

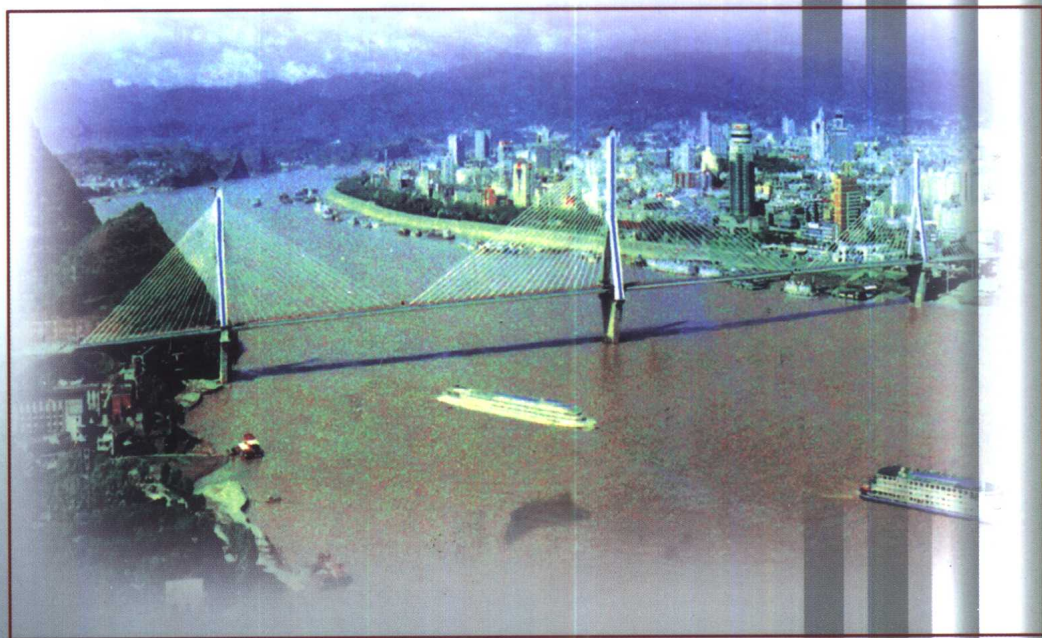
大跨度

桥梁

设计与施工技术

(2002)

中铁大桥局集团有限公司



人民交通出版社
China Communications Press

大跨度

桥梁 设计与施工技术

DAKUADU QIAOLIANG SHEJI YU SHIGONG JISHU

(2002)

中铁大桥局集团有限公司



人民交通出版社

China Communications Press

图书在版编目 (C I P) 数据

大跨度桥梁设计与施工技术. 2002 / 中铁大桥局集团有限公司编. —北京: 人民交通出版社, 2002. 10

ISBN 7 - 114 - 04470 - 4

I . 大... II . 中... III . ①大跨度结构—桥梁工程—设计②大跨度结构—桥梁工程—施工技术

IV . U448.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 080902 号

大跨度桥梁设计与施工技术(2002)

中铁大桥局集团有限公司

责任印制: 张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 492 千

2002 年 10 月 第 1 版

2002 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 35.00 元

ISBN 7-114-04470-4

U·03304

大跨度桥梁设计与施工技术

(2002)

编审委员会

主任委员	秦顺全			
副主任委员	刘自明	刘杰文		
委 员	宋伟俊	赵剑发	邵克华	栗 杰
	赵煜澄	任旭初	林荫岳	陈开御
	彭月燊	尤继勤	周 璞	高培成
	汪双炎	谢红跃	王 艺	周超舟

目 录

设 计 篇

宁波招宝山大桥加固重建工程设计	林国雄,秦顺全,朱华民,孟庆标(3)
汕头岩石大桥主孔斜拉桥的开拓性技术成就	杨 进(9)
青洲闽江大桥结合梁斜拉桥设计	高宗余(14)
公路桥梁抗风设防标准的初探	张金武,李龙安(20)
介绍一种新型桥梁—悬吊板桥	陈开利(26)
海口世纪大桥主塔基础设计与施工组织	李华云(31)
武汉白沙洲大桥斜拉桥主梁结合段设计	颜爱华,邵长宇(36)
深圳仿埃菲尔铁塔总体设计	周孟波,荆秀芬(39)
贵州关兴公路北盘江大桥的设计	王碧波(45)
渝怀铁路嘉陵江特大桥在渡洪条件下的钻孔平台设计	 贾卫中,宋 杰,李艳哲,宋小三(49)
京山线改建滦河大桥主要岩土工程问题评价	李光耀(53)
24 m 预应力混凝土箱梁模板设计	王贵明,晏敬东(57)
大跨度缆索起重机的设计优化与施工应用	宋 杰,贾卫中,李艳哲(63)
夷陵长江大桥采用的斜拉索体系	黄晓航(67)

施 工 篇

芜湖长江大桥施工新技术	周孟波(73)
沿海大型桥梁工程浮吊架梁方案研究	秦顺全,周 璞,邵长宇,华有恒(81)
芜湖长江大桥板桁组合斜拉桥的架设技术	文武松,戴宗诚,林国雄,方秦汉(85)
贵州水柏铁路北盘江大桥钢管拱转体施工技术	陶建山,陈国祥(91)
广西香江圩郁江特大桥施工	庄国民,杨柳青(96)
芜湖长江大桥主塔施工方法及技术措施	农代培(103)
夷陵长江大桥主梁预制与架梁施工	马顺昌(108)
宜昌夷陵长江大桥主桥4号墩钻孔桩施工	宋洪喜(113)
钢吊箱围堰的结构设计与施工中的几种方法	毛伟琦(119)
渝怀线长寿长江大桥整体节点钢梁试制工艺	陈春华,董晓军,吴国红(124)

渝怀铁路嘉陵江特大桥 12 号墩单壁钢套箱围堰的设计与施工

.....	贾卫中,宋小三,李艳哲(132)
大体积深水基础钢围堰封底混凝土施工	朱德安(137)
钢箱梁瓦片式压模研制	庞凤起,巫书郁(141)
箱梁顶推施工技术	薛江伟,赵 晖(144)
活动支架法施工预应力混凝土公路连续梁桥	王晓敬,农代培,戴宗诚(148)
铜瓦门大桥中承式钢管拱拼装施工技术	傅宗伟(152)
高压旋喷桩在深水低桩承台施工中的应用	刘 俊(156)
新奥法施工技术在新董家河隧道施工中的运用	刘杰文,杨 文(160)
新董家河黄土隧道的施工体会	周渭夫,刘承亮(167)
宝兰二线 II 标段路基施工过程控制及工艺要求	刘承亮,王双合(174)
混凝土结构加固中超长水平预应力孔道成孔方法	张爱花,贾卫中(179)
提高路基质量应注意的几个问题	张顺熙,王朝平(185)
混合砂在渝怀铁路嘉陵江大桥工程中的应用	周怀智,贾卫中,陈 江,杨国豪(189)

综 合 篇

芜湖长江大桥正桥钢梁主要科研成果	刘自明,王邦楮,党志杰(195)
桥梁结构模型试验研究	刘自明(207)
碳纤维材料加固试验及在桥梁加固工程中的应用	陈开利,王根清,周立军(218)
帕克西桥钻孔桩工艺试验和承载力试验	黄支金,郑 机,林国雄(224)
帕克西桥钻孔桩桩底压浆及 O-CELL 试验	谢红兵,郑 机,林国雄(231)
高应变法动测基桩承载力技术	蔡登山,张自荣(236)
既有桥检测评估的若干要点	刘自明,王邦楮(250)
混凝土梁剥落试验研究	汪双炎,吴方明(259)
悬索桥主缆的防腐防护及涂装	党志杰(264)
钢桥面桥面铺装方案的比较	方华兵,刘自明(270)
青洲闽江大桥 2 号墩承台大体积混凝土温度裂缝控制	庄国民,文成海(274)
160t 三节伸缩臂铁路起重机	孙笑萍(277)
180t 步履式架桥机	周湘桥,洪彩葵(281)
KTY3000A 型工程钻机	谢 军,孙笑萍(284)
ZQM800 移动模架造桥机	周汉麟,胡伟明(289)
芜湖长江大桥全液压架梁起重机设计	张乐亲,吴元良(293)
武汉市轨道交通一号线高架桥双线单箱梁荷载试验	余 毅,王天亮(298)
浅谈确定投标报价的方法	陈志明(304)
宝兰二线墩身帽外观质量控制	刘为林,陈小平(308)

设计篇

宁波招宝山大桥加固重建工程设计

林国雄¹,秦顺全¹,朱华民²,孟庆标²

(1. 中铁大桥局集团有限公司,湖北 武汉 430050; 2. 中铁大桥勘测院,湖北 武汉 430050)

摘 要:介绍了宁波招宝山大桥加固重建设计原则和方法。保留主梁通过增设箱梁角隅处的纵梁进行加固,重建主梁通过调整断面结构尺寸和预应力布置来进行加强。

关键词:宁波招宝山大桥;斜拉桥;桥梁设计;桥梁改建;桥梁加固

中图分类号: U445.6;U445.7+2 **文献标识码:** A

1 前言

宁波招宝山大桥于1995年动工兴建,1998年9月24日在悬浇主跨梁体23号块混凝土时,主梁16号块处底板、斜腹板及直腹板发生压溃破坏。随后对本桥的破坏事故进行了调查,在基本查清主梁断裂原因的基础上,决定实施主梁局部拆除,保留部分进行加固处理,然后进行重建的方案。

为了进一步摸清本桥存在的结构问题,为修复处理提供科学依据,业主组织建桥各方对保留结构的裂缝进行了全面普查,委托国家建筑工程质量检验中心对本桥主梁的混凝土强度进行了大范围的检测,同时委托同济大学混凝土材料研究国家重点实验室对本桥主梁顶底板同形式的“多孔板”混凝土构件进行了承载能力试验。

受业主的委托,大桥局勘测设计院于1999年参与本桥重建方案的研究,重建方案确定后,受业主委托,进行宁波招宝山大桥局部加固及重建工程的设计。

基于宁波招宝山大桥的实际状况,本桥的加固及重建设计包括以下内容:

- (1) 研究裂缝成因,并提出裂缝修补及补强加固方案。
- (2) 对上、下部结构进行全面的分析检算。
- (3) 对主梁存在构造缺陷的部位及承载能力达不到《规范》要求的部位进行局部加固设计。
- (4) 主梁重建设计。
- (5) 对桥面及其它附属结构进行重新设计。

2 加固重建设计的原则及技术标准

2.1 加固重建设计的原则

根据大桥业主提出的“功能不变,外形不变及使用寿命不变”的“三不变”原则,重建设计遵循以下原则:

- (1) 满足原设计桥梁结构的使用功能。
- (2) 保证局部重建结构和保留结构在施工及运营阶段安全可靠。

作者简介: 林国雄(1939-),男,教授级高工,1964年毕业于长沙铁道学院桥梁专业。

- (3) 满足桥梁耐久性的要求。
- (4) 对原结构中可以利用的部分尽量采用,以减少经济损失。
- (5) 重建结构的外观与保留结构的外观保持一致。
- (6) 对保留结构存在缺陷的部位通过降低应力水平和采用构造措施进行加固处理。

2.2 加固重建设计的技术标准

2.2.1 功能要求

重建设计须满足原设计的下列使用功能要求。

(1) 通航标准

5 000 t 级船舶,通航净宽 200 m,净高 32 m。

(2) 线形标准

线路等级:城市快速路;设计车速:60 km/h。

(3) 桥面布置

桥面按 6 车道设置,总宽 29.5 m,桥面布置如下:1.5 m(隔离带) + 11.25 m(车行道) + 4.0 m(灰管区) + 11.25 m(车行道) + 1.5 m(隔离带) = 29.5 m。

(4) 荷载标准

汽车 - 超 20 级,挂车 - 120;基本风压 800 Pa,最大风压 1 200 Pa;地震基本烈度 6 度;桥面设置 8 根电厂灰管;2 根 $\phi 500$ mm 过桥自来水管。

2.2.2 主梁应力控制标准

根据主梁的实际情况及“多孔板”承载能力实验结果,对本桥主梁在施工及运营阶段的应力控制标准进行适当调整,以保证安全可靠。

(1) 施工阶段

主梁混凝土压应力 $[\sigma_a] \leq 20$ MPa。

(2) 运营阶段

保留主梁构造上存在缺陷的部位其压应力按照下列标准控制。

主梁保留部分存在构造缺陷部位:主要组合 $[\sigma_a] \leq 15.5$ MPa;附加组合 $[\sigma_a] \leq 18.5$ MPa。

无构造缺陷部位:主要组合 $[\sigma_a] \leq 17.5$ MPa;附加组合 $[\sigma_a] \leq 21.0$ MPa。

重建结构压应力按下列标准控制:主要组合 $[\sigma_a] \leq 17.5$ MPa;附加组合 $[\sigma_a] \leq 21.0$ MPa。

运营阶段主梁原则上不出现拉应力,个别部位拉应力 $[\sigma_L] \leq 2$ MPa。

3 招宝山大桥的加固设计

3.1 保留部分主梁的加固范围

有以下情况者,应予以加固:① 承载能力不满足要求的部位;② 主梁构造上存有严重缺陷的部位;③ 裂缝危害结构安全的部位。

根据以上原则,保留主梁加固的范围为:① 从 14 号块 ~ 24 号墩间有索区保留主梁,加固的主梁长度共 305 m;② 49.5 m 跨主梁整体加固;③ 49.5 m 跨主梁横梁的加固及 24 号墩脱空支座的处理。

3.2 有索区保留主梁的加固

3.2.1 加固结构构造布置

由于保留部分主梁底板及斜腹板较薄,主梁下缘压应力较大;密集布置的预应力精轧螺纹钢对底板断面削弱较大,且“多孔板”的混凝土强度试验结果表明混凝土抗压强度有所降低;主梁底板及斜腹板上存在许多裂缝。综合以上各项因素,有索区的主梁采用在主梁箱室角隅处增设 2 道纵梁的方案进行加固,斜腹板采用增加腹板厚度加固,主梁加固结构构造见图 1。

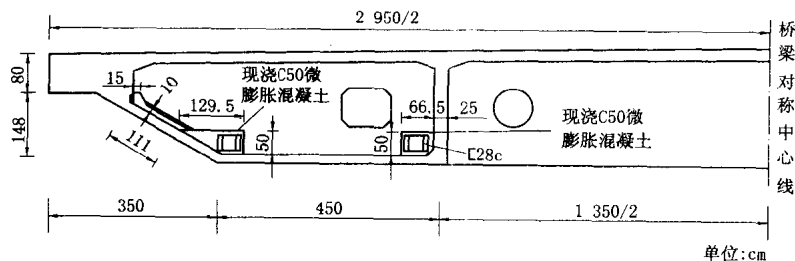


图 1 主梁加固结构构造

加固纵梁位于主梁箱室下缘,加固纵梁为内包劲性骨架的混凝土梁,加固纵梁混凝土标号与保留主梁混凝土标号相同(C50),采用微膨胀混凝土。加固纵梁四周设置 $\phi 20$ 的纵向钢筋,劲性骨架采用 2 根 28 号槽钢利用缀板连接成整体,劲性骨架的构造见图 2。加固纵梁总配筋率达 4%~5%。采用高配筋率的劲性骨架,主要解决因新老混凝土龄期差别大、混凝土收缩徐变引起的问题。

3.2.2 新老混凝土的连接

为了保证加固纵梁能参与后期主梁共同受力,新老混凝土的可靠连接是其中的关键,因此,在加固纵梁与保留主梁间采用以下措施来加强连接:① 保留主梁与加固纵梁的接触面全面凿毛,要求凿毛面积达到 90%,凿毛的表面完全露出新的混凝土面。② 保留主梁底板,斜腹板及直腹板间设置剪力键。③ 设置连接钢筋将保留主梁

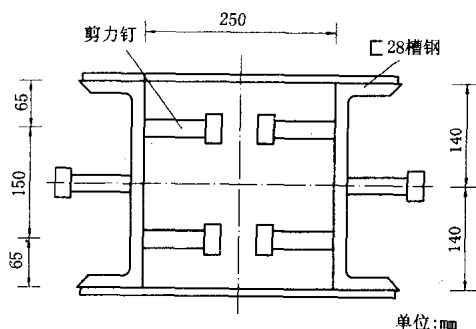


图2 劲性骨架构造

槽口内的纵向钢筋与加固纵梁的纵向钢筋焊接起来。④ 加固纵梁纵向钢筋尽可能穿过横梁与另一箱室的加固纵梁形成一体,对于无法穿过横梁的纵向钢筋与横梁内箍筋焊连成整体。

3.3 理论依据及试验验证

宁波招宝山大桥的加固规模很大,涉及的问题很多,如此大规模的加固在国内外均没有先例可循。从理论上讲,目前我国公路桥梁设计规范仅有几条条文对此类结构进行了说明:组合梁结合钢筋的含筋率不小于结合面的0.15%(螺纹钢筋),0.2%(光圆钢筋),满足上述含筋率时,结合面的容许剪应力在结合表面清洁时为0.5 MPa,结合表面清洁并凿毛时为1 MPa。美国公路桥梁设计规范(AASHTO)对两次浇筑的混凝土界面传递剪应力的取值有规定,按照AASHTO标准,结合面的相对位移(即剪应力)应由结合面的粘结力和结合面的摩擦力两部分抵抗。两次浇注的混凝土表面清洁时粘结力为0.52 MPa,摩擦系数为0.6,表面清洁凿毛时粘结力为0.7 MPa,摩擦系数为1.0,摩擦力主要由结合面的连接钢筋及竖向压力提供。

为了验证加固方案的可靠性,安排了两类模型试验:① 加固处理剪切模型试验;② 整体

模型试验。

加固处理剪切模型试验主要是检验结合面的抗剪能力,整体模型试验主要是检验加固部分能否参与整体结构受力,两类模型试验的主要结论有以下几点:① 结合面的抗剪能力受结合面的连接钢筋影响很大,当存在连接钢筋时(结合面有摩擦力),结合面的抗剪能力大于 3.0 MPa,无连接钢筋时(结合面无摩擦力),结合面的抗剪能力约为 1.4 MPa;② 在压弯状态时,加固纵梁与原结构处于共同受力状态,在纯弯状态下,加固纵梁与原结构的共同受力有所减弱,但基本上仍能共同作用。由于斜拉桥存在较大的压力,因此,加固纵梁能很好地参与保留主梁的受力。

由于加固纵梁与保留主梁间混凝土龄期相差大,因此,须采取措施来减小加固纵梁的收缩徐变影响,设计中采取了:① 提高加固纵梁纵向钢筋的含筋率;② 采用微膨胀混凝土;③ 采用低陷度的混凝土;④ 加强新老混凝土结合面的连接。通过以上措施,大大降低了加固纵梁的收缩徐变影响,实际施工结果没有发现新老混凝土间存在收缩裂缝,加固完成后的几次加载试验,也表明了加固纵梁参与主梁共同受力,因此,本桥的加固方案是可靠和可行的。

4 招宝山大桥的重建设计

招宝山大桥的重建设计吸取了事故的教训,重建设计的结构构造与原结构相比进行了较大的调整,主要有以下几个方面:① 结构体系的调整;② 重建主梁结构尺寸的调整;③ 重建主梁预应力布置的调整;④ 其它一些构造布置的调整。

4.1 结构体系的调整

招宝山大桥原结构为漂浮体系的独塔斜拉桥,全桥无纵向水平支座,因此,重建设计在主塔附近设置了主梁纵向水平位移约束支座,以满足主梁两端伸缩变形的需要。

计算发现,设置水平支座后,主梁各部位的内力有不同程度的改善,活载弯矩最大可降低 42%,主跨跨中合龙段的活载弯矩亦可降低 6.5%,因此,体系调整后,可以改善主梁的受力情况,进一步降低保留主梁的应力水平。

设计中考虑过将 21 号墩支座摩阻力作为纵向水平约束的方案,但考虑到 21 号墩处于主桥招宝山侧,两端主梁的长度相差太大,且 25 号墩处原预留梁缝不能满足主梁变形的需要,因此未予采用。

4.2 重建主梁结构尺寸的调整

根据招宝山大桥重建工程须保持主梁外形不变的原则,因此,重建主梁的外轮廓形式保持不变,即主梁为箱形结构,桥中线处梁高保持 2.5 m,桥面设 1.5% 的横坡。

4.2.1 用双箱单室截面代替原设计的双箱双室截面

由于有索区段主梁的荷载剪力较小,因此,重建主梁双箱双室截面由原结构的 48 m 长减小到 8 m 长的范围,用双箱单室截面代替原设计的双箱双室截面,使主梁加强后恒载基本维持不变,为利用原有的斜拉索创造了条件。

4.2.2 重建主梁横截面的结构尺寸调整

重建主梁底板厚度由原结构的 18 cm 增加到 28 cm,斜腹板厚度由原结构的 18 cm 增加到 22 cm,横梁厚度由原结构的 25 cm 增厚至 28 cm。这部分的调整主要基于以下原因:① 重建主梁均处于主跨跨中部分,荷载正弯矩较大,原结构的主梁底板及斜腹板太薄,主梁的抗弯刚度较小,主梁的重心偏高,主梁抵抗正弯矩的能力不足;② 保留主梁斜腹板较薄,保留主梁在安

装过程中,斜腹板与底板交接面产生了许多裂缝。经过调整后的重建主梁抵抗正弯矩的能力得到进一步加强,在安装过程中再未发现斜腹板上产生裂缝。调整后的主梁横截面布置见图3。

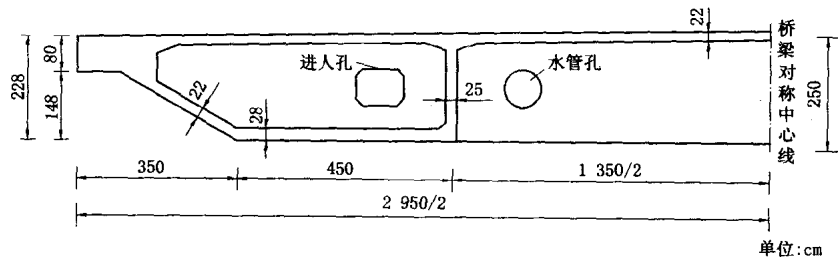


图3 主梁横截面示意

4.3 重建主梁预应力布置的调整

本桥主梁纵向预应力体系分2类:一类为 $\phi^{L}32$ 预应力精轧螺纹钢筋,单根张拉力为542.5 kN;另一类为 $9\phi^{j}15$ 的钢绞线,单束的张拉力为1757.7 kN。预应力精轧螺纹钢筋主要用于承受安装过程主梁的拉应力,钢绞线则提供运营阶段主梁所需的预应力。

本桥主梁采用牵索挂篮悬浇施工,在浇筑块件混凝土的过程中,牵引索的索力是可以调整的,因此,主梁在安装阶段的弯矩值并不大。原设计主要为结构后期预留了较大的负弯矩,因此主梁梁内布置了较密的预应力精轧螺纹钢筋,其结果不仅削弱了主梁断面,同时也影响了预应力钢绞线设置的位置。重建主梁改变了设计原则,精轧螺纹钢筋的数量由原结构140根减至60根,增加了预应力钢绞线的数量,既满足了主梁后期受力要求,又大幅度降低了安装过程主梁内力,见图4、图5,重建主梁的竖向预应力根据计算也进行了适当调整。

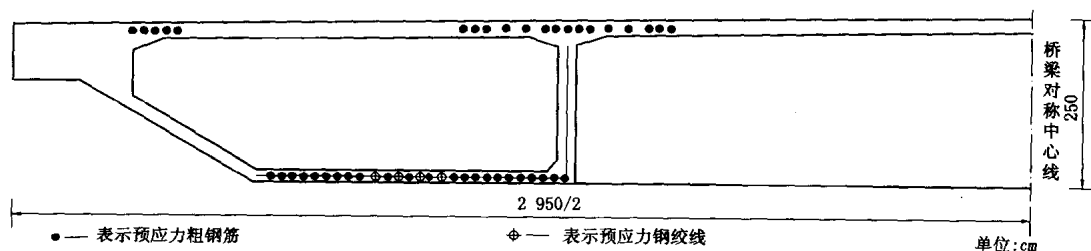


图4 原主梁断面预应力布置

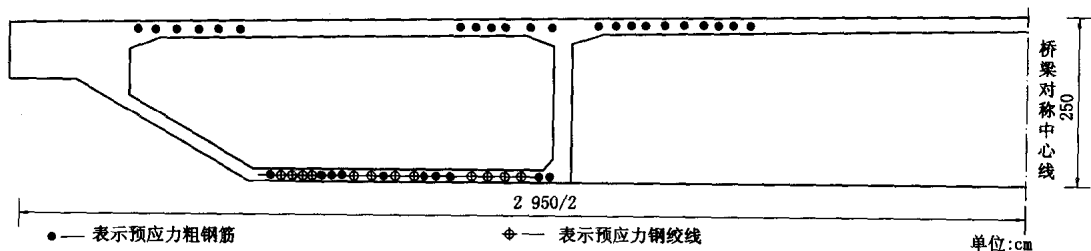


图5 重建主梁断面预应力布置

4.4 重建主梁的其它构造调整

招宝山大桥重建主梁在原结构构造不合理的地方进行了调整,如对于协作跨双箱双室直腹板截面到有索区主梁双箱双室斜腹板截面的过渡方式进行调整,以使两类截面渐变匀顺过

渡;重建主梁纵向普通钢筋适当增加,增设预应力束弯起部位的径向普通钢筋,以防止主梁劈裂缝的产生,2层钢筋网间增设连接钢筋以防受压钢筋失稳,调整主梁拉索锚块的钢筋布置等。

5 结语

宁波招宝山大桥重建工程经过对保留主梁裂缝的修补,保留主梁结构性补强加固和重建主梁的构造调整等措施,保证了招宝山大桥使用的安全性和耐久性的要求。施工期间的加载测试和全桥竣工后的动静载试验结果表明:主梁的加固部分能很好地参与保留主梁的受力,主梁的整体性能有较大的提高。招宝山大桥重建工程的顺利建成通车,表明本桥加固设计理论和重建技术措施是可靠的,并为桥梁工程提供一种全新的大规模补强加固结构的先例,为桥梁工程加固设计提供了成功的经验。

汕头岩石大桥主孔斜拉桥的开拓性技术成就

杨 进

(中铁大桥勘测院,湖北 武汉 430050)

摘 要: 汕头岩石大桥为国内第一座混合型箱梁大跨度斜拉桥。主跨 518 m 及 2 个侧边跨各 100 m 均采用钢箱梁,两端接 2×47 m 锚跨采用预应力混凝土箱形梁。斜拉索采用全封闭镀锌钢绞线新构造,并外接粘性剪切阻尼器抑振以及基础采用组合式套筒高桩承台深水基础。介绍大桥主孔斜拉桥中采用的混合梁结构、有 4 层防护的平行钢绞线斜拉索新结构、外接粘性剪切阻尼器(HCA)以及深水主塔基础的新方案及工艺、水下控爆等开拓性成就。

关键词: 斜拉桥;桥式布置;主塔;桥梁基础;混合型箱梁;缆索;减振

中图分类号: U448.27;U442.5 **文献标识码:** A

1 桥式、规模及环境条件

汕头岩石大桥主桥全长 906 m,为 7 孔式布置的混合梁斜拉桥(见图 1)。主跨 518 m 加 2 个侧边跨各 100 m,长 718 m,采用钢箱梁结构,梁上索距 12 m。两端接 2 孔 47 m 的锚跨,各长 94 m 采用预应力钢筋混凝土箱梁,梁上索距 7 m。斜索为空间散射式,在桥面处上下游相距 25.15 m。

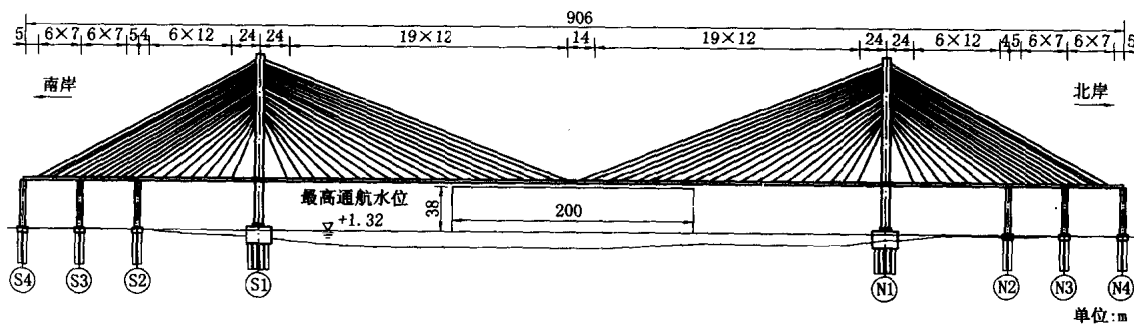


图 1 汕头岩石大桥主桥布置

桥上 6 条车道,设计荷载为汽车—超 20 级,设计车速 60 km/h。桥面全宽 30.35 m,索面以内为行车道,索面以外为宽 2 m 的观光走道。桥面从两端以 3.5% 的纵坡上桥,中间以半径 7 000 m 的竖曲线衔接。主跨中部 200 m 宽度内桥下通航净高 38 m,可通行 2 万吨级船舶。侧边跨为副航孔。

设计基本风速 $V_{10} = 42$ m/s,地震基本烈度 8 度,基岩加速度为 $0.2229g$ 。历年记录极端最高气温 38.6°C ,出现在 7 月份。极端最低气温 0.4°C ,出现在 1 月份。相对湿度约 82% ~

作者简介: 杨 进(1930—),男,教授级高工,国家级专家,工程设计大师,西南交通大学兼职教授,1953 年毕业于华南工学院土木工程系。

88%。

通过设计方案优化竞争,本方案以较多技术优势使工程造价在同标准下比原批准方案降低约20%而取得设计实施权。1995年秋设计工作正式展开,1999年2月初建成通车。

2 主塔及基础

两座主塔在承台顶面以上的高度148 m。桥面以上部分为A型刚构,塔柱为矩形空心截面,自塔顶向两侧岔开至下横梁处向内靠拢,见图2。顺桥向宽度由塔顶6 m变至塔底的8 m。桥塔基础为16根 $\phi 2.5$ m的钻孔灌注桩组成的高桩承台结构。承台以下桩的自由长度在26 m上下。承台的平面呈工字形,采用由3个无底钢套筒加以组合的工艺,构筑成整体的钢筋混凝土结构。2个边套筒的长边顺桥向平行排列,其中心分别与上下游塔柱底面中心相对应。边套筒的平面尺寸长20.8 m,横宽10.4 m。每箱中布置8根桩。在2个边套筒之间为1个 $10.4\text{ m} \times 10.4\text{ m}$ 的矩形中间套筒,实为两端无边板的敞开箱体,采用可调节的锁口与两边箱的内侧板联合而形成可防水的封闭空腔,其中能容许4个备用桩位。

施工中,先以水上平台法完成16根深桩的建造。再分别下沉上下游套筒至承台底面高程以下的适当泥面,然后在箱中投入适量的粗料予以铺垫并进行水下混凝土封底。2个套筒的沉入深度将随水下覆盖层的品质不同而不等。上述2组套筒到位后,按其实际相隔的净距对中间套筒的边板加以修正后予以就位下沉,封闭锁口和封底之后,将三箱在承台厚度范围内贯通,再抽水进行承台混凝土的整体施工。

本基础方案结构尺寸紧凑,用料节省,基桩集中分布于主塔上下游两侧,合理地解决了主塔在横桥向受强大风压力控制的受力稳定问题,同时由于钢套筒体形小、质量轻,与在此采用大型钢围堰的施工结构相比,既便利又节省。

此外,本桥北主塔处的水下基岩在基础范围内峰壑起伏,桩位间高差达10~15 m之大。为了解决各桩之间长短悬殊造成在结构受力上的困难和对高塔的不利影响,本桥采取了进行深层水下控爆作业,将岩面先行予以适当削平的措施,给大型桥墩深水基础施工开了一个先例。

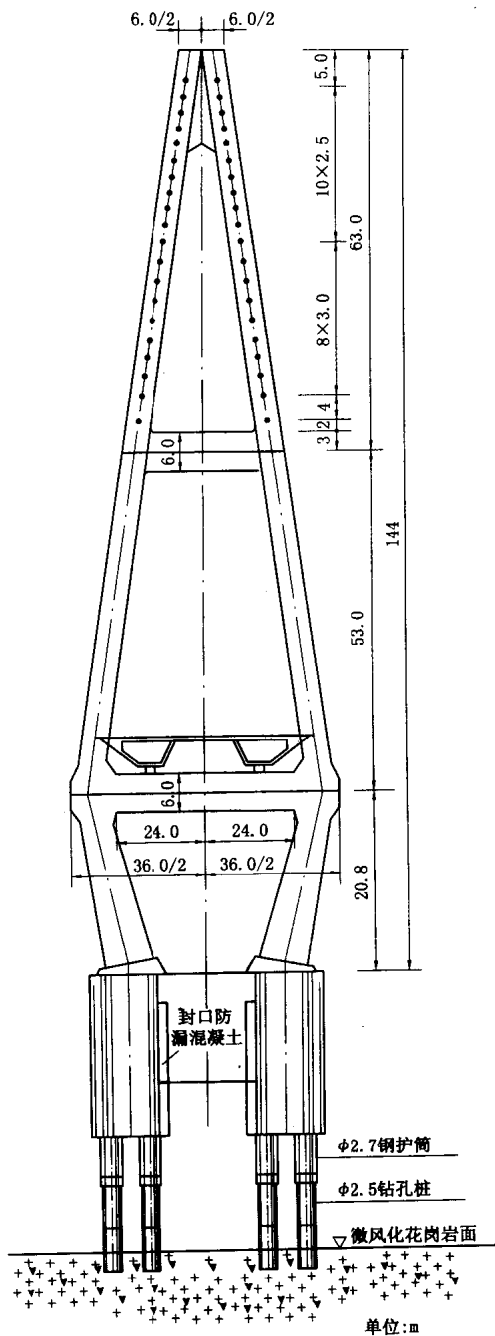


图2 主塔及基础

3 主梁设计

3.1 主梁截面

钢箱梁截面中心高度 3 m, 由 2 个边箱、中间板块和单独的风嘴块共 5 件组成, 见图 3。除顶部桥面板采用纵向对接焊外, 其余各处均用高强度螺栓连接加以组合。桥面板与边箱底板采用 U 形闭口肋加劲, 腹板等各部分采用板式肋加强。在纵向每 3 m 设 1 道横肋, 索点横梁与普通横梁按相距 6 m 间隔排列。钢箱梁在车间进行全截面组装成长 12 m 的节段出厂, 1 个标准节段的重量约 150 t。梁段在桥上的连接全部采用高强度螺栓拼接。位于竖曲线的梁段通过调整接缝间隙形成线形。

两端的预应力混凝土箱梁截面外轮廓尺寸与钢箱梁基本一致。在纵向每隔 7 m 设 1 道横隔梁。两边箱之间的桥面板中心设 1 道小纵梁予以加强(见图 4)。

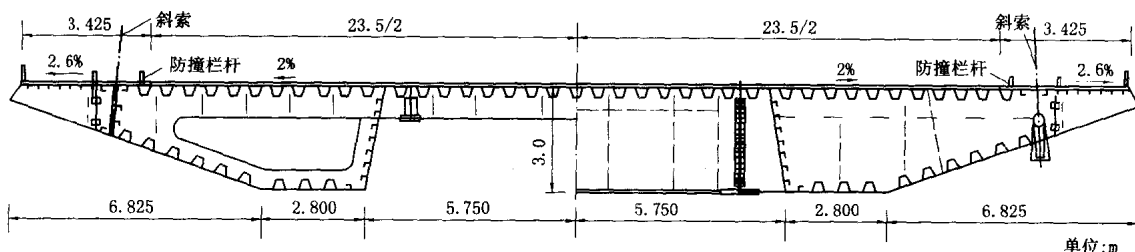


图 3 钢箱梁截面

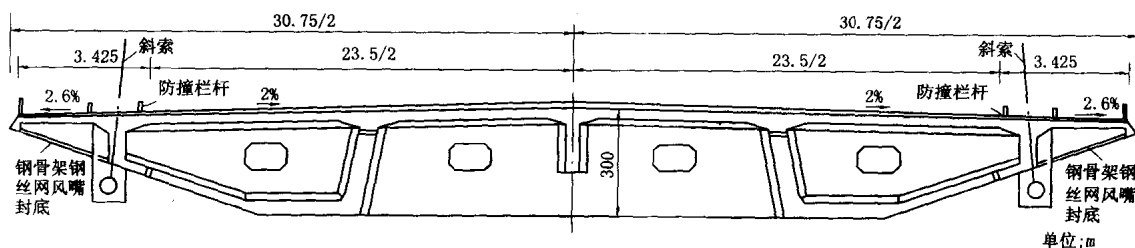


图 4 预应力混凝土箱梁截面

3.2 接头及管锚结构

钢箱梁与预应力混凝土箱梁的连接放在后者的端部横隔梁处, 两种结构的构件以该处辅助墩上的支座中心线为界互相交叉。钢箱梁的上下翼缘板通过剪力销钉与其包覆的混凝土梁体牢固结合, 形成弯矩应力的传递。钢箱梁上下翼缘板的 U 形加劲肋逐渐变高形成刚度过渡, 通过端承压板贴紧在混凝土横隔梁的侧面上, 并利用梁内的纵向预应力束加以锚固。梁中的剪力通过端面摩擦得到传递, 而两种梁体在刚度上的突变问题则由加劲肋高度的渐变而逐渐缓解。本接头方案曾经用 1:2 模型测试验证其可靠性。

斜拉索在钢箱梁上的锚固采用受力直接的管结构方案。在箱梁的边腹板中嵌入无缝钢管, 利用焊接将断开的腹板与钢管焊为一体。为了减轻由腹板传递的部分纵向轴力对钢管造成的径向挤压和钢管穿过上下翼缘板截面的削弱, 采取在一定范围内将翼缘板加厚以增强其局部传力的截面刚度, 使腹板中传递的轴向力尽量降低。为了摸清斜索拉力通过钢管及腹板的复杂传力情况, 经采用 1:2 的模型通过多工况的测试, 证实了钢箱梁采用嵌入腹板的管锚结