

文章编号: 0451—0712(2005)01—0111—04

中图分类号: U448. 141

文献标识码: B

惠青黄河公路大桥主桥结构分析

王 胜

(铁道第一勘察设计院 兰州市 730000)

摘 要: 惠青黄河公路大桥是国内最大跨径的双塔单索面预应力混凝土矮塔斜拉桥,主桥跨径为(133+220+133)m。结合主桥的设计情况,对该桥的结构设计和计算、结构非线性、结构静力动力分析等进行了简要介绍。

关键词: 矮塔斜拉桥; 设计施工; 结构非线性; 动力特性

1 工程概况

1.1 地理及河道特性

惠青黄河公路大桥位于山东省东北部,黄河下游鲁北平原区,高青(惠民)河段。该河段蜿蜒曲折,弯曲较大,黄河大堤堤距 1 730 m,主河槽位于惠民岸,主槽摆动幅度 480 m,高青岸为开阔的河滩地。经多年治理该河段已成为人工控制的弯曲性河段,河道比较稳定,但河床呈“大水冲,小水淤”的基本特性,总体呈淤积抬高的趋势。现河槽已是高出两岸地面 3~6 m 的“地上河”。桥位附近凌汛较为严重,曾多次发生冰坝、冰塞现象,对桥梁跨径提出了较高的要求。

1.2 工程地质与水文地质

桥址区覆盖层主要由粘性土、亚砂土及砂性土等组成。深度 20~30 m 以上的全新统地层为软塑状的粘性土层,工程性能差;更新统上部地层为软~硬塑的粘土层,工程性能稍好,其下各层土体为硬塑~坚硬状粘性土或密实状砂性土,层位稳定,工程性能好,是良好的基础持力层。

桥址区场地地震动峰值加速度为 0.05 g(相当于地震基本烈度 6 度区),地震动反应谱特征周期为 0.45 s,场地土类别为Ⅲ类。地表下 20 m 深度内的饱和亚砂土层为中~轻度地震液化土层。

2 设计技术标准

公路等级:微丘区二级公路特大桥;

行车速度:80 km/h;

设计荷载:汽车—超 20 级,挂车—120;

设计纵坡:2.5%;

标准横断面:1.25 m(人行道)+2×3.75 m(行车道)+2.5 m(斜拉索锚固及防撞区)+2×3.75 m(行车道)+1.25 m(人行道),桥面全宽 20 m,行车道横坡 1.5%;

通航净空:内河Ⅳ级航道,通航净高 8 m,且应满足 30 年河道淤高时流量为 9 000 m³/s 的最高通航水位;

设计洪水流量及频率:11 000 m³/s,为 300 年一遇;

流冰:最大冰块尺寸 1 000 m×240 m,最大冰厚 48 cm,最大流冰速度 2.67 m/s;

地震烈度:6 度。

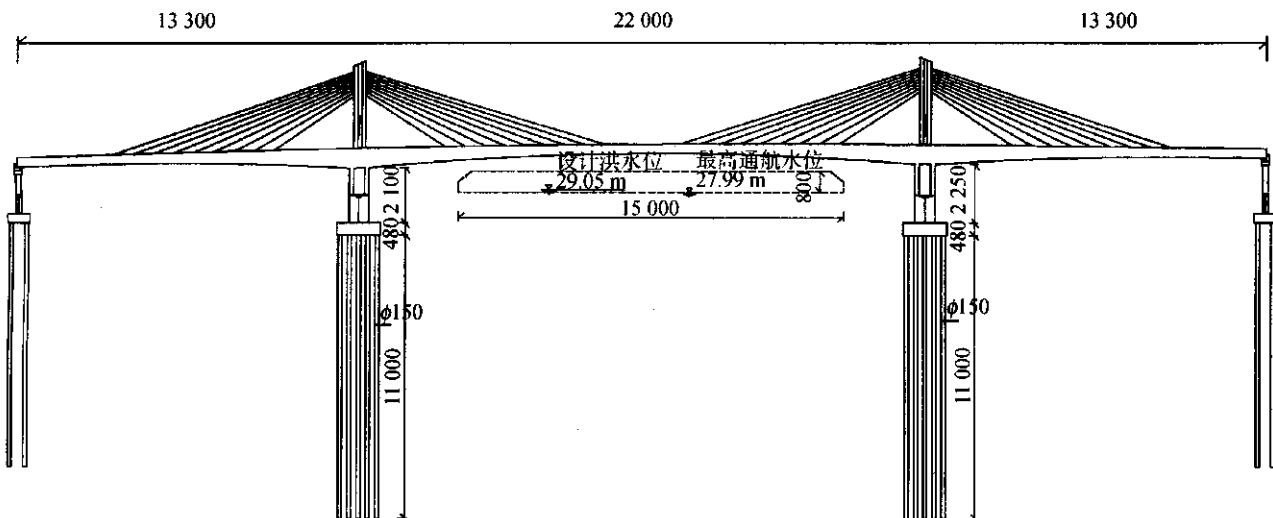
3 主桥结构设计

3.1 上部结构设计

主桥采用 133 m+220 m+133 m 双塔单索面三跨预应力混凝土矮塔斜拉桥,桥长 486 m。采用塔墩梁固结的结构体系。主桥立面见图 1 所示。

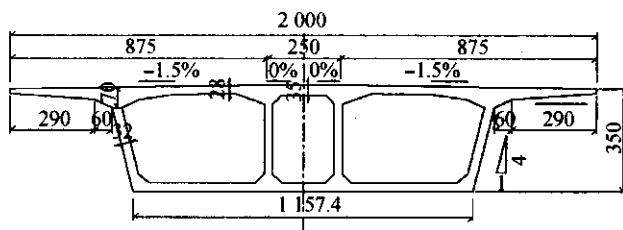
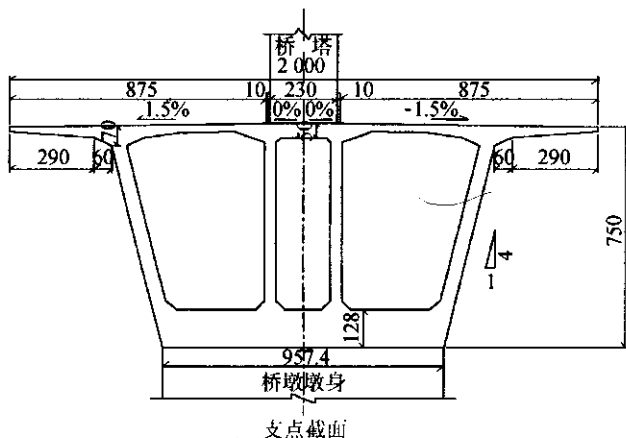
3.1.1 主梁

主梁断面如图 2 所示,采用单箱三室变高度箱形截面,55 号混凝土。主墩墩顶处梁高为 7.5 m,高跨比 1/29.3;跨中处及过渡墩墩顶处梁高 3.5 m,高跨比 1/62.8;梁底曲线按二次抛物线变化。箱梁顶宽 20 m,单侧悬臂长 3.5 m,跨中箱梁底宽 11.574 m,根部箱梁底宽 9.6 m。箱梁外侧腹板采用斜腹板,斜率为 1:4,厚度由箱梁根部 50 cm 渐变至跨中 32 cm;内侧为直腹板,厚度由箱梁根部 40 cm 渐变



单位:cm

图 1 全桥立面



单位:cm

图 2 主梁断面

至跨中 28 cm;底板厚度依据计算,在箱梁根部为 128 cm,渐变至跨中及边跨直线段 30 cm;顶板厚 28 cm,其中中室顶板在塔根无索区及锚索区加厚为 40 cm。

主梁除在支点处设横隔梁外,每根拉索锚固点处均设有横隔梁,间距为 8.0 m。中支点处横隔梁厚为 1.7 m,边支点处横隔梁厚 1.5 m,支点处横隔梁设置人孔。拉索锚固点处横隔梁变厚度,中室厚 40 cm,边室厚 30 cm;为了有利于桥塔竖向力的传递,将箱梁根部横隔板斜置。

箱梁采用全预应力理论设计,顶板束、中跨及边跨底板合拢束采用 $19\phi 15.24$ mm 钢绞线,用内径为 100 mm 的波纹管成孔,OVM15-19 锚具锚固;腹板束与边、中跨顶板合拢束采用 $12\phi 15.24$ mm 钢绞线,用

内径为 90 mm 的波纹管成孔,OVM15-12 锚具锚固。钢绞线采用符合 ASTM. A416 标准的 $\phi 15.24$ mm 低松弛钢绞线,标准抗拉强度 $R_y^b = 1\,860$ MPa,采用两端张拉,张拉时锚下控制应力 $\sigma_k = 1395$ MPa。

斜拉索锚固点处的横隔板采用 $9\phi 15.24$ mm 钢绞线,内径为 80 mm 的波纹管成孔,OVM15-9 锚具锚固。

顶板横向预应力钢束采用 $3\phi 15.24$ mm 钢绞线,配用 BM15-3 扁锚,采用内径为 60 mm \times 19 mm 扁波纹管成孔,顺桥向钢束间距为 50 cm,采用单端张拉,张拉、锚固端交错布置。

竖向预应力钢筋采用 $\phi 32$ 精轧螺纹钢筋,标准强度为 850 MPa,配用 JLM-32 精轧螺纹锚,采用 $\phi 50$ mm 波纹管成孔。屈服强度为 $R_{0.2} = 850$ MPa,弹

性模量 $E_g = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$, 锚下张拉控制应力 $\sigma_k = 0.9 R_y^b$ 。

3.1.2 主塔

主塔为 55 号钢筋混凝土结构, 高 30 m, 为主跨的 $1/7.3$, 采用实心矩形截面, 顺桥向长 4.5 m, 横桥向宽 2.3 m。桥塔根部的箱梁内横隔板斜置, 有利于桥塔竖向力的传递。桥塔处于横桥向中间, 塔上斜拉索的锚固采用斜拉索抗滑锚。

斜拉索采取单索面布索, 利用中央分隔带作为拉索的锚固区。塔根附近无索区长 35 m, 跨中无索区长 22 m。塔上竖向索间距为 1.0 m, 箱梁上索间距为 8.0 m。在每个锚固点处, 横桥向并排设置 2 根拉索, 间距为 1.0 m。每根斜拉索采用 163 丝 $\phi 7 \text{ mm}$ 高强镀锌平行钢丝, 标准抗拉强度 $R_b^y = 1\,670 \text{ MPa}$, 运营阶段最大索力为 5 008 kN, 施工阶段最大索力为 5 378 kN。采用双层 PE 防护, LZM 型冷铸镢头锚锚固。

3.2 下部结构设计

由于本桥采用了塔墩梁固结的结构体系, 再加上主墩高度仅为主跨的 $1/10$, 墩高较低, 混凝土收缩、徐变和降温对塔墩内力影响较大, 而主桥受力是以连续刚构为主, 斜拉索为辅, 因此主墩及其桩基是设计的关键控制部位之一。主桥上下部结构的内力与施工流程密切相关, 为了减少主墩在施工过程中产生的不利水平力和弯矩, 对主桥上部施工流程进行了合理调整, 采用将最后一对斜拉索的张拉在 T 构梁段浇注完成后进行。由于施工体系转换、混凝土收缩徐变引起向跨中方向不可恢复的变位与降温效应相组合产生最大的墩顶、底弯矩在成桥状态十分突出, 因此, 采用在中跨合拢前对主墩施加 6 000 kN 水平预顶力的措施, 以改善主墩受力和变位。

主桥主墩采用 55 号混凝土的双薄壁墩, 双薄壁中心间距为 6.0 m, 墩壁厚度为 1.7 m, 横桥向墩壁宽度 9.6 m, 在两薄壁之间, 靠迎水面侧设置钢筋混凝土破冰体, 破冰体尖角处设角钢。破冰体高度在设计时计入 50 年淤积厚度 (5.04 m)。

过渡墩采用矩形截面的钢筋混凝土板式墩, 墩身厚度 (顺桥向) 2.0 m, 宽度 (横桥向) 9.6 m, 横桥向外观为上宽下窄的“花瓶式”造型, 在桥墩迎水面侧设置钢筋混凝土破冰体, 破冰体尖角处设角钢。

桥墩采用桩基础、钢筋混凝土承台, 主墩承台尺寸为 22.7 m × 22.7 m, 厚 4.8 m, 采用 26 根直径为 1.5 m 的钻孔灌注桩, 桩长 110 m。为了避免浇筑承

台大体积混凝土时水化热引起的混凝土开裂, 在承台中设置 $\phi 50 \times 3$ 的散热管和测温管。过渡墩承台尺寸为 8.7 m × 12.7 m, 厚 3.5 m, 采用 6 根直径为 1.5 m 的钻孔灌注桩, 桩长 95 m。

4 主桥结构静力分析

箱梁按三向预应力混凝土结构设计, 采用全预应力理论, 按平面有限元法进行结构分析计算。

根据本桥为刚构—斜拉结构体系特征, 计算中将桥塔、主梁及主墩整体建立计算模型, 将基础模拟为 II 型结构, 同时考虑桩—地基土的耦合效应, 其中索单元、桥塔及桥墩与梁上节点以刚臂相连。箱梁采用悬臂浇注方法施工, 其节段划分根据施工设备及其负荷能力确定, 并考虑尽量使模板简单通用, 梁段长度分别为 3.0 m、3.5 m、4.0 m、5.0 m, 悬浇节段的最大重量控制在 2 500 kN 以内。全桥结构共划分为 236 个单元, 197 个节点, 结合施工因素共划分了 100 个计算阶段。

在中跨箱梁合拢时, 施加水平预顶力 6 000 kN, 有效降低墩身及基础后期的水平力, 改善其受力条件, 有利于墩身及基础工程量的控制。

施工阶段斜拉索的最大应力比控制在 0.56 R_b^y , 正常使用条件下斜拉索的最大应力比控制在 0.525 R_b^y , 汽车 + 人群荷载作用下的最大应力幅为 33.18 MPa, 考虑各种荷载组合后的斜拉索最大应力幅为 96.43 MPa。

斜拉索一次张拉到位, 不进行后期索力的调整, 为控制斜拉索由于涡流激振而产生的不利影响, 在拉索与主梁、拉索与桥墩的锚固端设置高阻尼减震器。

非线性分析通过全桥空间模型用有限元方法计算。桥塔、桥墩、主梁等用空间梁单元模拟, 拉索用空间杆单元模拟。从计算结果分析, 几何非线性主要对桥墩的弯矩计算结果影响较大, 线性分析结果和非线性分析结果绝对值差别一般不大, 但相对值差别的最大值达到 39.5%, 这种情况出现在工况 III 的内侧桥墩墩底弯矩上, 同时需要注意的是此时内侧桥墩墩底弯矩的绝对值并不大, 由于弯矩基数较小, 导致相对误差较大。总的来看, 几何非线性对结构内力影响不大。

5 主桥结构自振特性分析

根据惠青黄河公路大桥工程场地地震安全性评

价的反应谱,取 50 年超越概率为 10%、5%、1% 的有关参数。

在地震作用下,考虑墩柱截面开裂等因素的影响,墩柱的刚度进行一定的折减。在进行动力特性及地震反应谱分析时,根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)中的规定,将墩柱刚度近似折减 33%(即取 $0.67EI$)。

通过计算分析,结构在地震作用下,承载能力和强度均能满足规范要求。

对于上述地震模式,前 10 阶振型周期、频率如表 1,前 3 阶振型如图 3 所示。

表 1 前 10 阶振型周期、频率

频率 序号	频率 Hz	周期 s	主要振动形状
1	0.476 2	2.099	全桥顺桥向振动
2	0.522 5	1.913	主梁横向振动
3	0.5296	1.888	主梁竖向振动
4	0.672 1	1.487	桥墩及桥塔横向振动
5	0.746 7	1.339	全桥横向振动
6	0.882 8	1.132	主梁竖向振动
7	1.005	0.995	主梁竖向振动
8	1.052	0.950	边墩及桥塔横向振动
9	1.199	0.834	桥塔横向振动
10	1.279	0.781	边墩顺桥向振动

从振型图上分析,第二阶即出现横向振型,说明由于桥梁结构跨径的增大,结构的横向刚度将成为控制设计的主要因素之一。取用三维实体单元反映的振型全面,能够很好地把握结构的动力特性,可以为成桥动测提供可靠的理论分析。

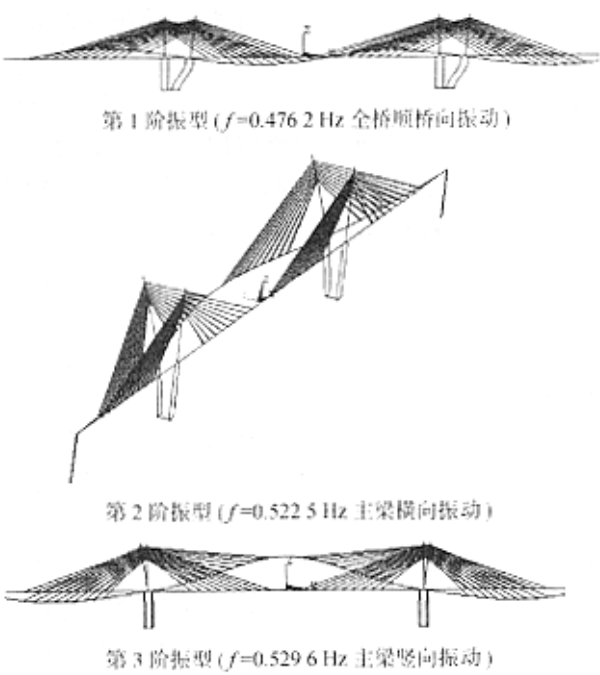


图 3 前 3 阶振型

6 结 语

矮塔斜拉桥这种桥梁结构形式,自 1988 年法国工程师 J. Matlivat 提出后,由于其优越的结构性能,良好的经济指标及施工简便等优点,得到诸多国家的认同和应用,在日本,更是作为中、长桥梁的主流桥型之一被广泛应用。虽然矮塔斜拉桥在我国起步较晚,但发展速度较快,有逐渐成为主流桥型之一的发展趋势。惠青黄河公路大桥也将是继漳州战备桥、兰州小西湖桥等建成通车运营后的又一此类桥梁。

Structural Analysis of Main Spans of Huiqing Yellow River Bridge

WANG Sheng

(The First Survey and Design Institute of Railway, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The main spans of Huiqing Yellow River Bridge are designed as a prestressed concrete lower tower cable-stayed bridge with twin towers and single cable plane. The main spans are (133+220+133) m. On the basis of the design conditions of the main spans, structure design, structure with non-linear, ordinary and dynamical characteristis etc of PC cable-stayed bridge with lower tower are recommended.

Key words: cable-stayed bridge with lower tower; design and construction; structure with non-linear; dynamical characteristis