



茅草街大桥总体设计

胡建华 李瑜

茅草街大桥是湖南省省道1831线跨越洞庭湖区淤澧洪道、藕池河西支、南茅运河及沱江的一座特大型公路桥梁，包括跨淤澧拱道、南汉垸高架藕池河桥、南汉垸匝道桥、南茅运河桥、长春花江桥及接线，其中桥梁总长2848.64m，茅草街大桥桥位平面图见图1：

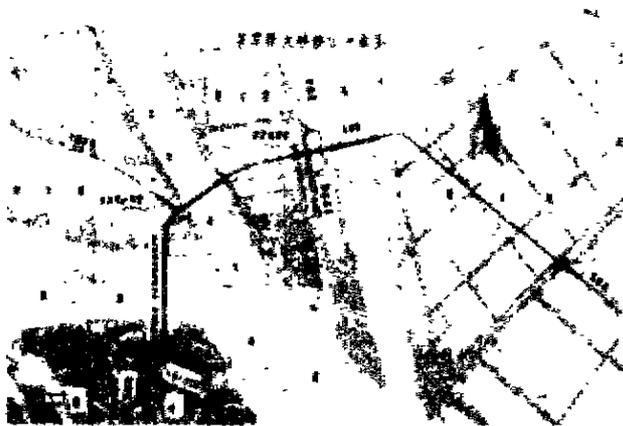


图1

1. 技术标准

荷载等级：汽车—20级，挂车—100，人群荷载 3.5KN/m^2

桥面宽度 跨淤澧洪道、南汉垸高架及藕池河桥、南茅运河桥桥面宽度为16m（ $2 \times 0.5\text{m}$ 防撞护栏+净15m），长春桥桥面宽度为13m（ $2 \times 0.5\text{m}$ 防撞护栏+净12m），南汉垸匝道桥桥面宽度为8m（ $2 \times 0.5\text{m}$ 防撞护栏+净7m）。

设计洪水频率：1%

胡建华、李瑜：湖南省交通规划勘察设计院高工

通航等级：除淤澧洪道为IV-（1）级，其余藕池河西支、沱江及南茅运河均为VII-（3）级。

地震烈度：6度，按7度设防桥位自然条件

地形地貌：桥位处地势南高北低，南咀为剥蚀准平原微丘地形，山顶高程界于 $50.00\text{m} \sim 60.00\text{m}$ ，为大片桔园。南咀以北为河湖冲积沉积平原，地势平坦，分别是土堤围成的南汉垸、育乐垸、大通大垸，高程一般在 $28.50\text{m} \sim 30.00\text{m}$ ，堤顶高程界于 $36.00\text{m} \sim 37.20\text{m}$ 。淤澧洪道桥址处河宽约760m，河床高程界于 $12.50\text{m} \sim 32.30\text{m}$ 之间，主航道位于河床中央偏右岸，左岸为滩地。藕池河曲支河宽约470m，主航道位于右侧，左侧为芦苇滩地，河床高程界于 $25.00\text{m} \sim 30.00\text{m}$ 之间。沱江河宽约450m，主航道位于右侧，河中央及左侧为芦苇荡，河床高程在 $27.30\text{m} \sim 29.50\text{m}$ 之间，较平坦。南茅运河宽约78m，河底高程约为 23.50m 。

气象：本区域属中亚热带大陆性季风湿润气候，年平均气温 16.9°C ，最低月平均气温 4.4°C ，最高月平均气温 29.1°C ，历年最高气温 39.20°C ，历年最低气温 -10°C ，年平均降雨量 1202mm ，多年平均降雨日数136.3天，年平均日照 1756.81 小时，年平均雾天23天，年平均降雪10天，最大积雪厚度 21cm 。常年主导风向为北风，夏季主导风向为东南风，平均风速 2.5m/s ，基本风压



500Pa。

水文：区域内诸河流汛期水位高，每年汛期超越防汛水位的机率高达89.2%，持续时间长，一般在6~9月，历年最长持续了150天。淞澧洪道系淞澧河与澧水合流后泄洪的主要河道，洪水经沅江赤山咀入赤磊洪道注入东洞庭湖。经过计算水文站桥位淞澧洪道桥桥址处设计水位节36.13m，设计流量17900m³/s，设计流速2.07m/s，属常年通航河流，通航水位采用1996年最高水位35.78m；藕池河西支属藕池河系，从藕池河口下游康家岗入口，在下柴市有藕池中支汇入，经厂窖入赤磊洪道，属季节性河流，经计算桥位处设计水位36.13m，设计流量4072m³/s，设计流速1.06m/s，通航水位35.78m；沱江为藕池河系东支流，在南县县城下游约2.5km的鱼尾洲处与藕池河分流，流经三仙湖至茅草街镇入赤磊洪道，最后注入东洞庭湖，该河属季节性河流，每年只有6~8月份涨水时才能通航，10月至翌年4月份基本断流，经计算桥位处设计水位36.13m，设计流量3532m³/s，设计流速1.20m/s，通航水位35.78m；南茅运河通航水位采用茅草街船闸最高通航水位28.42m。

地震：根据湖南省防震减灾工程研究中心“益阳市茅草街大桥地震安全性评价研究报告”所提供的地震危险性概率分析结果，50年超越概率10%及2%的地震烈度值分别为6.2度及6.8度，100年超越概率10%及2%的地震烈度值分别为6.5度及7.1度。本项目属国家重大建设工程，应按50年超越概率2%进行抗震设计，故茅草街大桥按地震烈度Ⅶ度和相应的地震动参数进行抗震设防。

地质：区域地质图上显示，桥位区域内无大的隐伏断裂通过，区域地质稳定性较好，桥位处的地质构造主要为第四系更新统地层（主要分布

在南咀岸）和第四系全新统冲积湖积地层。桥位区覆盖层巨厚，其上部为淤泥质粘土及砂层等承载力较低的地层，下部为硬塑~半坚硬粘土、亚砂土及砂卵石等承载力较高的地层。下卧基岩为泥岩与砂岩互层，成岩较差，节理不发育。其中强风化层厚5.2~17.7m，岩石较软；弱风化层岩质较硬，岩石较完整，桥位区基岩埋深变化大，上部力学性质较好的硬塑~半坚硬粘土、亚砂土及砂卵石等厚度为9.6~34.0m，河床部分基岩埋深34.8~49.8m。

2. 结构设计

2.1 桥型总体布置

由于桥位处于淞澧洪道卡口处，防洪考虑尤为重要。根据湖南省政府现场办公会议精神和长江水利委员会的批复要求，在淞澧洪道主河槽内主孔孔径应不少于350m，两岸滩地尽量采用大跨度。在保证有利于泄洪的前提条件下，遵循“适用、经济、安全、美观”的原则，综合考虑桥位处自然条件、抗洪防洪要求、桥型美观、技术先进等因素，根据目前我国桥梁建设的条件，最后选择了技术经济指标较好、桥型新颖美观的中承式钢管混凝土系杆拱和斜拉桥方案作为淞澧洪道主桥初步设计最终比较方案。初步设计评审委员会认为：两种桥型方案各有特点，在技术上都是可行的，从施工难易程度、对水文影响等方面而言，斜拉桥方案具有优点，但从节省工程造价、缩短工期、技术的先进以及结构新颖等方面而言，拱桥方案具有较突出的优点，最后省交通厅批复中承式钢管混凝土系杆拱桥方案作为施工图设计方案。

桥型总体布置：跨淞澧洪道、南汉垸高架及藕池河桥为4×45m（预应力砼简支T梁）+80m+368m+80m（中承式钢管砼系杆拱桥）+6×45m（预应力砼简支T梁）+6×19.6m+30m+10

×19.6m (预应力砼现浇连续箱梁) + 14×45m (预应力砼简支T梁), 桥长1961.20m; 南汉坑匝道桥为15.6m异型块+12×16m (预应力砼空心板), 桥长209.84m; 南茅运河桥采用5×25m预应力砼简支T梁, 桥梁长度为131.12m; 长春沱江桥采用18×30m预应力砼简支T梁, 桥梁长度为546.48m, 茅草街大桥推荐方案桥梁总长为出2848.64m。

2.2 结构设计

跨澧澧洪道主桥设计为80m+368m+80m三跨连续自锚中承式钢管混凝土拱桥, 边跨、主跨拱脚均固结于拱座, 边跨曲梁与边墩之间设置轴向活动盆式支座, 在两边跨端部之间设置钢绞线系杆, 通过边拱拱肋平衡杆拱拱肋所产生的水平推力, 主桥桥型总体布置见图2; 主跨采用中承式双肋悬链线无绞拱, 计算跨径356.0m, 计算矢高71.2m, 矢跨比 $1/5$, 拱轴系数 $m=1.543$, 每片拱肋由4根 $\Phi 1000 \times 18\text{mm}$ 的Q345C钢管组成 (其中在拱脚附近钢管壁厚加厚至28mm), 内灌C50砼作为弦杆, 上弦和下弦横向两根钢管之间在拱脚至桥面处用缀板 (厚=14mm) 联接, 在其余位置用650×10mm平联钢管联接 (其中吊杆处平联钢管采用650×16mm), 在缀板内及吊

杆处平联管内灌注C50砼, 上、下弦之间用550×10mm钢管作为腹杆, 组成桁式拱肋。拱肋为等宽变高度截面, 宽3.2m, 高度在拱脚为8.0m, 在拱顶为4.0m。两肋中心距为19.3m, 共设6组“米”字横撑和6组“K”字横撑, 由上、下弦700×14mm (直撑) 和600×14mm (斜撑) 及腹杆299×8mm组成。

边跨采用上承式双肋悬链线半拱, 计算跨径74.0m, 计算矢高为17.412m, 矢跨比为 $1/8.5$, 拱轴系数 $m=1.543$ 。每片拱肋由宽3.2m, 高6.0m渐变至4.0m的C50钢筋混凝土箱梁组成, 两肋间设有一组“K”字和一组“米”字钢管桁架式横撑, 它们与同边拱端部固结的预应力混凝土端横梁一起, 组成一个稳定的空间梁系结构, 边拱拱肋与主拱拱肋轴线处于同一直线上, 便于传递水平力。

吊杆及立柱标准间距为8.0m, 吊杆采用6L Φ S7镀锌高强低松弛钢丝束, $R_{ty}=1670\text{MPa}$, PE防护, 冷铸墩头锚, 立柱采用D800mm钢管砼圆柱。吊杆及立柱横梁采用钢横梁, 梁长22.5m, 计算跨径19.3m, 梁高134~150cm, 上翼板宽80cm, 每片梁重约为11~15t, 桥面板采用预制钢筋混凝土型梁, 预制板全高40cm, 肋宽

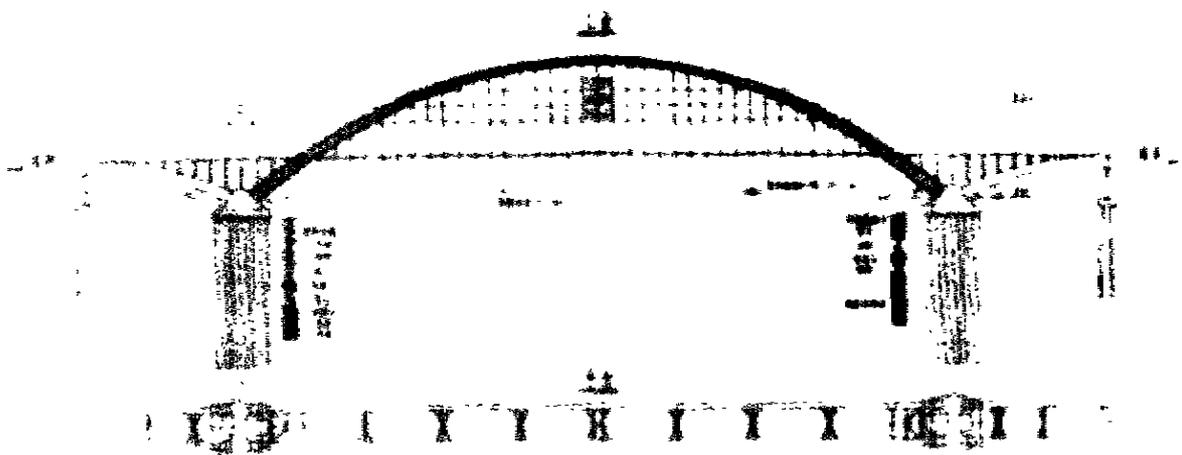


图2

25~30cm,翼板厚10cm,边板宽238cm,中板宽216cm,预制板纵向接缝宽50cm,预留钢筋头与横梁固结,横向接缝宽52cm,预制梁上设置10cm厚钢纤维混凝土作为结构层。横梁与立柱之间设置双向活动抗震球型支座,以释放弯矩及温度力。横梁之间纵向设置3根钢纵梁,以增强桥面系的整体性。

主桥采用柔性系杆以平衡拱的绝大部分水平推力,系杆锚于两边拱的端横梁上,每肋共设12束 $31\phi j15.24$ 钢绞线,采用OVMXG.T15-31钢绞线拉索体系, $R_{sk}=1860\text{MPa}$ 。系杆外包双层PE热挤塑护套,裹满沥青麻絮后置于专用钢箱内,使之成为永久保护,系杆采用分次张拉。

拱座为分离式的拱座,主墩基础采用26D250cm钻孔灌注桩。跨淞澧洪道两岸滩地及藕池河均采用45m预应力砼简支T梁,梁高2.6m,横向布置6片梁,下部构造为2D180cm双柱式墩,基础采用2D220cm钻孔灌注桩。南汉垵高架位于平曲线内,除跨防洪大堤采用30m跨外余均采用19.6m跨预应力砼现浇连续箱梁,箱梁中心线梁高为1.5m,顶宽16m,底宽10.8m,悬臂2.6m,下部构造30m跨两墩为D180cm独柱墩,基础采用D220cm钻孔灌注桩,其余下部构造为2D120cm双柱式墩,基础采用2D150cm钻孔灌注桩。

南汉垵匝道桥采用16m预应力砼预应力砼空心板,梁高75cm,下部构造为独柱方柱墩,基础采用D180cm钻孔灌注桩。

南茅运河桥采用25m预应力砼简支T梁,梁高1.75m,横向布置7片梁,下部构造为2D140cm双柱式墩,基础采用2D160cm钻孔灌注桩。

长春沱江桥采用30m预应力砼简支T梁,梁高2.0m,横向布置6片梁,下部构造为2D150cm

双柱式墩,基础采用2D180cm钻孔灌注桩。

2.3 结构计算

2.3.1 静力分析

本桥分别采用Ansys、Sap93空间有限元及平面杆系有限元对施工及成桥状态进行了几何非线性、徐变及截面极限承载力分析,计算表明,在最不利荷载组合情况下,钢管压应力、管内砼压应力、边拱砼压应力均满足规范要求,考虑几何非线性影响,拱顶恒载位移为53cm,桩顶最大水平推力控制在2200t以内,吊杆最大应力为535MPa左右,系杆总的张拉力为9300t,施工及成桥运营阶段最小弹性稳定系数为5.6,成桥运营阶段最小弹塑性稳定系数为2.2。

2.3.2 动力分析

动力分析采用空间有限元进行了结构自振特性、抗风、抗震及疲劳分析,结构体系自振特性面外一阶为0.20Hz,面内一阶为0.33Hz。

3、科学研究

3.1 现状及发展趋势

三跨连续自锚中承式钢管混凝土系杆拱是一种颇具特色的结构体系,外形美观、生动,富于韵律变化,结构大部分水平推力由系杆承受,从而使结构具备较大跨越能力,建筑高度较低,对基础要求不高,施工现代化程度高,具有广泛的应用范围。近年来我国相继建成了多座跨径140m~360m不等的该类桥梁,应用渐为广泛,跨度上的不断突破,昭示这类桥型具有强劲的生命力,因此,对大跨度钢管混凝土系杆拱进行系统研究,形成设计、施工、科研的成套技术,将会有广阔的市场前景。

茅草街大桥主桥为三跨连续自锚中承式钢管混凝土系杆拱桥,主跨为368m,跨度目前居全国第一。该桥桥型新颖、技术复杂、规模宏大,

在桥梁结构型式、理论分析和施工控制诸多方面均有较大突破, 因此对结构整体及主拱肋、系杆、吊杆等各种结构构件开展必要的结构试验和全面的理论分析研究显得非常必要, 为此, 由湖南省交通规划勘察设计院牵头, 益阳市茅草街大桥建设开发有限公司、湖南大学、中南大学、同济大学、长沙交通学院、湘潭工学院及湖南省公路桥梁建设总公司共八家单位组织成立了“茅草街大桥设计与施工成套技术研究”课题攻关组。

3.2 主要研究内容及试验项目

3.2.1 主要研究内容

(1) 大跨度钢管砼系杆拱桥施工过程中及成桥状态的静动力特性、稳定性分析; (2) 大跨度钢管砼系杆拱桥等效风荷载及抗风稳定性研究; (3) 高性能钢管砼的受力特性分析; (4) 洞庭湖区软基承载力研究; (5) 施工控制及成桥检测。

3.2.2 主要试验项目

(1) 主桥整体缩尺模型试验; (2) 主桥节段模型试验; (3) 全桥风洞模型试验; (4) 桩基承载力试验; (5) 施工控制及静、动载测试。

4. 施工方案

主桥主孔 (80m+368m+80m) 中承式钢管

砼系杆拱桥水中基础、承台采用钢围堰施工, 岸上基础、承台采用筑岛围堰施工, 上部构造主拱拱肋采用无支架缆索吊装施工, 待主拱肋合拢后再安装吊杆, 吊装横梁、纵梁和行车道板。钢管内混凝土采用顶升泵送, 在施工过程中, 系杆分次张拉以平衡拱的推力, 边孔拱肋采用支架现浇。

25m、30m、45m简支T梁基础采用钻孔灌注桩施工工艺, 下部结构墩身采用提升模板施工, 上部构造采用预制场预制, 架桥机架设; 20m及30m现浇连续梁基础采用钻孔灌注桩施工工艺, 下部结构墩身采用提升模板施工, 上部构造采用移动贝雷桁架现浇。

5. 结束语

茅草街大桥设计得到了湖南大学、中南大学、同济大学、长沙交通学院、湘潭工学院等科研协作单位的大力支持, 在此谨致谢意。工程目前施工进度顺利, 有望于2003年建成通车。

注: 本文原载于《中国公路》2002年第2期。



(上接第10页)

水溶类润滑剂, 另外, 若不能肯定 μ 值, 则须在设计时对 σ_{con} 的取值和对波纹管直径的选择上适当留有余地, 以便在摩擦力过大时提高 σ_{con} 值或增加钢绞线根数, 从而满足结构的受力要求。

5. 结论

上述对问题的分析和相应的处理方法, 不仅适用于顶推梁, 也适用于类似情况。

参考文献

1. 西班牙资料: The Operation Manual for Post Tensioning System of MK4
2. 杨宗放、方先和编著, 现代预应力混凝土施工, 中国建筑工业出版社, 1993
3. 陈开利, 大跨度铁路PC连续梁设计中的几个问题, 桥梁建设, 1994, (1)
4. 陈俊真等, 一座铁路预应力混凝土平弯桥, 桥梁建设, 1997, (3)