

秀山跨海大桥深水无覆盖层基础设计与施工

田杰

(中交公路规划设计院有限公司, 北京市 100088)

摘要: 秀山跨海大桥主桥为(264+926+357) m 双塔三跨连续钢箱梁悬索桥,副通航孔桥为(81+4×153+81) m 六跨连续一刚构变截面箱梁,引桥为17×40 m 连续箱梁。该项目地处浙江舟山东海区域,海床倾斜角度大,基础多位于无(浅)覆盖层裸露基岩上,桩位处海水流速接近4 m/s,浪高可达3 m,设计基准风速44.5 m/s。根据现场水文地质条件,官山侧主塔基础设计为扩大基础,秀山侧主塔、副通航孔桥及引桥基础采用桩基础,最大水深约38 m,施工区域风—浪—流联合作用且位于倾斜裸岩处,极大增加了桩基施工难度,经方案比选,对位于无(浅)覆盖层处的秀山塔桩基础、副通航孔桥及部分引桥桩基础采用搭设钻孔平台“先桩后围堰”施工方案,其他采用插打钢板桩围堰施工。该文重点介绍秀山塔及副通航孔桥无(浅)覆盖层桩基设计与施工。

关键词: 深水桩基; 裸露基岩; 先桩后围堰; 钻孔平台; 风—浪—流作用

1 工程概况

浙江舟山秀山跨海大桥主桥为主跨926 m 三跨连续弹性支承体系钢箱梁悬索桥,缆跨布置为(269+926+362) m=1 557 m,梁跨布置为(264+926+357) m=1 547 m,主缆矢跨比为1/8.86,采用 $\phi 5.35$ mm、1 770 MPa 预制平行钢丝索股法(PPWS)制作,吊索采用 $\phi 5.0$ mm、1 670 MPa 平行钢丝制作,主索鞍采用全铸造结构,散索鞍采用铸焊结构,主梁采用流线形扁平钢箱梁,梁高3.0 m,标准梁段梁宽30 m,其中M11~M15 梁段位于平曲线段为变宽梁段。索塔为高度175 m 门式框架结构,塔柱之间设置上、下两道横梁,官山侧索塔为扩大基础,秀山侧索塔为群桩基础,索塔处设置横向抗风支座、竖向弹性抗压支座、纵向限位挡块及纵向阻尼装置锚碇横梁处设置竖向支座、横向抗风支座,加劲梁南北两端各设一道伸缩缝,官山侧不受约束的伸缩量为 ± 520 mm,秀山侧不受约束的伸缩量为 ± 640 mm。官山侧、秀山侧锚碇均采用重力锚,采用分步式传力锚固系统,单侧锚体共5块锚固板,锚固板布置钢筋混凝土樁剪力连接键。

官山侧引桥上部结构为现浇预应力混凝土连续箱梁,桥跨布置为2×27 m,下部结构采用实心片墩;副通航孔桥为(81+4×153+81) m 六跨连续一刚构变

截面箱梁,位于半径1 600 m 的平面曲线上,其中7[#]、8[#]、9[#]主墩固结,两侧6[#]、10[#]主墩及过渡墩设置竖向支座,主梁采用上下行分幅布置,采用预制节段悬臂拼装,体内体外混合配束,下部结构采用花瓶形空心墩、群桩基础;秀山侧引桥桥跨布置为(7×40+5×40+5×40) m=680 m,采用预制节段先简支后连续梁桥机拼装施工,体内体外混合配束,下部结构采用花瓶形实心片墩,群桩基础,重力式桥台。主桥及副通航孔桥桥型布置图见图1、2。

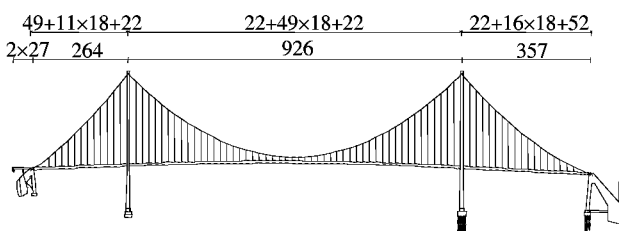


图1 主桥桥型布置图(单位:m)

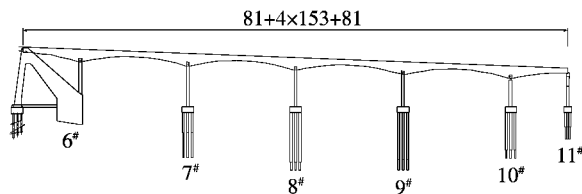


图2 副通航孔桥桥型布置图(单位:m)

收稿日期:2019-11-12

作者简介:田杰,男,硕士,高级工程师, E-mail:756156974@qq.com

1.1 建设条件

(1) 气象

该工程东临东海,季风显著风速大,春季多雾,夏季多热带气旋,台风登陆过境频繁,影响施工灾害性天气主要为大风(台风)、雨、雷暴和雾。极端最高温 38.6°C ,最低温 -6.7°C ,100年一遇10 m高度基准风速为 44.5 m/s 。

(2) 水文

桥位潮汐涨落潮历时6 h左右,最大潮差约4 m,100年一遇涨落时,3#站设计流速最大,涨潮流速为 4.55 m/s ,落潮流速为 3.99 m/s ,现场实测最大流速约为 4 m/s ,通航水道海床基本稳定,水道底床地形起伏大,一般水深30~90 m,最大水深103 m,设计最高通航水位 $+3.13\text{ m}$,最低通航水位 -2.20 m ,主通航孔单孔双向通航净宽778 m,通航净高54.5 m,副通航孔单孔双向通航净宽113 m,通航净高19.5 m。

(3) 地质

桥区内水底地形因岛礁分布杂乱,加之潮流冲刷作用形成的众多深槽,致使水底地形起伏频繁,水深相差较大,最深达80 m。在临近岛礁附近,水深流急,形成各岛礁之间众多复杂的水道分布。

水下岸坡为平均低潮线以下海底地形起伏较大部分,该区海底以侵蚀为主,物探和钻探揭示第四系覆盖层较薄或缺失,水下岸坡以裸露基岩为主,坡度达 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$,暗礁密布,水下地形复杂,水流湍急,水深者达70~90 m。

1.2 复杂水文地质条件下桩基础施工简述

海洋环境基础施工条件复杂,可能面临如下困难:水深流急、水位涨落规律性较差、流态紊乱、风浪影响大、潮汐影响剧烈、河床覆盖层薄且地形复杂、岩层倾斜强度高、岩面高差大以及存在流砂或岩溶等不良地质的情况。此类环境下桩基础施工,采取常规的打入钢管桩作为施工平台时,对于强度较高基岩钢管打入难度大,在风一浪一流联合作用下,因钢管桩自身柔度较大,钢管桩自身无法稳固、平联焊缝会被撕裂且自身会被折断;采用围堰施工,需设计的异形刃脚难以与基床面完全匹配,对控制施工质量要求高。中国工程例如鄂黄长江大桥、苏通大桥、望东长江大桥、平潭海峡大桥等桩基施工过程中均遇到类似问题,施工方案选择包括先桩后围堰、先围堰后桩、钢吊箱等,钻孔平台采用临时钢管桩搭设、利用钢护筒搭设及专用浮式平台等,近期法国留尼旺跨海大桥即采用自行式浮动平台完成下部及上部预制节段施工,展示了大型先进海

工装备在工程上的应用前景。

该文以秀山跨海大桥秀山主塔及副通航孔桥10#桥墩桩基础为例,介绍在复杂海域倾斜裸岩条件下桩基设计与施工过程,秀山主塔桩基施工首先搭设起始平台,然后逐根推进钻桩完成钻孔平台,先桩后围堰施工,采用高低刃脚双层钢围堰方案;副通航孔桥10#桥墩桩基施工借助长旭浮动平台完成桩基施工平台,采用浮吊完成钢套箱整体下放进行承台浇筑,下文将分别介绍相关设计与施工过程。

2 秀山主塔基础设计与施工

2.1 施工环境

秀山主塔承台底标高 -3.8 m ,基础位置左幅海底标高为 $-5.09\sim -13.31\text{ m}$,右幅海底标高为 $-4.47\sim -11.52\text{ m}$,海底基岩倾斜直接出露,出露地层岩性为强~微风化晶屑熔结凝灰岩,强风化层厚 $0.8\sim 7.4\text{ m}$ 不等,岩石饱和单轴抗压强度为 $38.1\sim 42.34\text{ MPa}$,中风化晶屑玻屑熔结凝灰岩,岩石饱和单轴抗压强度平均值为 64.3 MPa ,施工期最大流速 3.88 m/s 。

2.2 桩基、承台构造设计

主塔承台/系梁顶标高 $+3.5\text{ m}$,底标高 -3.8 m ,系梁底标高 -1.0 m 。每个塔柱下设置半径11.8 m的圆形承台,厚7.3 m,系梁高4.5 m,承台下设置24根直径2.8 m的桩基,桩底标高为 -25.5 m ,桩端持力层为中风化晶屑玻屑熔结凝灰岩,桩基需穿过强风化和极破碎中风化层,桩端持力层岩体基本质量等级为Ⅳ级以上,进入此岩层不小于3 m,累积进入中风化岩层不小于8 m,秀山侧承台桩基钢护筒不参与受力。

2.3 围堰构造设计

承台采用两个独立的圆形双薄壁围堰围水施工,钢围堰为防撞消能的永久结构,要求其外壁钢板厚不小于16 mm,双壁间距不小于2 m,中间灌注海工混凝土,并对其钢结构进行防腐处理,防腐涂装设计参照JTS 153-3-2007《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》要求,防腐设计年限不小于20年,分为钢围堰外壁板浪溅区和水下区两种防腐体系,涂装系统包括底漆、中间漆及面漆,采用环氧树脂及聚氨酯产品,运营期间对围堰外表面进行清洁复涂养护,围堰内混凝土设计满足防撞及耐久性设计要求,秀山桥塔基础围堰见图3。

大直径深钻孔群桩基础设计一般由船撞力和地震力控制,该桥地震力不控制设计,只进行船舶撞击力标

30 m,地层情况为:强风化晶屑玻屑熔结凝灰岩,岩石饱和单轴抗压强度平均值为 35.76 MPa;中风化晶屑玻屑熔结凝灰岩,岩石饱和单轴抗压强度为 64.5 MPa;强风化霏细斑岩,岩石饱和单轴抗压强度平均值为 38.1 MPa;中风化霏细斑岩,岩石饱和单轴抗压强度平均值为 66.2 MPa,岩层倾角 250°左右,局部岩层高程起伏较大,施工期最大流速为 3.56 m/s。

3.2 桩基、承台构造设计

10[#]桥墩为墩梁固结墩,群桩基础设计由船撞力控制,采用六边形承台,平面尺寸为 23.25 m×16.5 m。承台厚 5.0 m,顶标高+3.0 m。顶面喷涂 2 mm 丙烯酸聚合物水泥浆,承台垫层厚 0.3 m,与承台同标号。封底浇筑至承台底以下 0.15 m,要求凿除顶面 0.15 m,随后一起浇筑垫层和承台混凝土,承台顶面和侧面设置不锈钢钢筋网。

承台底设置 10 根直径 2.50 m 的桩基,要求桩基穿过强风化和极破碎中风化层,桩端中风化岩层岩体基本质量等级为Ⅳ级及以上,完整性不低于破碎和镶嵌破碎,且进入此岩层不小于 3 m,累积进入中风化岩层不小于 8 m,设置不少于 4 个施工勘探孔,桩基钢护筒参与受力,内径 2.9 m,壁厚不小于 18 mm,设置剪力环与桩身连接;钢护筒要求打到强风化岩面,钢护筒倾斜度要求 1/200,平面偏位控制为 5 cm,钢护筒防腐年限不小于 20 年。在钢护筒与岩面交界处增设一层主筋,伸入钢护筒 4 m,伸入岩层 5 m。

3.3 施工方案

10[#]墩海底基岩倾斜裸露且无覆盖层,设计文件中建议施工方案为在岸上按海底高程制作各桩位处长度不同的钢护筒,纵横连为一体,再制作符合海底地形的钢围堰,与钢护筒底部形成整体结构,浮运到桥位后整体下放形成钻孔平台,然后施工桩基、承台。现场施工过程中经各方讨论,结合现有设备及施工单位相关经验,决定采用长旭平台辅助进行桩基施工作业,经专家方案论证及现场实践证明此方案可行,具有经济、进度快及可靠性高等优点。

10[#]墩桩基施工流程:采用长旭平台作为起始平台,长旭平台作为可移动自浮式专用平台可以灵活布置在水深限制范围内作业海域,设置可升降 4 根支柱,

根据海底地形条件长旭平台精确定位于辅助平台南侧,下放平台支腿并水下探摸,通过支腿调整措施确保支腿底部与海底密贴。在长旭平台侧舷焊接定位导向架,进行辅助平台钢管桩施工,钢管桩需钻孔、嵌岩、下放钢筋笼、浇筑混凝土,确保辅助平台钢管桩锚固在海底,完成辅助平台后长旭平台退出工作;接长辅助平台导向架,下放钢护筒并钻孔、嵌岩、封底锚固钢护筒,最后联结形成钻孔平台,投入 4 台冲击钻隔孔进行钻孔桩施工,成孔后灌注水下混凝土。

钢吊箱委托专业厂家在施工现场实施,采用单壁钢吊箱结构,壁体分 8 块制作后于 16[#]墩钻孔平台上整体组拼。采用浮吊吊装下放,在壁体上设置连通器,钢吊箱下放过程向钢吊箱内注水,吊箱安装定位后,进行钢护筒抱箍及封孔板安装,随后进行封底混凝土浇筑,厚度为 2.0 m,当封底混凝土强度达到设计强度后,关闭连通器抽水,随后分两层浇筑承台混凝土完成基础施工。

4 结语

该文介绍了秀山跨海大桥复杂海域裸露倾斜基岩桩基设计与施工,考虑满足船舶撞击及施工过程克服风一浪一流联合作用下钢管桩与平台搭设、钢围堰制作及施工等难题,重点介绍了施工方案的技术可行性。

参考文献:

- [1] 武焕陵. 南京长江第四大桥工程建设及关键技术[J]. 中国工程科学, 2013(8).
- [2] 祁德庆,王琳琳. 多种环境力联合作用下杭州湾跨海大桥海中平台动力响应分析[J]. 力学季刊, 2011(3).
- [3] 许红胜,颜东煌,黄元群. 深水基础钢围堰结构方案比选研究[J]. 中外公路, 2007(3).
- [4] 杨进. 大桥深水基础方案设计与施工及经济性研究[J]. 桥梁建设, 2011(2).
- [5] 杨少华. 复杂水文地质条件下的桥梁水上基础施工技术研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文, 2011.
- [6] 赵富立,魏超. 望东长江公路大桥钢围堰下水施工技术[J]. 桥梁建设, 2014(6).