

文章编号: 0451-0712(2006)12-0055-05

中图分类号: U448.225

文献标识码: B

顶推法施工 102 m 跨径 钢管混凝土拱桥的设计与研究

郝 超^{1,2}

(1. 金华市交通规划设计院有限公司; 2. 金华职业技术学院建工学院 金华市 321000)

摘 要: 307 国道东立交桥主桥为钢管混凝土下承式系杆拱桥,介绍了该桥的总体设计及构造上的特点,并根据该桥因受石德铁路限制,必需采用顶推法施工,详细介绍了施工工艺、施工要点,对施工过程及成桥阶段的结构受力及稳定问题进行了分析,考虑到该桥上跨铁桥及车站,为确保安全,还安装了粘滞阻尼器。

关键词: 钢管混凝土系杆拱; 结构设计; 顶推法施工; 结构分析

1 顶推桥梁概况

1.1 桥位

石环公路是河北省路网规划中的一条重要省级干线公路,在石家庄市裕华区小西帐村北,由南向北依次跨越 307 国道、石德铁路良村车站、307 国道复线、石津渠。在该交叉口设置互通立交,将为过境石家庄的车辆提供便捷的转换条件和高速通行能力。

根据规划,石环公路上跨石德铁路良村站西端咽喉区,车站现有正线 2 条、到发线 6 条,规划预留增加 4 条到发线。立交桥设计时,桥墩内侧边缘至最外侧线路中心距离不小于 3.5 m(调车安全距离),同时应满足桥台内侧边缘至最外侧线路路基坡脚距离不小于 2.0 m(路基碾压及保护范围)。这样公路上跨桥桥台间净宽不应小于 84.0 m。

1.2 气象水文

石家庄市地处中纬度欧亚大陆东缘,属于暖温带大陆性季风气候,四季分明。最冷月(1 月)平均气温 -2.8°C ,最热月(7 月)平均气温 26.6°C 。夏天极端最高气温 42.7°C ,冬天极端最低气温 -26.5°C 。降水量集中在 7、8 月份,占全年降水量的 56% 左右。冬半年降水稀少,从 11 月至次年 4 月,仅占全年的 12%。本地区地下水为第四系松散层无压地下水,属于潜水类型,含水层为滹沱河冲击扇形成的砂层,地下水埋深 34.8~35.4 m,相应高程为 25.65~25.8 m。场地地下水对钢筋混凝土不具腐蚀性。

1.3 地震地质

桥址区在大的地貌单元上属太行山山前冲积平原,次一级地貌单元属滹沱河 II 级阶地,地势平坦开阔。地层主要为冲洪积成因的亚粘土、亚砂土和砂土,主层层位分布稳定。地基基本承载力为 150~300 kPa,极限摩阻力为 35~55 kPa。场地地震基本烈度为 7 度,地震动力反应谱特征周期为 0.4 s。

1.4 设计标准

(1)设计荷载:公路—I 级。

(2)计算行车速度:80 km/h。

(3)抗震标准:基本烈度为 7 度,地震峰值加速度为 0.10 g。

(4)铁路限界:应满足双层集装箱建筑限界 4.88 m×7.96 m,同时宽度上应满足站场调车安全距离 3.5 m,高度上考虑调坡、换轨、梁体下挠和基础沉降等因素应适当留有余量。

2 桥型方案

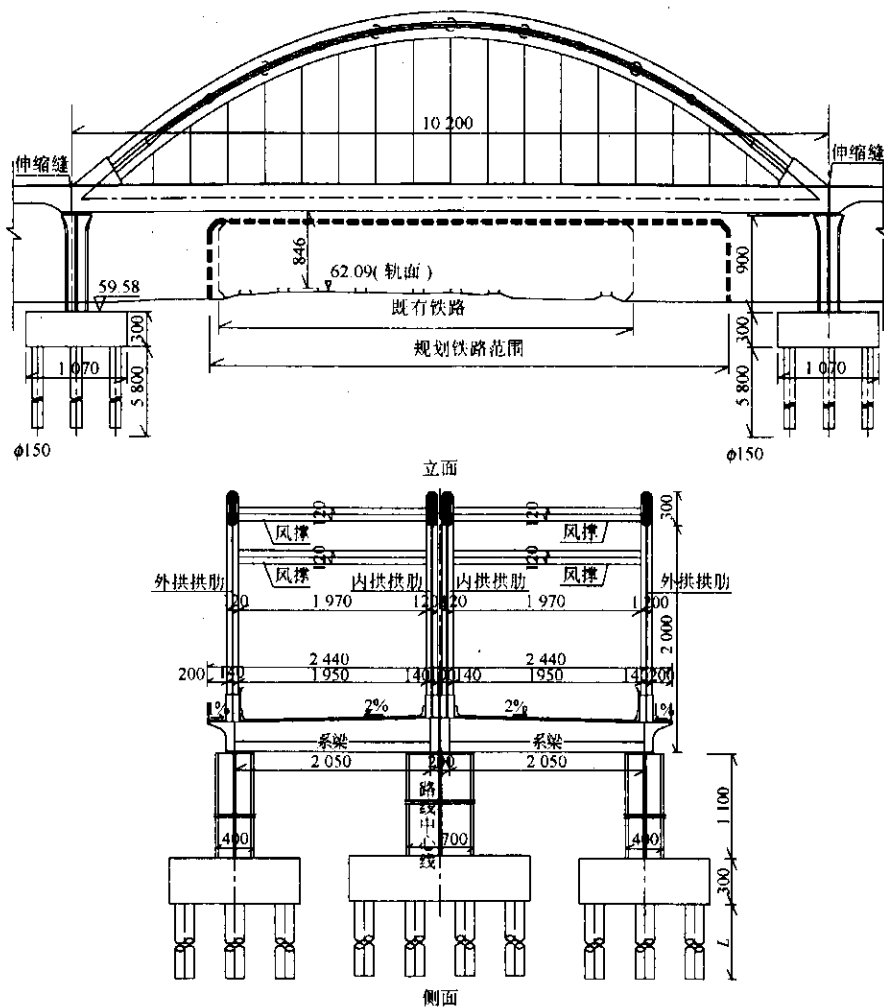
桥型方案研究重点是主桥桥型、孔跨大小及布置。主桥跨越良村车站,既有及规划到发线较多,轨线间不能设置桥墩,主桥需一跨跨过车站,施工时要尽量避免影响铁路运营。铁路南侧为站房及 307 国道,北侧为 307 国道复线及石津渠,另外车站内经常停放油罐车,要尽量避免桥面焊接作业,这对桥梁施工方案提出了较高要求。悬臂法施工工期太长,对铁

路运营影响大,转体施工受站房、307 国道限制,没有施工空间。因此桥型方案选择在实用、安全、美观、经济的前提下,重点考虑不影响铁路运营,施工简便、快捷。根据桥位处地形、地质条件及上述要求,按使用功能、孔跨及结构特点、造价、施工条件及工期、养护维修、建筑造型等方面进行了比选,可供选择桥型有斜拉桥、梁桥、系杆拱桥。

斜拉桥桥塔高大挺拔、外形美观,但对这种 100 m 左右跨径显得过于昂贵,施工只能采用转体或悬臂法,对铁路影响较大;连续梁具有变形小、刚度好、行车舒适、养护简单等优点,但悬臂与转体施工受限制,而且梁高较高,主桥及引桥长度会加长,

导致造价提高;拱桥造型优美,景观照明可从不同角度勾勒出拱架优美、简洁的整体感,达到典雅、明快的效果,桥位区附近类似桥梁较少,另外主梁梁高统一,梁体底面平顺,可以采用顶推法施工,对铁路运营影响较小,而且梁高较低,可以减小桥梁长度,从而降低工程造价。

经综合比较,最终确定主桥选用顶推法施工,跨径为 102 m 两幅分离的下承式钢管混凝土系杆拱桥,两幅桥净距 20 cm,引桥根据 307 国道及其复线、石津渠的通行要求,采用预应力混凝土连续梁桥方案,桥梁全长 695 m。图 1 给出了主桥总体布置及构造尺寸。



单位:cm
图 1 主桥立面

3 结构设计要点

3.1 总体设计

桥梁跨越良村车站要求净跨 ≥ 84 m,净高应满足双层集装箱运输限界,不小于 7.96 m,两端桥墩

设置考虑铁路与 307 国道及其复线的关系,并留有一定富余量,最终桥梁跨径选定 102 m。拱桥施工如采用满堂支架法、斜拉扣挂缆索吊装法对铁路运营影响太大,而转体施工又受场地限制,顶推法可以利

用铁路运行间隙施工,对运营影响相对较小,而且施工成本相对较低。为了保证顶推过程结构受力,系梁采用整体刚度较大的单箱三室预应力混凝土箱梁。两端引桥施工的限制条件较少,采用支架法现浇的预应力混凝土连续梁。

桥位区地质变化不大,地层主要为冲洪积成因的亚粘土、亚砂土和砂土,主层层位分布稳定。为了施工简便,基础全部采用钻孔灌注桩。

3.2 上部结构

主桥位于直线段,上部为单孔预应力混凝土系

杆拱结构,采用刚性系梁刚性拱,计算跨径为100 m,全长102 m;拱轴线为二次抛物线,矢跨比为1/5,矢高20 m。主要构造特点如下。

(1)拱肋采用哑铃形钢管混凝土,钢管外径为1.2 m,钢管及腹板除拱肋预埋段壁厚为1.6 cm以外,其余壁厚均为1.4 cm,内充C50微膨胀混凝土,上下钢管之间加劲腹板高60 cm;两个拱肋中心距为20.9 m,见图2所示。为了加强结构的横向稳定,全桥采用五道“一”字形风撑,风撑采用外径为120 cm的钢管,钢管与加劲板腹板均采用Q345C钢板。

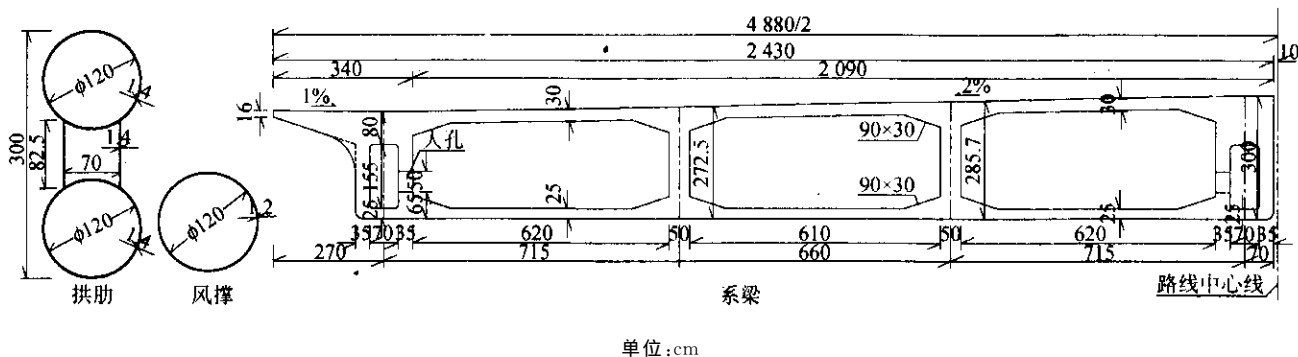


图2 拱肋、风撑及系梁断面

(2)系梁主要功能是平衡拱肋水平推力,承担活载局部弯矩,顶推时承担结构受力,并将各横梁连接起来,使得桥面系形成刚性框架。系梁采用单箱三室箱形断面,内侧高2.63 m,外侧高3.00 m,宽24.30 m,顶板厚30 cm,底板厚25 cm,边腹板厚35 cm,中腹板厚50 cm,采用C50混凝土,每一系梁内设84束12 ϕ 15.24预应力束,每束两端张拉力为234.4 t。

(3)每片拱肋设吊杆17根,间距为5 m;吊杆采用外径为9.5 cm、PE防护半平行钢丝索,每一吊杆内设109根 ϕ 7低松弛高强钢丝,桥面以上2 m高度外包不锈钢套管,采用冷铸锚。

(4)横梁采用预应力混凝土结构,梁高2.6~3.0 m,桥面2%横坡是通过系梁腹板、横梁高度变化调整;中横梁宽0.5 m,每根横梁布设4束9 ϕ 15.2钢绞线,每束张拉力175.8 t;端横梁采用箱形断面,宽为2.49 m,腹板厚40 cm,每根横梁布设6束9 ϕ 15.2钢绞线,每束张拉力为175.8 t,横梁与系梁、拱脚段同时现浇。

(5)主桥桥面设8 cm现浇整体化防水混凝土,设间距为15 cm \times 15 cm的 ϕ 12冷轧焊接钢筋网片;全桥沥青混凝土铺装:4 cm细粒式(掺加聚合聚酯纤维)+6 cm中粒式沥青混凝土。在跨越铁路范围内护栏顶设置聚碳酸酯板透明防护屏。

(6)拱肋与系梁处,虽然轴向力已由系梁预应力平衡,但水平剪力作用使系梁在45°方向出现很大的主拉应力。本桥在拱脚布置了纵横向及斜向钢筋网,与拱肋交叉处钢筋在拱肋钢管上穿孔而过,以保证传力可靠。这种方法已在青藏铁路拉萨河大桥上采用过,效果比较好。

(7)为提高桥梁安全储备,主桥采用抗震型盆式橡胶支座(GPZ(KZ),7度震区),并采用非线性粘滞阻尼器。

3.3 下部结构

主桥墩墩身为矩形截面柱式墩,顺桥向考虑支座设置,适当变宽。外侧墩柱尺寸为3 m \times 3 m,内侧墩柱尺寸7 m \times 3 m;均采用钻孔灌注桩群桩基础,桩径为1.5 m,承台高3.0 m,外侧墩柱采用6根桩,内侧墩柱采用12根桩。

3.4 主桥钢结构防腐涂装

(1)考虑到运营后涂装对铁路干扰较大,采用长效涂装体系,钢管拱部分采用旭氟龙氟碳涂装体系,底层为2道环氧富锌防锈漆(40 μ m/道),中间层为灰色云铁环氧中间漆2道(30 μ m/道),面层为旭氟龙氟碳涂料面漆2道(30 μ m/道);其余外漏钢材均涂红丹油一度及灰铅油两度以防锈蚀。风撑内表面采用单层沥青漆2道,干模总计厚度100 μ m。

(2)涂装工艺:①钢板喷砂除锈等级Sa2.5;②除外表面最后一道面漆待钢管拱安装完毕后涂装外,其他涂装工程均在钢结构加工厂内完成;③工地焊缝部位在工厂仅涂环氧富锌防锈底漆,待工地焊接结束后,清理焊缝至Sa3.0级,再补涂底漆、中间漆和面漆。

4 结构分析

4.1 静力计算

4.1.1 应力计算

图4给出了成桥阶段系杆、拱肋钢管及拱肋混凝土的正应力,表1给出了最不利荷载组合及最不利施工阶段的拱肋钢管、拱肋混凝土及主梁正应力范围。结果表明,各构件正应力均满足现行规范要

采用桥梁博士程序,将桥梁按照空间实用理论简化为平面杆系,对各施工阶段及成桥运营阶段的恒载、活载内力、位移进行了详细计算,主要计算内容包括:施工阶段根据步骤对拱肋内力及系梁应力进行分析,调整和优化系梁预应力及吊杆张力、张拉顺序;使用阶段恒载与其他荷载组合。计算中考虑了恒载、活载、施工临时荷载、风载、温度效应、地震力等的影响。图3为主桥计算结构离散图。

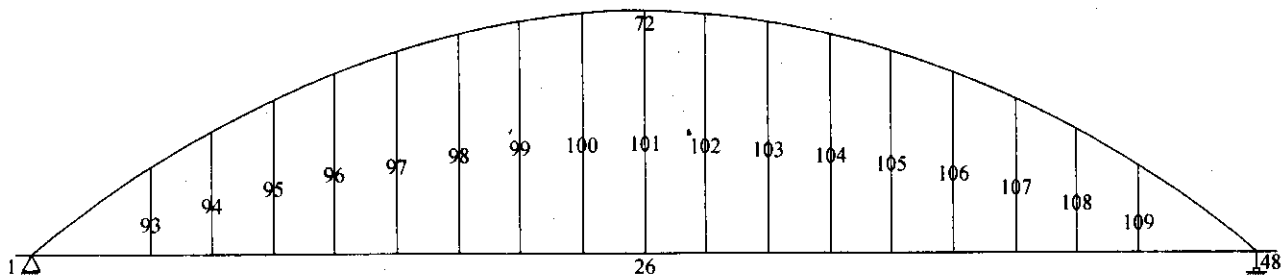
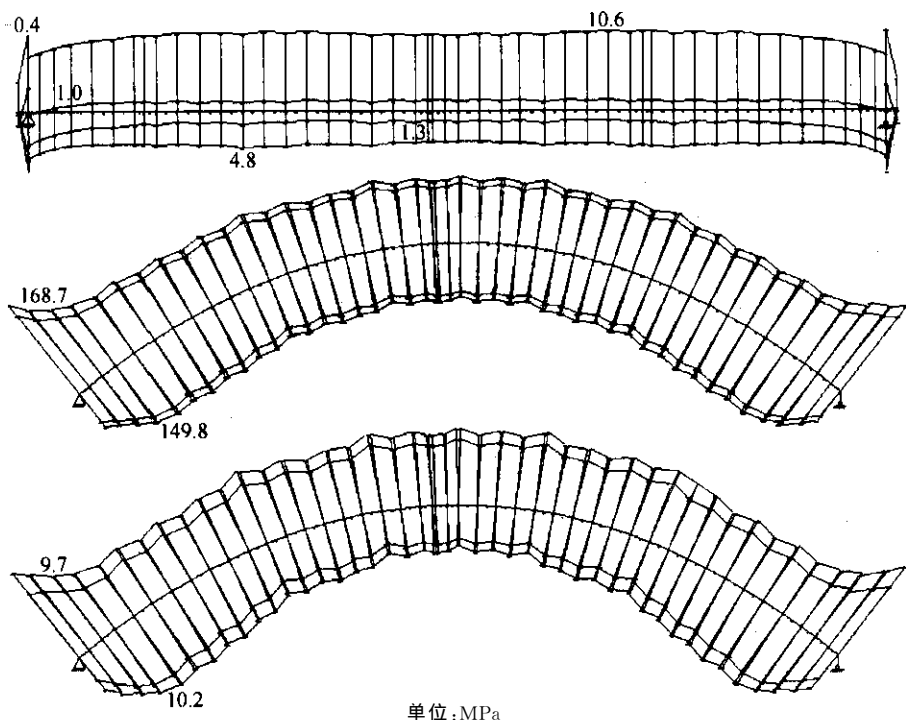


图3 主桥计算结构离散图

求,并有足够的安全储备。最不利荷载组合及最不利施工阶段系梁最大主压应力为9.5 MPa(规范容许主压应力为19.3 MPa);最大主拉应力为-0.4 MPa(规范容许最大主拉应力为-1.7 MPa),最大主应力满足规范要求,并有足够的安全储备。



单位:MPa

图4 系梁、拱肋钢管、拱肋混凝土正应力图

4.1.2 位移计算

主桥采用顶推法施工,施工过程为悬臂梁受力体系,成桥后为系杆拱桥的受力体系,为此计算了施

工过程及成桥运营阶段的系梁及拱肋位移,见表2。

由表2可以看出,施工阶段系梁最大竖向位移为3.0 cm,挠跨比为1/3 333,拱肋最大竖向位移仅

表 1 施工及运营阶段系梁、拱肋钢管及拱肋混凝土正应力
MPa

项目	系梁		拱肋钢管		拱肋混凝土	
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘
设计应力	1~10.6	1.3~4.8	113~170	97~150	7~10	4~10.2
容许应力	16.2		200		16.2	

表 2 施工及运营阶段系梁、拱肋位移

项目		分类	竖向 位移/cm	转角/(°)	总竖向 位移/cm	挠跨比
施工 阶段	系梁	恒载	2.52	-9.19×10^{-5}	3.0	1/3 333
	拱肋	恒载	2.23	-2.82×10^{-5}	2.4	1/4 167
运营 阶段	系梁	恒载+活载	3.4	-9.8×10^{-5}	3.9	1/2 564
	拱肋	恒载+活载	3.1	-2.0×10^{-5}	3.2	1/3 125

2.4 cm,挠跨比 1/4 167,拱肋和桥面竖向变形均可以通过适当设置预拱度来调整。由于本桥是刚性系梁刚性拱结构,弯矩由系梁及拱肋共同承担,活载位移不大,恒载+活载作用下系梁最大竖向位移为 3.9 cm,挠跨比 1/2 564,拱肋最大竖向位移仅为 3.2 cm,挠跨比 1/3 125。这表明主桥挠度满足规范要求,结构具有较大的刚度。

4.2 空间稳定性计算

拱桥结构可能发生的弹性屈曲失稳有面内失稳和面外横向失稳两种。由于系梁及吊杆的作用,系杆拱比相应裸拱面内屈曲承载力要提高很多,因此系杆拱稳定主要是面外屈曲稳定。采用大型有限元程序 ANSYS 建立了空间计算模型,拱肋、系梁、横梁采用 BEAM188 单元,吊杆钢束采用索单元模拟,按弹性屈曲理论进行计算。

分析得出成桥状态,一阶失稳模态为拱肋同向侧倾,稳定安全系数 $K=15.3$,根据工程实践,面外稳定系数达到 4.0 以上,可以认为稳定性满足要求。本桥由于采用顶推工法施工,系梁采用具有相当刚度的箱形截面,使得全桥稳定安全系数大大提高。

5 施工方案及要点

因桥梁跨径较大,顶推过程中需要在顶推前端对应系梁腹板设置钢导梁;利用铁路线间距,设置 2 个顶推用的临时墩。具体施工步骤如下。

(1)利用石德线与到发线之间线间距 7.55 m、到发线与货物线之间线间距 15 m 的条件,搭设 2 个临时墩,在 307 国道侧搭设顶推施工平台(135 m)及临时通道,在铁路北侧搭设支架。

(2)在施工平台上现浇系梁及拱脚,在系梁上搭

设支架拼装拱肋,于拱肋跨中设临时连接缝,以便顶推就位后校正拱肋位置;顶推前端设 20 m 钢导梁;安装吊杆并张拉 10 kN,使拱肋在顶推中能保持稳定,拆除拱肋支架;将两幅桥梁部临时连接,以确保顶推时两幅桥同步。

(3)分 7 次与铁路运营部门协商要点 6 h,将主桥逐步推进到 1 号临时墩、2 号临时墩、铁路北侧支架,并最终顶推就位,每次顶推就位时均设置临时锁定装置,以确保结构安全。

(4)调整拱肋位置,拆除拱顶临时连接,拆除两幅桥间临时连接,完成拱肋施工,灌注拱肋混凝土,自下向上两端对称泵送钢管混凝土,顺序是:下钢管—腹板—上钢管。

(5)张拉吊杆。全部吊杆张拉完毕后,现浇 8 cm 桥面调平层,完成桥面附属设施施工。

施工中应尽量减少铁路上方工作量,尽量避免焊接处理,不能避免的应提出控制或防护措施,确保施工期间铁路上易燃、易爆货物安全;拱肋钢管由钢板螺旋焊接,应根据拱肋曲线加工成弧形,其纵向弯曲偏差不大于 10 mm,成管直径和管端不平度控制在 ± 2 mm 误差范围内;合龙时不宜阳光直晒,并在 20 ± 5 °C 时合龙;为保证拱肋内混凝土的密实度,每一根钢管内混凝土灌注,采用从拱脚向拱顶自下而上的泵送顶升灌注工艺。在拱顶上缘及隔仓板顶点设排气孔以排出管内残余空气。

6 结语

随着我国公路与铁路、特别是高速公路与高速铁路建设的飞速发展,会修建越来越多的跨线桥梁,为了减小对被交线的影响,顶推法施工的钢管拱桥不失为一种好的选择。虽然中等跨径下承式钢管拱桥设计施工经验均比较成熟,但用顶推法施工的相对较少。本桥考虑桥梁施工方法、系梁、吊杆局部受力特点,对系梁采用整体性比较好的箱梁,对拱脚局部予以加强;在整体稳定性上采用强大端横梁与“一”字形风撑;根据施工特点考虑临时构造措施,可以为今后同类桥梁的设计、施工提供一些参考与借鉴。

参考文献:

[1] CECS 28:90,钢管混凝土结构设计与施工规程[S].
[2] JTJ 041—2000,公路桥涵施工技术规范[S].
[3] 范立础. 桥梁工程(下册)[M]. 北京:人民交通出版社,1996.