

半干法石膏窑气制酸

丁 华

兴化宏伟科技有限公司

半干法技术在石膏制酸中优势显著

◆ 无干燥塔、不干燥：气中水全带入吸湿塔

1 腐蚀性小、安全性高：

从电雾出口到吸收塔，所有设备都在露点以上操作，无腐蚀风险
开、停车时，利用来自吸收塔的干空气进行升温 and 吹扫
有效避免冷凝酸腐蚀

2 操作简单、可靠：吸湿塔不加水、不串酸、酸浓不变

所需水来自净化工段带来的饱和水，水量由冷却塔气温决定
省去了稀释器及复杂的加水系统，仅需控制净化气温即可

相比热回收系统通过调节酸浓来控制加水量

半干法：操作更简单、可靠性更高

3 制酸热**全**回收、**0**循环水

不仅现实了热量回收最大化，而且蒸汽压力等级高

既产**低压**蒸汽、也产**中压**蒸汽，突破了干法制酸热回收只能产低压蒸汽的限制

一转一吸：总产汽率高达**1**吨，其中低压**0.7**吨、中压**0.3**吨

汽量上中压占**30%**，而热量上则占了**35%**、**>1/3**

蒸汽产率远超干法制酸，优势显著

干法制酸受干燥酸温限制，无法实现**0**循环水

4 可实现尾吸稀酸：**0**排放、**全**回用

从源头上**减少**资源消耗和污染物产生

具有明显的**降碳减排**协同效应

◆ 半干法是石膏制酸向**绿色低碳**转型的技术路径

半干法石膏窑气制酸

- 一、什么是半干法
- 二、一转一吸半干法窑气制酸
- 三、半干法特点
- 四、两转两吸半干法窑气制酸
- 五、半干法是减法

酸雾

气温低了

- 硫酸

- ◆ 共沸点：温度 338.8°C
酸浓 98.33%
水硫比 1.092

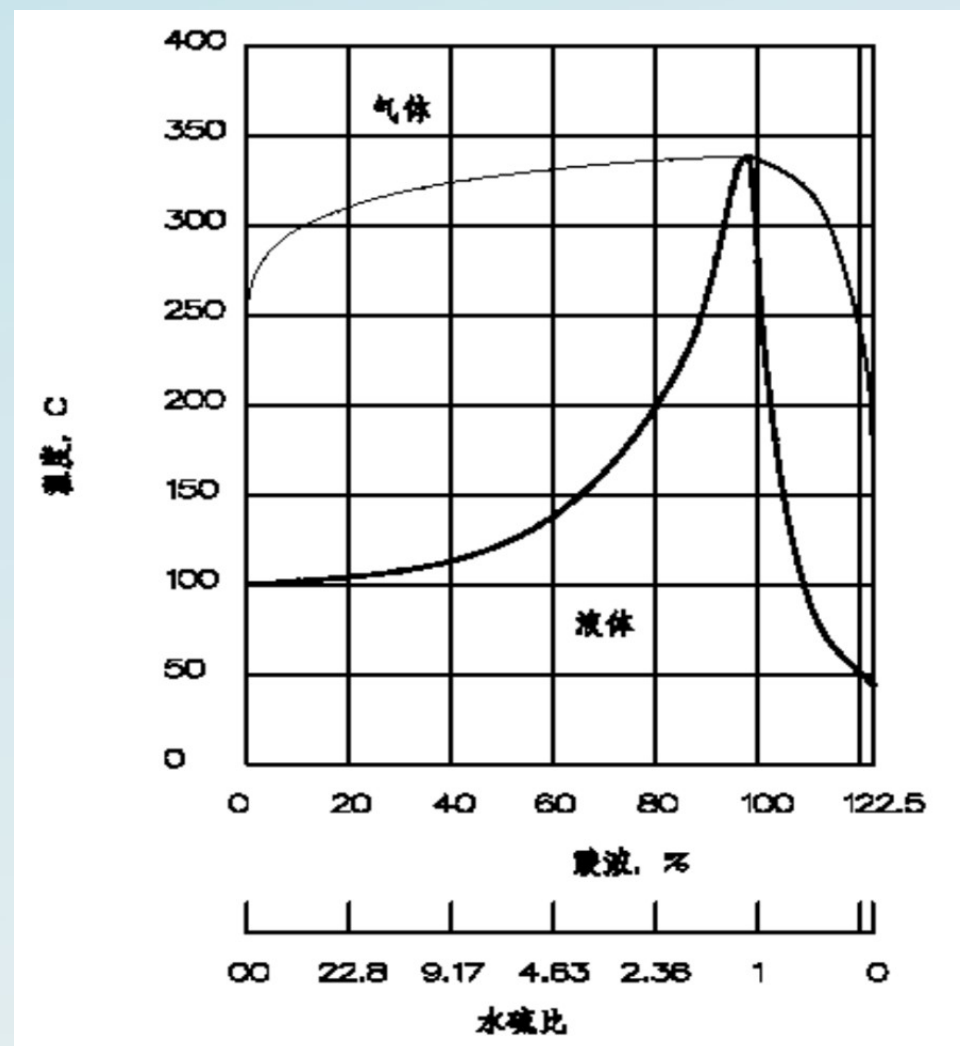
- ◆ 酸水总压： 1 atm

- 共沸点：气相 = 液相

左边：气中水更多 酸浓缩

右边：气中水更少 除水多

- ◆ 量变 $\leftrightarrow$ 质变



● 恒浓点

◆ 酸水总压: 25 kPa 1/4
290 °C 比共沸点 ↓ 50 °C

◆ 酸水总压: 10 kPa 1/10
260 °C 比共沸点 ↓ 80 °C

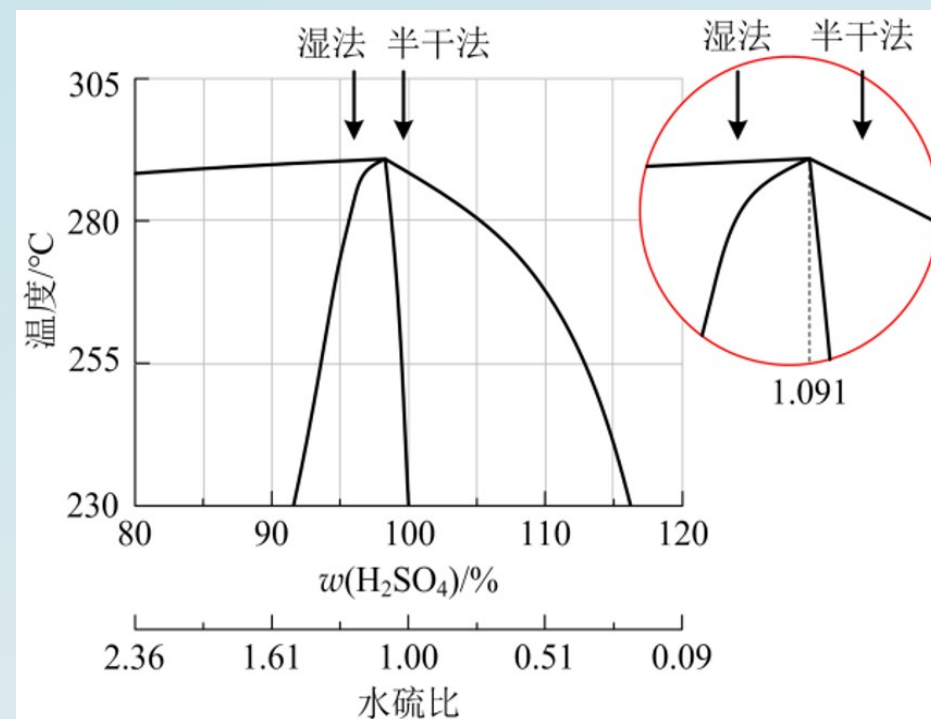
◆ 气中水硫比 = 酸水硫比

◆ 相对水硫比: = 1

◆ 左边: 湿法 > 1

◆ 右边: 干法 < 1

◆ 分界点: 水逃逸性、酸腐蚀性



● 湿法 冷凝成酸 露点线

◆ 相对水硫比：必须 >1

气相水硫比 $>$ 酸水硫比

◆ 冷凝管：从下至上

气温： $300 \searrow 100^\circ\text{C}$

冷凝酸浓： $98 \searrow 7\sim 80\%$

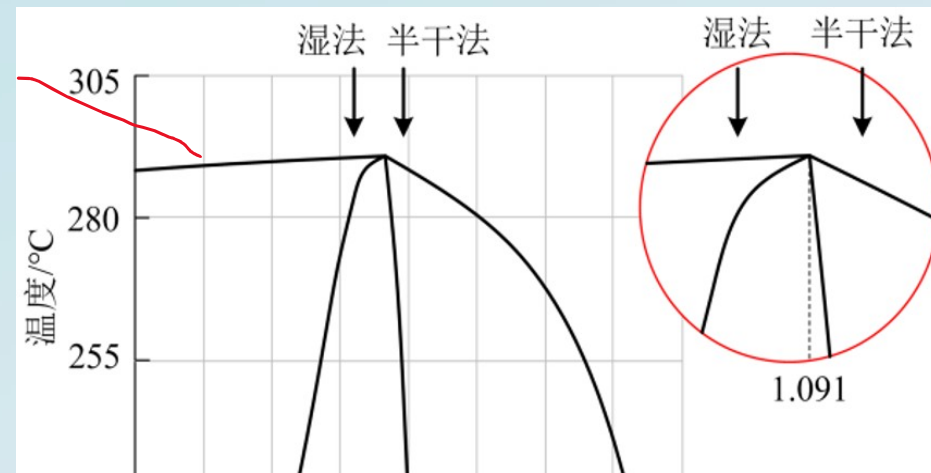
◆ 产品酸浓： $< 98.0\%$

◆ 吸收塔：吸收了更多水

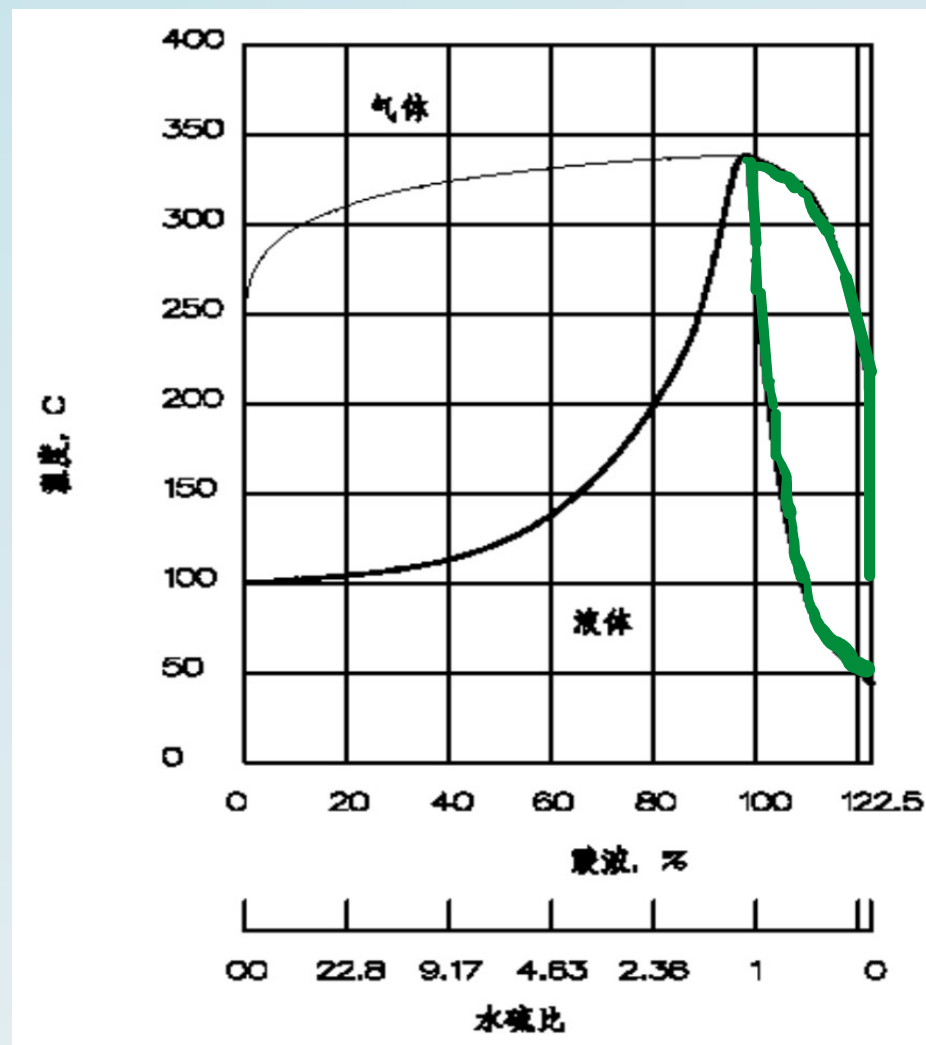
循环酸浓：更低

塔底：冷激

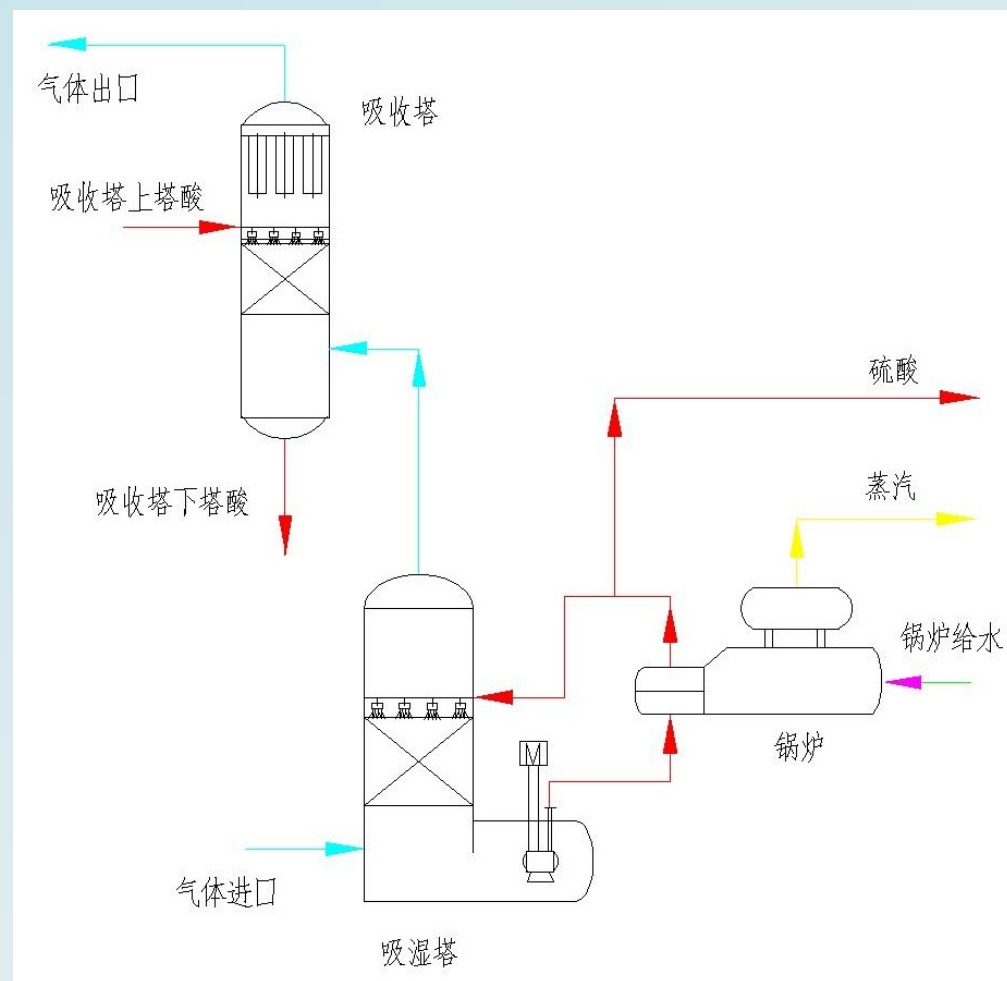
酸雾：超多、超细



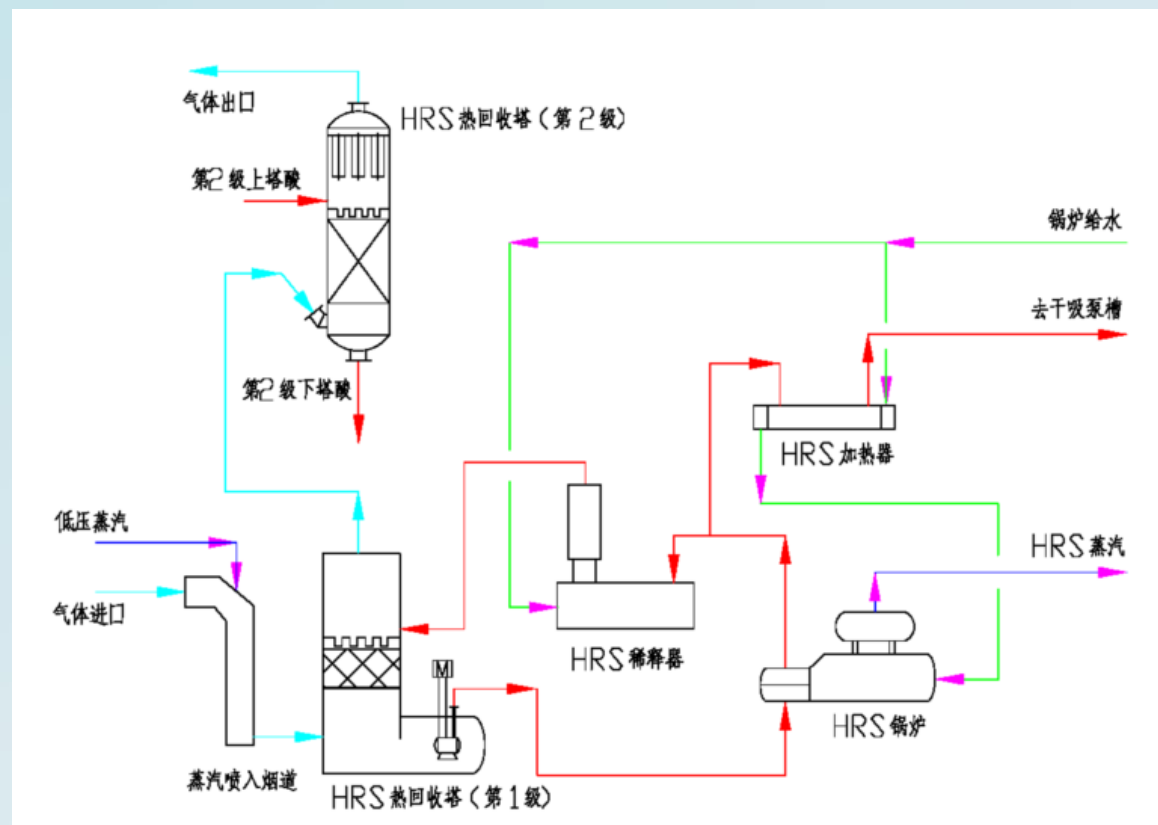
- 干法 吸收、冷凝成酸
 - ◆ 恒浓点: 右边
 - ◆ 相对水硫比: < 1 $[1 \leftrightarrow 0]$
 - ◆ 气相中水更少
 - ◆ 习惯: 有干燥塔
- 无干燥塔硫磺制酸: 更安全
 - 有干燥塔: 干燥泵不能停
 - 不停车换泵: 不允许常发生
- 干法极限: 半干法



- 半干法 两级吸收
 - ◆ 两级：吸湿塔、吸收塔
 - ◆ 避免：结露 空间冷凝
 - ◆ 顺带：副产蒸汽
- 吸湿塔：3 不
 - 不加水、不串酸、酸浓不变
 - ◆ 水：气体全带入
- 可以1个填料层 一级吸收
 - 酸温：80 $\nearrow$ 230 $^{\circ}\text{C}$ 不结露
 - 喷淋密度：5 1/3 热难利用



- 干法 + 酸热回收
 - ◆ 必须：两级吸收
 - ◆ 必须：加水
稀释水、喷汽、串酸
 - ◆ 加水：难题一大堆
- 半干法：减法
 - ◆ 没有：干燥塔、稀释器
 - ◆ 更安全、更简单
- 热能回收最大化的最简版技术

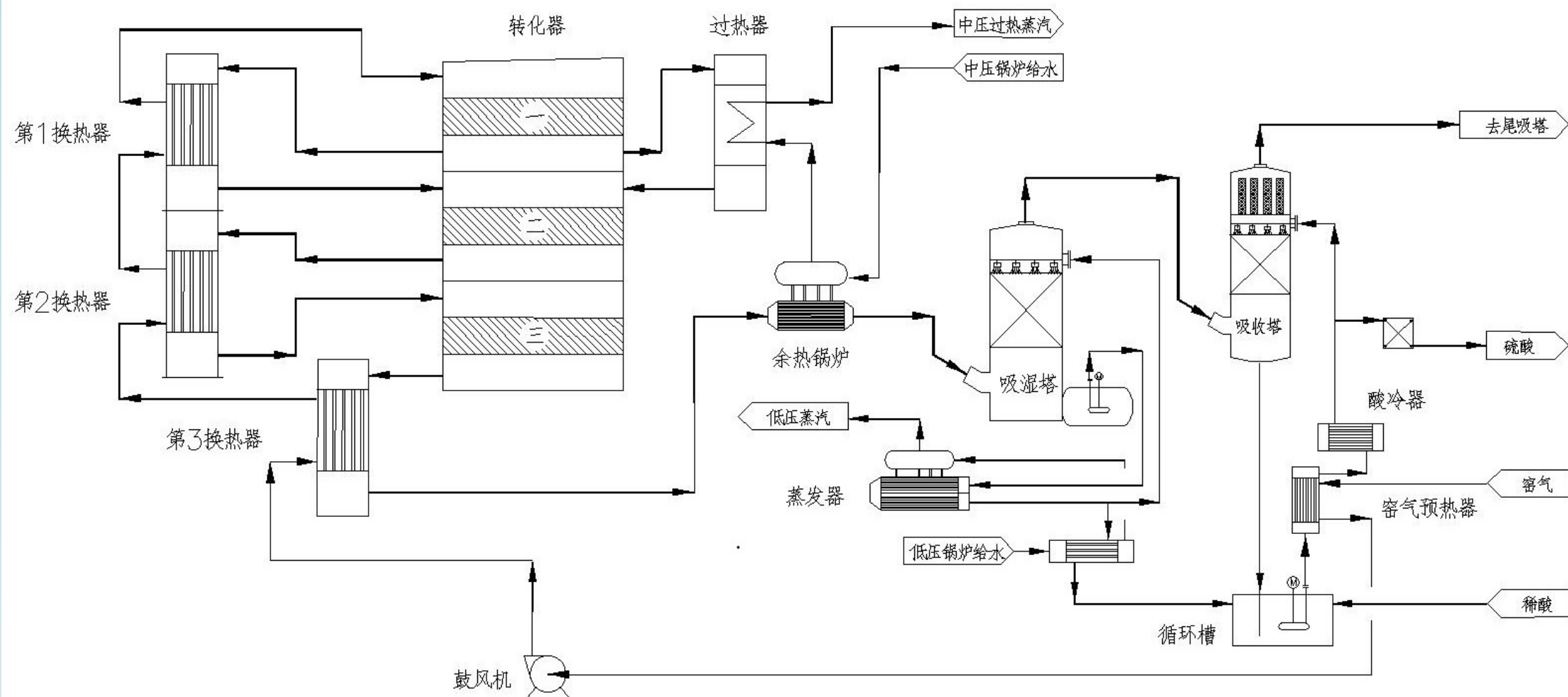


半干法石膏窑气制酸

- 一、什么是半干法
- 二、一转一吸半干法窑气制酸
- 三、半干法特点
- 四、两转两吸半干法窑气制酸
- 五、半干法是减法

- 产能：900 t/d 30 万吨/年
- 干基：
 - ◆ SO₂: 6.8% O₂: 8.1% 氧硫比1.20
 - ◆ 气温：37℃ 风量：128300 Nm³/h (干)
- 湿基：
 - ◆ SO₂: 6.36% 水: 6.44% 水硫比1.012
 - ◆ 水: 7.1 t/h
- SO₂转化率：98.5 %
- 制酸工艺：一转一吸半干法 + 双氧水尾吸

一转一吸半干法



左转化、右吸收，中间回收蒸汽

- 窑气：电雾出口
 - ◆ 不干燥：无干燥塔
 - ◆ 窑气预热器：吸收酸热
- 转化：一转一吸
 - ◆ 换热：321
- 中压过热蒸汽：3.8 MPa 450 °C
 - ◆ 锅炉：3换出口
 - ◆ 过热器：一段出口、1换并联

酸系统: 半干法核心**不**变

2座塔、**2**个酸浓

- **吸湿塔**: **5.9**m 酸量**400** m³/h 单独循环

- ◆ **蒸发器**

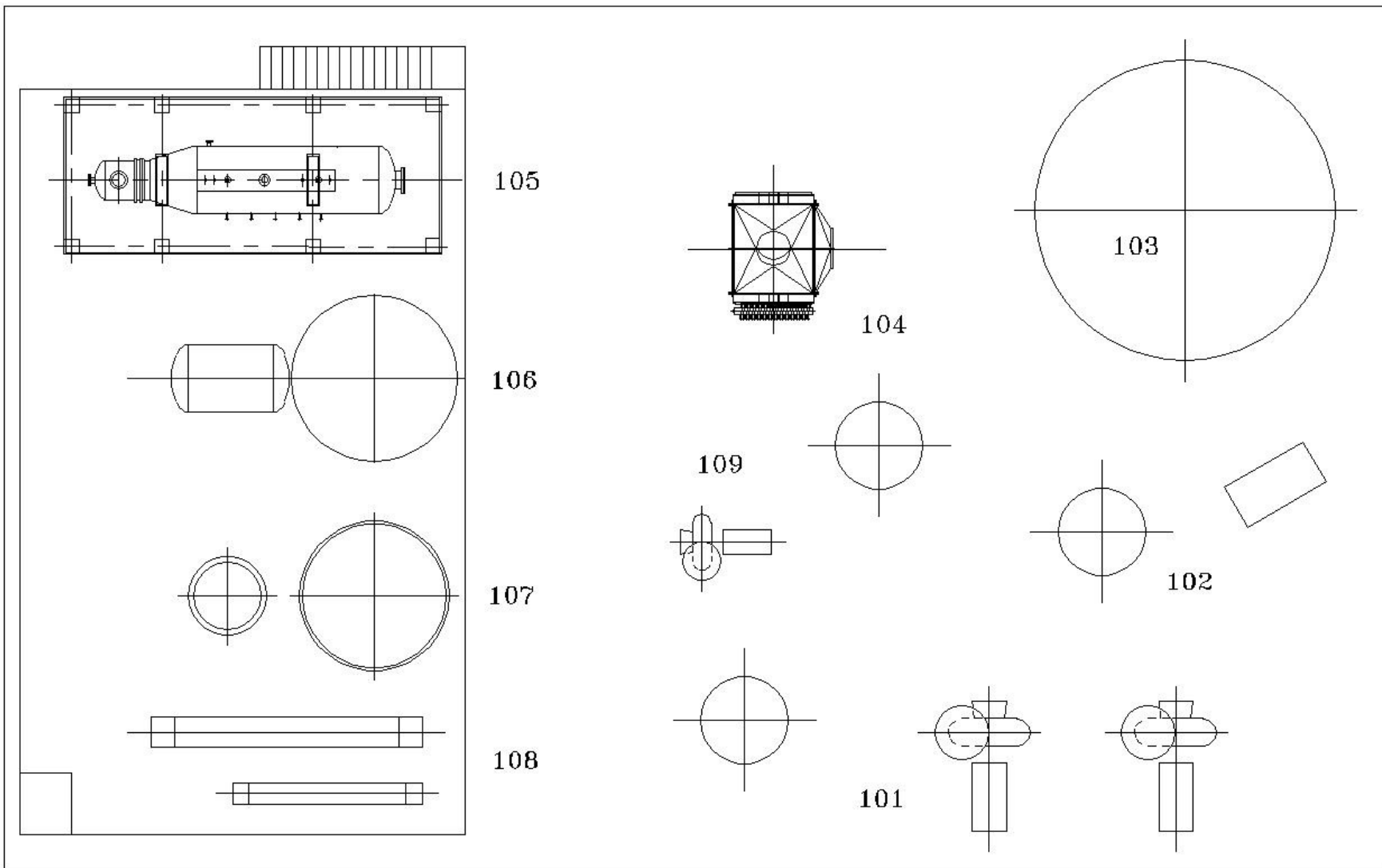
低压蒸汽: **0.6** MPa、**165** °C (饱和)

- **吸收塔**: **5.2**m 酸量**85** m³/h 单独循环

出塔尾气: **干**的

- 流程短、设备少、占地小

- ◆ 占地: 1500m² **30x50**m



构筑物名称对照表

编 号	名 称
101	鼓风机
102	第1和第2换热器
103	转化器
104	过热器和第3换热器
105	低压蒸汽发生器
106	吸渣塔及泵槽
107	吸收塔和地下槽
108	酸冷器
109	开车风机

50x30m, 1500m²

半干法石膏窑气制酸

- 一、什么是半干法
- 二、一转一吸半干法窑气制酸
- 三、半干法特点
- 四、两转两吸半干法窑气制酸
- 五、半干法是减法

- 腐蚀性: 小 第一个、第一级
- 改变: 水的属性 气中水是全局水
- 制酸热: 全回收 副产蒸汽多 中压蒸汽更多
- ◆ 电耗: 低 中压蒸汽推动透平、电耗更低
- 酸浓: 容易控制 操作风险小、维护少
- 开停车: 有干气 吸收塔出口尾气是干的
- 循环水: 0
- 尾吸稀酸: 全回用 0排放

腐蚀性: 小

● 转化第2段: 跨过恒浓点 露点↓ 50 °C、酸浓↑ 2.1 %

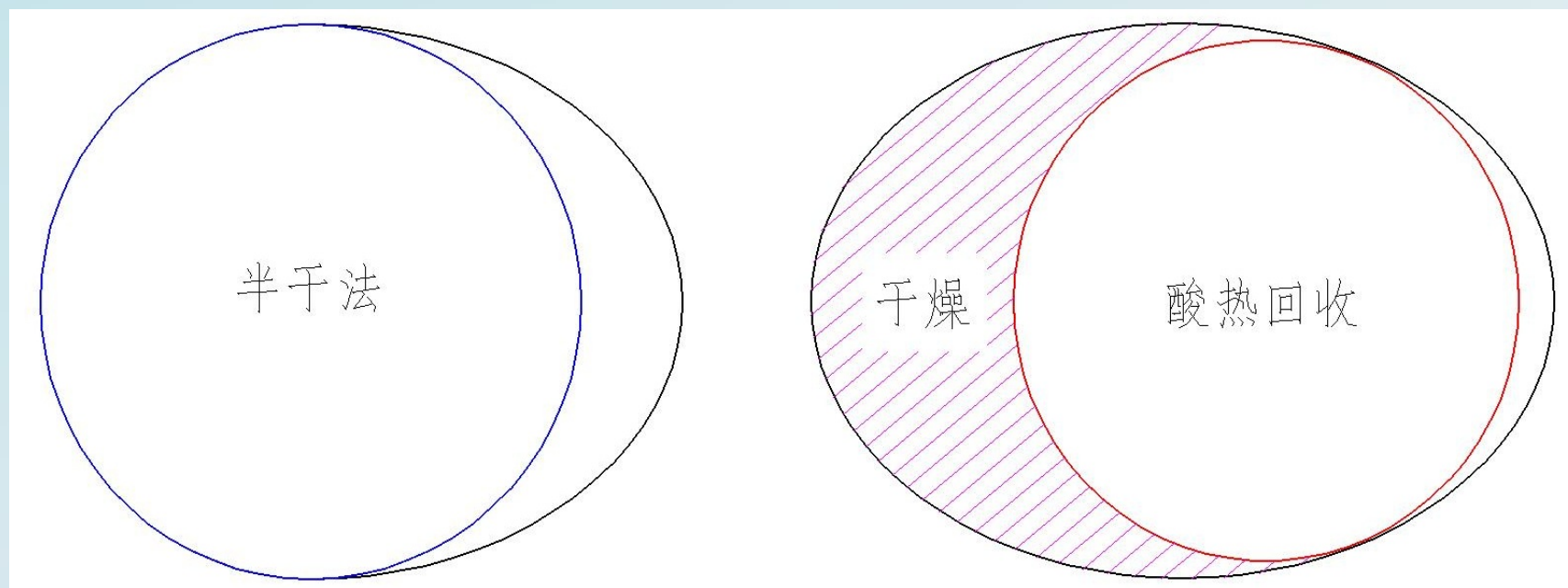
◆ 酸的腐蚀性: 质的差别

● 吸湿塔出口: 露点↓ 75 °C 149 °C

位 置	露点 °C	露点 酸浓 %	气相 水硫比	相对 水硫比	酸水 总压 kPa
一段出口	274	97.5	1.27	1.17	13.7
二段出口	224	99.6	1.07	0.98	14.4
三段出口	224	99.7	1.03	0.94	14.1
吸湿塔进口					10.7
吸湿塔出口	149	99.6	0.69	0.63	0.5

水: 属性改变

- 干法: 干燥_**总**水平衡 酸热回收_**子**水平衡 **串**酸/**串**水
 - ◆ 干燥**1**t水_**1.3**t汽 串**1**t水_**3.2**t汽 转移**1**t水_**4.5**t汽
- 半干法: 气中水_全局水 **1**t水_**5**t汽 能量守恒



制酸系统余热**全**回收 1.0 t/t

● 副产蒸汽: **多**、中压蒸汽**更多** (热中**35%**)

◆ 中压过热: 3.8MPa、**450**°C **0.3** t/t **30%**

◆ 低压饱和: 0.**6**MPa、165°C **0.7** t/t

	一转一吸		两转两吸	
	蒸汽量 t/h	产汽率 t/t	蒸汽量 t/h	产汽率 t/t
产两种汽	37.5	1.00	33.8	0.90
中压过热	11.2	0.30	7.5	0.20
低压饱和	26.3	0.70	26.3	0.70
全产低压	40.6	1.08	35.8	0.95

电耗低

- 喷淋密度 维持合适的下塔酸温
 - ◆ 吸湿 15 吸收 4 $(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$
填料阻力低、泵功率小
- 无：干燥阻力 风机升压小
- 中压蒸汽透平
风机电耗↓ 6成、归0

吸湿酸浓控制简单

- 被动 水硫比、上塔酸温

水硫比1.028 酸温173℃ 酸浓99.10%

- 变化缓慢 化学水 SO₃吸收、水去除变化相抵

◆ ±3%: ±0.2t/h水 不调节

+0.2t: 酸浓98.76% ↓0.34 半天

-0.2t: 酸浓99.35% ↑0.25 半天

◆ +6%: 恒浓点右边 半天

+0.4t/h水 酸浓98.37%

开停车有干气

- 开车

- ◆吸收塔: 干燥塔、开车风机

- ◆空气: 吸收塔进口

- 停车

- ◆吸收塔: 保安风扇

- ◆烟气: 自循环

- 催化剂: 怕液态水 成酸在催化剂内结露

开停车前后 干气是保命气

半干法：不是湿法

- 与湿法：有本质上不同
- 与干法：只是量的区别

半干法石膏窑气制酸

- 一、什么是半干法
- 二、一转一吸半干法窑气制酸
- 三、半干法特点
- 四、两转两吸半干法窑气制酸
- 五、半干法是减法

- 增加：第四段、4换、二吸塔

- ◆ 不增加：酸系统

- ◆ 水汽流程：不变

- 转化：“3 + 1”

- ◆ 换热：431 - 42

- 第二转、第二吸：干法

- 更易：尾吸稀酸0排放

- 亦可：0循环水

产汽 0.90 t/t

◆ 中压过热: ↓ 0.10 t/t

◆ 低压饱和: 相同

	一转一吸		两转两吸	
	蒸汽量 t/h	产汽率 t/t	蒸汽量 t/h	产汽率 t/t
产两种汽	37.5	1.00	33.8	0.90
中压过热	11.2	0.30	7.5	0.20
低压饱和	26.3	0.70	26.3	0.70
全产低压	40.6	1.08	35.8	0.95

半干法石膏窑气制酸

- 一、什么是半干法
- 二、一转一吸半干法窑气制酸
- 三、半干法特点
- 四、两转两吸半干法窑气制酸
- 五、半干法是减法

半干法做**减**法

- 减去干燥塔：气中水**直接**进吸湿塔
进出塔酸浓不变

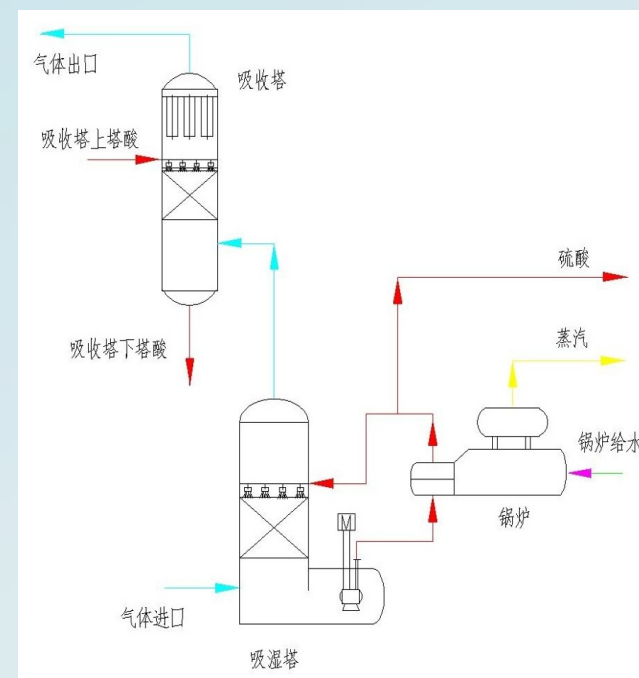
- 两台酸浓仪：泵出口、塔进口
测到的酸浓是相同

- 水硫比改变

- ◆ 循环酸浓稍微变化 两酸浓**同步**增减

- ◆ 塔进气中 SO_3 为**0** 两酸浓**同步**下降

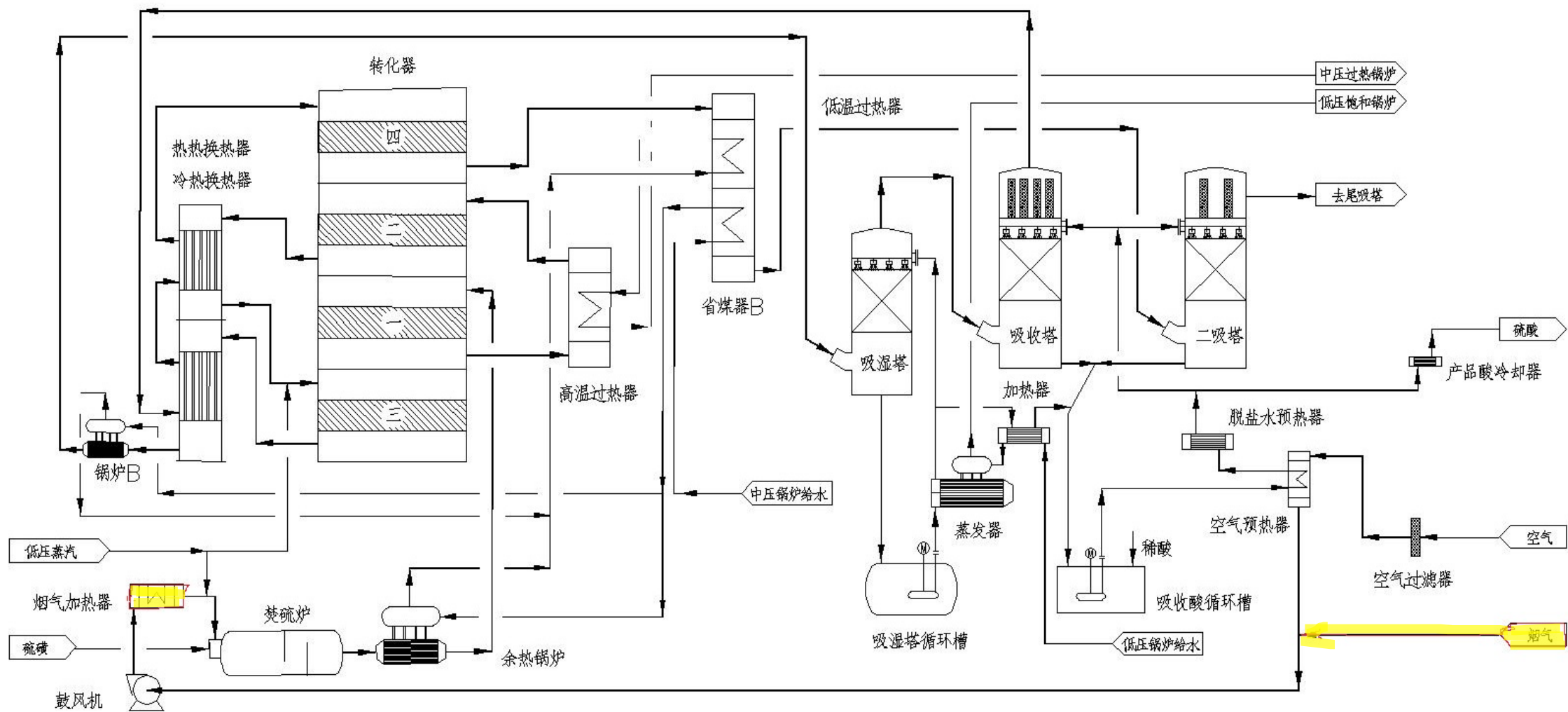
- 差异**突然**变大：蒸发器泄漏



半干法硫磺制酸

- 减去干燥塔：向焚硫炉进口、三段进口喷蒸汽
- 一段出口：跨过恒浓点
- 特点：更安全、易操作、投资省、效益高
- ◆ 0循环水、稀酸0排放
- 吨酸副产蒸汽：2.10 吨
 - 中压 1.55 吨
 - 低压 0.55 吨（蒸发器产出）

硫磺掺窑气半干法



半干法硫磺制酸：60万吨/年

- 窑气制酸的热备系统 只增1台：窑气加热器

- 半磺半窑气：

 - ◆ 900 t/d硫磺制酸

 - ◆ 900 t/d窑气制酸

 - ◆ 电雾出口窑气：48℃ （净化循环水大幅减少）

 - ◆ 0循环水、稀酸0排放

- 吨酸副产蒸汽：1.50 吨 中 0.88 低 0.52

涪陵80万吨硫磺制酸 二吸塔

- 塔径：7.3 m
 - ◆ 酸量：103 m³/h
- 喷淋密度：2.5 (m³/h)/m²
- 吸收热全利用 预热脱盐水
 - ◆ 上塔：98.3% 64℃
 - ◆ 下塔：98.8 150 远高于进气的露点
- 不产生酸雾、不带沫、可不用除雾器
- 运行：3+年
- 划时代创新、直逼极限减法 世界第一、不见第二

碟式分酸器

