

· 港口 ·



中英规范重力式方块码头抗倾抗滑对比分析

代占平¹, 陈炎桂¹, 苏永生²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京100027; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京100007)

摘要: 重力式码头稳定性的验证方法主要有: 单一安全系数表达的极限状态设计方法; 以概率论为基础, 以分项系数表达的极限状态设计方法。《重力式码头设计与施工规范》(1987)和BS 6349(1988)均采用安全系数法; JTS167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》和BS 6349(2010)均采用以概率论为基础, 以分项系数表达的极限状态设计方法。重点对比分析中国与英国BS新、旧规范在抗滑、抗倾计算上的差异, 结合现有重力式方块码头工程实例, 根据其计算结果验证分析的准确性, 供海外项目重力式方块结构设计参考。

关键词: 分项系数; 极限状态设计方法; 可靠度指标设计方法; 方块

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0080-06

Comparison of anti-overturn and anti-slide calculation method on gravity block wharf between Chinese and British standards

DAI Zhan-ping¹, CHEN Yan-gui¹, SU Yong-sheng²

(1. China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China; 2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd, Beijing 100007, China)

Abstract: Two methods are widely used in stability checking of gravity quay: limit state method with single factor, probability-based limit state method expressed with partial safety factors. The first method is replied in *Design and Construction Code for Gravity Quay* (1987) and BS 6349(1988), the second in *Design and Construction Code for Gravity Quay* (2009) and BS 6349 (2010). The calculation difference on overturning and anti-slide are compared between Chinese code and Britain new and old revision standard. The comparison is further detailed by taking a typical gravity block wharf as an example, so as to offer reference for the design of gravity block structure in foreign projects.

Key words: partial factor; limit state design method; reliability-based method; hollow block

目前, 国内工程中普遍采用JTJ 167-2—2009^[1]作为重力式方块码头稳定性计算的技术标准。随着国外市场的不断开展, 国外业主、咨工普遍认同英国规范, 为顺利迈入国际市场, 深入研究英国规范已成为必要的课题。笔者认真研究BS 6349(1988)^[2-3]和BS 6349(2010)^[4-5]规范中关于抗滑、抗倾的计算要求, 并与国内重力式码头规范做对比分析, 了解差异, 分析参数取值的合理性, 再经过典型实例加以说明, 为海外项目重力式码头设计、国内相关规范修编提供借鉴意义。

1 重力式码头抗滑抗倾计算方法概述

目前, 重力式码头稳定性的验证方法主要有两种: 单一安全系数表达的极限状态设计方法; 以概率论为基础, 以分项系数表达的极限状态设计方法。

单一安全系数法不能用来比较不同类型结构的可靠程度, 安全系数大并不代表可靠程度就高。采用单一的安全系数法来表示结构的可靠度尚处于以经验为基础的定性分析阶段。中国《港口工程技术规范(1987)》^[6]和BS 6349-2

收稿日期: 2013-02-28

作者简介: 代占平(1963—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程管理工作。

(1988) 采用单一安全系数法。

以概率论为基础, 以分项系数表达的极限状态设计方法已成为设计计算的主流, 并在JTJ 290—1998《重力式码头设计与施工规范》、JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》和BS 6349 (2010) 中应用。

2 以单一安全系数表达的极限状态设计方法

我国早期港口工程技术规范 (87) 和BS 6349 (1988) 采用以安全系数表达的极限状态设计方法。

2.1 设计表达式

沿墙底面和墙身各水平缝的抗滑稳定安全系数按下式计算:

$$K_s \leq \frac{Gf}{H} \quad (1)$$

对墙底面和墙身各水平缝及齿缝计算面前趾的抗倾稳定安全系数按下式计算:

$$K_o = \frac{M_R}{M_o} \quad (2)$$

2.2 荷载分类

设计荷载: 一般包括建筑物自重力、土压力、剩余水压力、地面使用荷载、船舶荷载 (不包括风暴系缆力)、水流量。

校核荷载: 一般包括波浪力、风暴系缆力、冰荷载、施工荷载 (不经常使用的特种机车车辆荷载、履带式起重机荷载、大型汽车和平板挂车荷载可作为校核荷载考虑)。

特殊荷载: 地震荷载。

2.3 荷载组合

设计时对可能同时出现的各种荷载进行最不利的组合, 并把水位作为一个组合条件考虑。中国《港口工程技术规范 (1987)》(简称87规范) 和BS 6349-2 (1988) 对荷载组合的规定如表1所示。

表1 87规范和BS 6349-2 (1988) 荷载组合

规范	荷载组合		
87规范	设计组合	校核组合	特殊组合
BS 6349-2 (1988)	正常荷载条件	极端荷载 (地震荷载) 条件	施工期临时荷载条件

设计组合指采用设计水位和设计荷载。校核

组合是指采用校核水位, 而荷载采用校核荷载和设计荷载, 组合中包括校核荷载时可能同时出现的最不利水位, 特殊组合中包括地震荷载。

BS 6349 (1988) 正常荷载条件包括: 在规定误差内的海底超挖; 定时计划检查期内间隔不超过1 a的因蓄水港池水位下降而引起的静水压力增加; 大潮平均高潮位和大潮平均低潮位的潮位差; 通常重现期为1 a的环境荷载或对港口作业有限制的环境荷载, 但不包括地震和海啸; 正常靠泊作业; 根据英国标准BS 8002从平均土层指标导出的荷载; 堆存超过一层箱高采用分类系数的集装箱荷载。

极端荷载条件包括: 海底由于冲刷而加深; 由于偶然检查或闸门意外损坏而产生的蓄水港池水位下降而导致的静水压力增加; 超出正常荷载条件的潮差范围的特大水位; 重现期等于结构使用期的环境荷载; 异常靠船作业; 由土层指标上、下4分点导出的荷载; 未采用分类系数的集装箱荷载; 地震和海啸。

施工期临时荷载为施工每一阶段可预计会发生的荷载。

2.4 安全系数

87规范和BS 6349-2 (1988) 中稳定安全系数的限值规定如表2和3所示。

表2 中国87规范稳定安全系数限值

类别	K_o		K_s	
	建筑物等级 I、II	建筑物等级 III	建筑物等级 I、II	建筑物等级 III
设计组合	1.6	1.5	1.3	1.2
校核组合	1.5	1.4	1.2	1.1
特殊组合	1.4	1.3	1.1	1.0

表3 BS 6349—1988规范稳定安全系数限值

类别	K_o	K_s
正常荷载	2.0	1.75
极端荷载	1.5	1.2
地震荷载	1.5	1.2 [*]

注: 其中地震最小抗滑安全系数取值1.2并无强制性要求, 仅是参考已建工程经验。

从表2和3可以看出, BS 6349 (1988) 最小安全系数取值较国内87规范更为保守。

3 以概率论为基础，以分项系数表达的极限状态设计方法

JTJ 290—1998《重力式码头设计与施工规范》^[7]、JTS 167-2—2009《重力式码头设计与施工规范》和BS 6349（2010）均采用以概率论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法。

3.1 设计表达式

$$\text{JTJ 167-2-2009} \quad \gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3)$$

$$\text{BS 6349-2010} \quad E_d \leq R_d \quad (4)$$

式中： γ_0 为不同结构安全等级的重要性系数，可按表4取值； S_d 和 E_d 为作用组合的效应设计值； R_d 为抗力设计值。

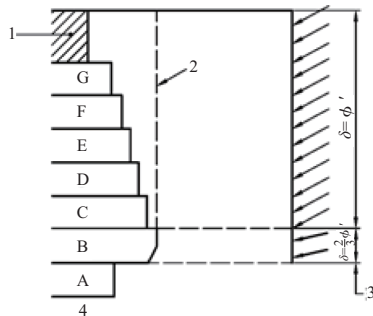
表4 JTJ 167-2—2009规范结构重要性系数

结构安全等级	安全系数 γ_0
1级	1.1
2级	1.0
3级	0.9

3.2 计算荷载

计算荷载包括：码头自重、前后土压力、均载及其产生的土压力、波浪力、系缆力、船舶撞击力、集装箱岸桥荷载、剩余水压力、地震惯性力等。规范JTJ 167-2—2009和BS 6349（2010）在抗滑、抗倾计算上主要差异集中在墙背外摩擦角取值和地震力计算方面。卸荷板作用效应则是重力式方块码头设计的重点。

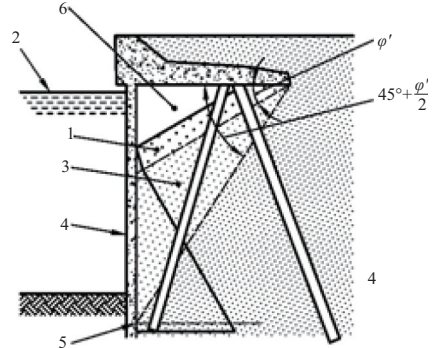
国内规范要求垂直的混凝土或砌体墙背取1/3~1/2倍填料内摩擦角标准值，卸荷板以下采用1/3倍填料内摩擦角标准值。BS 6349（2010）规定墙背与填料之间取2/3倍填料内摩擦角标准值，假想墙背和填料之间取1倍填料内摩擦角标准值，如图1所示。



注：1—胸墙，2—方块B的假想墙背，3—穿过墙背的部分，4—虚拟墙背的摩擦角。

图1 BS 6349(2010)墙后外摩擦角取值

BS 6349(2010)规范中关于卸荷板的效应与中国规范基本一致，如图2所示。



注：1—被卸荷板完全卸荷的区域，2—水位线，3—受到土压力和卸荷板共同影响的区域，4—板桩墙，5—卸荷板影响深度，6—空。

图2 BS 6349(2010)卸荷板作用效应

国内规范中地震惯性力引用JTS 146—2012《水运工程抗震设计规范》^[8]计算。而BS 6349引用PIANC Seismic Design Guidelines for Port Structures—2001^[9]，主要区别见表5。

表5 地震状况作用组合系数

荷载差异	地震惯性力	地震动土压力
JTS 167-2—2009	$CK_H \alpha_i W_i$	分层，采用JTS 146—2012 5.3.2系列土压力公式计算
BS 6349—2010	$k_h' W_i$	地震破裂角范围内进行加权平均作为同一土层进行计算

注： K_H ， k_h' 分别指中、英规范地震水平惯性力系数。如果墙后破裂面范围内均是回填块石棱体， $k_h' \approx 0.98 K_H$ 。

$$k_e = 0.6 \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5)$$

$$k_h' = \left(\frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_b} \right) k_h \quad (6)$$

3.3 荷载组合

荷载组合见表6。持久组合应为永久作用、主导可变和非主导可变作用的组合，应按设计高低水位、极端高低水位及设计水位、低水位之间的某一不利水位，与地下水位组合分别进行计算。短组合应为短暂状况下的永久作用与可变作用的组合，对海港应按设计高、低水位及地下水位相组合的某一不利水位分别进行计算。地震设计时的水位，对于海港应按设计高、低水位及地下水位相组合的某一不利水位分别进行计算。

表 6 JTJ 167-2—2009与BS 6349—2010荷载组合

规范	荷载组合		
JTJ 167-2—2009	持久组合	短暂组合	地震组合
BS 6349—2010	持久状况	短暂状况	

持久状况是指在设计年限内可能出现的任何合理作用组合并持续很长时间的设计状况。持久状况荷载除增加了“正常的港机作业荷载”一项, 其他与BS 6349 (1988) 中“正常荷载条件”内容相同。短暂状况, 是一种在设计使用年限中的某个很短时间内极有可能发生的设计状况, 短暂状况荷载减少了“海底由于冲刷而加深”, 增加了“施工期临时作用”, 其他内容与BS 6349 (1988) 中“极端荷载条件”相同。偶然状况, 是一种特殊的设计状况。

表 8 JTJ 167-2—2009与BS 6349—2010持久状况组合系数

规范	永久作用		可变作用									
	自重 (土压力)	铺面	持久状况						短暂状况			
			堆货	汽车及 行人	水流力	波浪	船舶 靠泊力	系缆力	土压力、水压力	异常靠泊力	土压力、水压力	
JTS 167-2—2009	1.0	1.0	0.70	0.70	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.00	1.0
BS 6349—2010	1.0	1.0	0.75	0.75	0.6	0.6	0.75	0.6	1.0	0.75	1.0	1.0

表 9 JTJ 167-2—2009与BS 6349—2010地震状况组合系数

规范	永久作用		可变作用				
	自重 (土压力)	堆货荷载	波浪	船舶靠泊力	系缆力	水压力及剩余水压力	
JTS 167-2—2009	1.0	0.7	0	0.5	0.5	1.0	
BS 6349—2010	1.0	0.3	0	0	0	1.0	

分项系数取值JTJ 167-2—2009较BS 6349 (2010) 小8%, 但在波浪力主导荷载组合采用了1.1的结构系数, 无波浪作用结构系数取1。如果波浪力主导荷载组合控制抗滑计算, 采用JTJ 167-2—2009和BS 6349 (2010) 计算结果差别不大。如果是非波浪荷载主导的荷载组合控制抗滑计算, 则采用BS 6349 (2010) 计算结果比JTJ 167-2—2009小。

JTJ 167-2—2009可变作用组合系数均取0.7, 而BS 6349 (2010) 中则根据作用荷载出现频率差异而不同, 其中土压力和水压力出现频率最高, 组合系数取1.0; 其次为堆货荷载、汽车和行人荷载、船舶靠泊力取0.75; 而系缆力、波浪力和水流力出现的频率较低, 取0.6。

地震状况下, BS 6349 (2010) 堆货和系缆力的

3.4 作用系数与组合系数

JTJ 167-2—2009和BS 6349 (2010) 对作用分项系数、作用组合系数 (持久状况和地震状况) 的规定见表7~9。

表 7 JTJ 167-2—2009与BS 6349—2010的作用分项系数

规范	组合情况	永久作用		可变作用				
		γ_E	γ_{PW}	γ_E	γ_{PR}	γ_P	γ_U	γ_{PZ}
JTS 167-2—2009	持久组合	1.35	1.05	1.35	1.4	1.3	1.3	1.5
	短暂组合	1.35	1.05	1.25	1.3	1.3	1.3	1.4
BS 6349—2010	不利	1.05		1.50	1.5	1.4	1.4	1.4
	有利	0.95						

注: 持久组合采用设计高 (低) 水位取表中大值; 持久组合采用极端高 (低) 水位取表中小值。

组合系数分别为0.3和0; 而JTJ 167-2—2009及BS 6349 (1988) 分别取0.7和0.5。地震时, 如果地震惯性力方向为向岸, 船舶不一定同时与码头岸壁震动, 两者相对距离变大, 缆绳绷紧, 此时地震惯性力对结构抗滑计算有利; 当地震惯性力方向为离岸, 码头岸壁与船舶相对距离缩小, 缆绳会松弛, 系缆力消失, 故与离岸水平惯性力组合的系缆力组合系数取0。堆货荷载达到最大值和地震同时发生的概率很小, 故此项分项系数取0.3。

4 工程实例

码头A采用重力式方块结构, 断面见图3。该码头顶高程为4.75 m, 前沿设计底高程为-16.0 m, 基床厚度为1.5 m。基床底高程为-18.5 m。

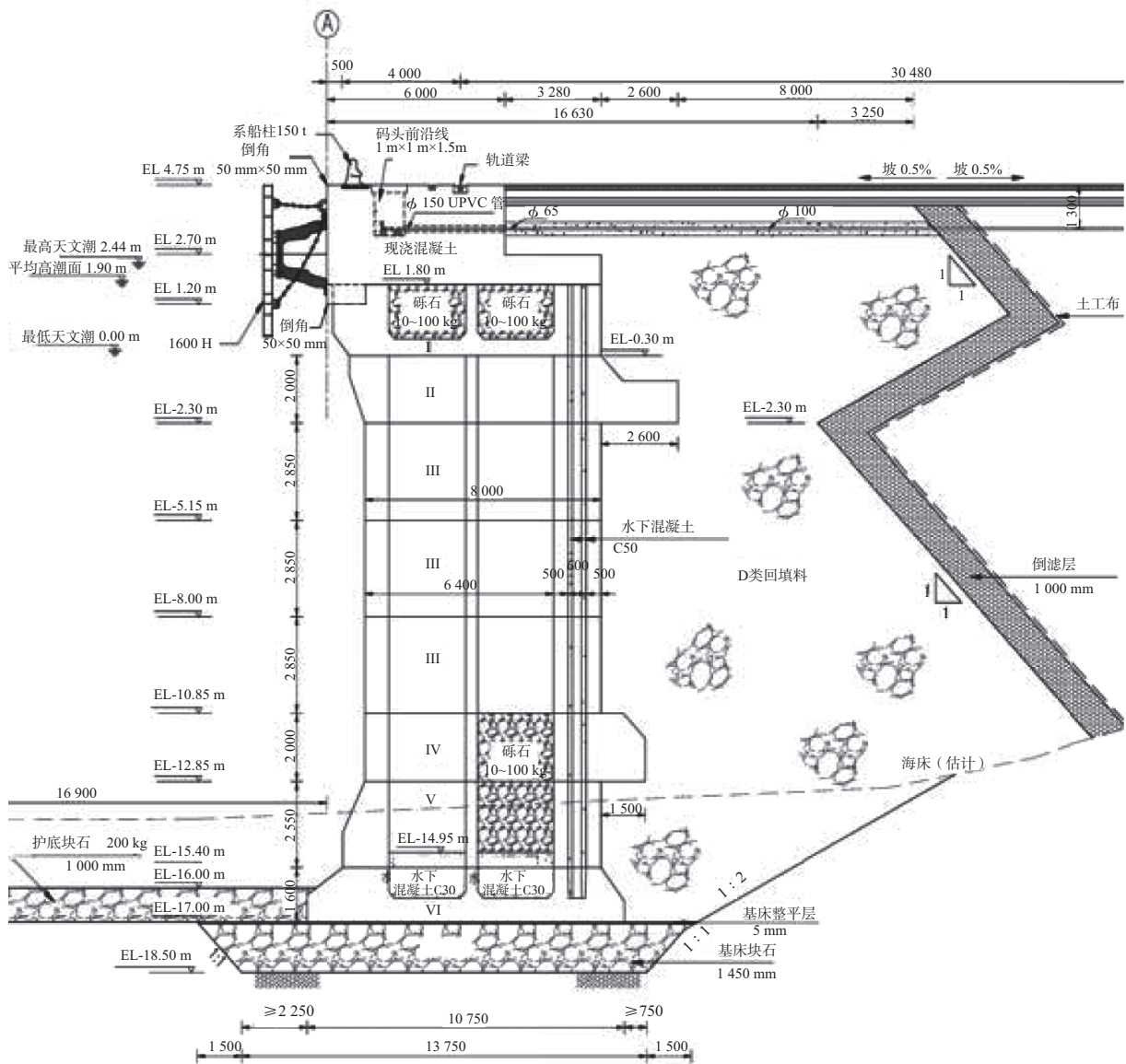


图3 码头A重力式方块结构断面

设计水位2.10 m (平均高潮面), $H_{13\%} = 0.75$ m, $T = 4.3$ s。地震水平惯性力系数为0.05, 方块间摩擦系数取0.6, 方块与抛石基床摩擦系数取0.55, 基床与地基摩擦系数取0.4。

工况组合见表10, 计算结果见表11~12。

5 结论

1) 对安全系数法BS 6349 (1988)的计算结果分别除以其对应的最小安全系数后, 可以看出安全系数法在结构抗滑计算结果上比采用极限状态设计方法小, 而抗倾计算结果则相反。极限状态分项系数法, 采用了结构系数、分项系数和组合

系数等, 比安全系数法采用单一指标更科学。

2) 同一码头断面采用JTJ 167-2-2009和BS 6349 (2010)的计算的抗滑、抗倾安全系数最小值差别不大。

表10 工况组合

工况组合	荷载
持久状况	1 自重+土压力 (自重+堆货)+波浪力+剩余水压力+水动力
	2 自重+土压力 (自重+堆货)+系缆力+剩余水压力+水动力
地震状况	3 结构自重+地震土压力 (自重+堆货)+地震动水力+地震惯性力+系缆力

表11 工况组合计算结果

组合	位置	JTJ 167-2—2009		BS 6349 (1988)		BS 6349 (2010)	
		抗滑	抗倾	抗滑	抗倾	抗滑	抗倾
1	胸墙	4.98	16.83	8.50	56.05	5.34	17.79
	第1层	3.33	10.40	6.52	24.78	3.44	10.40
	第2层	2.99	7.81	4.95	17.01	2.99	7.40
	第3层	2.93	4.27	5.13	10.32	2.85	3.93
	第4层	2.33	2.84	3.96	6.71	2.28	2.58
	第5层	1.86	2.05	3.04	4.65	1.84	1.86
	第6层	1.69	1.73	2.74	3.96	1.68	1.57
	第7层	1.53	1.62	2.45	3.53	1.52	1.46
	第8层	1.47	1.75	2.52	3.86	1.47	1.58
	基床底	1.06		1.78		1.07	
2	胸墙	1.43	2.99	2.78	9.17	1.39	2.93
	第1层	1.70	2.39	2.92	6.02	1.63	2.34
	第2层	2.10	2.83	3.31	6.66	1.98	3.88
	第3层	2.32	2.09	4.19	5.39	2.18	2.71
	第4层	2.13	1.67	3.73	4.34	1.98	2.08
	第5层	1.85	1.39	3.05	3.53	1.71	1.66
	第6层	1.75	1.29	2.81	3.27	1.60	1.50
	第7层	1.62	1.30	2.54	3.12	1.48	1.47
	第8层	1.58	1.47	2.62	3.54	1.44	1.63
	基床底	1.15		1.84		1.05	
3	胸墙	2.46	5.30	3.44	14.46	3.93	17.51
	第1层	2.55	3.93	2.91	7.70	2.96	8.26
	第2层	2.83	4.32	2.78	7.23	2.81	8.09
	第3层	2.66	2.84	2.96	4.88	2.48	4.77
	第4层	2.31	2.06	2.50	3.54	2.04	3.00
	第5层	1.94	1.54	2.04	2.70	1.71	2.08
	第6层	1.78	1.32	1.86	2.43	1.55	1.67
	第7层	1.63	1.27	1.67	2.26	1.43	1.61
	第8层	1.57	1.37	1.70	2.53	1.36	1.68
	基床底	1.13		1.23		1.00	

注: 表中数值为抗滑抗倾计算结果, 只要大于表格3中的最小安全系数即表示结构满足规范规定的安全要求, 以下同。

表 12 计算结果最小值

规范	持久状况		地震状况	
	抗滑	抗倾	抗滑	抗倾
JTJ 167-2—2009	1.06	1.29	1.13	1.27
BS 6349 (1988)	1.02(1.78/1.75)	1.93(3.84/2)	1.03(1.23/1.2)	1.51(2.26/1.5)
BS 6349 (2010)	1.05	1.46	1.00	1.61

3) 如果系缆力和波浪力荷载差别不大, 采用 JTJ 167-2—2009 计算, 波浪力主导的荷载组合控制抗滑计算结果, 而系缆力主导的荷载组合控制抗倾计算结果。采用 BS 6349 (2010), 抗滑计算结果波浪力主导的荷载组合与系缆力主导的荷载组合差别不大, 系缆力主导的荷载组合抗倾计算结果较小。

4) 波浪荷载主导的工况组合采用 BS 6349 (2010) 和 JTJ 167-2—2009 分层计算的抗滑结果差别 <5%, 抗倾计算结果 <10%; 系缆力主导的工况组合抗滑结果差别 <8%, 抗倾计算 <20%。地震工况组合除去胸墙和卸荷板, 其他部分的抗滑计算结果 <14%, 抗滑计算结果差异较大。

5) BS 6349 (2010) 规范中的可变作用荷载组合系数取值更为合理。

参考文献:

- [1] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].
- [2] BS 6439: Part1: 1984. British Standard Code of Practice for Maritime Structures—Part 1: General criteria[S].
- [3] BS 6439: Part2: 1988. British Standard Code of Practice for Maritime Structures—Part 2: Design of quay walls, jetties and dolphins[S].
- [4] BS 6439-1: 2000. Maritime Structures—Part 1: Code of practice for general criteria[S].
- [5] BS 6439-2: 2010. Maritime Works—Part 2: Code of practice for the design of quay walls, jetties and dolphins[S].
- [6] 编委会. 港口工程技术规范(1987)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1988.
- [7] JTJ 290—1998 重力式码头设计与施工规范[S].
- [8] JTS 146—2012 水运工程抗震设计规范[S].
- [9] PIANC: Seismic Design Guidelines for Port Structures -2001[S].

(本文编辑 武亚庆)