



太原理工大学

重介与浮选过程智能控制技术

姓名： 王然风

单位：太原理工大学



重介分选过程控制面临的主要难题

- 密度控制是重介分选的核心控制技术，但现有密控技术适应性存在较大问题，比如湿煤、脱泥入洗等。
- 重介悬浮液密度智能设定是保证精煤产品质量及稳定性的重要实现技术，传统密控系统无法实现。
- 基于产品灰分指标实现密度设定值上下调整，必然要求分流必须实现自动化。
- 重介分选中存在密度稳定性和粘度合理性的两重标准。
- 基于精煤灰分指标在线检测的密度智能设定需要关注灰分的统计特性。



重介过程智能分选

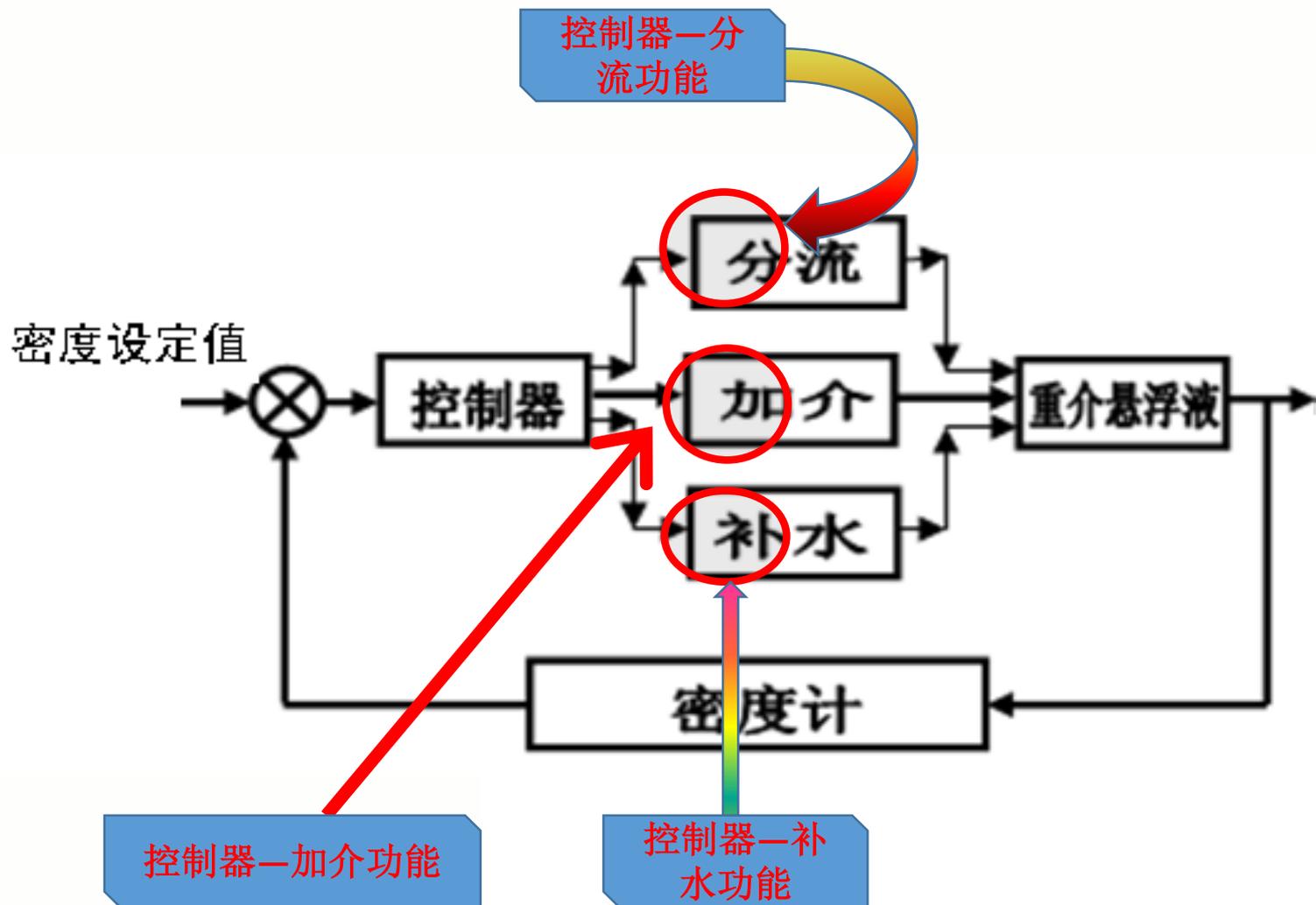
太原理工大学

- 1、重介悬浮液密度智能控制
- 2、基于专家系统的重介悬浮液密度设定值开环控制
- 3、基于统计过程控制（SPC）方法的闭环控制



1、重介悬浮液密度智能控制

太原理工大学





1、重介选煤密度智能控制

- 1、针对炼焦煤和动力煤两种工艺开发
- 2、针对不同工况（正常与异常工况）开发
- 3、可实现分流控制和补水两套执行机构无扰切换。
- 4、密度控制系统中包含各种桶位平衡控制、旋流器入口压力、磁性物含量（煤泥含量）、悬浮液密度等控制环节。
- 5、实现了质量稳定、分选精度高、介耗消耗低的目标



国内外同类技术对比

太原理工大学

比较内容	国际	国内	本项目
控制目标	密度稳定	密度稳定	密度和磁性物含量双重稳定
控制算法	PID	PID	PID+多重解耦模糊寻优控制器
补水和分流 执行方式	补水自动，分流手动	补水自动，分流手动	分流和补水无扰切换自动运行
控制精度	$\pm 0.01\text{g/cm}^3$	$\pm 0.01\text{g/cm}^3$	$\pm 0.003\text{g/cm}^3$
工况适应性	只能适应正常工况	只能适应正常工况	正常工况和异常工况均可
控制效果	保证悬浮液密度稳定	保证悬浮液密度稳定	保证悬浮液密度稳定，同时保证重介分选设备的分选精度

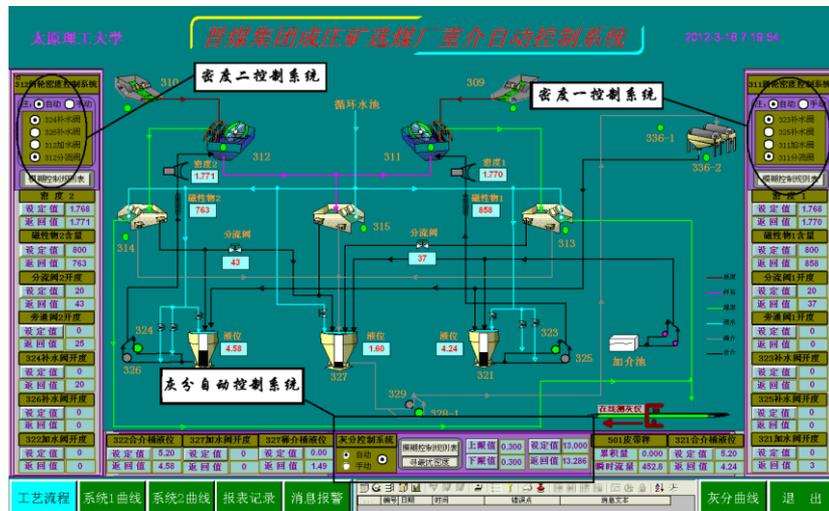
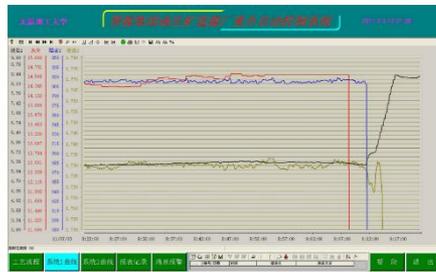


1、重介选煤密度智能控制

太原理工大学

重介悬浮液密度智能控制实例

- a、降低选煤厂吨煤重介质消耗0.2Kg
- b、提高精煤产率0.3%-1.0%
- c、提高选煤厂自动化水平，降低工人劳动强度。
- d、在晋煤、西山、汾西等煤炭集团成功应用。
- e、获得山西省科技进步奖。

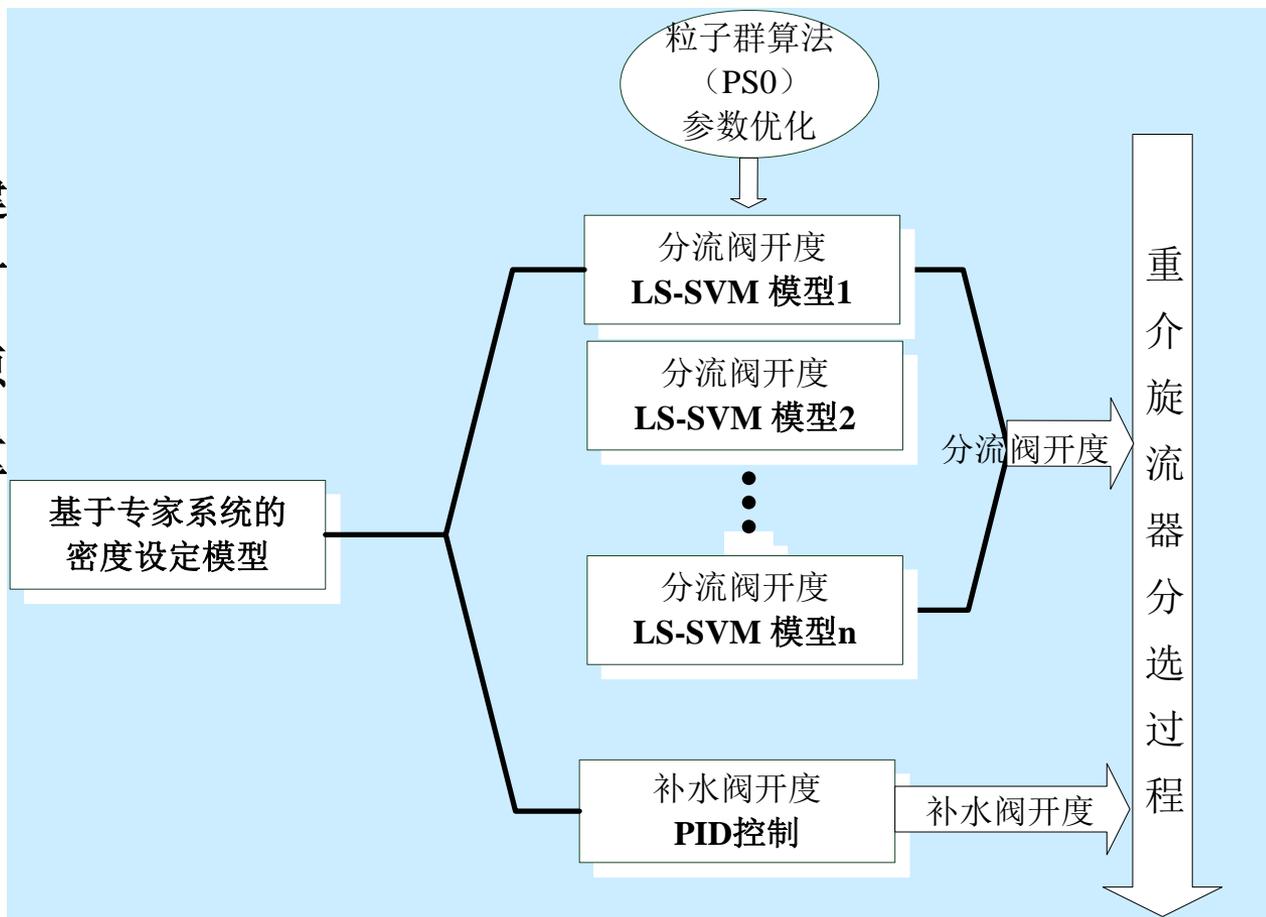




2、重介悬浮液密度设定值优化控制-开环控制

太原理工大学

见建
如可
及原
的重



的意
，例
，以
合理

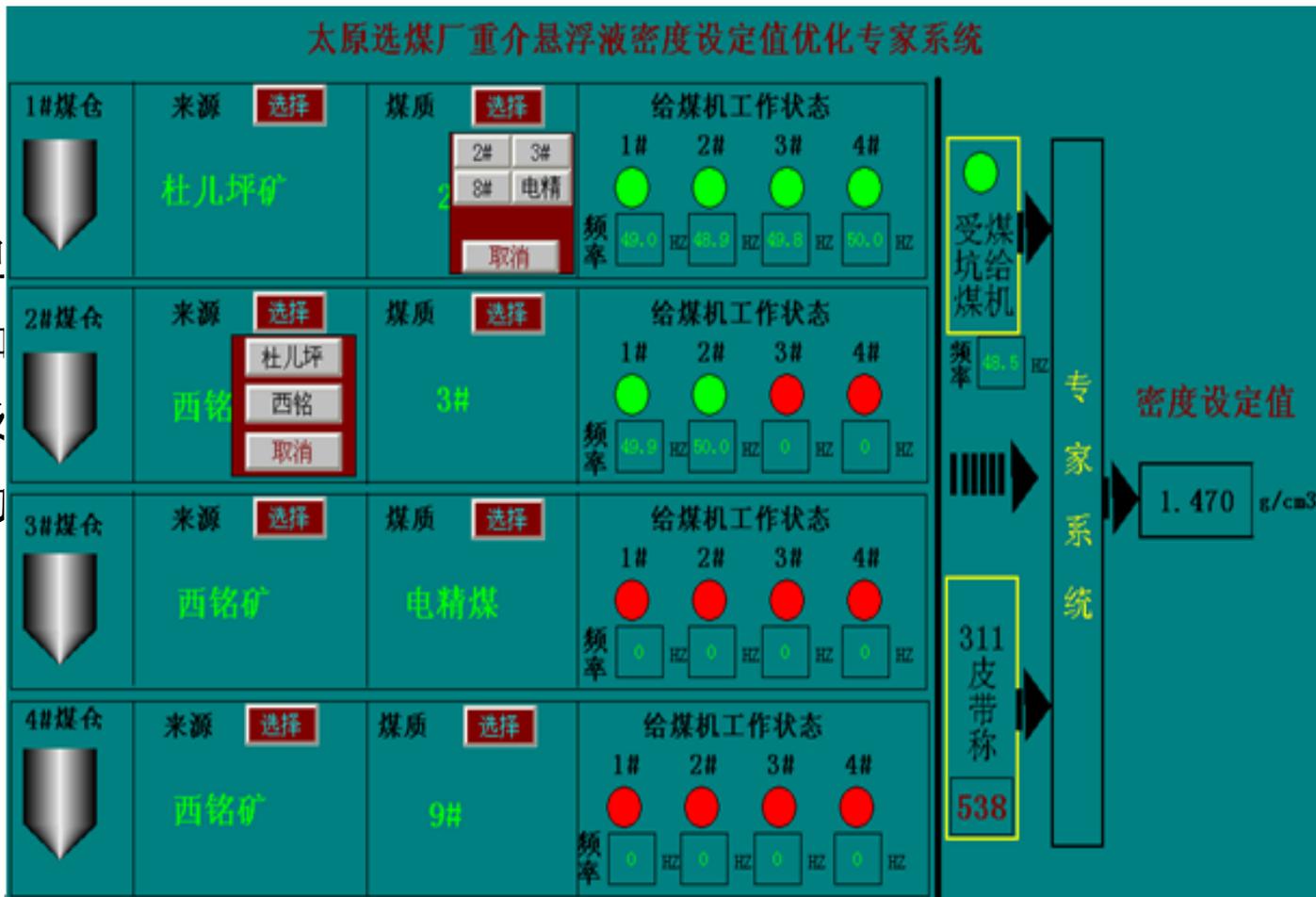
重介悬浮液密度设定值优化及智能控制系统



2、重介悬浮液密度设定值优化控制-开环控制

太原理工大学

见
如
及
的

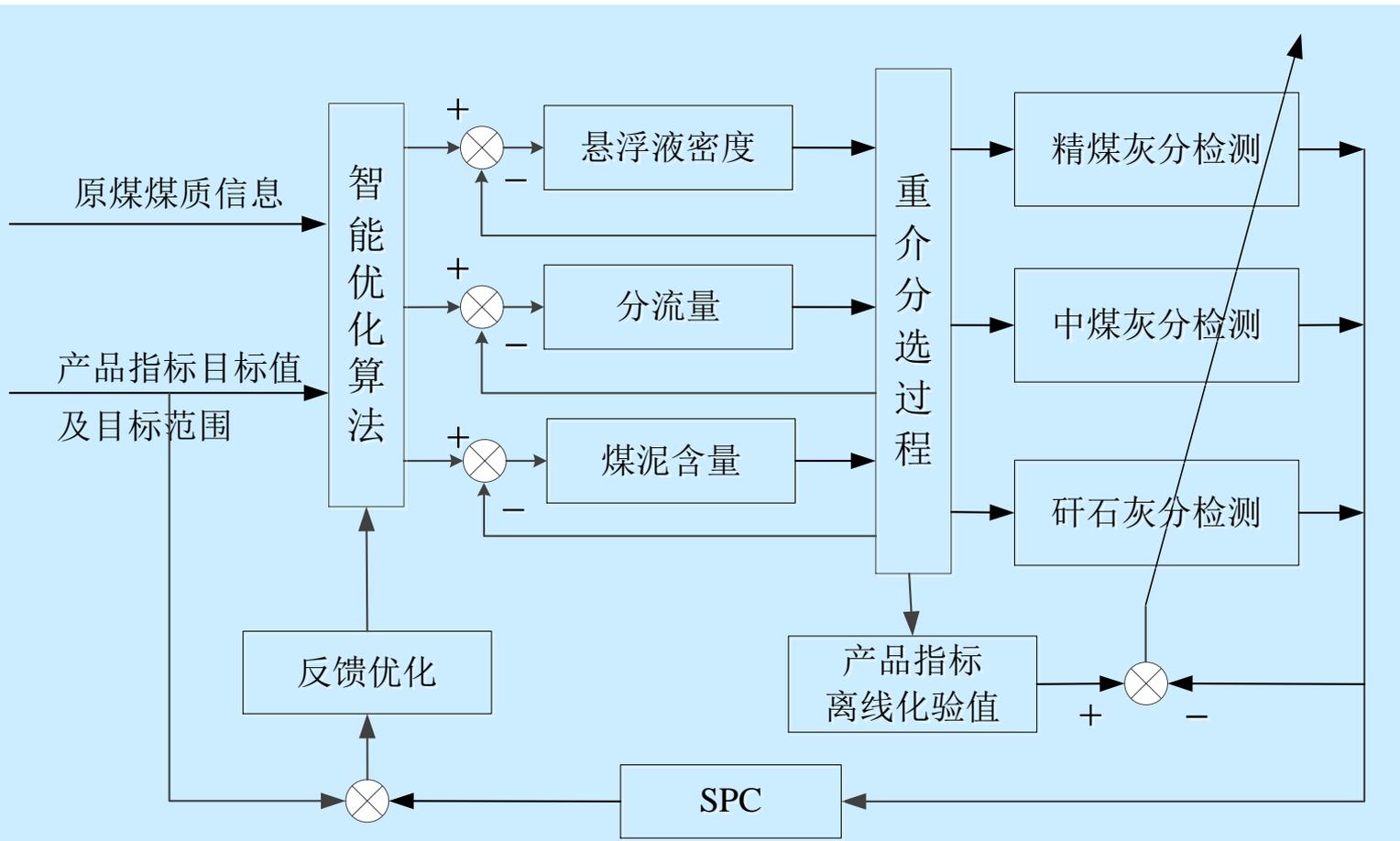


炼焦煤重介分选系统关键技术研究与应用：2018年煤炭工业协会科技奖



3、重介悬浮液密度设定值优化控制-闭环控制

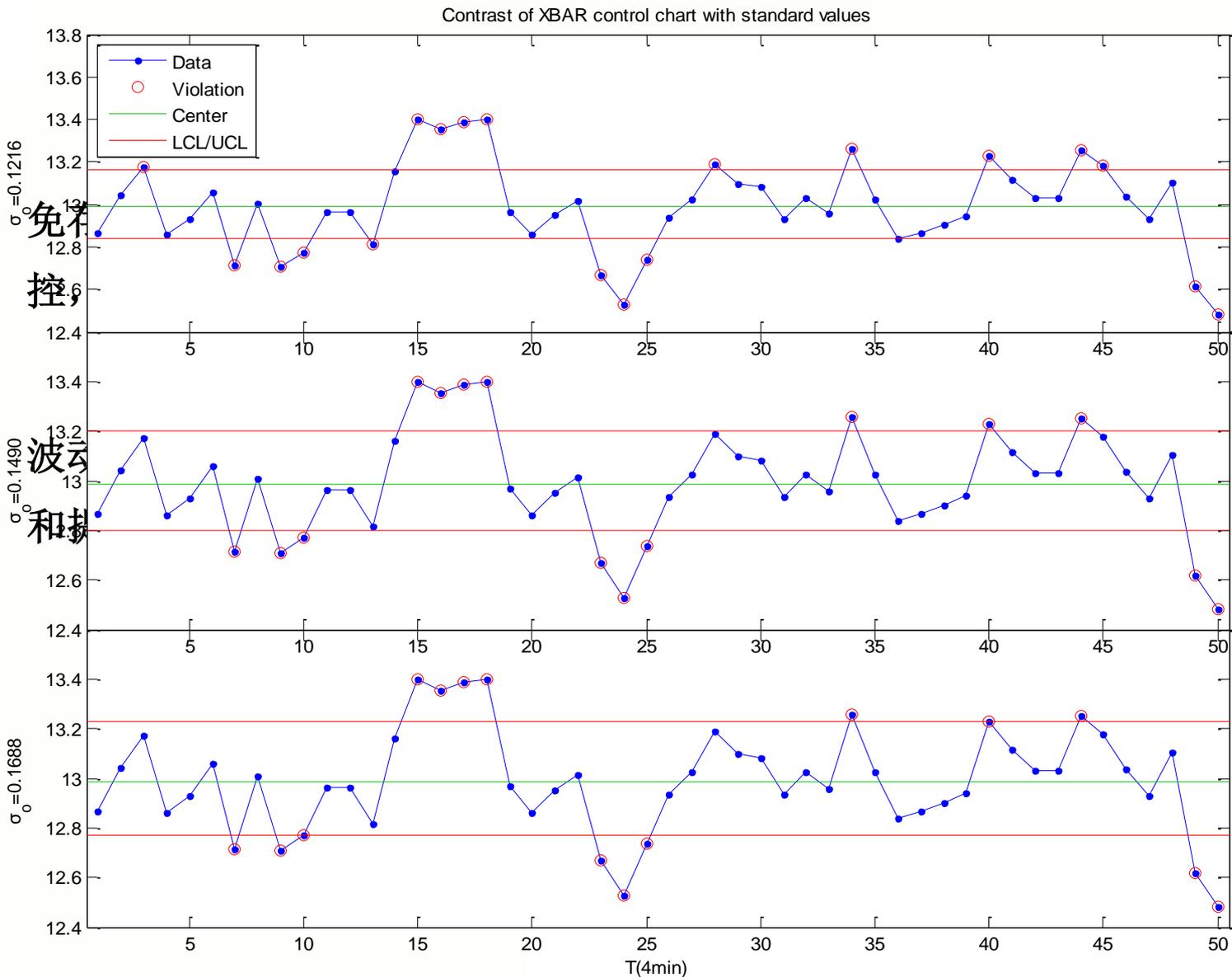
太原理工大学





3、重介悬浮液密度设定值优化控制-闭环控制

太原理工大学





浮选过程控制面临的主要难题

太原理工大学

- ✓ 药剂自动添加是浮选智能控制的重要手段，药剂添加量较小，药剂存在杂质，如何选用可靠、精确的加药执行机构，**精确、可靠是前提。**
- ✓ 浮选尾煤灰分检测对于保障精煤回收率和品质至关重要，但没有可选用的传感器。
- ✓ 浮选精煤灰分传感器选用困难。



浮选过程智能分选

太原理工大学

- 1、基于开放结构专家系统的浮选药剂自动添加
- 2、浮选尾矿图像检测技术
- 3、浮选精煤软测量技术
- 4、基于浮选精煤灰分的闭环控制



太原理工大学

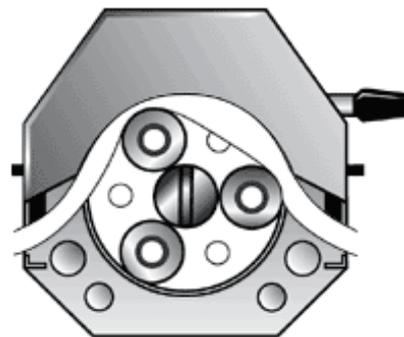
1、基于开放结构专家系统的浮选药剂自动添加

·加药执行机构选择

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。

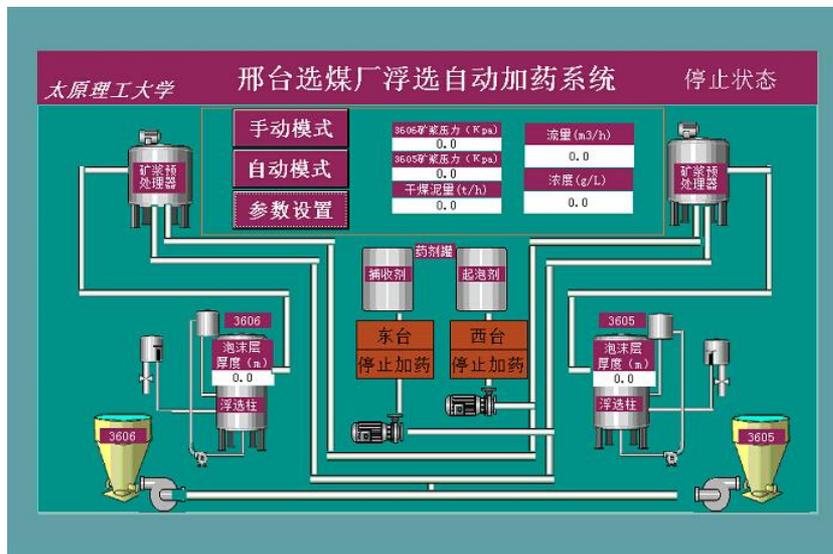


蠕 动 计 量 泵



1、基于开放结构专家系统的浮选药剂自动添加

太原理工大学



返回 药剂配方修改 自动状态

邢台煤药剂配方 配煤1 药剂配方
 邢台东煤药剂配方 配煤2 药剂配方

301皮带秤 0.0 201本矿煤皮带 ●
 301灰分 0.0 2221邢台东煤皮带 ●

流量 0.0 浓度 0.0 干煤泥量 0.0

退出 当前药剂配方 自动状态

修改药剂配方

注：浅蓝色区域为捕收剂配方，黄色区域为起泡剂配方。

浓度 \ 干煤泥量	< 0	0 - 0	0 - 0	> 0
邢台煤	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
邢台东煤	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
配煤1	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
配煤2	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0

东台 停止加药 西台 停止加药 流量 0.0 浓度 0.0 干煤泥量 0.0



1、基于开放结构专家系统的浮选药剂自动添加

太原理工大学

针对煤种变化药剂配方表自动切换

针对邢台矿入洗煤种复杂的实际情况，系统针对各个煤种设置独立加药制度表，控制系统根据各煤仓仓下皮带开停信号以及原煤灰分，自动判断入洗煤种。一旦煤种发生变化，则加药制度相应作出调整。

返回 药剂配方修改 自动状态

邢台煤药剂配方 配煤1 药剂配方

邢台东煤药剂配方 配煤2 药剂配方

301皮带秤 0.0 201本矿煤皮带 ●

301灰分 32.1 2221邢台东煤皮带 ●

流量 406.9 浓度 57.1 干煤泥量 22.7

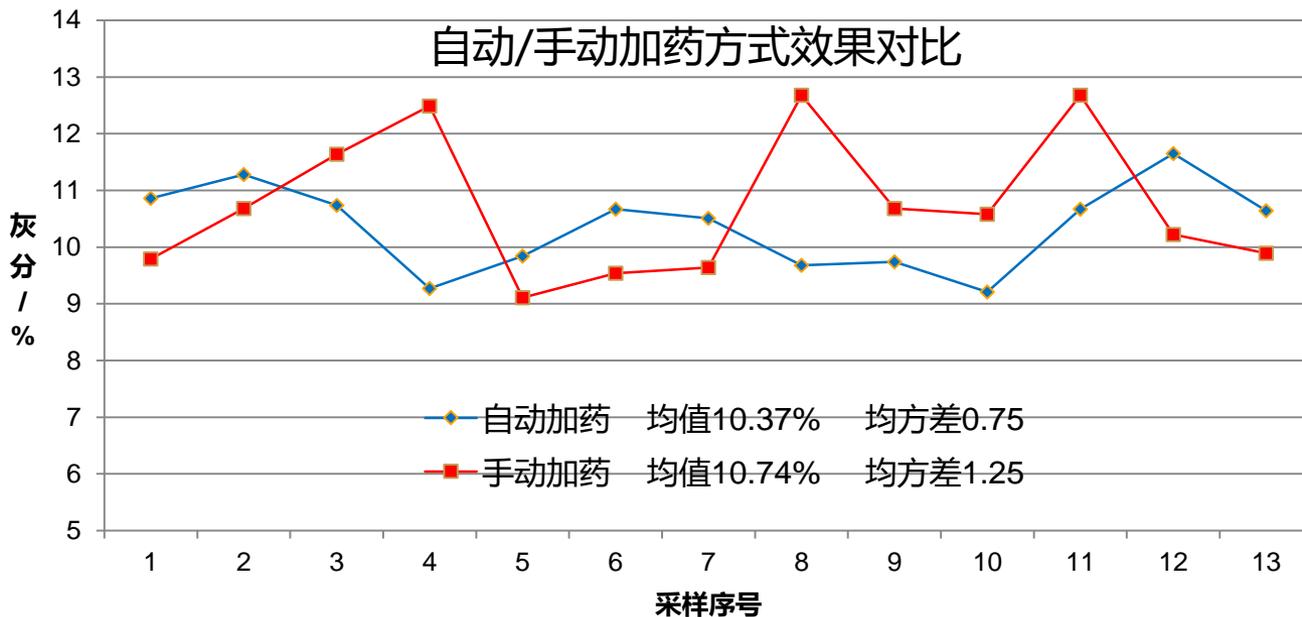


1、基于开放结构专家系统的浮选药剂自动添加

太原理工大学

• 现场应用效果

质 量 控 制 稳 定

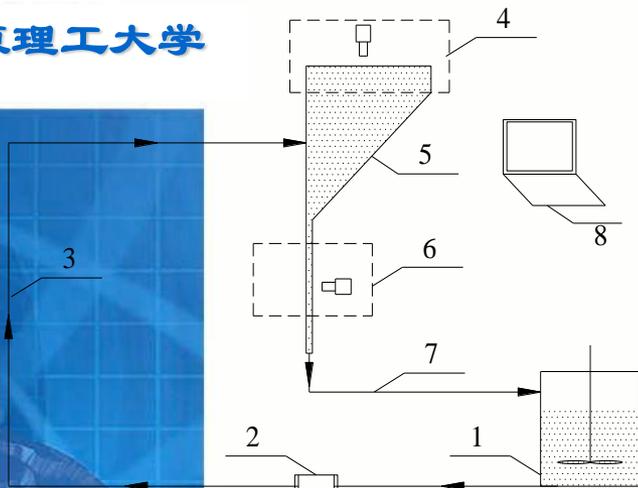


自动模式下药耗比人工手动加药药耗下降了14%。



2、浮选过程智能控制关键-浮选尾矿图像检测

太原理工大学



1. 搅拌装置 2. 蠕动泵 3. 入料管道 4. 1#图像采集系统
5. 样本容器 6. 2#图像采集系统 7. 放料管道 8. 计算机

result (gam=481.1717, sig2=97.8219, testmse=1.6087, precision=97.5965)

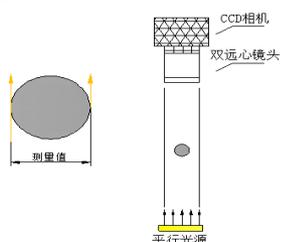
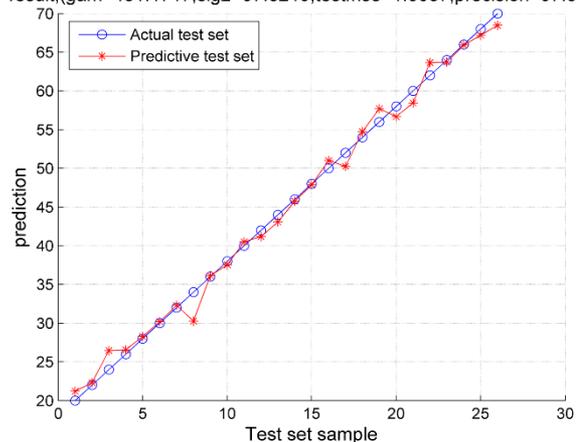
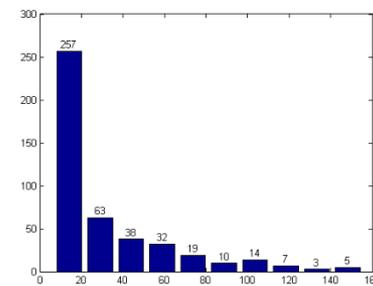
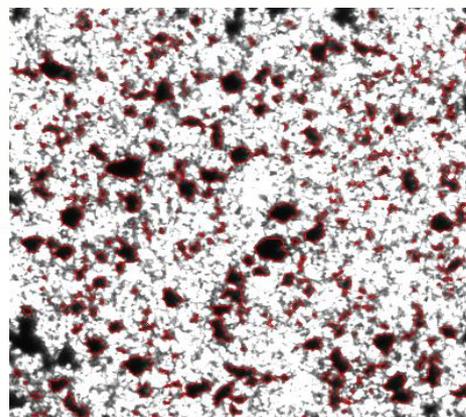
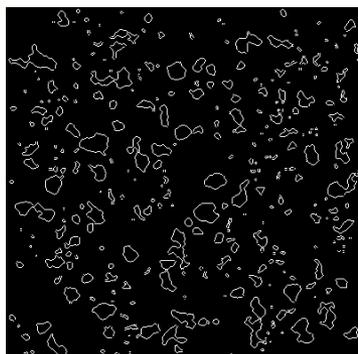


图 2-13 平行光源颗粒度测量系统示意图



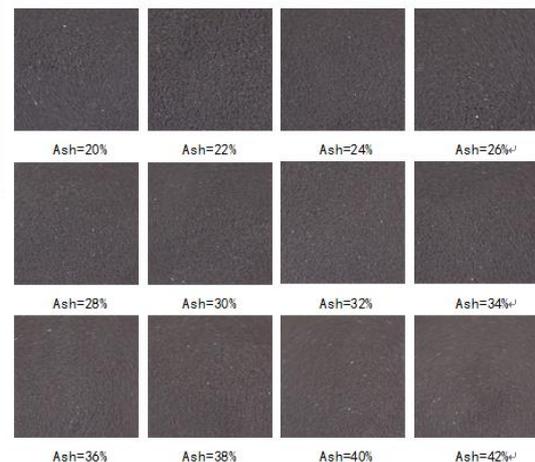
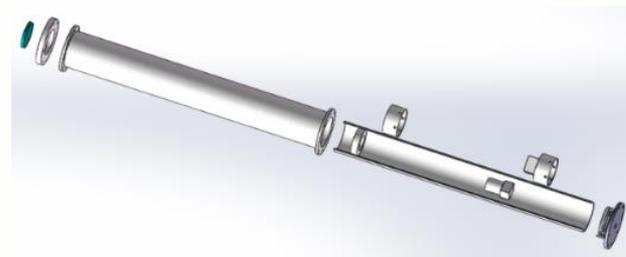
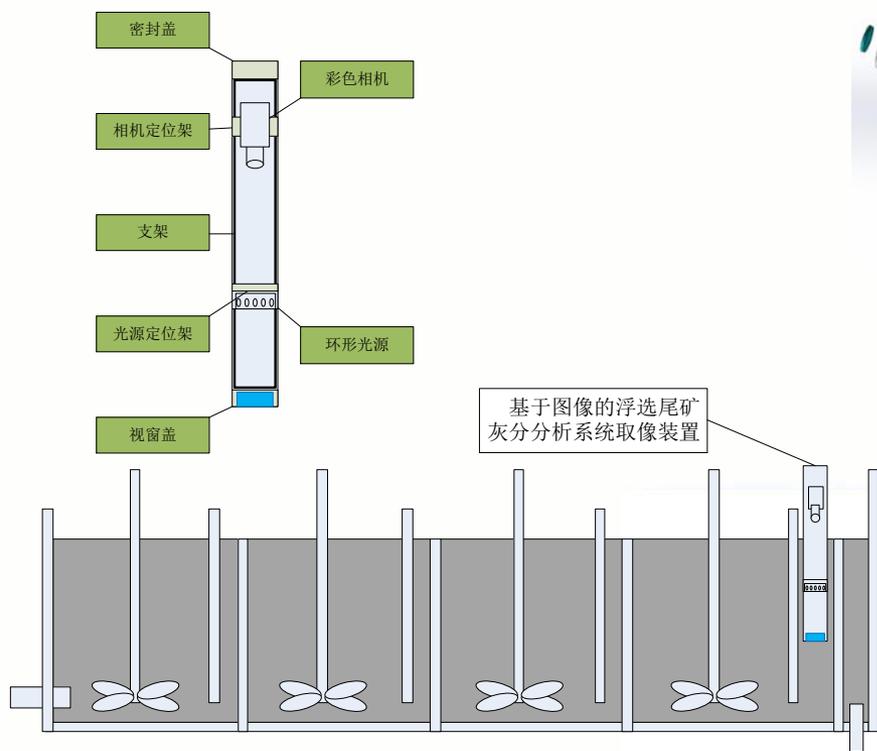


2、浮选过程智能控制关键-浮选尾矿图像检测

太原理工大学

浮选尾煤。采用图像检测法，提取图像特征，建立浮选尾煤灰分模型。

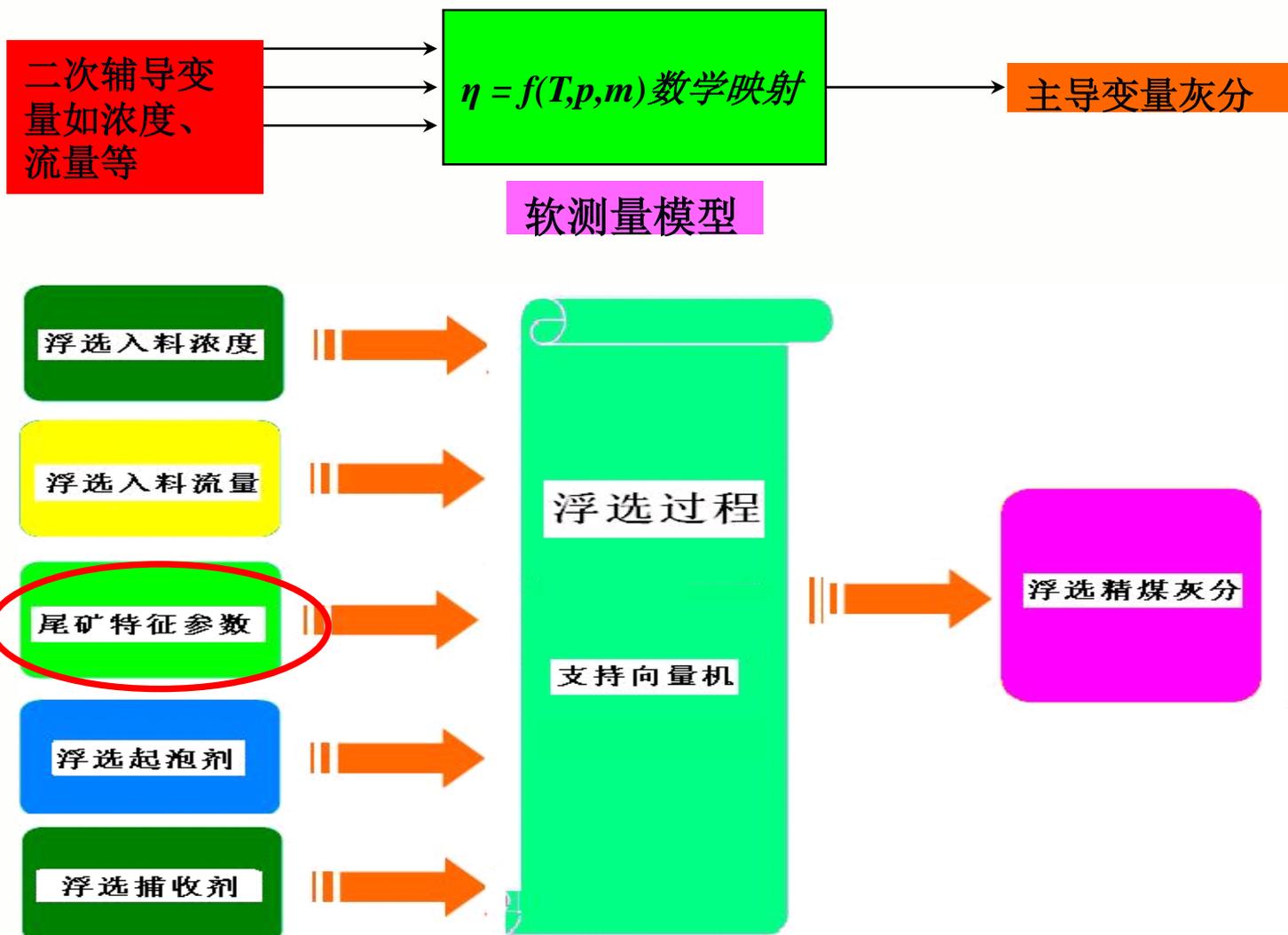
$$Ash = a \ln\{(k_1 R + k_2 G - B) / [1 + \exp(j * M_s)]\} + b\} + c$$





3、浮选精煤灰分检测-软测量技术

太原理工大学



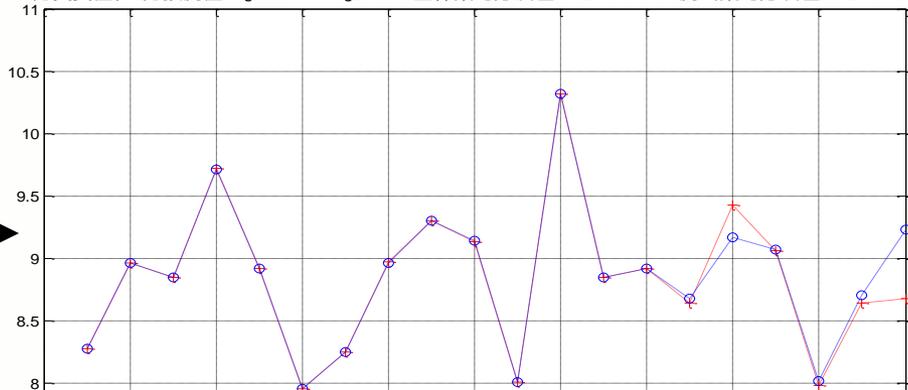
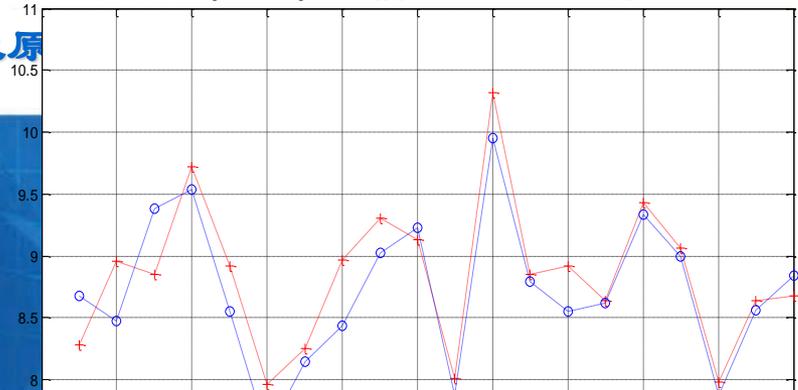


3、浮选精煤灰分检测-软测量技术

+为真实值, o为预测值 gam=3451 sig2=23.3 全样集均方误差MSE=0.086701 测试集均方误差MSE=0.0094034

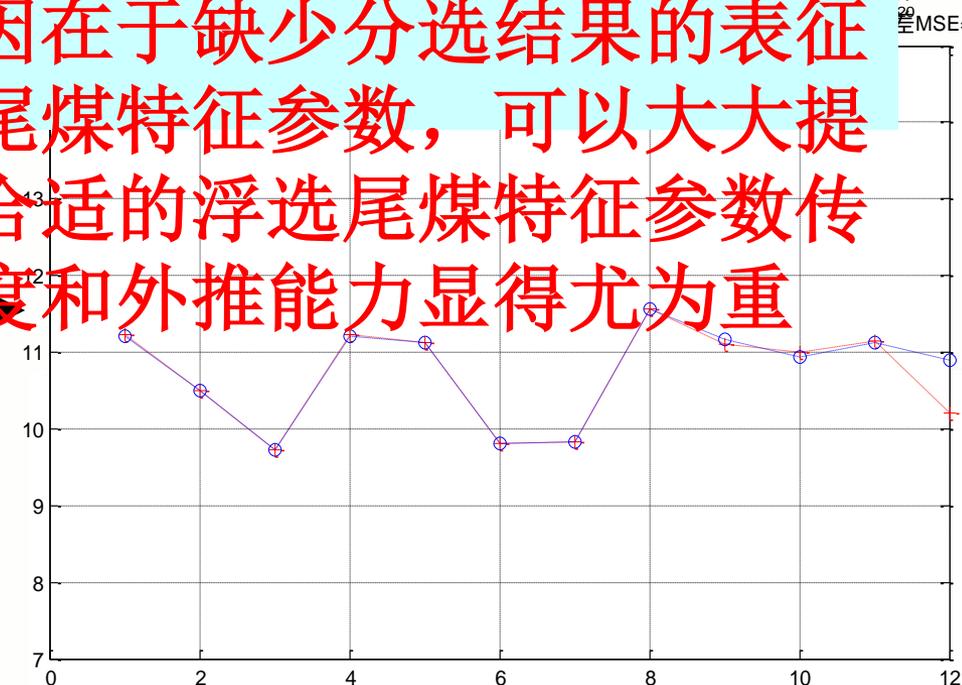
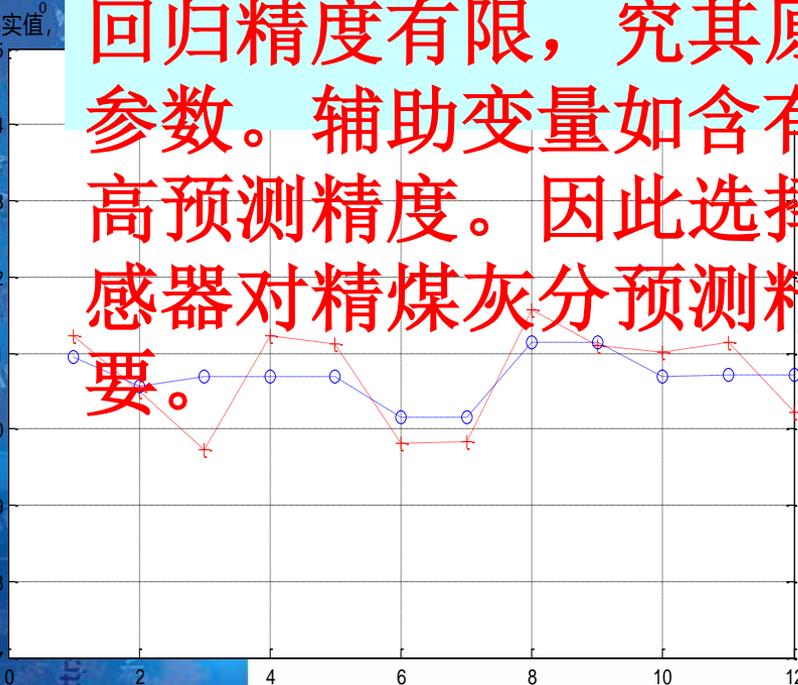
+为真实值, o为预测值 gam=3306 sig2=14.9 全样集均方误差MSE=0.018756 测试集均方误差MSE=0.06248

太原



通过对比看出：仅仅选择过程变量对精煤灰分回归精度有限，究其原因在于缺少分选结果的表征参数。辅助变量如含有尾煤特征参数，可以大大提高预测精度。因此选择合适的浮选尾煤特征参数传感器对精煤灰分预测精度和外推能力显得尤为重要。

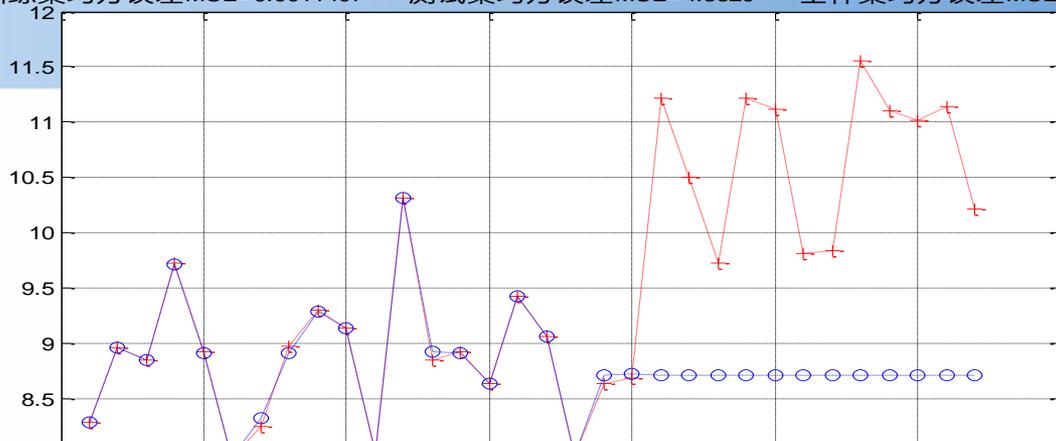
MSE=0.12



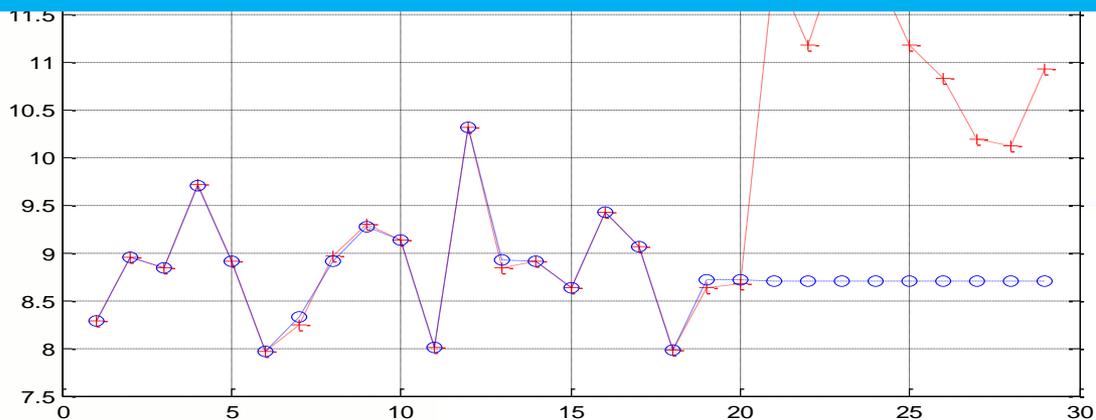


不同 矿井 煤质 对模 型的 精度 的影 响研 究

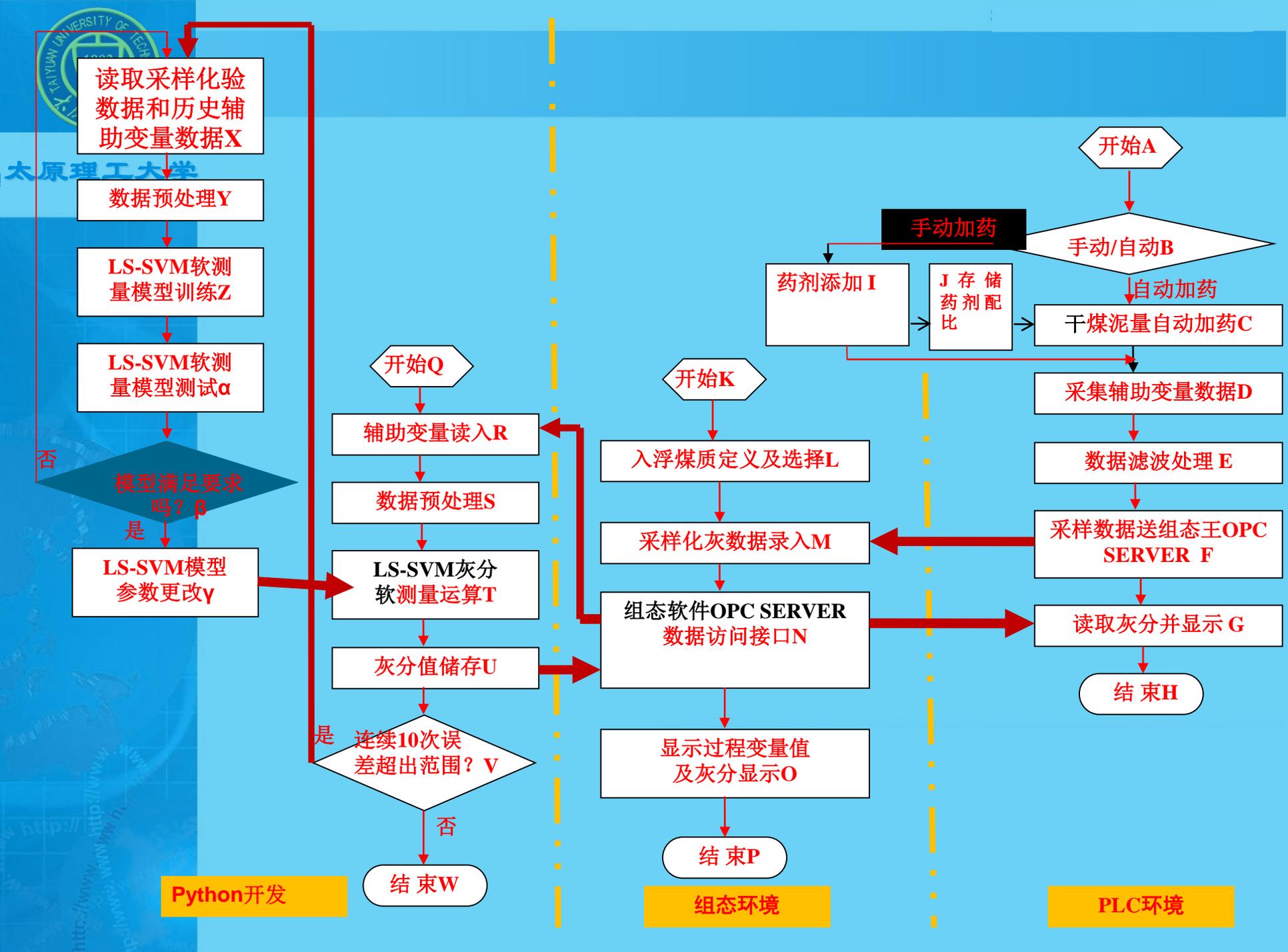
+为真实值, o为预测值
训练集均方误差MSE=0.0011407 测试集均方误差MSE=4.3829 gam=3306 sig2=14.9
全样集均方误差MSE=1.6443



结论： 如果煤质发生变化，无法实现精煤灰分的正确预测，必须剔除旧的训练集，采用新的训练集进行训练方可满足控制系统的要求。



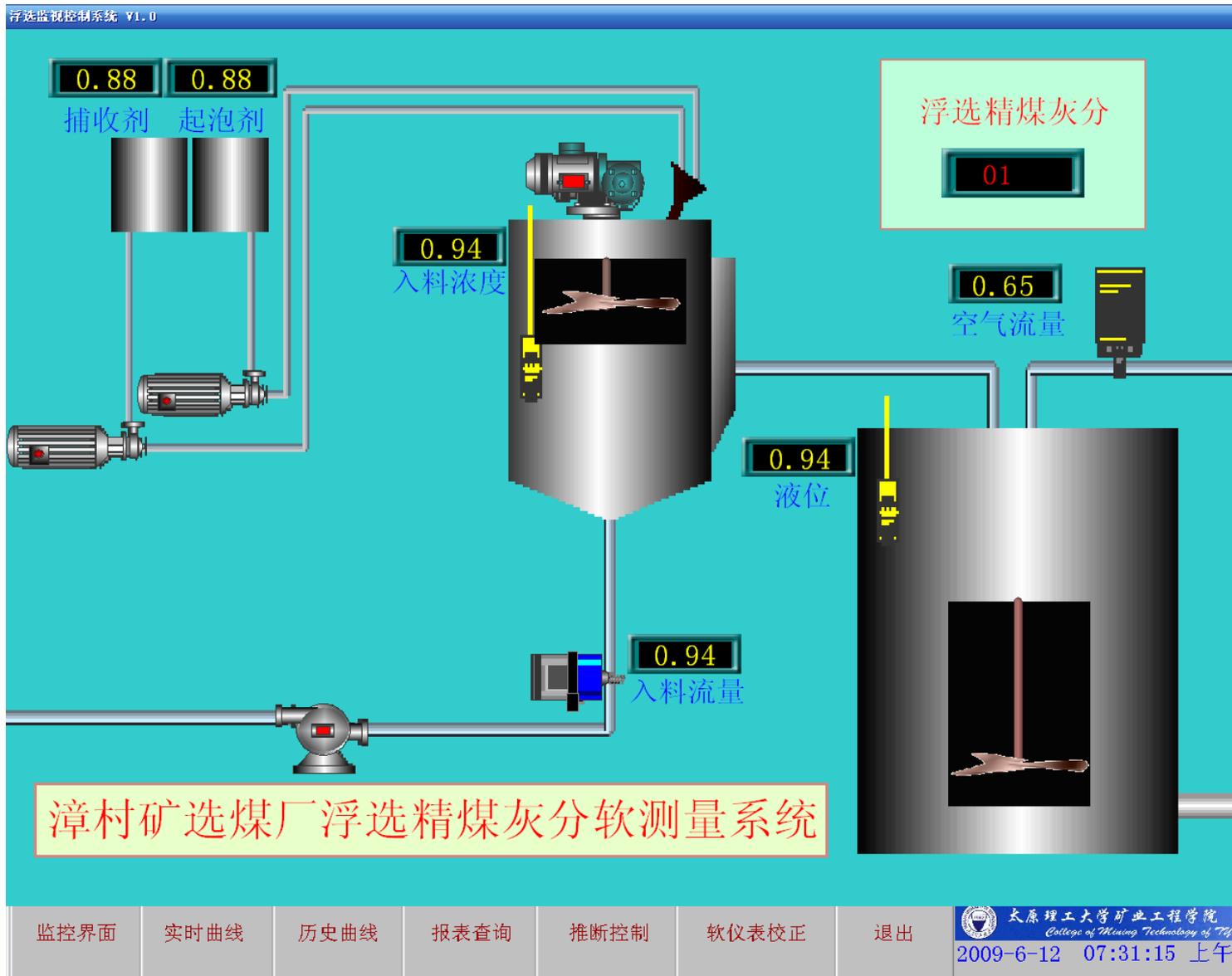
漳村（训练集）-某矿10#（测试集）





3、浮选精煤灰分检测-软测量技术

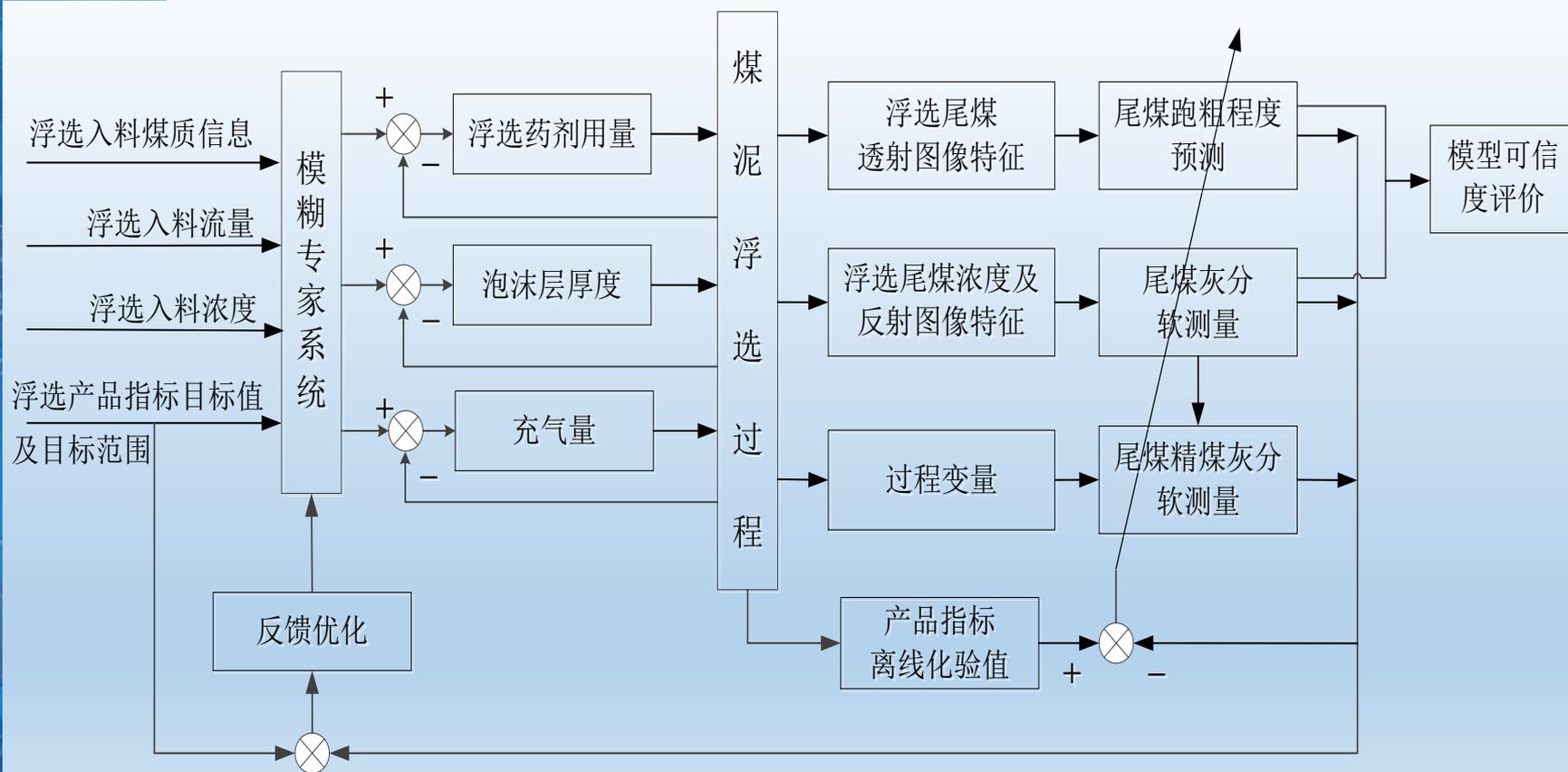
太原理工大学





4、浮选闭环优化控制

太原理工大学





结束语

- 重选与浮选过程的智能化是选煤的重大研究课题。
- 重介悬浮液密度智能控制、密度智能设定是解决重介智能分选的核心命题，也是稳定产品质量、提高回收率的重要保证。
- 浮选药剂自动添加、尾煤灰分与精煤灰分检测是实现浮选智能化的重要推手，采用专家系统、案例推理、图像检测与软测量等智能化方法是有效的途径。
- 围绕选煤厂智能化建设，本课题组进行了初步探索，以求抛砖引玉，引起选煤同行关注，推动重选和浮选过程智能化不断的完善。



太原理工大学
TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



太原理工大学

欢迎各位领导、同行和专家
提出宝贵意见！