

文章编号: 0451-0712(2005)06-0022-06

中图分类号: U442.5

文献标识码: B

舟山大陆连岛工程西堠门大桥方案构思

宋 晖¹, 陈伟国²

(1. 中交公路规划设计院 北京市 100010; 2. 舟山市大陆连岛工程指挥部 舟山市 316000)

摘 要: 从建设条件入手, 在大量研究分析的基础上, 有针对性地选择了总体及各大分项工程的设计方案, 从而拟定了符合西堠门大桥建设条件的工程方案。本文再现了西堠门大桥方案构思的过程, 供业内同行参考。

关键词: 西堠门大桥; 方案; 构思

1 项目概况

西堠门大桥位于浙江省舟山市, 是舟山大陆连岛工程中的第4座大桥, 其走向由北向南, 北端连接

册子岛, 南端连接金塘岛。西堠门大桥是舟山大陆连岛工程中规模最大的跨海大桥之一。

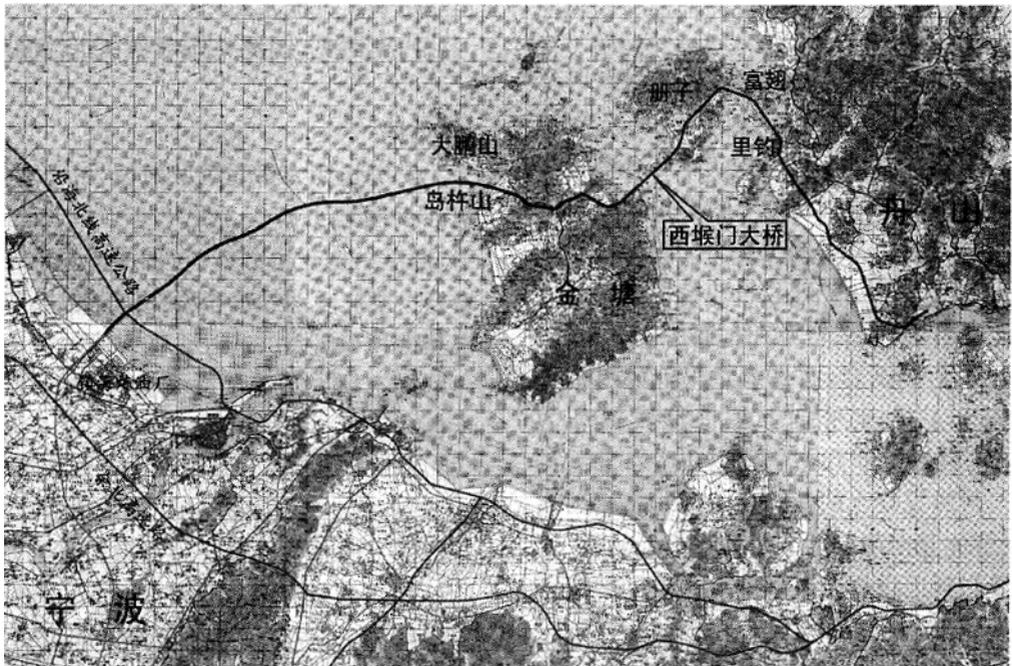


图1 舟山大陆连岛工程路线总方案

1.1 技术标准

本项目按照《公路工程技术标准》(JTG B01-2003)中4车道高速公路标准建设, 计算行车速度采用80 km/h, 路桥宽度采用24.5m。主要技术指标见表1。

1.2 气象

本项目东临东海, 西望大陆, 位于北亚热带, 属

东亚季风气候区。气候最大的特点是受台风影响频繁, 风速大, 风况复杂。经历时一年半的现场风观测及与相邻气象站的资料分析, 专题研究报告提出了本桥的设计风速建议值见表2。并对风速随高度变化模式 $(U_d = U_{10} (\frac{z}{z_{10}})^\alpha)$ 中的桥位场地幂指数 α , 提出的建议值为0.16。

表1 主要技术指标

项 目	技术指标	备 注
桥梁等级	高速公路特大桥	
计算行车速度/(km/h)	80	
荷载等级	公路—Ⅰ级	
主桥宽度/m	24.5	不计吊索锚固区
行车道宽度/m	2×2×3.75	
桥面横坡/%	2	
设计最高通航水位/m	3.28	85 国家高程基准
通航净高/m	49.5	
通航净宽/m	630	双向
地震烈度	7 度	

表2 西堍门大桥不同重现期最大风速 m/s

高度	10 年	20 年	30 年	50 年	100 年
10 m	32.37	35.06	36.59	38.52	41.12

1.3 水文

大桥跨越的西堍门水道为西北~东南走向的水道,长约 7.7 km,平均宽 2.5 km,最窄处宽约 1.9 km。西堍门水道的特点是:水深——主槽最大水深为 80~95 m;流急——实测最大涨落潮漂流流速达 2.66~3.65 m/s,水道内存在裸露的孤丘和水下暗礁,有强烈漩涡;岸坡陡,20 m 或 30 m 等深线

离岸很近。

1.4 地质

桥位区为海岛,地形地势起伏变化较大,主要为火山岩类、侵入岩类等组成的侵蚀剥蚀海岛丘陵地貌。桥位区内无晚更新世活动断裂分布,也不存在发震断裂。覆盖层为第四系残坡积物,最大厚度为 5.0~5.5 m;弱、微风化基岩埋藏浅或直接裸露,岩性单一,册子岛及老虎山为流纹斑岩,金塘岛为霏细斑岩,岩石饱和单轴极限抗压强度大于 30 MPa,属硬质岩石。

2 总体构思

2.1 桥位方案

结合路线的总体走向,桥位方案的构思思路如下。

首先,根据桥位区的水文条件,大桥宜采用大跨径的索结构桥型方案,可以避免修建深水基础,从而减小施工难度、节省工程投资。因此,应选择海面宽度较窄处跨越水道,从而减小跨海大桥的跨径。

其次,本桥的通航要求高,通航净高为 49.5 m,因此,应选择两岸有山的位置,这样可根据桥梁纵坡,选择合适的等高线相连,从而减短引桥长度、降低工程造价。

按照构思思路,综观两岸地形,有图 2 所示的 3 个桥位可以考虑。

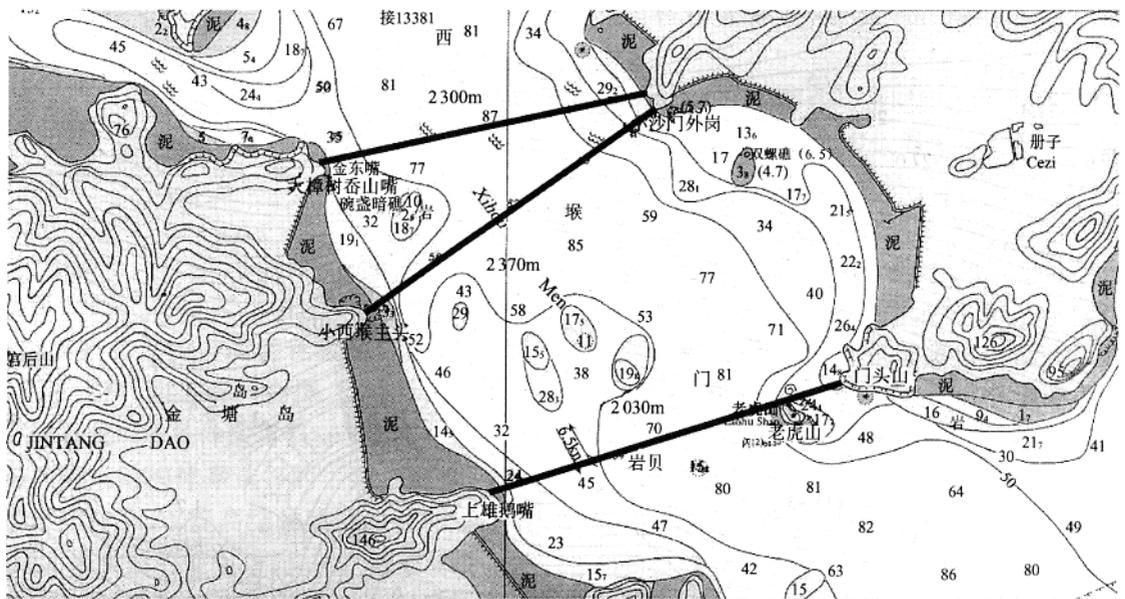


图2 桥位方案

结论是比较明显的,3 个桥位中的门头山——老虎山——上雄鹅嘴桥位,跨海距离最短,且可利用老虎山大大减小主跨跨径,因而工程规模及技术难

度远小于其他 2 个桥位,具有相当明显的优势。因此,本桥采用门头山——老虎山——上雄鹅嘴桥位。

2.2 桥型方案

2.2.1 主桥桥型

从桥轴线处工程地质纵断面可见陆域、海域全线几乎无覆盖层。

水道情况见表 3。

表 3 桥轴线处水道宽度 m

水 深	北 汉	南 汉
0 m 等深线	374.8	1 513.1
10 m 等深线	346.3	1 469.3
20 m 等深线	307.6	1 423.8
30 m 等深线	234.4	1 348.0
40 m 等深线	168.0	1 104.8
50 m 等深线	126.3	1 023.8

根据上述信息,同时结合西垭口水道的水流条件,本桥采用老虎山设塔,2 个大跨分别跨越南汉、北汉水道的方式是比较合适的,对减小施工难度、缩短工期、降低施工风险等都大有裨益。

南汉水道要求的跨越能力已达 1 500 m 以上,属于悬索桥的适用跨径范围,因此,主桥桥型方案采用悬索桥方案。

2.2.2 主跨跨径

本桥的主跨跨径已由通航要求控制,而是由桥位处的水文、地质条件控制。同时,由于无覆盖层,水中基础施工难度极大,即便是近岸处搭设临时设施,其“生根”亦具有相当大的难度。

本桥工可阶段,初步研究了 1 650 m、1 520 m、1 312 m 3 种主跨跨径的悬索桥方案,其主要区别在于南塔的位置不同。3 种主跨跨径的悬索桥方案索塔位置及建安费估算见表 4。

表 4 工可阶段 3 种主跨跨径方案比较

主跨跨径/m	北塔位置	南塔处水深/m	建安费估算/亿元
1 650	均位于老虎山	0	16.15
1 520		20	16.26
1 312		35	16.17

表 4 表明:3 种主跨跨径的悬索桥方案造价差别不大,但南塔基础施工难度、工程造价及工期的风险,显然是主跨跨径 1 650 m 的方案最小。

因此,主跨跨径研究不再研究南塔入水的方案,而是:

首先,确定主跨跨径 1 650 m 为研究对象。该主跨跨径有条件使得南、北两个索塔均位于岸上,从而减小了施工难度、使得工程造价及工期都比较确定;

此外,考虑到,主跨跨径 1 650 m 方案的南塔上岸后,中跨近塔段的部分加劲梁需采用浮吊或“荡摆法”安装,相对而言稍有难度,又选取了主跨跨径 1 560 m 为研究对象。根据桥位处水下地形图及运梁驳船的吃水深度,该主跨跨径的南塔近塔段(中跨侧)加劲梁可乘潮采用缆载吊机直接安装,见图 3 所示。

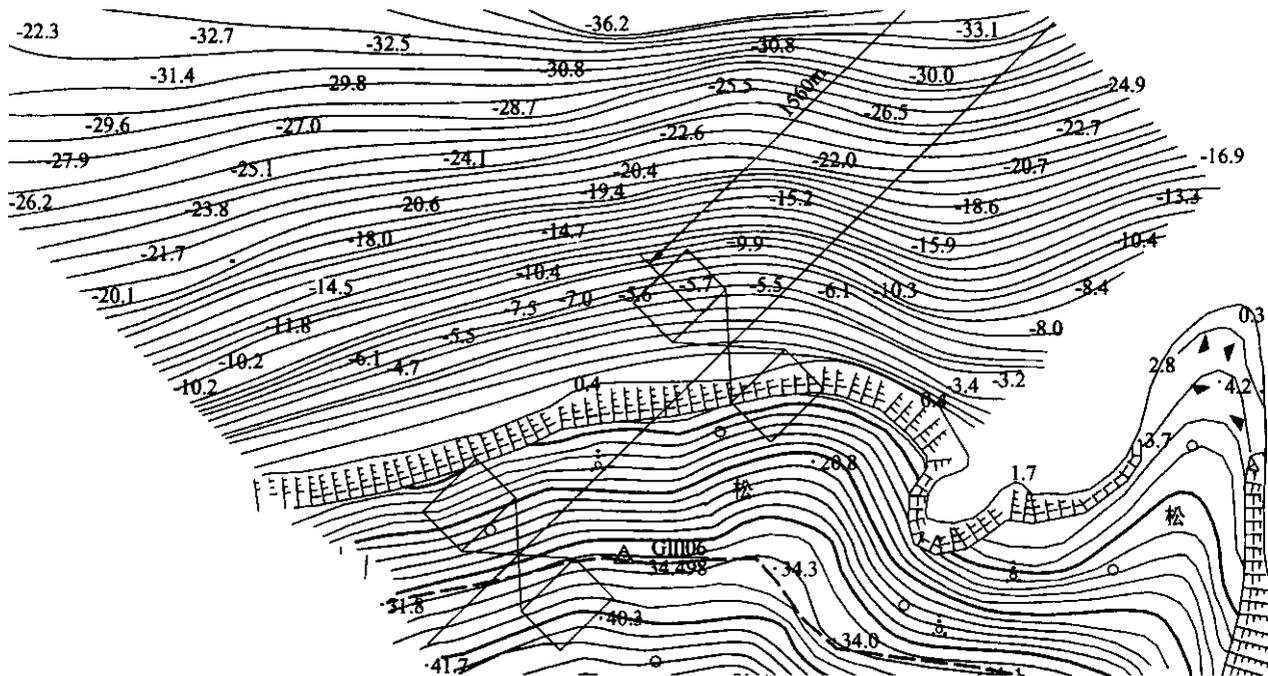


图 3 南塔处地形图

主跨跨径比选见表5,经全面的技术经济比选后,由于主跨1 560 m的悬索桥方案的南塔处,最大水深仍有10 m,塔基施工难度大并造成工期、造价的不确定性,总体而言,对桥位处的水文、地质条件适应性较差;且2个主跨跨径方案的建安费差别较小,在0.8%以内。因此,本桥主跨跨径采用1 650 m。

表5 主跨跨径比选

桥型方案	主跨1 650 m 两跨连续悬索桥双箱断面方案	主跨1 560 m 两跨连续悬索桥双箱断面方案
建设规模	主桥长:2 228 m 引桥长:360 m	主桥长:2 138 m 引桥长:450 m
通航要求	满足	满足
塔基处地质条件	较好	受临海面基岩陡坡处长大裂隙影响,地质条件较差
塔基施工	塔基为常规施工,施工难度小	南塔右侧塔基于水中,须水下爆破整平基底,成组安放钢护筒并定位,钢护筒连接成整体后,再搭设钻孔平台,进行常规施工。由于桥位区水流流速大、且有强烈的涡流,施工难度大
抗风性能	良好	良好
外观造型	较美观	较美观
养护	钢箱梁需养护,采取措施后可减少养护工作量	养护工作量略小
工期/月	54	53
建安费 亿元	15.1705	15.0507
	1	0.992
推荐意见	推荐方案	比较方案

2.2.3 结构体系

北边跨(册子岛——老虎山)根据前述的建设条件,采用加劲梁悬吊的方式是比较适宜的;而南边跨,因南塔已上岸,南边跨均在岸上,所以南边跨宜根据平面线型及地形条件采用引桥或引道方案。

两跨加劲梁结构体系选择的主导思路是:尽可能地采用连续体系,以提高结构整体性和行车舒适性,更好地实现大桥的使用功能。根据册子岛桥位处的地形条件,北边跨的长度应小于600 m,北边跨及主跨的总长度应小于2 250 m。表6所列的部分国内外大跨径悬索桥的成功桥例表明,长达2 250 m的连续加劲梁,完全能够通过合理地选择加劲梁约束系统,来适应各种荷载要求。

表6 部分国内外已建成大跨径悬索桥

桥名	主跨跨径 m	结构体系	矢跨比	所在地
明石海峡大桥	1 991	3跨简支	1/10	日本
大带大桥	1 624	3跨连续,连续长度为2 694 m	1/9	丹麦
润扬长江大桥	1 490	单跨简支	1/10	中国江苏
江阴长江大桥	1 385	单跨简支	1/10.5	中国江苏
青马大桥	1 377	两跨连续,连续长度为1 732 m	1/11	中国香港

表7是加劲梁2跨连续、2跨简支计算结果的对比。比较表明,2跨简支体系具有如下优点:

(1)北塔处长吊索可采用2根吊索,应力幅下降,北边跨短吊索荷载作用下移动的角度减小;

(2)北边跨施工监控难度减小。

但缺点较为突出:

(1)绝大部分位移值(线位移、角位移)均增加;

(2)北塔处伸缩装置规格增大较多,如按设2道缝考虑,则分别为96 cm、232 cm(未计富余量,下同),北塔下横梁的宽度需达10 m以上;如按设1道缝考虑,则为 $77.4 + 232 = 309.4$ cm,钢加劲梁梁端构造因大位移量伸缩装置的安装而变得十分复杂;

(3)在1/100横风作用下,伸缩装置左、右幅的相对位移量将达89.32 cm,伸缩装置的规格还需增大;

(4)由于成桥线形是对应于某个特定的温度(本桥为20℃),因此,大多数温度下2跨简支体系的纵面线形不连续,如图4所示;

(5)经济性相对较差。由于索塔下横梁、伸缩装置及支座的增加,建安费将增加约420万元;

(6)增加1道伸缩装置,行车舒适性变差。

2跨简支体系产生的问题比较难以解决,而2跨连续体系只要解决好北塔处长吊索及北边跨短吊索问题,则显然优于2跨简支体系。

综上所述,鉴于2跨连续体系的北塔处长吊索及北边跨短吊索问题解决难度不大,同时,所选择的加劲梁约束系统可保证2 250 m长的加劲梁适应各种荷载要求。因此,本桥加劲梁采用2跨连续体系。

2.2.4 桥跨布置

本桥的桥跨布置实际就是塔、锚的位置。南、北塔位置已明确,以下需要探讨南、北锚的位置。而本桥锚碇位置的选择很大程度上取决于地形条件。

表 7 加劲梁 2 跨连续、2 跨简支计算结果

序 号	参 数	位 置	两跨简支	两跨连续		
				结 果	备 注	
1	活载及温度作用下梁端最大水平位移量 S_x/m	北锚处	2.03	0.65		
		北塔处	—	0.774(边)	2.32(中)	(1)同时发生 (2)设中央扣,2.32→2.16
			—	0.96(边)	2.32(中)	(1)不同时发生 (2)设中央扣,2.32→2.16
南塔处	2.07	2.33		设中央扣,2.33→2.18		
2	活载作用下主梁最大竖向位移 S_y/m	—	-3.9 2.1	-3.91 2.2		
	温度作用下主梁最大竖向位移 S_y/m	—	-0.836 1.2	-0.825 1.18		
3	风载(1/100)作用下中跨跨中最大水平位移 S_x/m	—	10.11	11.66		
4	活载及温度作用下梁端最大相对转角 $\theta_z/(\circ)$	北锚处	1.078 9	1.1241		
		北塔处	—	1.844 9	附加伸缩量 11.3 cm。大于 2 跨连续体系的北锚处	
		南塔处	1.204 9	1.218 1		
5	风载(1/100)作用下梁端相对转角 $\theta_y/(\circ)$	北锚处	0.060 7	0.277 3		
		北塔处	—	1.764 7	附加伸缩量为 ±44.66 cm。远大于 2 跨连续体系的北锚处	
		南塔处	1.390 0	1.493 7		
6	活载及温度作用下北边跨短吊索应力幅/MPa	—	76(3 吊索)	76.8(3 吊索)		
7	活载及温度作用下北边跨短吊索索夹角度/(\circ)	—	12.45	4.74		
8	活载及温度作用下北塔处长吊索应力幅/MPa	—	165.2 (3 吊索)	67.3(2 吊索)		

注: x 为纵桥向, y 为竖向, z 为横桥向。

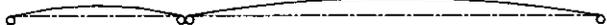


图 4 大多数温度下 2 跨简支体系的纵面线形简示

(1)北锚。

北锚处的地形较为明确(见图5),锚碇只能布置在图示的范围,否则锚碇将入水。因此,北锚应布置在图示范围内,并尽量靠近中跨方向,以减小边跨加劲梁长度。如此布置,北边跨长度为 578 m。

(2)南锚。

根据锚碇的受力特点,南边跨范围内有 A、B 两个区域(见图6)适合布置锚碇,2 个区域前方均有隆起的山脊,既可以利用山脊抵抗主缆传递到锚碇的巨大拉力,又可以减少山体开挖量,这对增加安全度、减小锚碇的工程量极为有利。

南锚布置在 A 区,则南边跨长度为 280 m,边中跨比偏小,仅为 0.17,虽然有利于提高结构的总体刚度,但不利之处较多,主要有:缆力增大较多,背索索股

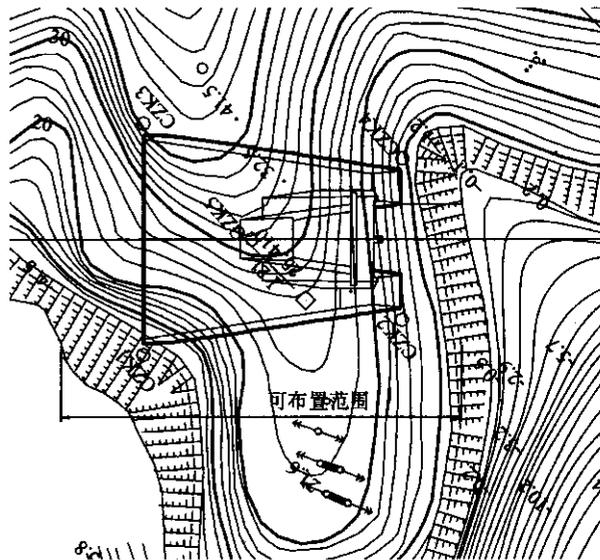


图 5 北锚处地形图

增加较多(为 38 股、达 22%),增加的索股在主鞍的锚固难度极大;在同等的地形、地质条件下,锚碇

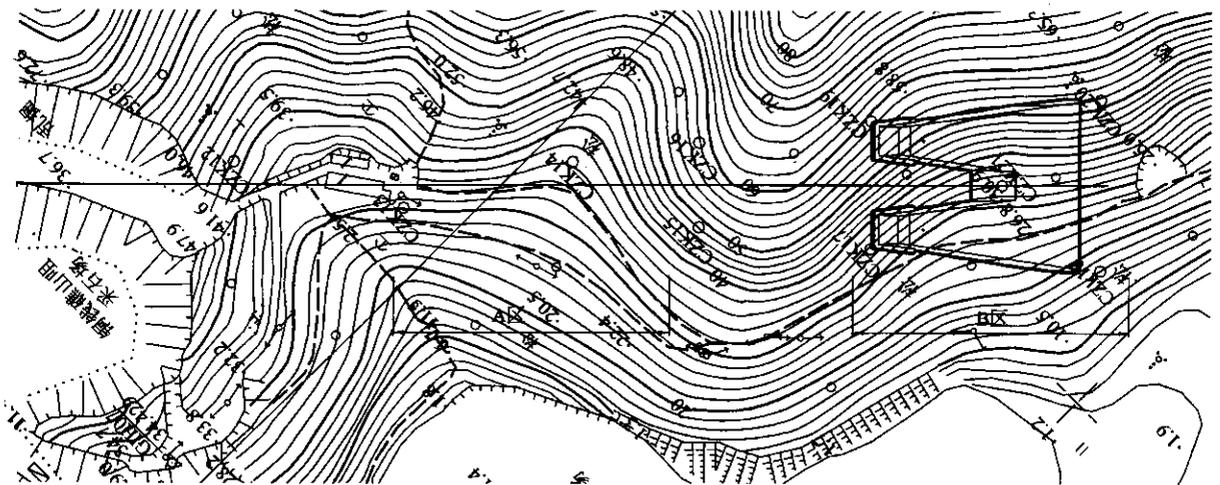


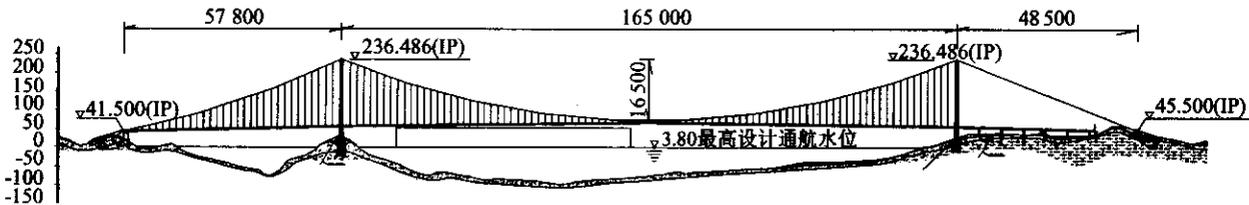
图6 南边跨地形图

规模增大;与北边跨的长度差别太大,对全桥的景观效果影响较大。南锚布置在B区,则南边跨长度为485 m,边中跨比适中,为0.29,这样布置:结构的总体刚度能够满足要求;背索索股增加不多(为2股),增加的索股在主鞍的锚固难度不大;锚碇规模较布置在A区小;

同时与北边跨的长度差别不大,全桥的景观效果较好。因此,南锚布置于图示的位置,南边跨的长度为485 m。

(3) 结论。

因此,本桥主跨1 650 m 悬索桥方案的桥跨布置为578 m+1 650 m+485 m。全桥桥型布置见图7所示。



单位:cm

图7 桥型布置

2.2.5 矢跨比

矢跨比是悬索桥刚度的重大影响因素之一,矢跨比越小,缆力就越大,重力刚度就越大,活载作用下加劲梁的挠度就越小,但工程造价就越大(涉及主缆股数、塔高、锚碇规模等);矢跨比越大,结论则相反。主缆矢跨比往往是重力刚度与工程造价之间的平衡点。国内大跨径悬索桥的矢跨比绝大部分取用1/10.5。

本桥首先以投标推荐方案(见表8)为基本模型,开展了1/10、1/10.5、1/11三种矢跨比的研究。研究的主要成果见表9。

表8 矢跨比研究基本模型条件

桥跨布置	578 m + 1 650 m + 485 m
锚碇	北锚:重力式扩大基础锚 南锚:重力式嵌岩锚
索塔及基础型式	索塔基础:大直径桩基 索塔:多层框架门式塔
主缆	1 670 MPa 平行钢丝
加劲梁	中分带拉开至6 m的扁平钢箱梁

表9 矢跨比研究主要成果之一

方 案	活载最大 挠度/m	挠跨比	估算建安费 亿元
矢跨比 1/10	5.14	1/321	13.489
矢跨比 1/10.5	4.85	1/340	13.800
矢跨比 1/11	4.58	1/360	14.065

注:表中“挠度”为上下位移的绝对值之和,下同。

后又以初设阶段推荐方案为模型,进行了矢跨比为1/9、1/9.5的研究比选工作。研究结果见表10。

表10 矢跨比研究主要成果之二

方 案	活载最大 挠度/m	挠跨比	颤振临界 风速/(m/s)	估算建安 费/亿元
矢跨比 1/10	6.00	1/275	88.4	15.1705
矢跨比 1/9.5	6.35	1/260	85.8(估算)	14.9816
矢跨比 1/9	6.76	1/244	—	—

分析表9、表10,可注意到:

(1)5种矢跨比方案计算所得的挠跨比均可以

文章编号: 0451-0712(2005)06-0028-03

中图分类号: U445

文献标识码: B

蠡湖大桥施工技术

刘元泉, 光明, 王福和

(路桥集团第一公路工程局 北京市 100024)

摘要: 介绍了钢筋混凝土拱梁加斜塔、悬索组合结构的施工技术要点。

关键词: 蠡湖大桥; 主拱圈; 斜塔; 拉梁; 围堰; 施工

蠡湖大桥横跨无锡太湖的内湖——五里湖, 全长750 m, 桥面宽33 m, 双向六车道, 设计荷载为城—A级, 设计速度为80 km/h, 主桥净空满足七级航道要求, 该桥结构新颖, 造型独特, 内涵丰富, 是集交通、景观功能于一体的标志性重点工程, 于2004年5月竣工通车。蠡湖大桥全景见图1所示。

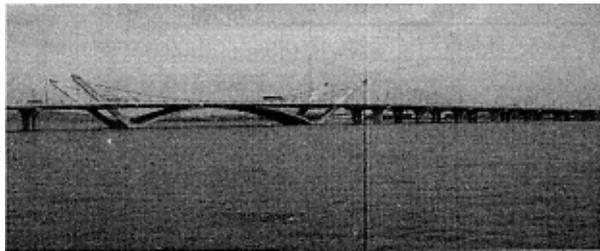


图1 蠡湖大桥全景

1 工程特点

蠡湖大桥跨径组合为 $12 \times 25 \text{ m} + 35 \text{ m} + 80 \text{ m} + 35 \text{ m} + 12 \times 25 \text{ m}$, 主桥为上承式拱梁加斜塔、悬索的组合结构, 中跨跨径为80 m的钢筋混凝土拱, 拱座之间设钢管混凝土拉梁, 引桥为先简支后连续的预应力大孔空心板梁, 全桥有525 m位于湖中, 平均水深3.5 m, 拉梁位于湖底以下3.5 m。其主要工程特点如下。

(1) 主拱圈与斜塔

主拱跨径为80 m, 矢高12.5 m, 矢跨比为1/6.4, 拱轴线为悬链线, 拱圈采用变宽等厚C50钢筋混凝土结构。斜塔为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的矩形截面钢筋混凝土结构, 塔高33.94 m, 塔身纵向倾斜 50° , 横向倾斜 10° 。塔内设竖向预应力筋。

(2) 主梁

主梁采用变截面单箱六室预应力混凝土箱形结构, 标准段梁高为1.68 m, 斜塔处梁高2.5 m, 与拱圈结合处梁高4.05 m(含拱圈高), 主梁底宽27 m, 顶宽33 m。桥面横向设预应力束。主梁与主拱圈和斜塔相交处构造复杂。

(3) 缆索系统

主缆采用热聚乙烯拉索PE97-199, PE防护, 冷铸锚头锚。吊索采用OVMSD(K)型可调式吊杆专用锚具和镀锌高强度低松弛钢丝束, PE防护, 热铸锚头锚。为适应结构造型的需要, 塔柱、主缆与吊索形成空间曲面。

(4) 拉梁

拉梁位于两主拱座之间, 采用钢管混凝土内加预应力钢绞线结构, 钢管外径850 mm, 内径800 mm, 壁厚25 mm, 材料为16锰钢, 混凝土标号为C40, 内加西卡901阻锈剂。每根管内设6根 $9 \phi 15.24$ 环氧

收稿日期: 2005-05-10

接受, 随着矢跨比的增大, 所获得的经济效益也比较可观;

(2) 矢跨比采用1/10, 本桥的颤振临界风速满足要求(见下文), 而矢跨比采用1/9.5、1/9, 结构重力刚度降低, 颤振临界风速下降。

鉴于抗风稳定性是本桥的关键技术问题, 颤振临界风速不宜减小; 同时加劲梁结构新颖、抗扭刚度不大。因此, 本桥的重力刚度不宜太小, 矢跨比采用1/10。

(此文连载, 待续)