

浮选机不同配置方式在大返回量浮选流程中的能耗分析

董干国

(北京矿冶研究总院, 100044)

摘要: 浮选机的配置方式对浮选作业的总能耗有重要的影响。本文从理论上对浮选作业的能耗进行了分析, 对某个浮选流程来说, 当泡沫返回量较小时, 水平配置比阶梯配置能耗大; 当泡沫返回量达到某一值时, 水平配置与阶梯配置的能耗相同; 当泡沫返回量大于某一值时, 水平配置比阶梯配置能耗小, 并且泡沫量越大, 水平配置的节能效果越明显。通过两个实例, 对大返回量浮选流程的能耗进行分析, 浮选机水平配置可降低浮选作业能耗 5%~10%。

关键词: 浮选机; 配置方式; 能耗分析; 泡沫; 大返回量

中图分类号: TD456 文献标识码: A 文章编号: 1671-9492(2009)03-0038-04

浮选机的配置方式分为水平配置和阶梯配置两种^[1]。水平配置时浮选机安装在同一个水平面上, 中矿泡沫在作业间的返回通过浮选机的自吸来实现, 阶梯配置时浮选机不同作业间有一定高差, 中矿泡沫在作业间的返回通过泵来实现。浮选机的配置方式对浮选作业的能耗有很大影响。对于中矿泡沫返回量大、泡沫黏、流动性差的浮选工艺来讲, 浮选机水平配置可降低浮选作业能耗 5%~10%。

1 浮选作业的能耗

浮选工艺确定后, 浮选机的规格和数量不变, 浮选作业的功耗取决于浮选机的配置方式, 不同的配置方式对浮选作业的能耗有很大的影响, 根据不同的浮选工艺来确定浮选机的配置方式显得非常重要。

1.1 水平配置的能耗

水平配置是指不同作业的浮选机安装在同一个水平面上, 中矿泡沫在作业间能够通过吸浆槽浮选机的自吸来完成。水平配置示意图见图 1, 图中每个浮选作业用 2 台浮选机表示。

对于整个浮选作业的能耗来说, 刮板电机、中间箱和尾矿箱电机的功率与浮选机的功率相比, 可以忽略不计, 则水平配置时浮选作业的能耗可以表示为:

$$P_{\text{水}} = P_{\text{吸}} + mP_{\text{直}} \quad (1)$$

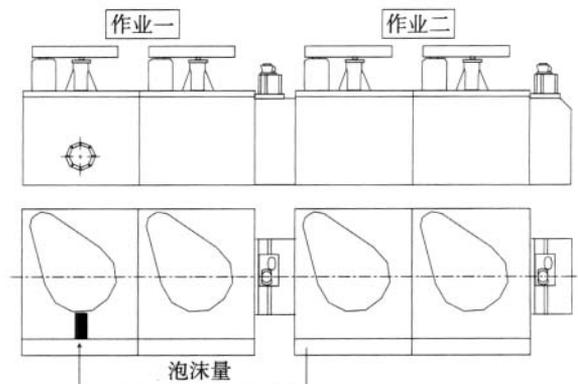


图 1 水平配置示意图

Fig. 1 Schematic of flotation machines level arrangements

式中 $P_{\text{水}}$ ——水平配置时浮选作业的能耗, kW;

$P_{\text{吸}}$ ——吸浆槽的功率, kW;

$P_{\text{直}}$ ——直流槽的平均功率, kW;

m ——直流槽的数量。

1.2 阶梯配置的能耗

阶梯配置是指不同作业的浮选机安装不在一个水平面上, 各个浮选作业间有高差, 上一个作业的矿浆依靠重力自流到下一个作业, 中矿泡沫靠泡沫泵返回的一种配置方式。阶梯配置时, 中矿泡沫先靠重力自流到地面的泡沫泵池内, 通过泡沫泵返回到上一作业的给矿箱或中间箱内。阶梯配置示意图见图 2, 图中每个浮选作业用 2 台浮选机表示。

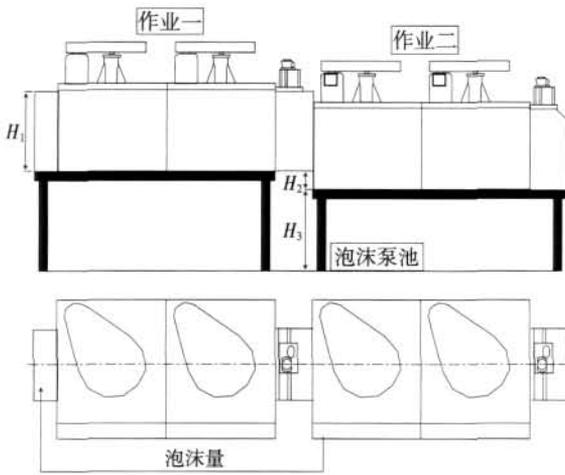


图2 阶梯配置示意图

Fig. 2 Schematic of flotation machines step-wise arrangement

忽略刮板电机、中间箱和尾矿箱电机的功率，阶梯配置时浮选作业的能耗可以表示为：

$$P_{\text{阶}} = (1+m)P_{\text{直}} + P_{\text{泵}} \quad (2)$$

式中 $P_{\text{阶}}$ ——阶梯配置时浮选作业的能耗，kW；

$P_{\text{泵}}$ ——泡沫泵的功率，kW。

泡沫泵的功率^[2]可以表示为：

$$P_{\text{泵}} = \frac{kKHQ\rho_p}{102\eta\eta_0} \quad (3)$$

式中 Q ——泡沫量，L/s；

H ——泡沫泵的清水扬程，m；

k ——与泡沫性质有关的放大系数， $k=1.5 \sim 2.5$ ；

K ——电机功率富裕系数，轴功率 $\leq 40\text{kW}$ 时， $K=1.20$ ，轴功率 $> 40\text{kW}$ 时， $K=1.10$ ；

ρ_p ——矿浆密度， kg/m^3 ；

η ——泵送清水时的效率；

η_0 ——传动效率，皮带传动时 $\eta_0=0.95$ ，直接传动时 $\eta_0=1.0$ 。

假定 $a = \frac{kKH\rho_p}{102\eta\eta_0}$ ，对于某一个特定的选矿

厂，矿浆密度、泡沫性质及所需的扬程一定，则 a 为常数，泡沫泵的功率与流量 Q 成正比，式 (3) 可以表示为：

$$P_{\text{泵}} = aQ \quad (4)$$

1.3 两种配置方式的能耗比较

水平配置和阶梯配置时浮选作业的能耗差可用式 (1) 减去式 (2) 表示，将式 (3) 代入可得：

$$\Delta P = P_{\text{水}} - P_{\text{阶}} = (P_{\text{吸}} - P_{\text{直}}) - P_{\text{泵}} \quad (5)$$

吸浆槽浮选机具有吸浆和浮选两个功能，其吸浆的原理与泵相同，则吸浆槽浮选机可以看成泵和直槽浮选机的结合，吸浆槽浮选机的功率可表示为：

$$P_{\text{吸}} = a'Q + P_{\text{直}} \quad (6)$$

$$\text{式中 } a' = \frac{kKH'\rho_p}{102\eta'\eta_0}$$

将式 (4) 和式 (6) 代入式 (5)，可得：

$$\Delta P = a'Q - aQ = (a' - a)Q \quad (7)$$

经过以上分析，式 (1) 可以表示为：

$$P_{\text{水}} = (1+m)P_{\text{直}} + P_{\text{泵}} = (1+m)P_{\text{直}} + \frac{kKH\rho_p}{102\eta\eta_0}Q \quad (8)$$

式 (2) 可以表示为：

$$P_{\text{阶}} = (1+m)P_{\text{直}} + \frac{kKH\rho_p}{102\eta\eta_0}Q \quad (9)$$

对于式 (7) 来说，由于 a 、 a' 、 Q 都是大于零的实数，因此：

当 $a' > a$ 时， ΔP 为正数，表明水平配置比阶梯配置的能耗高；

当 $a' = a$ 时， ΔP 为零，表明水平配置与阶梯配置的能耗相同；

当 $a' < a$ 时， ΔP 为负数，表明水平配置比阶梯配置的能耗低。

严格来讲，泵的清水扬程和效率与泵的流量成非线性关系，泡沫泵的效率与泡沫的性质密切相关。利用公式 (8) 和公式 (9) 画出浮选机水平配置和阶梯配置的能耗 P 与泡沫量 Q 的关系示意图见图 3。对于确定的矿浆处理量和浮选工艺来说，某个作业的泡沫量 Q 与作业的产率 γ 成正比，因此，图 3 也可以看成是浮选机配置方式的能耗 P 与作业产率 γ 的关系示意图。下面通过两个实例对浮选机不同配置与浮选作业能耗的关系进行分析。

2 实例分析

2.1 铁精矿反浮选作业能耗分析

2.1.1 总体情况

铁精矿反浮选，由于选矿工艺和药剂制度的特殊性，具有中矿泡沫返回量大，泡沫黏，不易破碎，流动性差等特点^[3]。下面以国内某铁矿选矿厂的一个浮选系列为例，对浮选作业水平配置和阶梯配置的能耗进行分析。

该系列选用北京矿冶研究总院 GF/KYF-50 型浮选机联合机组，实现作业间水平配置。粗选作业

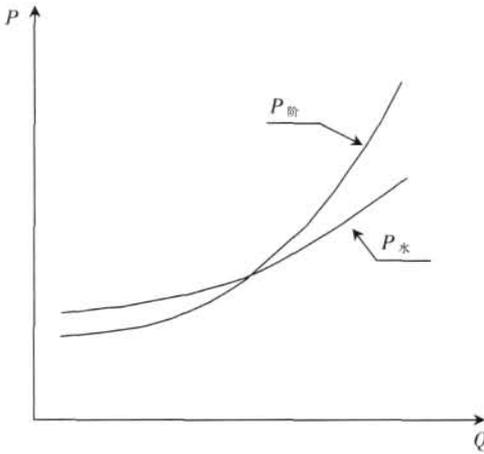


图3 水平配置和阶梯配置的能耗与泡沫量关系示意图
Fig. 3 Relationship of energy consumption and froth volume

流速 $V = \frac{4Q}{\pi D^2} = 3.18\text{m/s}$ ，计算结果 $V > V_L$ ，

管路不会发生堵塞。

阶梯配置时，浮选泡沫要用泵打到浮选机的给矿箱或中间箱内，本流程需要泵送到给矿箱内。KYF-50型浮选机的给矿箱高度 $H_1=4.17\text{m}$ ，阶梯配置时作业间高差 $H=0.60\text{m}$ ，一般情况下， 50m^3 浮选机的安装平台高 $H_3=3.5\text{m}$ ，则需要的几何高差为 8.27m 。

泡沫管路中最少需要2个 90° 弯头，2个弯头的水头损失为 $H_B = 2 \times \xi_B \frac{V^2}{2g} = 0.31\text{m}$ ，管路速度水头损失为 $H_v = \frac{V^2}{2g} = 0.52\text{m}$ 。管路总水头

等于管路水头损失加上几何高差，即管路总水头为 9.1m 。

对于矿石和水混合而成的矿浆，在相同转速和相同流量的条件下，泵送矿浆时的扬程和效率一般低于泵送清水时的扬程和效率。查表可得系数 $ER=0.80$ ，

则需要泵的清水扬程 $H = \frac{9.1}{0.80} = 11.4\text{m}$ 。考虑

到管路沿程水头损失、口水头损失、闸阀水头损失等，增加扬程裕量20%，最终需要泵的清水扬程 $H = 11.4 \times (1 + 20\%) = 13.68\text{m}$ 。

根据以上条件，选用8/6E-AH型沃曼泵，泵的转速 $n=600\text{rpm}$ 。根据泵的转速和扬程，查得效率 $\eta=62\%$ 。泡沫泵的功率为 $P_{泵}=36\text{kW}$ 。

2.1.3 两种配置方式的能耗对比

水平配置时浮选作业总能耗为 $P_{水}=2 \times 52 + 8 \times 46=472\text{kW}$ ，阶梯配置时浮选作业的总能耗为 $P_{阶}=10 \times 46 + 36=496\text{kW}$ ，水平配置比阶梯配置节能约5.08%。电价按0.5元/kW·h，全年按330天计算，一年可为企业节省电费9.5万元左右。

根据式(10)，水平配置时的能耗可以简化表示为：

$$P_{水} = 460 + 0.059Q \tag{12}$$

根据式(11)，阶梯配置时的能耗可以简化表示为

$$P_{阶} = 460 + 0.178Q \tag{13}$$

$a' < a$ ，说明对于这一浮选作业来说，随着粗选泡沫量的增大，水平配置比阶梯配置更加节能。

2.2 铝土矿选矿厂浮选作业能耗分析

2.2.1 总体情况

某铝土矿选矿厂采用正浮选脱硅选矿工艺进行铝土

选用6台KYF-50型充气机械搅拌式浮选机，精选作业前两槽选用GF-50型机械搅拌式浮选机作为吸浆槽，精选作业后两槽选用KYF-50型充气机械搅拌式浮选机。第一个吸浆槽吸粗选作业前三槽的泡沫，第二个吸浆槽吸粗选作业后三槽的泡沫，浮选机配置图见图4。

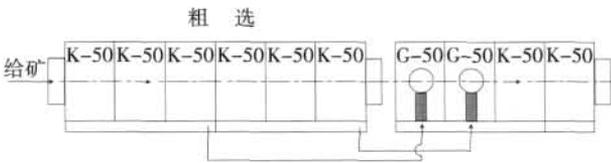


图4 GF/KYF-50浮选机配置图

Fig. 4 Layout of GF/KYF-50 flotation machines

原矿处理量为840t/h，粗选作业处理弱磁精矿、强磁精矿及扫选精矿，共占原矿的58%，矿石密度为 $4.4 \times 10^3\text{kg/m}^3$ ，矿浆浓度为45%左右，磨矿细度 $-75\mu\text{m}$ 占90%，粗选泡沫量占原矿的16.64%。计算得粗选作业的矿浆量为 $706\text{m}^3/\text{h}$ ，矿浆密度为 $\rho_F=1.533 \times 10^3\text{kg/m}^3$ ，粗选作业的泡沫量为 $Q=202\text{m}^3/\text{h}=57\text{L/s}$ ，粗选作业的泡沫产率 $\gamma=28.6\%$ 。

GF-50型浮选机实耗功率约为52kW，KYF-50型浮选机实耗功率约为46kW。为了对比水平配置和阶梯配置的能量消耗，下面计算阶梯配置时，安装泡沫泵时的能量消耗。

2.1.2 阶梯配置时能耗计算

根据矿浆条件，查《选矿设计手册》得管道内临界流速 $V_L = 2.5\text{m/s}$ ，临界管径 $D_L = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_L}} = 0.169\text{m}$ ，

根据泵的参数，选取管径为 $D=150\text{mm}$ ，管路平均

矿浮选,正浮选脱硅选矿工艺具有中矿泡沫量大,黏且不易破碎,难输送等特点^[4]。下面以其中一个系列为例,对浮选作业水平配置和阶梯配置的能耗进行分析。

该系列选用北京矿冶研究总院 GF/KYF-40 型浮选机联合机组,实现作业间水平配置,浮选机配置示意图见图 5。

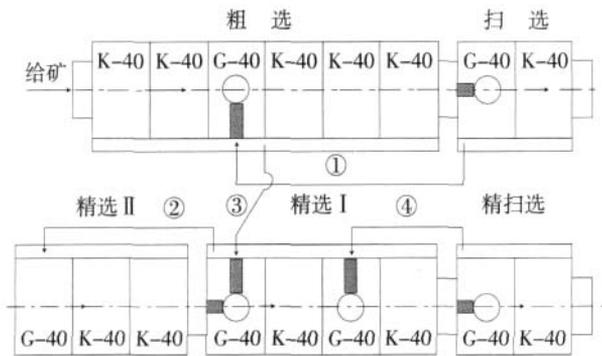


图 5 GF/KYF-40 型浮选机配置图

Fig. 5 Layout of GF/KYF-40 flotation machines

GF-40 型浮选机现场应用时实耗功率约为 44kW, KYF-40 型浮选机现场应用时实耗功率约为 35kW。为了对比水平配置和阶梯配置的能量消耗,下面计算阶梯配置时,安装泡沫泵时的能量消耗。

2.2.2 阶梯配置时能耗计算

浮选机给矿箱或中间箱的高度 $H_1=4.07\text{m}$, 作业间高差 $H_2=0.6\text{m}$, 正常情况下浮选机安装基础离地面高度 $H_3=3.5\text{m}$ 。矿石密度 $\rho=3.9\times 10^3\text{kg/m}^3$, 由于铝土矿反浮选泡沫黏不易破碎、难输送,放大系数 k 一般取 2.0。按照 2.1.2 的方法计算阶梯配置时的功耗,结果见表 1。

2.2.3 两种配置方式的能耗对比

水平配置时浮选作业的总能耗为 $P_{\text{水}}=11\times 35+6\times 44=649\text{kW}$, 阶梯配置时浮选作业的总能耗

表 1 阶梯配置时泵的功耗

序号	泡沫量 $/(m^3\cdot h^{-1})$	矿浆密度 $(\times 10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	清水扬程 /m	泵的效率 η	k	K	泡沫泵功率 /kW	%
1	157	1.22	13.75	0.52	2.0	1.2	36.7	
2	134	1.22	13.75	0.50	2.0	1.2	31.6	
3	269	1.22	13.75	0.67	2.0	1.2	46.5	
4	44	1.22	13.75	0.50	2.0	1.5	10.8	
合计:							125.6kW	

为 $P_{\text{阶}}=17\times 35+125.6=720.6$, 水平配置比阶梯配置节能 9.93%。每度电按 0.5 元, 全年按 330 天计算, 一年可为企业节省电费 28.3 万元左右。

3 结语

通过理论分析表明,在确定的矿石处理量和确定的浮选工艺流程的条件下,浮选机的配置方式和浮选作业的泡沫返回量对浮选作业总的功耗有很大影响。随着泡沫返回量的增大,水平配置的节能效果越显著。

由于铁精矿反浮选工艺和铝土矿正浮选工艺的特殊性,浮选作业的泡沫返回量大,通过包钢选矿厂和中州铝厂的浮选机配置方式对浮选作业能耗的计算表明,对于泡沫返回量大的浮选工艺来说,浮选机水平配置方式的节能效果是显著的。

参考文献

- [1] 史帅星,董干国,刘承师.浮选机配置方式分析[J].北京金属学会第五届冶金年会论文集,2008.
- [2] 《选矿设计手册》编委会.选矿设计手册[M].北京:冶金工业出版社,1987:425-448.
- [3] 董干国,刘桂芝,刘林.BF-T 型浮选机在铁精矿提铁降杂中的应用[J].矿冶,2005(4):20-21.
- [4] 刘水红,方启学.铝土矿选矿脱硅技术研究现状述评[J].

POWER CONSUMPTION ANALYSIS OF FLOTATION MACHINES IN FLOTATION CIRCUIT WITH GREATER VOLUME OF RETURN FROTH

DONG Ganguo

(Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China)

ABSTRACT

The configuration of the flotation machines plays an important role in total energy consumption of flotation operation. In this paper, the energy consumption of flotation operation is theoretically analyzed. To a given flotation process, when the volume of return froth is smaller, the energy consumption of the level configuration is more than the one of the step-wise configuration. When the volume of return froth reaches a certain value, the energy consumption of them are the same. When the volume of return froth is greater than that value, the energy consumption of the level configuration is less than the one of the step-wise configuration. Two examples of large volume of return froth are analyzed. The level configuration of flotation machines can reduce operating power consumption 5~10%.

Key words: flotation machine; layout; power consumption analysis; froth; plentiful return