

爆炸挤淤筑堤的填料问题

中国科学院力学研究所
北京中科力爆炸技术工程公司 江礼茂

摘要

通常设计堤心石要求重量为 10~100kg, 当抛填石料达不到设计要求时, 可采用爆炸处理进行施工。本文从爆炸作用机理分析入手, 介绍一个抛填料最大含泥砂量达 60% 的工程实例。

关键词

爆炸挤淤 筑堤 填料

ABSTRACT

The author points out that the core rock with 10-100kg is needed in traditional design. If such kind of rock is not available, the blasting method may be adopted. Following the blasting mechanism, the paper introduces a case of fillings with a maximum sand content up to 60%.

《港口工程技术规范》对堤心石重量的规定为 10~100kg, 适应人工抛填的施工方法。爆炸处理软基筑堤新技术发明以后, 堤心石为陆抛混合料, 设计中一般对块度无严格要求, 但通常将含泥砂量控制在 10%~15% 以内, 这一改变对大规模机械化施工非常有利, 可节约成本, 缩短工期。

爆炸处理软基筑堤法中要求石料含泥砂量 10%~15%, 可以理解为对堤身稳定和沉降要求的保证, 同时也是对爆炸挤淤堤身落底的要求。对于前者, 是岩土工程和水工工程需要研究的课题, 对于堤身落底, 从爆炸作用机理作一分析, 认为是能适当放宽的。

1 爆炸作用机理简介

爆炸处理软基筑堤实质上是地基处理的置换法, 即通过爆炸作用将填料沉入淤泥并将淤泥挤出, 达到提高基础承载力的目的。其作用为:

(1) 爆炸排淤: 炸药爆炸将淤泥抛掷、挤出形成爆坑, 抛填料在爆炸综合作用下滑入爆坑, 达到瞬时泥石置换, 这就是“爆炸排淤填石法”。爆坑的大小与淤泥指标、药量和药包布设位置有关, 填料滑入的多少与堤身高度、填料的内摩擦角、药包距堤头距离以及爆坑形成后淤泥和水的回流有关, 因而“爆炸排淤填石法”瞬时置换的深度受到一定限制, 这可能就是工程界一些人认为爆炸法处理软基淤泥厚度不能超过 12m 的原因。

(2) 爆炸使淤泥弱化: 实测结果表明, 爆炸在淤泥中产生的压力峰值可高达 10MPa 的量级, 并使淤泥产生多次振动, 其最大加速度可达 100g 以上^[1]。爆炸对淤泥的影响范围远大于每炮堤头进尺 6~8m, 因此, 在堤头未抛之前, 堤轴线范围内淤泥已受多次爆炸冲击振动作用, 在此作用下淤泥将产生弱化效应, 强度降低^[2], 有利于筑堤时堤身下沉。

(3) 爆炸振动效应: 爆炸可使爆源周围的

土体产生高达 100g 以上的垂直振动加速度，淤泥的振动将导致抛在淤泥上的堤身受迫振动。由于抛填料的密度比其周围的空气（水面以上部分）、水（泥面以上部分）和淤泥（埋入泥中部分）要大，在此加速度下，堤身将产生附加动荷载作用于堤下淤泥上，使原有的堤身与淤泥形成的静力平衡破坏，造成淤泥挤出，堤身下沉。

爆炸作用使堤身下沉是在较短时间内完成，堤下淤泥的破坏形式还不清楚，对深厚淤泥，可能的破坏形式是局部剪切破坏。

(4) 爆炸排水固结：爆炸作用有可能加速堤下持力层的排水固结，这可归因于爆炸作用荷载远高于静载，同时爆炸冲击振动作用可在泥中产生排水通道^[1]。

(5) 爆炸振动密实：爆炸能使堤身振动密实，堤身密实有利于抗风浪，减小堤身自身压缩沉降量。

2 爆炸挤淤过程中填料的影响

填料的影响有两个因素：块度和重度。级配不良的大块石抛填在淤泥上，因其单块重度大，单位体积的表面积小，因此单位体积所受土阻力小，同时块体之间孔隙大，淤泥容易挤入，故堤身易于下沉。如果淤泥渗入孔隙过量，有可能影响该层的强度。

填料重度对堤身在自重作用下的下沉量的影响可表示为^[2]：

$$H = \frac{1}{2} \left[(2 + \gamma_s) C_u + 2 \gamma_s D + (4 C_u + 2 \gamma_s D) \frac{D}{B} + \frac{2 \gamma_s}{3 B^2} D^3 \right] \quad (1)$$

$$\left(t > \frac{B}{\sqrt{2} + 1} \right)$$

式中：

t 淤泥厚度；

B 填筑体顶宽；

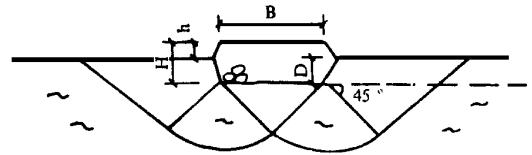
H 堤身厚度；

D 堤身沉入泥中深度；

γ_s 淤泥、填料重度；

C_u 淤泥抗剪强度（附图）。另一方面，

在爆炸过程中，填料重度和水及淤泥的重度差值决定了振动附加动载的大小，即在相同振动加速度下，重度大的填料产生的附加动载要大，堤身更容易落底。



附图

3 工程实例

某护岸堤长 200m，引堤 60m。地质条件自上而下可分为：淤泥，厚 17~21m，含水量 83%~90%， C_u 1.0kPa，重度 γ_s 15.1kN/m³；粘土、亚粘土：厚 4~7m，含水量 14%~30%；砂岩。工程水位：设计高水位 2.45m，设计低水位 0.17m，校核高水位 3.92m，校核低水位 -0.4m。

该海域原泥面约 -1.36m，堤心设计高程 2.10m，堤顶建胸墙，墙后场地回填至 +4.0m。采用爆炸处理软基施工。

该工程的最大特点是：覆盖水浅、淤泥层厚度大，抛填料极差。抛填料为严重风化碎石料，含泥砂量最多超过 60%，远达不到设计要求。根据合同，我方只做爆炸处理软基，抛填方量和填料质量不由我方负责。鉴于当地的工程环境、投资和工期，要改变填料质量不可能。经和设计、监理，甲方、总包方讨论协调，我们深挖技术潜力，精心设计施工，最后完成了工程任务。

在施工中，有两个与其他厚淤泥工程不同的现象：一是堤身抛填过程中没有明显的下沉；二是堤头爆后，堤面以每次炮位为标记，呈非常明显的台阶状下沉。可以认为，风化碎石料因块度小，含泥砂量高，重度相对较小，堤身下沉属整式挤淤，与有较多大块石填料的堤身不太相同。现取引堤和护岸交汇处作一分析。有关数据如下：

原泥面高程：-1.36m；

淤泥指标： $C_u = 1.0\text{kPa}$ ， $s = 15.1\text{kN/m}^3$ ；

第一次堤身抛填高度： $+3.4\text{m}$ ，堤顶宽度： 14.0m ；

取填料重度： $\gamma = 19\text{kN/m}^3$ 。

将 $H = D + h$ ， h 为泥面至堤顶高度，代入

(1) 式得

$$\frac{2}{3} \frac{D^3}{B^2} + 2 \frac{D^2}{s B} + (2 s + 4 \frac{C_u}{B} - \gamma) D + (2 + \gamma) C_u - h = 0 \quad (2)$$

将有关数据代入上式，有

$$0.0514D^3 + 2.157D^2 + 11.486D - 83.4 = 0$$

得到 $D = 4.0\text{m}$

即第一次堤身抛填自重下沉后底界面标高为 -5.36m 。

每次爆炸时堤顶下沉见表 1。

假定每次爆炸时堤心下沉量上一致，即实测堤顶下沉量为堤底下沉量，则堤身最终底界面应为

$$-5.36 - 12.80 = -18.16 \text{ (m)}$$

与钻孔揭露堤身底界面高程 -17.90m 接近。

该处堤身完成后，堤顶用重锤夯实，然后

直接在堤顶浇注混凝土支墩，支墩面积 $1.5 \times 9\text{m}^2$ ，混凝土预制梁吊装完毕后，相当于堤顶承受 160kN/m^2 ，共约 220t 荷载，堤顶瞬时沉降 2cm 。其后，在支墩处设置沉降观测点，测量结果见表 2。从表 2 可见，经过半年时间总沉降量不大。

4 讨论

(1) 堤头“爆炸排淤堤石法”的落底深度受堤身高度和地质状况等因素影响，对厚淤泥情况而言，很难一次爆填就使堤身落底，后续的爆炸挤淤作用对堤身落底有较大影响。

(2) 填料块度和重量对堤身落底效果有较大影响，但并不是绝对的。对其它替代填料，只要重量达到一定数值，施工中采取适当措施，堤身在爆炸综合作用下，也能落到 15m 以上的深度。

参考文献

- 1 杨振声、金缪，爆炸排水固结的试验研究，工程爆破文集（第六辑），海天出版社，1997年11月，p541~548
- 2 杨光煦，压载挤淤研究，岩土工程学报，Vol. 14，No. 2，1992年3月

表 1

序号	炮位距离 (m)	爆前高程 (m)	爆后高程 (m)	累计下沉 (m)	备注
1	0	~	~		
2	8	3.4	- 1.0	4.4	
3	12	3.4	0.7	7.1	
4	24 (W)	2.4	1.3	8.2	W 交汇点西头
5	30 (W) 27 (E)	3.2	0.5	10.9	E 为交汇点东头， 两头同时起爆
6	32 (E)	2.7	2.4	11.2	
7	38 (W)	2.8	2.4	11.6	
8	38 (E)	2.3	2.0	11.9	
9	42 (W)	2.1	1.9	12.10	
10	15	1.9	1.2	12.8	侧 爆

表 2

间隔时间 (d)	0	29	34	34	31	35	28
沉降量 (mm)	0	3	9	5	6	5	6
累计沉降量 (mm)	0	3	12	17	23	28	34