

苏联技工学校教学用书

选矿厂分级工与 磨矿工读本

B. A. 别罗夫 著

鄭 飞 译

冶金工业出版社

8140
3.3

苏联技工学校教学用书

选矿厂分級工与磨矿工讀本

B. A. 別 罗 夫 著

郑 飞 譯

冶金工业出版社

本书根据苏联国立黑色及有色冶金科学技术书籍出版社 B. A. 别罗夫著“选矿厂分級工与磨矿工讀本”一书1956年版譯出。

本书阐述現代选矿厂的选矿过程和設備，介紹磨矿机和分級机的构造，并对磨矿用的主要設備和輔助設備的維護及調整提出了切实可行的措施；而且也詳尽地研究了湿法磨矿的过程。

本书可作为培訓选矿厂磨矿和分級专业生产技术工人的教材，也可供选矿厂其他专业工人用。

本书由冶金工业部选矿研究院郑飞譯出。

目 录

前 言

第一章 有色金屬选矿概論..... 1

§ 1. 有用矿物、矿石..... 1

§ 2. 选矿过程..... 2

§ 3. 工艺指标..... 4

§ 4. 选矿厂工艺过程的总流程..... 6

第二章 破碎和篩分..... 9

§ 1. 破碎概論..... 9

§ 2. 顎式碎矿机..... 10

§ 3. 粗碎用圓錐碎矿机..... 13

§ 4. 中碎和細碎用圓錐碎矿机..... 17

§ 5. 对輥碎矿机..... 21

§ 6. 篩析..... 23

§ 7. 篩分概論..... 27

§ 8. 篩的工作面..... 30

§ 9. 篩..... 32

§ 10. 破碎流程..... 38

第三章 磨矿..... 42

§ 1. 磨矿过程的概述和磨矿机的型式..... 42

§ 2. 中央排矿式球磨机..... 42

§ 3. 格子排矿式球磨机..... 51

§ 4. 磨矿机的生产率和工作效率..... 54

§ 5. 球磨机的轉速..... 55

§ 6. 装球量..... 59

§ 7. 矿石的可磨性..... 65

§ 8. 磨矿机給矿和磨矿产品的粒度、磨矿机中矿浆的稀釋度..... 67

§ 9. 棒磨机..... 69

第四章 分級..... 74

§ 1.	概論	74
§ 2.	矿漿的成份和物理性質	76
§ 3.	耙式分級机	79
§ 4.	螺旋分級机	87
§ 5.	浮槽式分級机	92
§ 6.	水力分級机	96
§ 7.	水力旋流器	98
第五章	磨矿工段的流程	102
§ 1.	磨矿流程	102
§ 2.	循环負荷	105
§ 3.	磨矿机和分級机的閉路系統	109
第六章	磨矿工段的工作	114
§ 1.	工作地点、接班和交班	114
§ 2.	磨矿过程的調整	117
§ 3.	磨矿机的修理和維護	122
§ 4.	球磨机鋼球的換装	125
§ 5.	磨矿机衬板的更換	128
§ 6.	木屑的收集	131
§ 7.	安全技术	134
第七章	重力选矿法	140
§ 1.	概論	140
§ 2.	跳汰选矿	140
§ 3.	搖床选矿	145
§ 4.	溜槽选矿	149
§ 5.	重悬浮液选矿	151
第八章	浮选	155
§ 1.	浮选过程的实质。浮选剂	155
§ 2.	浮选机	157
§ 3.	浮选流程	163
§ 4.	重力浮选法	166
第九章	磁选	167
第十章	选矿产品的濃縮和过滤	170
§ 1.	濃縮	170

§ 2. 过滤	174
第十一章 操作过程的取样和控制	177
§ 1. 取样	177
§ 2. 矿石和产品的称量	181
§ 3. 沉积分析	182
§ 4. 矿石密度和湿度的测定	184
第十二章 矿仓和辅助设备	188
§ 1. 粉矿仓	188
§ 2. 粉矿给矿机	189
§ 3. 离心砂泵	193
第十三章 电工学概要	199
§ 1. 电	199
§ 2. 电流、电流强度	200
§ 3. 电阻、导电、导体和非导体	200
§ 4. 欧姆定律	201
§ 5. 电动势、电压和电压降	202
§ 6. 电流的热效应、电流的功和功率	203
§ 7. 电磁、电磁感应	204
§ 8. 直流电和交流电	205
§ 9. 三相电流	206
§ 10. 电能的电源	208
§ 11. 感应电动机	209
§ 12. 同步电动机	211
§ 13. 控制电动机的开关设备	212
§ 14. 磨矿和分级工段电气设备的控制	218
§ 15. 磨矿和分级工段电气设备的技术操作规程	219
附表 1	221
附表 2	223
参考文献	225

第一章 有色金屬選礦概論

§1 有用礦物、礦石

可以从地下开采出来以滿足国民經济需要的有用礦物，有气体（天然气体）、液体（石油）和固体（煤、頁岩、泥煤和礦石）。

煤、頁岩和泥煤叫做可燃性礦物。

礦石可分为金属（含有鐵、鉛、銅、鋅、鋁及其他）的礦石和非金属（含有磷、氟、砷、硫、石棉等）的礦石。

金属礦石又分为黑色的（鐵），有色的（銅、鉛、鋅、鎳、鋁、鎂等），稀有的（錫、鉬、鉭等）和貴重的（金、鉑、銀）。

凡有用礦物，含有有价金属，而且其含量在經济上值得回收的，叫做礦石。随着金属生产方法的不断改善，对礦石的概念也在改变着。三四十年以前因为金属品位低而被認為是廢石，現在却可以当作礦石有效地进行处理。在工业中常常有这种情况，就是将过去年代里所采出的旧“廢石”和“尾矿”加以处理，在經济上还是有利的。

和其他一切岩石一样，礦石也是由各种礦物組成的①。在礦石中有一些礦物带有可以回收的金属，而另外一些礦物則是由在現阶段还不能利用的化学成份組成的，前一类礦物叫做有价礦物，而后一类則叫做廢石礦物。这种划分在一定程度上带有假定的性質。例如，鉛礦石中的重晶石，如果不能作为单独的产品分出，就可以認為是廢弃礦物，如果重晶石可以回收，就應該認為是有价礦物。

① 在地壳中具有固定的成分和物理性質的天然化合物叫做礦物。

大多数矿石的矿物組成是复杂而多样的，有色金属矿石的主要矿物列于附表1中。根据矿物化学成份的不同，有色金属矿石可分为硫化矿石和氧化矿石，硫化矿石中有价矿物呈金属和硫的化合物存在，而氧化矿石中有价矿物是金属的含氧化合物。

根据矿物的粒度以及矿物浸染和共生的性质，矿石可分为細粒浸染、粗粒浸染、均匀浸染和不均匀浸染的。

§2 选 矿 过 程

从地下开采出来的矿石一般是不能直接送到冶炼厂或者进行化学加工来提炼其中的金属或其他有价成份。常常由于有价矿物品位低，有害杂质含量高，块度不适宜，湿度高等原因，不能以足够低的价格取得金属，再就是用现有的方法实际上不可能从矿石中提炼出金属来。

冶金和化学工业对矿石提出一定的、取决于生产技术水平的要求。因此，采出的矿石要进行预先处理，以便从矿石中得出适合于生产要求的产品。

为了得出一种或数种其中有价矿物品位增高，或且有害杂质含量减低的产品而进行的矿石处理叫做选矿。

选矿同矿物原料冶金及化学加工过程不同之处，是組成矿石的主要矿物的化学成份在选矿时并未改变。所以，选矿又常常叫做矿石的机械加工。凡目的在于改变矿石的块度、湿度及其他物理性质而不改变矿石成份的作业，通常算作选矿作业。

选矿是从矿石中得出金属的总作业流程中的一个中间环节，其地位介于采矿和选矿所得精矿的冶炼加工之間。

由于除掉了矿石中的废石，原料送到冶炼厂的运输費用可以降低。由于需要熔炼的原料数量和轉到炉渣中的废石数量减少，一吨金属的冶炼加工价格也降低了。需要排除的炉渣数量減

少，金屬的損失也就減少，於是冶煉過程的指標得到了改善。這樣，就有可能在採礦中採用比礦床選別開採的生產力高而且便宜的混合開採。混合開採時混入礦石中的廢石可以在選礦時除掉。

有許多礦石，如果不降低其中有害雜質的含量，就不能利用。

礦石常常含有不只一種，而是幾種有價礦物，如鉛、鋅、銅礦物。選礦能夠把每種礦物的主要部分選到以這種礦物為主的相應產品中。這些產品在冶金工業中可以被有效地利用，從而保證了礦石的綜合利用而獲得更多的利益，因為，加工費用是由幾種有價金屬分攤的。

為了能夠把礦石中的脈石礦物分出并把各種有價礦物相互分開，首先必須把各種礦物分開，即所謂使礦物单体分离。

礦物的分离用破碎和磨碎礦石的方法達到。礦物的浸染在不同的程度上都是不均勻的；粒度幾毫米的礦物顆粒和幾微米（千分之一毫米）的顆粒通常都是同時存在的，所以，為了使礦物全部单体分离，就需要把全部礦石磨到最小顆粒的粒度，即磨到幾微米。但是，碎礦和磨礦是動力消耗大和昂貴的作業，這種極細的磨礦就會使礦石的加工費用增高。必需的磨礦粒度除了取決於礦物的浸染性質之外，還取決於選礦方法、對產品的要求以及其他條件，因此須由試驗方法來確定。

物料磨到超過獲得滿意的選礦結果所必需的粒度（過磨碎）是不應該的，因為，磨礦是一種昂貴的作業，而磨得很細的物料（幾微米）一般是比較難於選別的。

為了把破碎和磨礦所得的礦物顆粒混合物分為含有不同礦物成份的產品，常常利用礦物性質的差異。在礦物原料的選別過程中，採用下述的處理方法：

1. 按粒度分級——使用於下列情況：即由於礦物特性不同（浸染體的大小、不同的強度、節理），破碎和磨礦的結果，可以使其中

一种矿物基本上集中于較粗或較細的顆粒中。把这种混合物按粒度分开,例如在篩子上分开,就得到不同矿物品位的产品。

2. 手选——以組成矿石的各种矿物的外形、顏色、光泽和形状的差异为依据。此法用于处理粒度大于 25—50 毫米的物料,通常用以处理富矿石。

3. 重力选矿法——以矿物比重和顆粒形状的差异为根据,其中包括: 1) 跳汰选矿: 在脉动水流或是气流的作用下在篩上分离; 2) 搖床选矿: 在搖床的运动和沿斜面流动的水流的复杂作用下分离; 3) 重介質选矿: 在重介質中比重較介質比重为大的矿物下沉,而比重較小的矿物則上浮。

4. 磁选——以矿物磁性的差异为根据。

5. 浮游选矿法——以矿物表面性質的不同为依据。

6. 电力选矿法——利用矿物导电性的差异及其在电場中不同的行为。仅适用于小于 2 毫米的干物料。

7. 摩擦选矿——利用矿物摩擦系数的不同。

送去选矿的矿石叫做**原矿**, **原始物料**或者**原矿石**。选矿的结果可以得到两种或几种最終产品。其中有价矿物品位增高,而且在質量上适合于进一步加工的最終产品叫做**精矿**。精矿分出以后留下的产品,其中有价矿物品位降低,基本上由废石矿物組成而不能进一步利用的(废弃产品),叫做**尾矿**。在选矿过程中分出的,需要再加工的产品,叫做**中間产品**,或簡称**中矿**。

§3 工艺指标

产品中金属的**品位**,是产品中該金属的重量对于产品重量的比。品位用化学分析方法确定,以百分数表示。例如,尾矿中銅的品位为 0.2%,这就是說,100 吨干尾矿中含有 0.2 吨(200 公斤)銅。

产品的品位通常用希腊字母表示： α (阿尔法) 表示原矿的金属品位； β (贝他)——精矿的金属品位； ϑ (台他)——尾矿的金属品位。

产品重量 q 对原矿重量 Q 之比叫做该产品的产率。产率以小数或百分数表示。产率常用字母 γ (干吗) 代表。

例 在选矿厂中每昼夜处理 500 吨矿石，获得 125 吨精矿，精矿的产率即为：

$$\gamma_{\text{精矿}} = \frac{q}{Q} = \frac{125}{500} = 0.25 \text{ 或 } 25\%$$

尾矿的产率即为：

$$\gamma_{\text{尾矿}} = \frac{Q - q}{Q} = \frac{500 - 125}{500} = 0.75 \text{ 或 } 75\%$$

产率的倒数 ($\gamma_{\text{精矿}}$ 若以小数表示，即 $\frac{1}{\gamma_{\text{精矿}}}$ ，若以百分数表示，即 $\frac{100}{\gamma_{\text{精矿}}}$) 可决定获取一吨精矿所应处理的矿石吨数，并叫做

选矿比。

选矿作业的目的是把原矿中的有价金属选入精矿，这一选别的完全程度用精矿中金属的重量对原矿中金属重量的比来衡量。这个比值通常叫做回收率。回收率用字母 ε (艾皮西龙) 代表，用百分数表示。

例 选矿厂每昼夜处理 500 吨铜品位为 2% 的矿石，每昼夜获得 55 吨铜品位为 16% 的铜精矿，则精矿中铜的回收率为：

$$\varepsilon_{\text{精矿}} = \frac{\text{精矿中金属的重量}}{\text{矿石中金属的重量}} \times 100 = \frac{\frac{55 \times 16}{100}}{\frac{500 \times 2}{100}} \times 100 = 88\%$$

以采用的符号表示，即：

$$\varepsilon_{\text{精矿}} = \left(\frac{q\beta}{100} \div \frac{Q\alpha}{100} \right) 100 = \frac{q}{Q} \times \frac{\beta}{\alpha} 100 = \frac{\gamma_{\text{精矿}} \beta}{\alpha}$$

式中 $\gamma_{\text{精矿}}$ 为百分数。

同样,尾矿中铜的回收率,即铜的损失为:

$$\varepsilon_{\text{尾矿}} = \frac{\gamma_{\text{尾矿}} \vartheta}{\alpha}$$

原矿中金属的重量应等于选矿产品中金属重量的总和,即:

$$\frac{Q\alpha}{100} = \frac{q\beta}{100} + \frac{(Q-q)\vartheta}{100}$$

利用这一比例关系,可以根据选矿产品和原矿的金属品位来计算选矿产品的产率。如已知矿石、精矿和尾矿的金属品位,则精矿的产率按上述比例将等于:

$$\gamma_{\text{精矿}} = \frac{q}{Q} \times 100 = \frac{\alpha - \vartheta}{\beta - \vartheta} 100.$$

例 根据矿石和产品的化学分析决定选矿厂的工作指标;矿石的铜品位为 1.5%,精矿的铜品位为 15%,尾矿的铜品位为 0.25%。

精矿的产率将等于:

$$\gamma_{\text{精矿}} = \frac{\alpha - \vartheta}{\beta - \vartheta} \times 100 = \frac{1.5 - 0.25}{15 - 0.25} \times 100 = 8.48\%.$$

精矿中铜的回收率:

$$\varepsilon_{\text{精矿}} = \frac{\gamma_{\text{精矿}} \times \beta}{\alpha} = \frac{8.48 \times 15}{1.5} = 84.8\%$$

尾矿的产率:

$$\gamma_{\text{尾矿}} = 100 - 8.48 = 91.52\%.$$

尾矿中铜的回收率(损失):

$$\varepsilon_{\text{尾矿}} = 100 - 84.8 = 15.2\%.$$

根据品位确定产率的公式适用于所有分离出两种产品的作业,在分级、筛分和浓缩的过程中品位不但可以理解为金属的品位,也可以理解为其他部分——一定粒度的粒别的含量、水分的含量等等。

§ 4 选矿厂工艺过程的总流程

根据不同的矿物组成、浸染性质和粒度、对加工产品的要求

等, 每种矿石的选别过程都有自己的特点。矿石处理所必需的作业及其顺序根据矿石的可选性试验, 即以该矿石所作的试验工作来选定。

有色金属矿石的选别流程, 即加工作业的顺序, 通常包括下列几组作业:

- 1) 破碎和磨矿, 使组成矿石的矿物单体分离。
- 2) 选矿, 把矿物分离开。
- 3) 所得分离产品的处理(脱水)。

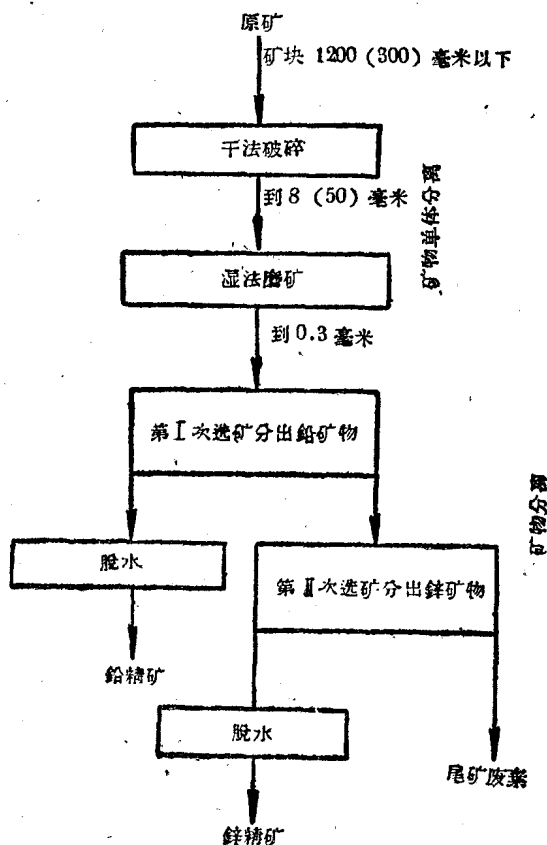


图 1 铅锌矿石总选矿流程图

图1是得出鉛、鋅精矿和尾矿的鉛鋅矿石选别作业的原则(概略的)流程图。

磨矿是选矿总流程中最贵和动力消耗最大的作业之一,因此,对选矿厂的工艺指标有重大的影响。多余的过磨碎,或者磨矿不充分而使有价矿物留在中矿里,都可能引起选矿作业的尾矿中有价金属的损失。所以,选矿厂中磨矿作业的正确进行可以节省处理费用并提高工艺指标。

第一章 复习题

1. 按使用的方法,有用矿物主要可分为哪几组?
2. 什么是矿石,你知道哪几种有色和稀有金属矿石?
3. 举出你所在的选矿厂所处理的矿石的主要组成矿物?
4. 什么是有用矿物的选别?
5. 有用矿物的选别有什么好处?
6. 列举选矿的主要过程并解释这些过程是根据矿物的哪些特性进行的?
7. 什么是精矿、中矿和尾矿?
8. 有用矿物的选别是由哪几个阶段组成的?
9. 选矿中产品产率的定义是什么?
10. 精矿的金属回收率和尾矿中的损失的定义是什么?
11. 什么是产品的金属品位,如何计算它?
12. 某一选矿厂的处理量为1000吨,尾矿产率为90%,尾矿中铜的品位为0.12%,那么每昼夜有多少吨铜丢失在选矿厂的尾矿中?
13. 怎样根据矿石和选矿产品的分析确定精矿的产率?
14. 怎样根据矿石和选矿产品的分析确定尾矿中的损失?
15. 如果精矿的产率为20%,那么得到一吨精矿需要处理几吨矿石?
16. 把你所在的选矿厂的总流程画出来?

第二章 破碎和篩分

§1 破碎概論

破碎——是在压碎、劈碎、折碎、击碎和研磨，而多半是在它們的共同作用下破碎矿块的过程。現在，破碎这一概念是指最終破碎产品的粒度約以 3—5 毫米为限的矿块机械破碎过程。取得更細物料的过程通常叫做磨矿。

从采矿場送到选矿厂的矿块的最大粒度視采矿場的生产能力及采矿方法而定。

在露天采矿中矿块的粒度主要决定于电鏟鏟斗的尺寸，一般可达 600 到 1500 毫米或者更大；地下开采中矿块的粒度很少超过 300—500 毫米。

矿石中矿物的浸染体由几厘米到百分之几和千分之几毫米不等。例如，在大多数的浮选厂里，只有将矿粒减小到 0.3—0.15 毫米时才能将矿物充分的分离。

矿块由原始粒度减小到最終粒度的方法是連續几次的破碎和磨矿。

破碎，毫米：

粗碎……………从 1500—150 到 300—40

中碎……………从 300—40 到 70—10

細碎……………从 70—10 到 15—3

磨矿，毫米：

从 70—3 到 3—百分之几

在选矿厂里，碎矿是在碎矿机中进行，通常是干法破碎或噴洒少量的水以减少尘粉的数量。在有色冶金工业的选矿厂里，磨矿多半是在磨矿机中加水进行。

在破碎矿块时，矿石的硬度或强度愈大，需要的能量就愈多。矿石的硬度可部份地以矿石标本的抗碎强度来表示。在硬度方面，岩石之间的差别是很大的。例如，玄武岩和花岗岩的抗碎强度是 1500 到 3500 公斤/厘米²，石灰岩是 500 到 1000 公斤/厘米²，而煤和硬煤是 20 到 90 公斤/厘米²。

为了减少能量的损失，应该尽量避免过粉碎和不要把粒度已经合格的产品送入碎矿机，即应以“不作任何过度破碎”为准则。所以，碎矿作业通常和筛分结合起来，磨矿和分级结合在一起。

碎矿设备的工作用生产率、能量消耗和破碎比（或磨矿比）来表示。破碎比就是破碎前物料中最大块的尺寸对破碎后产品中最大块的尺寸之比。如破碎前最大矿块尺寸为 600 毫米，而破碎后产品中的矿块为 150 毫米以下，则破碎比就等于：

$$600:150=4。$$

矿石的破碎主要采用以下几种类型的碎矿机：1)粗碎用颚式碎矿机和圆锥碎矿机；2)中碎用圆锥碎矿机；3)细碎用短头型圆锥碎矿机和对辊碎矿机。

§ 2 颚式碎矿机

图 2 是可动颚板简单摇动颚式碎矿机。该型碎矿机，物料是在两块颚板，即在固定颚板和可动颚板之间进行破碎。当可动颚板接近固定颚板时，压碎物料。物料块度比排矿口的宽度小时，物料就排出碎矿机外。可动颚板的每一点在摇动时画出一个圆弧。因此，碎矿机叫做“简单摇动”碎矿机。图 3 是大型碎矿机的断面图。碎矿机的机座，是一个重型装配式的钢制机架。该机架在平面上呈长方形。

颚板 3 在固定轴 2 上摇动。碎矿机的偏心主轴 4 装在机座的轴承上，轴端有两个重飞轮 5。其中一个飞轮作为碎矿机的传动

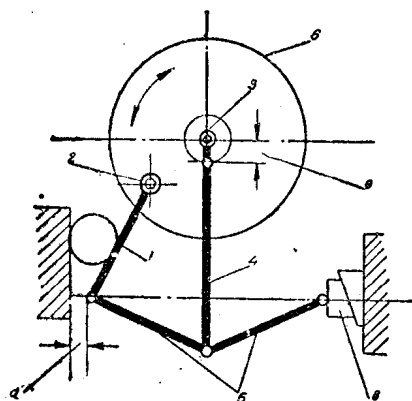


图2 颚板简单摇动颚式碎矿机示意图

- 1—可动颚板； 2—可动颚板轴； 3—碎矿机偏心轴；
 4—连杆； 5—肘板； 6—飞轮； 7—固定颚板
 (碎矿机机座)； 8—调整装置； d—排矿口宽度；
 e—轴的偏心距

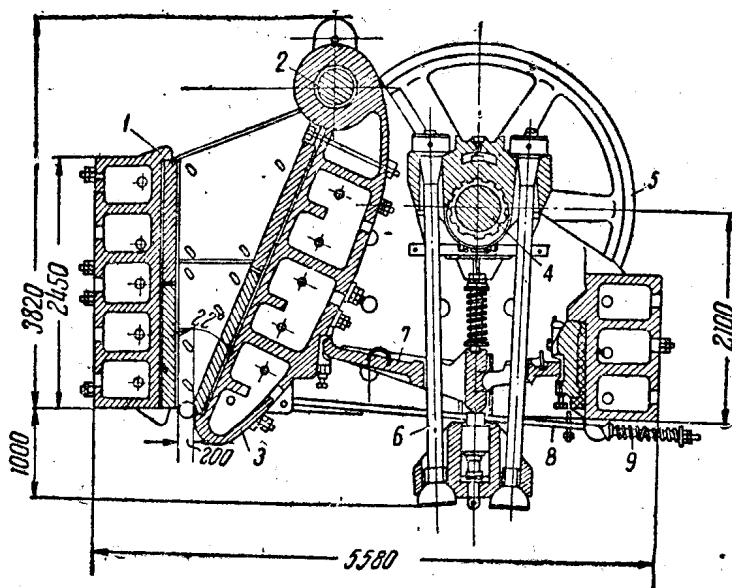


图3 颚板简单摇动颚式碎矿机