

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—2024

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

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

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

4 评价目的与原则 2

 4.1 评价目的 2

 4.2 评价原则 2

5 评价对象 2

6 评价指标和要求 2

 6.1 评价指标体系 2

 6.2 评价指标要求 3

 6.3 评价权重系数 3

7 评价方法和结果输出 3

 7.1 评价方法 3

 7.2 评价结果要求 3

 7.3 评价指标计算模型 4

 7.4 风险等级表示 4

 7.5 评价结果输出 5

附录 A（规范性） 评价指标 6

 A.1 铜冶炼火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指 6

 A.2 铜冶炼湿法炼铜生产过程质量在线监风险评价指标 10

附录 B（资料性） 评价程序流程 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、北京中科标准科技集团有限公司、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：赵建军、赵海利、曹新九、张子悦、贾帅、李传伟、李兴华、关长亮、王亮、王姝、高云鹏、郭万朋、季波、张逸飞、赵宇、沈上圯、王志民。

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目的和原则、对象、指标和要求以及评价方法和结果输出要求等内容。

本文件适用于铜冶炼生产过程质量在线监控的风险评价。

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 18152 选矿安全规程
- GB 50616-2010 铜冶炼厂工艺设计规范
- GB 50782 有色金属选矿厂工艺设计规范

3 术语和定义

GB 18152-2000、GB 50782-2012界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

评价 evaluation

利用各种检验检测手段和技术，收集、分析并处理数据。以确定一个被评价物体状态的综合性过程。

3.2

风险评价 risk assessment

以提高铜冶炼生产过程产品质量为目的，应用铜冶炼生产技术、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。

3.3

风险识别 risk identification

发现确认和描述风险的过程。

3.4

风险分析 risk analysis

理解铜冶炼生产过程质量在线监控风险的性质确定风险等级的过程。

3.5

铜铋 copper matte

火法冶炼过程中产出的铜的硫化物和铁的硫化物的混合物。

[来源：GB 50616-2010，2.0.1]

3.6

火法精炼 fire refining

在熔融条件下，经氧化、还原作业脱除粗铜中杂质的精炼方法。

[来源：GB 50616-2010，2.0.7]

3.7

湿法炼铜 copper hrdrometallurgy

含铜矿石经浸出—萃取—电积生产阴极铜的方法。

[来源：GB 50616-2010，2.0.12]

4 评价目的与原则

4.1 评价目的

铜冶炼生产过程质量在线监控的风险评价目的主要包括：

- 对铜冶炼生产过程质量在线监控各要素以及要素间的整体性、系统性、相互协调和优化性进行评价，确保铜冶炼生产过程质量在线监控的可靠性、可用性、安全性、经济性；
- 对铜冶炼生产过程生命周期在线监控的不同阶段进行评价，对全过程持续评价和控制风险，确定风险因素的权重评价内容应涵盖铜冶炼生产过程的各要素，通过评价保障生产过程质量要求。

4.2 评价原则

铜冶炼生产过程质量在线监控的风险评价遵循的原则主要包括：

- 针对铜冶炼生产过程全生命周期的各要素进行风险评价，评价的方法符合安全、质量和环境的要求并与铜冶炼生产过程风险管理的目标保持一致；
- 贯穿铜冶炼生产过程全生命周期的各个阶段，并针对不同的阶段采用不同的风险评价指标要求；
- 能定期（如1个月）或适时（反馈较大风险时）在线反馈评价指标风险结果，提出相应的应对措施，缓解铜冶炼生产过程中发生的质量风险或在可容许范畴内。

5 评价对象

铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价指标主要围绕铜冶炼生产过程质量在线监控的风险影响因素进行综合评价，主要评价对象包括：

- 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；
- 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。

6 评价指标和要求

6.1 评价指标体系

铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价指标包括两类评价指标，即铜冶炼火法炼铜工艺指标、铜冶炼湿法炼铜工艺指标。其中：

- 铜冶炼火法炼铜工艺指标包括配料、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10个一级指标，126个二级指标，对每个二级指标给出具体的指标评价的维度。每个二级指标分为必备指标和可选指标，根据实际评价需求列出。评价指标体系见表A.1；
- 铜冶炼湿法炼铜工艺指标包括配料、原料浸出、萃取、电积等工艺流程4个一级指标，19个二级指标，对每个二级指标给出具体的指标评价的维度。每个二级指标分为必备指标和可选指标，根据实际评价需求列出。评价指标体系见表A.2。

6.2 评价指标要求

6.2.1 铜冶炼火法炼铜工艺指标要求

冶炼厂主要火法炼铜工艺流程的参数控制要求，应与矿石性质、工艺要求、选厂规模及系统设置相适应，并应符合先进、成熟、大型、高效、节能、低耗及备品、备件来源可靠的要求。火法炼铜工艺流程的参数指标和测量精度指标宜符合表A.1的要求并结合铜冶炼实际生产监测系统进行确定。评价指标要求见表A.1。

6.2.2 铜冶炼湿法炼铜工艺指标要求

冶炼厂主要湿法炼铜工艺流程的参数控制要求，应与矿石性质、工艺要求、选厂规模及系统设置相适应，并应符合先进、成熟、大型、高效、节能、低耗及备品、备件来源可靠的要求。火法炼铜工艺流程的参数指标和测量精度指标宜符合表A.2的要求并结合铜冶炼实际生产监测系统进行确定。评价指标要求见表A.2。

6.3 评价权重系数

铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价指标权重见表1。

表 1 铜冶炼生产过程质量在线监控风险评价指标权重系数

参数类别	一级指标（A _i ）	权重系数（M _i ）
铜冶炼火法炼铜 工艺指标参数	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%
铜冶炼湿法炼铜 工艺指标参数	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

针对所评价的具体铜冶炼生产线，通过铜冶炼生产过程质量在线智能评价系统，确定评价对象和具体评价指标，依据附录B的在线评价程序流程定期（1个月）或适时（重大风险预警时）在线反馈评价指标风险结果。

7.2 评价结果要求

7.2.1 二级指标结果要求

铜冶炼生产过程质量在线监控风险的评价二级指标分值确定原则：应根据该指标项的数值依据风险控制指标要求的不同情况从可能性、严重性、可监测性以及在线异常和调整情况确定每一项的分值，最后计算出该指标综合风险分值。在线质量风险评价结果包括：

- a) 偏离值 (P)：
 - 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)：
 - 1) 4 分—严重，造成生产线的严重破坏，可能造成产品报废；
 - 2) 3 分—主要，造成生产线的较大破坏，可能需对产品进行返工；
 - 3) 2 分—次要，造成生产线的较小破坏，可能需对产品进行挑选或部分回收；
 - 4) 1 分—可忽略，对产品质量几乎没有影响。
- c) 可监测性 (C)
 - 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/调整情况 (D)
 - 1) 4 分—出现 1 次异常，通过调整无法解决；
 - 2) 3 分—出现 2 次异常，通过调整及时解决；
 - 3) 2 分—出现 1 次异常，通过调整及时解决；
 - 4) 1 分—未出现异常。
- e) 综合风险评分 (RPN)：RPN=P*S*C*D
 - 1) ≤ 4 ，低度风险，可以接受；
 - 2) ≥ 5 ， ≤ 8 ，中度风险，加大复核检查的频次予以控制；
 - 3) ≥ 9 ，高度风险，予以特别关注，应对铜冶炼设备、生产线及采取的选样、取样、样品处理等进行调整，采用预防和纠正措施予以控制，并通过对风险进行控制后的风险进行两次风险评估，确认其 RPN 值已下降到可以接受的程度。

7.2.2 总体评价结果要求

铜冶炼生产过程质量在线监控风险的评价总体评价结果在各详细的一级指标、二级指标的风险值基础上通过综合计算模型得出并以报告和预警的形式输出。

7.3 评价指标计算模型

在确定每一项具体二级指标的分值分值的基础上以及式 (1)、(2) 计算整个铜冶炼生产过程质量在线监控风险的结果。

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

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

式中：

- P 为整个风险评价总分值；
- M_i 为一级指标权重系数； M_2 为生产工艺风险评价总体权重系数；
- A_{ij} 为具体二级指标的综合风险分值即：RPN=P*S*C*D；
- A_i 为具体一级指标的综合计算值。

7.4 风险等级表示

铜冶炼生产过程质量在线监控风险等级见表2

表 2 铜冶炼生产过程质量在线监控风险等级

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

7.5 评价结果输出

根据上述评价结果的实时分析计算,通过铜冶炼生产过程质量在线评价系统在线输出每项二级指标的评价结果分值、风险水平以及可能采取的预防性措施建议,形成评价报告。

评价报告的输出格式可根据实际需求确定,应包括不少于上述报告内容。

附 录 A
(规范性)
评价指标

A.1 铜冶炼火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标

铜冶炼火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标见表A.1。

表 A.1 铜冶炼火法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标

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/调整情况 (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	<7MJ/1kg(水)						
7		鼓风机风量	应满足 GB 50616 规定的指标要求						
8		燃料用量	应满足 GB 50616 规定的指标要求						
9		出口烟气温度	应满足 GB 50616 规定的指标要求						
10		烟气量	应满足 GB 50616 规定的指标要求						
11		出口压力	应满足 GB 50616 规定的指标要求						
12		有效工时	6h/班(圆筒干燥), 22h/d(蒸汽干燥)						
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		精铜矿含水量	0.1%~8%(蒸汽干燥), 7%~10%(圆筒干燥), <1%(气流干燥)						
20		入口压力	0.8MPa~2.1MPa						
21		干燥水分	<0.3%						
22		精矿出口温度	100℃~130℃						
23		载气出口温度	110℃~130℃						
24		蒸汽消耗量	185kg/t~200kg/t						
25		综合能耗	<550kgce/t						

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/调整情况 (D)	综合风险分值 (RPN)	
26	造硫熔炼	硫回收率	>96%						
27		铜回收率	>98%						
28		块状物料	细磨尺寸不大于 1mm						
29		含铜锌	<6%						
30		配料偏差	±1%(闪速熔炼), ±2%(顶吹浸没熔炼)						
31		水分含量	<0.3%(闪速熔炼), <8%~10%(顶吹浸没熔炼)						
32		铜硫品位	55%~72%(闪速熔炼), 50%~70%(顶吹浸没熔炼)						
33		烟尘率	<8%						
34		石灰石溶剂粒度	<15mm						
35		块煤粒度	<15mm						
36		富氧浓度	38%~65%						
37	铜硫吹炼	铜硫品位	>50%(卧式转炉吹炼), 58%~70%(顶吹浸没吹炼), 65%~72%(闪速吹炼), 67%~71%(三菱法吹炼)						
38		水分含量	<3%(卧式转炉吹炼), 不高于 8%(顶吹浸没吹炼), 不高于 0.2%(闪速吹炼), 宜小于 0.5%(三菱法吹炼)						
39		鼓风机入炉风压	70MPa~130MPa						
40		鼓风强度	0.5m ³ /(cm ² ·min)~0.8m ³ /(cm ² ·min)						
41		氧利用率	>95%						
43		粗铜含铜	>98.5%, >98%(闪速吹炼)						
44		出口烟气二氧化硫浓度	高于 7.5%(卧式转炉吹炼), 高于 10%(顶吹浸没吹炼), 高于 30%(闪速吹炼), 24%~31%(三菱法吹炼)						
45		炉渣含铜	低于 4.5%						
46		烟尘量小于铜硫量	2%~4%(卧式转炉吹炼), 3%(顶吹浸没吹炼), 8%(闪速吹炼)						
47		鼓风时率	60%~65%(单炉) 75%~80%(炉交换) 80%~85%(期交换)						
48		炉口间隙	小于 50mm, 转炉固定烟罩与炉口护板						
49		富氧率	22%~26%(卧式转炉吹炼), 30%~40%(顶吹浸没吹炼), 65%~85%(闪速吹炼), 25%~35%(三菱法吹炼)						
50		鼓风压力	小于 55kPa						
51		固体铜硫粒度	不大于 1mm(顶吹浸没吹炼), 325 目宜占 60%以上(闪速吹炼), 宜小于 5mm(三菱法吹炼)						
52		喷枪氧压	不低于 0.15MPa						
53		喷枪送风压力	不低于 0.15MPa						

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/调整情况 (D)	综合风险分值 (RPN)	
54		套筒风压力	宜为 60MPa~80MPa						
55		风压力	不低于 0.15MPa						
56		含硫率	低于 0.4%						
57		渣含铁量	25%~35%						
58		渣含铜量	宜低于 20%(闪速吹炼), 13%~15%(三菱法吹炼)						
59		供风压力	宜为 0.22MPa~0.25MPa						
60		供氧压力	宜为 0.27MPa~0.30MPa						
61		送料风压	宜为 0.35MPa~0.60MPa						
62		粗铜含硫	低于 0.7%						
63		粗铜含氧	宜为 0.1%~0.3%						
64		渣含氧化钙量	15%~18%						
65		氧化钙铁比	0.34~0.4						
66		烟尘率	应小于 6%						
67		渣层厚度	宜为 0.1m~0.15m						
68	炉渣贫化炉	物料含水量	宜小于 3%						
69		还原剂粒度	宜为 3mm~5mm						
70		硫化剂粒度	宜为 10mm~30mm						
71		熔剂粒度	宜小于 5mm						
72		冷料粒度	宜小于 30mm						
73		硫化剂含硫量	宜大于 30%						
74		渣层厚度	宜为 800mm~1000mm						
75		铜硫层与渣层比	1/3~1/2						
76		铜硫层厚度	不小于 150mm						
77		单位炉床面积功率	宜为 50kW/m ² ~100kW/m ²						
78		电力消耗	宜为 80kW·h/t 渣~120kW·h/t 渣						
79		二次电压	宜为 70V~160V						
80		划分电压等级	宜分 5 个~7 个						
81		炉渣温度	宜为 1250℃						
82		贫化停留时间	宜为 5h~7h						
83		渣含铜量	不宜高于 0.7%						
84		冷风量	应小于 100m ³ /(m ² ·h)						
85		用水量	宜为 10m ³ /t 渣~20m ³ /t 渣						
86		水压	0.2MPa~0.3MPa						
87		磨矿细度	P80=40um						
88		渣精矿铜品位	应不小于 20%						
89		尾矿含铜	不应大于 0.4%						
90	火法精	粗铜品位	应大于 97.5%						

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/调整情况 (D)	综合风险分值 (RPN)	
91	炼	铜含量	应大于 99%						
92		铜回收率	应高于 99.80%						
93		综合能耗	不应高于 1465MJ/t						
94		年工作日	不应少于 330d						
95	阳极浇铸	阳极板重量误差率	±2%						
96		阳极板合格率	不宜低于 96%						
97		浇铸时间	不宜大于 6h						
98	废杂铜处理	废杂铜含铜品位	90%以上						
99		黄杂铜含铜品位	55%~85%						
100		入炉物料块度	宜小于 450mm						
101		入炉物料块重量	不宜超过 60kg						
102		焦炭块度	宜为 40mm~70mm						
103		抗碎强度	M25%/不宜小于 83						
104		鼓风机床能	80t/(m ² ·d)~100t/(m ² ·d)						
105		焦率	25%~30%						
106		熔剂率	5%~6%						
107		直收率	96%~99.8%						
108		炉渣含铜	应低于 0.5% (黑铜含铜小于 70%时)						
109		蒸汽压力	0.2MPa~0.4MPa						
110	电解精炼	悬垂度偏差	±3mm (阳极) ±6mm (阴极)						
111		排列间距误差	±1.5mm (阳极) ±1.5mm (阴极)						
112		吊耳尺寸误差	±1mm						
113		平面度误差	±2mm						
114		电流效率	大于 96% (始极片阴极)						
115		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)						
116		槽电压	250mV~300mV (始极片阴极) 300mV~400mV (永久阴极)						
117		电解液温度	60℃~65℃						
118		铜回收率	大于 99.6%						
119		残极率	不大于 20% (始极片阴极) 不大于 16% (永久阴极)						
120		同极中心距	100mm~105mm (始极片阴极) 90mm~100mm (永久阴极)						
121		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)						
122		蒸汽消耗	600kg/t~800 kg/t (始极片阴极) 300kg/t~500kg/t (永久阴极)						

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/调整情况 (D)	综合风险分值 (RPN)	
123	阳极泥处理	金属回收率	应高于 98.5% (金、银)						
124		渣含硒	应小于 0.5%						
125		酸耗量	应小于 1t/t						
126		铜浸出率	应大于 99%						

A.2 铜冶炼湿法炼铜生产过程质量在线监风险评价指标

铜冶炼湿法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标见表A.2。

表 A.2 铜冶炼湿法炼铜生产过程质量在线监控风险评价指标

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/调整情况(D)	综合风险分值(RPN)	
1	配料	配料偏差	±2%						
2		精铜矿含水	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	360d~400d (细菌堆浸), 90d~120d (氧化铜矿堆浸)						
9		搅拌浸出时间	3h~4h						
10		浸出率	70%~80% (辉铜矿细菌堆浸), 90% (氧化铜矿堆浸)						
11		浸出液铜浓度	0.5g/L~0.9g/L (低品位含铜废矿), 3g/L~7g/L (氧化铜矿、辉铜矿)						
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	4.9m3±1.2m3/(m2·h)						
16	电积	电流效率	宜为 90%~92%						
17		电流密度	宜为						

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）
			200A/m2~320A/m2						
18		铜回收率	宜为 99.5%						
19		同极距	100mm						

附录 B
(资料性)
评价程序流程

铜冶炼生产过程质量在线监控的风险的评价程序流程宜符合图B. 1。

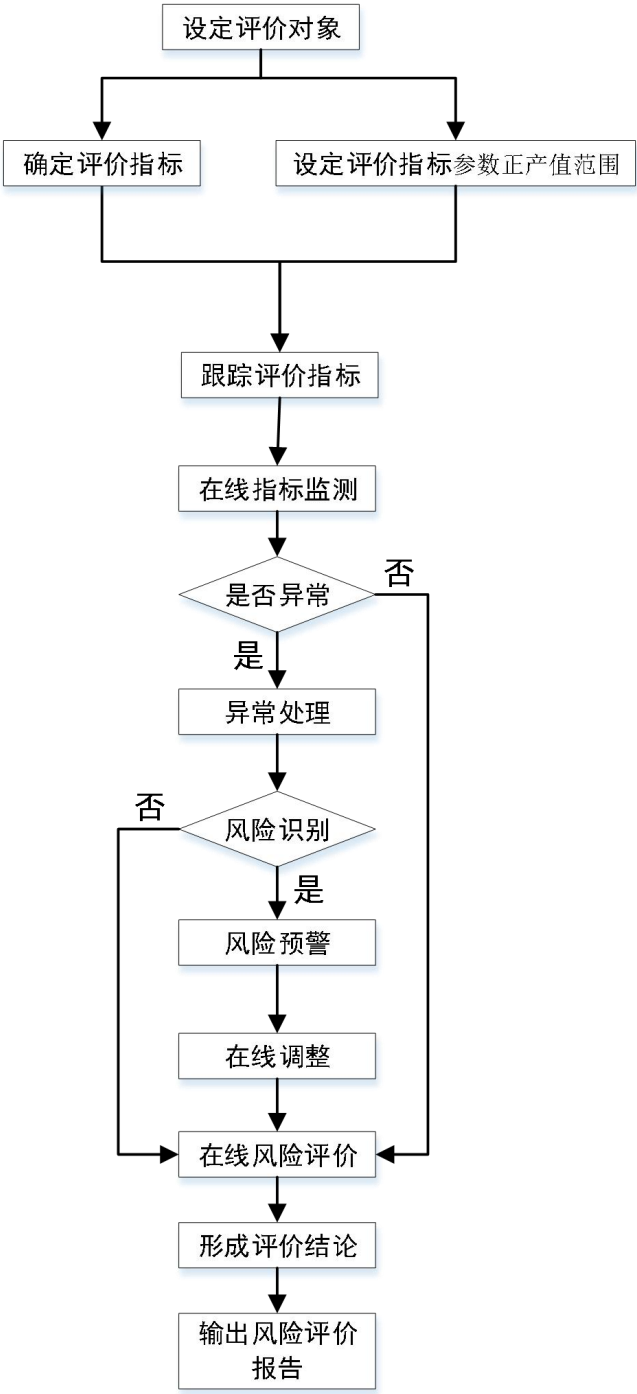


图 B. 1 铜冶炼生产过程质量在线监控风险的评价程序流程

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 36132-2018 绿色工厂评价通则
 - [5] GB/T 37183-2018 腐蚀控制工程全生命周期 风险评价
 - [6] GB/T 38642-2020 工业机器人生命周期风险评价方法
 - [7] XB/T 803-2021 稀土采铜冶炼行业绿色工厂评价导则
 - [8] YS/T 3025.1-2016 黄金铜冶炼安全生产技术规范 第1部分：总则
-