



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟标准

AI1/016-2023

氧化铝智能工厂 信息模型

第3部分：控制模型

Information Model of Aluminum Oxide Intelligent Factory

Part 3: Control Model

工业互联网产业联盟

(2023年12月)

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟
联系电话：010-62305887
邮箱：aia@caict.ac.cn

目 次

1. 范围	5
2. 规范性引用文件	5
3. 缩略语	7
4. 术语和定义	6
5. 氧化铝全流程智能优化控制功能架构	8
5.1 过程控制子层	8
5.2 运行优化子层	9
6. 料浆制备工序控制系统	9
6.1.检测仪表测点	9
6.2.执行机构	10
6.3.过程控制方案	10
6.4.运行优化控制	11
7. 溶出工序控制系统	12
7.1. 检测仪表测点	12
7.2. 执行机构	12
7.3. 过程控制方案	13
7.4. 协议中规范性描述	13
8. 赤泥分离洗涤工序控制系统	13
8.1. 检测仪表测点	13
8.2. 执行机构	14
8.3. 过程控制方案	14
9. 种子分解工序控制系统	14
9.1. 检测仪表测点	14
9.2. 执行机构	15
9.3. 过程控制方案	15
9.4. 运行优化控制	15
10. 母液蒸发工序控制系统	15

10.1. 检测仪表测点	15
10.2. 执行机构	16
10.3. 过程控制方案	17
10.4. 运行优化控制	17
11. 氢氧化铝焙烧工序控制系统	18
11.1. 检测仪表测点	18
11.2. 执行机构	19
11.3. 过程控制方案	19
12. 控制模型	20



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

编写说明

本文件是《氧化铝智能工厂 信息模型》系列标准之一。

—设备模型

—工艺模型

—控制模型

随着技术的发展，还将制定后续的相关标准。

本文件起草单位：东北大学、沈阳工业大学、中国信息通信研究院、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、北京东土科技有限公司、沈阳鸿宇科技有限公司、北京神经网络技术有限公司、沈阳铝镁设计研究院有限公司、卡奥斯能源科技有限公司、河北工业大学、重庆邮电大学、山西信发化工有限公司。

本文件主要起草人：丁进良、岳恒、张晓玲、余思聪、黄颖、刘丹、高国平、薛百华、黄易、朱莹、吴永建、崔东亮、李智浩、姚晓、贾瑶、柴纪强、刘晶、季海鹏、赵佳、董永峰、黄庆卿、李来时、吴玉胜、魏喆、赵晶、付义东、刘磊、谢逍、郭倩玉、尹冬冰、杨子睿、杜松远



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

氧化铝智能工厂 信息模型 第3部分：控制模型

1. 范围

本文件面向目前最广泛的拜耳法氧化铝生产过程，针对氧化铝生产过程6大核心工序（即料浆制备工序、溶出工序、赤泥分离洗涤工序、种子分解工序、母液蒸发工序、氢氧化铝焙烧工序），规定了氧化铝智能工厂的全流程智能优化控制系统架构、料浆制备工序控制系统、溶出工序控制系统、赤泥分离洗涤工序控制系统、种子分解工序控制系统、母液蒸发工序控制系统、氢氧化铝焙烧工序控制系统。

本文件适用于氧化铝智能工厂设计、规划和改建。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 50891-2013 有色金属冶炼厂自控设计规范

GB/T 51196-2016 有色金属矿山工程测控设计规范

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氧化铝主控 DCS 系统 **main DCS control system**

氧化铝生产流程中贯穿主要生产工序的主体控制系统，负责实现氧化铝主要生产工序的设备远程启停控制、设备状态和参数监测和回路控制，一般为分布式，配置有集中控制室。

3.2

氧化铝执行机构 **actuator**

一般包括配置变频器的可调节转速的电机设备和广义的调节阀门，主控 DCS 系统通过调整改变给执行机构的指令可以实现对温度、压力、流量、料位、浓度等工艺参数的控制。

注 1：氧化铝智能工厂中的电机设备一般包括泵、风机、皮带机等；调节阀门一般包括对液体的调节阀和对气体的调节风门。

注 2：氧化铝中的定量给料机也可被视为一种执行机构。

3.3

氧化铝回路控制 **loop control**

指对可以在线连续检测的温度、压力、流量、料位、浓度等工艺参数通过一定的自动控制方法进行连续调节特定的执行机构以保证上述参数跟踪设定值或者保持在目标范围内的控制活动。

3.4

氧化铝运行指标 **operational indices**

指氧化铝生产线各关键工序中表征产量、质量、消耗、效率的一类指标，表征产品是否合格或者运行状态是否在优的状态，通常不容易使用在线检测仪表直接测量，与控制回路的设定值密切相关。

3.5

氧化铝运行优化 operational optimization

通过调整本工序内的控制回路的设定值或者控制器中的某些关键参数从而实现

对运行指标优化的控制方案。

4. 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

A/S	Aluminum-Silicon Ration	铝硅比
CCD	Counter-Current Decantation	逆流洗涤
DCS	Distributed Control System	分布式计算机控制系统
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

5. 氧化铝全流程智能优化控制功能架构

氧化铝智能工厂控制系统架构如图 1 所示。

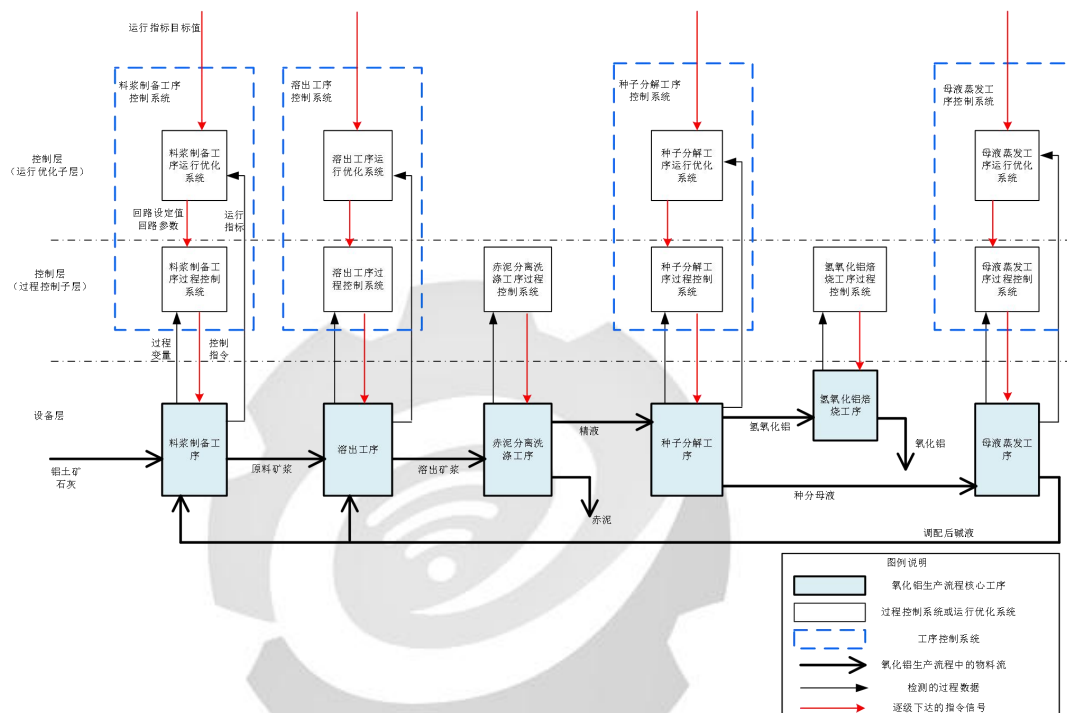


图1 氧化铝智能工厂控制系统架构图

控制系统包括过程控制子层（见 5.1.1 节）和运行优化子层（见 5.1.2 节）。

5.1 过程控制子层

过程控制子层的硬件平台为主控 DCS 系统，设备层的检测仪表和电气设备通过硬线方式或者通讯方式接入主控 DCS 系统。一些内部自带 PLC 控制系统的成套设备（例如高压辊磨机、球磨机、定量给料机等）通过通讯或者硬线连接的方式接入主控 DCS 系统，将其内部的关键状态或参数上传给主控 DCS 系统。在一些辅助工序中可以使用 PLC 系统实现局部监控，这些局部的 PLC 系统通过通讯方式接入主控 DCS 系统。

过程控制子层的功能包括氧化铝生产各工序的监视和控制。

监视功能是指对氧化铝生产各工序的设备状态（运行/停止/故障等）和过程参数进行的实时监视，通常是通过在监控计算机的人机界面上的设备图标的颜

色和动画、指示灯，以及过程参数的数值及颜色、棒图、趋势图等手段进行可视化的显示，在必要时进行报警通知操作员加以注意。

控制功能包括逻辑控制和回路控制。

逻辑控制是指基于开关量信号对氧化铝生产过程中的电气设备进行启停控制和开关控制，同时还包括基于逻辑信号的安全联锁控制。

回路控制是指基于模拟量信号对氧化铝生产中在线检测的关键参数的闭环控制，通常以变频电机或调节阀为执行机构，根据不同被控对象的特性可以采用不同的控制方案，包括单回路控制、串级控制、比值控制、前馈控制等。

过程控制子层中的监控和逻辑控制属于主控 DCS 的常规功能，通常描述过程控制方案时仅特指回路控制。

5.2 运行优化子层

运行优化子层运行于过程控制子层之上，其功能是智能感知氧化铝各工序的生产条件变化，自适应决策该工序的过程控制子层的控制回路设定值，或者调整过程控制子层的某些关键控制器参数（如比值控制的比值），使回路控制器的输出变量跟踪其设定值，实现该工序运行指标的优化控制。

注：各个工序可根据需要实现运行优化控制子层。

6. 料浆制备工序控制系统

6.1. 检测仪表测点

料浆制备工序上传至主控 DCS 系统的模拟量检测仪表测点应包括下列内容：

- 铝土矿矿仓料位检测；
- 石灰仓料位检测；
- 各球磨机对应的铝土矿下料量检测；
- 各球磨机对应的石灰下料量检测；
- 球磨机入口碱液流量检测；
- 缓冲槽液位检测；

- 旋流器进料泵出口压力检测；
- 合格矿浆槽液位检测；
- 合格矿浆泵出口流量检测；
- 球磨机出口补加碱液流量检测；

6.2. 执行机构

料浆制备工序的执行机构包括：

- 铝土矿定量给料机；
- 石灰定量给料机；
- 球磨机入口碱液调节阀；
- 缓冲槽碱液调节阀；
- 旋流器给料泵；

6.3. 过程控制方案

在 主控 DCS 系统中，针对球磨机入料过程，构成如图 2 所示的两个比值控制系统：

——铝土矿定量给料机与石灰定量给料机构成比值控制系统，由操作员或优化系统给出固体总下料流量设定值，经比值 $K1$ 换算成铝土矿下料量指令和石灰下料量指令，送至铝土矿定量给料机和石灰定量给料机，操作员或优化系统可以根据运行工况调整比值 $K1$ 的具体数值；

——磨机入口碱液流量与磨机入口碱液调节阀构成单变量控制回路，该回路与固体下料量总量设定值构成比值控制系统，其中固体下料量总量设定值为主动量，经比值 $K2$ 换算成入口碱液流量指令，操作员可以根据运行工况调整比值 $K2$ 的具体数值；

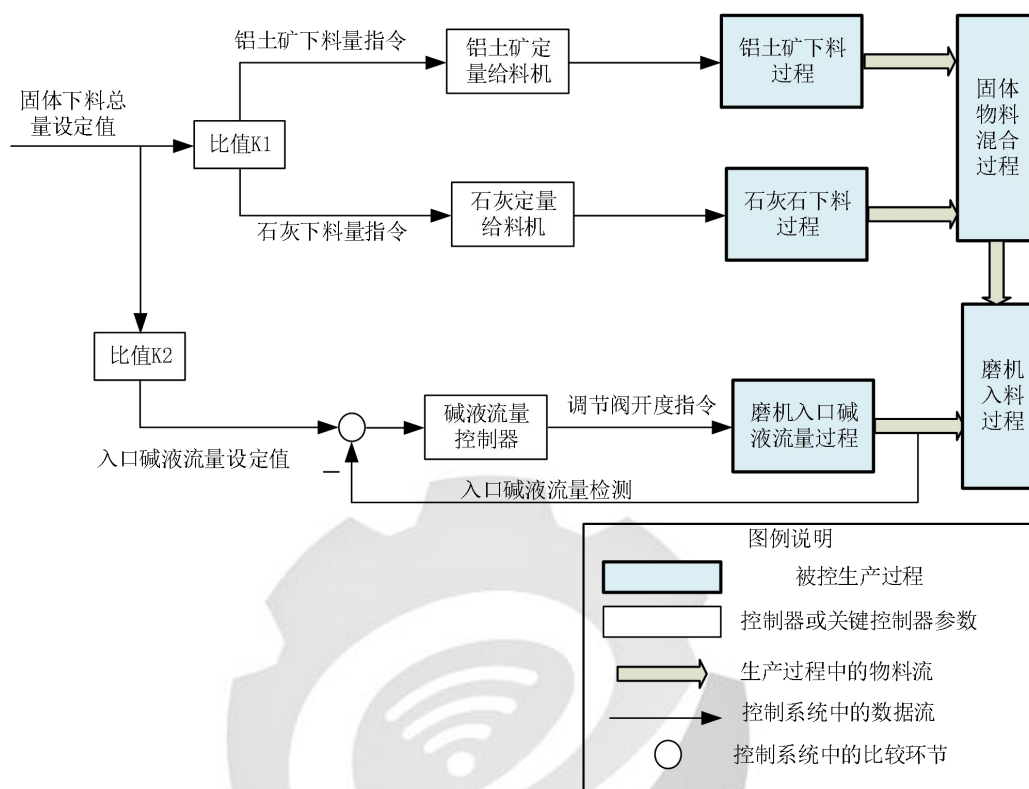


图2 料浆制备工序磨机入料过程的比值控制框图

在主控 DCS 系统中，针对球磨机出口的缓冲槽和旋流器给料过程，构成如下的两个单变量控制回路：

- 以缓冲槽碱液调节阀为执行机构控制缓冲槽补碱液流量；
- 以旋流器给料泵为执行机构控制缓冲槽液位；

6.4. 运行优化控制

在主控 DCS 系统之上，建立料浆制备运行优化控制系统。每台球磨机对应一套运行优化控制系统。

该系统的优化指标为，旋流器溢流粒度。

旋流器溢流粒度指标的目标值由运行优化控制系统的人机界面输入。

运行优化控制系统通过与主控 DCS 系统通讯，在线获得该球磨机对应的过程数据，根据运行工况和优化指标的目标向主控 DCS 系统发出如下调整指令：

- 缓冲槽补碱流量设定值；
- 固体下料流量设定值；
- 球磨机入口固液比值 K2；

7. 溶出工序控制系统

7.1. 检测仪表测点

溶出工序上传至主控 DCS 系统的模拟量检测仪表测点应包括下列内容：

- 预脱硅槽液位、预脱硅槽出口温度；
- 缓冲槽液位；
- 第一级套管换热器进料密度；
- 各级套管换热器出口矿浆温度；
- 新蒸汽温度、压力、流量；
- 各级冷凝水罐压力、液位、蒸汽温度；
- 自蒸发器压力、液位、蒸汽温度；
- 停留管入口压力；
- 停留管出口温度、入口温度；
- 赤泥洗液流量；
- 稀释槽压力、温度；
- 稀释槽出料密度；
- 稀释槽出料 α_k 检测；

7.2. 执行机构

溶出工序的执行机构包括：

- 高压隔膜泵；
- 二次补碱泵（物理位置在在母液蒸发工序）；
- 各级自蒸发器蒸汽出口调节阀；
- 各级冷凝水罐出口调节阀；

7.3. 过程控制方案

在主导 DCS 系统中，构成如下单变量回路控制：

- 以高压隔膜泵为执行机构，控制高压隔膜泵给料流量；
- 以二次补碱泵为执行机构，控制二次补碱流量；
- 以各级自蒸发器蒸汽出口调节阀为执行机构，控制各级自蒸发器液位；
- 以各级冷凝水罐出口调节阀为执行机构，控制各级冷凝水罐液位；

7.4. 协议中规范性描述

在主导 DCS 系统之上，建立溶出工序运行优化控制系统。

该系统的优化指标包括：

- 稀释槽出口 α_k ；
- 溶出率；

稀释槽出口 α_k 和溶出率的目标值由运行优化控制系统的人机界面输入。

运行优化控制系统通过与主导 DCS 系统通讯，在线获得溶出工序的过程数据，根据运行工况和优化指标的目标向主导 DCS 系统发出如下调整指令：

- 二次补碱流量设定值；
- 隔膜泵给料流量设定值；

8. 赤泥分离洗涤工序控制系统

运行优化控制系统通过与主导 DCS 系统通讯，在线获得溶出工序的过程数据，根据运行工况和优化指标的目标向主导 DCS 系统发出如下调整指令：

8.1. 检测仪表测点

赤泥分离洗涤工序上传至主导 DCS 系统的模拟量检测仪表测点应包括下列内容：

- 稀释后槽液位
- 稀释后槽出料流量；
- 分离沉降槽液位；

- 溢流槽液位；
- 洗涤沉降槽液位；
- 稀释沉降槽底流流量；
- 洗涤沉降槽底流流量；
- 稀释沉降槽泥层界面高度；
- 洗涤沉降槽泥层界面高度；

8.2. 执行机构

赤泥分离洗涤工序的执行机构包括：

- 稀释沉降槽底流泵；
- 洗涤沉降槽底流泵；
- 各沉降槽絮凝剂输送系统；

8.3. 过程控制方案

在主导 DCS 系统中，构成如下的单变量回路控制：

- 以稀释沉降槽底流泵为执行机构，控制稀释沉降槽底流流量；
- 以洗涤沉降槽底流泵为执行机构，控制洗涤沉降槽底流流量；
- 以各沉降槽絮凝剂输送系统为执行机构，控制各沉降槽泥层界面；

9. 种子分解工序控制系统

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

9.1. 检测仪表测点

种子分解工序上传至主导 DCS 系统的模拟量检测仪表测点应包括下列内容：

- 旋流器进料管密度检测、压力检测；
- 各分解槽料浆温度检测；
- 各宽流道板式换热器出口料浆温度检测；
- 各宽流道板式换热器循环上水温度检测；
- 各宽流道板式换热器循环下水支管温度检测；
- 各宽流道板式换热器进水管压力检测；

9.2. 执行机构

种子分解工序的执行机构包括：

- 各宽流道板式换热器循环上水调节阀；
- 一种分母液泵；
- 稀释母液调节阀

9.3. 过程控制方案

在主导 DCS 系统中，构建如下单变量回路控制：

- 以各板式换热器循环上水调节阀为执行机构，控制各宽流道板式换热器进出口料浆温度差；
- 以种分母液泵为执行机构，控制旋流器给料管压力；
- 以稀释母液调节阀为执行机构，控制旋流器给料管密度；

9.4. 运行优化控制

在主导 DCS 系统之上，建立种子分解工序运行优化控制系统。

该系统的优化指标包括：

- 旋流器溢流粒度；
- 分解母液 α_k ；

旋流器溢流粒度指标和分解母液 α_k 指标的目标值由运行优化控制系统的人机界面输入。

运行优化控制系统通过与主导 DCS 系统通讯，在线获得种子分解工序的过程数据，根据运行工况和优化指标的目标向主导 DCS 系统发出如下调整指令：

- 旋流器给料管密度设定值；
- 板式换热器进出口料浆温度差设定值；

10. 母液蒸发工序控制系统

10.1. 检测仪表测点

母液蒸发工序上传至主控 DCS 系统的模拟量检测仪表测点应包括下列内容:

- 新蒸汽入口流量、压力、温度检测;
- 各效蒸发器加热室温度、压力检测;
- 各效蒸发器出料温度检测;
- 各效蒸发器液位检测;
- 各冷凝水罐压力、液位、温度检测;
- 各自蒸发器蒸汽出口压力检测;
- 各自蒸发器二次汽温度检测;
- 各自蒸发器出料温度检测;
- 各自蒸发器液位检测;
- 原液闪蒸槽液位检测;
- 原液闪蒸槽出料温度、二次汽压力、二次汽温度检测;
- 原液入原液闪蒸器流量检测(二段入料量);
- 原液入四效蒸发器流量检测(一段入料量);
- 原料槽出口温度检测;
- 一种分母液泵出料流量检测;
- 蒸发母液泵出料流量检测;
- 合格碱液泵出料流量检测;
- 合格冷凝水泵出口流量检测;
- 原液槽液位检测;
- 合格碱液槽液位检测;
- 蒸发母液槽液位检测;
- 调配混匀槽液位检测;
- 原液密度检测;
- 蒸发母液苛碱密度检测;

10.2. 执行机构

母液蒸发工序的执行机构包括:

- 各效蒸发器出料调节阀;

- 各级自蒸发器出料调节阀；
- 各级冷凝水罐出水调节阀；
- 一段蒸发器进料调节阀；
- 二段蒸发器进料调节阀；
- 一效蒸发器蒸汽调节阀；
- 原液闪蒸罐出料调节阀；

10.3. 过程控制方案

在主导 DCS 系统中，构造下列单变量回路控制：

- 以各效蒸发器出料调节阀为执行机构，控制各效蒸发器分离室液位；
- 以各级自蒸发器出料调节阀为执行机构，控制各级自蒸发器液位；
- 以各级冷凝水罐出水调节阀为执行机构，控制各级冷凝水罐液位；
- 以一段蒸发器进料调节阀为执行机构，控制一段蒸发进料流量；
- 以二段蒸发器进料调节阀为执行机构，控制二段蒸发进料流量；
- 以一效蒸发器蒸汽调节阀为执行机构，控制新蒸汽压力；
- 以原液闪蒸罐出料调节阀为执行机构，控制原液闪蒸罐液位；

在此基础上，构成如图 3 所示的比值控制系统：

一段蒸发入料流量控制回路与二段蒸发入料流量控制回路构成比值控制系统，由操作员或优化系统给出总入料流量设定值，经比值 K 换算成一段蒸发入料流量设定值和二段蒸发入料流量设定值，操作员或优化系统可以根据运行工况调整总入料流量设定值和比值 K 的具体数值。

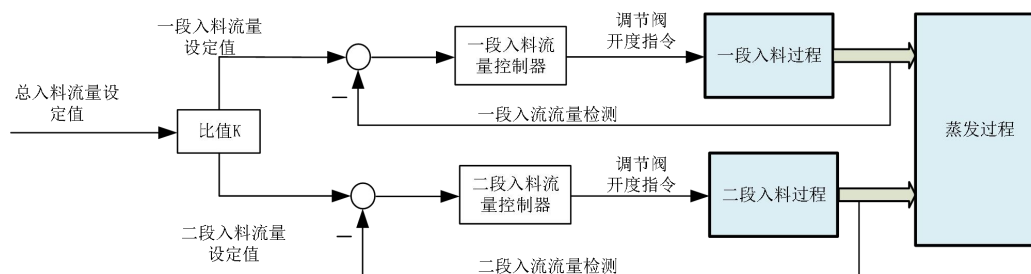


图3 母液蒸发工序蒸发过程比值控制框图

10.4. 运行优化控制

在**DCS**系统之上，建立母液蒸发工序运行优化控制系统。

该系统的优化指标包括：

- 蒸发母液苛碱密度；
- 蒸发器产能；

蒸发母液苛碱密度指标的目标值由运行优化控制系统的人机界面输入。

运行优化控制系统通过与**DCS**系统通讯，在线获得母液蒸发工序的过程数据，根据运行工况和优化指标的目标向**DCS**系统发出如下调整指令：

- 总进料流量设定值；
- 一段二段蒸发进料流量比值 K ；

11. 氢氧化铝焙烧工序控制系统

11.1. 检测仪表测点

氢氧化铝焙烧工序上传至**DCS**系统的模拟量检测仪表测点应包括下列内容：

- 文丘里闪速干燥器 A02 出口温度、进出口压差
- 旋风预热器 P01 烟气入口温度、出口温度、烟气出口压力、锥部压力
- 旋风预热器 P02 出料温度、烟气出口温度、烟气出口压力
- 热分离器旋风筒 P03 入口温度、烟气出口压力
- 焙烧炉 P04 入口烟气温度、出口温度、P04 进出口压差
- C01 出口温度、烟气出口压力
- C02 出口温度、烟气出口压力
- C03 出口温度、烟气出口压力
- C04 出口温度、出口物料温度、入口空气温度、烟气出口压力、空气入口压力
- 二次流化床冷却器 K01 入口水温、出口水温、流化风压力、流化风流量、冷却水流量
- 二次流化床冷却器 K02 入口水温、出口水温、流化风压力、流化风流量、冷却水流量

- 氧化铝出料温度
- 电收尘入口温度、出口温度、出口风压
- 天然气总管压力
- 氢氧化铝喂料量
- 系统入口风量
- 主燃烧器 V19 天然气流量
- 氢氧化铝料位
- 旋风预热器 P02 后烟气含氧量
- 旋风预热器 P01 后烟气 CO 含量

11.2. 执行机构

氢氧化铝焙烧工序的执行机构包括：

- 氢氧化铝定量给料机；
- 主燃烧器 V19 自带煤气调节阀；
- 主排风机风门；

11.3. 过程控制方案

在主导 DCS 系统中，构造下列单变量回路控制：

- 以主燃烧器 V19 自带煤气调节阀为执行机构，控制主燃烧器 V19 天然气流量；
- 以主排风机风门为执行机构，控制 P02 后烟气含氧量；

在此基础上，针对焙烧炉 P04 出口温度过程，构成如图 4 所示的串级控制系统：

——主燃烧器 V19 天然气流量控制回路为串级控制的内环，其主燃烧器 V19 天然气流量的设定值来自外环控制器的输出；

——焙烧炉 P04 出口温度控制回路为串级控制的外环，焙烧炉 P04 出口温度指令由操作员或运行优化系统给出；

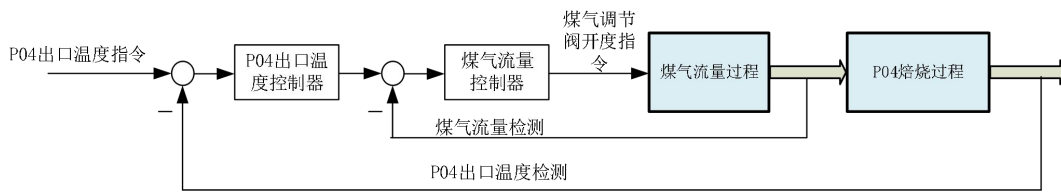


图4 氢氧化铝焙烧工序焙烧炉P04出口温度串级控制框图

12. 控制模型

氧化铝智能工厂控制模型中的静态属性集如表1所示：

表1 氧化铝智能工厂控制模型中的静态属性集

属性名称	数据类型	含义	基本建模规则
ControlSystemVendorName	Octerstring	制造商名称，制造商名称信息	必选
ControlSystemVersion	Octerstring	系统版本号，PLC/DCS控制器系统版本号	必选
ControlSystemDescription	Octerstring	描述，PLC/DCS控制器描述	可选

氧化铝智能工厂控制模型中的过程属性集如表2所示：

表2 氧化铝智能工厂控制模型中的过程属性集

属性名称	数据类型	含义	基本建模规则
SoftwareID	Octerstring	当前程序ID，PLC/DCS程序的唯一标识码	可选
SoftwareName	Octerstring	程序名称，PLC/DCS程序名称应保证唯一性	可选
SoftwareSetUpTime	Date	创建日期，PLC/DCS程序的创建日期和时间	可选
SoftwareModifyTime	Date	修改日期，PLC/DCS程序的最新修改日期和时间	可选

SoftwareStatus	UINT8	执行状态，PLC/DCS程序的运行状态	可选
SamplingCycle	Time	采样周期，PLC/DCS程序采集周期	可选

氧化铝智能工厂控制模型中的配置属性集如表3所示：

表3 氧化铝智能工厂控制模型中的配置属性集

属性名称	数据类型	含义	基本建模规则
TotalStationNumber	UINT8	总控制数，控制的站点总数量	必选
SamplingRate	FLOAT64	采样率，控制系统的采样率	必选
SetPoint	FLOAT64	设定值，控制系统的设定值	必选

输入数据信息模型主要描述输入信息数据类型等。

输入数据信息模型参考表4所示。

表4 输入数据信息模型表

属性名称	数据类型	含义	基本建模规则
DI	BOOLEAN	控制器数字量输入	必选
AI	BOOLEAN	控制器模拟量输入	可选

输入输出组件的属性的“Property Access”元素为“读写”。

输出数据信息模型主要描述输入输出信息数据类型等。

输出数据信息模型参考表5所示。

表5 输出数据信息模型表

属性名称	数据类型	含义	基本建模规则
DO	BOOLEAN	控制器数字量输出	必选
AO	BOOLEAN	控制器模拟量输出	可选

输入输出组件的属性的“Property Access”元素为“读写”。



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet