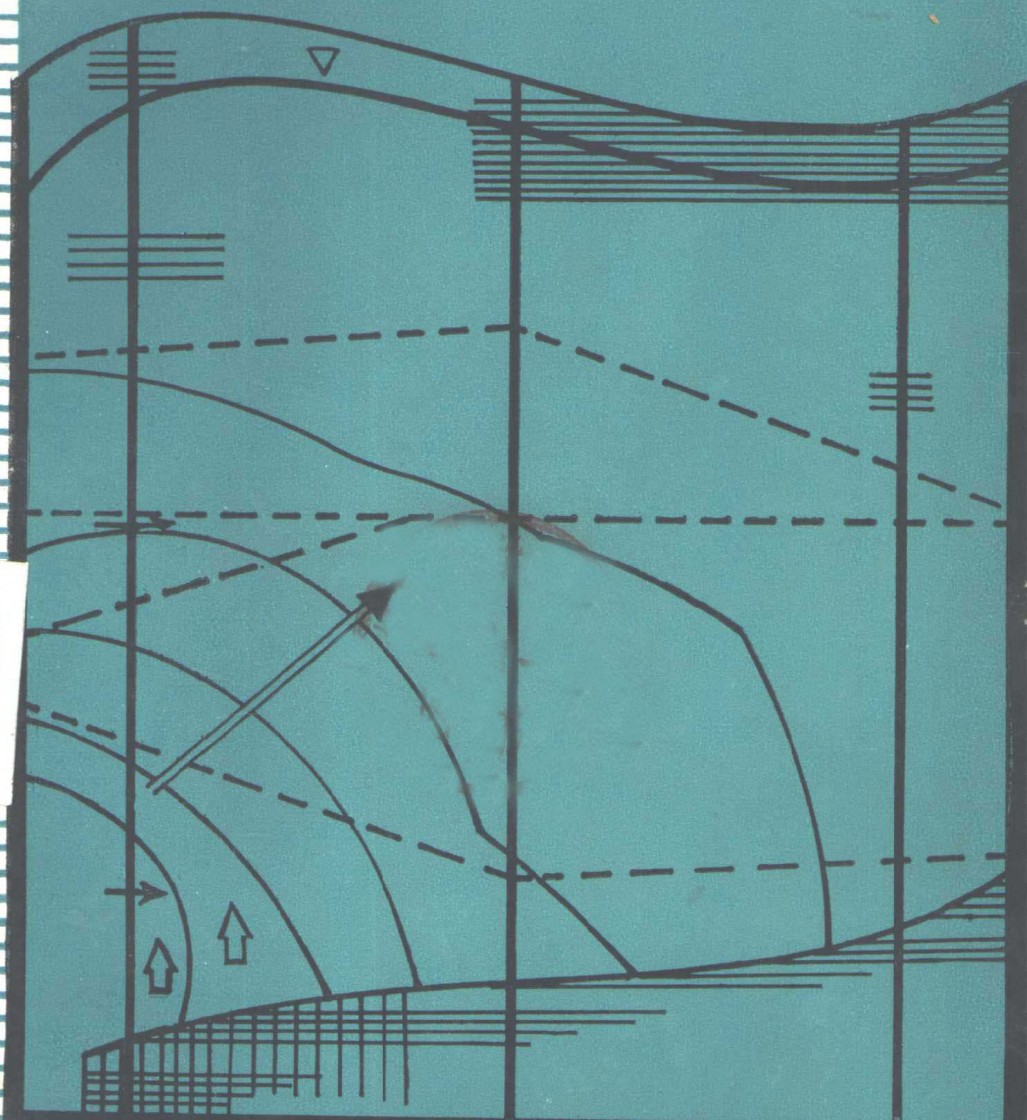


防止地下水污染的水质预测

〔苏〕 Ф·И·丘丘诺娃 等著

地质出版社



防止地下水污染的水质预测

〔苏〕 Ф.И.丘丘诺娃

И.Я.潘捷列耶夫、Т.И.潘捷列耶娃

А.Н.奥基利维、Т.К.费多罗娃

张先起 译 乐美煜 校

地 质 出 版 社

内 容 摘 要

在总结多年研究资料的基础上,书中分析了污染组份进入地下水的污染源,污染组份的定性定量成分,它们迁移的条件和形式,简单迁移形式和络合迁移形式,迁移的内因和外因,指出了在岩石—水系统中组份再分配时的水动力学和物理化学作用—稀释作用、微观和宏观的弥散作用、吸附作用、沉淀和溶解作用。

结合物理化学过程,书中说明了在含水层中污染分布预测的特点。研究了在现代都市化和个别工业部门专业化增长的时候,在地下水成份形成的复杂条件下,水化学测量的问题。列举了地下水污染源划分的方法和污染组份浓度变化区域规律表示方法。指出了在人类工程活动积极的条件下,为预测地下水质量变化的水文地质勘察的特征。

本书可作为水化学、水文地球化学、地球化学、环境地质以及从事地质、水文地质和环境保护的专家们参考,也可作为大专院校有关专业的研究生,教师及学生的参考书。

Прогноз качества подземных вод в связи с их охраной от загрязнения

Ф.И.Тютюнова И.Я.Пантелеев

Т.И.Пантелеева А.Н.Огильви Т.К.Федорова

Издательство «Наука»

Москва 1978

防止地下水污染的水质预测

[苏] Ф.И.丘丘诺娃

И.Я.潘捷列耶夫、Т.И.潘捷列耶娃

А.Н.奥基利维、Т.К.费多罗娃

张先起 译 乐美煜 校

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑:汪熊麟

地质出版社出版

(北京西四)

通县马驹桥印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: $6^{5/16}$ 字数: 165,000

1985年5月北京第一版·1985年5月北京第一次印刷

印数: 1—6,530册 定价: 1.75元

统一书号: 15038·新1034.

序 言

防止地下水污染是目前水文地质学、尤其是为建设服务的工程-水文地质学的迫切问题之一。作为技术进步的否定方面，当外部环境普遍恶化时，地下水日益增长的污染引起了人们的特别不安。因为，在许多情况下，地下水是唯一的居民饮用供水水源。

在许多研究中已经查明，在工业发达区常常可以见到地下水的污染。在固体和液体工业废物堆放地段（专门贮库）污染最厉害。众所周知，这常常是一些没有充分考虑地质-水文地质条件和废弃物的物理化学性质而建设的地面建筑物，它们成了工业废物成份中的污染组分进入地下水的主要污染源。现有水源地水质不可避免的恶化和过早地报废的威胁造成了巨大的损失，而且使新水源地的勘探和建设造成了巨大的非生产开支。

在这本著作中，总结了苏联国家建委建筑工程勘察科学研究所完成的关于《水资源综合利用和保护》问题一系列篇章的多年研究成果。

上述著作包括三个研究类型——水动力学的、水化学的和物理化学的，为工业污水量大的并带有污水输送和堆放附属建筑物的企业设计而进行的工程勘察的完善作了最后总结。而且已经注意到，为建筑物建设时和将来运输时预测地下水质量可能变化和为实现监控变质水晕的扩散，在勘察过程中，技术水平的提高和勘察工作类型的扩大，已有可能为上述目的获得必要的资料。预测评价结合现有污染程度的计算，为制定防止开采含水层和现有水源地区污染的有效措施提供了基础。

在工作的第一阶段主要注意研究地下水和围岩自净有害组份（其中包括重金属）的天然水动力学和水化学作用。

在人类工程活动积极的条件下，水资源质量预测问题吸引很多学者的注意。但是问题的复杂性和多样性预先决定了问题解决的渐进性。问题的水动力学（仅部分水化学）方面在Φ. М. 鲍切维尔和А. Е. 奥拉多夫斯卡娅（1972），Е. И. 明金（1972），В. М. 戈尔德别尔格（1976）的著作中可以找到反映；物理化学方面在Φ. И. 丘丘诺娃（1976）的著作中可以找到反映。在这本著作中，第一次研究了浓度变化的预测不是水的某种抽象组份的浓度或矿化度作为污染综合指数，而是工业生产现代工艺污水的具体组份在水中的含量变化。这一点具有重大意义，因为在组份浓度变化很大时就可能有这样的情况，水的矿化度相当于国家标准，但其中个别组份的浓度，特别是极限允许浓度低的组份的浓度却超过了正常指标。在著作中，还特别注意了含水层实际水文地球化学条件的评价，第一次把物理化学热力学方法作为岩石-污水系统的成分和性质变化的预测方法来描述。

在本书中分析了组份进入地下水的污染源，简单地介绍了在岩石-水系统内组份重新分配的主要水动力学和物理化学作用。还阐述了在含水层中污染组份分布预测的特点。用具体例子分析了在现代都市的和工业部门专业化增长的条件下，地下水成分形成的特点。最后，在专门章节中，为预测在建筑物建设和运输时地下水质量的变化，工程-水文地质勘察实施的某些特征也给予了一定的注意。

目 录

序 言

第一章 污染组份及其进入含水层的条件	1
第一节 污染组份积累源及其进入含水层的途径	2
第二节 污染的地下水分布条件概述	36
第二章 组份的迁移形式及其定性定量成分的评价	40
第三章 被惰性化合物可能污染的条件下, 地下水质量的预测	70
第四章 污染地下水中组份的沉淀—溶解的预测	83
第一节 组份沉淀物的定性成分及其稳定性标准	84
第二节 在含水层中组份沉淀的预测	105
第三节 在含水层中组份沉淀物溶解的预测	115
第五章 组份被含水层岩石吸附的预测	125
第六章 在城市和工业区进行水化学测量的特征	146
第一节 地下水污染源的查明和圈定	147
第二节 地下水中污染组份浓度变化区域规律的揭示方法	158
一、统计方法	158
二、趋势分析	173
第七章 在建筑物的建设和使用时, 为地下水质量变化预测的工程—水文地质勘察的特征	179
结束语	195
参考文献 (略)	

第一章 污染组份及其进入含水层的条件

引起水质恶化的地表水和地下水污染，是人类生产活动的结果，地表水和地下水显示出生物细菌的、有机的和一般化学性质的改变。对人类生命威胁最大的化学污染是我们要研究的对象。

很多研究证明，地下水经常遭受来自选矿、冶金、化学、机械制造、石油加工、造纸等工业部门的废料组份的污染。

污染源可划分为常年起作用的，周期性起作用的和偶然起作用的（丘丘诺娃，1976）。地下水污染经常是由于不同污染源通过若干途径而造成的。应当承认，这样一种污染是最有害的和最复杂的。因而要采取清除和封闭它们的措施也是十分困难的，即使截断了污染源之后，地下水的污染仍然会保持相当长时间。

不同类型的尾矿库，矿泥堆积池、沉淀池、蒸发池、污水渠、“白海”、污灌地等是常年污染源。

原料和中间产品在储存地和运输中的流失；废料场中固体废物淋滤产物和工业企业及交通排入大气中的气态化合物污染的大气降雨；交通运输过程废品的排出；燃料滑润油在贮存地的流失；冲洗水的排放属于周期性起作用的污染源。

偶然污染源是工业和居民生活下水道网、管道的事故破裂；用于向深部含水层中注入有毒工业污水的钻孔的破损；在采油区从未止水钻孔中水和石油的自流；由于勘探孔、开采孔和观察孔的废除和装备规程的破坏，导致矿山开采工业污水的流失。

第一节 污染组份积累源及其 进入含水层的途径

工业的发展，城市和工人住宅环境美化水平的提高，大大增加了需水量。在水量增加的同时，企业排放污水的成分也更复杂了。目前，地表水和地下水的主要污染源是不清洁的或不够清洁的工业和居民生活污水排入水库，水沟，吸水孔和井。

为了生产废物的利用，专门容器的建立大大减轻了水体的污染，然而并没有完全消除污染，因为净化建筑物的建设总是要落后于新建企业和现有企业扩建后开始使用日期。而且由于污水净化方法的不完善，常常会有许多污染组份，成了地下水十分危险的污染源。

应从如下几个方面去防止工业污水污染地下水和地表水体：

- 1.降低企业每吨产品的需水量；
- 2.变换企业中现有的工艺系统来降低污水中污染物的含量；
- 3.在重复供水扩大污水利用的范围；
- 4.完善净化方法；
- 5.把工业污水注入深含水层中；

6.在企业运转的条件下，地下水和地表水体被污水污染和可能污染的预测，以及保护措施的研制，在设计阶段尤为重要。

预测应以处于不同自然条件下的污水贮存地流出的工业污水渗透水文地质计算为基础，并考虑到水的化学成分的改变及其经过饱气带和在含水层内运动过程中的变质作用。

污水净化建筑物类型决定于工业生产的类型。如对双相迳流排放为特征的选矿、冶金、煤炭、苏打和苏打-水泥工业企业来说，应建立尾矿库、矿泥库、贮灰场和“白海”；对产生液态“单相”迳流的石油开采、石油加工、化学、纤维造纸、食品和其它工业企业应建筑污水贮存池、沉淀池、蒸发池、污灌地、渗透场（阿尔采夫，1970）。

尾矿库 为了从矿浆中分离出固体和获得清水，可将地形低凹处用土堤围起来或者用土堤将冲沟、谷地、河流堵起来修成尾矿库。

按照尾矿库分布地点的地形特征，以及雨水和雪水迳流的大小和特征，尾矿库可分为下列几种类型。

第一类型，选矿厂安置在微切割地形的条件下。较低的自然地面的地段从一方面或几方面用土堤围起来，造成延伸很长的分配式尾矿管道。对这一类型来说，其特征是汇水面积小，故洪水和雪水的迳流量也小。因此集水建筑物的大小和结构主要与澄清矿浆的耗水量有关，与雨、雪水的流量关系不大。

第二类型，安排在河漫滩。在这种情况下，要对围堤底坡进行加固，免遭河流流水的作用。在彻底调整河流的条件下，围堤具有相对复杂的结构，以保证底坡坚实和不被冲刷。

第三类型，是把冲沟和山谷用坝堵起来修成的冲沟河谷尾矿库。这时无论是尾矿的存放还是防洪都可利用所形成的库容。与上述两类比较起来这一类的特征有：

1. 供给尾矿库的迳流停止后，排水建筑物还要继续运行，因为洪水只有经过尾矿库及其排水建筑物才能排走。

2. 将山谷和冲沟堵起来的土坝长度短，因此，为排泄矿浆和土坝冲积物沿坝体埋设的分配式矿浆管也短。

第四类型，是尾矿库最复杂的一种，反应矿区的特点。

工业生产废物存放的地点应满足如下条件：

1. 占最小的面积而有最大的容积；
2. 保证污水最大程度的澄清和除毒；
3. 保证在一个长时期内保存放入的尾矿，以利将来的利用。

在发达的工业圈，最有害的是通常拥有很大排放量的选矿污水。因此，以选矿厂尾矿设施为例分析尾矿库的效用是合理的。

选矿厂的尾矿场是具有一定面积的建有能保证在选矿厂整个或部分折旧期尾矿存放正常条件的技术建筑物的地段。

尾矿场的主要技术建筑物有（麦利尼柯夫，1946）：

- 1.防止尾矿散流到尾矿场排放地段界外的主要土坝和土堰；
- 2.用沉淀法从水中分离出悬浮质而建立的水库；
- 3.供排出水体余水用的泄水建筑物。

为了在尾矿场正常存放尾矿，还需要一系列辅助建筑物，它们是：

- 1.为从工厂把尾矿运送到尾矿场用的高架桥和尾矿管；
- 2.保证尾矿从工厂自流到尾矿场的输送泵站；
- 3.回水泵站；
- 4.存放管子和材料的仓库；
- 5.山腰上排除地表水的沟。

包括主要建筑物和全部辅助建筑物的尾矿场组成选矿厂的尾矿设施（麦利尼柯夫，1950）。

尾矿库按三种主要流程进行充填（图1）：

- 1.由坝（堤）向岸边；
- 2.从岸边向坝；
- 3.环行流程。

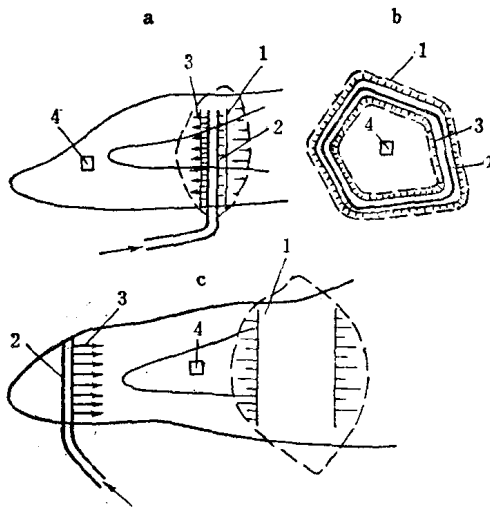


图 1 矿浆输送流程：（a）从坝向岸，（b）从岸向坝，（c）环行的
1—坝，2—矿浆分配管，3—矿浆排放口，4—排水井

此外还有混合淤填：同时由堤向岸和由岸向堤淤填；或者两种依次轮换使用。

矿浆排入尾矿库，可以用水上法和水下法。在第一种情况下，矿浆被抛在地面或早先淤积的尾矿上面，沿运动途径逐渐实现固相沉淀。在第二种情况下尾矿的沉淀和铺开发生在较有限面积的静水环境中。

当尾矿库淤填时，以及当矿泥冲入坝及防护堤时，也就完成了按物质颗粒大小和密度的自然分馏，形成三个基本带：冲积滩的水上区，冲积滩的水下斜坡和沉淀池。在这些带内，固体颗粒的沉积条件有很大的不同。在水上岸滩沉积矿渣从粗砂到细粉砂，在水下斜坡沉积粉砂和亚砂土，而沉淀池内多为亚粘土和粘土。

选矿厂抛入尾矿场的矿泥的颗粒成分确定选矿厂和矿泥处理设备设计的技术任务。

根据矿物和颗粒的成分以及物理机械特征，选矿厂的尾矿是有区别的。

按尾矿的粒度可划分为如下几种：

1. 碎石的（超过2毫米的颗粒含量大于25%）；
2. 粗粒的（超过0.25毫米的颗粒含量大于50%）；
3. 细粒的（超过0.1毫米的颗粒含量大于75%）；
4. 粉状的（超过0.1毫米的颗粒含量小于75%）。

按粒度鉴定尾矿，将尾矿划分为上述几种是不够的，因为一种尾矿常常按个别颗粒的含量加以区别。表1中的资料就证明了这一点。（费多罗夫、多勃罗文斯卡娅，1970）

各粒级的含量估算用尾矿矿物颗粒加权平均直径值。加权平均直径 d_{cp} 按公式确定。

$$d_{cp} = \frac{d_1 q_1 + d_2 q_2 + \dots + d_n q_n}{100} \text{ 毫米,}$$

式中 d_1, d_2, d_n —各粒级尾矿的颗粒直径，毫米；

q_1, q_2, q_n —某粒级的重量百分率，%。

表 1 沉积于尾矿库中尾矿的特征

尾 矿	颗 粒 含 量 (%)								
	5—2 毫米	2—1 毫米	1.0— 0.5毫米	0.5— 0.25毫米	0.25— 0.1毫米	0.1— 0.05毫米	0.05— 0.01毫米	0.01— 0.005毫米	小于0.005 毫米
粗砂	10—15 50—70		20—45				1—2		
中砂	— 40—60		35—50				不高于10		
细砂	— 20—35		24—40		20—35		5—20		
粉细砂	— 10—40		50—75				3—5		
粉砂	— 约20		60—80				5—15		

按尾矿颗粒成分编制出积分曲线，根据上述曲线建立起相应于重量百分率10，30，60，90%的直径 d_{10} ， d_{30} ， d_{60} ， d_{90} 值，即颗粒的有效直径。用下面的关系式确定尾矿不均匀系数(表2)。

$$\eta = d_{60}/d_{10}; \quad \eta = d_{90}/d_{10}。$$

淤入库内的有色冶金选矿厂尾矿颗粒的直径变化在1到<0.005毫米之间。

当有色冶金选矿厂矿浆沉淀时，在库岸沉积的尾矿，其加权平均直径大约为0.1到0.4毫米，基本上是粉状尾矿，少数是细粒和中粒尾矿。

为了评价尾矿的粒度，可利用加权平均直径 d_{ω} 。但为了更完善地鉴定粒度除了 d_{ω} 值外，最好有各粒级的产出率。在表3资料的基础上，编制尾矿加权平均直径与不同直径颗粒含量变化关系图(图2)。

现有资料分析表明，随着尾矿加权平均直径的变小尾矿中细颗粒的含量增加，较粗颗粒的含量减少。

进入尾矿场水体中的选矿厂尾矿的通常稠度决定于固体和液体的比例，一般为1:3—1:6。可见，排泄含水率达80%的尾矿的工厂是水体的水的主要补给来源。

淤积于尾矿库围堤内的尾矿的湿度，在表面为百分之几，到

表 2 有色冶金尾矿不均匀系数

尾 矿	加权平均直径 d_{cp} (毫米)	有效直径 d_{10} (毫米)	不均匀系数	
			$\eta_{80} = d_{80}/d_{10}$	$\eta_{90} = d_{90}/d_{10}$
列 宁 山	0.337	0.108	2.68	5.75
列 宁 山	0.228	0.03	7.30	15.00
列 宁 山	0.126	0.0036	27.80	83.50
卡 贾 兰	0.174	0.02	8.60	17.50
卡 贾 兰	0.122	0.0032	40.00	73.50
卡 贾 兰	0.20	0.052	3.85	7.30
阿尔玛雷克	0.23	0.10	2.25	4.10
阿尔玛雷克	0.16	0.0066	23.60	48.50
阿尔玛雷克	0.041	0.0019	13.00	51.50
蒂尔内阿乌兹	0.222	0.054	4.16	7.60
蒂尔内阿乌兹	0.185	0.023	7.15	13.150
蒂尔内阿乌兹	0.123	0.0168	7.40	14.90
左洛图申	0.317	0.066	4.10	10.00
左洛图申	0.251	0.054	4.30	9.10
左洛图申	0.158	0.02	7.60	12.50
米尔加利姆赛	0.162	0.056	2.40	4.20
米尔加利姆赛	0.11	0.0028	37.00	82.00
米尔加利姆赛	0.046	0.007	3.90	10.00

表 3 不同加权平均直径时有色冶金选矿厂冲积尾矿的平均颗粒成分

加权平均直径 d_{cp} (毫米)	颗 粒 含 量 (%)						尾矿种类
	1—0.5 毫米	0.5— 0.25毫米	0.25— 0.1毫米	0.1— 0.05毫米	0.05— 0.01毫米	<0.01 毫米	
0.4—0.3	20—5	55—30	47—27	6—2	6—0.5	5—0.5	中 粒
0.3—0.2	11—1	53—20	62—34	11—2	7.5—1	8—1	细 粒
0.2—0.15	4—0.5	25—2	80—40	21—4	19—2.5	15—2	细粉粒
0.15—0.12	1—0.5	11—1	66—28	28—10	27—3.5	18—2.5	粉 粒
0.12—0.09	0.5—0.3	11—0.5	45—24	28—23	30—5	26—4	粉 粒
0.09—0.06	1—0	3—0.5	28—17	25—15	37.5—24	29—6	粉 粒
0.06—0.04	—	0.5—0	10—5	22—14	56—42	30—16	粉 粒

深部达到完全饱和。在斜坡上，尾矿的湿度随深度增加。在斜坡表面上，在研究的堤内尾矿湿度为3—10%，而在深部达到完全

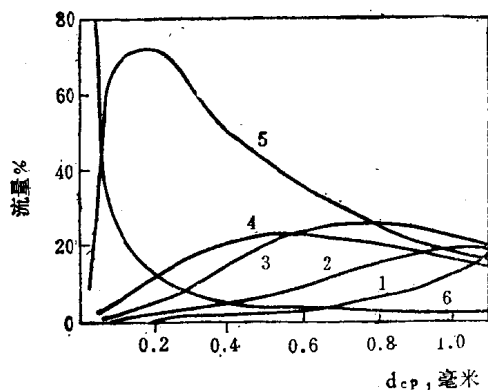


图 2 有色冶金选矿厂
尾矿中不同直径颗粒含量
的变化与其加权平均直径
 d_{cp} 的关系
1—6颗粒直径相应为1.0—
0.5; 0.5—0.25; 0.25—
0.1; 0.1—0.05; 0.05—
0.01和0.01 (毫米)

表 4 在尾矿库不同深度上尾矿的湿度和饱和系数

选 矿 厂	深度H, 米	湿度W, %	饱和系数G
卡贾兰	0.1	6.0	0.185
卡贾兰	20.0	23.5	0.93
卡贾兰	40.0	24.5	1.0
阿尔玛雷克	0.1	3.5	0.097
阿尔玛雷克	5.0	22.7	0.9
阿尔玛雷克	10.0	24.0	1.0
蒂尔内阿乌兹	0.1	7.6	0.246
蒂尔内阿乌兹	5.0	22.7	0.92
蒂尔内阿乌兹	10.0	23.6	1.0
米尔加利姆赛	0.1	6.0	0.2
米尔加利姆赛	9.0	16.5	0.78
米尔加利姆赛	18.0	17.5	1.0
坎坦金	0.1	13.0	0.44
坎坦金	9.0	16.0	0.70
坎坦金	18.0	18.0	1.0
阿巴古尔	0.1	6.0	0.24
阿巴古尔	5.0	18.2	0.98
阿巴古尔	10.0	19.8	1.0

饱和（费多罗夫、多勃罗文斯卡娅，1970）。

表 4 例举了六个选矿厂在三个层位：表面（深度0.1米），研究层的中间和堤的最大研究深度上的尾矿湿度值 W 和饱和系数值 G （费多罗夫、多勃罗文斯卡娅，1970）。

研究查明，在尾矿场内尾矿是以不同的密度沉积的。根据有色冶金某些选矿厂尾矿库不同深度上尾矿的孔隙度值，求整个深度上孔隙度的平均值。尾矿平均孔隙度与库深度的关系曲线见图3。它证明，在库表面（0.1米）孔隙度是0.5。

孔隙度最强烈的降低出现于沉积尾矿的上层，厚度约10米（深度 H —从0.1到10米），在更深的层内孔隙度的降低是不大的。如在10米深处孔隙度的平均值为0.41，而在深40米处为0.4。根据上述资料应该指出，当尾矿库淤积时，测定颗粒的粒度和物质的密度，尾矿的分馏要不就取决于输送系统，要不就取决于往尾矿库中排泄矿浆的方式。如表5所见，在尾矿库的范围内形成了渗透不均匀的介质。（费多罗夫、多勃罗文斯卡娅，1970）

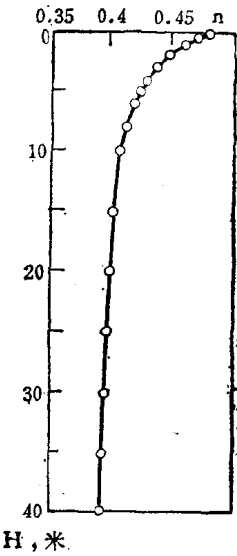


图 3 尾矿的平均孔隙度与尾矿库深度的关系曲线

表 5 尾矿渗透系数变化

尾 矿	加权平均	有效直径	不均匀系数		孔 隙 度	渗 透 系 数	
	直径 d_{cp} (毫米)	d_{10} (毫米)	$\eta = \frac{d_{80}}{d_{10}}$	$\eta = \frac{d_{90}}{d_{10}}$		$K_{10\text{米/秒}}$	$K_{10\text{米/昼夜}}$
细 粒	0.23	0.1	2.0	4.0	0.51—0.46	$1.16 \cdot 10^{-2}$ $—8 \cdot 10^{-3}$	10^{-7}
粉 粒	0.16	0.0066	23.6	48.5	0.51—0.41	$3.4 \cdot 10^{-4}$ $1.16 \cdot 10^{-4}$	0.29—0.10
粉 粒	0.40	0.0019	13.0	51.6	0.49—0.38	$2.9 \cdot 10^{-5}$ $1.04 \cdot 10^{-5}$	0.025— 0.003

在大多数情况下，在矿石加工时，将矿石砸碎之后，采用湿法富集，即浮选法。所谓浮选，是指以浸湿作用的差异为基础，分离不同物质的细固体颗粒。

根据有用组份的分离次序，矿石浮选按两个基本流程进行——混合浮选和优先浮选。例如当多金属矿混合浮选时，包含在矿石中的矿物混合物转为精矿。彼此无关的矿物的连续分离（ PbS ， ZnS ， Ag_2S 等）就是优先浮选流程。

在选矿过程中，矿物颗粒表面被浮选剂加工，浮选剂的选择取决于浮选流程，在浮选富矿以及精选精矿时可用下列药剂：

1. 调节矿浆中空气分散程度和含有精矿的泡沫的稳定性的起泡剂；
2. 借助于选择性表面吸附，调节矿物可浮性的捕收剂；
3. 阻止其它矿物颗粒进入精矿的抑制剂；
4. 增加捕收剂吸附作用及其疏水作用的活性剂；
5. 造成一定物理化学性质的介质，增强浮选剂对矿物的浮选作用的调节剂。

浮选时最常用的浮选剂抄录于表6中，并标明它们的化学式及用途（菲什曼，索鲍列夫，1957）。

有一些工厂也用以下化合物作为上述浮选剂中某些浮选剂的代替物：环烷酸（代替油酸），页岩焦油、氧化白节油、三乙氧基丁烷（ОПС-Б）——无酚起泡剂，单甲基和多丙二醇单丁基醚（ОПС-М），高脂肪酒精——酒精（НИИСС），药剂ИМ-68，羧基甲基纤维素（КМЦ），多丙烯酰胺（ПАА）等。

浮选剂用量取决于要选矿石的成分和浮选流程（混合浮选，优先浮选）。选铅锌矿和铜矿时所应用的浮选剂消耗量资料列于表7中。

含可选组份起始含量0.1—10%的硫化物、硫酸盐、碳酸和硅酸多金属矿石可以作为有工业意义的原料被利用。含铅、锌和铜的主要矿物列于表8中（菲什曼，索鲍列夫，1957）。

除了含有工业意义的矿物外，矿石还包含有大量的脉石矿

表 6 有色金属选矿时所采用的浮选剂及其用途

浮 选 剂	化 合 式	用 途
烷基黄原酸盐	$(RO)CS_2Me \cdot$	捕收剂
重烷基二硫代磷酸盐	$(RO)_2PS_2Me$	
油酸	$C_{17}H_{33}COOH$	
重烷基硫代氨基甲酸盐	$RNHC(S)OR'$	
均二苯硫脲 (白药)	$C_6H_5(NH)_2C \equiv S$	起泡剂
吡啶	C_5H_5N	
<i>o</i> , - <i>m</i> , - <i>p</i> -苯酚	C_6H_5OH	
<i>o</i> , - <i>m</i> , - <i>p</i> -甲酚	$CH_3C_6H_4OH$	
<i>o</i> , - <i>m</i> , - <i>p</i> -二甲酚	$(CH_3)_2C_6H_3OH$	
异萘烯醇	$C_{10}H_{17}OH$	
松香	$C_{40}H_{82}OH$	
煤油	—	抑制剂
石灰	$Ca(OH)_2$	
氰化钠	$NaCN$	
硫化钠	Na_2S	
硅酸钠	Na_2SiO_3	活性剂
硫酸铜	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	
硫化钠 (为氧化矿物)	Na_2S	
硫酸锌	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	
石灰	$Ca(OH)_2$	调节剂
苛性钠	$NaOH$	
碳酸钠	Na_2CO_3	
重碳酸钠	$NaHCO_3$	
硫化钠	Na_2S	
硫酸	H_2SO_4	
硅酸钠	Na_2SiO_3	
盐酸	HCl	

• R—乙烷(基)、异丙基、丁烷(基)、戊烷(基)；Me—碱金属。