

# 罗源湾港区可门作业区1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>泊位 水工建筑物设计关键技术

王景灯

(福建省交通规划设计院, 福建 福州 350004)

**摘要:** 福州港罗源湾港区可门作业区1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>泊位工程码头水工建筑物结构等级大, 其码头区具有地质岩面埋深变化巨大、周边建设条件复杂及限制因素多等特点。分析总结基槽开挖宽度的确定、开挖阶梯断面的设计及重锤夯实的技术要求等关键技术设计, 其基槽开挖底宽的优化计算过程、阶梯断面及重锤夯实实施的技术指标可为类似工程的设计提供借鉴。

**关键词:** 40万t散货泊位; 基槽; 阶梯断面; 重锤夯实

中图分类号: U 653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0221-06

## Key design technology of hydraulic structure of berth No. 1 to No. 3 project in Kemen port, Luoyuan bay

WANG Jing-deng

(Fujian Communications Planning & Design Institute, Fuzhou 350004, China)

**Abstract:** The project of berth No. 1 to No. 3 in Kemen port, Luoyuan bay, Fuzhou, has a high grade of structure, and it has typical problems such as a great variety of buried depths of geologic rocks, and the complexity and limitations of the surrounding construction condition. Based on the determination of the width of the trench excavation, the design of the step profile excavation and the technical requirement of the heavy tamping, etc., this paper provides a support for similar projects on the optimization design of the trench excavation width, the design of the step profile excavation and the technical index of the heavy tamping.

**Keywords:** 400,000 DWT bulk cargo berth; foundation trench; step profile; heavy tamping

### 1 工程概况

福州港罗源湾港区可门作业区1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>泊位为专业化散货泊位<sup>[1]</sup>, 码头岸线总长911 m, 码头水工结构按可靠泊40万t散货船设计, 港区陆域总面积约76万m<sup>2</sup>, 设计年吞吐量2130万t。可门作业区1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>泊位及后方的神华罗源湾国家煤炭应急储备基地和神华罗源湾电厂共3个项目, 形成港电

储一体化布置(图1)。“港电储”一体化运营优势: 前方依托可门作业区1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>泊位码头的深水岸线, 可供大型船舶装卸; 陆域堆场建设国家煤炭应急储备基地和大宗散货中转基地, 可形成规模效应; 后方一期筹建2台100万kW火电厂(二期新增2台100万kW), 形成稳定的燃煤需求, 并有利于国家煤炭应急储备基地储煤的置换。

收稿日期: 2014-09-11

作者简介: 王景灯(1983—)男, 工程师, 从事港口航道工程规划设计工作。

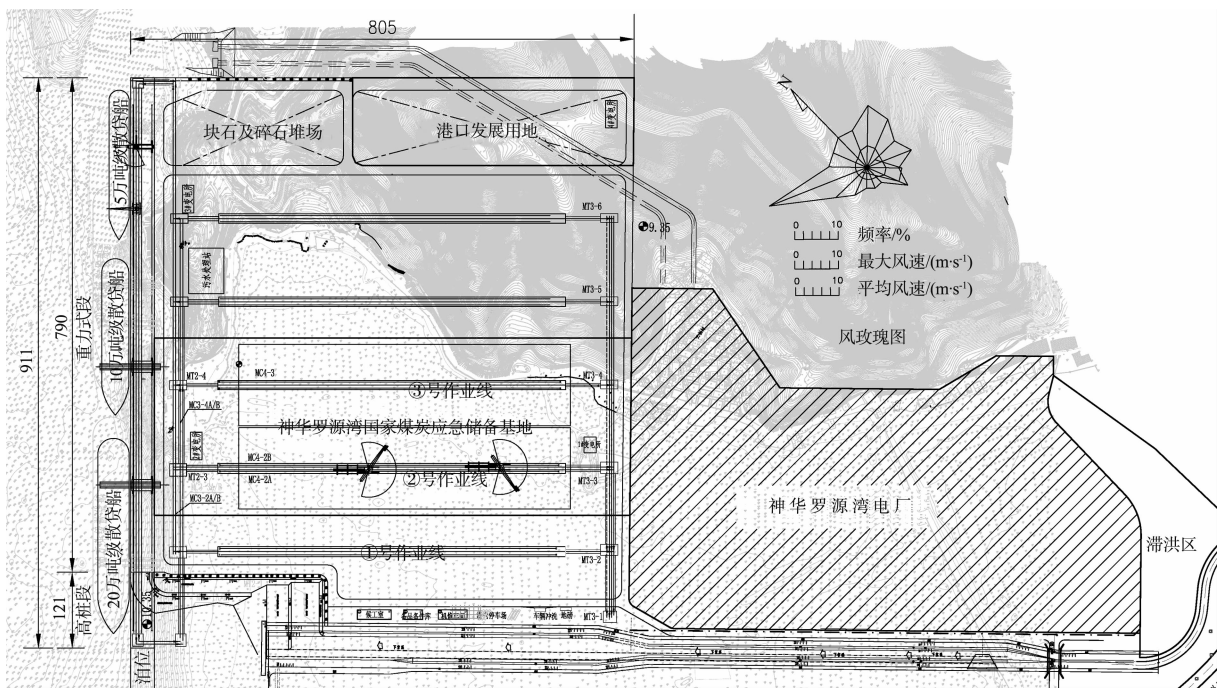


图1 总平面布置 (单位: m)

## 2 自然条件

### 2.1 设计水位

高潮累积频率10%设计高水位6.89 m (高程基准为当地理论最低潮面, 位于85国家高程基准下3.54 m, 下同), 低潮累积频率90%设计低水位0.51 m; 50 a一遇极端高水位8.49 m, 50 a一遇极端低水位-0.52 m。

### 2.2 设计波浪

设计高水位下重现期50 a波浪要素见表1。

表1 重现期50 a波浪要素

方向	$H_{1\%}/m$	$T/s$	$L/m$
WSW	2.78	4.2	27.6
W	2.29	3.9	24.0

### 2.3 工程地质

根据岩土工程勘察报告, 本工程范围土层自上而下主要为淤泥层、黏性土混碎石层、散体状强风化凝灰熔岩层、碎裂状强风化凝灰熔岩层、中风化凝灰熔岩层及微风化凝灰熔岩层。

## 3 码头水工建筑物设计关键技术

福州港罗源湾港区可门作业区1#~3#泊位码头面高程取10.35 m (与相邻已建的采用高桩梁板

结构的4#泊位一致), 前沿停泊水域底高程取-24.2 m。

### 3.1 工程主要特点及码头平台结构选型

1) 地质条件复杂, 岩面埋深变化巨大。

码头区基础持力层地质呈两端埋深厚、中间薄的特点。两端区域的碎裂状强风化凝灰熔岩高程为-51.9~-56.4 m; 中间区域的中风化凝灰熔岩高程为-8.33 m, 持力层高差达48 m。

2) 陆域空间有限, 码头布置应与陆域形成综合考虑。

根据实际地形可知, 本工程东侧为高山, 山体高程达256 m, 短期内大开挖形成陆域基本不可能。在有限的陆域空间内需要布置码头堆场、国家煤炭应急储备基地及神华罗源湾电厂3个项目, 形成港电储一体。因此, 码头宜采用连片式布置, 以尽量增大陆域面积。

3) 紧邻重要建筑物——已建可门4#泊位。

与本工程相邻的已建的可门4#泊位为30万吨级泊位, 码头采用高桩梁板式结构, 且与其相连的区域为基础持力层埋深大的区段, 若采用大开挖的重力式结构将对已建的4#泊位造成损毁。

#### 4) 码头结构选型。

根据地质、周边环境等限制因素, 将长 911 m 岸线的码头结构分配为: 西侧与 4<sup>#</sup>泊位相邻的长 121 m 码头平台采用高桩梁板式结构, 其余的 790 m 采用重力式沉箱结构。

重力式结构段码头面高程为 10.35 m, 前沿设计底高程为 -24.2 m, 采用重力式沉箱结构 15.1 m × 20.9 m × 26.7 m (沉箱长 × 宽 × 高), 该沉箱目前为国内最高的沉箱, 单个沉箱质量约 5 247 t, 沉箱后设置 10 ~ 100 kg 抛石棱体 (图 2)。

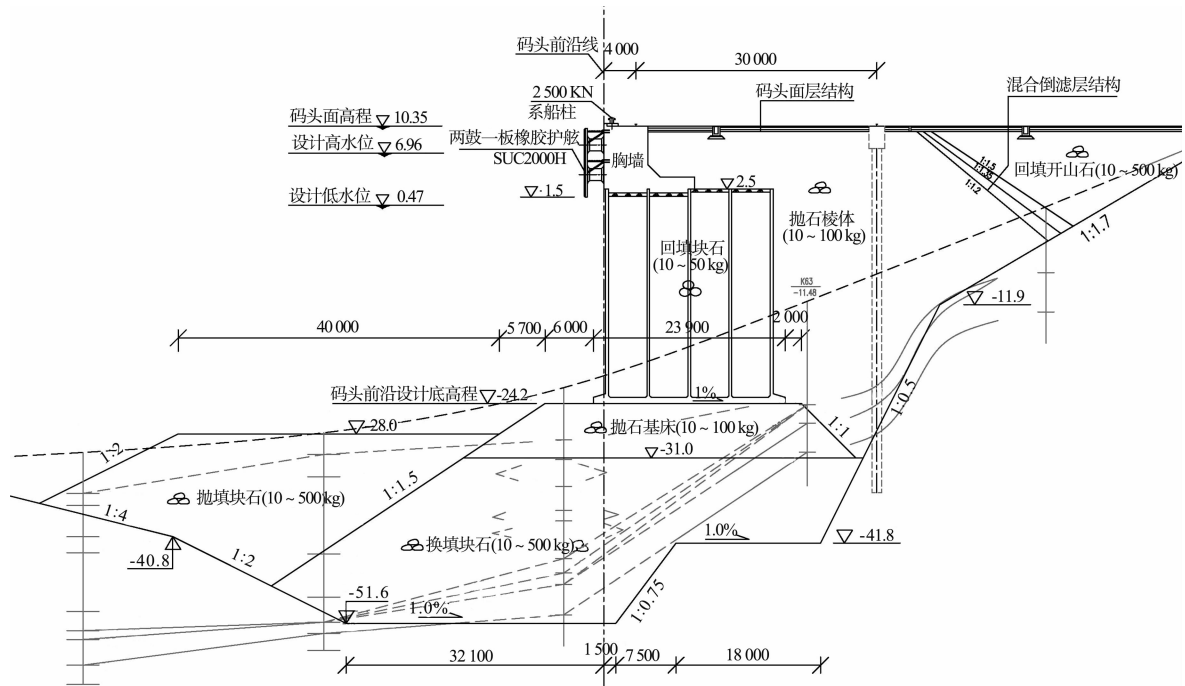


图 2 重力式结构段码头断面结构 (高程: m, 尺寸: mm)

高桩梁板式结构段码头面高程为 10.35 m, 前沿设计底高程 -24.2 m。码头平台尺度为 121 m × 38 m, 排架间距 10 m, 每榀排架下设 6 根  $\phi 2\ 500$  mm 的灌注桩, 桩底嵌入微风化凝灰熔岩。桩顶上部为现浇混凝土横梁、预制纵梁、轨道梁, 纵梁上搁置厚 400 mm 的预制面板, 预制面板以上为现浇面板及现浇磨耗层。高桩平台与重力式沉箱之间通过预制轨道梁及钢筋混凝土面板连接。

### 3.2 码头水工建筑物设计关键技术

#### 3.2.1 基槽开挖设计

本工程码头处地质情况复杂, 基础持力层起伏变化巨大。因此, 合理的基槽开挖是控制码头稳定及使用期沉降和位移的关键因素。基槽开挖的设计不但要求满足建筑物对地基变形及稳定的要求, 而且也应符合经济合理性原则。

码头区碎裂状强风化凝灰熔岩高程达 -51.9 ~ -56.4 m, 而且基岩面向水域倾斜, 倾斜角度大于 60°。本工程基槽属于深基槽范畴, 其设计关键在于基槽开挖的底宽及阶梯断面设计两个方面。

##### 1) 基槽开挖底宽的确定。

深基槽底宽的确定是控制码头稳定及工程造价的关键因素。基于抛石基床应力扩散线分布情况, 重力式规范明确规定, 基床底宽不宜小于码头墙底宽度与 2 倍基床厚度之和。近年来, 在深基槽、厚抛石上建造重力式码头的工程实例越来越多, 有的基槽深度甚至超过 20 m, 与过去的经验有很大差异。本工程地基槽深度最大达 35.8 m。根据重力式规范规定, 为合理区分作为墙体基础结构的基床和以下的换填地基, 当基槽抛石较厚时, 计算确定的基床底面以下的抛石体

可按地基换填处理，以免基槽因超厚基床而不合理地过度扩大底宽、增大工程费用，但是规范对于换填基槽的开挖底宽的计算方法却并未做相应规定。现行地基处理理论对于换填垫层宽度的计算都是以满足基础底面应力扩散的要求为准，因此，最后又是与规范规定的2倍基床厚度之和一样。文献[3]指出，可采用非圆弧滑动及圆弧滑动的计算优化和初定开挖底宽，再复核相关计算指标，确定基槽开挖宽度。

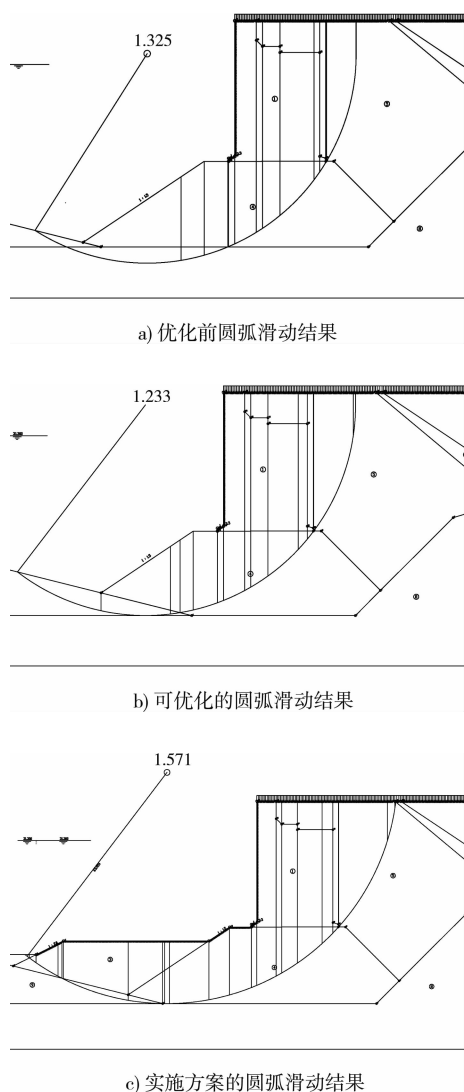


图3 圆弧滑动结果

通过运用文献[3]指出的优化方法计算可知(图3)，优化前圆弧滑动的最小抗力分项系数

为1.325，有一定的富裕量，对基槽开挖宽度优化后最小抗力分项系数为1.233。本工程的实施方案为，利用码头炸礁产生的大量弃方回填至码头前沿三角区增加码头的整体稳定性，并最终确定基槽开挖底宽前边线按抛石基床层1:1.5和抛石换填层1:1进行控制，后边线仍按1:0.5控制(图4)，实施方案的圆弧滑动的最小抗力分项系数为1.571，不但减少了开挖量，并且充分利用了码头开挖的弃方增加了码头的整体稳定性。每断面可减少约8m开挖宽度，为项目节省了约350万的费用。

2) 基槽开挖阶梯断面设计。

本工程岩石地基岩面向水域倾斜，根据重力式规范规定，当岩面向水域倾斜时，墙身砌体下的岩面宜做成阶梯形断面。规范仅规定了该情况下需做成阶梯形断面，但是并未考虑到在阶梯高差巨大情形下将产生的不利影响。合理控制阶梯高差是控制码头稳定及使用期沉降和位移的关键因素，特别是在大码头、台阶高差大、沉箱前后趾应力差大的情况下，本工程就属于此类型。

根据重力式规范设计的阶梯形断面见图4a)。按照此基槽设计方式，码头沉箱前趾基床的厚度达22.4m，后趾基床的厚度为1.5m。虽然码头结构断面是稳定的，但是码头的前后趾持力层的高差达20.9m。由于后趾下的持力层埋深浅，后趾基本不会有沉降产生，对于前趾，根据以往工程经验即使抛石基床密实处理到位也存在约为基床厚度2%~3%的沉降，按照经验计算前趾会有0.45m的沉降，则码头的前倾将达到0.65m。设计中经计算并调研类似工程施工经验，确定将前后趾的基床高差控制在10m，并在基床面设置向后坡度为1%的倒坡，这样可以把前后趾因持力层埋深不均及应力差引起的前倾基本消除，最终优化后的基槽开挖断面见图4b)。

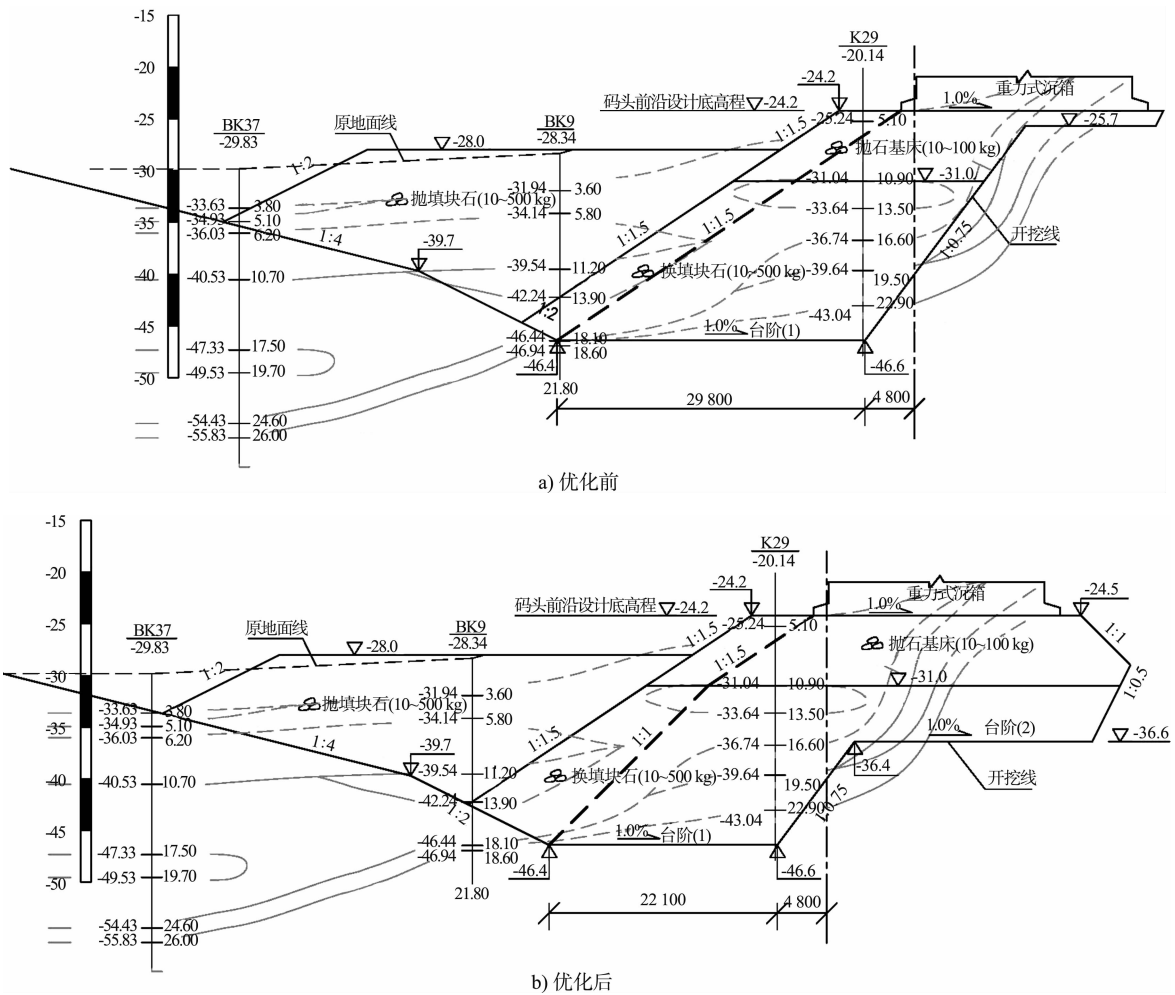


图4 基槽开挖断面 (高程：m，尺寸：mm)

根据对基床沉降的分析，预计沉箱前趾平均沉降约0.4 m、后趾约0.2 m。从目前实际观测数据来看（表2），沉箱前后趾沉降差基本在预计的范围内，码头未产生前倾现象，沉箱还有19 mm的后倾。预计后几层胸墙浇筑完成后，沉箱基本回正，对于残余的约0.2 m的沉降，预计在码头使用过程中发生，因此，胸墙的浇筑高程预留了0.2 m。

表2 码头沉降及位移观测

时间	工序	累积沉降/mm		前壁累积位移/mm
		前壁	后壁	
2014-03	安装沉箱	0	0	
2014-05	箱内回填	61	81	48
2014-06	墙后棱体回填	120		23
2014-07	胸墙浇筑(第1层)	142		19

注：位移正值表示向陆侧倾斜。

### 3.2.2 基床密实处理设计

由于本工程岩层起伏变化巨大，抛石基床最厚可达27.7 m，如此厚的抛石基床，基础夯实采用爆夯是最合适的。由于邻近建筑物及水产养殖的原因，本区域不能采用爆夯施工，并且邻近泊位已经建设，采用爆夯对其结构也有不利影响。因此只能采用锤夯，如按现行JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》<sup>[2]</sup>规定的2 m/层的锤夯工艺，一个码头断面最多需要分14层进行锤夯，施工质量及工期均无法保证。根据规范对于夯击能量较大时，分层厚度可适当加大的说明，并结合有关单位进行的《水下超厚基床重锤夯实技术研究》的成果及现场试夯的结果，对本工程的基床密实处理如下：

1) 采用重锤夯实，加大基床的分层处理厚

度,以提高施工速度,击能不小于  $360 \text{ kJ/m}^2$  (不计阻力),基床处理分层厚度不大于  $4 \text{ m}$ 。实际施工重锤夯实参数取值:锤质量  $16.17 \text{ t}$ ,锤底直径  $1.59 \text{ m}$ ,落距  $4.5 \text{ m}$ 。

2) 重锤夯实施工方式采用压半夯,2 遍 8 次夯。夯实范围按照规范的规定进行,基床顶层前沿部分按沉箱底宽加宽  $2 \text{ m}$ 、后沿部分加宽  $1 \text{ m}$ ,基床顶面以下各层按照应力扩散线各边加宽  $3 \text{ m}$  的范围进行夯实,分段夯实搭接长度  $2 \text{ m}$ 。

3) 质量控制标准要求分层平均夯沉率不小于  $15\%$ ;采用在已夯基床码头墙底面积范围内任选不小于  $5 \text{ m}$  一段复打一夯次,夯锤相接排列,不压半夯,平均夯沉量不大于  $30 \text{ mm}$ 。

从实际施工效果来看,平均夯沉率达到  $15.13\%$ ,能够满足重力式规范的要求。

### 3.2.3 结构过渡段连接设计

因本工程西侧为已建的可门 4<sup>#</sup>泊位,该码头为高桩梁板式结构,且西侧附近基础持力层埋深大,下卧硬层(强风化凝灰岩层)高程在  $-60 \text{ m}$  左右。若采用重力式结构与其连接将造成 4<sup>#</sup>泊位码头的失稳,因此设计采用  $121 \text{ m}$  的高桩结构作为过渡段。重力式与高桩的连接处抛石基床厚度在  $25 \text{ m}$  左右,且不能采用爆夯,基床的沉降可能造成沉箱往高桩段的纵向倾斜,使桩基产生弯矩,可能造成桩基的破坏。为了解决上述问题,设计参照公路桥梁 GQF-MZL 及 SSFB 型伸缩缝形式进行高桩与重力式的连接设计,该结构能够避免沉箱的倾斜对高桩结构的影响,这也是该伸缩缝形式首次在水运工程中的应用(图 5)。

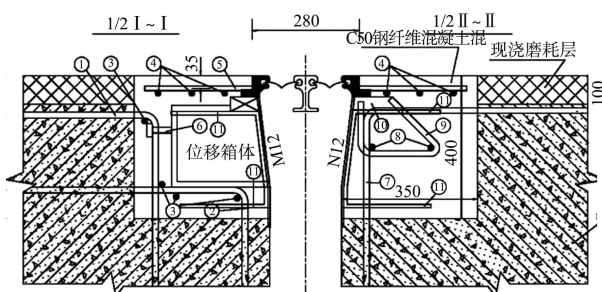


图 5 SSFB 型伸缩缝结构(单位: mm)

## 4 结语

1) 重力式码头结构设计已经非常成熟,上部结构的设计大同小异,优化空间有限。而基槽(特别是深基槽)因地质条件的不同,其设计方案的优劣对工程的造价及今后码头的使用性是决定性的。本工程深基槽的开挖设计优化方案可为今后类似工程提供借鉴。

2) 近年来在深基槽、厚抛石上建造重力式码头的工程实例越来越多,在其邻近新建码头不适宜采用爆炸夯实基床施工工艺,而且此工艺不适应越来越高的环保要求。因此,重锤夯实的施工工艺未来在深厚基床的施工中是必不可少的。建议对水下超厚基床重锤夯实进行深入研究,多收集相关处理实例的数据,以便编入规范,指导今后类似工程的基床密实处理。

### 参考文献:

[1] 福建省交通规划设计院.福州港罗源湾港区可门作业区 1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>泊位工程施工图设计文件[R].福州:福建省交通规划设计院,2012.  
 [2] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].  
 [3] 卢少彦.重力式码头换填基槽开挖底宽优化设计探讨[J].工程建设与设计,2012(10):141-144.

(本文编辑 武亚庆)

## 著作权授权声明

全体著作权人同意:论文将提交《水运工程》期刊发表,一经录用,本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。