

文章编号:1672-609X(2004)01-0039-04

细粒尾矿冲填筑坝的 沉积规律初探

徐宏达

(冶金部建筑研究总院,北京 100088)

关键词:细粒尾矿;冲填筑坝;沉积规律;滩面
坡度

摘要:尾矿中小于 0.02mm 的细粉粒组、粘土粒组和胶体粒组只能在静水条件下沉积。这种沉积尾矿密度小、占用库容大、固结慢、强度低,对于尾矿库的安全运行极为不利。常见尾矿的沉积规律不适合于这种尾矿。推移质、悬移质尾矿沉积在扇形区或被矿浆携向远处。但由于全尾矿中这种颗粒少,离放矿口不远处的滩面坡度就变的很平缓,流速很慢,维持这种缓慢滑移流动的滩面坡度约为 0.3%。

中图分类号:TV141⁺.1

文献标识码:A

收稿日期:2003-07-17

作者简介:徐宏达(1950-),男,山东滨洲人,高级工程师,从事尾矿坝技术研究与管理工作。

1 典型的富含特细粒组尾矿筑坝工程

大顶铁矿第一尾矿坝、黄梅山甄山尾矿坝、鲁中御驾泉尾矿坝是典型的高含粘土尾矿工程。大顶铁矿第一尾矿库设计库容 548 万 m³。初期堆石坝高 30m。后期坝尾矿堆坝,高 46m。使用初期严重漏矿,至 1998 年 10 月已经排入尾矿 35 万 m³。由于尾矿含粘土颗粒多,仅能形成约 30m 的滩面。无法使用原设计的推土机筑子坝,采用池填法筑子坝,现堆积坝高度已经达到 30m。该坝冲填速率较高,初期坝阶段 0.1m/d,堆积坝高 5m 时 0.076m/d,10m 时 0.053m/d,15m 时 0.027m/d。2000 年 3 月至 2001 年 6 月已经升高了 11m,筑坝速率明显加快,达到了 0.12m/d。黄梅山老尾矿库 1984 年失事时堆积坝高 18.8m,新建甄山尾矿库仍采用尾矿筑坝,由于库形条件有利,滩长和坡比基本能达到设计要求。

西石门的尾矿也很细,一期库 1986 年溃口时流失了二千多立方米尾矿。新建的后井尾矿库仍采用上游法尾矿筑坝。尾矿滩面 40 余米,泥面 300 余米,不满足安全渡汛要求。1994 年进行了研究论证,调整了筑坝工艺,改善了渡汛条件。

鲁中御驾泉尾矿库初期坝高 30m,设计堆积坝高 60m,由于尾矿颗粒细,沉积滩面短,初期强度低,90 年代一直采用旋流器沉砂预压,废石土挤泥筑坝。现已经堆筑了十期子坝,高度 31m。现正在进行中线法筑坝的技术改造。

表 1 是这几个工程全尾矿的粒度组成,其中小于 0.02mm 的细粉粒组、粘土粒组和胶体粒组含量高达 39%~61%。这三种粒组

表1 尾矿粒度组成

mm

尾矿坝	>0.25	0.25~ 0.074	0.074~ 0.037	0.037~ 0.020	0.020~ 0.005	<0.005
西石门	17	28	12	4	19	20
鲁中	10	23	12	10	17	28
大顶	2	18	14	15	25	26
黄梅山	7	10	18	11	17	37

只能在静水条件下沉积,沉积密度小、占用库容大、固结慢、强度低,对于尾矿库的安全运行极为不利。认识这种尾矿的冲填筑坝规律,对于指导同类尾矿安全筑坝具有积极意义。

2 常见尾矿的沉积规律

常见尾矿一般属于砂类或者粉砂类尾矿,0.02mm的颗粒含量在15%~30%或者更少。在分散放矿条件下,重力使尾矿按颗粒大小依次分选沉积,并形成一定的滩面坡度。如果考虑滩面坡度 I 取决于尾矿比重 G_s 、水的比重 G_w 、中值粒径 d 、排矿浓度 C_w 、单宽流量 q 、滩面长度 L ,可以证明:

$$I=K[(G_s-G_w)/G_w]^{1/2}d^{1/2}C_w^{3/4}q^{-1/3}L^{-1/2} \quad (1)$$

对于一个矿山,通常矿石性质和选矿流程在一定时期变化不大,尾矿的比重和粒径变化也很小,上式可以简化为:

$$I=KC_w^{3/4}q^{-1/3}L^{-1/2} \quad (2)$$

笔者根据室内模型实验和现场实测的45个资料,按式(2)反求的 K 值一般在0.201~1.106,大多数分布在0.324~0.709,算术平均值为0.571,偏差 $S_k=0.222$, $\sigma_k=0.219$ 。这些经验可用于砂类和粉砂类尾矿分散排矿情况,不适用于含粘粒较多的尾矿和其他排矿作业。

3 含特细粒组尾矿的静态沉降试验

尾矿浆的静态沉降试验表明:当浓度较低时发生分选沉降,颗粒由粗到细依次随时间下沉,>0.02mm的颗粒约需5分钟,小于0.005mm的颗粒6小时以后仍然悬浮。随着浓度增加,矿浆中的细颗粒形成絮凝结构,浓度越高絮团越大。较粗颗粒也夹裹在絮团中,形成网状结构。表2是一个典型的静态沉降试验结果。

4 含特细粒组尾矿的运动和沉积滩面的形成

根据大顶、鲁中等工程的实践,在分散排矿条

表2 静态沉降试验结果

沉降时间/min	沉降距离/cm				
	10%	20%	25%	30%	45%
10	8	4	2	0.6	0.4
20	12	7.5	3.8	1.6	0.9
30	20	10.9	5.7	2.5	1.3
60	26.2	17.6	10.8	4.8	3.9
90	26.5	21.3	15.5	7.3	5.8
1410	27.8	27.1	23.1	17.3	13.4
沉积物浓度/%	47.17	51.91	52.64	43.90	49.82

件下,支管排出的矿浆流在滩面上形成一个消能坑。矿浆从消能坑携带尾矿向四周流出,由于子坝的阻挡,矿浆流形成以子坝为直线边的扇形冲积滩。推移质尾矿沉积在扇形区,推移质或悬移质的尾矿被矿浆携向远处。有时,矿浆也在两扇形区相交处形成“弯弯小渠”,渠中细流较扇形区水深大、流速也大,足以冲刷裹挟粗粒尾矿。但是,由于离开放矿口不远滩面坡度变的很平缓,流速很慢,形成均匀缓慢的泥浆流动。显然,这一段由推移质尾矿组成的滩面坡度较陡,其长度主要决定于全尾矿的粗粒含量。此后,尾矿浆一面在重力下分选,一面向前移动,同时,离析出的水以更快的速度流向池心区。矿浆浓度增大流速减小,直到停止分选和宏观运动。根据流槽试验,维持这种缓慢滑移流动的滩面坡度约为0.3%。

5 沉积尾矿的状态

判断坝的稳定性需要准确使用尾矿的强度指标,做到这一点需要准确估计沉积尾矿的软硬状态,即需要精确测定尾矿的密度、含水率。通常是通过钻孔取得试样进行室内测定,这种方法适用于已有的尾矿坝,不适合于待建的和某些高含细粒尾矿、滩面区不易钻孔作业的尾矿坝。一般来说,每一座四等以上的尾矿库,包括正在使用的以及尚在规划中的都需要预估未来堆积坝的稳定状态。

库内停止分选和宏观流动的尾矿,仍然不断改变自身的密度和含水量。这一过程叫自重条件的排水固结。粘土类尾矿静态沉降试验表明,无论起始浓度大小,经过一昼夜的沉降、澄清,尾矿浆密度为1.41~1.53g/cm³,含水量稍大于流限,为90%~127%。在低应力(<10kPa)、一面排水条件下进一步固结,密度可增至1.49~1.65g/cm³,含水量减至流限状态

75%~81%。固结(压缩)试验表明,当压力不大于 200kPa 时,相应的固后密度为 1.80~1.86g/cm³,含水量可接近塑限,为 48%~55%。表 3 和表 4 是两个典型粘土尾矿在不同浓度时的物理指标。

表 3 尾矿在不同浓度时的物理指标

颗粒密度/(g/cm ³)	3.19					
浓度/%	45	50	55	60	65	70
密度/(g/cm ³)	1.447	1.498	1.606	1.700	1.805	1.925
含水量/%	122.2	100.0	81.8	66.7	53.8	42.9
干密度/(g/cm ³)	0.651	0.749	0.883	1.020	1.174	1.347
孔隙比	3.900	3.259	2.613	2.127	1.717	1.368

表 4 尾矿在不同浓度时的物理指标

颗粒密度/(g/cm ³)	2.86					
浓度/%	55	60	65	70	75	80
密度/(g/cm ³)	1.557	1.640	1.732	1.836	1.952	2.085
含水量/%	81.8	66.7	53.9	42.8	33.3	25.0
干密度/(g/cm ³)	0.856	0.984	1.125	1.286	1.464	1.668
孔隙比	2.341	1.907	1.542	1.224	0.954	0.715

这样的试验仅提供了尾矿浆变密的基本情况,还不能确定某一时期含水率沿坝高的分布。沉积尾矿的孔隙比 ε ,随所受有效应力 σ' 而变小,通常用指数函数表述:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-n\sigma'} \tag{3}$$

式中: ε_0 ——初始孔隙比;

n ——衰减指数,可通过压缩(固结)试验确定。

对于大顶尾矿, $\varepsilon_0=2.1\sim 2.5,n=0.002\ 18\sim 0.002\ 74$;对于池填尾矿 $\varepsilon_0=1.10\sim 1.45,n=0.000\ 949\sim 0.000\ 259$,压缩曲线见图 1、2。鲁中矿泥不同装样孔隙比试验结果不同如表 5,压缩曲线见图 3。

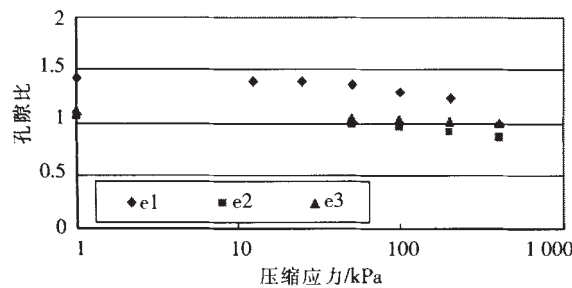


图 1 民安池填尾矿 e-p 曲线

对于一般沉积尾矿有:

$$W = S_r \varepsilon / G_s \tag{4}$$

式中:W——天然含水率;

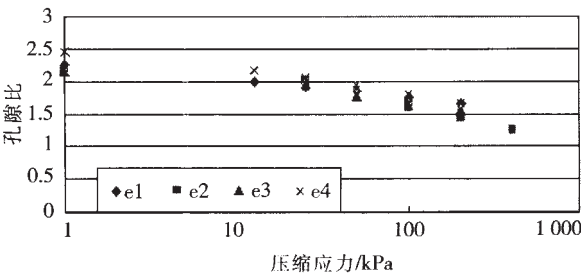


图 2 民安矿泥 e-p 曲线

表 5 鲁中尾矿的试验结果

装样孔隙比	ε_0	n	装样孔隙比	ε_0	n
>2.0	1.994	0.007 4	>1.5	1.718	0.002 7
>1.7	1.714	0.006 6	>1.0	1.112	0.001 6

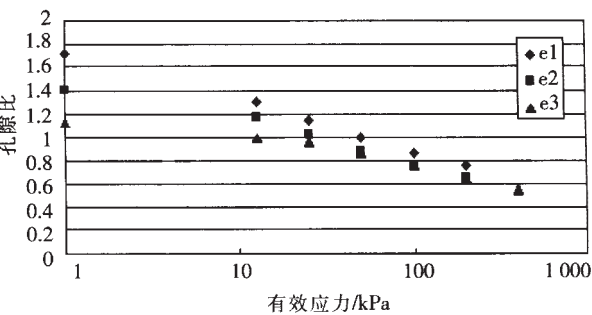


图 3 鲁中矿泥压缩 e-p 曲线

S_r ——饱和度;

G_s ——比重。

联立式(1)、(2)可以求出不同沉积状态尾矿的含水量。对于尾矿泥设 $G_s=3.2,S_r=1.0,n=0.001\ 8,\varepsilon_0=2.3,\varepsilon_0=3.0$,分别求得:

$$W=0.719e^{-0.001\ 8\sigma'} \tag{5}$$

$$W=0.938e^{-0.001\ 8\sigma'} \tag{6}$$

利用式(5)、(6)计算不同坝高时的含水量如表 6。计

表 6 不同坝高的含水量

项目	不同高度的含水量						备注
相对坝高 H/m	0	6	12	18	24	30	坝标高 475m
$\varepsilon_0=2.3$	71.9	61.7	57.2	57.2	57.2	33.7	
$\varepsilon_0=3.0$	93.8	80.6	74.7	74.7	74.7	44.0	
相对坝高 H/m	0	10	20	30	40	50	坝标高 495m
$\varepsilon_0=2.3$	71.9	55.8	45.8	44.8	39.7	32.7	
$\varepsilon_0=3.0$	93.8	72.9	59.8	58.5	51.9	42.7	
相对坝高 H/m	0	15	30	45	60	75	坝标高 521m
$\varepsilon_0=2.3$	71.9	56.0	41.0	39.6	35.0	31.8	
$\varepsilon_0=3.0$	93.8	73.2	53.5	51.7	45.7	41.0	

算含水量随深度增加而减少且与初始孔隙比有关。按含水量可以进一步把尾矿泥再细分为若干层,根据强度特性分别使用抗剪强度,以便于稳定分析结

果更符合实际。此种方法可以估算坝期状态,可作计算坝稳定性的参考。

Discussion on the Deposition Law of Fine Tailings Fill Dam

XU Hongda

(Central Research Institute of Building and Construction, MMI, Beijing 100088, China)

Key words: fine tailings; hydraulic damming; the law of deposition; beach face grade

Abstract: In the tailings the diameter of the fine silt fraction, the clay fraction and the colloid fraction are smaller than 0.02mm, only deposited under still water conditions. The deposition tailings' density is small, their volume is large, and their consolidation is slowly and their strength is bad. In a word, it's very bad to the safety of tailings dam. The usual deposition law of the tailings is suited to the tailings. Pushed load tailings and suspended load tailings deposit on fanshaped area or are carried by mud. Because the grain is little in full tailings, angle of beach surface slope become very smooth near the gateway, and the flow is very slow. Remain the slowly sliding flow, so angle of beach surface is about 0.3%.

工程动态与信息

·工程动态·

钠浮选剂装置在盐湖集团投产

国内首个千吨级钠浮选剂装置,在中国最大钾肥工业基地——青海盐湖集团公司正式投产。据介绍,这是盐湖集团在独立自主发展我国钾肥工业历程中,继自主开发成功“反浮选、冷结晶”工艺技术之后,取得的又一项重大科技成果。至此,盐湖集团公司拥有了当今世界上氯化钾生产首选工艺“反浮选—冷结晶”工艺的全套技术,填补了我国钠浮选剂装置技术及其产业化空白。

钠浮选剂,是当今世界上“反浮选—冷结晶”工艺生产氯化钾过程中的重要浮选药剂。20世纪80年代中后期,国家在建设青海钾肥一期工程20万t装置时,采用的是世界上早已淘汰的冷分解浮选法工艺,建成之后产品质量低,严重影响装置的达标达产。20世纪80年代末至90年代中后期,盐湖集团依靠自己的科研技术人员,完成了“反浮选—冷结晶”工艺的开发,于1997年成功应用于钾肥一期工程生产装置,很快使该装置实现达标达产,产品一级品率由老工艺时的70%左右提高到95%以上,使我国钾肥工业工艺技术,赶上世界一流水平。与此同时,盐湖集团公司科研部门与青海化工研究院及华东理工大学合作,在早期1号药剂(钠浮选剂)基础上,相继开发成功专为“反浮选—冷结晶”工艺配套的2号药剂,并于1997年建成一个500t药剂生产装置。此间,盐湖集团进一步优化药剂工艺,与合作方在2002年开发成功性能更优越的3号药剂,并于2002年投资1700万元,在西宁经济技术开发区建设1000t级的国内首个钠浮选剂项目,以此为盐湖集团公司150万t氯化钾生产装置形成配套,并可年创产值5000多万元。1000t药剂项目2003年4月建成后,经过一段时间的试生产和工艺、设备的完善,并经生产使用,证明性能稳定,产品质量可靠,已正式投产。