

动力煤选煤厂煤泥水原则流程的研究

吴大为 王克和 李维安

(华北矿业高等专科学校)

摘要 在理论分析的基础上,推导出计算洗水中煤泥循环系数 K 值的数学模型,并以此对我国近年投产的动力煤选煤厂典型的煤泥水原则流程进行了学术性探讨和分析,着重指出了强化澄清浓缩工序的效果是减小 K 值的关键措施,并找出了采用二段浓缩、二段回收煤泥水原则流程的选煤厂洗水浓度居高不下的原因。本文的分析结论在A选煤厂得到论证,短时间内实现了低浓度洗水乃至清水跳汰选煤,达到了选煤厂洗水闭路循环一级标准。

关键词 动力煤选煤厂 煤泥水原则流程 洗水闭路循环 煤泥循环系数 K

1 前 言

以往我国的动力煤选煤厂的煤泥水处理系统都比较简陋,致使洗水浓度过高、煤泥大量出厂,造成了煤炭资源的损失并污染了环境。近年投产的动力煤选煤厂的煤泥水处理系统均较完善,已有的选煤厂也着手增设压滤机等煤泥回收设备,但洗水浓度过高的问题并没有彻底解决,影响了分选效果及洗水闭路循环。从工艺技术来讲,降低动力煤选煤厂的洗水浓度有诸多的因素,其中强化澄清浓缩设备的工艺效果,即增大底流固体回收率,是主要矛盾方面。为此,就动力煤选煤厂的煤泥水原则流程作如下的探讨和分析。

2 煤泥水原则流程和煤泥循环系数 K 值数学模型

现以近年投产的A和B选煤厂的煤泥水原则流程为例(见图1、图2),作为讨论问题的基础。

2.1 煤泥水原则流程

为便于分析,根据煤泥水处理各工序的不同工作任务^[1],可将图1、图2的工艺原则流程概括地分为3个作业区(见图3)。

I作业区为粗煤泥回收区。各选煤厂采用的流程和设备有所不同,如A选煤厂采用安装倾斜板的斗子捞坑作为水力分级设备,离心脱水机兼为粗煤泥脱水工序;而B选煤厂采用角锥沉淀池作为水力分级设备,使用水力旋流器组-煤泥筛来回收粗煤泥。

II作业区为煤泥水澄清浓缩区。选煤厂常采用耙式浓缩机(也有采用沉淀塔)作为澄清浓缩设备。该作业区的溢流作为循环洗水。

III作业区为煤泥脱水回收区。A选煤厂采用的是二段浓缩、二段回收的流程,而B选煤

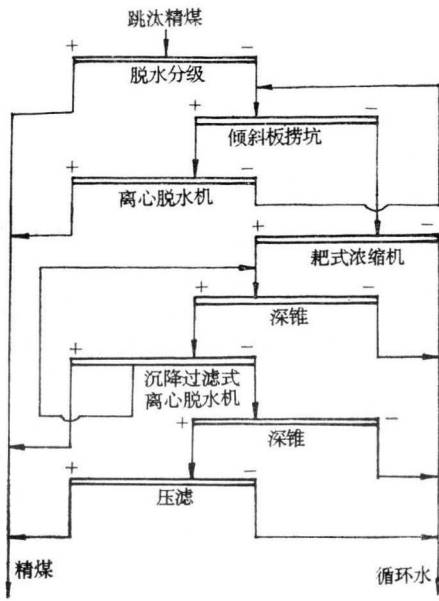


图 1 A 选煤厂煤泥水原则流程
 Fig. 1 Basic slime water flowsheet of coal preparation plant A

厂采用的是一段浓缩、一段回收的流程。当前，选煤厂皆采用压滤机作为细煤泥脱水回收把关设备。

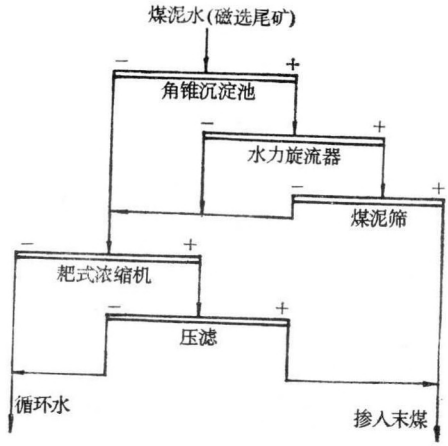


图 2 B 选煤厂煤泥水原则流程
 Fig. 2 Basic slime water flowsheet of coal preparation plant B

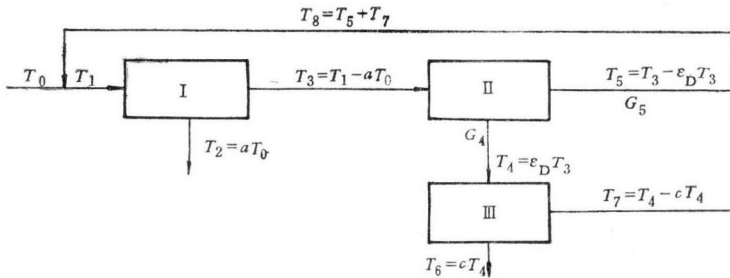


图 3 煤泥水原则流程作业区
 Fig. 3 Operational area of slime water flowsheet

2.2 煤泥循环系数K值数学模型

洗水中煤泥循环系数 K 为循环煤泥量与进入重力选煤设备的原料煤中带进煤泥量的比值，用该值来衡量选煤厂煤泥水处理的工作状况， K 值越小，表明洗水中循环的煤泥量就越少。在选煤厂已实现洗水闭路循环的前提下，煤泥循环系数 K 值数学模型推导如下（图3）：

设 T_0 为进入重力选煤设备的原料煤中煤泥量（包括原生煤泥和次生煤泥）； T_1 为进入 I 作业区的总煤泥量； T_2 为重力选煤产物中含有的煤泥量及回收的粗煤泥量之和； a 为 I 作业区的煤泥分配系数（用小数表示）， $a = T_2/T_0$ ； T_3 为 I 作业区溢流所带走的煤泥量； T_4 为 II 作业区的浓缩底流中所携带的煤泥量； ϵ_D 为 II 作业区的煤泥分配系数，即底流固体回收率（用小数表示）， $\epsilon_D = T_4/T_3$ ； T_5 为 II 作业区溢流所带走的煤泥量； T_6 为 III 作业区回收的煤泥量； c 为 III 作业区的煤泥分配系数（用小数表示）， $c = T_6/T_4$ ； T_7 为 III 作业区返回循环洗水

中的煤泥量； T_8 为循环洗水中的煤泥量； $T_8 = T_1 - T_0$ ，即 $T_1 = T_0 + T_8$ 。

由图 3 可知： $T_3 = T_1 - aT_0$ ， $T_6 = (1 - \epsilon_D)T_3 = (1 - \epsilon_D)(T_1 - aT_0)$ ， $T_7 = (1 - c)T_4 = \epsilon_D(1 - c)T_3 = \epsilon_D(1 - c)(T_1 - aT_0)$ ， $T_8 = (1 - \epsilon_D c)(T_1 - aT_0)$ ， $T_1 = T_0 + (1 - \epsilon_D c)(T_1 - aT_0)$ 。

整理上式得 $T_1/T_0 = (1 - a + a\epsilon_D c)/(\epsilon_D c)$

煤泥循环系数 K 为

$$K = \frac{T_8}{T_0} = \frac{T_1 - T_0}{T_0} = \frac{T_1}{T_0} - 1$$

$$= \frac{1 - a + a\epsilon_D c - \epsilon_D c}{\epsilon_D c} = \frac{(1 - a)(1 - \epsilon_D c)}{\epsilon_D c} \tag{1}$$

a ， ϵ_D ， c 三值均可从选煤厂技术检查的资料中取得。

由式 (1) 可知，3个作业区的煤泥分配系数直接影响 K 值大小，而 K 值表征循环煤泥量的多少，也就是决定了洗水浓度的高低。为了保持低浓度洗水乃至清水状态下选煤，现就 a ， ϵ_D ， c 3个煤泥分配系数进行分析和探讨。

3 a 值

对于动力煤选煤厂，煤泥分配在重力分选的块精煤、洗矸、洗中煤（或洗混煤）中的数量是有限的，只有加强水力分级设备的能力，多回收煤泥才能提高 a 值，这样才可能减少到后续作业的煤泥量。炼焦煤选煤厂回收的粗煤泥是掺入最终精煤中的，这时要考虑到煤泥粒度与灰分的关系，不能让灰分高的细煤泥污染精煤。而动力煤选煤厂的煤泥不再分选，其回收后可有以下出路：（1）掺入重选精煤一并销售；（2）掺入末精煤；（3）掺入原料煤预先分级的粉煤中。一般说来，I作业区回收的煤泥不象炼焦煤选煤厂那样有粒度下限的限制，而是回收越多越好，水力分级设备的分级粒度越细，回收的煤泥量就越多，就可提高 a 值。

水力分级设备的分级粒度大小与其入料浓度有关，可采用传统的煤粒干扰沉降公式作一分析说明，即

$$v = 136.8(\delta - 1)d^2 \left(1 - \frac{1}{R\delta + 1}\right)^n \tag{2}$$

式中， v ——煤粒干扰沉降速度，m/h； δ ——煤粒密度，g/cm³； d ——煤粒粒度，mm； R ——入料煤泥水的液固比； n ——经验指数，取 $n = 5$ 。

当煤粒粒度为 0.5 mm 时，在不同的煤泥水浓度下，沉降速度如图 4 所示。

根据重力沉降过程的理论，分级粒度的沉降速度在数值上就是满足此粒度要求的最大单位负荷，如果超过这单位负荷，水力分级设

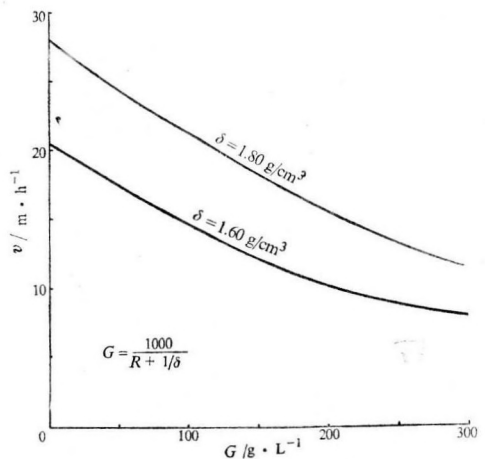


图 4 煤粒沉降速度

Fig. 4 Coal particles settling speed

备的溢流中将有超粒。当入料浓度超过一定值时，随着煤粒沉降速度降低，必然有相当数量的大于0.5 mm的超粒也由水力分级设备的溢流进入Ⅱ作业区，加大了后续作业的负荷量，造成连锁反应、恶性循环。

由此可见，水力分级设备的工艺效果的好坏，与其入料浓度直接相关，而入料浓度大小又取决于洗水浓度高低，即取决于澄清浓缩设备（Ⅱ作业区）的工艺效果。

4 ϵ_D 值

降低洗水浓度（即减小煤泥循环系数 K 值）的关键，是期求有更多的煤泥在澄清浓缩设备中沉淀下来，即提高底流固体回收率 ϵ_D 值，以获得尽可能清净的溢流。其实质是避免或减缓细泥在洗水中集聚。一些研究者认为细泥是均匀地悬浮在水体之中的，也就是说在底流中细泥的分布率大致等于在整个水体中的分布率^[2]。因此，只有大排底流才能相应地将细泥从澄清浓缩设备中排出。但排出底流的体积越多，其浓度势必也越低。

炼焦煤选煤厂澄清浓缩设备的底流是送到浮选工序的，它的排放量可以适当加大，其浓度也相应降低，甚至在煤浆预处理装置中不再添加稀释水就可达到浮选入料的浓度，这种浅度浓缩大排底流的操作方法，可避免细泥在洗水中集聚，使全厂处于低浓度洗水的状态下工作。而动力煤选煤厂，其底流为压滤机等煤泥脱水回收设备的入料，对浓度有一定的要求。

例如，要使压滤机工作周期缩短，入料浓度必须保持在300~500 g/L范围。因此澄清浓缩设备只能采用深度浓缩、少排底流的操作方法，由于从底流中带走的细泥量少，使得洗水中细泥集聚，迫使选煤厂处于高浓度洗水状态下运行，煤泥也在这种平衡状态下，在各作业的产物中实现再分配。就澄清浓缩设备来说，由于入料中带有数量可观的循环煤泥，因此底流固体回收率 ϵ_D 值相应变小。

为定量分析此问题，将底流浓度与底流固体回收率的计算式推导如下^[3]，根据图3，设： G_4 为澄清浓缩设备的底流浓度，g/L； G_5 为澄清浓缩设备的溢流浓度，g/L； G_x 为底流中细泥（ <0.045 mm）的浓度，g/L； E 为底流中细泥浓度与溢流浓度的比值，即

$$E = G_x / G_5, \quad (3)$$

$E \geq 1$ ，其值可按试验值确定或按 $E = 1$ 估算；设 B 为底流中固体物里细泥（ <0.045 mm）的含量（%），即

$$B = (G_x / G_4) \times 100, \quad (4)$$

B 值可按试验值确定。

由式（3），（4）得

$$G_5 = BG_4 / (100E). \quad (5)$$

当实现洗水闭路循环煤泥不出厂时，各作业区煤泥分配率达到平衡，Ⅲ作业区又只有极少量煤泥（如压滤机的滤液）返回循环水系统中的条件下，底流的煤泥量（即Ⅲ作业区回收的煤泥量 T_0 ）大致等于 $(1-a)T_0$ 。设 T_0 占入选原料煤的产率为 M （%）。则底流浓度 G_4 为

$$G_4 \approx 10M / (QN), \quad (6)$$

式中， Q ——重力分选吨煤耗水量， m^3/t ； N ——底流与入料量的体积比值（用小数表示）。

由式（6）得

$$N = 10M / (QG_4) \tag{7}$$

由式 (5), (6) 得

$$G_5 = BM / (10EQN) \tag{8}$$

每入选1 t 原料煤的循环煤泥量 (kg) 约为

$$(1 - N)QG_5 = (1 - N)BM / (10EN)$$

在煤泥水动态平衡时, 按每入选1 t 原料煤计算, 进入 II 作业区的新煤泥量等于从浓缩底流中带走的煤泥量, 其值为 $10M$ (kg)。

则澄清浓缩设备的底流固体回收率 ϵ_D (以小数表示) 为

$$\epsilon_D = \frac{10M}{10M + \frac{(1 - N)BM}{10EN}} = \frac{100EN}{100EN + B(1 - N)} \tag{9}$$

由式 (7)~(9) 的数据绘制成坐标图 (图 5) 可以直观地看出, 当要求的底流浓度越高时, 其相应的排放体积就越少, 固体回收率就越低, 致使澄清浓缩设备的溢流浓度增高, 煤泥循环量加大。顺便指出的是, 在很多场合, 选煤厂设计时, 无论澄清浓缩设备的底流浓度控制值为多少, 为简化计算, 其溢流浓度皆为零来考虑。这样, 不利于对不同的煤泥水原则流程方案定量评估, 也和实际生产指标有很大的差距。

为了既要保持高浓度排放底流, 又要提高澄清浓缩设备的工艺效果, 让大量煤泥沉淀下来, 从当前看, 最有效、最易实现的方法是向澄清浓缩设备中添加絮凝剂 (或絮凝剂与凝聚剂) 来强化澄清浓缩过程。A 选煤厂添加聚丙烯酰胺前后, 耙式浓缩机工艺指标如表 1 所示。

只要我们根据各选煤厂的煤泥水的液相

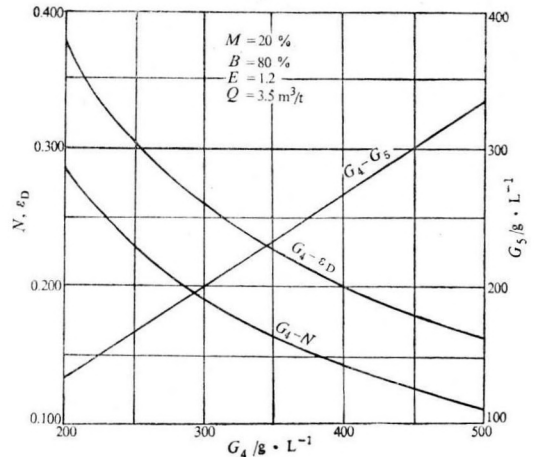


图 5 底流浓度与排放比值、底流固体回收率、溢流浓度关系曲线

Fig. 5 Underflow concentration vs disposal ratio, underflow solid recovery rate and overflow concentration curves

表 1 添加聚丙烯酰胺前后耙式浓缩机工艺指标

Table 1 The technological indices of thickener before and after addition of polyacrylamide

项 目	入料浓度		溢流浓度		底流浓度		浓缩效率 $\eta_n / \%$	底流固体回收率 $\epsilon_D / \%$
	①	②	①	②	①	②		
未添加絮凝剂	211	19.27	183	16.91	304	26.74	11.59	32.75
添加絮凝剂	72	6.97	0.3	0.03	310	27.20	76.69	99.68

注: 无烟煤煤泥密度 1.82 g/cm^3 ; 表中浓度单位①为 g/L , ②为 $\%$ 。

特性和固相特性，通过实验室试验选择质量优良的、合适的分子量和水解度的聚丙烯酰胺产品（或凝聚剂）。确定最佳添加量和絮凝剂（或凝聚剂）水溶液与煤泥水预先接触时间等参数，并经过工业性试验验证及作相应调整等技术步骤，动力煤选煤厂的澄清浓缩设备的溢流变为清水是不难实现的。

5 c 值

在煤泥脱水回收区所回收的煤泥量越多，则 c 值就越大（趋于1），煤泥循环系数 K 值就越小。对于分选大于13 mm以上块煤的选煤厂，原料煤预先分级的筛分效率一般是能得到保证的（尤其是采用琴弦筛之后），进入洗水系统中的煤泥量通常是较少的。因此，在选煤厂设计上采用一段浓缩、压滤机一段回收的流程。只要有相适应的压滤能力、合理的工艺制度（入料浓度、入料压强等）、科学而又严格的管理制度，是能够满足生产需要的。对于分选下限是6 mm乃至原料煤不分级全部入选的动力煤选煤厂，由于进入洗水系统中的煤泥量大，在选煤厂设计上常采用二段浓缩、二段回收的煤泥水原则流程。第一段回收采用的是沉降过滤式离心脱水机，这种类型的设备用于回收粗煤泥是有效的，但随入料中细泥含量增大，其离心液浓度也随之增大，产物的固体产率亦随之减小。例如，当入料中小于0.075 mm粒级含量为67.22%时，A选煤厂TCL-1418型沉降过滤式离心脱水机的生产指标如表2所示。

表2 TCL-1418型沉降过滤式离心脱水机生产指标
Table 2 Production indices of TCL-1418 solid bowl centrifuge

用途	浓度 / %			脱水效率 η / %	产物水分 M_t / %	产物固体产率 γ_t / %
	入料	离心液	脱水产物			
深锥浓缩机底流脱水回收	34.41	22.14	78.95	42.62	21.05	49.55

由表2可知，约有一半的固体（占入料）随离心液排出，象离心液这样高浓度的煤泥水进入第二段深锥浓缩机，其澄清浓缩效果是极其不好的，底流浓度只比入料浓度每升略高十几克，据此计算浓缩效率不到5%。即使为防止过多的高浓度溢流返回洗水系统，在操作上多排底流尽可能用压滤机回收，此时深锥浓缩机的底流煤泥分配系数（即 c 值）也不会超过0.75。而且还需延长压滤作业工作周期，增加压滤机台数。

按照图1这样的二段浓缩、二段回收的煤泥水原则流程，则可由前述的式（1）计算出煤泥循环系数 $K = 2.93$ （当 $a = 0.15$ ， $\epsilon_D = 0.3$ ， $c = 0.75$ ）。若跳汰机处理量为150 t/h、循环水量为450 m³/h、原生煤泥与次生煤泥产率为20%时，则洗水浓度保持在200 g/L左右。由此例说明了当前一些动力煤选煤厂洗水浓度居高不下的原因。

一些选煤厂也曾进行过直接向沉降过滤式离心脱水机的离心液中添加絮凝剂（或絮凝剂与凝聚剂配合添加），以加速煤泥沉降的试验，但效果都不理想，原因是煤泥所形成的絮团结构蓬松、视密度小、体积大，在悬浮液体系中占有相当的空间。在高浓度的煤泥水中絮团沉降既受到周围未絮凝的颗粒群机械阻力，又受到附近絮团的彼此干扰，因此沉降速度随着絮团之间的紧密程度的增加而急剧减慢。如图6所示的是C选煤厂将深锥入料配制成不同的

浓度时,在实验室用量筒测定沉降速度的结果。

6 调整煤泥水原则流程

通过与现场合作,对A选煤厂高达 20^0 g/L以上的洗水进行治理,依照以上探讨与分析的结论,首先将原设计的向深锥浓缩机入料中添加絮凝剂,改为向耙式浓缩机入料中添加。其二是根据洗水浓度大幅度降低后,捞坑溢流的粒度组成变细,逐步将二段浓缩、二段回收的流程改为一段浓缩、一段回收的流程。

针对A选煤厂煤泥水的固液二相特性,经过一系列实验室试验,选择了合适的絮凝剂,确定了合理的添加制度,经3d的工业性试验,就使耙式浓缩机出现了1.5m深的清水层,实现了低浓度洗水选煤。由于捞坑入料浓度大大降低,大量煤泥沉降,使其溢流的粒度组成变细,见表3。

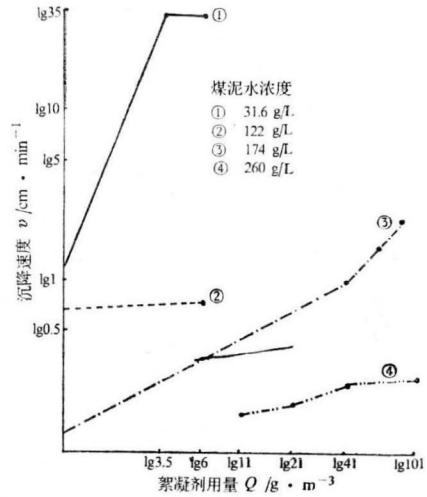


图 6 煤泥水浓度与絮团沉降速度的关系
Fig. 6 Slime water concentration vs flock settling speed

表 3 倾斜板捞坑溢流的粒度组成

Table 3 Particle distribution of overflow of raking pond

粒级/mm	产率/%	粒级/mm	产率/%
+ 0.125	3.01	0.075~0.045	6.52
0.125~0.075	12.88	- 0.045	77.59

捞坑溢流中的固体颗粒在耙式浓缩机里与絮凝剂作用,几乎全部沉淀下来。将末精煤离心脱水机的离心液掺入耙式浓缩机底流,使沉降过滤式离心脱水机的入料因掺粗后小于0.075 mm粒级的含量由原有的84.11%下降为79.01%,其生产标定结果如表4所示。

从表4可知,此时工艺效果是不好的,大量细粒由离心液携带走,脱水产物固体产率仅

表 4 沉降过滤式离心脱水机工艺试验结果

Table 4 Test results of solid bowl centrifuge

型 号	入料量 /t·(h·台) ⁻¹	浓度G及灰分A _d						产物产量 /t·(h·台) ⁻¹	效 率 η _t /%	产物固体 产率γ _t /%	产物水分 M _t /%
		入料/%		离心液/%		产物/%					
		G	A _d	G	A _d	G	A _d				
TCL-1418	43.0	25.66	27.28	22.18	30.86	71.11	19.77	8.5	19.6	19.71	28.89

为 19.71%。众多研究者认为沉降过滤式离心脱水机的入料中细粒含量超过一定数额后，生产技术指标急剧变差，此结论与上述试验标定结果是相吻合的。

1990年8月A选煤厂向第一段澄清浓缩设备（耙式浓缩机）添加絮凝剂，基本实现了清水选煤。于1991年1月经审核和验收确认达到一级洗水闭路循环标准。与此同时，该厂逐步将原有的煤泥水原则流程调整为一段浓缩、一段回收的流程，此过程大致可分为以下3个阶段：

(1) 1990年8月~1991年8月 在有二台压滤机工作的条件下，间断地把耙式浓缩机底流扬送到深锥浓缩机，并尽可能使其不产生溢流，避免高浓度煤泥水打循环，此时深锥浓缩机实质上仅作为静压入料缓冲罐。压滤机与沉降过滤式离心脱水机并联使用。

(2) 1991年8月~1992年7月 新投产一台压滤机，使工作总面积由840 m²增加到1340 m²，压滤能力有大幅度提高。末精煤离心脱水机的离心液专门存入原1号深锥浓缩机，待液位将满时，再开沉降过滤式离心脱水机间断回收粗煤泥。

(3) 1992年7月以后 由于3台压滤机全部改用918丙纶(赛卡)无纺滤布，使得压滤工序生产指标明显提高。末精煤离心脱水机的离心液返回捞坑后，亦能控制其溢流的粒度组成。沉降过滤式离心脱水机作为备用设备，在正常生产时不再使用。A选煤厂调整后的煤泥水原则流程见图7所示。

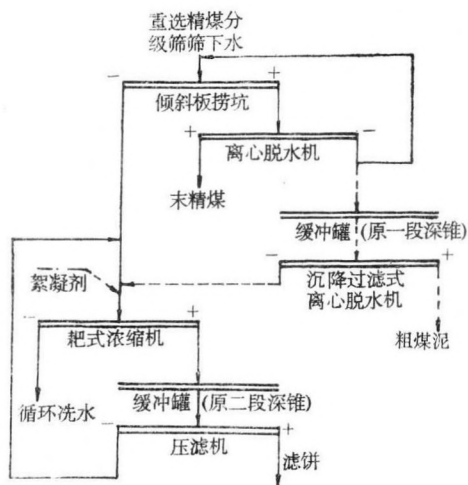


图 7 A选煤厂调整后的煤泥水原则流程

Fig. 7 The adjusted slime water flowsheet of plant A

7 结 论

(1) 通过煤泥循环系数K值的数学模型分析可知，降低洗水浓度的关键是分别加大粗煤泥回收值、澄清浓缩区和煤泥回收区的煤泥分配系数，其中ε_D值更为重要。

(2) 对动力煤选煤厂的煤泥水原则流程可以采用煤泥循环系数K值进行定量分析，以此对现有的流程进行理顺和调整，其目的是尽可能降低洗水浓度乃至清水选煤，达到良性循环状态，这样才能巩固和长期坚持洗水闭路。

(3) 本文的探讨与分析结论，在A选煤厂的生产实践证明，短时间内就可大幅度降低洗水浓度、简化流程，做到少投入，多产出，提高经济效益。

(4) 在选煤厂设计和老厂改扩建时，建议试用煤泥循环系数K值，来对不同的煤泥水原则流程方案进行定量评估。

参 考 文 献

- 1 王祖訥. 谈谈煤泥水处理问题. 选煤技术, 1974(6): 20~30.
- 2 单忠健. 煤炭洗选环境工程. 北京: 煤炭工业出版社, 1986. 335~396.

3 沈斌礼. 对改革煤泥水流程的看法. 选煤技术, 1975(4): 28~33.

作者简介

吴大为, 男, 53岁, 教授。1963年毕业于北京矿业学院。现为煤炭加工利用系主任, 从事选煤专业教学和科研工作。曾参加“动力煤选煤厂洗水闭路循环的研究”等4项科研项目。在有关刊物上发表“XPM-8型喷射式浮选机及其充气质量”、“煤粉(泥)预先脱泥筛分试验及对R—R—B粒度分布线的初步验证”、“选煤厂浮选效果评定方法的研究”等论文十余篇。河北省华北矿业高等专科学校, 邮政编码: 101601。

王克和, 男, 29岁, 讲师。1985年毕业于淮南矿业学院, 1988年毕业于中国矿业大学研究生部, 获硕士学位。曾参加“动力煤选煤厂洗水闭路循环的研究”科研项目。河北省华北矿业高等专科学校, 邮政编码: 101601。

李维安, 男, 30岁, 讲师。1984年毕业于淮南矿业学院。曾参加“动力煤选煤厂洗水闭路循环的研究”科研项目。河北省华北矿业高等专科学校, 邮政编码: 101601。

STUDY OF TYPICAL SLIME WATER FLOWSHEET OF STEAM COAL PREPARATION PLANT

Wu Dawei Wang Kehe Li Weian

(North China Mining College)

Abstract A mathematic model for calculation of factor of slime circulation, K , was established on the basis of the theoretical analysis. The typical slime water flowsheet of steam coal preparation plant built in the recent years was studied by using the model equation. It was pointed out that efficient thickening and clarification are the key for reducing the value K and the reason was found why the washing water in the two-stage thickening and two-stage slime recovering was high. The conclusion of this investigation was applied. As a result, the jig washing water became less dense and even clean and the first class standard for close circulation was met in a short period.

Keywords steam coal preparation plant, basic slime water flowsheet, close circulation, value K of slime water circulation