

Tongling Changjiang Gonglu Daqiao
Sheji Shigong Jishu Zongjie

铜陵长江公路大桥 设计施工技术总结

湖南省公路桥梁建设总公司 汇编

人民交通出版社

铜陵长江公路大桥设计施工技术总结

湖南省公路桥梁建设总公司

正文设计： 责任校对：刘高彤 责任印制：

人民交通出版社发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010—64216602)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本：16 开 印张： 字数：375 千

2000 年 3 月 第 1 版

2000 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数：0001 ~ 2200 册 定价：48.00 元

ISBN 7-114- -

内 容 提 要

本书以总结经验、交流技术为宗旨,收集铜陵长江公路大桥建设方面的论文 37 篇,工艺照片 47 幅,重点反映了铜陵长江公路大桥在设计、施工、监理、控制等方面的先进理论、经验和施工工艺,希望通过交流达到共同提高,为我国的桥梁建设事业添砖加瓦。

本书可供从事公路桥梁建设的设计、施工、监理人员学习参考。

《铜陵长江公路大桥设计施工技术总结》

编写委员会 (按姓氏笔画排序)

主任委员:陈明宪

副主任委员:方联明 石 涛 杨镇华 陈志兵 沈新华
张 宁 涂 萍 姜志达 贾哲奎 盛 希
潘 栗

编委:王巧良 田启军 刘华平 刘玉兰 陈定平
陆尚武 李 健 杨晓玲 杨双武 唐宜波
郭建安 盛红专 曹却非 彭力军 谭星旭

(按姓氏笔画排序)

前 言

近十年来,随着我国经济建设的高速发展,交通事业也取得了辉煌的成就。截至 1999 年底,高速公路总里程已超过 11 000km,跨越大江大河海湾的长大桥梁如雨后春笋般在全国各地先后修建,种类繁多,风格各异。其中主要以钢筋混凝土斜拉桥和悬索桥为代表,已建成的悬索桥有西陵长江大桥、虎门大桥、江阴长江公路大桥等;公路斜拉桥主跨在 400m 以上的有 7 座,重庆二桥(主跨 440m)、铜陵长江公路大桥(主跨 432m)、上海南浦大桥(主跨 423m)等均已建成,南京长江二桥(主跨 628m)也即将竣工。这些成就的取得,标志着我国公路大跨径悬索桥、斜拉桥施工技术已处于世界领先水平。

主跨跨径居世界同类型桥梁第三位的铜陵长江公路大桥,是国家“八·五”重点工程,系预应力混凝土双塔双索面斜拉桥。此桥于 1991 年 12 月开工,1995 年 12 月竣工通车,比计划工期提前一年完工,它是同类桥梁中惟一一座没有超过国家预算的特大工程。该桥由交通部公路规划设计院设计,交通部第一公路勘察设计院监理,湖南省公路桥梁建设总公司施工。

铜陵长江公路大桥是科技与智慧的结晶,在设计施工过程中,建设人员大胆创新,勇于开拓,采用了钢围堰与桩基共同组成永久受力结构等一系列国际国内领先的设计技术;灵活运用裸塔法爬模技术等先进的施工工艺;研制应用了 8m 大节距自行式前支点挂篮等先进的施工设备,并获国家专利;降低了工程造价,节约了投资,并在多座大跨径斜拉桥的设计施工上推广应用,取得了良好的社会效益。

我们本着总结经验、交流技术的宗旨,共收集建设过程中论文 37 篇,重点反映了铜陵长江公路大桥在设计、施工、监理、管理等方面的先进技术和经验,希望通过交流达到共同提高,为我国的桥梁建设事业作出更大贡献。

本书编撰过程中因时间仓促,有些论文的采用或修改未能及时与作者本人联系,在此希望论文作者予以谅解。同时,因编者水平有限,难免有不当之处,恳请各位同仁批评指正。

此次由湖南省公路桥梁建设总公司主持的论文编写工作得到了交通部公路规划设计院、交通部第一公路勘察设计院、铜陵大桥管理局等单位的大力协作,论文作者和人民交通出版社也鼎力支持,谨致谢意。

本书编委会

二〇〇〇年三月十日

目 录

一、设 计

铜陵长江公路大桥主桥设计	杨高中、李毅谦、杨征宇、吴洪峰、周军生 (3)
铜陵长江公路大桥主墩钢围堰锚碇系统的设计与计算	陈明宪、彭力军、王巧良 (15)
在铜陵修建大跨径预应力混凝土斜拉桥的探讨	应国耀 (27)
用类比法确定钻孔灌注桩基础桩壁极限摩阻力	汪高社 (31)
多层弹性地基中桩基础的设计计算	汪克来 (37)
铜陵长江公路大桥桥面连续多跨简支梁墩顶水平力的计算	汪克来、彭本达 (40)

二、施 工

铜陵长江公路大桥深水基础施工新特点	陈明宪、郑夏初、涂 萍、盛 希、刘德成、方联民、吴湘明 (55)
斜拉桥的施工	陈明宪、彭力军 (62)
铜陵长江公路大桥主墩围堰的锚碇系统	王国民、杨晓玲 (68)
双壁钢围堰预制拼装新方法	盛红专、陈明宪、向海清、袁洪、易绍平 (73)
大型双壁钢围堰的施工与质量控制	胡崇武 (77)
铜陵长江公路大桥四号墩钢围堰内深水下基岩开挖中的钻孔控制爆破	刘德成、方联民、王云贵、高征铨、陈福盛、王鸿渠 (81)
大直径桩钻孔与 K PY—4000 型全液压钻机的研制	张久初、陈明宪、刘小冬、张 宁、李智仁、邵明达 (87)
德国产 PBA 21—3000—300 全液压动力头式钻机与国产 K PY—4000 全液压转盘式钻机的使用比较	刘小冬、杨豫湘 (91)
铜陵长江公路大桥试桩工程与桩壁摩阻力取值	郭建安、陈明宪、杨高中、卢成静、马 晔、曹 刚 (93)
铜陵长江公路大桥主墩大直径钻孔桩基础施工	朱方荣、陈定平、刘华平 (109)
50m ³ /h 水上混凝土搅拌站的研制与使用	丁名驹、陈明宪、刘德成、杨镇华 (116)
特大型深水基础工程施工监理	胡崇武 (123)
铜陵长江公路大桥施工新工艺	陈明宪、涂 萍、盛 希、陈定平、王巧良 (127)
铜陵长江公路大桥索塔爬模及大节距全断面整体浇筑 自行式前支点挂篮简介	陈明宪、涂 萍、盛 希、王巧良 (135)
铜陵长江公路大桥斜拉桥板梁的施工控制	刘玉兰、陈明宪、卢成静、何振山、李哲民 (138)
铜陵长江公路大桥斜拉索安装角度的修正计算	汪克来 (143)

铜陵长江公路大桥主塔施工质量控制 崔 冰、刘玉兰、钱 敬、龚汉甫(146)

铜陵长江公路大桥主桥施工过程控制..... 牛 宏(151)

铜陵长江公路大桥 30m 预应力 T 梁弯桥架设工艺
..... 陈定平、曹却非、张九初、孙 伟、陈明宪(155)

铜陵长江公路大桥北岸河滩 50m 预应力 T 梁高架台座现场预制施工介绍
..... 陈定平、盛红专、杨双武、刘尤辉、刘德成、陈明宪(158)

铜陵长江公路大桥斜拉桥 1 152m 七孔连续主梁的合拢及施工工艺转换
..... 彭力军、陈明宪、涂 萍、颜东煌(162)

铜陵长江公路大桥南岸 50m 预应力 T 梁预制安装新工艺
..... 曹却非、杨晓玲、杨豫湘、欧阳琼、向海清(172)

桥梁铺装水泥混凝土路面的设计与施工 杨晓玲、陈定平、田启军、谭星旭(177)

三、结 构 分 析

铜陵长江公路大桥桥面结构有效分布宽度的试验研究..... 程翔云(189)

斜拉桥柔性索索形方程分析及拉索套管修正角计算..... 彭力军、陈明宪、颜东煌(196)

铜陵长江公路大桥施工控制中的仿真计算 颜东煌、崔冰、彭力军、陈明宪(208)

大跨桥梁几何非线性试验与分析 李立峰、邵旭东(216)

用比拟正交异性板法计算桥梁荷载横向分布影响线的程序算法
..... 刘玉兰、颜东煌、彭力军(222)

铜陵长江公路大桥桩基础参数的研究..... 王国民(230)

铜陵长江公路大桥斜拉桥施工控制中的温度影响..... 王社伏、黄 勇、刘效尧(235)

铜陵长江公路大桥圆形钢围堰沉井及桥墩的局部冲刷分析..... 汪克来(240)

一、设计

铜陵长江公路大桥主桥设计

北京建达道桥咨询公司 杨高中 李毅谦 杨征宇 吴洪峰 周军生

铜陵长江公路大桥位于安徽省铜陵市西南约 10km 处,它作为安徽省南北公路上跨越长江的重要桥梁,也是安徽省的第一座长江公路大桥,对发展安徽省的经济起着重要的作用。

一、设计标准

荷载:设计荷载 汽车-超 20 级
验算荷载 挂车- 120
人群荷载 3.5kN/m^2

桥面宽度: 2.5m (人行道)+ 15m (行车道)+ 2.5m (人行道),总宽 20m。

设计风速:按百年一遇、10m 高、10m in 平均最大风速 28m/s 。

洪水频率: 300 年一遇,水位 15.362m。

最高通航水位:14.262m

通航净空:下行航道通航净宽不小于 210m,上行航道通航净宽不小于 182m;高 24m。

船撞力:主墩顺水流方向 27 500kN,
横水流方向 9 000kN。

地震:按 7 度设防。

二、桥型选择和桥孔布置

(一)桥型

根据本桥地质、水文及通航要求,只有斜拉桥和连续刚构两种桥型可供选用,基于下述原因最后由交通部公路司张之强司长决定修建 432m 的双塔双索面斜拉桥。

1. 经济:由于基岩强度只有 5 ~ 8M Pa,属极软岩,且覆盖层厚度最大为 35m,最大水深 44.34m,最大流速 3.5m/s ,如采用(138+ 3× 250+ 138)m 的 5 跨连续刚构,有 4 个深水主墩,其造价反而比(80+ 90+ 190+ 432+ 190+ 90+ 80)m 的 7 跨混凝土斜拉桥高。

2. 工期:5 跨连续刚构的施工期要比 7 跨斜拉桥长 6 个月。

3. 防撞:5 跨连续刚构船撞的几率高,主墩为柔性墩,防撞能力差,而本桥要求顺水流方向船撞力为 27 500kN,最高、最低通航水位差达 10m 以上,主墩的防撞不仅投资大,且影响美观。大跨连续刚构比较适用于船舶通航吨位大、但最高最低通航水位差不大,或者船舶通航吨位小的河流,故本桥不宜采用连续刚构。

4. 桥梁总长:连续刚构的建筑高度要比斜拉桥高 11m,从而桥梁总长要增加 720m 左右。

5. 美观:斜拉桥比较美观,得到了铜陵全体市民的一致赞同。

该桥已通车三年,同时设计修建的黄石大桥其全桥总长、主桥长、河面宽度、桥宽均与本桥相同,而本桥水深较大,基岩强度低 90% ,跨径大 1.76 倍,造价本应高于黄石大桥,由于部领导的正确决策,决定采用 432m 的斜拉桥,同时又采用了众多的新技术,最终决算成本比黄石大桥低 5 000 万元,且工期提前 6 个月完成。

(二)桥孔布置

- 1. 主跨:我们对主跨进行了 400m、432m、460m 三种跨径的比选,结果以 432m 最经济。
- 2. 边跨:为了减少主墩悬臂施工的风险性,将边跨定为 190m,边主跨比为 0.440,而 3、6 号墩采用悬臂浇筑施工长 28m,则 4、5 号墩悬臂浇筑长 158.2m 就可将边跨合拢,确保了施工期间风载的安全性。施工实践中测得,在最大悬臂时,在常风下悬臂端竖向振幅已达 $\pm 7\text{cm}$,这对于肋板式截面,可能已是在不考虑抗风措施条件下的最大悬臂长度。
- 3. 次边跨:通航部门要求大、中、小船分流以策安全,要求增设两孔跨径不小于 80m 的次边跨,通行中、小船只。

基于上述原因,最后布孔确定为(80+ 90+ 190+ 432+ 190+ 90+ 80)m 的 7 孔一联、总长为 1 152m 的双塔双索面斜拉桥,也是当前混凝土斜拉桥连续总长的最长者。同时 1 152m 的主桥除了 80m 的次边跨在浅水区有长 17.5m 的梁段需采用落地支架现浇外,其余主梁均采用悬浇施工,见图 1~图 12。

图 1 铜陵长江公路大桥桥型布置 (尺寸单位:cm)

三、下部构造

(一)工程地质

铜陵长江大桥桥位处覆盖层厚度最大达 35m,其厚度由江北至江南逐渐变薄,直至基岩裸露。覆盖层上部为深灰色粉细砂层,偶夹淤泥或中粗砂,下部为砂卵石层。

河床部位基岩为粘土质粉砂岩与砂砾岩互层,靠近铜陵岸下有巨厚层粘土质粉砂岩,均属极软岩,极限抗压强度 5~8M Pa。

4 号墩钢围堰地面标高为 -20.24~-24.52m,覆盖层厚 11.9~17.7m,最大冲刷 10m,无强风化岩层。

5 号墩钢围堰地面标高为 -28.22~-28.98m,覆盖层厚 1.5~2.5m,肯定冲掉,强风化岩层厚 4.4~6.61m。

河床中部有断裂带。

(二)构造

1.斜拉桥主墩——4、5号墩

采用灌注桩与钢围堰相结合的组合基础。

图 2 主墩(4、5号墩)构造图 (尺寸单位:cm)

图 3 3号墩构造图 (尺寸单位:cm,高程单位:m)

钢围堰直径 31m ,井壁厚 1.5m (内浇筑水下混凝土)。围堰高 4 号墩为 54.6m ,5 号墩为 49.6m ,其上部 15.8m 在塔柱完成后切除。围堰沉至岩面后封底,封底厚8m 。围堰既作为围水结构,又作为桩的施工平台。

每墩有 19 根直径 2.8m 钻孔灌注桩,其护筒直径 3.1m 。承台圆形,厚 4m 。主墩的构造见图 2。

2.3、6 号墩

也采用灌注桩与钢围堰相结合的组合基础。

(1)3 号墩基础

钢围堰直径 24.8m，井壁厚 1.4m。围堰高 49.1m，其上部 15.3m 在墩身完成后切除。封底厚 6.6m。

图 4 6 号墩构造(尺寸单位:cm,高程单位:m)

10 根钻孔灌注桩直径 2.8m，护筒直径 3.2m，承台厚 3.5m。

(2)6 号墩基础

钢围堰直径 20.4m，井壁厚 1.2m。围堰高 33.7m，其上部 14.3m 在墩身完成后切除。封底厚 4m。

6 根钻孔灌注桩直径 2.8m，护筒直径 3.2m。承台厚 3m。

(3)墩身

高 39.05m，顺桥向宽 5m，横桥向宽 12m，为带半圆头的四室箱截面，壁厚 80cm。墩身最上部的 3.5m 为实体钢筋混凝土，由 12m 线形放宽至 20.9m。

3.2、7 号墩

采用 2 根变截面灌注桩，上部直径 4m，下部直径 2.8m。墩身为 2 根直径 4m 的空心柱，壁厚 50cm，顶部为高 2.5m 的横系梁。

2 号墩施工中平台水毁，不得不改用钢围堰围水钻孔桩。钢围堰直径 20.4m，井壁厚 1.2m。围堰高 44m，不封底，堰内填砂。围堰仅用于施工，不参与受力。

4.1、8 号墩

采用排架墩，用 2 根直径 2.8m 的灌注桩、柱，上设盖梁。

(三)设计特点

1. 采用组合式承台

由于本桥主墩承台底面距最高通航水位高 21.562m，距 4 号墩封底混凝土底面高为 55.862m，封底混凝土顶面距承台底面高 26.30m。如按常规高桩承台设计，19 根桩每桩在封底混凝土底面由 27 500kN 船撞力产生很大的弯矩，其值为 $27\ 500 \times 19 \times 26.3 = 38\ 070\text{kN} \cdot \text{m}$ ，势必要增加桩数和增大桩的直径。本文第一作者发现钢围堰的抗弯刚度很大，如果将承台

图 5 3、6 号墩墩身 (尺寸单位:cm)

与钢围堰铰接,由承台钢围堰与封底混凝土组成一个箱型刚性承台,从而将桩基的受力由高桩承台改变为低桩承台,从而大大降低了桩身弯矩,承台、钢围堰与封底混凝土之间的强度经用空间分析,在采取一定结构的措施后能保证其整体受力要求。其不同受力图式见图 7。

(1)承台与钢围堰不连接的受力分析

按图 7a),由于承台与钢围堰没有连接,因此由 Q 在每根桩顶产生的水平力 q 及封底混凝土顶面产生的弯矩为:

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{27\,500}{19} = 1\,447.37\text{kN}$$
$$m = qH_i = 1\,447.37 \times 26.30 = 38\,070\text{kN} \cdot \text{cm}$$

(2)承台与钢围堰铰接后的受力分析

按图 7b),由于承台与钢围堰铰接,由 Q 传到钢围堰及桩顶的水平力按抗推刚度分配为

图 6 2、7 号墩构造 (尺寸单位: cm)

图 7 不同受力图式
a) 承台与钢围堰不连接的受力图式; b) 承台与钢围堰铰接后的受力图式

$$q_1 = \frac{Q}{T_1 + nt} T_1 \quad q_2 = \frac{Q}{T_1 + nt} t$$

式中： T_1 ——为钢围堰抗推刚度；

t ——为一根桩的抗推刚度，由于 $T_1 \gg nt$ ，所以 $q_1 \approx q_2$ ，由此由 Q 在桩底混凝土顶面的桩身上产生的弯矩 $m_2 \rightarrow 0$ 。也就是说在钢围堰内的桩身仅传递竖向力，而不传递水平力和弯矩。

2. 桩基的极限摩阻力由试桩决定(见参考文献 1、2)

由于桩基埋置在极软岩中，因而按摩擦桩设计。钻探资料提供的桩壁岩层极限摩阻力仅有 80kN/m^2 ，明显偏小。为了使设计时取用的极限摩阻力符合实际，决定作试桩。

试桩 2 根，分别位于南引道桥 19 号墩和主桥 8 号墩。试桩直径 1m，采用和主墩施工相同的旋转钻机钻进，实测钻孔直径 1.02m。桩长 19 号墩试桩 13.8m，实际有效长度 10.8m；8 号墩试桩 18.8m，实际有效长度 14.7m。

两根试桩加载至：19 号墩桩 20 091kN，8 号墩桩 21 849kN，创当时试桩加载的记录，但受反力梁和锚桩出现裂缝的限制，未能再进一步加载至破坏。最终沉降量：19 号墩桩 4.9mm，8 号墩桩 8.5mm。桩底反力极小，桩壁摩阻力还未充分发挥。荷载和摩阻力基本为直线关系。分析结果，红色粉质细砂岩极限摩阻力取 $322 \sim 487\text{kN/m}^2$ ，砾岩取 $218 \sim 386\text{kN/m}^2$ ，中粗砂砾岩取 $181 \sim 251\text{kN/m}^2$ 。

根据试桩结果，在 4、5 号主墩桩基设计中，极限摩阻力采用 340kN/m^2 ，桩长分别减少了 10m 和 12m，其他各墩及引桥桩长也相应缩短，桩混凝土共减少 $6\,500\text{m}^3$ ，降低了钻孔难度，加快了工期，节省了造价，取得了十分显著的经济效益。

四、塔

基本为 H 形塔，总高 153.03m，桥面以上塔高 105.5m，高跨比 0.244。下塔柱横桥向底宽 20.4m，逐步向上放宽，至中、下塔柱交界的下横梁处，即放置梁处最宽，为 33m。

中塔柱向上略收窄，至上横梁处宽 26m，垂直至塔顶。顺桥向下塔柱底宽 13m，逐步缩小至 7m，直至塔顶。

塔截面呈八角形，在下塔柱中部以下，为四室箱截面，外壁厚 1m，内壁厚 50cm。下塔柱中部以上均为单室箱截面，外壁厚 1m。

索塔采用了环向预应力束来平衡索力产生的弯矩，为了方便施工，塔柱内设劲性骨架。

五、上部构造

主桥为 7 孔连续的斜拉桥，索距 8m，在设计上有下列几个特点：

(一) 结构体系

为塔墩固结、连续梁加斜拉索的结构体系，各墩都设有盆式支座。

所以采用这种体系，如上所述，是由于避免在平衡悬臂施工时采取附加抗风措施，避免在河床中部搭设落地支架，而且斜拉索已伸至 90m 跨内，在这种情况下，已不宜采用漂浮体系。

(二) 斜拉桥部分主梁采用轻型肋板截面

从 80 年代中开始，混凝土斜拉桥已发展至第三代即轻型斜拉桥时代，其特征即是采用肋板式轻型开口截面。

铜陵长江公路大桥斜拉桥主梁采用肋板式截面，边实心梁高 2m，顶宽 1.5m，底宽 1.7m，

图 8 塔 (尺寸单位:cm)

图 9 肋板式截面 (尺寸单位:cm)

全宽 23m，板厚 32cm。高跨比为 1/194。梁上索距 8m，每节段设一横梁。

3、6 号墩由于悬臂施工每侧 28m 的需要，根部肋板式截面边梁高度增大至 3.5m。河侧悬臂 28m 处，高度降至标准节段的 2m；岸侧悬臂 28m 处，高度降至 2.5m，并带底板，以便与 2、7 号墩悬臂施工的箱梁连接。

(三)存在梁截面由肋板式向箱形过渡的梁段

80m 跨和 90m 跨的大部分梁采用箱形截面，这是为了更好地适应 2、7 号墩梁悬臂施工的需要，也可以减小墩宽。箱梁顶宽 20m，底宽 10.5m，为单室箱。箱高根部 6m，岸侧 2m。在箱高较小的部分，为防止箱梁畸变，增加中腹板，形成双室箱，但中腹板下不设支座，同时为了不让中腹板承受剪力，在顺桥向一定长度设断缝。