



复杂地质条件下岸壁码头结构衔接设计要点

于晓岩, 于雯雯, 耿 茜, 冯海波

(中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 针对复杂地质条件下岸壁式码头不同结构的衔接设计, 依托实际工程, 研究分析了复杂地质条件下岸壁式码头的结构选型和泊位等级相差较大的两相邻结构之间的衔接处理关键技术。该技术较好地解决了岸壁式码头不同结构衔接处的差异沉降引起上部结构开裂、结构缝漏砂等问题。归纳了泊位等级相差较大的岸壁式码头转角相接处组合钢板桩结构的稳桩与嵌岩技术, 对类似码头工程的设计与施工具有一定的参考价值。

关键词: 复杂地质条件; 岸壁式; 衔接设计; 稳桩

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0044-06

Key points of structural connection design of quay wall wharf under complex geological conditions

YU Xiao-yan, YU Wen-wen, GENG Qian, FENG Hai-bo

(CCCC FHEC Harbor Engineering Design Co., Ltd, Guangzhou 510290, China)

Abstract: In view of the connection design between different structures of quay wall wharf under complex geological conditions, this paper studies and analyzes the structure selection of quay wall wharf under complex geological conditions and the key technology of connection treatment between two adjacent structures with large difference in berth grade based on actual engineering, which can solve the problems of superstructure cracking and sand leakage in structural joints, caused by different settlement at the connection of different structures of quay wall wharf. This paper summarizes the pile stabilizing and rock-socketing technology of composite steel sheet pile structure at the corner joint of quay wall wharf with large difference in berth grade, which has a certain reference value for the design and construction of similar wharf engineering.

Keywords: complex geological conditions; quay wall; connection design; stabilizing pile

为了充分挖掘港口岸线资源、适应越来越复杂的建港条件, 尤其是复杂工程地质条件以及多种靠泊船型的需要, 码头平面布局呈挖入式或突堤式等转角形式的情况越来越多, 码头主体结构由单一的重力式、板桩式、高桩式逐渐演变为多种结构形式并存, 合理解决复杂工程地质条件下的结构选型和不同结构形式之间的衔接过渡对码头结构安全至关重要。宋兰芳等^[1]、朱俊裕等^[2]、刘兵强等^[3]针对码头不同结构形式衔接处细部设计及防漏砂措施进行研究, 积累了一定的经验。

然而, 港口项目因工程地质、边界条件及所处环境的不同具有不同的特点, 开展岸壁码头不同结构形式衔接技术研究, 更好地解决不同结构之间在结构功能、结构安全、结构构造等方面的衔接过渡问题以及施工工艺问题, 对码头设计及施工具有重要意义。

1 工程概况

1.1 建设规模

工程位于广州沿海, 拟建 10 个泊位, 1[#]、2[#]

收稿日期: 2021-02-05

作者简介: 于晓岩(1977—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程咨询设计、项目管理工作。

为 2 个连续布置的 5 万吨级通用泊位(水工结构按 7 万 GT 汽车滚装船设计与建设), 挖入式港池内建设 8 个泊位, 其中 3[#]为 3 000 吨级件杂货泊位、8[#]为 2 000 GT 汽车滚装船舶位, 4[#]和 7[#]为

2 000 t 珠江干线船舶位、5[#]和 6[#]为 1 000 GT 滚装船舶位、9[#]和 10[#]为工作船舶位, 总占用岸线 1 340 m, 设计年通过能力 493 万 t。码头平面布置见图 1。

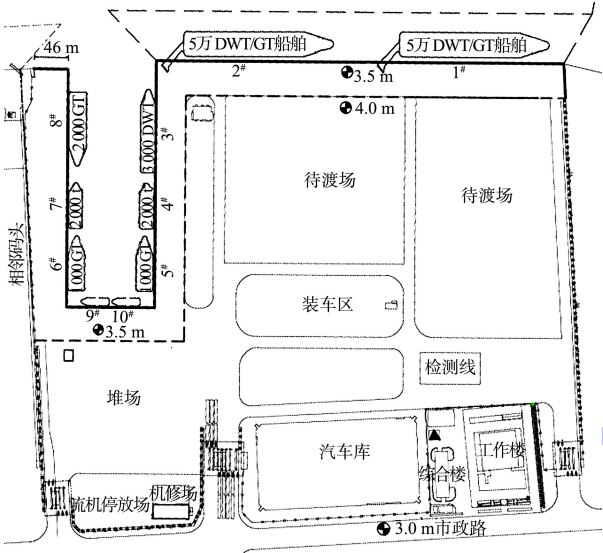


图 1 码头平面布置

1.2 工程特点

- 1) 泊位功能多样、吨级跨度大、数量多、岸线长, 码头工程地质复杂、基岩面起伏变化大。
- 2) 码头泊位呈“凹”字形布置, 整个码头泊位岸线转折较多, 工程在挖除现状防洪大堤的基

础上兴建, 码头内部不同结构之间以及码头与外部结构之间须衔接过渡。

2 地质条件

各岩土层主要设计参数建议值见表 1。

表 1 各岩土层主要设计参数建议值

土层	平均厚度/ m	标贯击数/ 击	承载力特征值 f/kPa	天然密度/ (t·m ⁻³)	压缩模量 E _{s0.1-0.2} / MPa	抗剪强度				钻孔灌注桩	
						饱和快剪		固结快剪		侧摩阻力 极限标准 值 q _{sik} /kPa	端阻力极 限标准值 q _{pk} /kPa
						黏聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)		
①素填土	4.37	2~7	—	1.770	3.83	14.20	7.95	20.80	13.60	25	—
② ₁ 粉质黏土	1.67	1~2	80	1.760	3.39	17.40	5.30	20.00	15.00	12	—
② ₂ 淤泥及淤泥质土	5.35	1~4	60	1.607	2.49	4.01	2.84	9.67	5.94	8	—
③ ₁ 砾砂混黏土	2.47	6~27	200	1.963	5.45	8.00	23.00	—	—	50	—
④ ₁ 粉质黏土	2.80	7~24	165	1.890	4.12	13.11	5.95	25.50	12.54	40	—
⑤ ₁ 粉质黏土	6.79	7~32	188	1.907	4.50	13.62	5.81	26.49	13.98	45	—
⑥ ₁ 全风化泥岩	2.47	20~50	280	1.922	5.33	11.26	6.40	28.00	15.00	50	—
⑥ ₂ 强风化泥岩	2.78	20~50	390	1.983	12.00	17.36	8.68	38.29	22.87	80	—
⑥ ₃ 中风化泥岩	3.62	—	1 000	—	—	—	—	—	—	—	2 000

注: ⑥₃中风化泥岩单轴饱和抗压强度平均值为 7.12 MPa。

3 结构设计要点

3.1 确定 1#、2#泊位码头基槽开挖深度

1#、2#为深水泊位，码头前沿线与现状防洪大堤挡墙前沿线一致，后方陆域纵深较长，可大面积开挖，且钻孔揭露基岩面接近港池设计底高程，结合上游已建码头结构形式，1#、2#泊位确定为重力式沉箱结构。

1#、2#泊位长度 546 m，其中约 400 m 长度范

围内强风化岩岩面与码头停泊水域高程相近，其余约 146 m 长度范围强风化岩岩面埋藏较深，持力层为分布广且深厚的粉质黏土层。针对上述地质情况，如果单一按应力扩散法确定基槽开挖深度，则需开挖至强风化岩面，基槽开挖、抛石基床以及后方回填等工程量都很大，工程费用较高，1#、2#泊位码头断面、立面见图 2。

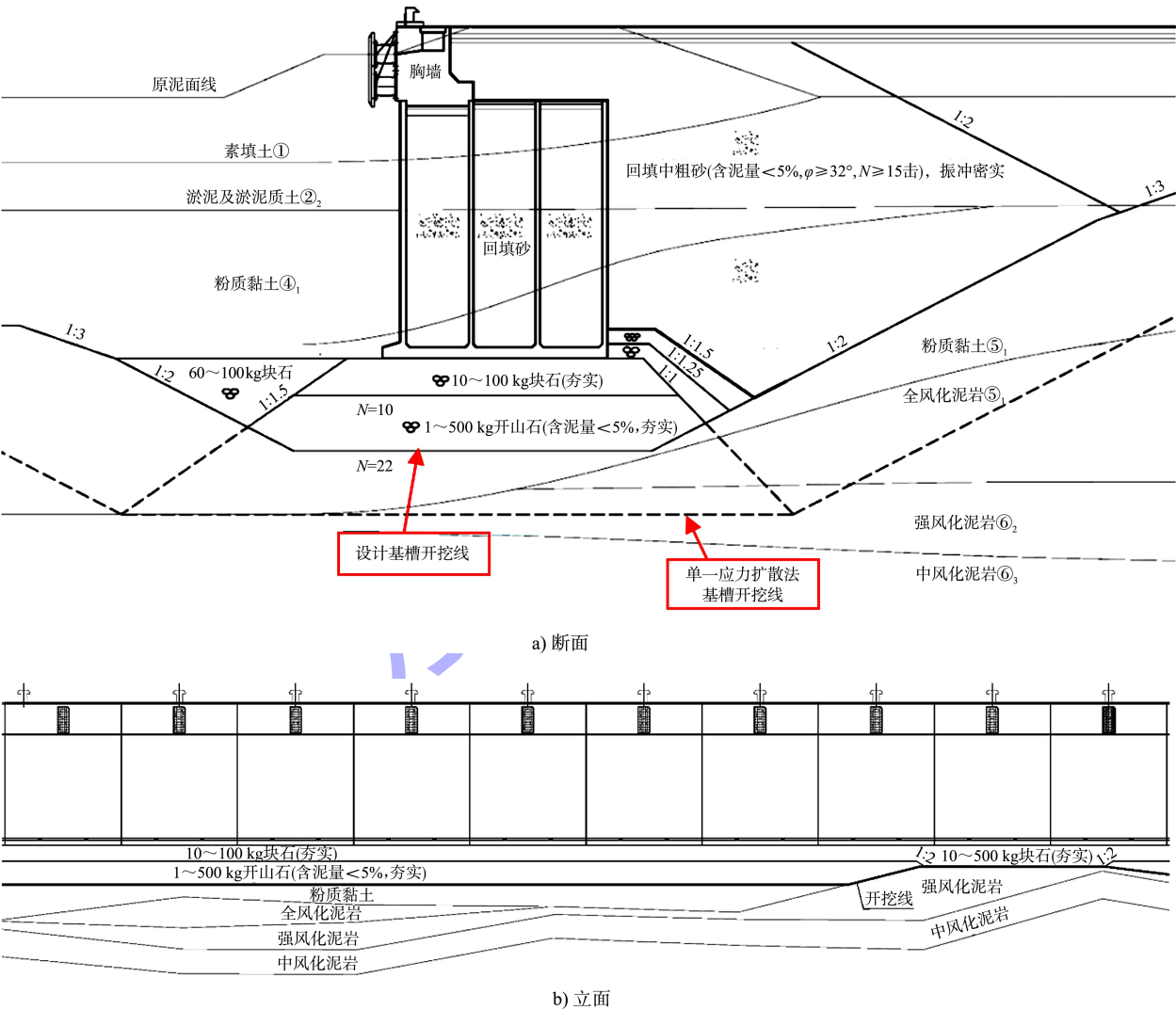


图 2 1#、2#泊位码头

本工程设计中地基承载力验算综合 JTS 147-1—2010《港口工程地基规范》^[4]中极限状态设计表达式与 JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[5]中关于基槽内采用抛石换填的抛石体承载力验算式：

$$\gamma'_0 V_d \leq \frac{F_k}{\gamma_R} \tag{1}$$

式中： γ'_0 为重要性系数，安全等级为一级、二级、三级的建筑物分别取 1.1、1.0、1.0； V_d 为作用于计算面上竖向合力的设计值(kN/m)； γ_R 为抗力分项系数； F_k 为计算面上地基承载力的竖向合力标准值(kN/m)。

$$\gamma_0 \gamma_\sigma \sigma_{\max} \leq \sigma_R \tag{2}$$

式中: γ_0 为结构重要性系数; γ_Q 为综合分项系数; σ_{\max} 为基床顶面最大应力标准值 (kPa); σ_R 为基床承载力设计值 (kPa)。

进行比对、验算, 并结合基槽底面的标贯击数 ($N > 20$ 击), 综合确定设计基槽开挖深度, 明显节省了基槽开挖、抛石基床及后方回填等工程费用。

3.2 确定 3#~10#泊位码头结构形式

3#~5#泊位位于挖入式港池与 2#泊位相接侧, 设计中采用重力式小沉箱结构与板桩结构进行方案比选。鉴于以往工程经验, 大小沉箱衔接处因为基床存在较大的高差, 且 2#泊位大沉箱安装后, 3#泊位小沉箱处基床不便于夯实, 将会引起较大的沉降, 进而引起上部胸墙大面积裂缝, 3#~5#泊位主体结构选用管板组合单锚板桩结构。对岸 6#~8#泊位前沿与上游相邻码头之间仅存在约 46 m 宽的狭长地带, 钻孔揭示淤泥层较厚, 不适于高桩+斜坡护岸结构或重力式结构基槽开挖, 且功能与 3#~5#泊位相同, 因此码头主体结构选用相同的管板组合单锚板桩结构。9#~10#为工作船泊位,

使用荷载要求不高, 选用常规单锚钢板桩结构。

3.3 相邻泊位不同结构的衔接设计

2#泊位重力式沉箱结构与 3#泊位管板组合钢板桩结构之间的衔接过渡对设计和施工均有很大难度。衔接过渡结构设计既要考虑衔接部位不同结构自身工作机理的相对独立性、安全性和耐久性, 又要考虑不同结构荷载作用效应相互影响的可控性, 即彼此受力与变形的协调性, 同时还需要考虑衔接结构施工工艺对工程水文地质等环境条件的适应性, 即可实施性和工序安排的合理性。

1) 2#泊位深水重力式码头端部沉箱基槽开挖至中风化泥岩面层, 底高程 -19.5 m, 临时开挖边坡坡比为 1:2, 相邻 3#泊位港池设计近期底高程 -8.2 m, 距沉箱约 22 m 范围内, 因必须先行开挖 2#泊位码头的基槽, 导致临近钢管桩沉桩覆盖土层较薄, 组合钢板桩结构水上沉桩的稳桩难度大。针对 2#与 3#泊位转角部位进行加固, 将基槽开挖范围内组合钢板桩中的钢管桩嵌岩, 嵌岩深度不小于 6.0 m, 以此解决水上沉桩的稳定问题, 2#、3#衔接段立面见图 3。

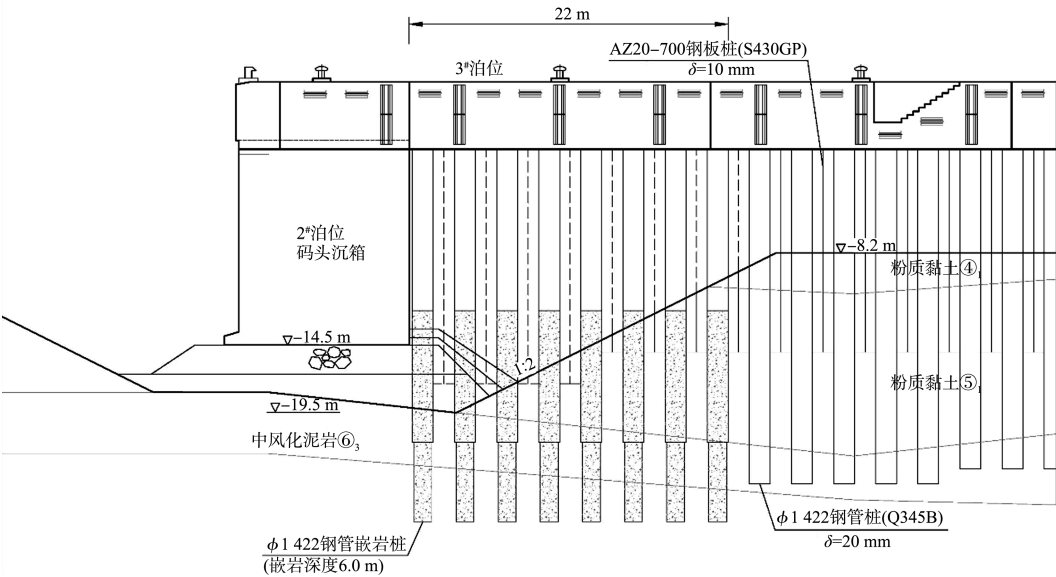


图 3 2#、3#衔接段立面

2) 2#、3#泊位过渡部位因组合钢板桩结构的锚碇板局部落在了转角沉箱墙后填料破裂角以内, 存在因沉箱墙体水平变位引起板桩锚碇结构失稳的风险, 针对此问题采用两种方案进行比

选: ①考虑加大转角部位沉箱结构以调平基床应力进而减少或消除沉箱墙体可能的水平变位对锚碇板结构产生影响; ②采用叉桩基础锚碇结构以加强锚碇结构自身的抗滑、止滑能力。比较

分析后，选用叉桩锚碇结构方案解决过渡部位结构性安全隐患问题，既节省工程费用又便于现场施工。同时，板桩墙与沉箱结构间的结构

缝增设槽钢并采用 100~200 kg 抛石棱体及混合倒滤体进行封堵，避免漏砂，衔接段断面见图 4。

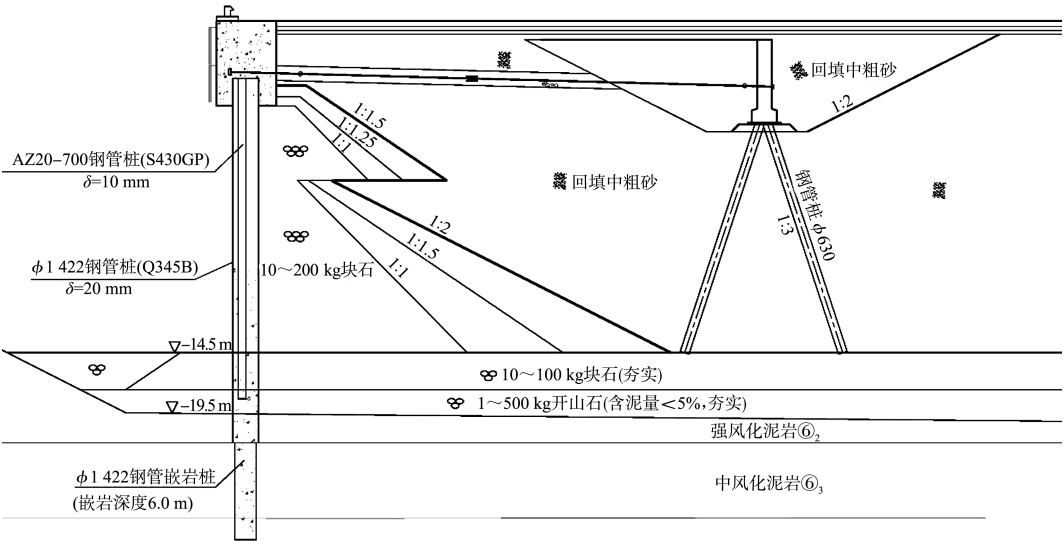


图 4 2[#]、3[#]衔接段断面

3.4 相邻泊位衔接施工工艺

1) 由于受沉箱基槽开挖放坡影响，边坡开挖线距前沿之间形成水域，因此将组合钢板桩施工分为水上施工段和陆上施工段。衔接部位施工顺序为：临时围堰施工→堆载预压→衔接部位基槽开挖→搭设组合桩施工平台→沉钢管桩(嵌岩)→

钢板桩→顶部槽钢导梁加固→衔接段基槽清槽→基槽抛石→夯实整平→沉箱安装。

2) 由于 2[#]泊位基槽开挖至-19.5 m，板桩沉桩后拉杆、锚碇未施工之前需要对板桩前抛填块石进行反压，以维持桩基自身稳定性，防止桩基变形，抛石反压断面见图 5。

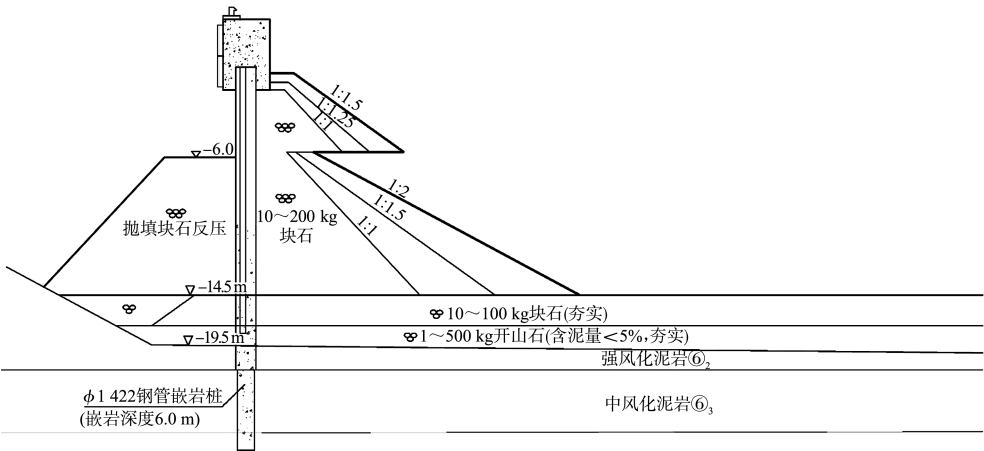


图 5 抛石反压断面

3.5 与相邻工程不同结构的衔接

8[#]泊位端部与上游已建的重力式码头主体结构抛石斜坡式护岸结构相接，存在大量抛石，

先清理抛石再打桩，清理过程会改变相邻码头和护岸原有的结构状态，影响安全性，且锤击沉桩的震动也可能影响安全性，综合分析，该相接范

围内的主体结构采用连排灌注桩替代组合钢板桩。灌注桩直径 1 400 mm、净间距 200 mm, 后方需要回填成陆及封堵桩间缝。封堵措施视桩墙后的原状地基土、回填料特性等情况而定。本区段原状地基土为相邻工程的抛石, 上部为回填开山土, 采用传统的旋喷桩堵缝存在下列问题: 1) 设计计算不确定的因素较多; 2) 施工质量控制受人为因素影响较大; 3) 抛石区段难以直接实施旋喷桩堵缝; 4) 质量检验方法有待进一步完善。因此, 本工程采用 100~200 kg 抛石棱体过渡及混合倒滤体封堵的措施, 避免桩间空隙漏土漏砂。施工时要求筛选直径稍大的块石进行堵缝, 后方回填掌握好倒滤体的级配等。

4 结论

- 1) 重力式码头结构如果建在持力层较深厚的粉质黏土上, 宜结合地基承载力抗力分项系数、标贯击数和实践经验等综合确定基槽开挖深度。
- 2) 对于泊位等级相差较大的岸壁式码头, 转角相接处应采用组合钢管桩结构向重力式大小沉箱过渡, 可减少不均匀沉降引起的裂缝并节省工程造价。
- 3) 深水重力式码头基槽开挖至岩基时, 相邻

组合钢板桩采用局部钢管桩嵌岩、桩前抛填块石进行反压, 增强施工期桩基自身稳定性, 防止桩基变形。

- 4) 重力式沉箱结构与单锚板桩结构相接处采用增强锚碇墙基础的措施, 与转角增大沉箱尺度措施相比, 节省工程费用且缩短工期。
- 5) 与旋喷桩堵缝相比, 板桩与重力式结构或斜坡式结构之间的结构缝采用抛石棱体及混合倒滤体进行堵缝, 简化了施工工艺、施工质量容易控制且节省工程费用。

参考文献:

[1] 宋兰芳, 王伟, 卢永昌. 广州港南沙港区粮食及通用码头结构创新设计[J]. 水运工程, 2011(11): 94-99.

[2] 朱俊裕, 王小渭. 浅谈复合式码头结构: 板桩码头与重力式码头相结合的码头结构[J]. 江西建材, 2014(5): 107, 111.

[3] 刘兵强, 顾新星, 邵昌浩. 重力式码头与板桩码头衔接技术[J]. 水运工程, 2017(5): 94-104.

[4] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 港口工程地基规范: JTS 147-1—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018. (本文编辑 武亚庆)

~~~~~

(上接第 20 页)

[18] 梁远博, 谷坤鹏, 王成启. 硅灰对高石粉含量机制砂制备混凝土的影响[J]. 水运工程, 2017(7): 53-57.

[19] 黄昌华, 杨海成, 盛余飞, 等. 砂岩石粉含量对机制砂混凝土劈裂抗拉强度的影响及机理研究[J]. 水运工程, 2017(9): 58-63.

[20] 阎培渝, 韩方晖. 基于图像分析和非蒸发水量的复合胶凝材料的水化程度的定量分析[J]. 硅酸盐学报, 2015, 43(10): 1331-1340.

[21] GONCALVES J P, TAVARES L M, FILHO D T R, et al. Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars[J]. Cement and concrete research, 2007, 37(6): 924-932.

[22] 何彦琪, 蒋震, 陈凯, 等. 石灰石粉对水泥水化及 C-S-H 成核的动力学影响[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(8): 2531-2535.

[23] 叶仙松, 李北星, 祝文凯, 等. 花岗岩石粉与矿物掺合料对胶浆氯离子结合性能的影响[J]. 武汉大学学报(工学版), 2018, 51(1): 27-31. (本文编辑 郭雪珍)