

# 德国 城市桥梁建设一瞥

文·穆祥纯

摘要 / 文章系统地介绍了前些年笔者两次考察德国期间,对柏林、慕尼黑、法兰克福、汉堡和汉诺威等城市的城市桥梁建设的总体印象和分类考察的情况、相关启示和建议,为国内同行们提供有借鉴意义的资料和启示,以期促进我国城市桥梁建设的健康发展。

关键词 / 考察 德国 城市桥梁 桥梁建设 相关启示

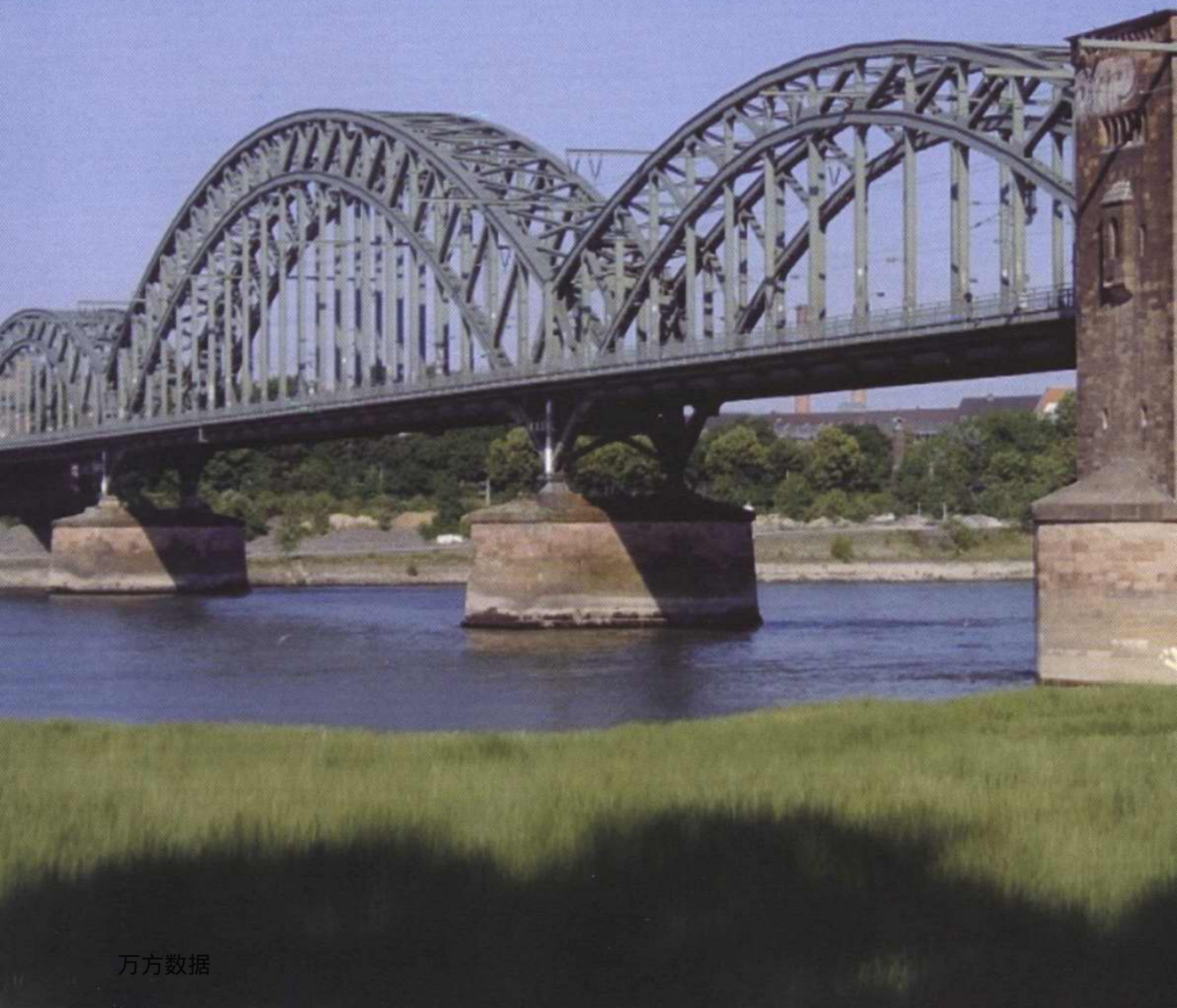




图2 德国科隆动物园大桥

## 魅力德国

德国位于欧洲中部,东邻波兰、捷克,南接奥地利、瑞士,西界荷兰、比利时、卢森堡、法国,北与丹麦相连并临北海和波罗的海,是欧洲邻国最多的国家。面积为357114平方千米(2008年1月)。地势北低南高,可分为四个地形区:北德平原,平均海拔不到100米;中德山地,由东西走向的高地块构成;西南部莱茵断裂谷地区,两旁是山地,谷壁陡峭;南部的巴伐利亚高原和阿尔卑斯山区,其间拜恩阿尔卑斯山脉的主峰祖格峰海拔2963米,为全国最高峰。主要河流有莱茵河(流经境内865千米)、易北河、威悉河、奥得河、多瑙河。较大湖泊有博登湖、基姆湖、阿莫尔湖、里次湖。西北部海洋性气候较明显,往东南部逐渐向大陆性气候过渡。平均气温7月14℃~19℃,1月-5℃~1℃。年降水量500~1000毫米,山地则更多。

据考证,古代在桥梁建造上世界公认最有造诣的是古罗马人和中国人。欧洲的古代桥梁在公元17世纪以前,其建造的材料大都采用石材和木材,按建桥材料分为石桥和木桥。公元前18年,古罗马人在法国南部的尼姆(与西班牙接壤)附近,修建了著名的庞德水管桥。该桥长270米,最大跨度24.4米,上层为输水槽,中层供行人通过,下层一侧于1743年扩建加宽,实现了通行马车的功能。该桥梁的结构宏伟,比例协调、色彩鲜明(选用黄色石料砌筑),反映了罗马时期欧洲超前的建桥技术,这座古老的桥梁至今被人们所称颂。详见图1。

## 古老的城市桥梁

在城市桥梁建设上,德国由于受第一次世界大战和第二次世界大战的影响,城市基础设施遭受很大的破坏,桥梁大部分被毁,其绝大部分的桥梁是二战后兴建的。在考察中笔者发现,在现存为数不多的古老的城市桥梁中,每座桥梁的造型各异,体现着传统的德国文化内涵。

图2:著名的德国科隆动物园大桥,这座大桥修建于十九世纪中叶,虽然经过战争的洗礼,但至今仍完好使用。该大桥的中部为三孔下承式钢桁架拱桥(单跨 $L=60$ 米),两侧的边孔各为上承式钢桁架拱桥(单跨 $L=60$ 米)。在主孔与边孔的连接处,设计了古老的桥中城堡建筑——桥塔,既巧妙地解决了中孔下承式桁架拱和边孔上承式桁架拱铰连接的构造处理问题,又是一个过渡桥上建筑,桥塔建筑预留通行孔,可供行人通行。其桥墩设计成矩形桥墩,迎水面为分水尖。大桥的主梁漆成绿色,桥墩和桥堡建筑为天然黄色石材。当人们从远处眺望或从近处观看这座大桥,显得古朴、协调和美观、大方,可称之为近代桥梁建设史上的一个佳作。详见图2。

图1 修建于公元1世纪的法国庞德水管桥

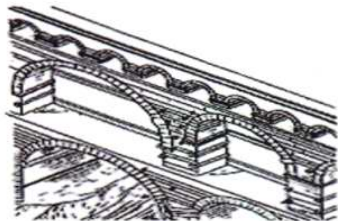


图3 德国纽茵河上一座钢系杆拱桥

这座大桥为三孔下承式系杆拱桥，跨径布置为：28+42+28米，桥墩实体椭圆形，桥端部为重力式桥台。该桥修建于20世纪50年代。这座桥梁的特点有三个：一是受力明确，结构安全，能满足桥梁结构的安全性和耐久性要求。二是桥梁体量适度，外形轻巧。从远处看，比例协调，能与周围的景色融为一体。三是十分经济，维护费用少，钢系杆拱结构经50多年的运行，至今仍运行良好。详见图3。

图4 德国纽茵河上一座不等跨简易斜拉桥

这座桥梁主体结构为古老的——不等跨简易斜拉结构，副跨为刚构桥结构加牛腿，修建于上世纪50年代。其斜拉结构主梁一侧支点在放置在刚构桥结构预留的牛腿上（图中左侧），另一侧支点放置在桥台支座上（图中右侧）。这座桥梁看起来外形简单，不显张扬，但结构设计十分巧妙。尽管运行50多年了，但内行的专家可看出，其主体的不等跨简易斜拉结构受力明确，使用安全。单就副跨的刚构结构加牛腿而言，需要在结构计算和构造设计上处理许多技术难题。由此我们可从中领悟和借鉴很多有用的东西。详见图4。



图5 德国某城市跨河桥（简支钢板加多孔拱桥的组合结构）

这座桥梁的结构形式为简支钢板加多孔拱桥的组合结构。从照片中人们可看到，在德国某个现代化的城市中，纽茵河畔两侧现代的高楼大厦林立，但河道上还保留着一座古老的桥梁。桥梁中孔为一跨简支钢板梁结构，两侧各为多孔石拱桥结构。设计者实际上是设计了两侧的多孔石拱桥，并在靠中部的石拱桥桥墩上预留着支点（支座），用以支撑着钢板主梁。该桥的设计风格和别具一格理念归结为：一是既简单、实用且结构安全；二是可满足主跨通行船舶的要求；三是古老的桥梁与现代化的城市中氛围相得益彰，互为补充和融合。详见图5。

图6 德国某城市跨河桥（墩柱和钢支座）

虽然这座桥梁已经使用了一百多年，但从照片上可清晰看出，其主拱的钢桁架梁和钢活动支座的加工制作工艺精细，使用情况良好，活动支座与桥墩的连接坚固耐用。为防止车辆对桥墩的撞击，桥墩被护栏隔离。从中也使我们学习到一些有益的东西详见图6。

通过以上对德国几座古老的城市桥梁进行深入分析和综合介绍，可使我们了解其在桥梁设计理念和建设水平的总体情况。

## 城市大跨径的刚劲之美

### 历史上的今天

1937年世界上第一座预应力混凝土桥在德国问世,应该说,这在世界桥梁建设史上具有开创性的地位。第二次世界大战之后,德国(特别是原西德)重建被战争毁坏的家园,并在城市大跨径桥梁建设方面有着快速发展和长足的进步。他们在城市桥梁的创新和技术突破上,体现了近30年来现代科技的最新成果和创新意识,令世人瞩目和刮目相看。

譬如,1951年德国建成杜塞尔多夫桥,系世界上第一座正交异性板箱型梁桥。正交异性钢桥面板发展前期的发展动力,主要是针对二战后德国重建一批大跨径桥梁,鉴于当时钢材短缺,而正交异性钢桥面具有节省钢材的优点。正交异性钢桥面结构由横向横隔梁、纵向加劲肋及其共同支撑的桥面板组成。桥面结构纵横两个方向弹性性能不同,同一方向不同位置桥面刚度也存在差异。这些因素形成了正交异性钢桥面板的刚度及变形的不均匀性,这种桥面板刚度特点也对桥面铺装性能提出了更高的要求。

1957年德国又建成杜塞尔多夫北桥,系一座6孔72米钢板梁桥。同年,德国建成了Theodor Heuss桥,其跨径布置为:74.7m+182m+74.7m,钢塔高41米,横向独立不设横梁,拉索竖琴式布置,索距为36米,梁高3.12米。

1959年德国建成Severvin桥,大桥的跨径为302

米,塔采用A形,其钢索呈放射形,桥面设计成“漂浮”,为大桥的抗震提供了有效的措施。

1960年德国建成芒法尔河谷桥,这是世界上第一座预应力混凝土桁架桥,其跨径布置为:为90m+108m+90m,总长度288米。

1964年德国建成了主跨为209米的刚悬臂梁桥,这也在世界桥梁建设史具有十分重要的地位。

### 大跨径拱桥

从事桥梁建设工作的同行们都了解,拱桥在世界桥梁建设史上是一种应用最早、最广泛的一种桥梁受力体系,它是一种推力结构。在考察中笔者发现,在大跨径拱桥,特别是中、下承式拱桥的建设上,德国仍然是走在世界的前列。

图7:德国费马恩海峡大桥,这是德国著名桥梁专家莱昂哈特教授在上世纪60年代首次将下承式拱桥的双肋于拱顶处相靠(现称之为提篮式),吊杆以网状布置,其主跨为248.4米,桥墩由上向下缩窄了宽度(T形墩),形成了生动的立体感和空间稳定感。其舒展的桥型浮现于海峡的海面上,即均衡又大方得体,且充满着动感,这座桥梁深受公众赞赏和桥梁设计者效仿,曾被评为上世纪最美的桥梁之一。详见图7。



图7 德国著名的费马恩海峡大桥

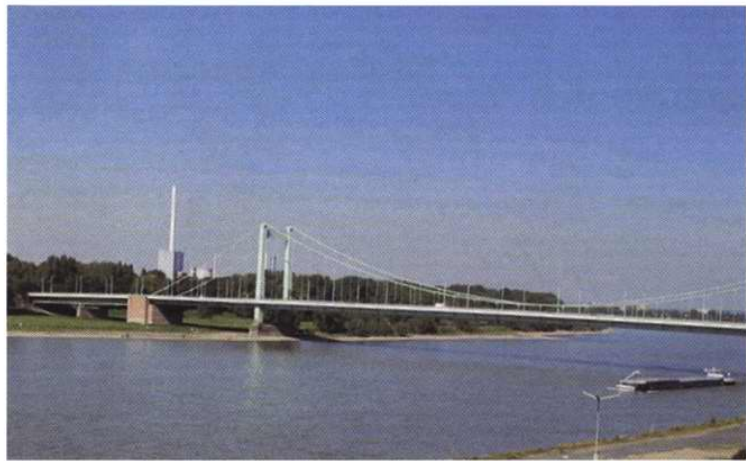


图8 德国姆尔海玛大桥

在考察中笔者发现，虽然在现代大跨径桥梁建设上，德国人建造的斜拉桥的数量虽然多一些，但在世界现代悬索桥的建设史上，德国人仍然占有一席之地。譬如，1965年，德国建成了Emerich大桥，系现代悬索桥。该桥的主跨布置为：152+500+152米，其悬吊型式为3跨连续，加劲梁为桁架，所用钢材为9000吨。

### 现代悬索桥

众所周知，现代悬索桥的建设亦反映了一个国家的综合实力和建桥水平，而悬索桥的基本构造通常由主塔、锚碇、主缆、吊索、加劲梁及鞍索等主要部分所组成。尽管现代悬索桥的主跨已逼近2000米，例如日本的明石海峡大桥主跨达1990米，中国的浙江西堠门大桥主跨达1650米。但毋庸置疑，德国在现代悬索桥的发展史上仍占据举足轻重的地位。

例如，1915年德国就建成了科隆——迪兹大桥，这是世界最早的自锚式悬索桥，其跨径布置为：92.3m+184.5m+92.3m，矢高为21.5米，矢跨比为1：8.6。当时主要是因为这座桥梁面临地质条件的限制，而使工程师们选择了自锚式悬索桥的桥型，该桥主跨为184.5 m，采用木脚手架支撑钢梁直到主缆就位。自锚式悬索桥的特点是，它的主缆直接锚固在加劲梁的梁端，由主梁直接承受主缆中的水平拉力，不需要庞大的锚碇，从此之后，该桥梁为不方便建造锚碇的地方修建悬索桥提供了一种解决方法。

又如，1929年德国就建成了科隆——姆尔海玛大桥，这也是世界早期的自锚式悬索桥，其跨径布置为：34.6m+315m+91.0m，矢高为34.6米，矢跨比为1：9.1。虽然该桥在1945年被毁，但它至仍然保持着自锚式悬索桥的跨世界记录。

图8：德国姆尔海玛大桥（Mühlheimer Brücke），系科隆（Köln）跨莱茵河（Rhein）的一座悬索桥。这座建成于1951年，主跨315米的大桥，连接着西岸的莱尔（Riehl）与东岸的姆尔海玛（Mülheim）两个城区，是德国具有代表性的一座早期悬索桥。详见图8。

### 斜拉桥

从事桥梁设计、研究、监控和施工的同行人們都知道，斜拉桥是以斜拉索将桥面承载结构吊起拉住，形成桥梁上部结构支承体系的桥梁。更进一步说，斜拉桥是从主塔向两边伸出的斜索将主梁拉起。当多条斜索分散拉起，主梁就向在多个弹性支承的连续梁一样工作。故而，斜拉桥是一种自锚受力体系，其加劲梁受压弯、支承体系斜拉索受拉的桥梁。

在考察中我们了解到在世界斜拉桥的发展史上，德国人为斜拉桥的发展奠定了良好的基础：例如，1957年德国建成的Teoder Heuss 斜拉桥，其主跨跨径为260米；1959年德国建成的Severin 斜拉桥，其主跨跨径为302米；1970年德国建成的Duisburg Neuenkamp斜拉桥，其主跨跨径为350米。上述这三座斜拉桥在当时取得世界跨度的年度之最及以往历年来跨度之最上，均具有里程碑的地位。

图9：德国莱茵之膝大桥（Rheinkniebrücke）。系德国人1969年在杜塞尔多夫（Düsseldorf）建成的跨越莱茵河（Rhein）的一座斜拉桥，大桥将这座城市莱茵河右岸第三区的弗雷德里克（Friedrichstadt）与左岸第四区的上卡塞尔（Oberkassel）连接在一起。据说，在此地建一座斜拉桥的创意是由建筑师弗里德里希·塔穆斯（Architekten Friedrich Tamms）提出来的。大桥的两座主塔高114米，主塔两侧各有四道斜拉索。主桥跨度为320米，宽29米，桥高3.4米。大桥跨河段长564米，全桥总长1519米。由于桥梁建在莱茵河一个狭窄的弯曲河道上，从空中看莱茵河的这一段河道就像一个人的膝盖，故取名为莱茵之膝大桥。详见图9。

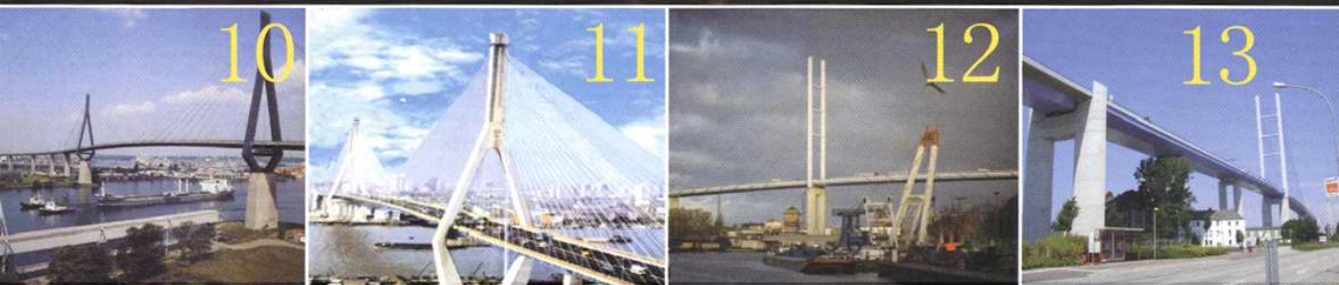
图9 德国莱茵之膝大桥





在考察中我们还了解到,德国和丹麦两国经15年的协商和争论,于2008年签订共同协议,拟投资兴建一座连接斯堪的纳维亚半岛和欧洲大陆的特大型海峡大桥,这将是欧洲最长的跨海大桥。这座大桥全长19千米,主跨拟采用多跨斜拉结构,计划投资56亿欧元。以往从德国费马恩岛的普加登市到丹麦罗兰岛的罗德比市的交通十分困难,这两个岛都在波罗地海内。大桥的修建,将对两地的贸易和旅游起到显著促进作用,明显提高交通流动速度,今后从汉堡到哥本哈根的驾车时间也将从现在的4小时缩短到3小时。同时,斯堪的纳维亚半岛南部与欧洲大陆之间的贸易也将更加便利。修建该桥的大部分资金,约48亿欧元将由丹麦方面支出,因为据相关部门分析,丹麦方面从该桥所获得的利益要比德国多。德国联邦政府和石荷州共同支付余下的8亿欧元,并将大桥的交通线连接到德国高速公路和铁路设施上,预计这座巨型跨海大桥将于2018年建成通车。详见图14。

14



**图10 修建于1974年德国汉堡的Kohlbrand大桥**

图10为德国汉堡Kohlbrand大桥,亦为斜拉桥结构。这座大桥于1974年建造,塔架为A字型,并向内弯曲,包住桥面,高架引桥及主桥墩均为混凝土所建,桥塔和中跨为钢结构,钢箱梁为由正交异性板钢板梁构成。其桥塔的布置可使梁体获得较高的扭转自振频率,以提高临界的颤振风速。其桥墩为倒T型墩,引桥为连续箱梁。从远出眺望该桥,大桥造型优美,线条流畅。我国上世纪九十年代在黄浦江上建成的杨浦大桥,似乎受到了当年德国Kohlbrand斜拉桥设计构思的影响。详见图10,图11。

**图11 修建于1993年的上海杨浦大桥**

**图12、图13为德国吕根岛大桥。**

2007年10月德国连接斯特拉尔松市与吕根岛的大桥建成通车,该大桥全长4.1千米,造价1.25亿欧元,桥梁结构为H型双塔双索面斜拉桥。桥塔高42米,系一座预应力混凝土斜拉桥,十分利于轮船行驶。该大桥的开通,将为吕根岛与德国大陆之间增加一条与Ruegendamm大桥平行的新线路,具有良好的社会、经济和环境效益。详见图12、图13。

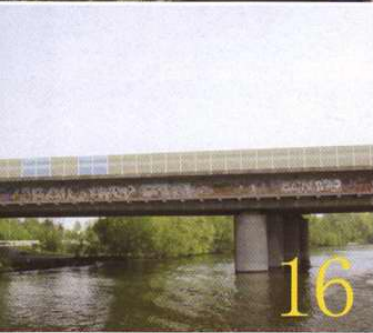
**图14 德国和丹麦拟建的海峡大桥**



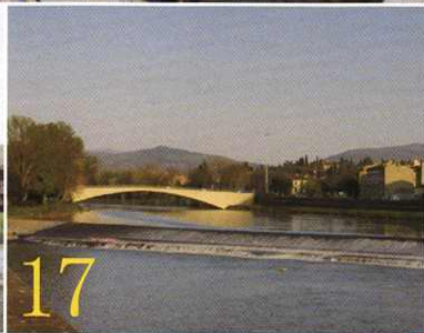
15



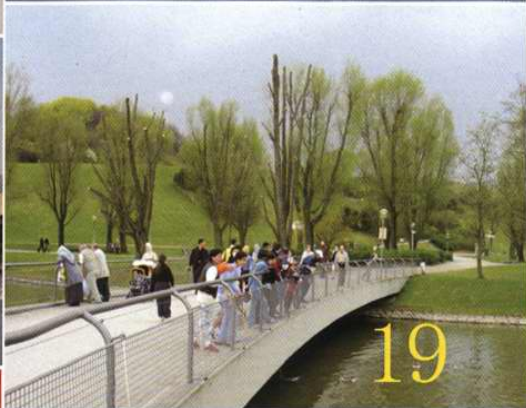
18



16



17



19

图15 德国著名的马格德堡水桥  
图16 德国某城市的一座跨河桥梁

图16: 拍摄的德国某城市的跨河桥梁, 其结构为等截面三孔预应力连续梁桥, 跨径布置为 $24+40+24$ 米, 虽属常规的桥梁, 但其设计特点还是显而易见的。一是主梁设计呈现安全、舒展的特点, 满足桥梁结构的安全性和耐久性要求。二是桥墩采用圆形墩柱既满足受力需要, 又有利于河流的通过和经受船舶的撞击。三是防撞栏杆采用与主梁的悬臂浇注在一起, 既可满足防撞的受力需求, 且在线形上与主梁相协调和呼应, 呈现整体桥型线条流畅, 美观大方。四是边主梁和防撞栏杆适当涂以颜色(或涂鸦), 使该桥在色彩上也十分协调和美观。详见图16。

图17 德国某城市的一座跨河桥梁(无铰拱—坦拱结构)

图17: 德国某城市的一座跨河桥, 是笔者在纽茵河上拍摄的。这座桥梁位于德国一座古老的村庄旁, 其结构采用钢筋混凝土无铰拱坦拱桥, 跨度为28米。该结构的特点是, 由于属三次超静定结构, 在自重及外荷载作用下, 拱内的弯矩分布较均匀, 材料用料十分节省。该桥结构的整体刚度大, 构造简单, 施工方便, 维修费用少。淡黄色的桥身在夕阳的照射下, 显得线条流畅, 造型轻巧。这座桥梁是德国现代桥梁的佳作, 既满足使用功能和结构安全的需求, 又体现了德国人简洁、实用和注意质感、韵律的思维方式。详见图17。

### 城市人行天桥

在考察中笔者发现, 德国在城市人行天桥的建设上仍然秉承简洁、实用和注意质感、韵律的设计理念。

图18为德国纽茵河上一座人行过河桥, 亦是笔者在纽茵河上拍摄的。这座人行天桥的特点是, 采用两跨连续钢箱梁结构, 其单跨跨径为 $L=28$ 米, 钢箱梁为单箱单室, 两端为混凝土桥台。为满足结构受力和刚度要求, 设计者将钢箱梁的纵向设计成竖曲线。当人们从桥上走过, 既无过大的颤动之感, 又为两侧的美景所感染。而钢管形的桥墩和较大的孔径布置, 既可满足船舶通航的要求, 又可经受住船舶的撞击。当人们从远处眺望这座人行桥梁, 其纤细的桥身与远处古老的哥特式教堂相互呼应, 给人以美的享受和遐想。详见图18。

图18 德国纽茵河上一座人行过河桥  
图19 德国慕尼黑黑奥运村公园人行桥梁  
图20 德国慕尼黑黑奥运村公园人行桥梁

图19、图20系笔者在德国慕尼黑黑奥运村公园拍摄的一座人行过河桥。这座桥梁为一跨简支钢板梁结构, 跨径大约为35米。为满足挠度要求, 钢板梁设计成纵向曲线形。该人行桥梁的特点有四: 一是采用钢板梁可充分发挥钢材优越的受力性能, 使得人行过河桥的结构安全、耐久。二是其桥梁外形轻巧、简捷, 微弯向上的钢板梁给人一种轻盈的感觉。三是人行过河桥的栏杆的栏板设计成通透的金属格栅网, 且栏杆扶手向内设置, 既方便行人扶靠, 又有安全感。四是桥体(钢板梁和栏杆)均涂刷成灰色。与慕尼黑黑奥运村公园的景色和张拉膜建筑融为一体, 对我国桥梁设计工作者应该有一些借鉴和启迪作用。

### 其他现代城市桥梁

德国人在其他城市桥梁建设上也呈现了很强的创新意识和实用功能。

譬如, 德国人在城市桥梁建设中, 其桥梁不仅供人行走, 甚至还可以行船运输, 这就是德国修建的马格德堡水桥。该桥梁位于德国易北河—哈弗尔河和米特兰运河之间。这座桥中桥于2003年建成并投入使用。人们将这座桥梁称之为——水桥。其创新之处是将桥梁的主梁设计成为一个轮船渡槽, 两侧的悬臂各为行人过河通道, 实现了船舶的立体交叉运输; 其渡槽架设在两个椭圆形的桥墩上。

这座水桥总长达918米, 船只在桥上可以自由的航行。它是欧洲目前最长的水道桥工程, 并将德国东部的米特兰德运河与西部的易北—哈弗尔运河连接了起来。这座桥跨越了整个易北河, 共用了6年时间进行建造, 花费了5亿欧元。如今已成为建桥所在地的一个令世人瞩目的新景观。详见图15。



20

## 美在变化与相似之间而得到加强

桥梁造型艺术积聚着浓厚的民族文化内涵,蕴藏着不同国家、不同民族的审美传统、聪明才智和精湛技艺,也应成为人类文明交流的纽带。因此我们应从莱茵河及纽茵河上古老精美的桥型设计和现代桥梁建设上汲取有益的营养成分,创造性地从事我们的桥梁设计。我国从事桥梁设计和建造的工作者,大都听过德国著名的桥梁教育家——莱昂哈特教授的名字。他在其桥梁美学名著中说过:“美可以在变化和相似之间,复杂和有序之间展示从而得到加强”。我国著名桥梁专家、同济大学项海帆院士曾感叹:“正如贝多芬的音乐一样,简短的主题不断展开和变奏,既相似又不同,但却十分和谐;既复杂变化,又有序统一,在不雷同和不杂乱之间展现出丰富的层次和内涵,给人以美的享受和心灵的激荡。”因此,从德国著名的费马恩海峡大桥的成功建设来看,莱昂哈特教授不仅在桥梁美学的理念上,还是在实际工程的实践中,都给世人留下了宝贵的财富。德国人在桥梁建设上确实开创了人类的先河。

笔者感到,桥梁是人类所建造的最古老、最壮观、最美丽的建筑工程之一。法国塞纳河和德国莱茵河、纽茵河及其他河流上的著名的桥梁,都以其鲜明的形象、强烈的艺术感染力,反映了时代特征,记录着人类文明的发展历程。从以上介绍德国城市桥梁基于传统和创新理念建造的桥梁建筑,所反映其独特的结构特征及桥梁建筑美学的功力,也相应带来了独特的艺术魅力。桥梁建筑不仅要表现出结构上的稳定连续、强劲稳固的力感和跨越能力,而且要有美的形态与内涵,内容和形式的高度统一,才能显示出不可朽的生命力。艺术和技术是紧密相关的,科学技术本身也是美的因素之一,结构力学、钢材、混凝土的发展,各种现代化新型施工机械的应用,才能使各式轻巧、大跨度的桥梁得以孕育而生。

众所周知,桥梁造型艺术积聚着浓厚的民族文化内涵,蕴藏着不同国家、不同民族审美传统、聪明才智和精湛技艺,也应成为人类文明交流的纽带,因此我们应从塞纳河上古老精美的桥型设计汲取有益的营养成分,创造性的从事我们的桥梁设计。



21



22

图21系笔者德国在慕尼黑某河流拍摄的的一座人行过河桥梁

图21系笔者德国在慕尼黑某河流拍摄的的一座人行过河桥梁,这座桥梁为现代悬索桥结构。其主跨约为60米,桥塔(主塔)为A型,主缆通过塔顶鞍座悬挂在主塔上并锚固于桥两端锚固体中的柔性承重结构,吊索将人行荷载和加劲梁包括桥面、栏杆的恒载通过索夹传递到竹篮的构件上。这座悬索人行桥的特点:一是桥型简洁,明快,线条比较协调;二是既满足桥梁使用上的受力需求,又采用新颖、流线型的主梁和简洁的A型桥塔,传统和现代的设计手法很好的结合在一起;三是其吊索采用分散式布置,为该桥的总体效果增添了色彩,看起来不死板。

图22德国某办公大厦的一座人行天桥

图22系笔者拍摄的德国某城市两个办公大楼之间的一座现代人行天桥。该过街天桥墩柱与主梁为采用固结的方式,人行过道采用全封闭的建筑装修方式,其特点有三:一是主梁与墩柱固结(刚结)方式,其结构的安全性和耐久性均可满足要求。二是在材质的选择上,选用了现代流行的铝扣板和玻璃幕墙材料,与大厦周围的环境相协调。三是主梁、墩柱和封闭的人行通行过道均采用灰色调,从外观上比较典雅和富有质感。

## 参考文献

- (1) 马修·韦尔斯(英)著.世界著名桥梁设计[M].张慧,黎楠,译.北京:中国建筑工业出版社,2003.
- (2) 李世华,罗桂连.桥梁工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- (3) 徐风云,陈德荣.桥梁审美原理[M].北京:人民交通出版社,2007.
- (4) 万明坤,程庆国.桥梁漫笔[M].北京:中国铁道出版社,1997.
- (5) 穆祥纯.考察西欧国家城市建设的若干启示[J].北京:特种杂志,21(1),2004.
- (6) 林元培.桥梁设计工程师手册[K].北京:人民交通出版社,2007.

## 作者简介

穆祥纯(1955-)男,北京人,教授级高级工程师,长期从事桥梁设计、城市交通研究及技术管理工作。(电子信箱)muxiangchun@bmedi.cn