



太原理工大学  
TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 炼焦煤重介分选和浮选智能化研究与进展

太原理工大学 王然风

电话: 18636663105

微信: w779296002



- 煤炭工业技术委员会信息分会委员
- 山西省信息化协会常务理事
- 智慧矿山智能装备研究中心专家
- 太原理工大学煤矿机电系主任
- 研究方向：智能开采、智能分选



1

炼焦煤重介分选和浮选智能化挑战

2

重介分选卡脖子难题及关键技术

6

重介分选浮选结论及启示



3

重介分选智能化实例

5

浮选现场应用实例

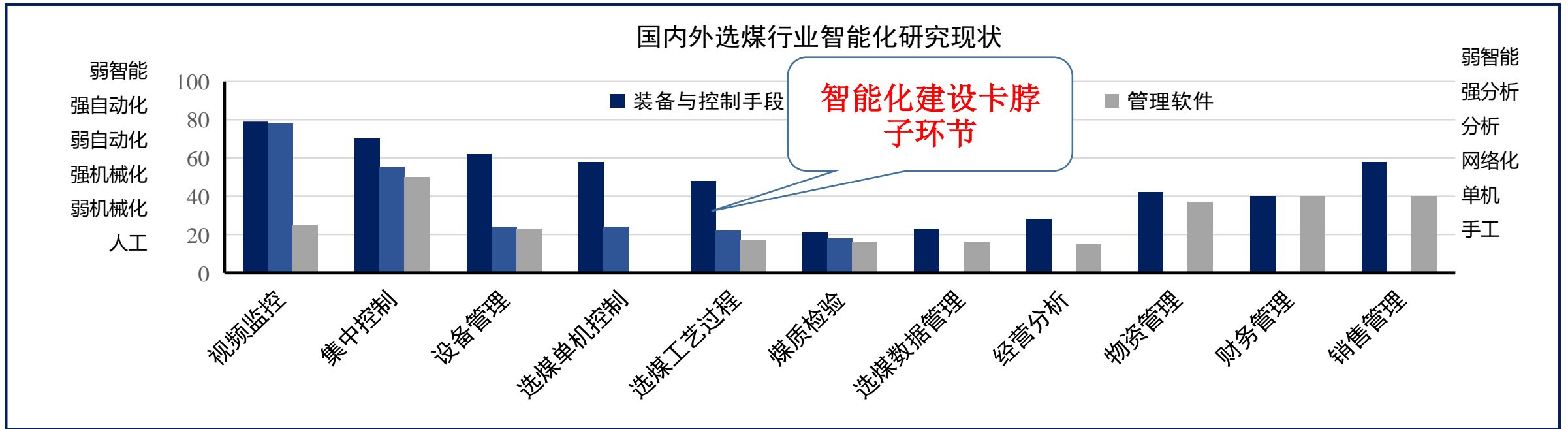
4

浮选卡脖子难题及关键技术



## 选煤行业智能化现状

- 选煤核心分选环节的智能化还处于发展的低洼地。
- 以大数据、云计算、物联网、人工智能（AI）为代表的信息技术和选煤过程智能化如何深度融合，实现高质量发展。





## 炼焦煤选煤厂智能化建设卡脖子难题

- 炼焦煤选煤工艺复杂，分选环节多（重介分选、粗煤泥分选、浮选），煤质变化大，对智能化建设中分选过程控制提出更高要求。
- 炼焦煤选煤用户对产品指标要求更严苛，不仅产品精煤灰分以0.5%作为炼焦煤分级标准，同时对硫分也有严格限定。
- 选煤厂要获得经济效益最大化，必须实现与单元分选环节智能化控制和多环节分选智能设定。
- 炼焦煤作为稀缺煤种，吃干榨净符合集团和国家行业政策要求。

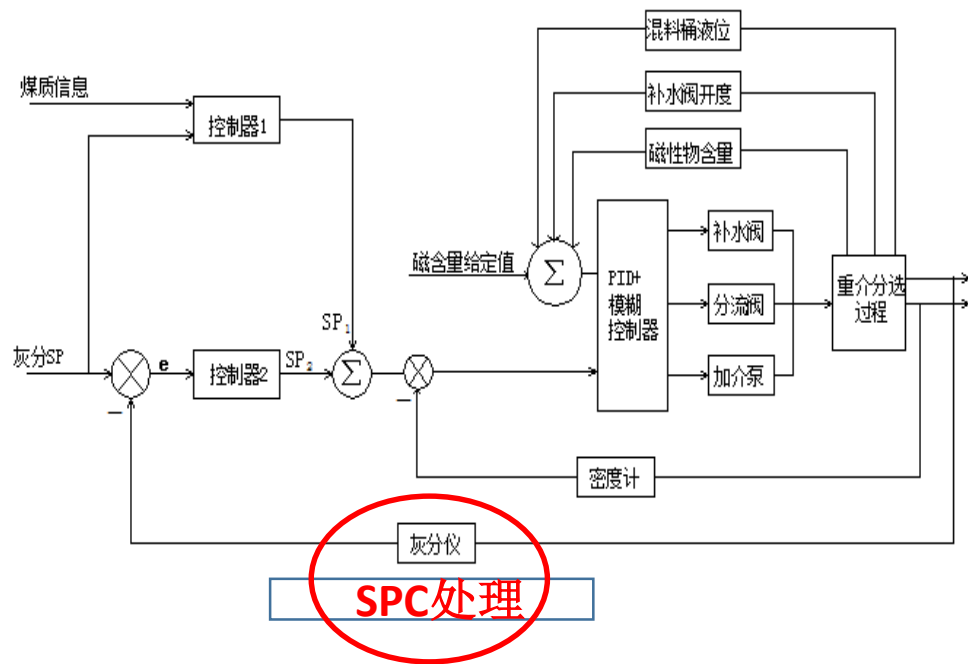
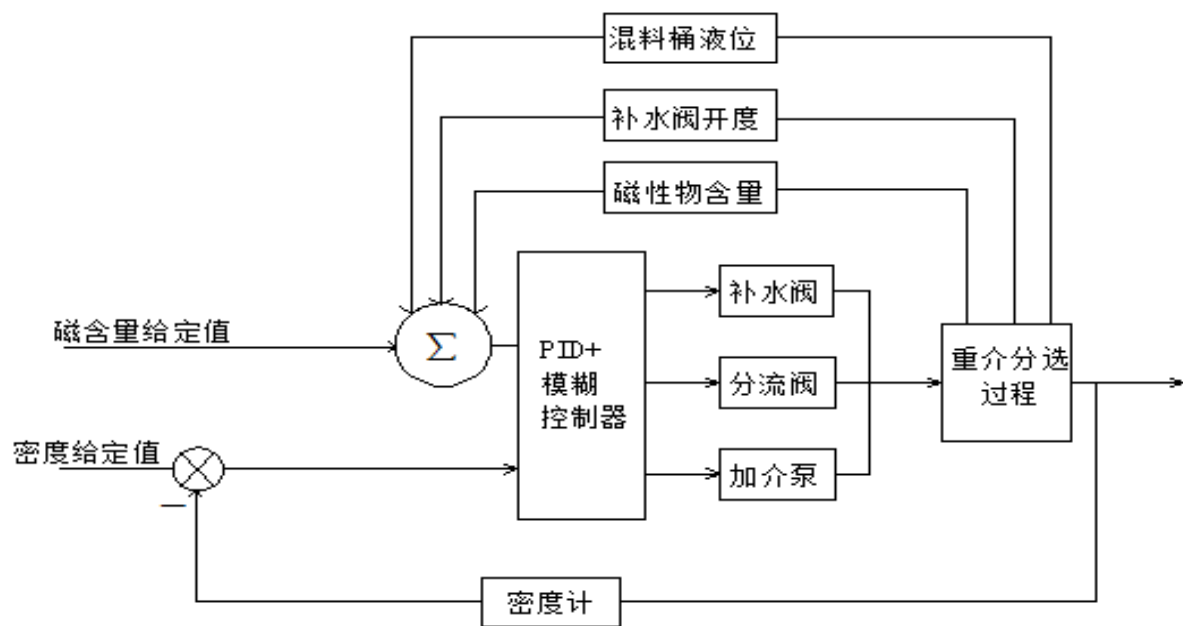


## 重介分选过程智能化面临的主要难题

- 重介分选中存在密度稳定性和粘度合理性的两重标准
- 基于产品灰分波动导致密度设定值可能上下调整，分流必须自动化
- 产品灰分本身随机波动和系统性误差如何甄别（**SPC分析**）
- **产品灰分检测精度问题**
- 属于大惯性和大滞后过程，也是双闭环多输入多输出控制系统
- 重介分选全过程智能化（包括密控、灰分回控、介质净化回收智能监控、装备运行保障、**基于大数据与人工智能的生产过程远程运维**）



# 重介分选过程智能化-太原理工大学方案



重介悬浮液密度、磁性物含量双变量宽域智能控制

基于SPC技术的重介悬浮液密度智能设定

基于云平台大数据与人工智能的重介分选系统智能运维



# 基于大数据和人工智能技术的煤炭智能分选

重介

悬浮液密度、磁性物含量、煤泥含量、桶位、磁选机运行状态、压力.....

浮选

入浮浓度、流量、泡沫层厚度、浮精灰分、尾煤灰分、充气量

煤泥水

浓度、流量、煤水界面仪、加药量、水分

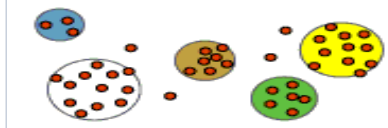
设备

振动、温度、相关电气、液压参数、

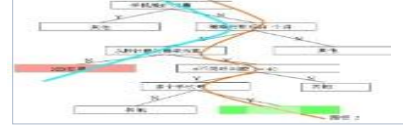
管理

调度、计划、能源、环保、安全

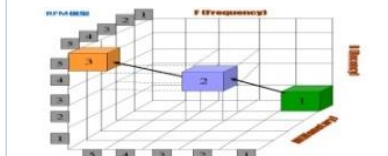
聚类分析



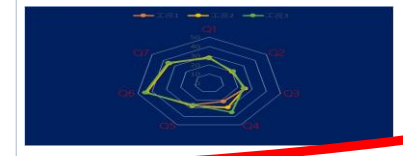
决策树分析



趋势分析



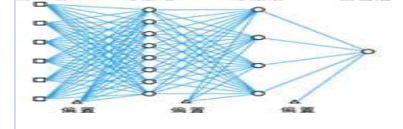
主因分析



时间序列分析



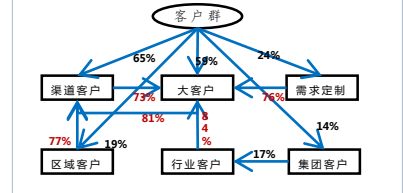
神经网络分析



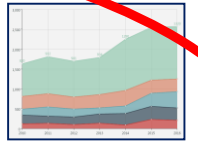
变量分析



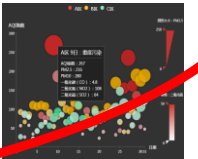
关联分析



统计分析



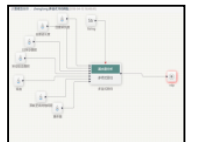
监测监控



过程优化



专家模型



智能决策







## 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

- 1、重介精煤灰分高精度检测
- 2、重介悬浮液密度、煤泥含量宽域智能控制
- 3、基于在线测灰仪与统计过程控制（SPC）方法的闭环控制
- 4、重介分选全流程控制（旋流器压力、桶位平衡、介质净化回收智能控制）
- 5、重介分选灰分、硫分双控智能控制。
- 6、重介分选健康保障远程运维技术（大数据与人工智能技术（机器学习））



## 重介精煤灰分高精度检测

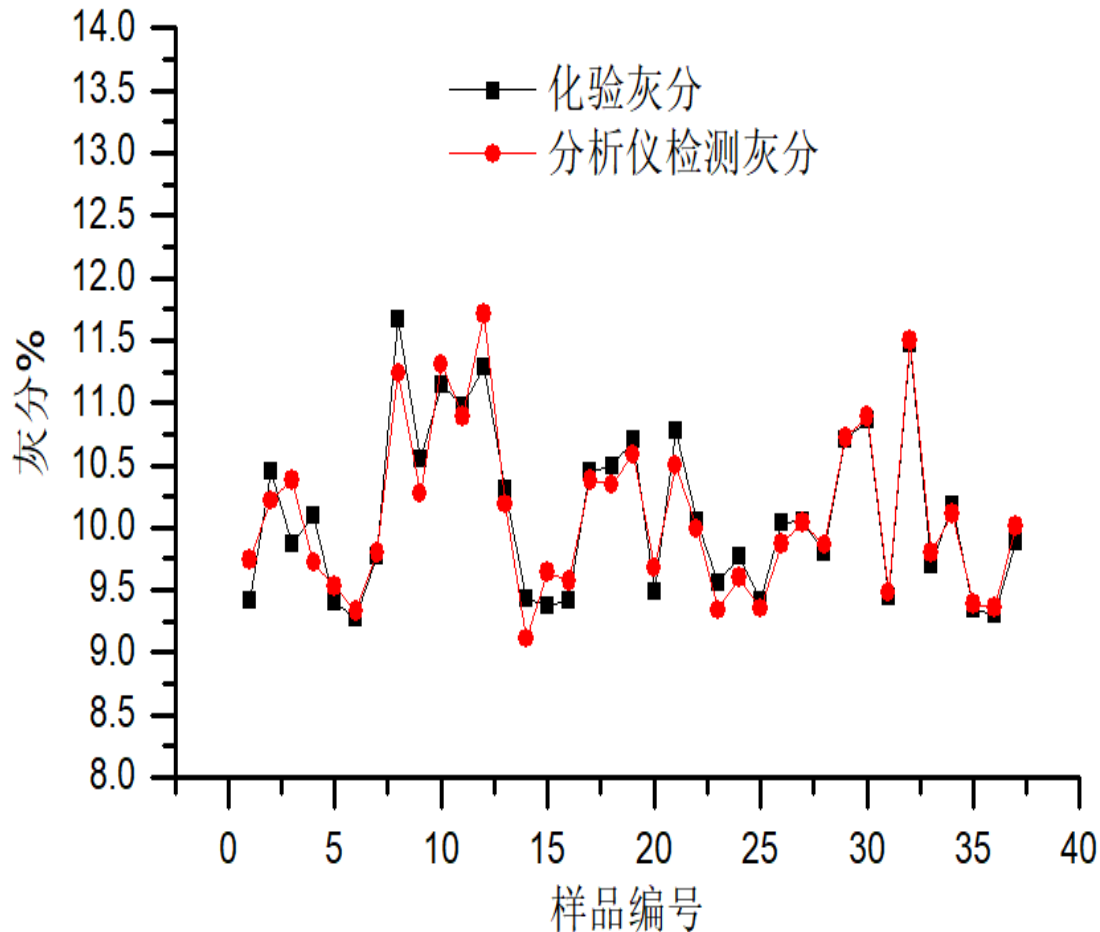
沙曲选煤厂



# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

## 重介精煤灰分高精度检测

沙曲选煤厂



分析仪和人工采制化之间的标准误差为：0.21



附 计算公式

双份参比样的平均值:  $\bar{R}_i = R1_i / 2 + R2_i / 2$

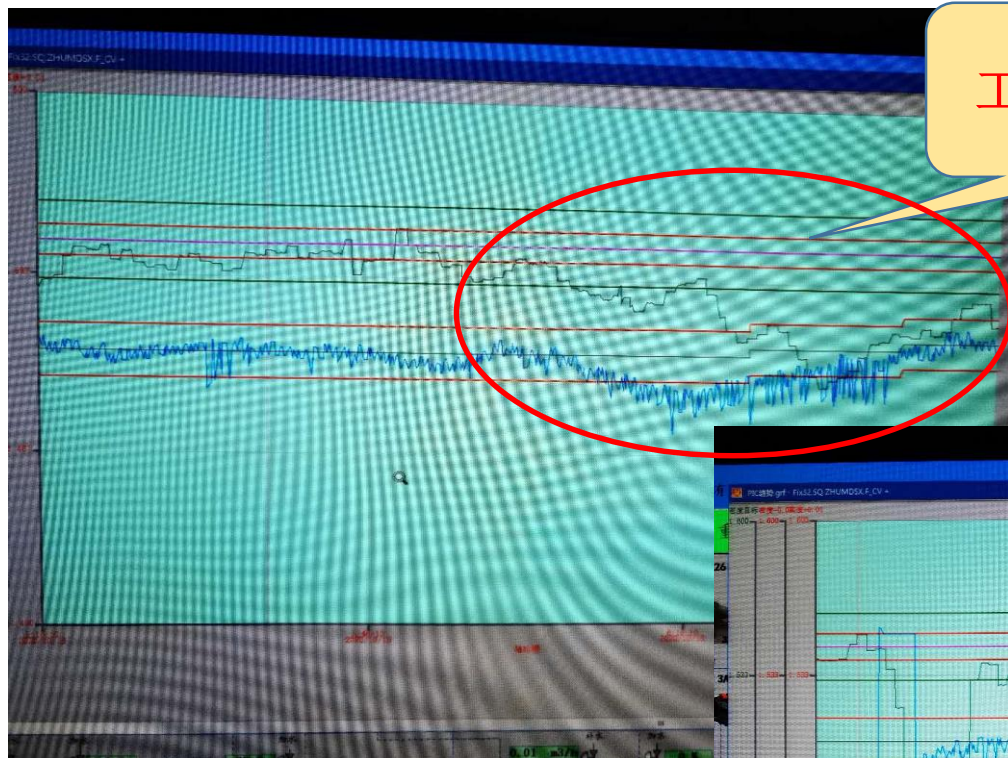
双份参比样间的差值:  $dup_i = R1_i - R2_i$

分析仪与双份参比样平均值的差值:  $d_i = A_i - \bar{R}_i$

分析仪与双份参比样平均值之间的标准偏差:  $S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{1}{n}(\sum d_i)^2}{n-1}}$

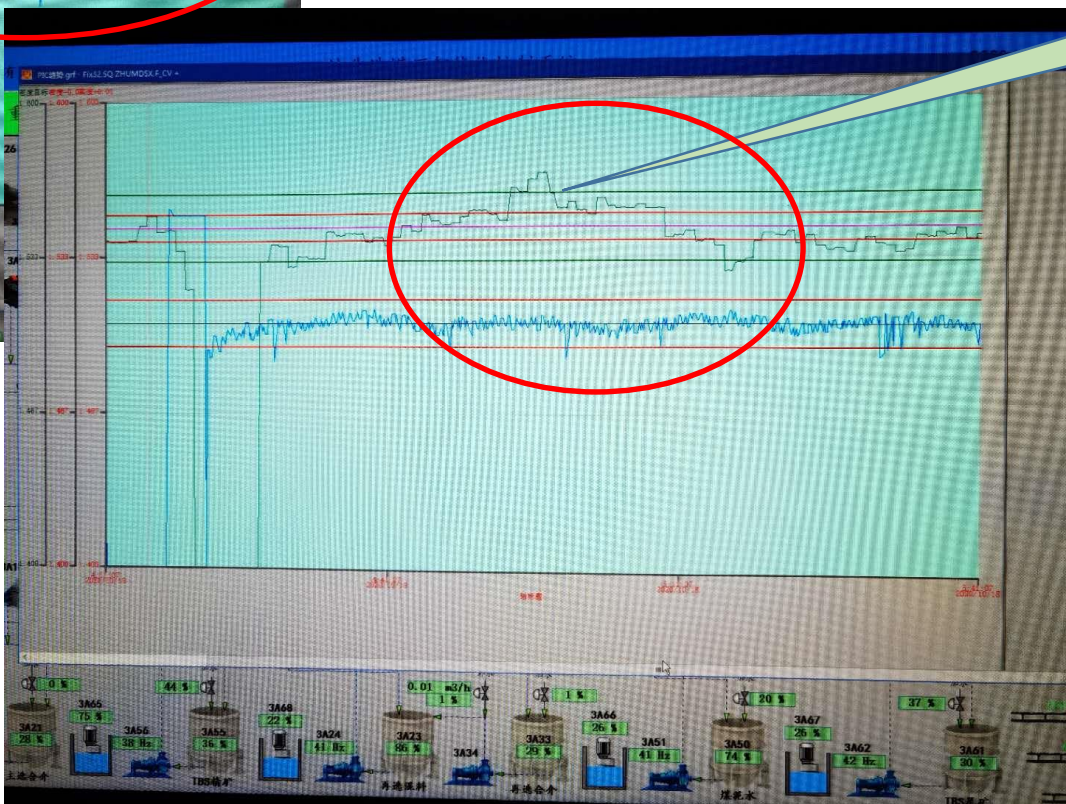
人工采制化的方差:  $V_{dup} = \frac{\sum dup_i^2}{2n}$

分析仪动态标准误差:  $S_A = \sqrt{S_d^2 - V_{dup}}$



工况波动对应性

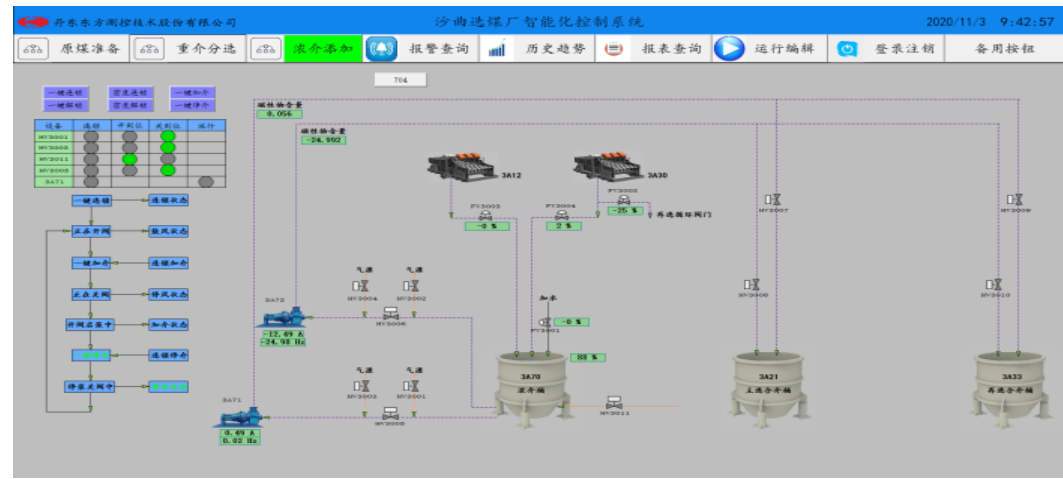
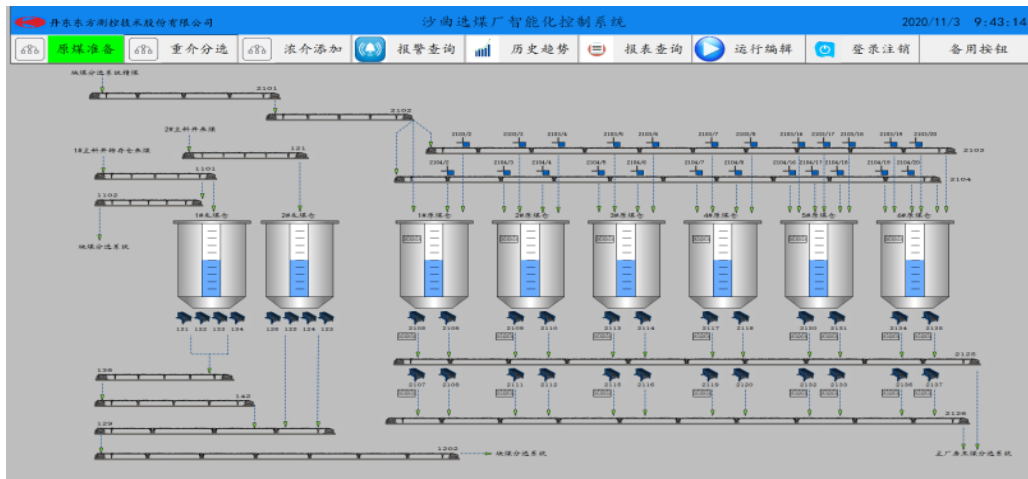
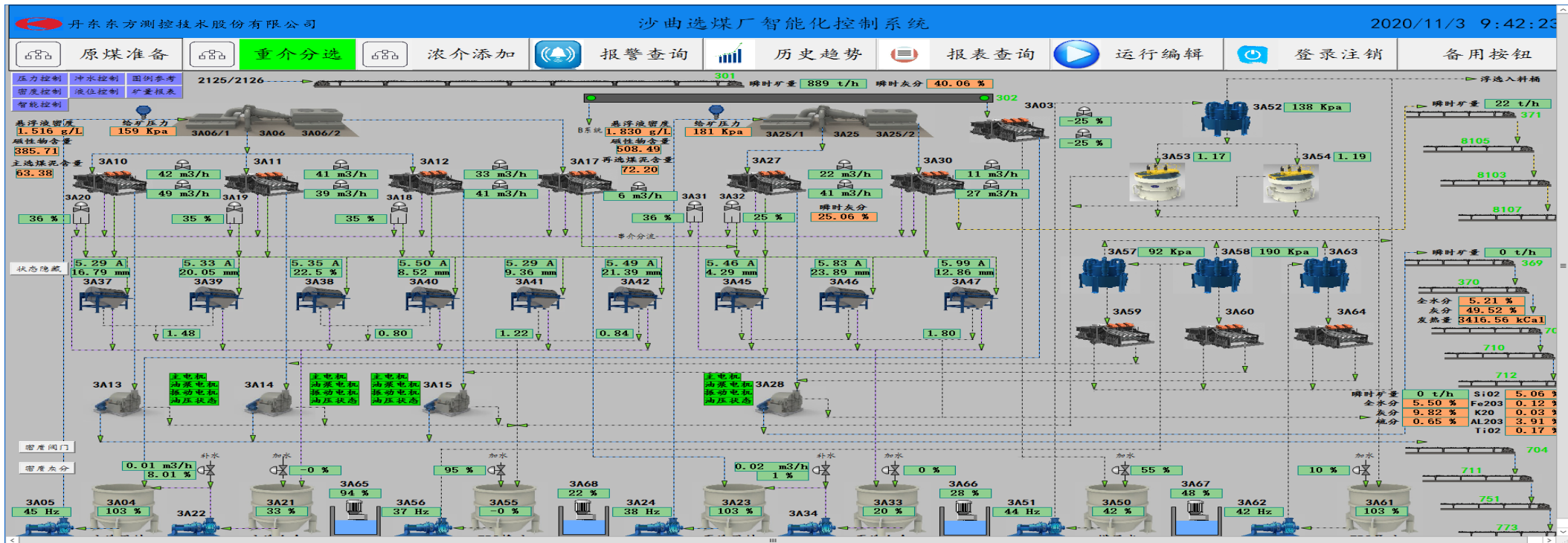
煤质波动对应性



重介精煤灰分高精度检测

# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

沙曲选煤厂



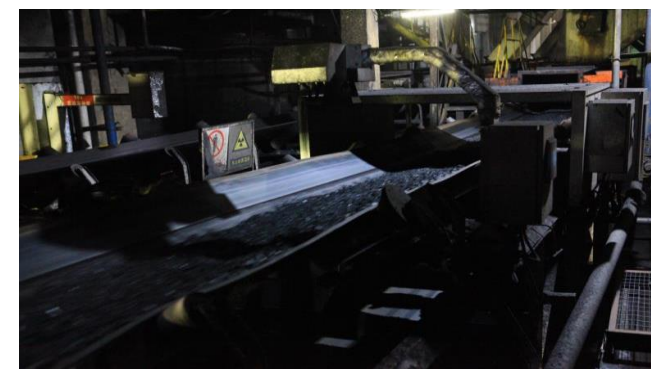
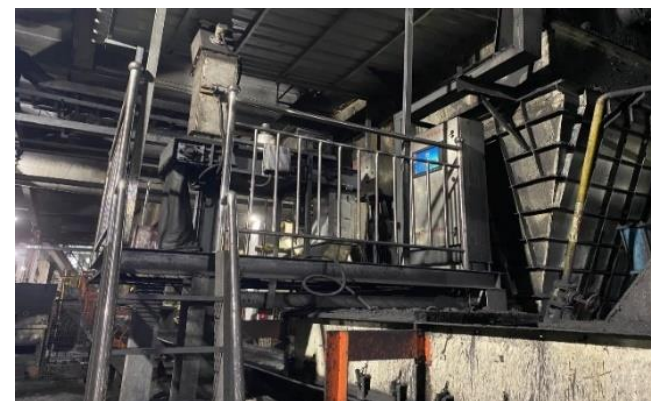


# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

## 重介分选全过程透明化（在线实时检测）

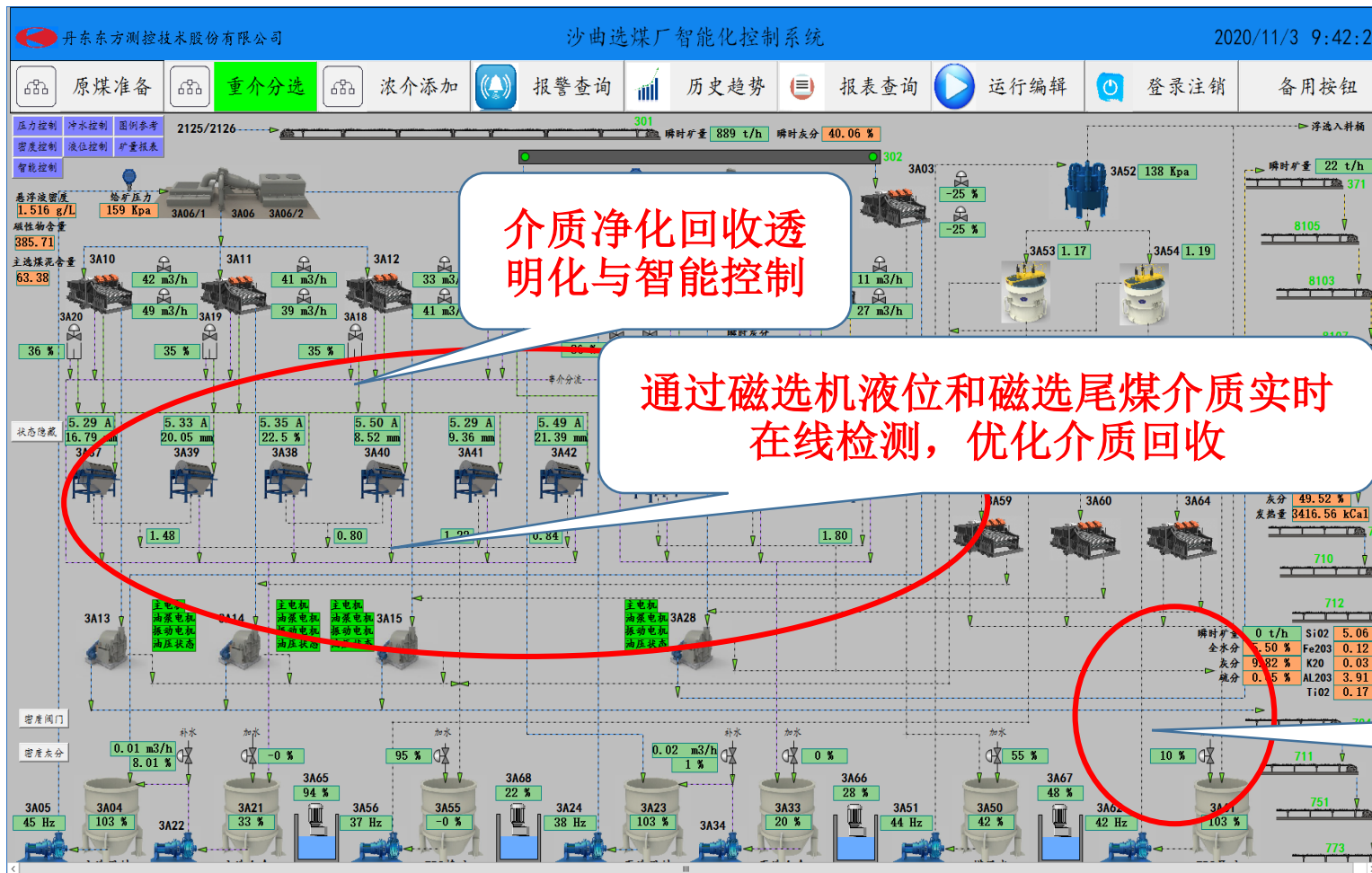
- 1、重介分选密度、旋流器入口压力、桶位。
- 2、重介分选水量检测、重介分选介质量。
- 3、重介分选原煤量、灰分、中煤灰分、数量、精煤灰分、数量
- 4、重介分选煤质多元素检测

沙曲选煤厂



# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

沙曲选煤厂



介质净化回收透明化与智能控制

通过磁选机液位和磁选尾煤介质实时在线检测，优化介质回收

通过铁元素含量对脱介筛介耗进行监控并报警

通过S元素含量识别煤质变化

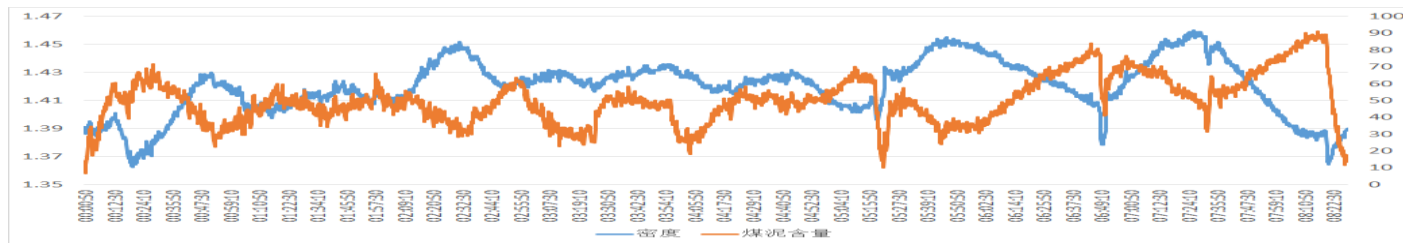
实现了磁选机的在线监控，基于多元素煤质分析仪，实现了脱介筛介耗监控预警和煤质变化的实时监测



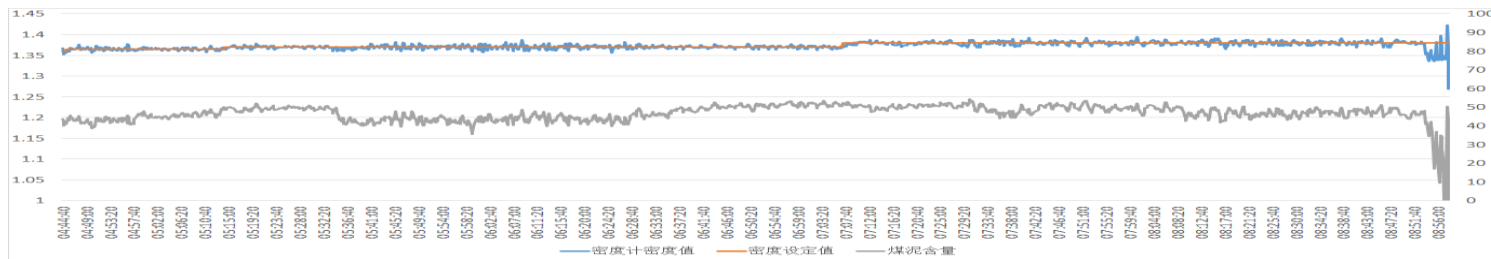
# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

## 重介悬浮液密度、煤泥含量双变量智能控制

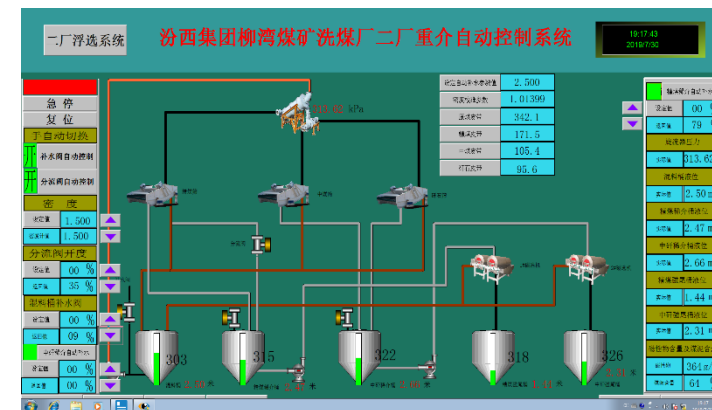
柳湾、高阳、沙曲、回坡底选煤厂



### 实施前重介悬浮液密度、煤泥含量稳定性

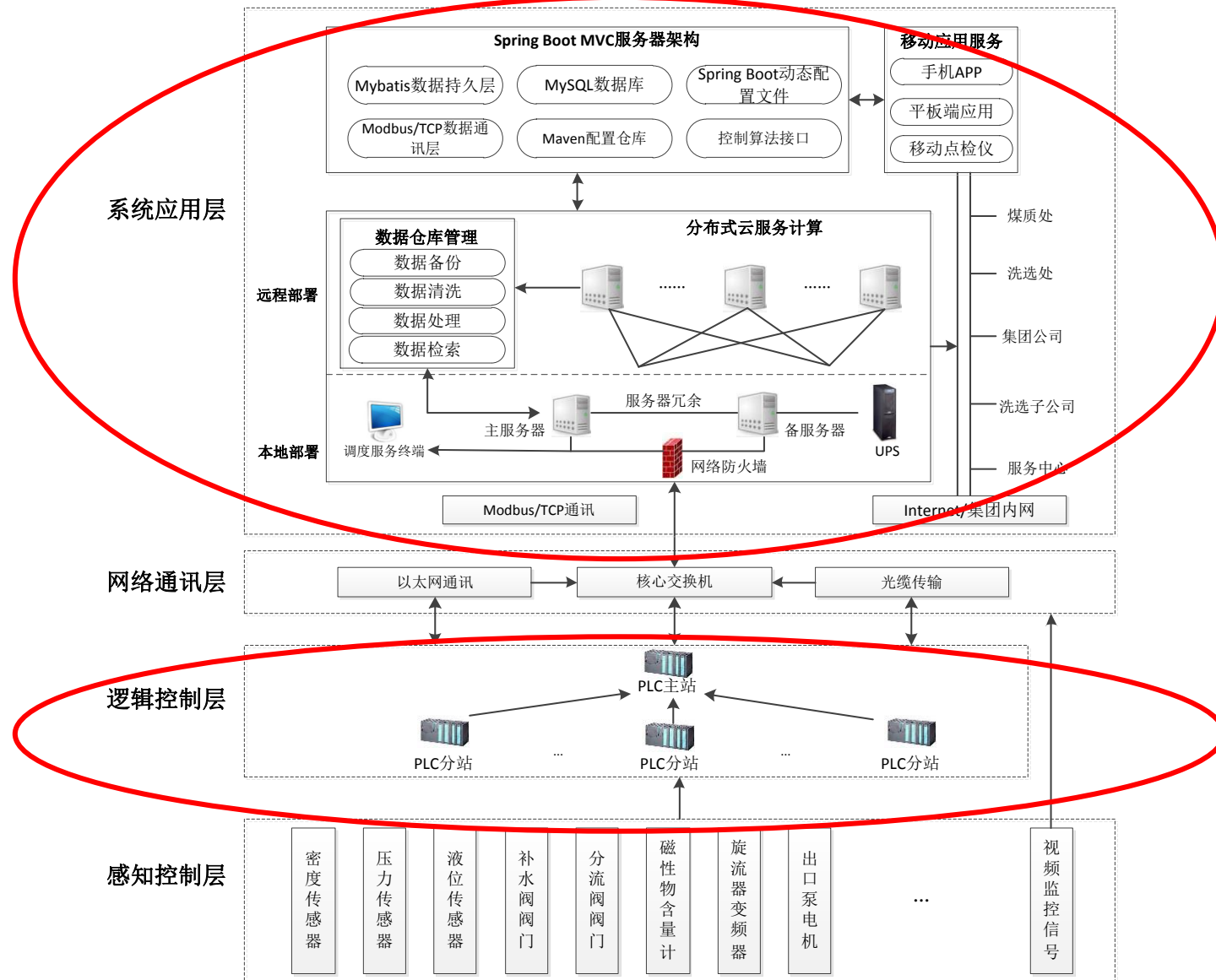


### 实施后重介悬浮液密度、煤泥含量稳定性



# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

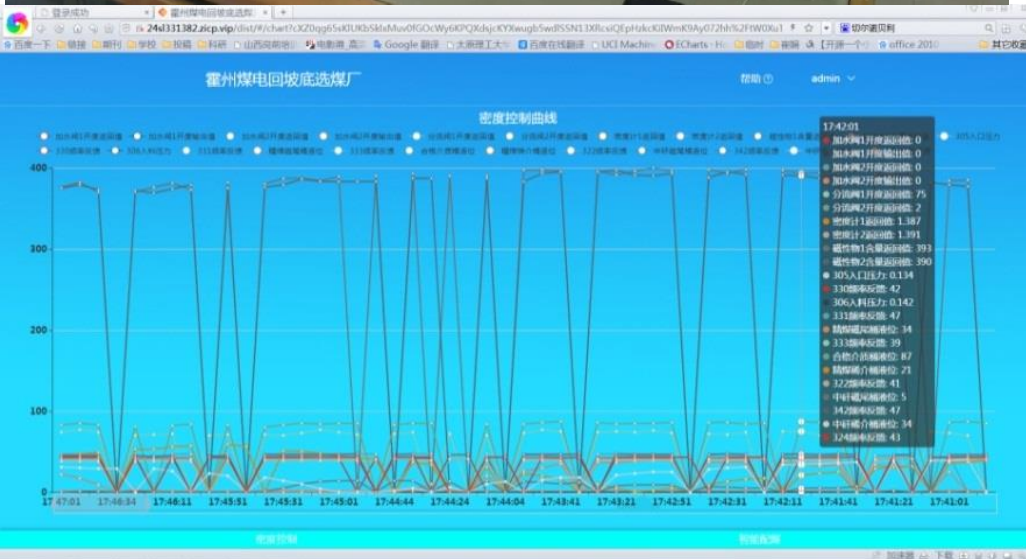
霍州煤电回坡底选煤厂  
智能化重介分选控制新架构



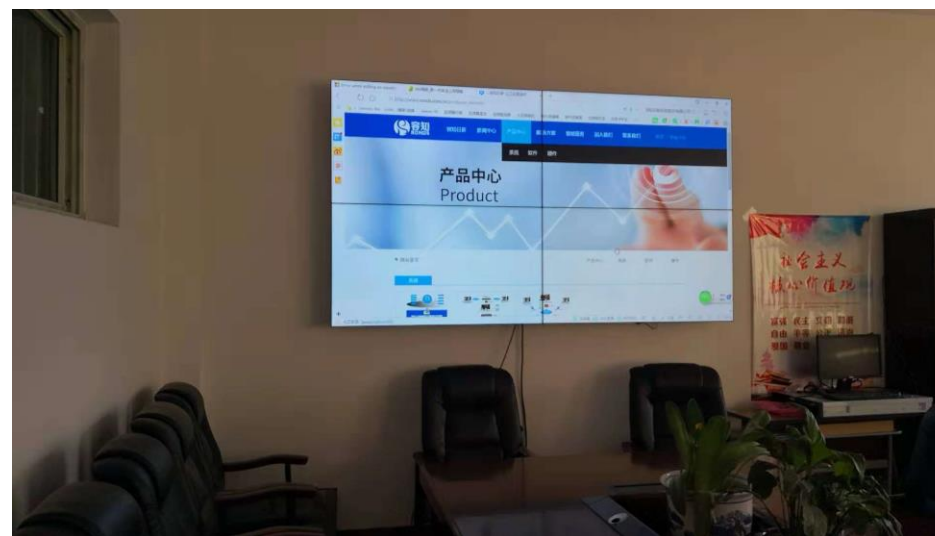
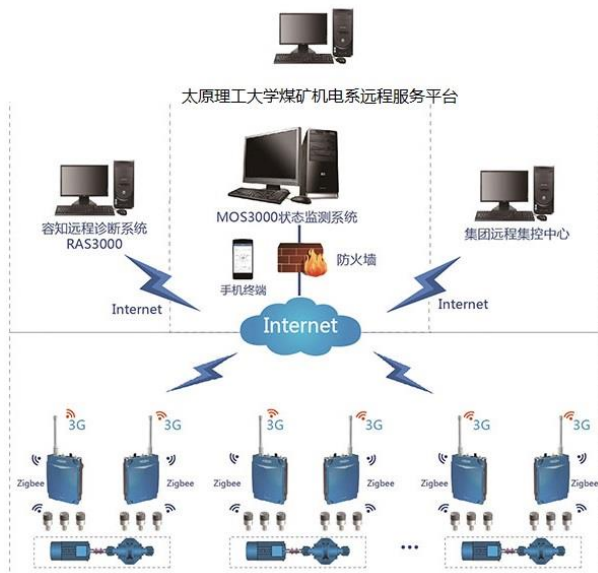
灰分、硫分双控及重介分选远程智能运维

# 炼焦煤选煤厂-重介分选智能化

重介分选智能控制与远程运维



# 选煤生产保障远程服务平台

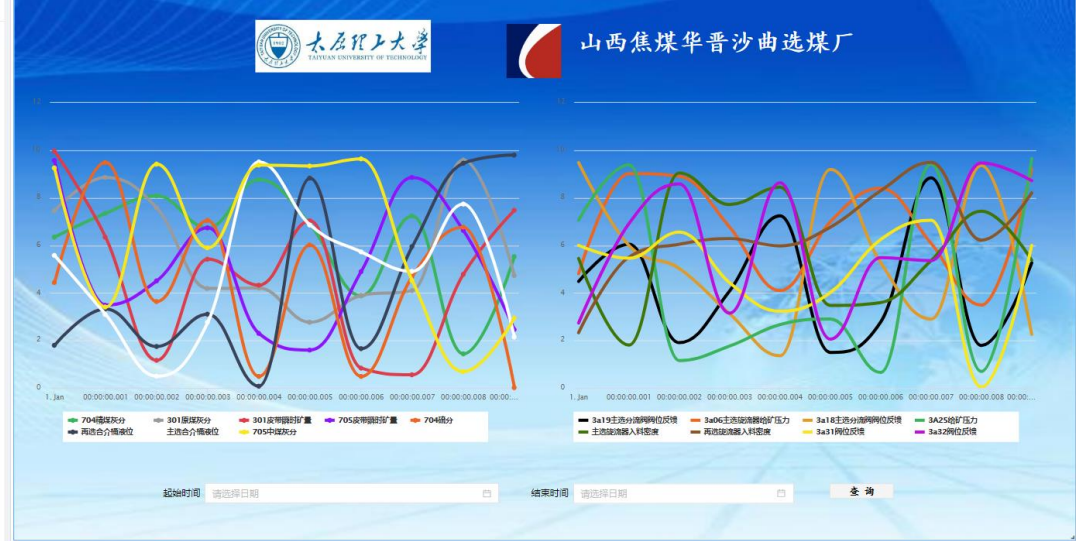
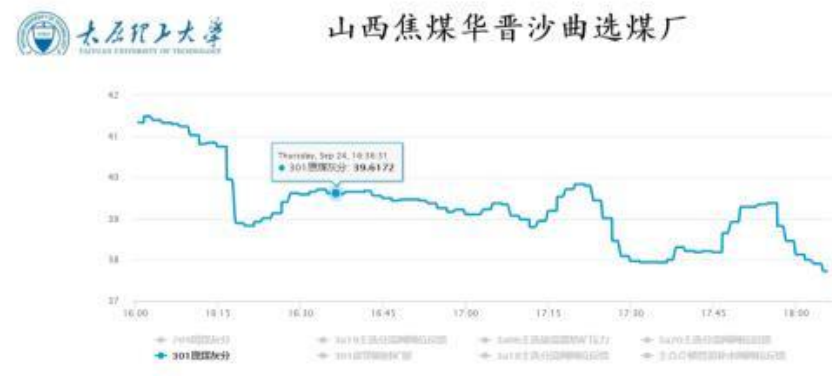
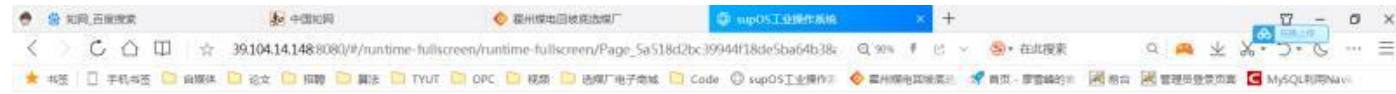


选煤生产、装备、安全、管理远程服务平台

# 重介过程大数据分析

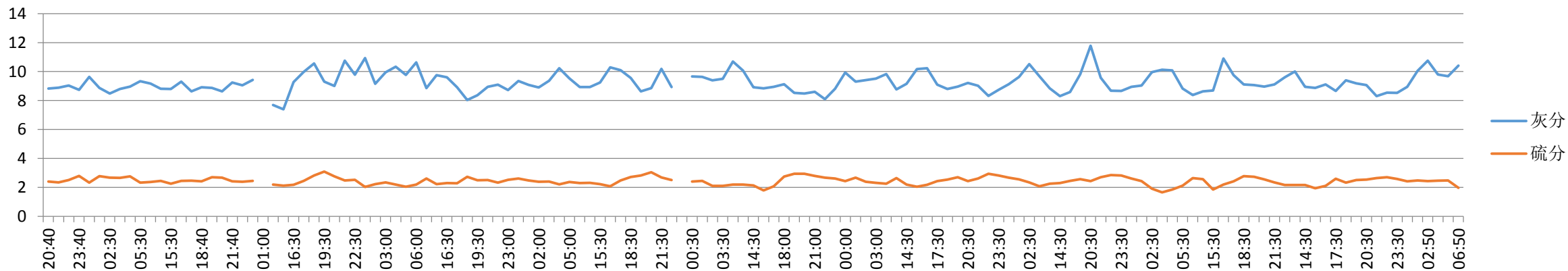
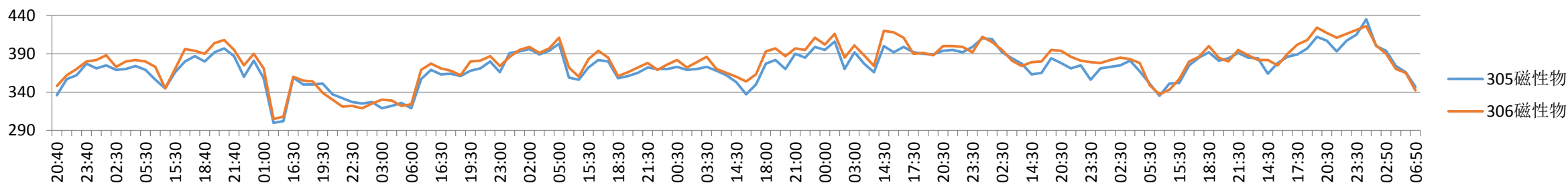
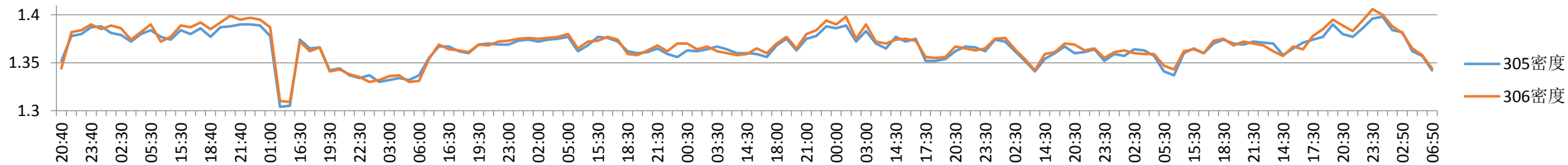
Navicat for MySQL

2101灰分	3a68液位	分流阀3a32阀位给定	再选介槽液位
2101底分	3a71管道磁性物含量	精煤筛介筛3a10冲洗水1阀位反馈	再选筛槽液位
2101水分	3a72管道磁性物含量	精煤筛介筛3a10冲洗水2阀位给定	再选筛槽设定值
301皮带累计矿量	41尾矿磁性物含量	精煤筛介筛3a10冲洗水2阀位反馈	再选筛流器入料磁性物含量
301皮带瞬时矿量	42尾矿磁性物含量	精煤筛介筛3a10冲洗水2阀位给定	再选筛流器入料密度
301煤煤水分	454647煤煤水分	精煤筛介筛3a10冲洗水检测1	再选筛流器入料密度1m
369底分	704精煤水分	精煤筛介筛3a10冲洗水检测2	再选筛流器压力
3739尾矿磁性物含量	704粗煤水分	精煤筛介筛3a11冲洗水1阀位反馈	渣浆泵3a71电流反馈
3840尾矿磁性物含量	704底分	精煤筛介筛3a11冲洗水1阀位给定	渣浆泵3a71频率反馈
3a06主选旋流器给矿压力	705灰分	精煤筛介筛3a11冲洗水2阀位反馈	渣浆泵3a72电流反馈
3a10筛下分流阀阀位反馈	705中煤发热量	精煤筛介筛3a11冲洗水2阀位给定	渣浆泵3a72频率反馈
3a10筛下分流阀阀位给定	705中煤灰分	精煤筛介筛3a11冲洗水检测1	中煤3a27脱介筛冲洗水
3a11筛下分流阀阀位反馈	705中煤水分	精煤筛介筛3a11冲洗水检测2	中煤3a27脱介筛冲洗水检测
3a11筛下分流阀阀位给定	8105皮带累计矿量	精煤筛介筛3a12冲洗水1阀位反馈	中煤筛介筛冲洗水a
3a12筛下分流阀阀位反馈	8105皮带瞬时矿量	精煤筛介筛3a12冲洗水2阀位反馈	中煤筛介筛冲洗水b
3a12筛下分流阀阀位给定	tbs3a53分选密度	精煤筛介筛3a12冲洗水2阀位给定	主合介槽管涌补水阀位反馈
3a18分流阀手动阀位给定	tbs3a54分选密度	精煤筛介筛3a12冲洗水检测1	主合介槽管涌补水阀位给定
3a18主选分流阀阀位反馈	tbs精矿桶液位	煤泥水桶泵输出	主合介槽加水阀位反馈
3a18主选分流阀手动阀位给定	tbs精矿泵输出	浓介槽3a70液位	主合介槽加水阀位给定
3a19分流阀手动阀位反馈	tbs精桶加水阀位反馈	脱泥筛3a03冲洗水1阀位给定	主合介槽液位
3a19主选分流阀阀位反馈	tbs精桶加水阀位给定	脱泥筛3a03冲洗水2阀位给定	主原料桶加水阀位反馈
3a20分流阀手动阀位给定	tbs精桶液位	脱泥筛3a03冲洗水流量1	主原料桶加水阀位给定
3a20主选分流阀阀位反馈	tbs尾矿桶液位	脱泥筛3a03冲洗水流量2	主原料桶液位
3a20主选分流阀手动阀位给定	tbs尾矿桶泵输出	脱泥筛冲洗水1阀位反馈	主洗仓设定值
3a25再选旋流器给矿压力	tbs尾矿桶加水阀位反馈	脱泥筛冲洗水2阀位反馈	主选3a17旋流器水筛冲洗水1
3a27筛下分流阀阀位反馈	tbs尾矿桶加水阀位给定	脱泥筛3a52给矿压力	主选3a17旋流器水筛冲洗水2
3a27筛下分流阀阀位给定	tbs尾矿桶液位	旋流器3a57给矿压力	主选3a17旋流器水筛冲洗水检测1
3a30筛下分流阀阀位反馈	磁选机3a37液位	旋流器3a63给矿压力	主选3a17旋流器水筛冲洗水检测2
3a30筛下分流阀阀位给定	磁选机3a38液位	磁选机3a39液位	主选旋流器3a17脱水筛冲洗水1
3a31阀位反馈	磁选机3a39液位	再选3a30旋流器冲洗水1	主选旋流器水筛冲洗水2阀位反馈
3a31分流阀手动阀位给定	磁选机3a40液位	再选3a30旋流器冲洗水2	主选旋流器水筛冲洗水a
3a31再选分流阀阀位给定	磁选机3a41液位	再选3a30旋流器冲洗水检测1	主选旋流器水筛冲洗水b
3a32单介分流阀阀位给定	磁选机3a42液位	再选3a30旋流器冲洗水2	主选筛料槽液位
3a32阀位反馈	磁选机3a43液位	再选3a30旋流器冲洗水检测2	主选旋流器给矿磁性物含量
3a32分流阀手动阀位给定	磁选机3a44液位	再选旋流器冲洗水1阀位反馈	主选旋流器入料密度
3a37磁选机电流	磁选机3a45液位	再选旋流器冲洗水2阀位反馈	主选旋流器入料密度1m
3a38磁选机电流	磁选机3a46液位	再选旋流器冲洗水a	主选旋流器压力
3a39磁选机电流	磁选机3a47液位	再选旋流器冲洗水b	
3a40磁选机电流	相煤泥桶加水阀位反馈	再选筛料槽运行信号	
3a41磁选机电流	相煤泥桶加水阀位给定	再选筛料槽运行信号	
3a42磁选机电流	相煤泥桶液位	再选筛料槽输出	
3a43磁选机电流	相煤泥桶加水阀位反馈	再选筛料槽液位	
3a44磁选机电流	相煤泥桶加水阀位给定	再选筛介槽液位	
3a45磁选机电流	相煤泥桶加水阀位反馈	再选筛介槽液位	
3a46磁选机电流	相煤泥桶加水阀位给定	再选筛介槽液位	
3a47磁选机电流	分流阀3a18阀位给定	再选筛介槽液位	
3a65液位	分流阀3a19阀位给定	再选筛介槽液位	
3a66液位	分流阀3a20阀位给定	再选筛介槽液位	
3a67液位	分流阀3a31阀位给定	再选筛介槽液位	



# 沙曲选煤厂 (183个变量)

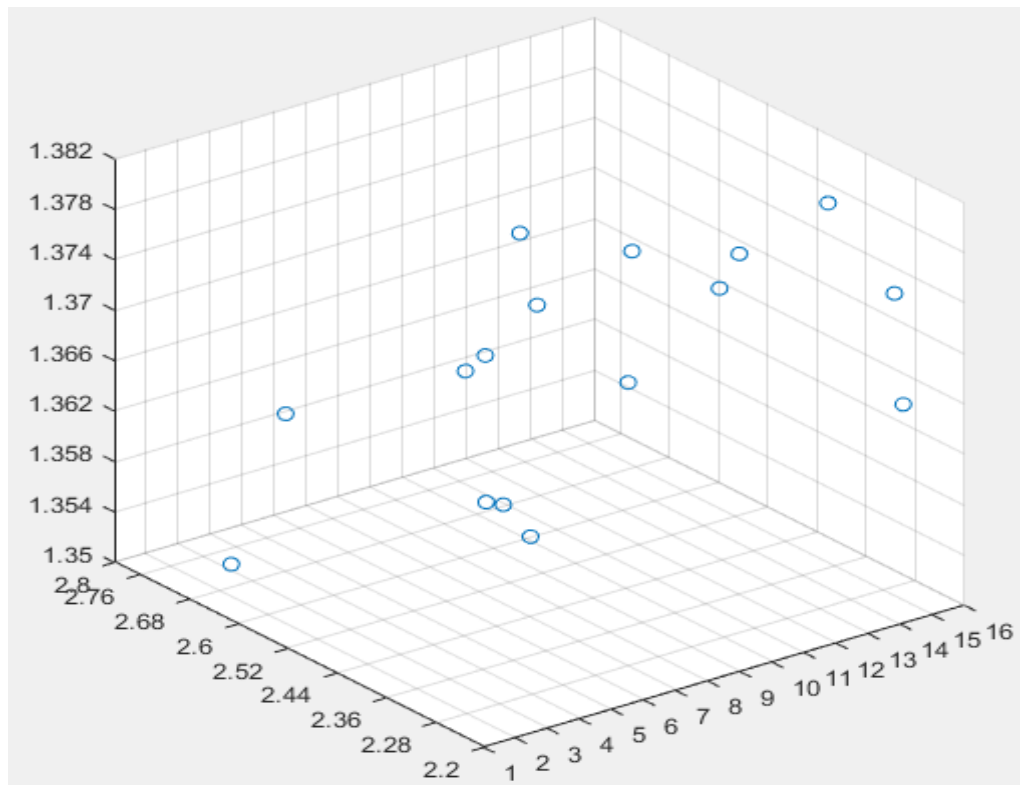
# 云平台上远程数据分析



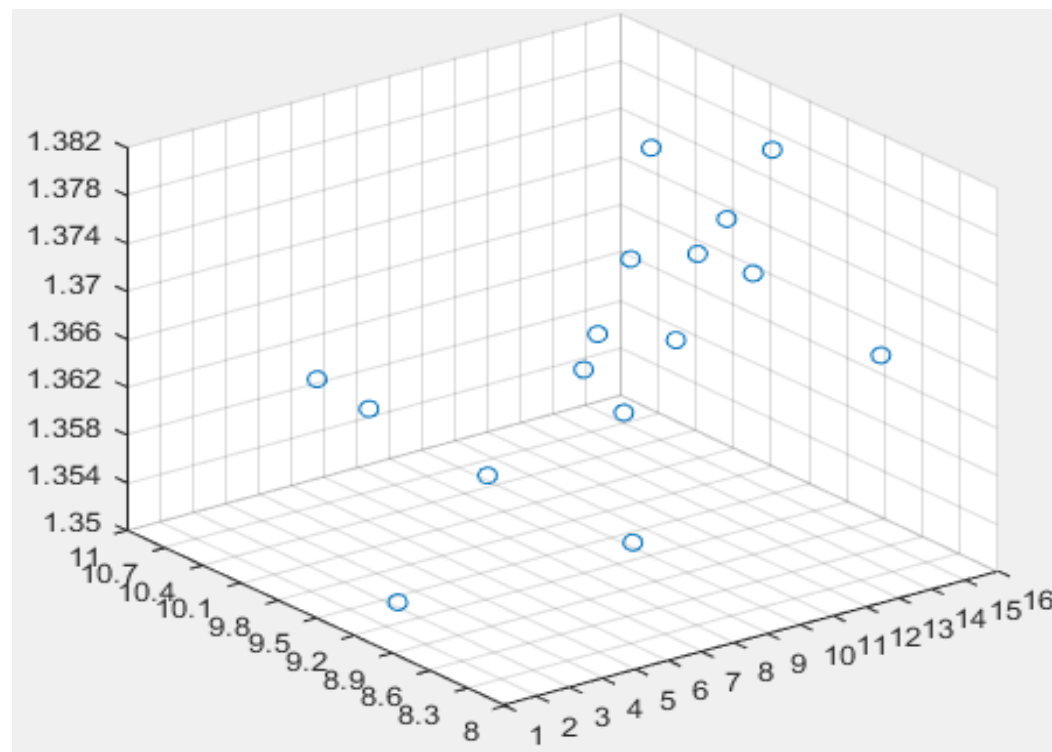
# 云平台远程运维-原始数据挖掘与分析

生产数据使用云技术实现本地服务器与云端服务器数据共联，实现数据在云服务器中存储、查看并分析，下图为未改造前某天生产数据的三维图（**x**轴表示时间，即第一个采样时间记为1，1个小时记录一次；**y**轴为灰分或硫分；**z**轴为分选密度）。可见同一分选密度下硫分与灰分的波动较大，其主要产生的原因是原煤煤质变化过快导致。

### 硫分与分选密度关系



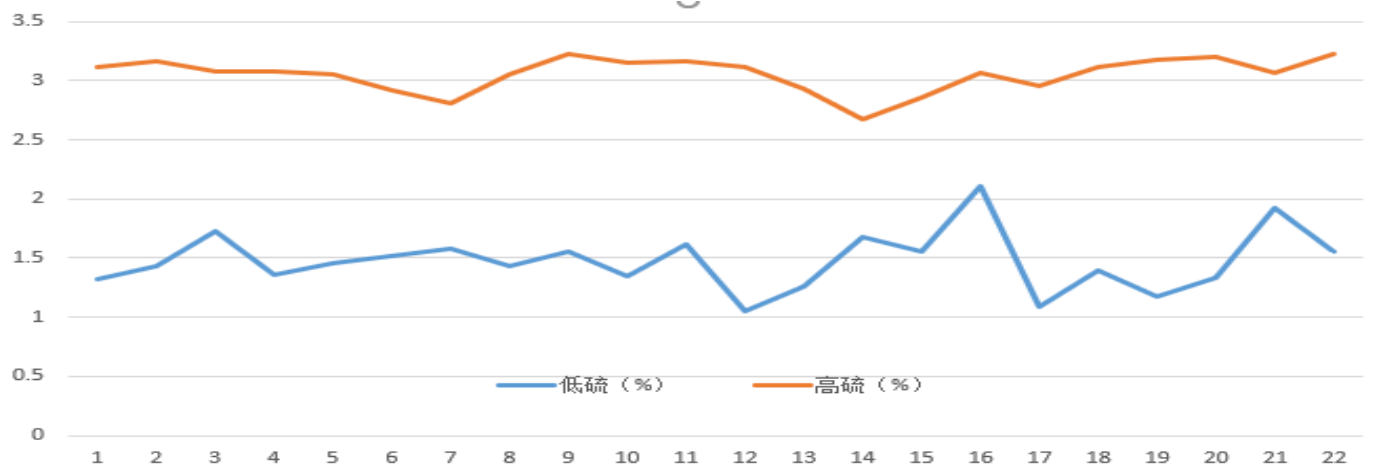
### 灰分与分选密度关系



# 云平台远程运维-原煤硫分及配煤数据挖掘

针对回坡底选煤厂多种原煤混合入选难题，精煤产品目标值：硫分不得超过2.5%，对选煤厂9月某班两种煤质在1.4g/cm<sup>3</sup>密度下精煤浮物的硫分数据汇总分析如下：

低硫 (%)	高硫 (%)
1.32	3.12
1.43	3.16
1.73	3.08
1.36	3.08
1.46	3.05
1.52	2.92
1.58	2.81
1.43	3.05
1.56	3.22
1.34	3.15
1.62	3.16
1.05	3.12
1.26	2.93
1.68	2.67
1.55	2.86
2.11	3.06
1.09	2.96
1.4	3.12
1.17	3.17
1.33	3.2
1.92	3.07
1.56	3.22



根据数据分析可知：

- ① 低硫煤在1.4g/cm<sup>3</sup>的分选密度下精煤浮物的平均硫分在**1.4759%**，**标准方差为：0.2446%**，**精煤硫分平均变化范围为：1.23%-1.72%**（统计口径）
  - ② 高硫煤在1.4g/cm<sup>3</sup>密度下精煤平均硫分在3.053636%，标准方差为：0.13868%，精煤硫分平均变化范围为：2.91%-3.19%（统计口径）
- 由①②可到其高硫与低硫煤在混合入选时，其低硫煤与高硫煤的混合配比在：0.88:1-1:323。



霍州煤电回坡底选煤厂

智能配煤系统

### 配煤信息平台

#### 煤质化验信息输入

精煤灰分	2.1	精煤硫分	0.3	精煤产量	100
2#硫化验	0	10#硫化验	2.9	11#硫化验	1.45

#### 智能配煤模型检测信息

2#实际比例	-0.07	10#实际比例	0.46	11#实际比例	0.59
密度1	1.387	密度2	1.381		

#### 智能配煤模型检测数据

精煤预测	2.51	精煤预测	9.44	产率预测	0.18
2#硫预测	0	10#硫预测	2.87	11#硫预测	1.33

#### 智能配煤决策

##### 智能配煤目标输入

精煤灰分目标	2.5	精煤硫分目标	0.3
--------	-----	--------	-----

##### 智能配煤控制决策值

2#比例决策	0	10#比例决策	2.3	11#比例决策	1
重介密度设定决策		1.45			

### 皮带秤给煤量

#### 101给煤量数据

煤种	无	2#	10#	11#
皮带秤瞬时量	700			
皮带秤累计量	1406			
101给煤量	-14			

#### 102给煤量数据

煤种	无	2#	10#	11#
皮带秤瞬时量	0			
皮带秤累计量	0			
102给煤量	94			

#### 103给煤量数据

煤种	无	2#	10#	11#
皮带秤瞬时量	11			
皮带秤累计量	0			
103给煤量	120			

### 原煤配煤智能控制

配煤控制方式: 自动 手动控制状态 手动

#### 101变频器故障信号

当前频率Hz: 46.203

手动频率Hz: 45.995

智能频率Hz: 14

#### 102变频器故障信号

当前频率Hz: 0.464

手动频率Hz: 30

智能频率Hz: 38

#### 103变频器故障信号

当前频率Hz: 0.525

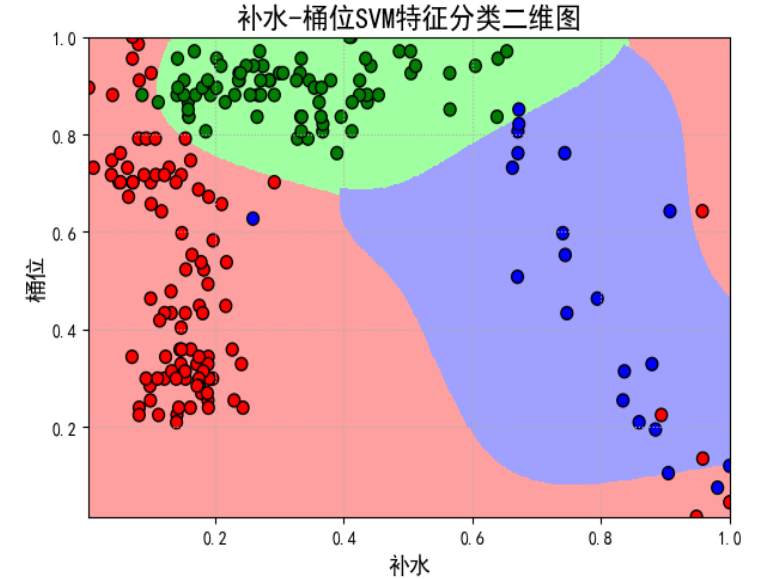
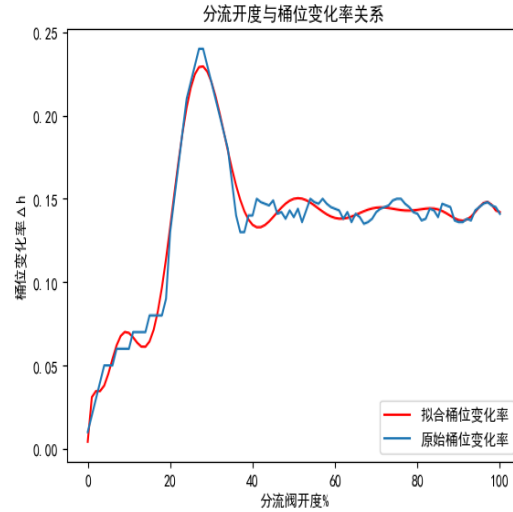
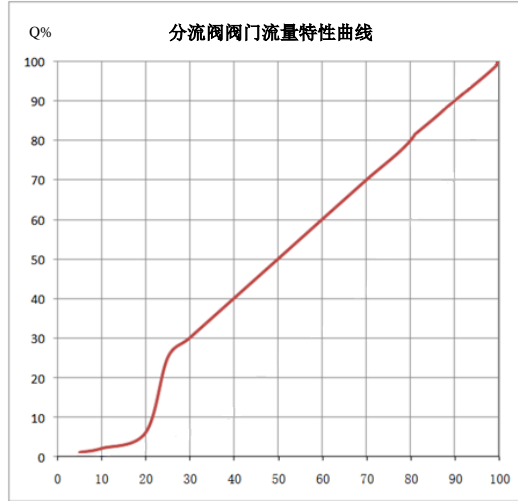
手动频率Hz: 47.998

智能频率Hz: 14

密度控制 | 智能配煤

灰分、硫分双控及重介分选远程智能运维

# 基于远程数据的运行健康诊断—实例



$$\begin{cases} 3x - 3y - 5 = 0 & 0 \leq x < 20 \\ 4x - y - 75 = 0 & 20 \leq x < 25 \\ x - y = 0 & 25 \leq x < 100 \end{cases}$$

分流阀磨损诊断

分流阀控制模型选取



- 检测元件的精度与药剂添加执行机构精度和可靠性难题
- 浮选尾煤灰分在线检测难题
- 浮选泡沫信息高精度检测与智能分析技术
- 软测量技术采用的重要性应予以充分考量
- 基于灰分指标实现浮选智能控制，必须关注浮选精煤灰分统计特性（SPC技术）
- 全域数据驱动与数据挖掘技术对浮选的智能控制的辅助作用。
- 浮选全过程智能化（包括药剂智能添加、尾煤灰分、精煤灰分快速检测、浮选泡沫、运行全流程透明化，装备运行保障、基于大数据的远程运维）

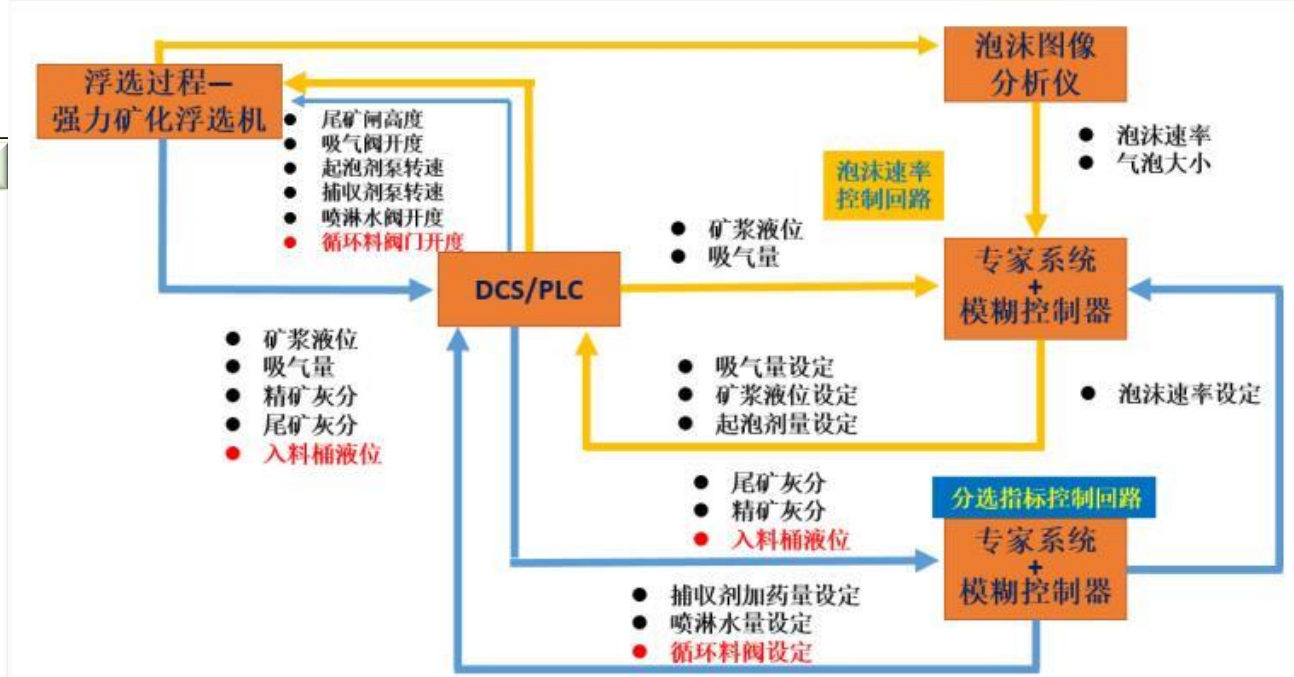
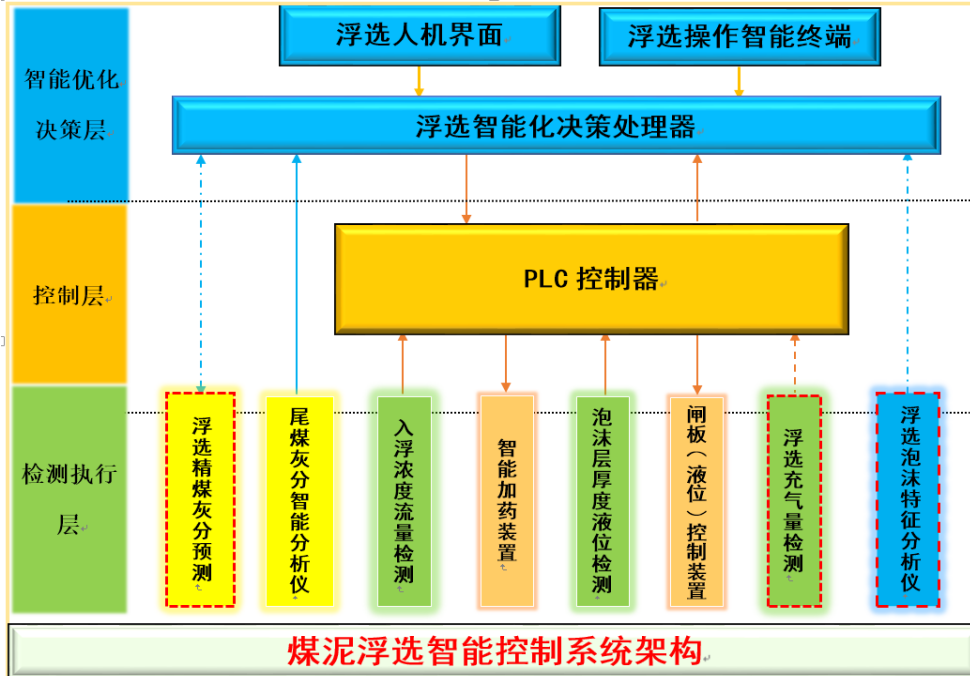


煤泥浮选智能化关键技术

- 1、基于开放结构专家的浮选药剂自动添加
- 2、浮选尾矿图像检测技术
- 3、浮选精煤泡沫分类模型
- 4、浮选精煤软测量技术
- 5、基于浮选精煤灰分的闭环控制

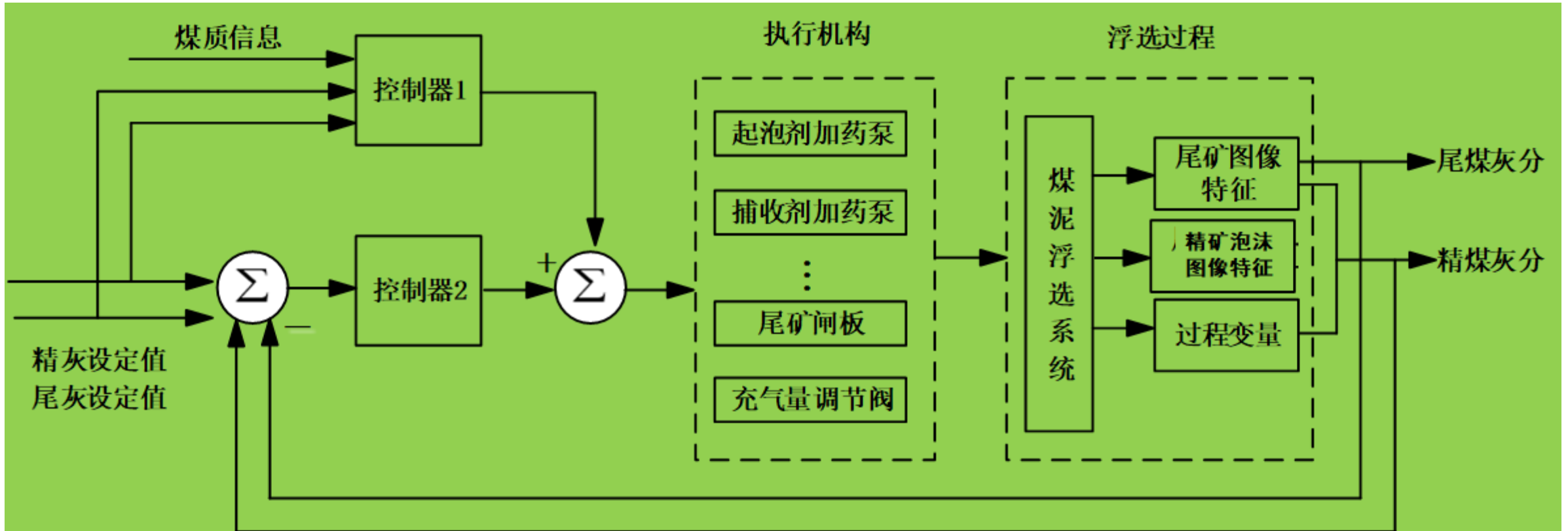


智能浮选控制架构及实现逻辑





# 基于产品指标的浮选智能控制



- 关键技术：
- (1) 浮选尾煤智能图像在线检测技术
  - (2) 浮选泡沫智能分类技术
  - (3) 浮选精煤灰分软测量技术
  - (4) 浮选智能控制技术



太原理工大學  
TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 新一代尾煤灰分智能分析仪



人工快灰试验是现在选煤厂最常规的灰分监测手段，操作简单准确率高。但人工采样、制样和化验到报出结果一般需要2h，具有明显的滞后性，无法精确可靠的指导浮选过程控制。

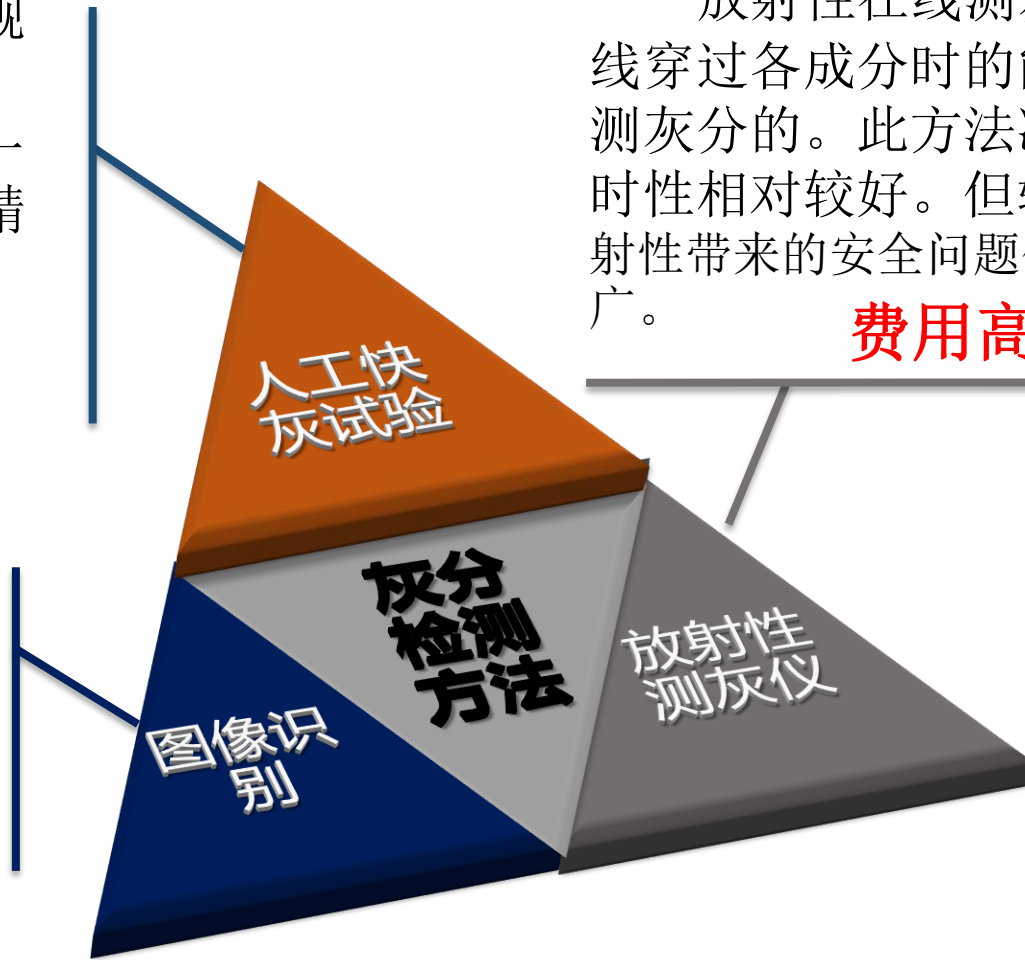
**滞后性强**

基于图像识别技术的尾煤灰分检测技术，是浮煤灰分检测的新兴方向。具有快速性、实时性和非接触性等优点。但大多都只停留在理论和理想实验阶段，如何将机器视觉技术应用到浮选生产过程中依然是一个重大难题。

**有待进一步的深入研究和优化**

放射性在线测灰仪是依靠 $\gamma$ 射线穿过各成分时的能量衰减来检测灰分的。此方法准确性高，实时性相对较好。但较高的费用和放射性带来的安全问题使其无法广泛推广。

**费用高安全问题多**





# 1、煤泥灰分智能分析仪

研发了基于图像检测技术与智能机器学习算法相结合的煤泥灰分智能分析仪，该仪表可实现煤泥（尾煤）灰分的实时检测，**3分钟实现灰分快速检测，灰分测量精度 $\leq \pm 1.5\%$** ，尤其适用于浮选尾煤灰分的在线检测。

时间	灰分数据
2020/8/14 17:20:34	72.6629
2020/8/14 17:24:50	72.7099
2020/8/14 17:25:41	72.7155
2020/8/20 11:01:36	73.6170
2020/8/20 11:06:37	73.6277
2020/8/20 11:11:37	73.5940
2020/8/20 11:16:38	73.6336
2020/8/20 11:21:39	73.6528
2020/8/20 11:26:40	73.6052
2020/8/20 11:31:41	73.6510
2020/8/21 10:50:23	74.4020
2020/8/21 11:09:13	72.5490



目前该装置已经完成产品化设计，联系单位：山西理工智联科技有限公司  
联系电话：13813116069



太原理工大学  
TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 浮选泡沫特征智能提取技术



煤泥浮选过程的主要操作变量包括入料浓度、入料流量、浮选槽充气量及加药量。其中充气量是影响煤泥浮选效果的主要关键变量

(a)



捕收剂与起泡剂用量合适时，如图 (a) 所示的a类泡沫，气泡尺寸大小均匀，颜色偏灰，纹理较复杂，浮选过程良好，泡沫表面承载了较多的精煤，精煤灰分适中

(b)



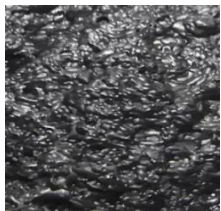
捕收剂过量时图 (b) 所示的b类泡沫，泡沫层会变得紧密，气泡多为扁长形状，颜色发黑，纹理（非常）复杂，精煤灰分较高，这是由于煤颗粒表面性质被改变，使得黏附在气泡上的精煤过多

(c)



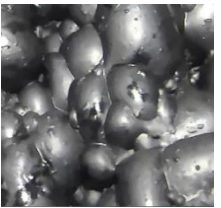
捕收剂用量少时，形成如图 (c) 所示的c类泡沫，泡沫表面颜色会变浅且光滑，气泡形态较大，纹理复杂性小，精煤灰分较低

(d)



起泡剂过量时，形成如图 (d) 所示的d类泡沫，泡沫层较厚，大量的泡沫重叠如蜂窝状，形成的气泡较小，多为碎泡，形状不规则，颜色较黑，纹理（非常）复杂，气泡稳定度较高，溢流速度慢，精煤灰分非常高

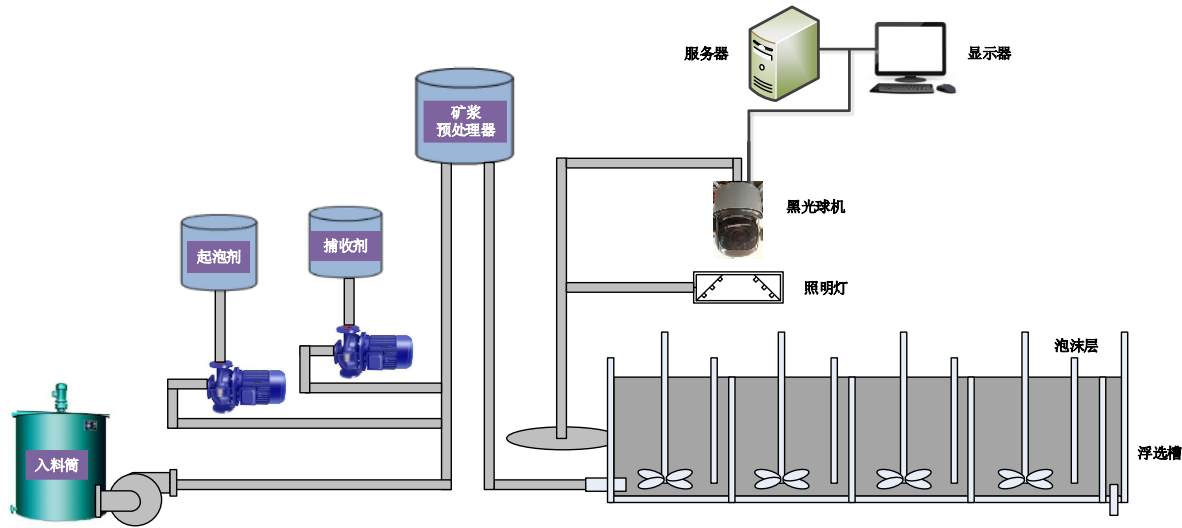
(e)



起泡剂用量较少时，形成如图 (e) 所示的e类泡沫，泡沫层变薄，气泡尺寸大小不一，颜色较浅，纹理复杂性小，气泡壁较薄容易破裂或发生兼并，气泡不稳定，精煤灰分很低



## 浮选泡沫智能图像在线检测技术



该系统在汾西矿业柳湾选煤厂进行了工业性试验，系统可以根据当前泡沫状况视觉识别判断加药情况。





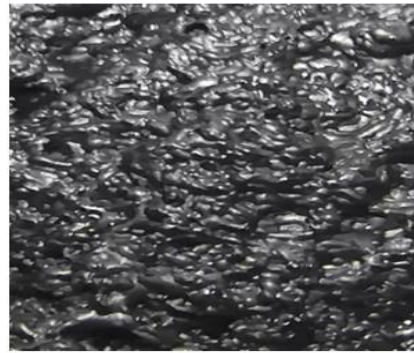
# 浮选泡沫状态智能分类技术



(a)



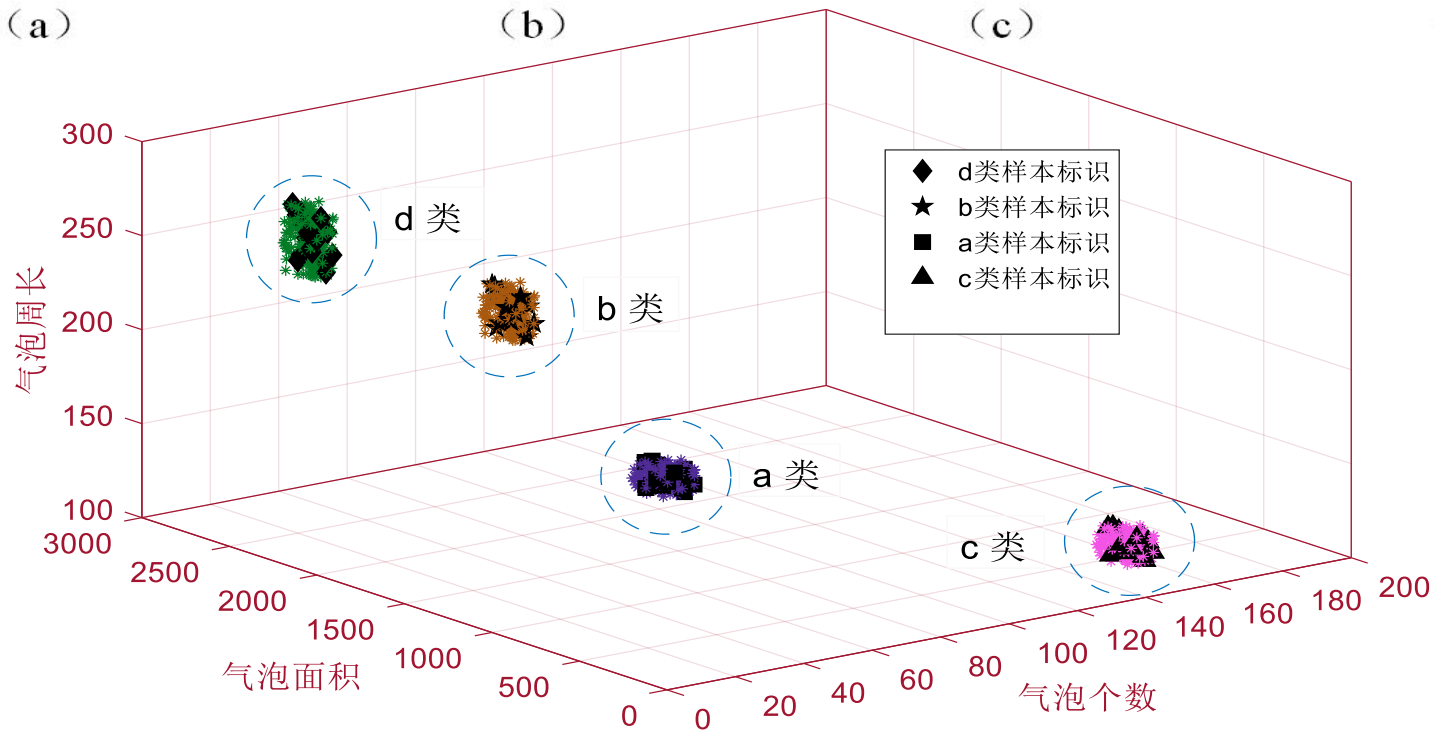
(b)



(c)

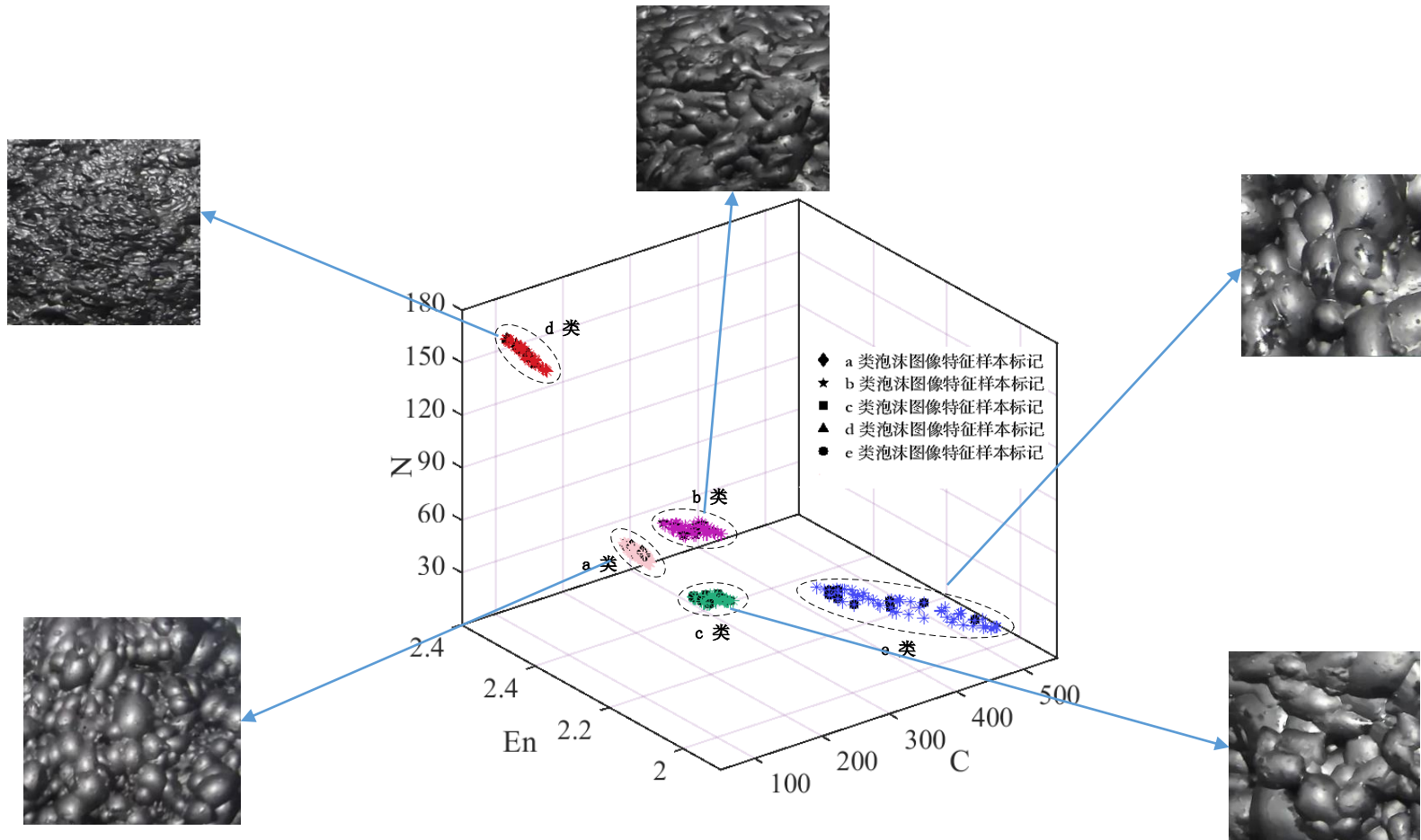


(d)



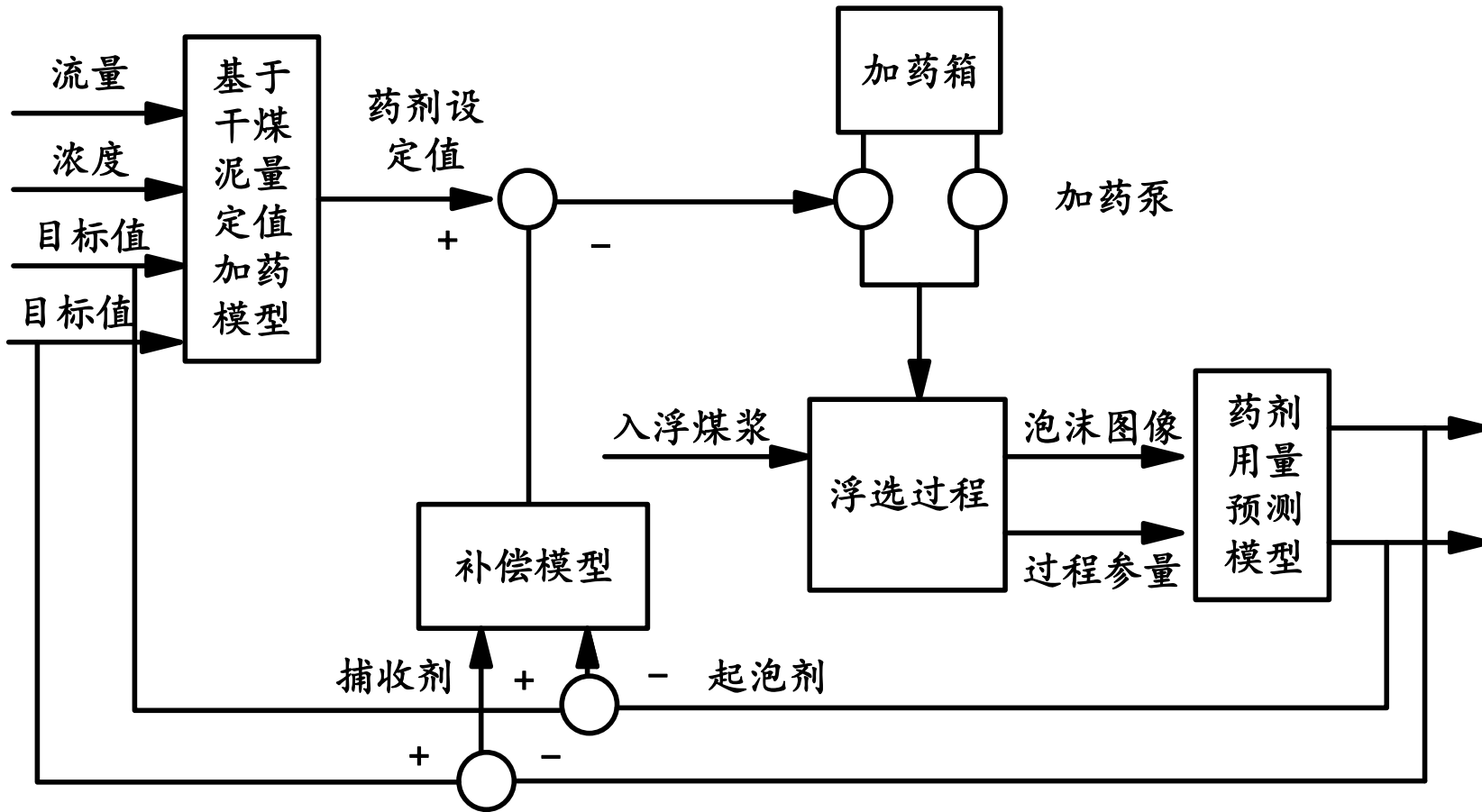


未知加药比例下800张泡沫图像的特征样本 $X_{800 \times 4}$ 不做标记。将已标记的泡沫图像特征样本和未标记的泡沫图像特征样本混合得到混合特征样本集 $X_{850 \times 4}$ 。对混合泡沫图像混合特征样本进行聚类，经聚类后得到各类簇，并且以不同颜色作为不同类簇的标志。将各类簇中已标记的泡沫图像特征样本的信息映射给未标记泡沫图像特征样本，结果如图。





入浮流量检测，入浮浓度检测，图像特征：提取泡沫平均尺寸、颜色、纹理10个特征参量，基于MRMR特征选择算法筛选



浮选药剂添加策略控制框图

- 浮选药剂添加策略是由**定值加药模型、补偿模型和药剂用量预测模型**组成。
- 定值加药模型的药剂添加量是根据入浮干煤泥量不同区间而给定。
- 补偿模型根据工艺指标目标值和参数计算值偏差给出药剂补偿值，
- 预测模型为浮选泡沫分类特征后的补偿部分。



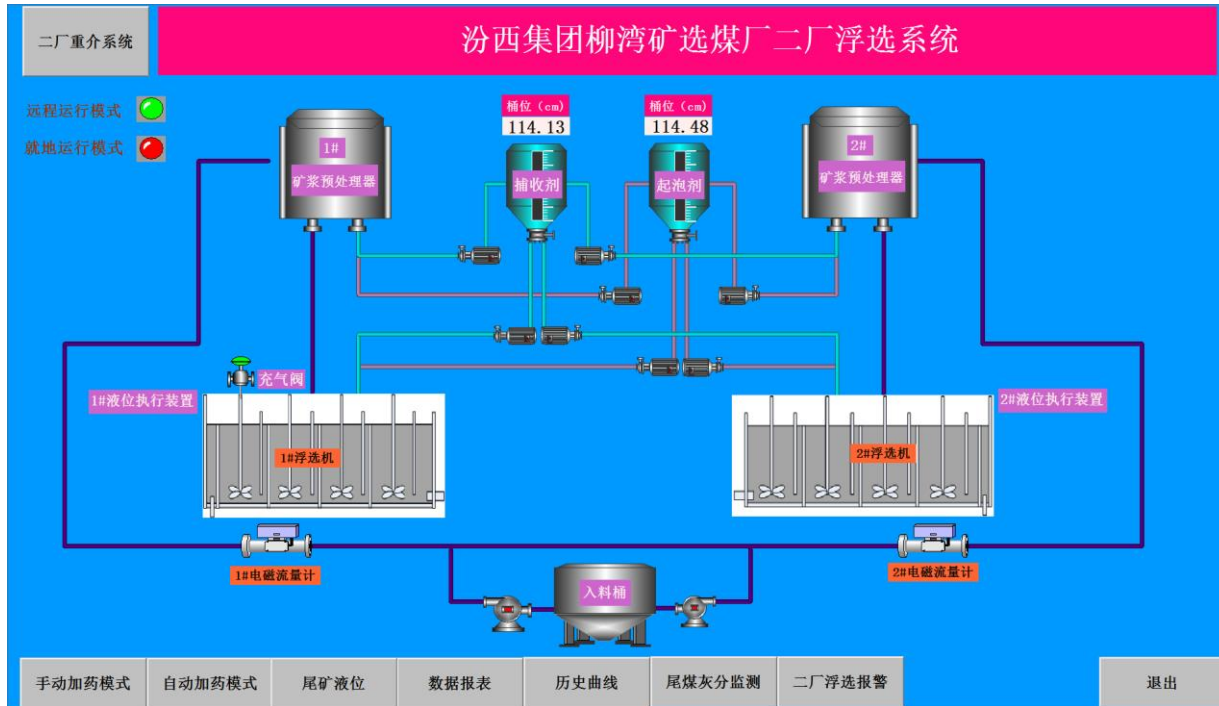
太原理工大学  
TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 浮选智能化现场应用



# 浮选全流程智能控制功能架构（三层）



浮选全流程智能控制系统上位机  
实现信息汇聚与智能控制开发



现场触摸屏  
方便现场操作

手动加药系统 | 汾西集团柳湾矿选煤厂浮选智能控制APP

设备名称: 68.675 | 切换至自动加药系统

设备名称	入药流量 ml/h	矿浆流量 (t/min)	药剂名称	药剂浓度	设定流量 ml/min	当前流量 ml/min	累计流量 L
1#矿浆预处理器	476.987	0.545	起泡剂	开	1.104	1.104	343.076
			捕收剂	开	1.656	1.656	563.500
2#矿浆预处理器	464.900	0.532	起泡剂	开	283.186	283.186	50.518
			捕收剂	开	0.000	0.000	0.000
1#浮选机	476.987	0.545	起泡剂	开	0.000	0.000	0.000
			捕收剂	开	0.000	0.000	0.000
2#浮选机	464.900	0.532	起泡剂	开	0.000	0.000	0.000
			捕收剂	开	0.000	0.000	0.000

切换至手动加药系统 | 打印 | 返回

清除报警: 1.200 | 报警清除: 0/150

设备名称	入药流量 ml/h	矿浆流量 (t/min)	矿浆浓度 (g/t)	药剂名称	药剂浓度	设定流量 ml/min	当前流量 ml/min	累计流量 L
1#矿浆预处理器	476.531	0.535	2.000	起泡剂	开	1.164	1.164	343.076
			3.000	捕收剂	开	1.656	1.656	563.500
2#矿浆预处理器	477.264	0.527	0.000	起泡剂	开	283.186	283.186	50.527
			0.000	捕收剂	开	0.000	0.000	185.831
1#浮选机	476.531	0.536	0.000	起泡剂	开	0.000	0.000	0.000
			0.000	捕收剂	开	0.000	0.000	0.000
2#浮选机	477.264	0.537	0.000	起泡剂	开	0.000	0.000	0.000

移动终端  
方便远程操作

# 浮选入料浓度、液位（泡沫层厚度）在线检测

浮选液位自动监测系统主要用于检测浮选机液位（泡沫层厚度）。在浮选机第四室尾矿槽闸板处安装激光位移传感器，根据闸板高度计算浮选机液位高度，实现对泡沫层控制。



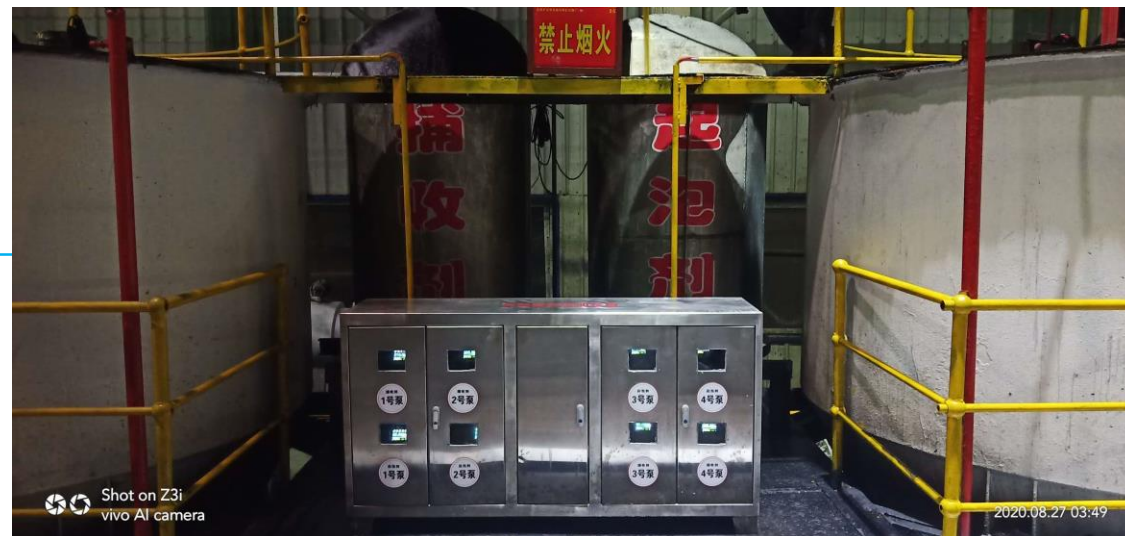
型号	80180
管径	DN80
通讯方式	工业以太网, 4-20mA HART, PROFIBUS PA/DP, Modbus RS485, 基金会现场总线 (FF)
连接方式	法兰式
精度	<b>1%g/cm<sup>3</sup></b>



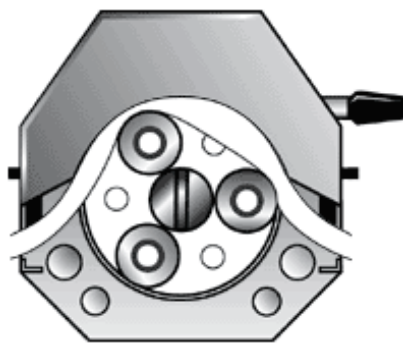
# 浮选药剂智能添加装置

## 自动加药系统对药剂泵性能的要求

- 1、加药量精确，精确度应 $<1\%$
- 2、运行稳定可靠



原理是利用旋转的转轮滚压具有弹性的软管，软管中的流体随着转轮的旋转而移动。加药精度可达到 $1\% \sim 0.5\%$ 。由于液体仅接触软管，清洗更换方便。



蠕 动 计 量 泵

- 药剂罐和执行装置一体化设计
- 药剂总量和分量互校正
- 合理的过滤设计
- 高精度易更换设计

# 现场控制单元仪



# 煤泥灰分智能分析仪



# 1、基于开放结构专家系统（或案例推理技术）的浮选药剂自动添加

退出 自动加药专家规则表

煤泥真密度 1.450 浓度 (g/l) 42.7 1#流量 (m3/h) 489.325 2#流量 (m3/h) 431.538 1#干煤泥量 (t/min) 0.348 2#干煤泥量 (t/min) 0.307

入浮浓度	1#流量				2#流量			
	<200	200-400	400-500	>500	<200	200-400	400-500	>500
<20	20	10	40	14	60	20	60	20
20-30	35	12	60	20	90	30	120	40
30-40	60	20	80	27	120	40	150	50
40-50	80	23	100	33	150	50	180	60
50-60	90	30	130	43	180	60	190	63
60-70	95	31	140	48	185	62	195	65
>70	100	33	150	50	190	65	200	67

注：图中黄色显示框为起泡剂加药量 (ml/min)，绿色显示框为捕收剂加药量 (ml/min)

退出 自动加药系统 手动加药系统

煤泥真密度 1.450 自动加药启动按钮 当前运行模式 手动加药

浓度 (g/L) 41.6324

1#流量 (m3/h) 455.256 1#干煤泥量 (t/min) 0.316

2#流量 (m3/h) 455.688 2#干煤泥量 (t/min) 0.31619

急停 复位

1#矿浆预处理器 起泡剂 捕收剂

2#矿浆预处理器 起泡剂 捕收剂

开关显示 当前流量值 (ml/min) 累计液量值 (L)

设备	起泡剂	捕收剂	当前流量值 (ml/min)	累计液量值 (L)
1#浮选机加药专家系统	230	65	230	186.38
2#浮选机加药专家系统	235	60	235	557.437
2#浮选机加药专家系统	60		60	333.569

退出 1#浮选机加药专家系统

当前浮选入浮浓度 (g/L) 11.9821 1#浮选机当前入浮浓度 (g/L) 501.688 1#浮选机当前干煤泥量 (t/min) 0.351032 1#浮选机出口煤量 (t/min) 230 65

入浮浓度 (g/L)	1#流量				2#流量			
	<200	200-400	400-500	>500	<200	200-400	400-500	>500
<20	20	10	40	14	60	20	60	20
20-30	35	12	60	20	90	30	120	40
30-40	60	20	80	27	120	40	150	50
40-50	80	23	100	33	150	50	180	60
50-60	90	30	130	43	180	60	190	63
60-70	95	31	140	48	185	62	195	65
>70	100	33	150	50	190	65	200	67

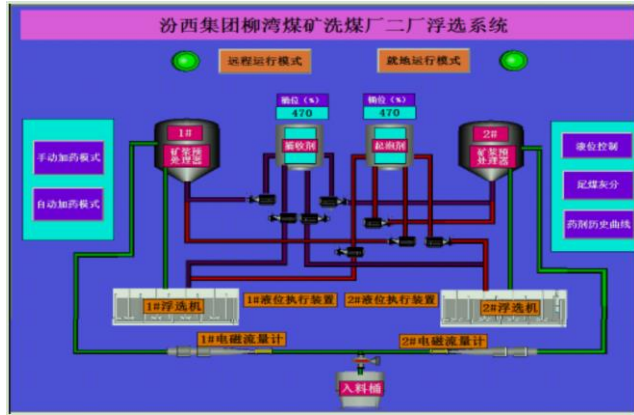
注：图中黄色输入框为起泡剂加药量 (ml/min)，绿色输入框为捕收剂加药量 (ml/min)

当前运行模式 手动加药

MCGS



# 浮选过程智能自动控制系统-柳湾选煤厂



### 手动加药系统

退出 | 手动加药系统 | 自动加药系统

多台/单台切换模式  
预处理加药点

多台开始加药 | 多台/单台切换模式  
浮选机加药点 | 多台开始加药

多台停止加药 | 多台 | 单台

设备名称	当前流量值	设定流量值	累计流量值
1#浮选机	470	470	470
2#浮选机	470	470	470
1#浮选机	470	470	470
2#浮选机	470	470	470

### 自动加药系统

退出 | 自动加药系统 | 手动加药系统

设备流量值 | 输入框

设备名称	当前流量值	设定流量值	累计流量值
1#浮选机	470	470	470
2#浮选机	470	470	470
1#浮选机	470	470	470
2#浮选机	470	470	470

### 尾槽液位控制

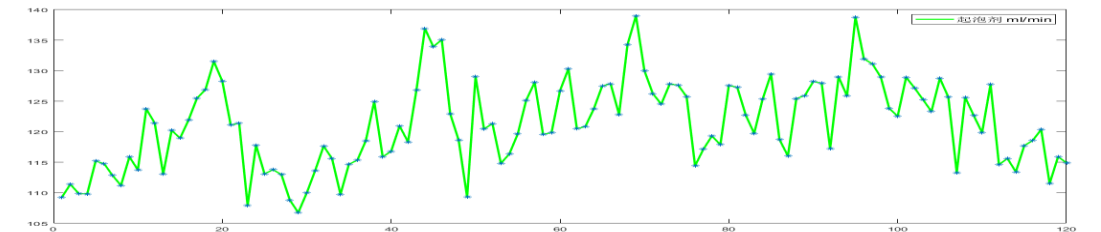
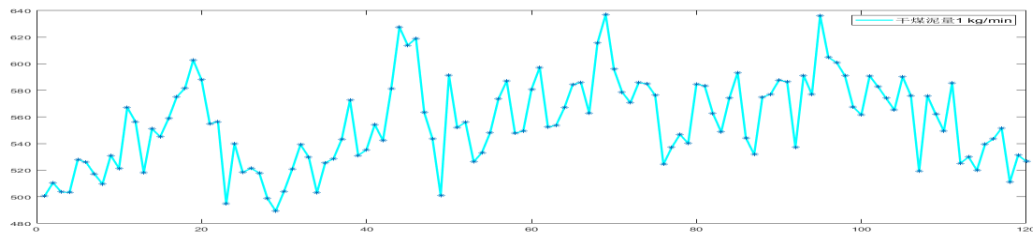
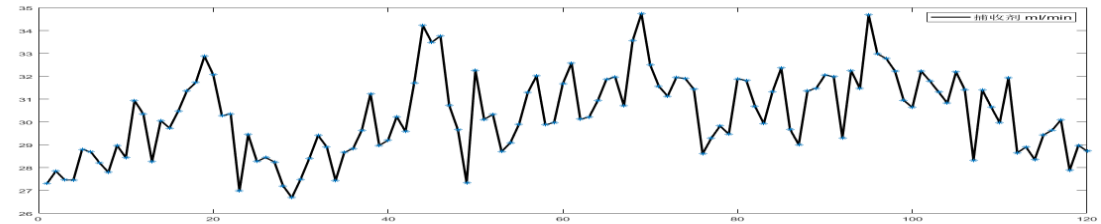
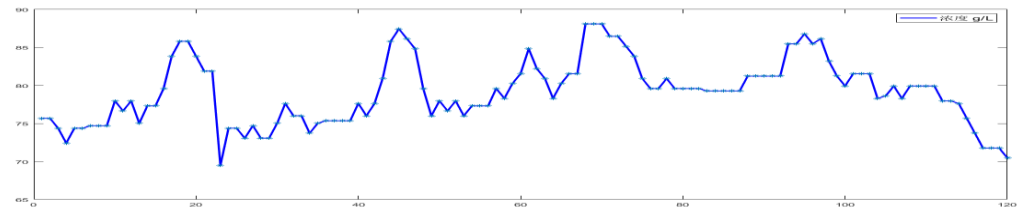
退出

1#浮选机尾槽液位 (mm) 1.23 | 2#浮选机尾槽液位 (mm) 1.22

模式1 | 模式2

1#浮选机液位自动控制 就地 | 2#浮选机液位自动控制 就地

提升 | 下降 | 提升 | 下降





## 控制系统特点与优势

- 实现了入料浓度、流量、浮选泡沫层厚度（液位）的高精度检测。
- 实现了浮选尾煤灰分分的在线快速检测（3分钟），灰分测量精度 $\leq \pm 1.5\%$ 。
- 实现了基于专家系统的浮选药剂自动添加
- 实现了浮选泡沫特征精准分类
- 实现浮选精煤灰分软测量，实现浮选全流程智能控制
- 实现了移动巡检加药，实现浮选无人值守



## 结束语

- 智能化建设促进了重介分选和浮选智能化水平的深化
- 全过程智能重介分选架构设计与关键技术研究及进展
- 全过程智能浮选的研发与实践
- 浮选尾煤灰分分析仪和浮选泡沫图像特征分析仪研发是浮选智能化的重要方面
- 重选、浮选智能化设备一体化设计
- 炼焦煤精煤回收率提高应该进入智能化建设的重要内容





太原理工大学  
TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 感谢您的聆听！

太原理工大学 王然风

电话：18636663105

微信：w779296002