



重力式码头块石基床的水下爆炸夯实技术

陈楚南¹, 张建勋²

(1. 广东金东海集团有限公司, 广东 汕头 515041; 2. 中科院力学研究所, 北京 100080)

摘要: 结合重力式码头基床、地基及水文的实际情况, 总结码头基床水下爆炸夯实技术的设计、施工工艺、质量控制及爆破的安全控制, 可供类似工程参考。

关键词: 重力式码头; 基床; 水下爆炸夯实; 质量控制; 安全

中图分类号: U 656.1*11

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2007)10-0036-04

Underwater Explosive Compaction of Rock Bed of Gravity Wharf

CHEN Chu-nan¹, ZHANG Jian-xun²

(1. Guangdong Gold East Sea Engineering Company, Shantou 515041, China;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Combining the real situation of foundation bed, ground and hydrological condition of gravity wharf, this paper presents a summarization of the design, construction technology, quality control and safety control of underwater explosive compaction for wharf bed, which may serve as a reference for similar projects.

Key words: gravity wharf; foundation bed; underwater explosive compaction; quality control; safety

重力式码头是码头设计中经常采用的一种结构, 并且有向大尺度、大重量单位沉箱发展的趋势, 一般采用来源宽、强度高、级配较合理又耐腐蚀等特点的爆破开山块石作为码头基床材料, 块石基床典型断面如图 1, 在基床厚度较大、码头深水、海况较复杂的条件下, 采用设备简单、一

次处理厚度大和夯实面积大、单位能量高且可控、夯实效果良好等特点的爆炸夯实技术。

爆夯块石基床是将设计的药包按照一定的网格参数布置在块石基床的表面或悬浮在其上部, 在一定的覆盖水深下药包起爆后产生的有效爆炸能量(爆破震动、爆炸冲击波和爆破产生的高压

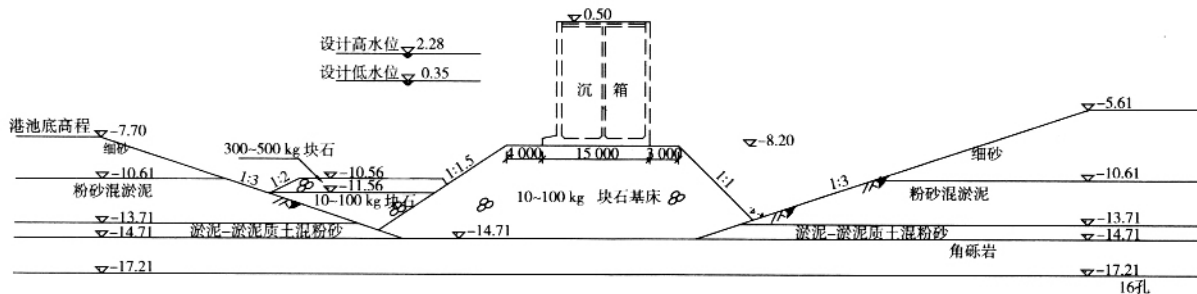


图 1 某重力式码头结构及基床典型断面图

收稿日期: 2007-04-10

作者简介: 陈楚南(1964—)男, 工程师, 从事港口与航道工程施工技术管理。

气体) 联合作用于充满间隙水的块石基床上, 一部分能量使基床中的间隙水形成高压水向基床布药区以外的低压区快速流动, 带动组成基床的骨架体(块石)发生摇动错位, 间隙水被部分排出, 又一部分能量直接作用于基床的骨架体(块石)上, 块石间相互挤压与错位而重新排列, 块石间隙减小, 且块石排列紧密, 从而提高了基床的密实度^[1-2]。爆破夯实效果主要体现在爆后平整度和爆破夯实率两个方面, 除与基床抛填平整状况和块石的级配有关外, 主要决定于药量计算和布药位置的准确性、布置网格合理性。

1 重力式码头工程简介

某工程位于珠江口伶仃洋, 鸡抱沙围垦陆域东侧岸线的中、下段, 码头前沿线距原砌石护岸 105 m。水下爆破作业保护的主体主要有船只、水中施工人员、码头后方开挖边坡和安放的沉箱等。爆破范围内无海水养殖生产。

港址的常风向和强风向为 NE-E 向。台风登陆年平均 1.3 次, 6—9 月份是台风盛行期。平均海平面 1.9 m, 平均高潮 2.63 m, 平均低潮位 1.03 m, 施工水深不小于 17 m, 最大流速为 1.15 m/s。

码头结构为沉箱重力式, 单个沉箱质量 2211 t。基床床长共 772.4 m, 抛石方量 146 993 m³, 基床爆夯宽度 22 m。设计抛石基床顶高程为 -8.2 m, 底高程 -12.2~ -15.7 m, 基床厚度 4~7.5 m(图 1)。基础持力层为中粗沙, 局部为粉细沙, 标贯击数均 >22 击。

2 爆破设计

基床抛石厚度在 4~7.5 m, 块石质量为 10~100 kg, 每段爆夯施工 3 遍, 采用同时起爆的方式。夯实率不低于 15%; 起爆药包中心至水面的垂直距离最小 17 m。

1) 布药网格。为使爆夯作用均匀, 爆后基床平整, 药包平面布置宜采用正方形网格布置, 每一分段的第 2 次布药位置在垂直轴线上与第 1 次布药位置均等差开, 第 3 次布药位置在平等轴线上与第 2 次布药位置均等差开。药包网格为 4 m × 4 m, 见图 2。

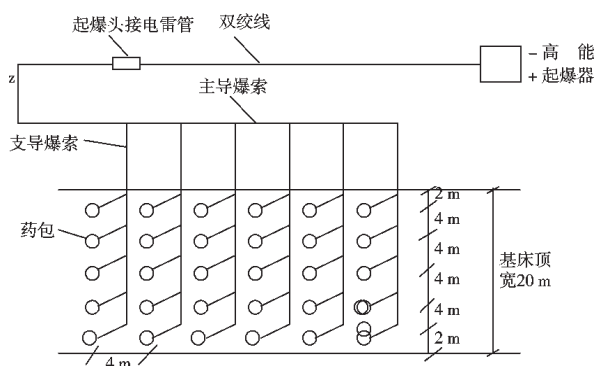


图 2 基床爆夯布药平面及网络图

2) 单包药重 Q 按如下经验公式计算:

$$Q = qSH / n$$

式中: q 为爆夯单耗, 取 4.0 kg/m³; S 为单药包夯实基床表面积, 取 16 m²; H 为分层厚度, 分别取 4 m 和 8 m; n 为夯实率, 为不小于 15%; n 为爆夯遍数, 取 3 遍; Q 为单药包药量 (kg)。

3) 悬挂高度 h_2 。考虑水的隔离和配重物的影响效果, 药包悬挂高度不小于药包半径的 1/3。根据规范 $h_2 = (0.35 \sim 0.4) Q^{1/3}$, 爆夯药包悬挂高度为 50~80 cm^[3-4]。

4) 起爆药量。在确保爆夯施工时船舶的安全、水下无作业人员的前提下, 同时考虑护岸的稳定, 结合爆区的周边环境, 前期由于后方清淤挖泥未完成及石堤尚未拆除, 一次起爆药量 1 200 kg。后期码头后方清淤完成后最大一次起爆药量达到 2 800 kg, 因为药量控制合理, 岸坡、沉箱等均未受到影响。

5) 药包配重。为了保证药包位置准确, 使用 15~25 kg 沙袋作为配重袋。

6) 将整个爆区的支导爆索用主导爆索并联起来, 自由端打数折形成爆头(图 2)。

3 布药工艺

1) 船上制作药包(本工程使用乳化炸药)。放置起爆头, 引出传爆支导爆索; 加入配重物; 按爆夯参数将药包连接成排依次排放在布药船的甲板上备用。

2) 按实测水深在药包上捆扎悬挂药包绳索, 准备飘浮物备用。

3) 布药船以“八”字锚在爆区驻位, 采用

GPS在布药船的投放药包侧测控布药位置。

4 将准备的一排药包分别搬至布药船的投放船舷，并用导爆索并联为一个起爆群。

5 布药船在 GPS测控下铰动锚机至布药位后，投药员用绳索牵引药包沿船舷一次同时放入水中，爆破员引出连接起爆药包群的导爆索至船舷侧，做好保护备用。

6 移船于下一个布药位置后，按 4 ~6 步循环施工，将引出的导爆索按顺序并联在主导爆索上，至完成整个布药范围 (图 3)。

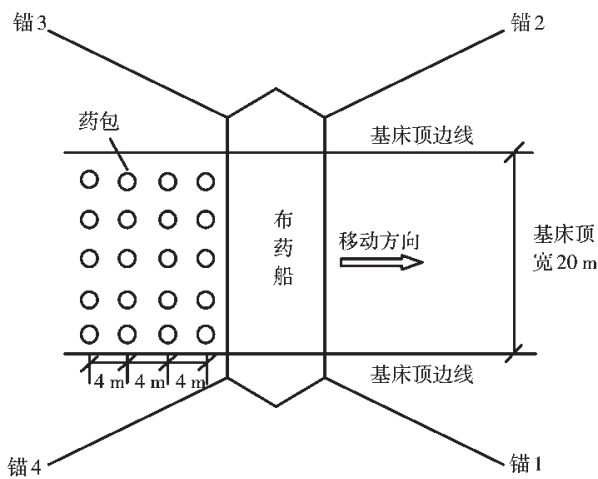


图 3 基床爆夯的船上布药工艺图

7 铰紧锚 1 和锚 2，分别用锚艇起出锚 3 和锚 4，再铰锚 1，起出锚 2，最后起出锚 1，将布药船撤离爆区至安全位置。

8 施工时警戒船就位，布药完工并撤离布药船后，爆破员在爆破指挥员的指挥下检查起爆网络，确认安全可靠后将起爆雷管接入网络，引出起爆线至起爆站，等待起爆命令。

4 爆破安全计算

水下爆炸效应一般有水中冲击波、爆炸震动、个别飞散石块，以及爆炸产物的污染等。这几种水下爆炸效应对环境的影响安全范围在爆破安全规定中作了相应的规定，并给出了计算公式。根据确定爆炸源与人员和其他保护对象之间的安全距离，应按爆炸效应对人员和其他保护对象的影响进行核定并取其最大值的原则，针对本工程中保护对象的要求和特点，主要考虑爆炸震动和水

中冲击波的安全距离来确定警戒范围。

4.1 安全距离的确定

4.1.1 爆炸震动距离的确定

根据国标《爆破安全规程》的规定：一般建筑物的爆破地震安全性应满足安全震动速度的要求。现场主要保护对象是沉箱，其安全震动速度取 5~8 cm/s。

爆炸震动安全距离可按下式计算：

$$R \leq K(V)^{1/a} \cdot Q^n \quad (1)$$

式中：R 爆炸地震安全距离 (m)；Q 为一次在爆用量 (kg)；V 为地震波速度 (cm/s)；m 为药量指数，取 1/3；K 为与爆炸区的地形，地质等条件有关的系数和衰减指数，取试验数据 530，a 为 1.82。

4.1.2 水中冲击波安全距离的确定

根据国标《爆破安全规程》中第 8.3.5 条规定，在水深不大于 30 m 的水域内进行水下爆破，水中冲击波的最小距离，应遵守下列规定：当炸药量为 1 000 ~3 000 kg 时，采用水中裸装药方式，对人员的水中冲击波安全最小距离游泳是 2 000 m，潜水 2 600 m；对木船最小距离为 500 m，对铁船最小距离为 300 m。

4.2 安全警戒范围的规定

陆域上爆炸震动安全警戒线为距爆源以外 300 m；水中冲击波安全警戒线：对水中人员距爆源以外 2 000 m；对船舶距爆源以外 300 m。

5 安全警戒及组织

1) 警戒布置。每次爆破均布置 4 个警戒点，分别为：警戒船、岸上警戒点及布药船两侧快艇。

2) 警戒旗语、鸣笛。

爆炸作业时使用警报器，以警告现场的所有工作人员。警报信号包括警报旗和声响警报器，具体操作规定如下：

爆破警报——爆破前 20 min，悬挂黄旗，同时鸣响一系列短 (10 s) 间歇警报信号 1 min。

爆破警报——爆破前 1 min，悬挂红旗，同时鸣响一次 60 s 警报信号。

全部解除——悬挂绿旗，同时鸣响一次 30 s 警报信号。全部解除信号只能在爆破监督员证明爆破解除后鸣响，若有盲炮，在处理盲炮过

程中依然悬挂红旗。

6 爆破评估

6.1 夯沉率

本工程的夯沉率设计要求为不低于 15%，平均夯沉率为 15.2%，满足设计要求。对个别段夯沉率达不到设计要求的，经总结分析认为主要是因为抛石较早，又未测出抛石顶高程的情况下，经前段爆夯引起地基振动并使其产生“预密沉降”，而这部分沉降值又未作观测记录，因此在预沉的顶面进行爆前测量，往往达不到设计要求。

6.2 沉箱沉降量

沉箱安装后，对其沉降位移进行了观测。目前已完成全部沉箱内回填砂及部分胸墙的浇注，凭观测数据均能满足有关设计规定，至于下一阶段的沉降位移结果还有待观测。

6.3 爆夯评价

广州港南沙港区一期水工工程 3[#]、4[#] 泊位基床爆夯现已全部完工，经过这一阶段的实践总结有以下优点：爆夯的整体密实效果比锤夯好，更有利于大型沉箱的稳定；经爆夯后的基床面较平缓，有利于基床整平；从爆夯的工效上看，每天平均可爆夯 12 000 m³，相当于一般打夯船工效的 20 倍，重锤夯实按 2 m 分层，爆夯一层可达到 4~8 m，采用 500~1500 开底驳一次抛成，无疑水下基床爆夯又能大大缩短抛石工期；经测算，采用爆夯比锤夯可降低工程造价 20%~30%。

7 盲炮处理

1) 整个爆区未起爆时，须立即切断起爆器与导线的连接并短接导线输入端，由爆破员进行爆破网络检查，对发生盲炮的原因进行分析。用浮标作为定位标志，派有经验的潜水员将水下引线引至水面进行再次引爆。

2) 引爆无效时，采用诱爆方式。在原位重新布药，药量减 1/3，以诱爆或爆散原有药包，解除危险。随后，用鱼网打捞或派潜水员下水探摸残余药包。

3) 成功爆破后，为防止有未引爆药包残留在基床面上造成安全隐患，也应用鱼网打捞或派潜水员下水探摸有无残余药包。

8 爆夯实施中若干问题讨论

8.1 关于爆夯对下段基床的预密

在进行前一段基床爆夯时，对下段已抛石基床会产生“预密沉降”，此“预密沉降”的大小跟下段抛石的量及离爆区的距离有关，抛石量越大离爆区越近其预密沉降就越大。

8.2 药包标记

爆区离陆岸距离达 150 m，为使整个爆区的位置能清晰明了，布药前用浮标标出爆区的 4 个角点。在每排的第 1 个药包接上浮标，此法既简便也能较明了地知道每个药包的位置。

8.3 控制爆夯造成基床塌肩的措施

由于整个抛石基床施工中为明基床，基床两侧自由无约束，在爆破振动过程中基床两侧的块石往边坡滚落，造成塌肩现象，增加了补抛量并影响基床质量。经过典型施工及时进行了调整：

1) 保持断面用药量不变，减小两侧第 1 个药包药量，所减药量均匀分摊到其它 3 个药包上；

2) 将两侧的基床面抛高 20~30 cm；通过以上措施，使爆后的基床断面均能达到较好的效果。

9 结语

水下爆夯夯实基床具有工期短、造价低、能量大、效果好等特点，明显地优于传统的重锤夯实法，对于宽厚基床的夯实，它是一种比较理想的施工手段。

参考文献：

- [1] 波克罗夫斯基. 在变形介质中冲击与爆破作用[M]. 北京：中国工业出版社，1965.
- [2] 中科院力学研究所. 爆炸法处理水下软基新技术成果简介[R]. 北京：中科院力学所，1988.
- [3] JTJ 298-98, 防波堤设计与施工规范[S].
- [4] JTJT 258-98, 爆炸法处理水下地基和基础技术规程[S].