

300MW循环流化床锅炉启动燃烧调整及优化探析

摘要：

本文针对300MW 循环流化床锅炉启动过程中易发生的点火爆燃和结焦事故，详尽分析了事故发生原因，从而制定出相应的预防措施，完善热工联锁保护逻辑、完善运行启动控制和管理、完善点火相关设备，以达到提高锅炉启动安全性为目的，减少设备损坏事故。

关键词：循环流化床；启动；爆燃；结焦



作者简介

李京荣（1973-），男，内蒙古包头，工程师，太原电力高等专科学校热动专业，主要从事火力发电厂运行技术的研究与技术管理工作。

单位：神华神东电力萨拉齐电厂发电运行部

地址：内蒙古包头市土右旗萨拉齐镇小袄兑村

联系电话：13947250325

邮编：014100；



正文

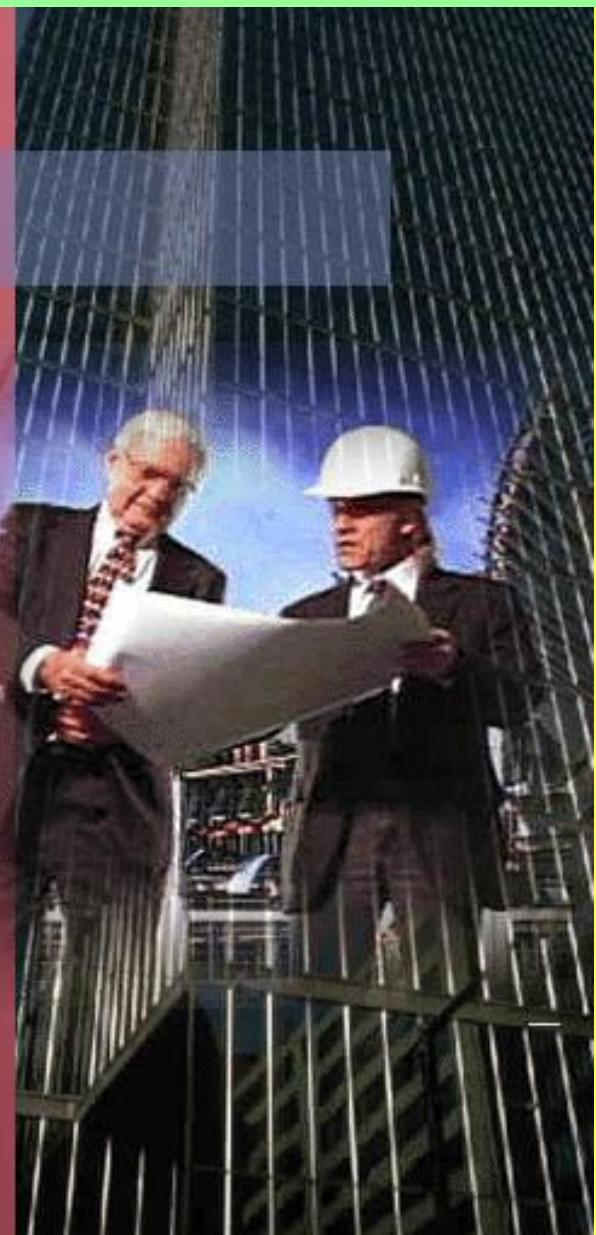
蒙西发电厂1、2号机组锅炉是采用上海锅炉厂在引进、吸收法国ALSTOM公司循环流化床锅炉技术的基础上设计的300MW亚临界机组循环流化床锅炉，型号为SG—1057/17.4—M803型锅炉，是国内首批投运的300MW循环流化床锅炉。循环流化床锅炉启动，就是通过外部热源使最初加入床层上的物料温度提高到煤着火所需的最低水平上，从而使投入的煤迅速着火，并自动保持床层温度在煤着火温度的水平之上，实现锅炉正常稳定运行。国内主流循环流化床锅炉，包括300MW循环流化床锅炉



300MW循环流化床锅炉启动燃烧调整及优化探析

大多配置床下风道燃烧器和床上油枪，采用联合启动的形式。启动时，先使用风道燃烧器加热一次风，将流化的床料加热到 500°C 以上，投入床上油枪，继续升温至 600°C ，然后投入给煤机运行，逐渐提高床温，减少油量，直至停止所有油枪。

循环流化床锅炉启动控制存在诸多不够完善、不够成熟之处，启动事故是循环流化床锅炉多发事故，因此认真研究循环流化床锅炉的启动规律，制定科学、合理的启动控制方案，实现安全启动对安全生产、提高机组运行效率、发挥循环流化床锅炉的优势具有重要的现实意义。



1 现状分析

目前，国内还没有制定出循环流化床锅炉的运行规定，实际运行存在很多安全隐患，如过分降低投煤温度、冷炉启动前添加引燃煤等不规范操作，都会导致不安全现象乃至事故的发生。2006年12月，江西某电厂200MW循环流化床锅炉启动过程中发生尾部烟道爆燃事故，造成省煤器、空预器大面积损坏；2007年5月，秦皇岛电厂6号锅炉启动前因风道燃烧器进油速断阀泄漏致使点火风道大量存油，幸亏及时发现，未酿成重大事故；2007年8月，云南某电厂300MW循环流化床锅炉启动过程中因床压低、床温过高发生炉膛、分离器严重结焦事故。



2 启动过程中的易发事故

循环流化床锅炉点火燃烧器多使用油、天然气、液化石油气，特别是风道燃烧器空间狭小，床上燃油雾化后与床料混合，可燃气体不易扩散，在锅炉点火时易发生爆燃事故。锅炉初始投煤时，可能会由于床温过低，燃煤进入后不能着火，导致燃煤聚集，等床温升至着火温度以上时，突然被引燃，造成床温急剧升高并超限，严重时导致炉膛结焦；或是因床料流化不良，床层局部超温导致结焦事故。



3 启动事故发生的原因

3.1 点火爆燃事故

炉膛发生爆燃的根本原因是：在炉膛的有限空间内或锅炉通道、烟风道及输送烟气至烟囪的风机内，积累的可燃混合物着火引起爆燃。炉膛爆燃均是由于运行操作不合理、设备或控制系统设计不合理或者设备和控制系统故障所致。爆燃事故发生的根源在于可燃物的聚集，通过分析点火爆燃事故产生的原因及条件，我们可以归纳出以下几种情况容易发生爆燃事故：。



以下几种情况容易发生爆燃事故：

- 1)、辅助燃料泄漏到未燃烧的炉膛中，通过火花或其他的火源点燃累积的可燃物。
- 2)、重复多次未能点燃辅助燃料，而又不进行适当的吹扫，导致易爆炸混合物的累积。
- 3)、炉膛瞬间熄火，经恢复并延时后，聚积的可燃物被重新引燃。
- 4)、炉膛流化风量不足，存在可燃物质易于积累的死区，造成不完全燃烧和可燃物的积累。



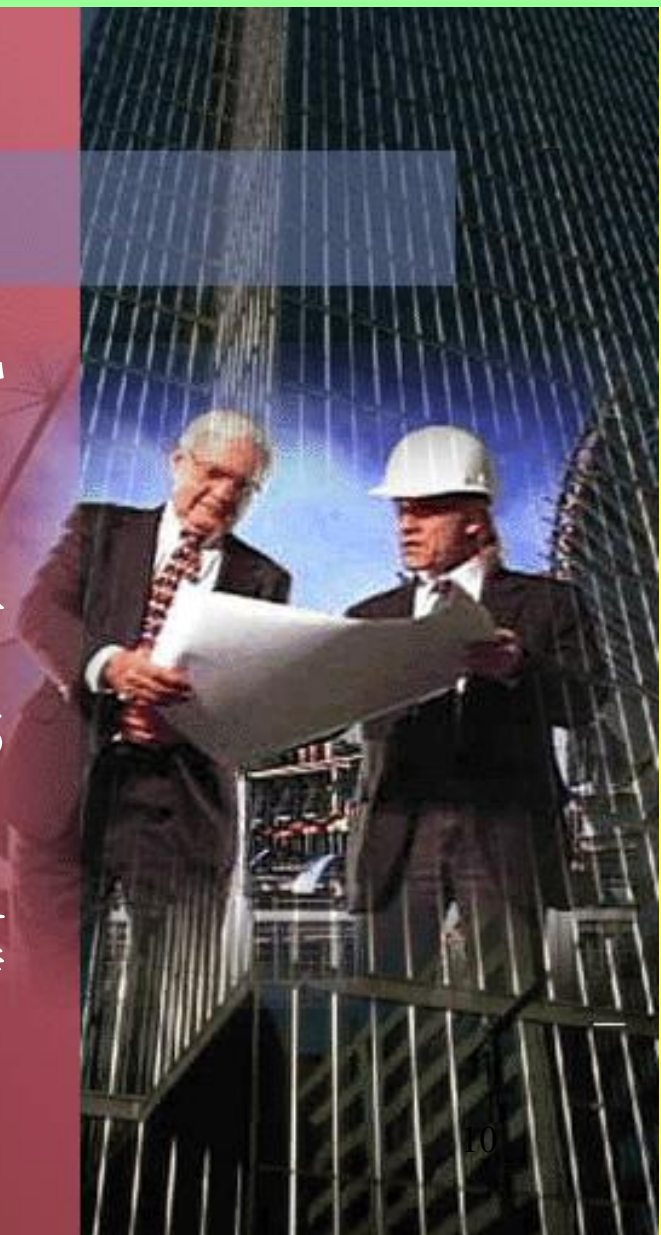
3.2 启动结焦事故

结焦事故是一种常见燃烧事故，无论点火或正常运行中都可能发生，原因也有多种。结焦的直接原因是局部或整体温度超出灰熔点或烧结温度。结焦可分为高温结焦和低温结焦两种。当床层整体温度低于灰渣变形温度，由于局部超温或低温烧结而引起的结焦叫低温结焦，流化不良是低温结焦的根本原因。高温结焦是指床层整体温度水平较高而流化正常时所形成的结焦现象，超温是高温结焦的根本原因。启动结焦事故发生的根源在于流化不良和床层超温，通过分析结焦事故产生的原因及条件，我们可以归纳如下：



以下几种容易结焦的工况：

- 1)、点火或低负荷时由于风量低，床层流化不良，易发生低温结焦。
- 2)、布风系统制造、安装及检修质量不好，或风帽堵塞，造成局部流化不良，易发生低温结焦。
- 3)、启动床料或入炉煤粒度过大，造成局部流化不良，易发生低温结焦。
- 4)、投煤时，床温偏低，入炉煤未及时着火燃烧，导致可燃物聚集，一旦温度条件满足，迅速引燃，造成床层温度急剧升高，易发生高温结焦。



5)、启动床料中可燃物超标，一旦温度条件满足，迅速引燃，造成床层温度急剧升高、失控，易发生高温结焦。严重时可能造成结焦。某公司5号机组2006年9月启动时，使用给煤机往炉膛加床料，煤仓中剩余少量积煤也一起进入炉膛，启动4小时后，当炉膛床温接近 530°C 时，急剧升高，经快速停油、加风才得到控制，床温最高至 900°C 。



4 启动安全控制措施

4.1 点火爆燃事故防范措施

炉膛爆燃一般是由于运行操作不合理、设备或控制系统设计不合理或者设备和控制系统故障所致。预防循环流化床锅炉点火爆燃事故的关键是制定合理的安全启动程序，完善点火设备试运程序，完善热控逻辑保护，根据点火爆燃事故发生的不同情况和原因制定出如下防范措施，在遇到紧急情况时及时果断处理。



4.1.1 完善热控逻辑保护

1) 完善炉膛吹扫逻辑，循环流化床锅炉与煤粉锅炉不同，锅炉点火前吹扫区域包括炉膛、外置床和点火风道，按ALSTOM公司原逻辑，只要“入炉风量大于30%设计总风量”即可进行吹扫计时，但由于入炉一、二次风的作用是不一样的，我公司根据实际运行情况，对吹扫逻辑做了更改：吹扫条件改为“一次风量大于最小流化风量且总风量大于30%设计总风量”；增加“吹扫进行中一、二次风量挡板禁止手动操作”逻辑；取消“强制吹扫结束”按钮。确保吹扫进行并达到置换气体，防止点火爆燃的目的。



2) 完善床上油枪、给煤线启动允许、跳闸保护逻辑。床上油枪没有点火装置，投入后依靠床料及热风加热至着火温度，因此床上油枪进油速断阀开信号，在速断阀故障或检修时，不能正确反应风道燃烧器状态，更改“进油速断阀、雾化阀开且检测到火焰”，更可靠的保证床上油枪安全运行。同样，给煤线启动允许及跳闸保护逻辑取自炉膛床温和床上油枪运行情况。床上油枪运行信号由“进油速断阀开”更改为“进油速断阀、雾化阀开且油枪推进到位”。



3) 完善油枪油压、雾化蒸汽压力高、低跳闸保护逻辑。为此，我们增加了保护动作的延时，对于每条燃油管道（共四条）投入第一支油枪时，保护延时10秒动作，其余时间保护延时5秒动作。更改后，既达到了投入保护目的，又避免保护在油枪投停时频繁动作。



4) 油枪吹扫控制原逻辑油枪为手动吹扫，且OFT动作后仍能执行吹扫。手动吹扫取决于运转员的操作，不能保证油枪每次使用后都能吹扫，我们增加了“油枪停运或跳闸后自动吹扫”逻辑；MFT动作后油枪吹扫会在灭火后仍然向炉膛送入燃料，严重时会引起爆燃，所以增加了吹扫闭锁条件“OFT复归”。



5) 完善MFT、OFT保护动作出口。按原逻辑，MFT、OFT动作后，联锁关闭所有油枪速断阀、雾化阀，退油枪、点火枪，但风道、床上燃油供油母管速断阀不联锁关闭，回油电动门不开，炉前各燃油管道依然处于充压状态，在进油速断阀故障时，不能及时切断燃料，造成事故隐患。为此，我们增加了MFT、OFT动作联锁关闭风道及床上燃油供油母管速断阀，开启回油电动门联锁，确保了灭火保护动作的可靠性。



4.1.2 完善点火设备及试运程序

锅炉点火设备包括风道燃烧器和床上油枪，风道燃烧器带点火及火焰监测装置，存在进油速断阀内漏、火焰监测装置“偷火”安全隐患。以下简述这两个问题的解决措施。

1) 进油速断阀内漏

解决进油速断阀内漏的问题，从三方面入手：首先，提高检修工艺水平，建立健全检修文件包制度，严把检修质量和验收关口；其次，每次油枪检修后必须进行充油试验，验证进油速断阀严密性；再次，提高各燃油流量计测量精度，安装小量程油压表，发生泄漏时，能及时发现处理，避免事故发生。



2) 火焰监测装置“偷火”

300MW循环流化床锅炉两侧点火风道各配置两只风道燃烧器，相距3米左右，因风道体积小，任意一只着火时，另一只的火焰监测装置也检测到火焰，这就是风道燃烧器火焰监测装置“偷火”现象。针对这一问题，我们调整了火检探头的角度、位置和检测强度，保证了火焰监测装置和灭火保护的可靠性。另外，计划增设风道燃烧器火焰电视，监视其燃烧情况，避免火检故障或油枪雾化不良导致事故发生。



4.1.3 制定安全启动相关规定

1) 制定相关反事故措施

制定反爆燃事故措施和启动操作票及启动注意事项，明确锅炉点火操作程序及禁止退出的保护。

2) 建立保护投退管理制度

建立了一整套保护投退规定，保护投退必须由值长同意，并在《保护登记本》记录保护名称、批准人、执行人、投退时间等信息，主保护投退经总工批准，保护投退执行《保护投退卡》。每次机组启动前，由热工、运行指定有经验人员全面复核保护投退情况，启动前投入所有保护。



3) 逻辑保护传动规定

严格执行逻辑保护传动规定，按停机时间及检修项目确定保护传动项目，坚持保护实传，确保保护正确动作。



4.2 启动结焦事故防范措施

通过分析锅炉启动结焦事故的工况和原因，可得出预防事故的根本在于防止可燃物聚集、流化不良、床层超温等情况的发生。

4.2.1 保证流化质量

流化不良是低温结焦的根本原因。预防结焦事故，保证流化质量是关键。

1) 合理配置锅炉启动床料至关重要，启动床料应全部进行筛选，保证粒度合格，满足粒度级配要求。启动床料颗粒太粗，可能导致流化不良事故发生，而确保流化正常就需要较大的风量，这样更多的点火热量会被风带走，使床料升温困难，加热时间过长；启动



300MW循环流化床锅炉启动燃烧调整及优化探析

床料颗粒太细，大量的细小颗粒在启动中会被烟气带走，床料损失快，使料层减薄造成局部吹穿，点火过程控制困难，易造成结焦。试验表明粒度为0~13mm的床料最低流化风量是0~8mm床料的2倍，实际应用中一般要求在6mm以下。同时，底料中大小颗粒的分布要适当，既要有小颗粒作为初期的传热源，又要有大颗粒作为后期维持床温之用。但大颗粒的比例超过10%时将不利于初期点火，且容易出现床内结焦。为达到所需床料颗粒粒度需求，我们做了多次筛分试验和启动试验，确定启动床料粒径 $d_{\max}=6\text{mm}$ ，



300MW循环流化床锅炉启动燃烧调整及优化探析

$d_{50}=1.3\text{mm}$ 为最佳。实际筛选时，采用10mm孔径的筛子按 45° 摆放，筛分后的床料再使用1.5mm孔径的筛子筛分，筛上部分为启动床料。

2) 每次启动前进行布风均匀性和临界流化风量试验，避免布风装置导致流化不良，确保风量测量装置准确，运行风量大于临界流化风量。



- 3) 增加了“任意侧一次风量低油枪跳闸”保护，保证启动过程中风量大于最小流化风量。
- 4) 控制入炉煤粒度，确保无大颗粒进入炉膛，满足入炉煤粒度级配要求。

通过摸索和试验，确立包括来煤控制、初选控制、细碎间隙控制、入炉煤粒度筛分制度、细碎定期调整等一整套措施，解决入炉煤粒度控制问题。另外，每次停炉后置换合格床料也是控制床料粒度重要的手段。



4.2.2 避免升温过程中爆燃引起超温

1) 严格控制投入床上油枪和投煤的温度条件，禁止解除相关保护。为节约启动燃油、加快启动速度，降低投煤温度是提高运行经济性的有效手段，也是一种趋势。但某些电厂存在盲目降低投煤温度的行为，结果导致严重结焦事故的发生。因此，降低投煤温度、提高经济性必须综合考虑煤质情况，必须建立在多次试验成功的基础上，确保入炉煤立即着火，防止可燃物聚集引起爆燃结焦事故。按法国ALSTOM公司设计，我公司投煤为 600°C ，而我公司燃煤挥发分较高，一般在27%左右，存在降低投煤温度的可能性。



300MW循环流化床锅炉启动燃烧调整及优化探析

为此，我们一方面在西安热工院进行了试烧试验，着火温度为 486°C ；另一方面，多次利用启动时机，逐步试验降低投煤温度，试验证明，当炉膛中部床温高于 510°C 时，燃煤入炉后1.5分钟内氧量开始下降，3分钟床温开始上升，证明煤已着火。出于煤质波动因素并保留一定安全裕度的考虑，我们将投煤更改为 540°C ，既提高了启动经济性，又保证了启动安全。



300MW循环流化床锅炉启动燃烧调整及优化探析

- 2) 每次启动前取样测定床料中可燃物含量，严格控制启动床料中可燃物比例不超过1%，否则必须置换床料。
- 3) 初次投煤应采取间断给煤方式，根据氧量、床温变化判断着火情况。



5 结束语

蒙西发电厂1、2号锅炉2007年11月投产，至今共计经历23次启动，各种启动安全措施的有效实施，未发生一起安全事故，确保了锅炉的启动安全。在电网负荷紧张的供电形式下，公司1、2号机组的每次安全启动、按时并网发电、稳定运行有效保证了电网安全和正常供电，我们通过相互分析兄弟单位成功经验的同时既长了见识也为300MW循环流化床锅炉的启动安全提供了很好的解决方案，成为300MW循环流化床锅炉安全启动、稳定运行的范例，促进了环保型大容量机组在国内的发展。



致 谢

希望各级专家领导
提出宝贵意见!