



在建海堤工程抛砂施工安全控制方法

王新学¹，林少波²

(1. 中交股份总承包经营分公司，北京 100088；2. 中交四航工程研究院有限公司，广东 广州 510230)

摘要：围海造陆工程涉及大量在海堤上进行抛砂施工的情况，施工控制方法是否得当直接关系到在建海堤的安全稳定性，但目前尚未有针对该种工况条件下安全控制方法的研究，更多情况下仍以工程经验为主，实施过程中存在着较大的安全风险，由于施工不当所引起安全事故也不在少数。本文结合汕头东海岸新城项目建设的实际需要，从海堤稳定性验算、施工安全监控技术、施工组织措施等几方面提出一套较完整的在建海堤抛砂施工安全控制方法，并取得了较好的工程应用效果，有效保障了海堤安全。

关键词：海堤工程；抛砂施工；控制方法；安全系数；施工监控

中图分类号：TU 471 **文献标志码：**A **文章编号：**1002-4972(2015)11-0184-05

Safe construction control method for sand throwing on seawall under construction

WANG Xin-xue¹, LIN Shao-bo²

(1. CCCC General Contracting Branch Co., Ltd., Beijing 100088, China;

2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: There are many cases of sand throwing on seawall in reclamation projects, and the safety and stability of seawall under construction directly relates to the construction control level. But up to present, there is no research on the safety control method of sand throwing yet, and the construction mostly relies on the experience, thus the construction faces great safety risks during implementation. Combining with the actual need of Shantou east coast park, we propose a complete set of safety control method for sand throwing on the seawall under construction from the seawall stability computation, construction safety monitoring technology and construction organizational measures, which achieved good effects in the engineering application, and guaranteed the seawalls' safety.

Keywords: seawall project; sand throwing; control method; safe factor; construction monitoring

围海造陆是一项复杂而系统的工程，涉及多方面技术应用，包括海堤形成、陆域吹填、软基处理、道路工程等^[1]，在建设过程中不可避免地存在交叉施工、相互影响的情况。如何在交叉施工过程中保证工程建设安全是首先予以考虑的问题。

汕头东海岸新城项目需要大量外购砂方资源，砂料主要通过皮带船海运至围海造陆场地内，在此过程中就涉及到在在建海堤上进行抛砂施工的情况，如何保证抛砂过程中在建海堤的安全、避

免造成海堤整体滑移是建设各方所共同关注的问题。类似施工安全问题在围海造陆工程中也广泛存在。本文结合本工程的实际情况，就在建海堤上进行抛砂施工安全控制进行总结和探讨，提出一套安全控制方法，以期为类似工况条件下施工安全提供借鉴。

1 海堤安全稳定研究现状

海堤安全稳定是工程建设中特别予以关心的

收稿日期：2015-03-31

作者简介：王新学（1980—），男，助理工程师，从事项目管理、施工技术方面研究。

问题,特别是在施工过程中,其安全稳定性受到多种因素的影响,如水位、地质条件、周边施工工况、海堤的结构形式等。前人在这方面做了大量的工作和研究,取得了一定的成果。胡荣华^[2]对深圳机场码头海堤稳定性进行了分析,在此基础上提出海堤加固措施;刘林军^[3]通过界面摩擦理论对加筋条件下软基海堤稳定性进行了分析,认为加筋对于提高海堤整体稳定性作用是非常明显的;吴洋^[4]分析了水位变化条件下板桩码头岸坡失稳的情况,分析了岸坡稳定的影响因素、码头结构受力变形规律以及潜在滑坡失稳的破坏机理;袁和平^[5]从打桩对土体的扰动、打桩振动、打桩速度等几方面对高桩码头打桩施工工况对岸坡的稳定性影响进行了系统分析,总结了由打桩引起岸坡滑移的防治措施;廖雄华^[6]以天津高桩码头为研究对象,针对在使用期内岸坡前沿土体清淤疏浚的工况,研究了开挖施工过程中引起码头桩坡体系共同作用的规律。

在海堤上进行抛砂施工的稳定性根本上受到周边施工工况变化的影响,是围海造陆工程中普遍存在的一种施工工况,但目前尚无针对抛砂施工工况下海堤稳定性研究的内容,工程实践中更多根据经验进行主观判断,存在着较大的安全风险,对工程建设安全、质量、进度均十分不利。因此,有必要针对在建海堤上进行抛砂施工安全控制进行研究。

2 工程概况

汕头东海岸新城项目西起汕头港导流防沙堤,东至澄海莱芜岛,分为新津、新溪、塔岗围三大片区,东西长 13 km,南北纵深 1.5 ~ 2.5 km,规划总面积 24 km²,围海造地面积 20 km²。

本工程涉及施工海堤总长度超过 15 km,海堤主要采用砂袋围堰结合抛石的复合型结构形式,海堤护底、护脚、护面采用单块质量 200 ~ 400 kg 块石,堤心石采用 10 ~ 400 kg 开山石,堤身采用堤心砂吹填、砂袋子围堰等形式。海堤是本工程的重要组成部分,其施工安全与质量直接关系到整个工程能否顺利开展,是后续吹填施工、软基

处理、市政道路建设的基础。

3 控制流程

结合本工程特殊的工况条件和多年类似围海造陆施工经验,制定控制流程(图 1)。在抛砂施工过程中严格按流程组织施工,以保证施工安全控制工作有序顺利地开展。

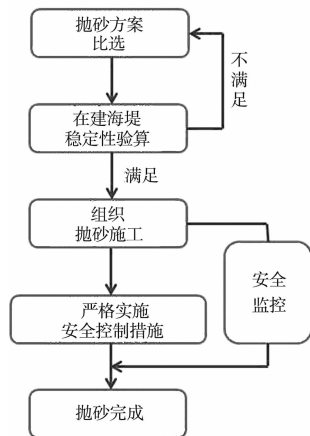


图 1 安全控制流程

1) 抛砂方案比选: 根据现场工况条件, 选择合适的抛砂方案, 主要考虑抛砂点位置、潮位、船舶吃水深度、传送带长度等。最终, 经过充分对比分析, 选择在海堤的外侧护面作为抛砂点。

2) 稳定性验算: 根据海堤的地质条件, 选取代表性位置进行抛砂施工海堤稳定性验算, 以确保抛砂施工的安全, 共选取了 K3 + 600、K4 + 100、K4 + 700 共 3 处断面。验算通过则可以组织现场施工, 否则返回 1) 进一步调整抛砂方案。

3) 抛砂施工: 稳定性验算满足后, 即可开始组织船舶设备进行抛砂施工(图 2)。



图 2 现场抛砂施工

4) 安全监控: 在抛砂施工的同时, 应在抛砂点海堤堤身上设置相应监控点, 全程密切监控海堤在抛砂施工过程中位移和沉降情况, 通过堤身变形情况准确了解海堤的稳定性状。

5) 安全控制措施: 抛砂施工开始后, 还需要配合采取相应的安全控制措施, 进一步减少海堤受到外部荷载的影响, 确保海堤的稳定性, 避免滑移事故的发生。

4 稳定性验算

4.1 计算模型及参数

稳定性分析采用 GEO-SLOPE 软件 SLOPE/W 模块, 土体单元本构关系选用 Mohr-Coulomb 模型, 计算采用 M-P 极限平衡法。为了便于问题分析, 将

抛砂简化等效为作用于海堤护面上的静态均布荷载, 同时仅考虑低潮位工况条件下的稳定性分析。典型断面计算模型见图 3, 土体的物理力学指标如表 1 所示。

表 1 各土层的主要物理力学参数

土类名称	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	浮密度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)
淤泥	1 550	550	11. 2	12. 6
淤泥质黏土	1 760	760	9. 2	13. 2
粉细砂	1 900	900	0. 0	23. 0
抛石	1 950	950	0. 0	36. 0
回填砂	1 900	900	0. 0	27. 0
砂质淤泥	1 750	750	9. 2	13. 2
中粗砂	1 900	900	0. 0	27. 0
粉土	1 780	780	31. 9	13. 8
黏土	1 770	770	22. 3	13. 0

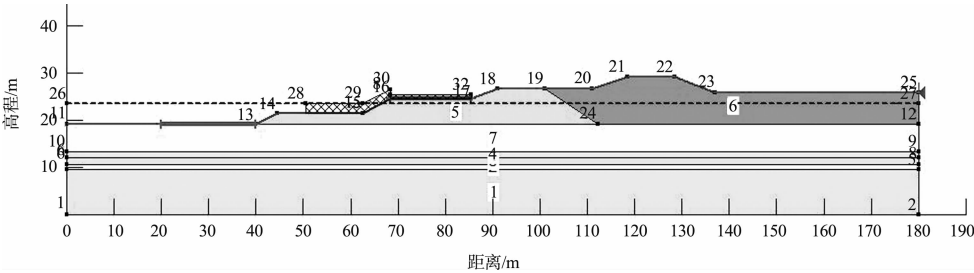


图 3 K3 + 600 断面模型

4.2 安全系数

3 处抛砂点在不同堆砂高度条件下的安全系数如表 2 所示, 其中 K3 + 600 抛砂点堆砂高度 4.0 m 工况条件下计算结果如图 4 所示。

通过以上分析可知, K3 + 600 抛砂点堆砂高度达到 3.0 m 时, 海堤的安全系数为 1. 102, 接近于《港口工程地基规范》中对于持久状态下的安全系数的下限值 1. 1 的要求, 因此不应超过 3. 0 m; K4 + 100 抛砂点堆砂高度达到 4. 0 m 时, 海堤的安全系数为 1. 113, 接近于《港口工程地基规范》中对于持久状态下的安全系数的下限值 1. 1 的要求, 因此不应超过 4. 0 m; K4 + 700 抛砂点堆砂高度达到 5. 0 m 时, 海堤的安全系数为 1. 298, 说明 K4 + 700 断面可以满足抛砂施工的稳定性要求,

但应控制加载高度。及时对砂堆进行摊铺处理和转运, 避免堆载高度过高, 产生过大的加载量, 同时现场应加强施工监测。

表 2 计算安全系数

抛砂点	堆载高度/m	荷载量/kPa	安全系数
K3 + 600	2	34	1. 122
	3	51	1. 102
	4	68	1. 065
K4 + 100	2	34	1. 196
	3	51	1. 163
	4	68	1. 113
	5	85	1. 065
K4 + 700	2	34	1. 535
	3	51	1. 441
	4	68	1. 363
	5	85	1. 298

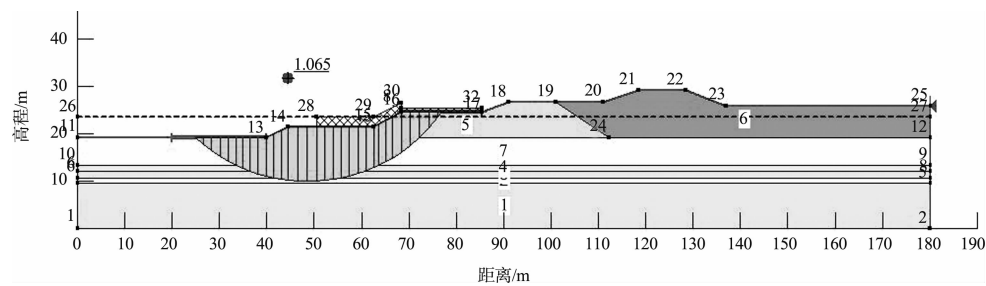


图 4 K3 + 600 堆砂 4.0 m 工况条件下计算结果

4.3 成果分析

利用 GEO-SLOPE 软件对海堤 3 处抛砂点进行极限平衡法分析。结果表明：上述 3 处抛砂点均满足抛砂施工的稳定性要求，但需要在上砂过程中严格控制抛砂点处堆砂高度，其中 K3 + 600 断面堆砂平均高度不应超过 3.0 m，K4 + 100、K4 + 700 两处断面的堆砂平均高度不应超过 4.0 m，并及时对砂堆进行摊铺处理和转运，避免堆载高度过高，产生过大的加载量，影响海堤的整体稳定性。

应该注意到：本次抛砂点的稳定性分析仅仅是考虑静态荷载作用下的海堤安全性，而抛砂荷载是一种动荷载，抛砂过程是一种动态的加载过程，计算安全系数可作为海堤稳定性判断的参考，但应与现场施工监控成果相结合，进行综合判定海堤的稳定性，避免盲目性。

5 施工安全监控

除了进行海堤稳定性验算之外，更需要在施工过程中开展全程施工安全监控，以更准确了解海堤的变形和滑移情况。在此以 K3 + 600 处抛砂点为例，简单介绍现场的施工安全监控情况。

5.1 监控内容及布置

在 K3 + 600 断面的护岸堤石上共计布置了 5 个监控点，同时作为沉降和水平位移观测点(图 5)，实时跟踪观测海堤的沉降和位移情况。

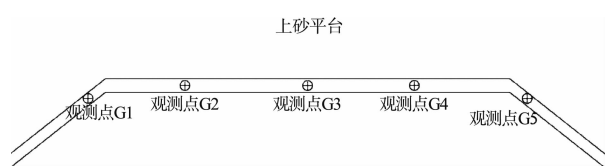


图 5 监控点布置

1) 沉降监测。

采用水准测量法，监测仪器主要为水准仪和钢钢水准尺。

观测方法：首先从基准点引测出各控制点的高程，将水准仪架设于控制点与监测点之间，各监测点读数与控制点读数之差即为监测点与控制点的高程差，从而可以推算出各监测点的高程值，各监测点相邻 2 次高程值之差即为该点地表沉降量。

2) 水平位移观测。

水平位移观测采用坐标换算法，监测仪器主要为 GPS。

观测方法：每天相同的时间，测量量利用 GPS 测点各监测点坐标，根据相邻两次同一监测点坐标变化情况，即可以换算得到该监测点的水平位移量，该值即为本期的水平位移量。

5.2 监控预警

- 1) 沉降速率：1 cm/d；
- 2) 水平位移速率：0.5 cm/d。

5.3 监控成果

根据现场抛砂施工实际情况，现场监控工作前后持续了约 18 d，水平位移变化不大，均在监控预警值范围之内。重点分析沉降量情况变化情况(图 6)。

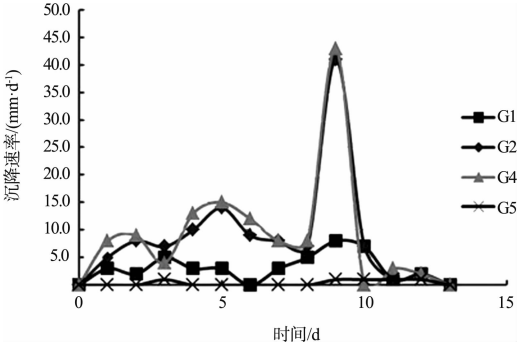


图 6 各点沉降速率随时间变化曲线

从图 6 可以看出：G2、G4 两处监控点在抛砂施工过程中发生了较大的沉降，最大沉降速率均发生于同一天，分别达到 41 mm/d 和 43 mm/d，主要由于该天抛砂量较大，未能及时进行摊铺处理和转运，造成集中荷载过大。随后及时调整了施工工艺，加快摊铺和转运进度，避免了堆砂高度过大，沉降速率迅速回落，至 2014 年 1 月 5 日，沉降速率均远小于监控预警指标，表明 K3 + 600 抛砂点是安全稳定的，未有异常情况，海堤安全稳定性满足抛砂施工需要。

6 施工组织措施

- 1) 对现场抛砂点施工进行严格管控，总体原则是：“上砂高度不宜超过 4 m，当天来砂当天转送，绝不在护岸抛砂点过夜”。
- 2) 每处抛砂点均配有足够的装、卸机械设备，确保到岸砂料能够及时进行摊铺和转送，避免局部区域产生过大的集中荷载，杜绝砂料在抛砂点积压太久。
- 3) 对砂料运输船舶进行严格管理，严格按照要求进行抛砂施工，抛砂尽可能均匀布置，不能随意抛砂，确保抛砂施工有序进行。
- 4) 建立调度会制度，结合每天监控成果和抛砂施工情况，及时进行总结和调整，必要时应及时进行减载处理，统一规划和调配。
- 5) 拓宽施工通道，对抛砂点进出口车辆往返频繁路段进行加固，保证交通顺畅。

7 结语

- 1) 以海堤稳定性验算为基础，以现场施工监

控为重点，外辅以有效的施工组织措施的在建海堤抛砂施工安全控制方法是切实可行的。

- 2) 在建海堤上抛砂施工工况条件下，影响海堤安全性的主要因素是堆砂的高度和摊铺的均匀性，应尽可能避免海堤局部区域集中受力。结合本工程实际情况，提出堆砂平均高度不应超过 4.0 m。
- 3) 当施工监控发现异常情况时，应及时调整施工组织，采取必要措施进行处理，减少海堤荷载，避免险情进一步发展。

汕头东海岸新城项目实践说明：本套控制方法切实可行的，取得了较好的效果，有效保障了在建海堤的安全。该控制方法也可以为围海造陆工程类似工况条件下施工安全提供参考。

参考文献：

[1] 董志良, 张功新, 李燕, 等. 大面积围海造陆创新技术及工程实践[J]. 水运工程, 2010(10): 54-67.

[2] 胡荣化, 龙祁, 陈敏华, 等. 深圳机场码头海堤稳定性分析[J]. 铁道建筑, 2011(10): 64-67.

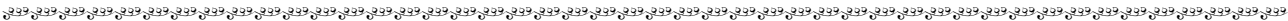
[3] 刘林军, 王盛, 常学宁, 等. 土工合成材料对软基海堤稳定性影响分析[J]. 广东水利水电, 2013(2): 8-11.

[4] 吴洋, 杨艳, 尹文. 水位变动条件下板桩码头岸坡稳定性分析[J]. 五邑大学学报: 自然科学版, 2013, 27(2): 16-20.

[5] 袁和平, 陶桂兰. 打桩对码头岸坡稳定的不利影响和防治措施[J]. 水运工程, 2013(4): 72-75.

[6] 廖雄华, 张克绪, 王占生. 岸坡开挖扰动对天津港高桩码头结构安全性影响的数值分析[J]. 中国港湾建设, 2002(4): 33-38.

(本文编辑 郭雪珍)



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。