

兰溪大桥钢管砼刚架系杆拱设计

陈宝春 邹中权[†]

(福州大学土木建筑工程学院, 福建福州, 350002)

摘要 福建省安溪县兰溪大桥主跨跨径为80 m的下承式钢管砼刚架系杆拱, 这种结构既具有固定拱施工方便的优点, 又由于系杆承担了绝大部分的水平推力, 使下部结构工程数量较省。本文介绍了兰溪大桥主跨的设计要点和计算要点。结构受力分析和面外弹性屈曲采用SAP93程序进行空间分析, 面内稳定验算采用钢管砼等效简支柱简化计算方法, 系杆和吊杆则参照斜拉桥中斜拉索的规定进行验算。同时介绍了施工要点。

关键词 钢管砼 刚架 系杆拱 设计 兰溪大桥

分类号 U442

第一作者简介 陈宝春 男 41岁 硕士 副教授 钢管砼拱桥

1 桥型概述

安溪县兰溪大桥位于安溪县城西部, 跨越西溪支流兰溪。桥南岸为同美开发区, 北岸为光德大片农田, 也将辟为经济开发区。河床宽约180 m, 两岸为干砌片石防洪堤, 河床无明显河槽。地质构造较均匀, 无明显不良地质, 河床覆盖层依次为卵石、全风化土。基岩为花岗岩, 工程地质性能及稳定性良好。桥梁设计荷载为汽车-20级, 挂车-100级, 人群荷载 3.5 kN/m^2 。桥面净宽为 $12 \text{ m} + 2 \times 1.5 \text{ m}$ 人行道。设计洪水频率 $1/100$ 。根据桥位地质地形情况和防洪要求, 桥梁上部采用 $2 \times 25 \text{ m}$ 预应力空心板+80 m下承式钢管混凝土系杆拱+ $2 \times 25 \text{ m}$ 预应力空心板。桥梁下部为一字式桥台, 钢筋混凝土柱式墩, 桩基或刚性扩大基础。桥梁设计使用钢材443 t, 预应力钢筋76 t, 混凝土 217 m^3 。设计预算为761万元, 平均每延米3.8万元, 每平方米2456元。桥梁总体布置立面图见图1。

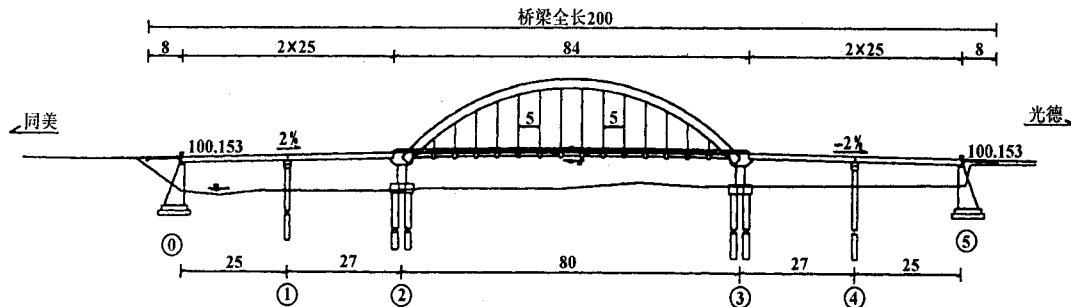


图1 兰溪大桥桥梁总体布置图(单位:m)

Fig. 1 The principle layout of Lanxi bridge

2 主跨刚架系杆拱设计

主跨采用墩中心距为 80 m 的钢管混凝土下承式刚架系杆拱, 净跨径 75 m, 净矢高 15 m, 净矢跨比 1/5, 拱肋间距 13.30 m. 对跨径在 100 m 附近的钢管砼拱桥, 哑铃形截面具有较好的抗弯能力, 且便于加工制作. 参照国内已建成桥梁的资料^[1], 拱肋采用 2 根 $\phi 800 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 和厚 10 mm 的缀板组成高 2.0 m 的哑铃形断面(拱脚处管壁和缀板厚 12 mm), 内灌 C40 混凝土.

哑铃形拱肋的横向刚度较小, 又是下承式拱, 拱肋横向联系的布置既要保证横向稳定性, 又要避免繁杂, 影响美观. 对于组拼肋拱, 横向联系构造布置对横向稳定性的影响, 比其结构自身的刚度和肋拱的横向刚度的影响显著得多. 经过比较分析, 兰溪大桥主桥在两肋间设置横向联系 3 道. 拱顶采用由 $\phi 600 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 钢管弦杆和 $\phi 500 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 钢管竖腹杆组成的一字式横撑, 以约束拱肋侧倾时拱顶的扭转变形. 在 $L/4$ 处对称设置由单根 $\phi 800 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 钢管组成的沿拱肋切向的 K 撑, 以约束拱肋侧倾时的平面剪切变形. 横向联系构造见图 2.

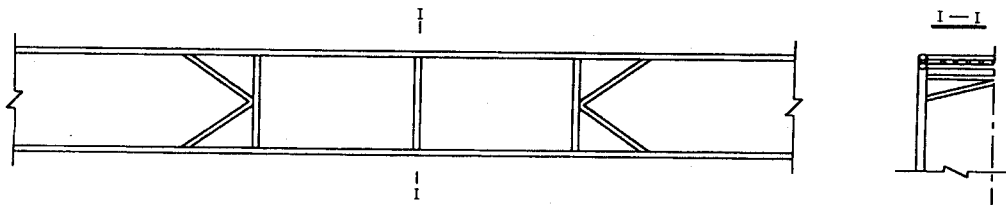


图 2 横向联系构造图

Fig. 2 The transverse connecting structure figure

每根拱肋拱脚间用预应力钢绞线为系杆, 系杆穿过拱脚的钢箱系杆盒锚固在墩帽上, 使拱肋和下部结构以及系杆组成面内无推力框架. 每根系杆采用 8 束, 每束为 $9\phi 15.2 \text{ mm}$ ($7\phi 5$) 高强低松弛镀锌钢绞线, 钢丝标准强度为 $R_b^b = 1750 \text{ MPa}$. 单层 PE 防护, OVM15-9 锚具. 系杆悬浮在桥面之上, 用钢筋混凝土系杆盒防护. 吊杆为 $110\phi 5$ 的高强低松弛钢丝, 墩头锚, 外套钢管. 兰溪大桥桥面系上“工”字形钢筋混凝土横梁、钢筋混凝土实心板组成. 横梁间距 5 m.

为加强悬吊桥面的整体性和整体刚度, 在系杆下方处设置“T”形加劲纵梁, 并与横梁固结. “T”形加劲纵梁纵向抗弯刚度很小, 基本上不参与受力. 其上翼缘与 π 形系杆盒罩构成系杆保护盒.

兰溪大桥桥墩构造见图 3. 由于系杆承担了大部分的水平推力, 主桥的桥

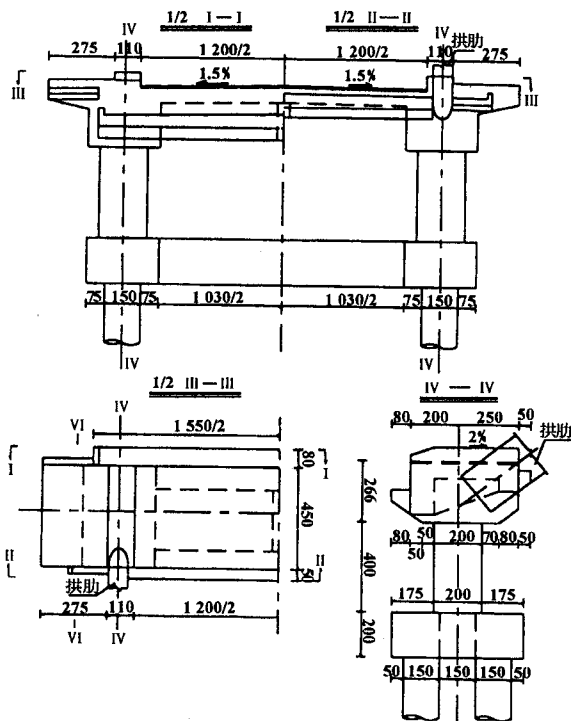


图 3 兰溪大桥桥墩构造图(单位:cm)

Fig. 3 The pier structure figure of Lanxi bridge

墩与桩基以竖向承载力为控制选择 $\phi 200$ mm 的钢筋砼双圆柱和 4 根 $\phi 150$ mm 的钻孔灌注桩以及帽梁与承台构成一个桥墩。

3 设计计算要点

刚架系杆拱拱脚与墩柱固结,属外部超静定结构。拱肋、系杆、墩台柱、基础和地基土构成一个整体受力体系。受力复杂,宜以计算机方法进行分析。

兰溪大桥的结构受力计算采用 SAP93 程序进行空间分析,共划分 695 杆个单元,461 个节点。地基土从最大冲刷线算起,用弹性支承来模拟其对柱的水平抗力。地基土的水平抗力用 m 法计算。桥面系和活载应用杆杆法从桥面板分配至横梁,再由横梁分配至吊杆,以集中力形式作用在横肋的吊杆处进行设计计算与验算。

钢管砼系杆拱桥多采用无支架施工,拱圈截面逐步形成,系杆张拉是随着施工加载过程分批进行。在计算系杆张拉力时,通常是将系杆的 EA 趋于无穷大, EI 趋于无穷小,计算在各级荷载下的系杆力。然后,再将系杆张拉力作为外力,将系杆抗拉刚度置于实际刚度,计算拱肋的内力和系杆的附加力。

钢管砼拱肋视为组合材料,其刚度按《CECS28:90》^[2]的方法计算。强度验算时将哑铃形截面视为缀板连接的格构柱进行单肢强度验算。面内稳定验算则将拱肋折算成 $0.36 S$ (S 为弧长)的等效格构柱并偏安全地不计横撑的作用,即按单根拱肋进行计算。由于缺乏钢管砼拱桥的设计规范,面内的强度和稳定验算均按文献^[2,3]进行。具体方法参见文献^[4]。

钢管砼拱肋面外稳定性验算则采用 SAP93 有限元程序进行空间弹性屈曲验算,计算结果一类面外弹性稳定系数均在 7.0 以上。

系杆和吊杆的验算参考《公路斜拉桥设计规范(试行)JTJ027-96》中斜拉索的规定。拉索的容许应力不大于 $0.4 R^b$ (拉索的抗拉标准强度)。荷载组合不乘以荷载变异系数。吊杆由于活载比重较大,应力值高,采用 $0.25 R^b$ 的容许应力。同时吊杆刚度的提高也有助于改善吊桥面系的整体刚度。

4 施工方案要点

钢管拱肋安装采用缆索吊装,双肋吊装单肋合拢。此时拱肋为二铰拱,只有空钢管自重产生结构位移和截面内力。由于钢管自重较轻,且拱脚往主跨跨中偏离墩中心线(图 3),钢管自重的竖直力产生的弯矩平衡了部分水平推力的弯矩,因此,此时拱脚水平位移仅 0.2 cm,拱肋和桥墩的内力也很小,可以不采用临时系杆或加固墩帽的措施。合拢后,浇筑拱脚混凝土形成无铰拱。在浇注管内混凝土之前先穿系杆预应力索,然后根据所求的张拉力张拉第一批系杆。待管内混凝土达到设计强度后,穿吊杆并吊装横梁和加劲纵梁。根据所求张拉力张拉第二批系杆,接着张拉第三批系杆进行桥面板吊装和桥面铺装等。桥面系施工完毕后,以活载最大水平推力的一半张拉系杆,并封锚。每根肋的第一至第三根系杆的张拉力计算分别为 152 t、153 t 和 312 t,第一批、第二批各张拉两根,第三批张拉四根。为便于施工,每次每根钢索张拉力都采用 80T,第四批张拉力根据施工监测情况进行调整。

刚架系杆拱,由于系杆随着施工加载而施加张拉力,张拉力使拱肋上升,因此,拱肋的预拱

度理论计算值很小。兰溪大桥的拱顶预拱度理论计算值仅为 2.7 cm。

5 结束语

钢架系杆拱随钢管砼在拱桥中的应用而出现。已建成的有四川旺苍大桥(主跨 115 m, 1990 年建成), 四川峨边大渡河大桥(主跨 143.87 m, 1993 年建成), 河南安阳文峰路立交桥(主跨 138 m, 1995 年建成)和广州解放大桥(主跨 83.6 m, 1997 年建成)等。

钢架系杆拱能适应无支架施工, 使无推力拱的应用范围得以扩大, 但由于属外部超静定结构, 结构受力复杂。本文根据这类桥梁的修建经验, 对安溪兰溪大桥设计的介绍, 希望有助于此类桥梁应用。

安溪兰溪大桥由福建省第一公路工程公司施工, 已于 1997 年 12 月开工, 1998 年 12 月开始拱肋钢管骨架吊装, 预计 1999 年 3 月建成。

参考文献

- 1 陈宝春. 钢管混凝土拱桥发展综述. 桥梁建设, 1997, (2): 8~13
- 2 哈尔滨建筑工程学院, 中国建筑科学研究院主编. CECS28-90 国家工程建设标准化协会标准——钢管砼结构与施工规程. 北京: 中国计划出版社, 1990.
- 3 国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院, 中国船舶总公司第九设计研究院主编. JCJ01-89 国家建筑材料工业局标准——钢管砼结构与施工规程. 上海: 同济大学出版社, 1989.
- 4 陈宝春. 钢管砼单圆管肋拱桥设计计算探讨. 福州大学学报(自然科学版), 1998, 26(6): 81~85

DESIGN OF CFST RIGID - FRAMED TIED ARCH OF LANXI BRIDGE

Chen Baochun Zou Zhongquan

(College of Civil Engineering and Architecture, Fuzhou University, Fuzhou, China, 350002)

ABSTRACT The main span of Lanxi bridge on Anxi county in Fujian province is down-bearing concrete-filled-steel-tube(CFST)rigid-framed tied arch. This kind of structure not only has the advantage of convenient to build as a fixed arch, but also economics the substructure for its tie rods and its design calculation. The structure inner-forces and its out-surface elastic stability are calculated by space finite elements program of SAP93. The inner-surface stability bearing capacity is checked by a simplified method that the arch is set as a simple CFST column. The tie rods and hanger rods are checked referring to the cable of cable-stayed bridge. The main point of construction is also introduced in this paper.

Key words CFST, rigid-frame, tied arch bridge, design, Lanxi bridge

Synopsis of the first author Chen Baochun, male, born in 1957, M. E., associate professor, CFST arch bridge.