

# 矿石粉碎及辊磨干选自动控制系统在 矿山选矿中的应用

The Application of Automatic Control System for Ore Crushing and Roller Grinding  
Dry Separation in Mining Beneficiation

徐海涛(本钢信息自动化公司, 辽宁 本溪 117000)

**摘要:**针对破碎和干选工艺,执行三段一闭路磨选工艺,通过自动控制系统与工艺及设备的性能相结合,对破碎、辊磨干选进行简单的数学建模,对不同时段的料流调节进给量,实现多磨少选。再对铁精矿和骨料分类处理,达到从破碎筛分到磁选的全流程管控。分段实现闭环控制,可以达到生产的少人化,确保了生产的稳定性。

**关键词:**自动控制技术;干选;辊磨

中图分类号:TD951 文献标志码:A 文章编号:1672-609X(2023)03-0085-05

**Abstract:** For the crushing and dry separation processes, a three stage one closed circuit grinding and separation process is implemented. By combining the automatic control system with the performance of the process and equipment, a simple mathematical model is established for crushing and roller grinding dry separation. The feed rate is adjusted for different periods of material flow to achieve more grinding and less selection. Further classify and process iron concentrate and aggregates to achieve full process control from crushing and screening to magnetic separation. Segmented closed-loop control can achieve production with fewer people and ensure production stability.

**Key words:** automatic control technology; dry separation; roll mill

## 1 前言

本系统根据歪头山选矿厂采用的“中碎前带预先筛分的三段一闭路→一段干选抛废→高压辊超细碎→3 mm 微粉闭路筛分→-3 mm 筛下干选抛废→球磨”的碎磨干选原则流程进行设计,对生产过程中的原料下料,圆锥破碎机进出料控制,高压辊磨机进出料控制,一段干选机下料控制,二段磁选机控制进行自动化设计,根据生产需求自动调节,从而达到量化生产的目的。PLC 采用 SIMATIC S7-1500 系列的 1517H 控制器,1517H 控制器除了包含多种创新技术之外,还设定了新标准,最大程度提高生产效率。无论是小型设备还是对速度和准确性要求较高的复杂设备装置,都适用,极大提高了工程组态的效率,其在线冗余设计的实时自动备份功能、故障无缝自动切换功能能保证在其中一个主 CPU 出现故障

时备用 CPU 自动无缝启动保障程序继续运行,有效的保障生产系统的安全运行。高压辊磨先进的工艺设计与 SIMATIC S7-1500 控制器的结合、磨选工艺优化、自动控制程序的独特设计等,对磨选系统研究有着更重大的意义<sup>[1-3]</sup>。

## 2 系统工艺设计

辊磨控制系统的工艺设备包括圆锥破碎、一段干选机、高压辊磨机、二段磁选机、双层振动筛、香蕉筛、输送皮带、给料机等<sup>[4-5]</sup>。

高压辊磨控制系统设备工艺如图 1 所示。

### 2.1 高压辊磨系统工艺设计

本系统主要分为三个工艺环节:中细碎、超细碎、骨料场。

#### 1) 中细碎工艺

此工艺环节包括粗矿仓、筛分、中碎、细碎。原料从粗矿仓经过振动给料机进入 1# 输送皮带,进入筛分系统预选筛,筛下物经过 5#、6#、7# 输送皮带进入一段干选缓冲仓,筛上物经过 2# 皮带进入中碎缓冲仓,中碎两台圆锥破碎机破碎后的物料经过 4# 皮带输送进入筛分系统香蕉筛,香蕉筛筛分后破碎合

[作者简介] 徐海涛(1976—),男,高级工程师,从事冶金自动化工作。

[引用格式] 徐海涛. 矿石粉碎及辊磨干选自动控制系统在矿山选矿中的应用[J]. 中国矿山工程,2023,52(3):85-89.

格的物料进入5#、6#、7#输送进入一段干选缓冲仓,不合格产品经过3#皮带输送进入细碎缓冲仓,细碎4台圆锥破碎机破碎后的物料经过4#皮带进入筛分香蕉筛,形成“香蕉筛-中碎-细碎”的闭环破碎系统。圆锥破碎机根据自身产量自动调节圆锥破碎机给料的给料量。中碎缓冲仓设置料位计,当料位高报警时停止2#皮带、预选筛、1#皮带、振动给料机。当中碎缓冲仓料位低报警时自动启动2#皮带、预选筛、1#皮带、振动给料机等设备。通过这样一个流程实现“中碎前带预先筛分的三段一闭路”的预设功能,实现多磨少选、自动给料、自动输送的自动控制功能。

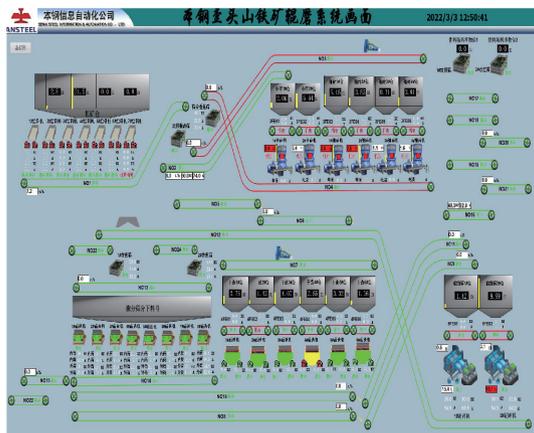


图1 高压辊磨控制系统设备工艺图

## 2) 干选工艺

干选系统是整个工艺的核心系统,包括以高压辊磨为核心的精磨系统,以磁选机为主的选矿系统,矿料从一段干选经过磁选机将矿料与石料分离,石料通过8号皮带与11号皮带输送入骨料场系统,矿料经过10号皮带与9号皮带进入高压辊磨机缓冲仓,高压辊磨机精磨后的矿料通过12号皮带进入微粉筛分香蕉筛进行筛选,筛选合格后的产品进入二段干选漏斗仓,再经过二次磁选分离矿料与室料,矿料通过14号皮带与15号皮带进入原有球磨系统。微粉筛分不合格产品再经过9号、10号皮带进入高压辊磨机再次进行精磨。高压辊磨机与微粉高频筛、二段磁选机形成一个“选矿→精磨→筛选”的闭环磨选系统,其独特的矿石回流工艺设计,有效保证成品的合格率。

## 3) 骨料场系统

歪头山选矿厂原有的选矿系统选出的石料需输送到尾矿排放处进行堆放,不但占据了大量地方还没有经济效益,此次设计将经过筛选后的石料输送

到专设的场地经过双层振动筛进行筛分,分离出三种不同粒度的石料产品进行出售,有效提高了新建生产系统的经济意义及可持续生产可行性。

## 2.2 自动控制系统设计

根据生产工艺,自动控制系统系统分为六个部分:粗矿仓、筛分、中细碎、超细碎、一段干选、二段干选、骨料场。干选系统设置PLC控制主站,其他几个部分设I/O分站,主站和分站之间利用光纤进行通讯连接,并将信号接入主控制室进行监视和控制。

### 1) 粗矿仓下料控制

粗矿仓下六台振动给料机采用四用两备工作模式,生产前将任意四台振动给料机选为工作位置,另外两台选为备用位置,并根据需要设定下料量,设备运行时系统根据运行的振动给料机数量及下料总量平均分配每台振动给料机的下料量,运行中当某台正在运行的振动给料机故障停止运行时,自动将故障设备工作位转为零位,并自动启动其中一台处于备用位的设备。故障设备处理完成后需要手动将零位转为备用位。

### 2) 中碎下料控制

中碎系统包含两台圆锥破碎机及其给料皮带,为保证设备的连续运行,两条给料皮带的下料量需与进入中碎缓冲仓的进料量基本保持一致,即两条给料皮带的下料量需根据进料皮带的输送量进行调节。控制系统根据设备运行数量及进料皮带输送量自动设定给料皮带输送量进行调节。

### 3) 细碎下料调节

细碎部分包括四台圆锥破碎机及其给料皮带,采用三用一备的工作模式,生产前将任意三台圆锥破碎机选为工作位置,另外一台选为备用位置。为保证设备的连续运行,运行时工作位给料皮带的下料量与进入细碎缓冲仓的进料量基本保持一致,即给料皮带的下料量根据进料皮带的输送量进行自动调节。运行中当某台正在运行的圆锥破碎机或给料皮带故障停止运行时,自动将故障设备工作位转为零位,并自动启动其中一台处于备用位的设备。故障设备处理完成后需要手动将零位转为备用位。

### 4) 一段干选下料调节

一段干选下料包括八台干选机及其给料皮带,八台干选机同时运行,选出的矿料进入高压辊磨系统,石料进入骨料场。由于一段干选下料受高压辊

磨缓冲仓制约,干选给料皮带的输送量根据高压辊磨缓冲仓料位进行自动调节。保持高压辊磨缓冲仓的料位在一个基本恒定的数值,调节干选机下料总量,下料总量根据干选机运行数量进行平均分配每条给料皮带的下料量。

#### 5) 高压辊磨给料调节

高压辊磨机自带料仓,运行时根据高压辊磨料仓料位调节给料皮带输送量。运行中高压辊磨自带料仓保持在一个基本恒定的数值,给料皮带根据此恒定值进行自动调节运行速率。

#### 6) 工业网络

本系统采用主站冗余 CPU 与从站交换机组成工艺环网,两个 CPU 一个作为主 CPU 运行,另一个 CPU 热备,当主 CPU 故障时,自动启动备用 CPU。各从站和其他 PLC 以星型模式接入环网交换机。这种环网+星型网的网络模式可以有效保证主网的不断断畅通,各 I/O 设备任何一个故障都不影响其他设备的正常运行。

### 2.3 工艺控制流程

根据料流方向,采用顺启逆停的原则,从料流末端顺序启动设备,顺序为骨料厂→二段干选→超细碎→一段干选→筛分香蕉筛→中细碎→预选筛→粗矿仓。

(1) 系统启动:系统自动检测设备备妥信号,如设备备妥则启动预警信号,一分钟后顺序启动设备,每个设备启动延时三秒。

(2) 系统停止:按照启动顺序相反的方向顺序停止,首先停止粗矿仓部分,其次中细碎部分,直至骨料场设备停止则完成整个生产系统的顺序停止。

(3) 设备故障:系统立即自动停止故障设备上所有设备,如 NO<sub>7</sub> 输送皮带故障时立即停止 NO<sub>6</sub>、NO<sub>5</sub> 一直到中细碎、粗矿仓所有设备。

(4) 料位停止:由于工艺流程中设置有缓冲仓,为防止料仓爆料,当缓冲仓料位高报警时,立即自动停止往该缓冲仓送料的所有设备。

(5) 参数设定:根据工艺设计要求,成品精矿需要达到一个相对恒定的产量(833 t/h),成品产量关联的主要参数为高压辊磨机的产量( $y$ )、实际精矿产量( $a$ )、高压辊磨机实际产量( $b$ ),其中公式  $833/y = a/b$  相对恒定,从而可以根据高压辊磨机的产量( $y$ )自动设定高压辊磨机的转速。高压辊磨机运行效率的变化会导致高压辊磨缓冲仓的料位

变化,从而导致一段干选磁选机给料皮带的料流变化,6台一段干选磁选机运行的数量( $x$ )的产量总量( $y$ )根据高压辊磨缓冲仓的料位进行自动调节, $y/x$ 为每台磁选机的下料量,根据高压辊磨缓冲仓的料位自动增加或减少。一段干选磁选机的运行速率变化影响一段干选缓冲仓的料位变化,这就需要碎矿系统也必须根据变化进行改变,对粗矿仓的下料量和中细碎圆锥破碎机进行自动调节,在中细碎缓冲仓的料位处于较低状态时,调节粗矿仓的下料量,反之调节圆锥破碎机的下料量。

(6) 控制设定:整个工艺系统的设备在程序中都设置了自动模式和手动模式,工艺参数的设定也设置了自动模式和手动模式,用户可以根据需要进行选择系统是自动运行还是手动启停设备与参数设置。

## 3 PLC 系统设计

PLC 系统采用西门子 S7-1500 PLC 对系统所有工艺设备及电气仪表设备实行集中监控。系统设置 1 个操作员站和 1 个工程师站,放于主控室内。操作员站用于系统设备及供电设备的监控。系统采用工业以太网进行组网,PLC 系统及其子站、1 个操作员站、工程师站均挂在以太网上。PLC 柜及操作台的电源均由 UPS 柜供出,采用的 UPS 可保证在市电切断后维持系统 30 分钟供电。

系统控制架构:上位机分为工程师站 1 台,安装编程软件 TIA Portal V16.1,组态软件 WinCC 7.4 SP1。操作员站 1 台,安装组态软件 WinCC 7.4 SP1,上位机系统形成 1 主 1 备的监控体系。高压辊磨各低压室各安装 1 个 PLC 柜。PLC 可各设备的启停,变频电机频率给定等信号。现场机旁操作性箱也可屏蔽远程控制,进行现场操作控制。现场采集压力、温度、压差、流量等模拟量信号传输给 PLC 供上位机远程监控。

上位机编程采用编程软件 TIA Portal V16.1,用于编写西门子 S7-1500 PLC 控制程序。软件中可对 PLC 模板状态监控,形成故障检测和跟踪,能第一时间反应系统工作状况。程序的在线跟踪反应当前系统逻辑关系。程序编写以梯形图为主,程序扫描方式为顺序扫描方式。PLC 硬件组态结构为 1 个 PLC 主站和 6 个从站环网的通信结构。

PLC 模板主从站硬件组态配置如图 2 所示。

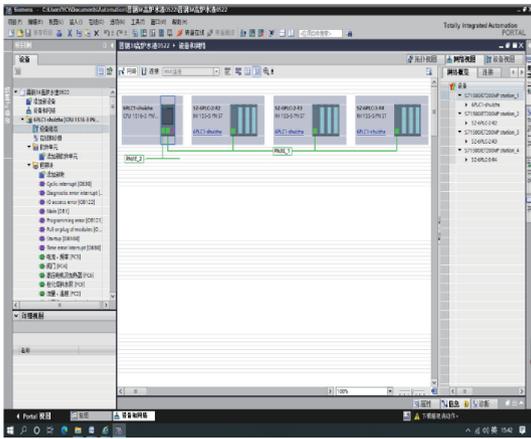


图2 PLC模板主从站硬件组态配置图

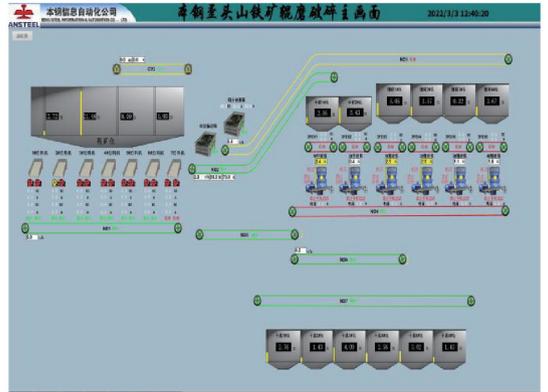


图4 “破碎系统”画面

## 4 系统功能

### 4.1 “高压辊磨系统”主画面

“高压辊磨系统”主画面如图3所示。根据现场工艺要求绘制而成。其反映当前设备的电流、频率、设备运行状态等参数的实时数据。

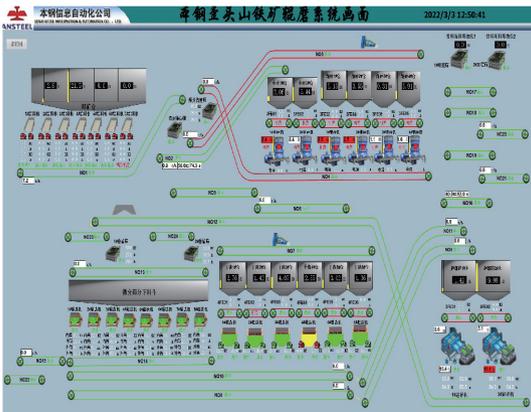


图3 “高压辊磨”主画面



图5 “报警记录”画面

### 4.4 “操作记录”画面

“操作记录”画面如图6所示。该画面能够记录显示操作人员对整个系统所有设备的按钮操作记录,便于对误操作的查询。用法与报警记录相同不再赘述。

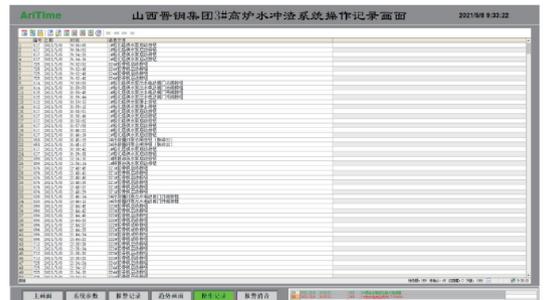


图6 “操作记录”画面

### 4.2 “破碎系统”画面

破碎系统画面主要用于对各输送皮带、圆锥破碎机、圆锥破碎机给料机皮带、振动给料机的控制及参数设置。破碎系统如图4所示。

### 4.3 “报警记录”画面

“报警记录”画面如图5所示。该画面能够显示整个系统的所有报警点,并且连接有报警声音,报警画面共可显示截止到目前的1000条报警记录,并且能够通过颜色来区分,红色字为报警已来到,绿色为已经复位,剩下为报警确定。该画面有报警时间,报警描述,持续时间等。还能通过对时间范围的设置,查询以前发生的故障记录,对现场人员在判断设备故障及检修时有较大的作用。

### 4.5 “实时和历史趋势”画面

“实时和历史趋势”画面如图7所示。包括料位趋势、电流趋势等。用户可以通过实时数据和历史数据了解具体的趋势曲线,能更好的掌握系统的反应情况移动趋势查找想要找的历史趋势,两头的按钮分别为一天的起始历史趋势和最新的趋势,中间的两个分别为左侧的是步进式向前一时间段查找,右侧的是步进式向后一时间段查找,此按钮可停止趋势并放大趋势曲线,变于查看曲线细节,按钮为标

尺按钮,拖动标尺按钮可以在控件下部的参数画面具体查看标尺所在曲线点的具体数值。

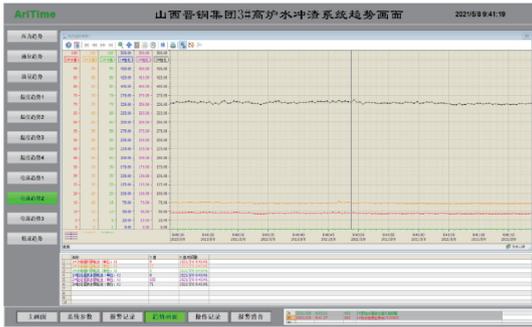


图7 “实时和历史趋势”画面

#### 4.6 “工艺控制”画面

“工艺控制”画面如图8所示。本画面主要功能为对整个生产系统的连锁启动进行操作,当所需要连锁启动的设备根据工艺处于备妥状态(绿色)时,点击连锁启动按钮实现设备连锁启动,点击连锁停止按钮时,设备连锁停止,点击急停按钮实现设备紧急状态时重负荷停机。



图8 “工艺控制”画面

## 5 结论

本系统设计采用西门子公司 S7-1500 PLC, 通过其环网结构, 为其带来了足够的稳定性; CPU 与通信模块之间高速率通信, 为数据采集带来了实时和高速性。组态软件 WinCC 7.4 SP1 具有绘制简单, 通信稳定的技术特点, 为系统的二次开发设计带来了方便。HMI 趋势画面的设计, 能良好的记录历史系统参数, 为将来磨选工艺优化的可行性研究带来了第一手宝贵资料。该系统自投入运行以来, 取得了良好的控制效果, 远程集中控制为用户带来了方便。本系统实现了实时化的原料自动下料, 碎矿自动调节、选矿自动调节及各设备的自动启停与运行参数采集监视, 实现了各工艺环节的无人化操作模式, 实现了各设备的远程监视及操作, 有效的节省了人力资源, 提高了生产效率。对工厂进一步智慧化提供了大量的数据依据及框架支撑, 对集团公司的智慧矿山的先进理念具有一定的促进作用。

### [参考文献]

- [1] 胡寿松. 自动控制原理(第四版)[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 赵晶. 基于 PLC 自动化控制系统的通信技术研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [3] 何富其. 基于 PLC 的自动化控制系统的配置及组态分析[J]. 制造业自动化, 2011, 33(06): 64-66.
- [4] 苏昆哲. 深入浅出西门子 WINCC V6[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2005.
- [5] 李修伟, 陈广文. 浅析电气自动化控制系统的应用及发展趋势[J]. 民营科技, 2011(01): 20.