

国际桥梁及结构工程协会论文集

桥 梁

IABSE SYMPOSIUM
ZÜRICH 1979

Bridges

Ponts

Brücken

铁道部大桥工程局桥梁科学研究所

一九八〇年五月

国际桥梁及结构工程协会论文集

桥 梁

IABSE SYMPOSIUM
ZÜRICH 1979

Bridges

Ponts

Brücken

铁道部大桥工程局桥梁科学研究所

一九八〇年五月

编者的话

一九七九年，国际桥梁及结构工程协会（*IABSE*）为纪念它成立五十周年举行了学术讨论会，会上，共作了四类不同性质的议题报告，其中包括：（1）桥梁的回顾与展望；（2）从初步构思到具体设计；（3）施工，运营，修复；（4）未来的任务（此部分以小组讨论的方式进行）。

上述报告由该会选编入论文集中者共十七篇。这些论文系由德、法、英、美、意、日、比、捷、瑞士、加拿大等国一些著名的桥梁工作者撰写，因此，在论据观点上具有一定的代表性，并在论述中涉及到一些原则性、观念性的意见。这些高度概括的见解，不论来自作者多年的工作经验，或是来自他们艰辛深入的调查研究，对我国桥梁工作者来说，都不无可供参考和借鉴之处。同时，通过桥梁工程这一侧面，亦可使读者对国外建筑科学技术的发展状况和存在问题增加一些新的认识。

为此，我们特将这本论文集全部编译出版，并按原版顺序排印。假若读者能从这些论文中获得某些裨益，则所有参加编、译、校、审的同志，都将因对四化建设作出了微薄的贡献而感到无限的欣慰。

原版包括用英、德、法三种文字写的文章。在译校过程中，承铁道部科技情报所、西南交通大学、华中工学院及大桥工程局等单位有关同志的支持和协助，使译本得以问世，顺此表示深切的谢意。由于我们水平有限，加之编印仓促，疏漏之处在所难免，尚祈读者批评指正。

《桥梁建设》编辑部

序 言

正值我们庆祝协会成立五十周年之时，谨献此桥梁论文集作为纪念。论文集反映了在此期间桥梁建筑的主要发展情况，指出了今后发展趋向。

通过协会的积极工作，我们已经对桥梁建筑的发展作出了重要贡献。此外，对交流科学研究和技术知识来说，协会还帮助建立了遍及整个世界同行之间个人关系方面的桥梁。在很多情况下，这种桥梁已发展成为个人友谊。今后，我们协会还要为各国和各民族之间的相互了解作出有益的贡献。

本论文集的系统汇编已由H.von Gunten博士、教授主持下的一个专门小组完成。他们对这个有意义的汇编精心拟订，为此，我谨向 H.von Gunten博士和该小组的全体成员致以谢忱。最后，还应向那些在桥梁工程方面具有丰富经验的论文报告人表示感谢。

国际桥协会长B.Thürlimann博士、教授

1979年9月于苏黎世

(邹立中译 王伟民校)

目 录

第一部分 回顾与展望

F. HART [西德]

桥梁发展史上的里程碑(桥梁造型的过去与现在)

1

CH. MASSONNET [比利时]

近五十年来的钢桥

9

C. MENN [瑞士]

五十年来的钢筋混凝土桥梁建设

21

第二部分 从初步构思到具体设计

D.A. FIRMAGE [美国]

设计过程中的首要决定

31

F. LEONHARDT [西德]

桥梁的艺术造型

37

G. GRATTESAT [法国]

忽视或处理不当之处

43

E.K. TIMBY [美国]

业主对主要桥梁设计方案的看法

50

I. KAWASAKI [日本]

日本本州——四国联络桥计划

56

A. SCHINDLER [捷克]

在计划经济中做好设计的方法

66

B.P. WEX [英国]

恒比尔桥情况研究

72

第三部分 施工, 运营, 修复

H. WITTFOHT [西德]

桥梁施工方法 (混凝土和钢) 81

G.F. FOX [美国]

悬索桥的运营状况 88

R.A.P. SWEENEY [加拿大]

关于铁路钢桥运营性能的一些评价 94

E. REY [瑞士]

瑞士阿尔卑斯山区桥梁的使用性能 104

R. MORANDI [意大利]

承担繁重运输并位于侵蚀性环境的高架桥的长期性能 (热那亚 泊尔赛弗勒高架桥) 111

D.J. LEE [英国] — *B.K.G. CROSSLEY* [澳大利亚]

塔斯曼桥的修复和加宽 118

P.R. TAYLOR [加拿大]

改建狮门桥 127

第四部分

第四部分以小组讨论方式进行

桥梁发展史上的里程碑

—桥梁造型的过去与现在—

F. HART [西德]

提 要

本文首先介绍了从古罗马时代至十八世纪所发展的一些主要桥梁。随着工业革命的发展,建筑学、城市建筑和桥梁建筑艺术的统一性逐渐消失。新型的梁桥、钢筋混凝土桥及预应力混凝土桥,对于外行的人们是不易直接理解的,在决定采用这种或那种结构形式的问题上,即使在专家们当中也会出现争论。本文试图举例说明这些问题,并提出正确的发展方针。

要在30分钟的报告时间内说明桥梁发展的历史,即使用最简练的语言也是不可能的。纵然我们把介绍的对象仅限于西方国家,并把其中的木结构部分,如原始民族的小桥及索桥都放弃,那也必须严格地选择“里程碑”。

让我们先从古罗马时代开始,即约从纪元开始。罗马帝国时代的许多桥梁至今尚在使用;它们已经经历了几个世纪,比教堂和宫殿保存得还好,堪称古罗马建筑艺术的最有力的见证。桥梁在当时还全然属于建筑学的范畴;在Vitruvius的*建筑学*教科书中,对于桥梁及其难度很大的基础施工方法——沉箱和桩基——已有详细论述,这些方法原则上在今天还适用,但早已转入了建筑工程师的职权范围。

我们先拿1930年前后建于台伯河上游,长达数百米并用大理石镶嵌的钢筋混凝土桥,与罗马的Milvio桥作一比较。在第二次世界大战期间,两桥都曾三次通过坦克纵队,新桥出现了明显的变形,而Milvio桥则除栏杆上有几处损坏以外,却没有受到这种异常罕见的超载的影响。与我们今天的结构相比,无论在静力学方面,还是在建筑观点方面,其根本区别在于

古代桥梁的自重很大,因而有效荷载与自重的比例就很小,并使古代桥梁获得了今天所无与伦比的巨大感染力和生命力。古罗马桥的宽度(Milvio桥为6.7米),在我们今天介绍的桥梁中是无足挂齿的。大型罗马水道桥的拱更窄:以加尔桥采用跨度达21米的拱列是相当大胆的,可能因为设置立柱和大梁而使其作为实用建筑失去了造型上的丰采,但其感染力和宏伟性并不亚于罗马大剧场的三节拱列。如果我们考察一下能够确切反映造型意图的以下两座罗马桥的恰如其份的尺寸,工程结构和建筑艺术的完全一致性也许会更加清楚:罗马的法布里齐亚桥强调了严格地按比例和模型建于中间墩上的主跨,而在奥古斯图皇帝时代修建的里米尼桥上,则出现了一种用设有拱圈和大梁的平拱代替典型的罗马式抛物线拱的纯建筑学倾向,并用坚实的悬臂飞檐取代了原有桥梁的圉工栏杆,其外观很象罗马凯旋门上的楼台。

中世纪的拱桥,无论在拱形上还是在同一桥内的跨度差异上,都表现了很大的多样性和灵活性。部分拱桥的外形已完全脱离了罗马半

圆形，除高脚的或者类似于抛物线形的高拱以外，还出现了大跨度的扁平弓形拱桥，如佛罗伦萨的Vecchio桥和著名的阿维尼翁桥。维罗纳Skaliger桥的桥面比Skaliger堡的女墙还高，其平拱主跨约为50米，比罗马桥的最大跨度还长20米左右。桥梁工程在文艺复兴时代没有出现创纪录的跨度，但在几何形状方面却有许多改进，并进而过渡为很平坦的椭圆拱。这一重大进步的标志，就是由建筑师阿玛纳蒂（约1560年）修建并被同时代人誉为杰作的佛罗伦萨的圣特里尼塔桥。

J. R. 白劳内的著作使桥梁建筑艺术达到了高峰，自1747年起，他曾领导巴黎土木工程学校——近代建筑工程师的第一个摇篮，达五十年之久。在该校得到发展的岩石切割学不仅促进了画法几何的发现，而且导致了教育与专业学习从纯手工业方式向科学化的过渡。岩石切割学在十七世纪和十八世纪的法国古典建筑学中，也占有一个重要地位，因此，在城市建设中，建筑艺术和桥梁工程的一致性还是有保障的。但是，从那时起，大型桥梁的实际施工和工地组织都提出了很高的要求，即必须按专家来培养和使用桥梁工程人员。白劳内的杰作——纳伊桥，以拱矢特平（矢高 $f = L/12$ ）和桥墩特窄（ $b = L/12$ ）而著称。在这些极扁平的拱中，对桥梁稳定起决定作用的是使承重拱架沿整个跨度同时均匀下沉。在纳伊桥，拆除支架的工作是在15分钟内完成的。在当时桥梁宽达15米的罕见情况下，这个成就是极其惊人的。圯工拱桥直到本世纪还在修建，1920年前后法国修建了一座捣实混凝土拱桥，其跨度几乎达100米。

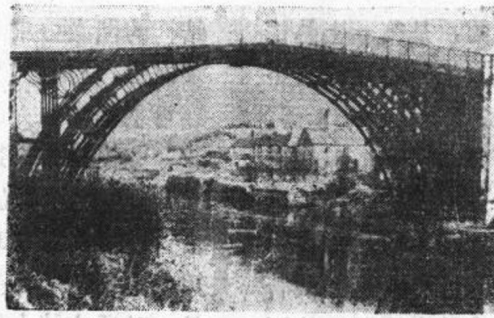
在作者结束近代桥梁建筑史以前的情况概述时，似应提及三座桥梁，以证明在工业革命前，即约在1800年以前，桥梁是一种在结构和材料方面与其它宏伟建筑物相同，而在宏伟性方面则既可与之相同，又可要求更高的建筑物，并因此而多次成为城市固定组成部分的标志。

这三座桥梁是：萨拉曼卡的罗马式桥，雷根斯堡的石桥和图林的维托里奥—埃玛纽莱桥。

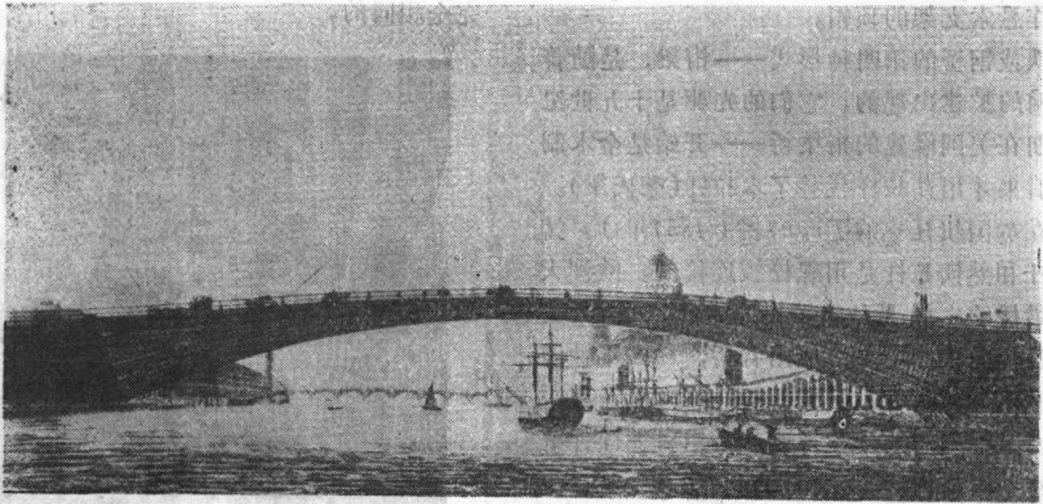
随着铁和钢的引入，钢铁代替石料和木材成了基本建筑材料。从此，桥梁建筑和建筑艺术就开始了一个新的时代。这个新时代一开始，就出现了一座跨度100英尺的铁桥——A. 达比于1779年建造的Coalbrookdale塞汶河铸铁桥。A. 达比是一家炼铁厂的厂主，该厂的第一座炼铁炉是在当时的前五十年投产的。由于铸铁没有抗拉能力，所以铸铁桥原则上只能仿造石拱桥。用铸铁作基本建筑材料的时代，在英国一直延续到十九世纪中叶，直到采用搅炼法，熟铁能够大量供应以后，铸铁才被熟铁挤出承重结构。

T. 塞尔福特（1802年）提出的伦敦泰晤士河桥的大胆设计，拟采用600英尺跨度的铸铁拱桥，可惜由于引桥购地困难而未能实施。流传此设计的雕刻铜版还如幻想图般地最后一次向人们展示了建筑学、城市建筑和桥梁建筑艺术的成功的一致性。T. 塞尔福特不是我们今天所理解的那种建筑师，而是一位学徒出身的有胆略的英国先驱工程师，他没有受过科学理论教育，就象铸铁桥梁结构没有精确的静力计算依据一样。这些先驱工程师们既设计和建造公路、运河及铁路，也设计和建造桥梁。

较早成熟并很快完成计算的是铁桥的第二种形式——以抗拉材料熟铁为前提的悬索桥。第一批悬索桥（亦称链式桥）是在英国和美国建造的，其中最大的是塞尔福特（1826年）设计的Menai桥，跨度175米。法国工程师塞根用拉丝钢缆代替了以销子连接的锻制链环。在由塞根主持修建的罗纳河上的桥梁中，Donzere桥使行人提心吊胆，该桥桥面很窄，石砌塔柱细高而又有高拱，缆索和吊杆交织成网，承重木横梁有栏杆加劲——这所有部分都是看得见和近得可以摸得着的；如果遇上刮强西北风，人们就会亲身感受到纯悬索桥的振荡力。



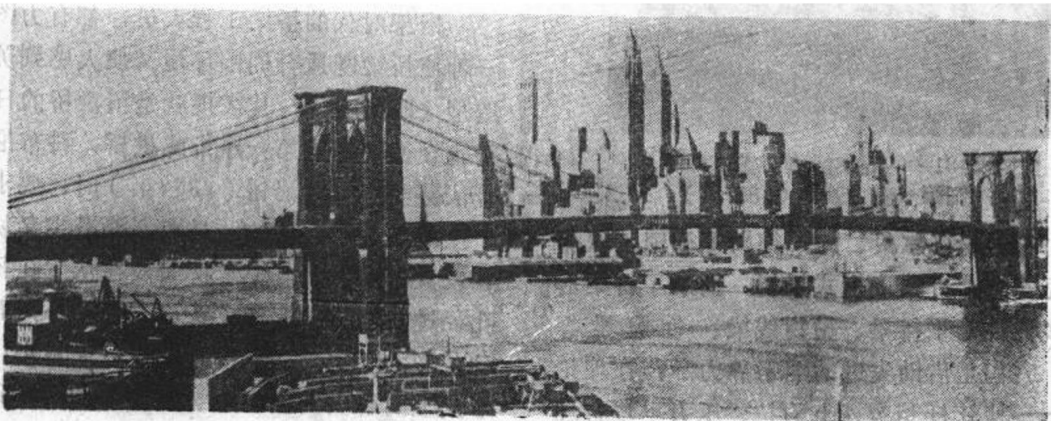
西方第一座铁桥，Coalbrookdale桥(1776年)



伦敦泰晤士河桥 (T. 塞尔福特, 1801年)

自那时起，悬索桥曾保持以下跨度纪录六十余年：费里堡大桥273米，尼亚加拉铁路桥317米，最后是纽约的布鲁克林桥486米（1883

年）。这座由H. 鲁布陵设计建造的布鲁克林桥，以其有四排吊杆——加劲杆网，而使人至今敬佩。



跨度486米的纽约布鲁克林桥（1883年）

反映当时最高工艺水平的，是第一座熟铁实腹梁桥，即R.斯蒂芬孙（1850年）设计的不列颠桥，其跨度为141米。该桥有一个约9米高，4米宽的封闭式箱形梁，铁路象过隧道那样通过此桥。要对该桥的次应力——扭转、翘曲、温度影响等等做出精确计算，这在当时的理论水平是不可能的。斯蒂芬孙深知这种不足并试着通过模型试验来做出符合要求的变形图；他还在梁为柔性的情况下精心为圪工塔柱设置了一个可作悬索支架的顶帽。

铁或钢桥的第四种形式——桁梁，是随着铁路网的扩建出现的。它们的先驱是十九世纪前半期在美国修建的桁梁桥——开始是全木制的，后来才用铁拉杆代替了木拉杆（豪氏梁）。

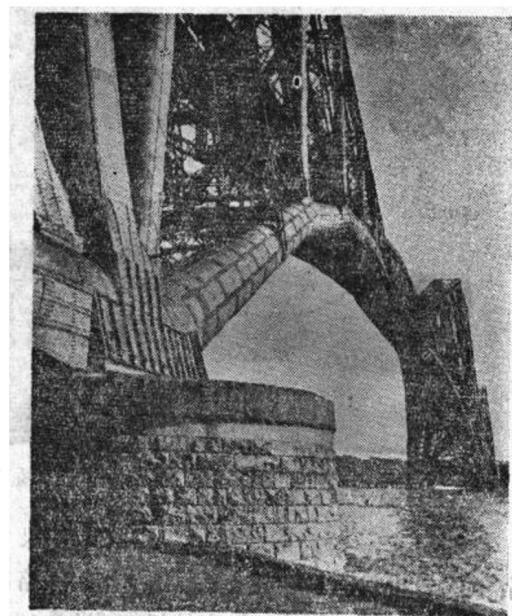
在英国纽瓦克的Trent桥（1851年），铸铁压杆和熟铁拉杆是用螺栓铰连接的。欧洲大陆桁梁桥的发展是从格子梁开始的，如G.艾夫尔设计的法国中央高原山谷桥，1940年被破坏的迪尔沙魏克塞尔河老桥——在这里，似乎可以说，不列颠桥的箱形梁就是用扁铁杆件解决的格子梁结构。



由保利、格尔贝、施韦德勒等德国工程师发展完善的《古典》桁式梁桥，揭示了桥梁形式的多样性（平行梁、抛物线梁、鱼腹梁等等），它们是借助先进的图示静力学，在理论计算——使弦杆和腹杆上的拉、压力尽量合理分布——的基础上发展起来的，而且在过去的桥梁结构中是没有先例的。因此，建筑学和桥梁

结构的彻底分家是注定了的。只是在悬臂梁的形式上，与我们今天的理解稍有不同。悬臂梁亦可根据发明人的名字，叫做格贝尔梁。

苏格兰的福斯湾大桥（1890年），曾以其520米的跨度保持悬臂桁梁桥世界纪录四十年。值得注意而又有现实意义的是，它既是第一座用低碳钢钢管做受压杆件的大型桁式梁桥，也是一种适应特大风载的结构形式，而选择这种形式的理由则是与确定桥墩和悬臂的粗大尺寸完全相同的。



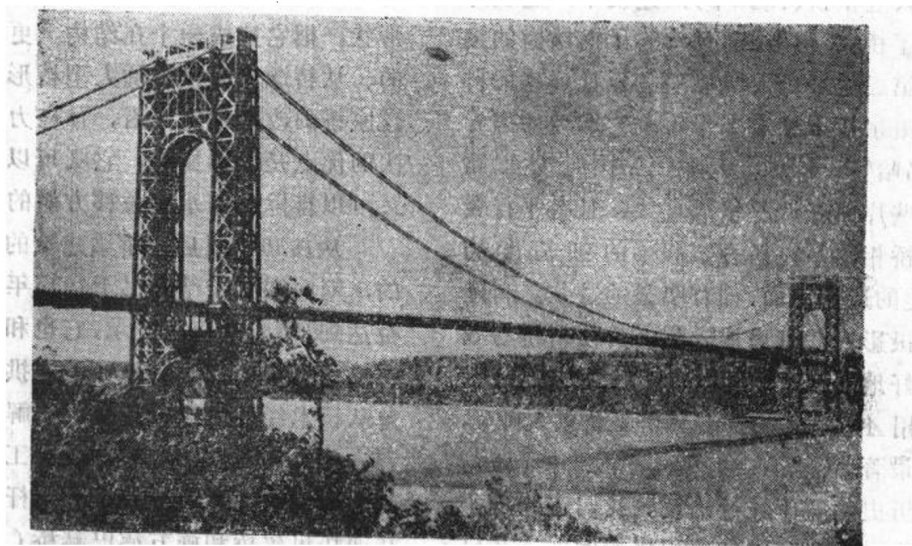
苏格兰的福斯湾铁路桥（1890年）

桁架时代的桥梁工程人员，都有力图找到一种使桥梁既适合周围环境又使人感到美观的造型之明显奢望，其表现就是桁拱桥的日益流行。在德国修建第一座桁式拱桥，科布伦茨—普法芬多夫来因河桥（1864年）时，要求用一个拱跨通过来因河的，是国家浪漫主义协会。在设置下承桥面或上承桥面，在从主孔径向边孔径过渡等方面，桁拱桥可因地形不同而有各种各样的变化。在有兴趣的外行人看来，这种形式上的解决要比通过静力推导才能得到的桁梁杆件组合容易理解得多。即使在建于十九世纪的，人们印象最深的桁拱桥中，仍然存在

着一些同时代人尚不清楚的东西。例如，还看不出为什么艾夫尔设计的加拉比特桥选择支座处削尖的双铰拱，而Mungsten附近的乌珀塔尔桥却做成拱顶薄得出奇的无铰拱。

限于当时计算方法的水平还不能满足更高的设计要求，桥梁建筑师们可能在本世纪初就陷入了关于美学要求和结构要求的矛盾，表现在被延搁二十余年的纽约赫德森河桥的初步设计上，就是用工程师们于十九世纪提出的全套

桥式，即吊缆、桁梁、鱼腹梁、悬臂梁等凑成了一个完全杂乱的组合。相反，由瑞士工程师O.H.阿曼设计，并于1931年实现的1000米极限跨度的乔治·华盛顿桥则是外形线条明朗的。它不是追求特殊造型的产物，而是一项真正的工程成就。使这座跨度空前的永久性纯悬索桥成为现实，并保证其安全度，只有在有了先进的计算方法并掌握了桥梁的全部力和变形的情况下才有可能。



假如我们把按空间桁架设计的纽约桥钢塔柱，与几年后由希特勒设计，由德国著名建筑师完成的乌托邦式汉堡易北河大桥的约160米高的混凝土塔柱比较一下，就会明白，工程师已把建筑师抛到自己后面多远——有些建筑物至今还使人感到犹如歌剧舞台装饰般的优雅，虽然国际建筑学在当时确有接受歌剧舞台风格的倾向。与此相反，1826年建造的康韦—卡斯尔桥的桥头堡则显得过于简单。塞尔福特坦然地接受了这些邻近城堡的门塔——它们在纪念意义上并不亚于独创。纽约布鲁克林桥的花岗石塔柱也有类似的魅力，鲁布陵通过在这座双线有轨电车桥的双向通航孔径上采用尖拱，证明了它的安全性——双圆拱的效果也许更好。

沃尔姆斯尼贝隆根桥（1897年）的桥头堡，可视为建筑师和工程师之间经常互相抱怨的

“鸿沟”的测深点。在这里，据说工程师们曾开恶意玩笑，说“建筑师可以走也”。汉堡易北河桥（1887年）的桥头堡，是与成蛇形曲线的“洛泽梁”钢结构密切连接在一起的，这是汉堡桥的一个特征。建筑师精心地修建了它的双门桥头堡。第二门孔荒废了很久，等了四十年才加上复线。



沃尔姆斯尼贝隆根桥(1897年)

建筑师参与桥梁工程并不限于分属他们的那种多少有点中世纪味道的桥头堡，而是早在前世纪末和本世纪初就同工程师们建立了真正的合作，美因茨—卡斯特尔莱茵河桥就是一个很好的例子。该桥的跨间比和桥面的精细曲线就是建筑师F.V.蒂尔施设计确定的。该桥不愧为当时（1898年）德国最漂亮的钢桥。

在主要受力构件首次采用不锈钢的链式桥——科隆兴登堡桥（1916年）的建设中，建筑师不仅参加了桥梁设计，而且参与了钢结构的细节施工。第二次世界大战以后在原址重建的科隆—多伊策尔桥，是由工程建筑艺术界的老专家F.雷昂哈特设计的。与第三帝国时代公路桥梁中某些片面强调严格成直线，且有平行翼缘的板梁桥相比，该桥在实腹梁的细长度方面，在优美的造型方面，都有明显的进步。科隆城的航空摄影照片有力地表明，为使新桥与城市布局很好地配合起来而作的努力是卓有成效的——采用A形塔柱的塞维林桥是桥梁大师G.洛默尔的最著名杰作；当然，这个照片无法与反映城市历史的照片进行比较。我们感到，这些桥梁结构已经有了明显而积极的发展，并已成为人们所掌握，但还没有提到永久性要求的高度。

除科隆和汉堡以外，科布伦茨也是在桥梁史上贡献最大的德国城市。建于十四世纪，连接雷根斯堡和维尔茨堡的巴尔杜英摩泽尔河桥，属于原来配有桥头堡的宏伟的中世纪桥梁。该桥于1880年加宽——把由平行钢桁梁构成的窄人行道桥面架设在水中墩的悬臂上，以表明该桥历史悠久，且至今还有一定纪念意义。

1929年，摩泽尔河新公路桥举行了一次方案竞赛——这是钢筋混凝土结构和钢结构之间激烈竞争的一个紧张阶段。这次竞赛反映了当时桥梁工程发展阶段的特点。竞赛进行了两次——在最后一轮竞赛中，一个钢桥方案和一个钢筋混凝土桥方案并列前茅。钢筋混凝土桥方案之所以最后取胜，是因为价格审查机关的推

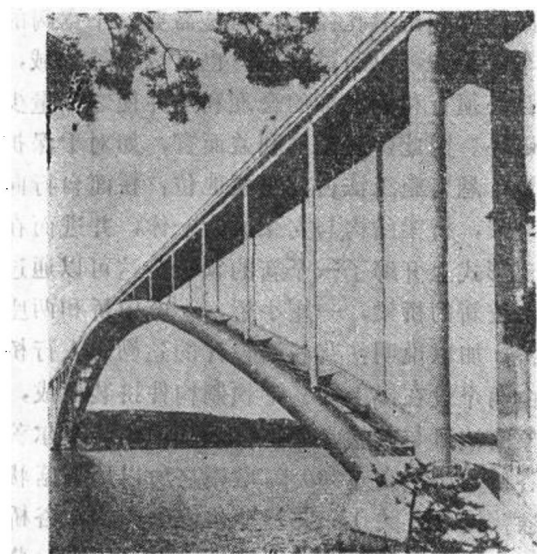
荐。有趣的是，议定书中有“具有细拱的钢筋混凝土桥可使城市外貌美观而有魅力”，而采用巴尔杜英桥梁结构则比“在河上架设都一般高的钢梁”更为协调。

1934年竣工的科布伦茨摩泽尔河桥是钢筋混凝土结构发展的一个转折点。三铰拱的中孔跨度为120米，拱圈上的桥面立柱有混凝土包裹着。可惜该桥已被炸毁。到1953年重建该桥时，预应力混凝土已发展到人们能够按照原有形状，把它建成一个在结构上更为新颖和完善的、从桥墩伸向拱顶的大型箱形梁的程度。从这座桥的改建措施来看，预应力混凝土施工方法的优点是很明显的，它既可以不用脚手架，又可以排除平衡水平位移方面的困难。

从1930年以后，桥梁建筑的发展是惊人的，钢筋混凝土结构已于1916年在瑞士朗维斯基桥达到100米的跨度纪录，它也和钢结构一样，在进入六十年代以后仍在墨守拱桥——这要是单从技术经济观点看几乎无法解释。

作为创造性的成就，瑞士工程建筑师迈拉特特的钢筋混凝土三铰拱和系杆拱桥，如萨尔基纳托贝尔桥和施万德巴赫桥（1930年，1933年），都是无与伦比的。即使是专家，也有对新结构长期不习惯的现象，先举其中一个例子：当时监督管理部门强迫迈拉尔特加上坚实栏杆，以减少过于细长的印象；人们担心，观赏者的“静力感”会受到损害。钢结构人员，主要是美国人，在桁式拱桥方面也取得了一些光辉成就：如最大跨度为496米的纽约基尔万卡尔桥（1931年）和亚利桑那的格伦山谷桥（1958年）。对比瑞典的两座大型拱桥，大胆解决桥梁的范围就会格外深刻地反映出来：由一组288米多长的巨型双钢管悬臂施工的Tjörn桥（1960年）和跨度为269米的散多桥。后者是在一个没入水中的木支架上灌注混凝土的，在施工过程中，支架发生了原因不明的倒塌（1939年），死亡18名工人。这个事故说明，在整幅模板上灌注钢筋混凝土拱大概是缺乏内

在根据的。这类模板支架所表现出来的那种巨大浪费，在Sole公路的Agljo桥的支架图上也有隐约的表现——它比实际建造的桥梁还要壮观。



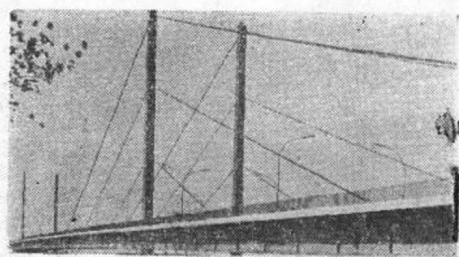
瑞典的Tjör桥(1963年)

曾被誉为德国最美观的桥梁——著名的林堡公路桥(1938/41)，已显得有点陈旧。我相信，我们在这里能够制订一个现代桥梁的设计规范，使桥梁设计与建筑学区别开来：一项工程，不仅必须使人感到其功能、结构和外形的一致性，而且还要在这个基础上力求经济，即求得投资和收益的最佳效果，并采用当代的先进技术。坚持这些标准的，就不仅不会陈旧，而且能保持成就的活力。这就进入了更高的程度，例如萨克森的戈尔奇山谷桥(1850年)和大体与之同时修建的法国肖蒙桥——这两座桥并不亚于加尔桥。林堡桥的拱在战争期间曾被破坏，在开始恢复阶段，是先用临时结构——钢桁梁代替的。今天的林堡桥是用斜拉索悬臂施工的预应力混凝土结构(1963年)。该桥确实使拉恩山谷变得“更优美”了。它不仅没有给环境造成负担，而且与林堡大教堂协调得很好，因为它没有与之竞争。

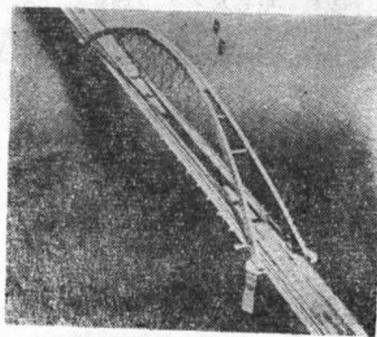
最后，拟就桥梁更新的发展作一概括的叙

述。我认为，这些发展对于改进桥梁设计的观点是很重要的：

在钢桥建设中，继欧洲也数次打破1000米跨度极限以后，斜拉桥在中等跨度范围代替了悬索桥。由建筑师塔姆斯设计的杜塞尔多夫北桥(1953年)，就是一个很好的早期实例。那种把平行钢索或辐射式钢索仅设在两桥面中间一个平面内的所谓单加劲结构(勒弗库森桥，波恩北桥)，我本人并不甚了解，但是我感到空间效果较差。这种桥式，是1937年在易北河大桥的方案竞赛中，由一个参加竞赛的钢结构机构第一次作为决策方案设计的。在我看来，那种与A形塔柱相连接，并向相反方向倾斜的双面缆索方案，倒是更有意思、更有益于桥面的横向刚度和扭转刚度的。在吊挂式“尼尔森”箱形梁桥中，如跨度达250米的著名的弗马恩海峡桥(1963年)，这种空间作用表现得更有说服力。推广箱形断面，是钢结构的一个明显趋势，这种趋势在工业与民用建筑中最近也有突出的表现。



杜塞尔多夫北桥(1953年)



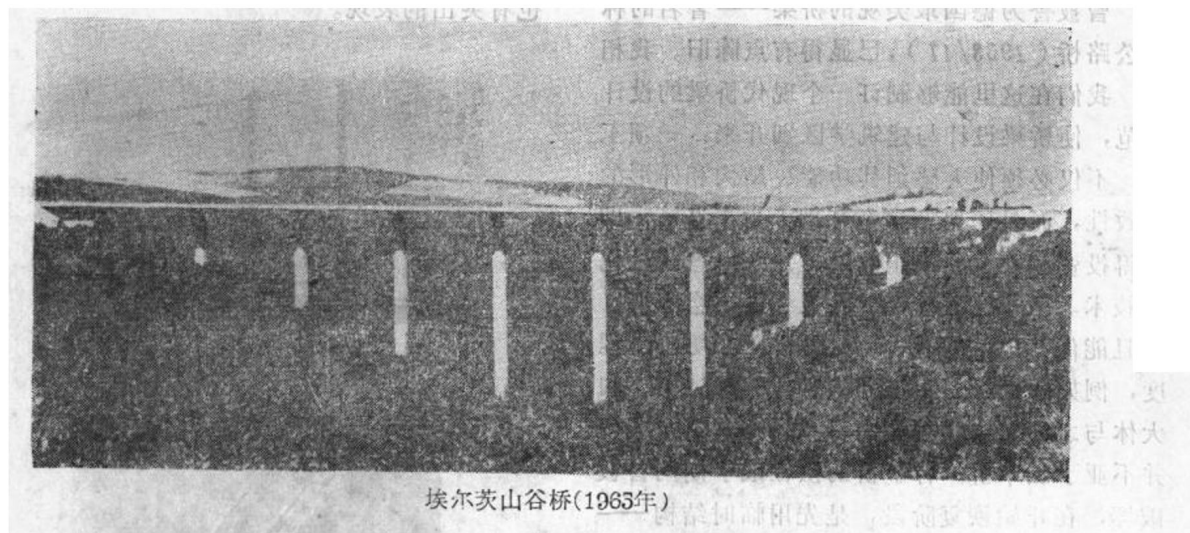
弗马恩海峡桥(1963年)

我的同事蒂德耶为一座钢筋混凝土公路跨线桥所提的改进方案表明，人们已经很快地习惯了这种很有魅力的尼尔森结构——相比之下，那种有两个平行拱的传统设计就显得太单调了。如果把这种设计方案与一个要求相似而年轻十年的预应力混凝土方案——乌珀塔尔附近的佐内贝格人行道跨线桥作一比较，显然那种通过拱上结构使桥面脱离承重拱的设计是淡然无味而又不合时宜的。

与古代桥梁相比，一个真正的工程成就或设计方案，如具有四腿桌式桥墩及悬挂式预制梁的克雷莫纳波河桥（1958年），乍一看来也许显得有点单薄和简单，但是它在满足结构合理化的强烈要求方面却表现了一种了不起的勇敢，而且必将显示出人们对它所期望的生命力。

在城市高架公路和迂回交叉线，几公里长的山谷桥和山区高速公路，海峡桥和海湾桥等新课题面前，预应力混凝土不仅得到了巨大推

动，而且找到了令人信服的表现形式。而这些新课题则已远远抛开了古代桥梁建筑艺术的尺度和标准。在这里，纪录跨度已不是重点，我们需要的不是大范围连续的桥梁及其举足轻重的高跨比和桥墩孔径比，而是需要一个宽阔的行车带，它可以通过陆地，也可以跨越水域，而且必须有利于地形的合理利用并使之尽量少受破坏。因此，就经济利益而言，如对于保护环境，悬臂施工法占有重要地位：桥面自行向前发展，桥梁结构与支架成为一体，并进而表现在表现形式上开辟了一个新的领域。这可以通过几座较新的桥梁，一座小桥，一座中桥和两座大桥，加以说明：艾拉波设计的达勒姆人行桥（由两个设在岸上的Y形预制构件拼装而成，形象简洁且与大教堂的钟楼很和谐），埃尔茨山谷桥（桥墩高达100米，墩帽之所以呈蘑菇状与悬臂施工有关）；艾泽菲尔特的齐格山谷桥（具有适合移动式支架的特殊墩帽）以及R.莫兰迪设计的委内瑞拉马拉开波湖桥。



需者：林广元（大桥局桥研所）

校者：张履棠（铁道部科情所）

近五十年来的钢桥

CH. MASSONNET [比利时]

提 要

首先,作者叙述了后半世纪以来钢桥取得进步的主要原因,其中有:设计基本规范和结构稳定规范的发展;材料、连接方法、支座、正交异性板桥面和架设系统的进步。然后再叙述主要桥式:桁架桥、梁式桥(板梁或箱形梁)、斜拉桥、悬索桥、拱桥和特殊桥。最后提出几个尚未解决的问题。

1. 引言

要在12页的篇幅内,把在后半个世纪中取得的巨大进步完全而合理地描述出来,实际上是不可能的。为了解决这个难于解决的问题,作者用的方法是:

1) 在文中取消所有的插图和照片,而通过丰富的黑白和彩色幻灯片,结合口头进行介绍;

2) 仅仅指出进步的基本原因,而将所有的细节留给参考文献;

3) 尽可能压缩参考文献。

我将首先分析进步的主要原因(第2节),然后再简短地评论钢桥的主要形式(3—7节),最后在结论中介绍几个目前尚未解决的主要问题。

2. 进步的主要原因

2.1 在计算机影响下基本设计规范的发展

作为一个结构理论的教授,我认为压倒一切的事实是:半个世纪以来,我们对结构在外力作用下的静态和动态反应的理解有了很大的进步。这一事实对钢结构也无例外的起着特别重要的作用,因为在一般情况下,钢桥的形状

要比混凝土桥复杂。在1929~1959年间钢桥虽然已取得了很大的进步,但是,大约在1959年,当第一批商业电子计算机在欧洲市场上出现时,以及从此以后的戏剧性的发展(它还远远没有完成)才加速地促使我们的主要结构越来越复杂。简言之,现在可以说不再有那种结构,即便是曲线、斜交、扭曲的和宽度变化的桥梁结构,在弹性及塑性范围内不能用精确的方法进行分析。

1930年以前的大部分桥梁是按各种不同作用的构件各自单独起作用的原则设计的。第一要计算桥面系统。在计算桥面中,首先要确定假定的摩擦层的尺寸,过去,桥面一般是钢筋混凝土板,在以后的计算中就把它忘了。接着再计算桥面系统的纵梁和横梁,而不考虑它们和混凝土板的共同作用,然后也把它们忘了。假设集中荷载的传递与在主梁中的传递是一样的,即忽视了桥面系统重要的分配作用^[1]。

为了抵抗风的作用,增加了上平联和下平联;以后,为了抵抗车辆的制动力,还增加一些其它特殊构件。

按照这个原则得到的结构是很重的,在这些结构中,最大应力常是低得可笑。然而某些杆件却又有可能局部超载,因为它们实际上参与了结构的整体变形,而这一点却被忽视了。

例如桁架桥假定杆件为铰接,由于计算非常简单,所以受到工程师们的偏爱,但是其中某些桥梁是很不美观的,而且许多桥总是杆件林立,形成很多易锈区。

如果在与桥梁最佳设计同样复杂的领域内,能够大胆地宣布某些原则时,我就冒昧地按法定格式把它们草拟如下:

- a) 减少不同类型的承重构件的数目;
- b) 组成一个使每一构件同时起着不同作用的结构;
- c) 确定每个构件的尺寸使其能达最优值。

很明显,在考虑这些原则之前,首先需要正确地选择结构体系(梁式桥或是斜拉桥等),亦即选择那些最适合于所提要求与问题的体系,如桥跨要求、需要跨越的障碍的性质、地质地形情况、交通特点、拼装架设条件等。

举一个我所熟知的、曾在列日大学做过模型试验的具体例子,即我的朋友H. 路易斯(Louis)在1958年所设计的“贸易桥”(2)。当时,他是法国桥梁及结构工程协会非常活跃的成员。这座桥是很著名的,一是因为它很美观,二是因为它是比利时的第一座A52号钢全焊钢桥。这座桥的桥面板有五种截然不同的作用:

- 1) 可作为行车道摩擦层;
- 2) 构成正交异性板的上翼缘;
- 3) 与两个箱形主梁的加劲顶板起共同作用;
- 4) 起着一种很有效的抗风系统的作用;
- 5) 最后,它也成为把制动力传递到支座上的联结系。

为了更多地说明观点的改变,我们指出,在1929年修的一座全钢桥或者是混合桥,在该桥的路面下除有两片实腹主梁外,还有一个桁式下平联,这种桥是按开口截面梁来计算的,

忽略了平联的作用,然而现在却经常按矩形截面箱梁来计算。

2.2 结构稳定规范的演变

与一阶普通理论发展的同时,结构的稳定理论也有了很大的发展,这些进步和审美观点,可能是促使从1885年到1929年间唯一方案的桁架桥现已大部分被钢板梁桥*所代替的两个主要原因。在钢板梁桥中,基本构件是加劲钢板,而不是型钢。用这些板结构的桥梁中,有实腹箱形纯梁式桥,也有斜拉桥和悬索桥。从下表就可以明显地看出从1929~1960年间工程师们使用钢板的胆子越来越大,表中列出了德国不同桥梁所用腹板的资料。

尽管作者在1962年创立了在边缘锚固的、用闭口肋加劲的板的计算理论(3),而且还用实验证明了它的优良效能(4),但大部分钢板梁桥还是使用开口截面加劲肋。只有在最近的十年中,闭口加劲肋才经常被成功地应用着,特别是被P. 杜巴斯(DUBAS)所应用。

在频繁应用钢板结构的同时,人们注意到应该尽量多地选用箱形梁。我们遇到的有单箱式、平行双箱式或分隔单箱式。这些箱形梁有很大的抗扭刚度,在战后经常被用作单排墩桥梁的唯一的、有时它们是曲线的或螺旋线的。

然而,在1969~1971年期间,由于四座箱梁桥在施工中(5)所出现的事故,促使人们用极大的努力去研究它,通过这些研究可以推断出:

- 1) 在这四种情况中,制造和结构细节上都有错误;
- 2) 一直到1971年,确定加劲钢板尺寸所用的板的屈曲线性理论忽略了板的滞后临界强度,此强度随加劲肋间的加载方式变化很大;所以应当对它进行修改(5)(8),否则就应该放弃(9);

* 此处所指的钢板梁桥主要系指由钢板制成的梁,与我国习称的钢板梁含义不同。——编者注

跨越的 河流或山谷	莱因河	易北河	山谷	莱因河	萨瓦河	莱因河
地 点	科 隆	德累斯德	曼格法尔	—	贝尔格莱德	科 隆
桥 名	科隆— 米尔海音	"	达尔新	弗兰肯塔尔	"	杜 伦
年 代	1929	1930	1936	1941	1955	1966
腹板高 h (以毫米计)	6,000	7,400	5,500	6,030	9,601	10,000
厚度 t (以毫米计)	20	19	20	22	14	22
h/t	300	390	275	273	685	455
加 劲 肋 数 目	5	3	3	3	7	—
类 型	对 称	对 称	对 称	非 对 称	非 对 称	非 对 称
备 注	双 腹 板	—	—	铁 路 桥	—	—
参 考 文 献	[83]	—	—	—	[58]	[84]

3) 几何尺寸和结构上的缺陷,即初始变形和残余应力都会降低结构的极限强度,这些缺陷应当在工厂和工地上予以检查和解决^[10]。

没有涉及到并列梁式桥中荷载的横向分布问题,在这种桥梁中,用所谓居雍—马索艾特(GUYON—MASSONNET)法^[11],此法虽从1950年以来曾经取得过非凡的成就,而且,尽管在电子计算机上一切复杂计算都已成为可能,然而用有限元法来计算并列梁式桥是不行的,相反,用有限条法进行计算倒是完全合理的。在等精度下后者要比前者快100倍。在多箱梁的情况下,居雍—马索艾特法的精度是不够的,应改用有限条法,从而我要介绍夏朗东(Charentan)并列梁式桥的几幅照片,它的主跨为89米,对于这种类型桥梁来说,这样的跨度已经够大的了。

在结束确定尺寸这个题目以前,我们要再谈几句关于实腹梁或箱形——结合梁的问题,即钢腹板与钢筋混凝土或预应力混凝土顶板固连的结构。目前在跨度为40~100米范围内,这种系统是最经济的。为了考虑新鲜混凝土的粘弹性,发展了好几种精确程度不同的理论^[12]^[13],设想了很多处理方案,诸如:降低连续梁

的中间支点的标高,桥面板部分地施加纵向预应力,灌注桥面板时有恰当的顺序,应用预制板。为了减小蠕变,有时要把混凝土干燥处理^[14]^[15]。这些措施的基本目的就是要取消或者至少是减少连续梁中间支点上混凝土的受拉裂纹。目前的趋势是在大部分情况中避免这些调整工序,因为它们的费用昂贵,而有效性是相当不可靠的。

结合梁的一个有意义的变化就是应用轻混凝土桥面系统。图片显示了鲍勒(Polleur)桥的情况,该桥位于由列日(Liege)到德国边境并通向科布伦茨(Coblenz)间的正在建造的高速公路上。它的桁式下平联与轻质混凝土板及两片实腹主梁结成一体,构成一个混合式箱形梁。由我与顾问工程师格赖斯(GREISCH)合作完成。是用有限元法来计算的。在这里我们可以考虑一下是不是石油涨价会阻止轻质混凝土的发展。因为它们的骨料是在窑中焙烧的。

2.3 材料

钢这种基本材料有了很大的进步,软钢($\sigma_Y = 235 \text{ N/mm}^2$)实际上已消失,目前用得最多的是高强度标准钢($\sigma_Y = 355 \text{ N/mm}^2$)。由美国钢铁联合公司以COR—TEN钢的名义给予