

尾矿库建设、生产运行、闭库与再利用、安全检查与评价、病案治理及安全监督管理实务全书

主编：金有生（中国矿业大学教授）

第一册

中国煤炭出版社

尾矿库建设、生产运行、闭库与再利用、安全检查与评价、病案治理及安全监督管理实务全书

主编：金有生（中国矿业大学教授）

第一册

中国煤炭出版社

前 言

我国现有尾矿库约 1500 余座，每年排弃尾矿近 3 亿 t，需占用土地面积约 20KM²（注：上标），由于尾矿坝稳固、废水处理、污染控制、土地恢复技术发展与矿物工业发展的不适应，已经开始显露出或预示出潜在的环境问题，严重阻碍可持续发展战略的实施。尾矿库管理已经成为各国政府、矿山企业所关注的重大问题。

为了促进尾矿库安全技术水平的提高，加强尾矿库安全监督管理工作，我们特组织有关专家、学者编撰了本手册。手册分为总论、尾矿库构筑物、尾矿库建设、尾矿库生产运行、尾矿库闭库、尾矿库闭库后再利用、尾矿库安全检查、尾矿库工程档案管理、尾矿库安全评价、尾矿库病害治理、尾矿库安全监督管理、典型案例分析、相关标准规范及相关法律法规，内容全面、新颖。

手册在编撰过程中参考了相关资料，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大专家、学者批评指教。

编 者
2005 年 9 月

目 录

第一篇 总 论

第一章 矿物加工及其对尾矿的影响	(3)
第一节 概述	(3)
第二节 矿物加工过程	(5)
第三节 尾矿输送与选矿用水返回	(8)
第四节 尾矿的物理和化学性质	(9)
第二章 尾矿的工程性质	(23)
第一节 沉积特性	(23)
第二节 密度	(26)
第三节 渗透性	(29)
第四节 变形特性	(31)
第五节 抗剪强度特性	(35)
第三章 尾矿排放方式	(44)
第一节 概述	(44)
第二节 地表排放	(47)
第三节 地下排放	(59)
第四节 深水排放	(63)
第四章 尾矿库的操作	(70)
第一节 尾矿排放操作	(70)
第二节 子坝堆筑	(71)
第三节 尾矿库排洪操作	(74)
第五章 尾矿库的维护	(77)
第一节 尾矿坝的安全治理	(77)
第二节 尾矿坝的抢险	(89)
第三节 尾矿库的巡检	(91)

第二篇 尾矿库构筑物

第一章 尾矿库	(95)
---------------	------

第一节 尾矿库的类型及特点	(95)
第二节 尾矿库的库容	(97)
第三节 尾矿库的面积—容积曲线	(98)
第四节 尾矿库堆积高度的确定	(98)
第五节 尾矿库的等别	(100)
第二章 尾矿坝	(101)
第一节 初期坝	(101)
第二节 后期坝	(105)
第三章 尾矿库排水构筑物	(111)
第一节 排水系统的选择及布置	(111)
第二节 排水系统的水力计算	(116)
第三节 排水管及斜槽	(186)
第四章 尾矿浓缩构筑物	(259)
第一节 浓缩池	(259)
第二节 斜板、斜管浓缩池	(291)
第三节 平流式沉淀池	(314)
第五章 尾矿水力输送构筑物	(318)
第一节 水力输送的方式及实例	(318)
第二节 尾矿输送的水力计算	(320)

第一篇 总 论

第一章 矿物加工及其对尾矿的影响

第一节 概 述

尾矿是以浆体形态产生和处置的破碎、磨细的岩石颗粒，常视作为矿物加工的最终产物，即选矿或有用矿物提取之后剩余的排弃物。人们正名尾矿为排弃物，而不定义为固体废料，意在承认它可能作为资源再利用的价值。

尾矿已成为大多数矿山企业的最重要的环境影响源。然而。长期以来由于偏重于有用矿物提取，而把尾矿看作单纯的废料，因而局限了人们对尾矿影响的环境意识和技术意识，很少作为独立的整体系统地论述尾矿—选矿废水—尾矿库基础土壤—地下水之间的极其复杂的物理的、化学的、生物的作用过程和特性。由于在尾矿库选址、设计和渗漏影响方面的缺陷，使许多作业矿山因尾矿管理不当而长期蒙受重大经济损失。近些年来，出于各国政府和公众对未来的关注，环境立法逐渐形成，环境影响当然地成为建设约束，许多拟建矿山因尾矿库环境工程不当而使矿山投资陷于困境。

尾矿是矿物提纯的副产物，矿物加工过程在很大程度上决定尾矿的性质。因此，认识尾矿性质的基础当是了解尾矿产生过程的基础知识，这正是本章的初衷。图 1-1-1 示出矿物加工的一般过程和现行工艺。很显然，如果在尾矿库总体设计中充分考虑采矿和选矿过程引起的各种化学、物理、生物作用，就可能非常有效地减少尾矿管理问题和经费。如果矿山在运营之中，也可能有比较多的机会改变加工流程，以在一定程度上改善或缓解尾矿库问题。

实际上，所有单元作业构成一个有机整体，工艺过程的选择、设计和优化必然关系到尾矿库工程的经济、能源和环境。总体上讲，在确定工艺流程之前应当回答以下问题：

- 矿石特性
- 选矿的前景
- 可能的浸出剂
- 预计溶浸液中的杂质
- 要回收的金属种类

- 可能的提纯工艺
- 可能的副产品
- 环境约束
- 能源需求量
- 侵蚀问题
- 总费用

面对这个背景，本章简要地讨论尾矿的产生、尾矿及其废液的特性。

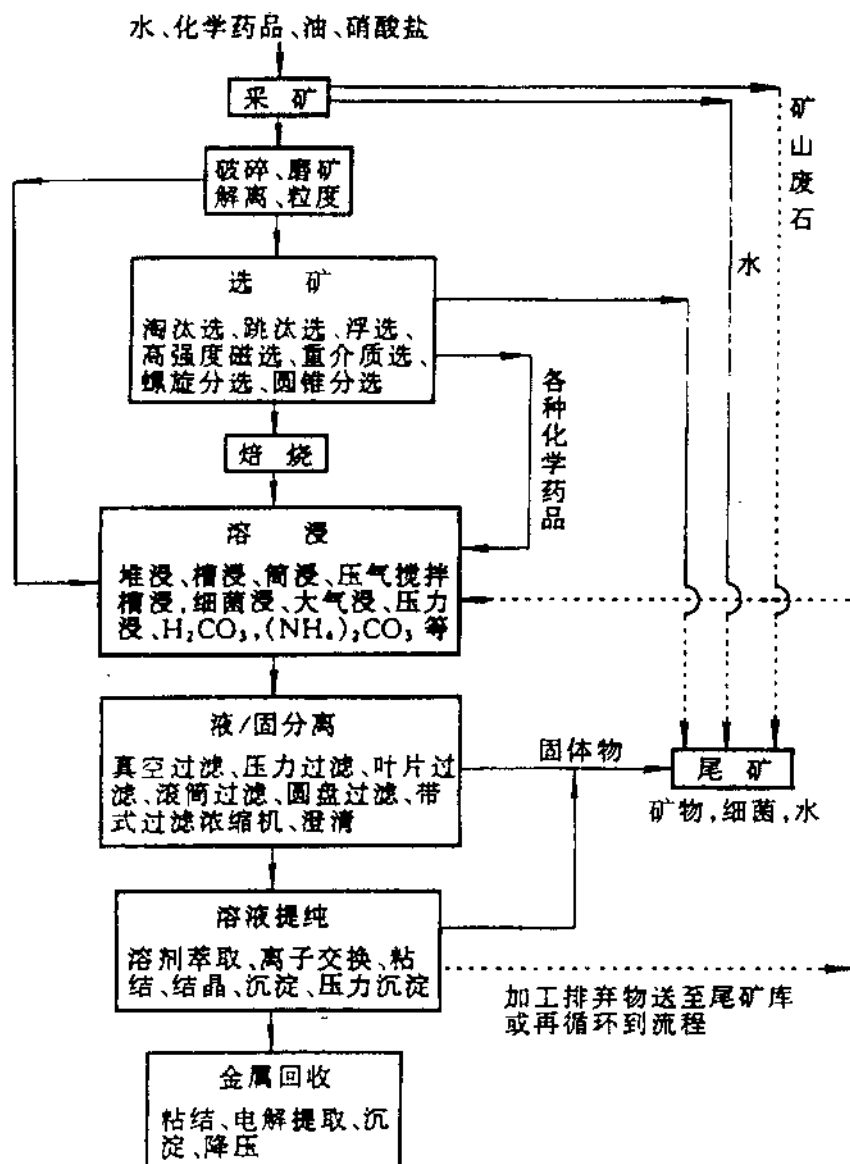


图 1-1-1 矿物加工过程

第二节 矿物加工过程

一、采矿

采矿作业的影响之一是开采过程中所使用的油料、化学药品和炸药等造成的污染，这些污染物再经大量的矿山排水而运移。有时这些矿山排水用于后面的单元作业，有时在排至尾矿库之前加以处理，供作它用。然而，大多数矿山将这些矿山水排至尾矿库。

采矿作业的影响之二是开采过程中所产生的废石，这些废石通常排至排土场，或用作筑路材料。在废石含有硫化物的场合，由于空气、阳光和细菌引起风化作用和氧化作用，硫化物氧化最终生成硫酸及再从岩石溶解其它成分。如果这类废石排至尾矿库区，则可能需要拦截和处理酸性渗漏水，以使排放水满足特定的环境规范和准则。

二、破碎、磨矿和选矿

破碎系统把块状原矿粒度破碎到磨矿设备所能接受的尺寸进入磨矿，磨矿是物理破碎矿石到尾矿粒级的最后阶段。尾矿粒度取决于硬岩碎块研磨过程中颗粒解离的程度和原矿中粘土含量。例如，铜尾矿主要由研磨母岩所产生的硅酸盐颗粒组成，而磷酸盐尾矿主要反映原矿的极高粘土含量，而不是由于磨矿产生的碎粒。

经过破碎和磨矿的猛力物理冲击，余下米的尾矿颗粒通常是坚硬的，具有棱角状，即便磨至粉砂粒级也显示出棱角性，但页岩组成的矿物例外，它们具有高的粘土含量，尾矿反映母岩粉砂和粘土颗粒的形状和硬度。

为了确定经济价值矿物和可能的药剂消耗量，必须进行全面的矿物组成检验。这样的检验可能决定性地影响回收有用矿物的加工类型及尾矿库设计。一旦选定加工过程，则必须考虑处理前后的矿物学以及排至尾矿库的固体物的矿物学。

磨碎的最佳程度必须考虑溶浸、焙烧—溶浸或可能的选矿循环诸如淘汰选、浮选、高强度磁选、重介质选等。例如溶浸法，为最大量提取，有时需细磨，以促使单体颗粒的比表面积最大。然而，对于浮选法，磨至极细粒度可能产生不利影响。最佳粒度尺寸通常由中试厂详细选矿试验来确定。

浮选是最广泛应用的成功的选矿方法，是在矿物加工顺序中引进化学药剂的第一步骤，因此，也可以说是尾矿废水造成污染的化学成分的较早指示。表 1-1-1 示出典型的浮选药

剂应用。因所分离的各种矿物类型不同，所用药剂亦有显著变化。在某些情况下，有些矿物如铝和钼，有时也用低浓度的氰化物作为浮选药剂。

与尾矿有关的最普通的问题就是硫化矿物氧化引起尾矿内酸的生成。风化过程将硫化物转变成硫酸亚铁和硫酸铁，后成氢氧化铁和硫酸释放。应当防止酸产生及从尾矿库中排出，因为酸性废水处理很困难，且费用也很高。预防尾矿中酸性条件产生的最有效方法是在尾矿排至尾矿库之前，在选厂设置分离过程，通过选矿流程将硫化物组分与脉石的非硫化物组分（硅酸盐、氧化物、碳酸盐等）分离，并将硫化物分存。加拿大矿物能源技术中心采用浮选方法能处理含 2% 黄铁矿的铀尾矿，除去 98% 的黄铁矿、70%~75% 的镭（Ra-226）和 60% 的铀和钍。最终尾矿包含 0.05%~0.08% 的（黄铁矿形式）硫、0.003%~0.004% 的铀、0.01% 的钍和 50%~60% pci/g 的镭 226。当然，由于采用浮选和为能分选所必要的添加剂，废水将含有这些化学药品，必须考虑其环境影响。

表 1-1-1 一般浮选药剂

类 别	用 途	化 合 物
(1)捕收剂	选择性地包覆颗粒以疏水表面,吸附众多气泡	溶于水的极化硫氢化合物,如脂肪酸
(2)调节剂 (a)pH 调节剂 (b)活性剂和抑制剂	改变 pH 以促进浮选,酸或碱 选择性地改进化合中存在的矿物浮选效应	NaOH, CaO, Na ₂ CO ₃ , H ₂ SO ₄ , H ₂ SO ₃ 磁性铁,石灰,硅酸钠,促粉,丹宁硅,磷酸盐
(3)起泡剂	起浮选介质作用	松油,丙二醇,脂族醇,甲酚酸
(4)油	改进泡沫并起捕收剂作用	煤油,燃料油,煤焦油

由于矿石的性质或特定的工艺设计，有的采用焙烧方法使矿物成还原状态或氧化状态，以为提高金属回收量创造条件，这样可能放出有毒的挥发物质。因此，依据矿石和工艺过程（氧化、还原、硫化、氢化），可能产生各种挥发性物质，必须把它们隔离在专门设计的系统内。

最近几年，由于先进仪器和计算机控制相结合，应用矿物学领域取得重大进步。图像分析就是一个突出例子，其与现代分析技术、表面化学技术相结合，一定会促进加工流程发展，提高对尾矿风化的认识和降低总成本。

三、溶浸

溶浸，通过磨碎的矿石颗粒与溶剂接触，从中提取有用矿物。进入溶浸阶段的材料可能是低品位矿石、精矿或难选的多金属矿石。近些年来，为回收铜、金或银等金属。对重新处理极低品位的尾矿很感兴趣，且在多数情况下是采用溶浸法。由于高品位矿石的减少和重新处理尾矿的极强生命力，现已发展有堆浸、原位浸出、地下破碎岩石的就地浸出。业已证明，如果常温和常压下大气浸出消耗酸量过大，采用压力浸出是很有效的；如果为溶解含沥青铀矿石、铀矿石和钍铀矿石、铜矿石和某些难选的含砷黄铁矿的金矿石，细菌浸出是很有效的。溶剂通常根据矿石类型选用强酸性的，如 H_2SO_4 ， HNO_3 ， HCl ， HF ，硫脲，或其混合物如 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HF}$ ， $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$ ， $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ ；或强碱性溶剂如 Na_2CO_3 ， $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 或碱性氧化物。

采用硫酸或碳酸盐溶浸铀矿石，可有 95%~98% 的放射性核素保留在固体尾矿中。如果改作硝酸溶浸或氯化物处理，则大部分放射性核素将溶解。

选金的主要问题之一是有毒的氰化物释放到尾矿中。如果采用能够再循环的各种溶浸，以不把有毒废水排至环境，当然可取。

砷成为尾矿或接受环境的另一潜在问题。由于砷化学复杂，具有几种氧化状态，在提取过程中，砷通常部分被溶解，随残渣进入尾矿。如果砷完全被溶解，则可作为副产品从溶液中回收砷。焙烧技术可能是消除和回收砷的一种有效方法。

溶浸可能改变尾矿的物理性质。例如某铀矿，由于钙—钠置换的结果，酸浸过程中使原矿中蒙脱石粘土矿物转变成尾矿中居优势的高岭土。

随着溶浸技术的改进和矿物学的发展，溶浸回收效果有了显著提高，副产品的回收也得以实现，尾矿特性的改善也将随着某些新技术的应用而得以增进。

四、固液分离

固液分离是选矿中费用最高的单元作业，约占基建成本和作业成本的 50%。为使尾矿中可溶金属量损失最小，必须在提纯之前充分冲洗、沉淀和澄清。多年来曾采用真空过滤机、压力过滤机、叶滤机、滚筒过滤机和圆盘过滤机。较高效的带式过滤机已在许多选厂应用。由于增强了冲洗效果，使可溶金属损失减少。固液分离通过旋流器和浓缩机可以达到。为了提高分离效果，使用各种添加剂如聚丙烯酰胺。其最终将出现在所排至的尾矿库废水中。所以，在固液分离作业中必须进行充分冲洗，即可防止金属量损失，又可防止污染物排至尾矿库。

为了降低流程的总基建成本和作业成本，为了减少进入尾矿的可溶金属量损失并防止尾

矿库区增大污染物浓度，应当非常重视这一单元作业。矿浆+溶剂或矿浆+树脂的结合可能是达到成本显著降低的主要因素，并能为减少环境影响创造条件。

五、溶液提纯与金属回收

为从溶液中回收金属并满足产品高纯度的要求，可以根据所要回收的金属类型和杂质、预期的品位和金属量，选用某种或某几种溶液提纯方法，包括粘结、沉淀、结晶、离子交换、溶剂萃取、碳吸附、反渗透、液膜和电解。

离子交换和溶剂萃取技术在金、钽、贵金属、稀土等金属回收中取得较好的效果。连续的离子交换系统产生浓溶液，送到溶剂萃取系统洗提，获得所要求的纯化。适当的溶剂萃取药剂达到较好的金属选择性，提高提取效率，降低作业成本。但是，某些有机药剂具有不利的环境影响，需要可生物降解的混合物，以促进尾矿中有机物降低。最好是在金属回收之后，在废液排至环境之前，消除污染物并回收氰化物和贱金属。显然，离子交换和溶剂萃取方法也可用于尾矿坝渗漏水的治疗。

碳吸附方法主要用于从碱性氰化物溶浸液、溶浸后的溶浸浆体中回收金，目前因离子交换或溶剂萃取的取代而趋衰落，比较广泛的是用于消除废液中有机物和其它污染物。

资源保护和利用是冶金企业的永久性的重大课题。由于经济和环境的原因，有的公司已经或正在考虑从已排至尾矿库的尾矿中回收金属和副产品，或者充分利用再循环水。

中和废水产生大量矿泥是冶金企业所关注的主要问题之一。矿泥的一部分是由沉淀的铁组成，因此，有些矿山占用很大的库容堆积黄钾铁矾沉淀物。应当设计一种经济上有利、环境上满足在求的方案替代现行技术，其中，一种可能性是采用溶剂萃取，在循环中消除铁，如果能生产可销售产品如 Fe_2O_3 、 FeCl_3 、铁粉或其它化合物，则可从副产品销售中获得经济利益，并减少尾矿管理的基建成本和作业成本。

回收金、贵金属和稀有金属如用于电子工业的镓、铟、锗等工艺因分离化学和高纯度化学沉淀剂的进步而发展；贱金属如 Co、Ni、Cu、Pb、Zn 的连续处理工艺已经出现。

为降低浸出成本及废液中和处理成小，不断增大浸出溶液的重复使用，氯化物冶金学的应用将增大金属回收，浸出溶液重复使用、副产品回收和无污染尾矿的可能性。

第三节 尾矿输送与选矿用水返回

浓缩机集中起来的尾矿几乎均以浆体状输送到尾矿库，因为干式处理尾矿极为昂贵。目

前，普遍采用管路系统输送，是否需要泵送系统取决于选厂与尾矿库的相对高程、管路长度和压头损失。应当说明，出于输送管路的管理和运营成本的考虑，尾矿输送距离往往在尾矿库选址上起决定性作用。

尾矿浆为磨料，具有较高的粘度，通常以浆体浓度量度浆体密度。浆体浓度定义为单位浆体中固体物质的质量，其变化范围约从 15% 到 55% 之间。近些年来，很是推崇高浓度输送，它非常有效地节省能源。

尾矿输送管路的设计因众多相互矛盾条件的制约而变得极为复杂。尾矿浆的运动受最小流动速度的支配，低于这个流速，尾矿将从悬浮体中沉淀下来并堵塞管路，造成灾难性后果。而最小沉淀速度对各个矿山尾矿都是特有的，其决定于矿浆浓度、固体颗粒尺寸、级配和比重。大多数尾矿在管路中的流速为 1.5~3.0m/s。相反，过高的流速将引起管路的快速磨损和高的压头损失，从而须采用较大能力的泵和担负较高的泵送费用。在陡下坡的管路段，为了防止过高的管路压力和流速，通常要装备矿浆缓流箱。管路磨损是很严重的，普通钢管往往在几年之内就被损坏，其不但造成巨大的经济损失，而且也造成严重的环境污染。典型实例是攀钢马家田尾矿库，管路泄漏曾直接进入金沙江。近些年来，在低到中等管压范围内，广泛采用耐磨衬里钢管、高密度聚乙烯管（HDPE）输送尾矿。

通常在尾矿坝坝顶沿周边采用多接头排放管（间距 15~50m）顺序分段排放，以形成相接的重叠三角形尾矿堆。

尾矿排放到尾矿库以后，首先较粗的尾矿砂颗粒靠近排放点沉淀，依次是较粗颗粒、较细颗粒和胶质颗粒向沉淀池里延伸，最终在静水中沉淀下来。澄清水经由沉淀池中尾矿沉积物下面的导水平洞，穿过坝趾引至库外，再泵回选厂供重复使用。

第四节 尾矿的物理和化学性质

特定类型尾矿的产生和性质是排放后发生的所有作用的基础，它从根本上决定了设计所需要的排放设施类型以及设计所考虑的风险水平。从这个意义上说，如果不能对尾矿的物理性质和废液的化学性质作出准确估价，就不可能进行尾矿库工程的合理分析、设计与管理。

一、相关系

尾矿是固、液、气三相体。描述尾矿物理特性的一个重要方式是尾矿材料的固、液、气相关系。图 1-1-2a 示出尾矿浆或沉积尾矿的三相分布示意图；图 1-1-2b 示出固体、液

体、气体按体积和质量的分离。

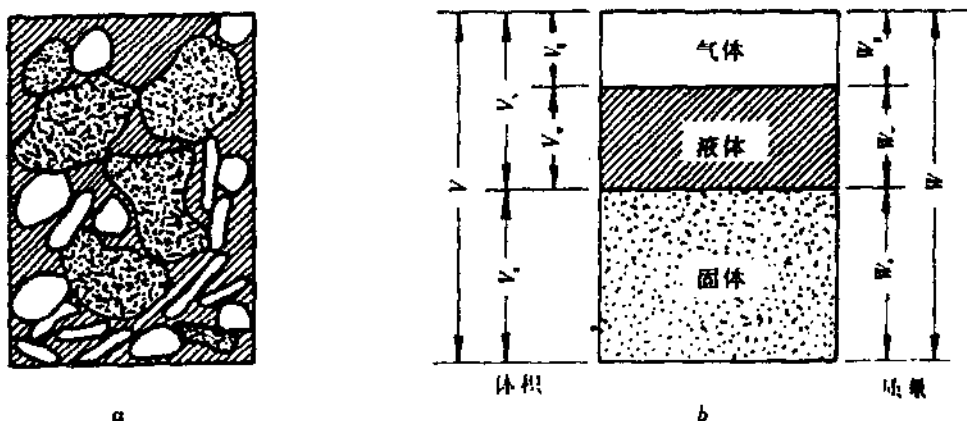


图 1-1-2 尾矿相关系

a—尾矿的固体、液体、气体分布；*b*—固体、液体、气体按体积和质量分离

描述尾矿相关系的基本参数包括矿浆浓度、孔隙比、含水量、孔隙率、比重、沉积尾矿的饱和度。参照图 1-1-2*b*，这些参数定义如下：

孔隙比
$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-1-1)$$

饱和度
$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (1-1-2)$$

孔隙率
$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1-1-3)$$

比重(固体)
$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (1-1-4)$$

含水量
$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (1-1-5)$$

矿浆浓度
$$P = \frac{W_s}{W} \quad (1-1-6)$$

式中， $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ 固体的密度；

$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$ ，水的密度。

根据上述定义，可以得出 $Gw=Se$ ，依此式可以推导出描述各种相关系的表达式：

矿浆浓度
$$P = \frac{W_s}{W} = \frac{1}{1+w} \quad (1-1-7)$$

$$\text{饱和度} \quad S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_d w G}{G \gamma_w - \gamma_d} \quad (1-1-8)$$

$$\text{孔隙比} \quad e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{G \gamma_w}{\gamma_d} - 1 = \frac{(1+w) G \gamma_w}{\gamma_t} - 1 \quad (1-1-9)$$

$$\text{孔隙率} \quad n = \frac{e}{1+e} \quad (1-1-10)$$

$$\text{总密度} \quad \gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{G + S_e}{1+e} \gamma_w = \frac{1+w}{1+e} G \gamma_w \quad (1-1-11)$$

$$\text{干密度} \quad \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G}{1+e} \gamma_w = \frac{G \gamma_w}{1 + (wG/S)} = \frac{G \gamma_w}{1 + [(1-P)/P]G/S} = \frac{\gamma_t}{1+w} \quad (1-1-12)$$

粒度级配曲线是尾矿物理特性的另一种表达。工程上也常以全尾矿中 0.075mm 作为界限值区分 +0.075mm 以上的尾矿砂，-0.075mm 以下的尾矿泥。几乎所有全尾矿都包含这两部分，但因矿种、加工方法不同变化范围很宽。由于沉积过程的关系，同一尾矿库的某一区段可能为以 -0.075mm 材料为主的尾矿泥带。

对于给定的沉积尾矿砂，如果已知原位孔隙比或干密度，可以用相对密度 D_r 来描述原位尾矿松散状态和致密状态：

$$D_r = \frac{\gamma_{d_{\max}}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d_{\min}}}{\gamma_{d_{\max}} - \gamma_{d_{\min}}} \times 100\% = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\% \quad (1-1-13)$$

式中 $\gamma_{d_{\max}}$ ——最致密状态下尾矿干密度；

$\gamma_{d_{\min}}$ ——最松散状态下尾矿干密度；

$e_{\max}$ ——最松散状态下尾矿孔隙比；

$e_{\min}$ ——最致密状态下尾矿孔隙比。

在传统的土力学中，相对密度的应用限于含 10% 以下细粒的干净砂，是采用模型内倒入干砂测定最小密度（或最大孔隙比），采用振动台测定最大密度（或最小孔隙比），而相对密度应用于尾矿时，则很少严格地按照这一含量的限制，且采用高能压缩试验来测定最大密度。因此，尾矿相对密度与传统土力学测定的相对密度存在一定差异。此外，应强调指出，基于干密度计算的相对密度将反映出比重的差异，在某些场合，其可能在同一尾矿沉积层内各点都变化很大，基于孔隙比（要求与比重分开测定）计算的相对密度可以校正因干密度引起的误差。

二、毒性

必须判定尾矿废水的各种成分的含量对人、植物和动物有害的水平，以便对照各种水质标准检验尾矿库排放水或渗漏水污染物浓度的相对水平。为了达到合乎要求的排放水质标准，排至建矿库的废液必须依照最实用的技术加以严格规划和管理，即便设计和防护措施非常充分，也可能有渗漏水或径流水排出。如果不在渗出之前处理，溶解的污染物则可能以各种方式影响水生环境：

阳离子形式的重金属常常可在较低浓度情况下致死鱼和其它水中生物体。它们可能通过食用途径进入人体。在水硬度增大和腐殖酸存在的情况下，重金属的毒性降低。较低的金属浓度产生免毒反应，致使物种繁衍的降低：

有机物和选矿药剂可能是有毒的，除非在最终排放之前加以降低；

由于尾矿废水排入河流，pH 值的变化可能改变水生物的生存状态，使某些鱼或全部鱼都不适应；

尾矿沉积于河床基底，可能使之不宜用作某些水生物养殖区。

表 1—1—2 列出我国的饮用水标准以及各种成分对人、植物和动物的影响，表 1—1—3 列出农田灌溉水质标准值。由此可见，我们在尾矿废水处理中，必须具备有关健康和毒性作用的基础知识，不仅要考虑污染物类型，还要考虑它们的预计浓度，因为，特定的污染物只有以特定的毒性浓度才能作出可能构成潜在危害的判别。当然，化学危害和毒性评价不仅涉及科学依据，还涉及社会与政治因素。有识的设计者将既不固步自封又不过于恐慌地处理可能的危险。

表 1—1—2 水质标准和尾矿废液无机化学成分的毒性 (mg/L)

成 分	水质标准	对入、植物和动物的影响
砷(As)	0.05	剧毒且可能对人致癌，砷中毒能从慢性变到急性，且可积累并致死
钡(Ba)		钡是肌肉，特别是心肌的刺激剂。它能引起神经传导阻滞，导致神经失调，血管缩窄造成血压升高。摄入钡盐可能对某些组织造成不可逆破坏
镉(Cd)	0.01	镉浓集在组织中，受污染的食物、特别是鱼能使人中毒。镉可与肾动脉高水压相联合，引起剧烈恶心。镉可能在肝和肾组织积累。它抑制某些农作物生长，并聚集在植物组织中
铬(Cr)	0.05	Cr ⁺⁶ 对人有毒，能引起皮肤过敏，尚未确定人对 Cr ⁺³ 的耐力