

文章编号:1673-0062(2016)01-0093-06

爆炸挤淤法在惠州某海域码头软基处理工程中的应用

姚东^{1,2}, 王忠康¹, 杨仕教^{1*}, 郑建礼²

(1.南华大学核资源工程学院,湖南衡阳421001;2.广东锡源爆破工程有限公司,广东惠州516000)

摘要:爆炸挤淤具有施工简便、工期短、投资省等优点,在码头护岸工程淤泥质软基处理中得到广泛应用.本文以惠州某海域码头一期工程为研究对象,根据工程特点和淤泥的物理力学性质,设计了该工程的爆炸挤淤方案及工艺参数.施工质量检测表明:爆炸挤淤软基处理满足工程设计要求,安全性好.

关键词:码头工程;爆炸挤淤;软基处理;爆炸参数

中图分类号:TU471.8 **文献标识码:**B

Application of Explosive Compaction in Soft Foundation Treatment Engineering of Sea Dock in Huizhou

YAO Dong^{1,2}, WANG Zhong-kang¹, YANG Shi-jiao^{1*}, ZHENG Jian-li²

(1.School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2.Guangdong Xiyuan Blasting Engineering Group Co., Ltd, Huizhou, Guangdong 516000, China)

Abstract: Explosive compaction has advantages of simple construction, shortening the construction period, saving investment and so on, which is widely used in soft ground treatment in the muddy revetment engineering. According to engineering characteristics and physical and mechanical properties of muck, this paper took the first-stage project of a sea dock in Huizhou as an example, and designed the technological parameters and explosive compaction scheme. The survey of construction quality made it clear that the technique of soft ground treatment applied in explosive compaction project met the requirements of engineering design and safety.

key words: wharf engineering; explosive compaction; soft ground treatment; explosion parameters

收稿日期:2015-09-28

基金项目:湖南省教育厅科研基金资助项目(14C0959);湖南省研究生科研创新基金资助项目(2015SCX14)

作者简介:姚东(1990-),男,湖南常德人,南华大学核资源工程学院硕士研究生.主要研究方向:岩土及爆破工程.

* 通讯作者.

0 引言

国外早在 20 世纪 30 年代就开始运用爆炸挤淤法来处理土软基^[1],国内直到 20 世纪 80 年代中国科学院、连云港建港指挥部等 4 家单位共同合作,成功地将爆炸挤淤法运用于连云港海上筑堤工程中.随后爆炸挤淤法在惠州港兴盛油库护岸工程、深圳港大铲湾围堤工程、浙江漩门三期围垦项目、珠海 LNG 接卸站码头陆域形成工程护岸及软基处理工程等数十项工程中得到了很好的利用^[2-5].爆破挤淤技术作为挤淤置换法的一种,近年来得到了迅速的发展.随着学者研究的深入,爆炸挤淤法处理淤泥的厚度由原来的 12 m 提高到现在的 45 m.爆炸挤淤法与常规处理淤泥的施工工艺相比,人力消耗少,施工技术简单,且不需要大型施工机械.在核工业、机场、港口、铁路和高速公路等建设工程中得到了充分利用.较之常规的换填法,具有显著的经济效益.

爆炸挤淤的关键在于爆炸方案与爆炸参数的设计.本设计依据土工计算原理和工程实际情况,通过理论分析,设计爆炸方案,确定最合适的抛填高度和抛填范围,计算爆炸参数,并在施工过程中对爆炸效果进行实时监测,不断优化和控制爆炸参数,获得了较为理想的效果.

1 工程概况

某海域码头一期工程主体结构分为码头工程和护岸工程两大部分,工程总平面布置示意图如图 1.护岸工程主要采用爆炸挤淤处理软基,护岸工程分为西护岸南段、西护岸中段、西护岸北段、北护岸、东护岸北段和东护岸南段六个部分,总长 2 983.00 m,筑堤顶宽为 7.50 m,淤泥顶面高程为-2.72~2.67 m,待处理淤泥质粘土等软弱土层厚度约为 8 m,其中有 2710.60 m 采用爆炸挤淤处理软基,其余 272.40 m 在基岩上或淤泥厚度很小,采用直接抛石挤淤,最后形成陆域高程+6.00 m.断面结构如图 2 所示.

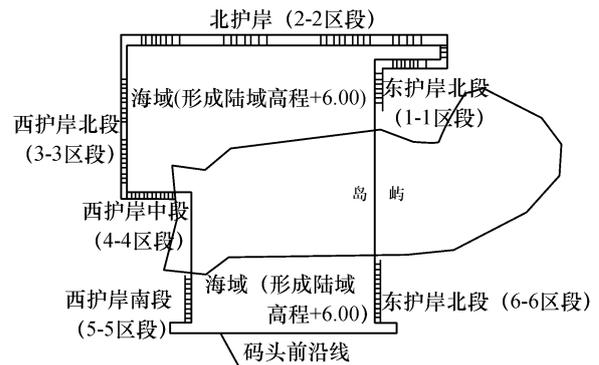


图 1 工程总平面布置图

Fig.1 General layout diagram of the engineering

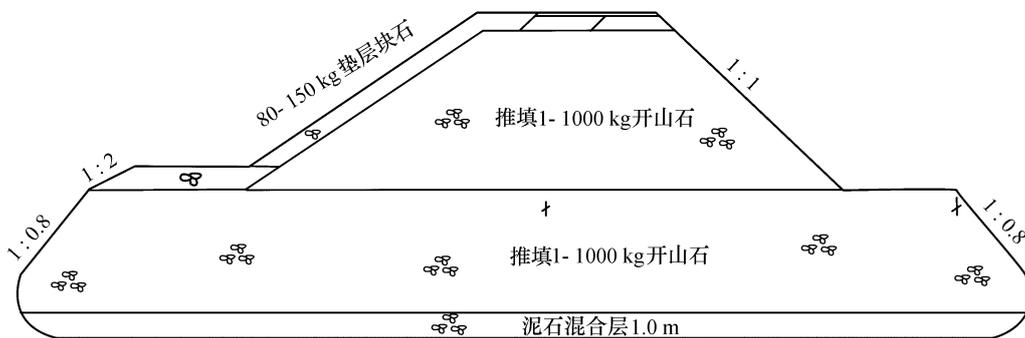


图 2 结构断面图(单位:高程为 m,其他值为 mm)

Fig.2 Sectional view of structure

2 爆炸挤淤方案设计

2.1 施工方案设计

爆炸挤淤处理码头护岸工程淤泥质软基是通过不断的循环抛石和爆炸来实现的,本次工程施工的主要工序包括测量放线、堤身抛填、堤头爆炸、堤身循环抛填、侧向爆炸等 5 个步骤,顺序进

行,具体的施工工序流程如图 3 所示.

1) 测量放线.根据工程特点和施工方案确定坐标控制点和水准点,并实地测量放线,设立辅助施工基线及施工水准.点线位置选择在不受施工干扰、牢固可靠、通视条件好且便于控制的地方.

2) 堤身抛填.严格按施工组织设计确定的抛填宽度和高度进行堤身抛填.

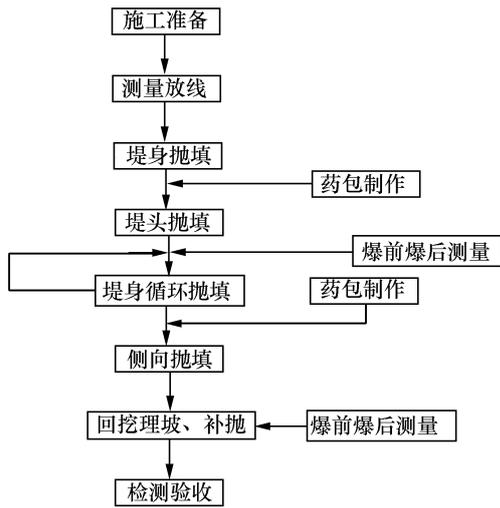


图 3 爆炸挤淤法施工工序

Fig.3 Process of explosive compaction construction

3) 堤头爆炸.当堤身抛填达到设计参数后,按设计文件要求的数量和重量制作药包,在堤头前面布设群药包,实施堤头爆炸.

4) 堤身循环抛填.堤头爆炸后补抛并继续向前推进,当抛填达到设计进尺和高度后,再次在泥中埋炸药爆炸,“抛填—爆炸—抛填”循环进行.

5) 侧向爆炸.为减少爆破作业对抛填的影响,参考爆炸挤淤在多个工程的成功经验,将两侧爆炸和堤头爆填平行进行,即堤头爆炸时除在堤头前面泥中布设炸药包外,在堤的两侧跟进布置侧爆药包,可保证侧爆药包的埋深,有利于控制堤两侧平台的宽度和厚度.

2.2 爆炸参数设计

1) 淤泥物理力学参数

本护岸部分断面拟置换土层主要为淤泥、粉质粘土和全风化凝灰岩,土层力学性能参数见表 1.拟置换土层底部有 1.8~5.8 m 厚的淤泥质土或 1.3~5.0 m 厚的淤泥混砂.通过十字板剪切试验淤泥的原状土强度平均值为 8.99~14.93 kPa,液限指数为 1.82,流动性尚可.但由于有一定的埋深,增加了挤出的困难,应充分重视.

表 1 淤泥力学性能参数

Table1 Mechanical parameters of mud

土层	含水率 /%	孔隙比	液限 /%	塑限 /%	直剪凝聚力/kPa	直剪摩擦角/(°)	固结快剪凝聚力/kPa	固结快剪摩擦角/(°)
淤泥	70.6	1.921	51.6	28.2	6.2	2.4	3.7	14.8
粉质粘土	25.6	0.732	31.4	18.8	30.2	8.3	21.1	17.3
全风化凝灰岩	27.2	0.82	30.2	18.9	19.2	26.4	28.2	30.7

2) 爆炸参数设计

本工程爆炸参数按“控制加载爆炸挤淤置换法”的计算方法进行计算,并参考类似工程的施工经验进行适当调整后综合得出^[2,6-8].“控制加载爆炸挤淤置换法”计算爆炸参数的步骤如下:

(1) 堤身自重挤淤深度 D_0 (m).根据设计的堤身抛填高度和堤身抛填宽度,按式(1)计算:

$$D_0 = [(2 + \pi)C_u + 2\gamma_s D_0 + (4C_u + \gamma_s D_0)D_0/B + 2\gamma_s D_0^3/(3B^2)]/\gamma - h \quad (1)$$

(2) 堤头爆破下沉平均高度 D_1 (m).根据堤身自重挤淤深度和设计挤淤置换深度按式(2)计算:

$$D_1 = K_1(D - D_0) \quad (2)$$

式中, K_1 为经验系数,一般为 0.2~0.6,本文取 0.4, D 为设计挤淤置换深度(m), D_0 同式(1).

(3) 单药包重量 Q (kg).根据单次爆炸的抛填进尺按式(3)计算:

$$Q = K_2 b D_1^2 \quad (3)$$

式中, K_2 为经验系数,一般为 0.2~0.4,本文取 0.3, b 为设计的单次爆炸的抛填进尺,7~9 m, D_1 同式(2).

(4) 堤头爆填药包间距 a (m).根据单药包重量按式(4)计算:

$$a = 1.4 \cdot K_3 \cdot (0.062Q^{1/3}) \quad (4)$$

式中, K_3 为经验系数,一般为 8~12,本文取 10, b 为设计的单次爆炸的抛填进尺,7~9 m, D_1 同式(2).

(5) 堤头爆填布设的药包个数 M (个).药包的个数 M 应满足式(5)要求:

$$M = M_1 + M_2 \quad (5)$$

式中, M_1 为堤头前面所布设的药包的个数, M_2 为堤头两侧所布设的药包的个数. M_1 和 M_2 应分别满足式(6)和式(7)要求.

$$M_1 = \text{int}[K_4(B + B_m)/a] + 1 \quad (6)$$

$$M_2 = 2\text{int}[K_5 b/a] \quad (7)$$

式中, B 和 B_m 分别为堤顶宽度和堤身在泥面处的宽度(m),按表 2 计算确定; K_4 和 K_5 为经验系数,分别

为(0.4~0.8)和(1.0~1.5), K_4 取0.6, K_5 取1.25.

表2 护岸堤头抛填参数

Table 2 Parameters of the revetment dike head thrown filling

区段	抛填 进尺/m	爆前堤顶 高程/m	爆前堤顶宽度/m		爆后堤顶 高程/m	爆后堤顶宽度/m	
			外侧	内侧		外侧	内侧
1-1	7-9	>+5.5	13.0	10.0	+3.5	3.0	5.0
2-2	6-8	>+5.5	17.0	13.0	+3.5	3.0	5.0
3-3	8-9	>+5.0	11.0	8.0	+4.0	3.0	5.0
4-4	8	>+5.5	11.0	8.0	+4.0	3.0	5.0
5-5	6-8	>+6.0	12.0	10.0	+4.0	3.0	5.0
6-6	7-8	>+5.5	13.0	9.0	+4.0	3.0	5.0

计算获得的护岸堤头爆炸参数单药包重、药包间距、药包个数、药包埋深、单炮药量见表3,计算获得的护岸侧向爆炸参数单药包重、药包间距、药包个数、药包埋深、单炮药量见表4.

表3 护岸堤头爆炸参数

Table 3 Parameters of the revetment dike head blasting

区段	单药包重/kg	药包间距/m	药包个数/个	药包埋深/m	单炮药量/kg
1-1	23	2.5-3.5	10	>4.5	240
2-2	35	2.5-3.5	15	>6.5	420
3-3	28	2.5-3.5	12	>5.0	336
4-4	27	2.5-3.5	12	>5.5	360
5-5	33	2.5-3.5	12	>7.0	432
6-6	28	2.5-3.5	12	>5.0	336

表4 护岸侧向爆炸参数

Table 4 Parameters of the revetment lateral blasting

区段	一次处理长度 /m	单药包重量/kg		药包埋深 /m	药包间距 /m
		外侧	内侧		
1-1	30-60	18	-	>4.0	3.0
2-2	30-60	16	-	>3.0	3.0
3-3	30-60	12	-	>3.0	3.0
4-4	30-60	18	-	>4.0	3.0
5-5	30-60	18	-	>4.0	3.0
6-6	30-60	16	-	>3.0	3.0

3) 爆破网路设计

根据防水、安全及环境保护的需要,炸药采用袋装乳化炸药,为保证药包重量误差和使用方便,药包按设计单药包重量在炸药厂定做,采用液压履带式装药机进行布药,见图4.

药包起爆体用导爆索制作,导爆索的两端用防水胶布密封,将一端按15 cm长“之”字形折叠8~10折,防水胶布绑扎两道,形成起爆体,用木制炮棍将其插入袋装药包的中心,袋口用麻绳扎紧.导爆索采用搭接,搭接长度不小于15 cm,搭接处用电工胶布绑扎结实,禁止打结或打圈.起爆导爆索应采用两发同厂、同批号的非电雷管起爆,分段

段差不小于110 ms.爆破网路图如图5所示.



图4 液压履带式装药机

Fig.4 Charging with hydraulic crawler type machine

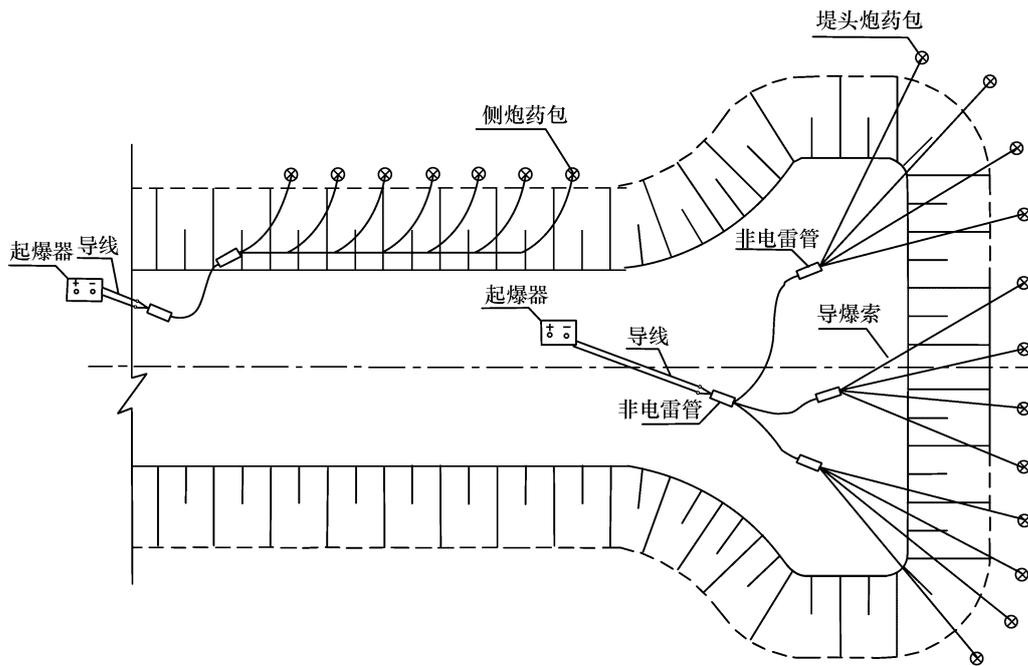


图5 爆破网路示意图

Fig.5 Blasting network diagram

3 爆炸效果

爆炸效果主要由爆堆的形状、规格,爆堆的密实度和均匀程度,爆炸的安全性等方面确定。为达到工程要求,必须进行严格的质量检测。其中,爆炸挤淤抛石落底深度和落底宽度是保证围堤稳定的重要指标,直接影响围堤的稳定性,爆破挤淤抛石堤检测方法有体积平衡法、钻孔探摸法、探地雷法、地震映像法、瑞雷波法等,本工程采用体积平衡法进行质量检测,同时辅以钻孔检测进行校核^[9-14]。

1) 体积平衡法:统计方量并测量爆炸处理后的堤身断面,按堤头炮位约90 m一段计算出实际抛填方量和设计断面方量的差别,推算堤身落底深度。统计分析结果表明,西护岸南段堤心石抛填比系数约为0.95,西护岸中段堤心石抛填比系数约为0.96,西护岸北段堤心石抛填比系数约为0.93,北护岸堤心石抛填比系数约为0.92,东护岸北段堤心石抛填比系数约为0.95,东护岸南段堤心石抛填比系数约为0.95,平均各断面实际抛填方量占设计方量的92%以上,高于可靠指标90%,同时断面形成也比较完整,施工质量较好地满足了设计要求。

2) 钻孔探摸法:钻孔桩号具体位置为业主或

监理指定位置,钻孔通过抛石体并深入下卧持力层2 m及以上,直接探明抛石体置换淤泥的落底状况,揭示抛填体的厚度、混合层厚度。检测结果表明,各护岸施工质量合格,抛石的密实程度较好,护岸底部抛石淤泥混合层平均厚度在1 m左右;护岸外侧侧爆效果较好,石料落底宽度、堤身爆填落底达到设计要求,达到了节省投资和保证安全的工程目的。

爆炸挤淤法处理该码头工程淤泥软地基,保证了各护岸堤身的落底宽度和深度,完成了深厚淤泥的完全置换,并形成宽压脚平台,解决了水下宽平台的完整形成问题,提高了护岸抵御附加应力的能力。在较深的淤泥处,采取增加抛填和挤淤次数的措施,使整个堤身的月累计沉降量维持在20 mm左右。

4 结论

1) 爆炸挤淤处理深淤泥地基可节省投资和缩短工期,具有广泛的应用前景。

2) 在施工过程中,爆破参数和抛填参数是爆破挤淤施工中相互联系而又相互制约的两个重要方面。应根据断面形式和淤泥厚度的不同,选取相应的爆破参数及抛填参数,并根据现场施工的具体情况优化和调整。

参考文献:

- [1] 余海忠,胡荣华.爆破挤淤技术的研究与应用现状[J].施工技术,2009,38(S2):1-5.
- [2] 徐学勇,武金贵,程康.深厚淤泥爆破挤淤软基处理技术[J].爆破,2011,28(2):93-95.
- [3] 张明鸣,徐卫亚,夏玉斌,等.抛石挤淤机理及其颗粒流数值模拟研究[J].中南大学学报(自然科学版),2010,41(1):310-315.
- [4] 陈盼,李永和,王吉利,等.爆炸挤淤作用对海相软黏土压缩特性的影响[J].岩土力学,2012,33(S1):49-55.
- [5] 冯谦,徐学勇,黄强.复杂环境下爆破挤淤软基处理技术应用研究[J].爆破,2013,30(2):150-153.
- [6] Qu J T, Ran Z H, Miao S. Explosive compaction of sand foundation: in situ trials[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 147: 176-182.
- [7] Zhang J X, Wang X G, Chen S W. The application of new blasting technique on the replacement of soft silt foundation by rock filling[J]. Advanced Materials Research, 2011, 383-390: 1725-1729.
- [8] Lei W. Geotechnical engineering and engineering practice in artificial filling[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 152-154: 720-722.
- [9] 余海忠,刘国楠,徐玉胜.抛石挤淤成堤断面形态研究[J].中国铁道科学,2011,32(3):1-7.
- [10] 李涛,宋月光.爆炸排淤填石坝的稳定性分析[J].岩土力学,2008,29(4):1127-1132.
- [11] Gohl W B, Jefferies M G, Howie J A. Explosive compaction: design, implementation and effectiveness [J]. Geotechnique, 2000, 50(6): 657-665.
- [12] 崔广强,常方强.深厚淤泥爆炸挤淤填石围堤沉降分析[J].河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(3):55-57.
- [13] 徐学勇,陈国海,汪稔,等.深厚淤泥爆破挤淤堤坝沉降计算与分析[J].岩土力学,2014,35(增2):364-369.
- [14] Song B H, Wang C M, Chen J H, et al. Program design of soft foundation treatment for an accommodation highway[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 744-746: 1277-1282.