

适应燃煤电厂灵活调峰的安全改造技术探讨

报告人：王金星

简介：

职 务：清华大学博士后

研究方向：适应大比例可再生能源应用的燃煤电厂
灵活调峰研究

邮 箱：wangruoguang860928@126.com



报告目录

1. 灵活调峰的研究背景

能源危机和环境污染；

可再生能源的发展规划；

燃煤电厂灵活调峰的必然选择

2. 灵活调峰的目标与安全风险

灵活调峰目标；

低负荷稳燃的安全风险；

快速启停的安全风险；

快速升降负荷的安全风险；

3. 应对技术

低负荷稳燃技术；

水冷壁安全防护技术；

快速升降负荷安全性技术；

4. 结论与展望

1. 灵活调峰的研究背景

能源危机 and 环境污染与恶化



煤矿等能源资源日渐枯竭



© Solent News & Photo Agency

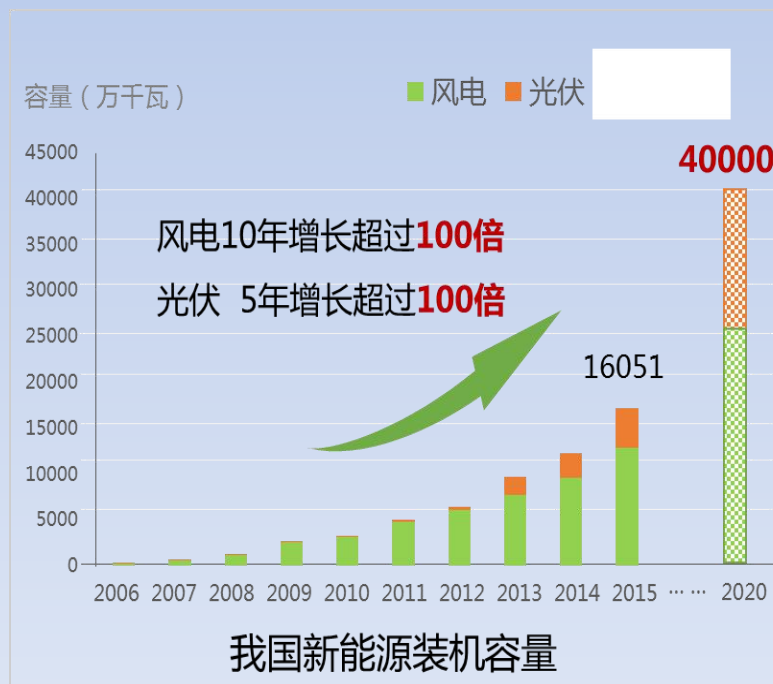
大力发展可再生能源

1.灵活调峰的研究背景

可再生能源发展规划

欧洲、美国和中国分别提出到2050年将实现100%、80%和60%可再生能源电力系统的蓝图。

中国的十二五和十三五两个五年计划中也明确表示将加大可再生能源的利用。这些可再生能源包括：水力发电、风电、太阳能发电和核电。



可再生
能源发
电的比
例在不
断加大

1.灵活调峰的研究背景

可再生能源发展障碍

近年来，由于“三北”地区冬季供暖期的需要，多数“以热定电”的火电机组出力大幅上升，进而留给风电的上网空间非常有限，导致了严重的弃风现象。在2016年上半年，甘肃弃风率高达47%，新疆弃风率为45%。

对于风电发展的问题在于发电源和消耗端的不匹配，三北地区风电多，而用电端主要在东南地区。



燃煤
电厂
灵活
调峰
的必
然选
择

除了大中型水电具有较好的调节性能外，风电、太阳能发电的可控性较差，可再生能源发电的波动性和随机性给电力系统带来了较多的不确定性。

2.灵活调峰的目标与安全风险

灵活调峰的三大重要目标

低负荷稳燃

燃煤电厂最低负荷要从额定负荷的40%降低到20%的超低负荷。

快速启停

快速启停能力的要求从4h减到2h。

快速升降负荷

快速升降负荷能力要求从2%MCB/min提高到5%MCB/min。

2.灵活调峰的目标与安全风险

低负荷稳燃的安全风险

锅炉在低负荷下运行时，火焰在炉内的充满程度会比高负荷时差，负荷降低到一定程度时，由于炉内温度下降，导致煤粉气流的着火距离增大，同时火焰对炉壁辐射损失相对增加，所以就容易出现燃烧的不稳定，甚至锅炉熄火。

在低负荷运行过程中，机组的运行参数将偏离设计值。长时间低负荷的运行会由于汽压降低水动力不足等原因导致换热不均。当水冷壁的热量不能被工质及时带走，将导致水冷壁温度持续上升，传热恶化后不仅会出现水冷壁的局部膜化沸腾，甚至会出现超温爆管。

低负荷运行使得蒸汽温度过低，进而增加了排汽湿度。当汽流在动叶片根部和静叶栅出口顶部出现汽流脱离，形成倒涡流区时，便形成了水蚀。水蚀会造成叶栅的气动性能恶化，不仅能够引起叶片截面变小以及强度下降，甚至会引发裂纹和断裂。

低负荷运行对辅机也带来不利的影响。除氧器压力较低，造成汽前泵入口压力较低，有效汽蚀余量偏低，易造成汽前泵汽蚀。给水量减少，再加上由于汽蚀造成给水对汽前泵内壁作用力的改变，引起汽前泵轴向推力变化，易造成串轴现象。

2.灵活调峰的目标与安全风险

快速启停的安全风险

机组的快速启停使得机组各部件冷热状态交替，这种部件内的大温差容易造成膨胀或者收缩不畅。

由于蒸汽对不同部件以及相同部件的不同位置加热程度的差异，将导致汽缸和转子在径向和轴向产生较大温差，容易导致热变形。

在快速启停过程中，除氧器壳体和水箱也将随之承受着交变应力，加上腐蚀介质作用导致的腐蚀疲劳，将带来除氧器和水箱寿命的损耗。

2.灵活调峰的目标与安全风险

快速升降负荷的安全风险

汽轮机在快速升降负荷时，转子和气缸都会随着蒸汽温度大范围的增加而出现明显的膨胀或者收缩。

绝对的膨胀过大会增加机组的震动，进而需要降低负荷变化速率。

由于机组按照基本负荷设计的动静间隙比按调峰要求的机组间隙要小得多，过大的相对膨胀(胀差)容易造成机组振动突增、弯轴、动静部分损坏等严重事故。

3.应对技术----低负荷稳燃技术

控制炉内稳定燃烧的应对措施包括：

- 1)采用新型低负荷稳燃燃烧器；
- 2)适当降低一次风速；
- 3)提高一次风中煤粉质量分数；
- 4)提高煤粉细度；
- 5)提高磨煤机出口温度；
- 6)提高各燃烧器风粉分配均匀性；
- 7)采用集中火嘴对于对冲燃烧锅炉；
- 8)等离子助燃技术；
- 9)投入锅炉最低层油枪助燃；
- 10)煤粉/生物质混烧低负荷稳燃技术。

3.应对技术----低负荷稳燃技术

低负荷稳燃燃烧器方面的进展：

微油燃烧器；

微油燃烧器采用少量的油引燃浓缩的煤粉，使挥发分提前吸出，强化着火性能。

大功率等离子燃烧器；

大功率等离子燃烧器是采用大功率等离子枪产生高温电弧，使挥发分提前吸出，强化着火。

富氧燃烧器；

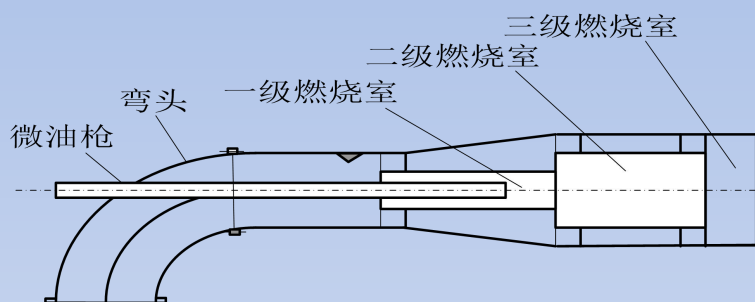
富氧燃烧器是在一次风喷嘴体内喷入适量的氧气，提高一次风的氧浓度，降低着火热，从而强化着火。

煤粉/生物质混烧燃烧器；

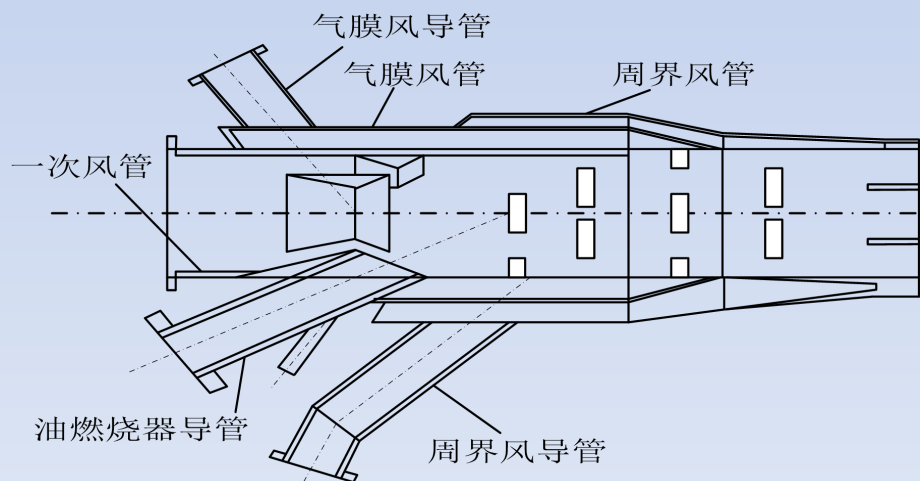
利用生物质与煤粉不同的燃烧特性进行的燃烧器设计，用以实现低负荷的稳燃。

3.应对技术----低负荷稳燃技术

微油燃烧器

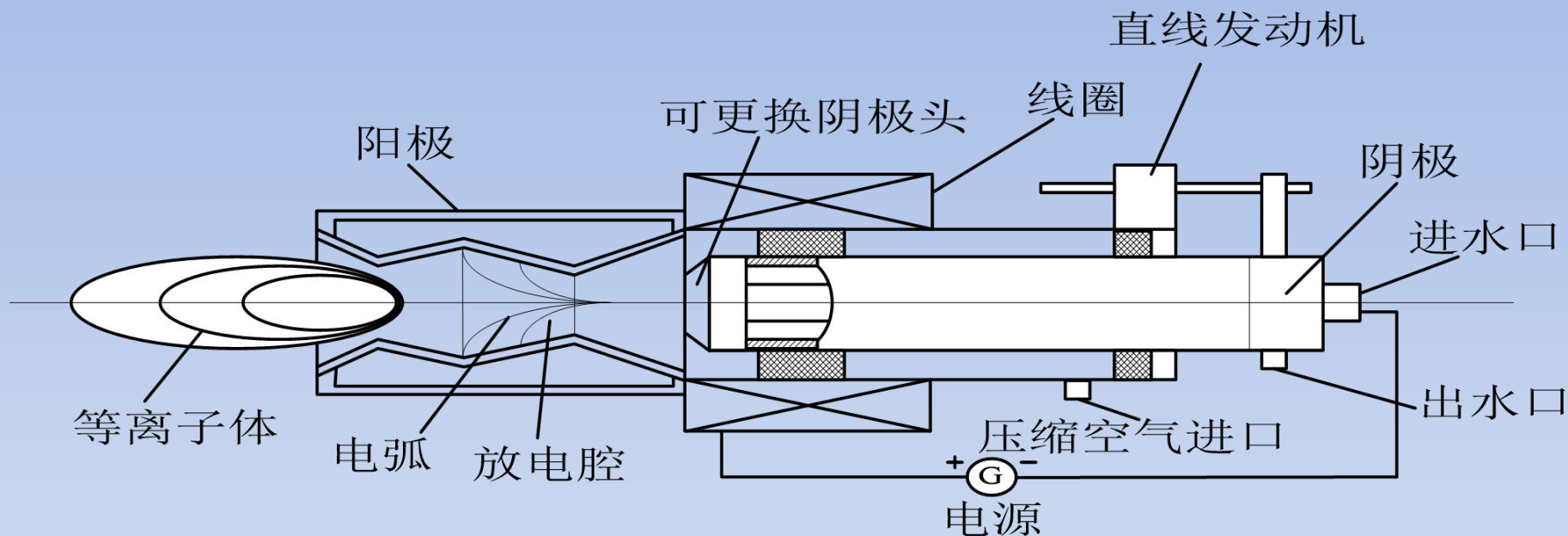


微油点火稳燃燃烧器的工作原理为高温油气火焰与高浓度的煤粉气流在一级燃烧室内发生强烈的化学反应，并为后续二级燃烧室和三级燃烧室内的煤粉点燃提供能量，实现能量的逐级放大，最终在燃烧器出口产生的煤粉火焰能够达到 1200°C 左右。



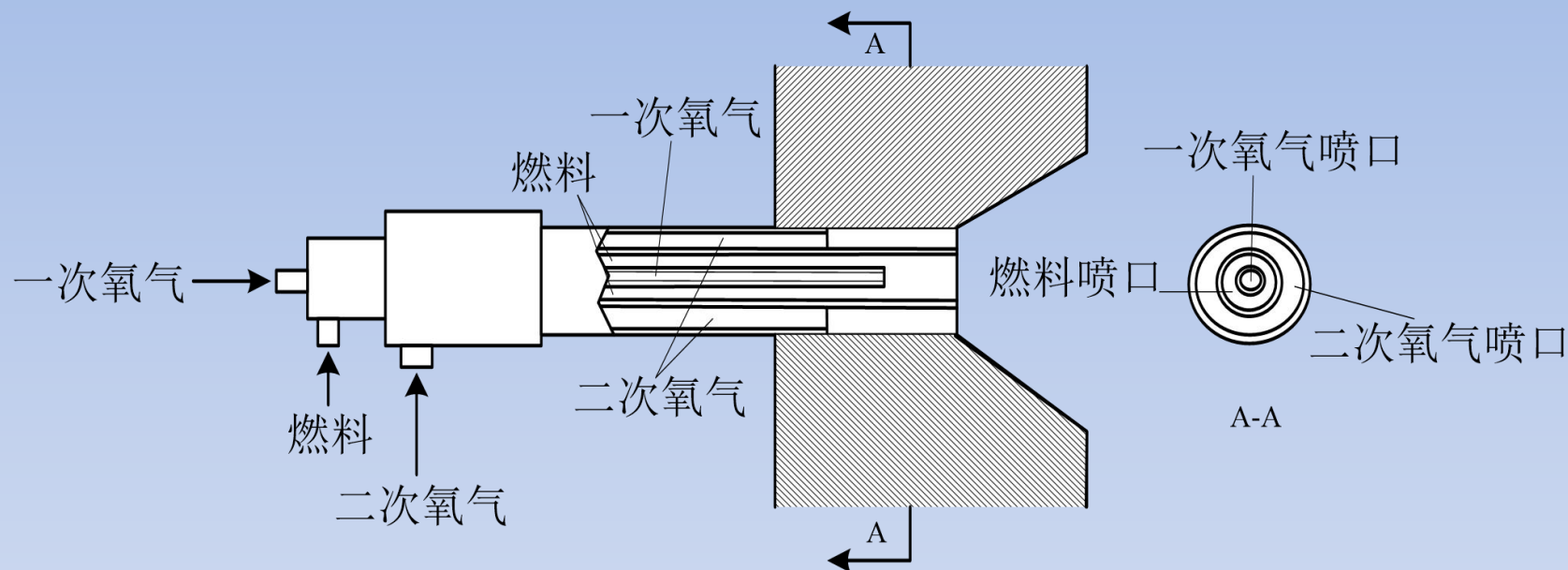
富氧微油燃烧器是将具有较强雾化能力的富氧与燃油混合燃烧，产生的高温油火焰引入浓相煤粉燃烧区实现极短时间内迅速着火燃烧，着火后再与稀相煤粉混合并点燃。

3.应对技术----低负荷稳燃技术



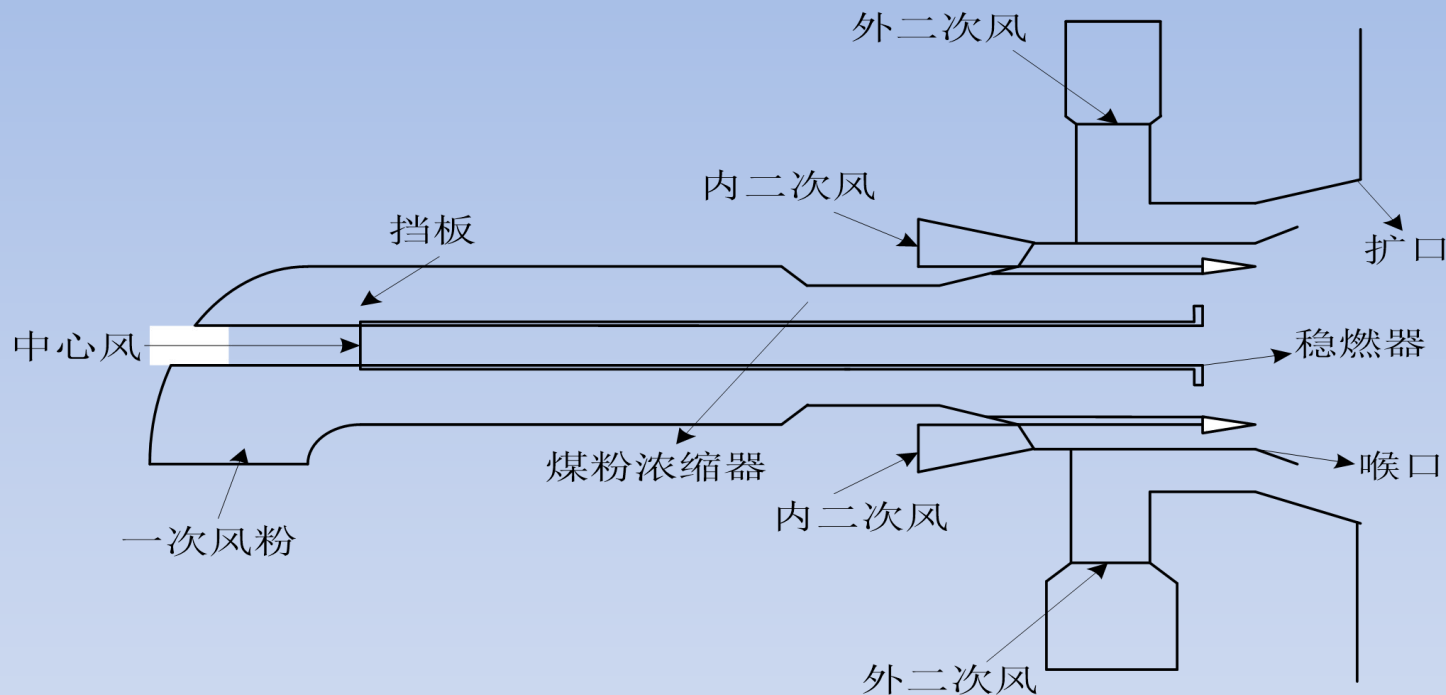
等离子发生器需要先设定电源的工作输出电流，在冷却水和压缩空气均满足要求后，直线发动机推动阴极与阳极接触，工作电流稳定后，直线电动机推动阴极向后移动。再阴极离开阳极的瞬间，电弧产生。在空气动力和磁场双重作用下，能够产生稳定的电弧进行放电，生成高温等离子体。等离子体产生的高温能够使煤粉气流深度裂解，产生更多的挥发分并迅速点燃，形成稳定的煤粉火焰。

3.应对技术-----低负荷稳燃技术



以美国AirLiquide公司开发的同轴射流氧气分级纯氧燃烧器为例，燃料被内侧一次氧气和外侧二次氧气包裹。通过改变一次氧气量能够实现火焰长度的灵活调节，能够适应不同热负荷和不同燃料种类。

3.应对技术----低负荷稳燃技术



清华大学和哈尔滨锅炉厂联合研发的煤粉/生物质混烧旋流燃烧器是通过一次风携带煤粉进入炉膛，而生物质是通过中心风携带进入炉膛。另外，稳燃器保证了环形内部煤粉分布均匀。一次风管道内的锥形煤粉浓缩器将大量的煤粉浓缩于内环，使得煤粉燃烧器出口形成风包粉状态。经浓缩作用后的一次风和旋流内二次风、旋流外二次风调节协同配合，达到逐级配风的效果，实现低负荷稳燃的作用。

3.应对技术----水冷壁安全防护技术

水冷壁安全防护技术用于适应快速启停。

维持良性的水循环需要精准的监测与有效的措施双重手段来实现，目前主要的有效措施包括：

- 1)实时监测水冷壁温度的变化；
- 2) 实时监测汽包上下壁温及温差、汽包与水冷壁温差等参数及其变化；
- 3)保持两台汽泵运行，保证汽源满足需求。

另外，核算管间偏差、核算水循环安全性、设置必要的壁温测点也具有重要的作用。

3.应对技术----快速升降负荷安全性技术

对于超临界技术需要注意以下几点：

1)关注分离器工质过热度。

注意给水泵与磨煤机之间需协调密切，确保煤水比合理。

2)避免省煤器工质汽化。

在机组运行时应注意控制变负荷速度，锅炉压力及省煤器出口过冷度，防止汽化。

对于亚临界技术需要做到：

1)定压运行，有利于控制压力波动对锅筒饱和温度的影响，尽可能减少压力波动对汽水水位的影响，有利于控制锅筒水位。

2)关注锅筒内外壁温差，严格控制上下、内外温差，确保锅筒安全。

3)避免省煤器工质汽化。采用较高压力定压运行，应注意控制变负荷速度、锅炉压力及省煤器出口过热度，防止汽化。

4.结论与展望

结论:

随着燃煤电厂灵活调峰需要的不断增加，燃煤电厂在灵活调峰方面进行了不断的尝试。尽管燃煤电厂灵活调峰在消纳新能源电力方面取得了显著的成绩，但灵活调峰过程对燃煤电厂自身的运行也带来了不可忽视的冲击。**低负荷稳燃、快速启停和快速升降负荷都引发了燃煤电厂的安全性问题**，最主要的是**低负荷的稳定燃烧以及各部件换热不均对元件带来的损耗，甚至是引发的事故**。目前在这几方面也采取的相应的技术措施。

展望:

对于灵活调峰技术的发展，可能在**锅炉侧稳定着火方面引入新的技术**进一步地改进，**对各部件实时监测能力要增强**，并且增加相应的局部调节措施。另外，灵活调峰的**热应力冲击对金属元件的寿命损耗更值得关注**，在各金属材料的选择上，需要在进一步的优化。

适应进一步调峰
的潜在发展方向

引进先进技术

提升监测能力

理论校核计算

停不下来的脚步

谢谢聆听！ 欢迎指导！

