

华能白杨河电厂 2 × 135MW 循环流化床锅炉机组设计特点

赵树成 祝洪青
山东电力工程咨询院

摘要：介绍华能白杨河电厂 2 × 135MW 扩建工程流化床锅炉燃烧系统及其辅助设备配置、热力系统、主厂房布置的特点，对 135MW 流化床锅炉电厂和供热式机组的设计具有一定的参考价值。

关键词：流化床锅炉 系统 设备 布置

1 工程概况

华能白杨河电厂老厂原有 3 × 50MW 燃烧水煤浆汽轮发电机组。

本期工程建设规模为 2 × 135MW 燃煤单抽凝汽式汽轮发电机组，配 2 × 465t/h 循环流化床锅炉。本工程为供热机组，能满足近期工业和采暖热负荷的需要，执行“热电联产，以热定电”的原则；同时，为减少污染，控制 SO₂ 的排放，采用了循环流化床锅炉加石灰石炉内脱硫的技术。

本扩建工程与老厂机组完全脱开建设，新、老厂分居于白杨河的两岸。

本工程于 2001 年 12 月开工，2003 年 9 月 1 号和 9 月 22 号两台机组相继完成 168 小时的试运行考验并交付试生产。

该工程锅炉是哈尔滨锅炉厂投入运行的第一台 465t/h 循环流化床锅炉，汽轮机是哈尔滨汽轮机厂投入运行的第一台 135MW 抽凝机。

2 主机主要技术规范

2.1 锅炉

型号和型式：HG-465/13.7-L.PM，超高压自然循环单汽包循环流化床锅炉，单炉膛，平衡通风，一次中间再热，悬吊结构，固态排渣，全钢炉架，露天布置。

主要设计参数：BMCR 为 465t/h，13.7MPa(g)/540；4.15/4.01 MPa(g)，375.6/540；Ca/S 比为 2.2，脱硫效率 92%，保证热效率 90.50。

2.2 汽轮机

型号和型式：C135-13.24/535/535，超高压、一次中间再热、双缸双排汽、单抽凝汽式汽轮机

主要设计参数：额定功率 135MW，455.88t/h，13.24MPa(a)/535；4.23/3.804MPa(a)，3 / 7 4 / 535；背压 0.0118/0.0049MPa(a)；调节抽汽量 39~150t/h，1.1MPa，355.1。

2.3 发电机

型号和型式：WX21Z-073LLT，空冷，静态励磁。

主要设计参数：135MW，13.8kV，50Hz， $\cos\phi=0.85$ ，

3 燃烧系统

3.1 系统的拟定

锅炉采用平衡通风，空气系统采用两级分段送风，燃烧系统根据锅炉厂提供的锅炉烟风系统拟定。

3.2 一次风系统

一次风系统主要是为循环流化床锅炉提供流化介质，使煤在锅炉炉膛内实现流化状态，并作为燃料给料系统的输送介质。

从一次风机鼓出的空气分为两路进入炉膛。其一，经过空气预热器加热成为热一次风，进入炉膛底部的风室，通过布置在布风板上的风帽使床料流化，并形成向上通过炉膛的气固两相流，其二，未经空预器加热的一次风，作为锅炉点火用风，启动时进入床下4只启动燃烧器。

一次风由2台50%容量的一次风机供给，一次风机采用离心式风机，入口设有消音器，其风量由风机入口调节装置调节。

3.3 二次风系统

二次风系统分为四路：第一路，未经预热的冷二次风作为给煤机的密封用风；第二路，经过暖风器和空气预热器加热后的热二次风直接经炉膛上部的二次风箱送入炉膛，启动时，作为点火用风，进入床上4只启动燃烧器；第三路，热二次风作为密封风引至给煤口；第四路，热二次风作为密封风引至石灰石口。

二次风由2台50%容量的二次风机供给，二次风机采用离心式风机，入口设有消音器，其风量由风机入口调节装置调节。

在空预器入口的二次风道上设有暖风器，使空预器在冬季时免遭低温腐蚀。因空预器上的一次风入口处的烟温较二次风入口处高，不会发生低温腐蚀现象，在一次风道上没有设置暖风器。

3.4 冷渣器冷却风系统

每台锅炉配2台100%容量的风水联合冷却流化床冷渣器，其冷却风由独立的冷渣器冷却风系统提供。每台锅炉设2台100%容量的离心式冷却风机。

3.5 烟气系统

锅炉燃烧产生的高温烟气首先经高效绝热式旋风分离器分离，烟气中大的颗粒飞灰被分离出来返回炉膛，而烟气则携带小颗粒飞灰流经锅炉尾部受热面，经过静电除尘器收尘后，经吸风机进入烟囱后排大气。

每台锅炉选用一台双室四电场、除尘效率99.4%的高效静电除尘器，以满足当地环保排放要求。

每台锅炉配置2台50%容量的带液力耦合器的离心式吸风机。

本期工程两台机组共用一座烟囱。烟囱高度210m，出口内径5m。

3.6 炉内物料循环燃烧系统

炉内物料循环燃烧系统的作用在于将高效旋风分离器里收集到的炙热颗粒经回料器送回到炉膛，实现物料的循环燃烧。本系统由2个旋风分离器、2个回料器、3台高压流化风机等3个部件所组成。

由高效旋风分离器分离出来的固体颗粒依靠重力进入回料器，回料器两边利用高压风形成不同的流态化，可将固体颗粒单向送回炉膛。在旋风分离器立管中的固体颗粒建立起来的料位，能防止炉内烟气和流化风从回料器窜至旋风分离器。高压流化风机用以提供回料器所需的高压流化风。

每台锅炉设3台50%容量的高压流化风机，其中2台运行，1台运行备用。高压流化风机采用高压头、小风量的定容式罗茨风机。

3.7 给煤系统

本系统采用炉后两级给煤。每台锅炉配两路给煤系统。每路给煤系统第一级为耐压计量式皮带给煤机，出力能满足一台炉最大出力的需要，输送距离为28.17m，可实现变速称重，单炉计量，采用全封闭壳体，拆装灵活；第二级为耐压刮板给煤机，输送距离为12m，出力能满足一台炉最大出力的需要。

破碎后的原煤（粒径7mm）经输煤皮带进入炉前原煤仓，然后经落煤管由给煤系统送入锅炉。每台锅炉配2个原煤仓，每个原煤仓对应的一路给煤系统相对独立，任意一路给煤

系统的给煤量都可以满足锅炉满负荷运行，正常情况下每路给煤系统各带 50%负荷运行。

原煤供给系统采用正压给料，皮带给煤机的密封风采用冷二次风。热二次风作为给煤口密封风。

3.8 石灰石粉系统

脱硫剂采用粒径 1mm 的石灰石粉，石灰石粉入炉采用空气输送，石灰石粉经螺旋给料机后，在气粉混合器中与石灰石送粉风机提供的高压空气混合，并将其从布置于炉后的 4 个石灰石气力给料口送入炉膛。另外，在回料器的回料管上还设置有启动床料入口。

每台锅炉配置 1 个石灰石粉仓，2 条石灰石粉给料系统和 2 台石灰石送粉风机。

3.9 锅炉点火及助燃油系统

点火方式为高能电点火器点燃轻油，再点燃煤。锅炉采用床上、床下联合点火方式，每台锅炉床上、床下各布置 4 只启动燃烧器。床上有 4 只油枪，每只油枪出力为 1.46t/h；床下有 4 只油枪，每只油枪出力为 0.98t/h。油枪蒸汽雾化，炉前供油母管压力为 1.38MPa。

4 燃烧系统辅助设备选择

4.1 原煤仓

每炉配两个原煤仓，每个原煤仓的几何容积为 328m³，两个原煤仓能满足 8 小时计的存煤量。原煤仓为混凝土结构，内衬铸石板。

4.2 给煤机

每台炉对应于两个原煤仓，共配 2 台称重式计量给煤机和 2 台刮板给煤机，每台给煤机的给煤量都可以满足锅炉满负荷运行，正常情况下每台给煤机各带 50%负荷运行。给煤机出力为 20 - 70t/h。

给煤机驱动电动机采用变频调速电动机，在运行中可根据锅炉燃烧控制系统反馈信号自动调节给煤量。皮带给煤机采用耐压称重式，可对入炉煤进行精确计量。

给煤机倾斜布置，倾角为 11.5°。

4.3 石灰石料仓

每台锅炉配一个石灰石料仓，石灰石料仓几何容积为 124m³，石灰石料仓能满足设计煤种（收到基硫 Sar =1.5%）15 个小时或校核煤种（收到基硫 Sar =2.47%）8 个小时的存料量。石灰石料仓为钢斗。

4.4 石灰石给料系统

每台炉对应于一个石灰石料仓，每台石灰石粉料仓设两个出料口，每个出料口设一套输送系统。石灰石粉从石灰石粉料仓出来后通过手动插板门进入连续发送器和螺旋式给料机，在石灰石喷射泵中与高压空气混合，将其送入炉膛。高压空气来自石灰石送粉罗茨风机。石灰石流量根据燃料量和锅炉尾部 SO₂ 分析数据，通过调节螺旋式给料机的转速来控制。石灰石粉送至锅炉回料管石灰石接口，从四个进料点进入炉膛燃烧。

每台炉共设两套炉前石灰石粉输送系统，每个石灰石粉仓对应的两条石灰石粉给料线相对独立，任意一条石灰石粉给料线的出力都能满足锅炉满负荷运行，正常情况下每条石灰石粉给料线各带 50%负荷运行。

4.5 风机

| 序号 | 项目名称 | 单位 | 一次风机 | 二次风机 | 吸风机 | 冷渣器风机 | 高压流化风机 | 石灰石送粉风机 |
|----|-------------|------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 风机型式 | / | 离心式 | 离心式 | 离心式 | 罗茨 | 罗茨 | 罗茨 |
| 2 | 每炉风机配置台数 | 台 | 2×50% | 2×50% | 2×50% | 2×100% | 3×50% | 2×100% |
| 3 | 系统计算气体温度 | | 30 | 30 | 135.3 | 30 | 30 | 30 |
| 4 | T.B 风量 | kg/s | 52 | 44.09 | 453312 | 7.8 | 1.6 | 1.125 |
| 5 | BMCR 流量 | kg/s | 40 | 35.27 | 384530 | 6 | 1.28 | 0.9 |
| 6 | T.B 工况风机压头 | kPa | 24.5 | 19 | 6.45 | 42.5 | 5.54 | 50.4 |
| 7 | BMCR 工况风机压头 | kPa | 19.6 | 13.6 | 5.16 | 28.4 | 4.26 | 42 |
| 8 | 风机流量富裕系数 | % | 30 | 25 | 18 | 30 | 25 | 25 |
| 9 | 风机压头富裕系数 | % | 25 | 40 | 25 | 50 | 30 | 20 |

说明：

(1) 因校核煤种含硫量高，需要风量大，表中石灰石送粉风机风量按校核煤种选择。

(2) 表中吸风机流量单位为 m³/h。

(3) 《大火规》要求流化床锅炉（管式空气预热器）一次风机、二次风机容量余量不小于 20%；其压头余量，一次风机不小于 20%，二次风机不小于 30%；流化风机容量和压头余量均不小于 20%。上表中的选择是符合要求的

(4) 冷渣器风机的压头余量 50%是锅炉厂特别要求的。

(5) 流化风机、冷渣器风机和石灰石送粉风机是进口产品。

4.6 燃烧系统见下图 1

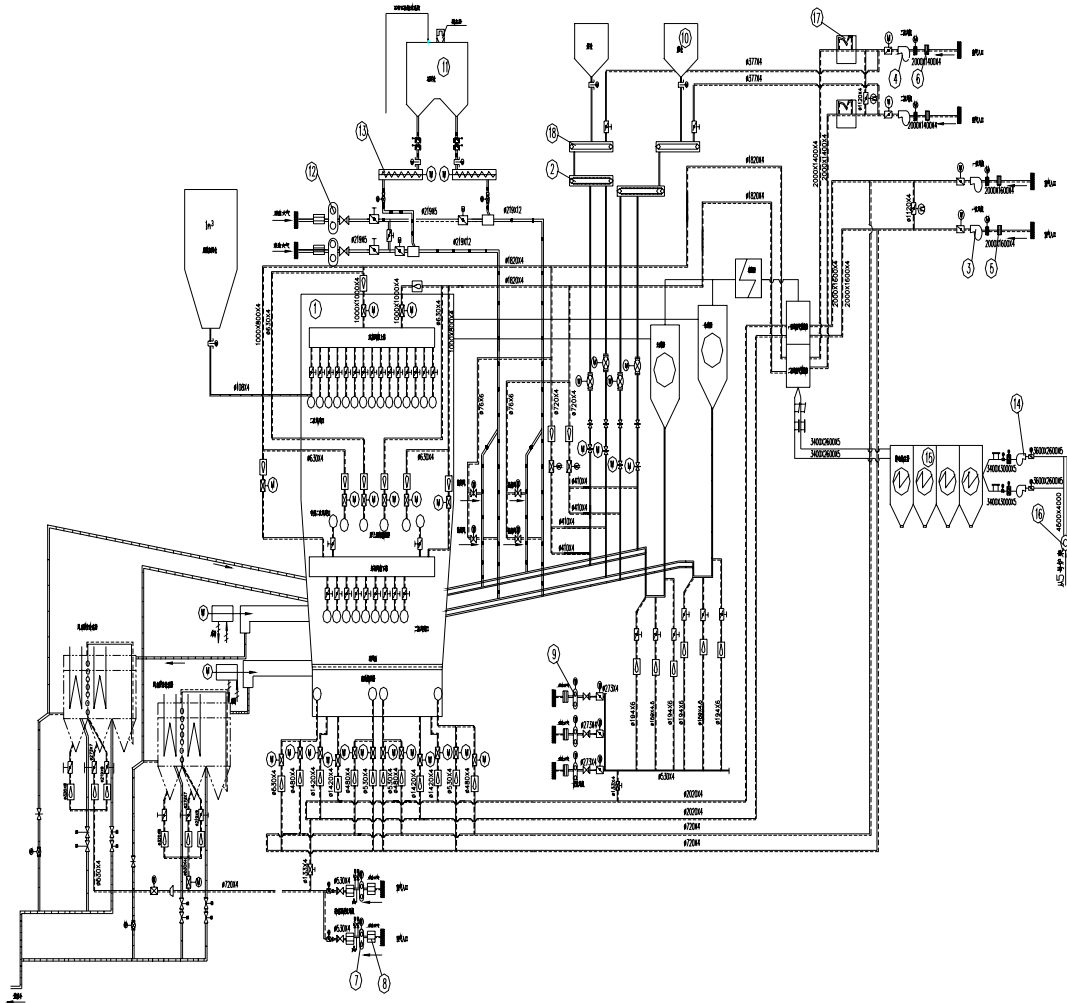


图 1

5 热力系统的特点

热力系统除下面的专述外，基本同常规的 135MW 机组。

5.1 汽机旁路系统

采用二级串联简化旁路系统，高压段通流能力为 15%BMCR，即 70t/h。

5.2 回热系统

汽轮机共设七级抽汽，其中一级为调整抽汽。一段抽汽由汽机高压缸排汽管接出供 1 号高加用汽；二、四、五、六、七段抽汽为非调整抽汽，分别用作 2 号高加和 4 台低加汽源；三段抽汽为调整抽汽，作为 1 台除氧器和对外供热汽源。除氧器采用定压-滑压运行方式。

5.3 凝结水系统

主凝结水主要流程如下（低加编号按抽汽顺序分别为 4、5、6、7 号）：凝结水泵 轴封加热器 7 号低加、冷渣器（7 号低加与冷渣器并联） 6 号低加 5 号低加 4 号低加 除氧器。

本工程采用 CFB 循环流化床锅炉，锅炉冷渣器冷却用水采用凝结水，可回收部分工质热量以提高机组效率。该部分凝结水由 7 号低加凝结水进口引出，经两台 100% 升压泵（互为备用）升压送入锅炉冷渣器，回水接至 7 号低加凝结水出口，与 7 号低加并联运行。

低加采用小旁路系统，除氧器水位调节阀设在 4 号低加出口、除氧器进口管道上，凝结水再循环管设在 7 号低加后，既保证轴加的最小流量，又能在停机时带走锅炉排渣的热量。

本工程设一台 100m³ 上水箱及三台 125 m³/h 的上水泵，在启动前利用上水泵为锅炉及除氧器上水。夏季工况运行时补水系统不经过上水泵，采用化学除盐水直接补入凝汽器的补水方式，化学除盐水补水泵(化学专业)连续运行。冬季工况时，除盐水经上水泵，进入锅炉冷渣器加热，并入 7 号低加凝结水出口管道，进入除氧器，在运行中可视对外供汽量的大小来选择上水泵的运行数量。

本期工程为供热式机组，且投产后即对外供热，根据规程规定，每台机组设两台 100% 容量的立式凝结水泵，互为备用。

5.4 对外供汽系统

三级抽汽为调整抽汽，除为除氧器及厂用蒸汽供汽外，本级抽汽还要对外供汽。夏季工况时，工业用设计热负荷为 1.1MPa、300 ，37t/h；冬季工况时，工业和采暖设计热负荷为 1.1MPa、300 ，150t/h。

因三抽的抽汽参数为 1.1MPa、355.8 ，为满足热用户的需要，每台机组除设置一台三级抽汽减温装置一套外，两台机组还设置一套共用备用装置。

6 主厂房布置

6.1 主厂房主要尺寸

表 6.1-1

主厂房主要尺寸

| 项 目 | 单位 | 尺寸 | 备 注 |
|--|----|-------|-----------------|
| 主厂房柱距 | m | 8 | |
| 汽机房跨度 | m | 36.8 | |
| 汽机房档数 | -- | 10 | |
| 汽机房总长度 | m | 81.2 | 6 号柱为双柱，柱距 1.2m |
| 运转层标高 | m | 9 | |
| 行车轨顶标高 | m | 18.80 | |
| 除氧层标高 | m | 17.5 | |
| 给煤机层标高 | m | 17.5 | |
| 输煤皮带层标高 | m | 30.5 | |
| 除氧煤仓间屋顶标高 | m | 37 | |
| 除氧煤仓间跨度 | m | 13.5 | |
| 炉前距离 (C 列与 K ₁ 柱距离) | m | 6.5 | |
| 锅炉房跨度 (K ₁ 柱与 K ₄ 柱距离) | m | 32 | |
| 锅炉最后一排柱与烟囱中心距离 | m | 51 | |

| 项 目 | 单位 | 尺寸 | 备 注 |
|------------|----|-------|-----------------|
| A 列与烟囱中心距离 | m | 139.8 | |
| 除氧煤仓间档数 | -- | 11 | |
| 除氧煤仓间总长度 | m | 89.2 | 6 号柱为双柱，柱距 1.2m |

6.2 主厂房布置

6.2.1 总体布置

主厂房采用顺列式、等柱距布置(6号柱为双柱，柱距 1.2m)，柱距为 8m。依次为汽机房、除氧煤仓间、锅炉房、除尘器、吸风机、烟囱。

从主厂房 A 列柱中心线至烟囱中心距离为 139.8m，运转层标高 9m。本期除氧煤仓间为 11 个柱距(6号柱为双柱，柱距 1.2m)。

对于 135MW 等级机组，汽机横向布置是标准布置，其主厂房布置紧凑，主辅机设备布置紧密，主要汽水管道较短，而这正是 21 世纪示范电站的特征之一。本方案在继承传统布置优点的基础上进一步压缩厂房建筑体积，在满足设备检修条件的前提下，可以降低电站造价。

6.2.2 汽机房布置

汽轮发电机组横向布置，机头朝向 B 列柱，由机头向发电机看，4(5)号汽机加热器左(右)侧布置，机组中心线与锅炉中心线对齐。这样布置可以缩短汽水管道长度，布置对称，并使主厂房面积得到充分利用。

凝汽器中心距 A 列中心线 18.93m，发电机抽转子需要退到 A 列外侧出线小间的屋顶上。

两台机组所配置 4 台电动调速给水泵横向布置在汽机房底层两台机之间的检修场地的 B 列侧，但 B 列侧仍留有 2m 的纵向通道，汽机房 A 列两机之间设有大门，可运输大件直通检修场地。

汽轮发电机组之间的零米层设置检修场，面积约 350m²。

在汽机房内 A 列侧两机组之间设置 6.00m 小平台，布置三台减温器。三抽供汽管道沿加热器平台侧布置。经减温后的蒸汽由一根 720×9 的管道穿 A 列墙至厂区对外供热管网。

6.2.3 除氧煤仓间布置：

除氧煤仓间为单框架结构，跨度为 13.5m，柱距为 8 m，固定端布置上煤皮带。每台锅炉所配置的原煤仓及石灰石粉仓各占用 3 个柱距，每台除氧器占据 2 个柱距，除氧煤仓间全长共 89.2m。

除氧煤仓间各层的布置：

0.0m 层：布置电气设备间及蓄电池室。

5.0m 层：为电缆夹层和采暖换热站。

9.0 m 层：为运行层，布置集中控制室、热控电子设备间、电气继电器室和化学加药间及化验室。其上方为管道夹层。

17.50m 层：为除氧间层，布置除氧器及其水箱、给煤机、石灰石粉螺旋给料机、石灰石粉排粉风机。

30.80m 层：为输煤皮带层，布置两台输煤皮带机及通风除尘装置。原煤仓布置于 17.50m 层与 30.50m 层之间。

37.0m 层：为屋面层。

6.2.4 锅炉房布置：

锅炉为全钢架悬吊结构、露天布置，运转层为混凝土平台，运转层以下封闭。两炉中心

距为 49.2m。运转层标高 9.0m,炉顶设置轻型钢屋盖,汽包层设置封闭的司水小室。

锅炉 0m 尾部受热面 K₄柱附近布置 2 台一次风机和 2 台二次风机,在尾部受热面的下方布置 3 台高压流化风机,在炉前一侧布置 2 台冷渣器冷却风机。此外还在锅炉房 K₃钢柱外布置定期排污扩容器及定期排污坑。

炉前距离为 6.50m,布置埋刮板输渣机,经机械链斗输渣机进入位于电除尘器固定端侧和扩建端侧的渣仓。除氧煤仓间与锅炉房在 9.0m、17.5m 均有楼层相连,除氧煤仓间皮带层设有通往电梯平台的步道。在 30.5m 层设有炉前封闭。

每台锅炉设有一部电梯,布置于两台锅炉之间的内侧钢柱边。电梯停靠层的设置根据安装、运行、及维护的要求与锅炉刚性层平台连接。

6.2.5 锅炉尾部布置

在锅炉房外依次布置有 1 台双室四电场静电除尘器、2 台吸风机、1 座烟囱。

6.3 空压机房布置

本工程热机专业选用 4 台螺杆式 12m³/min 空压机,供仪表和检修用压缩空气。空压机房为三层建筑,热机专业(4 台)和除灰专业(4 台)的空压机布置在底层,二层和三层为电除尘器的电气设备。空压机房占地面积 24 × 15m²。

7 问题及建议

7.1 煤斗为上口矩形、下口方形的楞柱+棱台形状,两侧面夹角分别为 60.1° 和 72°,混凝土结构。尽管煤斗上安装了两层 12 个空气炮,试运行期间,煤斗还是发生了堵煤现象。后来,在 60.1° 两侧面上增装液压疏松机,问题基本得到解决。

建议流化床锅炉的煤斗使用钢煤斗,倾斜角宜大于 65 度或者 70 度。流化床锅炉用煤既不是原煤也不是煤粉,而是经细碎机研磨后的细煤。如果实际运行用煤水分或黏度较大,煤斗很容易堵煤。

7.2 锅炉冷渣器上有一个锥形阀,厂家要求用压缩空气和除盐水冷却。每炉有两个冷渣器,每个锥形阀需压缩空气 0.45kg/min,需压力为 ~0.4MPa 的除盐冷却水 5t/h。建议签定锅炉协议时,改为高压流化风和工业水。

7.3 热风道特别是热一次风道压力高(24.5kPa)管径大(2020 × 4),因此内应力很大。试运期间,热一次风道上的个别非金属膨胀节发生撕裂。同期试运的国内另一个 135MW 流化床锅炉电厂,也出现了同样问题。在风道的适当位置增设了限位和固定支架,问题得到解决。

7.4 一次风机噪音大,风箱出口风道温度约 50 。尽管在风道上加装了导流板,风机外壳上也设计有保温隔音措施,但效果不是很理想。一次风机压头较大,国内厂家第一次承做大容量一次风机,建议制造厂和设计院对此进一步研究,积累经验。

7.5 锅炉厂推荐的启动床料系统复杂。因本工程的煤质灰份大(28.4 ~ 33.48%),正常运行不需要添加床料,只在第一次和锅炉大修时使用,业主要求采用一次性的简易启动床料斗和电动单轨吊。但实际上,电厂也未采用,而是人工加的启动床料。国内的同类型电厂,此系统有多种形式,建议对此进一步优化,使之既实用、造价又低。

8 结论

白杨河电厂两台 135MW 等级的流化床锅炉运行表明,国内 465t/h 的大型超高压再热循环流化床技术已臻于成熟,其燃烧系统的设计和辅机配置是合理而可行的;流化床锅炉配供热机组的热力系统设计和主厂房布置也是合理的。该工程既有经济效益,又有社会效益和环保效益,值得推广。