

## 大阪海湾东神户钢斜拉桥

**提要:**正在施工的日本大阪海湾东神户桥,是设计为一座简单而优美的复合式钢桥。其主跨为485m,两端边跨各200m,是当今世界上最长的斜拉桥之一。

风、地震和美学是日本东神户桥设计的决定要素。暴风从山边吹下经过大阪海湾。设计人员除考虑日本的普通地震规定外,还必须考虑海湾人工堤填筑的位置。但首先是考虑为神户城建造一个壮观的通道,该通道跨宽500m,以使定期海轮和大型渡船便于出入附近码头的船坞。

设计人员成功地设计出轻巧而优美的三跨主梁885m的长桥,采用的是没有竖向杆件的华伦桁梁,上下层钢桥面与主弦构成一个整体。纤细桥塔的两肢与下面横梁相连接。为了与上部结构白色钢梁相协调,竖琴型拉索也用特别研制的涂在聚乙烯上的白色涂料。

横跨东神户水道的桥梁是由填筑大阪海湾构成的80km高速公路的一部分。从神户西端至大阪南端,这条海湾线路标志着700万人口的该工业区发展和开拓的新阶段。这条线路还为离海岸5km现正在施工的关西国际机场提供了通路,并且为本州至四国公路正在施工的明石海峡吊桥提供了通路。

东神户桥由汉欣(hānshin)高速公路公共公司神户施工分公司于1986年以作临时护岸而开始施工,该桥将于1993年完成,全部海湾线路可望于2000年开通。

地震和风力主宰了结构根据美学要求提出的问题的解决办法。由桥塔横梁悬挂的主梁设计成在所有支点上均为纵向移动而不是在桥墩和桥塔处固定,因此,该桥具有一个纵向摆动的无前例的长的自振周期约4.4秒。从而减轻了地震力,也减小了桥塔和基础的尺寸。

设计人员用反应谱法计算动力。他们以实际观测地震波并使用一个相对安全度大的限界开始工作,该限界为地震波与桥梁振动频率有可能相吻合的计算。

如果梁跨固定于桥塔上,则地震将使桥梁承受很大的力,全活动支座系统是地震设计的基本组成部分。桥塔支承主梁有三种方式,即用承压支座、钢连杆悬吊或拉索悬吊。设计人员选用了第三种方式。前两种支承方式,因支座或连杆不变形,将在梁内产生大的弯矩。

钢连杆必须很粗大因而也很难看,以抵抗地震时由于梁的较大位移引起的拉力。支承拉索与斜拉索相同,是弹性的并能减少塔处的弯矩。这种弹性支承在欧洲一些不易发生地震的国家普遍采用,而在日本应用于吊桥或斜拉桥也仅仅是第二次。

为附加保护,采用新研制的轮叶式阻尼器,将它安装在终端桥墩上以控制纵向振动。这些阻尼器当受地震时,把油从一个隔间送至另一个隔间,它们已按1:2的比例模型试验过。

设计桥塔和上部结构根据来自任何方向波的地震力, 这些波假定来自约 1000m 深的基岩。

地震影响减低之后, 风荷载变为主要设计课题, 主梁设计风速为 60m/s, 桥塔为 67m/s。风洞试验表明, 横向柱振动或驰振在风速相当低, 到 20m/s 时即开始, 而且拉索控制不住它。解决的办法是将每个角切割等于桥塔前面宽度的 10%, 再对柱的前面和背面附加上盖板, 即可得到所欲求的形状。

由于未固紧的大梁和低位的横梁, 塔的屈曲是另外一个值得关心的问题, 承载能力特别是对侧荷载通过弹塑性变形分析而不是以小型弹性变形理论来计算的。这种变形分析包括对焊接残余应力的考虑和在承受压力的加劲节间由于局部屈曲引起的荷载能力降低的考虑。

上、下横梁为拱形, 在两端内侧设有对角斜杆, 以便有效地起到整体桁架的作用。横梁的应力传递根据有限单元法 (FEM) 分析, 再加进桥塔设计中去。

华伦桁架主梁为 9m 高和 16m 宽, 在中心处设有工字形纵梁 3.4m, 其节间为 12.125m 长。上、下弦杆为 1m×1.2m 的箱形截面, 斜杆为 1m×0.7m 的箱形截面。为了节约用钢, 桥面系与弦杆连成整体, 这样就使桥面系承受主梁应力和桥面应力。

钢桥面是 12mm 厚的正交异性板, 并以 700mm 间距的纵向肋条和 3m 间距的横向肋条加强。要每个节间点中设有更多的加劲肋条, 以保证从横梁至斜杆的应力能有效传递。该应力是运营引起的剪力和弯矩而产生的。

在两个平面内的 96 根竖琴形拉索帮助阻止了主梁过多的纵向移动。为了抗锈蚀, 把这些拉索封闭在聚乙烯套管里。关于类似拉索, 对风振和雨振在其他桥已经常有报导, 所以在东神户桥设计时按足尺模型进行风洞试验。试验显示出由风斜吹过拉索轴引起的振动并因下雨而加巨。因为斜吹的风力, 雨滴除能沿着拉索上、下流外不能围绕拉索周边流动, 但是与轴线平行附着的节疤阻止流的形成, 所以, 将振动抵消。

拉索由 241~301 根直径 7mm 的钢丝组成, 容许拉应力为名义破裂强度的 1/25。因为安设空间有限, 故在主桁架和柱子处于拉索端部设计了管形锚头。

从塔上面横梁吊起的竖向吊索, 在每个塔的两边各有两条, 每条吊索承载 850t。因为主梁设计为纵向可移动, 装置在塔和墩上的抗风支承, 则阻止桥梁受斜向风力时所引起的摩擦。为了抵抗 1300t 的上拔力, 在每个桥墩上采用了两个眼圈杆摆锤支承。

#### 施工

为了保持船舶通过海峡, 修建沉箱和桥塔基础墩在水面处安排相隔一年。首先用直径 900mm 的钢管板桩建造临时护岸来代替原来填筑而有碍沉箱施工的护岸。钢沉箱外壳为 35m×32m×14m (高), 分成 6 排, 每排 6 个小室。将装载其施工箱体所需全部钢筋的沉箱牵引到位, 然后用拖船和地锚绞车将它定位。

为了防止钢壳沉箱倾斜或不均匀下沉, 用更换或压实砂土的办法改善刃脚下的土壤。挖出的土通过 4 个运送材料闸口运出沉箱。为保持沉箱里的气压在 294kpa 以下, 要从深井不断地向上抽水。根据试验井的经验, 大家关心的当抽水时地面可能的沉陷的疑虑已被消除。

另一个大家关心的问题是由于沉沉箱上的海水重量使其下沉过大, 由于较预料为大的摩擦力和土壤反作用力抵销了下沉量。倾斜仅为 1/1200, 水平位移在 150mm 之内。1990 年

7月完成了第二个沉箱的施工。

第一座塔于1990年10月到顶,第二座塔计划1991年6月完成。每个塔都用预制块件建造。每根柱子底部的下半部预制件是车间焊接的,交付给现场的块件约27m高。除5个接头要求用高强度螺栓外,现场所有接头均为焊接。

当施工时,主要关心的是风力问题,它既是安全的障碍也是安装程序的障碍。风洞试验表明,主梁悬臂时会发生风激,但无涡致振动或颤振发生。然而,在拉索未安装前桥塔将发生这种振动,但用压重防护,可使振动减轻到一定程度。临时措施是当桥塔高约60m时,在每个塔顶安装一个调谐的、大的阻尼器,当施工进行时,还可向上移动。当9月份南大阪刮强台风时,证明这种阻尼器是有效的。此外,工程师们正准备进行他们的试验。

对桥塔和上部结构的架设步骤也是根据必须尽可能保持水道通航来确定的。中跨主梁由两塔一次悬臂架设两个节间。东端边跨在临时支架上架设而西端边跨从桥塔悬臂架设。

架设上部结构按下列步骤进行:

1. 备一浮吊,桥塔的焊接块件(下部横梁及其下面的两条腿)由2050吨承载能力的浮吊架设。主梁7个拼装的节间安装在西塔下部块件上,6个拼装节间安装在东面块件上。同时,东端边跨梁在临时支架上架设,架设时用地面上的450t履带式起重机及在已架部分的梁上的100t移动起重机。

2. 每个塔的中部安装4个块件。在上横梁之上,用置于主梁上的110t起重机逐块来完成塔的施工。

3. 用100t桥式起重机沿着桥面每次两个节间来进行悬臂安装主桁梁。首先在主梁边安装拉索并在桥塔边进行张拉。

桥塔施工的精确度在1/1500之内,由精确磨光拼合表面而取得。为了优质焊接,对插槽形状偏差有严格的限制。为了与主桁架成为一个整体桥面系统的准确性,采用了高强度螺栓以代替可使连接变形的焊接。用拉索的张力和梁的准直来控制悬臂架设的精确度。

#### 装饰

辅助设备及其他装修均设计了装饰以提高结构的外观美。护栏采用交叉的柱,可透光因有孔洞不会增大风荷载。沿桁架弦杆设置排水管,这样不致影响桥的外貌。雨水只经由设在桥墩上的竖向排水管排出。

维修和检查设备,包括有每个塔一个升降机、重新油漆时使用的悬挂于每个塔的吊篮、以及位于主梁两侧与底部的小车轨道。油漆工和维修人员将使用临时小车。检查人员首先从桥的车行道进行工作。

因为灯柱会干扰桥的拉索,为了安全和美观,在沿桥全长的护栏顶部安装照明设备。桥塔和拉索采用了特殊的照明灯具与护栏顶部的照明,结合起来使这座桥变得更壮观并给神户湾增添了美丽的夜景。

原载:美国“ASCE “Civil Engineering1991年2月P. 45~P. 47

译者:徐继源

校者:祁宇平