

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 122—2025

铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价

On-line monitoring risk evaluation of copper smelting production process quality

2025 - 04 - 23 发布

2025 - 04 - 24 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 1

4 基本要求 1

 4.1 一般要求 1

 4.2 评价要求 1

5 评价对象 1

6 评价指标和要求 2

 6.1 评价指标体系及指标要求 2

 6.2 权重系数 2

7 评价方法和结果输出 2

 7.1 评价方法 2

 7.2 评价结果 2

 7.3 风险评价总分值 3

 7.4 风险等级 3

 7.5 评价报告 4

附 录 A （资料性） 铜冶炼工艺流程图 5

 A.1 火法炼铜工艺流程图 5

 A.2 湿法炼铜工艺流程图 6

附 录 B （规范性） 评价指标体系 7

 B.1 火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标体系 7

 B.2 湿法炼铜生产过程质量在线监风险评价指标体系 10

附 录 C （资料性） 评价流程 12

参 考 文 献 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：矿冶科技集团有限公司、紫金矿业集团股份有限公司、中国标准化研究院、东北大学、湖南大学、北京市计量检测科学研究院、铜陵有色金属集团有限公司、西部矿业集团有限公司。

本文件主要起草人：赵海利、赵建军、曹新九、张子悦、贾帅、李传伟、李兴华、关长亮、王亮、王姝、高云鹏、赵宇、季波、张逸飞、郭万朋、吴晨宇、沈上圯。

铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价

1 范围

本文件规定了铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价的基本要求、评价对象、评价指标和要求、评价方法和结果输出等内容。

本文件适用于铜冶炼生产过程的在线监控风险评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 37183-2018 腐蚀控制工程全生命周期 风险评价

GB 50616 铜冶炼厂工艺设计规范

3 术语和定义

GB 50616界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风险评价 risk assessment

采用铜冶炼生产技术、过程原理和方法，辨识与分析工程、系统、在线生产中的有关矿源、设备等带来的危险、有害因素，预测造成铜冶炼产品质量事故的可能性及其严重程度，提出改进措施，做出风险评价结论的活动。

[来源：GB/T 37183-2018, 3.3, 有修改]

4 基本要求

4.1 一般要求

在线监控风险评价符合下列要求：

- 应对在线监控要素以及要素间的整体性、系统性、相互协调和优化性评价，应确保在线监控的可靠性、安全性、经济性；
- 应对在线监控不同阶段评价，对全过程待续评价和控制风险，确定风险因素权重，评价内容应涵盖生产过程各要素。

4.2 评价要求

风险评价满足下列要求：

- 应针对生产过程全生命周期要素进行风险评价，评价方法应符合安全、质量和环境要求，并与生产过程风险管理目标保持一致；
- 应贯穿生产过程全生命周期的各阶段，并针对不同阶段采用不同的风险评价指标；
- 应在线反馈评价指标风险结果，提出应对措施，促进在线监控系统的异常处理和风险预警。

5 评价对象

评价对象应包括下列内容：

- a) 铜冶炼火法炼铜工艺参数：配料、炉料干燥、造硫熔炼、铜硫吹炼、炉渣贫化、火法精炼、阳极浇铸、废杂铜处理、电解精炼、阳极泥处理等工艺流程的技术参数，火法炼铜工艺流程见图 A.1
- b) 铜冶炼湿法炼铜工艺参数：配料、原料浸出、萃取、电积等工艺流程的技术参数，湿法炼铜工艺流程见图 A.2。

6 评价指标和要求

6.1 评价指标体系及指标要求

评价指标应包括铜冶炼火法炼铜工艺指标和铜冶炼湿法炼铜工艺指标：

- a) 铜冶炼火法炼铜工艺指标包括 10 个一级指标，125 个二级指标，对每个二级指标给出指标评价维度。每个二级指标应分为必备指标和可选指标，根据实际评价需求列出。评价指标体系及评价指标要求见表 B.1；
- b) 铜冶炼湿法炼铜工艺指标包括 4 个一级指标，19 个二级指标，对每个二级指标给出指标评价维度。每个二级指标应分为必备指标和可选指标，根据实际评价需求列出。评价指标体系及指标要求见表 B.2。

6.2 权重系数

评价指标权重系数应符合表1的规定。

表 1 评价指标权重系数

指标类别	一级指标 (A_i)	权重系数 (M_i)
火法炼铜工艺指标	配料	10%
	炉料干燥	12%
	造硫熔炼	12%
	铜硫吹炼	12%
	炉渣贫化	8%
	火法精炼	15%
	阳极浇铸	8%
	废杂铜处理	7%
	电解精炼	10%
	阳极泥处理	6%
湿法炼铜工艺指标	配料	20%
	原料浸出	30%
	萃取	30%
	电积	20%

7 评价方法和结果输出

7.1 评价方法

评价时，应针对评价的铜冶炼生产线，通过在线智能评价系统，确定评价对象和评价指标，按附录 C 的在线评价流程定期或适时在线反馈评价指标风险结果。

7.2 评价结果

7.2.1 二级指标评价结果

二级指标评价分值应根据该指标项数值,按风险控制指标要求,从可能性、严重性、可监测性以及在线异常和调整情况确定每项的分值,计算出该指标综合风险分值。评价结果应按下列规定确定:

- a) 偏离值(P):应包括下列内容:
 - 1) 4分—(3%~10%]。频繁,每日发生;
 - 2) 3分—(1%~3%]。可能,每周发生;
 - 3) 2分—(0.1%~1%]。偶尔,每月发生;
 - 4) 1分—[0~0.1%]。罕见,2个月周期内仅发生过一次可测偏离。
- b) 严重性(S):应包括下列内容:
 - 1) 4分—严重,造成生产线严重破坏,可能造成产品报废;
 - 2) 3分—主要,造成生产线较大破坏,可能需对产品进行返工;
 - 3) 2分—次要,造成生产线较小破坏,可能对产品挑选或部分回收;
 - 4) 1分—可忽略,对产品质量几乎没有影响。
- c) 可监测性(C):应包括下列内容:
 - 1) 4分—几乎肯定能,可容易监测到风险异常;
 - 2) 3分—可能性大,间断性监测到风险异常;
 - 3) 2分—可能性低,通过数据复核、现场检查发现;
 - 4) 1分—不可能发现,未监测到。
- d) 在线异常/调整(D):应包括下列内容:
 - 1) 4分—每周出现1次异常,通过调整无法解决;
 - 2) 3分—每周出现2次异常,通过调整及时解决;
 - 3) 2分—每周出现1次异常,通过调整及时解决;
 - 4) 1分—一周内未出现异常。
- e) 综合风险评分(RPN)应符合下列规定:
 - 1) $RPN=P*S*C*D$;
 - 1) $RPN \leq 4$,低度风险,可接受;
 - 2) $5 \leq RPN \leq 8$,中度风险,加大复核检查频次;
 - 3) $RPN \geq 9$,高度风险,特别关注,应对铜冶炼设备、生产线及选样、取样、样品处理等调整,采取预防和纠正措施,并对采取风险控制措施后的风险再次评估,确认RPN值已下降到可接受程度。

7.2.2 总体评价结果

总体评价结果应在一级指标、二级指标风险值基础上,通过综合计算模型得出,并以报告和预警形式输出。

7.3 风险评价总分值

风险评价总分值应按下列公式(1)、(2)计算:

$$A_i = \sum A_{ij} \quad (1)$$

$$p = \sum A_i * M_i \quad (2)$$

式中:

- A_i —一级指标综合计算值。
 A_{ij} —二级指标的综合风险分值即: $RPN=P*S*C*D$;
 P —风险评价总分值;
 M_i —一级指标权重系数;
 M_2 为生产工艺风险评价总体权重系数;

7.4 风险等级

风险等级应符合表2的规定。

表 2 风险等级

风险分值 (P)	风险等级	预警类型
$P \leq P_1$	低风险	蓝色
$P_2 \geq P > P_1$	中风险	黄色
$P_3 \geq P > P_2$	高风险	橙色
$P > P_3$	最高风险	红色
注： P_1 、 P_2 、 P_3 分别对应所有选取指标最高风险值总和的0.4、0.6、0.8倍。		

7.5 评价报告

评价报告应包括但不限于以下内容：

- 每项二级指标的评价结果分值；
- 整个生产过程的风险水平；
- 采取的整体预防性措施建议。

附录 A
(资料性)
铜冶炼工艺流程图

A.1 火法炼铜工艺流程图

火法炼铜工艺流程见图A.1。

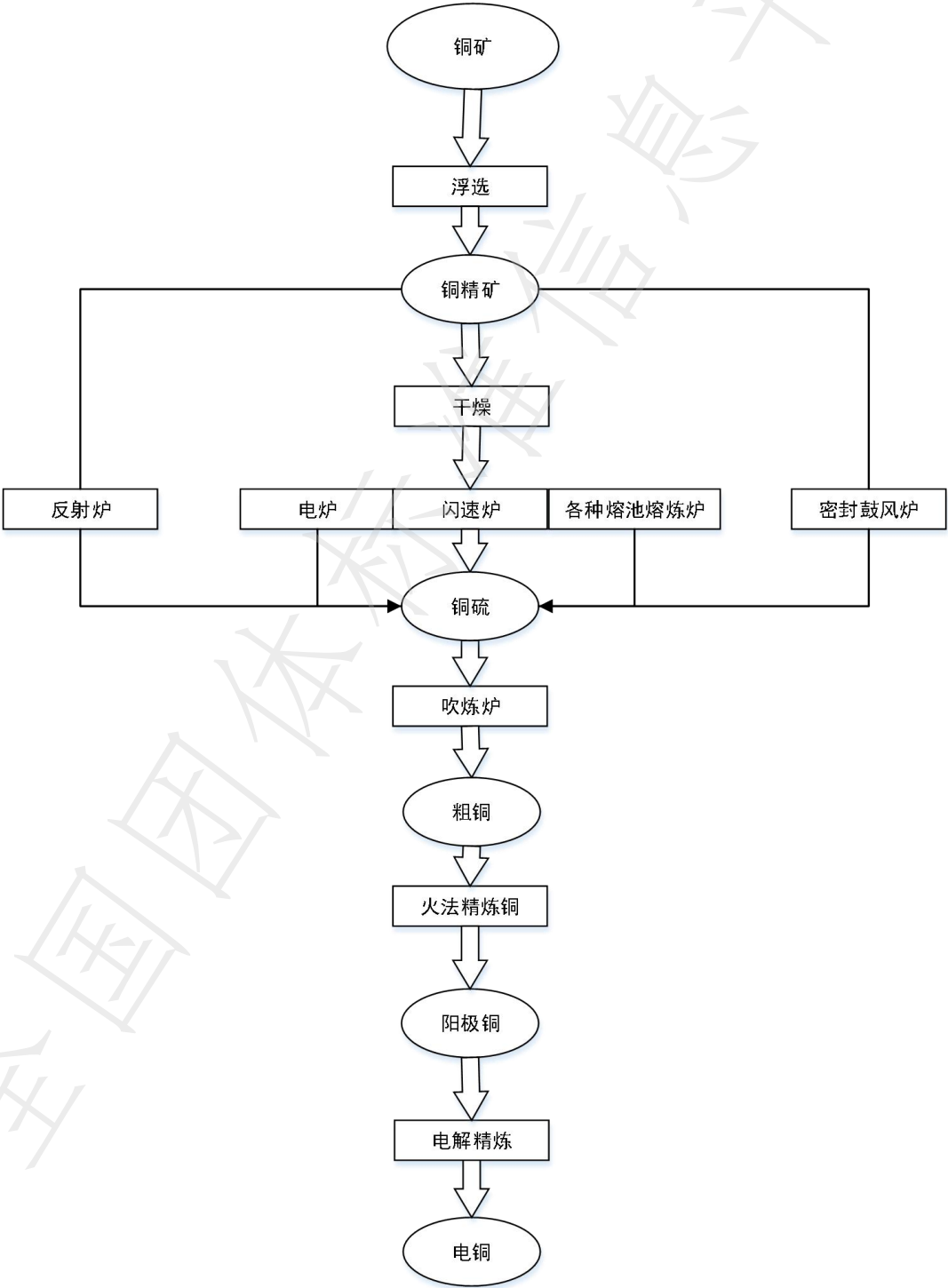


图 A.1 火法炼铜工艺流程图

A.2 湿法炼铜工艺流程图

湿法炼铜工艺流程见图 A.2。

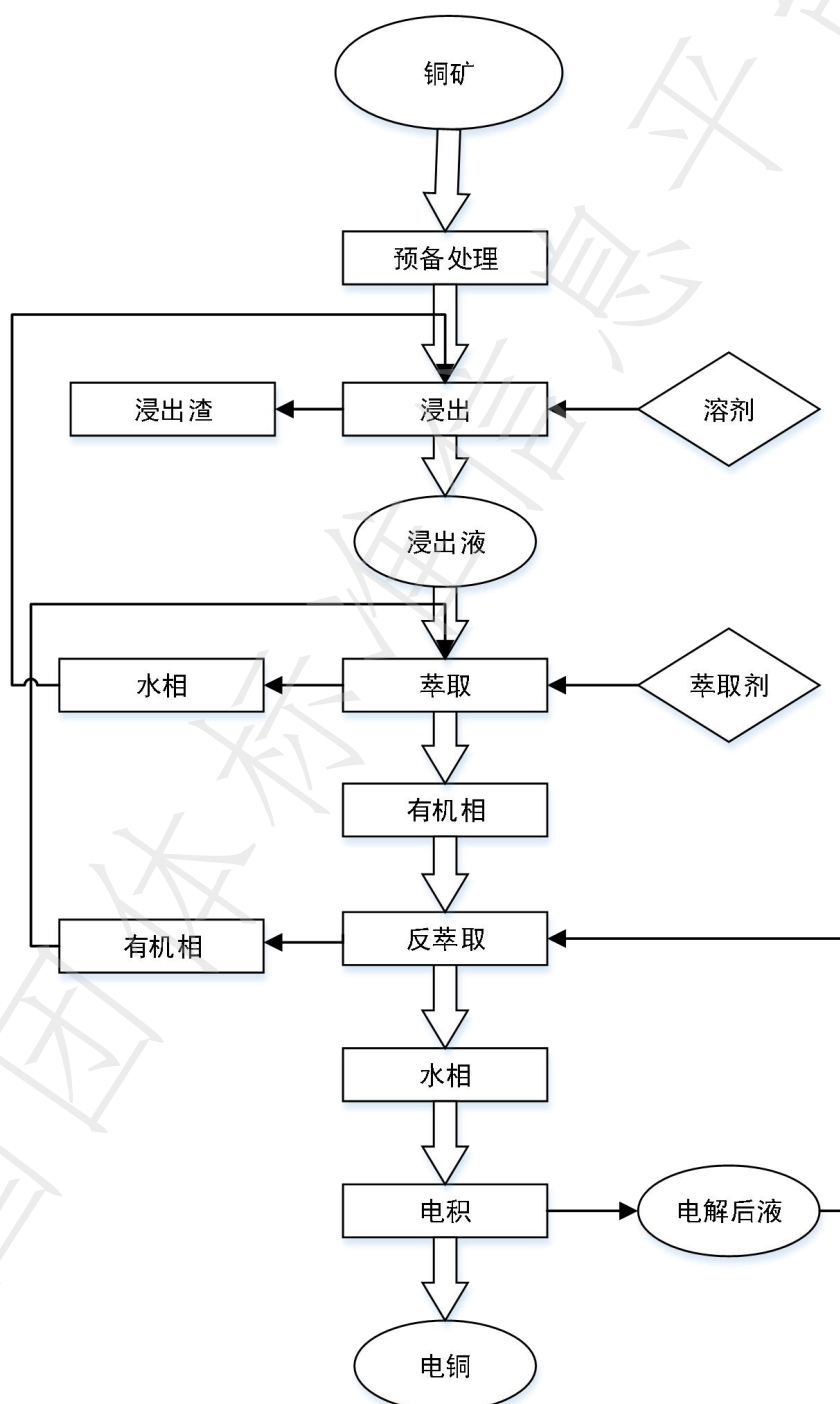


图 A.2 湿法炼铜工艺流程图

附 录 B
(规范性)
评价指标体系

B.1 火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标体系

火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标体系应符合表B.1的规定。

表 B.1 火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	指标要求	在线质量风险评价					风险水平 (高/中/低)
				偏离值 (P)	严重性 (S)	可监测性 (C)	在线异常/调整 (D)	综合风险分值 (RPN)	
1	配料	配料偏差	±2%						
2		精铜矿含水量	7%~10%						
3		精铜矿贮存时间	8h~16h						
4		熔剂贮存时间	24h						
5	炉料干燥	干燥强度	35kg(水)/m ³ ·h~50kg(水)/m ³ ·h						
6		耗热量	小于 7MJ/kg(水)						
7		鼓风机风量	应符合 GB 50616 的规定						
8		燃料用量	应符合 GB 50616 的规定						
9		出口烟气温度	应符合 GB 50616 的规定						
10		烟气量	应符合 GB 50616 的规定						
11		出口压力	应符合 GB 50616 的规定						
12		有效工时	圆筒干燥: 6h/d, 蒸汽干燥: 22h/d						
13		圆筒入口气流温度	200℃~400℃						
14		圆筒气流平均速度	12m/s~15m/s						
15		圆筒热容系数	1.2MJ/(m ³ ·℃·h)~1.5MJ/(m ³ ·℃·h)						
16		鼠笼打散机热容系数	50MJ/(m ³ ·℃·h)~55MJ/(m ³ ·℃·h)						
17		干燥管内气流速度	16m/s~18m/s						
18		干燥管内热容系数	4.2MJ/(m ³ ·℃·h)~5.0MJ/(m ³ ·℃·h)						
19		入口压力	0.8MPa~2.1MPa						
20		干燥水分	小于 0.3%						
21		精矿出口温度	100℃~130℃						
22		载气出口温度	110℃~130℃						
23		蒸汽消耗量	185kg/t~200kg/t						
24		综合能耗	小于 550kg/t						
25		硫回收率	大于 96%						

26	造硫熔炼	铜回收率	大于 98%						
27		块状物料	细磨尺寸不大于 1mm						
28		含铜锌	小于 6%						
29		配料偏差	闪速熔炼: $\pm 1\%$, 顶吹浸没熔炼: $\pm 2\%$						
30		水分含量	闪速熔炼: 小于 0.3%, 顶吹浸没熔炼: $< 8\% \sim 10\%$						
31		铜硫品位	闪速熔炼: $55\% \sim 72\%$, 顶吹浸没熔炼: $50\% \sim 70\%$						
32		烟尘率	小于 8%						
33		石灰石溶剂粒度	小于 15mm						
34		块煤粒度	小于 15mm						
35		富氧浓度	$38\% \sim 65\%$						
36	铜硫吹炼	铜硫品位	卧式转炉吹炼: 大于 50%, 顶吹浸没吹炼: $58\% \sim 70\%$, 闪速吹炼: $65\% \sim 72\%$, 三菱法吹炼: $67\% \sim 71\%$						
37		水分含量	卧式转炉吹炼: 小于 3%, 顶吹浸没吹炼: 不高于 8%, 闪速吹炼: 不高于 0.2%, 三菱法吹炼: 宜小于 0.5%						
38		鼓风机入炉风压	70MPa $\sim$ 130MPa						
39		鼓风强度	$0.5\text{m}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}) \sim 0.8\text{m}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$						
40		氧利用率	大于 95%						
41		粗铜含铜	大于 98.5%, 闪速吹炼, 大于 98%						
43		出口烟气二氧化硫浓度	卧式转炉吹炼: 高于 7.5%, 顶吹浸没吹炼: 高于 10%, 闪速吹炼: 高于 30%, 三菱法吹炼: $24\% \sim 31\%$						
44		炉渣含铜	低于 4.5%						
45		烟尘量小于铜硫量	卧式转炉吹炼: $2\% \sim 4\%$, 顶吹浸没吹炼: 3%, 闪速吹炼: 8%						
46		鼓风时率	单炉: $60\% \sim 65\%$, 炉交换: $75\% \sim 80\%$, 期交换: $80\% \sim 85\%$						
47		炉口间隙	小于 50mm, 转炉固定烟罩与炉口护板						
48		富氧率	卧式转炉吹炼: $22\% \sim 26\%$, 顶吹浸没吹炼: $30\% \sim 40\%$, 闪速吹炼: $65\% \sim 85\%$, 三菱法吹炼: $25\% \sim 35\%$						
49		鼓风压力	小于 55kPa						
50		固体铜硫粒度	顶吹浸没吹炼: 不大于 1mm, 闪速吹炼: 325 目宜占 60%以上, 三菱法吹炼: 宜小于 5mm						
51		喷枪氧压	不低于 0.15MPa						
52		喷枪送风压力	不低于 0.15MPa						
53		套筒风压力	宜为 60MPa $\sim$ 80MPa						
54		风压力	不低于 0.15MPa						
55		含硫率	低于 0.4%						
56		渣含铁量	$25\% \sim 35\%$						
57		渣含铜量	闪速吹炼: 宜低于 20%, 三菱法吹炼: $13\% \sim 15\%$						
58		供风压力	宜为 0.22MPa $\sim$ 0.25MPa						

59		供氧压力	宜为 0.27MPa~0.30MPa						
60		送料风压	宜为 0.35MPa~0.60MPa						
61		粗铜含硫	低于 0.7%						
62		粗铜含氧	宜为 0.1%~0.3%						
63		渣含氧化钙量	15%~18%						
64		氧化钙铁比	0.34~0.4						
65		烟尘率	应小于 6%						
66		渣层厚度	宜为 0.1m~0.15m						
67	炉渣贫化炉	物料含水量	宜小于 3%						
68		还原剂粒度	宜为 3mm~5mm						
69		硫化剂粒度	宜为 10mm~30mm						
70		熔剂粒度	宜小于 5mm						
71		冷料粒度	宜小于 30mm						
72		硫化剂含硫量	宜大于 30%						
73		渣层厚度	宜为 800mm~1000mm						
74		铜硫层与渣层比	1/3~1/2						
75		铜硫层厚度	不小于 150mm						
76		单位炉床面积功率	宜为 50kW/m ² ~100kW/m ²						
77		电力消耗	宜为 80kW·h/t 渣~120kW·h/t 渣						
78		二次电压	宜为 70V~160V						
79		划分电压等级	宜分 5 个~7 个						
80		炉渣温度	宜为 1250℃						
81		贫化停留时间	宜为 5h~7h						
82		渣含铜量	不宜高于 0.7%						
83		冷风量	应小于 100m ³ /(m ² ·h)						
84		用水量	宜为 10m ³ /h/t 渣~20m ³ /t 渣						
85		水压	0.2MPa~0.3MPa						
86		磨矿细度	P80=40um						
87		渣精矿铜品位	应不小于 20%						
88		尾矿含铜	不应大于 0.4%						
89	火法精炼	粗铜品位	应大于 97.5%						
90		铜含量	应大于 99%						
91		铜回收率	应高于 99.80%						
92		综合能耗	不应高于 1465MJ/t						
93		年工作日	不应少于 330d						
94	阳极浇铸	阳极板重量误差率	±2%						
95		阳极板合格率	不宜低于 96%						
96		浇铸时间	不宜大于 6h						
97	废杂铜处理	废杂铜含铜品位	90%以上						
98		黄杂铜含铜品位	55%~85%						

99	电解精炼	入炉物料块度	宜小于 450mm						
100		入炉物料块重量	不宜超过 60kg						
101		焦炭块度	宜为 40mm~70mm						
102		抗碎强度	M25%/不宜小于 83						
103		鼓风机床能	80t/(m ² ·d)~ 100t/(m ² ·d)						
104		焦率	25%~30%						
105		熔剂率	5%~6%						
106		直收率	96%~99.8%						
107		炉渣含铜	应低于 0.5% (黑铜含铜小于 70%时)						
108		蒸汽压力	0.2MPa~0.4MPa						
109		悬垂度偏差	±3mm (阳极) ±6mm (阴极)						
110		排列间距误差	±1.5mm (阳极) ±1.5mm (阴极)						
111		吊耳尺寸误差	±1mm						
112		平面度误差	±2mm						
113		电流效率	大于 96% (始极片阴极)						
114		电流密度	230A/m ² ~280A/m ² (始极片阴极) 280A/m ² ~330A/m ² (永久阴极)						
115		槽电压	250mV~300mV (始极片阴极) 300mV~400mV (永久阴极)						
116		电解液温度	60℃~65℃						
117		铜回收率	大于 99.6%						
118		残极率	不大于 20% (始极片阴极) 不大于 16% (永久阴极)						
119		同极中心距	100mm~105mm (始极片阴极) 90mm~100mm (永久阴极)						
120	阳极泥处理	直流电耗	240kw·h/t~280 kw·h/t (始极片阴极) 270kw·h/t~350 kw·h/t (永久阴极)						
121		蒸汽消耗	始极片阴极, 600kg/t~800 kg/t); 永久阴极 300kg/t~500kg/t (全文修改)						
122		金、银回收率	应高于 98.5%						
123		渣含硒	应小于 0.5%						
124		酸耗量	应小于 1t/t						
125		铜浸出率	应大于 99%						

B.2 湿法炼铜生产过程质量在线监风险评价指标体系

湿法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标体系应符合表B.2的规定。

表 B.2 湿法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	指标要求	在线质量风险评价					风险水平（高/中/低）
				偏离值（P）	严重性（S）	可监测性（C）	在线异常/调整（D）	综合风险分值（RPN）	
1	配料	配料偏差	±2%						
2		精铜矿含水分	7%~10%						
3		精铜矿贮存时间	8h~16h						
4		熔剂贮存时间	24h						
5	原料浸出	矿石入堆尺寸	大于 20mm						
6		入堆浸出尺寸	小于 20mm 粒矿或粉矿						
7		细菌堆浸层高尺寸	宜为 4m~10m						
8		堆浸周期	细菌堆浸：360d~400d；氧化铜矿堆浸：90d~120d						
9		搅拌浸出时间	3h~4h						
10		浸出率	辉铜矿细菌堆浸：70%~80%，氧化铜矿堆浸：90%						
11		浸出液铜浓度	低品位含铜废矿：0.5g/L~0.9g/L，氧化铜矿、辉铜矿：3g/L~7g/L						
12	萃取	萃取率	宜取 90%~95%						
13		萃余液含铜量	宜小于 0.2g/L						
14		萃取混合时间	宜为 2min						
15		萃取速率	$4.9\text{m}^3 \pm 1.2\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$						
16	电积	电流效率	宜为 90%~92%						
17		电流密度	宜为 200A/m ² ~320A/m ²						
18		铜回收率	宜为 99.5%						
19		同极距	100mm						

附录 C
(资料性)
评价流程

铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价流程见图C. 1。

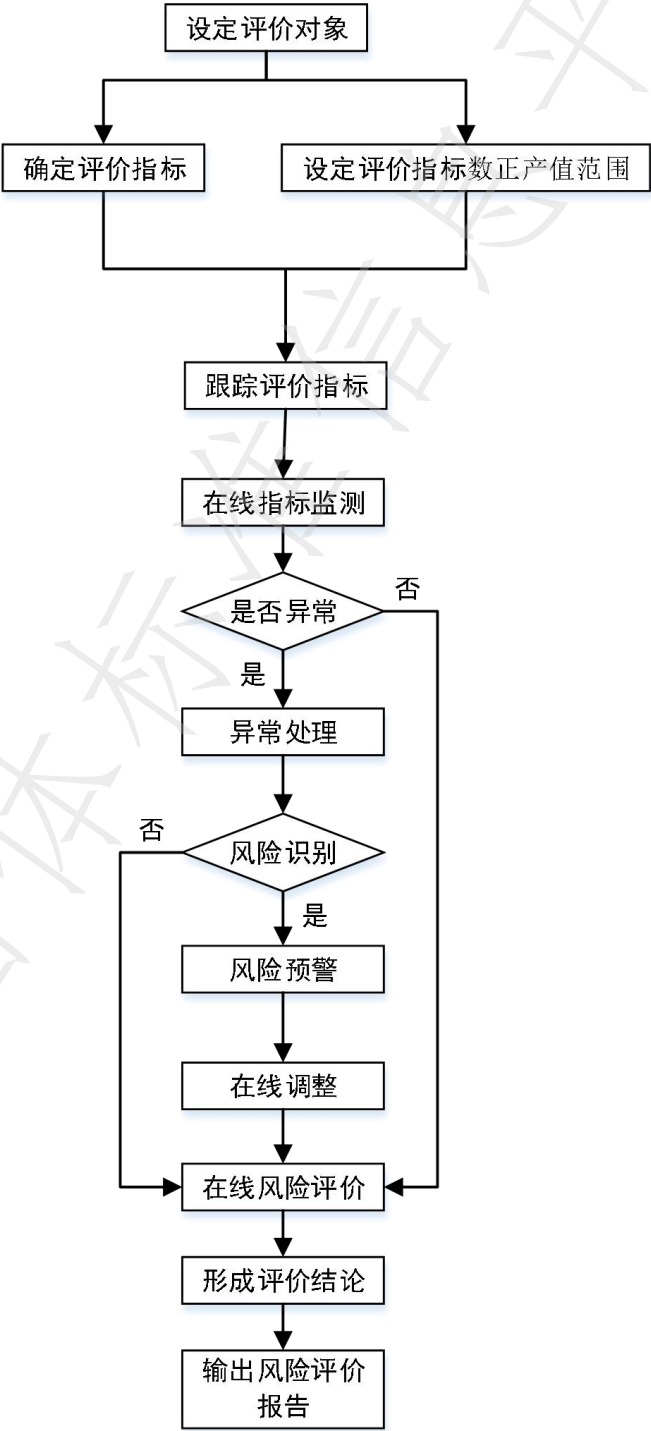


图 C. 1 铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价流程

参 考 文 献

- [1] GB/T 24353 风险管理 指南
 - [2] GB/T 27921-2011 风险管理 风险评估技术
 - [3] GB/T 36132-2018 绿色工厂评价通则
 - [4] GB/T 38642-2020 工业机器人生命周期风险评价方法
 - [5] XB/T 803-2021 稀土采铜冶炼行业绿色工厂评价导则
 - [6] YS/T 3025.1-2016 黄金铜冶炼安全生产技术规范 第1部分：总则
-