

文章编号: 0451-0712(2004)11-0052-04

中图分类号: U442.5

文献标识码: B

禹门口黄河大桥设计

杨耀铨, 吴劲兵

(中交第二公路勘察设计研究院 武汉市 430052)

摘 要: 禹门口黄河大桥主桥为 174 m+352 m+174 m 一联漂浮体系双塔斜拉桥,主桥两侧分别设置 75 m+2×125 m+75 m 各一联的矮塔斜拉桥,其余河槽及引桥采用 50 m、30 m 预应力混凝土 T 梁,先简支后连续刚构体系。本文就禹门口黄河大桥的总体设计做概略介绍。

关键词: 禹门口黄河大桥; 总体设计

禹门口黄河大桥地处黄河中游,距禹门口下游 6 km 处。东起山西省河津市,西止于陕西省韩城市,桥梁全长 4 566 m,是二连浩特~河口国道主干线山西侯马~禹门口高速公路上的重要桥梁。

1 主要技术标准

桥面宽:双塔斜拉桥 28 m+2×1.3 m(布索区)=30.6 m,矮塔斜拉桥 28 m(含布索区),引桥 2×13.5 m,双向分离式桥;

荷载标准:汽车—超 20 级,挂车—120;

设计行车速度:120 km/h;

设计洪水频率:1/300;

桥面坡度:纵坡 0.74%,横坡 2%;

通航:规划通航标准为Ⅳ(3)级航道,通航净宽 35 m,通航净高 8 m,设计最高通航水位为 10 年一遇洪水位;

地震烈度:7 度地震区,按 8 度采取抗震措施;

船撞力:顺桥向 300 kN,横桥向 400 kN。

2 桥位处自然概况

2.1 地形、地貌

桥位处为典型的河流堆积地貌。该河段为南北走向,禹门口两岸岩壁陡立,是宽 100 m 左右的峡谷河槽,出禹门口后骤然扩散,形成宽浅性河床,水流散乱,沙洲密布,河床软弱,主流摆动不定,具有典型的游荡型河道特点。

禹门口至下游 4 km 处是一宽阔的回水区,最宽处达 6 080 m,回水区至桥址 2 km 范围左岸有大石嘴、小石嘴,右岸有桥南、下峪口等护堤工程,两堤间宽 4 560 m。桥位区黄河河床宽约 3 600 m,河床内地形平坦,地面标高一般在 370~380 m 左右,水深一般为 0.5~2.0 m。“揭河底”冲刷现象,在该河段表现比较明显,河床总的趋势是淤积抬高,平均每年淤高约 8 cm。

2.2 工程地质

根据钻探揭示的地层自上而下分为 4 大层,依次为:第四系全新统、上更新统、中更新统、下更新统地层,由砂层、粘性土层、卵砾石和一级阶地上的次生黄土组成。

桥区主要不良地层为:次生水成黄土具有湿陷性;河滩与河床上的松散粉细中砂具有液化性。而且厚度较大,在 20 m 左右,对桥头路基的稳定和桩基影响极大。

2.3 水文、冰情和气象

桥位处设计洪水流量为 33 450 m³/s,流速 3.58 m/s。桥墩基础总冲刷深度包括河床自然演变冲刷(主要为“揭河底”冲刷)、一般冲刷和局部冲刷三个部分,按三项叠加的办法处理,最大冲刷深度 19.4 m。

桥位处平均 3.5 年出现一次冰冻,一般当年 12 月 10 日~次年 3 月 10 日为封冰期,封冻历时 15~40 d;2 月下旬~3 月中旬是流冰期,流冰时间持续 15 d 左右。桥位处流冰尺寸平均 1 m²,最大为 4 m²,厚度最大 10~12 cm,流冰水位为 376.10 m,流冰流速

3 m/s 左右。

桥址区属暖温带大陆性半干旱季风气候区,历年平均气温 $12.2 \sim 13.6^{\circ}\text{C}$,年极端最高气温 42.8°C ,极端最低气温 -25.6°C 。历年平均降水量为 $542.8 \sim 590 \text{ mm}$,桥位区风向以西北风和东南风为主,历年平均风速为 9.0 m/s ,最大风速 24 m/s 。

3 桥孔布置和桥型方案

禹门口黄河大桥全长 $4\,566 \text{ m}$,两岸无较高的建筑物。由于桥位处河道主流摆动不定,桥梁布孔不但要照顾到河道现状(主河道偏左),更要了解和析历史上主河道的摆动情况,从历史的角度看,黄河主河道以中间位置为主,也常有左右摆动和分岔的可能,因此在桥梁布孔时,将主要泄洪孔布置在中

间,在左右两岸边处也布有较大孔的桥跨,河道内其余部位采用 50 m 桥跨,而两岸堤外则以经济跨径为主,采用 30 m 桥跨。

在满足上述布孔原则的基础上,桥型方案综合考虑经济、安全、景观效果和方便施工等因素,中间主泄洪孔布置为 $174 \text{ m} + 352 \text{ m} + 174 \text{ m}$ 双塔双索面 PC 斜拉桥,这一跨径是 PC 斜拉桥的经济跨径,而且施工工艺成熟,桥位地质条件和施工条件也适宜这一桥型。两侧泄洪孔布置为 $75 \text{ m} + 2 \times 125 \text{ m} + 75 \text{ m}$ 的三塔单索面矮塔斜拉桥,与相同跨径的连续刚构桥相比,工程造价增加不多,但具有良好的景观效果,3 座斜拉桥组合起来,寓意为山西的“山”字,见图 1 所示。

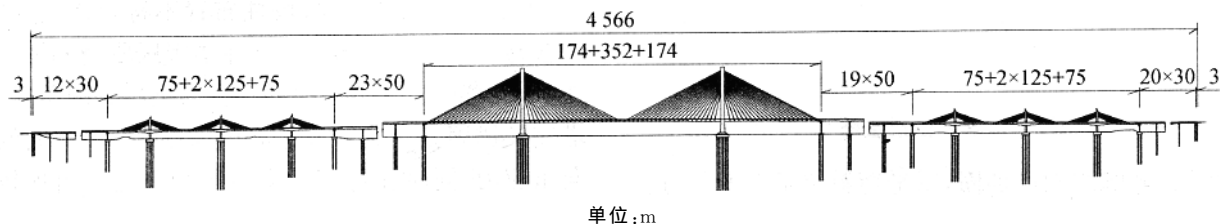


图 1 桥型布置

河槽中的其余部分采用 50 m 、引桥采用 30 m 预应力混凝土 T 梁,先简支后连续刚构体系。桥面以双塔斜拉桥主跨跨中为顶点,设双向 0.74% 的纵坡,竖曲线半径为 $40\,000 \text{ m}$ 。

4 斜拉桥构造特点

4.1 主塔基础

根据地质勘察资料分析,桥区地质条件较好。持力层为密实状中砂、细砂夹粉砂和卵砾石、粗砂、砾砂层。设计采用直径为 2.0 m 的摩擦桩基础,桩端持力层选择在力学强度较高的砂类土地层中,桩长计算综合考虑冲刷和砂土液化的影响深度,但两者不再叠加。

承台在横桥向为防流冰的撞击做成三角形,索塔桩基平面按梅花形布置,可减少顺桥向桩基布置范围和顺桥向弯矩分配给桩的轴向力,同时可减少承台的体积,图 2 为双塔斜拉桥桩基布置和承台形式。

为了增加矮塔斜拉桥的整体刚度和抗震性能,中间墩与主梁固结,次边墩与主梁分离、墩顶设支座,属连续—刚构体系。但在地震荷载作用下中间固结墩桩基配筋率较大,达 1.5% 。

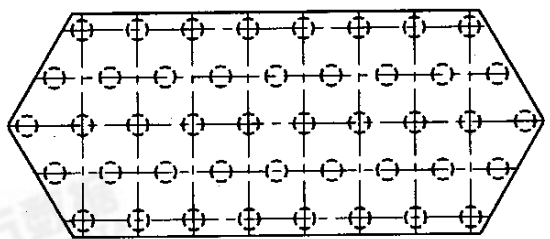


图 2 主塔承台、桩基平面

4.2 索塔

索塔是整个桥梁造型的重点,采用的形式、高度和比例不仅要满足斜拉索布置的要求,还要达到美观的效果。设计中曾对双塔斜拉桥桥塔上下横梁位置及塔柱的距离、矮塔斜拉桥索塔的高度进行过反复调整,并绘制效果图进行了景观比较后确定。双塔斜拉桥主塔效果图见图 3。

双塔斜拉桥塔高为承台以上 121.6 m 。两塔柱横向中心距为 12 m ,塔柱采用空心矩形断面,上、中塔柱断面尺寸为 $6.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$,下塔柱顺桥向柱宽自上往下由 6.5 m 加宽到 8.0 m 。上塔柱为斜拉索锚固区,锚索端局部构造采用凸齿式,槽表面用厚为 1 cm 的钢板包裹。在上塔柱锚固区,采用 U 形预应

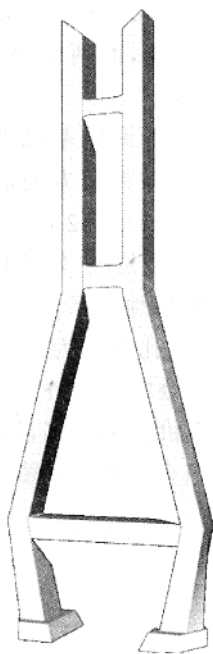


图 3 双塔斜拉桥主塔

力束及精轧螺纹钢筋加固,以平衡斜拉索水平分力。

矮塔斜拉桥索塔高 24.5 m,为 3 m×2 m 的钢筋混凝土实心矩形截面,布置在中央分隔带上,并与箱梁固结。此处桥梁内侧波形梁护栏需改为 0.5 m 宽的防撞护墙,以便放置索塔。塔身上部设有鞍座,以便拉索通过。鞍座采用双重钢管的结构形式,外管埋设于塔内,内管置于外管内,斜拉索穿过内管。为防止拉索滑动,两侧出口处的斜拉索上设有索夹,内、外管之间设抗滑锚头,以防止内、外管相对滑动。

4.3 斜拉索

斜拉索布置为扇形密索体系,双索面,采用低松

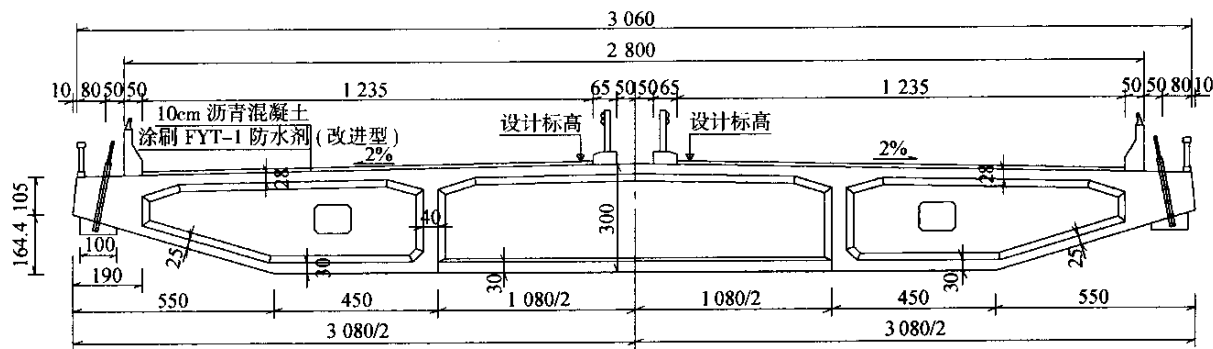
弛镀锌高强钢丝,直径 7 mm,标准强度 1 670 MPa,镀锌钢丝扭绞成缆后,涂防腐涂料,浇包聚脂复合带,热挤黑色 PE 和彩色 PE 护套。拉索采用冷铸镦头锚,两端均为张拉端。

矮塔斜拉桥的斜拉索为单索面,双排锚固在中央分隔带上,每个塔上设有 9 对斜拉索,斜拉索采用钢绞线,每根拉索由 34 根 $\phi 15.24$ mm 环氧钢绞线组成,外包裹 PE 管,位于索鞍处的钢绞线为裸索,待施工完毕后,在内钢管灌注高强环氧砂浆。锚具夹片使用优质高强的进口夹片。

矮塔斜拉桥拉索曾用平行钢丝与钢绞线做比较,但由于:(1)若采用平行钢丝,必须在塔端和梁端分别锚固,而矮塔斜拉桥拉索较短,短索设两端锚具,锚具所占比例较大不够经济;(2)若采用平行钢丝、主塔采用交叉锚固,塔柱布置不符合规范要求,侧壁易产生劈裂破坏;(3)若在锚固区段增加塔柱尺寸,形成塔柱上大下小的形状会影响桥梁的美观,主塔交叉锚固处受力较复杂,在该区域出现较大的竖向压应力,同时在每层的交错区域附近还出现较大的横向劈裂应力;(4)由于塔柱是实心体,平行钢丝斜拉索锚固在塔外,锚具必须设置防腐和防雨水渗漏措施,检查维护较困难。经过比较后仍采用钢绞线斜拉索。

4.4 主梁

双塔斜拉桥的主梁为预应力混凝土边箱梁,主梁顶面全宽为 30.6 m,截面中心高 3 m,每隔 8 m 设一道预应力混凝土横梁,箱梁标准节段长度 8 m,主梁节段重约 480 t,采用前支点挂篮施工,挂篮自重计算时按 240 t 考虑,主梁断面见图 4 所示。

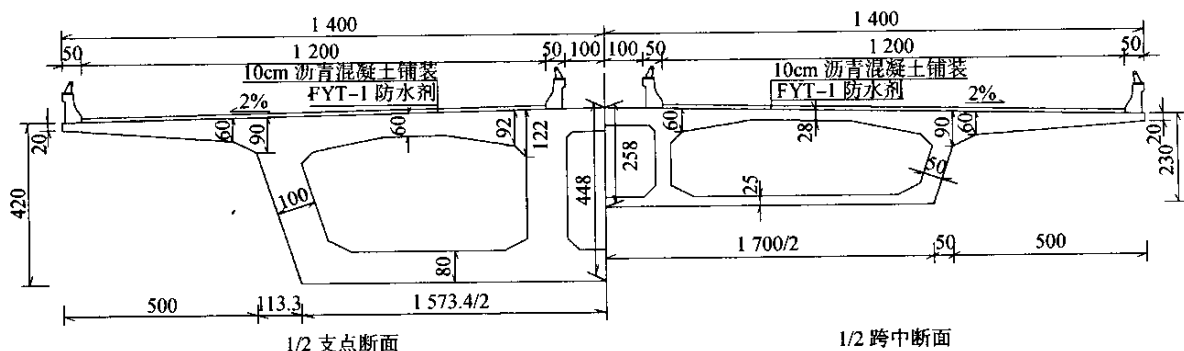


单位:cm

图 4 双塔斜拉桥主梁断面

矮塔斜拉桥主梁采用单箱三室大悬臂变截面预应力混凝土箱梁,三向预应力结构。支点梁高 4.2 m,跨中梁高 2.3 m,箱梁顶宽 28 m,悬臂长 5 m,两外腹板为斜腹板,斜拉索锚固点布设在箱梁的中室内,主

梁除在支点处设置横隔板外,每根斜拉索锚固点处均设有横隔板。采用后支点挂篮施工,挂篮自重按 120 t 计,主梁断面见图 5 所示。



单位:cm

图 5 斜拉桥主梁断面

设计充分考虑了桥梁运行后期的徐变影响,除计算中计入混凝土收缩、徐变影响外,还在构造上设置了备用措施。双塔斜拉桥可通过斜拉索调整索力来解决,矮塔斜拉桥则在主梁内设置了备用管道。

采用沥青混凝土的柔性桥面铺装,能极大地改善行车条件,但沥青混凝土铺装具有渗水的特点。桥面水下渗后容易滞留在沥青和主梁顶面,冬季不易蒸发,造成桥面破坏。为改善主梁排水条件,设计中在双塔斜拉桥及矮塔斜拉桥箱梁顶面设置 5 cm 厚的钢纤维混凝土调平层,调平层混凝土顶面沿横桥向拉槽以利排水。

5 施工方案

施工方案应充分考虑桥址处地形、地质和气象条件,本桥 30 m T 梁桥段位于大堤以外,双塔斜拉桥、矮塔斜拉桥和 50 m T 梁桥段均在两堤之间。由于桥址河道水文和气象特征,施工阶段夏季有洪水冬季有冰冻和流冰现象,且水流散乱,沙洲密布,河床软弱,是典型的“有水不能行船,无水不能行人”的河道。

在充分考虑上述自然特征后初拟如下施工方案。

(1)施工场地主要布置在两岸堤外平坦区域,作为施工人员生活区,材料堆放、加工、T 梁预制、混凝土搅拌等。

(2)施工道路在两堤以外铺设便道,两堤之间架设栈桥。参考其他桥梁的施工经验,栈桥采用钢管桩基础,其跨径拟为 2~15 m,栈桥主梁为桁式钢结构,梁底标高至少在施工水位以上 50 cm,桥宽取

8 m,以满足车辆双向行驶。

由于桥址处水情、地形复杂,为尽量减小栈桥对行洪和流冰的影响,栈桥方案施工采取如下措施:

①在施工前,将施工方案报有关防汛部门批准后才能实施;

②施工期间保持与防汛部门联系及时掌握汛情,并将河道中间部分的栈桥上部构造设置成可拆卸式,必要时拆除上部构造泄洪(泄冰),也可同时考虑在上游挖河成槽引洪;

③由于流冰尺寸较小,对栈桥钢管桩影响不大,只计入冲击力,在钢管桩周围设活水圈,以预防冰冻形成的静冰压力。

(3)基础和下部构造施工,主要依托栈桥,利用基桩钢护筒搭设钻孔平台(也可辅以打入钢管桩加强施工平台),承台的施工尽量避开洪水季节,双塔斜拉桥和矮塔斜拉桥等圬工量大的承台,设钢套箱围堰施工承台,其他圬工量小的承台也可利用枯水季节采用干处施工。

(4)混凝土搅拌和运输:双塔、矮塔斜拉桥的主墩和主梁因混凝土用量集中,应分别在墩位处设拌和站,其余均在两岸设拌和站,用混凝土运输车或输送泵运输。

(5)上部构造施工:双塔斜拉桥和矮塔斜拉桥主梁分别采用前支点挂篮和后支点挂篮施工。

副主桥、引桥 T 梁在两岸施工场地预制,30 m T 梁可直接用架桥机架设。50 m T 梁运输从矮塔斜拉桥桥面上通过。