

世界上最大的可升降桥福楼拜桥的设计与施工

常 丁 杨根杰 李东毅

(长安大学公路学院 西安 710064)

摘 要:文中介绍了世界上最大的可升降桥—法国福楼拜桥(Le Pont Flaubert)所处的自然环境、地理位置和概况,对法国福楼拜桥工程设计和施工中的主要技术创新、桥梁的特点等情况做了介绍。可升降桥既可解决城市交通的基本需要,也可保证大型船舶的通过,最大程度的保留了城市的航海文化,亦是桥梁和环境的和谐统一。

关键词:主梁 可升降装置 桥梁施工与设计

可升降桥是一种古老而又新型的桥梁,桥梁中间通航部分的桥跨做成可以升降的结构,在活动桥跨两端各有一座塔架和悬挂的平衡重。当船舶要通过时,将桥跨升起,暂时中断桥上交通,船舶通过后再降回原位,恢复陆地交通。在城市中使用即可解决城市交通的基本需要,也可保证大型船舶的通过,目前国内的可升降桥比较少,有天津的海门大桥、塘沽海门升降桥、温州瓯南大桥等。如温州市瓯南大桥主桥长881米,钢桁梁长75米,为方便船只通行,该桥主桥钢桁梁设计成升降式,最高比桥面升高13米,可供千吨级船舶通行,为我国最大的垂直升降式桥梁。

本文所介绍的福楼拜桥主跨达120米,可提高55米。福楼拜桥位于法国北部城市鲁昂,横跨流经此处的塞纳河,是法国高速公路A150的重要组成部分,也是连接A150高速公路和A13高速公路的重要枢纽(图1)。大桥的建成将解决城市日益增长的通车需要,加强了经济活动和区域内的交流,促进了此地区高速公路网的形成。大桥于2008年9月25日通车,预计正常使用阶段每天50000辆汽车通过,其中10%为重载车辆。

此桥是目前世界上最大的可升降桥,120米的主跨可通过桥塔机械装置提升55米;以便大型船只通过,当船只通过时,水上通行比陆上交通有优先权。



图1 桥位

1 设计概况

大桥主跨120米,南北引桥分别为410米和170米;车道布置为双向分离式六车道;主梁为正交异形板钢箱梁;采用钢管桩方案。每年30~40次升高桥梁的机会,每次完全升起需要12分钟。

此处是法国著名的帆船城市,大型船只经常来往其中,原先的几座桥梁均限制了桥梁的净空,使这座城市的航海文化受到很大的影响,故此桥的净空设计达55米以满足大型船只的通行要求。而经多年的论证在建造桥梁和隧道的问题上达成共识,主要原因为:

(1) 如果沿正常路基建造此桥,那么净空仅有7米,如果建造净空为55米的高架桥,将会占用大量的土地做引桥,而周围都为密集的居民区,并且如此高度的高架桥给城市日常交通带来

很大不便。

(2) 修建隧道虽然是对通航影响最小的方案,但也带来很多施工和运营的不便以及造价的提高;由于要通过重载车辆,在附近没有适合的地质,而适合建隧道的位置已经远远偏离公路网的规划。

所以设计了这样一座可以升降的桥梁解决了城市基本交通的需要,也解决了大型船只通过的特殊需要,同时也保留了城市著名的航海文化。

2 整体布置

为了使城市规划风格统一,设计师在保证结构功能、造价、运营、养护的同时,桥梁造型的设计力求简单明快,桥塔的体积和机械上升装置(蝴蝶架)都经过优化以减小风荷载带来的影响。整个桥梁由防撞墩、桥墩、桥塔、主梁、缆索、蝴蝶架及上升的机械装置组成见图2。

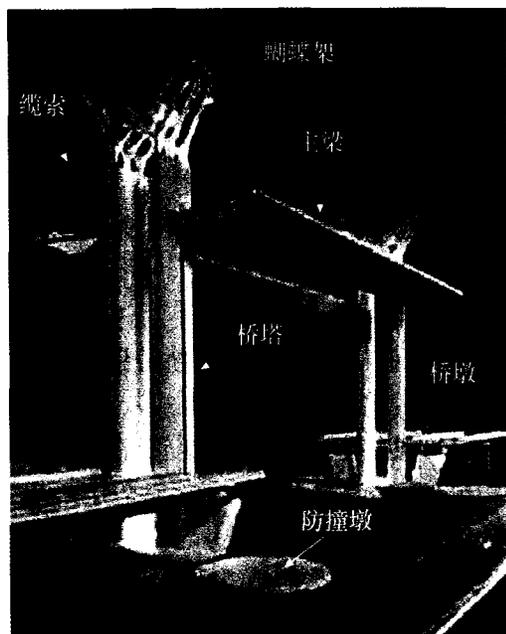


图2 桥梁整体结构

2.1 桥塔

采用高66米的双柱式桥塔,间离为10米。为了减小体积,横断面为椭圆型(4.35米×9.50米),壁厚只有35厘米。其空间紧凑地放置一部电梯、平衡锤和缆索,并将电机、绞盘、控制台等机械装置放在桥塔底部的支座上,很好地控制了桥塔

水面以上部分的体积。施工采用4米一节段爬模施工。桥塔结构见图3。

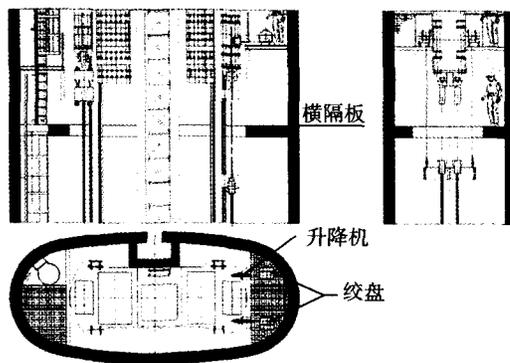


图3 桥塔构造

2.2 上升系统

上升系统是这座桥的关键,为了结构的轻巧和美观,设计力求结构简单和外观协调。两个主梁通过16根拉索控制。每个主梁的梁端均由4根缆索控制,每根缆索经过蝴蝶架上的两个转向滑轮通过桥塔顶端,其中两根缆索与平衡锤相连,两根缆索与桥塔底部的绞盘相连。主梁为1300吨,平衡锤分担900吨,绞盘分担400吨。这样的交叉控制使两个桥塔之间产生相向的力以稳固桥塔。主梁和塔柱接触的地方由塔柱侧面的轨道来控制方向并减小上升的阻力。上升系统组成见图4,工作原理见图5。

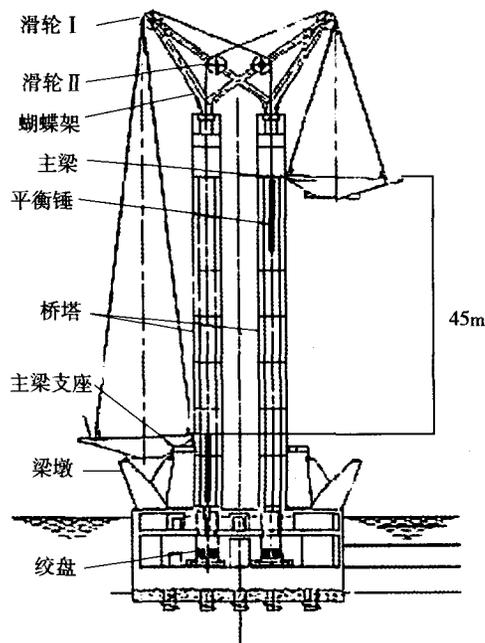


图4 上升系统组成

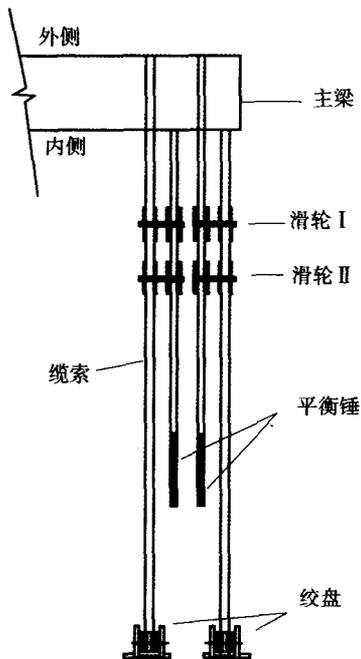


图5 上升系统工作原理

2.3 拉索

本桥用缆索来提升主梁，所有的受力仅由在主梁两端的16根缆索完成，缆索直径为85毫米，拉索总长为6千米。拉索经过塑性处理，使之满足塑性指标和扭转指标。在拉索连接部位设置了转向球来适应拉索在外力下的扭转，防止拉索在相对扭转下突然断裂见图6。

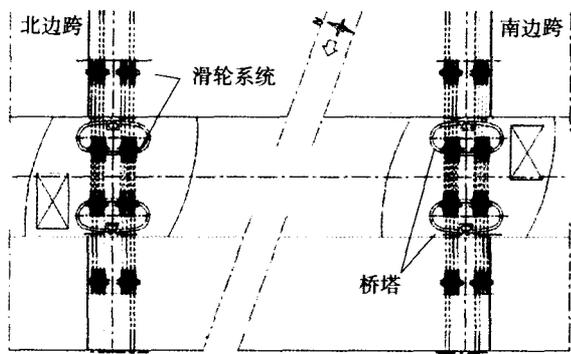


图6 滑轮系统

2.4 主梁

每个主梁有1300吨，在工厂预制而成，钢箱梁的顶板及底板均采用正交异性板结构。主梁断面见图7。钢箱梁生产由板单元制造、梁段组焊及预制和整体焊接三部分组成。

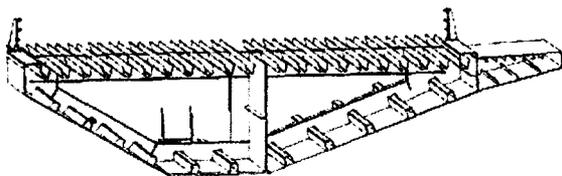


图7 主梁断面

由于本桥为拉索结构，风荷载对于桥梁稳定的影响很大。在迎风面设置风嘴，并通过全桥模型的风洞试验见图8来调整主梁风嘴的形状，使其空气动力性能达到最佳，并且在主梁中设置了动力减震装置。

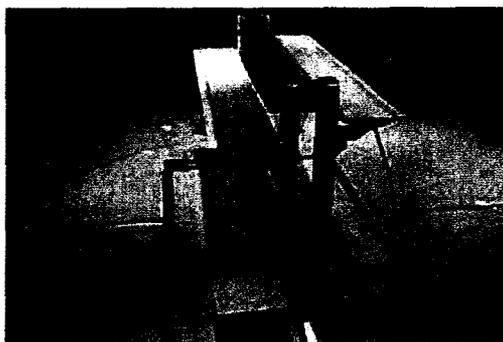


图8 主梁风洞试验

2.5 蝴蝶架

蝴蝶架每个450吨，由直径1米、厚度18毫米的钢管制成，通过滑轮的传动关系优化了蝴蝶架的几何尺寸，及蝴蝶架上的滑轮比例。

2.6 防撞墩

河道在桥跨处是弯曲的，船通过时需要调整方向，并且由于桥墩建在水中，缩短了原有的河道。为了保证桥墩不受冲撞，设计专门研究了船的行驶状况，并通过弹道学试验来模拟船通过时的状况，研究结果显示非常必要在桥塔处设置防撞栏来防止船对桥塔的冲击破坏（图9）。

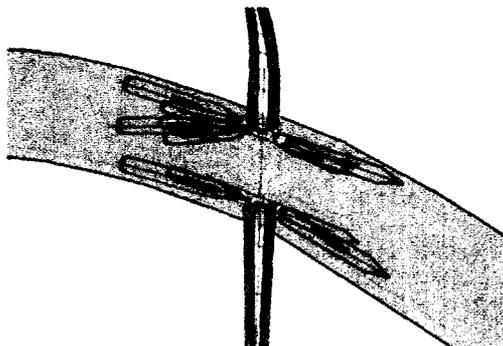


图9 防撞墩 (下转第26页)

Grand Wisata斜拉桥SEI数据表如下:

业主: PT Putra Alvita Pratama

总设计: PT Eskapindo Matra CE

斜拉桥设计: PT Partono Fondas Eng.Consultant

桥梁结构设计: PT Partono Fondas

Eng.Consultant

总承包商: PT Lampiri Djaja Abadi

桥基承包商: PT Geocon Persada Jaya

施工管理: PT Indah Karya

斜拉索分包商: 欧维姆机械股份有限公司

/PT Multistran Eng.Indonesia

混凝土供应商: PT Pioneer Beton Industri

混凝土用量 (m³): 6560

斜拉索用量 (环氧喷涂钢绞线/吨): 61.5

总造价: 4220000美元

通车时间: 2007年7月

(上接第23页)

经过试验和计算最终确定在桥塔处设置四个防撞墩。每个防撞墩为直径20米、高度16米、壁厚1米的高密度混凝土,基础采用7根直径为1.2米的钢管桩。在水面以上部分设置3道橡胶保护圈以减弱船的冲击作用。

2.7 桥墩

桥墩的设计尺寸为35m×20m×15m,支座的施工不采用围堰以防来往船只撞击,并且不能封锁通航超过12个小时。桥墩采用预制顶推下沉的方法施工,此方法曾用于修建诺曼底大桥。过程如下:

(1) 打入钢管桩,并把预制的扇形底板套在钢管桩水面以上的部分;

(2) 在这些预制板铺设钢筋网,浇注混凝土使之联成一体;

(3) 在此基础上立侧模板,浇注混凝土使之成为高15米、壁厚为1米的薄壁筒形结构;

(4) 使用千斤顶将此结构沿钢管桩顶推至河底,使整个桥墩作用在河床上,并与钢管桩在底部固结见图10;

(5) 从筒形结构底部开始灌注素混凝土,形成桥墩。



图10 顶推下沉的千斤顶

3 运输

主梁和蝴蝶架均为工厂预制而成,通过海运至塞纳河,再由拖船运至桥底,主梁由两艘大型吊船同时作用,将主梁安放在支座上,蝴蝶架由一艘臂长为120米的吊船吊装到桥塔上部,调整位置后安置在桥塔顶部。

4 结语

福楼拜桥是世界上最大的可升降桥,其结构新颖并且涉及机械传动等交叉专业。整个设计由三家设计院联合完成:Arcadis公司设计主梁部分,Eurodim公司设计机械传动部分,Serf公司设计引桥部分。建筑师为Aymeriz Zublena。

项目总花费1.5亿欧元(约15亿人民币),其中:研究设计费用900万欧元(约9000万人民币);土地使用费用600万欧元(约6000万人民币);主梁和桥塔及升降装置建造费用7000万欧元(约7亿人民币);引桥建造费用3500万欧元(约3.5亿人民币)。资金来源为:国家投资27.5%,省政府投资27.5%、塞纳河管理委员会投资35%、鲁昂市政府投资10%

这座桥给法国鲁昂地区的交通和航海文化都带来了生机,也实现了现有桥型的突破,比较适合沿海或是有内河流域的城市,亦为我国的升降桥设计与施工做出积极的参考意义。

参考文献

- [1] Frédéric Carmillet. Le pont Flaubert à Rouen. Ouvrages d'art,2007,n:55-jeillet.