

细粒尾矿动力特性的试验研究*

尹光志^{1,2}, 李广治¹, 魏作安^{2,3}

(1. 重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044; 3. 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要:通过室内动三轴试验,测试了有色金属铜矿的细粒尾矿动力特性,获得了细粒尾矿在动荷载作用下的动应力与动应变、动应变与动模量及动阻尼比、动孔隙水压与动应力等相关关系,得出动孔隙水压对细粒尾矿动强度的影响有限等结论,对研究细粒尾矿的动力特性作了一些探索。

关键词:细粒尾矿;动力特性;动三轴试验

中图分类号:TD926.4 文献标识码:A

文章编号:1005-2763(2006)S2-0063-03

Experimental Research on Dynamic Characteristics of Fine Grained Tailings

Yin Guangzhi^{1,2}, Li Guangzhi¹, Wei Zuohan^{2,3}

(1. College of Resource and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Through dynamic triaxial test in laboratory, the dynamic characteristics about fine grained tailings of copper ore were tested, and the results which included the relationships of dynamic stress and dynamic strain, dynamic modulus and damping, dynamic stress and dynamic pore hydraulic pressure, are acquired. Results demonstrate that the dynamic pore hydraulic pressure has an limited influence upon the dynamic strength. Exploring work on dynamic characteristics of fine grained tailings is performed.

Key Words: Fine grained tailings, Dynamic characteristics, Dynamic triaxial test

矿山开采出来的矿石,经过选矿破碎、磨细等处理,从中选出有用矿物后,剩余的矿渣叫尾矿^[1],它通常以矿浆状态排放,堆存到尾矿库内。据有关资料统计显示,我国矿山有尾矿库1500座,每年排出的尾矿约有3亿t,其中有80%的是以上游式堆坝

方式进行堆置,即直接利用尾矿进行堆坝。由于尾矿坝的稳定不仅涉及到尾矿库本身的安全,而且涉及到下游居民生命财产安全及周边环境^[2]。同时,随着对矿产资源的进一步挖掘和技术设备的现代化,矿物回收率越来越高,尾矿颗粒越来越细,而上游式堆坝法的缺点是地震时容易引起液化,降低尾矿坝的稳定性。因此,很有必要对细粒尾矿的动力特性进行研究。

1 细粒尾矿定义及筑坝特点

大致符合下述条件的为细粒尾矿:平均粒径 $d_p \leq 0.03$ mm; -0.019 mm 含量 $> 50\%$; $+0.074$ mm 的含量 $< 10\%$; $+0.037$ mm $\leq 30\%$ 的尾矿^[3-4]。

根据试验和国内筑坝的实践经验,0.037 mm 的尾矿在分散放矿时可以形成沉积滩;0.037 ~ 0.019 mm 的颗粒沉积较好; -0.019 mm 颗粒不易沉积,当悬液浓度为5% ~ 10%,潜流速度超过10 cm/s时,可能发生异重流。所以把0.020 mm 颗粒作为筑坝的分界粒径。

2 细粒尾矿动力特性试验

2.1 试验方法与设备

土动力特性的室内试验测试方法很多^[5-8],有动直剪试验,动三轴试验,共振柱试验,振动台试验等。目前,我国较常用的是动三轴试验。这次细粒尾矿动力特性试验就是采用动三轴试验方法。

试验使用的三轴试验机为 DDS-70 型。DDS-70 型微机控制电磁式振动三轴试验系统是研究土动力特性的实验室设备,它可做砂土液化试验和各种土的动弹模、动强度及阻尼特性试验。

2.2 细粒尾矿动力特性试验结果与分析

* 收稿日期:2006-06-07

基金项目:西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室访问学者基金资助。

作者简介:尹光志(1963-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事矿业工程和岩土力学方面的教学与科研工作。

2.2.1 试验成果资料及整理

验均按《土工试验规范》(SL237-1999)要求进行。

试验测试的细粒尾矿颗粒组成见表1。整个试

表1 细粒尾矿颗粒组成

粒级组成(%)					d_{10}	d_{30}	d_{60}	Cu	Cc
+0.074	0.074 ~ +0.037	0.037 ~ +0.018	0.018 ~ +0.01	-0.01					
3.5	16.5	26	28	26	0.0065	0.0115	0.022	3.38	0.93

经试验测得细粒尾矿的动应力与动应变、动弹性模量与动应变、动剪切模量与动剪应变、动孔压比与振次关系等相关曲线,分别见图1~图10。

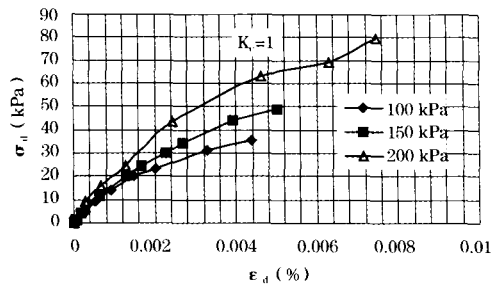


图1 固结比 $K_c = 1$ 的动应力(σ_d)与动应变(ϵ_d)的关系曲线

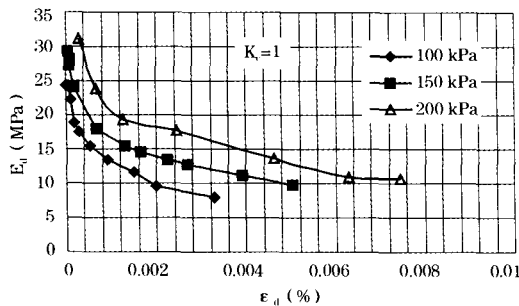


图2 固结比 $K_c = 1$ 的动弹性模量(E_d)与动应变(ϵ_d)关系曲线

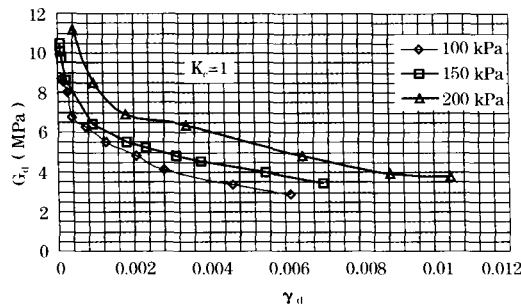


图3 动剪切模量(G_d)与动剪应变(γ_d)的关系曲线

2.2.2 细粒尾矿动力特性试验结果分析

(1) 动弹性模量 E_d 随着动应变 ϵ_d 增大而减小(见图2、图4和图5),但在初始阶段会因为固结比 K_c ($K_c = 1, 1.5, 2, \sigma_3 = 100$ kPa) 的不同而有差异,当 $K_c = 1$ (见图2)和 $K_c = 1.5$ (见图4)时 E_d 会随

着 ϵ_d 增加而成倍减小,随着 ϵ_d 增加到一定程度后, E_d 递减变缓; $K_c = 2$ (见图5)时,初始时 E_d 随着 ϵ_d 增加变化不大,当 ϵ_d 增加到一定程度后, E_d 会随着 ϵ_d 增加而成倍减小。

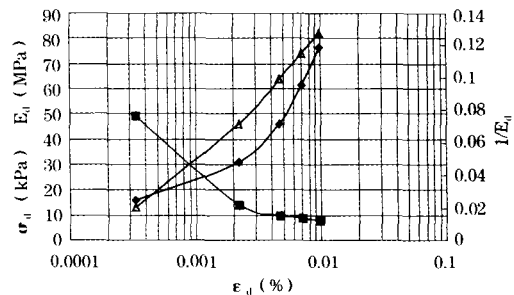


图4 固结比 $K_c = 1.5$ 时动应变(ϵ_d)与动应力(σ_d)动弹模(E_d)及动弹模的倒数($1/E_d$)关系曲线

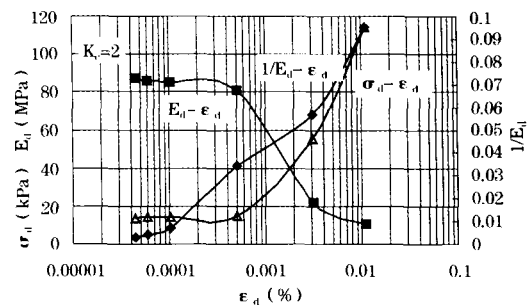


图5 固结比 $K_c = 2$ 时动应变(ϵ_d)与动应力(σ_d)动弹模(E_d)及动弹模的倒数($1/E_d$)关系曲线

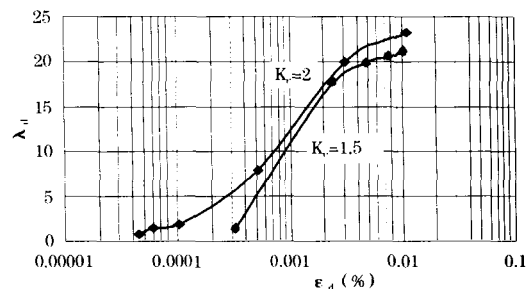


图6 不同固结比 K_c 时动应变(λ_d)与动剪应变(ϵ_d)关系曲线

(2) 从图6可知,动阻尼比 λ_d 会随着动应变 ϵ_d 增大而增大,且初始阶段增幅大;但固结比 K_c 不同条件下,动阻尼比 λ_d 差异不大。

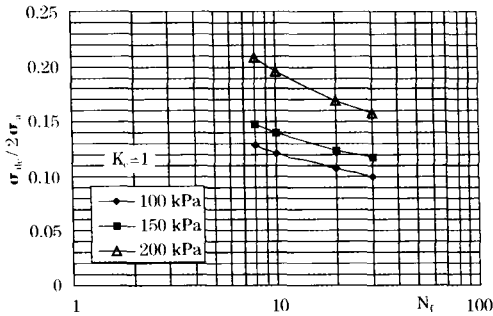


图7 固结比 $K_c = 1$ 时 $\sigma_{dk}/2\sigma_a$ 与 N_f 关系曲线 ($\sigma_3 = 100/150/200 \text{ kPa}$)

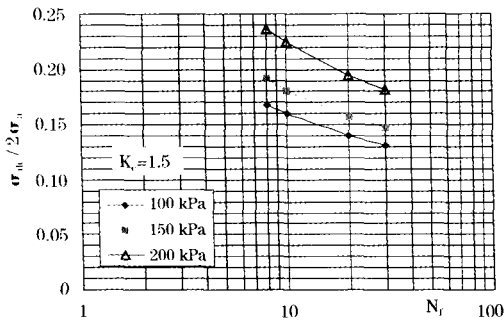


图8 固结比 $K_c = 1.5$ 时 $\sigma_{dk}/2\sigma_a$ 与 N_f 关系曲线 ($\sigma_3 = 100/150/200 \text{ kPa}$)

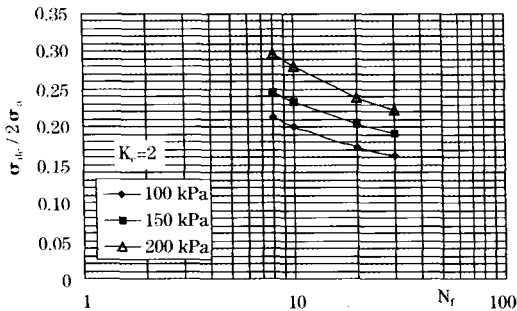


图9 固结比 $K_c = 2$ 时 $\sigma_{dk}/2\sigma_a$ 与 N_f 关系曲线 ($\sigma_3 = 100/150/200 \text{ kPa}$)

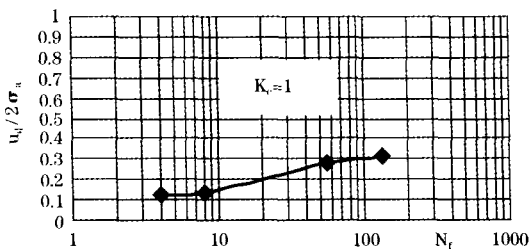


图10 动孔隙水压力 (U_d) 比与振次 (N_f) 关系曲线

时,固结压力越大,发生液化所需动剪应力就越大;当固结压力一定时,动剪应力越小,发生液化所需的振次数越多;固结比对液化有较大影响,固结比越小,越容易液化。

(4) 从图 10 动孔隙水水压比与振次关系曲线 (应变 $\varepsilon = 5\%$) 可以看出,动孔压增长幅度不大,可以认为动孔压对动强度的影响有限。

(5) 将上述研究成果与国内相似研究成果^[9-10]相比较,动弹性模量 E_d 与动应变 ε_d 的关系、动阻尼比 λ_d 与动应变 ε_d 的关系等基本相同,只是动孔隙水压有差异,一般动孔隙水压增幅较大,对强度影响也很大,而这次细粒尾矿试验测得,动孔隙水压增幅不大,对强度影响亦有限。

3 结 语

由于目前国内外对尾矿工程特性的研究并不多见,而对其动力特性的研究则更是甚少^[11]。所以,这次对龙都细粒尾矿动力特性的试验研究,仅仅是对尾矿动力特性做一些尝试与探讨,有很多问题还有待更深层次的研究。

参考文献:

- [1] 《中国有色金属尾矿库概论》编辑委员会. 中国有色金属尾矿库概论[R]. 长沙:长沙矿山研究院,1992.
- [2] 沈楼燕,魏作安. 探讨矿山尾矿库闭库中的一些问题[J]. 金属矿山,2002,(6):47~48.
- [3] 尾矿设施设计参考资料编写组. 尾矿设施设计参考资料[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [4] 陈守义. 浅议上游法细粒尾矿堆积坝问题[J]. 岩土力学,1995,16(3):70~76.
- [5] 工程地质手册编写委员会. 工程地质手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [6] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [7] 张克绪,谢君斐. 土的动力学[M]. 北京:地震出版社,1989.
- [8] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996.
- [9] 何昌荣. 动模量和阻尼的动三轴试验研究[J]. 岩土工程学报,1997,19(2):39~48.
- [10] 李万升,高建生,王治平. 中国尾矿坝地震安全度(8) - 大石坝尾矿砂的力学性试验研究[J]. 工业建筑,1995,25(1):43~47.
- [11] 张建隆. 周期荷载下尾矿砂动力特性初探[J]. 西北水资源与水工程,1995,6(1):66~72.

(3) 从图 7 ~ 图 9 可以看出,当振次 (N_f) 一定