



卸荷式板桩结构性能试验研究*

吴丽华

(南通航运职业技术学院, 江苏南通 226010)

摘要: 卸荷式板桩具有极其复杂的荷载传递方式与协调工作机理, 因此探索其结构的承载力性能意义重大。结合工程案例进行现场实测以研究其承载力特性。结果表明: 该结构墙身在16 m处水平位移量随着时间的推移而逐渐增大并趋于稳定, 锚锭墙整体最大水平位移发生在锚锭点处; 拉杆拉力在浚深挖泥初期有较大幅度的增加而后期拉杆内力趋于稳定; 侧向土压力分布近似服从静止土压力分布; 超静孔隙水压力在主动区-20 m以上有所减小而被动区-20 m以下略有增大。试验研究证明该新型卸荷式板桩具备良好的承载力机理与工作性能, 可广泛应用于大型复杂的深水码头等工程。

关键词: 卸荷式板桩; 结构性能试验; 水平位移量; 拉杆拉力; 侧向土压力; 孔隙水压力

中图分类号: TU 443

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0074-06

Experimental study on structural performances of unloading sheet piles

WU Li-hua

(Nantong Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: The unloading type sheet pile has enormous complexity of load transfer method and coordination mechanism, thus exploring the structure of the bearing capacity performance is of great significance, especially the bearing capacity characteristics are studied by combining with specific engineering cases for the field measurement. The results show that the walls in the 16 m at the amount of horizontal displacement over time are gradually increased and stabilized, and the overall maximum horizontal displacement of the anchor wall occurs at the anchor point. Drawbar pull is substantially increased in the early deep dredging period, and tends to be steady in the later period. The distribution of lateral earth pressure is approximately determined by the distribution of earth pressure at rest, and the fluctuation is due to uneven distribution of various soil and interlayer, but the overall trend remains unchanged. The excess pore water pressure is reduced at the height of -20 m or more in the active region, following a slight increase under the height of -20 m in the passive zone. All results show that the unloading sheet pile has high bearing capacity mechanism and working performance functions, and can be widely used in large-scale complex deepwater pier projects.

Key words: unloading sheet pile; structural performance experiment; horizontal displacement; drawbar pull; lateral earth pressure; pore water pressure

1 卸荷式板桩结构的工程概况

如皋港码头工程泊位设计要求近期为10万t杂货泊位, 远期为集装箱泊位, 采用卸荷式板桩结构, 该码头顶面高程为4 m, 码头前沿泥面高程为-16 m, 前地连墙墙厚为1.05 m。墙底为-28.5 m,

墙顶高程为-0.7 m, 其上浇筑胸墙。承台基础横向由2根灌注桩组成, 混凝土卸荷平台厚1.0 m, 承台顶高程为0.3 m, 底高程为-0.7 m; 锚锭墙厚为1.1 m, 墙底高程为-13 m, 墙顶高程为-0.5 m, 其上浇筑导梁, 导梁顶高程为3.0 m, 在胸墙和锚

收稿日期: 2013-03-05

*基金项目: 江苏省交通科学研究计划项目(2012Y24-3)

作者简介: 吴丽华(1973—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事港航工程、土木工程以及高职教育研究。

锭墙导梁之间采用拉杆连接。泊位场地土层分布厚度相差较大，自上而下主要为素填土、吹填土、粉细砂、淤泥质黏土、细砂层、粉质黏土及细砂层。地下水位主要受大海潮汐的影响，极端低水位为-1.53 m，设计高水位为2.02 m，其断面如图1所示。

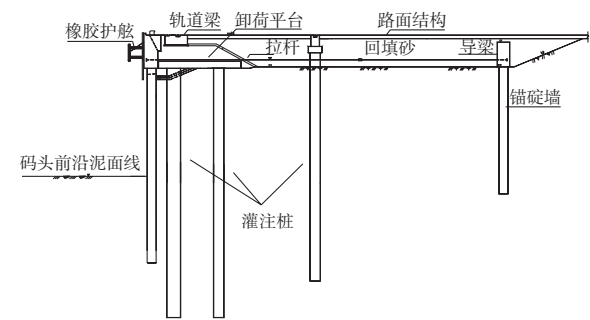


图1 卸荷式板桩结构断面

该结构前墙采用地下连续墙结构，在前墙陆侧部位设有2排现浇混凝土桩基，在2排桩基上面做承台，承台与前板桩墙之间分离。该承台对前墙起到卸荷的作用，承台承受码头面上的荷载以及承台以上的土重可减小作用于前墙的侧向土压力，从而使前墙的内力大幅减小。而国内外的研

究成果及理论已无法满足复杂的大型板桩码头结构协调工作需要，因此结合试验探讨其结构的内在力学规律与工作机理，包括墙身与桩身水平位移、拉杆拉力、侧向土压力等重要指标具有直接的工程意义。

2 试验准备及实施

2.1 试验目的

通过卸荷式板桩结构试验研究其墙身与桩身水平位移、拉杆拉力、侧向土压力、孔隙水压力以及剩余水头等重要性能指标以认清该新型卸荷式板桩结构的复杂工作机理。

2.2 试验设备及布置

卸荷式板桩结构的测试是在整体结构中选取2个断面，埋设相关仪器，对板桩码头施工和运行期间整个过程进行了全方位的测试分析，对可能出现的不利情况进行预测，保障码头的施工安全和正常使用。因各断面测试分析结果具有相似性，特采取一个断面的测试结果进行分析，具体测点仪器埋设情况如表1所示，而测点的布置如图2所示。

表1 试验中测点仪器埋设

断面	测点位置	沉降/点	土压力/个	孔隙水压力/个	钢筋应力/个	混凝土应变/个	拉杆拉力/个	水位/个
1#	前墙	1	25	25	20	20		2
	前桩	1			24	24	9	1
	后桩	1			24	24		
	锚碇墙	1	10	10	10	10		

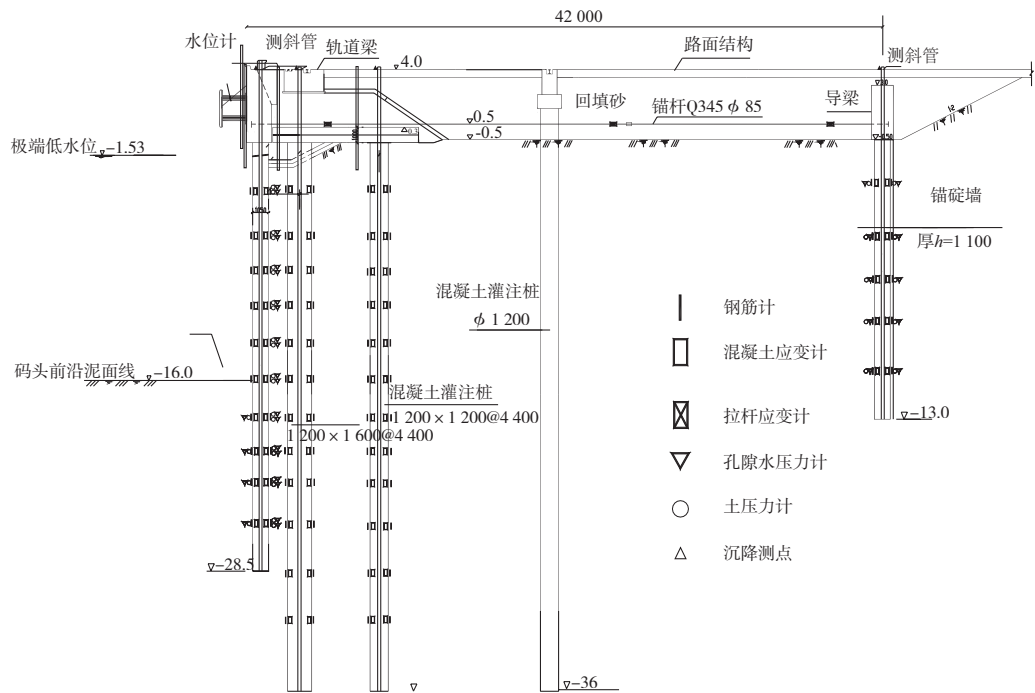


图2 某新型卸荷式板桩测点布置

2.3 试验的实施

在进行工程变形观测前需采用绑扎法安装测斜管,考虑到工程后期基坑开挖可能引起上部测斜管的毁坏,本试验采用铝合金管,连接好的测斜管要保证槽口对准齐,连接处用铆钉铆固,涂上玻璃胶,再用胶带包扎并做到严格密封处理,绑扎于钢筋笼上时要作调整方向测定点。测试测斜管变形时将测头放入测斜管中,放松电缆使测头滑至孔底,测头在孔底停置15 min左右以便测头与孔内温度相同,然后将测头拉起至最近深度标志为测读起点,每1 m测一个数,利用电缆标志测读使测头升至测斜管顶端为止。同一观测方向正反各测一次,经平行测读两次可以使读数误差不大于5%。

在拉杆测试过程中需安装拉杆应变计,每一拉杆的测试点为3个,分别布置在海侧、陆侧及拉杆中部首先进行初始应力测试,然后在施工和使用过程中检测拉杆力的变化情况,再将拉杆旋紧在连接环前再次检查连接环是否偏离方向以保证拉杆应变计测值的准确性,其中拉杆应变计和钢筋计在拉杆上的安装如图3所示。

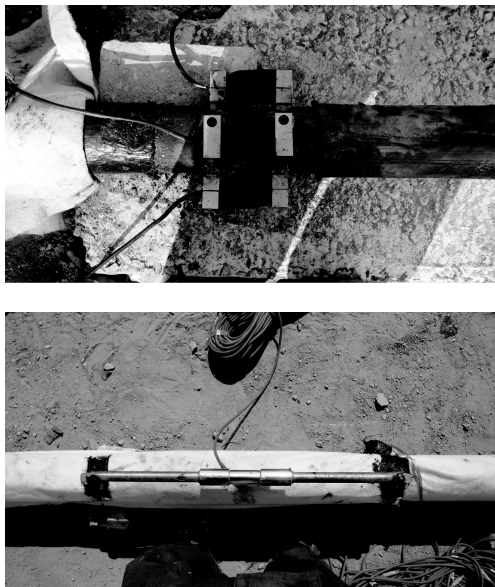


图3 拉杆应变计在拉杆上的安装

在土压力测试过程中采用钻孔法,在每一土压力测点同高程埋设孔隙水压力计,其具体步骤是:首先在构件混凝土浇筑完成后观测土压力初值及孔隙水压力初值,然后在码头施工和使用过

程中观测各构件的土压力及其分布情况。通过土压力及孔隙水压力的观测,可以充分了解此种新型板桩码头各墙体面沿墙体深度主、被动土压力的大小变化分布规律,其钻孔法埋设土压力传感器如图4所示。

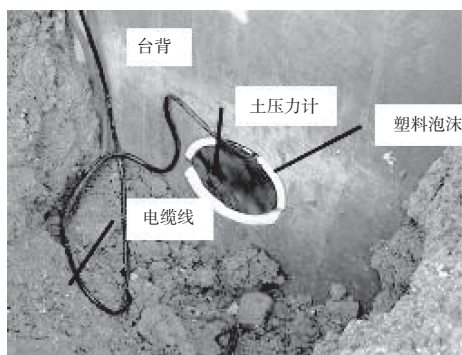


图4 土压力计的安装

进行孔隙水压力观测可解决施工加荷过程中土体内产生的超静孔隙水压力的大小、分布及消散速度,而针对不同的工程孔隙水压力计有测压管式、水管式、气压式、钢弦式、差动阻式及压阻式,在本试验过程中采用钢弦式孔隙水压力计,其埋设及测试方式与土压力传感器基本相同,其孔隙水测试过程如图5所示。



图5 孔隙水测试过程

3 试验结果及讨论

3.1 墙身与桩身水平位移试验结果及讨论

浚深挖泥结束后墙身与桩身水平位移变化的试验结果如图6~9所示。

由图6可知前墙墙身在16 m处水平位移量随着时间的推移逐渐的增大并趋于稳定,且其最大位移量为12 mm,引起该部位位移量大于其它部位的原因主要是受到前沿泥面的开挖作用影响,上部

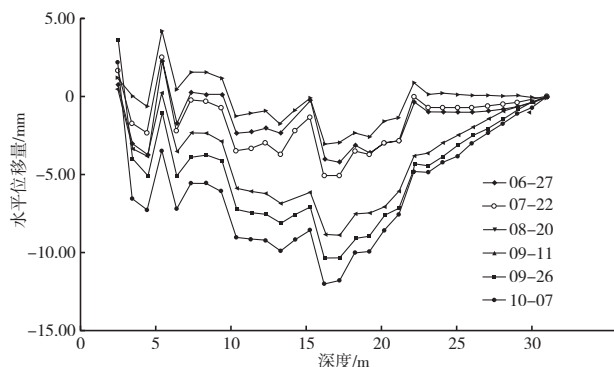


图6 前墙墙身水平位移

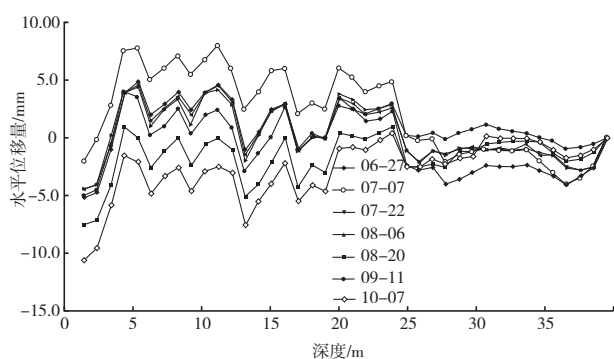


图7 前遮帘桩桩身水平位移

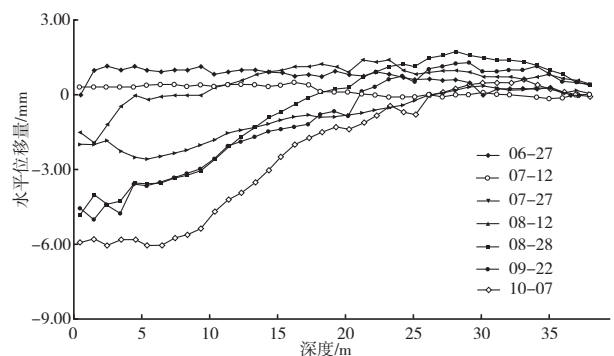


图8 后桩桩身水平位移

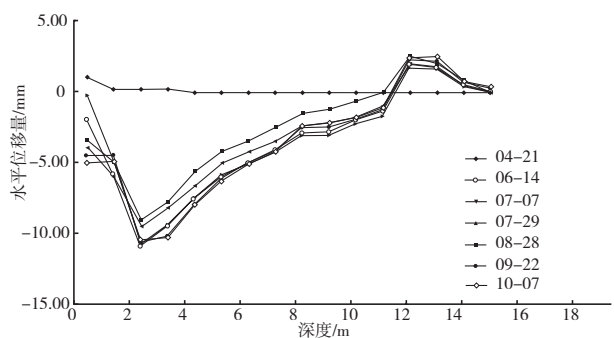


图9 锚锭墙墙身水平位移

结构位移量小是因为受到拉杆的拉力作用且阻止了板桩结构上部位移。由图7和图8可知,群桩和承台对土的夹持作用使得上部土与承台、群桩形

成一个整体,刚度增大且桩整体水平位移也有所减小。由图10可知,锚锭墙的水平位移呈现上大下小,在13 m处接近0,在墙底13~16 m出现一凸形分布,主要是墙体上部前倾所致,同时,锚锭墙整体水平位移最大发生在锚锭点处且受拉杆拉力作用明显。综合分析可知各墙、桩深层水平位移绝对值并不大,最大值多在10 mm左右,码头前沿浚深挖泥结束后,由于土的流变特性,深层水平位移仍有一定发展。

3.2 拉杆拉力试验结果及讨论

拉杆是卸荷式板桩码头结构中的重要构件,其约束前墙上端的变位并控制前墙受力变形,同时,影响卸荷平台群桩基础的遮帘效应的发挥,拉杆拉力的试验结果如图10所示。

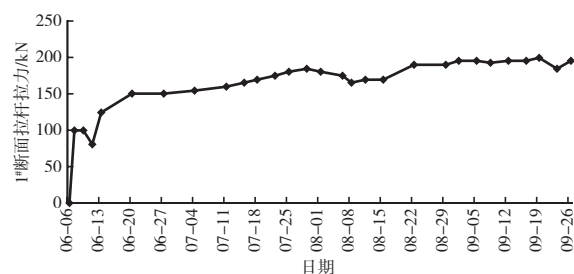


图10 拉杆内力随时间变化

由图10分析可知拉杆拉力为150~200 kN,最大值为200 kN,表明拉杆拉力只是在浚深挖泥初期有较大幅度的增加,浚深挖泥后期及浚深结束后拉杆内力趋于稳定,浚深挖泥初期拉杆拉力的大幅变化是因为前墙的侧向变位导致的锚锭墙—拉杆系统的拖曳作用,该作用引起拉杆拉力的变化。

3.3 侧向土压力的试验结果及讨论

港池开挖后前墙和卸荷平台群桩必然受地基土体侧向土压力的作用,其侧向土压力分布情况如图11和图12所示。

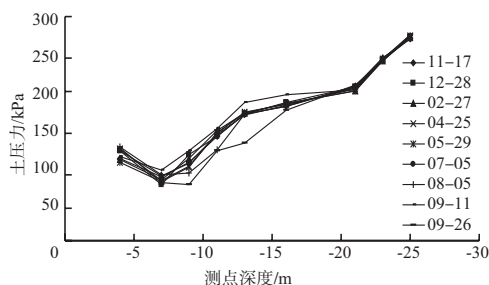


图11 陆侧侧向土压力试验结果

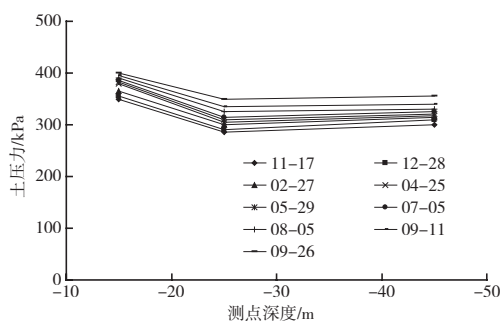


图12 海侧侧向土压力试验结果

由图11和图12分析可知,码头开挖前地下连续墙上的土压力分布近似服从静止土压力分布,由于各土层分布的不均匀性及土层中存在夹层造成土压力分布出现波动,但总体趋势不变;浚深挖泥后主动区-20 m以上土压力有所减小,被动区-20 m以下土压力略有增大,其符合浚深挖泥挡土结构土压力变化规律。从上前桩的变位情况来看,墙体上部发生向海侧的变位,其也能说明受地基土侧向土压力作用明显;另一方面,群桩的存在约束了卸荷平台后侧地基土体的侧向变位,使得前墙陆侧的土体进入主动土压力状态时作用在前墙的侧向土压力减小,而前墙-20 m以下因墙体上部前倾而发生向后的变位,陆侧土压力值大于主动土压力值处于被动区状态。

3.4 孔隙水压力的试验结果及讨论

在前沿泥面的开挖过程中孔隙水压力的变化反映了泊位场地土体中渗流场与应力场的变化,对卸荷式地连墙板桩结构的稳定性和安全性有很大影响,其孔隙水压力的试验结果如图13和14所示。

由图13和图14分析可知,码头开挖前地下连续墙上各深度的超静孔隙水压力较小,基本上分布在0附近。浚深挖泥后有所变化,主动区-20 m

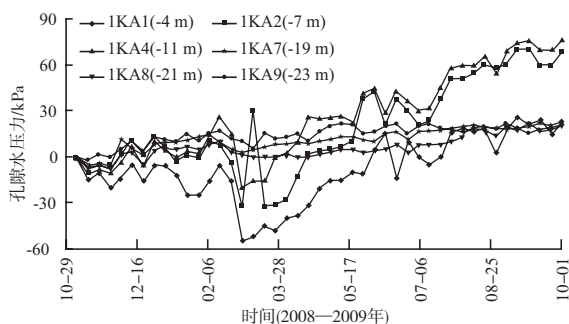


图13 陆侧孔隙水压力试验结果

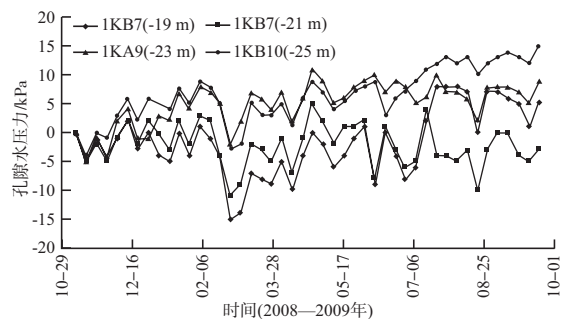


图14 海侧孔隙水压力试验结果

以上有所减小,被动区-20 m以下略有增大,符合泊位场地土体中渗流场与应力场的变化规律。

4 结论

1) 卸荷式板桩墙身与桩身的水平位移试验表明其墙身在16 m处水平位移量随着时间的推移而逐渐增大并趋于稳定,锚锭墙整体最大水平位移发生在锚锭点处,各墙、桩深层水平位移绝对值并不大且最大值多在10 mm左右。

2) 拉杆的试验表明其拉力范围为150~200 kN,说明拉杆拉力只是在浚深挖泥初期有较大幅度的增加,而浚深挖泥后期及结束后拉杆内力趋于稳定;

3) 侧向土压力测试表明该码头开挖前地下连续墙上的土压力分布近似服从静止土压力分布,由于各土层分布的不均匀性及土层中存在夹层造成土压力分布出现波动,但总体趋势不变,其符合浚深挖泥挡土结构土压力变化规律。

4) 孔隙水压力测试说明码头开挖前地下连续墙上各深度的超静孔隙水压力较小,基本上分布在0附近,而浚深挖泥后有所变化,在主动区-20 m以上有所减小,被动区-20 m以下略有增大,其符合泊位场地土体中渗流场与应力场的变化规律。

参考文献:

- [1] 孙经龙. 带卸荷板空心方块码头设计中若干问题探讨[J]. 水运工程, 2010(7): 33-36.
- [2] 伍荣官, 汪丁江. 带筒支式卸荷板的重力式码头[J]. 水运工程, 1999(11): 26-29.
- [3] GB 50023—1995 建筑抗震鉴定标准[S].
- [4] Ghaly A, Hanna A, Hanna M. Uplift behavior of screw

- anchors in sand[J]. J Geotech Engrg:ASCE, 1998,117(5): 1 300-1 317.
- [5] Lutenege A J. Uplift capacity of small-diameter drilled shafts from in situ tests[J]. J Geotech Engrg:ASCE, 1994, 120(8): 1 362-1 380.
- [6] 苑桂永, 王丽娟, 李敬梅. 基坑开挖过程中地下连续墙位移与土压力分析[J]. 港工技术, 2003, 6(2): 46-48.
- [7] Ahmed S A. Tension tests on smooth and rough model pipes in dry sand[J]. Can Geotech J, 1998, 36(4): 746-753.
- [8] 王维雅. 钻孔灌注桩抗拔荷载的传递机理研究[J]. 合肥工业大学学报, 1998, 21(4): 71-77.
- [9] Jardine R J, Overy R F, Chow C. Axial capacity of offshore piles in dense north sea sands[J]. Geotech Engrg: ASCE, 1998, 124(2): 171-177.
- (本文编辑 郭雪珍)

(上接第68页)

- [11] Lim A. The berth planning problem[J]. Operations Research Letters, 1998, 22(2-3): 105-110.
- [12] Lee D, Chen J H, Cao J X. The continuous berth allocation problem: A greedy randomized adaptive search solution[J]. Transportation Research: Part E, 2010, 46(6): 1 017-1 029.
- [13] Imai A. Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity[J]. Transportation Research: Part E, 2008, 44(1): 136-151.
- [14] Monaco M, Sammarra M. The berth allocation problem: A strong formulation solved by a Lagrangian approach[J]. Transportation Science, 2007, 41 (2): 265-271.
- [15] Kim K, Moon K. Berth scheduling by simulated annealing[J]. Transportation Research: Part B, 2003, 37(6): 541-560.
- [16] Wang Fan, Lim A. A stochastic beam search for the berth allocation problem[J]. Decision Support Systems, 2007, 42: 2 186-2 196.
- [17] 杨春霞, 王诺. 基于多目标遗传算法的集装箱码头泊位—岸桥分配问题研究[J]. 计算机应用研究, 2010(5): 126-128, 131.
- [18] 韩晓龙, 丁以中. 集装箱港口泊位配置优化[J]. 系统工程理论方法应用, 2006, 15(3): 275-278.
- (本文编辑 武亚庆)

(上接第73页)

3) 闸口布置直接影响港区内外交通及占地大小, 建议根据排队论理论计算, 合理确定闸口车道数和缓冲区长度。

4) 辅建区功能要齐全, 布置要紧凑, 尽量减少用地, 同时也要充分体现现代化港口以人为本及景观门面要求。

5) 对于国际性工程, 优化设计工作应遵循国际惯例及流程要求, 建议提交详细方案 (Proposal) 报咨工及当地政府审批, 确保整个优化工作合法化。

参考文献:

- [1] Colombo South Container Terminal Project BOT Agreement [R]. (本文编辑 郭雪珍)

- [2] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 斯里兰卡科伦坡港南集装箱码头项目施工图设计文件[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2012.
- [3] 交通运输部天津水运工程科学研究院. Research Work of Wave Mathematical Model & Storm Surge Test Final Report, Colombo South Container Terminal Project [R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究院, 2012.
- [4] 中交天津港湾工程研究院有限公司. Physical Model Tests for Dynamic Mooring Final Report, Colombo South Container Terminal Project [R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2012.