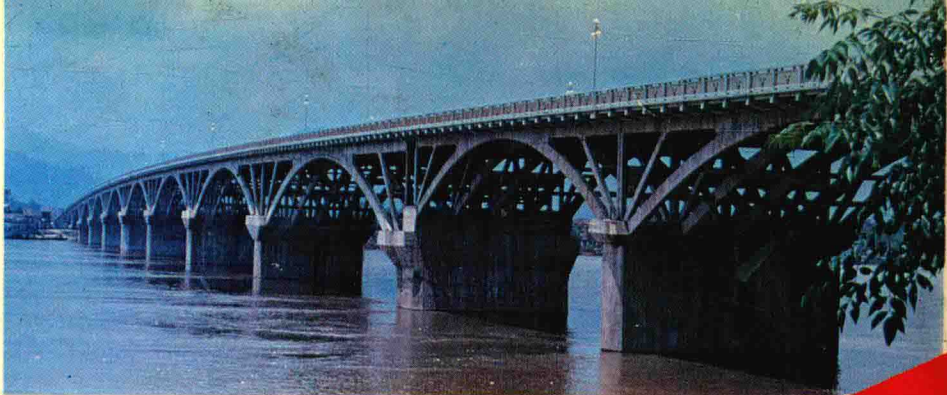
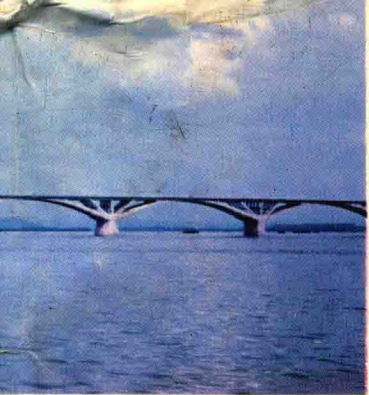




● 广东路桥建设丛书 ●
广东省交通厅

刚架拱桥

—— 清远北江大桥



刚架拱桥

——清远北江大桥

广东省交通厅 编

广东科技出版社

刚架拱桥——清远北江大桥

广东省交通厅 编

Gangjia Gongqiao-Qingyuan Beijiang Daqiao

*

广东科技出版社出版发行

广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 8印张 6插页160,000字

1989年4月第1版 1989年4月第1次印刷

印数1—5,200册

ISBN 7-5359-0424-6

U·9 定价 9.00 元

内 容 简 介

这是以广东省清远北江大桥建设过程为实例的关于刚架拱桥的专门著述。

清远北江大桥的上部结构采用了“刚架拱”的形式。这种结构，是交通部公路研究所七十年代末八十年代初的科研成果，是我国传统拱桥的新发展。建桥实践证明，它结构轻巧、造型美观，技术经济指标好，在设计和施工上也比较简便。北江大桥比原计划提前十五个月交付使用，节省资金三百多万元，并获国家优质工程银质奖。

本书较系统地阐述了北江大桥的“刚架拱”桥型方案及结构构造，并对大桥的结构计算、施工、静动载试验进行了总结。不仅可供有关的科研人员、工程技术人员学习和参考，也是北江大桥建设的翔实记录。

本书编写人员

顾问: 曾 威 谢瑞振 洪立维

主 编: 岑国基

副主编: 楼庄鸿

编 委: 娄有原 赵华明 徐累有

彭嗣墨 胡春波 张金根

丁铁葵 石国彬 贾玉清

黄小洛 苏培新

百
攀
科
技
新
高
峯

賀廣東剛架拱拔社出版

李光

八
年
九
月

序

刚架拱桥是我国桥梁工程技术人员自己创造的新桥型，是交通部公路科学研究所1976年的科研成果，1979年由交通部通过技术鉴定并定为向全国“推先”的项目。广东经过几许艰辛，于1984年元月才被批准在清远北江大桥采用，终于在1985年10月26日建成广东第一座多跨的大跨径刚架拱桥，又过了三年，才总结编写成书，我总感到它有点姗姗来迟。

无独有偶，1987年我到重庆参加中国土木工程学会第一次城市桥梁学术会议，在论文集内看到一篇题为：“值得推广的桥型——刚架拱桥”。但文内陈述：“……排除了各种非议和干扰，于1983年5月设计建成单孔净跨30米的双车道城市公路桥，也是西南地区的第一座刚架拱桥”。使我感慨良多，怎么好事总要多磨？当时我即对本书主编岑国基副总工程师说，原计划撰写的科普著作《广东刚架拱》应加紧出版，来不及的话，则设法在《广东公路交通》杂志上，先办一期清远北江大桥专辑，籍以传播。岑总照此办了。

“百花齐放，百家争鸣”是我们的方针，是政治稳定、经济繁荣的体现。在桥梁的百花中，刚架拱算是其中的一朵，它是富有生命力的鲜花。刚架拱从本质上说仍属拱式体系，初次接触，我就被它优越的技术经济指标吸引住，以45米~70米跨径为例，上部构造每平方米用钢量仅40~56公斤，混凝土用量仅0.4~0.52立方米，结构整体性好，造型轻巧，其自重仅为双曲拱桥的60%，由此带来下部构造及基础的节约效果就更为可观，其它桥型是难与比拟的。近十年来，广东公路建设已打破了六十、七十年代“老三样”的垄断，桥必是双曲拱，路必是渣油路的单一形式已经改变。桥型选择更是多样化，可称得上是百花齐放。但在条件适宜的桥址中，拱的选择仍是桥梁设计的主要考虑对象。这并不是因为拱桥是国粹而令我们偏爱，然而，我们不能不承认，我国的桥梁工程技术人员是因为手头钢材紧缺而逼得往那条道上钻的，时至今日，仍然如此。当日修建清远北江大桥，我二上北京，三谒省长，支持采纳刚架拱桥的合理化建议，岂是为了发扬国粹？打开广东的地图，河道交织如网，等待我们这一代人去架设的桥梁知多少！真是：“横江欲渡风波恶，一水牵愁万里长”。

得 拱 梁 新 架

(言前升)

在学术上争鸣是正常的，是兴旺发达的象征，在实践变革的矛盾冲突中，鱼龙混杂，在所难免，真理要通过实践来检验。

契诃夫说：“在人与人的心灵与心灵之间，需要架设一种桥梁”。清远北江大桥是架设在清远市北江两岸的桥梁，是清远人民世代从梦想通往现实的桥梁。这一本书，就其意义来说，远不止是清远北江大桥的技术总结，是著者和读者的心灵与心灵之间沟通的桥梁。

温故而知新，工多艺才精。刚架拱桥并不是闪念间的灵感产儿，它是在双曲拱、桁架拱、肋拱和斜腿刚构桥长期实践中发展起来的新桥型。现代计算机技术做了它的助产士，它凝聚了交通部公路科学研究所曾威总工程师为首的众多专家的心血，清远北江大桥的建设和这本书的编著，也多蒙他们的支持、指导和协助。广东修刚架拱桥起步虽较晚，但近三年内，却如雨后春笋，陆续又建成二十多座，累计桥长占全国总数近三分之一。据有关部门统计，推广此桥型，已获节约建桥投资六百多万元的效益。同时，清远北江大桥被评为省和国家级优秀设计奖并荣获国家优质工程银质奖。我提这些不是为了夸耀它，而是说只要众志成城，齐心协力，事业才有发展。

以此为序，并以此序谨向参加过清远北江大桥建设的同志们和本书的编著者深表感谢！特别向曾为清远北江大桥和广东多项桥梁建设中有卓越贡献、已故的程绍麟总工程师表达我诚挚的崇敬和怀念。

牛和恩

1988年9月10日

(本文作者牛和恩是广东省交通厅副厅长)

谈谈刚架拱桥

(代前言)

清远北江大桥的上部结构采用了我国研究提出的刚架拱桥型,修建时跨径全国最大,至今在已建刚架拱桥中桥长居于首位。建成以来使用情况良好。

这座桥的原设计是箱形拱桥,一部分基础水下工程已开始施工,但因受洪水阻碍而停顿下来,工期难于保证。在这种情况下,施工单位提出变更设计、采用刚架拱桥方案的合理化建议,得到了有关上级的支持和科研设计部门的协作,方案终于实现。实践证明,“刚架拱”这种结构的设计和施工都是比较简便的,由于它比箱形拱轻,对下部结构的要求相对要小些,便于基础的型式选择,特别是有利于钻孔灌注桩的使用,这就使施工工期有了保证。上部结构轻,也使水上工程的施工简便易行。这座桥在广东省交通战线广大职工的通力合作下,终于赢得了时间,比原计划提前十五个月交付使用,便利了北江南北的交通运输,及早产生社会效益和经济效益,不仅节省了几百万元建设资金,而且加快了资金回收。大桥工程获得了国家优质工程银质奖,这是值得庆贺的。

刚架拱桥在结构上形如倒转过来的斜张桥,有些读者对这种结构还不太熟悉。我在参加对这种结构进行的研究之前,曾参加过对双曲拱桥的研究,因此有些构思是从双曲拱的试验研究中得来的,所以也不妨说“刚架拱”脱胎于“双曲拱”。

拱桥在中国有悠久的历史,现在我国公路大中桥梁中拱式结构约占58%。在当代桥梁建设中,我们从国外也引进了各种技术和桥型,但是拱桥还能够有所发展,是由于它既吸取了现代化的技术,又立足于国内,几乎所有的材料及设备无需进口,成本较低而且易于实现的缘故。这里也应该指出,拱桥虽由于结构上的改进,建筑高度有所降低,柔性有所提高,适应变位能力也稍好一些,但是在桥下净空要求高和地基差的条件下,方案比较时要慎重选择与处理,特别是在软弱地基上建拱时,墩台的变位是不容忽视的。刚架拱也是有推力的结构,只是受推力轻一些、小一些而已。无论哪一种结构都不是一好百好,这是要请大家注意的。

现代桥梁结构的发展,不仅和材料的发展有着紧密的联系,还与施工工艺及施工过程分不开。双曲拱桥给拱桥建设提供的启示,是以预制的较轻便的拱肋和横向联系构件安装成骨架,以后其它所有的结构都在其上组装,这就实现了以轻型的施工装备完成拱桥的少支架或无支架施工。早期的双曲拱桥,其拱上结构还是采用较重的拱式结构,

所以在主拱圈组合成拱以后，所承受的拱上建筑荷载是很重的，所有用在腹拱以及拱上的材料自重既大、又未充分发挥其作用，而且增加地基的负担。因此，如何减轻拱上建筑的荷载，成了首先考虑的问题。然而拱上建筑采用轻型结构以后，不但拱上建筑与拱的联合作用减弱，而且发现在双曲拱的空腹段中拱波、拱板所起的作用相应减小。这样，双曲拱的空腹段结构确有改革的必要，给刚架拱的诞生提供了条件。我们的目的，是要结构既轻而所用的材料都能够比较充分地发挥作用。通过试验研究，证明刚架拱能较好地取双曲拱之长、弃双曲拱之短。

现代计算技术的发展，也使桥梁结构较复杂的分析计算得以顺利地进行，也从此打破了单一结构形式的界限，而把眼光放到由不同基本形式结合的组合形式上来。刚架拱就是把拱和斜腿刚架加以组合的一种型式，也是由此而取名的。

刚架拱的一般作法是，先把拱肋和其横向联系的预制构件，以少支架或无支架的施工方法把拱肋片安装成拱，然后架设预制的上弦杆和斜撑以及其横向联系构件，打好湿接缝的混凝土，就形成了刚架拱的骨架（按清远北江大桥的具体情况，拱片也可以现浇施工）。然后，在上弦杆和各横隔梁形成的格间组装预制桥面板，就完成了刚架拱的总体空间体系。组成这个结构的构件连同桥面系都总体共同工作，比一般拱桥的拱上建筑进了一步。

结合刚架拱的研究，在常用作桥面板的微弯板的基础上，提出以新研制的肋腋板来取代。这种板比微弯板轻，受力性能更加合理，板的强度也比较均衡，这就使刚架拱桥的结构更加经济合理。

1979年，刚架拱桥经交通部鉴定，至今问世已经九年了，各省建成的刚架拱桥为数不少，在援外工程中也已采用。这种结构的常用跨径在25~60米左右，最大跨径已达100米。交通部公路科学研究所等单位已编制了一套定型设计图纸，受到了欢迎。这是继双曲拱桥之后国内研究提出的新品种，在此谨作简单的介绍。要作更深的了解，请参考有关的试验研究资料。

目 录

第一篇 清远北江大桥的桥型方案及结构构造	1
第一章 清远北江大桥总貌	1
一、地理位置和桥位选择	1
二、水文计算及孔径布置	1
三、工程地质及气象条件	1
四、设计标准	2
五、桥型确定和变更设计	2
六、施工期限和主要经济指标	2
第二章 下部构造	4
一、桥墩	4
二、桥台	13
第三章 上部构造	13
一、净跨及矢跨比	13
二、杆件的截面尺寸	13
三、支承情况	16
四、横向分片和横系梁的设置	17
五、桥面系	17
第二篇 清远北江大桥结构计算	20
第四章 刚架拱连拱计算	20
一、连拱计算的必要性和计算原则	20
二、刚架拱连拱计算的解析法	20
三、刚架拱连拱计算实例	23
四、等跨等墩高刚架拱连拱的简捷计算	28
五、连拱计算有限元法简介	31
第五章 下部构造设计	33
一、桩基设计	33
二、沉井设计	34
三、墩身设计	35
四、桥台设计	35
五、悬臂墩帽设计	35

第六章 刚架拱设计	35
一、计算方法	35
二、设计内力及其组合	37
三、活载横向分布系数	37
四、截面有效宽度	39
五、配筋计算	39
第七章 桥面肋腋板设计	40
一、肋腋板的构造	40
二、肋腋板设计方法简介	40
三、清远北江大桥算例	40
第三篇 清远北江大桥的施工	42
第八章 深水钻孔灌注桩基础的施工	42
一、浮动钻孔桩施工平台	42
二、钻孔灌注桩的施工	45
三、承台的施工	47
第九章 浮运钢壳沉井基础的施工	50
一、钢壳沉井的构造与制作	50
二、钢壳沉井的下水与浮运	53
三、浇筑壳体混凝土	53
四、沉井的下沉	55
五、沉井基底的清理与封底	57
六、钢壳沉井的优缺点	58
第十章 悬臂空心墩帽的施工	58
一、托架的构造与拼装	59
二、混凝土的浇筑和施工观测	60
第十一章 刚架拱上部构造的施工	62
一、刚架拱施工方案的选定	62
二、钢管桩贝雷平梁竹木拱盔现浇施工	68
第十二章 肋腋板的预制、运输和安装	82
一、预制	82
二、运输	82
三、安装	83
第十三章 施工组织管理	83
一、施工组织形式	83
二、计划管理和施工战役的成效	84
三、技术管理	85
四、初步试行全面质量管理	86
五、安全生产	87

六、主要经济效益.....	89
第四篇 清远北江大桥静动载试验	90
一、试验内容.....	90
二、静载试验结果及分析.....	94
三、动载试验结果及分析.....	101
四、结语.....	109
第五篇 刚架拱桥在广东的推广	110
参考文献.....	114

第一篇 清远北江大桥的桥型方案及结构构造

第一章 清远北江大桥总貌

一、地理位置和桥位选择

清远北江大桥位于清远县城东侧，南北向跨越北江。该桥位于107国道(北京——广州——深圳)上，建桥前为一个大渡口，江面宽阔，交通繁忙，日平均汽车流量达1500车次，待渡时间长，堵车现象严重，遇洪水期或大雾天，交通中断。大桥的建设，对发展沿线经济、促进广东与湖南等省的商品流通、清远城市的发展、方便群众以及巩固国防，都具有重要的意义。

桥位结合城市规划，选在清远城东原汽车渡上游附近，该处河段比较顺直，江中没有沙滩。紧邻桥位上侧有笔架河汇入，大桥沿笔架河一岸，布设边跨，这样便于接线，减少拆迁。

二、水文计算及孔径布置

北江是广东省四大河流之一。桥位附近设有清远水文站，其汇水面积为35 400km²，流域长度397km。该站具有从1915年以来的水位资料。以1915~1981年水位资料推算，桥位处设计采用的百年一遇洪水位为17.0m，流量为15 600m³/s，平均流速为1.98m/s。

桥位处的河床断面，广州岸一侧有宽约200m的边滩，往北为河槽，以离清远岸100m左右河槽最深，是主航道所在处。清远岸设有河堤，但防洪标准不高。根据河床断面情况，原设计从清远岸河堤往南布置主跨8孔，每孔跨径75m，主跨两侧的边跨：广州侧为3孔，清远侧为3孔，后增至4孔。

三、工程地质及气象条件

桥位断面布置了30个钻孔，钻探进尺572m。基岩以上的覆盖层，广州侧较清远侧厚。广州侧的覆盖层由回填土、亚砂土、粘土、粗砂夹砾卵石组成(个别地方有淤泥)，厚28m左右。往河槽方向逐步过渡到由中砂、粗砂及砾卵石组成的覆盖层，其厚度逐渐减小，河槽最深处岩石露头。清远岸沿笔架河侧的覆盖层由回填土、粘土、淤泥组成，厚度为3~9m。

广州侧的基岩为新生代第三纪红色岩系的泥质砂岩，其表面有厚0.3~0.5m的强风化层。上层岩石的单轴极限强度为7~10MPa，下层为10~20MPa。岩石强度自广州侧向清远侧逐渐降低，深槽处为10MPa。清远侧岩层表面有厚2~9m的强风化层，强度仅为

5~10MPa。

历年平均气温1月为12.4℃, 7月为28.7℃。最大风力约7级, 最大阵风可达10级。地震烈度为7度。

四、设计标准

荷载标准: 汽—20, 挂—100, 人群3.5kN/m²。

桥宽: 净12.5+2×1.5m人行道。

洪水标准: 百年一遇。三百年一遇校核。

通航标准: 40m(底宽)×8m(高), 二十年一遇及以下洪水通航。

桥头引线: 按二级路设计。

五、桥型确定和变更设计

原提供的设计, 确定主跨采用跨径75m的箱型拱, 边跨为跨径45m的钢筋混凝土肋拱, 主跨的下部构造采用沉井基础。

1983年1月广东省公路工程处第二工程队开始施工后, 发现按原设计进行施工, 存在一些困难, 因而提出了变更设计的意见:

1. 原定施工水位9.2m偏低, 工地沉井筑岛数次被冲毁。查阅水文资料后发现, 按原施工水位, 每年仅有两个月的连续施工期。

2. 如提高施工水位, 有些沉井需用钢板桩围堰筑岛, 费用昂贵, 且因沉井基础过多, 施工期长, 难以按要求的期限1987年1月31日完成任务。为保证和争取提前完成任务, 应改成主要采用钻孔灌注桩基础。

3. 如采用钻孔灌注桩基础, 则相应地要求上部构造轻型化, 建议采用刚架拱, 其矢跨比可适当放坦, 起拱线标高可提高, 有利于上部构造的施工。

由广东省公路工程处提出的上述建议, 得到了广东省交通厅和清远县建桥指挥部的支持。经过反复酝酿与商议, 广东省建委于1984年1月批准了变更初步设计, 广东省交通厅立即成立变更设计组, 进行施工图设计。

变更设计后, 桥墩位置按原设计不变, 上部构造的计算跨径改为70m和45m的刚架拱, 矢跨比分别为1/9和1/8。主跨中墩采用向桥跨方向伸出4.175m的悬臂墩帽, 实际两墩间净距为78.35m。下部构造除主、边跨连接处及主跨制动中墩采用沉井基础外, 其他均采用钻孔灌注桩基础。桥孔布置为3×45+8×70+4×45(m), 桥梁全长1058m(图1-1-1)。

六、施工期限和主要经济指标

在变更设计批准以前, 工地上进行施工的仅限于边跨的基础。批准以后, 重新签定工程承包合同, 甲方要求提前到1986年1月1日竣工, 即较原计划提前13个月。工地上进行了大范围的、紧张的施工。全桥终于在1985年10月建成, 比原计划期限提前15个月完成, 比重签合同的计划期限也提前了3个月完成。

全桥设计概算1648万元, 比原设计方案节约300万元。竣工决算1574万元(均为议价

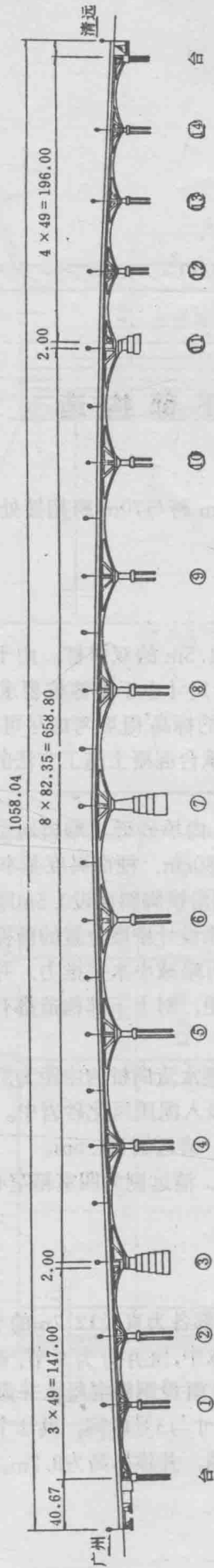


图 1-1-1 清远北江大桥全桥图

材料)。

上部构造经济指标为:

70m跨: 混凝土 $0.5\text{m}^3/\text{m}^2$, 钢 $56\text{kg}/\text{m}^2$ 。

45m跨: 混凝土 $0.43\text{m}^3/\text{m}^2$, 钢 $44.5\text{kg}/\text{m}^2$ 。

全桥单位造价为 $930\text{元}/\text{m}^2$ 。

第二章 下部构造

一、桥墩

桥墩主要采用钻孔灌注桩基础, 仅45m跨与70m跨相接处的桥墩以及主跨中间的桥墩设计成单向墩, 设置三个沉井基础。

(一)灌注桩基础桥墩

1. 主跨灌注桩墩

主跨灌注桩墩基础采用10根直径为1.5m的双排桩。由于岩盘不深, 为防止承台过大, 顺水流向桩的中距采用3.35m, 由于尺寸小于摩擦桩要求的2.5倍桩直径, 故按嵌岩桩设计。顺桥向桩的中距为5.3m。承台底的标高, 既要考虑尽可能地减小桩的自由长度, 又要考虑应用无底钢套箱、先封底后浇筑承台混凝土施工方法的可能。最后确定标高为6或6.5m。承台顶面标高一律为9m。

墩身采用四室箱空心墩, 壁厚60cm, 内填砂砾。顺桥向总宽4m。悬臂墩帽的悬臂长为4.175m, 其截面也为四室箱, 壁厚80cm, 梗部高度基本按拱弧顺延, 采用3m, 顶板厚度为15cm, 底板厚度12cm。悬臂端沿拱脚斜面设0.5m厚连结5根肋的横系梁。

主跨设较长的悬臂墩帽, 是在不改变原设计桥墩位置的前提下, 把上部构造的跨径控制在70m, 并有利于提高起拱点。同时可略减小水平推力, 并利用上部构造对悬臂墩的垂直力来减小水平推力对承台产生的弯矩, 对上下部构造都有利。

2. 边跨灌注桩墩

基础采用8根直径为1.1m的双排桩。顺水流向桩的中距为3.45m。顺桥向桩的中距, 广州侧为3.9m, 清远侧为2.7m。各桩均嵌入泥质风化砂岩中。承台底的标高, 广州侧为7m, 清远侧为9m。承台厚广州侧为2m, 清远侧为1.5m。

墩身顺桥向宽3m, 广州侧为实心墩身, 清远侧为四室箱空心墩, 壁厚为60及80cm。悬臂墩帽的悬臂长0.5m。

(二)沉井基础桥墩

1. 主跨与边跨衔接处的3、11号墩

沉井基础底节平面尺寸为: 横桥向两端部各为直径12.7m的半圆, 与中间部分长4.0m的直线联结, 底面积 177.5m^2 。3号墩位于水中, 沉井分为5节, 高23.0m。用20号水下混凝土封底, 高5.0m, 井内用砂砾填充, 井面设钢筋混凝土井盖, 沉井面标高为8.1m。

11号墩位于清远岸堤后, 沉井底节尺寸与3号墩同, 共2节, 高10.8m。用20号混凝土封底高3m, 井内填砌浆砌片石至井顶, 井顶标高为9.7m。