

文章编号: 1002-0268 (2004) 08-0074-04

# 太平湖大桥初步设计

孙敦华

(安徽省公路勘测设计院 安徽 合肥 230041)

**摘要:** 太平湖大桥是新建铜陵至汤口高速公路中 1 座重要桥梁, 位于黄山区太平湖柳家梁峡谷风景区, 跨越太平湖。推荐方案主桥为中承式钢管混凝土提篮拱桥, 跨度达 300m; 主拱肋由 4 根  $\phi 1\ 000\text{mm}$  钢管混凝土构件和腹杆、横向缀板组成; 主拱圈矢跨比为  $1/4$ , 拱轴系数为 1.33。本文着重介绍该桥推荐方案的总体设计思路, 包括自然条件、桥型选择、桥梁总体布置、结构设计、结构计算、施工方法和方案比较等。

**关键词:** 钢管混凝土; 中承式; 提篮拱桥; 初步设计

中图分类号: U448.22

文献标识码: A

## Preliminary Design of the Taiping Lake Bridge

SUN Dun-hua

(Highway Survey &amp; Design Institute of Anhui Province, Anhui Hefei 230041, China)

**Abstract:** The Taiping Lake Bridge is an important bridge of the expressway from Tonglin to Tangkou, which through the scenic spot of Lujialiang valley, Taiping Lake of Mountain Huangshan, and the bridge is crossing over the Taiping Lake. The recommend plan of the main bridge is a half-through basket handle concrete filled steel tube arch bridge, with a main span over 300m. Four concrete filled steel tubes, horizontal battens and brace struts compose the main arch, the diameter of steel tubes is 1000mm, the rise to span ratio is  $1/4$ , and the arch axis factor is 1.33. The preliminary design of bridge is introduced in this paper, including environment condition, bridge type comparison, structure design and calculation, construction method etc.

**Key words:** Concrete filled steel tube; Half-through; Basket handle arch; Preliminary design

### 1 工程概况

新建太平湖大桥位于风景秀丽的黄山区太平湖柳家梁, 在乌石景区和共辛景区之间, 跨越太平湖峡谷, 是新建铜陵至汤口高速公路中的 1 座重要桥梁。太平湖大桥全长 432m, 图 1 为推荐方案大桥效果图。铜陵至汤口高速公路是安徽省“十五”交通建设计划的重点项目, 属交通部制订的《国家重点干线公路规划》中的国家重点干线天津—汕尾公路的重要组成部分。本项目的建设是国家重点干线和安徽省公路骨架建设的需要; 同时也是全面促进与发展安徽省及沿线社会经济, 根本改善沿线交通运输条件、完善与提升路网结构和服务功能水平的迫切要求。

#### 1.1 技术标准

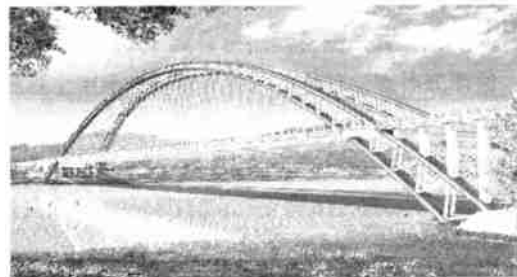


图 1 推荐方案主桥效果图

太平湖大桥技术标准如下: 双向四车道高速公路; 设计行车速度  $80\text{km/h}$ ; 设计荷载汽车-超 20 级, 挂车-120; 桥面宽度为  $0.5\text{m}$ (护栏)+ $11.0\text{m}$ (行车道)+ $0.5\text{m}$ (护栏)+ $0.5\text{m}$ (分隔带)+ $0.5\text{m}$ (护栏)+ $11.0\text{m}$ (行车道)+ $0.5\text{m}$ (护栏), 全宽  $24.5\text{m}$ ; 设计控制水位为 300 年一遇水位  $122.90\text{m}$ ; 最大纵坡  $1.082\%$ ; 横坡为双

收稿日期: 2004-02-23

作者简介: 孙敦华 (1965—), 男, 安徽怀远人, 高级工程师, 主要从事公路桥梁的设计和研究。

向坡 $\pm 2\%$ ;地震烈度 6 度。

## 1.2 桥位区自然地理条件

### (1) 地形、地貌、工程地质

桥位区两岸山峦起伏,植被较密,铜陵岸水位线以下受湖水侵蚀,基岩裸露,局部剥落。场地自上而下分别为淤泥、松散至中密砾砂、圆砾、松散含碎石亚粘土、志留系下统霞乡组的全风化粉砂质泥岩、强风化粉砂质泥岩、弱风化粉砂质泥岩、微风化粉砂质泥岩。区域地层稳定性良好,附近无活动断裂通过,桥址区工程地质条件简单,场地和地基稳定,适宜本工程的建设。

### (2) 气象、水文

桥位区属北亚热带季风过渡区,四季分明,全年气候温和湿润,雨量适中,湿度较大,日照充沛,无霜期长,季风气候显著。年季多年平均温度  $16.1^{\circ}\text{C}$ 。年气温 1 月份最低,平均  $3.3^{\circ}\text{C}$ ,7 月份最高,平均  $28.6^{\circ}\text{C}$ 。多年平均降水量为  $1\,384.7\text{mm}$ 。桥位区位于太平湖湖汊,两岸均为山丘,右侧为太平湖上游来水口,左侧为湖区,湖面开阔。桥位处湖床较低,水深较大,约  $25\sim 30\text{m}$ ,流速较小。太平湖属人工水库,

水位受人为控制,300 年一遇水位  $122.90\text{m}$ 。

## 2 总体设计

由于该桥所处地理位置特殊,桥位区处于安徽省二山一湖(黄山、九华山、太平湖)旅游风景区的核心部位——太平湖风景区。黄山已被世界旅游组织列为世界自然遗产,九华山为著名的佛教圣地,因此,桥型的选择必须结合景观、旅游、生态、环保的要求,本着安全、经济、适用、美观的原则,同时,考虑施工可行、工艺成熟的桥型做为该桥的推荐方案。桥位处最大水深  $25\text{m}$  以上,因此,水中基础的施工难度和工程造价都会相当巨大。结合桥位区自然条件和所处的特殊地理位置,推荐方案拟采用跨径  $300\text{m}$  的钢管混凝土中承式提篮拱桥,见图 2。整体式断面,一跨过湖,没有水中基础,引桥采用跨径  $20\text{m}$  简支连续空心板,桥跨布置为  $20\text{m}+300\text{m}+5\times 20\text{m}$ ,桥梁全长  $432\text{m}$ ;比较方案为尽量减少水中基础,拟采用主跨  $190\text{m}$  的三孔预应力混凝土连续刚构,分离式断面,2 个水中基础,跨径布置为  $115\text{m}+190\text{m}+115\text{m}$ ,全长  $432.0\text{m}$ 。

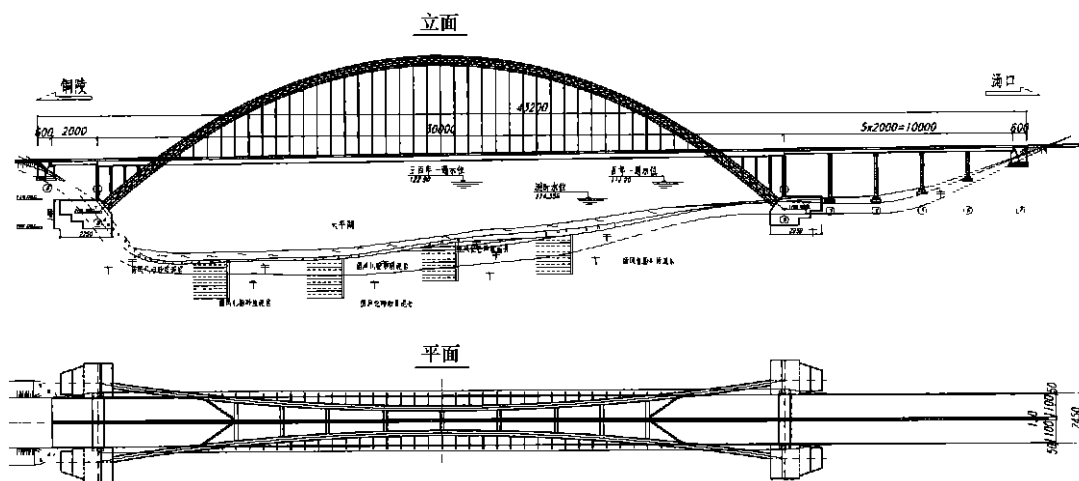


图 2 推荐方案桥型总体布置图

### 2.1 拱肋

主桥采用中承式钢管混凝土提篮拱桥,拱肋为空间悬链曲线,二侧主拱肋向桥轴中心线倾斜,倾角为  $80^{\circ}$ ,以增强结构自身的稳定性和抗震性能,同时也增加了美学效果。主拱肋断面的选取参考了目前国内已建成和在建的同类桥梁的资料,首先对四肢格构和六肢格构进行了比较,六肢格构断面较宽,增加桥面总宽度,且会给钢管的下料、施工带来很大的困难,因此,主拱肋最终选用四肢格构,由 4 根  $\phi 1\,000\text{mm}$  钢管混凝土构件组成,钢管为焊接无缝钢管,壁厚  $16\sim 20\text{mm}$ 。4 个钢管组成平行四边形断面,用腹杆、

缀板、缀条连接,使其成为钢管混凝土格构柱,主拱肋内压注 50 号混凝土;腹杆和横撑钢管内不灌混凝土。腹杆采用  $\phi 400\text{mm}$  的无缝钢管,平联缀条钢板厚  $12\text{mm}$ 。钢管材质均取 16Mn 钢。

在拱轴参数的选取时也参考了国内目前跨度  $200\text{m}$  以上的多座桥梁的成功经验,见表 1。确定主拱圈矢跨比为  $1/4$ ,拱轴系数为 1.33。主拱肋采用等高度 ( $H=4.5\text{m}$ )、等宽度 ( $B=2.5\text{m}$ ) 的平行四边形截面,见图 3。两主拱肋在跨中处水平净距  $9.5\text{m}$ ,拱脚处水平距离为  $38.047\text{m}$ ,拱肋间共设 9 道横撑,其中两边为 K 型横撑。

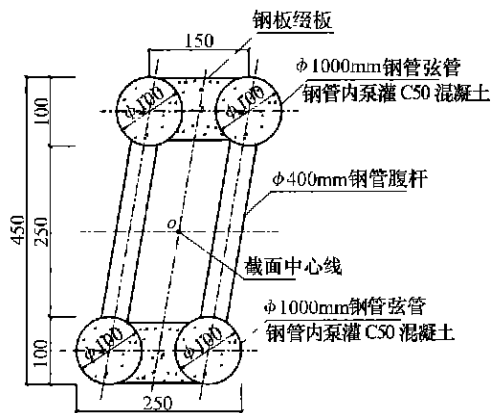


图 3 拱肋横断面

表 1 国内部分跨度大于 200m 的钢管混凝土拱桥矢跨比一览表

| 桥名           | 主跨径/m | 矢跨比    |
|--------------|-------|--------|
| 重庆市巫山县巫峡长江大桥 | 460   | 1/3.8  |
| 湖南南县茅草街大桥    | 368   | 1/5    |
| 广州丫髻沙珠江大桥    | 360   | 1/4.5  |
| 广西南宁永和大桥     | 338   | 1/5    |
| 浙江淳安南浦大桥     | 308   | 1/5.5  |
| 重庆奉节梅溪河大桥    | 288   | 1/5    |
| 湖北武汉汉江三桥     | 280   | 1/5    |
| 广西三岸邕江大桥     | 270   | 1/5    |
| 浙江三门健大桥      | 245   | 1/5    |
| 湖北武汉汉江五桥     | 240   | 1/5    |
| 浙江铜瓦门大桥      | 238   | 1/4.82 |
| 贵州水柏铁路北盘江大桥  | 236   | 1/4    |
| 连徐高速京杭运河大桥   | 235   | 1/4    |
| 重庆合川嘉陵江大桥    | 210   | 1/4    |
| 湖北秭归龙潭河大桥    | 208   | 1/4    |

## 2.2 横梁

吊杆处横梁为预制预应力混凝土箱形梁，全桥共有 5 类横梁。拱上立柱均为钢管混凝土横梁，倾斜设置，立柱外侧倾角与拱肋倾角一致。行车道板为预制钢筋混凝土槽型板，全桥共有 4 类槽型板和 2 类空心板。行车道板与横梁采用现浇混凝土浇筑成一体，形成漂浮梁格体系。

## 2.3 吊杆

吊杆选用工厂化制作的成品索，吊杆的选取考虑横梁和桥面系恒载以及控制活载（挂车的）作用，并取安全系数 3 倍以上，确定吊杆间距为 6m。吊杆直径为 90mm，由 163 根镀锌平行钢丝组成，采用可调式、可转动的 AMSDK 锚具。吊杆锚固在主拱肋的上缀板和横梁的下缘。

## 2.4 拱座

拱座采用分离的重力式拱座，片石混凝土和钢筋混凝土材料。

## 2.5 防腐

拱肋防腐经多方案比较论证，拟采用经济、实用，便于现场施工和后期维护的方案——有机环富锌涂料，分为 3 层，底层富锌涂料、中层环氧云铁、面层聚胺脂喷涂。

## 3 结构分析计算

对拟定的推荐方案主桥结构形式和尺寸，采用桥梁结构分析专用程序——桥梁博士和大型有限元空间程序，全空间模拟各施工阶段和成桥状态，建立模型，进行分析计算。计算结果表明，拱肋中各个部分的弯矩都很小，而轴力比较明显，体现了明显的拱的受力特征，拱顶最大变形为 21cm。主拱肋的尺寸和拱轴参数选取合理，钢管应力、管内混凝土应力及拱肋变形均满足规范要求，内力计算结果见表 2。

表 2 拱肋各控制断面内力

| 位置             | 拱脚    | L/8    | L/4    | 3L/8  | 拱顶    |
|----------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 施工过程 轴力 N/kN   | 94400 | 84800  | 78400  | 74480 | 73200 |
| 累计内力 弯矩 M/kN·m | 35618 | -30138 | -22000 | 8942  | 21790 |
| 升温 30℃ 轴力 N/kN | 525   | 491    | 534    | 562   | 569   |
| 内力 弯矩 M/kN·m   | 29904 | 12886  | 1647   | -4478 | -6185 |
| 活载内力 轴力 N/kN   | 8960  | 8240   | 7592   | 7200  | 7064  |
| 弯矩 M/kN·m      | 6596  | -3284  | -2670  | 1026  | 2415  |

采用中国工程建设标准化协会的《钢管混凝土结构设计施工规程》（CEES28: 90），主拱肋按双肢格构柱检算使用状态最不利组合下的承载力。检算结果表明，各截面的承载力均满足规范要求。表 3、表 4 分别为按荷载组合 I 和荷载组合 II 对主拱肋承载力的检算结果。

表 3 荷载组合 I 控制断面承载力检算

| 部位   | N      | M      | M/N     | $\varphi_e^*$ | $\varphi_e^* \varphi_l^*$ | $\varphi_e^* \varphi_l^* N_0$ |
|------|--------|--------|---------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| 拱脚   | 132115 | 54575  | 0.4131  | 0.8087        | 0.3855                    | 163658                        |
| L/8  | 118961 | -42802 | -0.3598 | 0.8629        | 0.4116                    | 174738                        |
| L/4  | 109944 | -41726 | -0.3795 | 0.8355        | 0.3985                    | 169177                        |
| 3L/8 | 104429 | 12775  | 0.1223  | 0.9108        | 0.4344                    | 184418                        |
| L/2  | 102616 | 31006  | 0.3022  | 0.8183        | 0.3903                    | 165696                        |

表 4 荷载组合 II 控制断面承载力检算

| 部位   | N      | M      | M/N     | $\varphi_e^*$ | $\varphi_e^* \varphi_l^*$ | $\varphi_e^* \varphi_l^* N_0$ |
|------|--------|--------|---------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| 拱脚   | 121945 | 89017  | 0.7300  | 0.8208        | 0.5398                    | 229163                        |
| L/8  | 109829 | -22542 | -0.2052 | 0.9179        | 0.5628                    | 238928                        |
| L/4  | 101610 | -36154 | -0.3558 | 0.8389        | 0.4669                    | 198215                        |
| 3L/8 | 96582  | 5906   | 0.0612  | 0.9596        | 0.4735                    | 201017                        |
| L/2  | 94928  | 20423  | 0.2152  | 0.8548        | 0.4029                    | 171045                        |

线弹性分析结果表明，该桥的 1 阶失稳模态为拱

肋面外 S 形失稳, 稳定系数 4.66, 稳定性能符合要求。由于拱肋设计为提篮式, 给成桥的稳定带来了很大的帮助。

另外, 根据以上的计算结果, 对拱座和基岩采用了岩土力学专用空间程序——3D-σ 联合建立三维数值模型, 分析计算拱座与基岩的共同作用, 从分析的结果来看, 拱座和基岩的应力及变形、基础承载力都满足规范的要求。

#### 4 施工方案

拱座采用明开挖施工, 分层浇筑混凝土, 采取必要的措施减小水化热对混凝土的影响。钢管拱肋制作场地要求夯实、平整, 浇筑混凝土。钢管拱肋台座按分段坐标放 1:1 大样, 各杆件在台座上组拼, 焊接成型。主拱肋钢管采用无缝钢管或由钢板卷制而成, 严格控制焊接质量。

拱肋吊装采用悬拼扣挂施工。拱肋制作完毕后, 首先在制作场地进行预拼, 试拼合格后, 才能进行吊装。拱肋吊装前应安装好拱脚临时铰, 悬拼过程中允许拱肋绕铰转动。每吊装一个节段除安装好横撑及临时横撑外还要设置横向浪风索。以利于调整拱轴线和保证横向稳定。两节段接头端面先用螺栓对接。安装合拢段前应预先通过扣索调整拱肋竖向位置, 通过横向浪风索调整拱肋横向位置, 然后再安装拱顶合拢段。两条拱肋全部合拢后, 再全面校核一次拱轴线坐标, 并调整到误差容许范围内。再对焊主拱钢管、烧

掉螺栓, 用加劲钢板补焊拱肋钢管接头, 以保证受力连续, 再用钢管焊接封死拱脚临时铰浇注拱座预留槽口 50 号混凝土, 形成无铰钢管桁架拱, 待拱脚混凝土达到强度后拆除扣索; 泵送压注填充管内 50 号微膨胀混凝土。

#### 5 方案比较

初步设计对推荐方案和比较方案就概算、施工难易度和景观效果及环保等多方面进行了详尽比较, 推荐方案建安费 9 481.24 万元, 经济指标 21.95 万元/m; 比较方案建安费 11 228.99 万元, 经济指标 25.99 万元/m; 推荐方案桥型美观, 上部施工较复杂, 下部施工简单, 水中无基础, 施工时不影响太湖水质, 有利于环保, 造价较低。比较方案桥型一般, 上部施工略简便, 下部施工较复杂, 造价较高。综合以上各方面因素, 确定将中承式钢管混凝土提篮拱桥作为推荐方案。

#### 参考文献:

- [1] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动 (第二版) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996
- [2] 范立础. 桥梁工程 (下册 第二版) [M]. 北京: 人民交通出版社, 1996
- [3] 项海帆. 拱结构的振动与稳定 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1990
- [4] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥实例集 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002