

文章编号: 1006 - 7051(2001)04 - 0024 - 04

混凝土围堰拆除爆破切口参数计算 与翻转运动分析

刘彦¹, 张庆明¹, 黄风雷¹, 李世海²

(1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要: 对三峡三期混凝土围堰拆除的爆破切口参数进行了计算, 并对堰体的翻转运动进行了描述和分析, 给出了堰体失稳、翻转的条件。此外, 还提供了堰体翻转角 - 时间 ($\theta - t$) 和角速度 - 时间 ($\omega - t$) 的关系曲线。

关键词: 围堰; 爆破切口; 翻转运动; 拆除

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A

CALCULATION OF BLAST CUT PARAMETERS FOR DEMOLITION OF A CONCRETE COFFERDAM AND ANALYSIS ON TURNOVER MOVEMENT OF THE COFFERDAM BODY

LIU Yan¹, ZHANG Qing-ming¹, HUANG Feng-lei¹, LI Shi-hai²

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

ABSTRACT: In this paper, the blast cut parameters for demolition of the third-stage cofferdam in the Three Gorges was calculated, the turnover movement of the cofferdam body described, and the conditions of destabilization and turnover of the cofferdam body were given. In addition, the curves of turnover angle-time ($\theta - t$) and angular velocity-time ($\omega - t$) were provided.

KEY WORDS: Cofferdam; Blast cut; Turnover movement; Demolition

1 引言

三峡三期围堰分为纵向围堰、横向围堰的已建和未建部分。本文给出的是三峡三期横向围堰未建部分的一种推荐截面。为了安全、顺利、可靠地拆除该围堰, 须要预先对围堰的拆除爆破切口进行设计计算, 同时对堰体的翻转运动要有清楚描述。

备选围堰截面的材料选用抗拉强度 $f_s = 1.5 \text{ MPa}$ 、抗压强度 $f_p = 15 \text{ MPa}$ 、弹性模量 $E = 40 \text{ GPa}$ 的混凝土。推荐的围堰横截面如图 1 所示, 直边侧面为上游。围堰的斜坡坡度为

收稿日期: 2001 - 04 - 04

作者简介: 刘彦, 机电工程学院爆炸与安全科学国家重点实验室博士研究生。

1 0.75, 即斜坡与水平线的夹角约为 53°, 斜坡的上端有一个 4.0m 宽的平台, 围堰长度为 380m。上游水面距堰顶 5m(图 1 中的 C 点处); 下游水面距堰顶 5~10m(在三峡三期工程施工期间, 围堰下游无水。工程完工后, 拆除围堰前要在围堰和三期工程大坝之间注水, 使得水面距堰顶 5~10m)。

在图 1 中, AB 线为河底标高(▽99m), 与围堰顶部的垂直距离为 25m。工程要求采用控制爆破将 AB 线以上部分拆除, 并且要求被拆除部分整体向上游翻倒(在图 1 中, 即为向右侧翻倒)。

2 理论分析

2.1 假设

为了便于建立模型和进行数值计算, 作如下假设:

- (1) 混凝土材料的弹性模量很大, 可把围堰近似视为刚体;
- (2) 围堰材料是匀质的且其力学性能是各向同性的;
- (3) 切口剖面的形状为三角形;
- (4) 堰体剖面的断裂线是沿切口剖面顶点 D 垂直于斜边的直线, 即图 2 中的 DA。

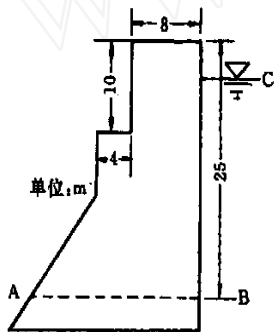


图 1 围堰的截面图

Fig. 1 Section view of cofferdam

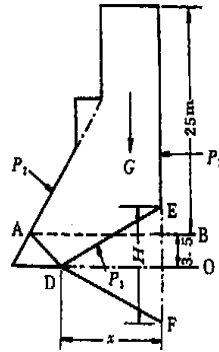


图 2 堰体的受力状态及切口参数

Fig. 2 Stressed state of cofferdam and cut parameters

2.2 堰体失稳的力学过程分析

切口形成并充满水后堰体的受力如图 2 所示。在力的作用下, 堰体要有绕经过 D 点垂直于截面的轴线向右翻转的趋势。当切口的上下表面重合时, 堰体的受力如图 3 所示, 切口的大小要能保证堰体有绕经过 F(E) 点垂直于截面的轴线向右翻转的趋势。所以切口大小必须满足:

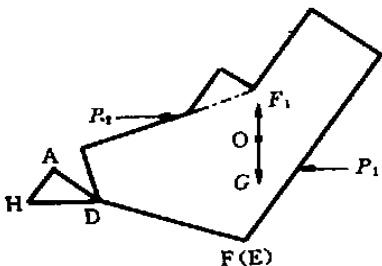


图 3 切口闭合时堰体的受力状态

Fig. 3 Stressed state of cofferdam when the cut is closed

$$M_{P_3} + M_{P_1} - M_{P_2} - M_G > M_s \quad (1)$$

$$M_G + M_{P_2} - M_{P_1} - M_{F_1} = 0 \quad (2)$$

式中: M_{P_3} 是切口内水的浮力 P_3 对转轴的力矩; M_{P_1} 是上游水的推力 P_1 对转轴的力矩; M_{P_2} 下游水的推力 P_2 对转轴的力矩; M_G 是重力 G 对转轴的力矩; M_s 是 A 点的拉应力达到抗拉强度 s 时, 断裂面上的应力对转轴的总力矩, M_{F_1} 是水的浮力 F_1 (图 3)

对转轴的力矩。

2.3 堰体翻转运动分析

堰体在力的作用下失稳,就会绕转轴翻转。堰体的翻转运动分为三个阶段:

(1) 堰体以切口顶点(图 2 中的 D 点)为支撑轴向右翻转,自爆破切口形成,堰体开始翻转至切口上、下表面重合;

(2) 堰体以切口的下 endpoint(图 3 中的 F 点)为支撑轴向右翻转,自第一阶段结束至支撑轴不受翻转堰体力的作用;

(3) 堰体在水中自由下落且自转,自第二阶段结束至堰体下落到江底。

堰体翻转的前两个阶段都满足下列运动方程:

$$I_z \frac{d}{dt} = M_z(F_i) \quad (3)$$

其中 I_z 表示堰体对转轴的转动惯量, $M_z(F_i)$ 表示堰体运动时作用在堰体上的全部的力对转轴力矩的代数和,作用在堰体上的力有重力、水的浮力和水的阻力。

第 1 阶段: 公式(3)可近似写为:

$$I_z \frac{d}{dt} = M_G + M_F - M_R \quad (4)$$

其中: M_G 是重力 G 对转轴(经过图 2 中的 D 点)的力矩, M_F 是浮力 F 对转轴的力矩, M_R 为水的阻力 R 对转轴的力矩。水的阻力 R 可近似为:

$$R = K S v^2 / 2 \quad (5)$$

其中: K 为水的阻力系数; ρ 为水的密度; S 为堰体垂直于运动方向的水迎接触的面积; v 为堰体绕转轴的线速度。

初始条件: $t_{10} = 0, \omega_{10} = 0$ 。由公式(4)可得到 $\varphi - t$ 的关系曲线,见图 4(b)。

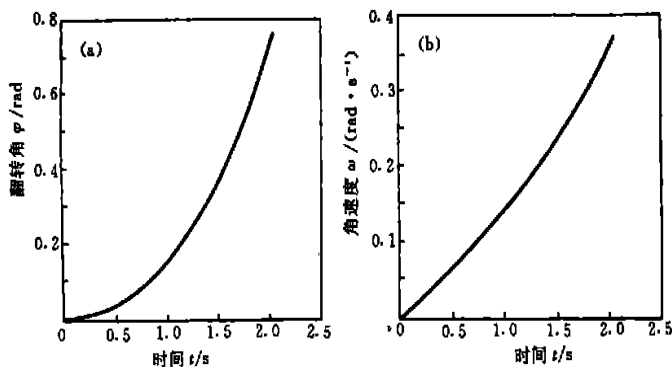


图 4 第 1 阶段翻转角 - 时间($\varphi - t$) 和角速度 - 时间($\omega - t$) 曲线

Fig. 4 Curves of ($\varphi - t$) and ($\omega - t$) in first stage

第 2 阶段: 公式(3)也可写成公式(4)的形式。

这个阶段的转轴是图 3 中经过 F 点垂直于截面图的一条直线。 M_G 、 M_F 、 M_R 都是对应这个转轴的值。

初始条件: $t_{20} = 0, \omega_{20}$ 不等于零。假设切口的上表面和下表面的冲击过程满足动量守恒, ω_{20} 可由下式求出:

$$I_1 \omega_{11} = I_2 \omega_{20} \quad (6)$$

其中 I_1 是第 1 阶段堰体对转轴的转动惯量; I_2 是第 2 阶段堰体对转轴的转动惯量; ω_{11} 是第 1

阶段结束时的角速度; ω_{20} 是第 2 阶段的初始角速度。

同样,由公式(4)可以得到 $\theta - t$ 的关系曲线见图 5(b) (θ 是堰体绕切口顶点的翻转角速度; ω 是堰体绕切口下端点的翻转角速度)。

3 计算结果

3.1 切口参数

为了使 AB 线以上的残留部分尽量减小,同时考虑施工工作量,经初步估算,切口中心线选在 AB 线以下且距 AB 线 3.5m 处。开口深度 x 和开口高度 H (图 2) 计算结果如表 1 所示。

表 1 计算的切口参数

Table 1 Calculated cut parameters			
上下游水位差/m	x /m	H /m	h_1 /m
0.0	13.1	9.5	0.7
5.0	14.1	11.0	0.2

说明:表中 x 和 H 的值都是满足上述条件所需的最小值; h_1 是残留部分超出 AB 线的高度; 在实际的工程中,为了安全,一般选取的 x 和 H 值都比最小值大,所以 h_1 将会比表中的值小。

从表中数据可以看出,上下游的水位差对切口大小有一定的影响。

3.2 堰体翻转过程描述

选取表 1 中水位差为 5.0m、 $x = 14.1$ m、 $H = 11.0$ m 进行计算,堰体翻转过程描述如下:

(1) 第 1 阶段: 堰体以切口顶点为支撑点向右翻转。这个阶段结束的标志是切口的上、下表面重合。由图 4(a) 角度—时间 ($\theta - t$) 曲线可知,堰体翻转的第 1 阶段所需要的时间约为 2.05s,堰体绕切口顶点翻转的角度为 0.74rad。由图 4(b) 角速度—时间 ($\omega - t$) 曲线可知,第 1 阶段结束时,堰体绕切口顶点(图 2 中的 D 点)翻转的角速度约为 $\omega_{11} = 0.37$ rad/s。

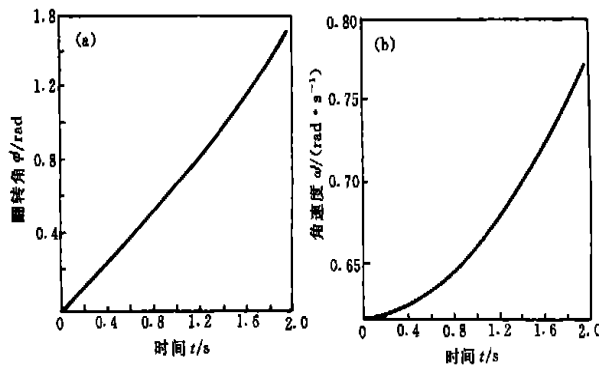


图 5 第 2 阶段翻转角—时间 ($\theta - t$) 和角速度—时间 ($\omega - t$) 曲线

Fig. 5 Curves of ($\theta - t$) and ($\omega - t$) in second stage

(2) 第 2 阶段: 堰体以切口的下 endpoint (图 2 中 F 点) 为支撑点向右翻转。由公式(6)可计算第 2 阶段堰体的初始角速度 $\omega_{20} = 0.62$ rad/s。

由图 5(a) 角度—时间 ($\theta - t$) 曲线可知,堰体翻转的第 2 阶段所需要的时间约为 2.0s,堰体绕切口下 endpoint 翻转的角度为 1.52rad。由图 5(b) 角速度—时间 ($\omega - t$) 曲线可知,支撑点不受力时,堰体翻转的角速度约为 0.77rad/s。堰体翻转所需要的总时间约为 4.05s。

(下转第 18 页)

的距离,否则将引起较大的误差。例如,当名义间距为 50mm 时,若测量误差为 1mm,则会产生 2% 的爆速的计算误差。所以,提高间距的量测准确性是提高爆速测量精度的一个重要环节。

(6) 为了增加低爆速炸药爆轰时爆炸产物的电离效果和及时准确地接通信号,宜在探针端头粘结点敏感炸药。

5 结 论

(1) 探针法能够连续和准确地测定炸药在整个爆轰距离内的爆速。

(2) 炸药的爆轰有一个发生、发展、持续和消亡的过程,即其爆速有一个发生、加速、恒定和消失的过程。

(3) 在爆炸焊接条件下,炸药爆炸的加速区长度和稳定爆速值,受其组成和许多工艺条件的影响。认识和掌握它们对于指导爆炸焊接的理论研究和实际应用有重要的意义。

参考文献:

- [1] 张国荣,等. 低爆速炸药爆轰速度的测量[A]. 第四届全国爆炸加工学术会议论文集[C]. 北京:中国科学院力学研究所,1982.
- [2] 郑远谋. 爆炸焊接边界效应的力学—能量原理[J]. 焊接技术,2001(5):25-26.
- [3] 郑远谋,等. 爆炸焊接结合区波形成的金属物理学机理() [J]. 广东有色金属学报,1998,8(1):37-46.
- [4] 郑远谋,等. 爆炸焊接结合区波形成的金属物理学机理() [J]. 广东有色金属学报,1998,8(2):131-136.
- [5] 北京工业学院一系. 爆炸物理基础[M]. 北京:北京工业学院出版社,1974.

(上接第 27 页)

4 结 论

本文计算了三峡三期围堰拆除的爆破切口参数,并对堰体的翻转运动进行了描述和分析。通过计算可知:上下水位差为零时,最小开口深度为 13.1m,最小开口高度为 9.5m;上下水位差为 5m 时,最小开口深度为 14.1m,最小开口高度为 11.0m。堰体翻转运动分为三个阶段,对 1、2 阶段分别进行了计算,得到了堰体旋转角与时间、旋转角速度与时间的关系曲线;据此得出:第 1 阶段所需的翻转时间为 2.05s,第 2 阶段所需的翻转时间为 2.0s,堰体完全翻转倾覆所需的总时间为 4.05s。

本文对三峡三期围堰未建部分的截面方案选择和围堰拆除方案设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 李树焕,戴泽墩. 理论力学教程(上、下册)[M]. 北京:北京理工大学出版社,1990.
- [2] 谭浩强. C 程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [3] 刘鸿文. 材料力学(第三版,上、下册)[M]. 北京:高等教育出版社,1996.
- [4] 张奇. 工程爆破动力学分析及其应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,1997.
- [5] 周光炯,严宗毅,等. 流体力学(下册)[M]. 北京:高等教育出版社,1993.
- [6] 杨人光,史家靖. 建筑物爆破拆除[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1985.