

四川省公路学会桥梁专委会
98 年桥梁学术讨论会

论文集



四川省公路学会桥梁专委会 编
四川省交通厅公路规划勘察设计研究院

四川省公路学会桥梁专委会
98 年桥梁学术讨论会

论 文 集

四川省公路学会桥梁专委会
四川省交通厅公路规划勘察设计研究院

编

目 录

1. 泸州长江二桥主桥设计	庄卫林(1)
2. 炳草岗金沙江大桥设计	郭晓东(5)
3. 合川市合阳嘉陵江大桥设计简介	牟廷敏 郑远鹤(11)
4. 广州环城高速丫髻沙大桥转体工艺构思设计	庄卫林 黄道全(15)
5. 奉节梅溪河大桥方案研究	张联燕 李美军(23)
6. 奉节梅溪河大桥 288 米钢管混凝土上承式拱	李美军(26)
7. 重庆五里店立交桥	周水兴 瞿光义 徐君兰(31)
8. 巫山县巫峡长江大桥初步设计	郑远鹤 牟廷敏等(36)
9. 马桑溪长江大桥设计	刘万春(44)
10. 重庆大佛寺长江大桥成桥抗风设计计算分析简述	刘毓湘(48)
11. 全桥结构仿真分析技术及其在泸州长江二桥 连续刚构桥中的应用研究	郑凯锋 唐继舜等(52)
12. 斜拉桥的受力特征分析	李 乔(57)
13. 线性结构计算中对柔索单元处理方法的探讨	钟建国 周长晓 王丰华(61)
14. 预应力钢——混凝土组合桥梁的基本性能	车惠民 钱永久 赵人达(65)
15. 多跨简支梁桥的自振特性及地震反应分析	何发礼 沈大元(70)
16. 在桥梁建设中发展预应力钢——混凝土组合结构	车惠民(75)
17. 车桥耦合振动分析的数值方法	单德山 李 乔 何发礼(79)
18. 钢管混凝土桁架的疲劳性能试验研究	钱永久 蒲黔辉(86)
19. 箱形板拱桥的稳定分析	王银辉 周水兴(91)
20. 岩石大桥施工阶段内力及位移计算	唐 亮 李 乔 张焕新等(95)
21. 一种新颖钢纤维混凝土的力学性能研究	赵人达 钱永久 杜联祥(100)
22. 芜湖长江大桥斜拉桥的模态分析及地震反应谱分析	申爱国 李 乔 朱 敏(106)
23. 列车过桥时拱桁组合钢桁梁桥的空间振动分析	李小珍 宁晓骏等(111)
24. 桥梁抖振响应的精细化研究进展	卢 伟 蒋永林 单德山等(116)
25. 波纹钢腹板桥梁的特色及其应用探讨	唐继舜 尹德兰 刘 磊(121)
26. 武汉白沙洲大桥抗风性能的全桥模型试验研究	周述华 奚绍中 李永乐(130)
27. 预应力混凝土边主梁斜拉桥的抗风性能	廖海黎 周述华 郑史雄等(136)
28. 丰都长江大桥钢桁梁高强度螺栓连接的试验研究	范文理(140)
29. 涪陵长江公路大桥施工综述	熊国斌 罗 俊(142)
30. 瀘溪河大桥施工介绍	王明琪(148)
31. 乐山金口河大桥桅杆式索塔吊装大跨径钢管技术	聂 东(150)
32. 大跨度、大吨位、多节段箱型拱吊装工艺	曹 瑞 李禄铎 甘 洪等(153)
33. 广西三岸邕江大桥主桥施工控制	张天明 廖西明 钟建国等(160)

34. 吊桥主缆最新防护方法	易圣涛(165)
35. 乐山市大渡河大桥 1#墩施工管理经验小结	冉光永(170)
36. 搞好施工设计、确保桥梁施工质量与进度	向中富(172)
37. 空心管结构及连接的静力设计	范文理(175)
38. 海峡联络超长跨径悬索桥结构构造的初探	王福敏(185)
39. 考虑轮轨接触非线性的桥梁振动研究	宁晓骏 李晓渝 强士中(192)
40. 简论桥梁美学的本质要求	罗世勋(197)
41. 关于涵洞结构设计的 ABC	谢兴黄(203)
42. 有粘结和无粘结部分预应力混凝土在公路桥梁中的应用与发展	李文伦(206)
43. 大跨度世界名桥(悬索桥与斜拉桥以外的桥型)	严国敏译(211)

泸州长江二桥主桥设计

庄卫林

(四川省公路规划勘察设计研究院)

【摘要】 泸州长江二桥主桥为一极不对称主跨 252m 连续刚构。为平衡结构内力，在不平衡一侧设巨大锚碇桥台；为改善主墩及其基础受力，在主跨合拢前跨中施加顶推力和将钢沉井中心偏移墩中心以获得部分平衡弯矩；钢沉井嵌入基岩与桩基共同受力以达到经济目的。

【关键词】 连续刚构 钢沉井基础 桩基 锚碇桥台

1. 概述

泸州长江二桥属于国道 321 线隆昌至纳溪高速公路一座跨越长江的特大型桥梁。经过多方案比选，主桥桥型选用主跨 252 m 三跨连续刚构方案，跨径组合为 145+252+49.5m；深水基础选择钢沉井基础。引桥预应力砼简支 T 梁。

桥梁全长 1408m，从隆昌向纳溪方向的跨径组合为 19×30.075m 简支 T 梁+7×50m 简支 T 梁+(145+252+49.5) m 连续刚构，总体布置见图 1。

桥面宽度全宽为 25m，其中行车道宽为 2×11.25 m，中央分隔带 1.5m；

设计荷载：汽车超-20 级，挂车-120。

2. 主桥结构设计简介

因受地形限制，主桥设计为不对称结构，纳溪岸设一锚碇桥台以平衡梁体结构内力。

2.1 箱梁

箱梁为变截面三向预应力砼结构，采用单箱单室断面，顶板宽 25m，底板宽 13m；箱梁根部高 14m，跨中及边跨现浇段梁高 4m；箱梁顶面设 2% 双向横坡。箱梁截面见图 2。

箱梁墩顶 0 号段长 15m，墩两侧各外伸 1.5m，隆昌岸“T”构两侧划分 39 个对称梁段，其梁段数及梁长从根部到跨中依次分别为 15×2.2m、12×3m、12×4m，累计悬臂总长 118.5m；纳溪岸“T”构两侧分别划分为 39 个（位于跨中侧）和 18 个（位于边跨侧）不对称梁段，其梁段数及梁长从根部到跨中依次分别为 15×2.2m、12×3m、12×4m 和 15×2.2m、3×3m，累计悬臂总长分别为 118.5m 和 43.5m；梁段采用挂篮悬臂浇注施工，设计挂篮自重 1400KN，悬臂浇注梁段最大重量 2700kN。

主桥有 3 个合拢段，中跨及隆昌岸边跨合拢段长度为 3m，纳溪岸边跨与锚碇桥台合拢段长 5.25m。

2.2 主墩薄壁墩

主墩为双肋式柔性薄壁墩，两肋净距 8m，截面为 2×13m，为减小墩身阻水，改善水流形态，在墩身上、下游设置弓形分水尖。

墩身能抵抗船舶撞击力，因此未设防撞设施，但在使用过程中必须设置通航标志。

2.3 隆昌侧主墩深水基础

桥梁全长 1408



图 1 桥梁总体布置图



图3 沉井基础构造图

图 4 锚碇桥台一般构造图

两个主墩基础分别采用两种形式,纳溪岸主墩基础采用明挖扩大基础,而隆昌侧主墩基础采用钢沉井深水基础。为减小沉井嵌岩难度,当沉井下沉至弱风化基岩面后,采用沿沉井内周边均匀布置 10 根直径 2.5m 嵌岩桩基代替沉井的嵌岩。钢沉井结构类似于双壁钢围堰,其直径 21m,壁厚 1.6m。沉井基础构造见图 3。

钢沉井在岸上制作后,滑入水中浮运就位,用定位船对其精确定位,尔后吸泥入土下沉。

3. 结构特点及处理措施

与其它同类型桥相比,主桥有以下三个特点:(1)、连续刚构边跨极不对称;(2)、采取改善钢沉井基础受力的措施;(3)、锚碇桥台。

3.1 连续刚构边跨极不对称

为适应地形,连续刚构边跨极不对称,为保证主桥结构受力平衡,纳溪岸设锚碇桥台与边跨箱梁刚性连接。由此引起主桥结构的水平位移只能在另一端(隆昌侧)发生,导致隆昌侧主墩水平力过大,钢沉井基础合力偏心距大。

3.2 采取改善钢沉井基础受力的措施

钢沉井基础控制内力为恒载、收缩徐变、温度降低等产生的内力组合,计算结果表明,基础顶面弯矩大,左右墩身受力极不均匀。为减小钢沉井基础的合力偏心距,使基础受力更为合理,采取两种措施,抵消部分弯矩:(1)、将沉井中心向纳溪侧偏离墩中心 80cm,使恒载自重产生一反向抵抗弯矩;(2)、中跨合拢前,在合拢段施 6000kN ~8000kN 顶推力。

3.3 锚碇桥台

纳溪岸设锚碇桥台与箱梁刚性连接平衡主桥结构。为保证锚固的可靠性,减小锚碇数量,布置 18 根方形锚桩,通过设在锚桩内竖向预应力束将桥台可靠地锚于基岩中。桥台长 26 米,与箱梁结构一致,两端加隔板,箱内用浆砌片石填心,不平衡梁段的纵向预应力束锚于台尾。桥台为三向预应力结构。锚碇桥台一般构造见图 4。

4. 几个问题的研究

在整个设计过程中,对以下三个问题作了一定研究。

4.1 箱梁高度变化方式对应力的影响

从已建成的大跨度连续梁式桥实例的统计资料分析,跨径大于 100m 的有 90% 以上选用变截面梁。采用变截面符合梁的内力变化规律,同时,大跨径连续梁或刚构桥宜选用悬臂法施工,变截面梁又与施工状态相吻合。变截面梁梁高变化规律可采用圆曲线、二次抛物线、三次抛物线、半立方抛物线、正弦曲线和余弦曲线等,跨径 180m 以上的梁桥,梁高变化以二次抛物线为最多。

通过计算发现,当梁高以二次抛物线变化时,在使用状态下,通常在 $1/8 \sim 1/4$ 跨径范围内的截面应力作控制;而当梁高以半立方抛物线变化时,通常在接近根截面应力作控制。经计算比较,本桥梁高以 1.75 次抛物线变化,底板厚度以二次抛物线变化,梁段截面应力分布较为均匀。

4.2 箱形截面翼板的有效宽度(计算宽度)

肋板间距较大的宽箱梁,在弯曲变形时,上、下翼板由于剪切变形的影响已不服从梁弯曲初等理论变形的平截面假定。在计算梁体应力时,必须考虑翼板剪力滞后的影响,剪力滞后主要与梁肋间距、梁的跨径、截面位置、截面刚度等有关,在设计中,通过确定翼板有效宽度间接考虑剪力滞后的影响。如何确定翼板的有效宽度是一个重要问题,目前我国《公路桥涵设计

规范》对箱形梁的有效宽度,没有列出相应的算法,只规定:如无精确算法,箱形梁可参照 T 形梁的规定处理。对 T 形梁翼板有效宽度的若干规定有一特点是:认为翼板计算宽度只在一定范围内与跨径有关,但无直接的函数关系,设计中不易使用。本桥设计参照英国《BS5400 标准》的连续箱梁计算翼板有效宽度,沿跨径方向的各个截面有效宽度是不相同的,根部截面翼板的有效宽度最小,跨中截面有效宽度最大,接近全截面受力。

4.3. 钢沉井基础基底应力分布

主墩钢沉井基础受力上是沉井与桩基共同受力的组合基础,为较准确地反应基础受力情况,采用三维空间有限元计算。

计算范围:平面以沉井中心为圆心,半径为 50m 的圆;竖向由沉井底面向下 50m,以模拟基础与基岩间的相互作用。共划分单元 1710 个,节点 2030 个,三种材料类型。计算结果列于下表,并与规范计算桩基采用的“m”法比较。

计 算 方 法	三维有限元法	规范“m”法
桩基最大内力	35510kN(压力)	87085kN(压力)
沉井底边缘最大应力	0.43 MPa(压应力)	0

从计算结果表明,沉井底面参与作用能大大减小桩基受力。若纯按桩基础设计,未考虑沉井底面受力,则桩数由目前的 10 根增加至 15 根,沉井尺寸由 21m 增加至 28m,造价增加 35%。因此将沉井嵌入基岩与桩基共同承担荷载,达到经济目的。

5. 结语

泸州江二桥主桥因为结构的特殊性,而使受力复杂,本文仅就设计中考虑的一些问题作一简要叙述长,对许多问题认识尚不深入,有待于进一步在实践中改进、完善和深化。在技术设计阶段委托西南交大对全桥进行仿真分析,表明全桥受力满足规范要求。

在本桥的设计过程中始终得到了我院谢邦珠总工程师、罗凤林副总工程师的指导,也得到了设计组内黄道全、梁统明、管理、张贵忠、姚红兵等多位同事的帮助,在此表示诚挚的谢意。

主要参考文献

- [1] 公路桥涵设计规范(合订本),人民交通出版社,1989 年.
- [2] 程翔云,梁桥理论与计算,人民交通出版社,1990 年.
- [3] 英国标准 BS5400,西南交通出版社,1985 年.

炳草岗金沙江大桥设计

郭 晓 东

(四川省公路规划勘察设计研究院)

【摘要】 炳草岗金沙江大桥是四川省攀枝花市内的一座特大型城市桥。该桥同时又兼有国道108线的过境交通功能。经过从预可至初设阶段的勘察设计及评审,确定大桥由三大部分组成:1.预应力砼单塔斜拉桥与T构组成的协作体系主桥。2.炳草岗岸半定向的四层互通式立交桥。3.枣子坪岸跨铁路的引桥及引道,包括收费站。大桥建成后对沟通攀枝花市的西区交通,密切炳草岗与攀钢的联系,缓解108国道过境交通对市区交通的压力均有重要意义。本文仅对主桥部分的桥位、桥型选择,结构设计构思作一介绍。

【关键词】 单塔斜拉桥 T型刚构 结构构思

1. 概况

攀枝花市位于四川省的西南部,与云南接壤,金沙江纵贯市区流过。地理位置为北纬 $26^{\circ}30'$,东经 $101^{\circ}44'$ 。属亚热带干燥型河谷气候,干湿季节分明,降雨多集中在6~9月,年平均雨量790毫米,年平均气温 20.3°C ,年平均风速为 0.9m/s ,最大10分钟平均风速 16.3m/s ,极大风速 30.3m/s 。根据1992年国家地震局的划分,攀枝花市地震烈度为7度。桥区主要地质为“华里西期”辉长岩。

自六十年代以来,在流经市区的金沙江河段上,已修建了多座桥梁,这些桥梁对发展攀枝花市的经济和保障人民生活起了重要的作用。但是随着近年来的改革开放,攀枝花市的经济快速增长,城市建设日益宏大,交通不畅问题日趋突出。主要表现在:①目前市中区通往西区只有一条公路(省道宁华路),一旦出现自然灾害,中断交通,势必给全市的经济和人民生活带来重大损失。②渡口大桥(02桥)修建于60年代,由于荷载等级低,桥面窄,通行能力差,阻车非常严重,大桥超载运行,形成安全隐患,因此有必要对经渡口大桥的车辆进行分流。③炳草岗是攀枝花市政治、经济、文化中心,不允许长期有过境车辆出入。由于上要这三个原因,修建炳草岗金沙江大桥既必要又紧迫。

该桥的前期工作自1992年开始,经历了预可、工可、方案设计和初步设计阶段,通过比选和评审确定了主桥采用单塔斜拉加T构的协作体系,主跨200米。目前该桥已开始施工,预计1999年底建成通车。

2. 技术标准

根据专家组的评审意见和市政府的批复,采用技术标准如下:

1. 设计荷载:汽车—超20级,挂车—120,人群 3.5kN/m^2 ;
2. 桥面宽度:主桥净宽 2×7.5 米行车道 $+2\times 0.5$ 米防撞护栏 $+2\times 3.0$ 米人行道;
3. 道路等级:主桥、炳草岗岸及枣子坪岸接弄清线为城市主干道II级。枣子坪

岸接攀钢厂区为城市次干道Ⅱ级；

(4). 行车时速：主线40km/h；

(5). 设计洪水频率：1%；

(6). 通航等级：Ⅳ—2级；

(7). 地震基本烈度：7度。

3. 主桥方案的形成过程

在预可、工可阶段，我院在煤碴砖厂至电影院之间拟定了上、中、下三个桥位。三桥位均以渡口桥为参照物，分别为：上桥位位于渡口大桥下游1.94公里，引道长0.31~0.85公里。中桥位位于渡口大桥下游2.45公里，引道长0.88—1.4公里。下游位位于渡口大桥下游3.445公里，引道长2.23公里。枣岸拟接线的位置处于渡口大桥上游。从引道长度及投资估算等方面进行比选认为上桥位引道短，接线好，交通组织顺畅，拆迁量小，对市区环境干扰少，投资省。故推荐上桥位，并拟定下述三个桥型方案进行方案设计(见图1)，通过方案评审确定初设和施设。

第一方案为单塔斜拉桥加T型刚构的协作体系。主跨200米，其中T构伸入主跨50米，斜拉桥有索区仅150米，这样减少了斜拉索，尤其是外侧长索的用量，从而降低了造价。结构体系单塔双索面，塔梁墩固结。斜拉桥主梁与T构主梁刚性连接。

第二方案为双塔斜拉桥方案。由于炳岸立交展线的限制，主跨只能布为180米，两岸边跨各为67.5米，边中跨比为0.375。边中跨比偏小，故边中跨有7对拉索不对称，且恒载不平衡。边跨密索段主梁必须作为三室封闭箱，并满浇压重砼。结构体系为双塔双索面悬浮体系。

第三方案为钢管砼劲性骨架的砼拱桥方案，净跨为260米，矢跨比1/5，等载面箱形板拱。其结构形式、施工技术及方法，均同于已竣工的万县长江公路大桥，但施工条件和施工组织由于处在闹市区，没有万县桥有利。

从上述三个方案中经筛选，采用第一、三方案作同精度初设，并经过初设评审，决定采用第一方案进行施设。其主要理由为：斜拉T构组合体系造型简洁美观，与周围景观协调良好，可为城市增色，施工工期短，工作面小，对城市干扰少。根据评审意见及我省施工队伍的情况，我们在主墩形式、主梁截面及拉索索距方面作了进一步优化，最终形成实施方案。

4. 实施方案的设计与施工构思

主桥为混凝土单塔斜拉桥与T构组成的联合协作体系。斜拉桥部分塔、梁、墩固结，斜拉桥与T构刚接，形成连续主梁，以利受力和行车顺畅。

4.1 主梁[见图3]

斜拉桥主梁采用预应力砼双纵肋断面，顶宽23.9米，纵肋底宽1.7米，双纵肋外侧间距18.4米，纵肋外侧各有2.75米的悬臂。纵肋高2.2米，板厚25厘米，行车道部分桥面设1.5%的双向横坡。标准梁段长6米，并设有一道横隔板，横隔板厚25厘米，与纵肋同高。标准梁段重2318KN。枣子坪岸辅助墩与交界墩间长34.55米主梁为无索斜拉梁段。

T构主梁为分离式箱形截面。顶宽23.9米，底宽各5米，两分离箱外侧间距18.4米，均同斜拉桥部分，以利连接及美观。箱梁根部高5.5米，跨中及边跨端头高2.2米，梁高以二次抛物线变化。根据受力及锚固对称要求，单侧分为13个梁段。T构主梁为

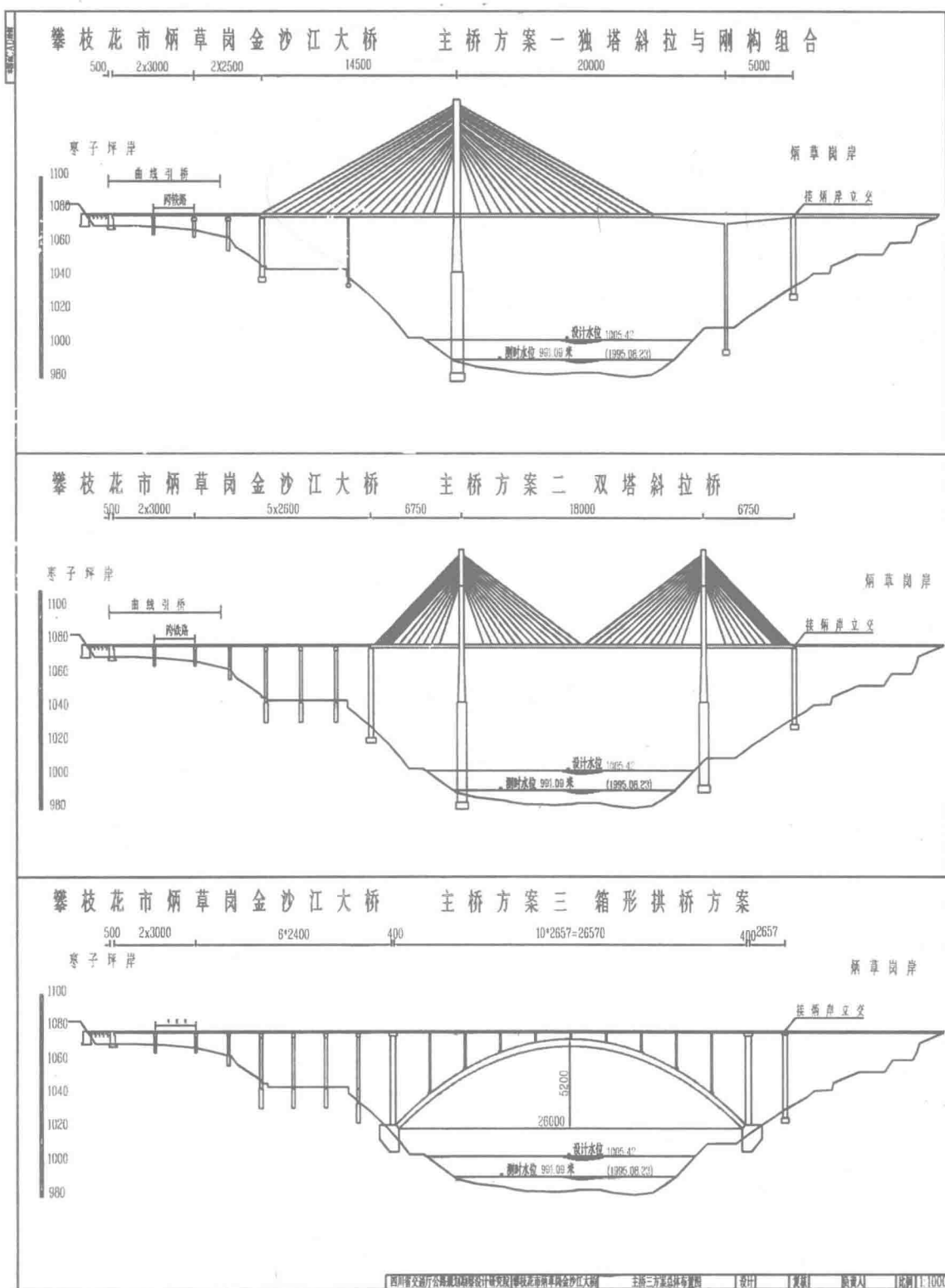


图1 三个方案总体布置图

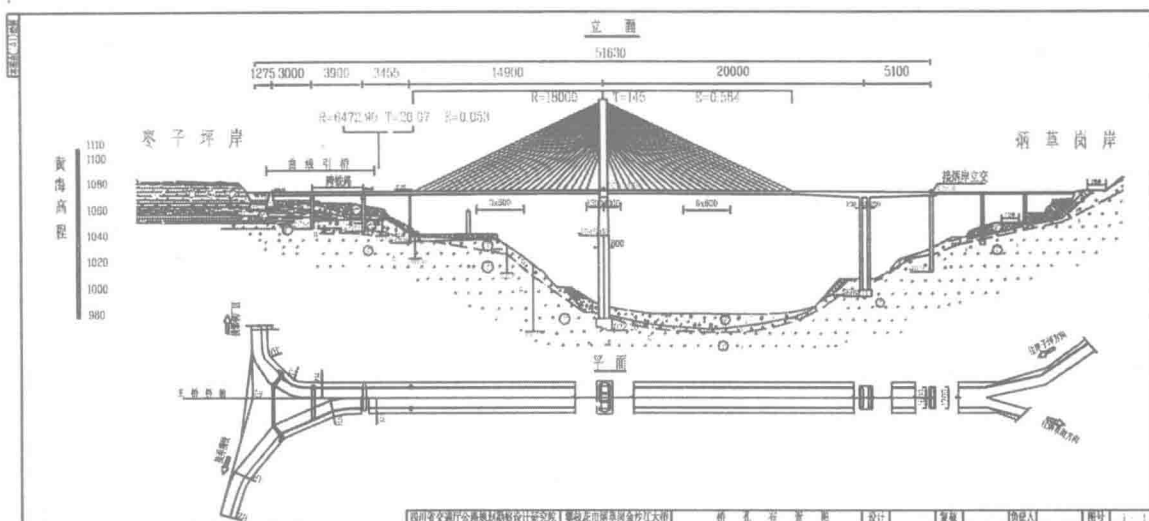


图2 实施方案桥孔布置图

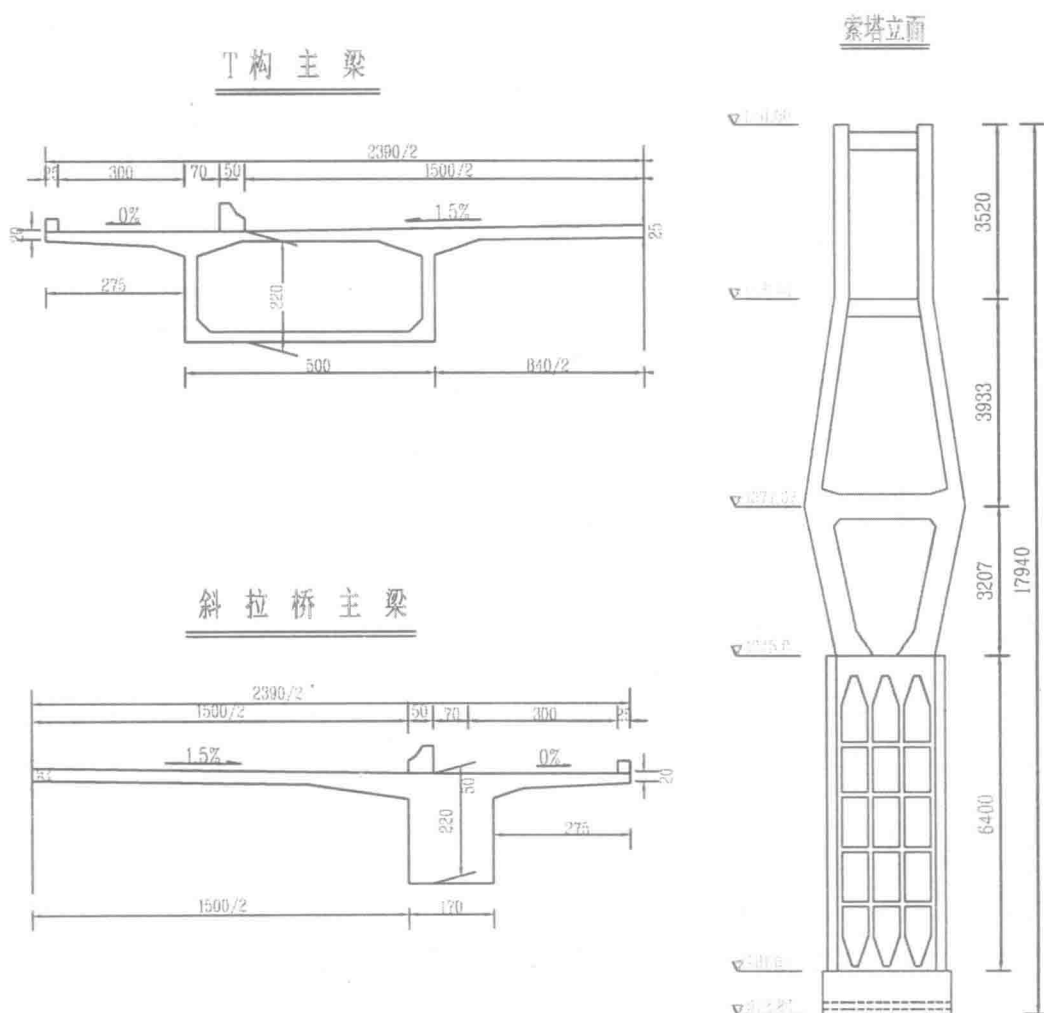


图 三

图 四

三向预应力体系。

关于两部分主梁形式及相互连接的方式，经反复酝酿，完善设计，最终从传力及美观出发，主梁采用纵肋及直腹式分离箱并在T构中跨设-5米的过渡段，将T构的分离式双箱，通过过渡段渐变为斜拉桥的双纵肋断面，使合拢段两侧均为双纵肋断面。

4. 2. 拉索及索塔(见图4)

斜拉索由 $\Phi 7$ 镀锌低松驰高强钢丝，经编组扭绞成形，外包双层PE防护，内层为黑色，外层为彩色，单索丝数由91丝到151丝。拉索锚具为表面镀锌的冷铸镦头锚。

索塔为H型，在桥面以下两塔柱微收，以增加美感和减少基础工程量。整个塔墩高170.6米，其中墩高64米，下塔柱高32.70米，中塔柱高39.33米，上塔柱为斜拉索锚固区，高35.20米，整个塔柱均为箱形断面，其中上塔柱空心箱内壁全衬有10mm厚钢板，以承担部分拉索拉力并作为施工内模，在有索区塔柱周边设有预应力。索塔共有三道横梁，下横梁亦为斜拉桥主梁0号块(见图4)。

4. 3. 桥墩及基础

斜拉桥桥墩高64米，横桥向宽23.6米，顺桥向宽8.0米，为空心墩，每10米设一道隔板。为防漂木及船舶的撞击，并考虑对称美观。在墩身上、下游侧均设置了分水尖。基础为明挖扩大基础，各部匀嵌入微风化辉长岩4.0米，地基承载力要求 $\geq 1.75\text{MPa}$ 。斜拉桥部分在枣岸边跨设有辅助墩，该墩由两片 170×100 厘米的实心薄壁组成，墩顶与主梁肋底固结，以避免设拉力摆的复杂构造。

T构下部为双薄壁墩，单墩壁厚2.0米，高71.5米，顶宽18.4米，底宽15米，两墩顺桥向中距6.0米，基础亦为明挖扩大基础。

据了解，目前我国此种类型桥梁不多，较有影响的有已竣工通车的广东西江金马大桥和正在施工中的宁波大桥。前者是单塔两侧各有一T构，结构关于主索塔对称，而后者是斜拉桥与连续梁的协作体系。因此在炳草岗桥的设计中，有以下一些构造特点：

(1). 斜拉桥的双纵肋主梁与T构的直腹式分离双箱间，用5米过渡段，实施连续渐变，不设剪力铰。

(2). 64米空心高墩加106.6米高的索塔，总高170.6米，在同跨径桥梁中是高的，塔梁墩固结与T构的71.5米薄壁高墩刚度较协调，有利于整个结构的变位协调性。

(3). 枣岸辅助墩墩顶与斜拉桥主梁固结，其墩顶周边嵌有氯丁橡胶，使辅助墩的钢筋与砼充分发挥各自材料的特点，免去了设置拉力摆的复杂构造。

(4). 斜拉桥主梁在辅助墩与枣交界墩间有长达34.55米的无斜拉索段，设段采用搭架现浇施工，其受力特性类于连续梁。

(5). 在炳岸交界墩处T构主梁设置牛腿，将炳岸立交桥箱型主梁压于其上以缓解由于边跨短而引起的该处负反力。

关于施工方案，针对斜拉部分和T构各自的对称性以及高墩的特点。我们考虑的主要施工方案为：基础明挖满浇，主墩采用滑模或翻模施工，斜拉桥上、中、下塔柱均采用翻模施工。两岸主梁利用两对挂篮进行对称悬臂浇筑施工，材料用塔吊运输，砼浇筑采用泵送砼工艺，此施工方案施工面小，方便快捷，预计五至七天可完成一个循环，浇筑一对块件。斜拉索在主梁端为锚固端，索塔端为张拉端。对称悬浇完成后先合拢边跨，再合拢中跨，实现体系转换。

5. 设计计算

本桥整体静力结构分析使用我院编写的梁桥静力安装程序，将斜拉桥与T构作为一个整体进行了安装阶段和使用阶段的内力、位移等计算。程序包括结构体系转换，索力调整，预应力，砼收缩、徐变，温度及汽车制动力等常规功能。由于攀枝花市地处7度地震区，抗震设计亦很重要，建设单位委托四川省地震局工程地震研究所作了大桥地震安全性评估工作。在按《公路工程抗震设计规范(JTJ004-59)》的基础上，利用地震安全性评价报告提供的动参数，用DDJB—W程序进行了地震力的计算。计算表明结构不受地震力控制。

6. 结语

攀枝花市炳草岗金沙江大桥，是一座特大型的城市公路桥梁，其造型新颖，结构复杂，对设计及施工要求高。本文仅就设计中考虑的一些问题作了一个简述，限于作者水平，不当之处敬请指正。

本桥在设计过程中，始终得到我院谢邦珠总工程师及张忠成主任工程师这两位高工的悉心指导和帮助，在此致以诚挚的谢意。

合川市合阳嘉陵江大桥设计简介

牟廷敏 郑远鹄

(四川省交通厅公路规划勘察设计研究院)

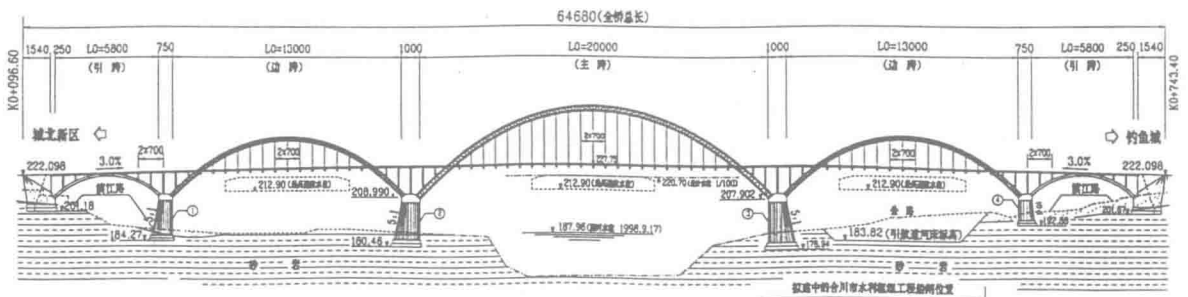
1. 概况:

合川市合阳嘉陵江大桥位于城区楼子坎, 跨越嘉陵江连接东岸旅游地—东渡钓鱼城。桥位下游 1.5 公里为涪江与嘉陵江的汇合处, 上游 1.8 公里是规划的合川水利枢纽—花滩电站。该桥跨经组合为 58m(引跨)+130m(边跨)+200m(主跨)+130m(边跨)+58m(引跨), 全桥长为 646.8 米, 桥面全宽为 22.5 米[净 7.5×2(行连道)+2m(绿化带)+2×2.75m(人行道)]。荷载等级为汽—超 20, 挂—120, 人群荷载为 3.5kN/m², 地震烈度为 6 级。

2. 结构设计

2.1 桥跨结构

引跨为上承式钢筋砼肋拱, 桥面结构为排架式盖梁, 纵置小“π”形梁。边跨和主跨为钢管砼中承式拱。边跨及中跨钢管砼拱桥桥面结构均采用“T”型横梁, 纵置“π”形梁, 吊杆和立柱间距均为 7 米。全桥孔跨总体布置如下。



桥跨总体布置图

桥面标高受两岸城市接线标高控制, 桥跨标高按 1/100 的洪水标准设计。桥面纵坡设计以主跨跨中对称的双向纵坡, 其坡度为 3.0%, 竖曲线半径 R=9000 米; 横向设 1.5%双向坡。

2.2 上部结构设计

2.2.1 边跨与主跨

(1) 拱肋与横撑

拱肋为钢管砼组成的桁架结构: 边跨拱肋高 2.6 米, 宽 1.7 米, 每肋为上、下各两根 D610×10mm, 内灌 50 号砼的钢管砼弦杆, 弦杆通过横向缀板和竖向两根 D270×7mm 腹杆连接而构成钢管桁架。主跨拱肋高为 3.5 米, 宽 2.0 米, 每肋为上、下各两根 D760×12mm, 内灌 50 号砼的钢管弦杆, 弦杆通过横向缀板和竖向两根 D350×9mm 腹杆连接而构成钢管砼桁架。

边跨两肋中距为 19.2 米,主跨两肋中距为 19.5 米。两拱肋间桥面以上设置“Ⅰ”型横撑,桥面下拱脚处设置“X”型横撑,每道横撑均为空钢管桁架。

(2)吊杆

采用 19 Φ 15.24 毫米高强度低松驰预应力钢绞线,两端用 YM15-19 锚具,下端锚具采用锁头器锚固,并设有可调节横梁高度的螺母,上端锚具采用夹片锚固,上、下端锚头均隐藏在拱肋和横梁内。吊杆采用外套钢管,管内压聚丙烯纤维水泥浆防护。

(3)横梁与桥面板

吊杆和钢管拱上立柱的横梁为预应力钢筋砼“T”型截面梁,便于就地预制与安装。肋间及拱上立柱横梁采用现浇施工。

行车道板为“ π ”形梁,人行道板为开天窗的“ π ”形梁,梁端天窗上盖盖板,便于安装和检修过河管线。

2.2.2 引跨

拱肋为两肋钢筋砼矩形截面,肋截面尺寸为 3.75 $\times$ 1.4 米,以增大引跨拱脚推力,平衡跨径不等产生的不平衡推力。肋间距为 16.25 米,肋间为“Ⅰ”型横系梁,拱肋与横系采用搭架现浇施工。

为了提高引跨下的排洪量,将引跨拱肋伸入桥面板内 40 厘米,拱顶处的盖梁与拱肋交叉相嵌,一并现浇。拱顶处拱肋上现浇钢筋砼垫高,与桥面板的高度齐平不再放置桥面板。拱上立柱及盖梁均为现浇施工。盖梁为预应力砼结构的矩形截面梁。

引跨上的桥面板与主跨边跨相同,采用“ π ”形桥面板和开天窗的“ π ”形人行道板。

2.2.3 桥面铺装、栏杆及绿化带

桥面铺装为 6 厘米的钢纤维砼(钢纤维含量为 100Kg/m³)。栏杆用不锈钢管制作,显得轻盈,与全桥配合恰当。行车道中间设绿化带,宽为 2 米。

2.3 下部结构设计:

2.3.1 桥台

两岸桥台均采用“U”型桥台,台口宽为 22.5 米,置于砂岩或完整的新鲜泥岩上,要求基底容许承载力不小于 0.8MPa。

2.3.2 桥墩

1—4 号桥墩均采用空心截面的钢筋砼结构,墩空心内采用挖基的砂岩片石填筑,并采用 2.5 号水泥砂浆灌饱满。墩的大跨径一侧直立,小跨径一侧为 5:1 的缓坡,增大墩的抗倾覆力矩,提高墩的稳定安全系数。1 号和 4 号墩基底容许承载力不小于 1.5MPa,2 号和 3 号墩基底容许承载力不小于 1.7MPa,并应嵌入新鲜完整的砂岩上。

3. 计算成果

3.1 桥台、桥墩

桥台的倾覆稳定安全系数和滑动稳定安全系数大于 1.3(按荷载组合 II 计算)。

桥墩的倾覆稳定安全系数和滑动稳定安全系数大于 1.3(按荷载组合 II 计算)。上游花滩电站修成后,按 7.6m/s 流速考虑其对桥墩的冲刷,同时,按 IV 级航道考虑其船只的撞击力,在横桥向最不利荷载作用下,桥墩横桥向的稳定安全系数均大于桥墩纵桥向的稳定安全系数。

上部结构施工加载过程中,按设计规定的施工加载程序施工时,桥墩稳定安全系数均大于营运阶段桥墩的稳定安全系数。

3.2 桥面板和横梁

经计算确定桥面板采用“ π ”形，减少桥面板纵向接缝，提高横向刚度，以利结构整体受力。

由于该桥横梁悬臂短，横梁跨中正弯矩大，而横梁自身重量较轻（约为 60t），为了满足一次张拉需要，经计算确定横梁为变翼缘宽的“T”形截面，跨中横梁顶翼缘宽为 1.0 米，端头横梁顶翼缘宽为 0.7 米。

3.3 上部结构施工加载

由于桥墩与主拱的抗推刚度比大于 37，所以计算按单孔计算。

3.3.1 边跨和主跨钢管桁架吊装

钢管桁架在工厂组拼成节段后运到工地，分五段吊装，拱脚为铰接，拱顶合拢后，再封固拱脚铰为固接，通过调整扣索力，使拱圈在松扣后的下绕度与一次成拱的绕度尽可能接近，通过计算表明，施工过程中，通过调整扣索力，完全能达到这一要求。

3.3.2 边跨与主跨施工加载

钢管桁架通过吊装合拢，待体系转换完成后，按施工过程分为 17 个计算阶段如下：

空钢管合拢—安装肋间横撑—每肋灌注一根内侧下弦钢管—每肋灌注一根内侧上弦钢管—每肋灌注一根外侧下弦钢管—每肋灌注一根外侧上弦钢管—灌注拱脚处两根斜腹杆钢管—安装吊杆—现浇拱上横梁（一）—安装吊杆横梁（二）—安装吊杆横梁（三）—安装桥面“ π ”形梁（一）—安装桥面“ π ”形梁（二）—安装桥面“ π ”形梁（三）—二期恒载（一）—二期恒载（二）—二期恒载（三）。

运用《微机平面杆系桥梁结构分析系统》进行分析计算，各施工阶段杆元内力和变形均满足强度设计要求和变形要求。

3.4 营运阶段结构计算

计算荷载有自重、汽车、挂车、人群、温度、收缩等荷载。桥梁的内力计算按平面杆系分析，活载作用以横向分配系数计入处理。

引跨按钢筋砼结构规范设计，边跨、主跨钢管桁架，压杆按钢管规范设计，拉杆按钢结构规范设计。

3.5 空间静力计算：

为便于与平面杆系分析结果比较，结构采用空间梁单元、板单元和块体单元进行了空间静力计算分析，部分计算结果如下（表 1）。

表 1 空间静力计算结果

结构部位	主跨 (Mpa)		边跨 (Mpa)	
	上弦杆	下弦杆	上弦杆	下弦杆
拱顶应力	18.9	30.3	21.8	30.8
拱脚应力	20.1	30.1	24.2	33.2

3.6 营运阶段结构稳定分析

结构稳定分析计算的荷载分为全桥宽布载、半幅宽布载、重车位于边跨跨中处和重车位于主跨跨中处四种载荷情况，计算分析结果表明，失稳形态均为拱桥整体面外失稳，结构稳定安全系数如下（表 2）。