

The impact of variable load operation on steam quality of a 300MW drum boiler and its regulation and control scheme

Hengxing Wu

Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd., Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou, 551800, China

Abstract

The 300MW drum boiler is a core equipment in thermal power units, often participating in grid peak shaving to achieve variable load operation. However, load fluctuations can easily cause steam quality to deviate from the acceptable range, affecting the safe and economic operation of the unit. Based on the actual operation of the boiler, this paper analyzes the mechanisms by which factors such as the rate of load increase and decrease, combustion conditions, steam-water circulation, and drum water level affect steam quality during variable load processes. It proposes targeted regulation and control schemes from aspects such as combustion adjustment, steam-water system control, load change rate management, and auxiliary measures, providing practical guidance for on-site operation and ensuring stable steam quality under variable load conditions.

Keywords

300MW drum boiler; Variable load operation; Steam quality; Combustion adjustment; Steam-water control

变负荷运行对 300MW 汽包锅炉蒸汽品质的影响及调控方案

吴恒星

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，中国·贵州毕节 551800

摘要

300MW的汽包锅炉属于火电机组里的核心设备，常常需要参与到电网调峰当中去，从而实现变负荷运行，然而负荷出现波动很容易使得蒸汽品质偏离合格的范围，对机组的安全经济运行产生影响。本文结合锅炉运行的实际情况，对变负荷过程当中负荷的升降速率、燃烧的工况、汽水的循环以及汽包的水位等因素对蒸汽品质产生影响的机理进行分析，从燃烧的调整、汽水系统的控制、负荷变化率的管控以及辅助的措施等方面，提出具有针对性的调控方案，为现场的运行操作提供实际操作的指导，保障变负荷工况之下蒸汽品质保持稳定。

关键词

300MW汽包锅炉；变负荷运行；蒸汽品质；燃烧调整；汽水控制

1 引言

随着新型电力系统建设的推进工作不断开展，新能源装机的占比持续提升，电网调峰的需求日益突出起来，300MW火电机组需要频繁地在不同的负荷区间进行切换运行。蒸汽品质是锅炉运行的核心指标，合格的蒸汽能够避免汽轮机出现积盐的情况、受热面发生腐蚀的情况，确保机组能够长期稳定地运转。变负荷运行的时候，锅炉偏离了设计的工况，燃烧、汽水循环等系统均发生动态的变化，容易引发蒸汽带水、溶解固形物超标的问题^[1]。基于现场运行的经验，深入地剖析变负荷对蒸汽品质产生的影响，制定科学可行的调控方案，对于提升机组调峰的适应性和运行的安全性具有重要的现实意义。

【作者简介】吴恒星（1998—），男，土家族，中国贵州人，本科，高级工程师，从事电力研究。

2 变负荷运行对 300MW 汽包锅炉蒸汽品质的影响

2.1 负荷升降速率引发蒸汽带水不正常

负荷快速变化是造成蒸汽带水超标的主要原因之一。负荷突然升高的时候，锅炉的蒸发量需要快速地提升，炉内水汽化的强度急剧地增加，汽包内汽水混合物的扰动加剧，水面出现剧烈的波动，甚至形成泡沫层。此时汽包内汽水分离的装置难以充分地分离水汽，部分水滴被蒸汽携带出汽包，导致蒸汽的湿度升高，携带的盐分等杂质会在汽轮机叶片上沉积，影响通流的效率。

负荷突然降低的时候，情况更加复杂^[2]。一方面，蒸发量快速地减少导致汽包的压力下降，饱和水的沸点降低，水面容易发生暴沸的现象，破坏汽水分离的稳定性；另一方面，负荷突然降低容易引发“虚假水位”，主要是给水调节不及时，水位过高会直接造成蒸汽带水，水位过低则可能破坏水循环，间接影响蒸汽的品质。此外，负荷突然降低之后

燃烧的工况不稳定，火焰的中心偏移，也会加剧汽包内水汽的扰动，进一步使蒸汽带水的情况变差。

2.2 燃烧工况波动加剧蒸汽杂质积累

变负荷过程当中，燃料量、风量的调整会改变炉内燃烧的环境，进而影响蒸汽的品质。负荷提升的时候，若燃料量增加过快而风量调整滞后，会造成炉内缺氧燃烧，产生的未燃尽煤粉会随着烟气冲刷受热面，部分煤粉颗粒可能进入汽水系统，被蒸汽携带，增加蒸汽机械携带杂质的含量。与此同时，进行缺氧燃烧这种情况会让在炉里面的温度分布出现不均匀的状况，在局部的高温区域比较容易引发结渣的现象，那些脱落下来的焦渣颗粒进到汽包之后，同样也会对汽水分离的效果产生影响^[3]。

2.3 汽水循环状态发生改变影响杂质的分离

300MW 汽包锅炉的汽水循环的稳定性和负荷有着紧密的关联（如表 1），变负荷会让循环水的流速和受热面吸热

量的分布发生改变，对杂质分离的效果产生影响。从高负荷向低负荷过渡的时候，蒸发量减少导致循环水的流速降低，上升管里面汽水混合物的密度差变小，循环的动力变弱，部分区域有可能出现循环停滞或者倒流的现象。水流的速度过慢会让水中的盐分很难被带走，在受热面和汽包里面沉积下来，同时汽包里面水位的波动变得更加剧烈，汽水分离装置的效率下降，蒸汽携带的杂质变多^[4]。

从低负荷向高负荷过渡的时候，循环水的流速变快，上升管里面传热的系数提高，但是受热面吸热量的增长并不均衡，比较容易导致局部的水温过高，产生汽塞的现象。汽塞会对水循环的连续性造成破坏，让汽包里面水质的扰动变得更加剧烈，溶解在水中的盐分容易被蒸汽携带，同时汽塞区域容易发生局部过热的情况，引发受热面出现腐蚀的现象，腐蚀产生的产物进入到汽水系统之后，会让蒸汽杂质的含量增加。

表 1 300MW 汽包锅炉变负荷工况汽水循环及杂质

工况类型	负荷 (MW)	汽包水位波动幅度 (mm)	蒸汽钠离子含量 (μg/kg)	蒸汽二氧化硅含量 (μg/kg)
稳定高负荷	300 (额定)	± 30~± 40	1.0~1.5	6~8
高→低负荷过渡	250 → 180	± 60~± 80	1.8~2.5	9~12
稳定低负荷	150 (最低稳燃负荷)	± 90~± 110	2.3~3.0	13~16
低→高负荷过渡	180 → 250	± 50~± 70	2.0~2.6	10~14
汽塞异常工况	220 (低→高过渡临界值)	± 100~± 130	3.5~4.2	17~20

2.4 汽包水位以及压力的波动产生的间接影响

汽包水位是汽水分离的基础条件，在变负荷的过程中“虚假水位”的现象经常出现，严重地对蒸汽的品质产生影响。当负荷突然升高的时候，蒸汽的流量突然增加，汽包里面的压力瞬间下降，水的体积膨胀导致水位暂时上升，形成虚假的高水位，要是操作人员错误判断减少给水，后续就会出现真实的低水位，对水循环造成破坏；当负荷突然降低的时候，蒸汽的流量减少导致压力上升，水的体积收缩形成虚假的低水位，错误地加入给水会造成真实的高水位，直接导致蒸汽带水^[5]。

3 变负荷运行蒸汽品质的调控方案

3.1 优化燃烧调整，稳定炉内燃烧工况

燃烧工况要稳定下来那可是保障蒸汽品质的必要前提条件，需要依据负荷的变化情况同步地调整燃料、风量以及燃烧器的运行方式等操作，从而避免因燃烧出现波动的情况而引发杂质携带的问题。当负荷出现升高或者降低的情况时，需要严格地依照“升高负荷的时候要先增加风再增加煤，减少负荷的时候要先减少煤再减少风”这样的原则来执行，并且要维持好合理的风煤比例，以此来确保炉内能够得到充分的燃烧。在增加负荷的这个过程中，要渐渐地增加燃料的使用量，与此同时要调整一次风以及二次风的配比情况，让一次风的比率保持稳定，二次风要按照燃烧的实际情况进行分层调节，以便强化炉内的扰动情况，避免出现局

部缺氧或者过量空气系数太大的情况。

在低负荷进行运行的时候，要减少投入运行的燃烧器的数量，让相邻的燃烧器保持运行状态，避免单支燃烧器出现超负荷工作的状况，与此同时要适当地降低一次风的速度、提高磨煤机出口的温度，增加煤粉的浓度，提升燃烧的稳定性的时候要投入使用等离子点火或者微油助燃相关的装置，防止火焰出现熄灭或者偏斜的情况。要针对不同的煤的质量情况来调整燃烧的策略，当燃用具有低挥发分特性的煤时，要减小一次风的速度、增大二次风的穿透能力，以此来促进煤粉能够着火；当燃用具有高挥发分特性的煤时，要分散热负荷，防止出现局部超温进而结渣的情况，减少焦渣的颗粒进入泄水系统里面。除此之外，要定期清理燃烧器喷口累积的灰尘，保证气流能够均匀地喷出来，维持火焰中心的稳定状态。

3.2 对汽水系统的控制工作进行强化，提升分离的效率水平

汽水系统的调控工作的核心要点就是让汽包的水位以及压力保持稳定，对水循环的状态进行优化，提升汽水的分离效果。在水位控制方面采用“三冲量给水调节”这样的模式，把汽包的水位当作主要的信号、蒸汽流量当作前馈信号、给水流量当作反馈信号，当负荷出现变化的时候要提前调整给水的数量，避免虚假水位造成的干扰。在低负荷的时候（负荷低于百分之三十的额定负荷），要切换成单冲量调节方式，减少蒸汽流量测量出现误差带来的影响，安排专门的人员去

对水位进行监视,必要的时候要手动进行干预操作,把水位控制在允许的范围之内,防止水位过高或者过低。

汽包压力的控制工作是通过协调燃烧以及汽轮机调节来实现的,当负荷出现变化的时候,锅炉这一侧要调整燃料的数量来维持压力的稳定状态,汽轮机那一侧要配合调节阀的开度情况,避免压力出现大幅度的波动。与此同时,要加强汽包排污方面的管理,让连续排污保持稳定的状态,及时把炉内沉积下的盐分以及杂质排放出去,定期开展定期排污的工作,清理汽包底部沉积下来的渣子。对汽水分离装置的运行情况进行优化,定期检查百叶窗分离器、波形板分离器等相关的部件,清除表面生成的结垢以及堵塞的东西,确保分离通道保持畅通,提升水汽分离的效率。

3.3 对负荷变化率进行管控操作,让工况扰动有所减少

和300MW汽包锅炉的特性相结合起来,依靠试验的方式来确定合理的负荷变化率,从而避免负荷出现突然上升或者突然下降的情况。在正常进行变负荷的时候,要严格地去控制升降的速率,从而保证燃烧系统以及汽水循环系统能够有足够的时间去适应工况所发生的变化,让水汽扰动现象以及虚假水位现象得到减少。当负荷进行大幅调整的时候,采用分段升降的模式来进行,每调整一定的负荷之后,让其稳定一段时间,等燃烧、水位、压力等这些参数稳定之后再接着进行调整,避免连续快速地对负荷进行升降操作。

在变负荷的过程当中,要加强对各参数的监视工作,重点去关注汽包水位、蒸汽干度、压力以及受热面壁温等这些指标,要是出现参数波动超过标准的情况,要马上减缓或者停止对负荷进行调整,优先让工况稳定下来。当负荷低于50%额定负荷的时候,要避免开展炉膛、过热器的吹灰作业,防止吹灰对燃烧和水循环造成扰动;对于空气预热器需要加强吹灰工作,防止积灰对传热和通风产生影响,间接地保障燃烧能够稳定。

3.4 对辅助措施进行完善工作,强化工况的适配性

把配煤掺烧管理工作做好,在变负荷运行的时候,根据负荷的需求来选用适配的煤种,避免煤质出现大幅波动的情况而对燃烧产生影响。在低负荷的时候,选用挥发分适中、发热量稳定的煤种,让燃烧的稳定性得到提升;在高负荷的时候,合理地搭配煤种,对灰熔点进行控制,防止结渣现象的出现。定期对锅炉受热面开展清洗工作,把表面的结垢以

及腐蚀产物清除掉,让进入泄水系统的杂质得到减少,同时加强对水质的监督工作,确保出水水质能够合格,从源头对蒸汽杂质含量进行控制。

对制粉系统的运行进行优化,在变负荷的时候,对磨煤机的出力以及煤粉细度进行调整,当负荷降低的时候,适当地减小煤粉细度,让燃烧效率得到提升;当负荷升高的时候,合理地控制磨煤机出口的温度,防止煤粉出现自燃的情况。加强对主辅设备联动的检查工作,确保燃油、燃气速断阀的动作能够可靠,助燃装置的备用能够充足,一旦出现燃烧不稳定或者蒸汽品质异常的情况,及时投入助燃装置,快速地让工况稳定下来。

4 结语

变负荷运行对300MW汽包锅炉蒸汽品质所产生的影响,主要是来自燃烧工况的波动、汽水循环的失衡、水位以及压力的扰动等这些因素,容易导致蒸汽带水超过标准、杂质累积等这些问题。通过对燃烧调整进行优化来维持炉内稳定的燃烧,强化汽水系统的控制来提升分离效率,对负荷变化率进行管控来减少工况的扰动,再配合配煤掺烧、设备维护等这些辅助措施,能够有效地抑制变负荷对蒸汽品质产生的不利影响。在现场运行的时候,需要结合机组实际的特性以及负荷变化的情况,灵活地对调控策略进行调整,加强对参数的监视以及预判工作,确保蒸汽品质始终能够处于合格的范围之内,保障机组在调峰工况下能够安全、经济、稳定地运行。

参考文献

- [1] 董中豪,卢啸风,史丽超,杨增增,孔繁盛,王鹏,林国强,赵鹏. 炉膛耐火材料热惯性对循环流化床锅炉调峰速率的影响[J]. 发电技术, 2023, 44 (04): 514-524.
- [2] 张淇钧,冯福媛,陈衡,潘佩媛,徐钢,刘彤. 300 MW火电机组AGC变负荷过程动态反馈特性[J]. 洁净煤技术, 2023, 29 (S2): 285-290.
- [3] 罗晓明. 300MW汽轮机变负荷运行热经济性及安全性研究[J]. 汽轮机技术, 2017, 59 (05): 385-387+390.
- [4] 刘国卫. 火电厂300MW汽轮机组变负荷调峰运行方式[J]. 自动化应用, 2011, (07): 13-15.
- [5] 陈健婷. 300MW与600MW燃煤机组耗差系数的变负荷特性[J]. 动力工程, 2009, 29 (09): 891-894.