

# 苏通大桥主桥前期工程方案论证概述

吴寿昌, 许映梅

(江苏省苏通大桥建设指挥部, 南京 210006)

[摘要] 围绕苏通大桥前期工程方案论证决策过程, 重点介绍苏通大桥桥位论证、跨江大桥主桥工程方案研究与比选论证和有关前期科研工作概况。在跨江大桥主桥工程方案研究和比选论证过程中突出介绍了主桥桥型方案构思、1 088 m 斜拉桥方案研究与比选、主桥结构体系研究与比选、主桥主要构件结构方案研究与比选, 并从基础资料专题研究和桥梁关键技术研究两个方面介绍了苏通大桥前期科研工作概况。

[关键词] 苏通大桥; 工程方案; 科研专题

[中图分类号] U442.1; U442.5<sup>+</sup>4 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)03-0008-06

## 1 前言

苏通大桥位于江苏省东南部长江南通河段, 连接苏州、南通两市, 是交通部规划的沈阳至海口沿海高速公路跨越长江的重要通道, 也是江苏省公路主骨架的重要组成部分。苏通大桥由跨江大桥和南、北接线三部分组成。苏通大桥前期工作始于 20 世纪 90 年代初, 根据国家基本建设程序, 围绕项目审批和工程方案决策, 先后完成了项目建议书、预可行性研究报告、工程可行性研究报告、初步设计文件等编制和报审工作, 组织开展了 50 多项有关基础资料和桥梁关键技术专题研究工作, 于 2001 年 6 月正式立项, 2002 年 11 月通过工程可行性研究审批, 2003 年 3 月交通部批复初步设计。笔者围绕苏通大桥工程方案论证决策过程, 重点介绍苏通大桥桥位论证、跨江大桥主桥工程方案研究与比选论证、主要科研专题研究等前期工作概况。

## 2 桥位论证

桥位论证是苏通大桥工程可行性研究的重要课题之一。苏通大桥依据桥位区域选择、桥位拟定和筛选、桥位比选的基本原则, 根据国家和江苏省区域

规划, 重点考虑与城市、路网、港口建设与规划、其他拟建项目的协调, 以建设条件和桥梁关键技术专题研究为依托, 共分 5 个步骤完成桥位论证。经对中、东线桥位方案进行深入比选研究, 确定东线桥位——徐六泾桥位为苏通大桥实施桥位。苏通大桥桥位论证概况见表 1。

## 3 跨江大桥主桥工程方案研究与比选

### 3.1 主桥桥型方案研究与比选

#### 3.1.1 桥型方案构思<sup>[1]</sup>

苏通大桥在建设条件方面具有气象条件差、水文条件复杂、基岩埋藏深、通航标准高等 4 大特点, 其中通航要求即对主跨跨径的要求是控制苏通大桥主桥桥型方案的重要因素, 而通航净空宽度、主墩绕流作用、结构要求、技术经济的合理性是控制主跨跨径的主要因素。经分析, 主跨跨径考虑通航净宽要求不小于 891 m、主塔基础及防撞设施尺寸约 90 m、主塔基础侧面水流的绕流区影响范围约 100 m, 主跨跨径要求不小于  $891 + 90 + 100 = 1\ 081$  m; 另外结合斜拉桥主、边跨合理比值, 斜拉索布置及钢梁构造等结构设计特点, 主航道可能摆动等因素, 工可阶段确定斜拉桥主跨跨径为 1 088 m。

[收稿日期] 2008-11-06

[基金项目] 国家科技支撑计划资助项目(2006BAG04B06)

[作者简介] 吴寿昌(1950-), 男, 上海市人, 江苏省苏通大桥建设指挥部研究员级高级工程师, 苏通大桥建设现场总工程师, 从事桥梁结构和建设管理方面的研究工作; E-mail: zhangxw-stb@126.com

表1 苏通大桥桥位论证概况

Table 1 Outline of Sutong Bridge site comparison

论证步骤	研究阶段	主要依据	研究成果
选定工程 拟建区域	国家和区域规 划阶段	国家和江苏省过江通道区 域规划	确定苏通大桥工程拟建区域——长江南通河段。在预可和工可阶段，通过对项目必要性和迫切性论证进一步进行了验证
拟定桥位方案	预可 工可 阶段	路线总体走向；长江南通河 段形态、河道特点；南通城 市及港口规划；国家和江苏 省公路路网及规划	拟定东、中、西3个桥位方案 东线桥位方案——“徐六泾桥位”，江面宽6 km 中线桥位方案——“军山桥位”，江面宽10 km 西线桥位方案——“天生港桥位”，江面宽6 km*
桥位方案筛选	工可 阶段	桥位区域具体河道特点；两 岸城市的建设现状及具体 规划，港区建设发展规划 等；路网规划及路线总体走 向	对拟定的3个桥位方案，进行初步比较，中、东线方案与路线总体走向吻合，主槽与岸线基本平行，河道稳定，有利于大桥功能正常发挥和大桥布置；中线方案对南通城市规划有一定影响，工程规模较大。经初步筛选确定中线和东线方案为工可进一步比选桥位方案
桥位方案比选	工可 阶段	苏通大桥桥位处气象、水 文、航运、地质等建设条件 专题研究成果；工可开展的 斜拉桥、悬索桥、斜拉-悬 索协作体系桥等桥梁关键 技术专题研究成果；两岸接 线工程方案设计	对中、东线桥位方案进行综合比选，两个桥位，均具备建桥条件。相对而言，东线桥位与路线总体走向吻合较好，两岸接线顺畅，地层性质较好，分布稳定，江面窄，工程规模较小，经济评价指标较高。两桥位建桥后对长江沿线防洪水位影响均很小，在航运条件方面也相差不多。综合比较，东线方案优于中线方案，拟定东线桥位——徐六泾桥位为工可推荐桥位，经国家计委批复作为苏通大桥实施桥位
桥位优化	工可 初步 设计 阶段	行车安全要求；桥梁景观设 计要求；塔墩基础的安全、 大桥与码头的安全距离、水 文、地质、航运等因素的影 响	初步设计阶段桥轴线方案综合考虑了主桥南塔墩基础的安全、与码头的安全距离、水文、地质、航运等影响因素，结合两岸接线设计，在工可优化桥轴线方案的基础上，进行优化调整，将南塔墩基础南移80 m，主桥范围桥轴线向下游移动约320 m，沿顺时针方向转动3°，避免了长江主槽深泓对南塔墩基础安全的影响，改善了与航迹线的交叉角度；同时两岸引桥和接线范围平面布置也做了相应调整，形成了最终的桥轴线设计方案

\* 距已建成的江阴大桥东线方案82 km、中线方案66 km、西线方案52 km

针对上述主跨跨径要求和桥梁功能要求，考虑建设条件特点，结合目前国内外桥梁建设的实际水平，苏通大桥工可阶段专门进行了桥梁关键技术的研究，重点对满足苏通大桥要求的斜拉桥、悬索桥和斜拉-悬索协作体系方案进行了比较研究。经研究，主跨1 088 m的双塔钢箱梁斜拉桥方案为工可推荐方案，主跨650 m的三塔斜拉桥方案和主跨1 510 m的双塔三跨悬索桥方案为比选方案，主跨1 510 m的斜拉-悬索协作体系方案在技术上虽可行，但目前国内外跨径超过500 m以上尚无工程实

例，其受力较复杂，可借鉴的设计与施工经验少，技术不成熟，拟舍弃。因此，能够满足苏通大桥建设条件要求的桥型方案只有大跨径斜拉桥和悬索桥两种。

初步设计以工可桥梁关键技术研究成果为基础，对主跨1 088 m双塔斜拉桥、主跨1 510 m悬索桥和主跨2 010 m悬索桥桥型方案进行了研究，并重点对桥梁总体布置、结构方案进行研究和计算分析，构思了3种主桥桥型方案以及具体的研究与比选情况，方案如表2所示。

表2 初步设计主桥桥型方案研究与比选

Table 2 Blue print comparison of main bridge in primary design stage

方案	主跨 1 088 m 斜拉桥方案	主跨 1 510 m 悬索桥方案	主跨 2 010 m 悬索桥方案
跨径布置/m	100 + 100 + 300 + 1 088 + 300 + 100 + 100 = 2 088	453 + 1 510 + 453 = 2 416	938 + 2 010 + 938 = 3 886
全桥长/m	8 116	8 069	8 116
方案可行性	通过结构受力和施工方案研究,技术可行,方案成立	通过结构受力和施工方案研究,技术可行,方案成立	通过结构受力和施工方案研究,技术可行,方案成立
设计难度	虽然规模比已实施的工程稍大,但受力明确,设计有一定难度,但可做到	体系简单,受力明确,设计较容易	体系简单,受力明确,但规模较大,设计有一定难度,但可做到
技术成熟程度	目前世界上最大跨径达到 890 m,正计划实施千米级的斜拉桥	比国外同类桥型跨度小,与国内同类桥型跨度相当,技术成熟	目前世界上已建成最大跨径达到 1 990 m 悬索桥,2 000 m 级的悬索桥技术日臻成熟
施工及其控制难度	基础规模较大,施工有一定难度;上部悬臂施工较长,需采取设置临时墩等措施	基础规模较大,施工有一定难度;上部结构施工难度较小	基础规模较大,施工有一定难度;上部结构施工难度较小
施工速度	两个塔及其深水基础是控制工期的关键,正常情况下,施工速度较快;气象条件会对施工速度有一定影响	两锚碇和两个主塔基础是控制工期的关键,正常情况下,施工速度较慢;气象条件和航运对施工速度有一定影响,总工期比斜拉桥方案长	两锚碇和两个主塔基础是控制工期的关键,正常情况下,施工速度较慢(尤其是北锚);气象条件对施工速度有一定影响,总工期比斜拉桥方案长
抗风稳定性	无论在施工和运行阶段,结构抗颤振稳定性能力均较高,安全度较大	结构抗颤振稳定性能力较低,通过采取设置稳定板等措施,能够满足抗风安全要求	结构抗颤振稳定性能力较低,通过采取设置稳定板及箱梁开槽等措施,能够满足抗风安全要求
河势影响	对河势总体影响不大。有 2 个较大的水中基础,对局部河床产生影响,相比较对局部河势影响较小	对河势总体影响不大。有 4 个较大的水中基础,特别是锚碇基础规模巨大,对局部河床产生影响,相比较对局部河势影响相对较大	对河势总体影响不大。有 3 个较大的水中基础(南锚位于南岸边),对局部河床产生影响,相比较对局部河势影响不大
适应性	考虑了主槽摆幅影响,分孔通航满足通航要求	考虑了主槽摆幅影响,分孔通航满足通航要求,航道布设和调整有一定余地	考虑了主槽摆幅影响,分孔通航满足通航要求,航道布设和调整有较大余地
施工期	两塔距离较大,基础同时开工也不会产生较大影响;上部施工时会有短期局部影响	两塔及两锚虽距离较大,但 4 个基础同时开工会产生较大影响;上部施工时会有短期局部影响	两塔及两锚距离较大,同时开工也不会产生较大影响;上部施工时会有短期局部影响
航运影响	使用期提供了较好的主、辅助航道的通航孔条件	提供了宽裕的主、辅航道的通航孔条件	提供了宽裕的航道,通航条件非常好
防撞安全性	主塔基础离航道富裕距离不大,船舶撞击机率较大	主塔基础离航道距离稍大,船舶撞击机率稍小	主塔基础离航道距离较大,船舶撞击机率较小
全桥造价	59.05 亿元	68.29 亿元	82.16 亿元
推荐意见	初步设计方案	初步设计不再同等深度比较	初步设计不再同等深度比较

### 3.1.2 1 088 m 斜拉桥方案研究与比选<sup>[2]</sup>

斜拉桥方案按主梁型式可分为钢桁梁式、钢箱梁式、混合梁式和叠合梁式。由于钢桁架梁,在不考虑双层桥面通车的条件下,与其他型式的梁相比缺点较多。因此,苏通大桥初步设计阶段对 1 088 m 斜拉桥方案根据通航、结构受力和景观要求,仅对钢箱梁斜拉桥方案(七跨连续和五跨连续)、混合梁斜拉桥方案(七跨连续和五跨连续)和部分叠合梁斜拉桥方案(七跨连续),从通航要求、技术经济合理性、水文、地质条件、景观协调等方面进行了分析和比较。

钢箱梁斜拉桥方案,对七跨连续方案(100 + 100 + 300 + 1 088 + 300 + 100 + 100) m 和五跨连续方案(157 + 312 + 1 088 + 312 + 157) m 进行了分析和比选,经比较,虽然七跨方案比五跨方案总造价稍高,但其结构受力合理,视觉效果好。因此,从总体布置分析,钢箱梁方案宜采用七跨连续的方案。

混合梁斜拉桥方案初步设计对五跨连续和七跨连续进行了分析和比选。五跨连续方案的边跨 120 m 梁段采用混凝土结构,并设置一个辅助墩,能够很好地平衡主跨荷载,提高结构刚度,克服支承处的负反力;而七跨连续方案 200 m 边跨混凝土梁远远重于中跨,导致边跨、中跨梁重严重不平衡,受力不合理。因此,混合梁斜拉桥方案采用五跨斜拉桥为宜,跨径布置(110 + 300 + 1088 + 300 + 110) m。

部分叠合梁方案就是考虑边跨压重需要,将钢箱梁斜拉桥的辅助跨用混凝土桥面板代替正交异性钢桥面板,其他部分仍采用钢箱梁,预制混凝土桥面板与钢梁通过剪力钉连接,跨径布置与七跨连续钢箱梁相同。由于部分叠合梁在受力关键部位出现钢混结合段连接与传力,其受力复杂,构造处理困难,类似桥梁国内外尚无工程实例。因此,项目不宜采用部分叠合梁方案。

经综合比选,选择七跨连续钢箱梁斜拉桥方案和五跨连续混合梁斜拉桥方案作为初步设计和深入研究的比选方案,两个方案研究与比选综合情况见表 3。

由结构计算分析和表 3 综合比较可知,五跨连续混合梁方案混凝土梁段处于较高的应力和较大的应力幅状态,且施工困难,不如七跨连续全钢箱梁斜拉桥方案安全、可靠。因此,从受力性能、施工风险及耐久性考虑,确定主桥采用七跨连续钢箱梁斜拉桥方案。

表 3 七跨连续钢箱梁斜拉桥方案和五跨连续混合梁斜拉桥方案综合比选

Table 3 Comparison of seven spans steel box beam and five spans combined beam cable stayed bridge

比选方案	七跨连续钢箱梁斜拉桥方案	五跨连续混合梁斜拉桥方案
跨径布置/m	100 + 100 + 300 + 1 088 + 300 + 100 + 100	110 + 300 + 1 088 + 300 + 110
通航条件	七跨布置,适应通航要求	五跨布置,适应通航要求
结构受力特性及耐久性	结构整体刚度和受力满足设计要求;需边跨压重或设置拉力支座;钢梁受力安全富裕度大;耐久性好	结构整体刚度和受力满足设计要求;不需边跨压重或设置拉力支座;混凝土箱梁宽,抗裂性能差;钢梁和混凝土梁的接头处是结构弱点;混凝土梁段受力性能不好,存在安全隐患
上部结构施工	边跨钢梁用大块件吊装,施工难度较小;钢箱梁悬臂拼装工艺成熟,但单悬臂长,施工期间有风险	混凝土梁段施工支架高,难度大、风险高;钢箱梁悬臂拼装施工难度及风险与七跨连续钢箱梁斜拉桥方案相同
工期	5 年	5 年
主桥建安费/亿	22.962 7	21.034 2
全桥建安费/亿	36.473 2	35.078 2
推荐意见	推荐	不推荐

### 3.2 主桥结构方案研究与比选

主桥结构方案研究与比选是苏通大桥初步设计和技术设计重点。初步设计对主桥主跨 1 088 m 双塔钢箱梁斜拉桥结构体系、主梁、索塔、斜拉索、基础与防撞的结构方案进行了研究和比选,技术设计又对主桥结构体系、防撞方案等进行了深入研究,选择了安全、经济、合理、技术先进的主桥结构方案为苏通大桥实施方案。

#### 3.2.1 主桥结构体系研究与比选

苏通大桥初步设计在对世界上多座大跨径斜拉桥的结构体系调研的基础上,结合苏通大桥具体建设条件,对苏通大桥可能适用的纵向全漂浮、纵向设阻尼或弹性约束的半漂浮、塔梁固接、索塔处设竖向支座 4 种结构体系进行了分析比较,推荐苏通大桥采用纵向设阻尼或弹性约束的半漂浮体系。技术设计以初步设计为基础,进一步对主

桥横向全漂浮、阻尼约束、主从约束等方案进行研究,最终确定苏通大桥主桥结构体系为纵向设阻尼限位约束的半漂浮体系;横向采用主从约束体系。

### 3.2.2 主要构件结构方案研究与比选<sup>[3]</sup>

苏通大桥初步设计、技术设计对主桥七跨连续钢箱梁主要构件——主梁、索塔、斜拉索、基础、防撞设施的结构方案进行了研究与比选,详见表4。

表4 主桥主要构件结构方案研究与比选情况  
Table 4 Study and comparison of main components

	结构部位	主要构件结构方案比选	选定方案	
主梁	断面外形	不同底板宽度的扁平钢箱梁	底板水平宽度较大的流线型箱梁	
	高度/m	3.5,4.0,4.5	4.0	
	顶板U肋高度、厚度/mm	高度280,300;厚度8,10	高度300,厚度8,局部10	
	纵、横隔板形式	实腹式和桁架式	纵向桁架式(局部实腹式)、横向实腹式	
	索梁锚固方式	拉板式、锚管式和锚箱式	锚箱式	
	钢箱梁连接方式	全焊、全栓和栓焊结合	栓焊结合	
	索塔	塔形	倒Y形、钻石形和A形	倒Y形
下横梁		有下横梁、无下横梁	有下横梁	
塔柱横断面形式		不同倒角和外形的四种形式	风阻系数和气动性能最好的形式	
材料		钢筋混凝土、全钢、钢混结合	钢筋混凝土(上塔柱内设钢锚箱)	
索塔锚固方式		钢锚箱锚固和预应力锚固	不设预应力的钢锚箱锚固方式	
斜拉索	类型	平行钢丝和平行钢绞线	平行钢丝	
	索距/m	16,18,16,20,14.4,18组合	标准索距16	
	减振措施	气动措施、阻尼减振器、辅助索	气动措施、阻尼减振器(预留辅助索构造)	
	基础		沉井基础:钢沉井和钢筋混凝土沉井 桩基础:钻孔灌注桩、钢管打入桩 围堰形式:双壁钢围堰、锁口钢管桩围堰、钢吊箱围堰	钻孔灌注桩基础、钢吊箱围堰
		防撞	VTS主动防护系统+缓冲消能防撞设施 VTS主动防护系统+利用吊箱自身防撞设施(技术设计增加比选方案) 防撞设施:独立防撞墩、群桩防撞墩、浮体系泊系统、浮式缓冲消能	VTS主动防护系统+利用钢吊箱结构自身防撞设施

## 4 科研工作

### 4.1 基础资料专题研究

为配合桥位论证、桥型方案和结构方案等前期工程方案比选的需要,苏通大桥工可、初步设计规划开展了测绘、水文、气象、地质、通航等基础资料专题研究共30多项。

通过开展建设条件、基础资料专题研究工作,基本摸清了桥位区建设条件特点,掌握了水文、气象、地质、航运等设计、施工可靠的基础数据和资料;明确了通航技术标准、通航水位标准、船舶撞击力标准、抗震设防标准;研究论证了桥位处河势和桥梁建设两者之间没有较大的影响;开展了环境影响评价

并提出环保方案措施。

### 4.2 桥梁关键技术研究

苏通大桥工可和初步设计阶段,围绕桥位、桥型及结构方案研究比选,考虑到苏通大桥技术难度,规划开展了桥梁关键技术专题研究,为桥梁方案论证、设计、施工提供技术支撑。

工可阶段的桥梁关键技术研究,主要通过国内外大量已建桥梁资料分析,提出了工可所研究双塔斜拉桥、三塔斜拉桥、悬索桥、斜拉-悬索协作体系桥四大桥型方案中存在的重大关键技术问题;并针对所研究的桥梁方案,在国内外桥梁施工技术发展水平调研、分析、论证的基础上,提出了初步可行的施工技术方案;结合桥型方案比选,进行了桥梁主

要使用材料水平的调研、分析,提出主要构件应采用的材料规格和标准等。

初步设计阶段结合设计工作需要,在工可桥梁关键技术研究的基础上,依据初步设计对桥型及结构方案的总体构思,综合苏通大桥的技术难度、建设规模、初步设计深度和质量要求,在初步设计进行中,对桥梁关键技术科研工作进行了全面规划和落实。针对千米斜拉桥方案,开展桥梁关键技术研究工作,提出了超大深水基础设计与施工方案、主桥基础冲刷防护、千米斜拉桥超高索塔的设计与施工、索塔锚固方案、主桥结构体系、千米级斜拉桥非线性问题、主桥施工与运营期抗风稳定性、超长斜拉索减振措施、主桥上部结构架设方案等桥梁关键技术解决方案,为选择合适桥型方案、结构方案提供了技术支持,为主桥基础设计、上部与下部结构设计、结构抗风设计、抗震设计、防船撞设计、专用航道桥、引桥设计等提供了科学依据,并提出了解决方案。

## 5 结语

苏通大桥前期工作根据“技术先进、安全可靠、适用耐久、经济合理、美观协调”的设计原则,在全

面、深入分析建设条件、设计基础资料和桥梁关键技术专题研究成果的基础上,针对苏通大桥建设条件、设计和施工技术特点和难点,引进、借鉴和应用国内外特大跨度桥梁建设的先进技术和宝贵经验,对桥位、桥型和结构等工程方案进行了深入研究、全面比选和精心设计,选用了技术先进可靠、经济合理适度、施工方便可行、结构安全耐久的桥型和结构方案,满足并超过了前期工作的深度和要求,为技术设计和施工图设计奠定坚实的基础。前期各项设计研究成果,体现了世界现代化桥梁建设的新理念、新技术、新水平,富有一定的技术创新,使我国大跨径斜拉桥设计水平名列世界前列。

## 参考文献

- [1] 游庆仲, 吴寿昌, 李 镇. 苏通大桥工程与关键技术研究 [A]. 苏通大桥论文集 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004. 1-7
- [2] 张喜刚, 袁 洪, 吴国民. 苏通大桥总体设计 [A]. 苏通大桥论文集 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004. 8-25
- [3] 裴岷山, 张喜刚, 袁 洪, 等. 苏通大桥主桥上部结构设计 [A]. 苏通大桥论文集 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004. 26-35

# Brief description of project plan justification during the initial stage for main bridge of Sutong Bridge

Wu Shouchang, Xu Yingmei

(Jiangsu Provincial Sutong Bridge Construction Commanding Department, Nanjing 210006, China)

[Abstract] This article presents the justification and decision-making of the project plan during the initial stage for Sutong Bridge, with emphasis on initial stage for Sutong Bridge with respect to the justification of location of Sutong Bridge, comparison and selection of project plan for the river-crossing main bridge and studies on special research subjects.

[Key words] Sutong Bridge; project plan; special research subjects