

城际铁路 (90+160+90) m矮塔斜拉桥总体设计

杜亮

陕西省交通规划设计研究院有限公司

摘要:某城际铁路工程跨越省道和城市道路采用了双塔双索面预应力混凝土矮塔斜拉桥,该种桥型具有建造经济、造型美观、施工方便、整体刚度大等优点。本文介绍了该桥总体设计、局部设计、施工方法等内容,并对该桥进行了静力、动力和局部的计算分析。计算结果表明,该桥在施工及运营阶段的刚度、强度均满足设计规范要求,桥梁具有良好的受力性能,可为同类型的轨道交通桥梁提供参考。

关键词:矮塔斜拉桥;悬臂施工;城际铁路

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.01.070

一、工程概况

某城际铁路工程跨越省道和城市道路采用(90+160+90)m矮塔斜拉桥,是该项目的控制工程。

(一) 主要技术标准

1. 线路标准: 双线, 无砟轨道, 20%纵坡。标准段线间距5.2m, 本桥桥上线间距为7.3m。
2. 设计速度: 120km/h。
3. 桥梁设计荷载: B2列车, 6节编组。

4. 抗震设防烈度为7度, 桥梁抗震设防类别为A类桥梁。

5. 桥梁主体结构设计使用年限: 100年。

(二) 工程地质

桥址处地层主要是粉土、粉质黏土、砂砾、卵砾, 底层为中风化泥岩、砂质泥岩。

(三) 桥式方案选择

受线路选线控制, 某城际铁路需跨越省道和城市道路, 由于桥下净空以及桥墩位置等因素限制, 需采用主跨160m的桥式方案。初步设计阶段比选了矮塔斜拉桥、斜拉桥等桥式方案, 综合考虑经济性、景观性等因素, 确定主桥采用(90+160+90)m矮塔斜拉桥。

由于主墩墩高分别为10.5m、17m, 为跨度的1/15.2、1/9.4, 塔墩梁固结体系下桥墩和桩基的受力较为不利, 因此采用塔梁固结、墩梁支座的体系。斜拉桥主梁中支点、跨中梁高分别为6.4m、3.6m, 分别为主跨的1/25、1/44.4; 塔梁固结, 桥面以上塔高25.8m, 有效塔高为20.0m, 有效塔梁高跨比为1/8。立面布置见图1。

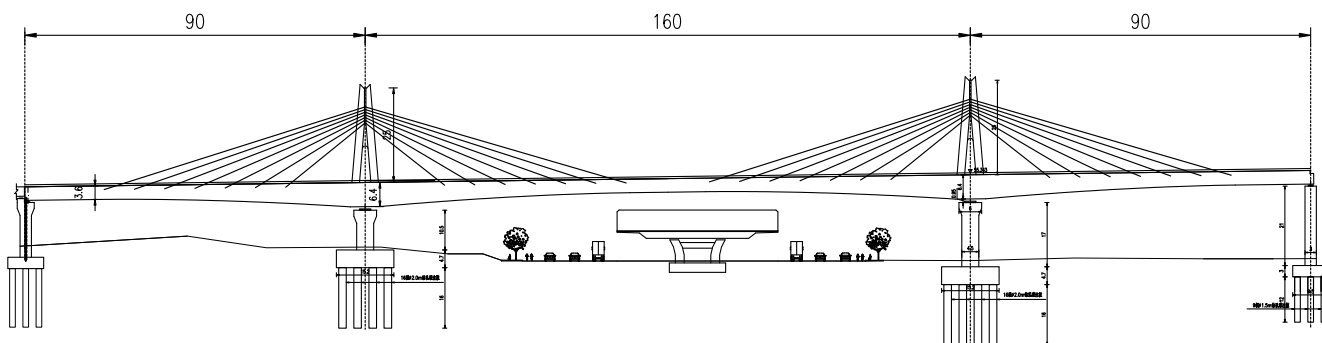


图1 主桥立面布置图

二、主桥设计

(一) 主梁

主梁采用C55混凝土, 截面类型为单箱双室直腹板变高度箱梁。中支点截面梁高6.4m, 中支点梁高与主跨比1/25, 跨中合拢段、边跨现浇段及边跨合拢段梁高3.6m, 边跨梁高与主跨比为1/44.4, 梁底下缘按1.8次抛物线变化。

主梁顶板宽12.0m, 为顺接U梁, 在大里程侧边跨现浇段梁宽由12.0m渐变为11.8m, 底宽均为8.5m。顶板厚28cm, 在中支点处局部加厚至60cm; 底板厚度由中跨3.6m梁高的30cm渐变至中支点附近处100cm。边腹板厚度分35cm、40cm、60cm、80cm, 中腹板厚度分35cm、50cm、80cm, 并在塔梁结合处渐变至240cm, 与桥塔等宽。主梁跨中截面如图2所示。

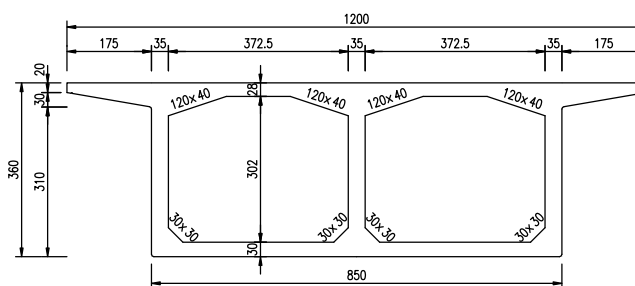


图2 跨中截面 (单位: cm)

全梁共布置横隔板3道, 分别设在梁的小里程侧及塔梁固结处, 大里程侧为顺接U梁, 设置端牛腿。斜拉索各锚固点主梁箱内设置1.6m高的横隔板一道, 全梁共计28道。

主梁采用纵、横、竖三向预应力体系，纵向预应力束包括顶板悬臂束、腹板下弯束、中跨底板束、边跨底板束、中跨顶板束、边跨顶板束。纵向预应力采用低松弛预应力钢绞线。竖向预应力筋采用 $\Phi 16-3$ 无粘结预应力钢棒。拉索位置处顶板、横梁、0号块横梁均设置横向预应力筋，采用预应力钢绞线。

(二) 桥塔

桥塔采用单柱式桥塔，纵向为A字型，桥面以上塔高25.8m，有效塔高20.0m，有效塔跨比为1/8.0。为适应分丝管索鞍，塔柱采用矩形实体截面，上塔柱顺桥向宽从2.85m渐变至5.38m，下塔柱为双肢，顺桥向宽为2.0m，桥塔横桥向宽为2.4m。详见图3。

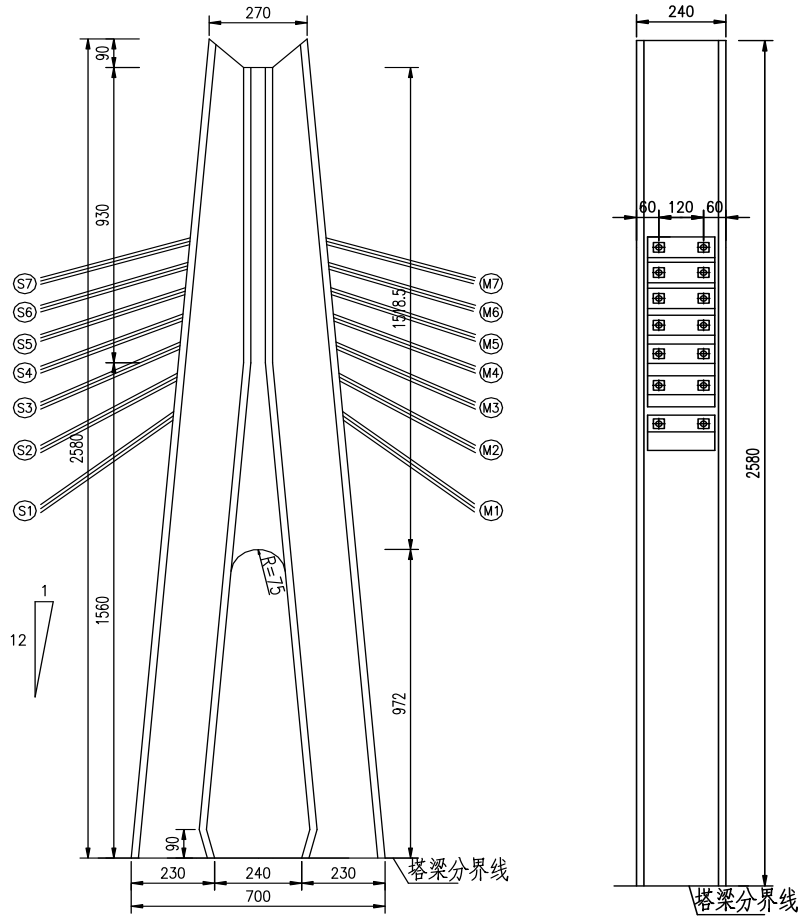


图3 桥塔构造图 (单位: cm)

(三) 斜拉索

斜拉索为平行双索面，采用单丝涂覆环氧涂层钢绞线拉索体系，外套HDPE护套。斜拉索梁上间距为8.0m，在主梁上锚固，采用成品锚具型式(图4)，主梁内设置拉索横梁，张拉端设置在主梁上。斜拉索在塔端采用分丝管索鞍贯通，间距为0.7m。斜拉索规格分37-7 $\Phi 5$ mm，43-7 $\Phi 5$ mm²种，端索水平夹角为16.93°，斜拉

索(锚固点至桥塔理论交点)最长索为72.12m，最短索为26.89m。斜拉索采用单根张拉，整体调索。

(四) 主墩与基础

主墩采用独柱实体墩，小里程和大里程侧主墩墩高分别为10.5m，17m。墩顶截面尺寸为8.5m(横桥向)×6.0m(顺桥向)，墩底截面尺寸为6.0m(横桥向)×4.5m(顺桥向)。墩身采用C45钢筋混凝土。墩身四边凹槽，凹槽长度为2.0m，四角倒0.2×0.2m的直角。承台为矩形，尺寸为15.2m(顺桥向)×15.2m(横桥向)×4.7m(高)，采用C30钢筋混凝土。桩基采用16根 $\Phi 2.0$ m钻孔桩，桩长均为16.0m。

三、主桥计算

(一) 静力分析

本桥建立空间有限元模型，主梁、桥塔、桥墩、承台均采用梁单元模拟，斜拉索采用桁架单元模拟，利用一般支承、弹性连接、主从节点连接等边界单元模拟了

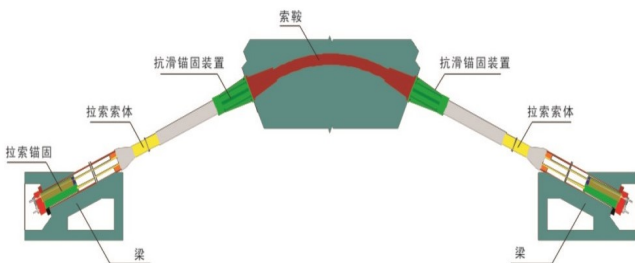


图4 拉索体系构造示意图

表1 主梁应力与抗裂、强度安全系数

| 组合工况 | 上缘应力(MPa) | | 下缘应力(MPa) | | 主应力(MPa) | | 最大剪应力(MPa) | 抗裂安全系数 | 强度安全系数 |
|------|-----------|-----|-----------|-----|----------|------|------------|--------|--------|
| | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | | | |
| 主力 | 11.2 | 2.5 | 14.4 | 3.6 | 14.4 | 1.24 | 2.7 | 1.53 | 2.36 |
| 主+附 | 16.5 | 0.6 | 15.7 | 1.2 | 16.7 | 1.24 | 2.7 | 1.38 | 2.12 |

桥梁的支座、索梁连接等边界条件，桩基础刚度模拟可用承台底加六个方向的弹簧进行模拟。施工阶段分析中，考虑挂篮和湿重等荷载，考虑预应力损失和收缩徐变对结构受力的影响，建立的有限元模型。

1. 主梁变形检算

(1) 静活载作用下中跨最大挠度值-103.9mm，为跨度的1/1540，小于L/1000，边跨最大挠度值为30.6mm，为边跨的1/2941，小于L/1000。

(2) 在静活载作用下，梁端下挠的梁端转角为1.31‰<2‰。

(3) 在列车横向摇摆力、离心力、风力和温度力作用下，主梁跨中的横向水平挠度为6.4mm，为跨度的1/25000，小于计算跨度的1/4000。

(4) 成桥十年的中跨工后徐变变形值为-3.3mm，小于《城市轨道交通桥梁设计规范》(GB/T 51234-2017)规定L/5000=32mm。

2. 主梁应力检算

检算施工和运营阶段主梁的强度、抗裂性、应力及变形。施工阶段主梁最大压应力16.6MPa；运营阶段，最不利荷载作用下主力工况主梁压应力为14.4MPa；最小压应力2.5MPa；主力+附加力工况下主梁最大压应力16.5MPa，最小压应力0.6MPa。最大主压应力为16.7MPa，最大主拉应力1.24MPa。主力作用下截面强度安全系数最小值为2.36，主力+附加力工况下截面强度安全系数最小值为2.12。最小抗裂安全系数为1.38，混凝土最大剪应力为2.7MPa。主梁受力满足规范要求。

3. 斜拉索检算

斜拉索最大活载应力幅为68.9MPa，为边跨边索。斜拉索在主力工况下最大拉应力为682MPa，最小安全系数为2.73；在主力+附加力工况下最大拉应力为729MPa，最小安全系数为2.55。

计算该桥的竖向荷载分担比，成桥之前由设计确定。成桥之后，二期恒载、活载的竖向荷载分配则是按照结构刚度来分配。成桥状态下斜拉索分担荷载的比例为17.56%。

由此可见，斜拉索在施工阶段和成桥阶段对主梁均有一定的加劲作用，可在一定程度上降低梁高。

(二) 动力分析

1. 自振特性

采用有限元软件建立动力分析模型，前10阶自振频率及振型特点见表2。

2. 车桥耦合振动分析

对(90+160+90)m矮塔斜拉桥进行了动力性能评估，结果表明该桥的竖、横向整体刚度、桥面局部变形、梁端折角满足运行安全和乘坐舒适要求；当桥面横

表2 桥梁前10阶代表性振型

| 阶次 | 频率/Hz | 振型特点 |
|----|-------|---------|
| 1 | 0.924 | 主梁对称横弯 |
| 2 | 0.979 | 主梁对称竖弯 |
| 3 | 1.500 | 桥塔横弯 |
| 4 | 1.812 | 桥塔横弯 |
| 5 | 1.884 | 主梁反对称竖弯 |
| 6 | 2.485 | 主梁反对称横弯 |
| 7 | 2.487 | 二阶对称竖弯 |
| 8 | 2.596 | 边墩纵弯 |
| 9 | 2.633 | 主梁纵漂 |
| 10 | 2.692 | 塔梁横弯 |

风25m/s时，车辆动力性能满足限速标准。

四、主桥施工步骤

采用挂篮悬臂浇筑法，施工过程中充分利用斜拉索对主梁的加劲作用，在悬臂阶段梁段施工完毕挂篮前移后，张拉该梁段上的斜拉索。先合拢边跨，后合拢中跨。边跨直线段及0号块均采用支架现浇施工，桥塔采用爬模法施工。梁段采用悬臂浇筑法施工，主梁合拢后张拉主梁合拢束，停梁60天后，对拉索进行二次张拉，再施工桥面和附属工程，然后对斜拉索索力进行复测，调整至设计索力，通车运营。

五、结语

1) (90+160+90)m矮塔斜拉桥的主梁、桥塔、斜拉索在施工、运营阶段强度、应力、位移、疲劳和后期徐变均满足规范要求。

2) 矮塔斜拉桥以主梁受力为主，斜拉索和桥塔辅助受力，该类型桥梁相对于梁式体系桥梁整体受力和变形均有显著改善，同时又可以显著降低梁高，适用于轨道交通桥梁。斜拉索可在主梁悬臂施工过程中起加劲作用，减少临时钢结构应用，成桥时又可与主梁共同受力，具有良好的受力特性和经济效果。

参考文献

[1] 陈从春. 矮塔斜拉桥设计理论核心问题研究[D]. 上海: 同济大学, 2005.
 [2] 张霞忠. 高速铁路矮塔斜拉桥结构参数研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
 [3] 陈从春. 矮塔斜拉桥[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.