

工业过程高温粉体物理热的回收利用

刘柏谦

北京科技大学 教授 博士生导师
2009年10月14日

主要内容

第一部分 工业高温粉体

第二部分 CFB锅炉的高温粉体物理热回收

一. 冷渣器

二. 风水联合冷渣器

1. 滚筒冷渣器是不得已的选择
2. 风水联合冷渣器是性能最优秀的装置之一
3. 风水联合冷渣器现状
4. 对风水联合冷渣器的运行要求
5. 对风水联合冷渣器的能耗

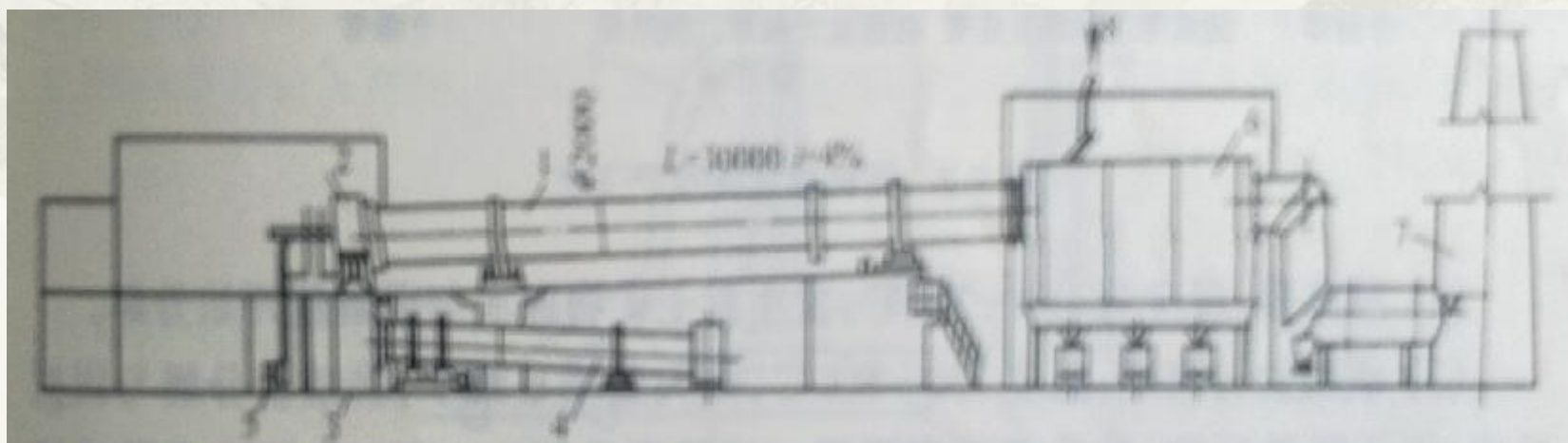
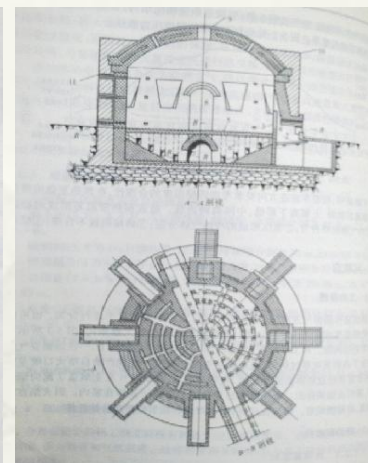
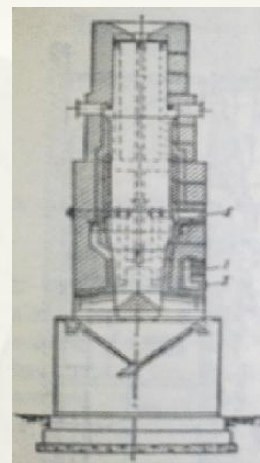
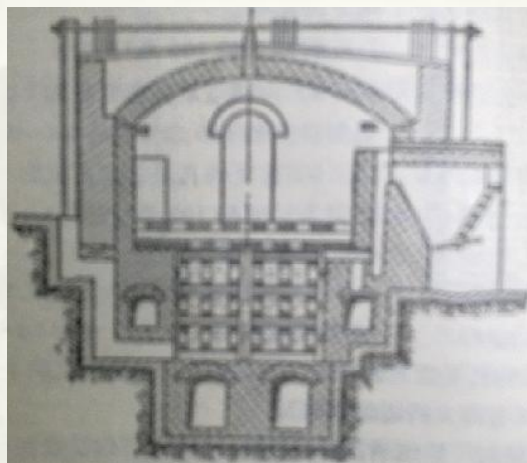
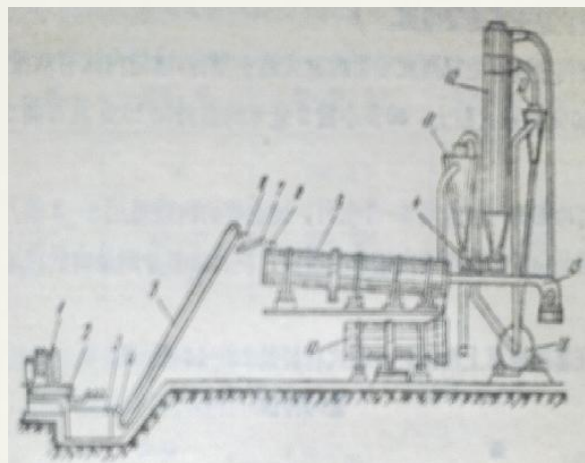
三. 高温热颗粒的分选方法

第一部分 工业高温粉体

具有高温粉体热物料的工业过程

- * 冶金行业：矿石类粉体物料加工(铁矿石、氧化铝等)；
- * 建材行业：水泥烧制、耐火材料烧制；
- * 动力工程：流化床锅炉排出的高温灰渣；
- * 化工工程：.....；
- * 化学工程：.....

各种工业炉窑



高温粉体的物理热：800~1800℃

- ★间歇工作窑：1400~1450℃；
- ★多室窑(单室间歇，全窑连续)：1400~1475℃
- ★环形窑：1300~1325℃
- ★隧道窑：1335~1450℃
- ★竖窑：1600℃
- ★回转窑：1460~1650℃
- ★循环流化床锅炉：800~1000℃

已经成熟的高温粉体物理热回收技术

- * 自然冷却：原始方法；
- * 矿车冷却：冷空气穿过烧结矿车，冷却到 150°C 需要3天时间；
- * 斜坡冷却：高温粉体铺成薄层自然冷却，必要时喷少量的水；
- * 喷水冷却：水淬能炸裂高温粉体；
- * 风水联合冷却：分先气冷后水冷法和风水同时冷却两种；
- * 机械强制通风冷却：环冷机、带冷机、振冷机、流化床冷却机、滚筒冷却机……

第二部分

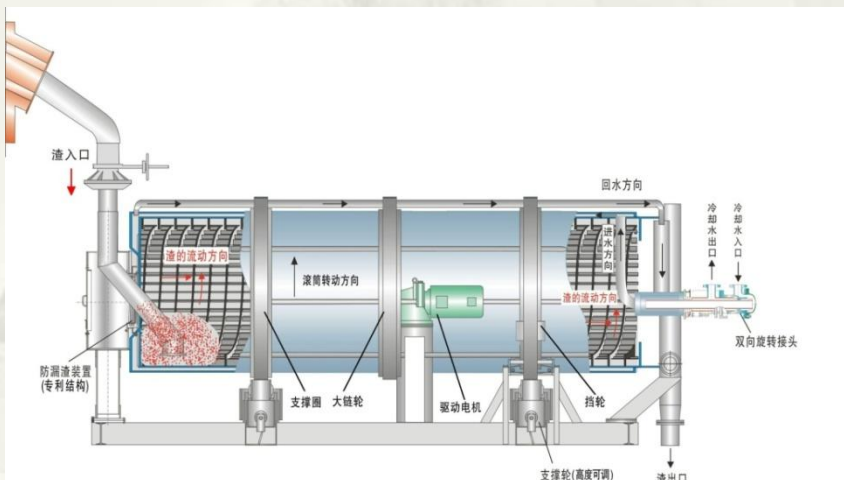
循环流化床锅炉为例的高温粉体
物理热回收



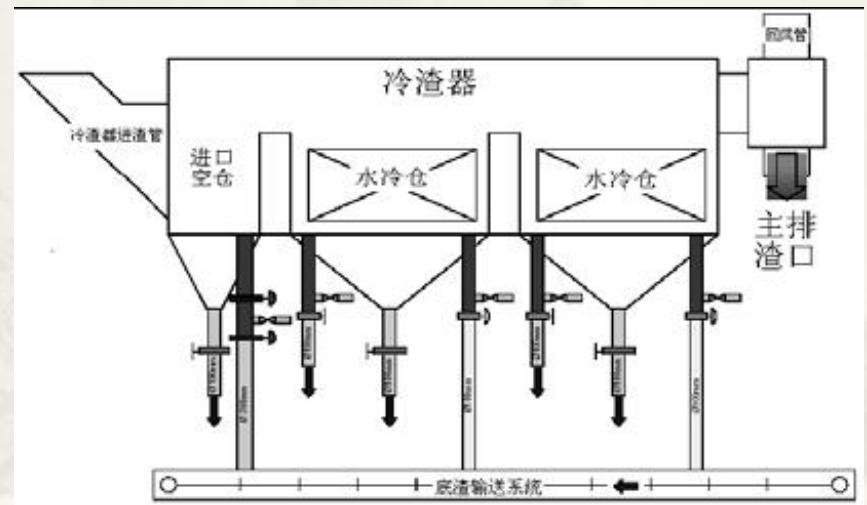
一. 冷 渣 器

两种冷渣器

* 现在进行时 ——滚筒冷渣器



* 现在完成时 ——流化床冷渣器



循环流化床锅炉的冷渣器

1. 循环流化床发展非常迅速，10多年间锅炉容量从135MW窜到460(600)MW；
2. 冷渣器的经济价值取决于燃料粒度、排渣温度和排渣量。高温灰渣携带的物理热不低于燃料携带总热量的1~2%；
3. 经过多年的角逐，冷渣器的主流产品只剩下风水联合冷渣器(正在走下坡路)和滚筒冷渣器两大类，目前大容量循环流化床锅炉几乎都采用滚筒冷渣器。
4. 由于燃煤颗粒尺寸得不到保证，循环流化床锅炉淘汰了性能明显优秀的风水联合冷渣器。



二. 流化床风水联合冷渣器

1.滚筒冷渣器是不得已的选择

- ★滚筒冷渣器实实在在的具有一些重要的缺陷。如易磨损，设备抗热冲击能力差，渣量较大时容易发生机械故障【1】；
- ★在投运过程中，由于冷渣器入口电动插板开启过快，受热不均，造成大量灰渣从插板门缝隙中外泄，落渣管易烧红【2】；
- ★**滚筒冷渣器是手工焊制的承压部件：**承压方面的运行事故、漏渣漏水以及筒体窜动等，表明现阶段的滚筒冷渣器还没有达到技术成熟阶段。

2.风水联合冷渣器是性能最优秀的装置

- * 风水联合冷渣器在135MW等级上有相当多的运行经验，在300MW机组上也有一定应用。
- * 但可能主要是由于流化床床料颗粒度无法满足冷渣器工作要求，这种优秀的灰渣冷却机构差不多遇到了难堪的冷遇。但风水联合冷却从基本性能上是在优于其他技术。

表1 几种冷渣方案的技术经济比较【1】

冷渣方案	蛟龙式	滚筒式	单流化床+机械式	流化床风水联合
传热系数 ($W s^{-2} K^{-1}$)	<60	<60	渣量较小时: 10~20	70~250
余热回收率 (%)	30~50	30~50	渣量较大时: 50~60	40~68
颗粒分选功能	无	无	有	有
磨损	重	较轻	中等	重
电耗	小	小	较大	大
出力	小	小	中等	大

表1告诉我们：

- ★风水联合冷渣器**优**在最基本的物理性能：如传热系数、热回收效率，尤其是具有颗粒分选功能，优于其他冷渣器，包括滚筒冷渣器。
- ★风水联合冷渣器**差**在最基本的工作性能：电耗高，磨损重。
- ★如果能克服磨损、降低电耗，则风水联合冷渣器不仅可以保持连续稳定运行，颗粒分选性能和优越的热回收能力有可能让这种冷渣器挽回市场份额

3. 风水联合冷渣器现状

- ★风水联合冷渣器的厄运主要是因为无法面对大颗粒，及相应的结焦、磨损等问题；
- ★包头第一热电厂470T/H 循环流化床锅炉、永济发电厂410 t/h循环流化床锅炉、徐州垞城电力有限责任公司2×135MW 机组循环流化床、秦皇岛电厂2 台300MW 循环流化床锅炉等一批135MW和300MW等级的循环床锅炉使用风水联合冷渣器。
- ★但有一些直接改用了滚筒冷渣器，显示了循环流化床锅炉床料尺寸对锅炉机组的重要影响。

4. 对风水联合冷渣器的运行要求

风水联合冷渣器在实际运行中反映出来和经济运行必须面对的重要问题包括：

① 需要严格控制入炉煤尺寸。

如江泉盛华、永济电厂等135MW机组严格控制颗粒尺寸。要求大于8mm(或7mm)的颗粒不超过一定比例【3，4】。

② 保证冷渣仓颗粒流通通道畅通。

选择合适的溢流堰高度并开通隔墙下部的通道【3，4，5】。

③ 加强运行监管，降低灰渣可燃物【6】；

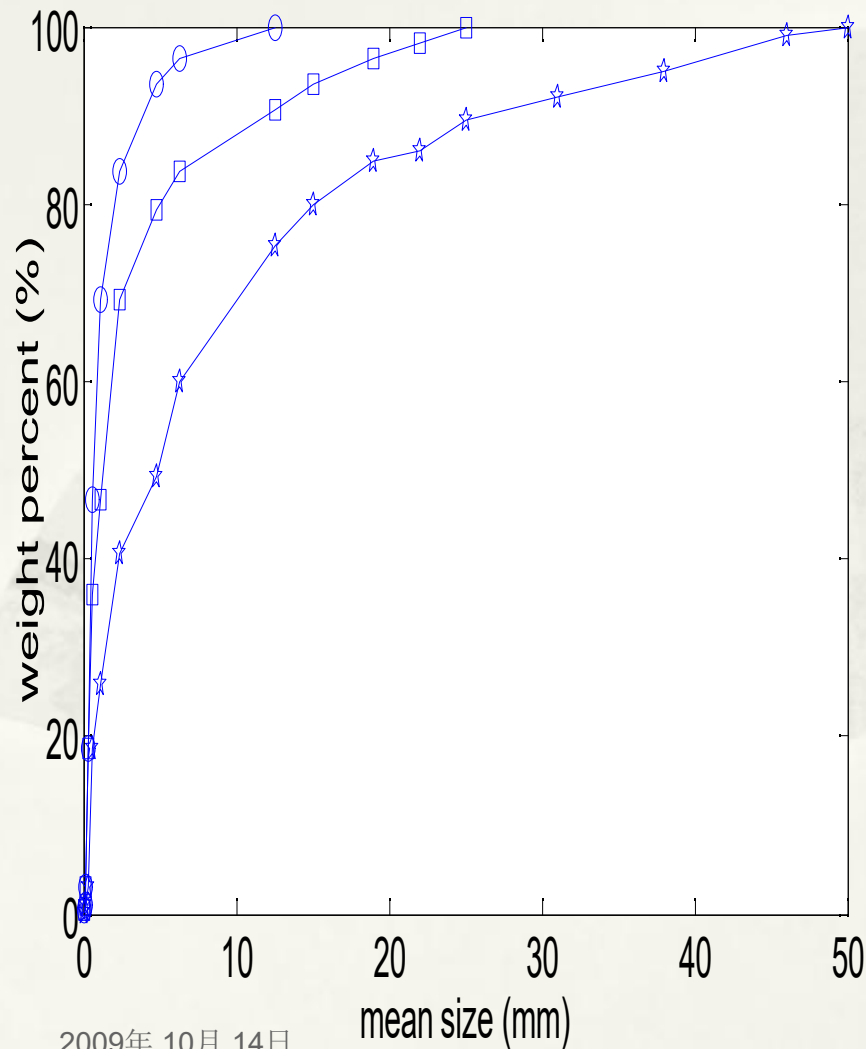
④ 降低电耗、降低短路颗粒流量和改成倾斜布风板等性能优化技术。

5. 对风水联合冷渣器的能耗

循环流化床锅炉自用电高的原因：

- * 主要原因是高压风机：压头高、数量多。
- * 次要原因在其他辅机，如采用多级破碎系统。由于流化床锅炉烧劣质煤较多，尤其是烧高灰分煤，入炉煤的颗粒尺寸分布与进入冷渣器的颗粒尺寸分布几乎是一致的。
- * 有些循环流化床锅炉的最大颗粒尺寸并没有因为燃烧而出现明显减小【7】。

5.1 典型的入炉煤颗粒尺寸分布



- * 入炉煤的颗粒尺寸与冷渣的颗粒尺寸分布有一一对应的分布关联。
- * 通常单级破碎的出口最大颗粒尺寸在20~30mm之间。
- * 而流化床锅炉能够忍受的最大颗粒尺寸可以达到50mm。

5.2破碎机电耗(一)

- * 常用的煤破碎机主要包括
反击式、环锤式和锤式三类
- * 破碎比与破碎机电耗之间的关系。取入口原煤尺寸为300mm，破碎后的出口煤尺寸分别为10mm、25mm和50mm。得到的破碎比分别为6、12和30.

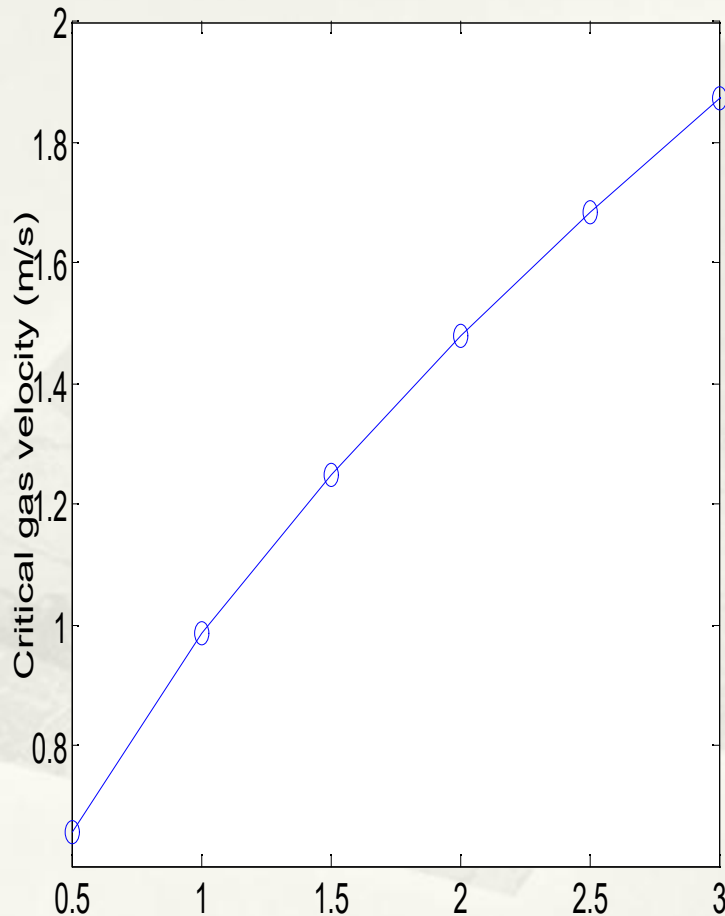
5.2破碎机电耗(二)

表2.锤式破碎机和反击式破碎机的破碎比和功耗

出口颗粒度	10mm	25mm	50mm
破 碎 比	6	12	30
反 击 式	0.145	0.33	1
锤 式	0.172	0.379	1

* 表2是根据文献【8】提供的计算公式得到的。可见，如果循环流化床锅炉可以燃用较大颗粒，燃料破碎可以节约大幅度电耗。

5.3 床层阻力(一)



- * 床层阻力取决于流化床的颗粒度分布。但流态化的基础条件是流化速度高于临界流化速度。根据锅炉计算手册，临界流化速度可按下式计算：

$$U_{mf} = 0.0882 Ar^{0.528} \frac{V_y}{d}$$

- * 按照锅炉运行条件假设：
- * 冷渣900°C，床料密度2400kg/m³，可以得到简化表达式：

$$U_{mf} = 55.704 d^{0.584}$$

- * 随着颗粒尺寸增大，临界流化速度以指数方式提高。

5.3 床层阻力(二)

——流化床运行阻力与颗粒球形度的关系

- * 流化床运行阻力与颗粒球形度的关系可表示为：

$$\Delta P = \frac{3}{4} L_f (1 - \varepsilon_f) (\rho_s - \rho_f) C_{df} \frac{Re_f^2}{Ar}$$

- * 式中 $C_{df} = C_{ds} f(\varepsilon)$

$$f(\varepsilon) = \frac{Ar}{18Re_s + 2.7Re_s^{1.687}}$$

- * 可以得出

$$\Delta P = (18Re_s + 2.7Re_s^{1.687}) = K$$

- * 和

$$\frac{\Delta P}{K} [K_1 \phi d_p + K_2 (\phi d_p)^{1.687}] = 1$$

5.5 如何降低流化床冷渣器电耗

- * 减少破碎机级数，破碎颗粒尺寸是循环流化床锅炉及其流化床冷渣器能承受的最大颗粒尺寸。
- * 流化床冷渣器浅料层运行：改进冷却流程和提高横向扩散速度。
- * 冷却尺寸范围较小的宽筛分颗粒：颗粒越大，球形度越小，床层压降越大。

5.6 高温灰渣按尺寸分选保证节能运行

- ★其实，文献【9】在秦皇岛电厂2台300MW循环流化床锅炉上已经明确认识到“国内电厂燃用的煤质变化较大，其破碎粒度难以保证，大渣的沉积较多，通过这些辅助排渣口，可以做到大渣细灰“各行其道”，”但受限于已有的结构，仅仅在冷渣器不同部位开设了不同的排渣口，希望粗细颗粒受到尽可能多的冷却。
- ★只要能做到高温灰渣按一定颗粒尺寸分割，小于一定尺寸的颗粒(如小于7mm或8mm)进风水联合冷渣器，大于该尺寸的颗粒进滚筒冷渣器，就可以形成完整的灰渣冷却联合机构。而在同一台锅炉上同时使用风水联合冷渣器和滚筒冷渣器早已有先例，只是没有组成一个联合系统【10】。



三. 高温热颗粒的分选方法

中国国家知识产权局已经受理的专利申请

**“一种灰渣冷却分选装置以及
使用该装置的循环流化床锅炉”
(申请号2009101437823)**

有可能实现高温灰渣的按尺寸分选。

均压挡条 (未显示)

前2排挡条:

负责将大于12mm的颗粒除掉,

第3排 挡条:

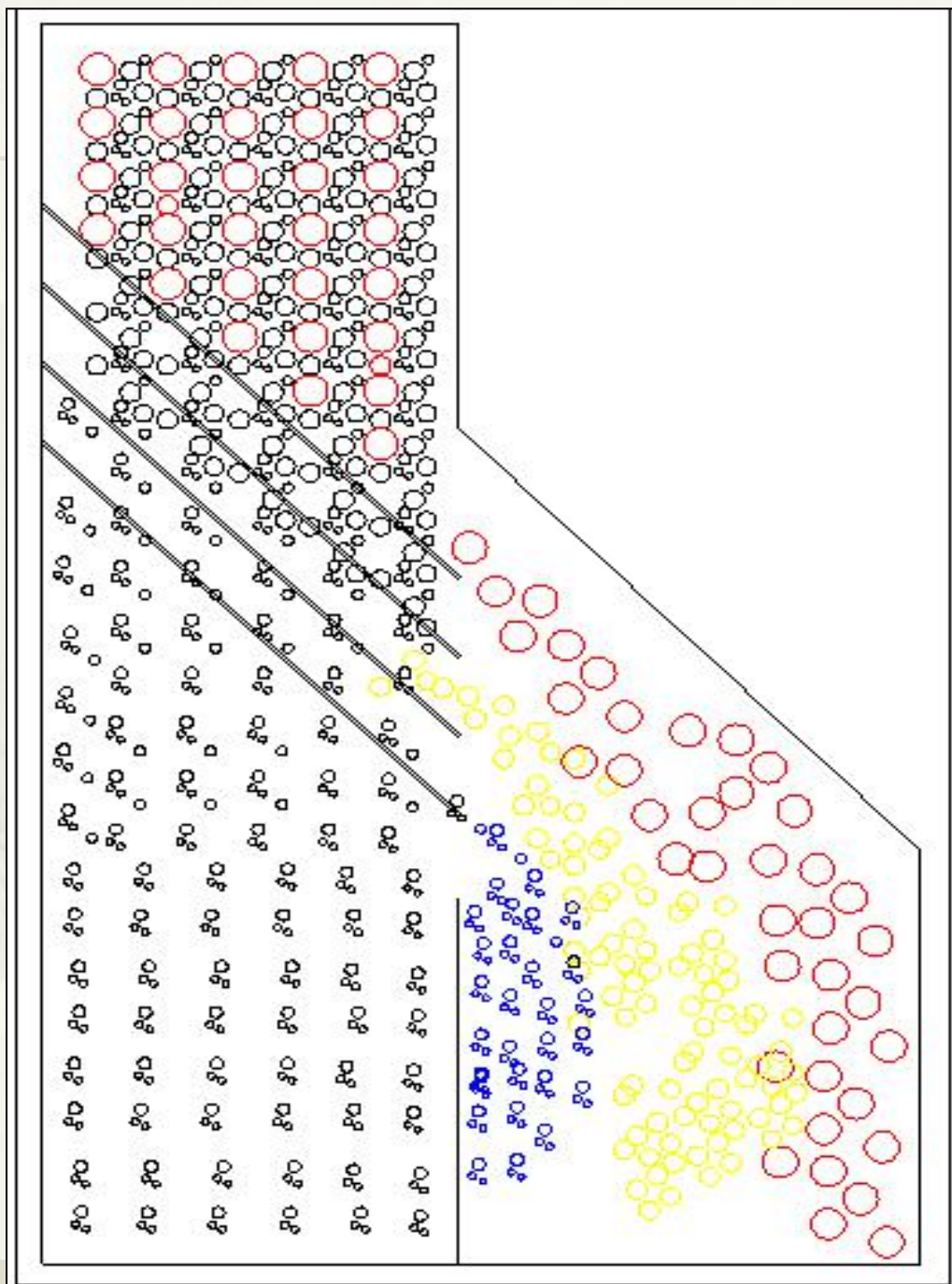
负责将8~10mm颗粒除掉;

第4排挡条:

负责将大于8mm的颗粒全部除掉。

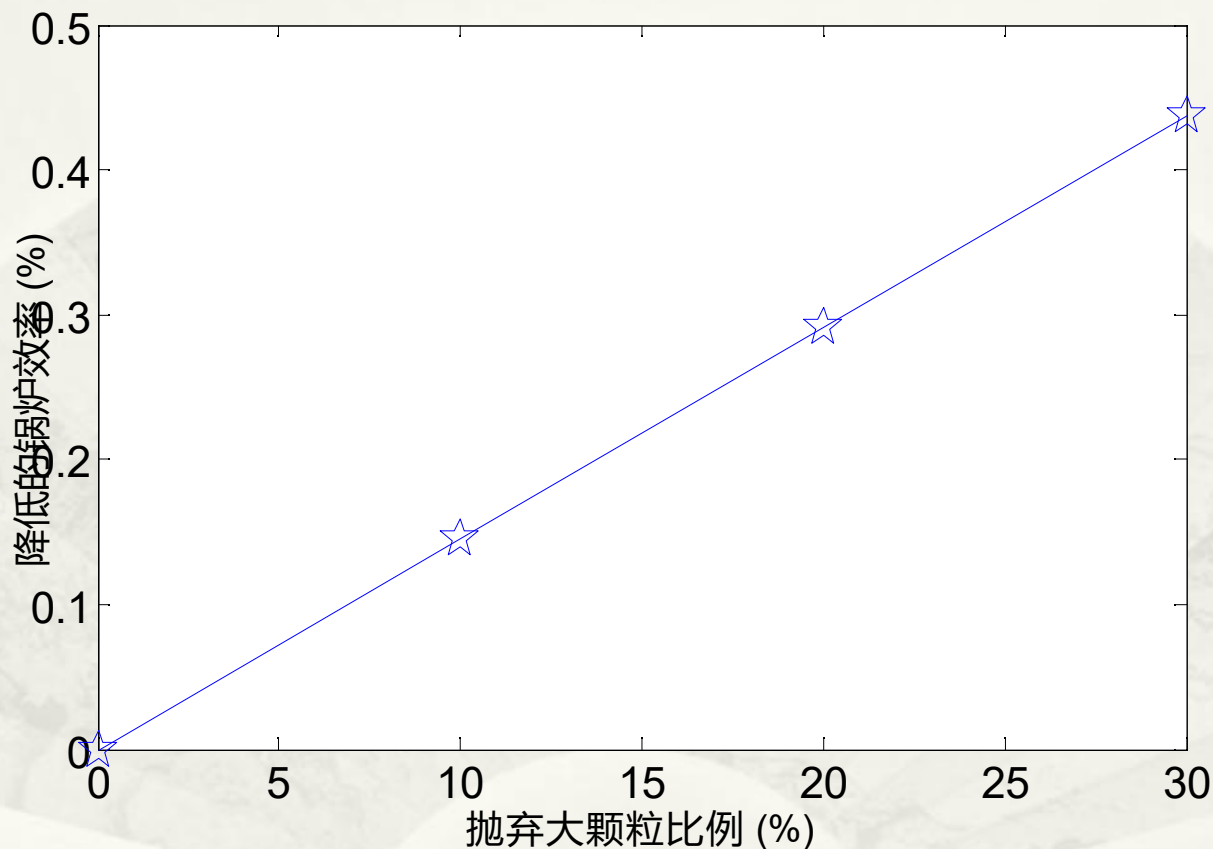
最终的分选结果:

保证大于8mm的颗粒不大于3%,



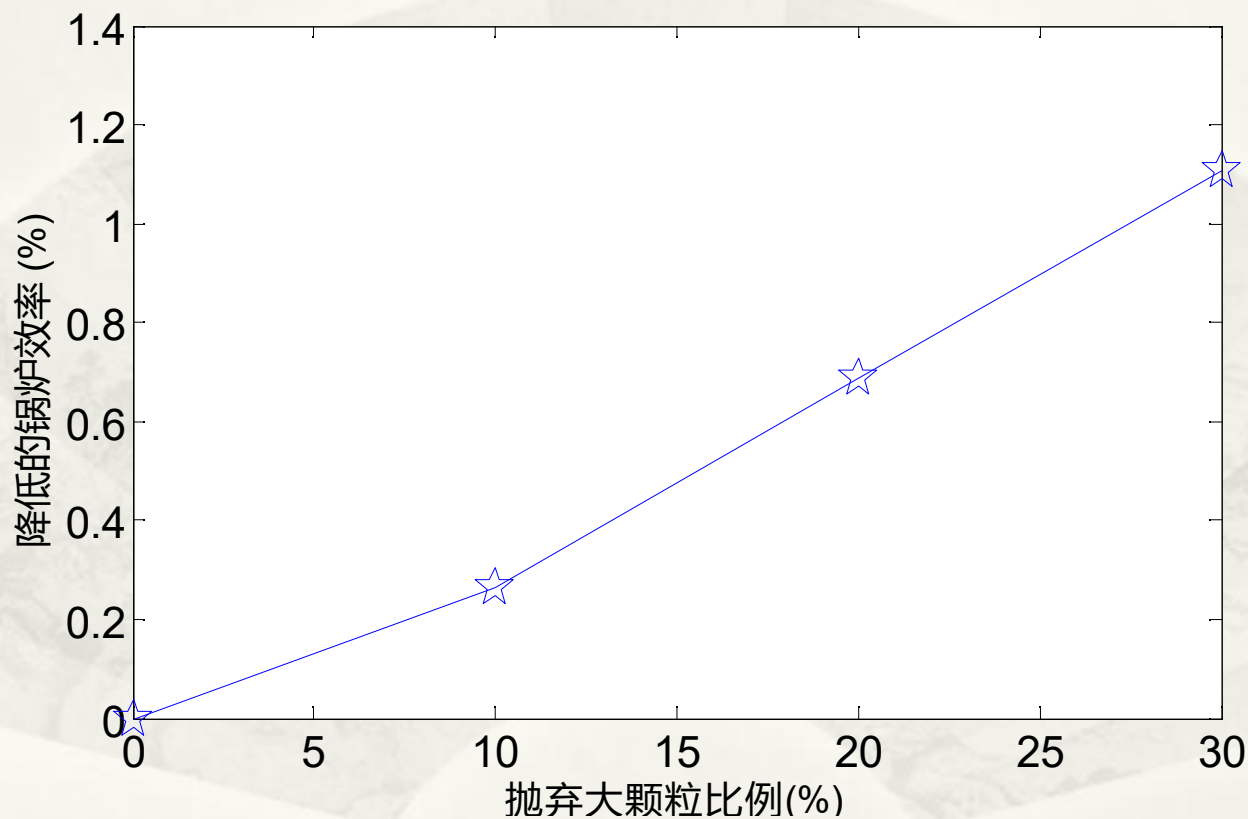
大渣不冷却造成的影响(一)

根据某300MW锅炉数据计算

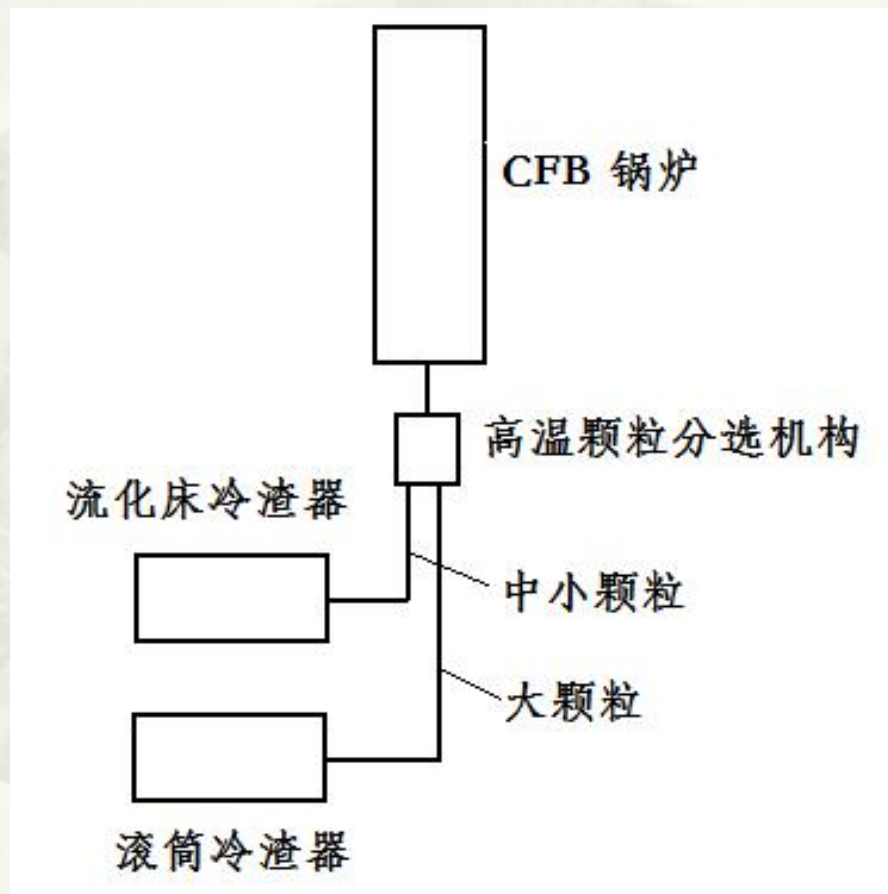


大渣不冷却造成的影响(二)

根据某135MW锅炉数据计算



四.流化床冷渣器与滚筒联合运行





谢谢！
敬请批评指正！

附：参考文献

- 【1】贺晓阳,陈汉平,刘德昌, 典型循环流化床锅炉冷渣器及选型初探, 节能环保技术 2007.No.6·月刊
- 【2】武建忠,赵勇纲,赵忠生, 循环流化床锅炉应用滚筒式冷渣排渣技术的可行性分析, 内蒙古电力技术, 2007 年第25 卷第1 期
- 【3】蔡新春,高清萍,董晓华,崔春琴,王澜, 410t/h CFB锅炉风水联合冷渣器的改进, 锅炉技术, 第38卷第5期, 2007年9月, BOILER TECHNOLOGY, Vol.38, No.5, Sep.,2007
- 【4】吴健旭,杨艺云, HG- 420/ 9.8 - L . PM1 型循环流化床锅炉排渣系统调试运行问题及处理, 广西电力, 2007 年第1 期
- 【5】王乐华, 循环流化床锅炉冷渣器的调整与改造, 应用能源技术, 2007 年第3 期(总第111 期)
- 【6】任祥鸿,王如, 风水联合冷渣器水冷管束泄漏原因及对策, 中国设备工程, 2007.06
- 【7】刘柏谦 王立刚《大型循环流化床锅炉及其化石燃料燃烧》, 冶金工业出版社, 2009
- 【8】东北电力大学校内讲义《输煤机械》;
- 【9】赵凯,李前宇,米子德, 双支腿循环流化床锅炉冷渣器问题分析, 华北电力技术, No.7 2007
- 【10】白存军, 470T/H 循环流化床锅炉选择性冷渣器与滚筒冷渣器的合理使用, 内蒙古石油化工2007 年第3 期