

三沙大桥总体设计

黄雨忠, 向阳

(中国公路工程咨询集团有限公司, 北京市 100097)

摘要:该文从三沙大桥的建设条件、总体设计、构造细节出发,详细阐述了钢筋混凝土劲性骨架箱形拱桥的设计特点。总结了骨架设计过程中的关键控制指标以及拱桥承载能力极限状态设计,可为今后中国山区类似桥梁设计提供借鉴和参考。

关键词:箱形拱桥; 劲性骨架; 三环六工作面法; 关键技术

1 工程概况

1.1 项目概况

S232 沙地至三岔段改扩建工程地处湖北省西南地区,位于清江以南,鹤峰县以北区域。项目区位于湖北省恩施州恩施市境内,起点位于恩施市沙地乡郑家台,与 S232 恩施市鸦鹊水至沙地段改扩建工程顺接;终点位于恩施市三岔镇,上跨 S233 省道,与 S232 恩施市三岔至石心河段改扩建工程顺接,路线总长约 25.4 km。

1.2 自然地理概况

(1) 地形、地貌。项目区为构造溶蚀低中山地貌,横越东南流向清江河岸。桥位展线段自然地面标高为 480~680 m,桥位展线横向剖面高低起伏,纵向坡面亦有变化,沙地岸坡处于一西北向凹坡凹槽带,岸坡地形陡峭,自然地面坡度为 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$,坡面植被以乔木及灌木为主;三岔岸坡处于一东北向凹坡凹槽带,岸坡地形陡峭,自然地面坡度为 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$,坡面植被以乔木及灌木为主。桥位 2 km 以内,无可通行车辆道路,交通闭塞。

(2) 工程地质特征。桥位区地层结构相对简单,两岸岸坡浅表分布薄层种植土,斜坡地带分布第四系残坡积碎石土,基岩为三叠系、嘉陵江组灰岩,局部段见岩溶作用,未发现大型发育溶洞。

(3) 气候。月平均最高气温为 27.7°C ,月平均最低气温为 2°C ;年平均降水量为 1 000~1 079 mm;年平均风速为 $2.0\sim 3.4\text{ m/s}$,设计基本风速为 24.8 m/s 。

(4) 水文。项目区位于清江中游河谷北岸,地表水系为清江及其支流南里渡河。桥梁位于南里渡河岸

区,距离下游老渡口水电站约 4 km,水库正常蓄水位为 480.0 m。

2 设计技术标准

(1) 公路等级:二级公路,设计车速:40 km/h。

(2) 设计荷载:公路—I 级,人群 2.5 kN/m^2 。

(3) 抗震设防标准:该区地震动峰值加速度为 $0.05g$ 。

(4) 桥面宽度: $0.5\text{ m}(\text{护栏})+2\text{ m}(\text{侧向宽度})+2\times 3.5\text{ m}(\text{行车道})+2\text{ m}(\text{侧向宽度})+0.5\text{ m}(\text{护栏})=12\text{ m}$ 。

(5) 设计洪水频率:1/100,该桥跨越深谷,洪水不控制设计。

(6) 通航等级:无通航。

3 总体设计

桥位处属于深切 V 形峡谷地貌,地形陡峻,两岸陡崖间距离约 200 m,距离水面高度约 178 m。三沙大桥的建设条件有 4 个特点:跨度大、地质条件好、道路等级低、景观要求不突出。适用于此跨度桥梁类型有梁式桥、拱桥、索桥。梁桥方案,跨度偏大,需要配置边跨,不经济,不推荐采用。同时,因该桥道路等级较低,资金不足,养护和技术条件有限,因此,拱桥是最为切合该项目建设条件的选择。

由于地方交通主管部门对钢结构拱桥养护诟病较多,钢拱桥也不适宜在该工程中选用。综上因素,最终三沙大桥采用钢筋混凝土拱桥方案,一跨跨越南里渡河。

桥位地处老渡口水电站上游,桥下无通航需求,库区水位远低于桥面标高。总体布置主要受地形因素控制,根据桥位地形地貌条件,岩石卸荷裂隙带发育情况、岩溶发育程度等地质条件,适当增加拱座埋深,确保基础的稳定。全桥长 758.5 m,全桥跨径组合为 $8 \times$

30 m 预应力混凝土 T 梁+ 15×15.5 m 钢筋混凝土拱桥+ 9×30 m 预应力混凝土 T 梁,采用 0.5% 的单向纵坡,主桥净跨为 220 m,起拱标高为 602.156 m。主桥长 232.5 m,引桥长 526 m。大桥总体布置见图 1。

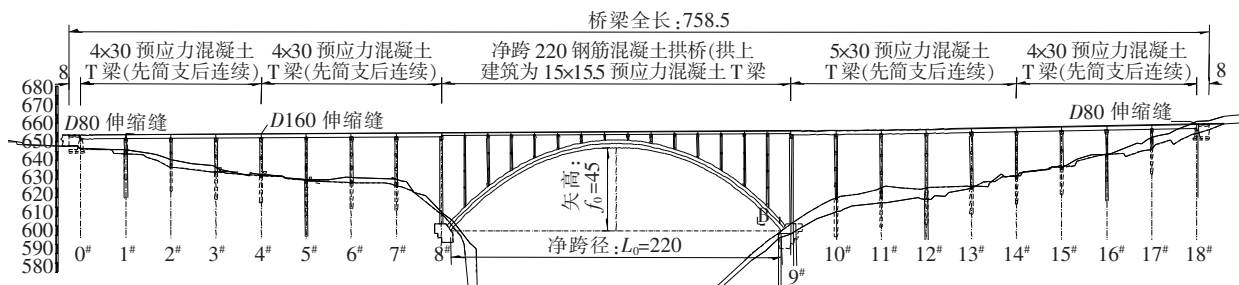


图 1 三沙大桥桥跨总体布置图(单位:m)

4 结构设计

(1) 主拱圈设计

拱圈为钢筋混凝土箱形截面,净跨度 $L_0=220$ m、净矢高 $f_0=45$ m、净矢跨比 $f_0/L_0=1/4.889$,拱轴线为悬链线,拱轴系数 $m=1.85$ 。拱圈为单箱双室截面,高 3.8 m,高跨比为 $1/57.9$,桥宽为 9.4 m,为满足

劲性骨架布置,拱圈设置 $0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ 外倒角, $0.65 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ 内倒角。拱圈标准截面顶、底板厚 0.4 m,腹板厚 0.5 m,从拱脚至第二根立柱间设置线性渐变段。顶、底板厚度由 1.0 m 线性渐变至 0.4 m,腹板厚度由 1.0 m 线性渐变至 0.5 m。立柱下设置一道 0.5 m 横隔板,立柱间设置一道 0.3 m 横隔板。主拱圈构造布置见图 2。

(2) 主拱劲性骨架

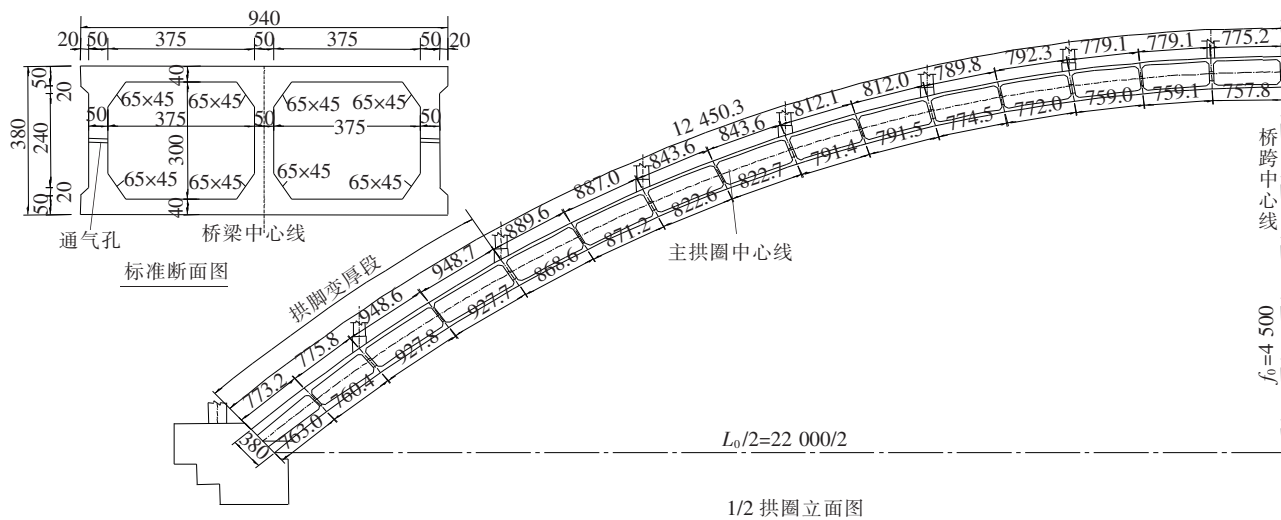


图 2 三沙大桥主拱圈构造布置图(单位:cm)

劲性骨架横向由 3 片桁架组成,钢材为 Q345D。桁架上、下弦杆采用 $\phi 402 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 钢管,内灌 C50 微膨胀混凝土。上、下平联及横撑为 $[20a]$ 槽钢,为了有利于腹板混凝土浇筑,腹杆采用由 4 肢 $\angle 100 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 等边角钢焊接组成的 H 型钢。弦杆与腹杆、上、下平联及横撑均采用焊接连接。

劲性骨架弦杆各吊段之间接头采用外法兰连接,外法兰由 16 颗 M24 螺栓组成。拱顶合龙段采用 4 片抱箍与定位马板采用螺栓连接。拱脚段通过在拱座内预埋稍大的钢管,骨架插入预埋管内形成铰(图 3)。

(3) 拱上建筑

拱上立柱垫梁厚度以短边 0.9 m 控制,保证立柱

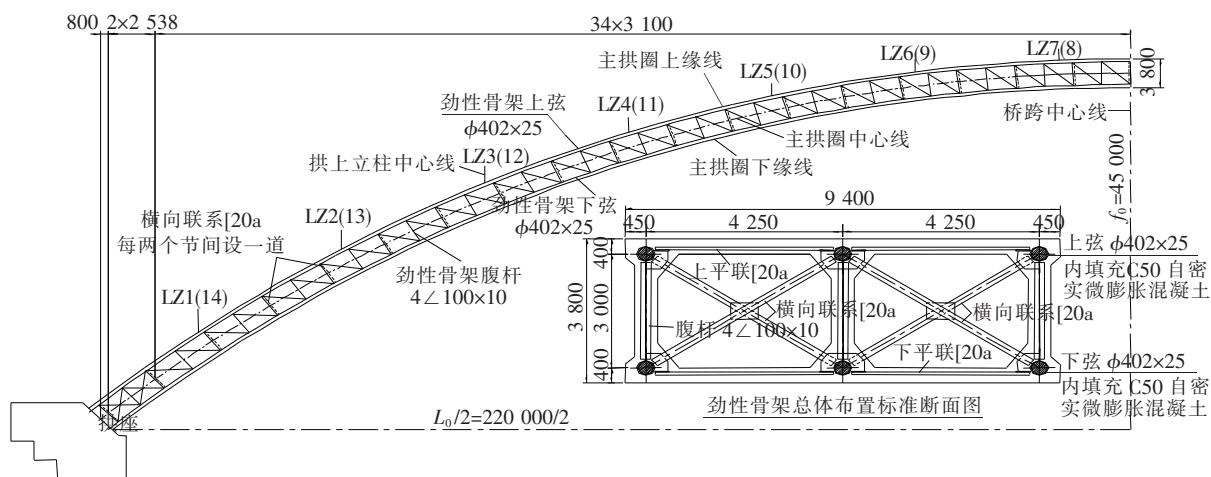


图3 三沙大桥劲性骨架布置图(单位:mm)

钢筋的锚固长度。

拱上立柱采用双方柱式,其中1[#]~6[#]、9[#]~14[#]立柱截面尺寸为1.3 m×1.1 m(纵桥向×横桥向)。立柱高度大于10 m时,设置柱系梁,系梁截面尺寸采用0.8 m×1.0 m(纵桥向×竖向)。

7[#]、8[#]立柱高度较矮,采用实体横墙,尺寸为0.8 m×7.9 m(纵桥向×横桥向)。横墙直接与拱圈连接,不设垫梁,设置通达拱顶的检修孔。

立柱盖梁,采用普通钢筋混凝土结构,盖梁底面水平,顶面设置双向2%横坡,盖梁宽1.5 m,中心线处梁高1.305 m。

(4) 行车道梁

拱上行车道梁,采用15孔15.5 m的后张法预应力混凝土T梁,先简支后桥面连续。预制T梁高1.3 m,梁距2.45 m,每孔布置5片T梁。

(5) 拱座及交界墩

两岸设置钢筋混凝土阶梯形拱座,沙地岸拱座为12.5 m×13.0 m×10.0 m,三岔岸拱座为15.0 m×13.0 m×13.0 m,拱座混凝土等级为C40,拱座基础置于稳定的、完整的中风化灰岩上。基础计算考虑拱座背面基岩的支撑作用,要求地基地面承载力容许值 $[f_a] \geq 1.3$ MPa,背面地基承载力容许值 $[f_a] \geq 1.0$ MPa。拱座基础边缘距离临空面不小于5 m,拱座底面嵌入基岩面不小于2.5 m,拱座除临空面支立模板外,其余面均不立模以保证混凝土浇筑时与岩面紧密贴合。

交界墩为2.2 m×6.5 m的板式墩,盖梁高2.45 m。交界墩直接设置在拱座上,后期可作为施工过程中缆索吊装系统的支点。

(6) 引桥

引桥上部结构,为30 m跨径先简支后结构连续T梁,横向5片T梁,梁高2.0 m。

引桥桥墩,采用双柱圆形墩,基础为嵌岩桩基础,桥台为U形台。

5 劲性骨架法施工

(1) 劲性骨架节段安装

劲性骨架采用缆索吊装拼装,缆索吊装体系由扣挂体系和吊装体系组成,该桥为扣吊合一。扣索体系包括锚碇、锚索、张拉端、扣索及扣点5大结构部分,吊装体系包括主索、起重索、风缆、地锚等结构部分。该桥采用扣吊合一体系,在交界墩上设置扣塔,从两拱脚对称地往河中进行骨架节段拼装。

(2) 钢管混凝土浇筑

劲性骨架拼装完成后,拆除扣索,灌注管内混凝土。从两拱脚向拱顶对称地顶升完成,按先灌注下弦杆后灌注上弦杆顺序,依次完成管内混凝土施工。最后对管内混凝土密实度进行超声检测。

(3) 拱圈浇筑

拱圈混凝土的浇筑采用“三环六工作面”的浇筑方式(图4)。即把拱圈横断面划分成底板一环,腹板一环,顶板一环。沿桥梁的纵向分为6个同时施工的大工作面,先两岸对称浇筑底板,再施工腹板,最后施工顶板。

6 三沙大桥关键技术问题

6.1 劲性骨架线形控制

骨架线形控制参照钢管混凝土拱桥线形控制规

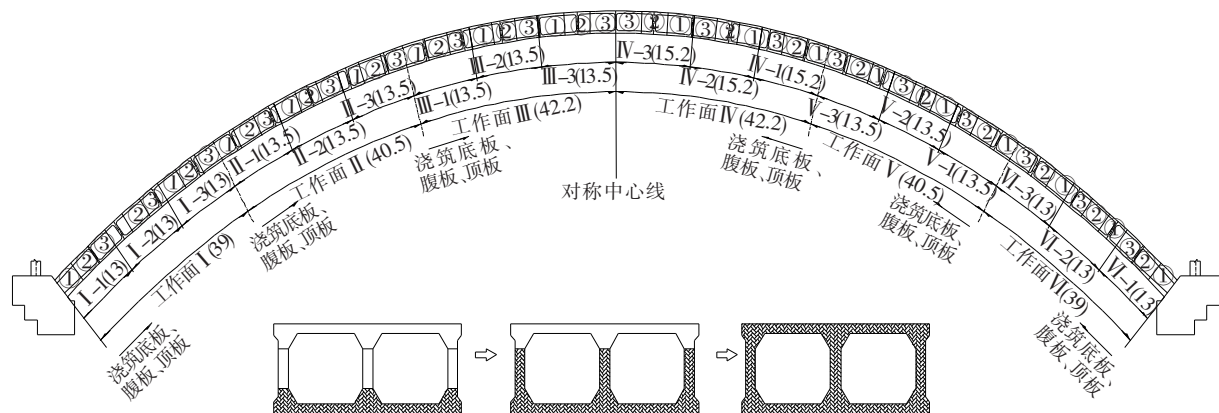


图 4 三沙大桥拱圈混凝土浇筑顺序图(单位:m)

定,主拱制造线形等于主拱设计线形加预拱度;主拱成拱线形等于主拱制造线形与空钢管成拱后一次落架的自重挠度之差。也就是说,缆索吊装合龙后,解除扣索,骨架的变形等于空钢管一次落架的变形,即为控制目标。骨架线形控制采用零位移法,控制每个拉索扣点截面的竖向变形为 0,使合龙前扣点截面达到平直状态,得到的变形、内力状态与骨架一次成拱的状态接近。

6.2 劲性骨架安全控制

中国建成的大跨度拱桥在浇筑拱圈混凝土过程中采用过水箱加载法、索力调整法、多工作面法。

无论采用哪种方法加载,最终的目标均是以骨架施工过程中的安全为控制目标,主要包括:骨架挠度均匀变化、骨架内力均匀变化、骨架施工阶段稳定系数及骨架结构强度(图 5、6)。

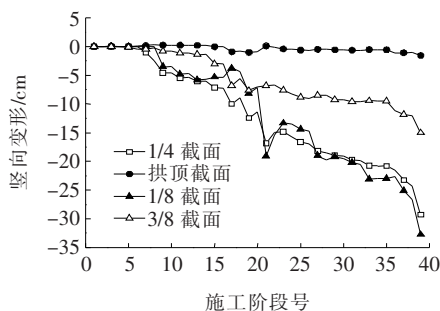


图 5 拱圈混凝土加载关键截面竖向变形历程曲线

“三环六工作面”法基本实现了骨架变形达到缓慢下降的目标,仅拱顶、3/8 跨附近出现了较大变形波动,出现的时机为底板最后一段混凝土浇筑时。可通过减小同时加载的步长,调整子步的浇筑顺序,减小变形波动幅度解决。

三沙大桥通过增加骨架弦杆壁厚,调整腹杆布置

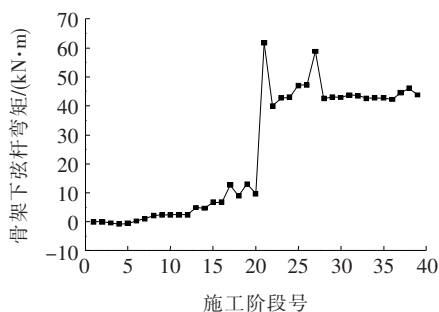


图 6 拱圈混凝土加载关键截面弯矩历程曲线(1/8 截面下弦骨架)

间距等措施,控制施工阶段最小线弹性稳定系数为 7.44。

通过计算表明:劲性骨架拱桥最危险的阶段,是在底板混凝土浇筑过程中,而且是底板合龙子步混凝土未达到龄期的时刻。混凝土达到龄期后,整个结构的整体稳定性,就能得到极大的提高。

劲性骨架应力控制以施工阶段控制骨架应力小于钢材设计值,运营阶段控制骨架应力小于屈服强度为目标。骨架最大应力发生的下弦杆 1/8 跨,施工阶段最大压应力为 217.8 MPa,运营阶段最大压应力为 328 MPa。

6.3 劲性骨架拱桥极限承载力

劲性骨架拱桥承载能力分析,有两种方法:① 不考虑骨架参与作用,按钢筋混凝土偏心受压构件计算;② 考虑骨架对承载力贡献,该法为四川省基于试验提出的半经验半理论公式。考虑拱圈外包混凝土与骨架的复合受力效应,不考虑两者的组合作用,其偏压承载力简化公式如下:

$$N_{wo} = N_{rc} + N_{cft} \quad (1)$$

式中: N_{wo} 为主拱圈截面的承载力; N_{rc} 为钢筋混凝土主拱计算承载力(不含骨架); N_{cft} 为钢管混凝土骨架承载力(不考虑钢筋混凝土)。