



全侧向爆破挤淤快速筑堤技术 适用范围及施工参数优化

杨 峰¹, 刘 莉², 李瀚轩³

(1. 大连空港建设发展有限公司, 辽宁 大连 116000; 2. 大连市市政研究院有限公司, 辽宁 大连 116000;
3. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对现行爆破相关规范多局限于端部小断面爆破挤淤推进, 适用范围及施工参数取值已不能满足现有工程大断面、高效率、短工期的需要, 进行了全侧向爆破挤淤快速筑堤技术研究。采用直接抛填形成临时护岸加侧向爆破挤淤排石拓宽堤身的方式, 拓展了传统爆破挤淤筑堤技术的应用范围, 并通过现场试验优化施工参数取值, 提出了突破规范要求的爆破挤淤最低单耗限值和药包埋入深度限值。结果表明, 该方法对于堤坝断面宽度大于 30 m, 下卧淤泥土层厚度 5~18 m 较为合适, 处理 10~15 m 淤泥厚度效果最佳, 爆破单位体积淤泥所需药量可降至 0.23 kg/m^3 , 药包埋设高程可达到距淤泥底 1/3 厚度位置。

关键词: 快速筑堤; 爆破挤淤; 整体稳定性分析; 爆破参数

中图分类号: U 656.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0210-05

Application scope and construction parameter optimization of full lateral blast compaction rapid embankment construction technology

YANG Feng¹, LIU Li², LI Han-xuan³

(1. Dalian Airport Construction Development Co., Ltd., Dalian 116000, China;

2. Dalian Municipal Research Institute Co., Ltd., Dalian 116000, China;

3. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The current specifications of blast compaction are mostly applicable to small-section blasting at the end, the application scope and construction parameters can not meet the requirements of large section embankment, high efficiency and short construction period. To solve the problems, this paper researches on the full lateral blast compaction rapid embankment construction technology. By direct filling to form temporary revetment and full lateral blast filling rapid embankment construction technology, the scope of the specification can be expanded. By optimizing the construction parameters through field tests, the limits of minimum single consumption and embedment depth of blasting compaction are proposed to break through the specification requirements. The results show that the method is suitable for the embankment with the width of section larger than 30 m and the depth of the underlying silt layer is 5-18 m, the best effect is achieved for the treatment of the silt thickness of 10-15 m, the charge required for unit volume of blast compaction can be as low as 0.23 kg/m^3 , and the elevation of the charge embedding can reach the position 1/3 of the thickness from the silt bottom.

Keywords: rapid embankment; blast compaction; global stability analysis; blast parameters

收稿日期: 2022-02-01

作者简介: 杨峰(1969—), 男, 高级工程师, 从事机场工程建设与施工管理。

1 概述

1.1 工程概况

依托大连某项目西斜坡护岸工程, 该工程位于大连金州湾中部至湾底, 工程位置见图 1。

护岸工程设计方案^[1]为: 先期通过陆上推进的方式直接回填开山石形成 45 m 围堰, 形成临时

护岸; 后期进行海侧 15 m 的堤心爆破挤淤, 处理土层为表层的淤泥层, 厚度约 9~16 m, 该土层具有高含水量、高压缩性、高灵敏性特点, 工程性质极差, 其下分布厚约 9~13 m 硬塑黏土层, 工程性质较好, 爆破挤淤形成的永久护岸堤身坐落在该黏土层上。西斜坡护岸典型断面见图 2。



图 1 工程位置

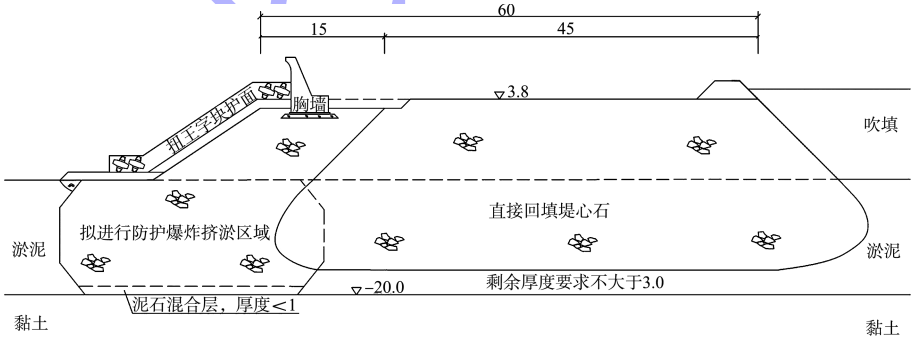


图 2 西斜坡护岸典型断面 (单位: m)

1.2 传统抛石爆炸挤淤技术

传统爆破挤淤技术始于 20 世纪 30 年代, 60 年代引入我国。该技术以淤泥、混合石料为对象, 通过爆破的方法清除淤泥, 实现石料置换基底淤泥, 达到改良软土地基的目的。爆破挤淤技术常用于防波堤、护岸、沿海贮灰围场、大型沉箱码头等工程的软基处理, 是一项成熟且不断发展完善的技术。该技术存在如下缺点: 所需石料较多; 爆破次生危害不可避免; 质量控制方法及

标准尚不完善; 爆破后内外侧淤泥包的清理及堤身理坡工作量较大。

JTS 204—2008《水运工程爆破技术规范》^[2]对爆破挤淤填石技术进行了详细规定, 发布距今已有十余年, 期间随着工程实践的推进, 对爆破挤淤置换机理认识逐渐加深, 新的施工方法不断涌现, 规范中某些原有的取值方式不能很好地满足现有工程施工要求, 如处理深度和施工参数等。传统爆炸挤淤断面见图 3。

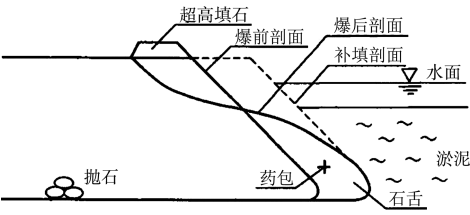


图3 传统爆炸挤淤断面

1.3 全侧向爆破挤淤快速筑堤技术

常规的爆破排淤填石法形成抛石堤施工程序一般要经过端部推进排淤、侧爆拓宽排淤落底、爆夯形成平台及堤心断面等3个过程，在实际施工过程中，由于该法需先进行端爆施工以清除堤身以下淤泥，再抛填形成堤身，最终进行多循环侧爆施工形成护岸，爆破和回填的作业量大，工程推进相对缓慢^[3]。

在分析常规爆破挤淤设计和施工方法的基础上发现，堤身的稳定性主要与护岸前部地基承载力相关，根据对边坡稳定性的影响因素分析可知，其坡前稳定性主要与边坡前部一定深度以下土体的稳定性有关，影响其抗滑力的主要因素是滑弧面上土体的强度性质，即只要堤坝本身的滑动稳定性能满足要求，堤坝后方的淤泥未必需要全部清理掉，在护岸后方的抛填层后仍然可以保留一定厚度的淤泥层^[4]。在该思想的指导下，提出“全侧向爆破挤淤快速筑堤技术”这一全新的筑堤设计和施工思路，主要工序为：抛填形成临时护岸——全侧向爆破挤淤排石拓宽堤身——爆挤堤脚落底。该技术可以极大减少爆破作业的次数，提高施工效率，取得良好的经济效益。

2 适用范围

2.1 设计工况

该工程西斜坡护岸形成过程中，包含以下3种关键工况：

1)直接回填45 m护岸堤心形成临时护岸过程中，由于直接回填堤心无法控制堤心落底深度，需进行施工工况稳定性验算，取设计低水位，施工均载5 kPa。

2)全侧向爆破挤淤推进过程中，选取推进5、10 m两种情况进行验算，取设计低水位，施工均载5 kPa。

3)堤角落底后形成最终断面，取最终堤坝堤脚落底后的最终断面形式，荷载考虑短暂组合和持久组合进行设计计算。

2.2 整体稳定性分析

针对上述3种典型设计工况，利用《港口工程地基计算系统(2008版)》分别对西护岸4个典型断面(西2+000、西3+250、西3+497、西4+500)进行全侧向爆破挤淤方案整体稳定性分析，均布荷载20 kPa，施工荷载5 kPa，垂直地震系数0.319，水平地震系数0.210。材料参数见表1，典型断面整体稳定系数计算结果见表2。

表1 材料参数

材料	水上密度/ (t·m ⁻³)	水下密度/ (t·m ⁻³)	$\varphi/(^{\circ})$	c/kPa
爆炸挤淤块石	1.7	10	45	0
开山石	1.7	10	40	0
胸墙混凝土	2.4	14	-	-

表2 典型断面整体稳定系数计算结果

工况		西 2+000	西 3+250	西 3+497	西 4+500
工况1	直填45 m堤心	1.263	1.308	1.010	1.172
	侧爆推进5 m	1.292	1.407	1.137	1.072
工况2	侧爆推进10 m	1.334	1.430	1.393	1.103
工况3	短暂组合(结合快剪指标)	1.133	1.482	1.734	1.284
	持久组合(考虑地震工况)	1.058	1.158	1.614	1.026

综合4个典型断面3种不同工况下的计算结果，验证了影响全侧向爆破挤淤方案整体稳定性的主要因素为滑弧面上土体的强度性质，如在直填堤心下保留一定厚度的淤泥层，整体稳定性计算结果可满足现行设计规范要求。

2.3 全侧向爆破挤淤快速筑堤技术适用范围

经工程实践结合上述理论分析，全侧向爆破挤淤技术针对堤坝宽度30 m以上断面尺度、堤坝下卧淤泥土层厚度5~18 m较为合适，淤泥质土一般要求孔隙比在1.0~1.5，土体含水率要求不小于土体液限指数。通过现场钻孔检测分析，处理10~15 m淤泥厚度效果最佳。

3 施工参数优化试验

3.1 优化研究方向

全侧向爆破挤淤与常规爆炸排淤填石筑堤施工的根本性区别在于不进行端爆施工, 只进行侧爆拓宽, 排淤方向少, 施工迅速, 成堤速度快^[5-6]。本次试验段施工主要针对抛填推进参数、爆破药量参数及插药深度等方面进行试验优化。根据现场地质情况, 共选取 4 个典型代表段落进行试验性施工, 分别为西 1+800—西 1+900、西 3+150—西 3+200、西 4+872—西 4+972、西 5+240—西 5+340。采用钻孔探摸法检验侧爆后施工断面是否达到设计要求。上部抛石层采用回转钻进工艺;

进入块石混淤泥层后, 采用无水钻进工艺。

3.2 施工试验过程

3.2.1 西 5+240—西 5+340 试验段

根据规范及相关数模分析结果确定首次侧爆参数^[7], 见表 3。试验段施工完成后, 检测结果显示, 各个钻孔检测结果均符合设计要求, 且块石混淤泥层厚度远远小于设计图纸要求, 根据西 5+240—西 5+290 段钻探结果及获取的芯样分析, 总结得出爆炸挤淤的单孔药量偏大、成本较高^[8]。下一试验段考虑以减小炸药单耗值降低全侧向爆炸挤淤的单孔药量。堤身侧爆断面及药包排布见图 4、5。

表 3 各试验段侧爆爆炸参数									
试验段	堤顶爆前 抛填高程/m	堤顶爆前抛 填加载高程/m	1 次处理 长度/m	药包间 距/m	单药包 质量/kg	药包埋设 高程/m	药包与堤头前泥 石交界处距离/m	1 次爆炸药 包个数	1 次爆炸用 炸药质量/kg
第 1 段	3.8	5.3~5.8	50	2	48	-12.0	1~2	26	1 248
第 2 段	3.8	5.3~5.8	100	2	36	-11.0	1~2	51	936
第 3 段	3.8	5.3~5.8	50	4	92	-12.0	1~2	13	1 196
第 4 段	3.8	5.3~5.8	100	3	96	-18.0	1~2	34	3 264

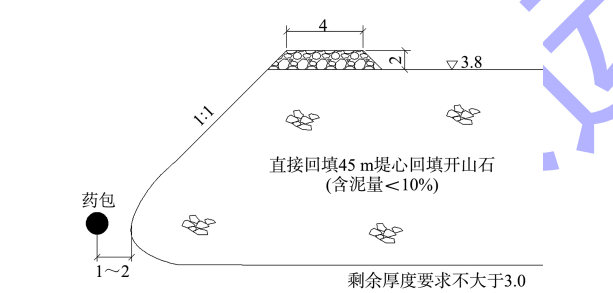


图 4 堤身首次侧爆断面 (单位: m)

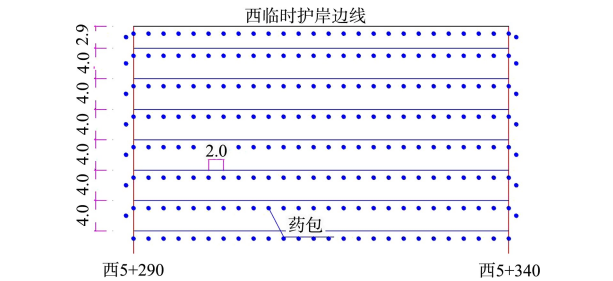


图 5 第 1 试验段堤身侧爆推进药包排布 (单位: m)

3.2.2 西 4+872—西 4+972 试验段

在第 1 试验段基础上, 进行西 4+872—西 4+972 段试验施工, 药包间距调整为 2 m, 单药包质量调整为 36 kg, 埋深-11 m, 参数见表 3。第 2 段试验段施工完成后, 检测结果显示, 各个钻孔检

测结果均符合设计要求。

3.2.3 西 3+150—西 3+200 试验段

由于第 1、2 试验段总施工时间较长, 进度较慢, 决定在第 3 段试验段施工中, 适当放大布药间距, 现场单次推填步距最大取 5 m, 布药间距取 4 m。参数见表 3。检测结果显示, 3 个钻孔中, 仅与临时护岸相邻孔位混合层厚度符合设计要求, 其余 2 孔混合层厚度大于 1 m, 不符合设计要求。分析第 3 试验段检测结果, 布药间距 4 m 使药量过于集中, 加之布药偏位, 致使爆炸形成的空腔不连续、不均匀, 导致爆炸未能实现试验目标, 决定对本次施工的永久护岸区域进行挖除返工。

3.2.4 西 1+800—西 1+900 试验段

总结第 3 试验段经验, 现场单次推填步距最大取 5 m, 布药按 3 m 间距进行组织施工, 参数见表 3。检测结果显示, 第 4 试验段钻孔检测结果均符合设计要求。

3.3 小结

试验段施工结果验证了全侧向爆炸挤淤筑堤方案是可行的, 通过多次试验参数比选, 最终选取 0.23 kg/m³单耗药量、5 m/次推填步距、靠近堤

身 1~2 m 进行钻孔装药作业、药包埋设高程距淤泥底 1/3 厚度位置作为大范围施工参数。该施工工艺能够确保达到设计及规范要求的堤身落底宽度、深度及外形轮廓线。

4 结论

1) 全侧向爆破挤淤技术适合堤坝宽度 30 m 以上断面尺度, 堤坝下卧淤泥土层厚度 5~18 m 较为合适, 淤泥质土要求孔隙比在 1.0~1.5, 土体含水率要求不小于土体液限指数。通过现场钻孔检测分析, 处理 10~15 m 淤泥厚度效果最佳。

2) 突破了规范要求的爆破挤淤最低单耗限值 0.30 kg/m^3 。根据施工试验段钻探结果及获取的芯样分析, 以减小炸药单耗值来降低全侧向爆炸挤淤的单孔药量, 爆除单位体积淤泥所需的药量可调整为 0.23 kg/m^3 。

3) 突破了规范要求的爆破挤淤药包埋入深度限值 $0.55H_{\text{mw}}$ (计入覆盖水深的折算淤泥厚度)。按照 5 m/次推填步距, 靠近堤身 1~2 m 进行钻孔装药作业, 药包埋设高度可达到距淤泥底 1/3 厚度位置。

4) 全侧向爆破挤淤快速筑堤技术对加快围堤、

填海施工速度, 降低工程投资, 对施工参数的优化和突破亦可为后续相关工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 防波堤与护岸设计规范: JTS 154—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [2] 长江重庆航道工程局. 水运工程爆破技术规范: JTS 204—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [3] 中交第一航务工程局有限公司, 福建省交通基本建设工程质量监督检测站. 水运工程质量检验标准: JTS 257—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [4] 刘阳. 爆破挤淤堤稳定性计算方法的适用性[J]. 水运工程, 2018(6): 170-174.
- [5] 刘旭, 尹昆昆. 爆炸挤淤全侧爆与堤头爆施工技术[J]. 水运工程, 2017(S2): 47-50, 82.
- [6] 张卫民. 爆破挤淤堤技术在深厚淤泥中的研究与应用[J]. 港口科技, 2014(12): 16-20.
- [7] 崔激, 宋慧芳, 张社荣, 等. 爆炸荷载作用下土中爆坑形成的数值模拟[J]. 岩土力学, 2011, 32(8): 2523-2528.
- [8] 钱七虎, 王明洋. 岩土中的冲击爆破效应[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010. (本文编辑 王传瑜)

(上接第 151 页)

2) 通过增设葛洲坝一号闸上游靠船设施, 改善上游靠泊条件, 可缩短一号闸特殊闸次和下行换上行后第一个闸次的间隔时间, 从而提高单位时间内过闸次数, 提高葛洲坝一号闸货运通过能力。

3) 枯水期和洪水期对三峡船闸通航影响较小, 但对葛洲坝船闸通航影响较大。随着三峡上游乌东德、白鹤滩梯级水电站的陆续完工, 三峡—葛洲坝枢纽入库、出库流量调控能力得到较大提高, 使得枯水期和洪水期葛洲坝船闸通航条件的改善成为可能, 可进一步提高葛洲坝船闸货运通过量。

参考文献:

- [1] 张绪进, 吴澎, 王召兵, 等. 三峡新通道研究进展及主要技术问题[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(S1): 33-40.
- [2] 邹静, 余金燕, 朱晶晶. 船舶积压常态化下的三峡枢纽

- 挖潜扩能措施研究[J]. 中国水运, 2019(10): 19-20.
- [3] 钮新强. 长江黄金水道建设关键问题与对策[J]. 中国水运, 2015(6): 10-12.
- [4] 谢五洲, 邓洋凡. 三峡枢纽物流瓶颈破解之道[J]. 合作经济与科技, 2018(22): 90-92.
- [5] 吴蓉, 杨利, 胡赛军. 三峡—葛洲坝枢纽水运新通道联合运行方式研究[J]. 中国水运, 2020(12): 95-97.
- [6] 刘春泽, 曹凤帅, 唐颖, 等. 葛洲坝枢纽船闸扩能工程平面尺度方案对比[J]. 水道港口, 2020, 41(2): 172-178.
- [7] 范高峰, 王伟胜, 刘纯, 等. 基于人工神经网络的风电功率预测[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 118-123.
- [8] 李焕荣, 王树明. 一种改进的 BP 神经网络预测方法及其应用[J]. 系统工程, 2000, 18(5): 76-78.
- [9] 翟征秋, 程林, 宋效第, 等. 基于卷积神经网络的防坡堤施工沉降预测[J]. 水运工程, 2021(8): 202-206, 219.
- [10] 蒋建平. 基于 BP 神经网络的横向往受荷桩承载力预测[J]. 水运工程, 2017(1): 158-163. (本文编辑 王传瑜)