循环流行化床锅炉技术是近十几年来迅速发展的一项高效低污染清洁燃烧枝术。国际上这项技术在电站锅炉、工业锅炉和废弃物处理利用等领域已得到广泛的商业应用，并向几十万千瓦级规模的大型循环流化床锅炉发展；国内在这方面的研究、开发和应用也逐渐兴起，已有上百台循环流化床锅炉投入运行或正在制造之中。未来的几年将是循环流化床飞速发展的一个重要时期。

目录

[一.循环流化床锅炉结构?](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm" \l "1)

[二.循环流化床锅炉简介](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#2)

1. [一． 流态化：](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#2_1)
2. [二． 临界流化速度](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#2_2)

[循环流化床锅炉节能改造技术](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#3)

1. [① 加装燃油节能器；](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#3_1)
2. [② 安装冷凝型燃气锅炉节能器；](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#3_2)
3. [③ 采用冷凝式余热回收锅炉技术；](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#3_3)
4. [④ 锅炉尾部采用热管余热回收技术；](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#3_4)

[循环流化床锅炉的爆燃及预防](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#4)

[三、CFB石灰石制备系统细碎设备设计](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5)

1. [摘要：](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_1)
2. [关键词：](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_2)
3. [引言](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_3)
4. [1、粉碎的基本概念，方式和原则](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_4)
5. [1.1粉碎的基本概念](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_5)
6. [1.2粉碎的方式](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_6)
7. [1.3粉碎的基本原则](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_7)
8. [2、CFB机组石灰石粉出力及粒度级配的需求](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_8)
9. [2.1石灰石粉耗量要求](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_9)
10. [2.2粒度，级配要求](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_10)
11. [3、石灰石粉碎设备的选择](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_11)
12. [3.1石灰石的粗碎](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_12)
13. [3.2石灰石的细碎](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_13)
14. [3.3锤式破碎机和柱磨机系统的试验测试](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_14)
15. [3.4白马电厂石灰石粉制备系统的应用](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_15)
16. [4结论](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_16)
17. [参考文献](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_17)
18. [参考设备](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#5_18)

[循环流化床锅炉优点](http://baike.baidu.com/view/1168352.htm#6)

展开

**一.循环流化床锅炉结构?**

　　锅炉采用单锅筒，自然循环方式，总体上分为前部及尾部两个竖井。前部竖井为总吊结构，四周有膜式水冷壁组成。自下而上，依次为一次风室、密相床、悬浮段，尾部烟道自上而下依次为高温过热器、低温过热器及省煤器、空气预热器。尾部竖井采用支撑结构，两竖井之间由立式旋风分离器相连通，分离器下部联接回送装置及灰冷却器。燃烧室及分离器内部均设有防磨内衬，前部竖井用敖管炉墙，外置金属护板，尾部竖井用轻型炉墙，由八根钢柱承受锅炉全部重量。

　　锅炉采用床下点火（油或煤气），分级燃烧，一次风比率占50—60%，飞灰循环为低倍率，中温分离灰渣排放采用干式，分别由水冷螺旋出渣机、灰冷却器及除尘器灰斗排出。炉膛是保证燃料充分燃烧的关键，采用湍流床，使得流化速度在3.5—4.5m/s，并设计适当的炉膛截面，在炉膛膜式壁管上铺设薄内衬（高铝质砖），即使锅炉燃烧用不同燃料时，燃烧效率也可保持在98—99%以上。

　　高温分离器入口烟温在800℃左右，旋风筒内径较小，结构简化，筒内仅需一层薄薄的防磨内衬（氮化硅砖）。其使用寿命较长。[循环倍率](http://baike.baidu.com/view/1631262.htm)为10—20左右。

　　循环灰输送系统主要由回料管、回送装置，溢流管及灰冷却器等几部分组成。

　　床温控制系统的调节过程是自动的。在整个负荷变化范围内始终保持浓相床床温850-950℃间的某一恒定值，这个值是最佳的脱硫温度。当自动控制不投入时，靠手动也能维持恒定的床温。

　　保护环境，节约能源是各个国家长期发展首要考虑的问题，循环[流化床锅炉](http://baike.baidu.com/view/623922.htm)正是基于这一点而发展起来，其高可靠性，高稳定性，高可利用率，最佳的环保特性以及广泛的燃料适应性，特别是对劣质燃料的适应性，越来越受到广泛关注，完全适合我国国情及发展优势。

**二.循环流化床锅炉简介**

　　(circulating fluidized bed)

　　是在鼓泡床锅炉（沸腾炉）的基础上发展起来的，因此鼓泡床的一些理论和概念可以用于循环流化床锅炉。但是又有很大的差别。早期的循环流化床锅炉流化速度比较高，因此称作快速循环循环床锅炉。快速床的基本理论也可以用于循环流化床锅炉。鼓泡床和快速床的基本理论已经研究了很长时间，形成了一定的理论。要了解循环流化床的原理，必须要了解鼓泡床和快速床的理论以及物料从鼓泡床→湍流床→快速床各种状态下的动力特性、燃烧特性以及传热特性。

**一． 流态化：**

　　当固体颗粒中有流体通过时，随着流体速度逐渐增大，固体颗粒开始运动，且固体颗粒之间的摩擦力也越来越大，当流速达到一定值时，固体颗粒之间的摩擦力与它们的重力相等，每个颗粒可以自由运动，所有固体颗粒表现出类似流体状态的现象，这种现象称为流态化。

　　对于液固流态化的固体颗粒来说，颗粒均匀地分布于床层中，称为“散式”流态化。而对于气固流态化的固体颗粒来说，气体并不均匀地流过床层，固体颗粒分成群体作紊流运动，床层中的空隙率随位置和时间的不同而变化，这种流态化称为“聚式”流态化。循环流化床锅炉属于“聚式”流态化。

　　固体颗粒（床料）、流体（流化风）以及完成流态化过程的设备称为流化床。

**二． 临界流化速度**

　　1.　对于由均匀粒度的颗粒组成的床层中，在固定床通过的气体流速很低时，随着风速的增加，床层压降成正比例增加，并且当风速达到一定值时，床层压降达到最大值，该值略大于床层静压，如果继续增加风速，固定床会突然解锁，床层压降降至床层的静压。如果床层是由宽筛分颗粒组成的话，其特性为：在大颗粒尚未运动前，床内的小颗粒已经部分流化，床层从固定床转变为流化床的解锁现象并不明显，而往往会出现分层流化的现象。颗粒床层从静止状态转变为流态化进所需的最低速度，称为临界流化速度。随着风速的进一步增大，床层压降几乎不变。循环流化床锅炉一般的流化风速是2－3倍的临界流化速度。

　　2.　影响临界流化速度的因素：

　　（1）料层厚度对临界流速影响不大。

　　（2）料层的当量平均料径增大则临界流速增加。

　　（3）固体颗粒密度增加时临界流速增加。

　　（4）流体的运动粘度增大时临界流速减小：如床温增高时，临界流速减小。床温与临界流速的关系如图所示。

**循环流化床锅炉节能改造技术**

**① 加装燃油节能器；**

　　经燃油节能器处理之碳氢化合物，分子结构发生变化，细小分子增多，分子间距离增大，燃料的粘度下降，结果使燃料油在燃烧前之雾化、细化程度大为提高，喷到燃烧室内在低氧条件下得到充分燃烧，因而燃烧设备之鼓风量可以减少15%至20%，避免烟道中带走之热量，烟道温度下降5℃至10℃。燃烧设备之燃油经节能器处理后，由于燃烧效率提高，故可节油4.87%至6.10%，并且明显看到火焰明亮耀眼，黑烟消失，炉膛清晰透明。彻底清除燃烧油咀之结焦现象，并防止再结焦。解除因燃料得不到充分燃烧而炉膛壁积残渣现象，达到环保节能效果。大大减少燃烧设备排放的废气对空气之污染，废气中[一氧化碳](http://baike.baidu.com/view/4705.htm)（CO）、[氧化氮](http://baike.baidu.com/view/425701.htm)（NOx）、碳氢化合物（HC）等有害成分大为下降，排出有害废气降低50%以上。同时，废气中的含尘量可降低30%—40%。安装位置：装在油泵和燃烧室或喷咀之间，环境温度不宜超过360℃。

**② 安装冷凝型燃气锅炉节能器；**

　　燃气锅炉排烟中含有高达18%的水蒸气，其蕴含大量的潜热未被利用，排烟温度高，显热损失大。天然气燃烧后仍排放氮氧化物、少量[二氧化硫](http://baike.baidu.com/view/27248.htm)等污染物。减少燃料消耗是降低成本的最佳途径，冷凝型燃气锅炉节能器可直接安装在现有锅炉烟道中，回收高温烟气中的能量，减少燃料消耗，经济效益十分明显，同时水蒸气的凝结吸收烟气中的氮氧化物，二氧化硫等污染物，降低污染物排放，具有重要的环境保护意义。

**③ 采用冷凝式余热回收锅炉技术；**

　　传统锅炉中，排烟温度一般在160～250℃，烟气中的水蒸汽仍处于过热状态，不可能凝结成液态的水而放出汽化潜热。众所周知，锅炉热效率是以燃料低位发热值计算所得，未考虑燃料高位发热值中汽化潜热的热损失。因此传统锅炉热效率一般只能达到87%～91%。而冷凝式余热回收锅炉，它把排烟温度降低到50～70℃，充分回收了烟气中的显热和水蒸汽的凝结潜热，提升了热效率；冷凝水还可以回收利用。

**④ 锅炉尾部采用热管余热回收技术；**

　　余热是在一定经济技术条件下，在能源利用设备中没有被利用的能源，也就是多余、废弃的能源。它包括高温废气余热、冷却介质余热、废汽废水余热、高温产品和炉渣余热、化学反应余热、可燃废气废液和废料余热以及高压流体余压等七种。根据调查，各行业的余热总资源约占其燃料消耗总量的17%~67%，可回收利用的余热资源约为余热总资源的58%。

**循环流化床锅炉的爆燃及预防**

**1 发生爆燃的几种情况**

　　锅炉爆燃是由于炉膛内可燃物质的浓度在爆燃极限范围内，遇到明火或温度达到了燃点发生剧烈爆燃，燃烧产物在瞬间向周围空间产生快速的强烈突破。以下介绍几种循环流化床锅炉易发生爆燃的情况。

　　1.1 扬火爆燃

　　如果压火时燃料加得多或停的晚，使压火后床料内燃料的含量过多，这时燃料中的碳在缺氧状况下不充分燃烧产生大量的CO，同时燃料在炉内高温干熘挥发出甲烷、氢等可燃性气体。由于压火后床料表面温度降低，这些可燃性气体遇不到明火，便在锅炉炉膛内积聚。扬火时，随着风机的启动，床料开始流化，高温的床料从下面翻出，这时可燃性气体与明火接触，瞬间发生燃烧，如果可燃物的浓度在爆燃极限范围内，就会发生爆燃。个别司炉工在扬火时怕床温降得过快造成灭火，在启风机前先加入少量的燃料，新进入炉膛的燃料不但会挥发出可燃性气体，同时会有大量的煤粉参与燃烧，这样不但会增大产生爆燃的机率，还会加剧爆燃的强度。

　　1.2 大量返料突入爆燃

　　循环流化床锅炉都有物料循环系统。循环流化床锅炉运行时，大量固体颗粒在燃烧室、分离器和返料装置等组成的循环回路中循环，一般循环流化床锅炉的循环倍率为5~20，也就是说有5~20倍给煤量的返料灰需要经过返料装置返回燃烧室再次燃烧，循环物料是直径在0.1mm左右的细灰，有很好的流动性，在返料风的吹送下，连续不断地进入炉膛。运行中如果返料风过小，返料器内的物料就会停止流化或流动，从而造成返料器堵塞，细灰会在返料器内堆积，当细灰积累到一定时，细灰在自身重量的作用下产生流动或者由于操作调整增大风量使物料再次流化，这时成吨的细灰在短时间内进入炉膛。由于细灰的表面积大，此时返料风与空气快速混合充满炉膛，且细灰中一般含有20%左右的碳，在炉内高温环境下极易发生爆燃。

　　1.3 油气爆燃

　　流化床锅炉一般采用柴油点火，点火过程中因为油中的杂质、点火风的调配、油压太低等因素常会发生油枪灭火。灭火后，如果没及时发现、关闭油阀，被雾化的燃油会继续喷进炉膛内，这样从炉膛到尾部烟道甚至到烟囱出口都充满了油雾。这时如果再次点火或遇到其它明火，就会产生整个系统的爆燃。

　　2000年8月19日5点14分，平煤集团公司一自备电厂的35t/h循环流化床锅炉开始点火，油压在1.2~1.6MPa时，两支点火油枪雾化着燃油喷燃进入炉膛，450~500mm厚的底料开始流化预热，5点24分，即点火10min后，发现床温开始下降，司炉工检查发现两支点火枪已熄火，立即又用火把再次点火，随后就发生了炉膛内及燃烧系统爆燃和炉门窜出火舌伤人的事故。

　　事后检查发现，锅炉保温少部分振脱，密封与膨胀缝部分发生泄漏，由于正压大的作用尾部烟道的麻石块振掉，造成烟风系统短路，需进行停炉处理。

　　事后分析产生爆燃的原因有以下几方面：

　　（1）司炉工责任心不强。点火前没有认真试验点火枪的雾化情况，在发生点火中断的情况下，没进行认真检查处理而再次点火，是造成炉膛内超标的油烟浓度遇到明火发生爆燃事故的直接原因。

　　（2）点火风的调配不适与油压太低，造成喷油中断灭火，灭火后没有及时发现或发现后没有采取措施再次点火而发生爆燃的原因。

　　（3）油枪雾化不良，喷咀堵塞，油燃烧不充分，炉膛内有大量的油蒸汽。

　　所以，这次爆燃是由油枪供油中断灭火，大量油气充满燃烧于烟风系统中，可燃气体温度达到了燃点，遇到明火发生的剧烈爆燃。

　　1.4 烟道内可燃物再燃

　　在循环流化床锅炉运行中，有时可能发生烟道内可燃物再燃事故，这时会出现以下现象：排烟温度急剧增加，一、二次风出口温度也随之升高，烟道内及燃烧室内的负压急剧变化甚至变为正压；烟囱内冒黑烟，从引风机壳体不严处向外冒烟或向外喷火星等。

　　出现这种问题的原因主要有：燃烧调整不当，配风不合理，导致可燃物进入烟道；炉膛负压过大，将未燃尽的可燃物抽入烟道；返料装置堵灰使分离器效率下降，致使未燃尽颗粒填接进入烟道。

**2 锅炉爆燃的预防**

　　针对以上几种常见爆燃发生的原因，循环流化床锅炉操作中应采取下列措施防止爆燃。

　　（1）扬火时一定要先启动引风机通风5min后再启动送风机，以保证炉内积聚的可燃性气体排出，防止遇到明火。

　　（2）锅炉压火时一定要先停止给煤。当床温趋向稳定或稍有下降趋势时，再停送风机，防止压火后床料内煤量太多，产生大量可燃性气体及干燥的煤粉。

　　（3）压火后，扬火前尽量避免有燃料进入炉内，不可在扬火时先给燃料后启风机。

　　（4）当运行中发生返料堵塞存灰较多时，通过放灰系统将灰放掉。

　　（5）点火过程中如果发生油枪灭火，应先关闭油阀，保持风机运行通风5min后，再次点火。

　　（6）点火过程中，如果油枪喷咀堵塞，油枪雾化不良，导致床温上升困难，达不到加煤温度，应停止点火，对油枪喷咀进行清洗或更换后再点火。

　　（7）点火过程中，一定要控制好加煤量，一般总加煤量不能超过床料量的20%。

　　（8）如发现烟温不正常升高时，应加强燃烧调整，使风煤比调整到合适的范围内；若是由于返料装置堵灰造成的应立即将返料装置内的堵灰放净；若烟道内可燃物再燃烧使排烟温度超过300℃以上，应立即压火处理，严密关闭各人行孔门和挡板，禁止通风，然后在烟道内投入灭火装置或用蒸汽进行灭火，当排烟温度恢复正常时可再稳定一般时间，然后再打开人行孔检查、确认烟道内无火源并经引风机通风约15min后方可启动锅炉。

**三、CFB石灰石制备系统细碎设备设计**

**摘要：**

　　石灰石系统是CFB机组非常重要的一个辅助系统，近年来，随着外购成品粉的成本越来越大，并且石灰石粉粒度控制越来越差，更多的电厂选择自己制备石灰石粉，而制备系统中的细碎环节是首要关键的环节，因此做好细碎环节的设计，设备选型尤为重要，本篇将以白马600MW CFB电厂细碎系统设计选型为基础，重点论述石灰石粉制备中细碎环节的合理设计。

**关键词：**

　　石灰石；破碎；粉磨；级配；出力

**引言**

　　发展低碳经济已成为全球性共识，我国已把发展低碳经济，[应对气候变化](http://baike.baidu.com/view/2149638.htm)作为国家经济社会发展的重大战略，到2020年的行动目标，单位GDP的CO2排放强度比2005年下降40-50%。在实现这一目标的过程中，电力行业，尤其是火力发电领域承担着及其重要的责任。

　　当前，我国清洁煤发电技术和装备有了巨大的进步，大容量CFB锅炉技术已臻于成熟，300MW等级CFB锅炉在国内已全面普及，600MW等级机组已经开始研究并已实施。为了满足脱硫环保的要求，CFB机组的运行石需要掺烧石灰石粉，进入膛内的石灰石粉品质，粒径及级配，石灰石粉量等都有严格的要求，石灰石粉一旦达不到要求，就会影响炉内脱硫的效果，甚至影响其它系统。

　　目前国内CFB很多电厂石灰石粉直播系统的运行还不够理想，其中最重要的原因之一就是粉碎设备，尤其是细碎设备的设计和选型不当，因此做好石灰石粉细碎设备系统的设计，是一项非常迫切和重要的工作。

**1、粉碎的基本概念，方式和原则**

**1.1粉碎的基本概念**

　　固体物料在外力作用下克服其内聚力使之破碎的过程称为粉碎。因处理物料的尺寸大小不同，可大致分为破碎和粉磨两个过程：使大块物料碎裂成小块物料的加工过程称之为破碎；使小块物料碎裂成细粉末状物料的加工过程称为粉磨。

**1.2粉碎的方式**

　　基本的粉碎方式有：挤压粉碎，冲击粉碎，摩擦剪切粉碎和劈裂粉碎等，如下图：

循环流化床脱硫

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 粉碎方式 | 机理 | 典型设备 |
| 挤压粉碎 | 工作部件对物料施加挤压作用，物料在压力作用下发生粉碎。 | 颚式破碎机 |
| 挤压-剪切粉碎 | 物料在挤压和剪切两种作用力下发生粉碎。 | 柱磨，雷蒙磨，钢球磨，立磨，棒磨 |
| 劈裂粉碎 | 对物料在工作部件的劈裂作用下而粉碎 | 冲旋破碎机 |
| 冲击粉碎 | 工作部件高速运动对物料进行冲击或者物料高速运动向固定壁冲击而发生粉碎。 | 锤式破碎机 |

**1.3粉碎的基本原则**

　　对于物料的粉碎，经过大量理论研究和运行实践证明，存在一个破碎和粉磨最佳经济点即至某一粒度以上宜采用破碎，至某一粒度以下宜采用粉磨，也就是常说的分段破碎原则。破碎机运行时，破碎用的锤头或者刀具处于高速运动状态，通过撞击或者切削的作用力方式，更适合将大块的原料破碎成为较粗的物料；磨机运行时，速度相对慢得多，通过较为笨重的碾辊等大质量金属件碾磨挤压物料，更适合将小块物料进一步粉碎，有利于制备系统的节能，提高经济性。部分学者通过研究得出自己的研究结果：①[诺尔斯](http://baike.baidu.com/view/1780883.htm)及法栾特从碎矿和磨矿能耗降低的角度出发，用[邦德](http://baike.baidu.com/view/90955.htm)公式计算结果作图，得出碎至12.7mm交给磨矿时能耗最低。②[前苏联](http://baike.baidu.com/view/261966.htm)研究者从碎磨成本最低的角度出发测算出大型选厂碎矿最终粒度4-8mm最好，小型选厂最终10-15mm.。

　　综合下来，目前国内物料粉碎基本可按以下粒度选择粉碎设备型式：

**2、CFB机组石灰石粉出力及粒度级配的需求**

**2.1石灰石粉耗量要求**

　　CFB机组的石灰石耗量主要与以下3个因素有关：①煤质中的含硫量，②机组的容量，③烟气排放标准。我国的煤质硫分偏高，单位发热量低，随着烟气排放标准越来越高，所需石灰石耗量也越来越大。

**2.2粒度，级配要求**

　　CFB机组对石灰石粒度，级配有着严格的要求。掺烧的石灰石粉偏粗时，石灰石粉在炉膛内反应的表面积不足，会导致脱硫效率偏低；掺烧的石灰石粉偏细时，石灰石粉会因为在膛内停留的时间过短，也会导致脱硫效率偏低。目前阶段CFB机组要求石灰石成品粉粒径小于等于1mm，下图是某工程炉内要求的石灰石粉粒度级配[曲线](http://baike.baidu.com/view/400.htm):：

**3、石灰石粉碎设备的选择**

　　电厂购买的石灰石原料，往往都是矿山初步破碎后的石灰石原料，电厂石灰石制备系统设计时，可根据原料进厂粒度，按照分段破碎的原则，选择采用破碎+磨制或者直接采用磨制的方式。

**3.1石灰石的粗碎**

　　石灰石原料进厂粒度一般在100mm左右，经过粗碎机破碎后粒度要求在30mm以下，相对容易实现，一般采用国产破碎机即可。

**3.2石灰石的细碎**

　　根据CFB锅炉厂要求，石灰石成品粉粒径小于等于1mm，宜采用粉磨方式制备，也有个别厂家采用进口破碎机。

　　以下是国内电厂常用的粉磨设备：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 磨机种类 | 出料粒径范围 | 备注 |
| 1 | 钢球磨 | ≤0.075mm | 偏小 |
| 2 | 棒磨 | 0～4mm |  |
| 3 | 雷蒙磨 | 0.15～0.01mm | 偏小 |
| 4 | 深湘柱磨机 | 0～2mm |  |
| 5 | 冲旋式破碎机 | 0～2mm |  |
| 6 | 齿辊式破碎机 | 0～5mm | 美国钢莱克 |
| 7 | 锤式破碎机 | 0～5mm | 德国奥贝玛 |

　CFB机组要求石灰石粒径在0—1mm这个区间，这个区间的粒度和粒度分布要求实际是难以达到的。

　　国外绝大多数破碎机公司包括[美国](http://baike.baidu.com/view/2398.htm)钢莱克机械制造有限公司、[德国](http://baike.baidu.com/view/3762.htm)的FAM、美国[宾夕法尼亚州](http://baike.baidu.com/view/150361.htm)破碎机公司、美国破碎机公司、德国奥贝玛破碎技术有限公司等，现在一般都不做这种粒度的破碎，国内用过破碎机的经验告诉我们，实际上运行效果也很难以保证成品粉的粒径要求，如安徽淮北临焕电厂等，采用美国钢莱克破碎机，设计要求1mm，但实际运行平均粒径是3mm，最大粒径5mm；德国奥贝玛公司采用破碎机加机械筛分的[闭式系统](http://baike.baidu.com/view/5040729.htm)，后面介绍对比情况。

　　钢球磨是制粉系统常用的设备之一，可靠性较高，出力大。但是它的出料粒径偏细，控制手段少，不能满足设计要求，另外他耗电量较大，噪音大、粉尘污染较大，设备价格也较高。

　　雷蒙磨达不到这个级配要求，另外出力也较小，不适宜用于大型CFB机组石灰石粉制备。

　　棒磨机磨石灰石粉通常是在传统的棒磨机的基础上增加了选粉系统。由于制造等方面的原因，其筛板的制造还达不到原设计要求，带来的问题是出力下降，可靠性降低。同时，他的出力也较小（20t/h），耗电量较大，噪音大、粉尘污染也比较大、设备价格较高。

　　冲旋式破碎机是国内近几年来开发的一种新型破碎机，但虽然它具有破碎性能好、体积小、电耗低等特点，但冲旋式破碎机刀片磨损很快，使用寿命大约500h，更换频率高，维护量大，另外出力也较小（20t/h），不能满足设计要求。

　　柱磨机是近年来在石灰石粉破碎上普遍采取的一种磨机，采用反复滚压原理生产石灰石粉，具有产量高、噪音小、磨损小、耗电量低、控制调节手段较多等优点，尤其是易损件辊轮由耐磨合金铸铁经过特殊热处理生产的，其使用寿命时间长，衬板为2年，辊轮3年。另外可以调节转速、碾辊与衬板的间隙、下料筒高度等方式来控制出料的粒径，技术性能指标（加上后续闭式系统）是目前各种细碎设备里最接近设计要求的（后面介绍测试数据）。

　　综合对比下来，柱磨机占有明显的优势，推荐采用柱磨机。

**3.3锤式破碎机和柱磨机系统的试验测试**

　　为切实做好石灰石粉碎设备的选型工作，我们对全国范围内采用石灰石粉制备电厂进行了广泛的调研，在此基础上对四川白马300CFBMW电厂和云南巡检司电厂的石灰石粉制备系统开展了重点调研、测试试验和分析工作。白马电厂300MW CFB机组石灰石制备采用的是两级破碎机+机械筛分系统的闭式系统，二级破碎机德国奥贝玛[锤击式破碎机](http://baike.baidu.com/view/875235.htm)；云南巡检司电厂2\*300MW CFB机组石灰石粉制备采用的是一级破碎机+柱磨机+气力风选系统的闭式系统。经测试国网白马电厂石灰石制备，设计出力65t/h,实际出力30t/h；华电云南巡检司电厂石灰石制备，设计出力50t/h，实际出力50t/h.

　　根据试验测试的结果，柱磨机系统在出力和级配方面数据明显优于锤击式破碎机系统，更能满足大型CFB机组的要求。

**3.4白马电厂石灰石粉制备系统的应用**

　　白马600MW CFB工程为1\*600机组，石灰石粉耗量为85.94t/h,石灰石入厂粒径《=30mm，要求成品粉粒径《=1mm。安工程需要，设置3套50t/h制备系统。设计时，按两级破碎机和柱磨机两个方案拟定，两种方案经济比较如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 两级破碎（二级采用进口设备） | 柱磨机 | 备注 |
| 初投资 | 3\*400万 | 3\*218 |  |
| 运行费 | 3\*91.7 | 3\*69.5 |  |
| 维护费 | 3\*135 | 3\*40 |  |

　经济性上来看，柱磨机占有明显的优势。

　　白马电厂最终采用柱磨机方案。

**4结论**

　　综上所述，CFB机组石灰石粉碎系统设计和设备的选择推荐原则如下：

　　1， 应遵循分级粉碎原则，粗碎采用破碎机，细碎采用柱磨机。

　　2， 当石灰石来料粒度《=30mm时，可直接采用磨机。

　　3， 石灰石粉的细碎设备推荐采用柱磨机。

**参考文献**

　　[1] [谢洪勇](http://baike.baidu.com/view/5180665.htm)，[刘志军](http://baike.baidu.com/view/544952.htm)。粉体力学与工程，2007，7.

　　[2] [陶珍东](http://baike.baidu.com/view/5025601.htm)，[郑少华](http://baike.baidu.com/view/696975.htm)。粉体工程与设备，2010，2.

　　[3] [陈建斌](http://baike.baidu.com/view/47886.htm)，罗明鑫。石灰石制备系统收资报告，2006，11.

　　[4] 杨爱丽，[胡学武](http://baike.baidu.com/view/5987174.htm)。循环流化床锅炉岛石灰石制粉系统的设备配置及设计优化，2003，10.

**参考设备**

　　[1] [长沙深湘通用机器有限公司](http://baike.baidu.com/view/3102340.htm)

**作者简介**：

[易礼容](http://baike.baidu.com/view/566518.htm)（1968.3-），男，最高学历本科，高级工程师，从事于电力行业除灰渣系统技术研究、设计工作。

　　王仕能（1979.1-），男，最高学历本科，工程师，从事于电力行业除灰渣系统技术研究、设计工作。

[许华](http://baike.baidu.com/view/1342326.htm)（1962.12-），男，最高学历本科，教授级高级工程师，从事于电力行业除灰渣系统技术研究、设计工作

**循环流化床锅炉优点**

　　(1)燃料适应性广[1]

　　这是循环流化床锅炉的主要优点之一。在循环流化床锅炉中按重量计，燃料仅占床料的1～3%，其余是不可燃的固体颗粒，如脱硫剂、灰渣等。因此，加到床中的新鲜煤颗粒被相当于一个“大蓄热池”的灼热灰渣颗粒所包围。由于床内混合剧烈，这些灼热的灰渣颗粒实际上起到了无穷的“理想拱”的作用，把煤料加热到着火温度而开始燃烧。在这个加热过程中，所吸收的热量只占床层总热容量的千分之几，因而对床层温度影响很小，而煤颗粒的燃烧，又释放出热量，从而能使床层保持一定的温度水平，这也是流化床一般着火没有困难，并且煤种适应性很广的原因所在。

　　(2)燃烧效率高

　　循环流化床锅炉的燃烧效率要比鼓泡流化床锅炉高，通常在95～99%范围内，可与煤粉锅炉相媲美。循环流化床锅炉燃烧效率高是因为有下述特点：气固混合良好;燃烧速率高，其次是飞灰的再循环燃烧。

　　(3)高效脱硫

　　由于飞灰的循环燃烧过程，床料中未发生脱硫反应而被吹出燃烧室的石灰石、石灰能送回至床内再利用;另外，已发生脱硫反应部分，生成了[硫酸钙](http://baike.baidu.com/view/149219.htm)的大粒子，在循环燃烧过程中发生碰撞破裂，使新的氧化钙粒子表面又暴露于硫化反应的气氛中。这样循环流化床燃烧与鼓泡流化床燃烧相比脱硫性能大大改善。当[钙硫比](http://baike.baidu.com/view/3847399.htm)为1.5～2.0时，脱硫率可达85～90%。而鼓泡流化床锅炉，脱硫效率要达到85～90% ，钙硫比要达到3～4，钙的消耗量大一倍。与煤粉燃烧锅炉相比，不需采用尾部脱硫脱硝装置，投资和运行费用都大为降低。

　　(4)氮氧化物(NOX)排放低

　　氮氧化物排放低是循环流化床锅炉另一个非常吸引人的特点。运行经验表明，循环流化床锅炉的NOX排放范围为50～150ppm或40～120mg/MJ。循环流化床锅炉NOX排放低是由于以下两个原因：一是低温燃烧，此时空气中的氮一般不会生成NOX ;二是分段燃烧，抑制燃料中的氮转化为NOX ，并使部分已生成的NOX得到还原。

　　(5)燃烧强度高，炉膛截面积小

　　炉膛单位截面积的热负荷高是循环流化床锅炉的另一主要优点。其截面热负荷约为3.5～4.5MW/m2，接近或高于煤粉炉。同样热负荷下鼓泡流化床锅炉需要的炉膛截面积要比循环流化床锅炉大2～3倍。

　　(6)负荷调节范围大，负荷调节快

　　当负荷变化时，只需调节给煤量、空气量和物料循环量，不 必像鼓泡流化床锅炉那样采用分床压火技术。也不象煤粉锅炉那样，低负荷时要用油助燃，维持稳定燃烧。一般而言，循环流化床锅炉的负荷调节比可达(3～4)：1。负荷调节速率也很快，一般可达每分钟4%。

　　(7)易于实现灰渣综合利用

　　循环流化床燃烧过程属于低温燃烧，同时炉内优良的燃尽条件使得锅炉的灰渣含炭量低(含炭量小于1%)，属于低温烧透，易于实现灰渣的综合利用，如作为水泥掺和料或做建筑材料。同时低温烧透也有利于灰渣中稀有金属的提取。

　　(8)床内不布置埋管受热面

　　循环流化床锅炉的床内不布置埋管受热面，因而不存在鼓泡流化床锅炉的埋管受热面易磨损的问题。此外，由于床内没有埋管受热面，启动、停炉、结焦处理时间短，可以长时间压火等。

　　(9)燃料预处理系统简单

　　循环流化床锅炉的给煤粒度一般小于13mm，因此与煤粉锅炉相比，燃料的制备破碎系统大为简化。

　　(10)给煤点少

　　循环流化床锅炉的炉膛截面积小，同时良好的混合和燃烧区域的扩展使所需的给煤点数大大减少。既有利于燃烧，也简化了给煤系统。>>便携式里氏硬度计的使用原理除湿机原理疏水阀的类型和工作原理无堵塞泵叶轮的结构形式及特点坩埚的用途不锈钢管的种类