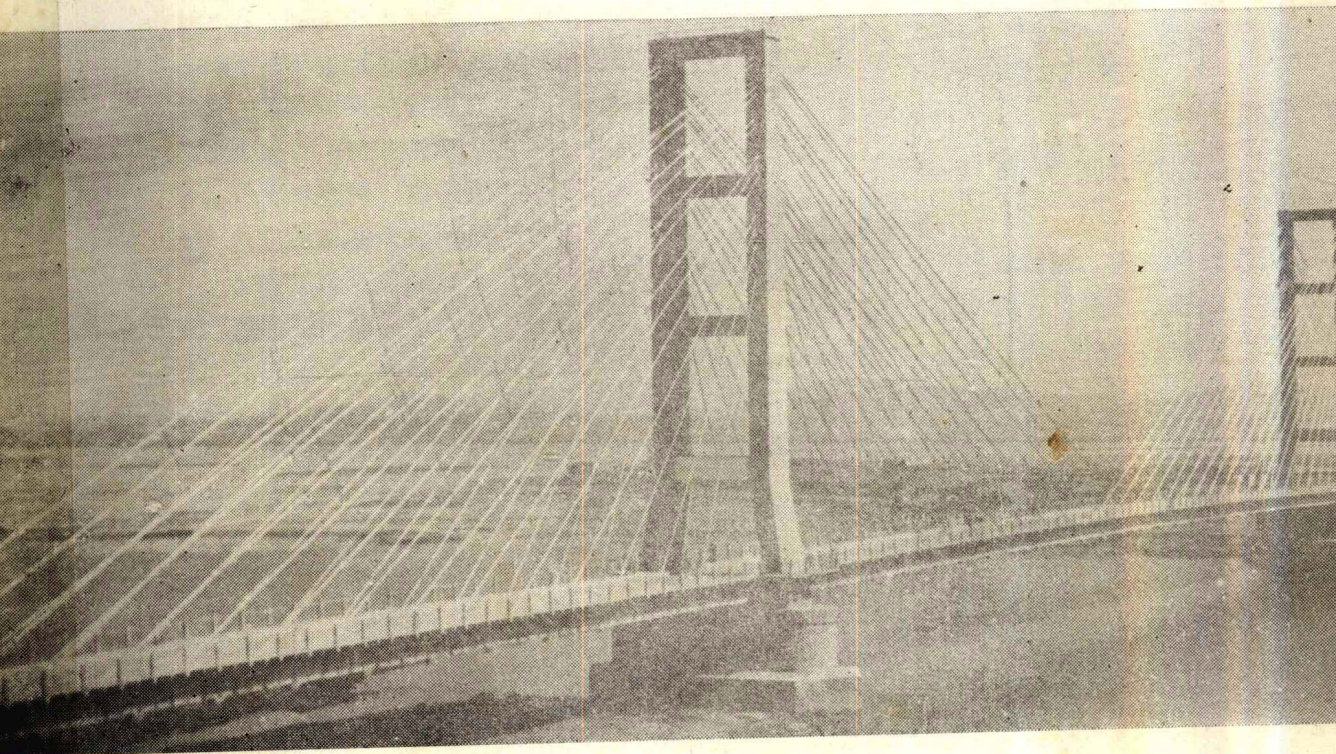


长兴岛斜张桥

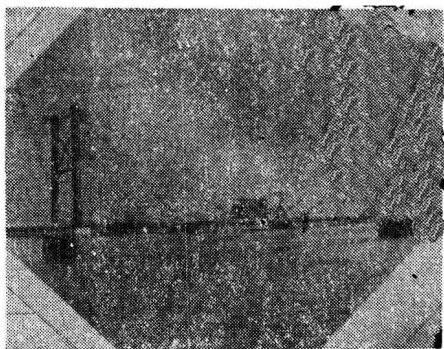


辽宁省交通勘测设计院

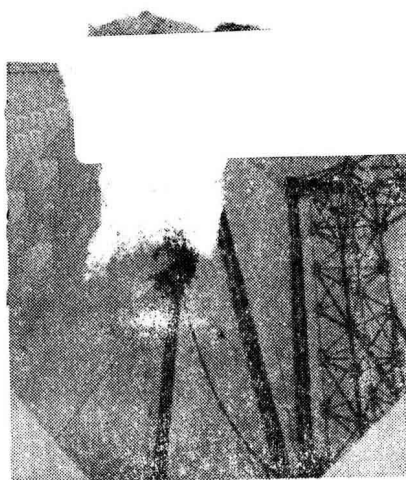
辽宁省交通厅公路工程局

辽宁省交通科学研究所

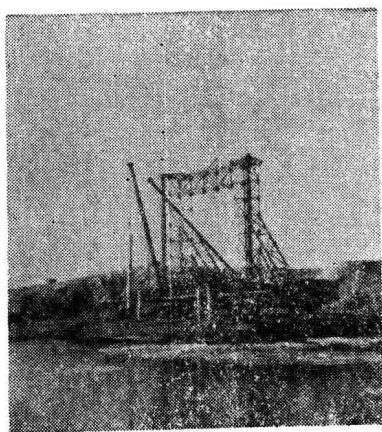
1983年10月



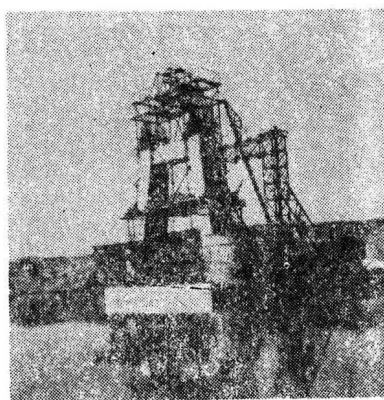
利用工字钢作的斜张式施工便桥



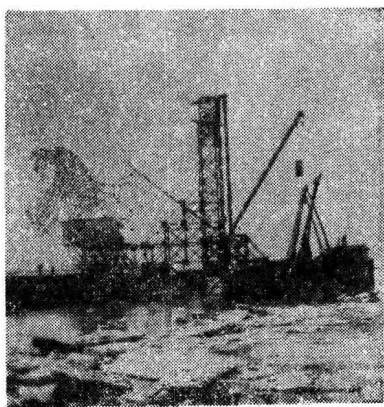
用震动打桩机下沉操作平台方桩



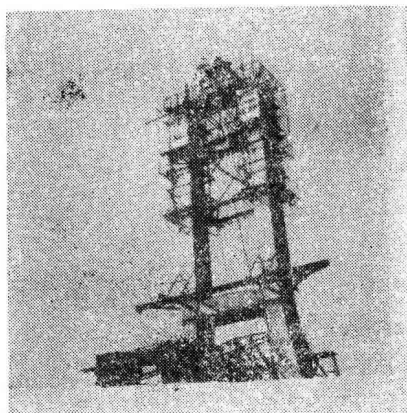
用双动臂吊机吊混凝土方桩



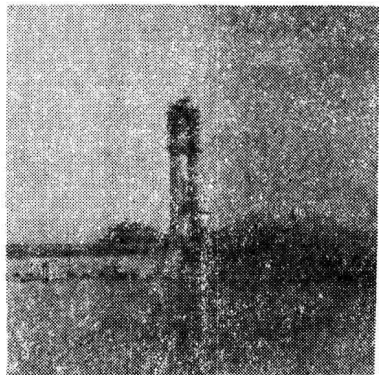
用双动臂吊机安设索塔提升支架



用双动臂吊机进行钻孔桩掏渣



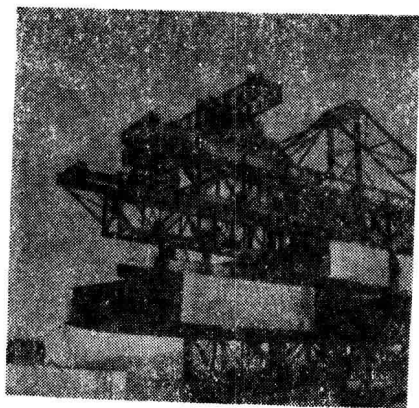
用提升支架进行索塔施工



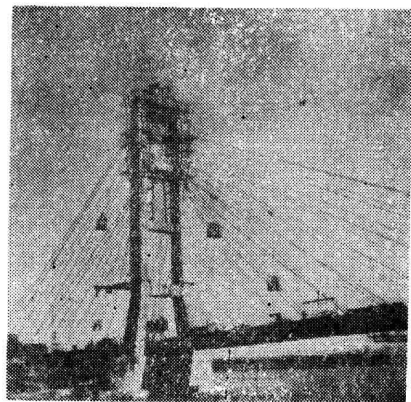
索塔、箱梁互相配合施工中



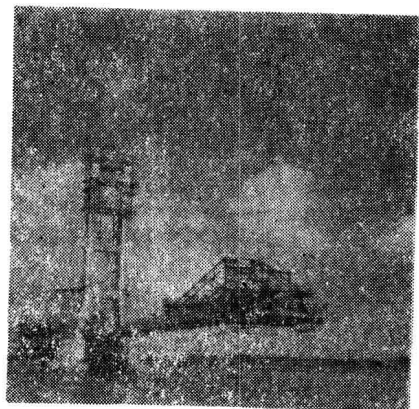
拉索防护施工中



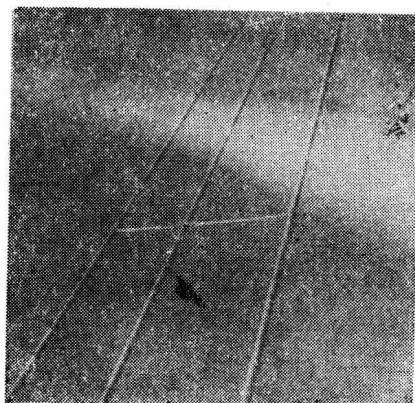
悬拼箱梁施工中



拉索防护施工中



悬浇箱梁施工中



拉索间防振连结

前 言

长兴岛公路大桥位于我省复县西部，是沟通长兴岛与陆地的主要交通要道，桥位处地名娘娘宫，故又称娘娘宫大桥。

长兴岛是我国较大的岛屿之一，面积 200 多平方公里，人口四万余，有耕地 11 万亩。解放以来，随着工农业的发展、农业生产资料及人民生活必需品的增长，客货运量大量增加，而交通往来，特别是在雨季和冰冻期十分不便，岛上人民多年来一直渴望修建一座大桥。1974 年省交通局下达了设计任务书，由省交通勘测设计院负责设计，经多方研究确定在该处修建一座主跨 176 米的斜张桥。1976 年 10 月完成了设计工作，77 年 9 月主桥正式由省公路工程局一处动工兴建。考虑地震的影响及施工方案的变更，78—79 年间又两次修改设计，在许多方面作了大量改进。由于材料不足，工期拖长，直至 1980 年秋主桥工程基本完成，81 年夏季完成了荷载试验，结果表明工程满足设计要求，于 9 月 29 日正式验收通车，交付使用。本桥为我省第一座大跨径斜张桥新型结构，施工质量优良，曾先后获得省全优工程的称号和省优秀设计项目奖，全国表扬奖。

现仅将本桥设计、施工和试验研究有关资料进行整理，总结经验教训，以资交流，并便于获得各方面的宝贵意见，以迅速提高我省桥梁建设水平。由于我们的技术水平有限，错误之处，欢迎大家指正。

本资料设计部份由省交通勘测设计院负责编写，施工部份由省公路工程局负责编写，试验研究部份由省交通科学研究所负责编写，最后由省交通科学研究所汇总审校。

目 录

前 言

第一章 一般情况

一、桥址概况	1
二、水文	1
三、气象	3
四、工程地质	3
五、桥位	3
六、技术标准	3
七、桥型方案	4

第二章 桥型结构和构造细节

一、总体布置	5
二、墩台与基础	5
三、索塔	6
四、主梁	6
五、拉索和锚固	8
六、支座	10
七、人行道系、桥面铺装和伸缩缝	11
八、桥面纵坡及予拱	11
九、抗震措施	11
十、施工阶段箱梁临时水平固定措施	11
十一、避雷措施	12

第三章 结构计算

一、内力计算	12
二、强度验算	47
三、其它计算	96

第四章 下部工程施工

一、钢板桩围堰	99
二、双动臂吊机	101
三、冲孔灌注桩	109
四、承台防冻层	119

第五章 索塔施工

一、索塔构造	120
二、提升支架的主要结构	121
三、索塔施工步骤	121
四、施工进度	125
五、几点体会	125

第六章 箱梁施工

一、箱梁施工步骤	126
二、悬浇吊兰和悬拼吊机	128
三、箱梁悬拼与悬浇配合施工	131
四、箱梁抗风架	131
五、减水剂在混凝土中的应用	132
六、箱梁合拢	133
七、箱梁顶面标高	134
八、悬浇箱梁每单元施工进度	134

第七章 拉索施工

一、钢丝下料	136
二、锚具	136
三、编束	137
四、钢丝镦头	137
五、穿束	138
六、拉索张拉	139

第八章 拉索防护

一、国内外情况	141
---------	-----

二、一些初步试验	143
三、本桥的防护方案	146
四、临时防护—钢丝镀锌	147
五、永久防护	159
六、几点体会	162

第九章 国产高强钢丝的徐变徐舒试验

一、国产高强钢丝的有关性能	163
二、国内外对高强钢丝徐变及徐舒的观点	164
三、国产 5 钢丝工地徐变试验	164
四、结论和意见	167

第十章 荷载试验

一、静载变位观测	168
二、静载应变观测	171
三、拉索内力观测	172
四、动力试验	179
五、拉索本身的振动现象	182
六、几点结论和意见	183

第十一章 经济分析

183

第十二章 收获和体会

186



第一章 一般情况

一、桥址概况

长兴岛位于复州湾南侧，与大陆相距较近。岛的东面与大陆相对，形成海峡。岛上多山，桥址岛侧沿岸陡峭，高于海平面20余米，大陆侧地势平坦开阔，多为滩地，桥址处最窄约350余米。高潮位时，岸侧有三处滩地过潮，按其顺序通称头道滩、二道滩和三道滩。现在头、二道滩已经围海造田被堵死。

1960年复县县委为了改善交通条件，结合水产养殖，在现桥位下游40—70m处建成娘娘宫抛石坝，东侧设24孔闸门，西侧设6孔闸门，共长105m，中间抛石坝全长223m，顶宽7m，可以通行车辆。由于原结构不能满足上游复州、岚固等河的泄洪要求，1963年汛期洪水将抛石坝冲毁，缺口达60m，交通再度中断，人们只能靠小船摆渡过河，一到冰冻与开化季节，交通就更为不便和危险。

两侧闸门奠基于枯潮即能露出来的破碎岩基上，现已破烂不勘，闸墩大部分已损坏，剩余的抛石坝顶部石块已被冲走，涨落潮时多半过潮，只有枯潮时露出水面。参见图1—1。

二、水文

复州、岚固等五条河流汇流后流入海峡。海峡南端被复州湾盐场取水盐坝截断，因此洪水只能流经现桥位入海。潮水顶托对排洪造成不利的影响。

桥位地处潮汐河口。附近没有水文观测站，水文资料缺乏。根据收集到的少数资料和测量中实际观测的数据，一般情况如下：

最高潮位：1.641m；

最低潮位：-1.547m；

潮差：3.188m；

最大涨潮流量：1638m³/sec；

最大退潮流量：1242m³/sec；

潮流速：

坝北决口处：

涨潮：3.08m/sec；

退潮：3.20m/sec；

坝下游500米处：

涨潮：0.68m/sec；

坝下游350m处：

退潮：水深1.0m时，1.45m/sec

水深2.0m时，1.63m/sec

坝上游50米处:

退潮: 0.80m/sec

考虑潮水的影响, 50年一遇潮洪组合情况下流量为:

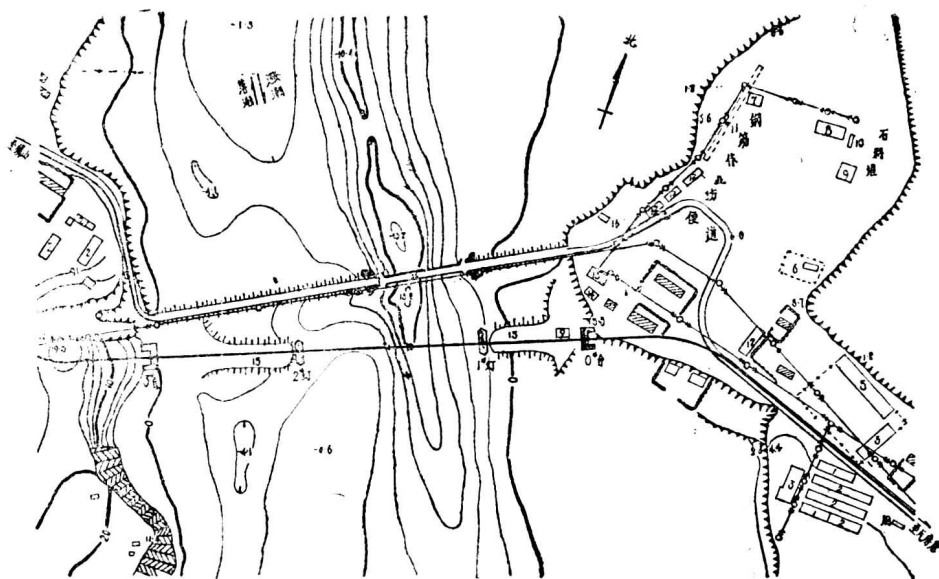


图 1—1 桥位地形和施工场地布置图 (1:3000)

- 说明
- | | | | | |
|---------|-----------|---------|---------|--------|
| 1. 办公室 | 2. 宿舍 | 3. 食堂 | 4. 便桥 | 5. 材料库 |
| 6. 木工棚 | 7. 钢筋棚 | 8. 镀锌车间 | 9. 拌合站 | |
| 10. 洗石机 | 11. 钢丝编束场 | 12. 作业棚 | 13. 变电所 | |
| 14. 指挥所 | 15. 筑岛 | 16. 锅炉房 | | |

在有坝情况下: $Q_{2\%} = 5600 \text{ m}^3/\text{sec}$;

在无坝情况下: $Q_{2\%} = 5900 \text{ m}^3/\text{sec}$;

水位:

有坝情况下: 3.40m;

无坝情况下: 2.60m;

桥位处水深13m。

每年冬季海峡封冻, 冰厚60cm, 冰上可以走车。在初春和冬初, 潮流夹大量流冰, 上下往返流动, 最高流冰水位1.10m, 最低流冰水位-0.50m。由于桥位上下游海面开阔, 风浪较大, 浪高0.8~1.5m。

三、气 象

复州湾位于辽宁省南部的渤海湾中,属海洋性气候,气候较温暖,年平均温度 $+9.4^{\circ}\text{C}$,一月平均温度 -8.2°C ,七月平均温度 $+24.2^{\circ}\text{C}$ 。

雨量充沛,年平均降水量 656.6mm ,多集中于七、八两月,占全年降水量 50% 以上。

一年四季有风,冬季多西北风,夏季较为平静。风力最大多在每年1—4月份,最大风力10级,最大风速 28m/sec 。由于地处复州湾内,风力有所减弱。

四、工 程 地 质

桥位选定以后,沿桥轴线进行了地质勘探。桥型方案选定以后又定墩进行了钻探,全桥共钻19孔,总进尺 207m 。

根据地质勘探资料分析表明,桥址区地质构造较为复杂(参见图2—1),整个河床表面为第四纪冲积物——淤泥层,最大厚度 10m 左右,深灰色,由粉土、粉砂及各种动物、植物腐烂物质组成。湿容重 1.6t/m^3 ,干容重 1.08t/m^3 ,天然含水量 50% ,孔隙比 1.5 ,饱和含水量 55.5% ,饱和度 0.91 ,塑性指数 8.32 ,颗粒组成如下:

$5-0.05$ 占 24% ;

$0.05-0.002$ 占 59% ;

<0.002 占 17% ;

淤泥层之下为碎石层,分布较为广泛,厚度为 $0.15\sim 1.30\text{m}$,其组成为石灰岩碎屑物和贝壳等,磨圆度及分选性都较差, $\sigma=2.5\text{kg/cm}^2$, $\phi=40^{\circ}$, $C=8\sim 9\text{t/m}^3$, $K=2.0\text{m}^3/\text{昼夜}$, $\bar{I}=2.05\text{t/m}^3$ 。

再下为中砂层,分布零散,呈黄色,主要是古老的变质沉积岩的风化碎屑,由石英、长石、云母等矿物组成, $\phi=25^{\circ}$, $\sigma=0.5\sim 0.6\text{kg/cm}^2$, $K=5\sim 20\text{m}^3/\text{昼夜}$ 。

粘土夹碎石层分布更加零星,少数钻孔才能见到,厚度 $0.50\sim 1.50\text{m}$ 。

石灰岩地层为本桥主要地层,各孔均能见到,两岸岩层均有大量露头,风化深度变化较大, $\sigma=3\sim 4\text{kg/cm}^2$, $K=20\text{m}^3/\text{昼夜}$,新鲜岩盘取样实验极限饱和抗压强度 415kg/cm^2 ,容许抗压强度设计取用 69.1kg/cm^2 。桥址地区地震烈度为7度。

五、桥 位

勘测时在原石坝上下游选择了两个桥位比较方案,第一方案在石坝上游 $40\sim 70\text{m}$ 处,其主要优点是海面最窄,约 350m ,岩层埋置较浅,两岸桥头处岩基基本暴露在外,桥址位于坝内,施工时受潮流及风浪影响小,靠近原有石坝,可利用原石坝作施工便道以及设立施工阶段的观测站点,两侧引线较为顺适,桥位与水流基本正交。第二方案在石坝下游 100m 处,海面宽阔,约为 440m ,引线稍长,多占用土地。经过多方面的讨论和分析比较,认为第一方案较优,缺点是岛侧石方开挖量大一些。见图1—1。

六、技 术 标 准

桥面净宽:行车道宽净—7,两侧人行道各 1.0m ,拉索防护带 0.5m ,上部构造全宽 10.5m 。

桥下净空：由于是大跨径桥梁，虽无通航要求，但从造型上看净空也不宜过低，故仍按最高潮位时满足五级航道的净高5.5m的要求设计。

设计荷载：车辆荷载汽—15级，验算荷载挂—80，人群荷载250kg/m²。

引线为二级公路，路基宽度，岛侧10m，岸侧12m。

七、桥 型 方 案

桥址区水深潮流急，基岩表面参差不齐，复盖层厚度差别悬殊，且不稳定，并有流冰，自然条件复杂，深水基础施工尤为困难，因而应选择较大跨径的桥跨结构，减少基础数量。经广泛收集资料和听取各方面的意见，作了如下四种桥型方案：

第一方案：斜张桥，中孔跨径176m，边孔计算跨径83.2m，全桥两座中墩、基础及索塔，两座桥台。塔高42.77m，全桥长355m。

第二方案：T型钢构桥，具有较大的跨越能力，根据我省的施工经验，选用三座T型钢构，四孔吊梁的方案，两个中孔跨径为105m，边孔跨径65米，全桥长348m。

第三方案：箱型拱，三孔跨径110m，两个深水基础，全桥长378.6m。

第四方案：四孔跨径85m的双曲拱，三个中墩及基础，全桥长386m。

两种基础方案：沉井和灌注桩。

各方案优缺点列于表1—1。

方 案 比 较 表 表1—1

方 案	优 点	缺 点
第一方案斜张桥	基础少，可以采用灌注桩，避免深水基础，节省材料，造价低，主梁结构简单，断面单一，全面可以预制安装或悬臂浇注，不需要水上起重运输设备。	国内没有成熟施工经验，索塔施工，拉索防腐处理等都会有一定困难。虽然经济指标低，但不一定能获得显著的经济效果。
第二方案T构	有田桩台大桥的施工经验和可利用的现成设备。	水泥、钢材用量多，避免不了深水基础。上部构造断面变化，施工工艺复杂，造价较高。
第三方案箱型拱	主拱刚度大，节省钢材。	需要大量水泥、木材，避免不了深水基础，必须采用沉井基础，施工困难，拱肋分段拼装，中间设支架，费工、费料，安装困难。东岸地形低平，路堤填土太高，造价高。
第四方案双曲拱	装配构件较轻，节省钢材。	木材、水泥用量大，深水基础，施工困难，拱肋分段支架上拼装，安装困难，造价较高，东岸地形底平，填土太高。

沉井基础虽然稳妥可靠，但由于淤泥层太厚，基岩不平整，在施工中位置不易控制，如一侧底脚先与基岩接触，容易发生歪斜，很难扶正。

灌注桩基础，施工简单，但质量难于保证，因此采用护筒下至风化岩，防止塌孔。

综上所述，斜张桥是近廿年来发展起来的一种先进的桥型结构，可避开深水基础，有其它桥型所无法比拟的技术经济指标，因此最后采用斜张桥方案，基础采用灌注桩方案。

第二章 桥型和构造细节

一、总体布置

参见图 2—1。上部构造采用三跨双塔双台对称布置，全桥总长 355m。中孔跨径 176m，边跨 83.2m，[计算跨径为 $83.2 + 176 + 83.2$ ，上部构造全长 347.6m，边中跨比 0.47:1。由于是岩基，基础不会发生不均匀沉陷，因此采用三跨连续梁体系。索塔全高 42.77m，塔跨比 0.24:1，塔墩固接，塔梁分离。

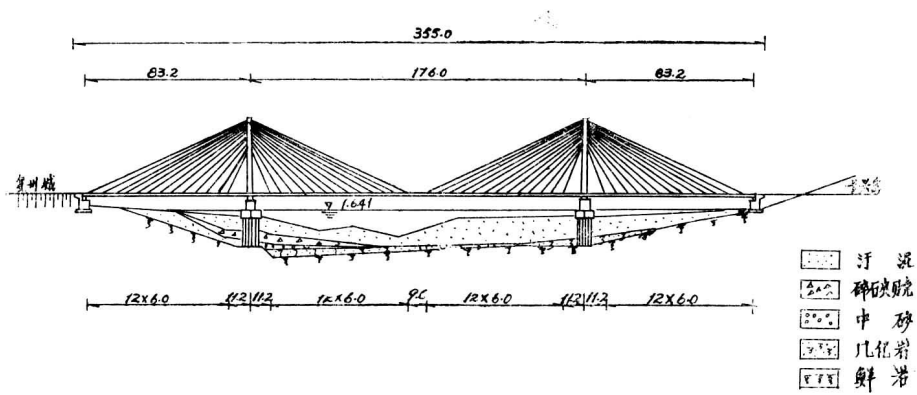


图 2—1 总体布置图

拉索为扇形布置的双平面体系，两拉索平面横向相距 8.0m，每根塔柱设 13 对拉索，对称布置，除内拉索距墩中线为 11.2m，跨中两外拉索距 9.6m 外，余者间距皆为 6.0 米的密索体系，这对改善主梁受力和提高桥梁刚度有很大的好处。

全桥设四个活动支座，对收缩、徐变、温度、制动力等两塔可均匀分配，结构受力合理，并且可以减少伸缩缝的长度，使构造简单。

二、墩台与基础

桥墩为钢筋混凝土实体墩，平面尺寸为 13×5 m 的矩形，外附半径 2.5m 的圆端。墩高 4.8m（包括 1m 墩帽在内）。桥墩按构造配筋。

墩顶设支座底座板，另设抗震挡块，在施工中兼作固定箱梁的锚固端。索塔部分主筋锚固于墩身中。

墩基础采用高桩承台。桩基为冲孔灌注桩，嵌入新鲜岩盘 1m 以上。桩径 1.8m，桩长 15m 左右，每座墩共 12 根，沿承台四周排列，横向桩距 3.6m，嵌入新鲜岩盘和穿过风化岩部分，桩径由 1.8m 缩小到 1.6m，其主要原因是护筒内径 1.8m，桩径按 1.8m 计算，但进入岩盘部分无护筒，按钻头直径 1.6m 计算。

由于灌注桩的质量不易控制，混凝土很难进行科学的检查，因此采用钢筋混凝土护筒，下沉至风化岩表面。护筒内径1.8m，壁厚0.1m，在护筒内冲孔钻岩，一般不易发生塌孔，并可将钻孔冲洗为清水，确保灌注桩的质量。在结构设计中，对护筒增强桩的作用不加考虑。护筒在未来的使用中，还可起抵抗海水侵蚀的保护层作用。

采用矩形钢筋混凝土承台，上下游皆作成尖端形破冰棱体，最大平面尺寸 $22.4 \times 10\text{m}$ ，厚度4m。见图2-2。

两岸桥台为普通重力式桥台，岩盘裸露地表，采用明开挖基础，直接奠基于鲜岩上。为减少圬工体积，在台身后部挖了三个空洞，中间填以片石。桥台本身重量足以保证平衡链杆支座传来的支座负反力。桥台设锥坡及导流建筑物。

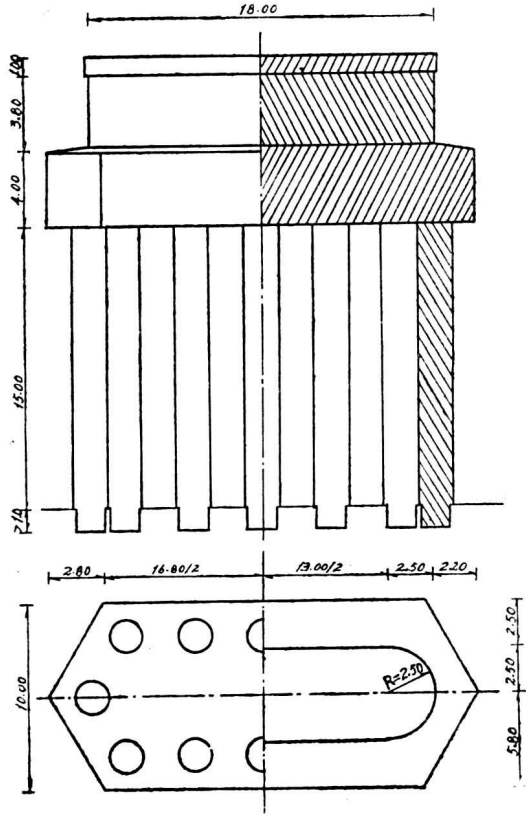


图 2—2 桥墩、承台、基桩构造图

三、索 塔

采用钢筋混凝土门形索塔，由两根塔柱和四道横梁组成。为使塔柱中心与拉索在梁上锚固部位处于同一平面而又保证梁通过墩顶处不与塔柱发生平面干扰，塔柱在下横梁以下，向上下游两侧倾斜。索塔全高42.77m。塔柱横桥向宽度1.6m，顺桥向随高度直线变化，在墩顶处截面高度4米，向上两侧以20:1收坡，在9.4m高度处截面高度为3.06m，并改变收坡坡度为100:1，在塔顶处截面高度2.4m。横梁全部为π型梁，高度除下横梁为1.8m外，其余全部为1.4m，塔柱中线横桥方向距离，在顶部直立部分为8.0m，在塔底即墩顶处为11.12m。索塔主钢筋在墩身中截断两批以后，其余埋入承台中。

为了便于维护和检查，两座索塔在下游侧设有工作梯，每隔10m设休息平台和栏杆。为了防止无关人员上塔，在桥面3m一段内未设梯。上横梁四周设有栏杆，保护上塔人员的安全。见图2-3。

四、主 梁

由于拉索的弹性支承作用，主梁高度可以作得很低，高跨比变化范围较大，一般从1/40—1/140之间。本桥主梁采用整体三室箱形梁，宽8.4m，高1.75m，(为跨径的1/100)，

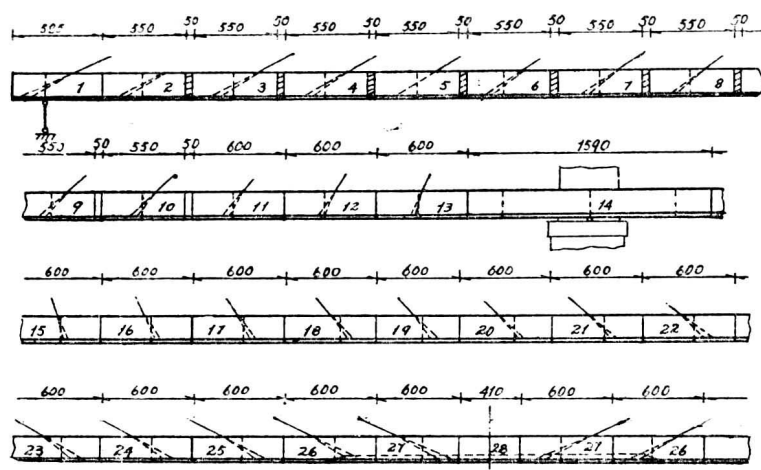


图 2—5 箱梁纵向分段图

五、拉索和锚固

拉索是斜张桥的主要承力构件，它的强弱对上部结构承受荷载的能力以及桥梁的刚度起着决定性的作用，拉索布置以辐射形受力状态最合理，而平行弦形最不利，但其造型则较为美观。辐射形拉索在塔顶集中到一点，对稀索可以办到，而对密索就相当困难甚至不可能了。因此一般情况下以作成扇形布置的居多。本桥即采用扇形布置，双索面体系，每塔每柱设13对拉索，全桥共140根。拉索系由国产 $\phi 5$ 高强钢丝制成的平行钢丝束组成，每束钢丝26至36丝，2至4束组成单根拉索。拉索长度由32m逐步增至95.8m，全桥总长6398m。以塔为基准，从外向内拉索组成如表2—1。

拉索组成表

表 2—1

拉索编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
束数×每束丝数	4×36	4×36	4×33	4×28	3×34	3×32	3×30	3×28	3×26	2×36	2×34	2×34	3×36

拉索上端锚固于塔柱上部12m高度范围内，下端锚固于箱梁边肋之下，全部采用墩头锚，每锚最多丝数36丝。由于拉索根数较多，并考虑到便于采用提升支架施工，故将拉索分为五个锚固区，各锚固区中拉索根数分别为2、2、2、3和4根。每个锚固区中拉索相距较近，锚头集中在一起，故把锚垫板焊在一起，形成阶梯形，四周焊以薄钢板组成一个锚箱，镶嵌在塔柱的截面以内。封锚前塔柱截面为H型，封锚后成为矩形，使得塔柱外形轮廓线条明确简单，美观大方。

每组拉索在横向上由于构造需要其轴线不在塔柱的轴线上，而向左右偏出，抵消偏心扭矩的作用。拉索孔道由 $\phi 115 \times 5$ mm钢管形成。锚固箱制作及吊装就位，简单迅速。由于采用这种锚固处理，无需制作特殊规格的模板，提高索塔模板的利用率，缩短了施工周期，在拉索成束、穿束、张拉和锚固方面都很方便，见图2—6。

由于采用墩头锚及最通用而且轻型的张拉工具 YC-60s 千斤顶，每束张拉钢丝根数不能超过 36 根，因此每根拉索须分成 2 至 4 股束分别张拉。为使各股束分别张拉后仍然组成原来的一索，以使结构外形紧凑，简化防锈处理，拉索在进入索塔及箱梁之后才按束分设管道。入口管道可以保证各束自由穿束而不互相影响。在穿束后，张拉以前，在入口管道中装置好经过机械加工的特制园弧形垫块，将几束拉索集中挤缩到一起，同时也不影响每束分别采用频率测力计测定张拉力。张拉力以经过校验的千斤顶油压表数值为准，而以钢束振动频率计测定的数据为辅。经过施工证明，此项措施方便易行。见图 2—7。

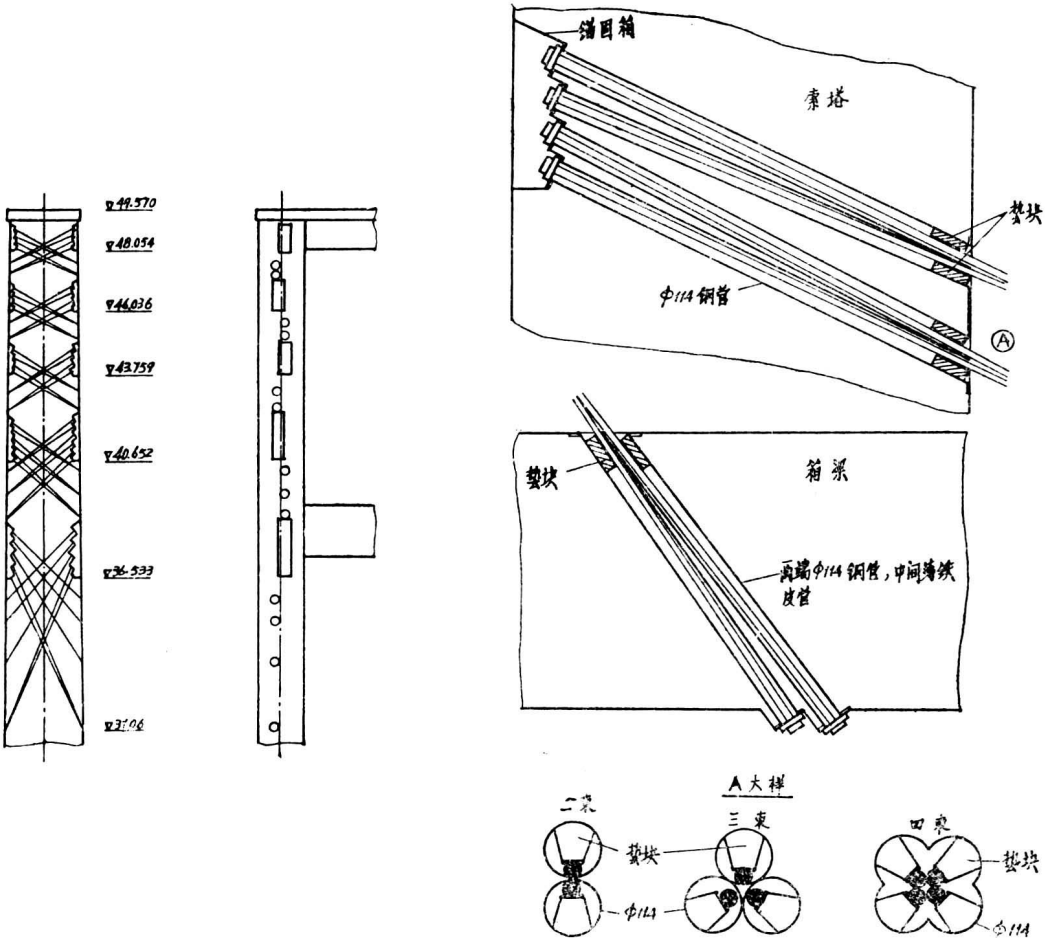


图 2—6 索塔锚固区构造图

图 2—7 拉索孔道及单根拉索形成图

拉索在受外力扰动后，会产生振动。拉索在塔梁入口处被固定，那里振动时必然是两个波节点，具有最大的相对转动变形，产生不同符号的应力，与拉索中原来的应力相叠加，而使拉索应力在一定范围内发生周期性波动，导致拉索在该点首先发生弯折疲劳，因此必须采取措施，防止拉索早期疲劳破坏，其主要设想就是将点的相对转动扩展到一段距离上，使各点间相对转动变形显著减少，从而振动产生的应力相对减小，而不发生疲劳。采取的措施是在塔、梁端拉索的入口处，套上一个长度为 0.7m 的钢管，嵌固于塔及梁内，内灌沙浆，以

使钢索在塔和梁内的固定由绝对刚度过度到有限的刚度，从而将绕一点的转动展开到一段钢管上，即可降低拉索应力变动幅度，起到保护作用。在箱梁端为防止人群和车辆的接触与碰撞，钢管适当加长，并在钢管的下面支以 $\phi 50$ 钢管立柱，见图 2—8。

拉索束的防腐蚀措施见第八章。

六、支 座

全部采用活动支座。每墩上采用四支单轴滚动支座，设有导轨，保证其运动的灵活性。桥台设链杆支座，以承受某些荷载组合下可能产生的负反力，见图 2—9。作用在主梁的水平力通过拉索、索塔及下部结构传至

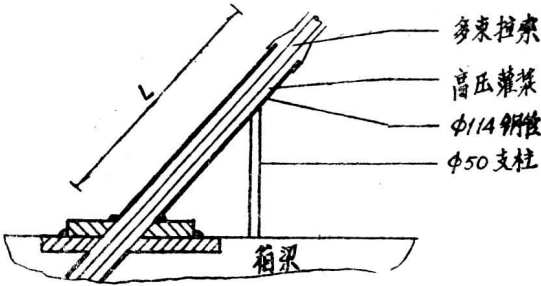


图 2—8 拉索局部保护及抗疲劳措施图

地基，因而相当于设一个水平弹性支承。

本桥边孔采用悬拼施工工艺，每段箱梁在从桥墩向桥台方向伸展过程中，标高和纵轴线都会出现一定的误差，拼装到桥台时，可能会造成链杆支座的安装发生偏斜，为使链杆支座与箱梁正确的相连，在台身设四个支座定位槽，允许支座在桥台的各个方向上作适当的位置调整。

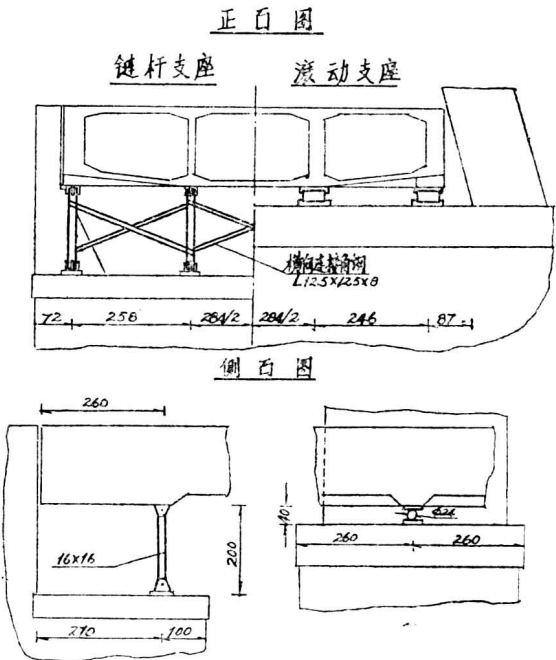


图 2—9 支座构造图