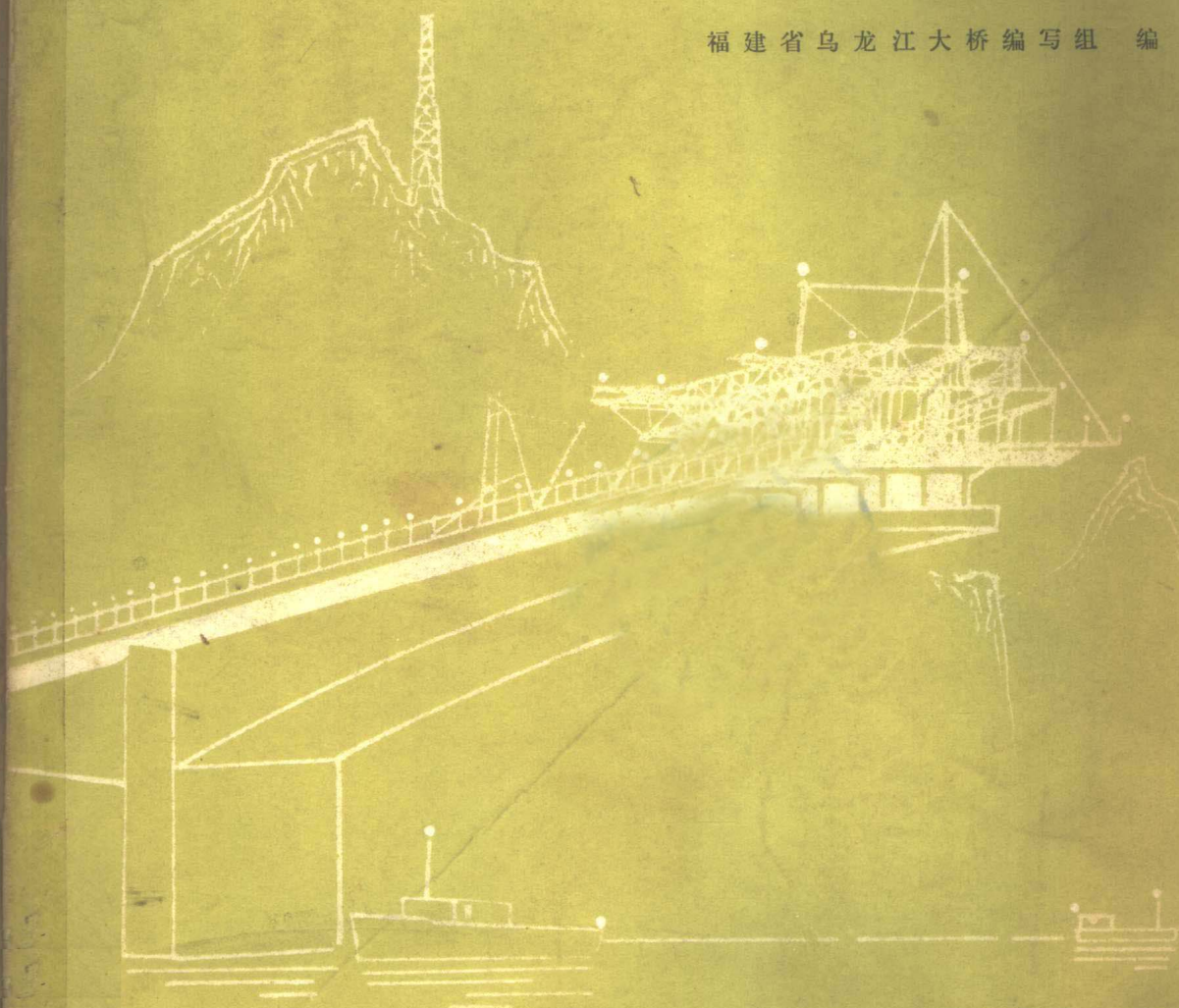


乌龙江大桥

设计与施工

福建省乌龙江大桥编写组 编



人民交通出版社

乌 龙 江 大 桥 设 计 与 施 工

福建省乌龙江大桥编写组 编

人 民 交 通 出 版 社

1 9 7 5 年 · 北 京

乌 龙 江 大 桥
设 计 与 施 工

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092_{1/16} 印张: 11.75 插页: 4 字数: 266千

1975年5月 第1版

1975年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5,500册 定价(科三): 1.10元

(内 部 发 行)

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

前 言

乌龙江系闽江一支流。闽江流经福州盆地时，被南台岛分成南北两支。北支叫北港，仍称闽江；南支叫南港，称为乌龙江。南北两支在马尾罗星塔汇合流入东海。

乌龙江大桥，位于乌龙江渡口下游峡口上，距福州市17公里。这里由于金牛、清凉两山隔江对峙，地形奇突，江面狭窄，水深流急。地质复杂，覆盖层很厚，基岩坚硬不平；由于濒临海口，风大浪高，潮差很大，有正逆两个流向。夏秋季节台风频繁，刮风时，江水呼啸，惊涛裂岸。所以，向有不可逾越的“天堑”之称。乌龙江渡口，是福（州）厦（门）公路的必经之道，是福州通往闽南各地的交通咽喉。每天车辆络绎不绝，多达千辆以上，行人过渡也有4,000人次之多。由于轮渡运力有限，行人、车辆经常排队等候，过渡一次需时30分钟，遇有台风、暴雨，还往往被迫停航，影响我省南北交通。

解放以后，在毛主席革命路线的指引下，我省交通事业有了很大发展。但是，由于刘少奇、林彪一类骗子反革命修正主义路线的干扰，在他们所散布的“洋奴哲学”、“爬行主义”的影响下，一直没有把闽江大桥修建起来，更不敢在乌龙江上改渡为桥。福建省革命委员会成立以后，为了落实毛主席制定的“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针，根据全省军民多年来的愿望，在修建福州闽江大桥的同时，于1970年作出了修建乌龙江大桥的决定。在党的正确领导下，经过无产阶级文化大革命战斗洗礼的福建工人阶级、贫下中农和革命的工程技术人员，在人民解放军与省外有关单位的大力支持与协助下，高举党的九大团结、胜利的旗帜，用战无不胜的毛泽东思想统帅一切，以革命的英雄气概和严格的科学态度相结合的实际行动，从1970年4月1日正式动工到1971年9月26日胜利建成通车，以一年零五个月的时间，建成了这座目前我国跨径最大的预应力混凝土公路桥，为我省的社会主义建设事业作出了新的贡献。

乌龙江大桥的建成，使闽江南北连成一片，对于提高福厦公路的运输能力，缩短汽车周转时间，促进工农业生产，加强战备，巩固海防和解放台湾，具有重要意义。同时也为我国桥梁建设事业提供了新的实践经验：它首次在我国建成了144米这样大跨径的预应力混凝土公路桥，为我国今后研究和发展预应力混凝土桥积累了资料；它解决了在海口附近自然条件复杂的情况下，修建深水基础的一些特殊问题；它第一次在T型刚构中采用我国工人阶级在武汉长江大桥所创造的轻型管柱基础，使管柱基础的使用范围和适应性得到了新的发展。此外，还创造了一些较为先进的施工工艺，如大型管柱的离心旋制、用环氧树脂胶接缝进行悬臂拼装等，都可以作为今后桥梁建设的参考。

乌龙江大桥的胜利建成，是毛主席革命路线在公路建设战线上的伟大胜利，是无产阶级文化大革命的丰硕成果。福建工业基础较薄弱，施工队伍又是新兵打硬仗。今天要在水下基础工程艰巨，自然条件十分不利的乌龙江上修建这样大跨径的桥梁，难度确实很大。面对着江水呼啸，浊浪滔滔的“天堑”，全省军民怀着对伟大领袖毛主席的无比深厚的无产阶级感情，为了社会主义建设的美好前景，在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的指引下，遵照毛主席关于“自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想”的教导，以大庆人为榜样，坚持唯物论的反映论，认真看书学习，狠批刘少奇一类骗子的唯心史

观，提高了路线斗争觉悟。积极为革命钻研业务，提高技术水平。全体建桥战士，高举“鞍钢宪法”旗帜，在工程指挥部党委的坚强领导下，上下一致，群策群力，狠抓革命，猛促生产。领导干部以身作则，深入工地，面向连队，跟班参加劳动，抓思想，抓技术，共同研究，解决施工难点，加快施工速度；坚持技术人员走与工农兵相结合的道路，组织广大工程技术人员到基层去拜工人为师，向工人同志学习，有的则在工地参加作业，组织生产，摸情况，交技术，总结经验，互相促进；建立了以研究技术为主要内容的，有领导干部、工人、工程技术人员参加的三结合小组，联系实际，发动群众，大搞技术革新与技术革命。实践出真知，劳动出智慧，在广大群众的积极努力下，终于克难制胜，化险为夷，成功地解决了以下几个技术问题：两个深水基础在每天有二个正逆流向，潮差大、覆盖层厚、基岩坚硬不同的情况下，进行围笼浮运、定位、管柱下沉以及插打钢板桩等关键性问题；保证了上部结构薄壁梁肋的混凝土浇筑质量。掌握了挂篮变形对混凝土质量的影响以及克服钢束滑丝和控制梁块拼装变形等等。所有这些成就的取得，是在毛主席革命路线指引下，群众智慧和力量的结晶，是对刘少奇、林彪一类骗子所鼓吹的“英雄史观”的有力批判！其次是砂石备料和两岸桥头接线，这两项工程任务，数量都很大，工期又很紧迫。如果不能在洪水季节到来前，把砂、砾石准备好，主体工程势必受到影响；如果不能迅速地把两岸桥头接线土石方挖完，把路修通，则施工队伍不便进场，也无法按期开工。在这种情况下，当地党委和贫下中农群众，组织了成千上万的劳动大军，集中了500多艘船只，日以继夜地进行突击，提前完成了任务，保证了工程的胜利进行。事实证明，只要我们相信群众，依靠群众，充分发动群众，什么人间奇迹都可以创造出来，什么技术难点都可以克服。

黑龙江大桥的胜利建成是与省内外有关单位的热情支援分不开的。大桥修建期间，直接参加大桥施工的有40多个单位。人民解放军遵照毛主席关于“全心全意地为人民服务”的教导，从政治思想上、物质上作了很大的支持，他们昼夜奋战在工地上，为人民立了新功。交通部对大桥建设十分重视，派来了工程技术人员，支援了各种专用设备，进行了具体的帮助。省内外的许多工厂，为大桥日夜加工赶制各种机具材料。这些来自四面八方的热情援助，对大桥的建成做出了积极的贡献。所有这些都生动地体现了我国社会主义制度的无比优越性。

伟大领袖毛主席教导：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”让我们在毛主席革命路线指引下，团结起来，为祖国的桥梁建设事业做出更大的贡献。

由于我们学习不够，业务水平有限，这本书的编写不可能反映出大桥建设的全部情况，甚至还可能有一些缺点和错误，希望同志们多加批评指正。

目 录

前 言	1
第一章 桥址自然情况	1
一、桥址概述	1
二、水文、气象情况	1
三、工程地质情况	2
第二章 桥位与桥型	4
一、桥位	4
二、技术标准	4
三、桥型	4
四、问题讨论	6
第三章 T型刚构基础设计	10
一、管柱基础设计	10
(一)一般介绍	10
(二)计算方法	11
(三)计算结果主要数值	14
(四)墩柱顶端位移计算	15
二、钢板桩围堰设计	16
(一)构造及基本尺寸	16
(二)计算要点	17
三、浅埋扩大基础设计	22
四、几点说明	23
第四章 T型刚构设计	25
一、结构介绍	25
(一)用悬臂浇筑法施工的非对称式刚构	25
(二)用悬臂拼装法施工的对称式刚构	29
二、工程材料数量及技术经济指标	33
三、刚构悬臂梁的计算	34
(一)计算选用的基本数据	34
(二)荷载及内力计算	34
(三)预应力混凝土计算	34
(四)挠度计算及预拱度设计	45
四、墩柱的计算	50
五、有关问题讨论	53
第五章 挂梁及桥面设计	56
一、挂梁设计	56

二、桥面设计	60
三、设计中的几个问题	62
第六章 工程部署与施工组织	64
一、工程项目与工程数量	64
二、施工组织机构	65
三、施工部署及施工进度	65
四、主要施工技术方案	66
五、工地布置	68
六、电力供应	68
七、材料供应与机具设备筹划	68
第七章 工程测量	72
一、桥址地形测量及水文测验	72
二、桥梁平面控制和高程控制测量	73
三、刚构基础、墩柱施工定位测量	74
第八章 刚构基础及墩柱施工	78
一、围笼拼装	78
二、围笼定位设备及其布置	80
(一)总体布置	80
(二)导向船与定位船	82
(三)锚碇设备的选择	85
(四)定位设备作业过程	90
(五)几点经验	91
三、围笼浮运、下沉、定位	92
(一)围笼浮运	92
(二)围笼起吊、下沉	93
(三)围笼定位	95
(四)结语	97
四、管柱下沉	97
(一)定位管柱方案的拟定	97
(二)下沉管柱的方法	98
(三)管柱倾斜及其原因分析	100
(四)悬挂围笼	101
(五)用于下沉管柱的主要机具	102
(六)结语	102
五、管柱内钻岩与混凝土填心	103
(一)管柱钻岩	103
(二)管柱堵漏清底	106
(三)管柱内混凝土填心	107
(四)质量检查及处理办法	108
六、插打围堰钢板桩	109

(一)钢板桩拼组	109
(二)在两个流向情况下插桩	110
(三)钢板桩围堰合拢	112
(四)主要机具设备	112
(五)几点体会	113
七、围堰封底及抽水	114
(一)围堰封底	114
(二)围堰内抽水	118
八、浇筑上承台及墩柱混凝土	119
(一)上承台浇筑	119
(二)墩柱混凝土浇筑	120
(三)主要设备	122
九、拔除钢板桩及拆除围笼	122
十、管柱基础及墩柱施工工期	123
十一、浅埋扩大基础	123
(一)草袋贝雷框架围堰	123
(二)贝雷骨架双层钢板围堰	124
十二、3号围笼坠落事故	124
第九章 刚构悬臂梁悬臂浇筑施工	127
一、施工托架	127
二、施工挂篮	128
(一)挂篮的构造	128
(二)挂篮计算要点	131
三、梁段施工工艺流程	132
四、模板	132
(一)模板的构造与安装	132
(二)施工中出现的問題及解决方法	134
五、钢筋及预应力管道	134
(一)钢筋	134
(二)预应力管道	135
六、混凝土浇筑	135
(一)混凝土配合比	135
(二)震捣器布置	136
(三)混凝土浇筑	137
(四)挂篮变形对混凝土质量的影响	138
七、预施应力及预拱与桥轴线控制	138
(一)预施应力	138
(二)预拱与桥轴线控制	138
八、施工周期	140
九、几点体会	141

第十章 刚构悬臂梁悬臂拼装施工	143
一、块件预制	143
(一)预制场地的选择	143
(二)块件预制方法	143
(三)预制中肋束管道的接头处理	144
二、块件出坑及运输	144
(一)出坑前的准备工作	144
(二)起吊出坑及堆放	144
(三)块件整修	145
(四)块件的装船及浮运	145
三、块件拼装的吊机及作业程序	146
(一)块件拼装的吊机	146
(二)块件拼装作业程序	148
四、块件拼装的接缝处理	148
(一)湿接缝	148
(二)环氧树脂胶接缝	149
(三)胶接缝在预施应力过程中出现的问题及处理方法	152
五、块件拼装的位置控制	152
(一)拼装定位的标志设置	152
(二)块件拼装定位	153
六、明槽及三角垫层混凝土浇筑	156
七、悬臂拼装施工中的几个问题	156
八、悬臂浇筑与悬臂拼装比较	158
第十一章 挂梁及桥面施工	160
一、挂梁预制	160
二、挂梁安装	161
(一)准备工作	161
(二)挂梁吊装及支座安装	161
三、桥面防水层及桥面铺装	162
四、人行道、栏杆及灯柱施工	162
五、桥面变形缝的制作与安装	162
第十二章 预施应力及管道压浆	164
一、预应力钢材	164
(一)高强钢丝	164
(二)25锰硅	164
二、预应力钢丝束与预应力钢筋制作	165
(一)预应力钢丝束制作	165
(二)预应力钢筋制作	165
三、锚具	166
(一)钢质锥形锚具	166

(二)固定端锚头锚具	167
(三)螺丝端杆与钢筋绑条锚具	168
四、预施应力设备	168
(一)主要设备数量及性能	168
(二)千斤顶及其油压表校验	169
五、预施应力工艺	170
(一)准备工作	170
(二)穿束	171
(三)钢丝束张拉	171
(四)预施应力过程中遇到的问题及其处理办法	172
六、封 锚	173
七、管道压浆	173

第一章 桥址自然情况

一、桥址概述

乌龙江大桥位于福州市东南17公里，闽江下游之乌龙江渡口处。距海口约31公里。

乌龙江渡口是福建省南北交通干线——福（州）厦（门）公路的咽喉，是福建省最大的渡口。渡口濒临海口，来往车辆、行人频繁，遇到台风暴雨时，船只往往被迫停航，南北交通断绝，影响社会主义革命和建设。为了落实毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针，决定将渡口改为桥梁。大桥于1970年4月1日开工，1971年9月26日建成通车。大桥的建成，对于促进社会主义工农业生产发展，巩固海防，支援前线解放台湾都具有重大意义。

乌龙江系闽江干流之一支。闽江长达577公里，流经福州盆地时，在淮安分为南北两支，北支称北港，通称闽江，南支曰南港，又称乌龙江。南北两港于马尾会合，流入东海。

乌龙江长约30公里。上游江面宽阔，一般约2公里，洪水时最大可达3.5公里。江中砂洲星罗棋布，水浅流乱，冲淤变化无常。渡口处由于清凉、金牛两山截阻，江面骤然收缩，形成峡口，峡口处江面宽仅450米，出峡口后，江面又逐渐扩散与北港汇合。由于南北两港流量比例历年不同，南港又有大漳溪等影响，故峡口处河床冲淤变化明显，最大可达10米。

峡口处清凉、金牛两山隔江对峙，地形陡峻，山顶高度分别为150米和75米。北岸清凉山周围群山相连，南岸金牛山周围比较开阔。

桥址位于峡口处，自然情况比较复杂，水深流急，地势陡峻，临近海口，风大浪高，受潮汐影响，正逆两个流向，水位变化大，河床覆盖层厚，地质复杂。这些，都给工程施工带来不少困难。为了多快好省地进行桥梁建设，我们遵照毛主席关于“认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去”的教导，首先进行了对桥址的水文、气象和工程地质等的调查研究和测量钻探等工作。现将勘测结果分别叙述于后。

二、水文、气象情况

乌龙江桥址上下游江面宽阔，水流平缓。但在桥址处，由于江面形成峡口，流速加大，施工中测得涨落潮最大流速为每秒1.60米左右。同样，由于江面颈缩的缘故，流向趋势由两岸向河中靠拢，通过峡口后又逐渐向两岸扩散。因而产生回流、紊流现象。尤其是河道南侧，回流更甚，旋涡密布。河床桥位处总流向正东。

乌龙江属潮汐河流。原省水文单位在南岸设有水位站，收集水位变化资料。但观测年数有限，资料也不够完善。施工中，为了进一步掌握潮水变化规律，在北岸设立水位站，进行一年多的水位观测。潮水每天涨落两次，落潮顺流，涨潮逆流，两个流向，涨潮时间短，涨率大，历5小时，一小时内最大涨率达1.30米左右，退潮时间长，降率小，历7小时，最大潮差达5米，全年平均高潮水位为4.72米，低潮水位为1.30米，每逢阴历初三、十八前后是大潮，初十、廿五前后是小潮，大小潮水位变化情况如图1-1所示。

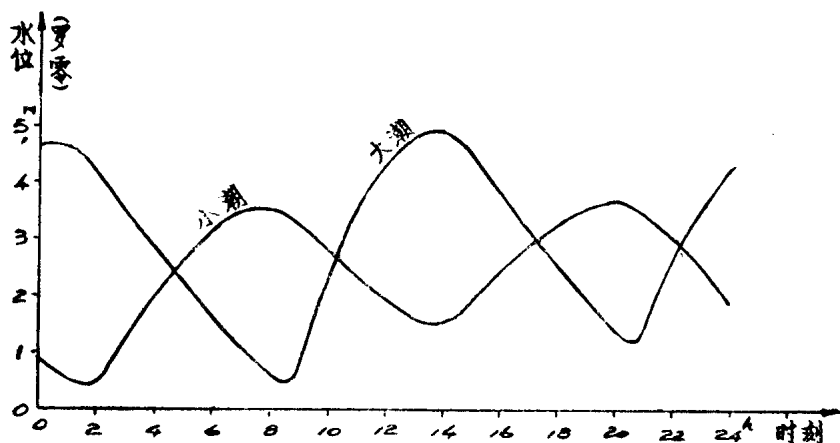


图1-1 一天内潮水位变化图

潮水影响给施工带来了许多不利因素，如在两个流向潮差大的情况下，水上定位锚碇等临时施工设施，受力复杂，使插打围堰钢板桩等施工工艺，增加困难。但是，我们遵照毛主席关于“我们必须学会全面地看问题，不但要看到事物的正面，也要看到它的反面”的教导，利用潮水的有利方面为施工创造了不少方法，如利用平潮浮运围笼，利用落潮悬挂围笼等。

由于受潮水影响，水位随着潮水变化，最高水位发生在上游洪水高峰和涨潮相遇时，根据历史记载，1961年6月3日闽江上游洪水时，峡口处高潮水位达6.79米，为历史最高洪水位。施工中测得桥位处河床水深为18~26米（相应的水位为5.0米）。由于上游有江心礁影响，河床中部较浅，两侧较深。

乌龙江最大流量约为每秒22,000立方米。

桥址地区每年5~6月为雨季，月最高雨日达18天，年平均雨天为149天，7~9月为台风季节。每年台风影响5~6次，最大的达12级。当台风袭击时，或沿海有东北向大风时，由于风向与水流方向相反，高低潮水位显著提高，江面波涛汹涌。峡口处寻常午后也有3~4级风。桥址区气候温和，1月份平均温度为10.2℃，最低为-2.4℃，7月份平均温度为28.6℃，最高为37℃。

三、工程地质情况

桥位经比较选定之后，沿桥轴线布孔进行地质钻探，桥型方案确定后，又按桥墩位置布孔钻探。在钻探过程中，发现覆盖层中含有孤石，为了摸清孤石的大小和位置，又进一步按管柱基础的方案，在每根管柱位置上进行钻孔。全桥共钻59孔，总进尺为1514米。

根据地质钻探结果分析，桥址区域的地质构造较为复杂，表层为第四纪沉积层，岩基以花岗岩属为主，地质年代定为中生代燕山期中期的产物，有后期辉绿岩侵入体。

第四纪沉积层为细砂、中砂，呈土黄色和淡灰色，含少量腐烂草根及树叶木头等，未胶结，夹有淤泥薄层，接近岩基部分有薄砾石层。砂的矿物成分以石英为主，含少量磁铁矿，白云母。

中生代燕山期花岗岩，按矿物成分及蚀变情况分为绢云母花岗岩、黑云母花岗岩、微粒长英岩等。这些岩层彼此穿插，构成一体。花岗岩结构也是多样的，有中粒粗粒、斑状结

构；主要矿物成分有斜长石、石英、绢云母、黑云母，次要矿物有角闪石等。从坚固性与稳定性看，这种岩层具有如下特点：含有不稳定矿物，如黑云母、角闪石；中、粗粒及斑状结构抗风化能力较低；节理发育；具有不同程度的绢云母化。岩石等级为6~8级。

微粒长英岩，主要矿物为石英、长石，具隐晶细粒结构，抗风化能力较强，比绢云母花岗岩、黑云母花岗岩工程技术性质较好，岩石等级为8~9级。由于节理发育，使岩基强度稍为降低。

后期侵入的辉绿岩，呈灰绿色，细晶粒状结构，结构细密，新鲜者抗风化能力较好，暴露于地表时，则剧烈风化。

两岸地表均可看到风化残积层，并能看到岩体被裂隙分割成块，表面已成土状风化，颜色与矿物成分都有显巨变化，常见岩体中部残留的球状内核。

每个墩位的地质情况，也较复杂，举3号墩为例：

覆盖层为细砂，厚度自21.30~26.37米，个别钻孔发现有0.70米游泥薄层，下部为砾砂，砾石及卵石层，粒径2~5厘米，个别达15厘米，厚度自0.20~5.50米，级配好，较紧密。

基础位置上有4个钻孔遇到孤石，厚度在1.00~1.50米左右，个别厚达5.0米，多分布于墩位北侧。

基岩，北侧多是花岗岩，南侧为微粒长英岩，呈岩脉穿插在花岗岩中，石质坚硬。岩面起伏不平，无一定规律，基本上东北向低，西南向高，岩面标高波动范围自-42.30~-47.37米。相邻两钻孔，平面距离仅2米，高差悬殊达3.5米。

桥位地质剖面图见图1-2。

2号、3号基础地质剖面图见图1-3。

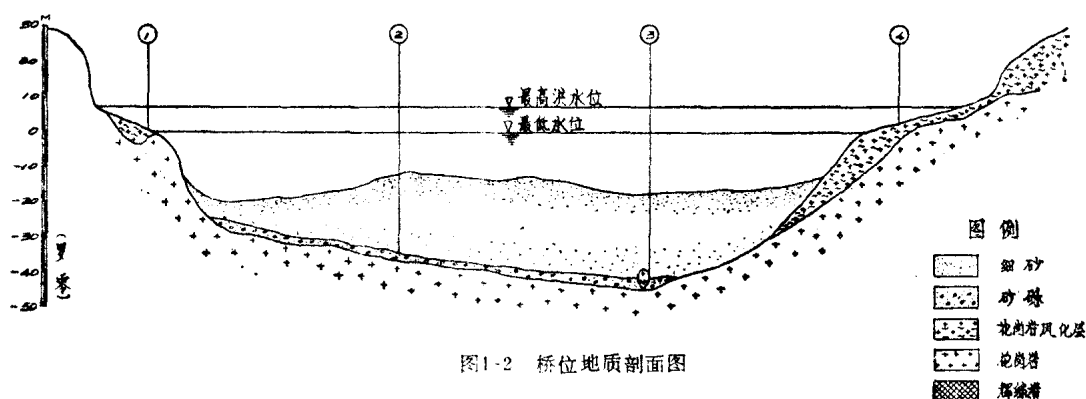


图1-2 桥位地质剖面图

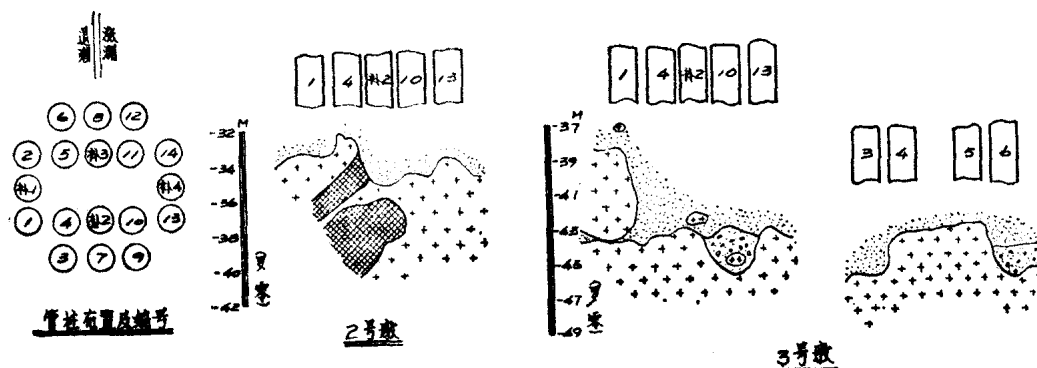


图1-3 2号、3号基础地质剖面图

第二章 桥位与桥型

一、桥 位

初勘时，曾在渡口附近选择四个桥位比较方案：第一方案为原有渡口码头连线，全长约 1,200 米；第二方案为从南岸下游备用码头经江心礁直线延伸至北岸，全长约 900 米，其中另一修改方案为经江心礁后，不直线延伸，而是与河流成直交的弯道桥方案；第三方案为清凉、金牛两山嘴连线，长约 500 余米；第四方案在第三方案下游 60 米处，长也是 500 余米。渡口上下游江面宽阔，考虑到接线工程数量大，且占用农田多，未选择桥位比较方案。

经分析比较，最后选定清凉、金牛两山嘴连线的桥位方案。这里江面最窄，低潮时水面宽仅 450 米，其优点是：桥梁短，目标小，有利于战备；两岸接线傍山而下，工程数量较少，且少占农田；桥位在渡口下游 550 米处，工程施工不妨碍渡口交通。缺点是水深流急，施工条件不利。桥位见图 2-1。

二、技术标准

技术标准按交通部 1967 年颁布的《公路桥涵车辆荷载及净空标准暂行规定》确定，该规定未涉及的问题，仍沿用“公路桥涵设计规范（草案）”（交通部公路设计院 1961 年油印本）规定。经研究，采用如下技术标准。

桥面净空：桥面行车道宽 9 米，两侧人行道各 1.25 米。包括栏杆，桥面外侧总宽 12 米。

桥下净空：由于采用大跨径桥梁，通航净宽满足要求，其净高在一般高潮水位时为 12.3 米。这样附近渔业大队的机帆船可在低潮水位时不下桅杆过桥。

桥梁荷载：车辆计算荷载采用汽车-26，验算荷载为拖车-100；人群荷载为 200 公斤/平方米；风荷载为 161 公斤/平方米；计算水流冲击力时，流速按 8 米/秒计；船舶撞击力按 5 级航道考虑，顺水 30 吨，顺桥 25 吨；其它附加力均按有关规范规定计算。

桥梁接线：按现有福（州）厦（门）公路的技术标准设计，考虑到将来的发展，路基宽度适当加宽，采用 11 米，路面宽 10 米。

三、桥 型

（一）桥型方案选择

桥位处水深、覆盖层厚、自然情况复杂，已如第一章所述。考虑到这些复杂的自然条件，基础工程施工必然困难，造价昂贵，为了加速工期，节约投资，宜采用大跨径桥梁，以减少深水基础工程。桥型曾考虑跨径为 120 米的 T 型刚构附挂梁方案（简称 120 米方案），总体布置为 4 墩 5 孔，3 个深水基础，1 个浅基础，由 4 个 87 米长的 T 型刚构和 5 组 33 米长的挂梁组成，全长 513 米，为预应力混凝土结构，根据福建省的技术设备条件，深水基础

采用混凝土沉井方案。后经过详细地质钻探,发现基岩倾斜,岩面高差悬殊,石质坚硬,这对于沉井基础的底面处理困难很大。由于这个原因,改为管柱基础方案。

管柱基础与沉井基础比较,其优点是:管柱面积较小,对基岩倾斜、岩面高差悬殊、石质坚硬的地质情况适应性较好;由于水深流急,两个流向,潮差大,需要较大型的水上定位锚碇设备,而比较起来,管柱基础所需的定位锚碇设备较小;同时管柱基础在国内已有成熟的经验可以借鉴。管柱基础的缺点是:在弯矩及水平力作用下,墩顶侧向位移较大,刚构悬臂端的上下挠度幅度也较大。这在公路桥梁上并不十分影响行车。

在管柱基础方案确定之后,考虑到仅能筹划两套施工设备,在一个枯水季节只能同时建成两个深水基础,为了多快好省地完成建桥任务,经技术经济比较,决定减少一个深水基础,即将北岸一个深基础向岸移,改为浅基础,这样桥梁跨径增大到144米,总体布置仍为4墩5孔,桥型结构不变,桥梁由4个T型刚构(2个长111米,2个长107.5米)、3组33米长的挂梁、2个6米长的桥头搭板组成,总长548米(简称144米方案)。

变更后的144米方案与原120米方案比较,具有下列优点:

施工工期较短。两个深水基础,采用两套施工设备,在一个枯水季节可同时建成,这就为缩短全桥工期奠定了基础。根据武汉长江大桥的经验,一个管柱基础的工期,从围笼下沉到墩身完成平均需期433天,最快为382天,而福州地区的施工季节,一般从当年的10月份台风过后,到次年的5月份洪水来之前,这段时间仅有210天左右,因此一个枯水季节,一套施工设备只能完成一个基础的施工任务,而且必需努力争取方能完成。

造价经济。根据计算,一个管柱基础的T型刚构混凝土总数量为4,444立方米,钢材为480吨,而一个扩大基础的T型刚构混凝土总数量为2,488立方米,钢材为168吨。前者与后者比较:混凝土数量为1.7倍;钢材数量为2.5倍。可见深水基础工程材料数量之大。变更后的144米方案,虽然由于跨径增大而增加了上部结构的工程材料数量,但因减少了一个深水基础工程,总的工程材料数量减少了,加上所需施工设备较少,工期较短等因素,与原120米方案相比,造价显然经济。

144米方案也有如下不足之处:如由于地形限制,总体布置不如120米方案合理,而且桥梁总长度较长;桥头搭板纯属附加桥段,且跨径仅6米,对于悬臂端与桥台连接,行车条件不如跨径为33米的挂梁好;有对称式与不对称式两种刚构,设计施工单一性较差,不对称刚构由于静载不平衡而采取了平衡重措施,显然也是不经济的。

总之,根据桥址的自然条件,综合考虑工期、设备、技术条件及造价等各方面因素,以采用跨径为144米的T型刚构附挂梁的桥型方案是比较合理的。

(二)采用方案结构介绍

采用的跨径为144米T型刚构附挂梁的桥型方案,总体布置如图2-2所示。

江中两个T型刚构为对称式,刚构悬臂长各为55.5米;江畔两个T型刚构为不对称式,河向悬臂长为55.5米,岸向悬臂长为52米。各刚构之间采用跨径为33米的挂梁连接,组成144米跨径的主孔;刚构与桥台之间采用跨径为6米的搭板连接,组成58米的边孔。桥头搭板的设置,是为了消除悬臂自由端与桥台直接连接而引起的行车冲击。

桥面中心标高定为19.45米,全桥平坡。

江中两个深水基础为钢板桩围堰钻孔管柱基础。每个基础采用直径为155厘米的旋制钢筋混凝土管柱16根,施工方法与武汉、南京长江大桥相似。

江畔两个浅水基础为浅埋扩大基础。基础直接置于岩层上,分别采用钢板桩围堰和草袋

木板桩围堰施工。

T型刚构的墩柱为钢筋混凝土空心式。

T型刚构悬臂梁为预应力混凝土结构，梁高沿梁底缘按圆弧曲线变化，悬臂端做成牛腿形式，以安置挂梁，横截面为双箱并联的箱型截面。纵向预应力采用直径为5毫米的碳素高强钢丝束，钢质锥形锚具和顿头锚具；竖向预应力钢筋为25锰硅普通低合金钢粗钢筋，螺丝端杆和绑条锚具。江畔两个刚构悬臂梁采用悬臂浇筑法施工，每个悬臂长分成16段（岸臂为15段）浇筑；为缩短工期，江中两个刚构悬臂梁采用悬臂拼装法施工，每个悬臂长分成23段预制拼装。

挂梁为33米的预应力混凝土简支梁，T型截面，每孔5片，预制安装后采用横向预应力连成整体。

桥头搭板为就地浇筑的钢筋混凝土简支板。

桥台均为浅埋扩大基础的实体式桥台。

四、问题讨论

（一）关于T型刚构采用管柱基础的适应性问题

采用钢板桩围堰管柱修建大型桥梁深水基础，在我国已有成熟的经验。乌龙江大桥，高潮水深23米，河床覆盖层厚度近30米，基岩石质坚硬，岩面高差悬殊，按现有施工条件采用直径1.55米的管柱基础是适宜的。采用这种基础结构形式修建大跨径的T型刚构还是首次，无论从基础的强度和刚度两个方面来分析也是适应的，因而使管柱基础的使用范围，得到了新的发展。

从基础的强度方面看，计算管柱时，在横向风力、水流冲击力、船舶撞击力的荷载组合下，以3号刚构为例，最大水平力为222.4吨，横桥向的荷载组合控制了基础强度设计（详见第三章管柱基础设计）。T型刚构虽有较大的活载偏心弯矩传给基础，但只作用在顺桥轴平面内，即使加上顺桥向的水平力，其荷载组合亦不控制设计。这就说明T型刚构顺桥向对基础的影响（活载偏心弯矩较大），在本桥就基础而言，并不是控制的因素。

从基础的刚度方面看，管柱基础在弯矩及水平力作用下，承台位移及转角较大，导致上部结构变形也较大，特别是管柱上端固接下端铰接（未考虑河床覆盖层土壤的弹性抗力作用）的情况下，计算墩柱顶端位移值更大。本桥3号刚构计算结果，墩顶纵向位移为5.2厘米，墩顶横向位移为9.9厘米；悬臂端挠度为11.5厘米。其中由于基础变形产生的分别占总值的77%、98%和21%，可见基础变形影响之大。

本桥系静定结构，基础变形不产生附加应力。墩顶纵向之计算位移值，在规范容许变位值内，并在设计挂梁支座和桥面变形缝时，考虑了上述的变形值。而横桥向的墩顶计算位移值，超出了 $0.5\sqrt{L}=6$ 厘米（ L 为桥梁跨径）的规范限值，但位移计算方法与前提是否合理，规范的容许变形值 $0.5\sqrt{L}$ 是否合情，有待研究和商讨。例如，河床覆盖层土壤对管柱的约制作用，但因本桥管柱中距很小，目前还没有适当的计算公式。此外，产生位移的荷载，大部为瞬时动荷载，此时应按动荷载作用下的瞬时弹性模量来考虑，据有关资料介绍此值为一般弹性模量的2~3倍。故实际位移值远比计算值为小。而根本问题在于横向变形系横向荷载组合引起，与T型刚构受力特点无关。故可认为管柱基础用于T型刚构是可以适应的。