



基床爆夯技术在软基边界条件下的应用

张学俊

(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 结合烟台港三期工程在砂质软基上的基床爆夯应用实例, 介绍基床爆夯的参数设计、爆夯施工工艺、爆夯环境监测、实施效果、施工经验等内容, 为类似工程施工提供参考借鉴。

关键词: 基床爆夯; 砂质软基; 环境监测; 实施效果; 施工经验

中图分类号: U 655.54

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2013)05-0194-05

Application of foundation bed blasting compaction technology under boundary condition of weak ground

ZHANG Xue-jun

(No. 2 Company of Tianjin Port Construction Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: Based on the application example of foundation bed blasting compaction on sandy weak ground of Yantai harbor phase III project, this paper expounds the parameter design of foundation bed blasting compaction, construction technology of blasting compaction, environmental monitoring of blasting compaction, implementation effects, as well as construction experience, etc., which may serve as reference for similar projects.

Key words: foundation bed blasting compaction; sandy weak ground; environmental monitoring; implementation effect; construction experience

基床爆夯工艺是近年来发展起来的一项新工艺。它利用水中悬浮的炸药包群爆炸后产生的巨大冲击波与地震波的能量, 使块石间互相错动、契合, 其骨架结构破坏后重新组合、重新密实, 最后达到抛石基床密实的目的。与常规机械夯工艺相比, 基床爆夯工艺具有工期短、成本低、密实效果好的优点, 尤其适合在大厚度基床上使用。另外, 以往基床爆夯的地基条件多是岩基, 而烟台港三期工程基床爆夯施工的边界条件是砂质软基, 这与以往有很大不同。因此, 本文结合烟台港三期工程在“砂质软基”上的基床爆夯应用实例, 重点介绍基床爆夯的参数设计、爆夯施工工艺、实施效果、爆夯环境监测、施工经验等内容, 可为以后类似工程施工提供参考借鉴。

1 工程概况及工程地质条件

1.1 工程概况

烟台港三期工程分为杂货码头和集装箱码头两部分: 杂货码头全长418 m, 前沿水深为-16.0 m, 基床顶宽16.2 m, 抛石厚度4.5~8.5 m, 爆夯面积约6 770 m²; 集装箱码头全长543 m, 前沿水深为-14.0 m, 顶宽13.4 m, 抛石厚度7.5~10.0 m, 爆夯面积7 276 m²。爆夯区周围环境一般, 500 m处有一滚装码头和候船大厅, 海内有个体户养殖的海虹、鱼、海带、扇贝等海中养植物。

1.2 工程地质条件

本区土层分布简单而有规律, 上部为滨海相沉积的软土, 厚度较大, 土质较软, 压缩性高, 工程地质性能较差; 其下为陆相冲洪积沉积

收稿日期: 2012-10-28

作者简介: 张学俊(1961—), 男, 高级工程师, 从事港口、航道及道路、桥梁工程施工管理。

的黏性土及砂层, 其层顶出露高程: 顺岸部分在-20.11 ~ -25.06 m, 突堤部分在-17.38 ~ -23.21 m 间变化, 沉积厚度大, 空间成层性好, 工程地质性质较好, 是该区可供选择的良好地基持力层。底部为强风化岩, 埋藏深度较大, 层顶出露高程在-47.63 ~ -55.50 m, 可利用性较小。

抛石基床下地基土为中粗砂层, 基床爆夯施工的边界条件为砂质软基。

2 基床爆夯参数设计^[1]

2.1 单药包药量

药包重量的选择是要确保有足够的能量来夯实基床, 使之达到设计的夯沉率。药包重量跟抛石基床的厚度有直接关系, 爆夯基床的厚度直接决定基床夯实所需的最小爆能。由于爆夯时边界条件和设计要求各不相同, 不能完全按照公式计算确定药量。实际施工选取单药包药量时, 可先根据经验和《水运工程爆破技术规范》推荐的公式确定初步的药量, 并选取试验段进行典型施工试验, 经“试验”和“分析”数据后, 再优化确定单药包药量。

2.2 药包布置

2.2.1 药包间、排距

因单药包对基床的作用能量呈球状散射, 故在每遍布药时宜取正方形网络布置, 同时在药包悬高一定的条件下, 爆破能量愈大, 作用在抛石体上的能量也越大, 单个药包影响的基床范围和深度也越大, 故布药间距和排距也应适当增大, 施工中间、排距一般取2 ~ 5 m, 分遍爆破时, 为了使抛石顶面平整, 各遍间药包采用插档布置。

2.2.2 起爆时药包中心至水面的垂直距离

爆夯施工时, 为了充分利用药包爆炸产生的能量, 药包顶面必须有一定深度的水体覆盖药包, 否则容易产生冲天炮, 能量利用大大降

低。起爆时药包中心至水面的垂直距离要满足下列要求:

$$h_1 \geq 2.32Q^{1/3} \quad (1)$$

式中: h_1 为药包中心至水面的垂直距离 (m); Q 为单药包药量 (kg)。

2.2.3 药包悬高

在药包重量一定的情况下, 药包悬高决定药包对抛石体的密实作用: 悬高越大, 作用于抛石体的能量越小; 反之, 作用于抛石体的能量越大, 但药包悬高离抛石体太近时, 药包对基床的作用半径小, 能量不利于分散, 易在基床上形成爆坑, 达不到密实基床的效果。正确选择药包悬高是合理利用能量的关键, 药包悬高要满足下列要求:

$$h_2 \leq (0.35 \sim 0.50) Q^{1/3} \quad (2)$$

式中: h_2 为药包悬高 (m), 即爆破夯实药包中心在石面以上的垂直距离; Q 为单药包药量 (kg)。

2.2.4 夯实遍数

为了降低能量损失, 更好地利用能量, 增强爆夯效果, 使爆后基床更加密实, 表面更趋于平整, 施工中采用多遍爆破夯实的方法, 夯实遍数一般取2 ~ 4。

2.3 基床爆夯参数确定

根据上述基本原理和计算公式, 结合其他工程有关经验数值及本工程的实际情况, 确定了初步的爆夯参数 (开始夯实率按10%考虑), 并选取杂货码头0+40 m ~ 0+80 m段基床进行了爆夯试验, 通过基床爆夯试验段的施工, 发现初步确定的爆夯参数不够合理, 并且爆夯检验标准改为夯沉率达到15%以上, 故对初步选取的爆夯参数进行了调整, 本工程最终选取的爆夯参数见表1。

按照调整后的参数进行施工, 杂货码头爆夯3遍, 集装箱码头爆夯4遍, 基床夯沉率皆能达到15%以上。

表1 基床爆夯参数

码头名称	区段	基床顶宽/m	布药宽度/m	基床厚度/m	单药包重/kg	吊高/m	药包排距/m	药包间距/m	夯实遍数	夯沉率/%
杂货码头	0+40 ~ 0+80 m	16.2	14	8.1	13	1.3	3.0	3.0	4	10
	标准段	16.2	14	5.6 ~ 6.4	18	0.9	4.0	3.5	3	15
集装箱码头	标准段	14.4	12	8.5 ~ 10.7	24	1.0	4.0	4.0	4	15

3 基床爆夯施工

软基边界条件下基床爆夯，其夯沉量包括两部分：块石基床本身的压缩量和软基部分的压缩量；而硬基边界条件下基床爆夯，其夯沉量只有块石基床本身的压缩量。这是两者的最大的区别。其次，从爆夯震动效果看，在同等爆夯参数的前提下，硬基边界的爆夯效果要好于软基边界。为了确定基床合理的夯沉率，抛石施工前，要在基槽软基的表面设置沉降观测盘，爆夯前后通过引出基床面的竖向测杆，观测软基的沉降量，并据此确定合理的夯沉率，这是软基边界条件下爆夯须注意的问题。

3.1 爆夯施工工艺流程

爆夯工艺流程为：药包加工→船舶定位→投放药包→网线连接→起爆→测量检测。

3.2 主要施工方法

3.2.1 药包加工

1) 药包：采用硝铵乳化炸药爆破，定做批量、不同重量的硬质塑料包装的药包，每个药包插入2发非电塑料导爆管雷管，将药包装入编织袋后扎紧袋口。

2) 配重：选用尼龙编织袋，以石块、石渣为原料做配重，其配重为药包重的1.5~2倍。

3) 浮漂：采用泡沫制品做浮漂，每个浮漂以

浮起药包为准，漂浮物泡沫塑料应与药包分开，并在药包50 cm以上，充分利用药包爆炸能量，避免基床隆起。药包、配重和浮漂连接见图1。

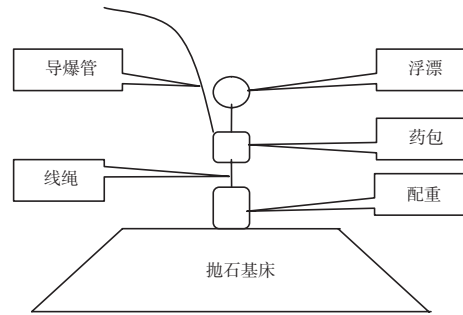


图1 药包配重浮漂连接

3.2.2 船舶定位

根据设计的正方形网格将药包的位置统一编号，并计算出平面坐标位置，现场用2台经纬仪采用前方交会法进行船舶定位。选用6 m×12 m铁驳船，前后八字锚定位移位，定位一次可同时布设5个药包。

3.2.3 投放药包

根据悬高将配重、药包、浮漂串联在一起，定好位置后将配重、药包、浮漂投入水下，如风浪较大，或海水流速较大可先下探杆导向，使配重、药包、浮漂沿探杆滑下，置于药包所在部位，分遍布药见图2。

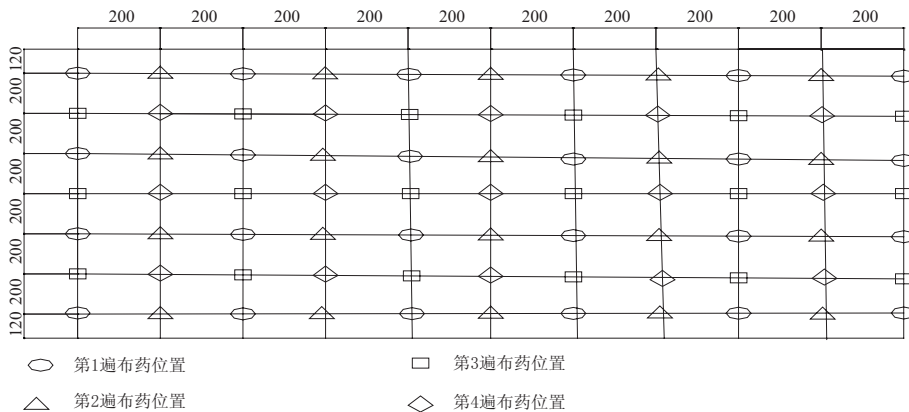


图2 集装箱码头分遍布药 (单位: cm)

3.2.4 网络连线

选用高能导爆管起爆网络起爆药包，为了增加药包的准爆率，每个药包插入2发非电塑料导爆管雷管，最后采用2个并联电雷管引爆，电雷管起

爆主导爆管，雷管脚线与起爆线相连，起爆线引至起爆器，采用高能起爆器起爆。

3.2.5 起爆

每个药包由2个非电雷管引爆，用塑料管做

导线, 导线长度根据水深确定, 一般以露出水面 2 m 为宜, 连接后引至陆地, 在岸上用起爆器由电雷管引爆。施工中根据安全操作规程确认无问题后, 由爆夯施工指挥下令起爆。

3.2.6 测量手段与检查方法

1) 爆夯段夯沉量测量。爆夯前后各测量 1 次, 每 3 m 一个断面, 2 m 一个点, 测量时方驳定位, 全站仪控制方驳位置, 采用长 22 m 双铝合金方管(74 mm × 74 mm)上部绑水准尺作测尺, 岸上水准仪观测。

2) 爆夯影响段基床、前后坑石渣和基槽后边坡测量。爆夯前后各测量 1 次, 每 5 m 一个断面, 2 m 一个点, 测量时方驳定位, 全站仪控制方驳位置, 水篮测深。

3) 潜水检查。每遍施爆后, 潜水检查基床顶部块石破碎情况、基床坡肩坍塌情况和基槽后边坡变动情况。

4) 软基沉降观测。埋设沉降观测盘, 爆夯前后各观测 1 次, 潜水配合, 水平仪观测测杆, 用于计算软基的沉降量(本工程埋设的 3 个沉降盘, 由于爆夯后损坏, 没能观测)。

5) 根据每段基床爆夯前后的沉降测量数据, 计算夯沉率, 夯沉率达到 15% 以上, 本段基床爆夯即可结束。如果达不到设计要求的夯沉率, 再爆夯一遍, 直至满足。

4 爆夯对周围环境的影响现场测试试验

4.1 爆夯振动对周围建筑物的影响现场测试试验^[2]

为检测爆夯对周围建筑物的影响程度, 烟台市地震局现场选择了岸堤、施工道路和保税区墙外 3 个检测条件较好的位置作为测试点, 3 点距爆源的距离分别为 522 m、942 m 和 1 127 m, 每个测点布设 3 台拾振器, 分别记录径向、切向和垂直向 3 个方向的振动分量。爆夯震动测试数据见表 2。

表 2 爆夯震动测试数据

测点	距离/ m	振动速度最大值/(cm·s ⁻¹)				对应的地 震烈度	震等级/ ML
		径向	切向	垂直向	合成值		
1	522	2.96	2.2	5.2	6.38	7	1.9
2	942	0.70	0.45	0.49	0.97	4	
3	1 127	0.56	0.42	0.28	0.75	4	

根据此次测试的振动速度分析, 可以推算在一次起爆总药量小于 990 kg, 距爆破中心 650 m 以外的振动速度将小于 4.5 m/s, 900 m 以外的振动速度将小于 1.0 m/s, 即爆破引起的振动不会引起 650 m 以外的钢筋混凝土结构房和 900 m 以外的各类建筑物产生损伤性影响, 烟台市地震局对此出具了检测报告。

4.2 爆夯振动对海上养殖生物影响现场试验^[3]

为了检测爆夯振动对海上养殖生物的影响, 爆夯施工时由农业部渔业环境监测中心黄渤海区监测站对附近海上养殖生物做了跟踪监测, 并出具了水下爆夯对海水养殖生物影响试验报告。

在距爆源 200 m 处悬挂养殖生产用的扇贝网笼, 笼中分别放置扇贝、贻贝, 沉入水下 1 m; 在距爆源 600 m 处, 置 3 个网箱(0.6 m × 0.6 m × 0.5 m), 网箱中分别放置黑鲷、鲈鱼、黑鲷, 在距爆源 2 000 m 处的养殖区设置对照组, 以同样方式放置相同数量的扇贝、贻贝和黑鲷、鲈鱼、黑鲷。爆夯时水温 25℃, 爆源在水下 13 m, 炸药量 480 kg。爆夯对海水养殖动物影响试验结果见表 3。

表 3 爆夯对海水养殖动物影响试验结果

组别	动物 名称	数量/ (粒、尾)	平均壳长/ cm	死亡率/%		
				爆炸后	爆炸后 24 h	爆炸后 48 h
试 验 组	扇贝	100	4.6 ± 0.2	1	1	3
	贻贝	99	5.5 ± 0.8	0	0	0
	黑鲷	47	5.6 ± 0.5	0	0	0
	鲈鱼	51	7.8 ± 2.0	0	0	0
	黑鲷	49	17.2 ± 1.4	0	0	0
对 照 组	扇贝	100	4.6 ± 0.2	0	0	3
	贻贝	100	5.5 ± 0.8	0	0	0
	黑鲷	50	5.6 ± 0.5	0	0	0
	鲈鱼	46	7.8 ± 2.0	0	0	0
	黑鲷	50	17.2 ± 1.4	0	0	0

通过试验发现, 在一次起爆总药量在 500 kg 条件下, 爆夯施工对周围海洋养殖生物的影响不大, 爆夯不会导致 200 m 以外的贝类和 600 m 以外的鱼类产生死亡现象。

5 爆夯实施效果

5.1 基床夯沉率^[4]

通过夯后测量计算, 每施工段基床夯沉

率均达到15%以上,其中杂货码头夯沉率在15%~21.88%,平均夯沉率为18.11%;集装箱码头夯沉率在15%~18.45%,平均夯沉率为16.78%;夯沉率均满足设计大于15%的要求。

5.2 工期

根据对实际爆夯工作日的统计,烟台三期工程基床爆夯总计用80个工作日,如果采用机械分层抛石分层夯实的施工工艺,按照2 m分一层计算,整个工程共需打夯面积7.5万m²,按照交通部水工定额规定的效率(8夯次、1.357台班/100 m²),每点8夯次,每天工作16 h,则需要施工期大约500 d,爆夯和机械夯相比,工期提前400多天,可以看出,爆夯工艺具有工期特别短的优点。

5.3 经济效益

基床爆夯结算单价为6.4元/m³,整个工程爆夯总费用为90万元。如果用打夯船施工,按照交通部水工定额规定的费用(8夯次、2 806.91元/100 m²),打夯面积7.5万m²的施工费用大约210多万,爆夯与机械夯实相比,费用节约100万元左右,爆夯的单价是机械夯的1/2左右,可以看出,爆夯具有造价低的优点。

5.4 码头沉降位移情况

烟台三期工程交工时的沉降位移情况是:杂货码头平均累计沉降量为22.7 cm,集装箱码头平均累计沉降量为19.7 cm,设计沉降量杂货码头为24 cm,集装箱码头为29 cm;杂货码头平均累计位移量为10.5 cm,集装箱码头平均累计位移量为9.5 cm,码头沉降、位移均在设计控制范围内。

6 结语

1) 爆夯密实基床施工技术在烟台港三期砂质软基中的应用是成功的。爆夯施工具有工期短、费用低、效果好的特点,建议在符合爆夯条件的码头基床密实施工中,应采用爆夯施工工艺。

2) 爆夯参数的选取至关重要,合理的爆夯参数是保证工程质量的前提。施工时应根据确定参

数的基本计算公式并结合施工经验确定初步的爆夯参数,之后进行爆夯典型施工,通过典型施工对初步选取的参数进一步优化,最后确定标准段的爆夯参数。

3) 软基边界条件下爆夯与硬基边界条件下爆夯相比,夯沉率明显偏大,硬基边界条件下夯沉率一般在12%左右,本工程砂基软基条件下,夯沉率在15%~21.88%,平均夯沉率也在17.45%,偏大的原因主要是爆夯震动瞬间也使基床下的软基得到了固结压缩,同时可能和软基接触的最下层块石部分挤入到软土中有关。

4) 爆夯后,通过潜水员水下对基床顶面的检查发现,基床表面石块比较松散,基床密实度达不到要求。另外,爆夯后基床平整度控制比较困难,若出现高点,给潜水作业带来较大工作量,影响工程进度。因此,爆夯后基床顶面高程要按负偏差控制,一般爆夯后基床顶面要留1 m左右的一层抛石体,爆夯后补抛块石,最后再用机械夯夯实、验收,这样即保证了顶面基床的密实度,又保证了基床没有高点。

5) 通过爆夯后测量发现,爆夯施工对相邻段30 m长基床沉降有影响,对10 m长范围内基床沉降影响较大。因此,施工时,观测基床夯前高程时应测出布药区以外至少30 m,计算相邻段爆夯沉降时要把影响的沉降量考虑在内。

参考文献:

- [1] JTS 204—2008 水运工程爆破技术规范[S].
- [2] 烟台地震监测中心. 烟台港三期工程爆夯震动测试报告[R]. 烟台:烟台地震监测中心, 1998.
- [3] 农业部渔业环境监测中心黄渤海区监测中心. 水下爆夯对海水养殖动物影响试验报告[R]. 青岛:农业部渔业环境监测中心黄渤海区监测中心, 1998.
- [4] 中交一航局二公司. 烟台港三期工程沉降位移观测资料[R]. 青岛:中交一航局二公司, 2001.

(本文编辑 郭雪珍)