



中国大唐集团科学技术研究院

China Datang Corporation Science and Technology Research Institute

大唐集团2014年节能技术交流

火电厂节能降耗综合治理措施

中国大唐集团科学技术研究院

赵文波

节能降耗综合治理技术措施

一 汽轮机通流及本体改造

二 汽轮机辅助设备及其系统改进

三 热力及疏水系统

四 凝汽器及真空系统优化改造

五 水塔及空冷岛改进



节能降耗综合治理技术措施

一 汽轮机通流及本体改造

目前在役300MW、600MW机组热耗率高于设计值100~300 kJ/kWh的机组还较多，汽轮机通流部分节能降耗有较大潜力。

1. 通流改造条件（大唐技术指导意见2012）

- 国产200MW等级湿冷机组，热耗率高于8400kJ/kWh；
- 国产300MW亚临界湿冷机组，配置汽动给水泵，热耗率高于8250kJ/kWh；
- 国产引进300MW亚临界湿冷机组，汽动给水泵，热耗率高于8200kJ/kWh；
- 国产600MW亚临界湿冷机组，配置汽动给水泵，热耗率高于8150kJ/kWh；
- 国产300MW亚临界空冷机，电动给水泵，汽轮机热耗率高于8450kJ/kWh。

其它类型机组可参照执行



节能降耗综合治理技术措施

一 汽轮机通流及本体改造

2 改造主要内容

- ◆ 采用新型高效叶片和减少漏汽损失（级效率提高约1.5%）。
- ◆ 采用子午通道优化技术（调节级效率提高约1.5%）。
- ◆ 改进汽封结构及合理调整汽封间隙。
- ◆ 中低压缸第1级采用蜗壳进汽腔室无叶喷嘴技术（级效提高约3%）。
- ◆ 采用高效可靠的末级长叶片技术（整机效率提高约0.5%~1.0%）。
- ◆ 采用薄出汽边技术（级效率可提高约0.6~0.9%）。
- ◆ 采用三元流设计技术。
- ◆ 排汽缸优化设计（低压缸效率提高约1%）。



3. 汽轮机通流及本体改造

- 国产300MW亚临界湿冷汽轮机（配汽泵）热耗率应达7930 kJ/kWh,
- 国产600MW亚临界湿冷汽轮机（配汽泵）热耗率应达7900 kJ/kWh,
- 国产300MW亚临界空冷汽轮机（配电泵）热耗率应达8200 kJ/kWh。
- 高、中、低压缸效率可分别提高2~4%，整机改造后机组热耗率下降200 kJ/kWh以上，折合供电煤耗约6-8g/kw。

节能降耗综合治理技术措施

4汽轮机本体提效技术

(一) 引进型300MW本体检修提效内容

更换调节级喷嘴；

加装调节级叶顶汽封；

改进平衡盘汽封结构；

改进导汽管密封形式；

高中压内、外缸夹层挡汽环加装阻汽片；

取消中压缸冷却蒸汽管；

改进低压内缸及持环中分面螺栓；

合理调整通流间隙及清洁通流部分；

检修喷丸工艺。

国产引进型300MW通流检查和调整条件

国产300MW等级亚临界湿冷机组，配置汽动给水泵，在THA工况下热耗率高于8100kJ/kWh；

国产600MW等级亚临界湿冷机组，配置汽动给水泵，热耗率高于8000kJ/kWh；

国产300MW等级亚临界空冷机组，配置电动给水泵，热耗率高于8300kJ/kWh；

效果

热耗率可降低约100kJ/kWh。



中国大唐集团科学技术研究院

China Datang Corporation Science and Technology Research Institute

节能降耗综合治理技术措施

(二) 国产350MW超临界机组通流调整与汽封改造

问题:

热耗率高、缸效率低、平衡盘漏汽量大、低压段抽汽温度高等问题

条件:

在热耗率高于7780 kJ/kWh

效果:

热耗率低于7730 kJ/kWh

国产350MW超临界通流间隙调整与改造:

调节级处增加1道汽封齿

平衡盘汽封可改为弹性可调汽封

低压缸轴端汽封可采用接触式汽封或常规汽封

低压缸隔板汽封可采用蜂窝式汽封或铁素体浮动齿汽封或常规汽封。



节能降耗综合治理技术措施

（三）国产600MW超（超）临界机组通流调整与汽封改造

问题：

热耗率高、缸效率低、平衡盘漏汽量大、5、6、7低压段抽汽温度高等问题，

改造条件：

亚临机组热耗率高于7650 kJ/kWh

超超临界机组热耗高于7550kJ/kWh

国产350MW超临界通流间隙调整与改造：

1) 通流部分全面检查，按偏下限值控制（，合实缸进行检验，尤其是低压缸变形量）。

2) 全面改造汽轮机汽封结构。

3) 检修中吊出下缸，拆掉保护板，检查并重新上紧6个工艺孔的法兰螺丝，并焊死接口法兰。

效 果：

600MW超临界汽轮机热耗率应达到7600kJ/kWh以下，
600MW超超临界汽轮机热耗率应达到7500kJ/kWh以下，

平衡盘漏汽量在1.5%左右，

5、6、7段抽汽温度仅比设计值高20~30℃



5汽轮机汽封改造

范 围：

- 轴端汽封
- 隔板汽封
- 过桥汽封
- 平衡盘汽封
- 叶顶汽封。

技术效果：

各种轴封的组合改进，热耗率降低约30-50 kJ/kWh。



节能降耗综合治理技术措施

汽封型式	特 点	适用部位
可调式汽封	该汽封是在周向分段汽封间安装周向螺旋弹簧，靠弹簧的支撑力使安装间隙足够大，避免机组在启动、停机过程中汽封与转子的碰磨。	压差大部位，如高中压的隔板、过桥汽封
浮动齿汽封	这种汽封实际上是用可磨性材料代替传统曲径汽封的低齿部分，而不改变原有汽封环背部结构。	高压轴端、中压轴端、低压轴端
蜂窝汽封	蜂窝带由合金制成，耐高温，质地较软，与转子碰磨时，对转子伤害较轻。蜂窝式汽封的安装间隙可取原标准间隙的下限，密封间隙较小。	高中低压轴封、高中低压隔板、高中低压叶顶，过桥汽封、轴端
接触式汽封	接触式汽封的汽封齿为复合材料，耐磨性好，具有自润滑性。	高中低压轴封处
刷式汽封	刷式汽封是一种柔性可接触式密封，由于其径向间隙为零，因此封汽效果最好，漏汽量最小。	低压叶顶，低压隔板汽封，高中低压轴端汽封
侧齿汽封	汽封间隙与传统汽封相同，在现有汽封齿上加工出1~2个侧齿和底齿，相当于在很有限的空间内部分增加了迷宫腔的摩阻效应。	高中压叶顶、隔板，低压叶顶、隔板，轴端

二 汽轮机辅助设备及系统改进

1 电泵改汽泵

现状：

部分机组三台50%容量的电动给水泵配置，或汽泵加电泵方式。

电动给水泵选择余量偏大（电机一般比给水泵功率大30%~50%）

采用节流的方法调节给水流量，调节损失较大

泵的余量越大。

用电动给水泵上水

优缺点：

电泵：

初投资小、设备布置简单

占用场地少的优点

设备可靠性也较好。

汽泵：

降低发电净热耗率，提高机组效率；

给水泵转速不受系统频率受影响

配置方式：

1*100%汽泵
+2*50%电泵

1*100%汽泵
+1*50%电泵

2*50%汽泵
+1*50%电泵

2 变频改造

目前状况

- 300MW电泵厂用电约1.5%~2.5%，单台泵电机容量约5000kW；
- 低负荷运行时，液力耦合调速效率下降较多。

适用范围

- 低负荷调峰状况下运行
- 电动机的裕量较大

改造方式

- 将液力耦合器更换成增速齿轮箱。
- 将液力耦合器改造成多功能液力耦合器。



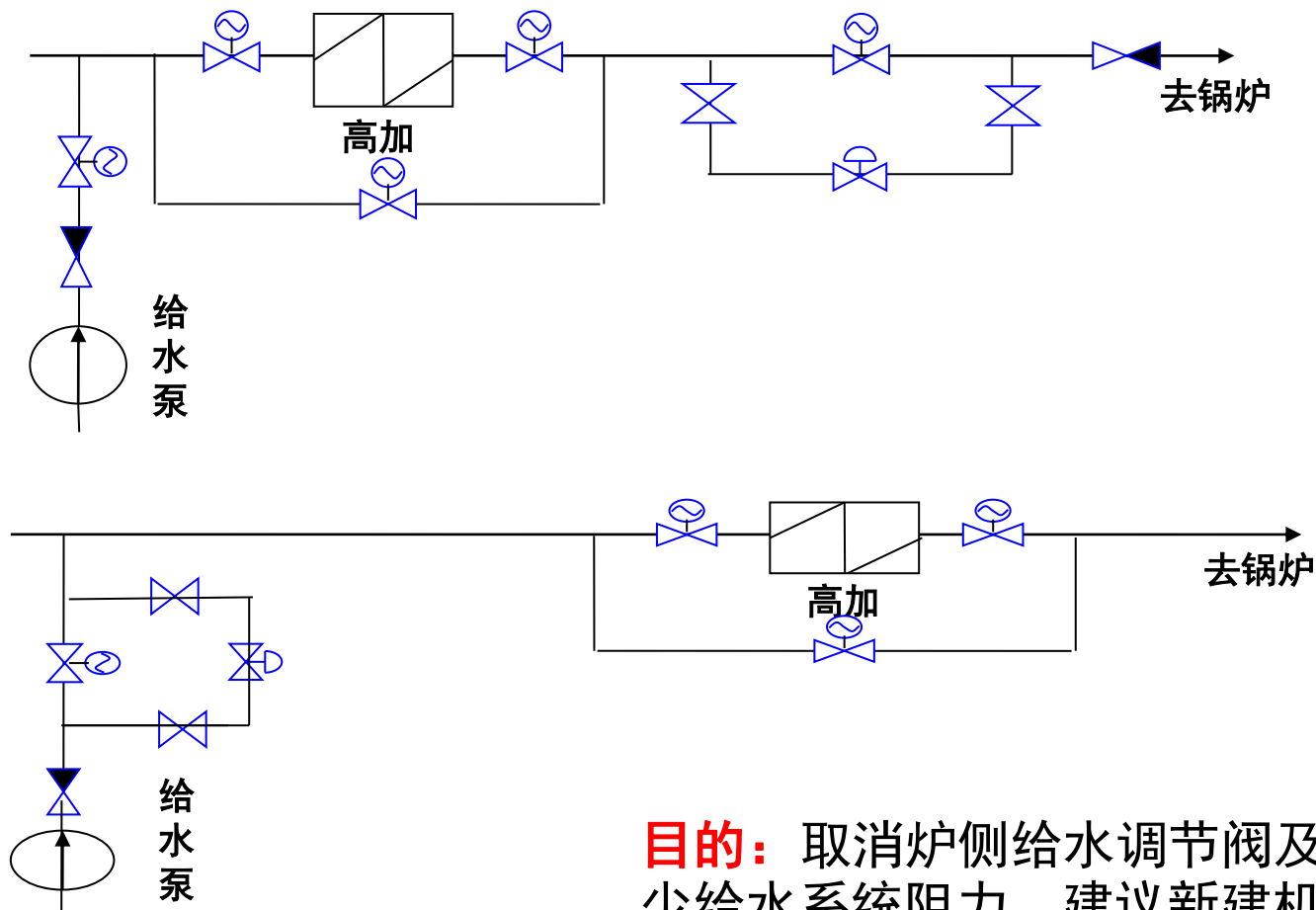
3 电泵的运行优化

- 汽动给水泵采用变速小汽轮机，电泵采用液力耦合器或变频器调节。
- 给水泵全程参与给水流量的调节，减少节流损失或取消给水调门。
- 小汽轮机尽可能用较低能级的汽源。
- 机组启动时,优先启动汽动给水泵运行。
- 机组低负荷运行时，根据实际情况试行单泵运行。
- 入口滤网应定期清理，保持清洁。
- 减少给水泵最小流量阀内漏。
- 降低前置泵出口压力，满足主泵最低压力需要，降低前置泵电机电流。

4 加热器及系统优化改进



4.1 给水系统优化设计



目的：取消炉侧给水调节阀及逆止门，减少给水系统阻力，建议新建机组采用！

节能降耗综合治理技术措施

4.4 给水端差、温升问题与改进

现状与问题

给水端差偏大是机组运行中经常遇到的问题，一般伴随给水温升的降低。

原因分析

- a) 加热蒸汽压力不稳或蒸汽流量不足；
- b) 加热器汽侧排空气不畅，导致不凝结气体聚集，影响换热；
- c) 加热器管子表面结垢，影响换热；
- d) 加热器堵管较多，传热面积较少；
- e) 加热器水位过高，淹没了部分冷凝管；
- f) 加热器水室分程隔板变形或损坏，造成部分给水短路。

主要措施：

- a) 监视各级段抽汽压力，运行中并保持抽汽压力稳定。
- b) 检查抽汽逆止阀或闸阀是否卡涩，加热器进汽口蒸汽通道是否受阻。
- c) 保证加热器运行中正常排气通畅。
- d) 监视加热器运行水位，并保持稳定在正常范围内。
- e) 检查水室分程隔板，发现问题及时修复。
- f) 对于堵管超过规定值的加热器可以考虑技术改造或更换。



4.5 疏水端差问题与改进

问题

疏水端差一般为 $5.6\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，疏水端差偏大是机组运行中经常遇到的问题。

主要措施：

- (1) 通过调整疏水水位，降低疏水端差。
- (2) 注意机组负荷和疏水调节阀开度的关系，机组负荷未变，如疏水调节阀开度变大，有可能管子发生了轻度泄漏。
- (3) 定期冲洗水位计，防止出现假水位。
- (4) 改善调节品质

节能降耗综合治理技术措施

5 循环水泵及系统提效改造

- ◆ 重新设计叶轮（使设计工况点与泵的运行工况一致）。
- ◆ 将循环水泵电动机改为双速（这种方案改造投资较小）。
- ◆ 采用高压变频技术。
- ◆ 对电厂的循环水泵的出水母管连接改造。

6 凝结水泵及其系统改进技术

- ◆ 电机容量冗余系数不要过大。
- ◆ 叶轮改造为高效叶轮。
- ◆ 抽级改造法。
- ◆ 切削叶轮法。
- ◆ 凝结水泵变频改造。

7 开式水泵节能改造及其优化

- ◆ 开式水泵双速改造。
- ◆ 将两台机组的开式水系统进行联络。
- ◆ 在冬天循环水温度降较低时，开式水泵可以停运，开启水泵的进出口阀门，或将开式水泵增加旁路。（注意电机空冷器）
- ◆ 在非高温季节时开式泵停运，若扬程不够，可以增设单独的增压泵。



5.1 循环水泵优化运行

- (1) 单元机组通过调节循环水泵的流量或切换容量不同的水泵来经济运行。母管制机组，应通过启停循环水泵的台数来满足经济运行的要求。
 - (2) 变频泵可以得到机组最佳运行真空对应的最佳变频控制运行方式（通过运行方式优化试验，结合机组负荷、冷却水温度）
 - (3) 电机双速组合运行方式。（如单泵低速、单泵高速、双泵低速、单泵低速+单泵高速、双泵高速或三泵并联等）。
- 在机组出力大于75%时，循环水泵双速运行改造效果优于变频方式，在出力小于75%额定负荷时，循环水泵变频方式优于双速运行方式。。

6.1 凝结水泵变频改造

改造方式：

- 配置2*100%容量凝结水泵，变频器为一拖二方式。
- 3*50%容量凝结水泵，配置两台变频器，且可以在三台之间切换。

其他修改与问题：

- 修改除氧器进水控制逻辑；
- 调整低旁减温水压力低保护定值
- 给水泵密封水差压低保护定值
- 凝结水压力低开启备用泵定值。
- 推力瓦供油磨损问题

改造效果

一般情况下，可以降低凝结水泵耗电率20%以上。



6.2 凝结水系统优化运行

- (1) 凝结水泵变频时，上水调门应全开，通过转速控制水位。
- (2) 对于凝结水泵、凝升泵串联运行的机组，可考虑试停凝升泵运行。
- (3) 3台50%容量的凝结水系统，低负荷应采用单台泵运行。
- (4) 凝结水大旁路。



6.3 开式水系统改造与优化运行

现状与问题

- ❑ 冬季开式水流量仅相当于开式泵额定流量的1/3;
- ❑ 小流量使开式水泵无法在最佳工况点运行;
- ❑ 水泵的运行效率很低, 同时产生节流损失。

改造与优化方法

- 开式水泵双速改造。
- 将两台机组的开式水系统进行联络。
- 冬天开式水泵可以停运, 或将开式水泵增加旁路。(注意电机空冷器)
- 在非高温季节时开式泵停运, 若扬程不够, 可以增设单独的增压泵

三 热力及疏水系统

3.1 热力及疏水系统存在的问题

(1) 阀门漏泄。由于疏水阀门前、后差压大，阀门出现不同程度的内漏。机组启、停次数愈多，这些阀门内漏的机率愈大，出现门芯吹损、弯头破裂、疏水扩容器焊缝开裂等故障。

(2) 热力系统设计方面，工质有效能的利用不尽合理

(3) 设备及热力管道疏水系统设计庞大，冗余系统多，易出现内漏。

热力系统及高压疏水阀门的内漏，不但使得做功能力减少，还引起凝汽器热负荷增加，真空变差，造成煤耗升高。

三 热力及疏水系统

3.2基本要求与改进原则

基本要求

- ◆疏水系统应能防止可能的汽轮机进水和汽轮机本体的不正常积水；
- ◆满足系统暖管和热备用的要求。

改进原则

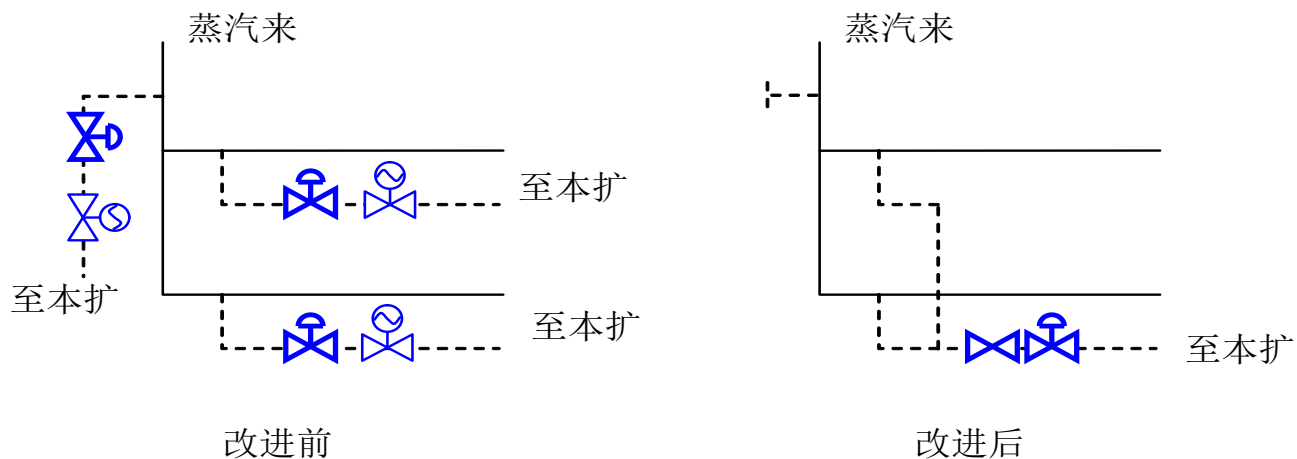
- 1) 相同压力的疏水管路应尽量合并，分别引入相应压力的疏水联箱，再排入疏水扩容器中，为避免不同压力的疏水之间互相干扰。
- 2) 减少疏水阀门和管道。
- 2) 采用质量可靠、性能有保证、使用业绩优良的阀门。
- 3) 疏水阀门宜采用球阀，不宜采用电动球阀（双杆阀门）。
- 4) 应在各疏水管道气动或电动阀门前加装一手动截止阀。
- 5) 热备用的设备暖管采用组合型自动疏水器方式，禁用节流孔板。

三 热力及疏水系统

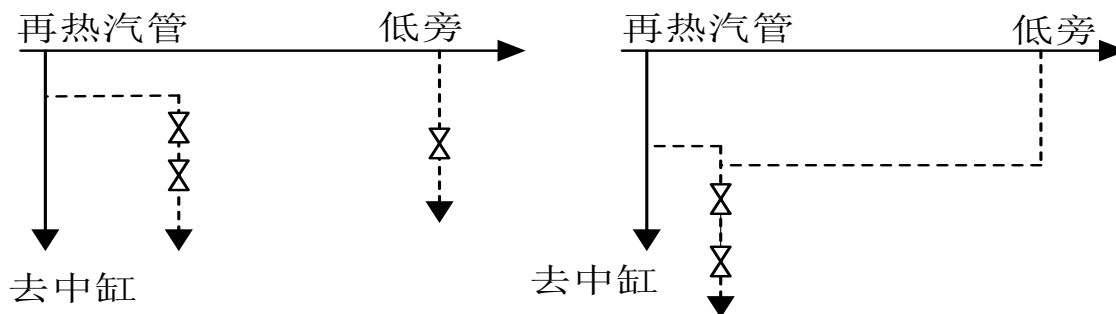
3.3 300MW机组疏水系统改进主要内容

- ◆ 主、再热蒸汽疏水：取消主、再热蒸汽管道三通前疏水。
- ◆ 高压导汽管：取消高压导汽管通风管及阀门。
- ◆ 中压导汽管：将左、右二侧再热导汽管疏水在疏水门前合并，在疏水总管上增加一个手动门。
- ◆ 取消各加热器汽侧排大气门及管道；
- ◆ 主蒸汽供轴封：取消主汽供轴封主路、旁路电动门、调整门，仅安装两个手动门。
- ◆ 轴封溢流：轴封溢流主路改至8号低加，轴封溢流旁路仍至扩容器。
- ◆ 冷再供轴封：取消冷再供轴封。
- ◆ 轴封疏水母管
- ◆ 轴封凹窝疏水
- ◆ 辅汽供轴封门前疏水
- ◆ 轴封回汽管疏水

主蒸汽及旁路系统改进

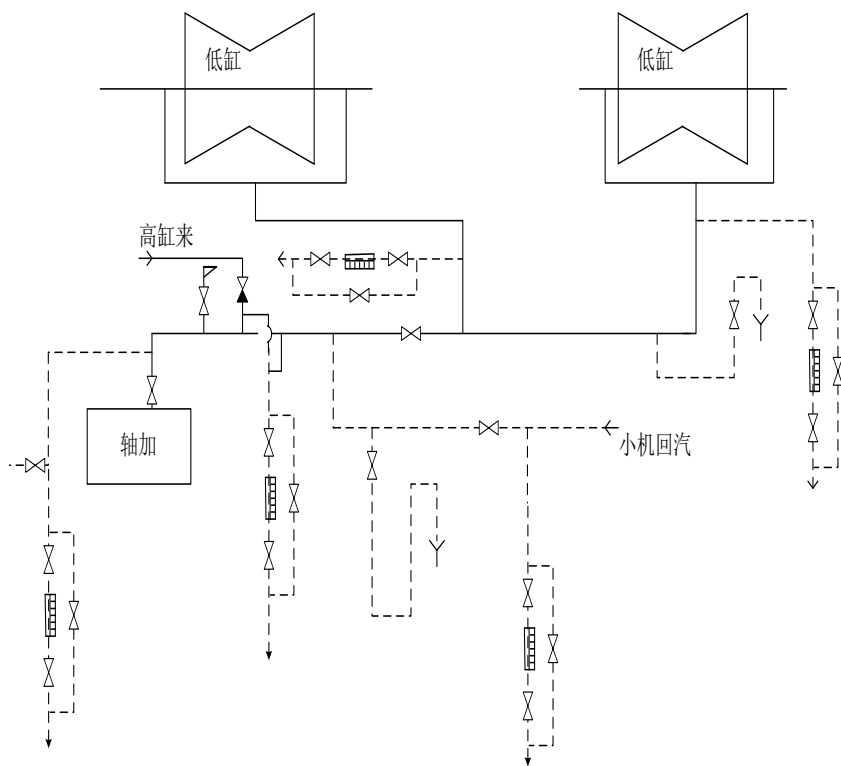


改进前、后主蒸汽疏水

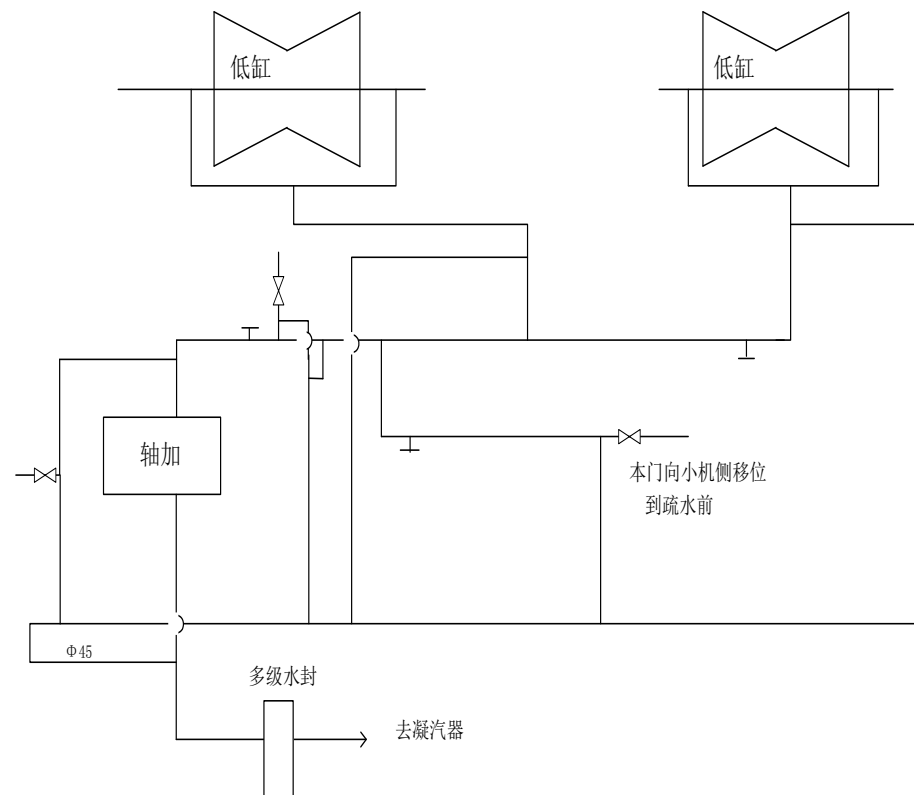


改进前、后低压旁路疏水

轴封回汽系统改进

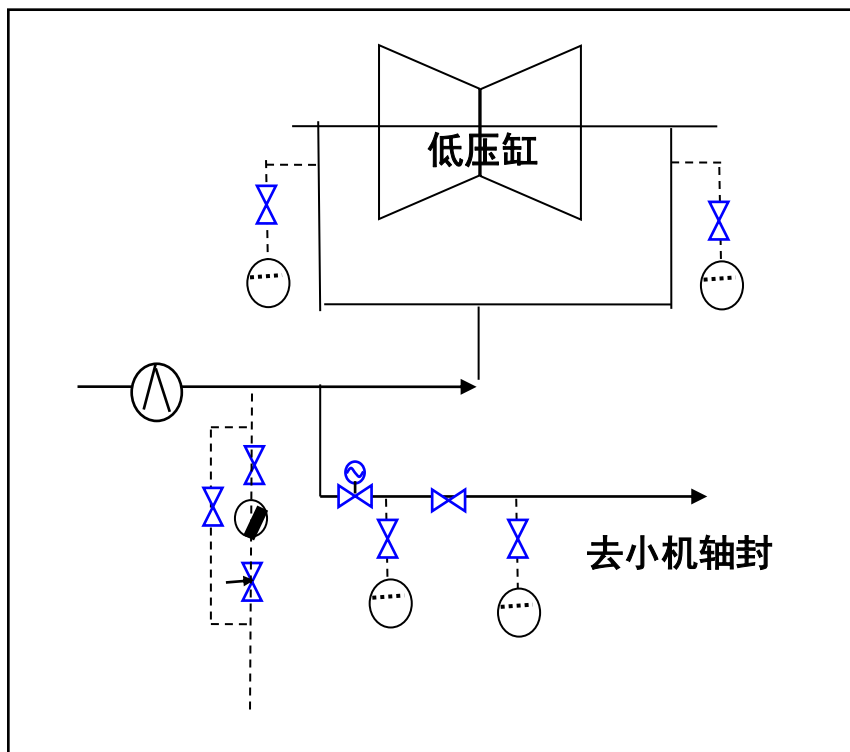


改前

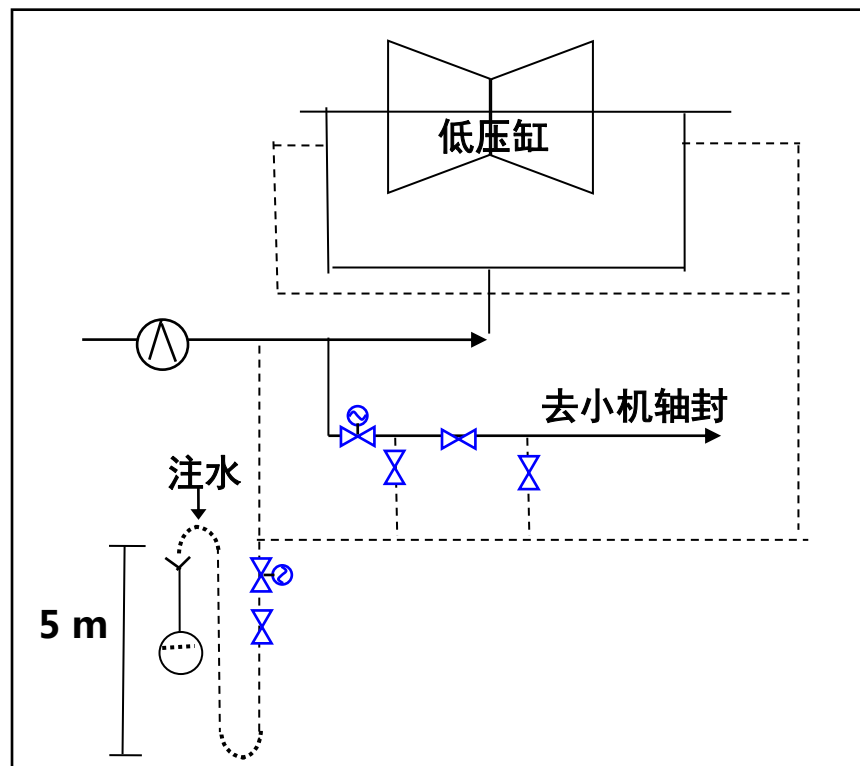


改后

低压轴封供汽系统改进



改前

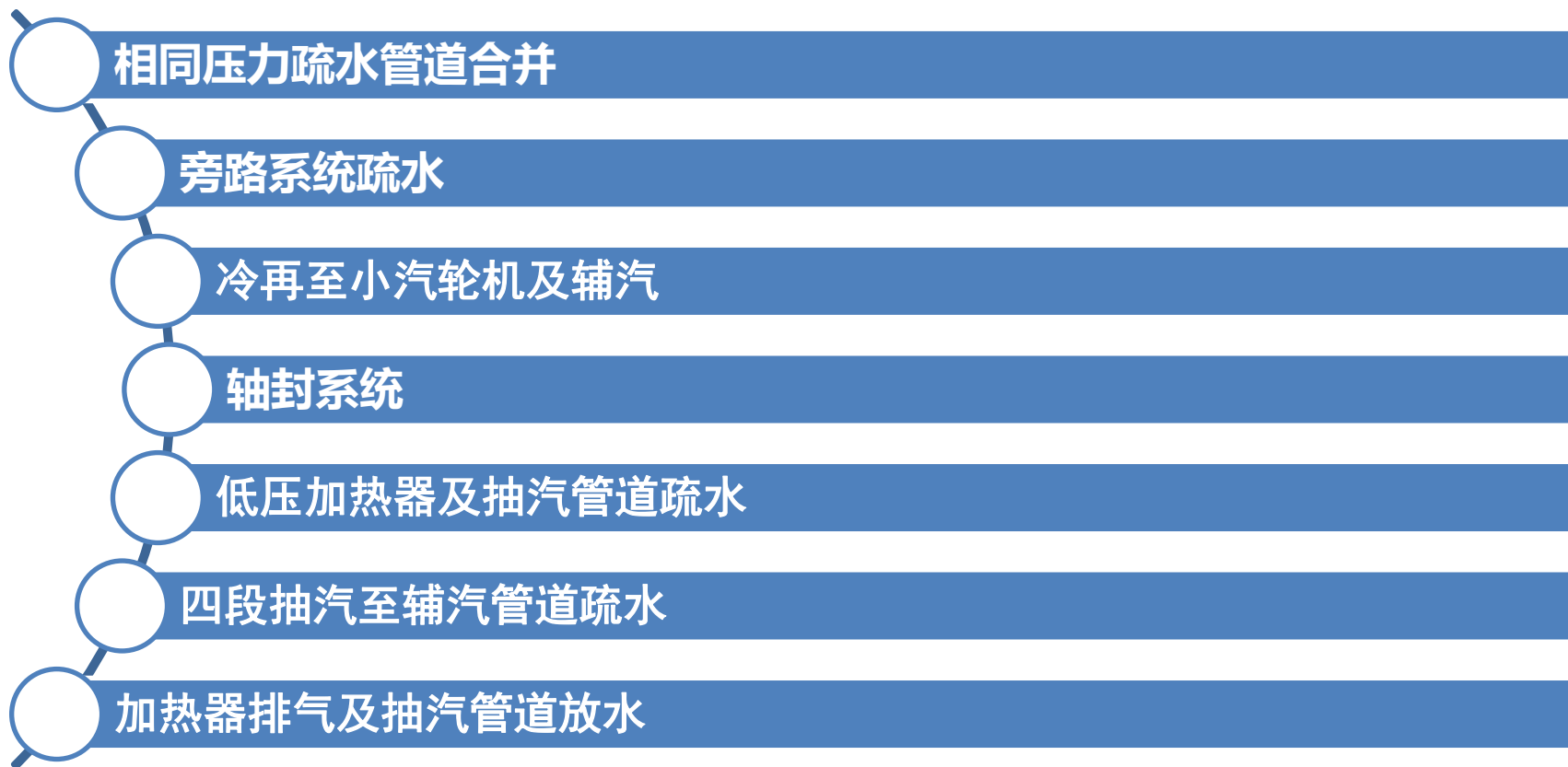


改后



节能降耗综合治理技术措施

3.4 600MW及以上机组热力及疏水系统改进



四 凝汽器及真空系统改造

1 凝汽器改造

- ◆ 冷却管更换为不锈钢管；
- ◆ 管束布置方式根据排汽缸出口流场分布情况适当更改；
- ◆ 管板及端板结构；

2 低压缸排汽

在凝汽器喉部原有支撑管处适当位置安装不锈钢材料的均流装置，均流装置的布置位置、数量、角度等需要根据凝汽器排汽通道具体结构通过数值模拟优化计算后确定；

3 凝汽器补水喷淋装置

在凝汽器喉部增加一套补水装置，把化学补水雾化喷入，吸收汽轮机排汽潜热，提高除氧效果，降低补水含氧量；同时，补水依次流过低压加热器逐级被加热至较高温度后进入除氧器。

节能降耗综合治理技术措施

4 双背压凝汽器抽气系统

- ◆ 将原有并列布置或串联布置型抽空气管路改为分列、并联式抽空气管路。
- ◆ 将原有高、低压凝汽器之间的抽空气连通管路切断；
- ◆ 高、低压凝汽器的抽空气管路直接各自穿出凝汽器外壁，接至各自的真空泵组。
- ◆ 相邻真空泵组抽空气管道之间加装气动隔离阀。

5 胶球清洗系统

- ◆ 投球率改造：投球率改为100%投球率（胶球泵、管径需要增容）。
- ◆ 送球方式改造
- ◆ 胶球材质和比重改造
- ◆ 运行方式改造

6 水环式真空泵工作液深度冷却

- ◆ 带中间水箱的真空泵工作液深度冷却系统。在原有真空泵工作液冷却器后面串联一台体积较小的冷却器，冷水机组，冷水机组散热闭式冷却水或开式冷却水。
- ◆ 不带中间水箱的真空泵工作液冷却系统。冷水机组直接冷却原有工作液冷却器。
- ◆ 机组空冷液。
- ◆ 射流器。



五 水塔改造及空冷岛改进

1 旋转式喷溅装置

旋转式喷溅装置：应用分水器将来水均匀沿周向分配，冲动旋转叶片，使叶片转轴（旋转陀螺）以较高速度旋转，将水打成细小的水滴，均匀的溅向四周。

- ◆ 无中空陀螺旋转式溅水碟装置
- ◆ 节能型旋转式喷溅装置。

2 湿冷塔风水匹配强化传热技术

采用CFD技术对冷却塔进风分布（速度场、温度场及含湿量场等）进行全三维精确计算，根据分布设计配水系统，使塔内各处的布水与进风做到尽可能匹配。对入塔水量在各区域实现不等量配水以及填料层的不等高布置；在塔内安装十字交叉挡风墙、在水塔周围安装一定角度的挡风板。

3 空冷岛的喷溅冷却技术

将除盐水经喷嘴雾化后由风机吹送到空冷凝汽器换热表面，依靠水分的蒸发，增加换热器的换热能力，降低出口风温，最终达到降低机组背压的目的。

空冷岛喷淋装置可以安装在空冷风机和空冷换热器之间，或者安装在空冷风机下方约3—5米的位置。也可以在风机上下方同时加装喷淋系统。

主要增加系统和设备有：多级水泵、相关的除盐水管路系统、喷淋装置以及对应的控制系统等。

4 空冷岛除灰清洗装置

- ◆ 定期使用化学除盐水对空冷岛换热器进行喷淋清洗除灰，可以消除上述隐患。
- ◆ 空冷岛除灰清洗装置，安装在空冷岛上方。
- ◆ 主要增加系统和设备有：喷淋装置、自动巡回清洗控制及传动执行机构。

5 空湿冷互补冷却技术

新增一空冷机组乏汽与湿冷机组凝结水之间的汽水换热器，湿冷机组凝结水在汽水换热器中回收部分乏汽余热后回到本机8#低加入口。空冷机组乏汽通过管道进入汽水换热器，凝结后流回原排汽装置内。

凝结水系统是否需要增加升压泵需根据具体情况经水力计算确定。



谢 谢！

➤ 请领导和同行指正！

