。

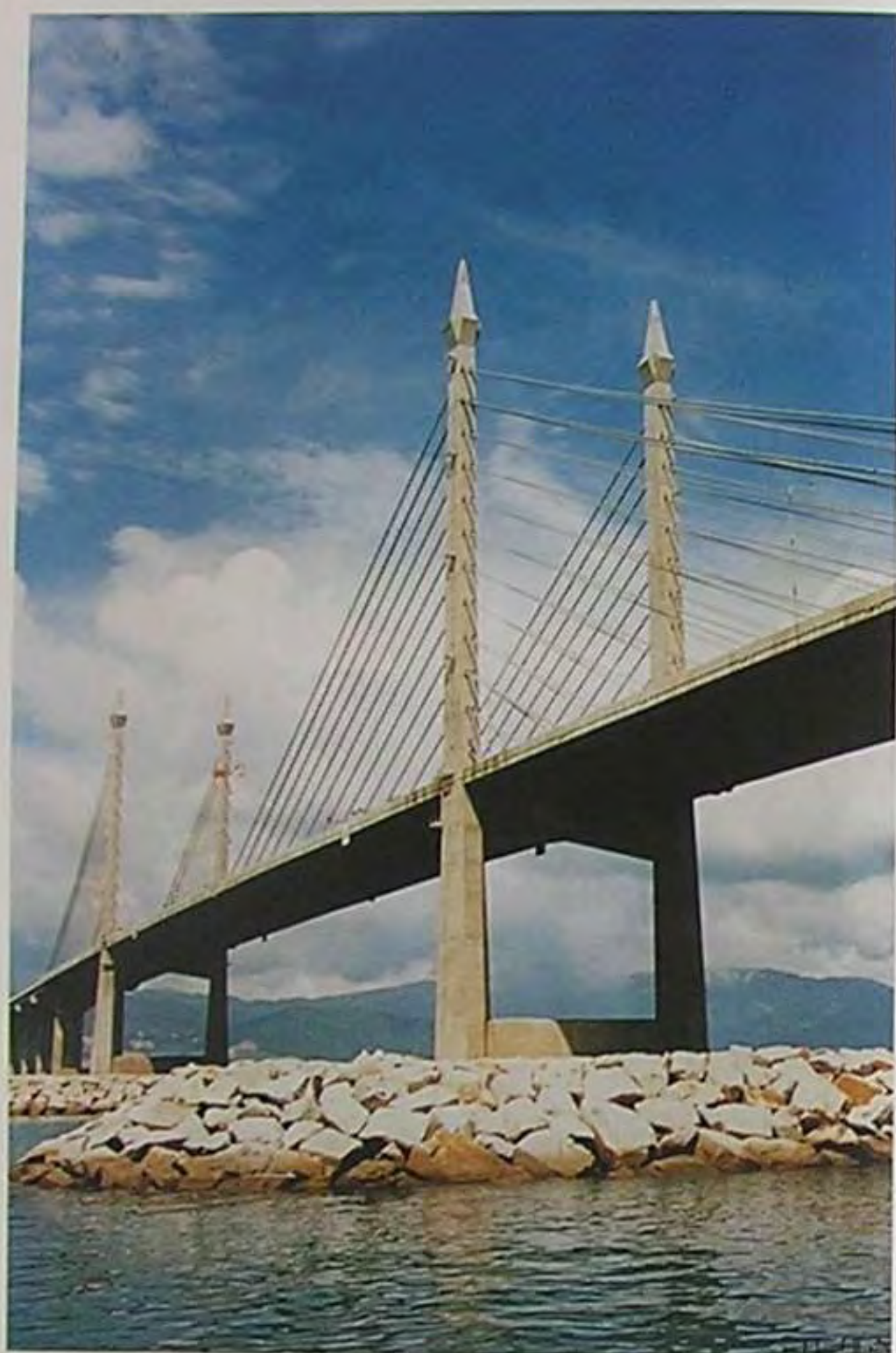
128米跨至今仍然是纽约州混凝土桥的最大跨度。

这是使用Dywidag螺纹钢筋做预应力筋的最后几座悬臂桥之一。

(图片蒙 Erdmann 和 Anthony 提供)







槟城 (Penang) 大桥, 马来西亚, 槟城



(图片蒙 Freyssinet Vigouroux 提供)



### 槟城大桥, 马来西亚, 槟城

槟城大桥把槟城岛与马来西亚半岛连接起来。它是世界上最早的柔性混凝土梁斜拉桥之一。现浇混凝土由两段组成的挂篮完成。先用一段挂篮浇注边梁, 随后把斜拉杆连接到边梁上。然后用后续模板浇注桥面板和横梁。

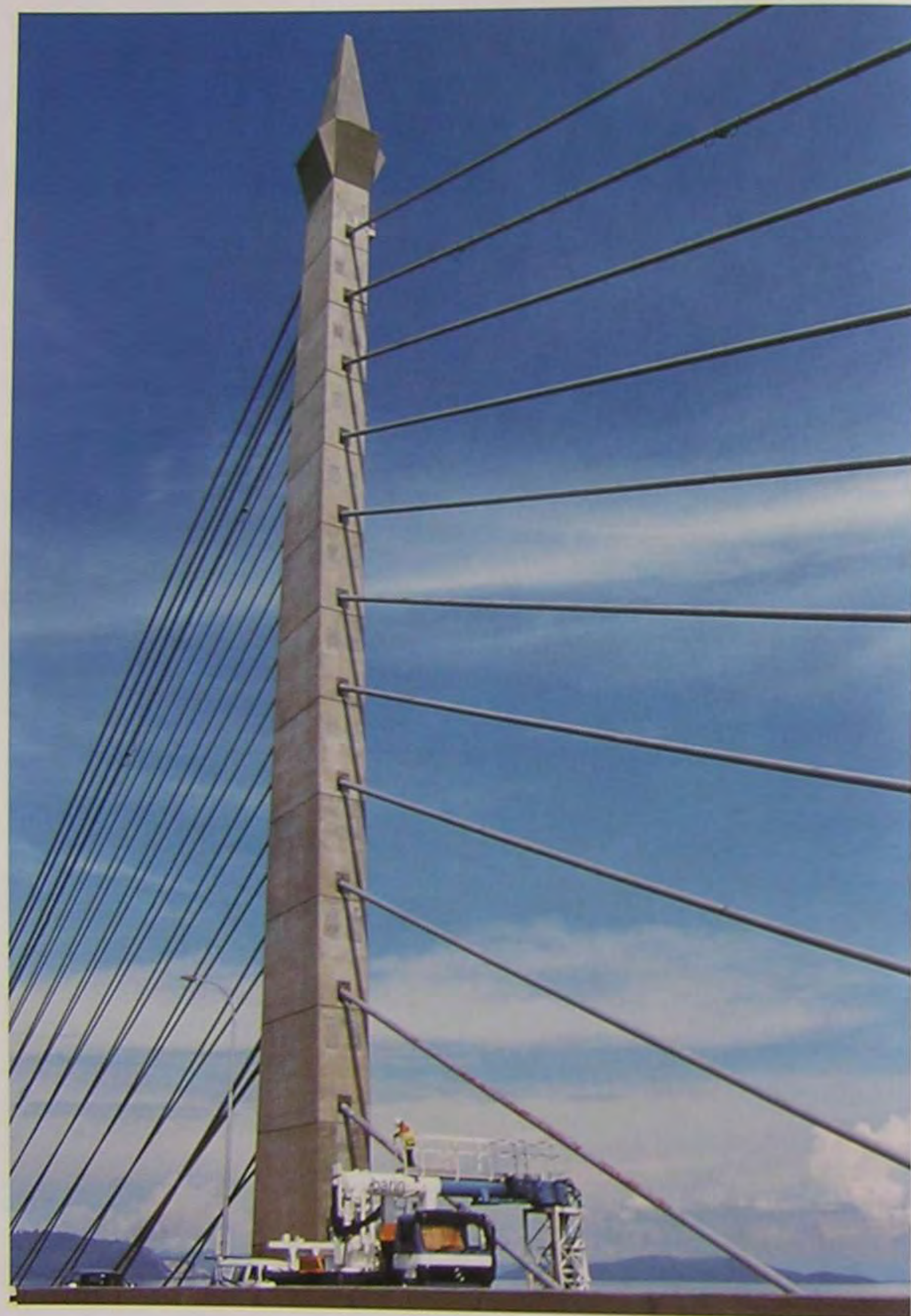
每根斜拉杆都由直径 32 毫米的高强 Dywidag 螺纹钢组成, 外套钢管。拉杆由 15 米长钢筋段用特别的接头连起来。钢管用熔透焊连接, 并用超声和 X 射线检查。做了大量关于钢筋、接头、锚头和焊接钢管的疲劳试验, 以保证拉杆在循环荷载下的安全性。

施工时, 我让 York Kay Chan 先生到现场帮助承包商现代公司。我相信完工后他已经喜欢吃爱韩国泡菜了。

由于时差, 在总部办公室和现场通电话是很辛苦的。York Kay 给 Chung Sing Hsieh 或 Cheryl Fine 打电话时, 其中一方多是正在半睡眠。

在其完工时, 槟城大桥是东南亚第一座斜拉桥。





檳城大桥, 马来西亚

(图片来自 Freymonet Vigouroux 提供)

铜陵长江大桥, 中国, 安徽

(图片来自 铜陵市提供)



武汉长江二桥, 中国, 武汉

武汉长江二桥主跨400米。它是连接长江南北两岸的主要通道。桥面是混凝土箱梁。斜拉杆用镀锌平行钢丝外包高密度聚乙烯套管, 并使用冷铸锚头。



(图片来自 SMEDI 提供)

杨浦大桥, 中国, 上海

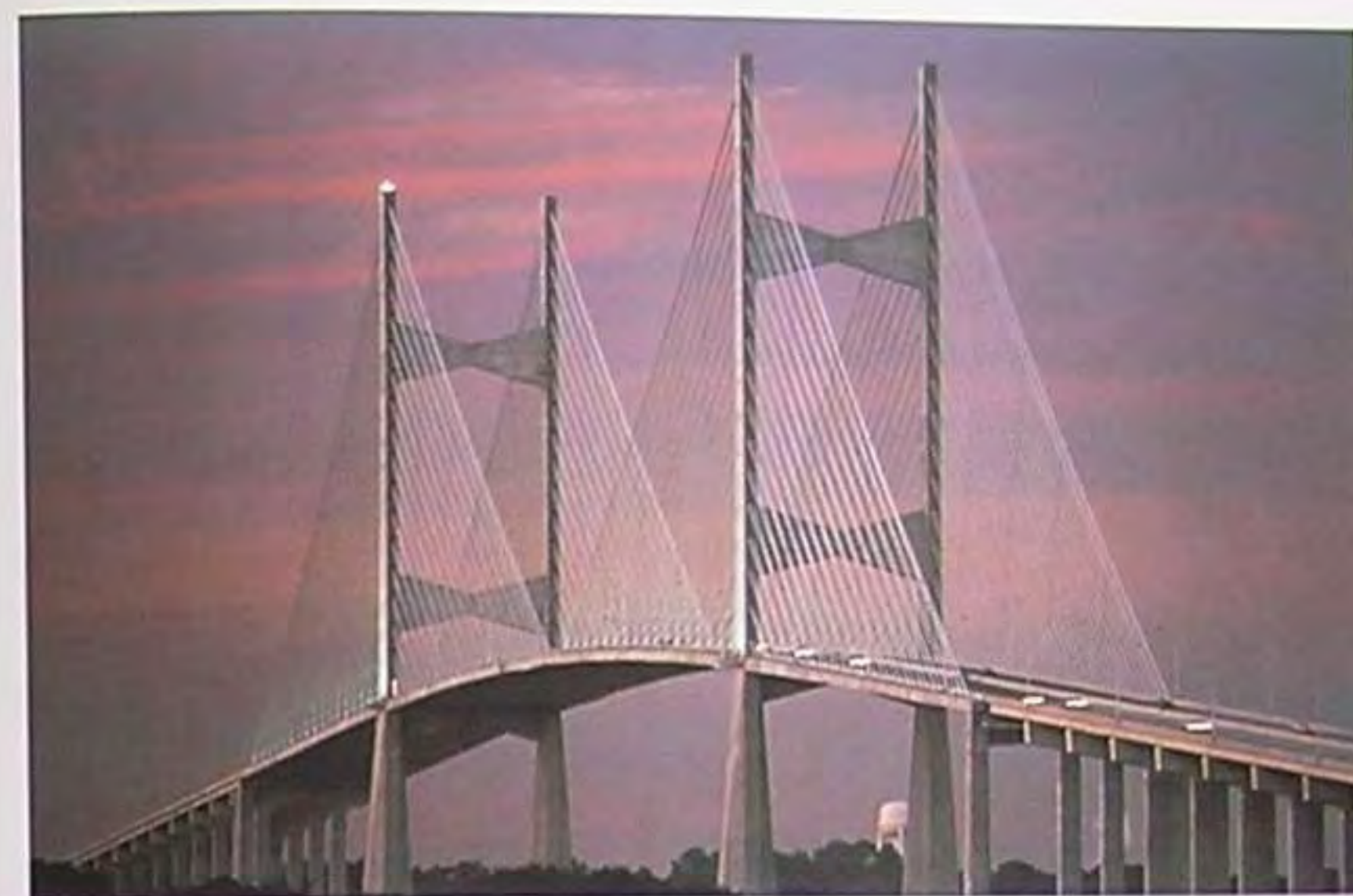
上海的杨浦大桥主跨602米。1994年完工时是世界最大跨。它是为发展黄浦江对岸的浦东新区(一个新兴工业区)的基础设施建设的一部分。设计和施工用了29个月。

桥面用联合梁。边梁是钢箱梁。桥面是预制混凝土板。斜拉杆用镀锌平行钢丝外包高密度聚乙烯套管, 并使用冷铸锚头。

南浦大桥的合同签字仪式很隆重。我被告知这是中国与外国工程公司签订的第一个桥梁方面的咨询合同。当时是1989年。







但点 (Dames Point) 桥,  
美国, 佛罗里达, Jacksonville

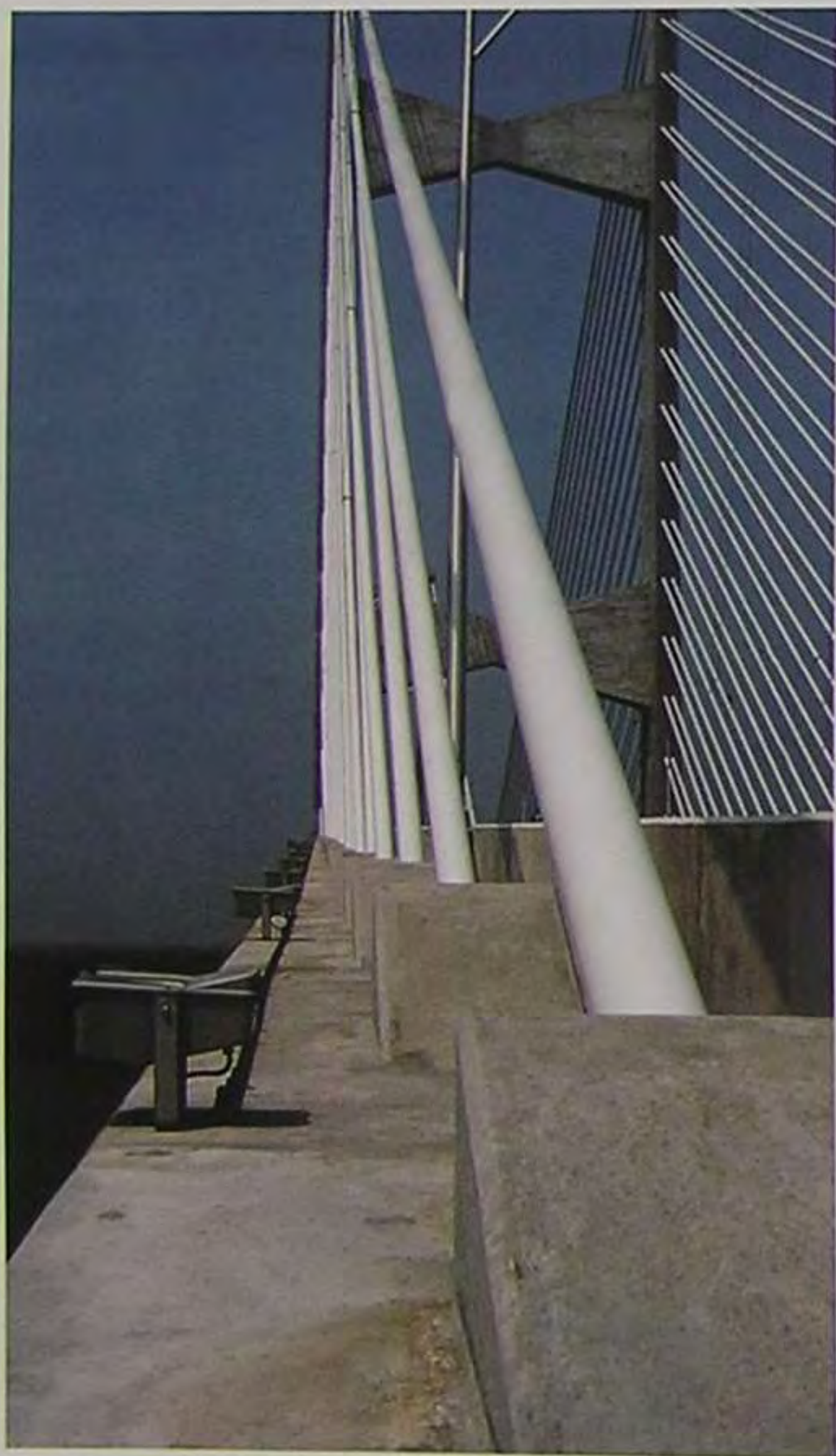




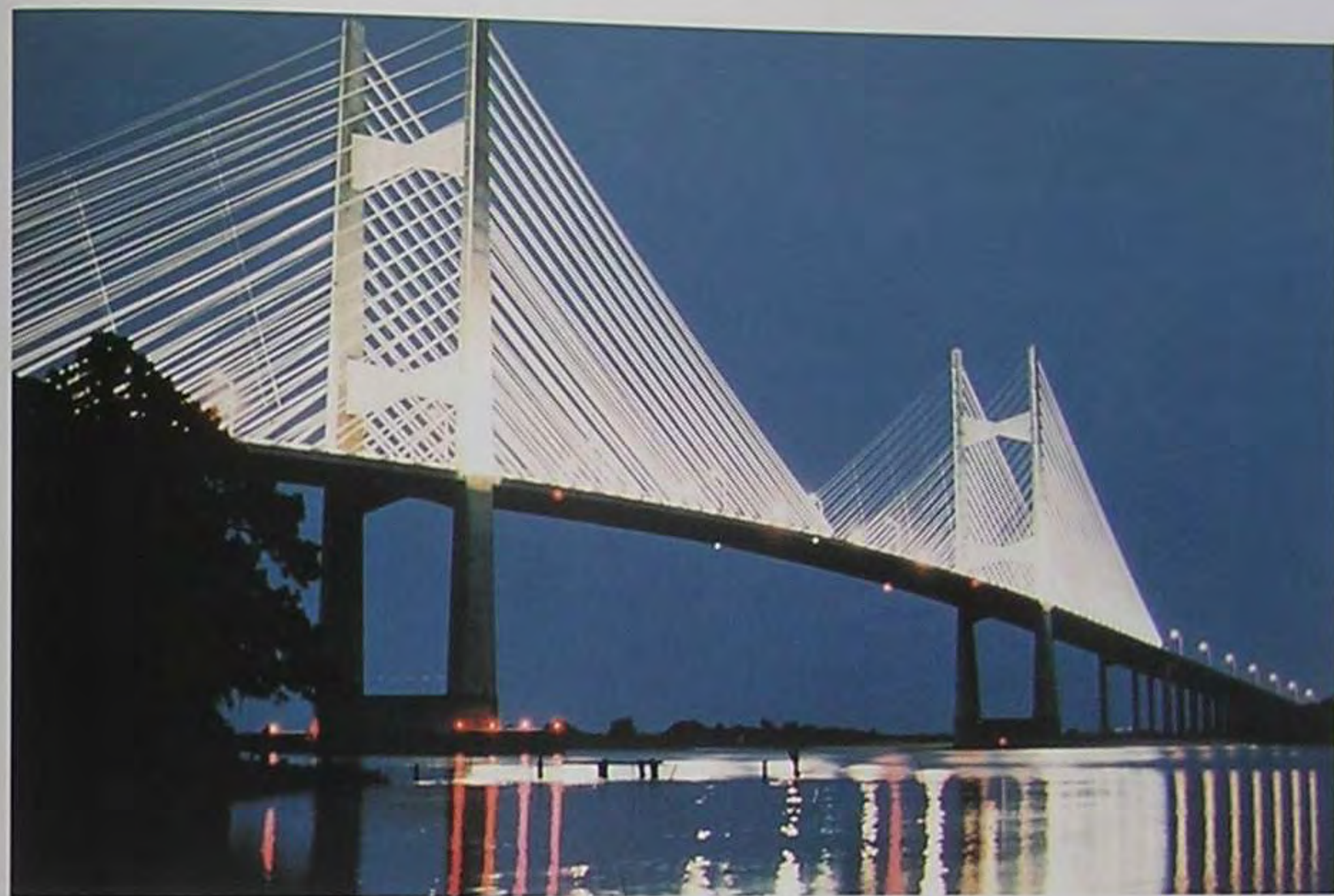
但点桥，佛罗里达，Jacksonville

斜拉杆的颜色以红色、白色和金色（黄色）最普遍。德国早期的桥多使用红色拉杆。纽恩坎（Neuenkamp）桥使用金色拉杆，在日光下十分灿烂。纽恩坎桥的拉杆少，所以金色使拉杆比较显著。但是，如果一座桥有密密麻麻的许多拉杆，金色则过分耀眼。

很多时候，我喜欢用白色。白色显得洁净而清纯。



桥塔的基础用巨大的护墩桩保护，以防止船舶撞击。



跨越圣·约翰河的但点桥，佛罗里达，Jacksonville

这座桥桥面34米宽，主跨396米。在1989年完工时，它是美国最大的斜拉桥。在2001年它仍然是美国最大的斜拉桥。





### 但点桥, 佛罗里达, Jacksonville

夜间灯光照亮了这座桥。我们应当照亮它们, 使我们得以昼夜欣赏它们!

感谢 Larry Wehner, 这位施工经理, 他除了管理施工外, 还为拍好但点桥的照片做了巨大的努力。这样我们才能在这里赞叹这个结构之美。

(所有 Dames Point 桥的图片蒙 Larry Wehner 提供)





## 但点桥

为建造这座宽而柔软的梁，如果用常规的挂篮，其重量将为350吨，实在太重了。于是，我发展了这种由斜拉杆支持的挂篮，用前拉杆支持挂篮的前端，这样挂篮的重量降低至125吨。

前拉杆与挂篮用附件连接。前移时，挂篮则悬挂于一对C型框架上。

施工时使用了4个挂篮。每个挂篮用四到五天可完成一个梁段。



拉杆用直径32毫米的高强Dywidag钢筋组成，外套钢管。钢管用带有特别设计的吊梁的吊机起吊。吊梁必须使钢管的每个吊点有相等的力，以免钢管弯曲。

钢管内部的空间则灌注水泥浆。

桥塔是实心混凝土柱。主跨和边跨的对应的拉杆在塔内交叉，锚固在塔柱对面。



在灌浆后给钢管涂漆。



## 雨-风振动

有些拉杆（并非全部）在小雨及风共同作用下，会有大幅度的振动。在上世纪80年代中期人们还未理解这一现象。但我们必须找到保护拉杆的方法。

与Gerry Fox先生、Khaled Shawwaf先生、Herb Globig先生和Bob Wardlow先生讨论后，我们决定用系索把几根拉杆连起来，使得它们相互阻尼。Khaled先生负责细部设计。

安装这种系索后再没看到拉杆的雨-风振动。

系索很细，用直径只有一厘米多的镀锌钢丝绳作成。实际上看不见它们。



### 但点桥——合龙施工

当桥的两半个部分的悬臂端逐渐靠近时，Walter Shakko先生开始指挥交通。一个挂篮被后移，另一个则前移，以完成合龙浇筑——桥的最后一段的浇筑。

全桥于1989年完工。



跨中设一个铰以传递两个悬臂间的剪力。每个悬臂的最后两个桥面梁的中部用一个短肋连接起来，以帮助最后一根桥面梁抵抗来自沿桥宽分布的剪力栓的剪力。

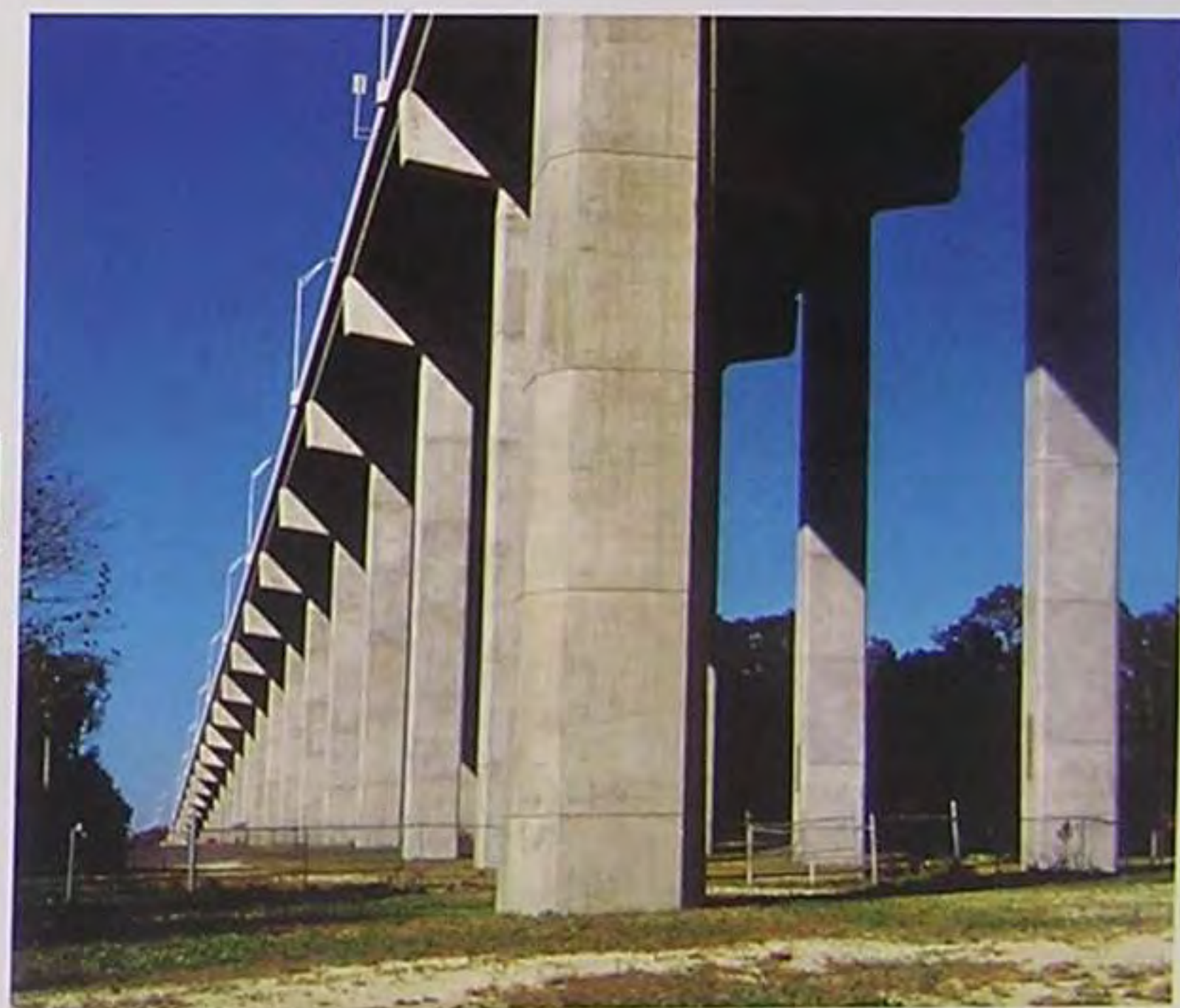
设计得好的挂篮应当能前后移动。假如但点桥的挂篮没有这个能力，那么在合龙位之前，必须先拆除其中一个挂篮。这样必将拖延工期。



但点桥的引桥，佛罗里达，Jacksonville



但点桥的引桥从这座斜拉桥的两端延伸出很远。我们重新设计了桥墩，以便更好地支撑预制混凝土梁和现浇桥面，以加速施工。







南国景色的魅力！

谭美 (Talmadge) 纪念桥，美国，佐治亚，Savannah



为便于维修，巨大的伸缩缝放在过渡跨，使得维修伸缩缝不影响斜拉跨。



谭美纪念桥，佐治亚，Savannah

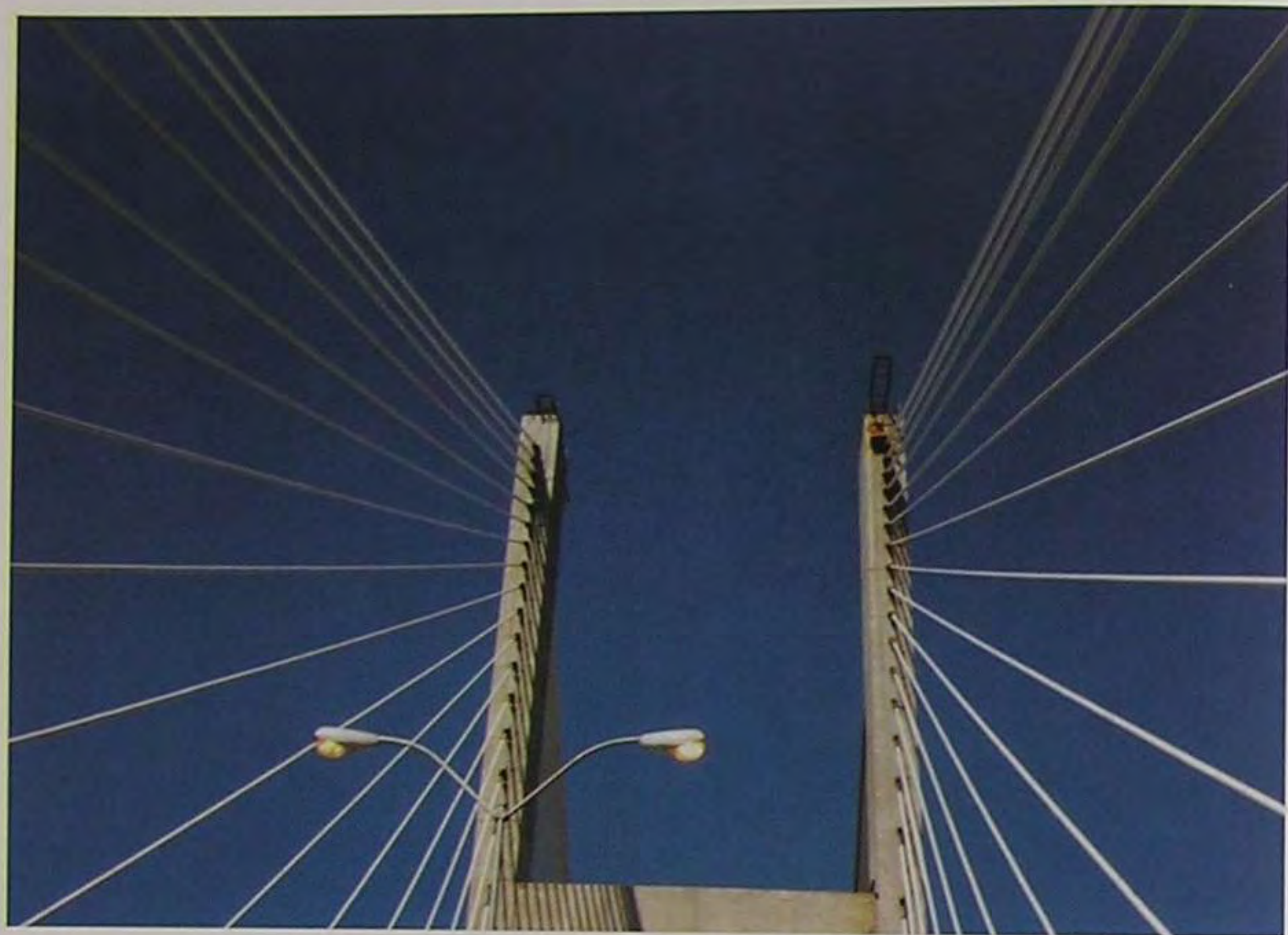
谭美纪念桥主跨 335 米，航道净空 56.4 米。桥塔和桥面都是混凝土结构。桥面宽 24.4 米。主梁截面高 145 厘米。桥面梁间距 9 米。桥面板厚 28 厘米，沿整个桥等厚度。

此桥于 1991 年完工。

美学：美学设计是桥梁设计中很重要的一部分。1984 年，我开始设计谭美纪念桥时，第一件事就是和 Charles Lewis 先生、Mike Davis 先生，以及雷治邦先生坐在一起研究这座桥的美学设计。雷显彬先生则把讨论中选出的桥形（特别是桥塔）的各种可能构图画下来。我们最后选中的形状既美观又牢固。

我们欣喜的是，在谭美纪念桥之后设计的许多斜拉桥都采用了与谭美桥构图相似的桥塔。





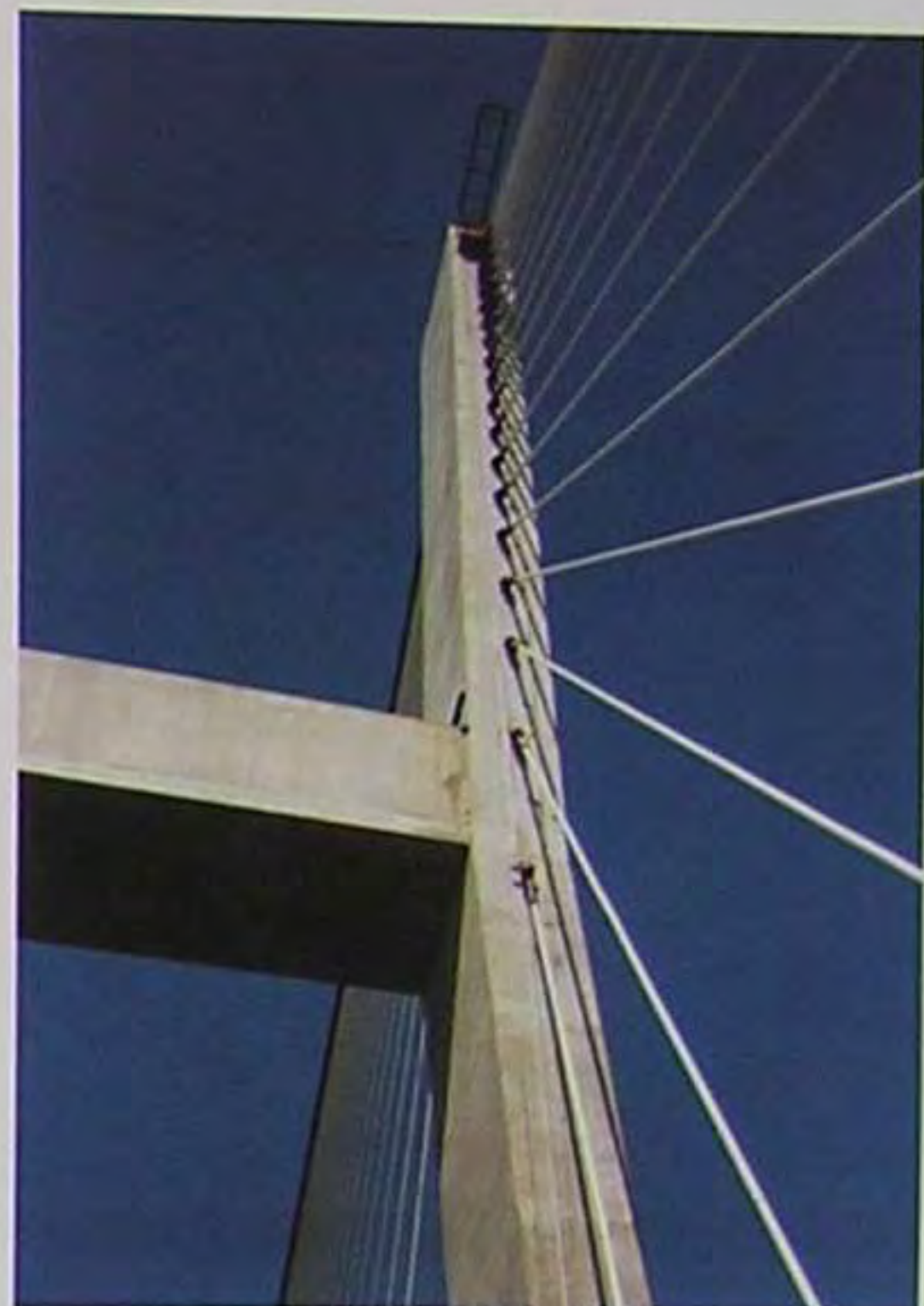
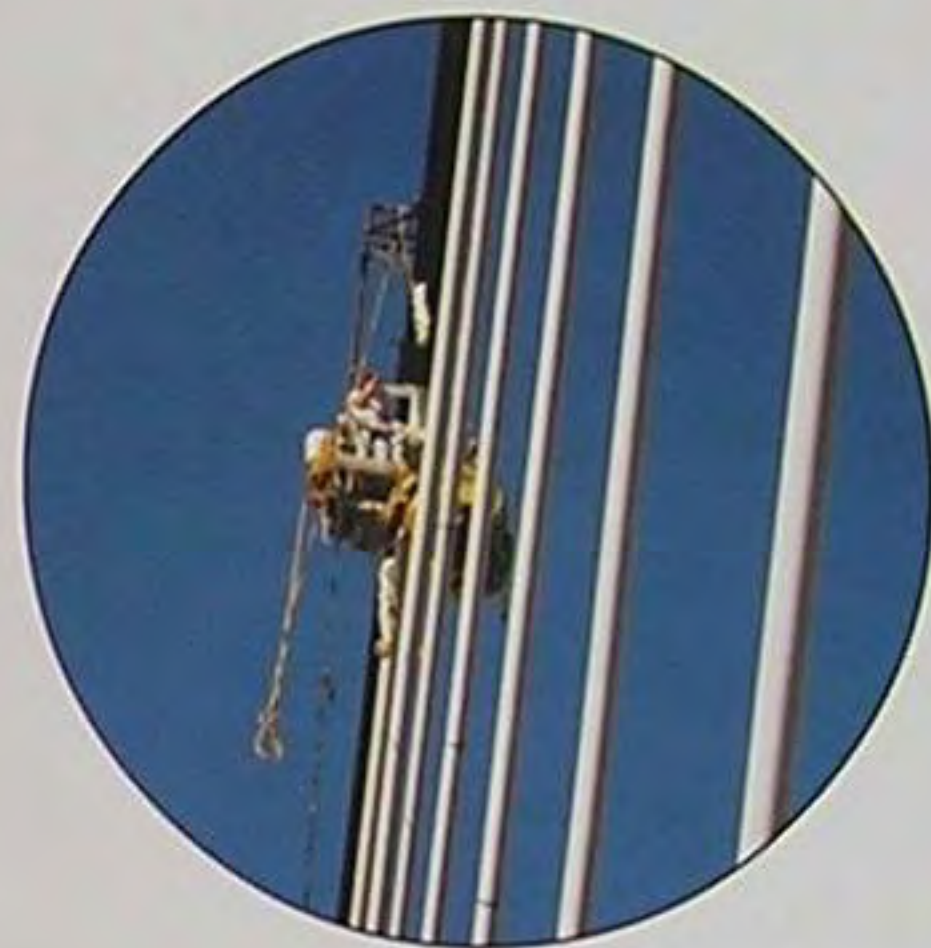
谭美纪念桥，  
美国，佐治亚，Savannah

谭美纪念桥的斜拉杆由直径 1.52 厘米的 7 丝钢绞线索股组成，外套高密度聚乙烯管。用白色聚氟乙烯胶带缠在黑色套管的外面。缠绕时胶带宽度的一半是重叠的。

白色反射日光，防止套管温度升高过快。胶带还能保护聚乙烯管。

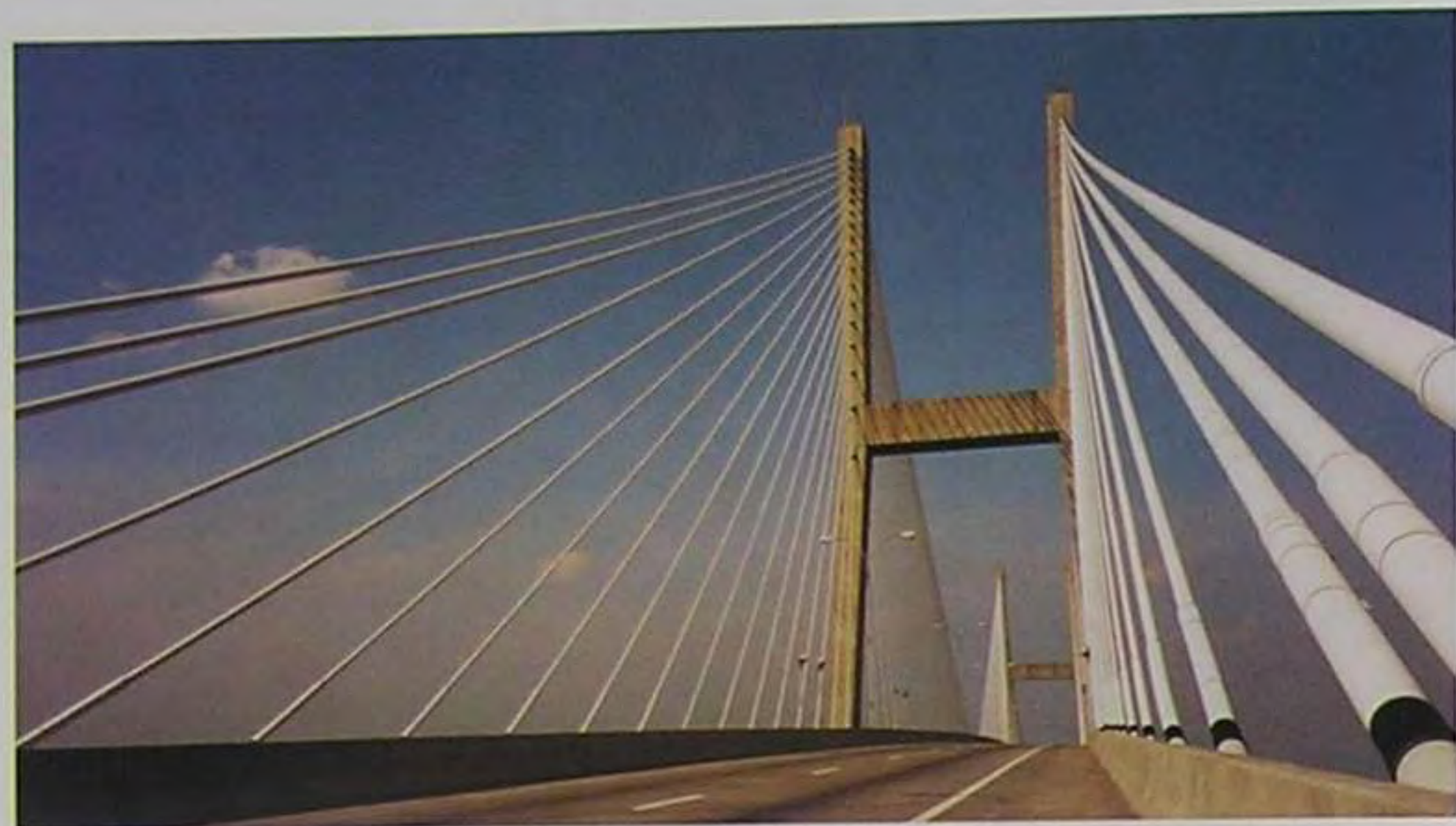
对拉杆来说，白色是很好的颜色。它既与蓝天相称，又能反射日光。

给拉杆缠胶带。



谭美纪念桥，佐治亚，Savannah





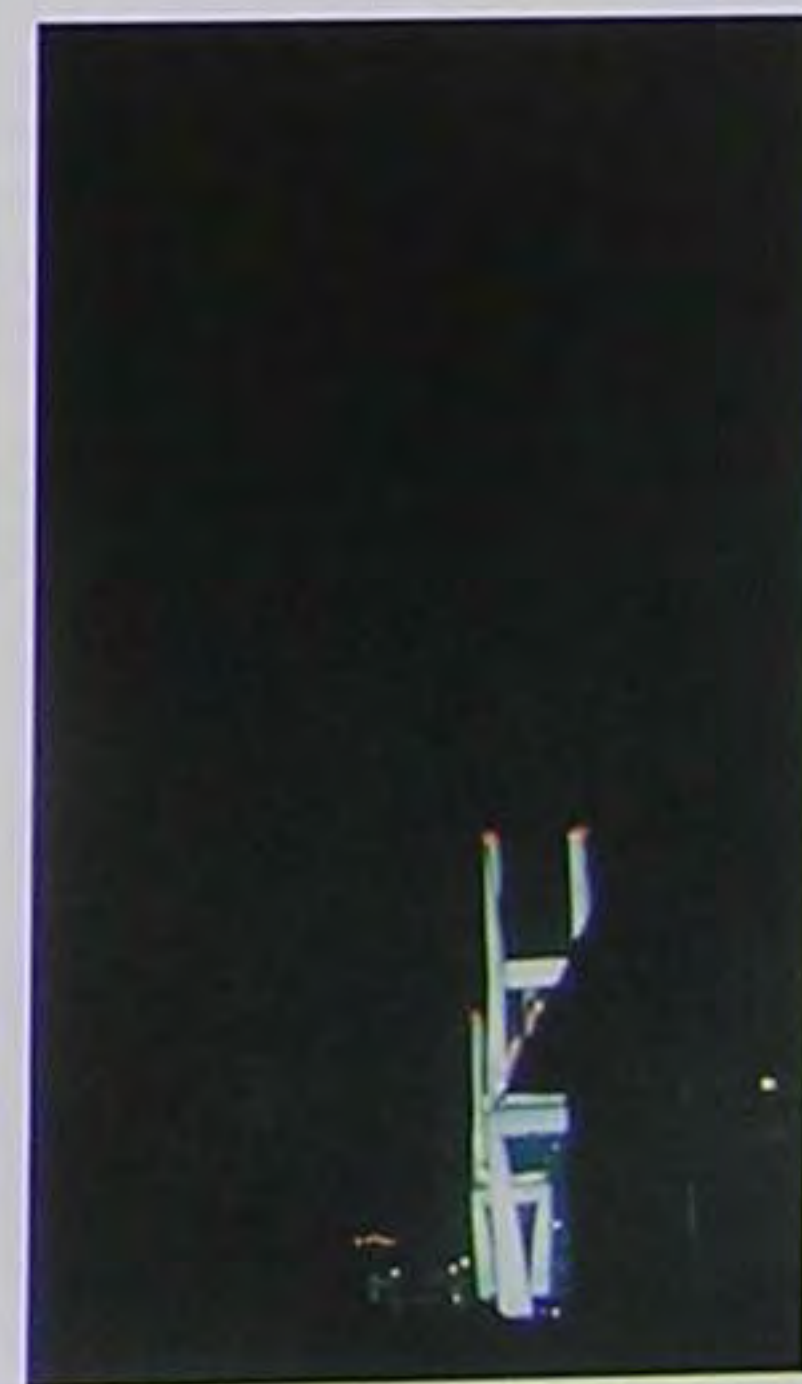
谭美纪念桥，  
美国，佐治亚，Savannah  
照片摄于2001年。



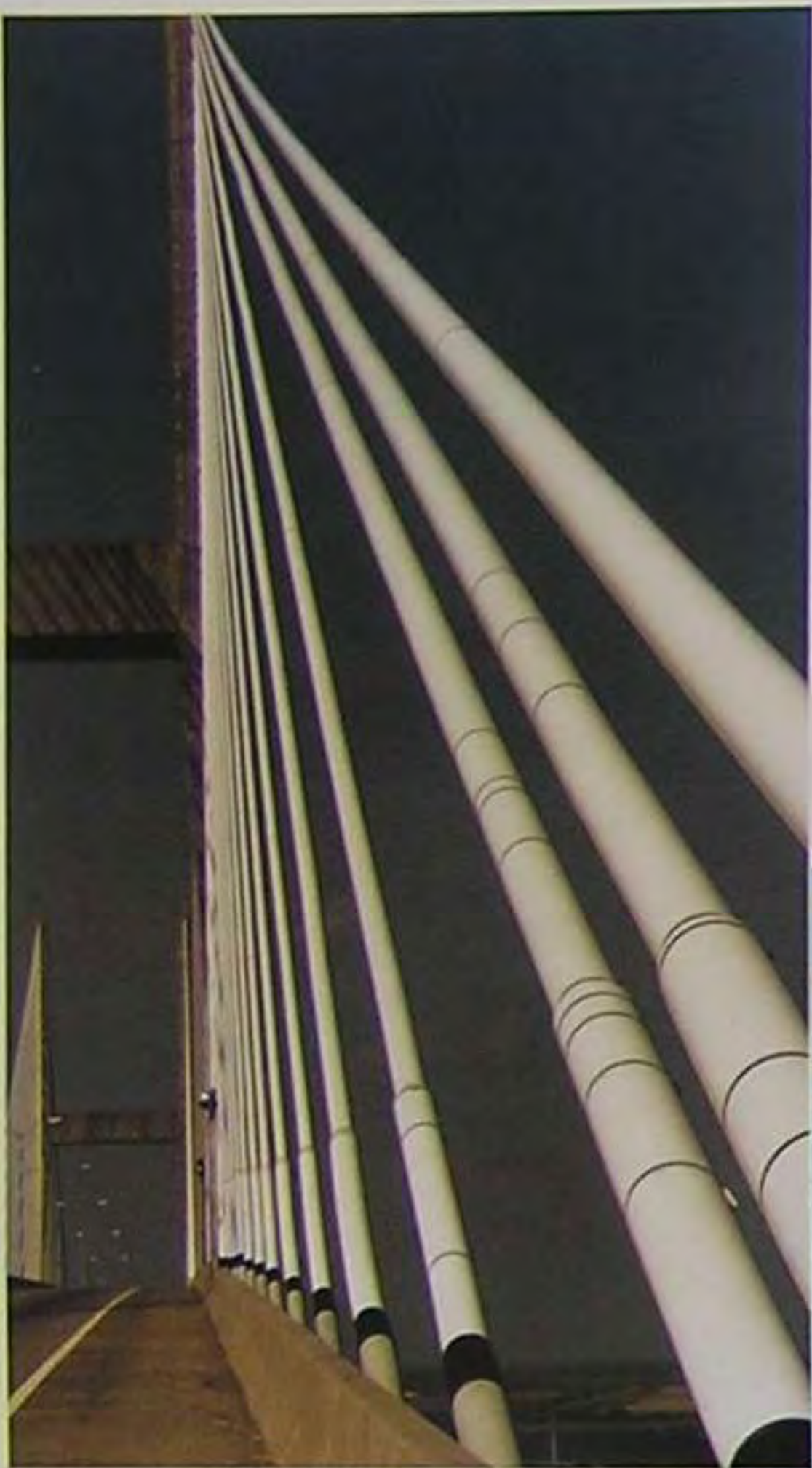
#### 谭美纪念桥

Savannah港的航道船运非常繁忙。桥在航道上方不能有装饰灯，因此灯光只能集中在两座塔上。其结果展现了这座桥的独特景象。

灯光下的景色！

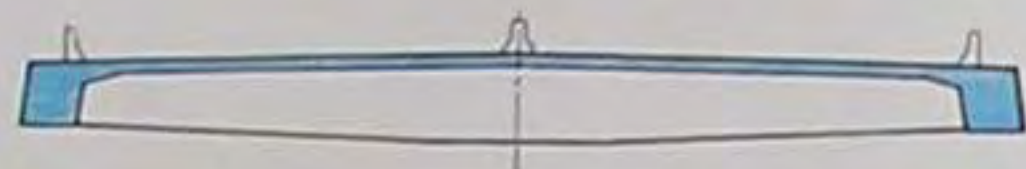




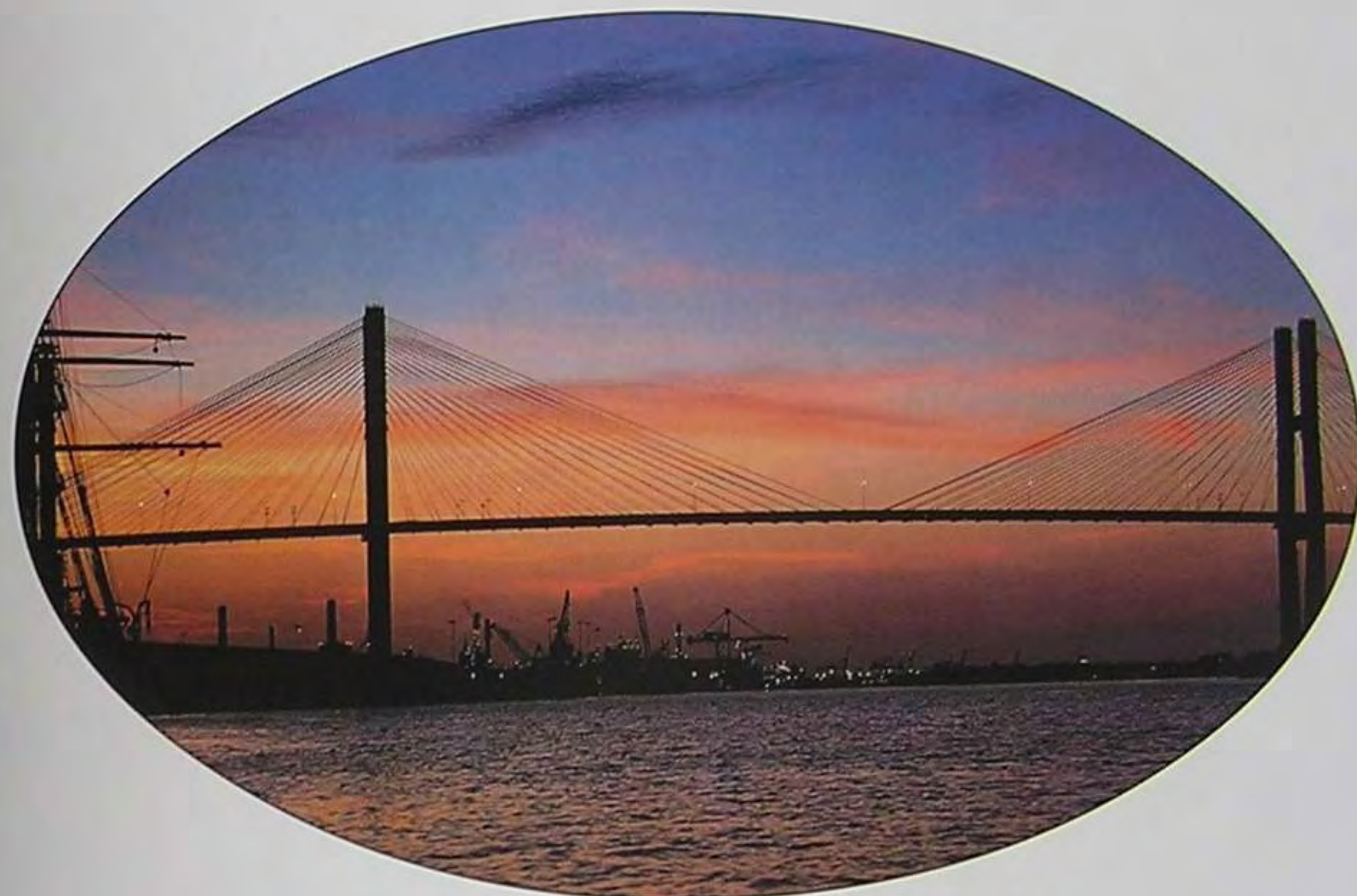
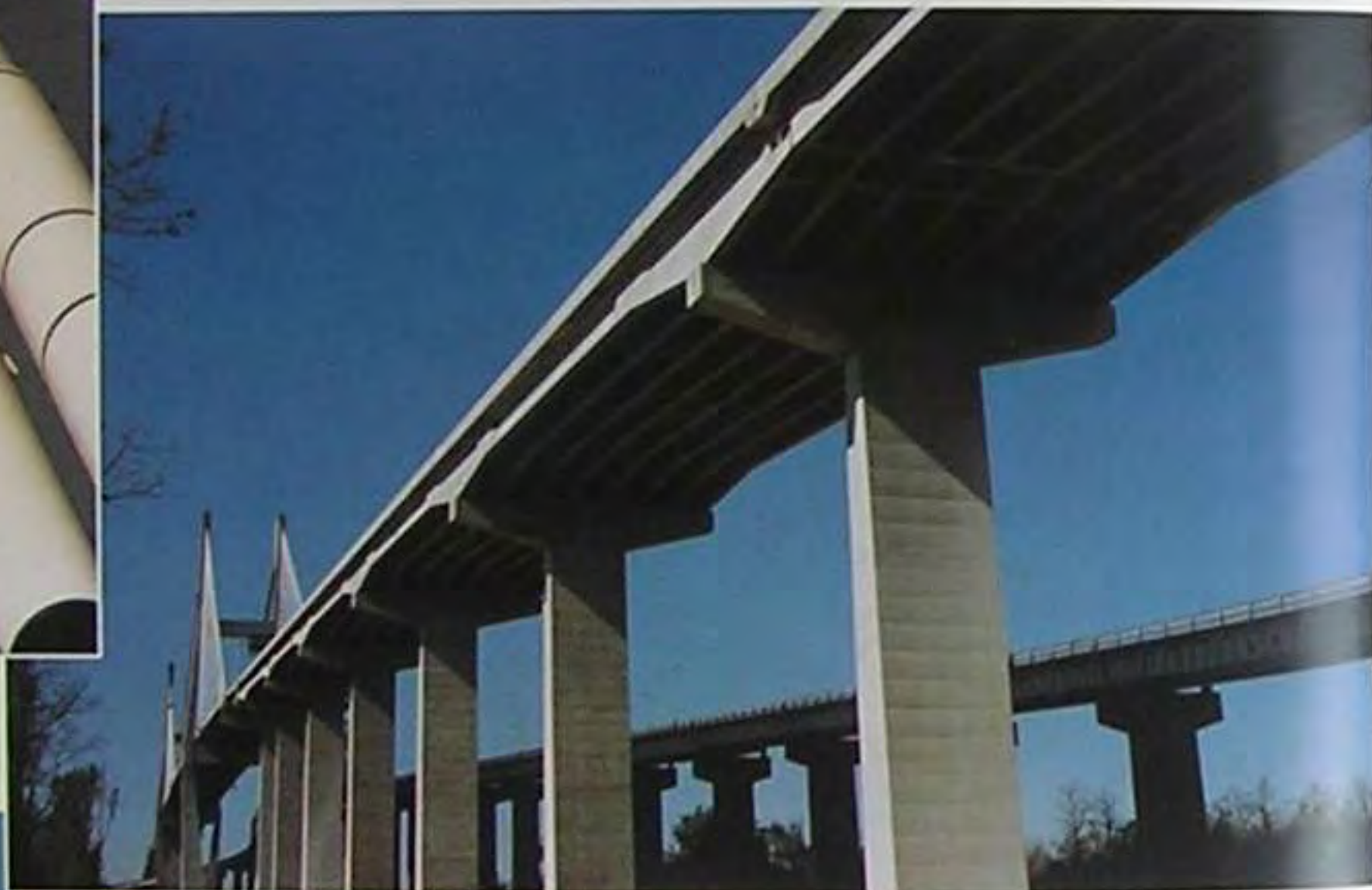


谭美纪念桥，佐治亚，Savannah

2001年拍的照片（左），1995年拍的照片（下），  
1990年拍的照片（右）。



24.4 米宽的主梁有高 1.45 米的边梁。



谭美纪念桥，Savannah 河上的日落

（照片由 Scott Jolliffe 提供）



莱茵河上的格尼 (Knie) 桥, 德国, 杜塞尔多夫



看来20世纪60和70年代杜塞尔多夫市建筑师Tamms教授喜爱斜拉桥。结果是这座城市的4座跨越莱茵河的桥全都是斜拉桥。但是，每一座都有自己的风格和特色。

在1970年完工时，320米跨的格尼桥不仅是世界最大跨的斜拉桥，而且是世界最长的悬臂梁，几乎像建一座水平的帝国大厦！

主跨不容许设临时支架，因此它的悬臂必须由塔伸到端墩——整整320米长。

桥的主梁是开口截面，由边梁以及带肋和横梁的桥面组成。这种“板梁”

截面抗扭刚度非常小。根据我的计算，如果悬臂超过第二个拉杆，其颤振临界风速将低于设计颤振风速，因此临时水平支撑系统被加到主梁下翼缘，使主梁成为半刚性箱梁。

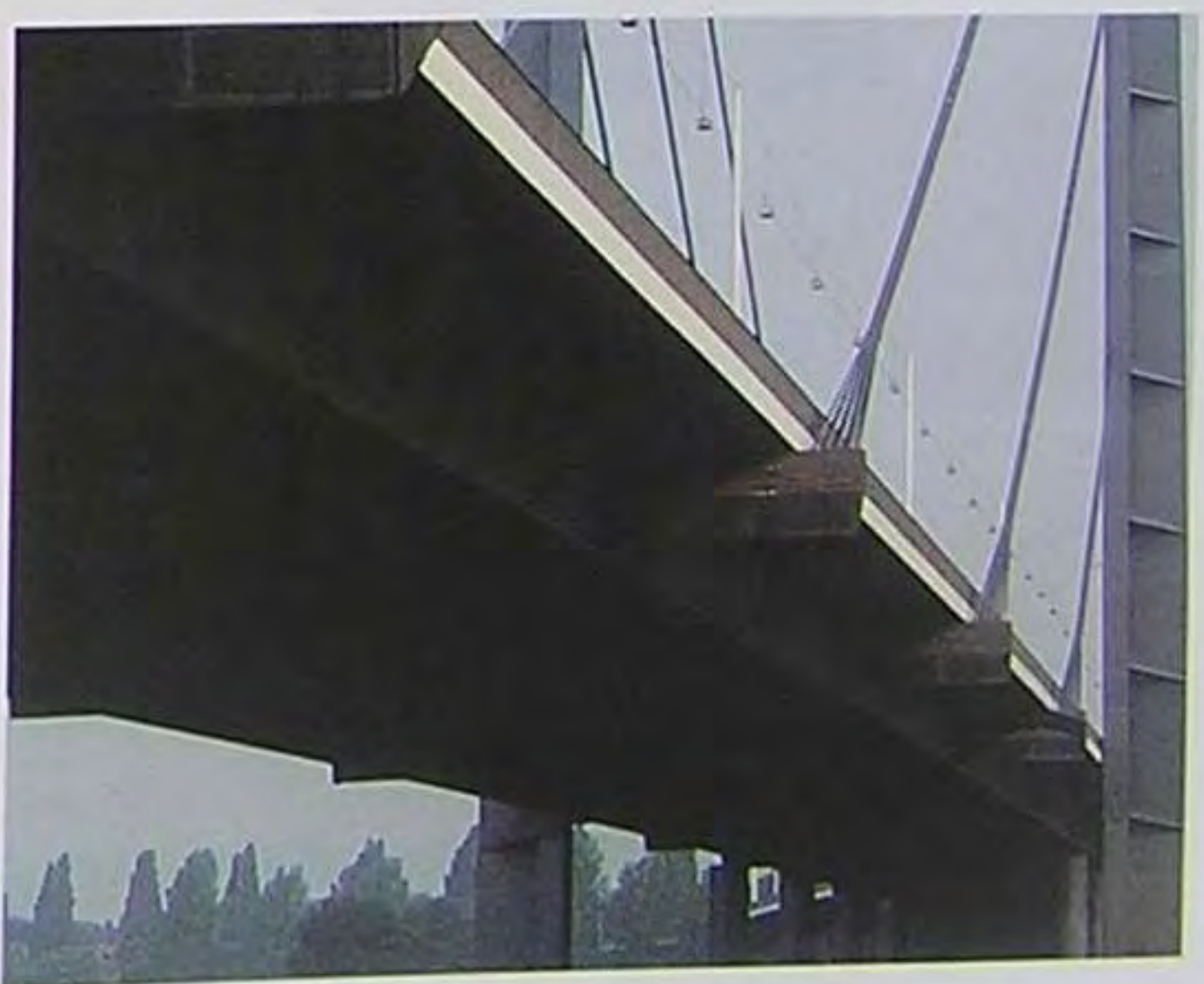
该支撑的尺寸设计得使颤振临界风速高于设计颤振风速。1965年还没有供斜拉桥动力分析用的计算机程序。我们的计算机，可能是当时德国最大的计算机，只有8kB内存，连刚度矩阵都放不下。于是，我改进了当时的传递矩阵法，大大减小了刚度矩阵占用的存储空间，以适应计算机的能力。

完工后，这座桥性能优异。这幅照片摄于建成31年后。

莱茵河上的格尼桥, 德国, 杜塞尔多夫

这位建筑师十分细心，对结构的每一个细节，直到每个螺栓的位置都很注意。每根拉杆承受3000吨荷载，而它们的锚座非常细，使整座桥的外观精致。

拉杆由多根自锁绞股绳索组成，连续地通过塔中的索鞍。







莱茵河上的格尼桥，德国，杜塞尔多夫

格尼桥，  
德国，杜塞尔多夫  
直线与曲线的成功组合。







基示乌吉  
(Kishwaukee)  
河桥, 美国,  
伊利诺依



这座桥有两个上部结构, 各宽12.5米。典型跨度76.2米。

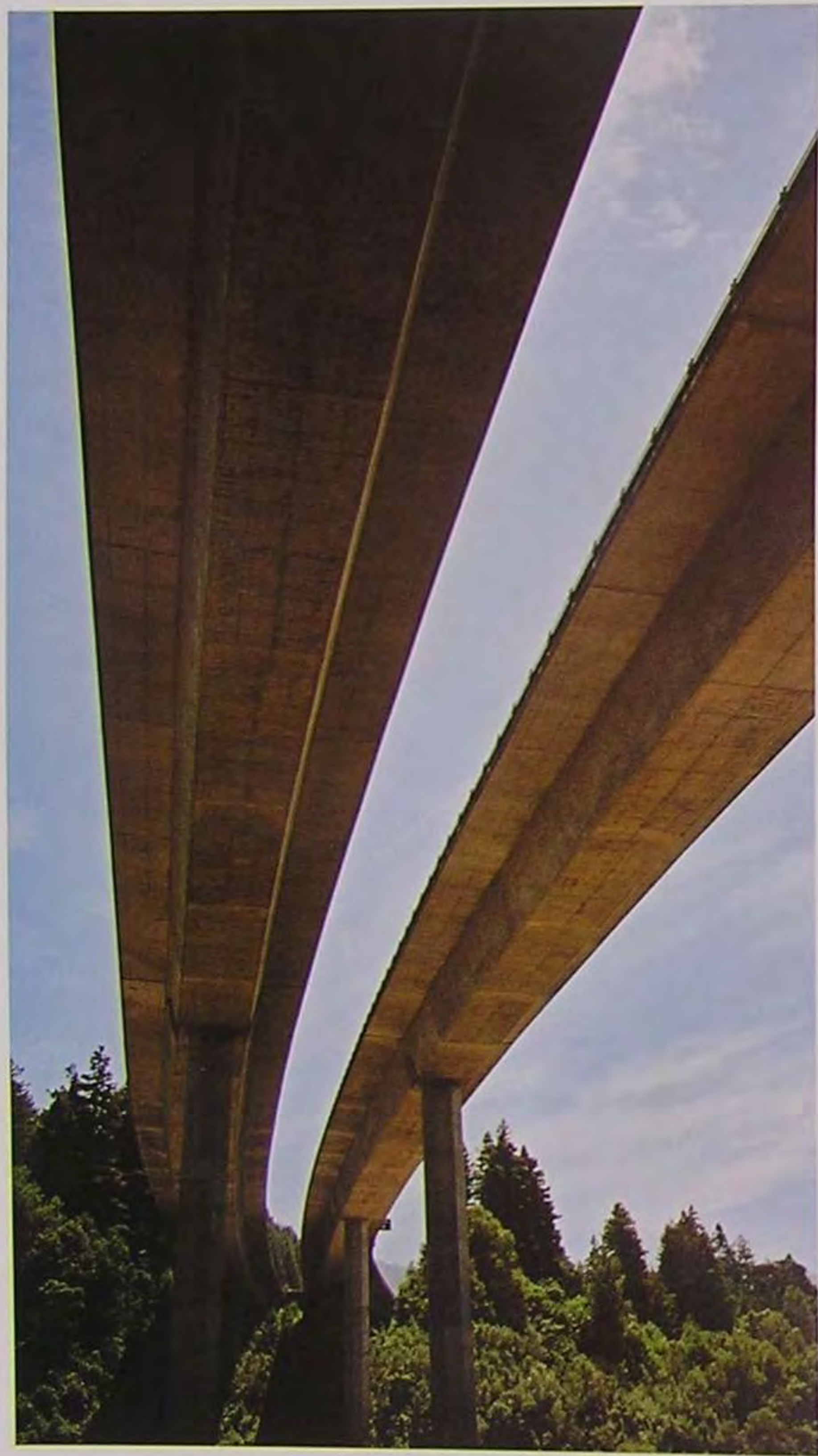
### 基示乌吉 (Kishwaukee) 河桥, 美国, 伊利诺依

基示乌吉河桥是美国第一座用桁式吊机吊装的预制分段桥。建于1981年。桁式吊机的桁架很轻, 在飞机轮胎上移动。钢筋是高强 Dywidag 螺纹钢筋。每隔一个梁段有一个接头。吊装工作进展迅速, 最高吊装速度是每天7块。吊装速度实际上受限于将梁段由32千米外的预制场运至现场的运输能力。

这是少数使用单个大型剪力栓的桥之一。



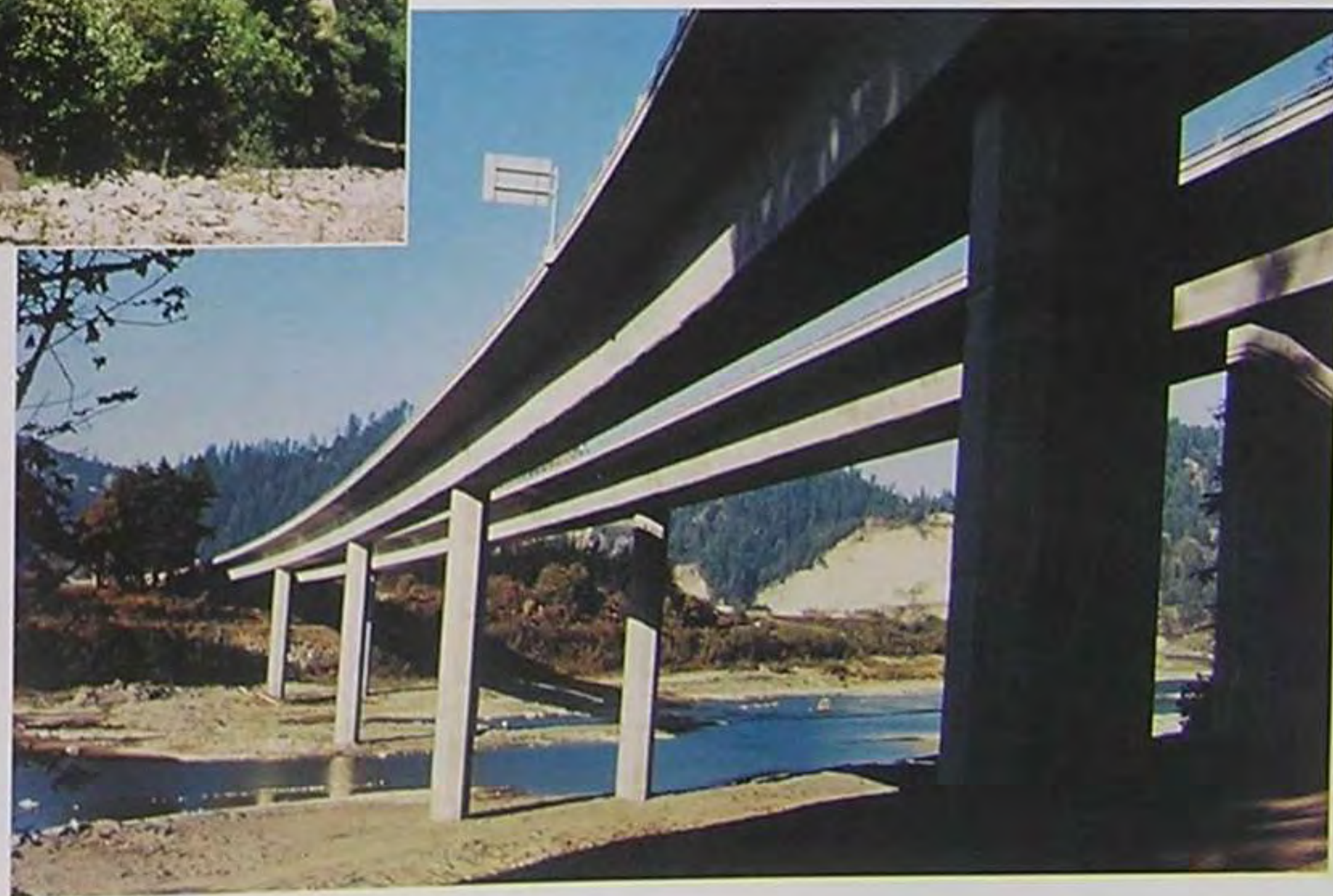




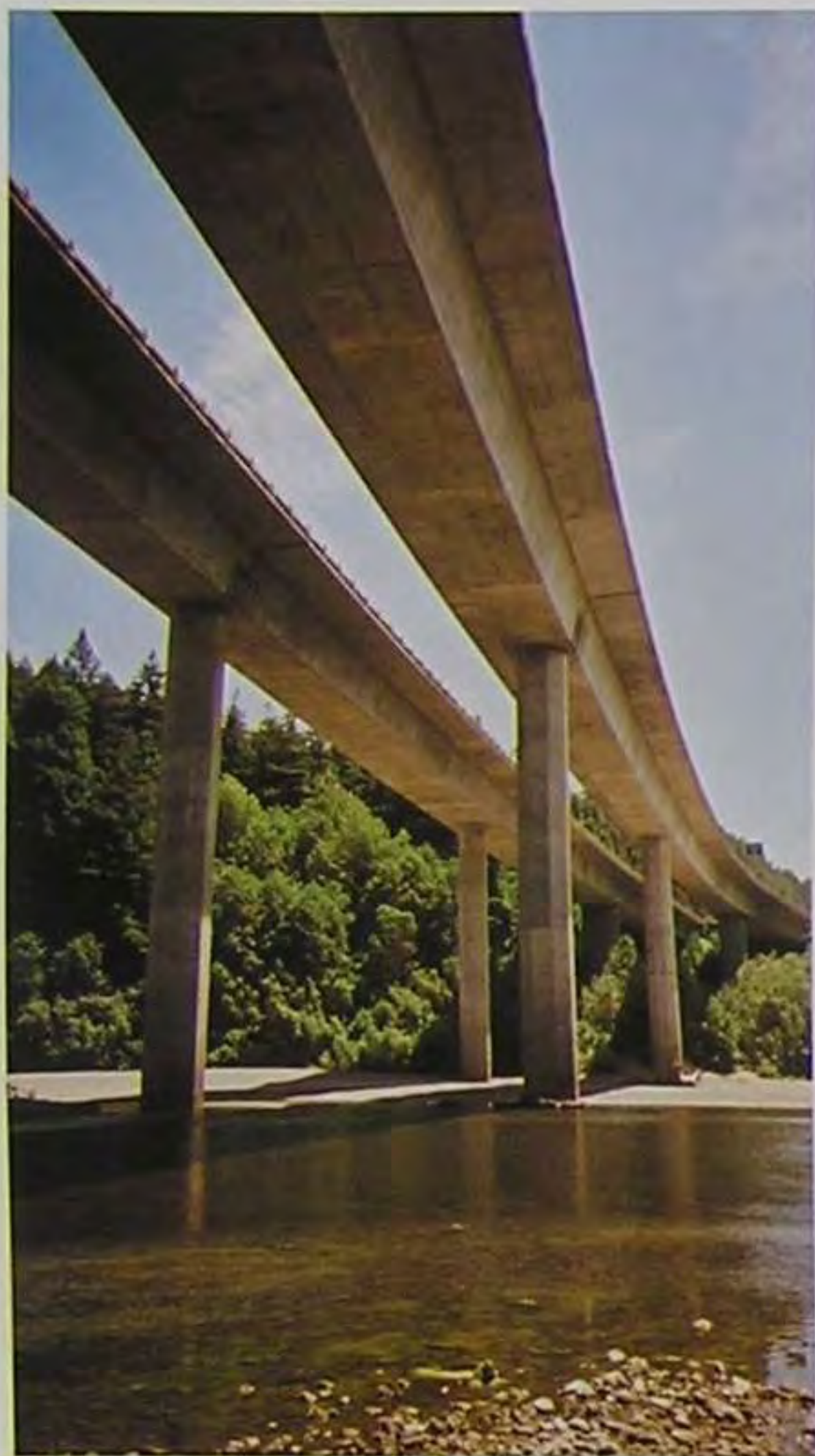
鳗鱼河 (Eel River) 桥, 美国, 加利福尼亚, Rio Dell



鳗鱼河桥,  
加利福尼亚, Rio Dell  
完工于 1976 年。







鳗鱼河桥——完工 25 年后



在高水头时和冬季，模板附在悬臂梁上。



鳗鱼河桥，加利福尼亚，Rio Dell

### 水的力量！

直径 32 毫米的钢筋被水。更正确地说，是被水中的圆木所弯曲。



这个山谷每年春季都有快速的洪水。洪水到达前，施工必须停止，所有设备必须远离现场以免被水冲走。

我们特地为这个工程设计了逐跨施工法。每跨被分成 10 米长的梁段。制作梁段的模板可以在由鹰架支持的平台上滑动。我们设计了一套很轻的木制滑动模板。这模板轻得可以用由 12 伏汽车电池驱动的卷扬机拉进（见右上图）。模板的设计使得在冬季或洪水期间它们固定在最后浇注的一段梁上，不需拆散或重新装配。





墨尔本市西线桥，  
澳大利亚，墨尔本



这是一个总承包(设计和施工)的工程。我们不仅设计了桥，而且设计了预制场、桁式吊机，还派出驻现场的施工助理。这座总长13.5千米的高架路跨度30米至50米。用7组模板预制了3600个梁段。4.7万平方米的堆放区能存放640个梁段。

梁段由在梁下部的门式吊机逐个起吊。

Down-Under 离家很远。Paul Towell 先生、Phil Lang 先生、Erich Aigner 先生和余靖国先生轮流去墨尔本的工地。他们的任务好像是半夜把纽约的同事叫醒，来问问题。

(所有墨尔本市西线桥的图片由 Bauderstone Hornbrook 提供)



美学和景观在这工程中居重要地位。椭圆形隔声罩很耐看。彩色的斜柱与景观融为一体。远处的高塔并没有结构功能，只是为了装饰。

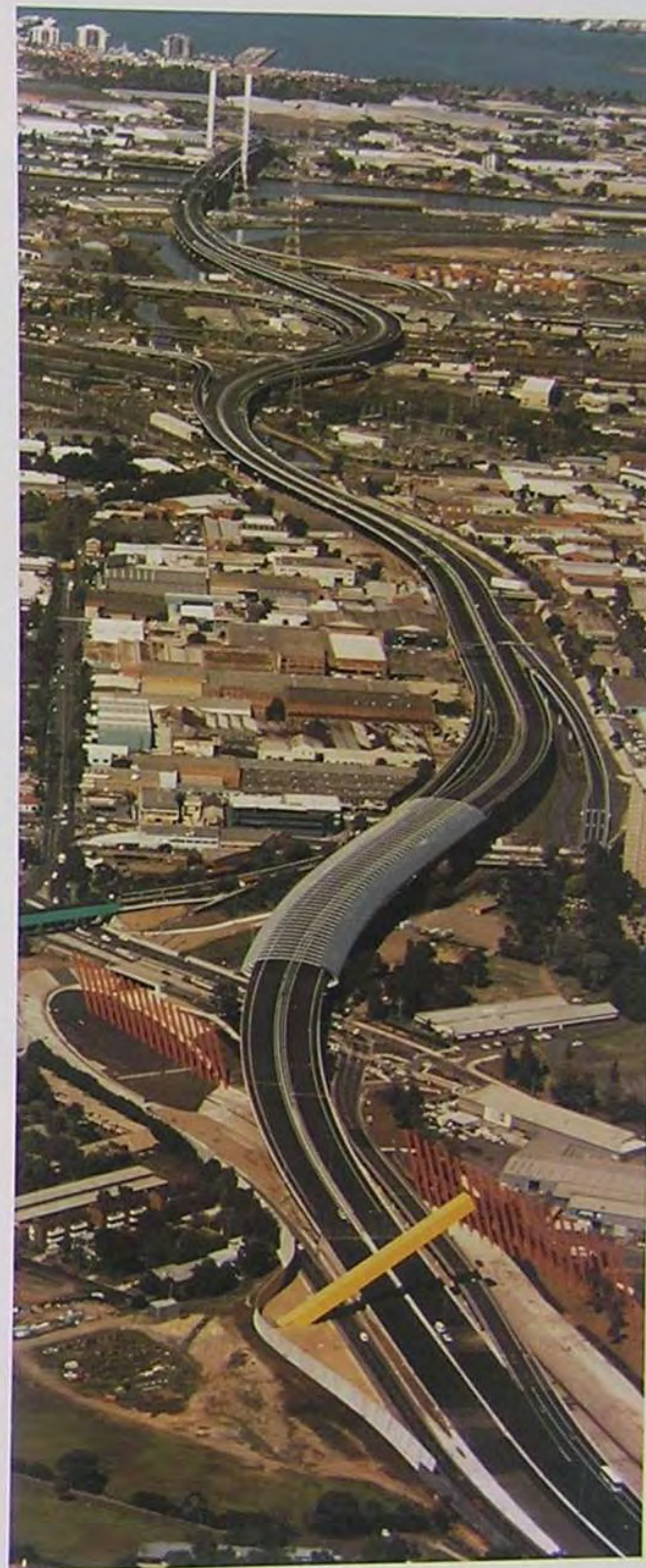


这是一个快速追踪的工程。而且生产必须遵守 ISO 9000。两者在美国是不太常见的。

李万鹏先生——我们最好的组织工程师——负责管理。黄柏伦先生——我们最迅速的分析工程师——负责计算。Hasan El-Natur——我们最好的经营工程师——负责生产，使这座桥成为出色的工程。

这个项目中，我们最有趣的讨论之一就是我和 Bruce Judd 先生、Tim Igham 先生商量怎样使护栏在悬臂板之前破坏。

墨尔本市西线桥，  
澳大利亚，墨尔本





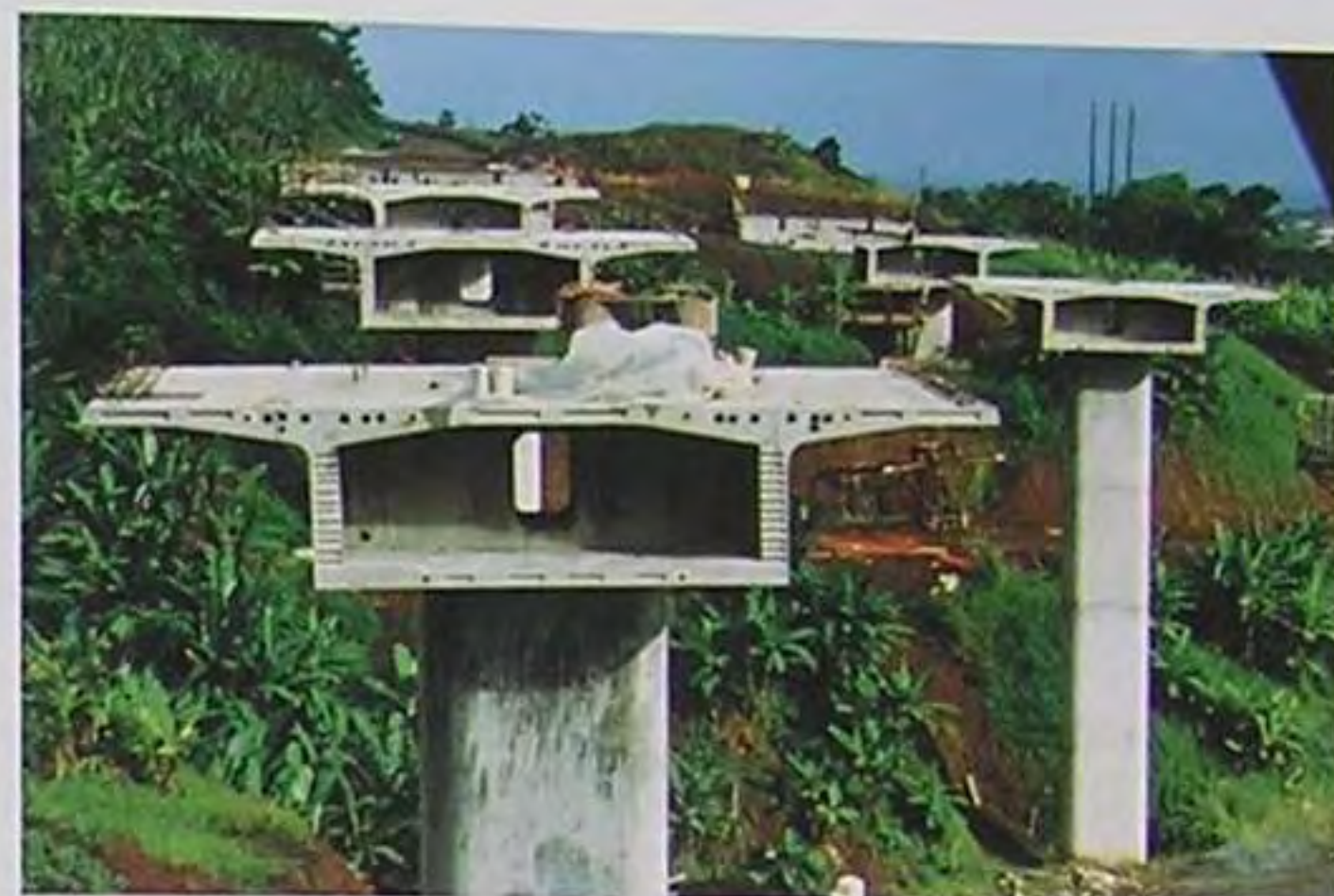


H3- 向风坡高架路，美国，夏威夷，瓦胡

此高架路长1.6千米，位于向风坡的山区。多数跨度在90至100米之间。出于美学考虑使用了竖直的腹板。因为两个上部结构沿曲线平行地延伸，我们觉得梯形箱梁不好看。

原来认为附近找不到足够的空地作预制场，所以按现浇法设计了这座桥。但承包商解决了这个问题，所以最后用预制分段施工法建造了这座桥。承包商使用了高强混凝土做预制梁段，使腹板厚度减少5厘米。

这座桥蜿蜒穿行在山间，给车上的人一派壮观景象。



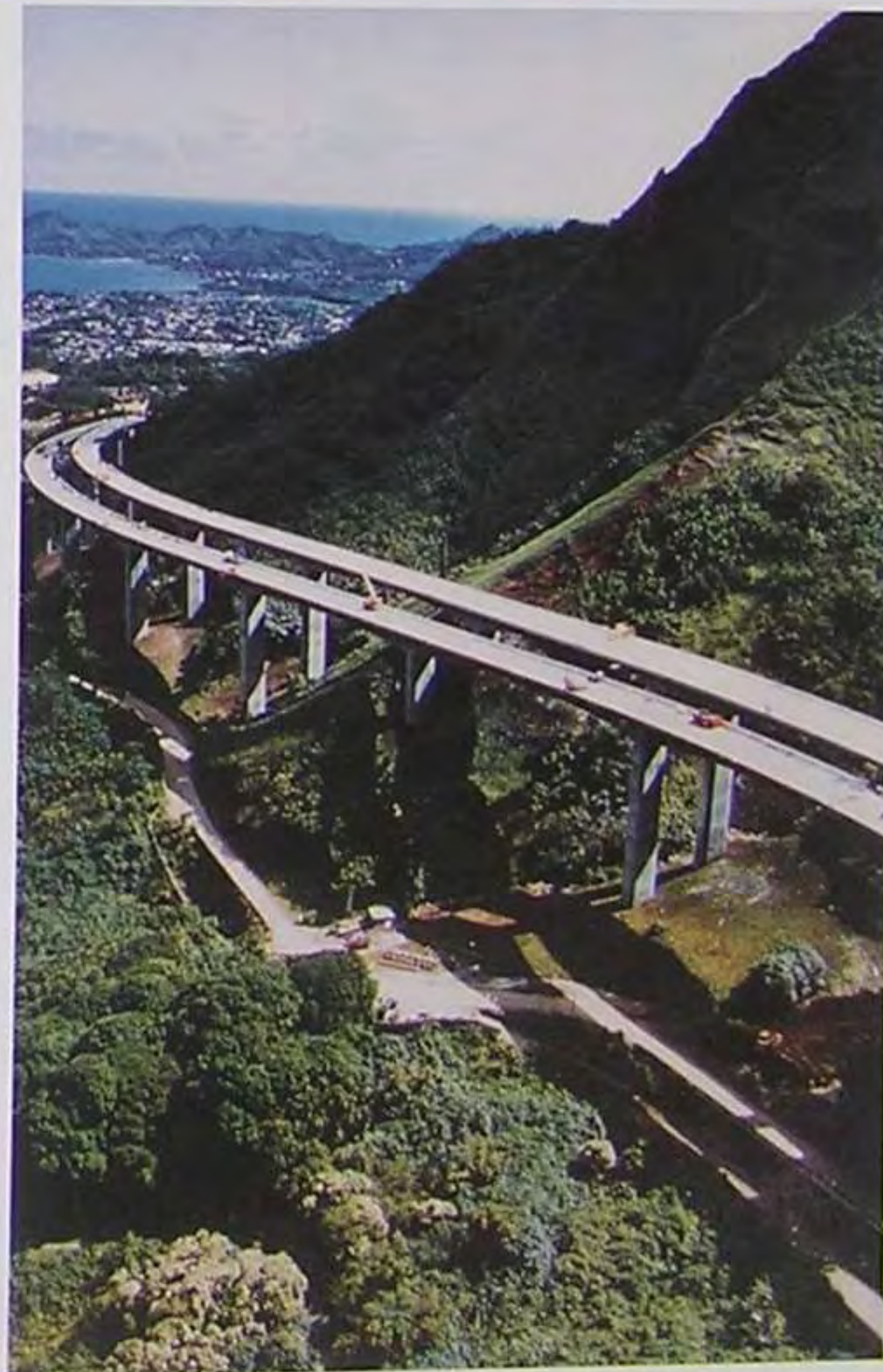
H3- 向风坡高架路，  
夏威夷，瓦胡



H3- 加尼奥跨线桥，美国，夏威夷，瓦胡

我相信生活在夏威夷就像在天堂一样！

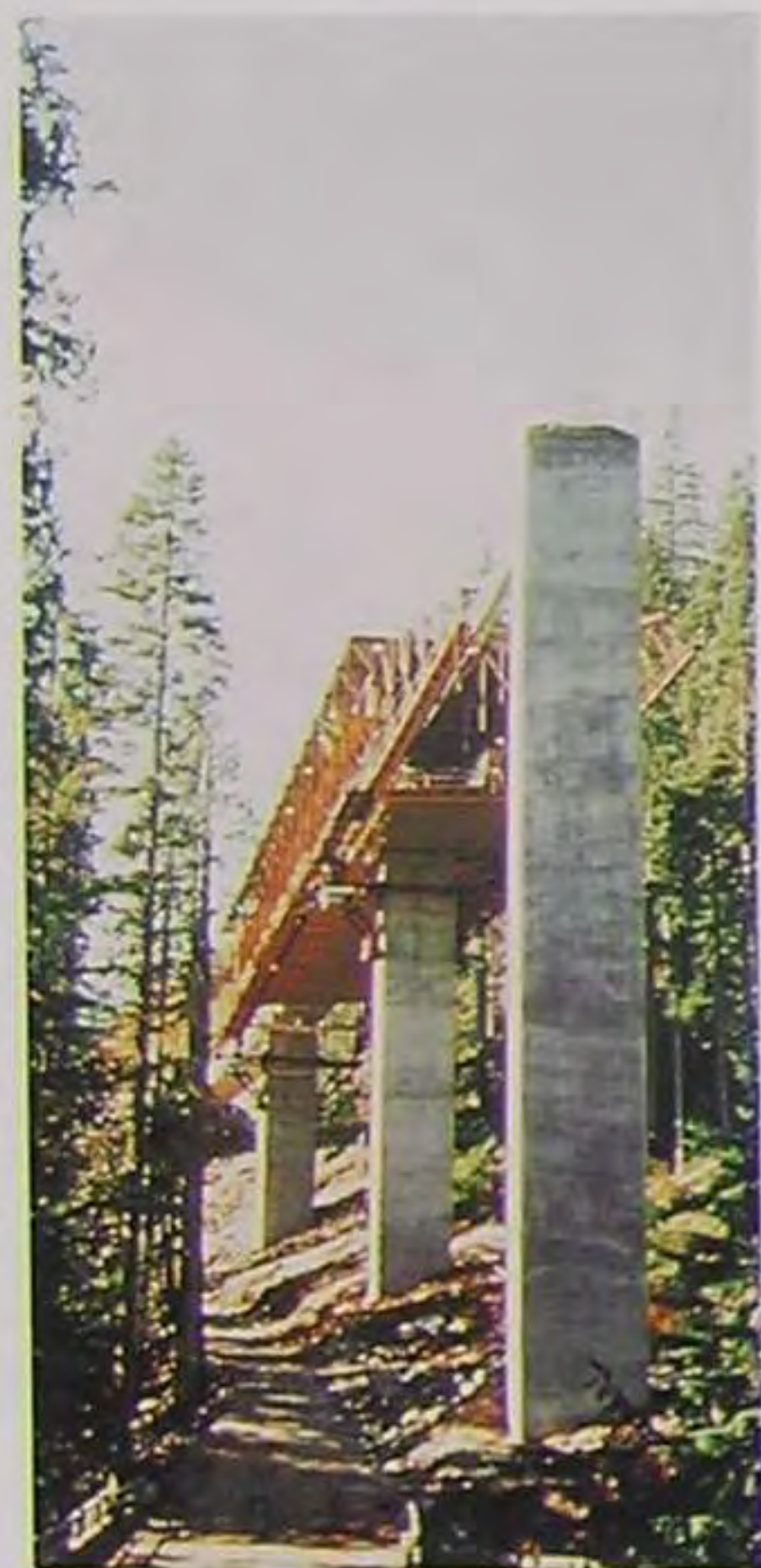
这是少有的几个没有人员问题的施工现场之一。实际上，在向风坡高架路完工后，当交通部把另一座桥——加尼奥跨线桥——包括在合同中时，我们驻工地的工程师Philip Lang先生和他的助手们毫不犹豫地留了下来！





### 戴尼溪 (Denny Creek) 桥, 美国, 华盛顿州

此桥长 1103 米, 典型跨 57.3 米, 位于西雅图东方的 Cascade 山, 于 1980 年通车。



戴尼溪桥穿越美丽的、林木茂盛的山坡。设计这座桥的时候, 当地居民十分关心这个结构的美观性。他们指定了四组工程师, 分别提交四个方案。

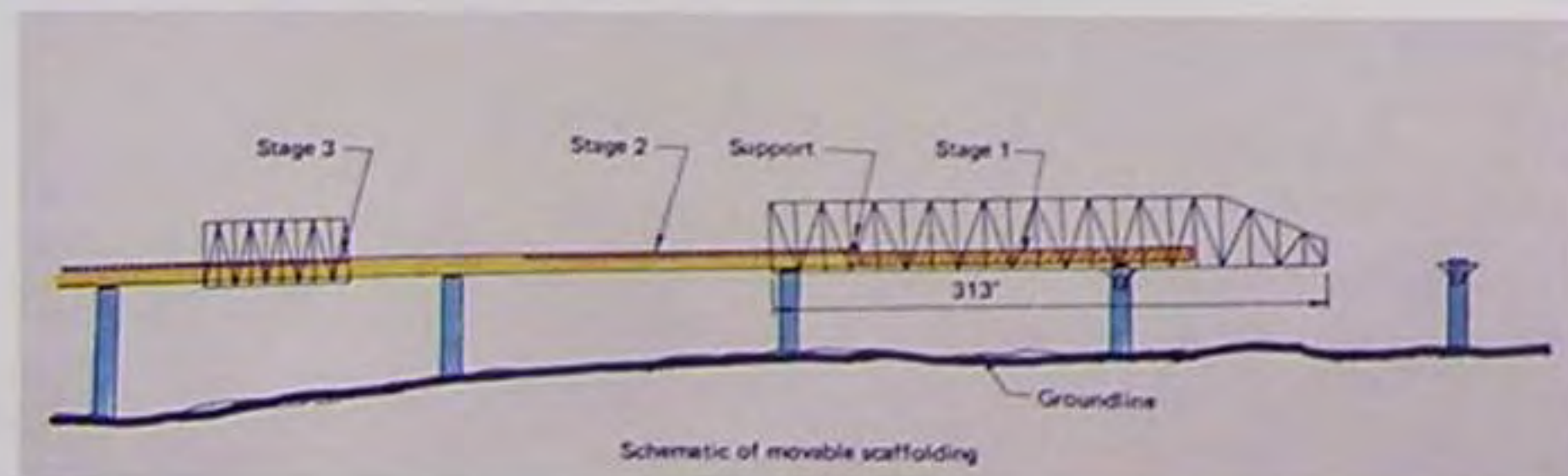
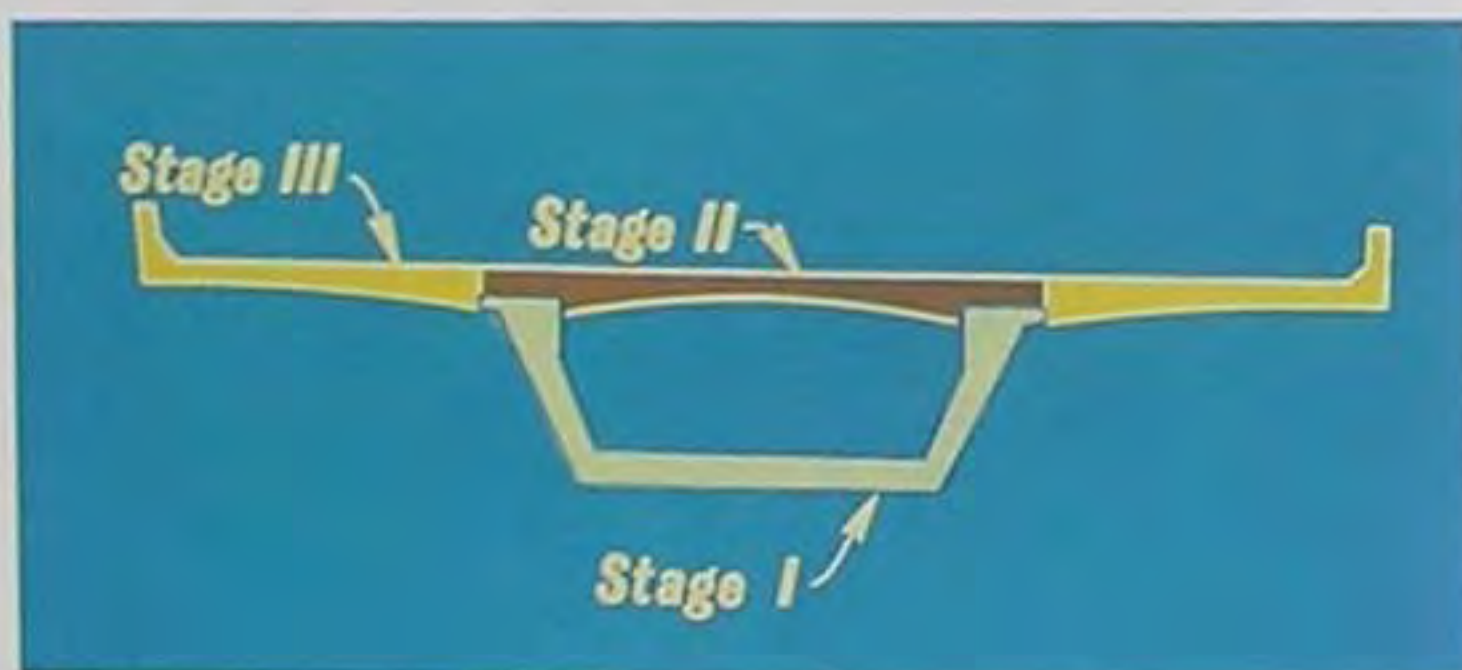
我对其美观要求的答案是这个细长的中心箱配以宽的翼缘板。人们是如此之喜爱它, 允许在投标时这个方案可以比其他方案造价高 30 万美元。这个现象在政府工程中是很少见的。但实际结果是, 这个方案比其他方案节省了一百多万美元。

这地区的山坡很不稳定, 如有扰动或振动就会有滑坡的危险。因此不能用支于山坡上的支架施工。

基础是人工挖掘的, 没有使用炸药。桥墩建成后, 上部结构施工过程中不能有任何直接的支撑。

对付这个困难, 我设计了三阶段施工法 (见下图): 第一阶段用由桁架支持的模板浇灌箱梁的下部。这个深盆型的梁的设计要能承受自重和第二阶段模板和混凝土的重量。第三阶段是用后续模板浇注翼缘。桁架是这种工法中最贵的设备, 但这里的桁架只承受第一阶段的重量, 大约是总重的三分之一。第一阶段的顶部比路面低 20 厘米, 以适应桥面可更换的要求。

专利 我拥有这个施工方法的专利。这是我申请的惟一的桥梁专利。我第一次得到专利时, 有一种成功的感觉! 但此后我再也没申请过专利。我个人以为专利阻碍了发展, 扭曲了竞争。作为桥梁工程师, 我们直接间接地为公众服务。使我们对社会做出最大的贡献才是我们的目标。



三段式施工方法



戴尼溪桥, 华盛顿





林湾 (Linn Cove) 高架路, 美国, 北卡罗来纳

这座预制混凝土分段桥建造时没有接触地面, 全部工作 (包括桥墩) 都必须从上面向地下做, 只不过每个 55 米跨的中点容许有一个临时支撑。

为对付这个挑战, 来自承包商的 John Sutter 先生和我在纽约的一个旅馆里坐了大半夜, 设想不同的施工方法。最后我们决定使用美制吊车, 这种吊车能在背后起吊梁段, 再转身运到前面供吊装用。我们还给这吊车安装一根附加吊臂, 使它能伸到下一个支点, 去建造那里的基础和桥墩。



这美制吊车是最轻的一种吊车。我画了用来把它支持在桥面上的框架的草图, 让 Boris Levintov 先生完成了与箱梁连接的细部设计。这很复杂, 因为桥面曲率很大, 横坡很高。

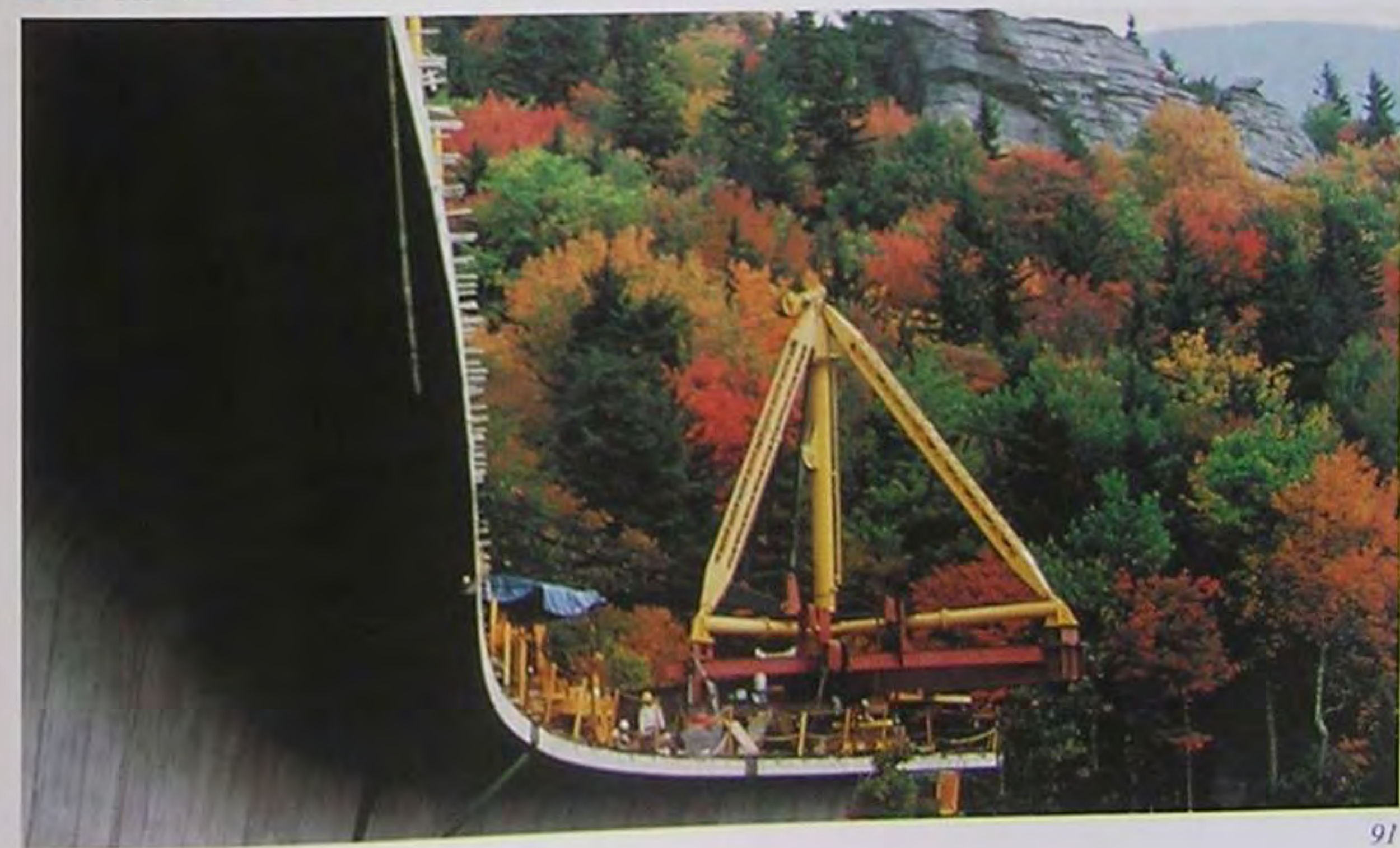
我们一步步地从一个桥台向另一个桥台建造这座桥, 以半跨悬臂梁为一步。我们一边在悬臂梁上拼装梁段, 一边做下一个基础和桥墩, 使得当一个悬臂梁完成时, 下一个桥墩已可作为支点。

尖锐的曲线以及异常的横坡使得几何形状的控制十分复杂。雷治邦先生, 谢家荣先生和 Lionel Bellevue 先生做的三维分析使这个方法得以成功。这个桥顺利地伸到了另一边。它完工于 1983 年。

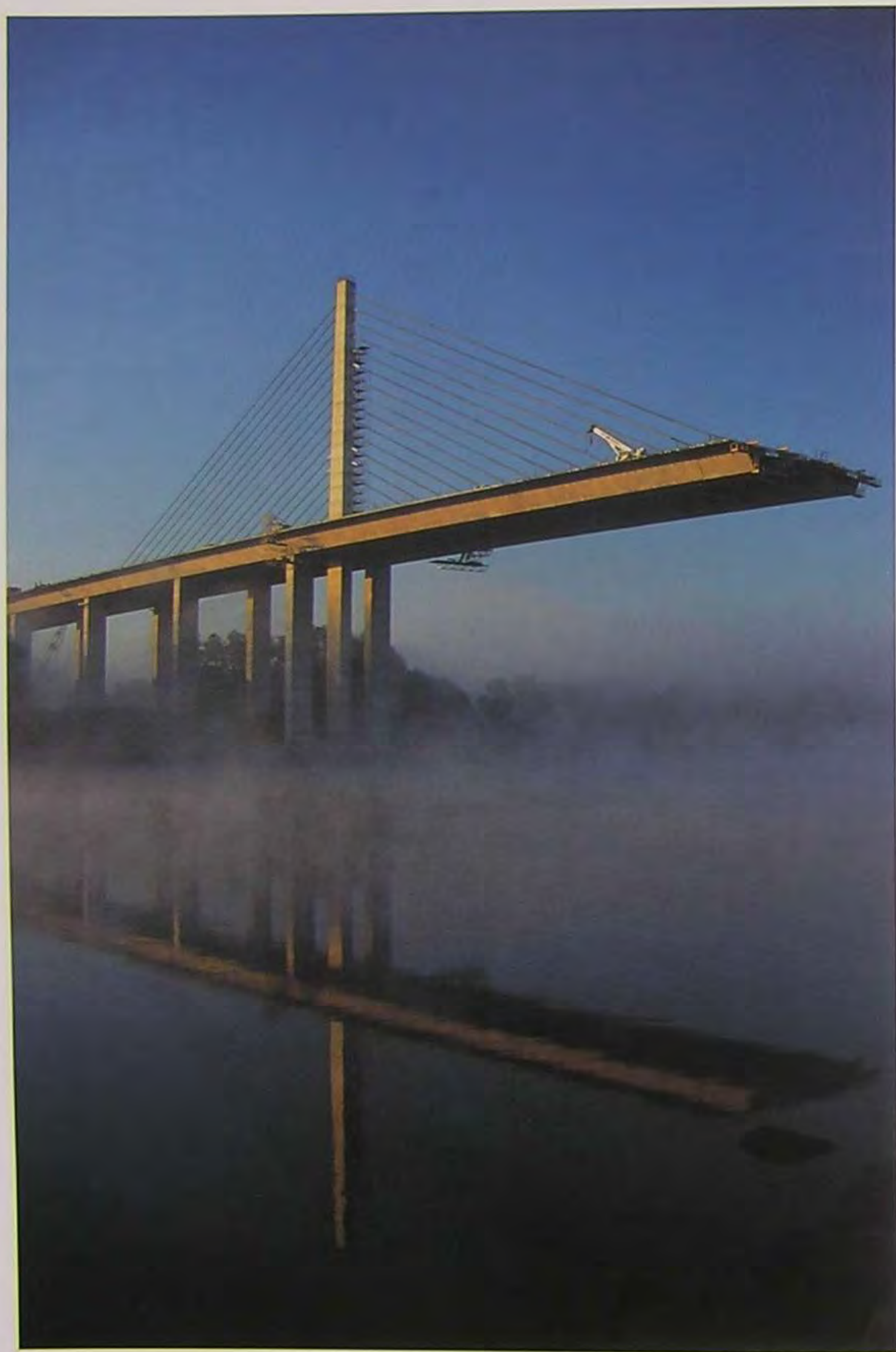
我们一步步地从一个桥台向另一个桥台建造这座桥, 以半跨悬臂梁为一步。我们一边在悬臂梁上拼装梁段, 一边做下一个基础和桥墩, 使得当一个悬臂梁完成时, 下一个桥墩已可作为支点。

尖锐的曲线以及异常的横坡使得几何形状的控制十分复杂。雷治邦先生, 谢家荣先生和 Lionel Bellevue 先生做的三维分析使这个方法得以成功。这个桥顺利地伸到了另一边。它完工于 1983 年。

(照片 © Ray Stansford 提供)







切萨皮克  
(Chesapeake) 湾  
和特拉华运河桥

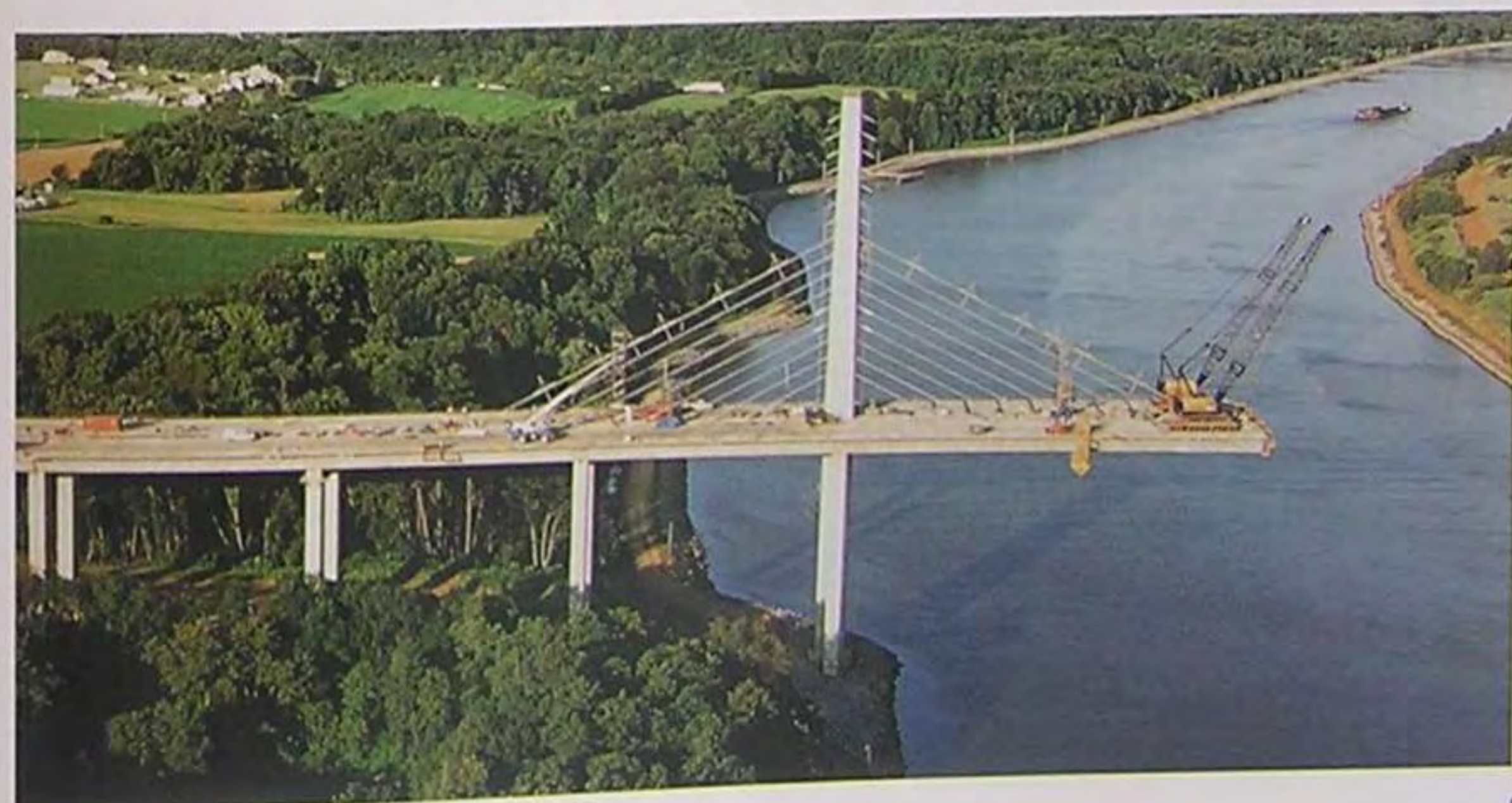
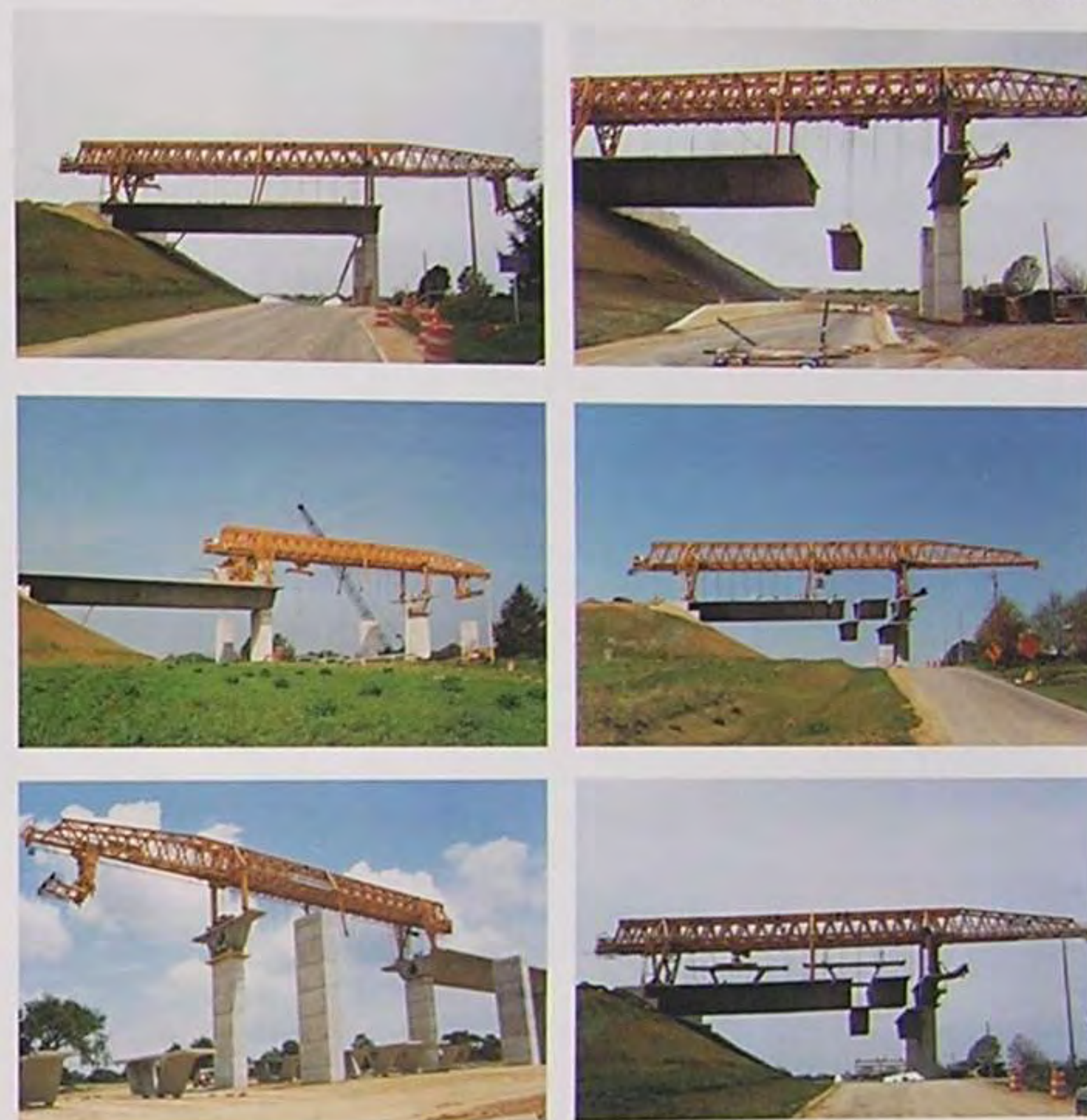
(照片为 Ed. Calicut 摄)

切萨皮克湾和特拉华运河桥 (C 和 D 运河桥), 美国, 特拉华

切萨皮克湾和特拉华运河桥的施工是从两端桥台开始逐跨拼装。所有桥墩也是分段预制拼装的。巨大的桁式吊机把梁段从吊机一头吊至预定位置, 挂在由桁式吊机垂下的吊杆上, 然后移动梁段, 再转 90 度恢复横向位置然后拼装。但是最后两个梁段只能直接从地面起吊, 因为前面的梁段拼装后没有足够的空间旋转梁段。

这个斜拉桥的边跨有几个中间桥墩, 因此边跨与引桥相似。这样, 使逐跨施工可一直进行到桥塔。

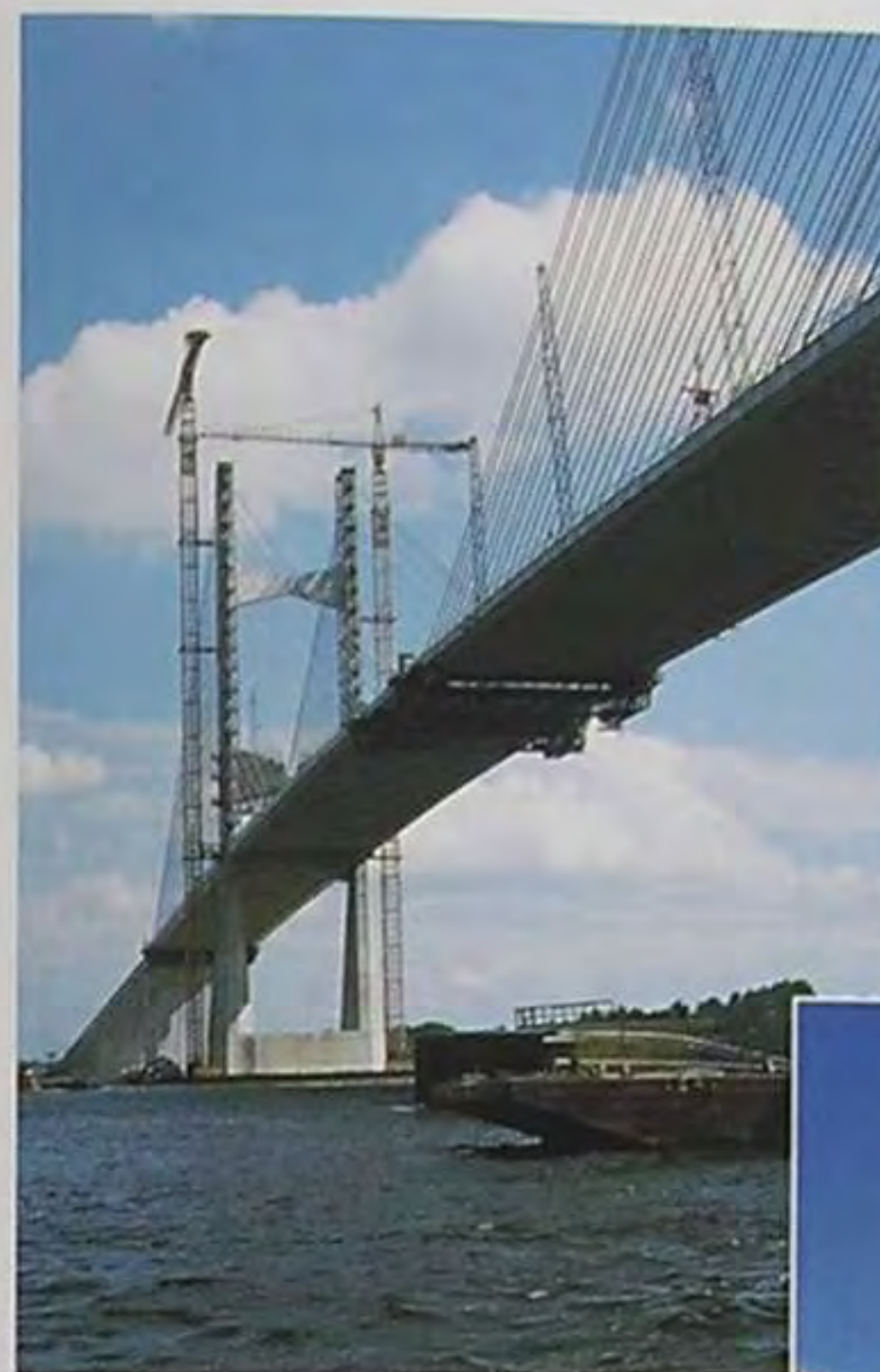
此工程完成于 1995 年。







切萨皮克湾和  
特拉华运河桥



但点桥



C&D 运河桥

搁里 (Glebe) 岛桥



谭美桥

当两个桥的悬臂梁快要  
连起来时，需要浇注封闭  
段，以连接主梁。  
这是庆祝的时刻！



阿列克·福拉瑟桥

最后的连接！





伟依山口 (Vail Pass) 桥, 美国, 科罗拉多, 伟依

这些桥位于一个度假胜地。用粉红色混凝土建造以顺应周围土的颜色。用悬臂施工法以免改变环境——这里不许砍树。



SLRT 卡尔加里桥, 加拿大, 卡尔加里

这个结构用预制分段建造。桥梁下面将挂着一个穿过桥墩开孔的人行桥。

I 205 哥伦比亚河桥,  
美国, 华盛顿

分段建造施工时使用了分段的模板, 可沿支架上滑动。这个方法和建鲤鱼河桥时的方法相似。但是, 钢模板移动起来比较困难。



目斯克公 (Muskegon) 河桥, 美国, 密执安

外观洁净的姐妹桥在如画的场景中——色彩的文响乐!



(照片由 1997 年提供)





南波士顿支线，  
美国，马萨诸塞，波士顿



此桥位于波士顿市南方，跨越一组繁忙的铁道。所以，一些桥墩用混凝土防撞墙保护起来，以免受火车脱轨事故的损坏。

图中是这个价值160亿美元的庞大主动脉和隧道工程中被建成的第一段。它是少有的几座使用双箱联合梁的桥之一。

施工中的图片表示挂在钢箱外面的悬臂板的模板的外伸支持。



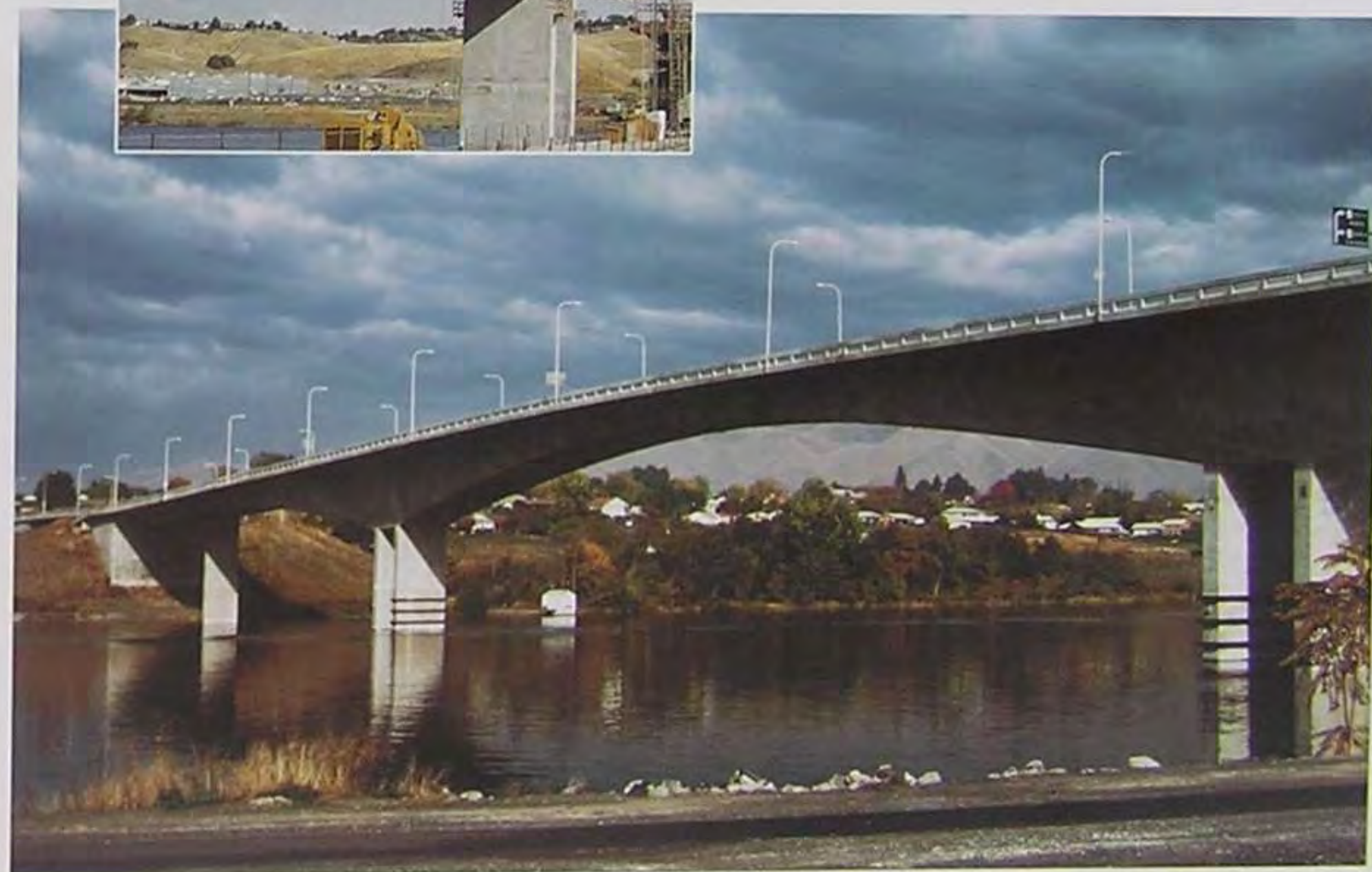
中山高速路扩建工程，中国，台湾  
扩建了高架路以增大已有高速路的能力。



这张照片摄于1982年。

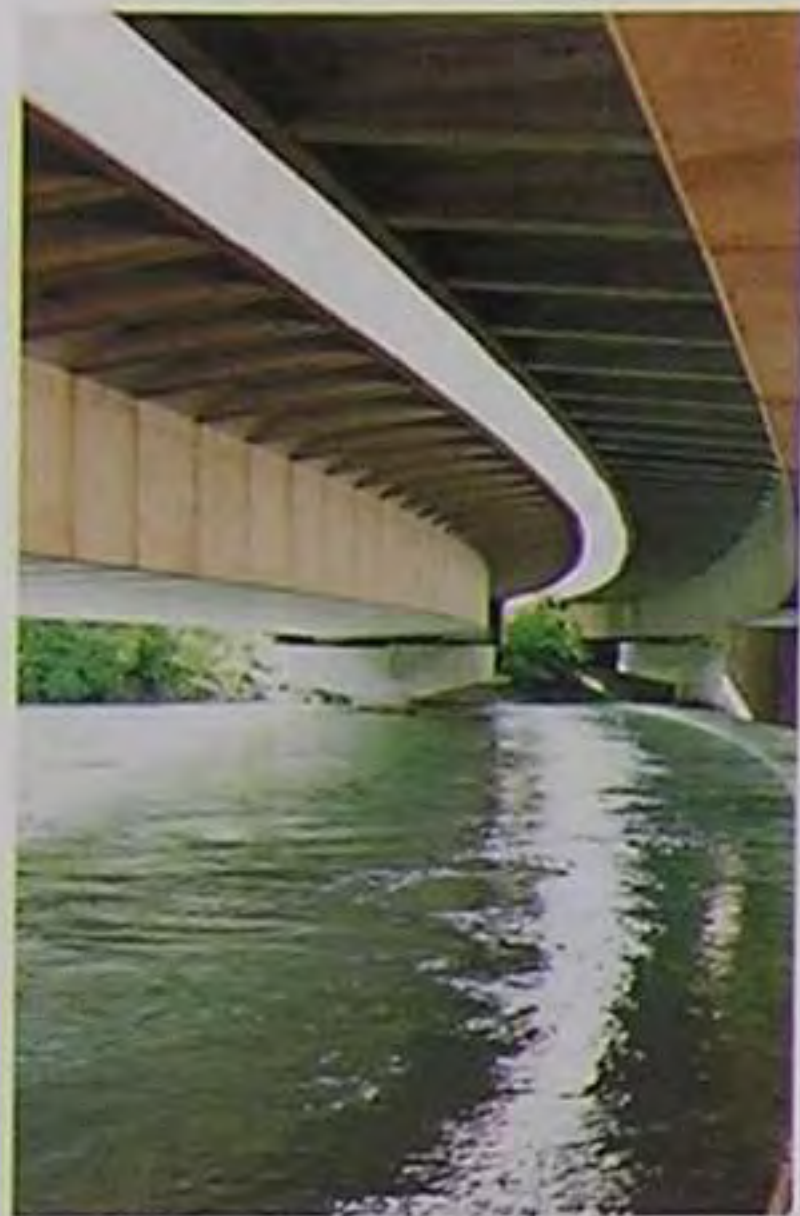


现浇施工中的平衡悬臂梁及其上的挂篮。



连接华盛顿州和爱达荷州，跨越蛇河的列维斯顿·克拉克斯顿 (Lewiston-Clarkston) 桥





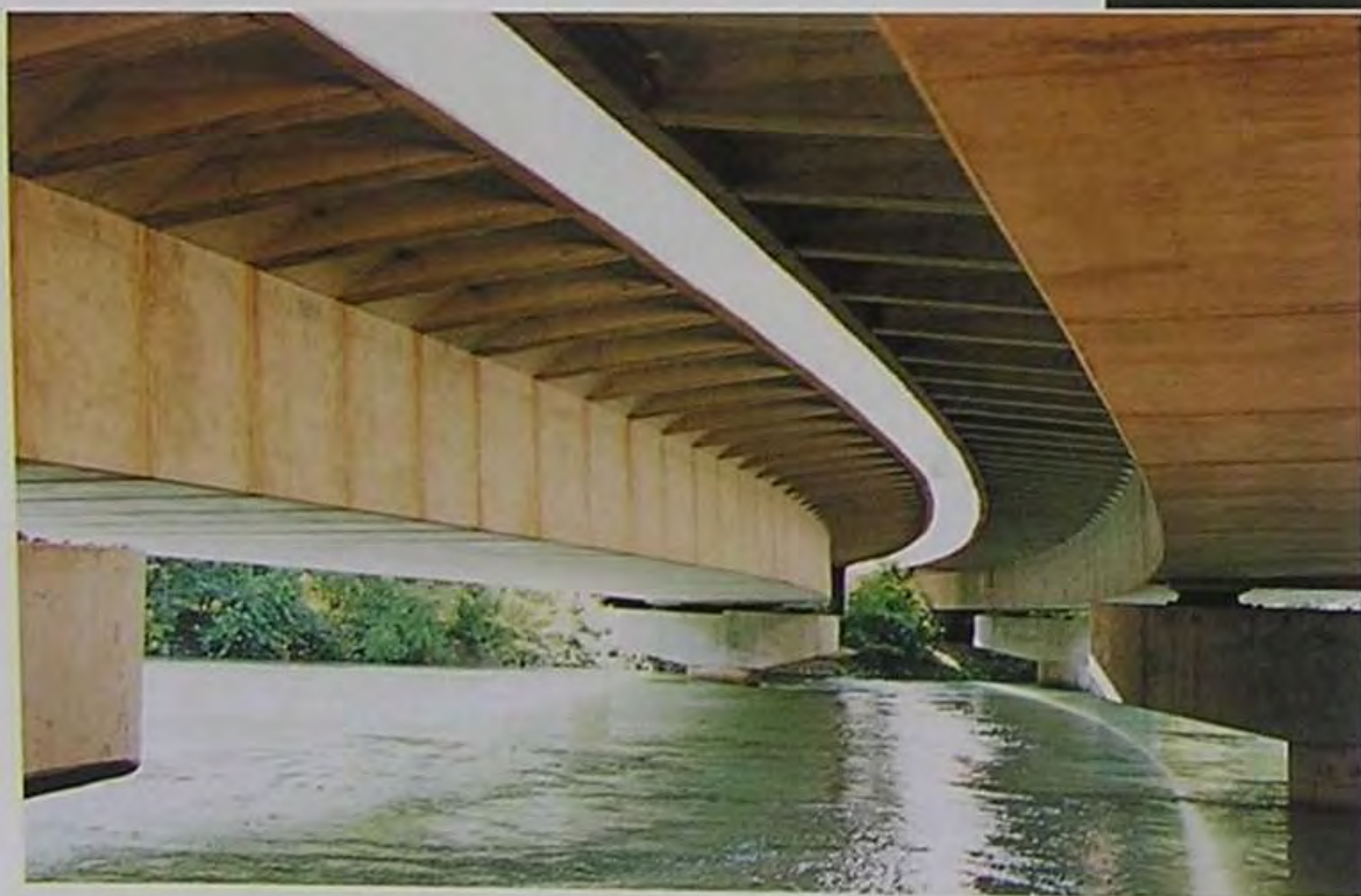
(郑今宁摄)



(郑今宁摄)



(冯仪人摄)



在圣·格莲 (St. Catharines) 的 12 哩溪桥，加拿大，安大略

这是加拿大最早的少数预制分段桥之一。它也是少数用横肋支持悬挑板的分段桥之一。

施工时使用了一个大型桁式吊机，从一端的桥台向另一端施工。此桥完工于1981年。照片摄于2001年。



12 哩溪桥，  
加拿大，安大略



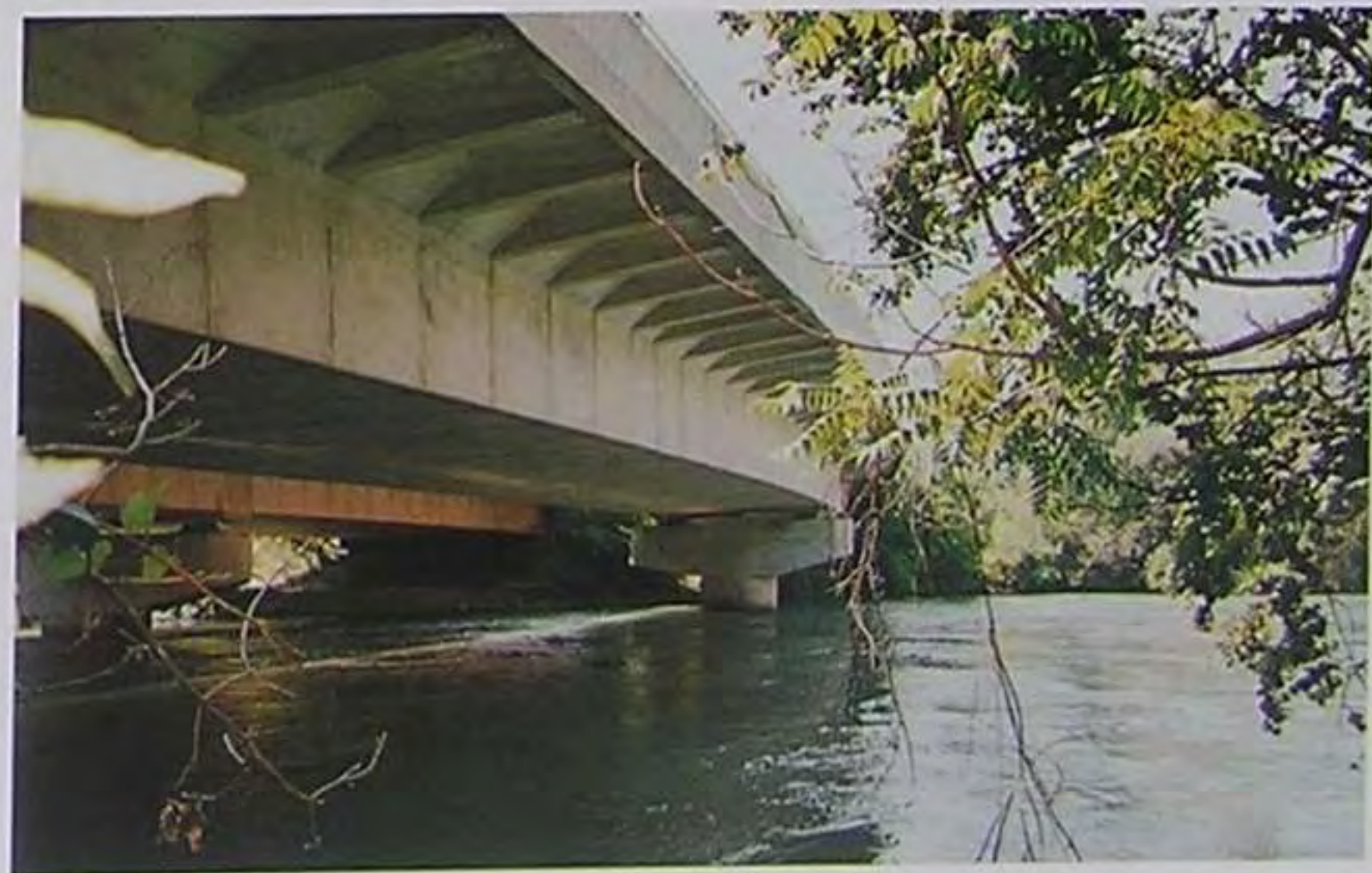
一座桥是一件艺术品！

有时，其他艺术家也来参与这诱人的创造活动。



预制混凝土梁段用桁式吊机拼装。

谢家荣先生是我们在现场帮助施工公司预制和吊装梁段和其他工作的专家。我们得知他在现场的一年里至少在麦当劳吃了360顿汉堡包。加起来也不过45千克。这就是为什么他的体重没增加的原因。







汉江上的新幸州一桥，  
韩国，汉城

此桥1.2千米长。主跨为斜拉桥。引桥用顶推法施工。在原来的施工期间发生不幸倒塌事件后，合同商邀请我们承担紧急重新设计任务。

钢构件需由制造厂经铁路运至现场，铁路的净空决定了箱梁的尺寸和接缝位置。没有采用单箱截面，因为如果那样做，铁路净空限制会使梁段非常短。



#### 一个小故事

Nils Olsson 先生打电话来的时候，我正在上海忙于南浦大桥的工作。他说韩国的一座桥施工时塌了，他们要我们三个月内作出一个新设计。

我和 Dennis Lee 先生到了现场。尽管不是我们设计的，看到水里的断桥仍感到十分难受。

桥梁结构应当牢固，使人放心，而不应当掉在水里，因为它应当为人们服务。

(照片由 M. R. Huh 提供)



汉江上的新幸州二桥，韩国，汉城

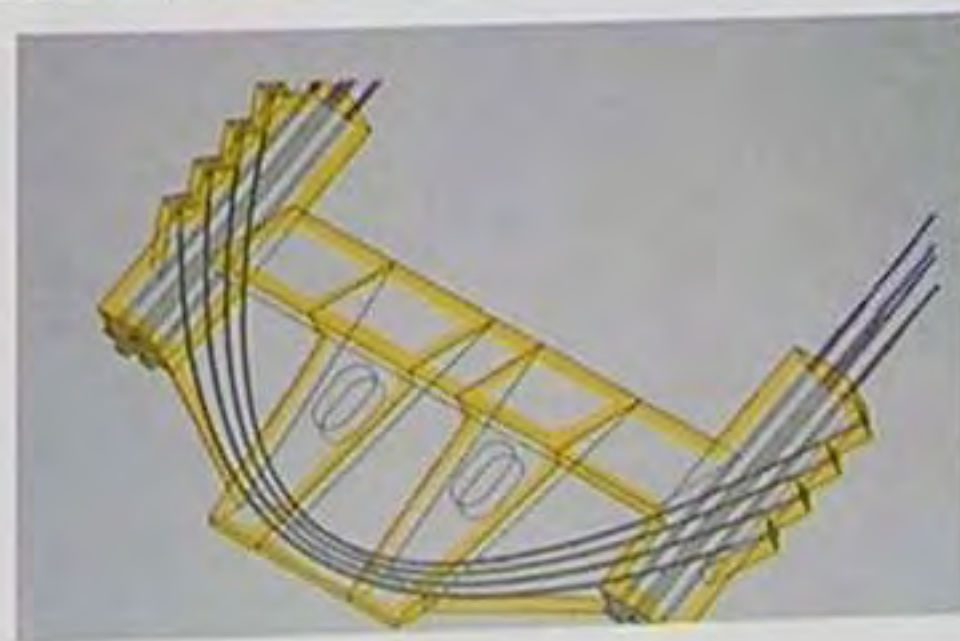
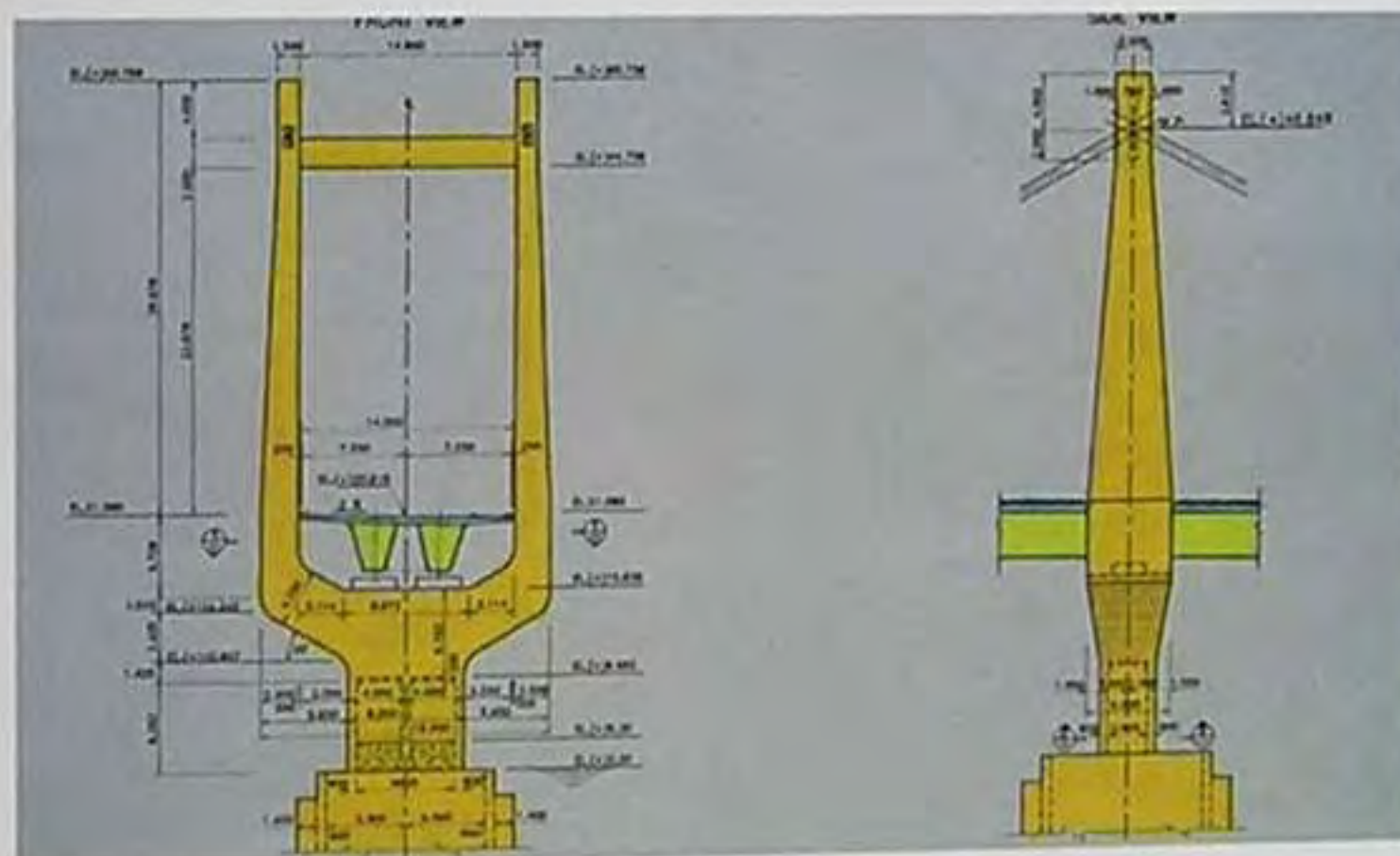
新幸州二桥位于新幸州一桥和老幸州桥之间。总长1.2千米，与新幸州一桥相同。但中跨是混凝土箱梁而不是斜拉桥。

主跨施工用平衡悬臂法。两边引桥用顶推法由桥台开始向跨中施工。图片表示顶推操作由安装钢制头部开始。背景是新幸州一桥。



汉江上的新幸州一桥，韩国，汉城

因为我们仍要使用原有的桥塔，所以必须用原来的锚座固定新拉杆。新拉杆是涂敷环氧树脂的Dywidag股索，外包聚乙烯套管，中间灌浆。



此斜拉桥主跨的特点是一对钢箱上现浇混凝土桥面。

拉杆锚固到倾斜的预应力混凝土横隔板上。索力用有头的圆剪力栓和焊接的剪力耳传到钢箱上。

混凝土桥面是沿顺桥向和横桥向后张预应力的。



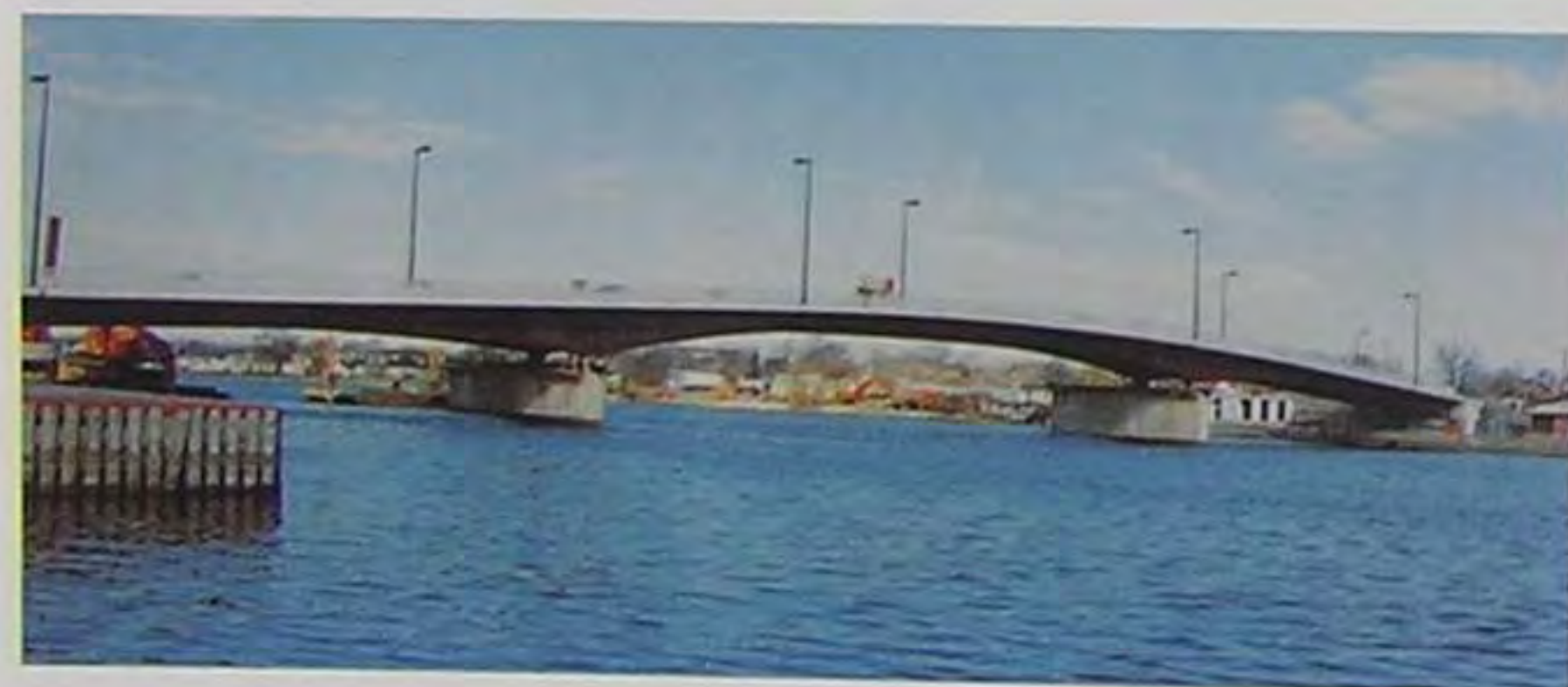
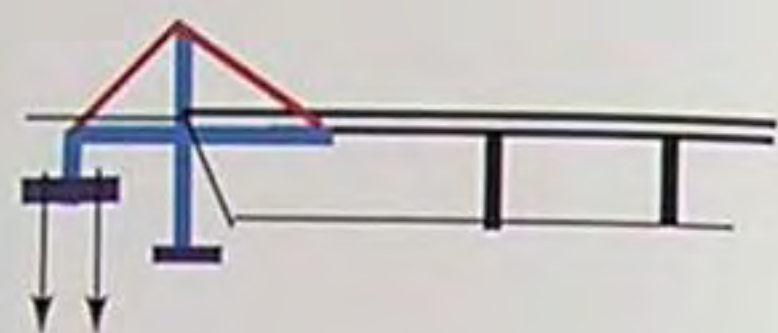


跨越 I 465 国道的第 16 街桥，美国，印第安纳

用拉杆取代一个桥墩以加宽道路。塔建在桥台上，锚索则锚在锚墩上，后者则拉到下面的岩锚上。在拆除桥墩前需做好拉杆系统以使施工不影响交通。

此工程于 1975 年完工。

(图片蒙 Maurice Miller 提供)

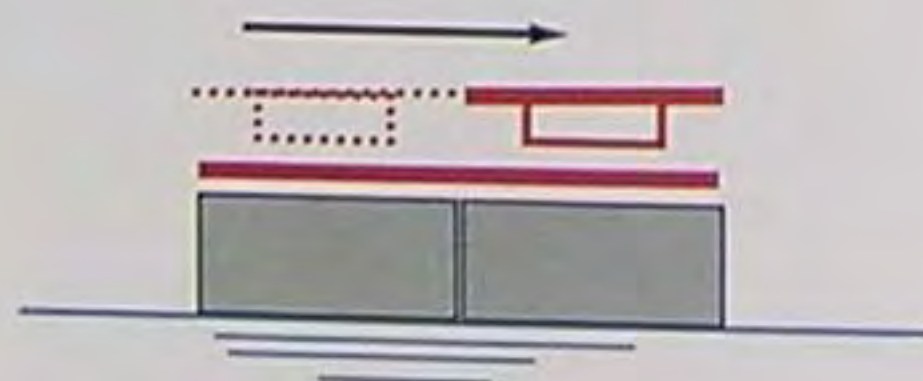


市内桥，叁藤 (Trenchon)，加拿大，安大略

这座替换旧桥的新桥的施工有两个要求：既不能影响交通，又得使新桥与旧桥在同一位置上。

所以新桥是紧贴着旧桥建的。当交通转到新桥后，立即拆除旧桥。然后，在一夜间把新桥横向推到旧桥的路线上。

(图片蒙 Vic Anderson, Delcan 提供)



I 205 哥伦比亚河桥的深水墩，美国，俄勒岗



为建造这些深水墩，使用了一个巨大的哑铃形的钢模板。

先打桩，然后把“哑铃”浮到预定位置，再下沉到桩上。浇灌密封混凝土，再把“哑铃”中的水抽出。人们则进入“哑铃”工作。放好钢筋后向“哑铃”内灌注混凝土。当混凝土达到预定强度后，用液压千斤顶顶起来。

这座桥的所有深水墩都是用同一个哑铃形模板建造的。

上部结构于 1981 年用预制和现浇梁段的平衡悬臂法施工。







红河 (Red River) 桥, 美国, 路易斯安那

双重墙式桥墩为悬臂施工的初始梁段提供了更大的空间, 也更有能力承受温度、蠕变和收缩引起的变形。但一般不太好看。

此桥于 1984 年完工。

叔本那卡狄 (Shubenacadie) 桥,  
加拿大, 诺瓦

从它在 1978 年完工算起, 这座桥的 213.4 米主跨一直是加拿大最大的混凝土箱梁桥。

顺桥向、横桥向和竖向都用 Dywidag 高强螺纹钢筋作后张预应力筋。

施工进度顺利, 通常每段三天一个周期。



虎门悬索桥,  
中国, 广东

虎门悬索桥在著名的虎门要塞, 跨越珠江。它是中国第一座大型悬索桥。在 1997 年完工时, 它的 888 米跨是中国最大的桥跨。加劲梁是钢箱梁。主缆用预制平行钢丝索股。

(照片蒙 HPDI 提供)







塔古斯 (Tagus) 悬索桥, 葡萄牙, 里斯本

在原来的主缆上编第二条主缆。

第一条主缆的线形相对简单。但是, 第二条主缆的线形要复杂得多, 因为它要配合第一条主缆, 而附加吊杆加到第二条主缆上的荷载难以确定。Paul Towell 和 Nick Morris 与在现场的 Ron Crocket 频繁联系使所有问题得以完美地解决。他们做到了。

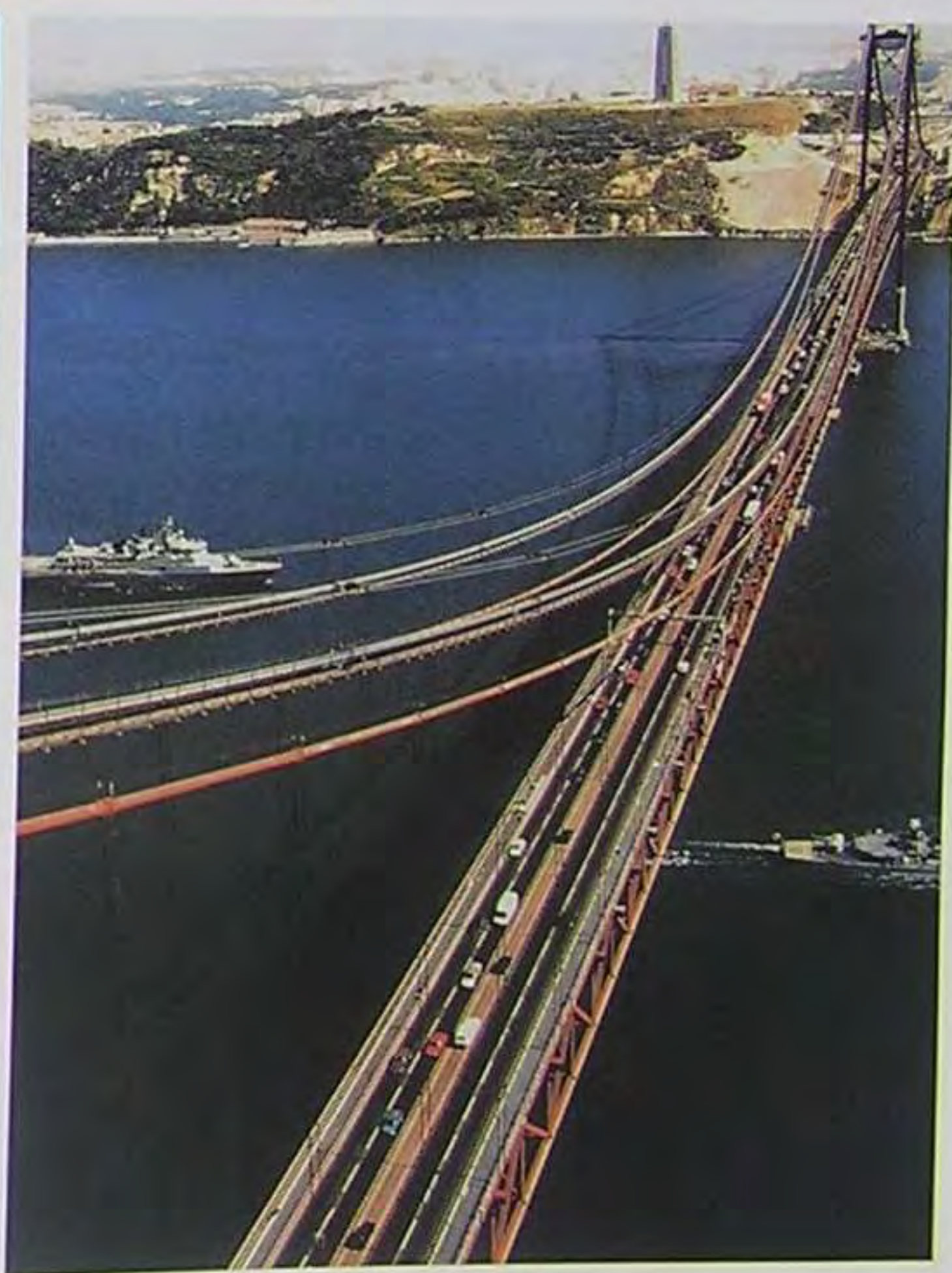


塔古斯河桥, 葡萄牙, 里斯本

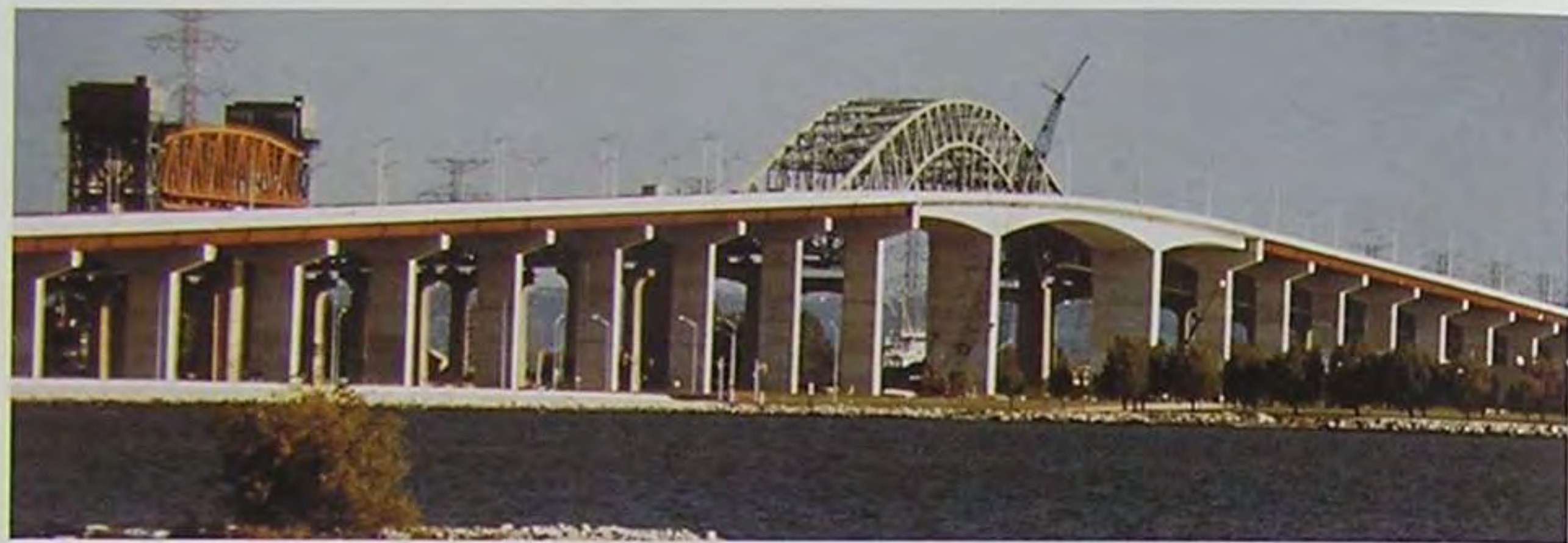
这个悬索桥的下桥面要被加固以承担重型轨道交通。所有撑杆和部分弦杆必须更换或加固以适应增大的荷载。为了在更换时不影响交通, 我们设计了一个在桁架下面但又夹住桁架的活动平台。这个平台被设计得可以作为桁架临时部件以传递桁架中的荷载, 以便拆除和更换桥梁的部件。由于更换较弱的部件的工作是在安装第二对主缆之前, 增加的重量使加劲桁架的垂度显著增加, 跨中垂度增加量超过三米。但这是事先已经算出来的, 所有应力都在容许限度内。

第二对主缆安装并且新的吊杆承担了附加重量后, 桥的形状恢复正常。

(照片蒙德国 DSD 提供)





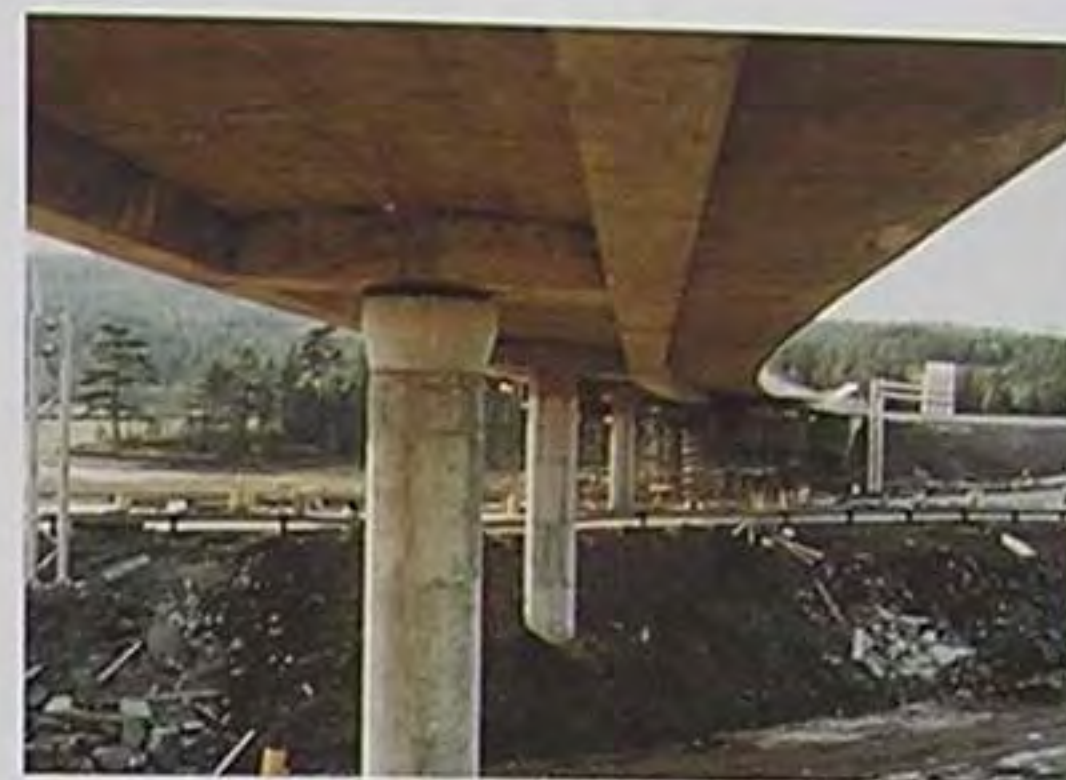


伯灵顿 (Burlington) 高架路，加拿大，安大略，伯灵顿

引人注意的新旧对比！

两座桥比肩而立，每座都代表当时的前沿水平。

1985 年建造的新桥不仅与老桥相对照，而且自己与自己也相对照。它有混凝土主跨和叠合梁引跨——这个组合代表当时最有效的结构形式。



小而简单！



贝德福 (Bedford) 1 号和 2 号支线桥，加拿大，诺瓦

一根结实的中心主梁用于小跨或中跨桥是非常有效的。简单的模板置于下方，所有工作都可以在上面完成，使得放钢筋和灌注混凝土都很容易。

这座桥于 1979 年在诺瓦省完工之后，加拿大的卡尔加利和爱德蒙顿两市也建造了类似的结构。





高平溪桥，中国，台湾

这座300米跨的桥梁完工时是台湾最大跨度的桥。其边跨是混凝土箱梁，主跨是钢箱梁。因为桥面距地面很近，所以施工时大梁用支架支持。

(照片蒙 Lin Chi Po 先生提供)



板桥高架路，  
中国，台湾，板桥

这座长1.5千米的双体结构的桥位于靠近台北的板桥市中心。下置式桁架用于逐跨拼装梁段。它于1993年建成，是台湾最早的预制分段桥之一。

Bob Patterson 去现场帮助工程公司预制和吊装。工程进展良好。Bob 适应了中餐的口味。他用起筷子来就像处理预制梁段一样熟练。



东大路桥，  
中国，台湾，新竹

这座1.6千米长的桥是用平衡悬臂预制拼装法建造的。用吊车拼装梁段。

这座桥完工于1996年。

哥罗·巴布图阿 (Koror Babelthuap) 桥，南太平洋，帕劳



在1976年完工时，这座241米跨的桥是世界最大跨混凝土梁式桥。它位于南太平洋，连接哥罗 (Koror) 岛和巴布图阿 (Babelthuap) 岛。原设计的主跨较短，因而有两个桥墩在水中。为避免在潮流迅急的海水中建造桥墩，承包商建议加长中跨使桥墩落于陆地，业主接受了这个建议。

我们使桥墩与上部结构刚接，从而得以排除维修垫块的问题。我们把滑动铰放在跨中，以承受蠕变、收缩和温度变形引起的两悬臂梁间轴向相对运动。

施工进展得很顺利，只是蠕变过大，这可能是由于当地的骨料。完工15年后仍能观测到显著的蠕变。其结果是，这座桥的变形过大，特别在滑动铰部位。

虽然研究证明这座桥的安全性没有问题，但1996年还是做了翻修，以改善其下垂的外貌。翻修方案要求在滑动铰处把两个悬臂梁顶开，再把两个悬臂梁连成整体，然后施加巨大的纵向后张预应力。翻修完工两个月后，这座桥断了，掉在水里。

我个人的观点是，倒塌是由于桥面板失稳。很多层后张预应力筋埋入其中，使桥面板好像是一叠薄板，在不大的压力下就会失稳。这座桥的桥面不能抵抗翻修所施加的巨大压力。实际上破坏的桥面的确显示出板失稳典型形态。施加高的压力与实际破坏的时间差，对混凝土结构来说相当典型，因为开裂和蠕变效应的缓慢传播需要时间。

这座桥的其他部分的损伤也证实了这个破坏机理。







在俄亥俄河上的东亨廷顿 (Huntington) 桥, 美国, 西弗吉尼亚

梁段是在附近的预制场预制的, 然后用驳船运至现场。桥面梁是宽翼工字钢以减轻重量。这是第一座用 C55 高强混凝土建造的大跨桥。

这座 274 米跨的斜拉桥的拉杆由平行钢丝索组成。外套高密度聚乙烯管, 中间灌浆。拉杆的锚座是冷铸锚头含环氧树脂锌粉和钢球。

桥塔的基础在设计上部结构之前已经完工。它们不能支持施工时的不平衡弯矩。因此, 施工时用前索和背索来稳定桥塔。这些索由若干七丝钢绞线组成, 锚固到由桩基和地锚支撑的基础上。



我们还年轻的一天!



(照片蒙惠尔本兄弟工程公司提供)

在俄亥俄河上的东亨廷顿桥, 在西弗吉尼亚和俄亥俄之间

承包商有一台大型吊机, 于是我们尝试用这台吊机, 而不再制造新的起吊设备去拼装梁段。但是在 1982 年时, 用浮吊起吊 275 吨的梁段还是很新颖的。

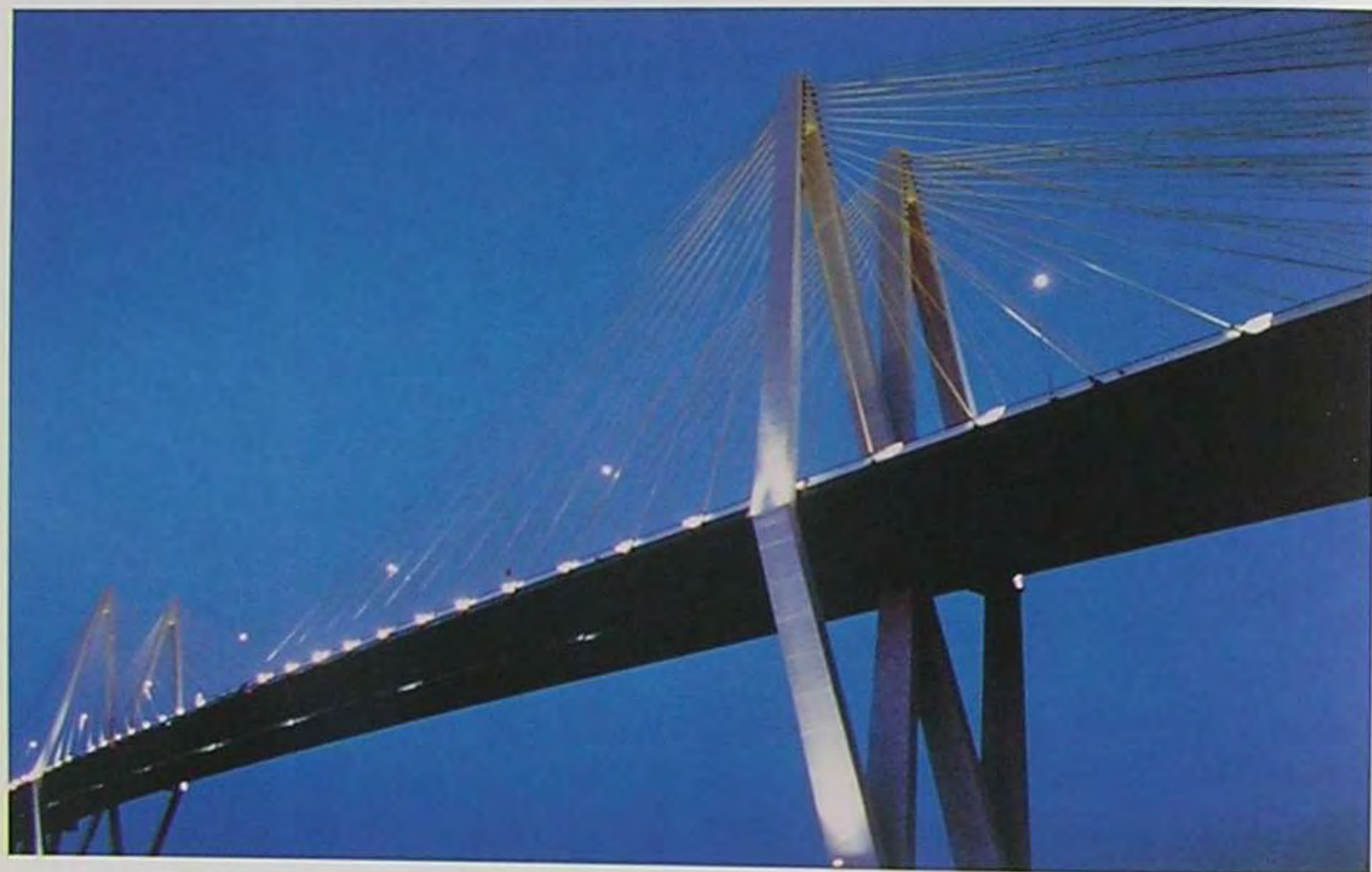
拼装方案必须设计得适应波浪引起的浮吊的 30 厘米竖向运动。我们制作了一个钢铰机构, 放在已拼装好的梁段和正在被拼装的梁段之间, 以适应浮吊的竖向运动。

这座桥于 1985 年完工。





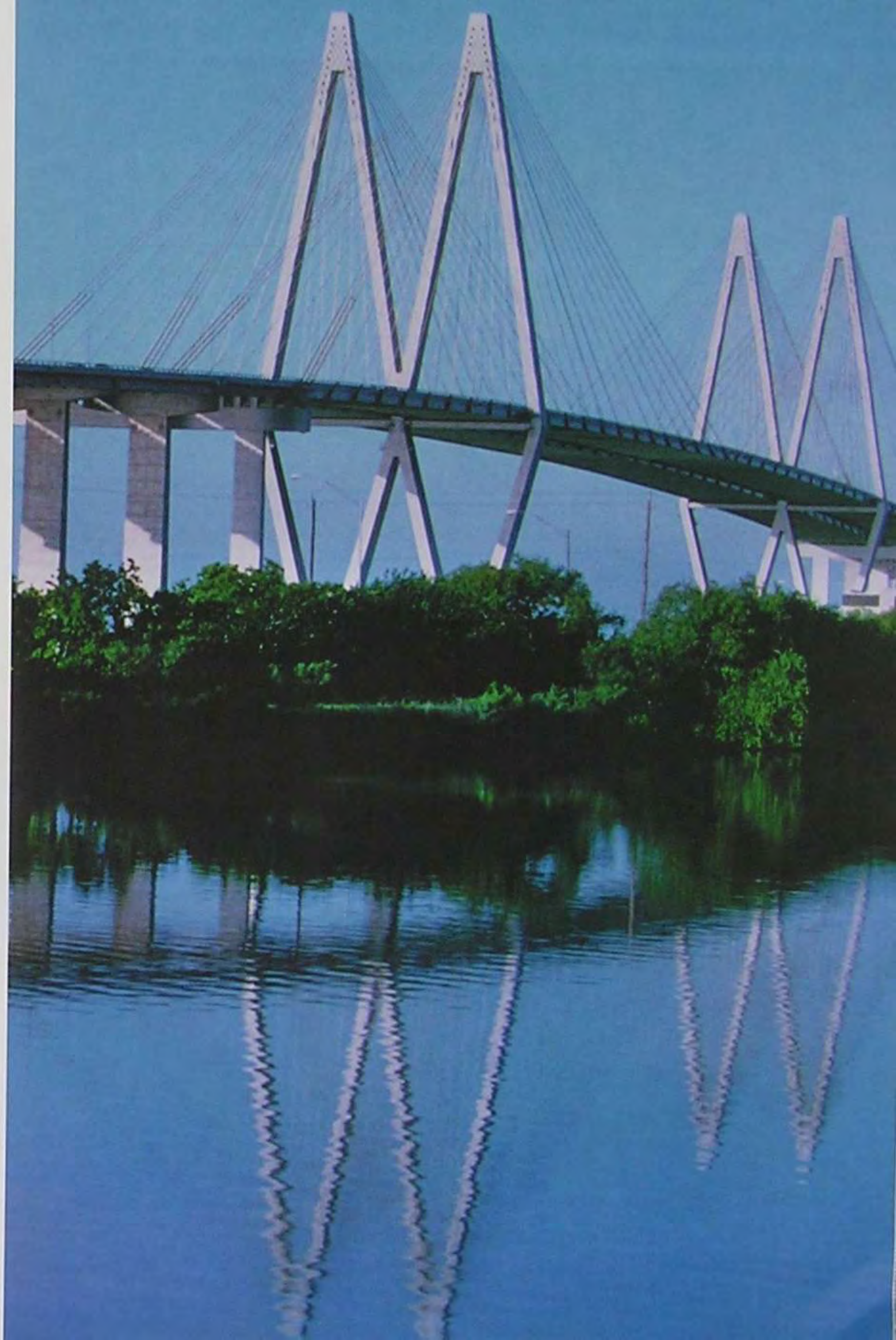
湾镇 (Baytown-LaPorte) 桥, 美国, 德克萨斯, 休斯敦



湾镇桥于1994年完工, 主跨381米。它有两个分离的联合主梁, 每个宽23.8米, 三个车道。

在它完工时, 它是世界桥面面积最大的斜拉桥。使用两个分离的桥面的原因, 是为了当一个桥面出现交通事故时, 另一个桥面仍能通行。

(照片蒙 URS-Greiner 提供)







在休斯敦运河上的湾镇桥，德克萨斯，休斯敦



在休斯敦运河上的湾镇桥，美国，德克萨斯，休斯敦

四台美制桅杆转臂式吊机用来拼装，用了典型的悬臂方法。每一个梁段——由两个横梁和两个主梁组成的钢框架——被吊机吊至指定位置，然后吊机再把预制桥面板放于其上。斜的和竖向的拉索用来稳定施工中的结构，以抵抗湍流风。竖向的拉索连到抗拉桩上。





湾镇桥，美国，德克萨斯，休斯敦



在密西西比河上的昆士桥，这张照片摄于通车之日

昆士桥主跨 274 米，有混凝土塔和联合梁桥面。这是美国惟一的在全桥沿顺桥向和横桥向都施加预应力的联合梁桥。混凝土桥面和钢主梁用焊在钢梁上的抗剪栓钉连接。这些栓钉集中在预制板的矩形预留孔中。拉杆是涂敷环氧树脂的 Dywidag 七丝钢绞线索股，带有锚头，外套高密度聚乙烯套管。拼装时使用了美制桅杆转臂式吊机。

此桥完工于 1987 年。





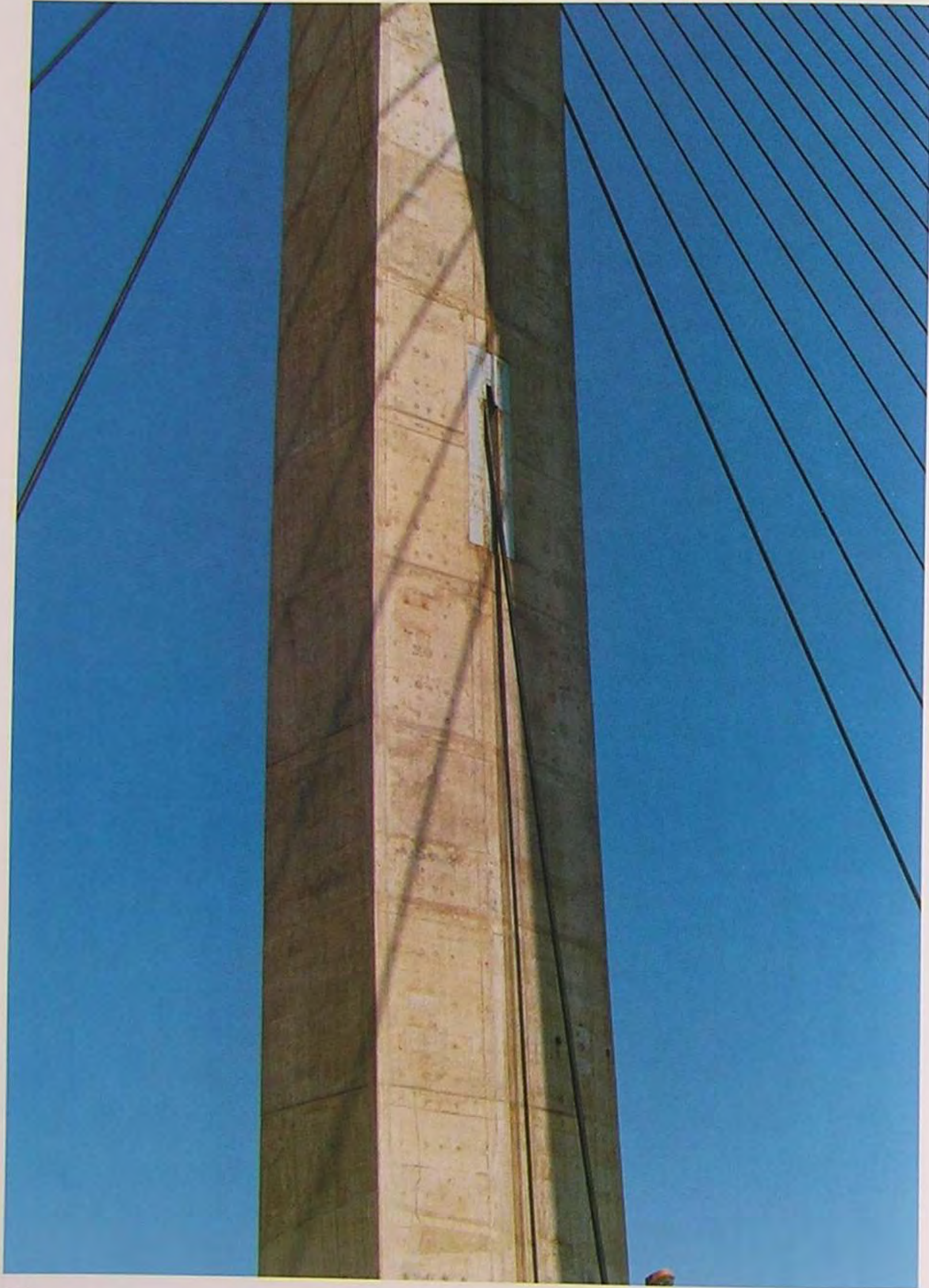
南浦大桥，  
中国，上海（左）

一个世纪以来，上海市民一直盼望有座桥跨越黄浦江，以连接两岸。这个愿望终于在1991年实现了！南浦大桥是该市环线的重要环节，对发展江对岸的浦东地区起着重要作用。

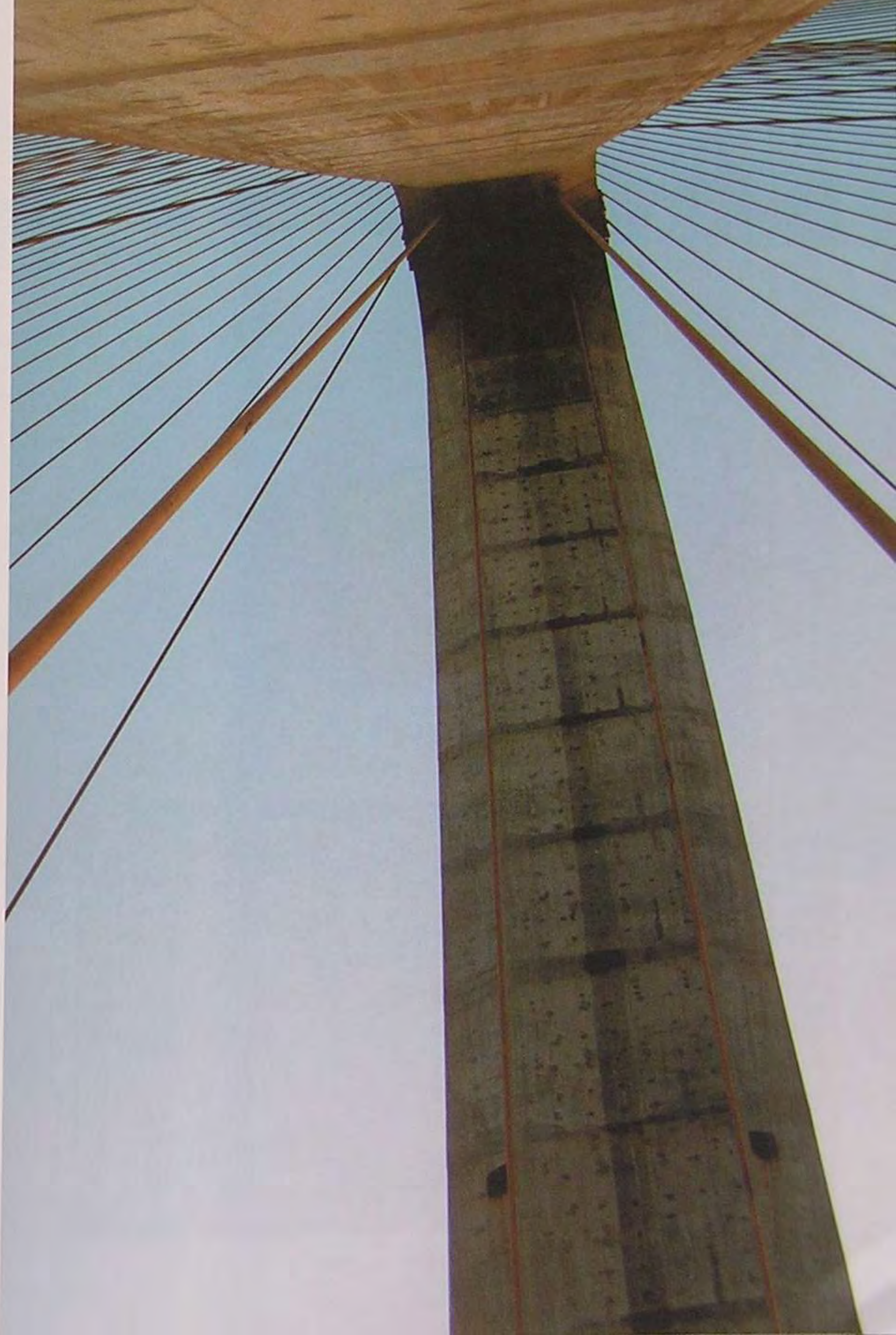
杨浦大桥，  
中国，上海（右）

杨浦大桥位于南浦大桥之北，于1994年完工，是上海市环线的另一个跨越黄浦江的大桥。



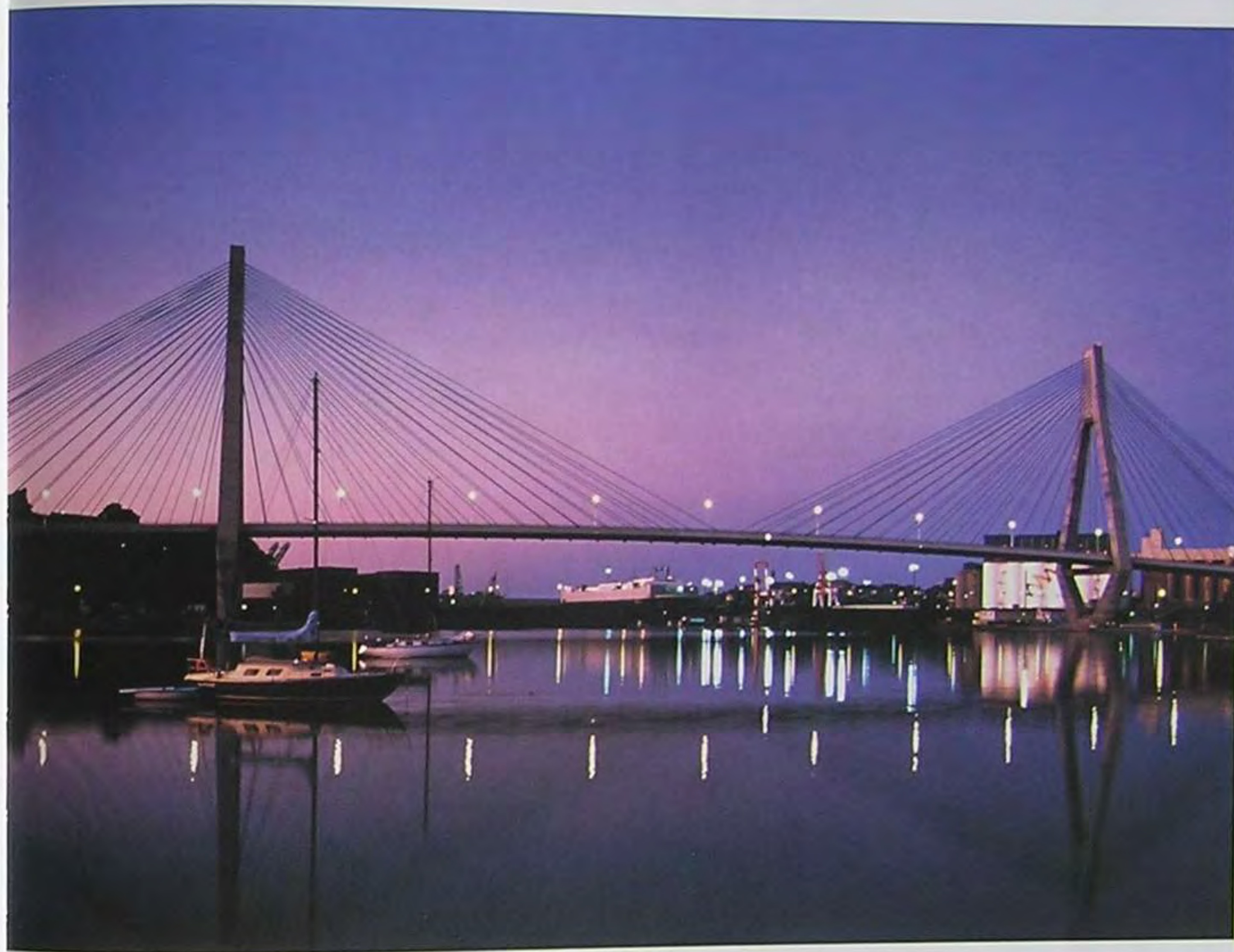
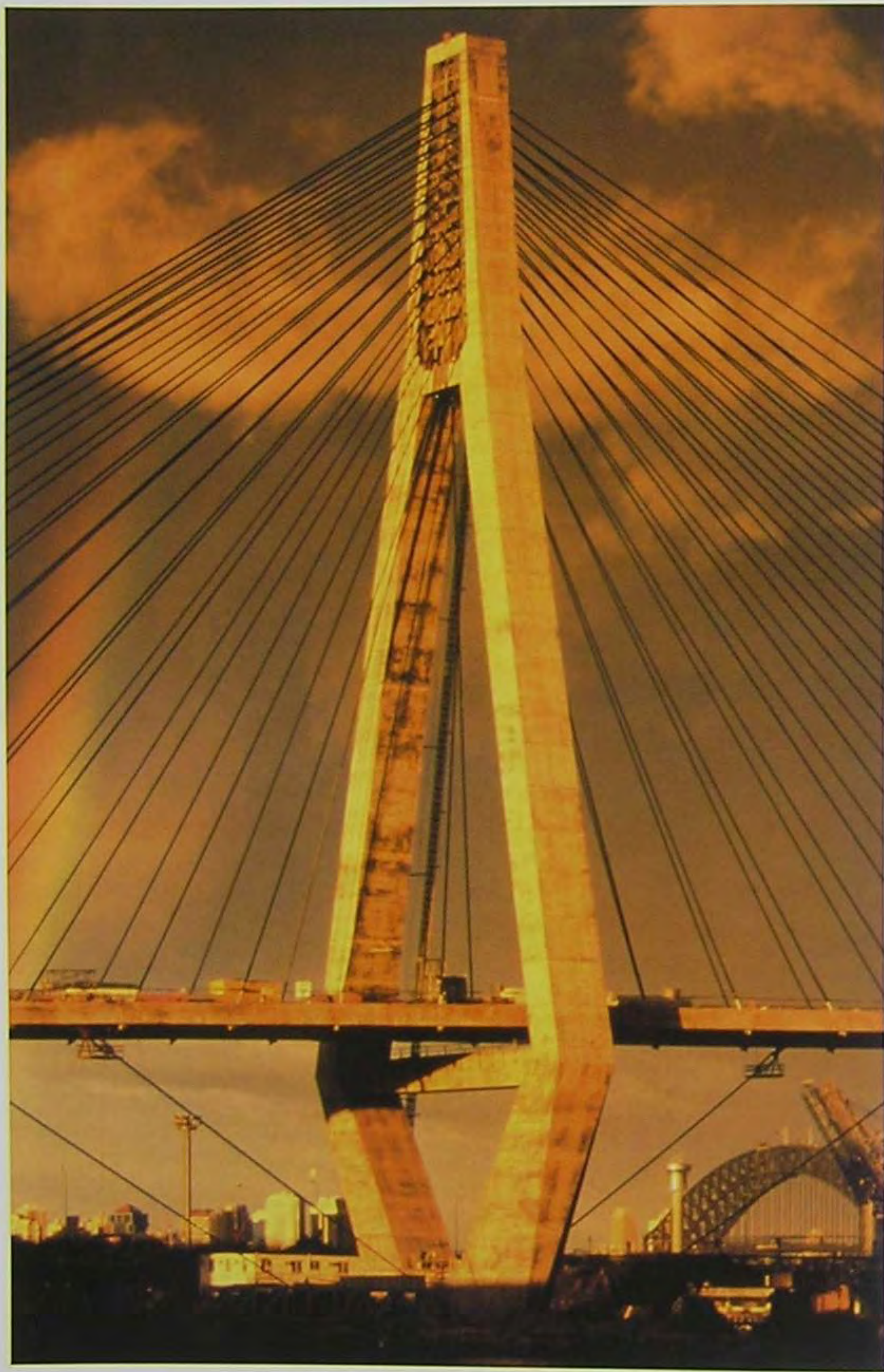


南浦大桥的一根塔腿，中国，上海



杨浦大桥，  
中国，上海





搁里岛桥, 澳大利亚, 悉尼

搁里岛桥于1997年通车。它是为2000年奥林匹克运动会期间预期的繁忙交通而建造的。

主梁是连续五跨, 主跨345米, 桥面32米宽。塔和梁都是混凝土结构。拉杆是 Freyssinet 型七丝钢绞线索股, 外表面涂蜡, 各自包膜, 外套聚乙烯管, 但不灌浆。

(照片蒙 Baulerstone Hornibrook 提供)





搁里岛桥的挂篮，  
澳大利亚，悉尼



预制拉杆锚块

### 搁里岛桥的挂篮

现浇斜拉桥施工的最重要的设备就是挂篮。挂篮的设计基本上决定了施工的速度和难度。挂篮应当变形小、强度高、轻而且易于操作。

搁里岛桥的挂篮是在单点桥的挂篮的基础上进一步发展的。这一设计已经被世界上几乎所有柔性梁斜拉桥所采用。

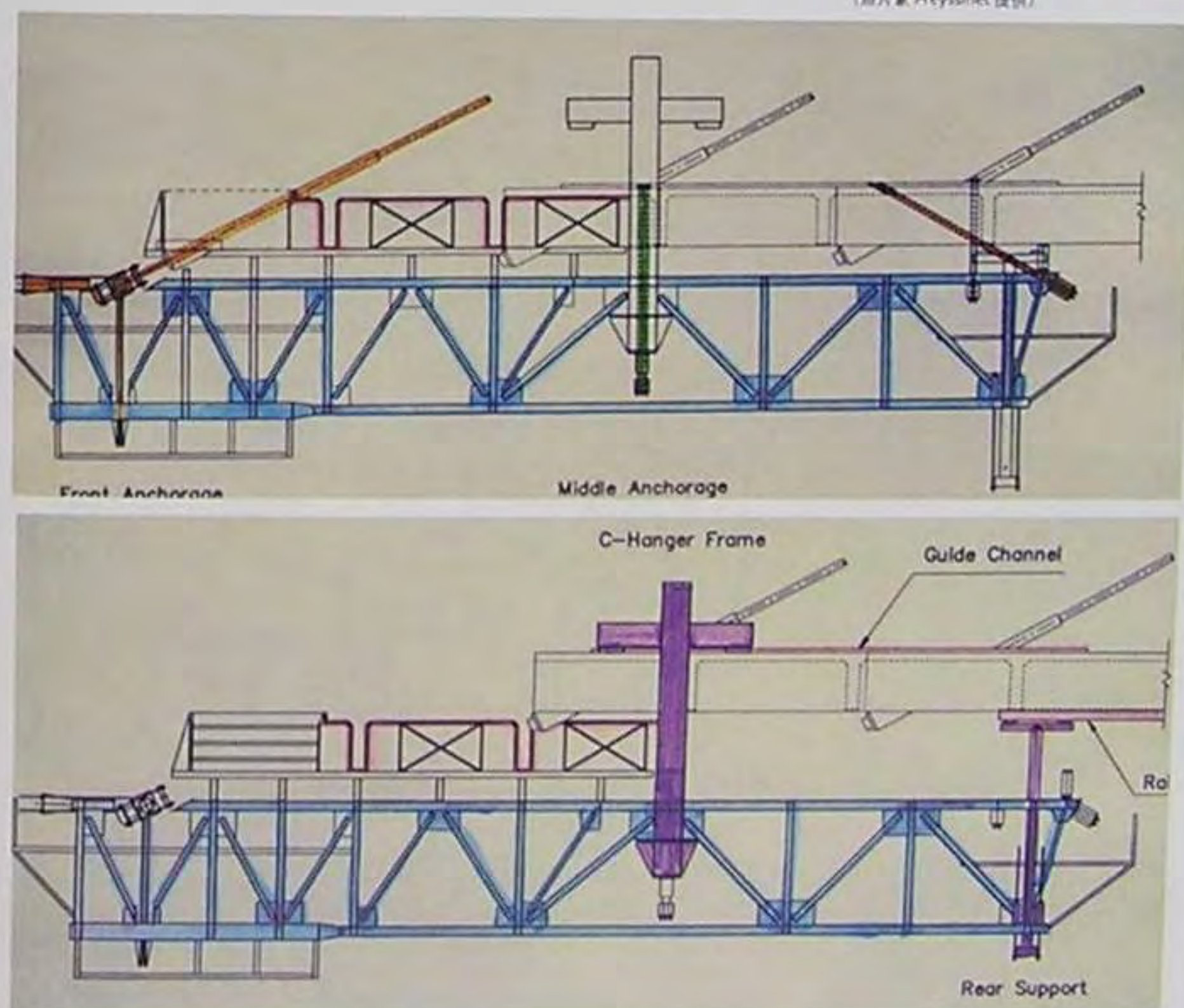
其设计(比如右图所示的拉杆连接件)必须既简单又结实。它是钢管和钢板的简单组合体。对于锚固件，我总是设法避免用特制的铸钢件或高精度部件，使得必要时它们可以很方便地更换。

这个附件是前拉杆与挂篮的连接点。搁里岛桥的这个附件比较复杂，因为这座桥的拉杆是沿两个方向倾斜的。



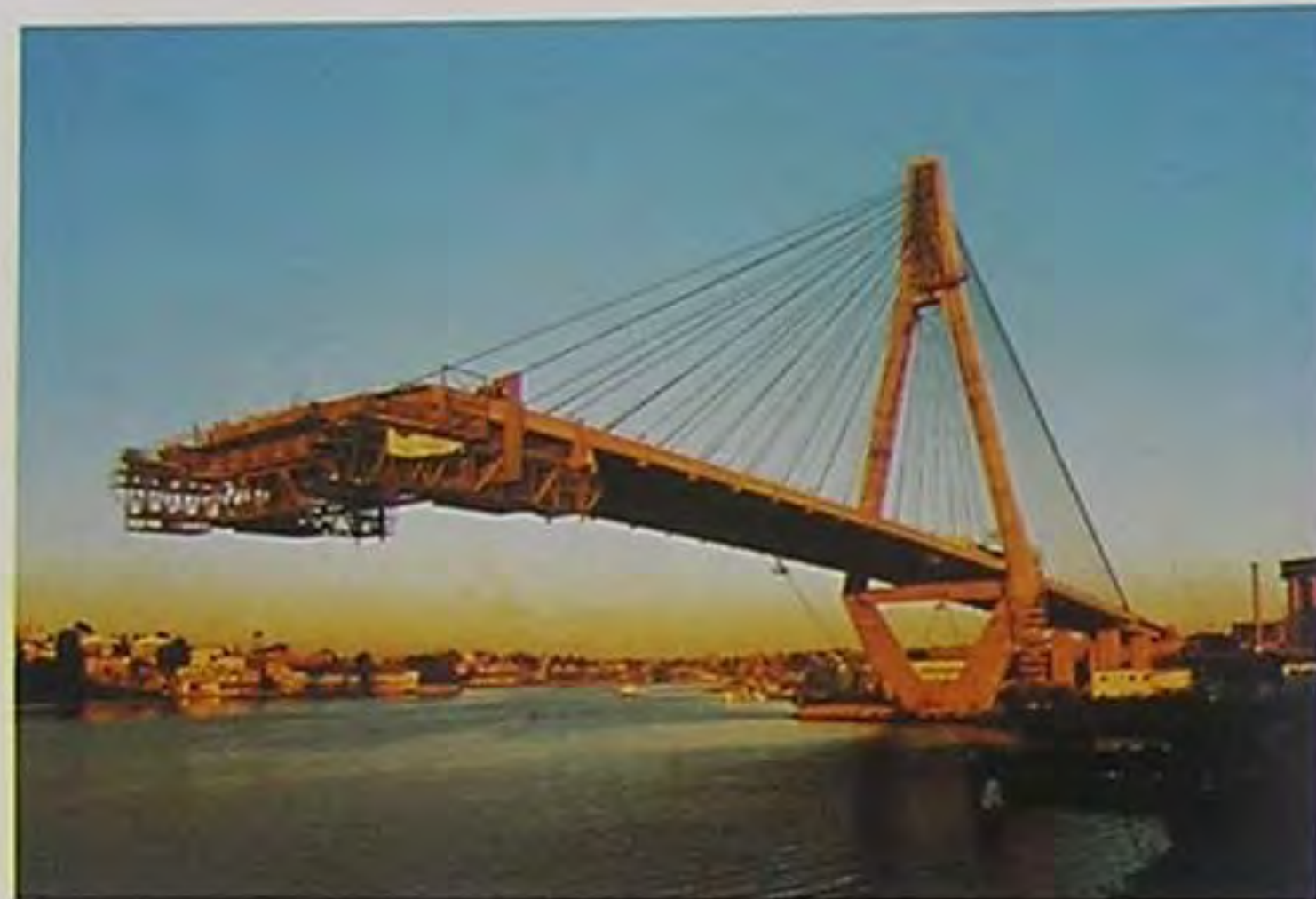
(照片蒙 Freyssinet 提供)

把拉杆连接到附件上



灌注混凝土的位置  
前移挂篮的位置





### 搁里岛桥

这座桥必定使2000年奥林匹克运动会的参加者和游客在市中游览时更加愉快。

用仅仅一个挂篮施工一座桥是第一次。用于边跨的推进式框架十分有效。这些框架在浇灌混凝土时支持模板。它们还可用作系杆，在有湍流风时减少抖振反应。

这座桥是分两半建造的。前半完工后，挂篮向下放入驳船，运至海湾的另一岸，供施工另一半之用。推进式框架亦用同样的方法运送。

由于边梁十分柔软，一个辅助的小梁被加到C型框架上，以分散挂篮的重量。这样避免了挂篮前移时拉杆的调整。



小故事：媒体常常迅速地报道问题和不是问题的问题！Hugh Bishop先生曾讲过这样一个故事：当现场准备浇灌合龙段时，挂篮只挂在一个悬臂梁的端部，而另一个悬臂梁没有挂篮。从而有挂篮的端部挠度比对面的端部大了60厘米。媒体过早地报道说施工出现了错误，并预言完工后跨中会有巨大的高差。实际上，完工后主梁形状完美无缺！

### 媚川 (Mythuan) 桥, 越南

媚川桥是越南第一座斜拉桥，也是湄公河上的第二座桥。媚川桥有四条车道，是1号国道的关键环节。它于2000年5月通车。

此跨越河流的斜拉结构含主跨350米和两个150米的边跨。

23.66米宽的现浇混凝土上部结构由64根斜拉杆支持。桥面由两根2米高的边梁支持。

这座斜拉桥所有拉杆的锚座都在纵边梁的外面。我们把预制锚座放在尚未浇注的桥面板的位置，把拉杆锚到锚座上，施加应力后浇注桥段。锚座受力后索力传到挂篮上弦，于是索力竖向分力则直接由挂篮支持。索的顺桥向分力由连接旧锚座与新锚座间的压杆承受，它代替挂篮中的临时锚固件。

竖向抗风拉杆锚固到桩基承台上。我们在承台上另外加了重量，以充分利用桩的承压能力。

使用Freyssinet镀锌七丝钢绞线索股，涂蜡后各自包膜，外套聚乙烯管作保护。

我问 Hugh Bishop 先生和陶建人先生我们的人学到多少越南文。他们现在能用越南文写几个词“1、2、3、4、5...”





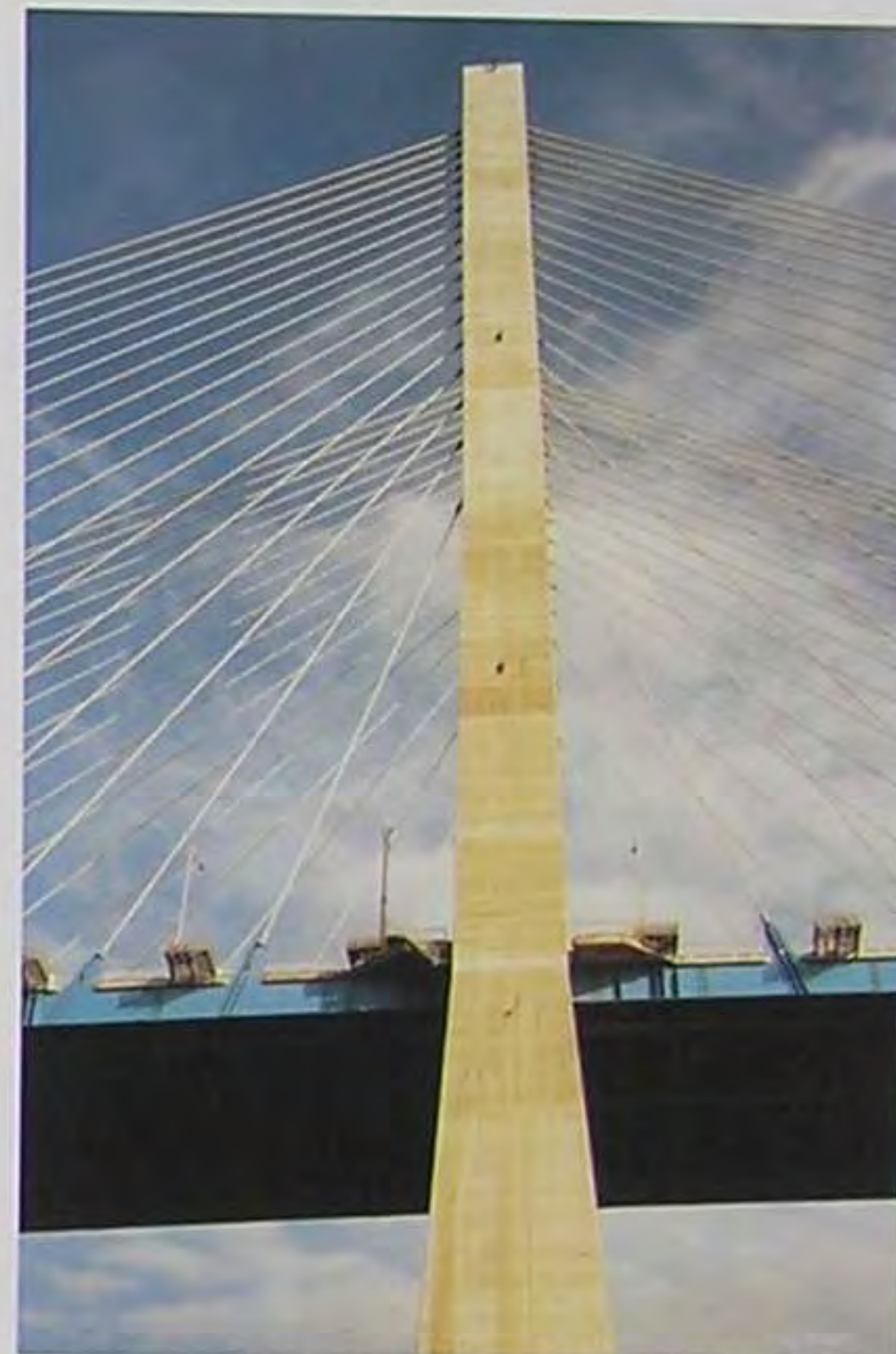
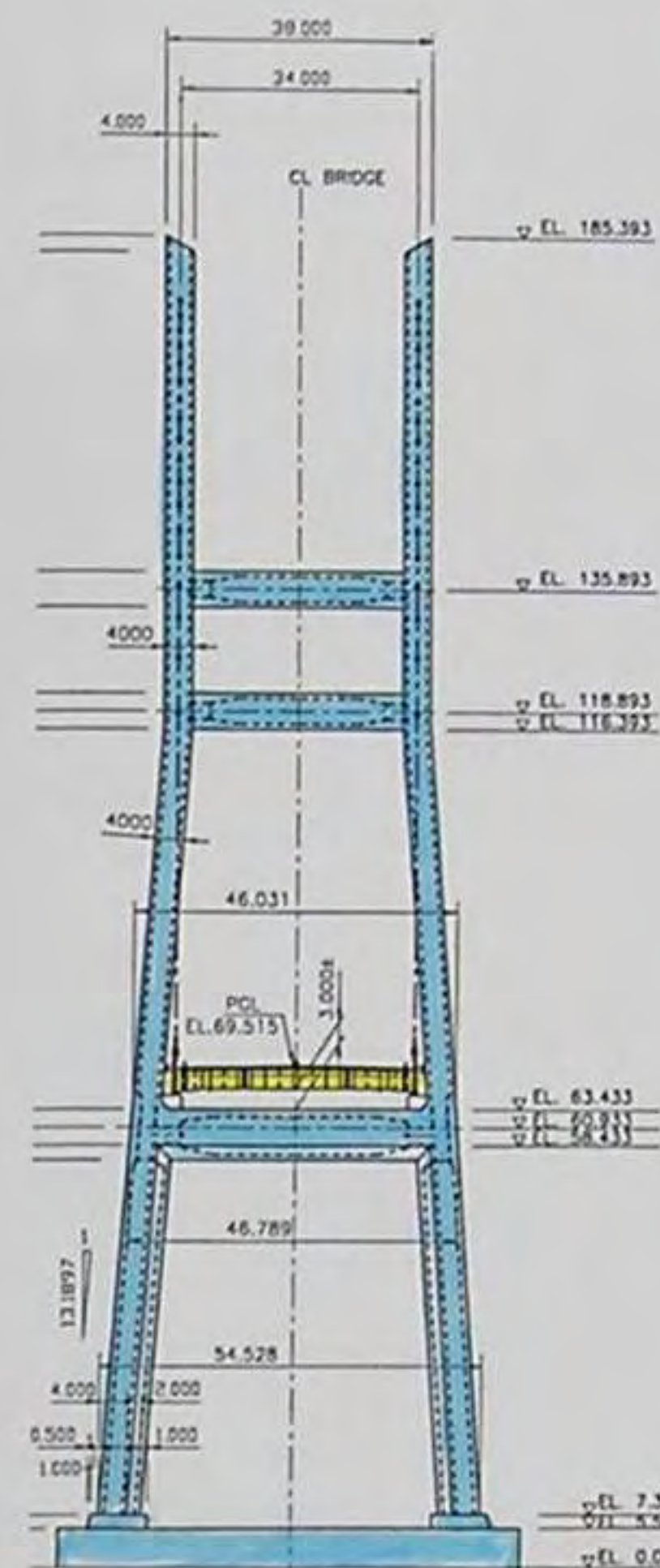
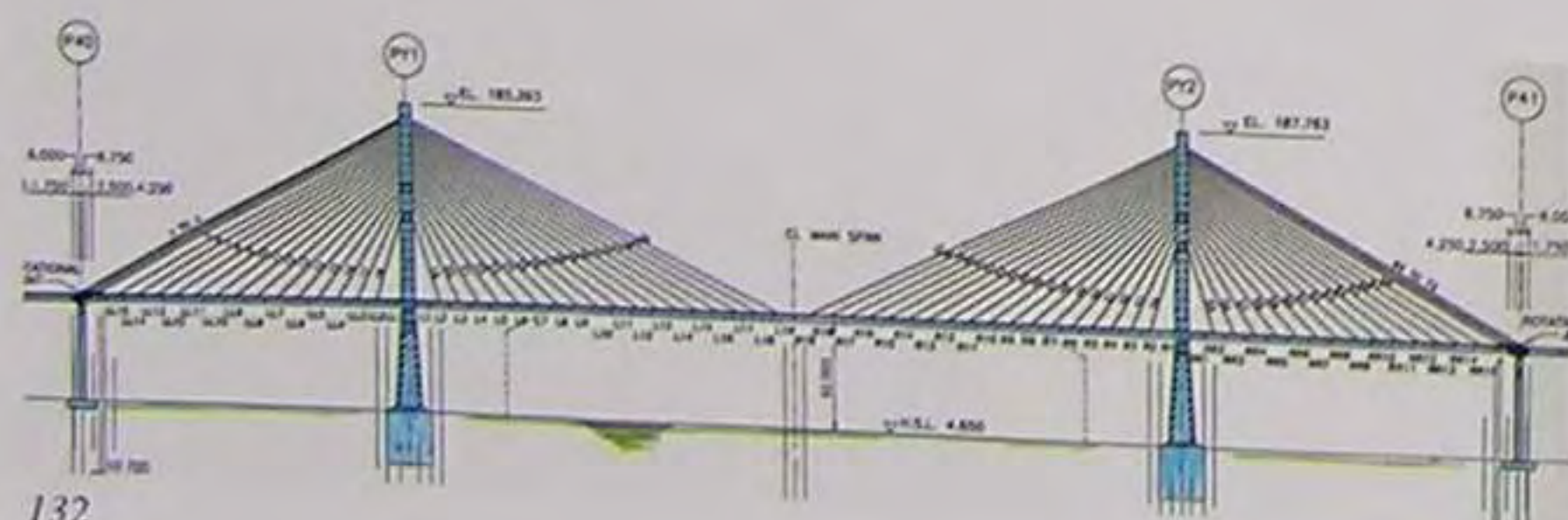


牙山湾的西海大桥，韩国西海岸

这座470米跨的斜拉桥位于韩国西海岸的牙山湾。当2000年完工时，它是韩国最大跨度的桥。其特点是混凝土塔和联合梁。桥面34米宽，有两个钢边梁，钢横梁间距4.1米。沿桥的中心线还有一条纵肋以便在施工时协助支持预制桥面板。靠近桥塔处，混凝土桥面板是32厘米厚。随着梁中的轴向压力逐渐减小，板变成倒漏斗形。

这个结构象征韩国的大门。

(照片由 Daewoo Industrial Company 提供)



西海大桥，韩国，牙山





西海大桥，在韩国牙山

(照片蒙 Freyssinet-Vigouroux 提供)



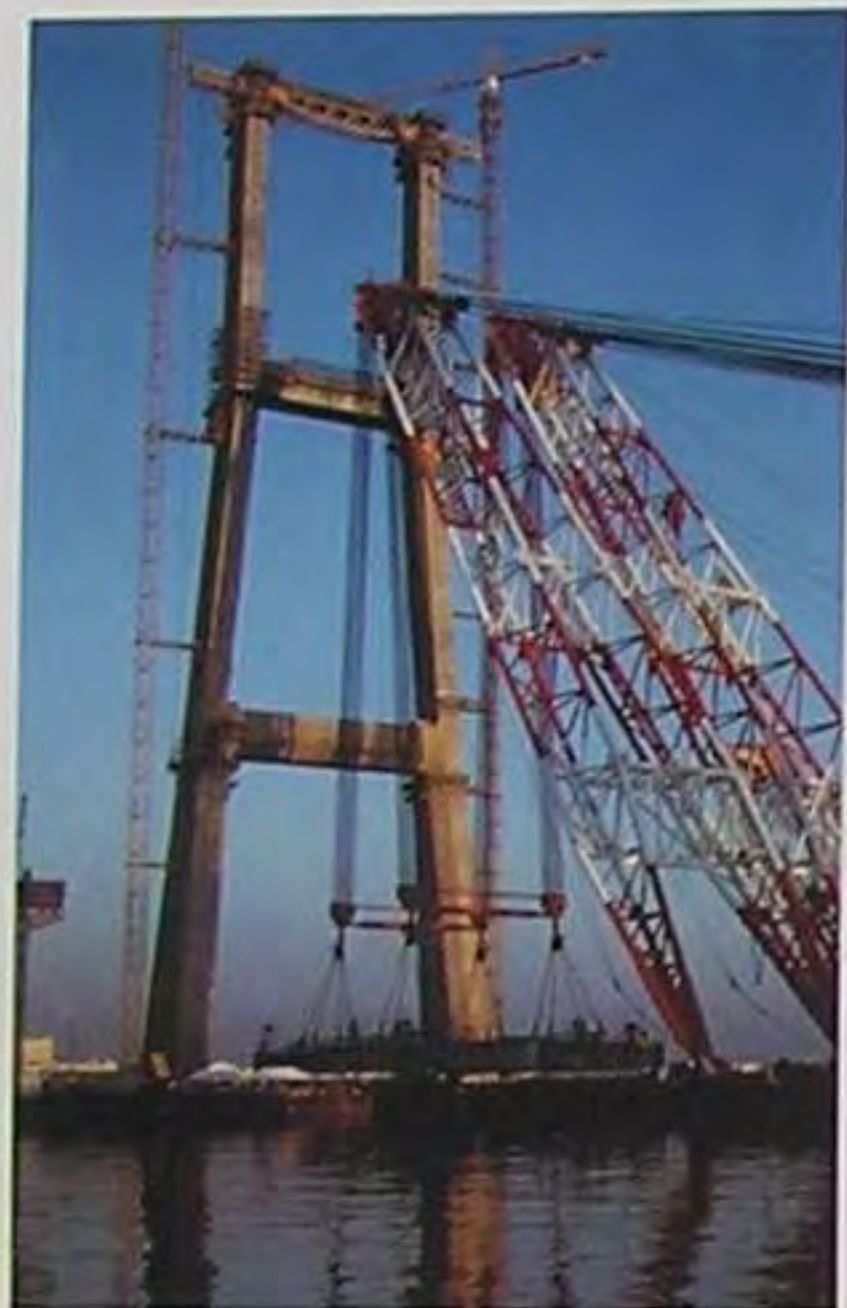
西海大桥，  
韩国，牙山

(照片蒙 Freyssinet-Vigouroux 提供)



## 西海大桥，韩国，牙山

靠近桥墩的梁段在地面拼装，然后大型浮吊提升至预定位置。把每个1700吨的梁段整体起吊。



## 西海大桥，韩国，牙山

吊装主梁端头的梁段



黄碧娥小姐参加了这个工程的工作。她几次和我一起去韩国参加这个工程的会议。当时韩国女工程师很少，她则受到韩国朋友的礼遇。

她说她能吃餐桌上的一切：烧牛肉、韩国泡菜、人参鸡，但是当还动着的章鱼腿送上餐桌时，她躲开了！

我们另一位工程师张志禹信佛，幸运的是，章鱼腿送上餐桌时他不在。



在浇筑桥面板的板缝之前，用一个倒置的主桁架顶起横梁，完工后使桥面板中产生压应力。

提升钢框架——边梁和桥面梁的组合物





### 西海大桥，韩国，牙山

自上世纪80年代初建造杭城大桥以来，科技特别是通讯有了显著的进步。多亏有电子邮件和传真机，我们驻工地的工程师 Kook-Joon Ahn 和 Erich Aigner 不再需要半夜给办公室打电话了。张志禹先生和 Mark Chen 先生只需每天早晨坐在旧金山读信，并且在驻韩国的同事睡醒前回答所有问题。现场发来的数字图片更使我们有身历的感觉。



### 西海大桥

这座桥使用 Freyssinet 拉杆系统。每根拉杆由几股镀锌七丝索股组成，各自涂蜡并包膜。把拉杆包起来的聚乙烯套管外面有螺旋形的肋，以抑制雨-风振动。

拉杆在边梁处的锚头用螺栓连到边梁的腹板上。这可避免循环荷载作用下产生疲劳裂缝。与腹板直接连接可最大限度地减少锚座的偏心。

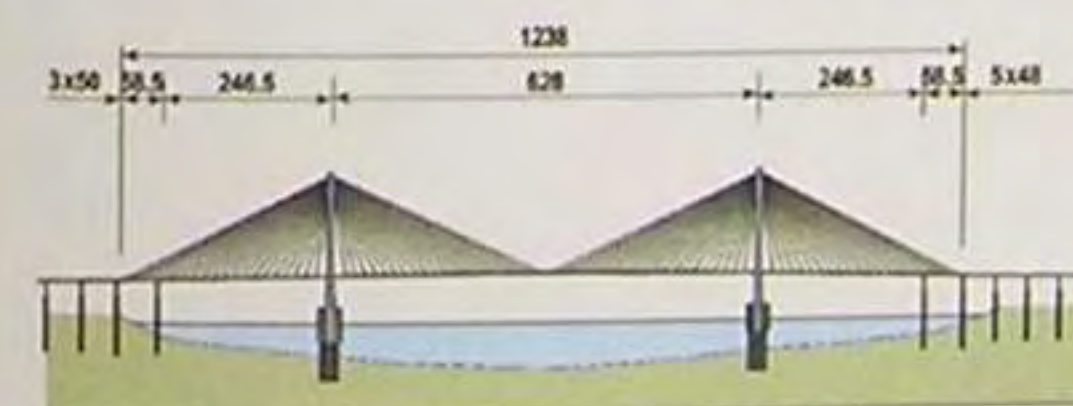
把锚座置于桥面上方，便于维护检查。







南京长江二桥，中国，南京



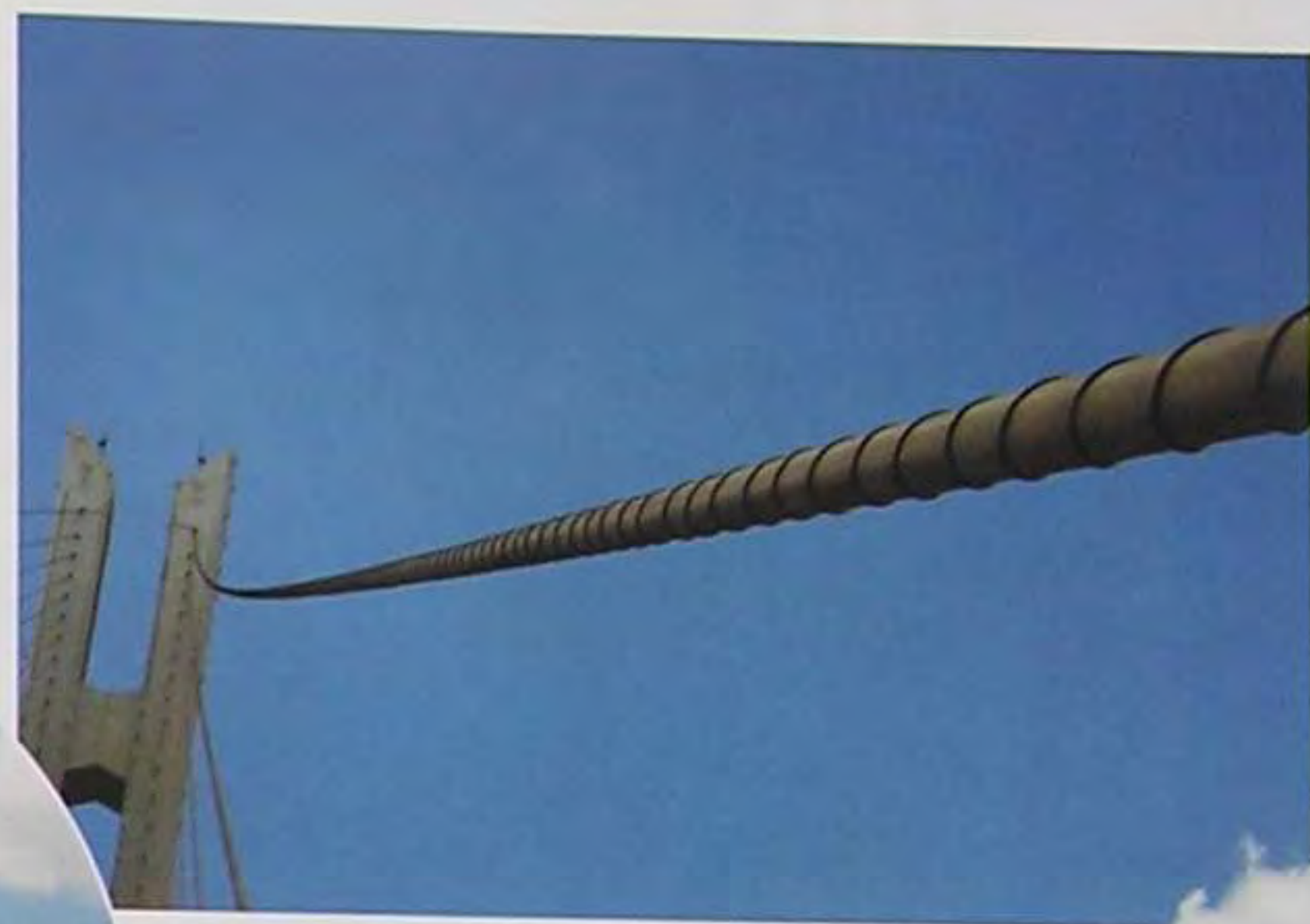
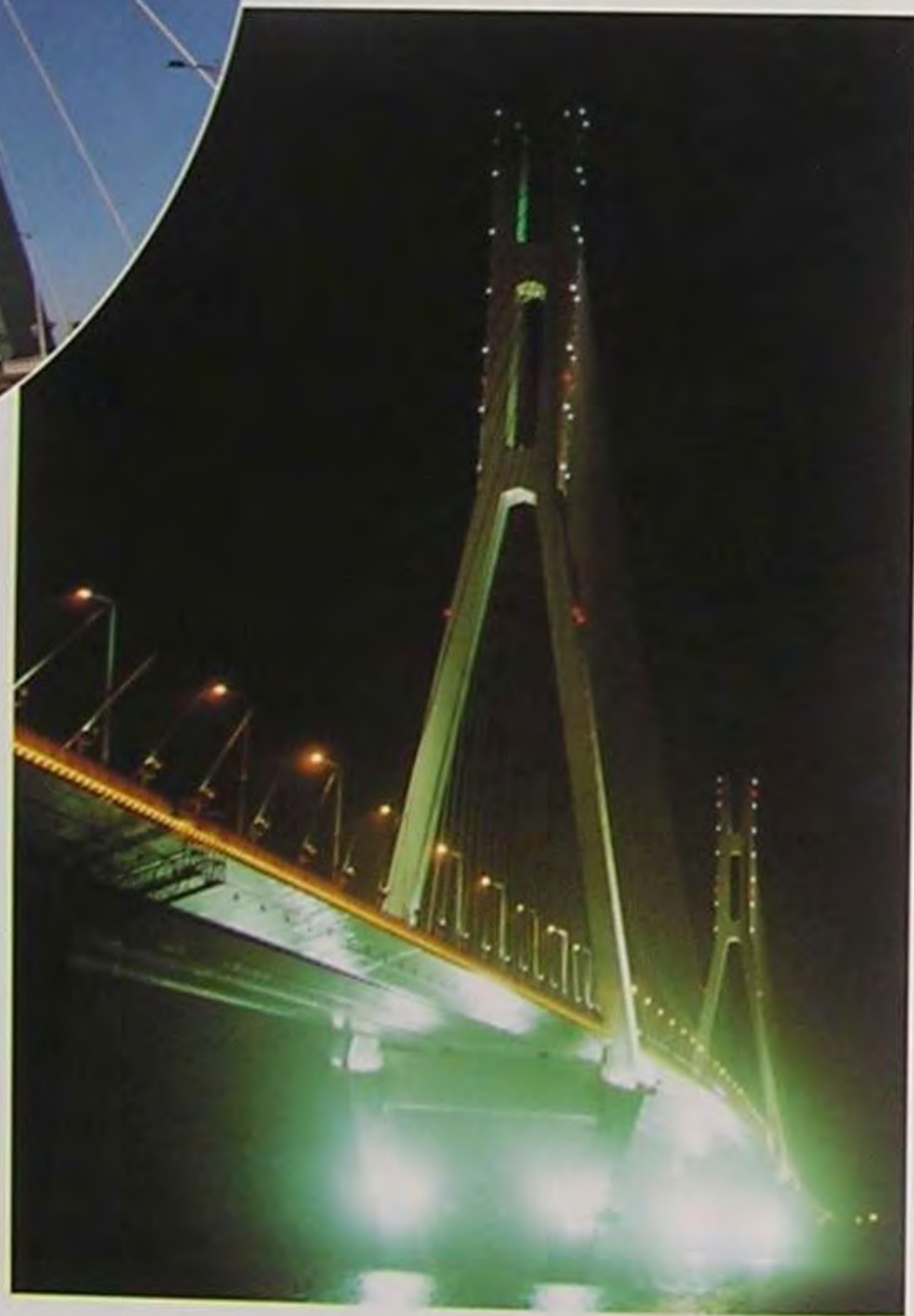




# 南京长江二桥， 中国，南京

在2001年3月通车时，这座628米跨的斜拉桥是中国之最。它有两个混凝土桥塔和一根钢箱梁。箱梁上有正交钢制桥面板。拉杆用平行钢丝和冷铸锚头。这座桥承担六车道的交通和两个人行道。桥的两端有广阔的景观。桥旁还有一个桥梁博物馆。

(左图和下图南京长江二桥总指挥提供)



# 南京长江二桥，中国，南京

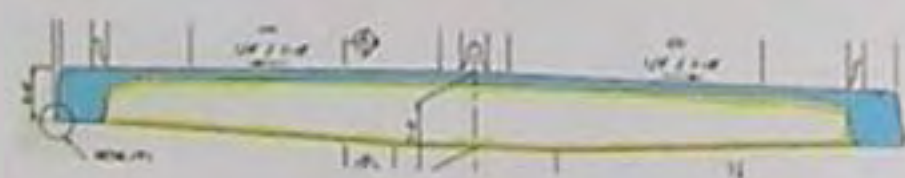
拉杆用平行钢丝束外罩挤压聚乙烯。为消除雨-风振动，拉杆外面缠绕螺旋型小索。此外每根拉杆下端还安装了阻尼器。这些措施有效地抑制了所有拉杆的振动。





西尼·拉尼耶(Sidney Lanier)桥,  
美国, 佐治亚

这座桥计划于2002年完工。



西尼·拉尼耶桥, 位于佐治亚的 Brunswick

施工中使用了一对挂篮, 因此半座桥先完工, 然后挂篮被转移到另一个桥塔以建造另一半悬臂梁。

桥塔用沙岛保护, 防止被船只撞击。

现有的带提升跨的桥将于新桥通车后拆除。



现有的带提升跨的桥(图片中在新桥的后面)航道净空只有76.2米宽, 不利于许多本身宽度已达61米的大型船只的安全航行。在20世纪90年代, 它已经被船只撞坏多次。





西尼·拉尼耶桥，  
佐治亚，Brunswick



西尼·拉尼耶桥，佐治亚，Brunswick

这是谭美纪念桥的姊妹结构。这个地区的人喜欢谭美纪念桥，所以要求在这里也有一座同样的桥。它的构形与谭美纪念桥相同，只是跨度为381米，稍微长一点。以桥塔为对称轴布置拉杆。桥塔在水中，用沙岛保护，防止船撞。

竖向净空为56.4米。

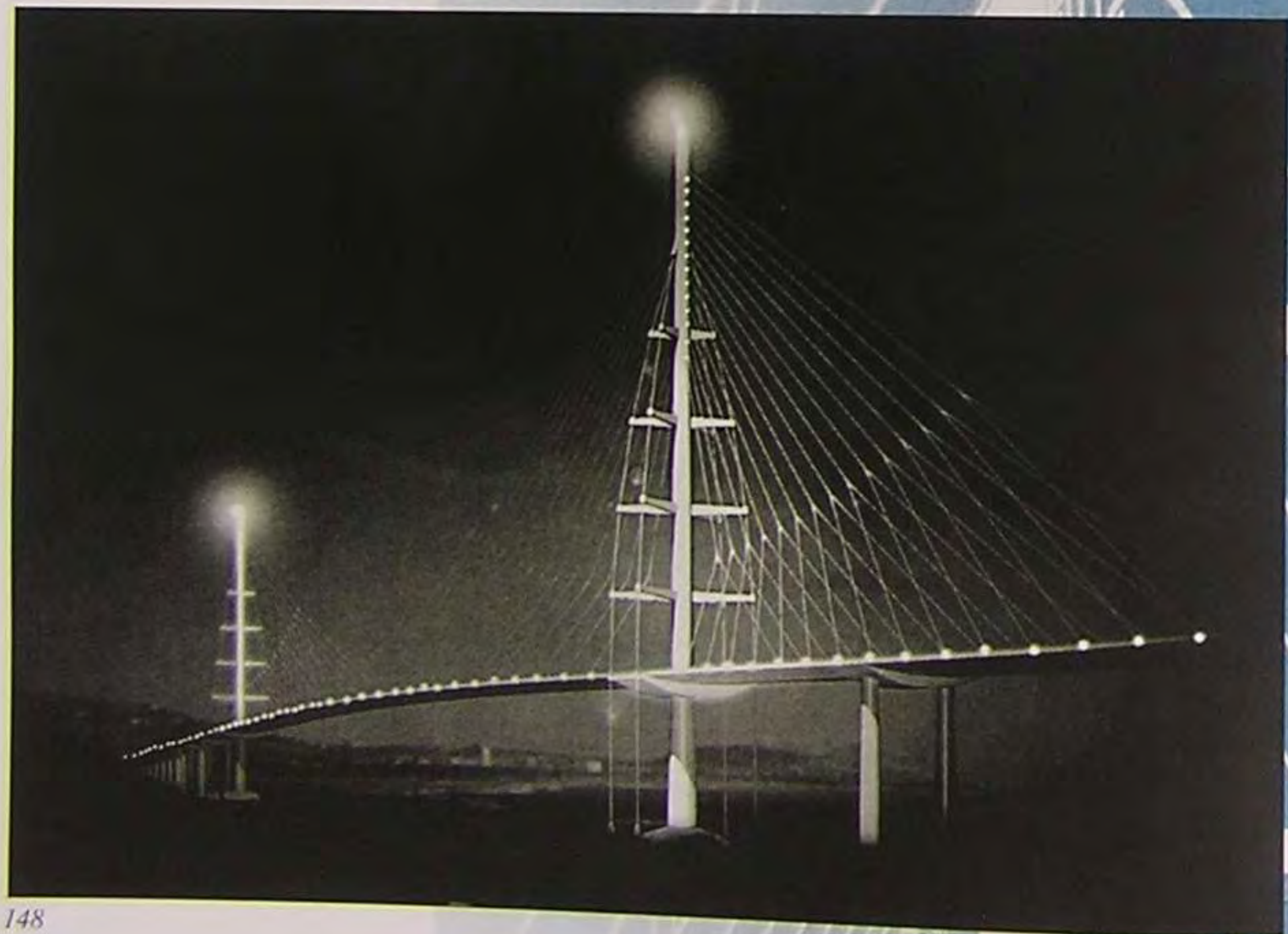
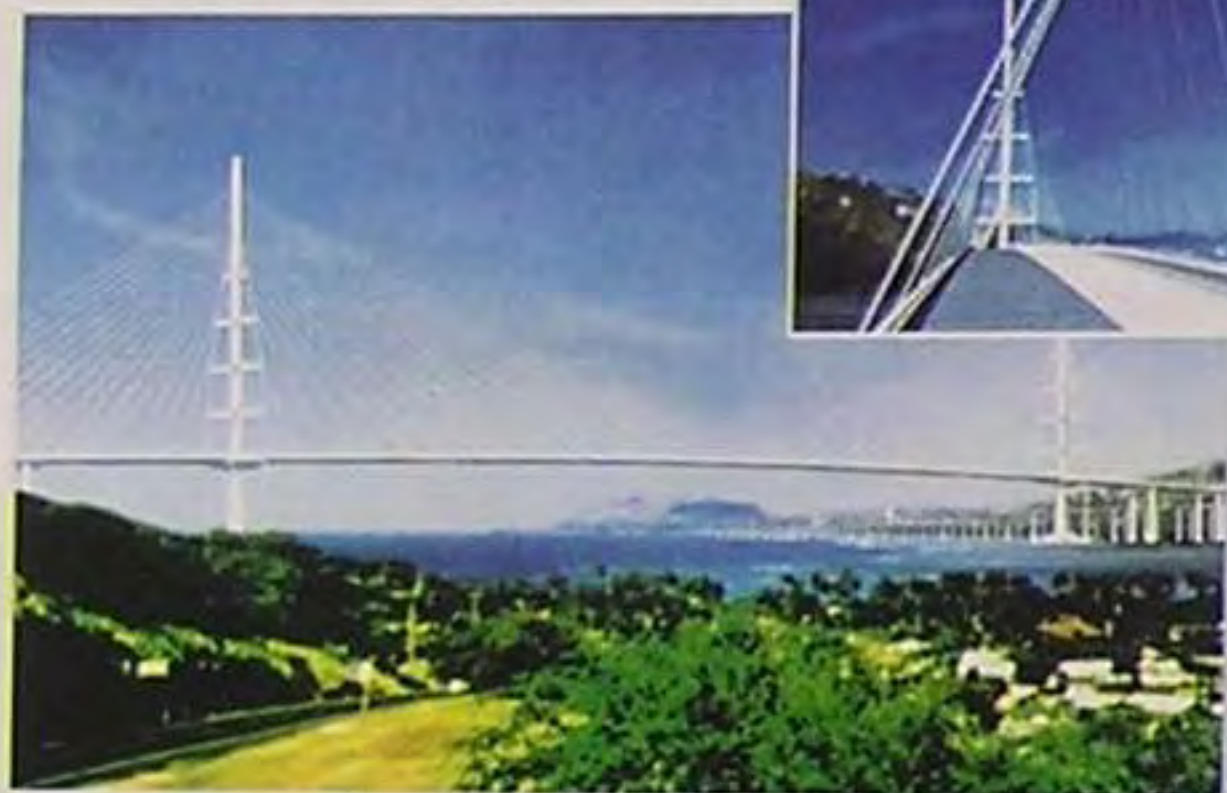




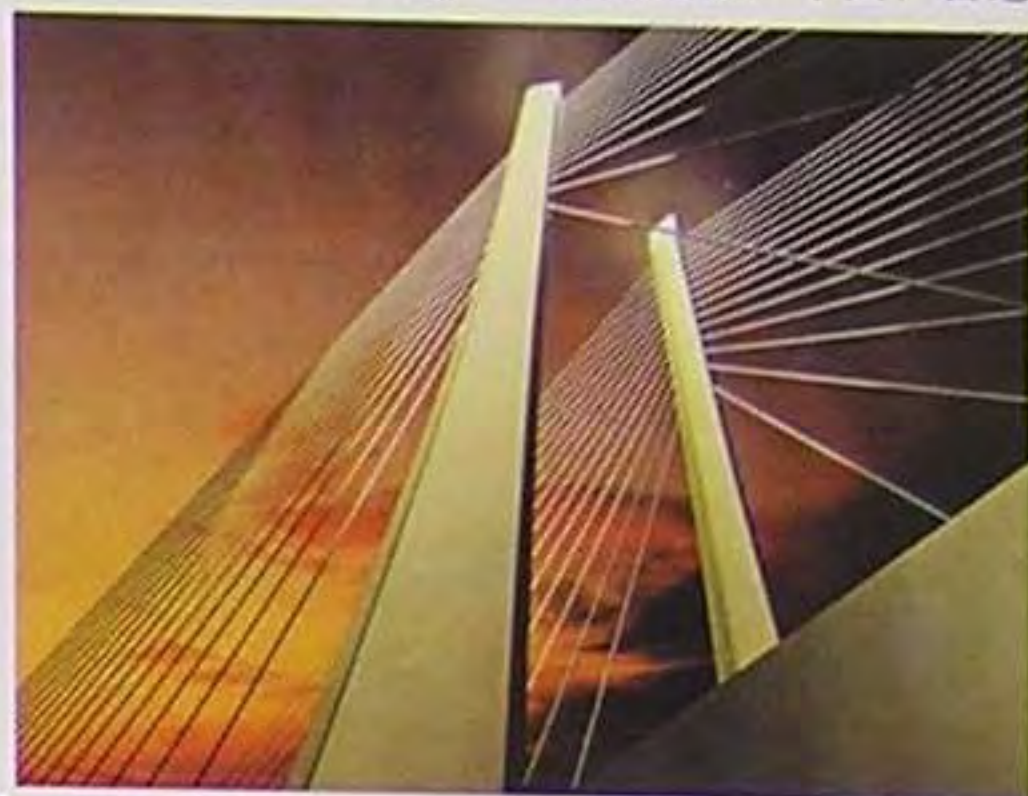
## 构想——昂船舟桥，中国，香港

这座桥位于一个海港的入口，因此船桅杆塔式的构图应当是与周围环境融合的。分叉的斜拉杆给通行者以独特的感受。

伸臂和竖向系索用来稳定独腿桥塔。这使得塔身可以设计得很细，并能抵抗香港地区可能发生的最大的风。



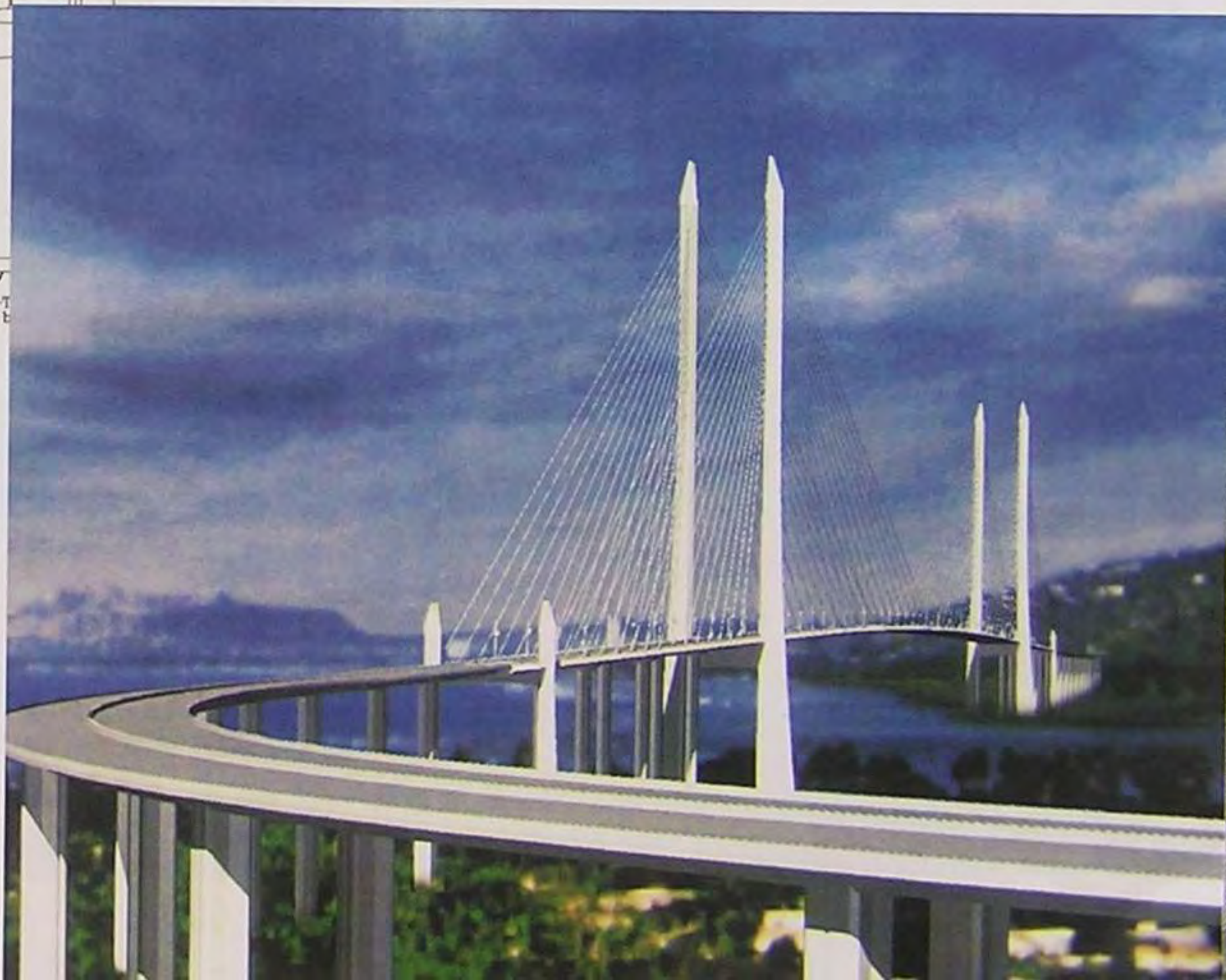
## 构想——昂船舟桥，中国，香港



美是每个人眼中的感受！

我们每次参加竞赛时，第一个问题总是评判员的偏爱。可惜这通常都是未知数。我们只能提出我们最喜欢的方案。

和建筑师 Kevin Hart 坐在一个房间里。我们评估了许多可能方案：保守的、超未来的、和一些我们称之为很“酷”的方案。最后我们为这座世界最大的斜拉桥确定了这两个比较新颖的方案，获得这次竞赛的第三名！







巴拿马运河二桥，巴拿马

这座420米跨的桥的初步设计透视图，其设计必须保证施工期间不影响繁忙的航运。

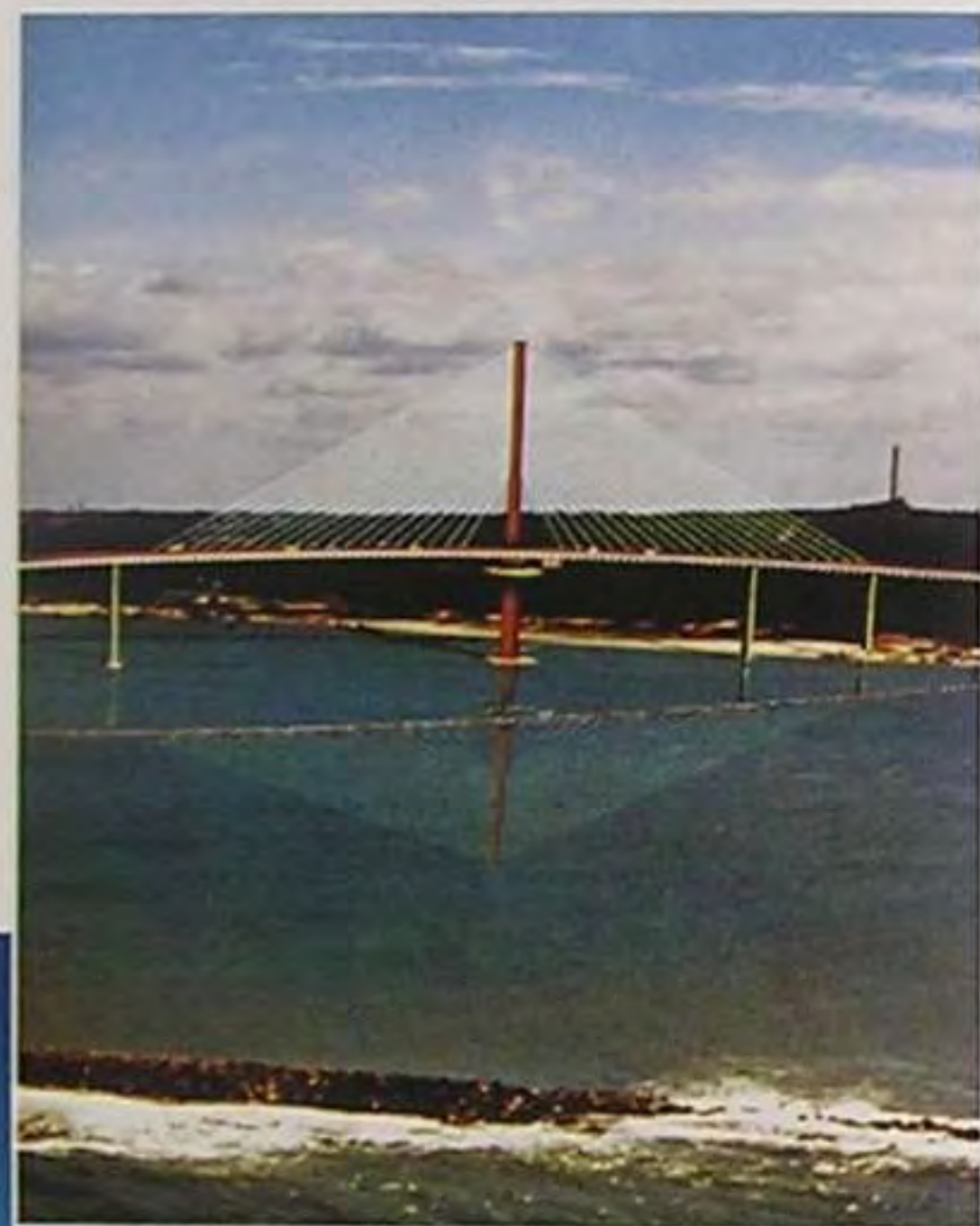
#### 进展中的设计1

#### 淡江大桥，中国，台湾

这座一公里长的桥的特点是有餐厅、观景平台和其他旅游设施。大梁设计成空心的，用作商业街。

#### 波腾治 (Potengi) 桥，巴西，Natal

在美丽的度假胜地的一座美丽的桥。塔上有一个饭店。单轨电车可将游客送往饭店。



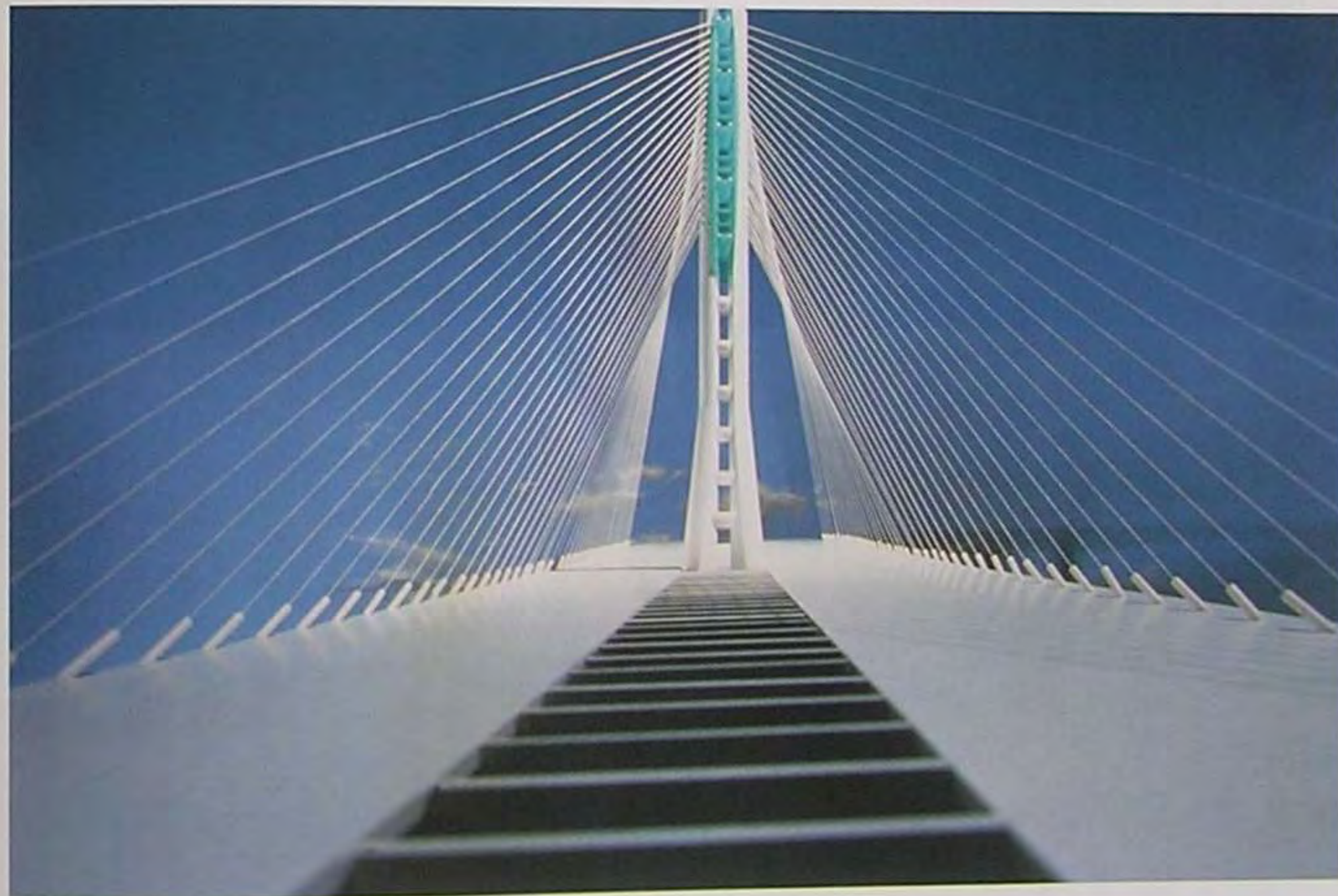
构想是重要的！

构想是重要的！



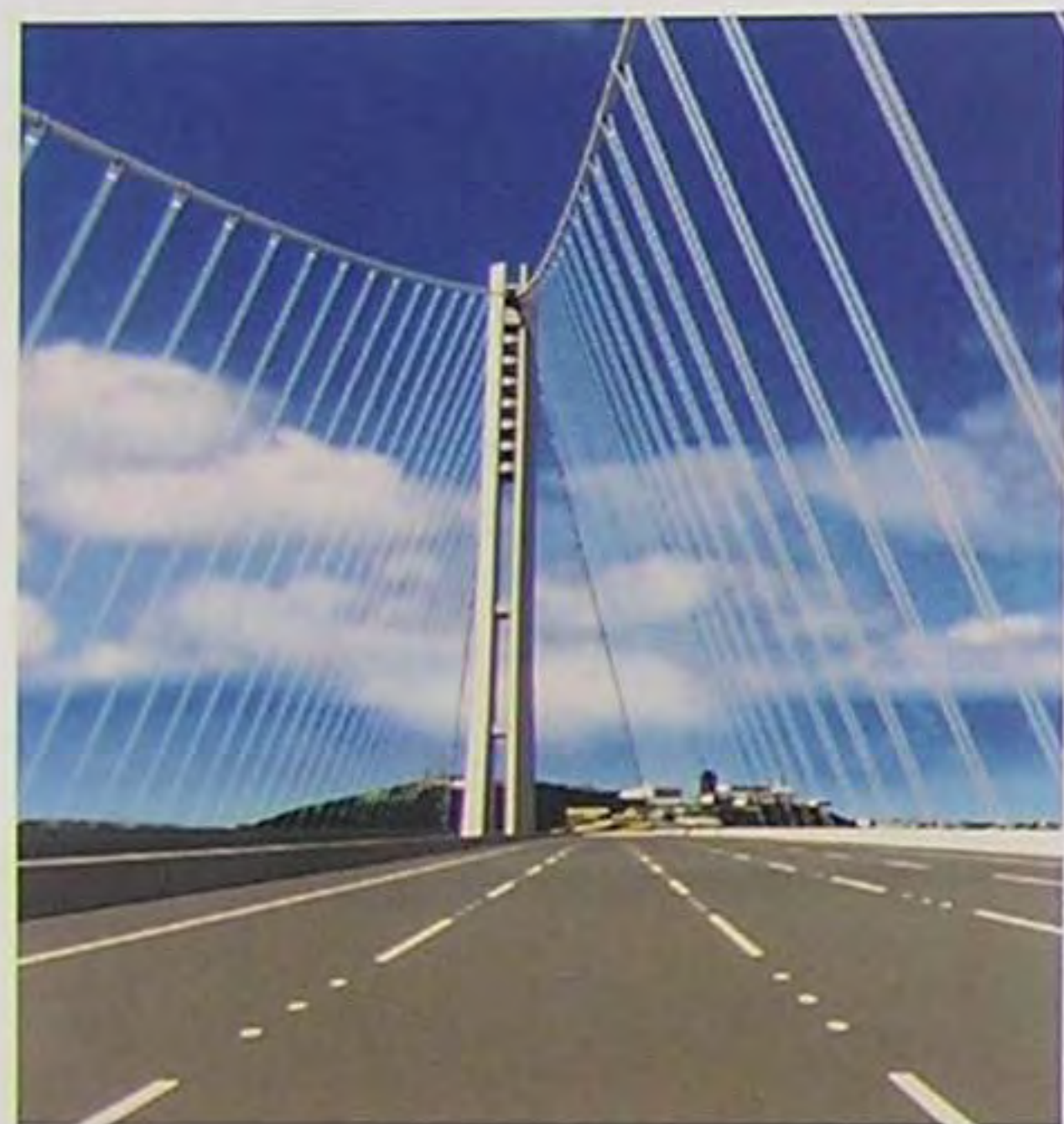
#### 斜拉桥方案，旧金山奥克兰海湾桥，加利福尼亚

斜拉桥方案和悬索桥方案都考虑过。这两个是斜拉桥方案。自锚悬索桥方案（下页）被选中作最后设计。





旧金山奥克兰海湾桥—东跨, 美国, 加利福尼亚, 旧金山, 奥克兰



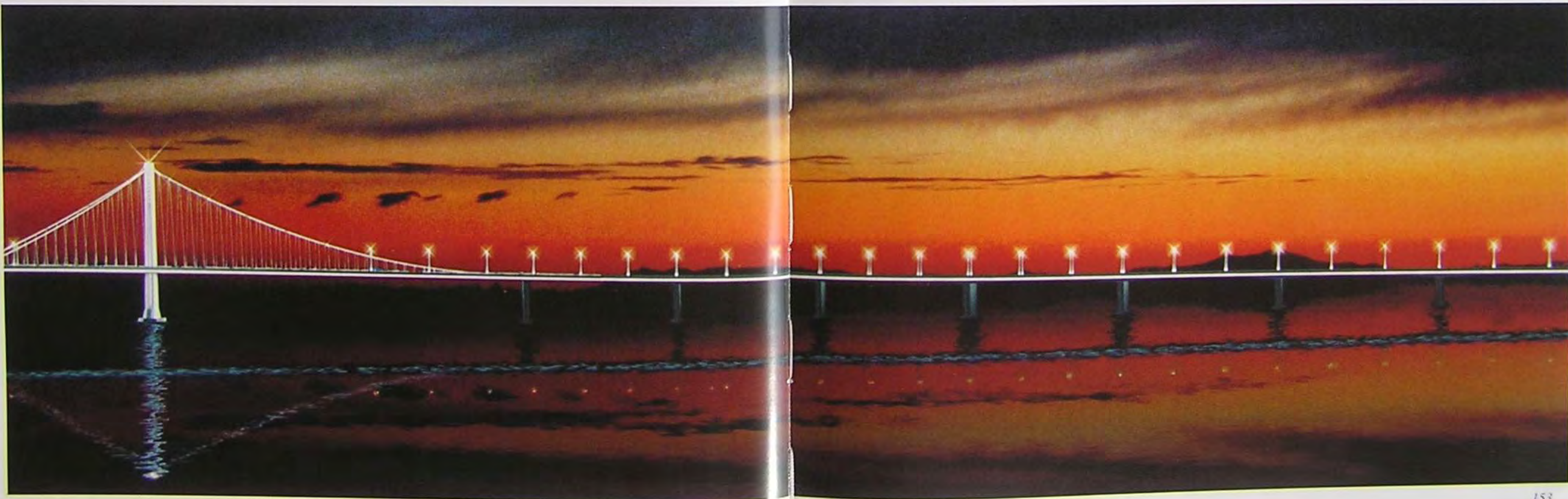
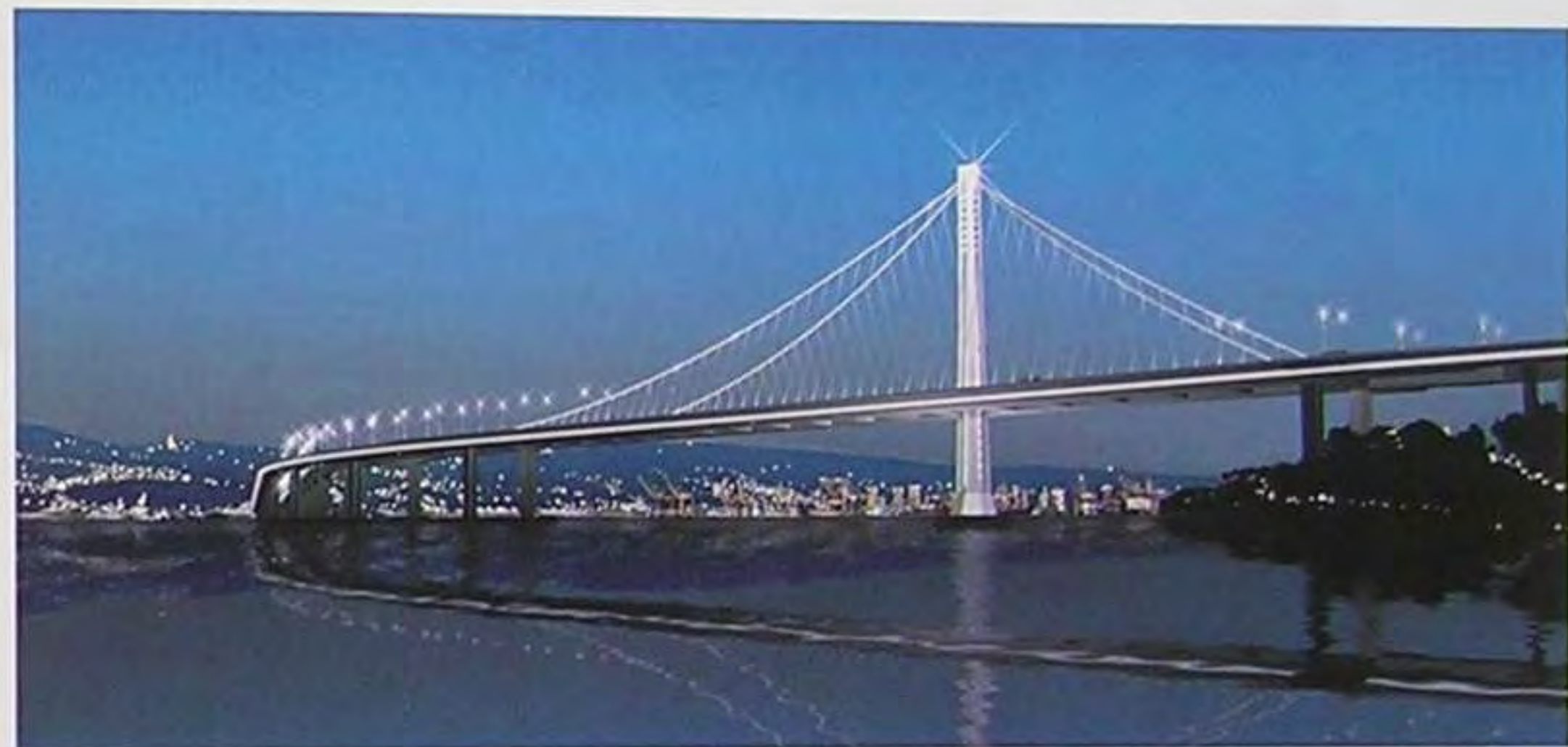
这座旧金山奥克兰海湾桥的新东跨是为加强抗震而取代原来的东桥跨的。经鉴定, 旧东桥跨在湾区的强烈地震下会被损坏。这座3.6千米长的桥有一对箱梁, 每个箱梁承担5个车道的公路交通, 两个路肩, 亦考虑可加一条轻轨铁路。一条4.8米宽的行人/自行车通道加到东向的箱梁上。

这座新桥的设计必须使它在湾区发生强烈地震后几乎立即可以通行。

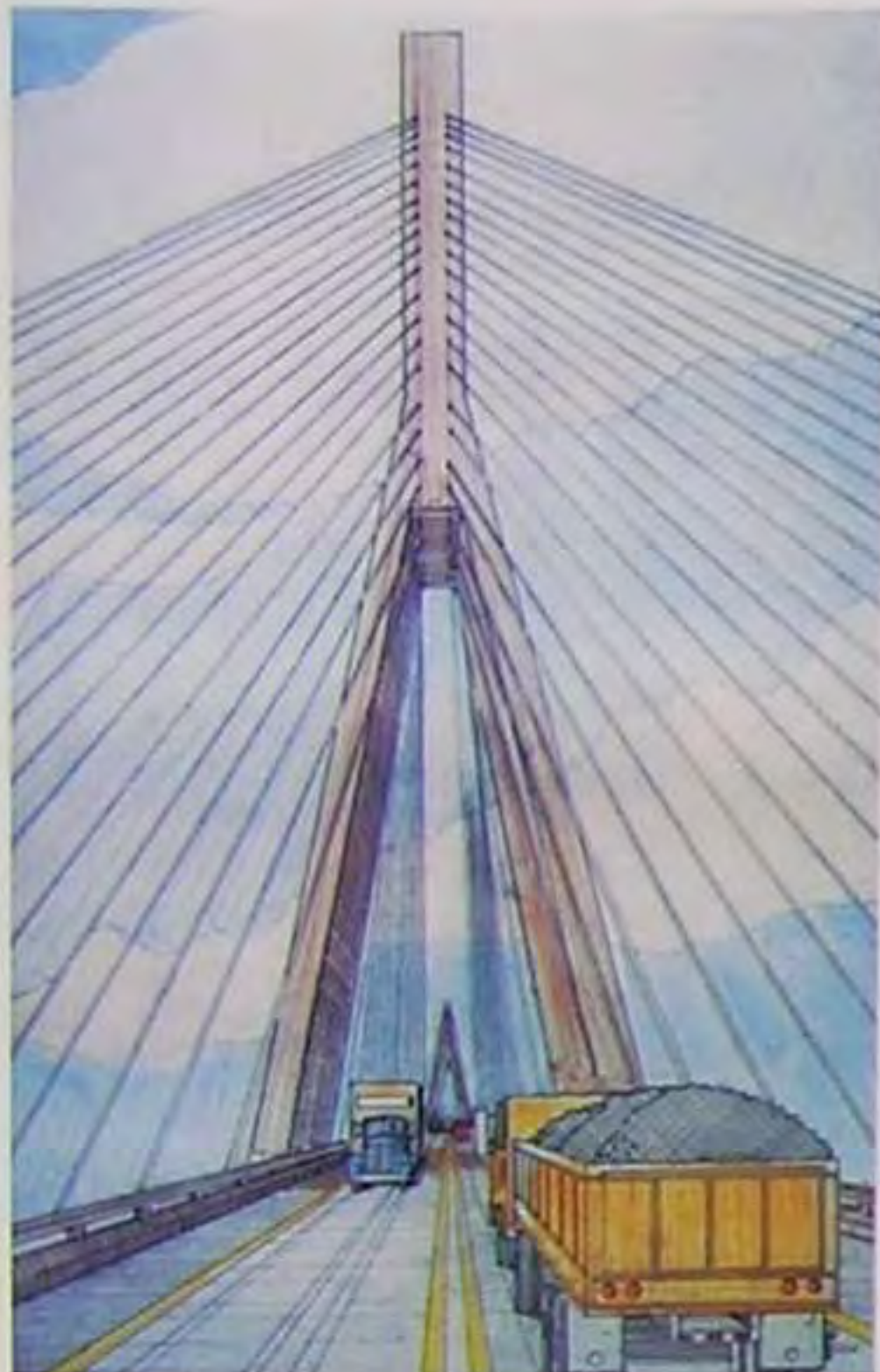
这座桥包括一个385米跨的自锚悬索桥, 一段2.4千米长的混凝土分段桥, 也称高架路, 一个从Yerba Buena岛隧道到主桥的过渡结构, 和一个通往奥克兰市的引桥。这个工程的第一段于2001年12月投标。

这座自锚悬索桥完工时将是世界最大的。它有一对钢箱梁, 上有正交钢板桥面。一对箱梁由横梁连接。桥塔高160米, 和旧金山奥克兰湾桥的西跨悬索桥的塔一样高。桥的独塔由4根柱子组成, 之间以抗剪梁连接。强烈地震时抗剪梁将屈服, 从而吸收大量能量, 以使柱子保持弹性。抗剪梁用高强螺栓连接到柱子上, 更换起来很容易。主缆直径75厘米, 锚固在桥的东端, 通过设在西端的三个鞍座绕回到东端。

160米跨的高架路有两个箱梁, 之间不连接。其基础由一组长约100米的混凝土填充钢管桩支持。







俄亥俄河上的普茨茅斯 (Portsmouth) 桥

1983 年我提出用实心桥板来建造这座主跨 300 米的俄亥俄河上的普茨茅斯桥。板截面呈梯形。在中部厚 60 厘米，到与边梁连接处厚 38 厘米，边梁截面高 84 厘米。板是平板，有双向后张预应力。不幸的是没有采用这个方案。

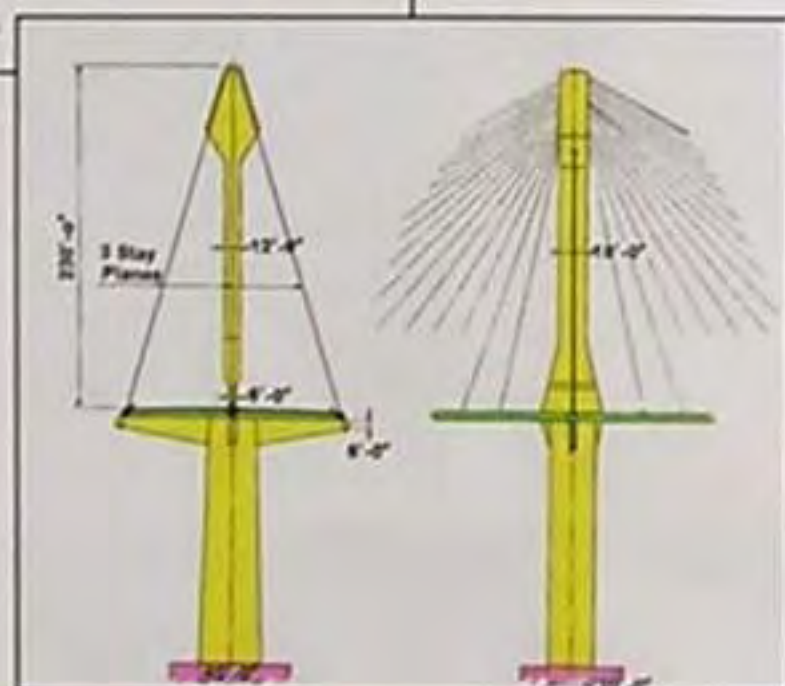
构想！构想！构想！

在桥梁设计中，概念设计是最富创造力，最富想像力的阶段。

这里是一组为不同桥梁而提出的新概念。

湾镇 (Baytown) 桥，  
美国，德克萨斯，1988

用挂在独腿塔上的三个索面支持柔性主梁。细长的塔在横向由连到主梁下方的伸臂上的稳定索支撑。



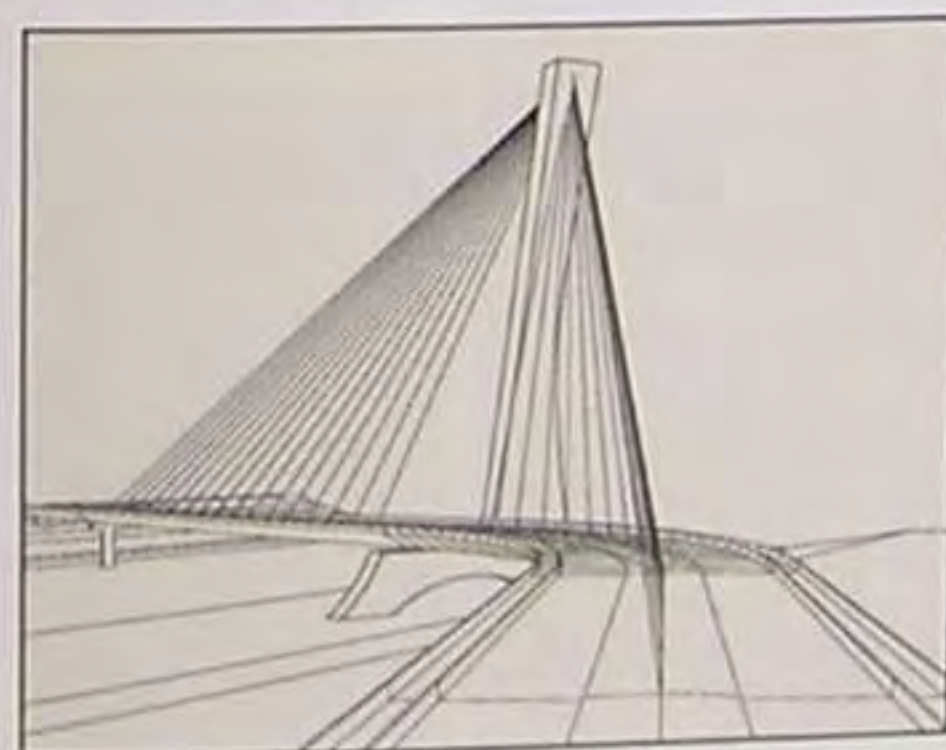
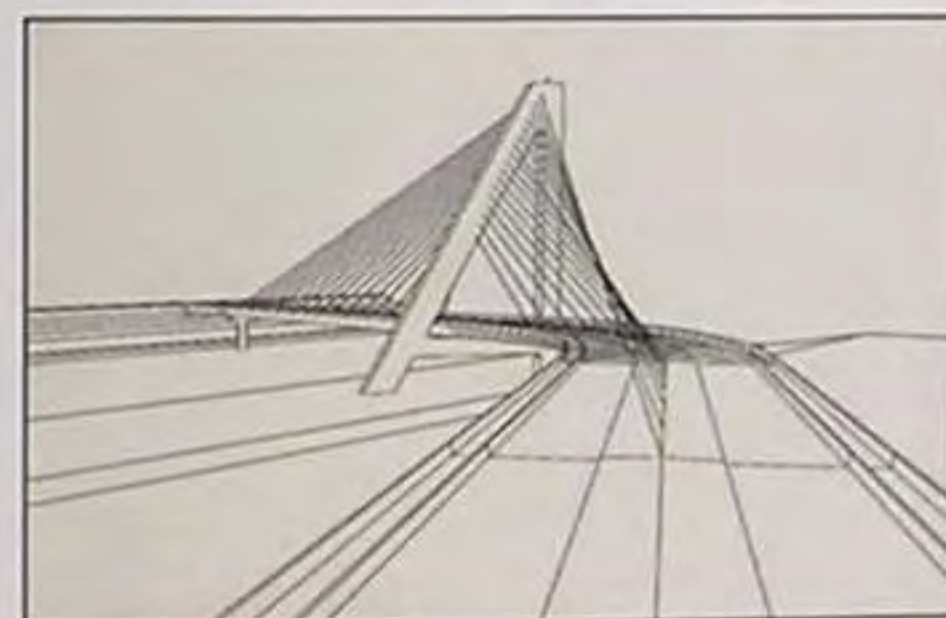
伍德罗威尔逊 (Woodrow Wilson) 桥，美国，华盛顿，哥伦比亚特区

这座用白色混凝土建造的，几乎为上承式的拱桥。本来会是一座壮观的纪念碑。其主拱下方足以通行当地的船只。但是，最后设计采用了有低位引桥的开合桥方案。



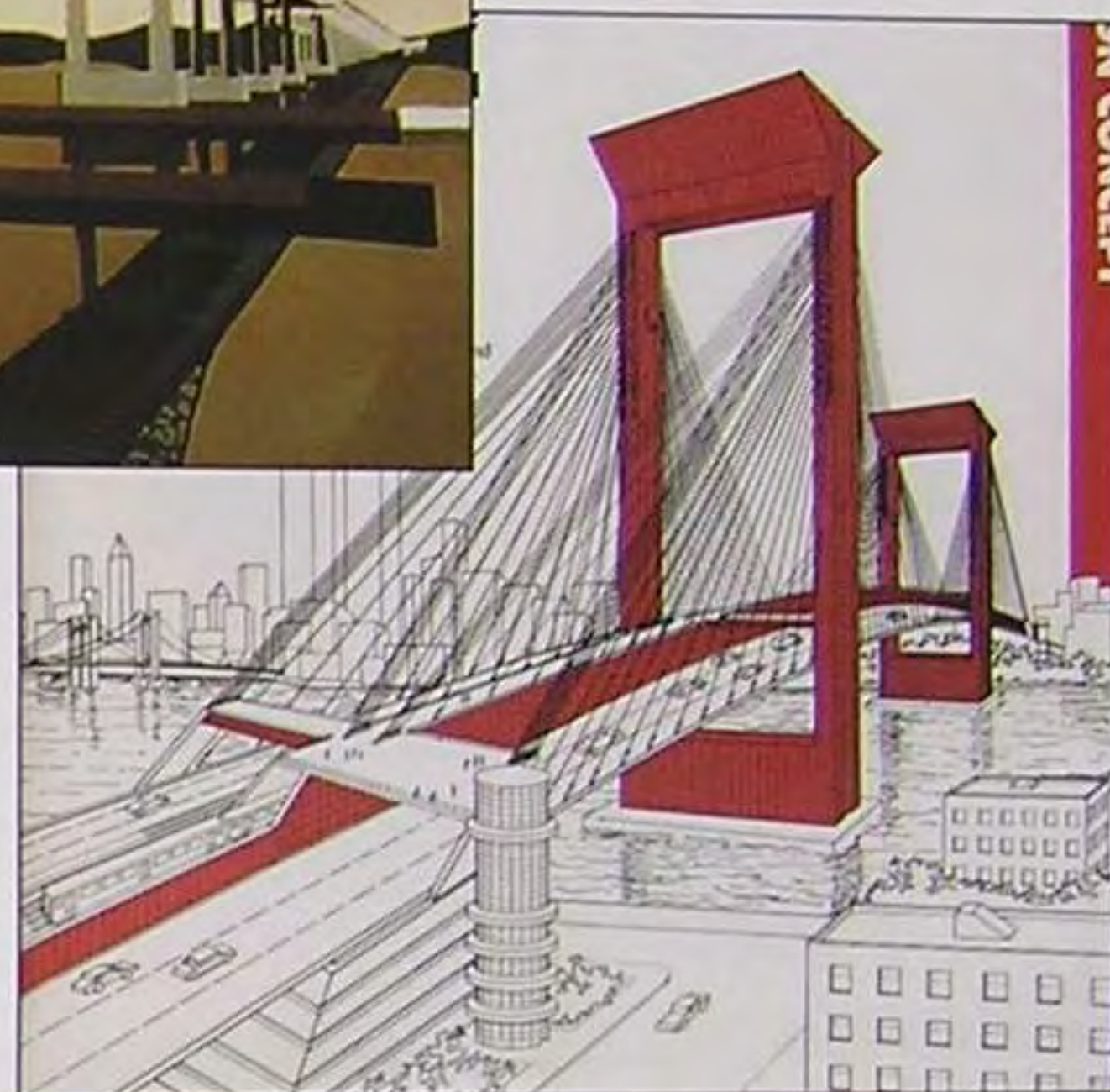
麦休 (Mathews) 桥扩建工程，美国，佛罗里达，  
Jacksonville, 1993

其目的是以最低的造价给原有的桥加几条车道。基础已经接近其承载能力，因此不能增加多少结构重量。在同 Hanskarl Bandel 先生和 Teddy Theryo 先生的讨论中，我先建议用拱桥方案，因为这是最轻的结构。Hanskarl 则把这个拱搬来搬去，后来搬到了桁架顶部，然最后我们又沿桁架上弦加了拉杆，使拱外观简洁。



纳托马 (Natoma), 1993

构想！  
构想！



威廉斯堡 (Williamsburg) 桥，1988

这座桥位于有许多高层建筑的纽约市内。如图的设计能与周围环境十分协调。两个塔中可以容纳一个博物馆，一个公共观景台，几个餐厅和管理办公室。它的设计使得施工时能把对原结构上的交通的干扰减小到最低限度。



瓜拉图巴 (Gualatuba) 桥，巴西





1992



1991

构想!

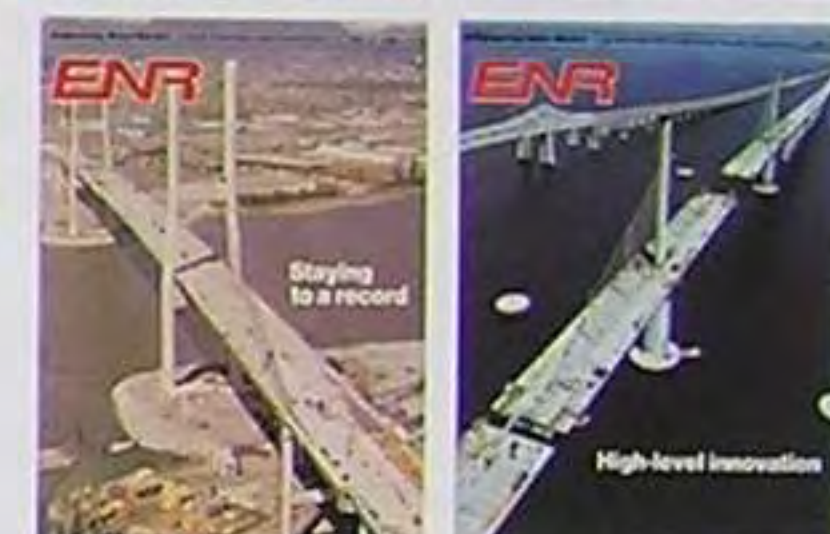
构想!



### 工程新闻实录

1999年,《工程新闻实录》(Engineering News Record)庆祝创刊125周年,《工程新闻实录》的编辑部选出邓文中博士为过去125年中全世界为建筑工程界做出卓越贡献的125名顶尖人物之一。其评语如下:

“他们的努力,不管是个人的或是集体的,有助于塑造这个国家和这个世界。他们每人作为先驱者,常常在过去没有的领域,发展了新的分析工具,新设备,新的工程设计或新的建筑设计。通过他们的公司,他们还发展了新的手段和方法来建造这个环境。”



### 在封面上的桥!

这本书中的许多桥都曾出现在不同杂志的封面上。这里是其中的一些。







### 让我们一起来造桥

桥连接社会，桥连接人们。桥使我们彼此更加接近，使我们彼此接触！

我希望通过展现这些美丽的、有形的桥，能唤起读者与我一起去建设更重要的、无形的桥——在人民间、国家间、种族间、不同的宗教信仰间相互理解的桥、友谊的桥、爱的桥，以促使和平的到来，直到永远！

邓文中

邓文中 (Man-Chung Tang)，工学博士 (Dr.-Ing.)，荣誉工学博士 (Dr.-Ing. e.h.)，荣誉文学博士 (D.Litt.)，注册工程师 (PE)。

邓文中博士是结构工程师。他的工作领域包括桥梁、房屋和其他类型的结构。

他在桥梁方面的工作包括设计和施工的各个方面——从概念设计直到最后完成，在很多情况下还包括施工设备的设计。这包括一百多座桥，其中六座在完工时有创世界记录的跨度。

在世界上很多国家都能看到他的作品——“太阳永远照耀在他的桥上！”

他是美国国家工程院院士、中国工程院外籍院士、美国土木工程师学会荣誉会员，及中国清华大学、东南大学等大学的名誉教授。

他于1959年获得香港珠海学院 (Chu Hai College) 土木工程学士学位，1963年获得德国达姆城工业大学 (Technical University of Darmstadt) 的工程师文凭，主修钢结构，辅修吊车和传送机技术，1965年获得达姆城工业大学的工学博士学位。

1965年他加入德国奥博豪森 (Oberhausen) 的 Gutehoffnungshütte 公司，1968年加入纽约的 Severud & Associates 公司，1970年加入纽约的 Dyckerhoff & Widmann 公司。他于1978年创立了 DRC 工程咨询公司，1983年创立了 Contech 工程咨询公司。1995年他的公司与林同炎国际公司 (T. Y. Lin International) 合并，他出任董事长和技术总监。

1989 — 1995年他是纽约哥伦比亚大学的兼职教授。他是很多技术委员会的成员，发表了一百余篇技术论文。

他爱桥，而他的太太冯仪人，则爱他所做的一切。

秦 权，男，1939年生于北京，清华大学土木系教授，博导。他是英国结构工程师学会资深会员，英国特许结构工程师，国家一级注册结构工程师。

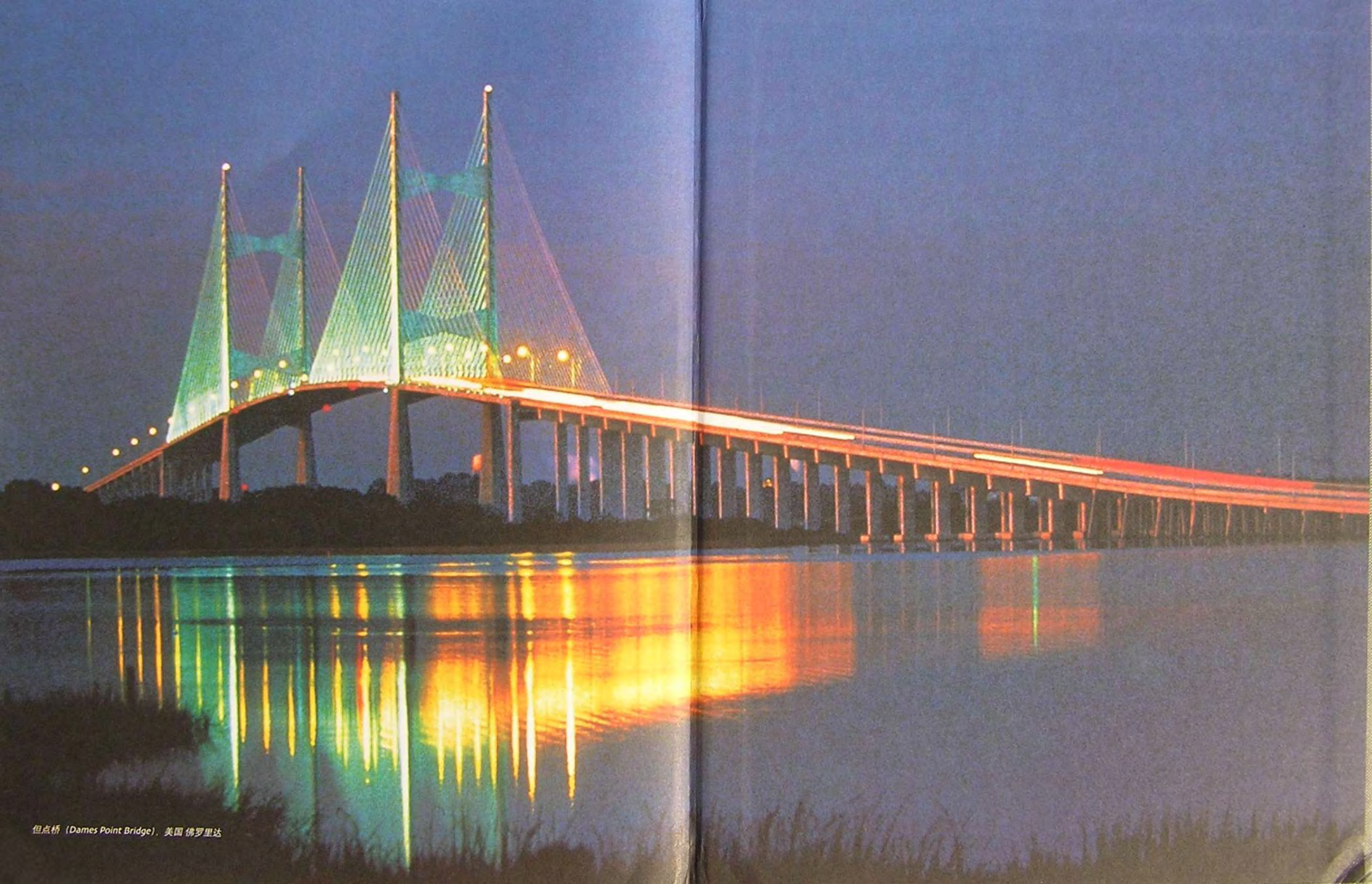
研究领域：桥梁和建筑结构抗震、结构可靠度、随机有限元、桥梁结构健康监测、结构损伤识别和模态识别等。发表论文近百篇。1962和1966清华大学工程力学系本科和研究生毕业。1980 — 1982年美国 Stanford 大学访问学者。





天上的一环！  
ALRT 空中铁路，加拿大，温哥华





但点桥 (Dames Point Bridge). 美国 佛罗里达



# 造桥三十六年

## 邓文中的桥梁图集

著者 邓文中

译者 秦权

英文版由美国纽约  
TANGO INTERNATIONAL LTD. 出版  
[www.bridgetango.com](http://www.bridgetango.com)

中文版由清华大学出版社出版



ISBN 7-302-06873-9



9 787302 068730

TU 199 定价 248.00 元