

添锅炉，还是装蓄热器？兼论蓄热器的散热损失

(原载“华东工业锅炉”1992年第4期)

王孟浩

一. 前言

蓄热器是一种能够配合工业企业用汽有较大波动的场合起稳定锅炉运行的一种节能设备。在造纸、制糖、纺织、食品、酿酒、钢铁、卷烟和化工等行业中，适宜装设蓄热器的潜在需要很大。合理推广应用蓄热器，是一项为国家节能和减少污染的事业。

目前我国推广应用蓄热器的困难在于：

- 1) 不少企业缺少足够的资金。这可以通过贷款或集资来解决。在这方面国家或地方可以制订一些政策。例如日本对装设蓄热器有政府补贴及低息贷款；
- 2) 企业主对蓄热器的效用不完全了解。由于装设蓄热器需要一笔不小的资金，有些企业主宁愿多花一些钱添一台锅炉。他们认为添锅炉可以多生产蒸汽，而蓄热器不会产生蒸汽，反而会散热，所以不愿装蓄热器。
- 3) 蓄热器本体或系统设计不合理，特别是每个企业的用汽特点不同，如系统或本体设计不能很好配合其具体情况，则蓄热器很难投入使用。
- 4) 司炉未经培训，不掌握蓄热器的运行特点，还是按老习惯或想当然进行操作，使蓄热器不能发挥其应有的效用。

本文就上述第(2)点提出一些看法，目的在于对企业主在决策到底是添锅炉还是装蓄热器这一问题上提出一些可以量化的指标。在讨论这个问题以前，我们先分析一下当用汽负荷与锅炉产汽量不平衡时锅炉的特性和行为。

二. 当用汽负荷 D_L 大(小)于锅炉产汽量 D_P 时，锅炉的压力降低(升高)速度与锅炉的蓄热能力成反比。当锅炉压力降低时，锅筒中水位的升高幅度又与压降速度成正比。

锅炉的蓄热能力 S (kg/MPa) 定义为每降低(升高)1MPa 压力锅炉释放(储蓄)多少 kg 的蒸汽。可按下式计算：

$$S = \varepsilon V' \frac{\rho'}{r} + \theta \frac{G_m C_m}{r} + \alpha V'' + \delta V_q \quad (\text{kg/MPa}) \quad (1)$$

式中 V', V'' 锅炉中饱和水，汽的容积 (m^3)

V_q 锅炉中过热汽的容积 (m^3)

ρ' 饱和水密度 (kg/m^3)

r - 汽化潜热 (kJ/kg)

G_m 蒸发部分锅炉金属质量 (kg)

C_m 金属比热 (kJ/kg)

ε	饱和水焓随压降的变化率 (kJ/kgMPa)	$\varepsilon = di' / dp$
θ	饱和温度随压降的变化率 (/MPa)	$\theta = dTb / dp$
α	饱和汽密度随压降的变化率 (kg/m ³ MPa)	$\alpha = d\rho' / dp$
δ	过热汽密度随压降的变化率 (kg/m ³ MPa)	$\delta = d\rho q / dp$

上式等号右边第一项表示压力变化时因饱和水焓值的变化而释放 (或储蓄) 的蒸汽量; 第二项是压力变化时因蒸发部分金属温度变化而蒸发出 (或凝结) 的蒸汽量; 第三项和第四项是压力变化时因饱和汽和过热汽膨胀或收缩所释放 (或减少) 的蒸汽量。其中第一项饱和水焓值变化所释放的蒸汽量是主要的。例如以一台老式的 1.27Mpa 表压 K - 2 型锅炉为例: $V' = 3.9 \text{ m}^3$ (按蒸发管中饱和水占一半容积计算), $V'' = 1.1 \text{ m}^3$, $G_m = 5000 \text{ kg}$ (上锅筒只计算下面一半), $C_m = 0.469 \text{ kJ/kg}$, $r = 1963.6 \text{ kJ/kg}$, $\rho' = 871.08 \text{ kg/m}^3$, $\varepsilon = 145.8 \text{ kJ/kgMPa}$, $\alpha = 4.71 \text{ kg/m}^3 \text{ Mpa}$, $\theta = 32.86 \text{ /MPa}$ 。计算得 $S = 296.67 \text{ kg/MPa}$ (约为 30.2 kg/at)。其中上述第一项占 85%, 第二项占 13.3%, 第三项占 1.7% (见注)。

如果锅炉产汽量与用汽负荷的差值为 $D_L - D_p = D$ (t/h), 则锅炉的压降速度为

$$dp/dt = - \Delta D / 3.6S \quad (\text{MPa/s}) \quad (2)$$

锅炉如发生压力降低, 则锅筒中水位会上升。如果压降速度 dp/dt 太高, 则可能使锅筒中水位升高幅度太大, 从而导致汽水共腾和蒸汽中大量带水的情况。在有过热器的锅炉中还会使过热器管子中大量结盐垢。

锅筒中水位上升的幅度与锅炉压降速度之间的关系大致可用下式计算:

$$\Delta H = - \frac{dp}{dt} \frac{S}{\rho''} \tau \quad (\text{m}) \quad (3)$$

式中 ρ'' 饱和汽密度 (kg/m³)

τ 水容积中汽泡上升到水面所需的平均时间 (s)

F 上锅筒蒸发表面积 (m²)

式 (3) 也可写成下面的形式

$$\Delta H = \Delta D \tau / 3.6 \rho'' F \quad (\text{m}) \quad (4)$$

锅炉的水容积愈大, 蒸发表面积愈小, 则在同样的压降速度时水位的上升幅度愈大。当用汽负荷大于锅炉产汽量且持续一段时间 t (s), 则在这段时间内锅炉产生一定的压降幅度 Δp 。在实际运行中可能发生下列两种情况:

注: 锅炉压力高时, 这三项的比例也有不同。例如一台 230t/h 高压锅炉, 该三项的比例为 55%、28% 和 14%。

(a) 如这时锅炉的产汽量已达到其最大出力 D_{mcr} , 用汽负荷 $D_{max} > D_{mcr}$, 则在 t 秒时间后所产生的压降幅度为:

$$\Delta p = -(D_{\max} - D_{\text{mcr}})t / 3.6S \quad (\text{MPa}) \quad (5)$$

(b) 如这时锅炉的产汽量 D_p 小于 D_{mcr} ，用汽负荷从原来平衡状态阶跃至 D_L 。与此同时，司炉加大风量和炉排速度，但由于炉排具有较大的燃烧和传热延迟，锅炉出力要提高到 D_L 有一定的延迟时间 t_y 。在这段延迟时间内压降幅度为

$$\Delta p = -(D_L - D_p)t_y / 7.2S \quad (\text{MPa}) \quad (6)$$

三. 在各种情况下，装设蓄热器的必要性和合理性分析

前面一节分析了当用汽负荷与锅炉产汽量不平衡时锅炉的压降速度、压降幅度和水位上升幅度这三者的关系和计算方法。下面我们再从各种实际工作中可能遇到的情况来分析装设蓄热器的必要性和合理性。

- 1) 如锅炉运行中经常发生尖峰用汽负荷 D_{\max} 超过锅炉最大产汽量 D_{mcr} 很多的情况，或虽然超过不多但持续时间较长，使锅炉的压降幅度（见式 5）大到使锅炉供汽压力低于该企业生产工艺所不允许的程度；或因供汽压力经常过低而影响了该企业主要产品的质量，对于这种情况应该装设蓄热器；
- 2) 如用汽尖峰虽然未超过锅炉最大产汽量，但经常作剧烈变动，使锅炉的燃烧跟不上而发生很大的压降幅度（式 6）或压降速度（式 2），从而导致锅炉压力经常降低到不允许的程度或锅筒水位经常大幅度升降，造成蒸汽中带水过多而影响到企业产品的质量或过热器的安全运行，这种情况也应该装设蓄热器；
- 3) 如用汽的尖峰负荷未超过锅炉最大产汽量，用汽的波动幅度也未产生不允许的锅炉压降幅度和压降速度，但用汽波动的频繁度很高（例如达到每小时四、五次以上的频率），对于这种情况，从节能的观点考虑，也应该装设蓄热器。因为在这种情况下，装了蓄热器以后，可以使锅炉出力稳定，避免了频繁增减出力操作过程中经常出现跑红火、冒黑烟和过大或过小的过量空气系数下运行，一般可以节能 5 - 7% 以上。蓄热器的容积和投资也不会太大；
- 4) 有时某些企业的平均用汽负荷未超过部分几台锅炉的最大产汽量，但在短时间的尖峰用汽期间需要增加一台锅炉运行，而尖峰需汽量并不多，时间又短（例如每天 1 - 2 次，每次 2 - 3 小时），这种情况最适宜装设蓄热器。因为装蓄热器后可以不用每天短时间多运行一台锅炉，从而可以取得更大的节能效果；
- 5) 还有一种情况是有些企业在晚间需要长时间有少量蒸汽（例如罐头食品厂晚间保温用汽）。这种情况如装设蓄热器可以避免锅炉在晚间作极低负荷长时间运行（接近于频繁启动和压火运行），也可以取得很大的节能效果。
- 6) 在适合于装设蓄热器的场合，如果用汽负荷与锅炉产汽量之差值较大，而用汽负荷的波动周期较短，则应考虑装设变压式蓄热器。反之，用汽负荷与锅炉产汽量的差值小而持续时间长的情况则应考虑装设定压式蓄热器。目前我国的蓄热器都是变压式的（一般都称为蒸汽蓄热器）。实际上在有些合适的场合，应该发展定压式给水蓄热器。作者在 60 年代就曾倡导过开发定压式蓄热器，并提出过一种“换流式蓄热器”的设想，但未实现。在国外按

这种原理工作的蓄热器有不少在运行中。

- 7) 凡不属于上述各条情况，即用汽负荷的波动不频繁，用汽负荷未超过锅炉的最大产汽量，或虽然超过一些但可用锅炉本身的蓄热维持而不致于造成不允许的压降幅度和压降速度的，原则上都不宜装设蓄热器，

在企业的长远规范中如用汽的总的平均负荷超过现有锅炉的最大产汽量时，或者虽然没有超过锅炉的最大产汽量但用汽负荷超过锅炉最大产汽量很多或持续时间长，计算所需的蓄热器容积太大，技术经济分析结果表示装设蓄热器在经济上不合理时，则应考虑添锅炉而不是装设蓄热器。至于是否需要备用锅炉及备用锅炉的容量大小如何，则应按企业的实际情况考虑确定

- 8) 是否应该装蓄热器，装设何种类型的蓄热器以及蓄热器的容积大小，最好应在一个企业规划和设计时就按照上述各条原则和计算方法确定下来。这样在蓄热器位置安排，管道布置等各方面都能做到既经济又合理。不要等到运行中发现压力波动太大，影响正常生产时再开始考虑装设蓄热器。因为一个企业已经投产再来装蓄热器势必要短时间的停产，要改造管道系统，还要腾出地位来安装蓄热器等，必然会增加总投资。

- 9) 在有些情况下，也可能最合理的方案是既添锅炉又装蓄热器。例如企业生产发展，在每天较长一段时间内的平均用汽负荷超过了现有锅炉的最大产汽量，添置锅炉是必要的。如同时用汽负荷的波动又很频繁，添了一台锅炉，使锅炉的平均负荷率降低，耗能率更大。故为了节能和稳定汽压，还应该装设蓄热器。

- 10) 总的来说，添锅炉与装蓄热器的比较除了投资额的外，还应考虑以下各种因素：

- a) 用地面积的多少，包括煤场、灰场，水处理等用地；
- b) 运行人员的多少；
- c) 辅机耗能多少，包括风机水泵等；
- d) 装蓄热器后便于锅炉投入微机燃烧自动控制和全厂热网微机管理。

多年以来，许多单位都发展了应用微机进行工业锅炉实时燃烧自动控制的技术。但是尽管试验中都很成功，在实际运行中得到长时期成功使用的却很少。问题不在于微机控制技术本身，而是在于工业锅炉从调整燃烧工况（炉排速度和风量）到获得新的稳定出力（产汽量）有一段较长的延迟时间。由于这种对象的动态特性延迟性大，因此当用汽负荷波动剧烈时（一般在负荷变化幅度大于 30% 时），微机就无能为力了，会出现失控的现象。而采用蓄热器后，由于锅炉压力稳定，锅炉改变出力的频率和幅度都大为减小。所以可以为燃烧自动控制创造有利的条件，使微机系统能够顺利地投入使用。当然这时控制系统的设计要予以改变。因为装蓄热器后，锅炉的汽压为定值，不能作为调节的依据和冲量。

四．蓄热器的散热损失

不少人认为蓄热器的体积大，其散热量一定很大，是一笔不小的能量损失。这种观点是不对的。蓄热器由于其内部介质的温度比锅炉中烟气的温度低得多，所以只要有良好的保温，其散热损失要比添一台锅炉的散热损失小得多。

蓄热器在散热方面的热量损失有两项：其一是直接的，即蓄热器表面向周围环境的辐射和对流热损失；另一项是间接的，即由于散热而使一部分蒸汽冷凝成饱和水，使蓄热器中的水位升高而需定期排水，如果这些排水的热量不利用的话（通常是可以利用的，因为蓄热器中的水是冷凝水，一般不象锅炉排污水带有较多的盐分），也是一种热量损失。

现在以一台直径为 3m 高度为 15m 的 100m^3 容积立式蓄热器为例，其总表面积为 160m^2 。运行压力为从 0.5 到 1.3 Mpa。运行中蓄热器内水的平均温度为 180 左右。若用导热系数为 0.06 w/mk 的微孔硅酸钙作为保温材料，保温厚度为 120mm，外面再包以铝皮或镀锌铁皮，则在风速为 3 m/s 左右的室外，其表面放热系数（辐射和对流之和）约为 $11.5\text{ w/m}^2\text{k}$ 。当环境温度为 20 时，可以计算得每 m^2 表面的散热量为 77W。上海某饮料厂一台 100m^3 立式蓄热器在与上述相似的情况下的散热实测值为 81W。该散热率只有一般锅炉炉墙单位面积散热量（约为 300W）的四分之一。所以上述 100m^2 蓄热器每小时的散热量只有

$$Q = 80 \times 160 \times 3.6 = 46000 \text{ kJ/h}$$

这些散热量造成每小时的凝结水量为 $g=Q/r=46000/2018=23 \text{ kg/h}$

这些凝结水每周可使蓄热器中水位上升

$$\Delta H = g\tau / (\rho'F) = 23 \times 7 \times 24 / (888 \times 0.785 \times 9) = 0.6 \text{ m}$$

排放这些水量如不回收热量的话，则热量损失为（在低压时排水）

$$Q' = g(i' - i_0) = 23(666 - 84) = 13000 \text{ kJ/h}$$

上述两项热损失相加为

$$\Sigma Q = Q + Q' = 46000 + 13000 = 59000 \text{ kJ/h}$$

这些热量损失相当于一台 10t/h 锅炉 0.15% 的热损失。而一台 10t/h 锅炉本身的散热损失为 1.7%。所以可以这样说，装一台蓄热器的散热损失不到添一台锅炉散热损失的 1/10。

五、结论

本文全面论述了当一个企业在决策添锅炉还是装蓄热器这个问题时所应考虑的一些基本准则及各种因素。其中主要的是：压降幅度、压降速度及操作频繁度，并提出了一些主要的计算方法。这些准则和计算方法可供企业在决策时参考使用。文中也论述了蓄热器的散热损失及装蓄热器的各种附带的好处。

上海望特能源科技有限公司

<http://www.boiler-online.com>

wt@boiler-online.com

04 年 11 月