

固体燃料结渣的控制

纳罗化学公司 J·R·麦克唐纳著

近几年来，炉膛烟气侧的结渣和腐蚀问题变得更严重了。其主要原因是：在经济性方面的压力下，燃用了较廉价的燃料；环保条例对燃料含硫量有所限制；现有装置增大了出力以及现代高压锅炉烟气温度大大超出了正常的数字范围。

锅炉制造厂正在努力设计新的装置，并在可行的情况下对较旧装置进行改装来解决这些问题。这项工作包括通过对放热率和炉膛容积(高度)的改进，使灰粒在接触排列紧密的管子之前能有效地冷却为非融化状的无粘性物质；增大管子间距来防止管子之间形成灰桥；以及通过增加管排使烟气再循环或者使用其它方法，来控制烟气温度的。然而，数百台锅炉的额定燃烧率大大超过了原设计，并且所燃烧的燃料的质量与原设计所要求的完全不同。由于煤灰的品质变化不定，所以甚至是利用了所有可获得的关于煤灰品质的资料而设计出的新装置，也产生积垢问题。煤灰的成分除了在地理位置相距很远的或在同一地区内的煤矿之间会有所不同外，在一个煤层与一个煤井内也会不一样。

已研制了一些用于扫除烟气侧积垢的改进型清扫装置；现代吹灰器就是一个很好的例子。现已证明还有一些化学处理方法对解决各种各样的结渣问题是有效的。要拟定一个有效的结渣控制方案，必须了解这些可供选用的处理方法和结渣生成机理。

结渣问题

结渣是由灰粘在炉墙上或管子上形成的。灰可能是固态，也可能是液态或汽态。液态的灰接触到冷的壁或管子，便会凝固成坚硬的灰垢。这就是在炉膛中或前面几排管子中形成结渣的基本原理。(见图1)

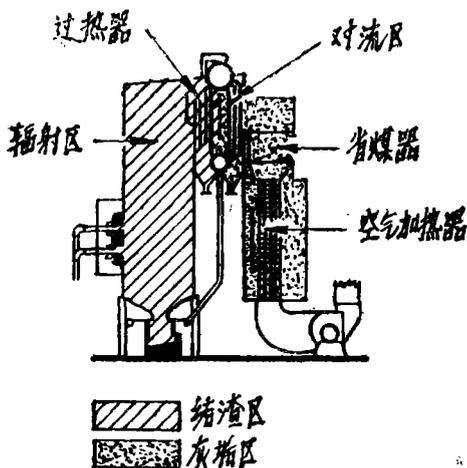


图1 在炉膛区生成结渣，在锅炉烟气侧后部通道中形成灰垢

在锅炉的后部及省煤器区域，灰的气态成分被冷凝成聚积物，称为灰垢。它与熔结玻璃状的结渣不同，是呈冷凝粉粒结块状。

结渣问题的严重程度取决于：

1. 穿过炉膛的烟气和灰粒的温度；
2. 灰粒所接触的管子表面温度。在高的炉膛中，一般来说，灰粒在接触管子之前已冷却凝固；
3. 灰粒的数量、整个灰粒的或其各成分的化学特性和物理特征，以及它们的熔化温度与汽化温度；

4. 灰粒周围的烟气因为在还原气氛中灰的熔化温度一般比较低。

在不同的锅炉中，烟气和管壁的温度会有很大的差异，因而某种燃料在这台锅炉中不会结渣，但在另一锅炉中却可能有很厚的结渣。

一种燃料是否会结渣，有几种判断方法。结渣的产生可能是灰的所有成分的共同作用结果，也可能只是一种成分的单独作用结果。可以用美国试验与材料学会的灰熔化试验方法测出全部灰的特性，也可以通过考察灰的基本成分来进行估算。在这里假定灰是一低共熔混合物。

灰的成分

灰的各种成分是在不同的温度下熔化的。表1列出煤灰中几种典型氧化物的有代表性的熔化温度。

表 1

普通煤灰氧化物的熔化温度	
SiO ₂	3128° F
Al ₂ O ₃	3722° F
MgO	4532° F
CaO	4660° F
Fe ₂ O ₃	2849° F
Na ₂ O	2330° F(升华)
K ₂ O	660° F(分解)

表中的数字仅供参考，因为这些氧化物是不会以这种形式存在的。灰中可以分离出来而引起结渣的成分是熔化温度较低的成分。

在美国东部的烟煤里，普遍含有铁元素。它经常以黄铁(FeS₂)的形式存在。黄铁在还原气氛中熔化温度为2100°F。通常人们认为它从灰中分离出来，而产生结渣。

钠和钾是另外两种可引起结渣或积垢的低熔点元素。

钙也可成为一个问题，因为它会优先与硫化物组合生成硫酸钙，在过热器、蒸汽发生管束，一直至空气预热器的各区域中造成结渣。此外，它是促进其他灰成分熔化的“助熔剂”。

外，它是促进其他灰成分熔化的“助熔剂”。

低共熔混合物的化学性质

一种低共熔混合物由两个或多个成分组合而成，其熔点低于各组合成分的熔点。氧化铝

表 2

煤灰中低共熔混合物的熔化温度	
FeO-FeS	1724° F
FeO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	1963° F
CaO-FeO	1967° F
Na ₂ O-Al ₂ O ₃ -6SiO ₂	2012° F
Na ₂ SO ₄ -CaSO ₄	1675° F

(Al₂O₃)和氧化钙(CaO)的组合就是低共熔过程的一个例子。这两种化合物的熔点分别为3722°F和4660°F，如表1所列。然而，它们组合起来后，熔点可降低至2912°F。表2列出煤灰中的几种可能组合。

通常可以求出由两种成分，(有时候三种成份)，组成的低共熔混合物图。但几乎不可能推导或设想出燃料灰分中所有成分的低共熔混合物图，可以由使用碱酸比的熔点估算法求得其近似解。

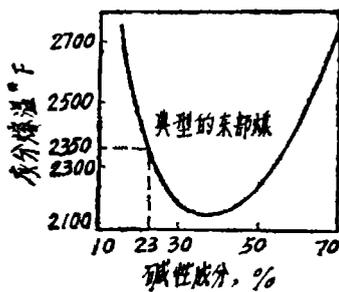
碱/酸比法

有些灰成分已被分成酸性和碱性两类。这种区分一般是依据各成分的水浆的PH值来判断。对于煤，主要的酸性成分有二氧化硅、氧化铝和二氧化钛；碱性成分有氧化铁、氧化钙、氧化镁、氧化钠和氧化钾。

使用碱/酸比法估算灰分熔化温度，需要测定灰分或结渣中碱性成分与总重量的比率。表3列出从树皮和三种煤中获得的灰分的典型组分。把各种碱性成分的百分数相加，除以碱性成分与酸性成分的总和，即求得碱性成分的百分数。表3列出的所有燃料分析结果均用此法求得。

表 3 典型灰分分析

	西部次烟煤	东部烟煤	褐 煤	树 皮
酸性成分 %				
SiO ₂	42	52	46	32
Al ₂ O ₃	23	24	17	9
TiO ₂	1	1	2	0
碱性成分 %				
Fe ₂ O ₃	8	15	7	7
CaO	16	4	18	40
MgO	7	2	5	7
Na ₂ O	1	1	4	1
K ₂ O	2	1	1	4
碱性成分百分比合计:	34	23	35	59
理论熔化温度	2150	2350	2150	2400



$$\text{碱性成分} = \frac{100(\%Fe_2O_3 + \%CaO + \%MgO + \%Na_2O + \%K_2O)}{\%Fe_2O_3 + \%CaO + \%MgO + \%Na_2O + \%K_2O + \%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%TiO_2}$$

* 美国试验材料学会 D1857-68 软化温度

图 2 煤灰熔温随组分的变化

然后，从图2的曲线中找出熔点。举例来说，在表3中，东部生产的煤所含碱性成分为23%。对此，图2的曲线示出相应灰分熔温为2350°F。

结渣对经济性的影响

从运行和维护两个角度看，结渣能导致很大的花费。若对结渣不予解决，不但会缩短锅炉的有效寿命，而且会降低它的长期工作利用率。结渣问题通常不会自行消失，所

以不应忽视。

它对经济性产生影响的四个主要方面是：

1. 导致停炉或降低额定出力，影响工厂生产；
2. 需要进行清洗，增加了维护费；
3. 破坏金属材料与耐火材料；
4. 降低了传热率，因而降低了效率。

无论是计划停炉或临时停炉，经济上都会受到损失。有时，发电厂的停机将造成其他行业的停工，停工一天就能损失成千上万美元。在这种情况下，不得不采用其他燃料，而从燃煤改变成燃油，在45400公斤/小时的蒸汽出力下，日生产成本便达5000美元。

金属材料和耐火材料的破坏对一台锅炉可能是致命的。由熔渣产生的高温腐蚀或在停机保养期间由结渣和管子之间的酸液渗入所产生的低温酸性腐蚀都能破坏金属材料。当炉膛壁上有结渣时，耐火材料便会遭受破坏。清洗或吹洗时，耐火材料会粘附在渣块上而一起脱落下来更换管子和耐火材料会花费成千上万的美分。

结渣复盖了蒸汽管，或改变烟气流量，这会减少热交换量，提高排烟温度，从而降低了效率。对于一台每小时生产45400公斤蒸汽的典型燃煤锅炉，排烟温度升高10°F意味着效率降低0.33%，每年约损失15000美元。

控制结渣的方法

待到发现存在结渣问题时，想改变炉膛设计使其与燃烧的燃料相适应通常是已经太迟了。对这问题，还有其他几种解决方法，其中包括：1. 燃用不同燃料或混合燃料；2. 安装吹灰器；3. 改善锅炉运行——尤其是喷燃器控制；4. 使用化学燃烧剂。应对所有这些方法都作一研究，选用其中最好的一种。往往需要同时使用几种方法。

在燃烧包括煤、燃油、废木屑和造纸废液等多种燃料的锅炉中，化学处理法已被证明对结渣的控制有效。它使用方便，并且可在短的时间内进行试验。采用这种方法时，对每台装置都必须具体研究对该装置的要求，来决定对其最有效的做法。

化学处理法

有几种可用来解决结渣问题的化学处理方法。化学处理方法的选择取决于积垢的类型和位置。另一决定因素是用什么方法以及在什么位置上把化学药剂引进锅炉系统。

控制结渣的五种方法是：

1. 提升灰分的熔点；
2. 使液相核化结晶；
3. 使各成分稳定下来；
4. 在结渣中产生一断裂面；
5. 使结渣物理瓦解。

熔化温度——最直接的处理方法是加入某种化学剂来提高灰的熔点，使灰在到达管子表面之前已凝固成粒，不能粘在上面。此方法需要连续的给料和化学当量的配比——换言之，

必须补充足够的材料来改变灰的化学性质，这笔花费是很大的。

核化结晶——使灰在到达管子表面之前凝固成粒的一种方法，是加速它从玻璃状熔液相变成晶粒相。有一种化学成核剂能诱发这种连锁反应。这种方法与提高熔温一样能达到相同的目的，但它不需要化学当量的配比，所以花费少些。

特殊成分——如果一种会引起结渣的成分能从结渣中被离析出来，就可以有针对性地用化学方法予以处理。更具体地说，可以使这成分稳定下来，或者改变其氧化状态，使其不再导致结渣。在某些情况下，可以除去在结渣生成过程中的某种化学中间物。这种方法需要连续供给化学剂，但只需少量原料。

断裂面法——断裂面法是在结渣中产生不连续面。此时对结渣的任何冲击都会沿着这个不连续面产生裂缝。这种冲击可以使用吹灰器来产生或者仅依靠锅炉的常态烟气流和振动。如果能在管子表面形成断裂面，则通过冲击就能把结渣彻底清除掉。然而，管束的表面一旦让结渣积聚，就不可能恢复清洗无污了。

也可以投放一种高熔点的不反应的粉末，如同在烤面包的平锅中撒一层面粉的目的一样，由此产生断裂面。另一种方法是如上所述，通过化学作用改变灰的熔点。此过程间歇进行，使生成的结渣中存在不连续面。间歇地给料还能减少处理费用。

物理性分裂——如果没有吹灰器，也可用物理方法来分离结渣，使其脱落。这种方法就是投入一种化学剂，使其夹在结渣里，它会改变其形状。这类似于爆苞米花，投入的化学剂如同投入的苞米粒，它把结渣炸碎。对不同的温度区，需使用不同的产品。但该技术结渣的化学特性无关。化学剂的投放，可以连续或者间歇地进行，这取决于投放方法。

有大量不同的燃料和不同的锅炉设计，因而结渣问题需要根据不同的情况分别解决。必须仔细的研究燃料组分和锅炉温度区，以便弄清楚产生积垢的原因。问题弄明白了，选用合适的机械的和化学的处理方法，就能获得最佳的解决。

[魏琳健译自《Power Engineering》Vol.88NO.8,1984.P48-50庞维金校]