

黄河机场特大桥基础钢板桩围堰水下封底 混凝土设计及施工

赫宏伟

(中国铁建大桥工程局集团有限公司银吴项目经理部,宁夏 银川 750101)

摘要: 银西铁路黄河机场特大桥位于黄河之上,基础采用水中围堰施工方法。桥梁基础地基土多为粉土、粉砂和细砂土,地基土如果受较大压力差时,易造成地基产生流砂和管涌破坏,为了防止该种破坏现象,围堰封底采用水下混凝土封底。文中以13#主墩围堰封底混凝土设计及施工为例,利用Midas软件对封底混凝土进行了应力模拟分析,并进行了混凝土扩展度试验。模拟及试验结果表明:封底混凝土最大拉应力为1.23 MPa,小于混凝土允许抗拉强度1.57 MPa;每1 m³混凝土掺入8.8 kg 絮凝剂,其扩展度为540 mm,掺入该掺量絮凝剂时,混凝土强度及扩展度满足规范及设计要求。

关键词: 特大桥梁;钢板桩围堰;封底混凝土;应力模拟;扩展度

桥梁水中墩基础施工常选用钢板围堰法施工,钢板围堰的设计和施工工艺的优劣直接影响着桥梁基础施工质量的好坏。张俊以沪杭高铁横潦泾特大桥河道中央主墩深水基础钢板桩围堰为例,采用多种理论计算方法给出了合理的钢板桩最小入土深度;文献[2,3]利用代表波法模拟分析了波浪压力对围堰受力的影响规律;于志兵等以三峡库区桥梁为例介绍了高水位异形围堰的施工方法;周欣等以江苏扬州新建万福大桥为例详述了优化钢板桩围堰的设计方法;王东辉以平潭海峡公铁两用大桥为例,给出了防撞箱围堰结构设

计方法和模块化施工方法;彭撞等分析了钢筋混凝土拱围堰的受力特点,并介绍了其施工方法和受力验算理论;文献[8-11]分析研究了复杂水文条件下钢围堰施工技术;周亚运对沪通长江大桥钢围堰力学性能进行分析得出了钢围堰的最不利工况,提出补强钢围堰强度和刚度的薄弱部位;赵多苍利用三维渗透模型计算分析了各种工况下,渗流总水头、渗流流速分布及流量和封底混凝土的受力状况,得出钢板桩围堰利用混凝土封底可以有效防止围堰发生渗漏现象;何永昶利用解析理论分析得出了深水基础桥梁承台施工围堰支

成品的误差进行分析,模拟钢结构预拼装过程,发现问题及时纠正,提高了施工效率。

作为技术创新,基于CATIA-BIM的钢结构加工制造技术有效地提高了加工管理水平,加强CATIA指导钢结构加工与BIM技术指导信息管理的融合,能有效提高钢结构加工效率,节省工程成本,促进工程现场规范化管理,使得对钢结构加工过程真三维管理成为可能,在不久的将来有望取代传统方法,为钢结构加工带来进一步的技术革新。

参考文献:

[1] 张学生.BIM——推动无限延续的行业创新[J].中国建筑

金属结构,2013(19).

[2] 李兴,王毅娟,等.基于CATIA的BIM技术在桥梁设计中的应用[J].北京建筑大学学报,2016(4).

[3] 王毅,杨光,等.基于BIM的钢箱梁自动建模研究[J].中国市政工程,2016(4).

[4] 杨帆.CATIA三维设计在导流输水隧洞设计中的应用[J].云南水力发电,2016(3).

[5] 毛寅睿,陈雨人,等.基于CATIA的道路交通BIM技术研究[J].交通工程,2018(2).

[6] 王卫东,李青海,等.装载机钢圈的参数化设计[J].农业装备与车辆工程,2007(11).

[7] 冯川,廖勇,等.基于CATIA的BIM在简支T型桥梁上的应用[J].土木建筑工程信息技术,2015(2).

收稿日期:2018-03-29

作者简介:赫宏伟,男,大学本科,高级工程师.E-mail:zhtdqjt@126.com

撑布置的最优方案和施工方法。水中钢围堰施工安全及质量受到钢围堰结构设计、地基和水文条件、封底材料及施工方法等多种因素的影响。该文以黄河机场特大桥基础钢板桩围堰为例,详述水下封底混凝土设计及施工要点。

1 工程概况

1.1 桥梁结构简介

银川黄河机场特大桥主桥为 1×96 m 简支桁架 + 3×168 m 连续钢桁架柔性拱 + 3×168 m 连续钢桁架柔性拱 + 1×96 m 简支桁架,主桥全长 1 200 m。 $10^\# \sim 16^\#$ 主墩承台厚 6 m,形式为 $4 \text{ m} + 2 \text{ m}$ 台加台,其中 $11^\# \sim 14^\#$ 墩位于主河道内,底面尺寸为 $25.2 \text{ m} \times 18.95 \text{ m}$, $9^\#$ 、 $17^\#$ 边墩承台厚 5 m,底面尺寸为 $25.2 \text{ m} \times 15.2 \text{ m}$ 。封底混凝土厚度为 1.8 m,垫层混凝土为 0.3 m,强度等级为 C30。主桥立面见图 1。

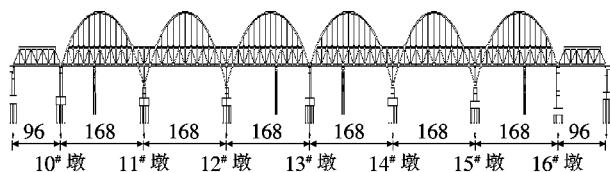


图 1 银川黄河机场特大桥主桥立面(单位:m)

1.2 水文条件

施工场地地表水主要为黄河河水及各灌溉渠、池塘水。桥跨处长流水水面宽约 760 m,水流缓慢,河漫滩及一级阶地地形平坦,地势开阔,灌溉水渠纵横,池塘密布,多为果园及水浇地。

1.3 地质条件

桥址区覆盖厚层第四系地层,其中黄河河谷区以颗粒冲击层为主,地层上部主要为第四系全新统冲击的粉质黏土、粉土、粉砂、细砂,下部为上更新统冲积的粉质黏土、粉土、粉砂、细砂,局部夹细圆砾土、粗圆砾土透镜体,洪积扇区上部为第四系全新统洪积的粉土、粉质黏土、粉细砂、细圆砾土,第四系地层厚度大于 120 m。具体地层分布情况见图 2。

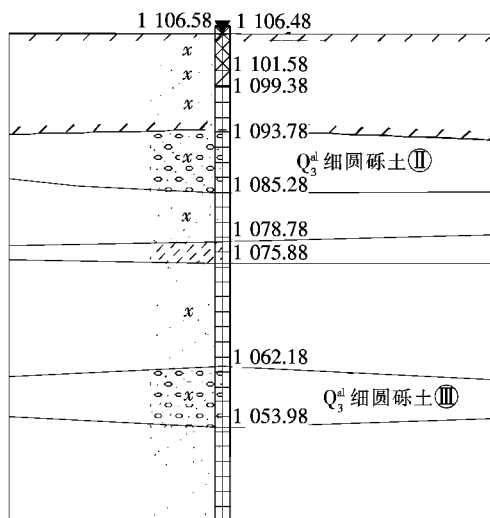


图 2 13#墩地层柱状图(单位:m)

其中 13# 主墩抽水水位与封底底高差为 6.858 m。采用 Midas/Fea 模拟封底混凝土受力情况。有限元模型采用四边形网格划分,模型参数选取材料 C35 混凝土,弹性模量 $E_s = 3.15 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$,泊松比为 0.2。根据现场情况,封底混凝土边界条件选取四面固结的形式,模型假设封底混凝土材料各向均质同性、密实。

计算工况:工况 1:封底混凝土受自重及浮力影响,设计厚度 2.5 m,取计算厚度为 2 m,素混凝土自重为 24 kN/m^3 ,水头浮力按 120 kPa 从封底混凝土底板按面均布荷载施加;工况 2:封底混凝土受自重及浮力影响,取计算厚度 1.0 m,素混凝土自重 24 kN/m^3 ,浮力按 66 kPa 从封底混凝土底板按面均布荷载施加。计算得 13# 主墩围堰封底混凝土应力云图见图 3。

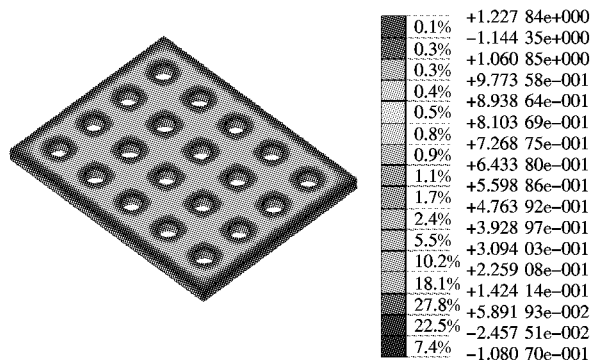


图 3 封底混凝土应力云图(单位:MPa)

由图 3 可知:封底混凝土所受最大拉应力为 1.23 MPa $< 1.57 \text{ MPa}$,混凝土不会发生抗拉破坏。

2.1.2 黏结力计算

13# 主墩处水面标高为 1 106.000 m,封底底标高为 1 099.142 m,围堰平面布置见图 4。

2 封底混凝土设计

2.1 封底混凝土模拟及计算

2.1.1 应力模拟分析

13# 主墩围堰封底混凝土厚度为 1.5 m,由于水下浇筑混凝土表层会出现松散现象,计算厚度取 1.0 m。

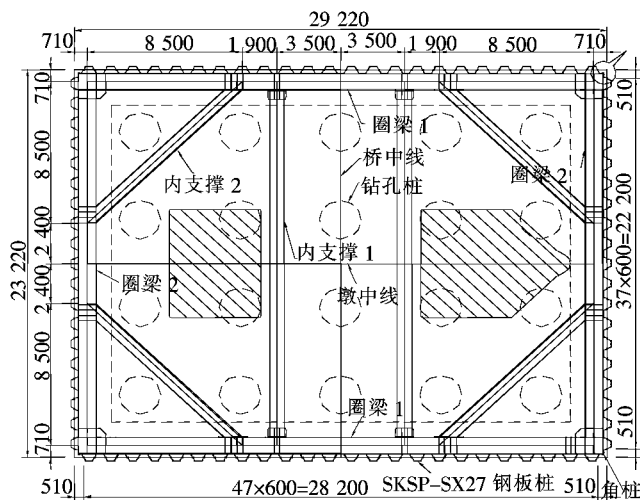


图 4 13# 墩围堰平面图(单位:mm)

混凝土受到向上的水压力为(重力加速度 g 取 10 N/kg):

$$(1\ 106.000 - 1\ 099.142) \times 1.0 \times 10 = 68.58 \text{ kN/m}^2;$$

混凝土自重应力: $24 \times 1.0 = 24 \text{ kN/m}^2$ 。

混凝土受到的荷载集度:

$$q = 68.58 - 24 = 44.58 \text{ kN/m}^2;$$

混凝土受水压面积:

$$A = 22.2 \times 28.2 - 20 \times 3.14 \times 1.1 \times 1.1 = 550.05 \text{ m}^2。$$

混凝土所受压力:

$$F = qA = 44.58 \times 550.05 = 24\ 521.23 \text{ kN}。$$

围堰底共 20 根 $\phi 2\ 200 \text{ mm}$ 的护筒,围堰内轮廓周长为 100.8 m ,混凝土与钢护筒、钢板桩间接触面积 $A' = (20 \times 3.14 \times 2.2 + 100.8) \times 1 = 238.96 \text{ m}^2$,则黏结力为:

$$P = F/A' = 102.6 \text{ kPa} < 150 \text{ kPa}。$$

满足规范要求。

2.2 封底混凝土配合比设计

封底混凝土强度为 C30,水下混凝土施工要求流动性较强,增加其扩展度达到 $500 \sim 600 \text{ mm}$ 。试验室采取在混凝土中添加絮凝剂的方式增加扩展度,在满足混凝土强度及其他指标的情况下,通过多次试验,确定混凝土内添加 8.8 kg/m^3 絮凝剂,其扩展度达到 540 mm 。通过试验最终确定混凝土水灰比为 0.53 ,水泥:砂子:碎石:减水剂:絮凝剂:水 = $442:643:1\ 021:4.86:8.8:234$,其表观密度为 $2\ 340 \text{ kg/m}^3$ 。

2.3 首盘混凝土方量计算

为了确保水中围堰封底混凝土的浇筑质量,灌注

混凝土时,导管埋置在混凝土中的深度应大于 0.5 m 。

如图 5 所示,第 1 批混凝土浇筑体积按式(1)计算:

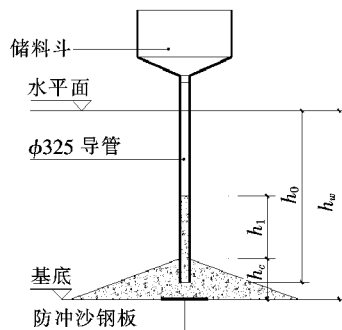


图 5 首盘混凝土计算示意图

$$V = \frac{h_1 \pi d^2}{4} + \frac{H_c S}{3} \quad (1)$$

式中: S 为导管作用面积,导管外混凝土为圆锥形,高度为 1.0 m ,根据相关资料,水下混凝土扩散角为 $15^\circ \sim 30^\circ$,取 4 m 扩散半径,则底面积 $S = 50.24 \text{ m}^2$; d 为导管直径 325 mm ; H_c 为第 1 批混凝土浇筑厚度; h_1 为围堰内混凝土厚度达到 H_c 时,导管内混凝土柱与管外水压平衡的高度,计算方法见式(2):

$$h_1 = \frac{H_w \times \gamma_w}{\gamma_c} \quad (2)$$

式中: γ_w 为水的重度,取 10 kN/m^3 ; γ_c 为混凝土的重度,取 24 kN/m^3 ; H_w 为导管底到水面高度,为 $(H_0 - 0.5) \text{ m}$; H_0 为钢围堰内部水面与其底部高程之差,依据围堰混凝土封底施工计划,采用 11 月水面高度 + $1\ 106 \text{ m}$ 计算, $H_0 = 6.858 \text{ m}$; $h_1 = \frac{H_w \times \gamma_w}{\gamma_c} = \frac{6.358 \times 10}{24} = 2.6 \text{ m}$ 。

第 1 批混凝土方量:

$$V = 2.6 \times 3.14 \times 0.325^2 / 4 + 1.0 \times 50.24 / 3 = 17 \text{ m}^3。$$

为保证导管埋深,确保拔球混凝土灌注一次成功,首批混凝土采用两台 15 m^3 混凝土罐车连续向料斗内投放混凝土,封底成功后换成 5 m^3 料斗继续浇筑。

3 封底混凝土施工

3.1 钢板桩围堰施工

13# 墩施工方法:采用 100 t 履带吊,放置于支栈桥上进行平台钢管桩施工,钢管桩施工完成后安装钻孔平台。利用钻孔平台作为导向,插打钢护筒,施工钻

孔桩。钻孔桩完成后,拆除钻孔平台面板,拆除纵、横梁,拔出钢管桩,切割钢护筒至钢围堰顶标高一致,插打钢板桩至设计标高。

利用 DZ90 单夹具振动锤插打 15 m 钢板桩。首先在钢板桩插打的地方用钢平台作为导向,依据勘测坐标及高程在钢板桩围堰各角点及直线段施做导向结构,导向结构选用上、下型钢支架法固定于承台外侧钢护筒上。沉桩施做前,施工锤的桩夹应与钢桩上端固定牢靠,并保证锤与钢桩中心位于同一直线上。沉桩过程中,时刻注意测量桩的垂直度并及时调整桩垂直度。沉桩过程中,发现打桩机导向架的中心线偏斜时必须及时调整。当钢板桩在合龙以后,即可施工钢围堰和钢支撑架。

根据现场测量水位标高,黄河水位标高在 1 105~1 106 m 之间,钢板桩安装顶标高高出水面至少 1 m,以防水位上涨,基坑内进水。13# 墩钢板桩围堰长 29.22 m、宽 23.22 m,主要结构为:15 m 拉森Ⅳ型钢板桩、内支撑采用直径 1 200 mm 的钢管,斜撑采用 2HN700×300 双拼 H 型钢,圈梁采用规格:2HN1000×300 双拼 H 型钢,为 1 道支撑。封底混凝土围堰平面、立面布置见图 4、6。

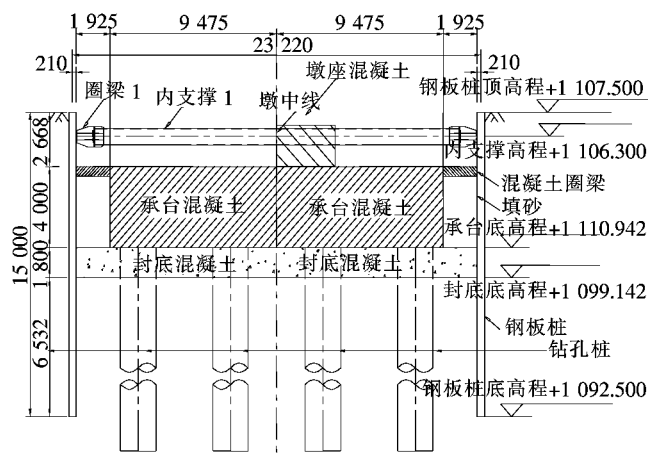


图 6 13# 墩围堰立面图(除标高单位为 m 外,其余单位:mm)

3.2 准备工作

主墩承台处于黄河河道中心,封底面积大、封底要求质量高、导管数量布置多、施工控制难度大。封底混凝土浇筑应遵循“对称、分区、不留死角”3 个原则进行导管布置。钢板桩封底混凝土围堰第 1 道围堰施工好后,水下开挖、吸泥、清淤至封底混凝土标高 1 109.142 m。

3.3 基底处理

为保证封底混凝土的效果,基坑清理到位后,组织潜水人员对基底进行整平,高出封底底标高的基底应

挖除、低于封底底标高的基底回填平整,待封底混凝土将回填土压实;在封底混凝土覆盖范围内钢护筒外壁因为锈蚀及泥浆黏附,潜水员用钢丝刷进行清除,以保证封底混凝土与钢护筒的黏结力,提高抗浮能力。

3.4 平台搭设及导管安装

封底混凝土施工平台利用钢护筒作为承重结构,将钢板桩水平铺设在围堰上,利用护筒作为支撑,最后在分配梁顶面铺设木板,形成封底混凝土施工平台。根据施工经验及封底混凝土流动性设置横向布置 4 个封底点,纵向布置 3 个封底点,因混凝土遇到护筒后无法流动至背后侧,因此,在 4 根桩基中间设置封底点。全部共计设置 18 个封底点,按混凝土流动性设置了封底区域,共计 11 个区域,见图 7。

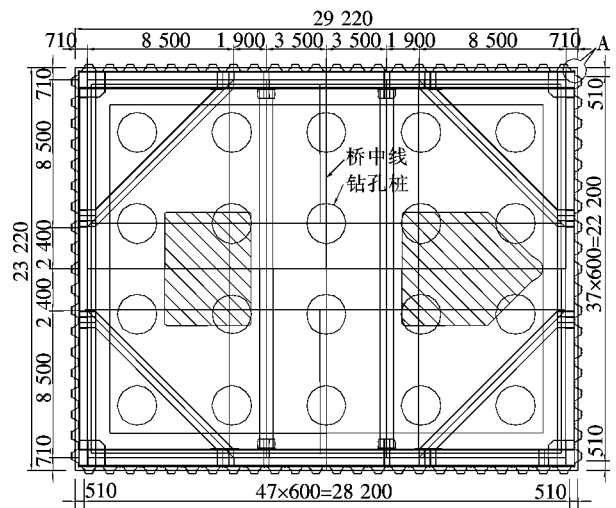


图 7 水下封底导管区域划分及平面图布置(单位:mm)

设计位置在钢平台上预留封底混凝土灌注导管及标高测设点位置,在导管位置设置导管翻板。首封点封底完成后,其余导管应用水泵将导管内水抽干,用泵车向导管内泵送混凝土。水下封底平台高度布置在护筒顶面,护筒顶面应高于黄河水面,首封点在基坑四个角点,采用直径 325 mm 的钻孔桩导管,其余均采用直径 320 mm 的无缝钢管,先封支栈桥下游两个角点导管,待封底正常后,用两台 48 m 臂长汽车泵进行混凝土输送。为避免基底土体上翻影响封底混凝土的质量,对于粉细砂底层,在每个导管底部铺设 1 m×1 m×0.002 m 厚钢板。

3.5 封底混凝土施工

3.5.1 混凝土封底

封底混凝土厚度为 1.8 m。封底混凝土分 2 次施做,第 1 次浇筑厚度 1.5 m,第 2 次浇筑厚度 0.3 m。

第 1 次浇筑混凝土时,封底混凝土浇筑的基本顺

序是:从角点对称首封,从外侧向中间对称推进。混凝土浇筑前,在每个导管处布置一微型门架,倒链安置于门架之上,混凝土浇筑时,导管随混凝土浇筑面的升高而提高,利用倒链提升导管。在封底过程中应注意,将封底混凝土附近的导管利用倒链上下窜动,防止导管凝固于混凝土中;在浇筑混凝土前,将导管内的水使用小水泵抽出,防止混凝土遇水离析。正在封底的导管不宜埋置过深,保持在 $0.5\sim 1\text{ m}$,以确保混凝土能够推进更远。首批混凝土灌注时,先用 5 m^3 储料斗储料,待储料斗满后,拔球浇筑首批混凝土,首批混凝土浇筑后,导管埋深应不小于 $0.6\sim 0.8\text{ m}$ 。

混凝土浇筑时,必须由经验丰富的技术人员进行混凝土的浇筑高度测量和混凝土扩展度判断,帮助现场施工工人精准调整导管的埋深,并及时与试验室联系调整好混凝土的坍落度。混凝土浇筑接近尾声时,对导管与导管的关键部位、护筒周围及钢板桩壁等部位量测高程,保证混凝土顶面高程达到规定位置。浇筑水下封底混凝土时,混凝土顶面平整度无法保证,故混凝土浇筑时,将混凝土顶面位置施做在设计位置以下 30 cm 左右,在围堰抽水后再采用人工浇筑抹平混凝土面层达到规范平整度要求。

3.5.2 抽水

封底混凝土施工时制作 $7\sim 10$ 组试块,用塑料袋装好后,利用铁丝固定在围堰内,确保试块与封底混凝土的环境相同,经试验室检测混凝土试块强度达到 30 MPa 以上时,选择围堰内最低的8个地方,放入8台 $6\text{寸}(=15.24\text{ cm})15\text{ kW}$ 潜水泵同时抽水,抽水注意水位均匀下降,直至围堰内水量达到可控范围内,清理混凝土表面,在第1次浇筑混凝土的上方立模板进行第2次浇筑。

3.5.3 垫层浇筑

抽水完成后浇筑 30 cm 厚垫层找平,混凝土模板距钢板桩围堰 0.5 m ,将这一空间设为排水沟,在2个最低角点处设置 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}\times 0.3\text{ m}$ 的集水坑,放置水泵抽水,钢板桩渗水沿着排水沟内,汇入集水坑后,从围堰中抽出。封底混凝土全部浇筑完毕后,表面平整无孔隙、无积水。

4 结语

通过数值模拟分析,确定了封底混凝土最大拉应

力,其值小于规范设计值,满足施工要求。通过试验确定了封底混凝土絮凝剂的掺量及配合比,在此基础上给出了围堰及混凝土浇筑的详细施工方案及施工方法。施工结果表明:在已经完成的 $13^\#$ 墩承台施工中,承台混凝土一次浇筑成型,混凝土方量达到 $2\,315\text{ m}^3$,承台未发生变形,混凝土浇筑 7 d 后钢板桩未发现裂缝,混凝土强度满足设计要求, $13^\#$ 墩施工质量优良。

参考文献:

- [1] 张骏.深水基础钢板桩围堰最小入土深度分析[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2013(3).
- [2] 遆子龙,李永乐,秦顺全,等.海洋桥梁施工围堰的波浪压力实测与数值模拟[J].西南交通大学学报,2017(3).
- [3] 姚德波,殷新锋.基坑锁口钢管桩围堰的受力行为分析[J].中外公路,2017(2).
- [4] 于志兵,刘亮.三峡库区桥梁深水基础施工技术[J].中外公路,2017(2).
- [5] 周欣,苏宗华,顾勇军.内河粘土地层超大型钢板桩围堰关键安全施工技术研究[J].建筑安全,2017(4).
- [6] 王东辉.平潭海峡公铁两用大桥航道桥基础设计与施工创新技术[J].铁道标准设计,2017(9).
- [7] 彭撞,许明君,陈德华.钢筋混凝土拱围堰在桥梁基础施工中的应用[J].公路交通技术,2016(1).
- [8] 贺德龙.复杂水文地质条件下钢围堰施工技术研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2016.
- [9] 张文静,吴威.深水桥梁桩基础钢吊箱围堰施工技术研究[J].公路交通科技:应用技术版,2016(6).
- [10] 王成.桥梁深水基础钢—混围堰设计与施工技术在轨道交通中的应用[J].铁道勘察,2016(6).
- [11] 畅里爱.桥梁跨海湾基础钢板桩围堰施工方案设计与分析[J].苏州科技学院学报:工程技术版,2015(2).
- [12] 周亚运.沪通长江大桥基础承台双壁钢围堰力学性能分析[D].江苏科技大学硕士学位论文,2016.
- [12] 赵多苍.跨海桥梁钢板桩围堰渗流模拟研究[J].铁道建筑技术,2016(3).
- [14] 何永昶.深水基础桥梁承台施工超长钢板桩围堰内支撑最优布置研究[J].铁道建筑,2015(3).
- [15] 中铁三局集团有限公司.铁路混凝土工程施工技术指南[M].北京:中国铁道出版社,2011.
- [16] 中铁三局集团有限公司.高速铁路桥涵工程施工技术规范[M].北京:中国铁道出版社,2015.
- [17] 于志兵,刘亮.三峡库区桥梁深水基础施工技术[J].中外公路,2017(2).