



关于规范中爆破排淤填石的爆破设计 若干问题探讨

张建勋^{1,2}, 汪旭光³, 黄良材⁴

(1. 北京科技大学, 北京 100080; 2. 中科院力学研究所中科力爆破公司, 北京 100080; 3. 北京矿业研究总院, 北京 100044; 4. 广东金东海集团有限公司, 广东 汕头 515041)

摘要: 以试验数据为依据, 对爆破排淤填石的机理深入分析, 进而剖析爆破设计参数的内涵, 并对其不足之处进行讨论, 通过算例结果指出设计参数的适用情况, 供工程技术人员在设计、施工时参考。

关键词: 规范; 爆破排淤填石机理; 施工工艺; 爆破参数

中图分类号: O 389

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2010)06-0027-03

Discussion about problems concerning design of compaction by blasting in the code

ZHANG Jian-xun^{1,2}, WANG Xu-guang³, HUANG Liang-cai⁴

(1. Beijing University of Science and Technology, Beijing 100080, China; 2. Institute of Mechanics Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China; 4. Guangdong Gold East Sea Engineering Company, Shantou 515041, China)

Abstract: Based on the experimental data, this paper analyzes the mechanism of compaction by blasting, probes into the content of design parameters of blasting, and discusses the defects of it. By analyzing the result of an example, it points out the applicable conditions of the design parameter, to serve as reference for the design and construction.

Key words: code; mechanism of compaction by blasting; construction technology; blasting parameter

自 JTJ/T 258—1998《爆炸法处理水下地基和基础技术规程》(简称规程)实施, 至 JTS 204—2008《水运工程爆破技术规范》(简称规范)施行, 规程和规范为爆破排淤填石法在工程设计、施工安全及施工质量等方面制定了强制性的行业标准, 有利于爆炸法处理软基的推广应用。

20 多年来广大工程技术人员结合工程实践, 提出了“水下淤泥软地基爆炸定向滑移处理法”、“控制加载爆炸挤淤置换法”等新方法, 爆炸法填石筑堤技术, 置换淤泥深度从数米发展到 30 余米。但是爆炸法堆石置换软基涉及到爆炸力学、土力学及流体力学等多学科理论知识, 依然需要厘清爆炸

与堆石、爆炸与软土、爆炸与软土置换等相互作用关系, 随着工程实践的不断扩展需进一步的研究机理和工艺。本文主要从以下 3 方面的问题进行探讨: 机理再认识, 对“爆炸石舌”进行深入的分析; 爆破设计参数与分析, 提出修正意见; 给出几点建议, 以供在应用规范时做为参考。

1 机理再认识与适用性分析^[1-2]

规程或规范中的爆破排淤填石法: 在抛石体外缘淤泥中埋设单排药包, 起爆瞬间在淤泥中形成爆炸空腔, 抛石体随即坍塌填充空腔, 经多次爆破推进, 最终达到置换淤泥的目的。其本质是

收稿日期: 2010-03-07

作者简介: 张建勋 (1966—), 男, 博士, 主要从事爆炸法处理软基及爆破工程方面的研究与应用工作。

爆破作用形成爆炸空腔，爆炸空腔的大小由爆破参数决定，充填空腔的抛石体的形态在规程中明确表达为“爆炸石舌”。“石舌”的形状参数（宽度、长度、厚度及石舌底深度）是爆破排淤填石法技术的决定因素，其中“石舌”长度决定一次水平推进长度；爆炸空腔的底深度决定抛石体填入深度，从而决定填石的置换落底深度，可见爆填堆石的置换深度是一次完成的，见规程中图 4.1.1 所示。

爆破排淤填石法是“水下淤泥质软基爆炸处理法”专利技术的简称，是中科院力学研究所等 4 个单位取得的科研成果^[3-4]，从科研试验数据结果可知，“爆炸石舌”是堆石体底部滑向爆炸空腔由块石、泥和水组成的混合石体，其形成的工程条件为： $H_1/H_2=0.3\sim 0.5$ （ H_1 为水深，1.2~2 m； H_2 为淤泥厚，为 3.5~4.0 m）， $W_1/H_2=0.45$ （ W_1 为药包中心到泥面的最小距离，为 1.0~1.8 m），药包中心到爆前泥下抛石体前沿的距离为 0.3~1.5 m，试验得出“石舌”的两个重要参数数据为： ΔA 表示其纵向长度平均数为 4.6 m，它决定规范中的 L_H 的大小；厚度 Δh_a 为 0.4~1.6 m。

文献[5-6]结果表明“石舌”的形状与爆破方式、水介质、堆石体边缘临近爆炸空腔的距离、堆石体工程性质及炸药参数等多种因素有关。进一步分析数据可知，“石舌”是抛掷爆破下产生的，斜面爆夯不产生“石舌”，其范围没有超过抛掷淤泥形成爆炸空腔的径向宽度和轴向深度；“石舌”的厚度按最大厚度 1.6 m 计，仅占淤泥厚度 4 m 的 40%，按均值计算更低；“石舌”愈长，其厚度渐薄。

通过以上分析，结合等效集中药包 Q 药量的爆炸空腔最大半径 R_m 估算式 $R_m=1.16\left(\frac{Q}{1+0.1W_1}\right)^{\frac{1}{3}}$ ，笔者认为爆破排淤填石法适用于水下 10~15 m 厚的淤泥条件，采用抛掷爆破方式能实现 4 m 左右厚的爆炸“石舌”，而“石舌”上部含水量高、强度低的数米淤泥能被补填的堆石体挤开与“石舌”结合，形成一个稳定的抛石堤身，这点与原规程认识一致；依据“石舌”机理，当堤身结构中设计的平台宽度大于 4 m，厚度大于 4 m 时，不

用爆破排淤的拓宽侧爆填工艺来实现，可采用覆盖部分设计平台宽度的爆前加宽的抛填参数，以满足侧爆填“石舌”长度形成部分平台的要求，再通过侧爆填后缩窄补抛填形成设计的堤身，从而实现宽大平台设计的堤身结构要求。

2 爆破设计参数与分析

依据爆破排淤填石机理推出的施工工艺主要由堤端爆填、堤侧拓宽爆填及平台爆夯 3 个部分组成，其中前两项是工艺的主要和必要部分，工艺的目的分别是形成稳定的堤芯和堤身平台；后一项爆夯需要在施工条件下施工，其设计参数可参照规范 4.3.14 内容。因此，规范中应按其工艺组成分别给出相应的爆破设计参数与要求，而规范中并没有堤侧爆填参数设计。如 20 m 厚的淤泥软土下，按规范 $L_H=4$ m 和 $L_H=7$ m 分别计算，侧爆爆填线布药量分别为 40 kg 和 70 kg，后者是前者的 1.75 倍，可见采用规范给出的公式计算是不合理的。

由介质爆破抛掷或爆炸空腔理论可知，爆破抛掷或空腔的大小在单耗、药量、聚能药包及介质相同的条件下，主要由埋药最小抵抗线大小和药包的形状（集中、柱状）决定。爆破排淤填石法采用单排埋药同时起爆的爆破方式，淤泥软土的水平面是抛掷的自由面，药包埋深即为最小抵抗线的值，对于集中药包中心埋深为最小抵抗线，即规范中表 4.3.13-3 取值，其爆炸形成的爆坑是球冠状；对于柱状药包（药包的长径比为 8:1 以上）的埋药，最小抵抗线为柱状药包的中心埋深，其爆炸形成的爆炸空腔是椭圆状，不同的爆炸空腔影响着“石舌”形成与形状，结合以上分析着重对规范的爆破参数设计做进一步的探讨。

2.1 埋药直径 D

埋药直径由爆破布药设备的成孔条件决定。成孔孔径的大小不仅影响一次布孔个数，制约着施工效率，而且决定了每孔的线装药量或单孔装药量，从而影响到药包的形状、药包的间距、最小抵抗线等参数。对于同一种炸药而言，药包直径越大、准爆率高、单位长度的药量大，爆破爆坑坑径大或爆破空腔大，最终影响到爆破排淤效

果,是一个重要的设计参数,在规范中应该说明。目前在施工中常用的有 100 mm, 200 mm 和 300 mm 3 种规格的孔径。

2.2 药量 Q_1 计算

规范中的药量计算与规程相同,用体积公式计算排淤填石药量。依据装药量的大小与淤泥软土对爆破作用力的抵抗程度成正比。由于淤泥的强度较低,淤泥内的炸药爆炸能量所克服的阻力主要是介质的重力,实际上是被爆破排开的那部分淤泥的体积,即装药量的大小与被爆破排开的淤泥体积成正比,其计算公式见规范中式 4.3.13.1~4.3.13.15。其中公式 $m = \frac{L_L}{a+1}$ 应为 $m = \frac{L_L}{a} + 1$ 。

计算公式中符号意义参见规范中 4.3.13 相关内容。公式中主要参数的内涵剖析如下: q_0 为爆除单位体积淤泥所需的药量,是炸药单耗,其取值见规范中表 4.3.13-2 所示。表中数据表明,泥面以上的填石高度 H_s 与淤泥厚度 H_m 比越大时,取值越大,即单耗越大,可从 0.3 kg/m^3 增至 0.5 kg/m^3 。施工时常采用增加堤顶的填高,加大 H_s 提高自重挤淤效果,而按规范要求则给施工带来成本的增加,这样必然指导设计尽量减小 H_s , 显然是矛盾的。

由药量计算公式可知,当淤泥厚 H_{mc} 一定时,每个炮孔的装药量与孔间距 a 和爆破排淤填石一次推进的水平距离 L_H 的积成正比。 a 相当于不同装药药径产生的爆破爆坑坑径或空腔半径的大小,根据上章节分析的爆破排淤填石机理中爆炸“石舌”形成长度不会超过爆坑或空腔,规范要求埋药距堆石侧 1~2 m, 则“石舌”长度不大于 $a+1$ 或 $a+2$, 可见 L_H 的大小与孔间距 a 是相关联的,在设计中二者不能相互脱离。

2.3 孔间距 a

孔间距是每个炮孔承担的爆破排淤的宽度,其取值除与炸药性能相关外,与孔径(药包直径)相关,它的大小影响着布药长度上淤泥爆破空腔或爆坑的连续性,从而影响着爆炸“石舌”体在布药长度上形成的整体性,是爆填质量的关键参数之一,同时 a 的取值决定一次布药孔数,影响着布药效率,因此规范中给出孔间距 a 参数是必要的。

文献[7]得出柱状药包的爆炸空腔半径 R_m 与药包直径 D_y 的关系 $R_m = K_1 D_y$, K_1 为 6~13, 则 a 为 $(1 \sim 0.8)R_m$ 。

2.4 药包埋入深度

由规范中表 4.3.13-3 可知,药包埋入深度为 $0.45H_m \sim 0.55H_{mc}$, H_m 和 H_{mc} 分别为淤泥厚度和在水深大于 4 m 时折算的淤泥厚度。由药量计算公式,若 a 和 L_H 两参数不变时,爆破排淤的单药包重量与折算后的淤泥厚度成正比。浅层厚时的孔中装药可以看作是集中药包,其爆坑深度或爆炸空腔深度为淤泥厚度,形成的“石舌”能落至设计深度;深厚层时装药长度是药径 16 倍以上的柱状药包,其药包中心为柱状药包的中心,空腔深度小于埋药深度,形成的“石舌”不能满足设计深度要求,因此,规范中的埋药深度参数不能满足置换深厚层淤泥的要求。再者,药量以淤泥的厚度为取值计算,但药包又不布设在下部的淤泥中,对下部淤泥不产生爆破作用。

3 举例分析

依据规范中“6.2.6 爆破排淤填石可用于抛石置换水下淤泥质地基工程置换厚度宜取 4~25 m, ……”已知 2 号岩石硝铵炸药密度为 0.9 g/cm^3 , 药包直径为 200 mm, 孔间距取 2.0 m, 一次推填水平距离为 5.0 m, 对应淤泥厚分别为 5 m, 10 m, 15 m 和 25 m 等 4 种情况时爆破参数计算结果见表 1。

表 1 不同淤泥厚时爆破参数计算结果

泥厚/m	单孔药量/kg	药包长度/m	药包埋深/m	空腔底部深度/m	石舌底部深度/m
5	20	0.70	2.75	4.75	5.0
10	40	1.41	5.50	7.5	8.1
15	60	2.12	8.25	10.25	11.85
25	110	3.53	13.75	15.75	17.35

由表数据可知,在爆破后,“石舌”底部未被爆破作用的淤泥厚度分别为 0 m, 1.9 m, 3.25 m 和 7.65 m, 通过以上的爆破参数设计能满足处理 4~10 m 淤泥厚度,不能保证 15~25 m 的淤泥厚度,因此对深厚层淤泥爆炸处理应给予注意,以满足筑堤安全稳定和沉降量的要求。

(下转第 36 页)

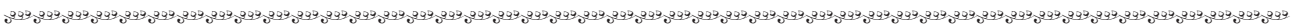
的健壮性、可靠性和稳定性大大提高；实现了硬件自主组态功能，再加上通用硬件的采用和软件的通用化设计，使得用户在系统的推广和应用阶段对开发单位的依赖程度大大降低，用户的应用风险大幅降低，推广和维护成本也大幅缩减；创新实现了 AIS 和雷达信息在疏浚监测界面的集成应用，保障船舶安全，降低船员劳动强度；创新实现了三维操耙和三维地形功能，提高了疏浚施工特别是边坡、垄沟、扫浅施工的安全性、质量和效率；在继承国家“十五”重大技术装备研制项目——“耙吸挖泥船计算机辅助疏浚决策系统”基础上，更加强大大易用的疏浚施工分析和回放系统的实现，提高了疏浚施工的可追溯性，有利于提高管理效率。此外，其它诸多实用特色功能的实现，如闪光报警、双断面线显示、断面游标、水深对比、电子海图自定义图标等功能也是在此类软件中的独创应用。经上海市科技情报所水平查新，本系统总体技术水平达到了国际先进水平，部分功能国际首创。

本系统于 2006 年立项，2007 年 8 月通过验收，2008 年即完成我公司 14 条施工船舶的全面推广，除了三维船舶模型的构建委托软件开发单位完成外，其它推广工作完全由我公司自行完成，充分证明了本系统强大的适应能力。更值得一提的是本系统已成功应用于 2002 年荷兰建造的“新海龙”轮，实现了本系统和“新海龙”SCADA 系统的和平相处，这也充分证明虽然“新海龙”的疏浚监控系统仍然代表着国际先进水平，但我公司自行研发的耙吸疏浚监测平台更加符合我公司船员使用习惯，而且已完全超越了“新海龙”的 DTPS 和 SCADA 系统的相应功能。

参考文献：

[1] 中港疏浚股份有限公司.“耙吸疏浚监测平台 V2.0”系统说明书[R]. 上海: 中道疏浚股份有限公司, 2007.
 [2] 中港疏浚股份有限公司.“耙吸疏浚监测平台 V2.0”用户手册[R]. 上海: 中道疏浚股份有限公司, 2007.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第 29 页)

4 结语

由于爆炸机理的复杂性和淤泥质软土工程性质的复杂性，随着爆炸处理淤泥软基的研究与实践的不同深入，规范中出现不足之处在所难免，不断发现问题并进行探讨，会使该项技术更加完善。

1) 堤端爆填、堤侧拓宽爆填和平台爆夯是爆破排淤填石机理实施的工艺化体现，在规范中应分别考虑，设计时才能完整。

2) 堆石是置换体，更是稳定的堤身基础，在爆破排淤置换前后起到关键性的作用，规范中应给出堆石参数设计。

3) 设计参数中不仅仅是药量计算，还应包括孔径、孔距等参数的选取。

4) 采用爆破排淤填石法的埋药深度，能确保 10 m 左右厚度淤泥的爆填置换处理，对于深厚层

淤泥，需要参数重新设计。

参考文献：

[1] JTJ/T 258—1998 爆炸法处理水下地基和基础技术规程[S].
 [2] JTS 204—2008 水运工程爆技术规范[S].
 [3] 中国科学院力学研究所. 爆炸填石排淤法处理海淤软基的试验研究[R]. 北京: 中科院力学所, 1986.
 [4] 87106811.7. 水下淤泥质软基爆炸处理法[P].
 [5] 杨振声, 许连坡. 爆炸处理海淤软基机理实验研究[R]. 连云港: 连云港爆炸处理水下海淤软基鉴定委员会, 1989.
 [6] 许连坡. 填石排淤法中的爆炸作用[J]. 爆炸与冲击, 1992(1): 54-61.
 [7] 王仲琦, 张奇, 白春华. 爆炸挤压黏土密度变化过程的数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2001(5): 350-253.

(本文编辑 武亚庆)