

章节 3.22

蒸汽蓄热器

蒸汽蓄热器

蒸汽蓄热器的目的是当蒸汽负荷超过锅炉供汽能力时释放出蒸汽，而当蒸汽负荷低时接收蒸汽。以下部分将描述：

- 阐明蒸汽蓄热器如何改进现代工厂的运行状况。
- 讨论使蒸汽蓄热器现在比以往更需要的因素。
- 指导选型合适的附件设备。

锅炉设计

现代的锅炉体积明显比30年前同样蒸发量的锅炉更小。锅炉尺寸的缩小来自于客户对锅炉这样的需求：

- 更高效的相对于燃料的蒸汽出力。
- 对需要的变化作出更快的反应。
- 更小，更方便可减少占地空间。
- 购买更便宜和安装更方便。

这些目标部分的被今天更复杂的控制/燃烧装置所满足，这些装置比以前的设备对需求变化的反应更快更准确。尽管如此，锅炉对需求变化的反应也受自然的规律影响，例如：多少水被加热，以及所获得的用于从炉膛火焰到水传热所需的传热面积。

通过减小对于给定出力锅炉本体的外形尺寸以及在锅炉内部填满炉管以增加换热面积，已经改进了反应时间。这意味着现代锅炉内的储水更少，每千克水的加热面积更大。考虑到现在的情况：

1. 设备的蒸汽负荷增加，锅炉内的压力下降到燃烧器控制设定点。
2. 燃烧控制吹扫炉膛并点火。
3. 更大的传热面积和更少的水量使得锅炉内的水快速蒸发以满足蒸汽负荷的需求。

如3.7“锅炉附件和安装”部分所述，锅炉内储存的能量是保存于饱和温度的水中。锅炉内的水越多，用于处理需求或负荷变化所储存的能量就越多。表3.22.1对比了20世纪50年代老式兰开夏锅炉和现代快装锅炉。值得注意的是现代快装锅炉的储水量仅为相似蒸发量兰开夏锅炉储水量的20%。因此现代快装锅炉储存的能量也仅为对应容量兰开夏锅炉的20%。所以现代快装锅炉不能对付峰值负荷而老式的兰开夏锅炉却能够满足。

从表3.22.1还可以注意到，现代快装锅炉内水表面的“蒸汽蒸发率”已增加到2.7。这就意味着蒸汽从水面分离的时间仅达到在兰开夏锅炉中分离时间的1/2.7 (40%)。这样就造成现代快装锅炉在峰值负荷输出湿蒸汽，并可能运行在比设计压力更低的压力 – 见3.12“控制锅炉水TDS”。

被蒸汽携带的水很脏（接近3000 ppm TDS），将会污染控制阀和换热面。也会堵塞压力感应装置和疏水阀等设备的小孔。

表3.22.1 兰开夏锅炉与现代快装锅炉的比较

锅炉类型	长度 x 直径	“From and At” 额定出力	水容量	锅炉内的 水表面	水表面蒸汽 蒸发率
兰开夏	9.1 m x 2.7 m (30m x 9m)	4540 kg/h (10000 lb/h)	45400 kg (10000 gal.)	18.6 m ² (200 ft ²)	244 kg/m ² h (50 lb/ft ² h)
现代 快装锅炉	3.9 m x 2.5 m (13m x 8m)	4540 kg/h (10000 lb/h)	9100 kg (2000 gal.)	7m ² (75 ft ²)	649 kg/m ² h (133 lb/ft ² h)

注：表3.22.1中的数据由Thermsave提供。同时在表中提供了英制单位以便对应于以前设计应用的锅炉。

峰值负荷

过程设备的蒸汽负荷很少是稳定的，但是负荷波动的大小和形式取决于行业和应用。峰值负荷可能一周发生一次或者甚至每天启动的时候发生。

峰值负荷造成的最大问题通常与批次生产的制程有关：

酿造。

- 纺织。
- 干燥清洗。
- 罐头制造。
- 轻质混凝土块制造。
- 钢铁行业。
- 使用大型压力锅的橡胶行业。
- 对这些制程，峰值负荷可能很大并且很长，并在小时段内有规律的发生。
- 或者有的行业，负荷循环由短时频繁的峰值段组成，但有很高的瞬时流量：
针织品整理。
- 橡胶。
- 注塑。
- 蒸汽去皮。
- 医院和工业杀菌。

图3.22.1显示的例子中几乎瞬时和峰值负荷都在平均负荷以上。对锅炉设备一个突然的负荷需求导致锅炉压力下降，因为锅炉和相关的燃烧设备不能产生被抽吸量的蒸汽。

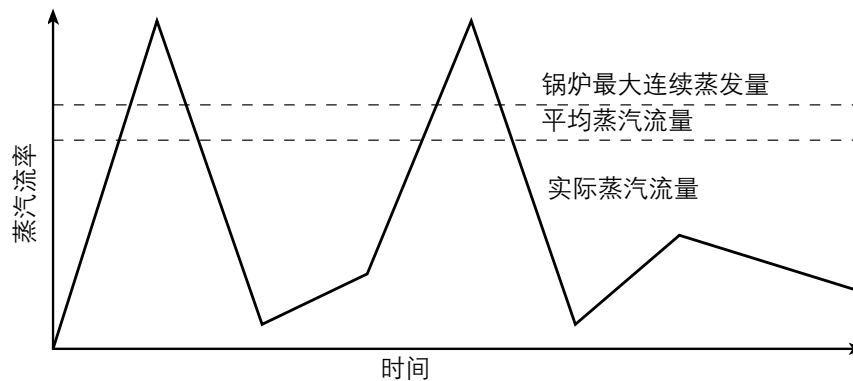


图3.22.1 典型的批次制程设备蒸汽流量图

峰值负荷和接着的压力降对工厂生产有严重的后果。在最坏情况下，这个结果是锅炉联锁停炉，这是因为快速蒸发引起锅炉水位上升，紧接着崩溃。这看起来是水位控制发出的低水位报警。

最好的情况是，产生湿蒸汽和蒸汽携带炉水。并连带着压力的下降，最后导致：

- 延长制程时间。
- 减少产量，或甚至损坏以及损失产品。
- 蒸汽主管水锤现象引起管道和附件的故障，并可能造成人身伤害。

对锅炉设备，峰值负荷会造成：

- 高维护工作量。
- 缩短锅炉寿命。
- 降低燃烧效率。

这是因为燃烧设备连续的从高到低燃烧率的循环，并且在每次低负荷段期间可能关闭，仅能在几分钟经历了停机和启动吹扫的冷却效果后再次点火。

可能使用多台锅炉或者大锅炉来处理峰值负荷（以及后来的谷低负荷），但这就不可避免的造成低效率。为了说明这一点，可以假设：

- 对一台普通的锅炉，锅壳的散热损失小于1%（例如：1%的锅炉连续最大蒸发量(MCR)）。
- 如果锅炉的蒸发量是MCR的50%，由于散热的损失相对于蒸发量为2%。
- 如果锅炉蒸发量是MCR的25%，则散热损失是蒸发量的4%。

而且，如果在没有对工厂供汽时也简单地维持压力。这时，1%的MCR是100%的相对于其蒸发量的损失。

如果锅炉设备按照峰值负荷选型，则出现由于相对于平均负荷选型过大的问题。实际上，锅炉可能在

其低负荷段期间停炉。如果这时发生了突然的冲击负荷而且锅炉没有点火，就会发生报警。报警发生，锅炉连锁而且恢复蒸汽供应将缓慢而艰难。

总之，峰值负荷将造成：

损失产品。

- 降低产品质量。
- 延长生产时间。
- 锅炉产生的蒸汽品质差。
- 燃烧效率低。
- 维修成本高。
- 缩短锅炉寿命。

负荷平抑技术

对适当的加载和对负荷增加的迅速反应，现代锅炉是非常高效的。但是，传统的锅壳锅炉一般不能满足大幅峰值负荷的要求，因此应避免负荷大幅震荡。

为了稳定负荷使锅炉设备避免负荷大幅波动的影响，使用的方法很多。

工程方法：

- 压力维持阀门（也称为溢流阀）可用作负荷屏蔽装置，它可以切断非重要设备而保证重要设备优先使用蒸汽，典型的布置如图3.22.2所示。这种方法的成功使用取决于峰值负荷的严重程度而且假设当发生峰值负荷时锅炉正在运行。

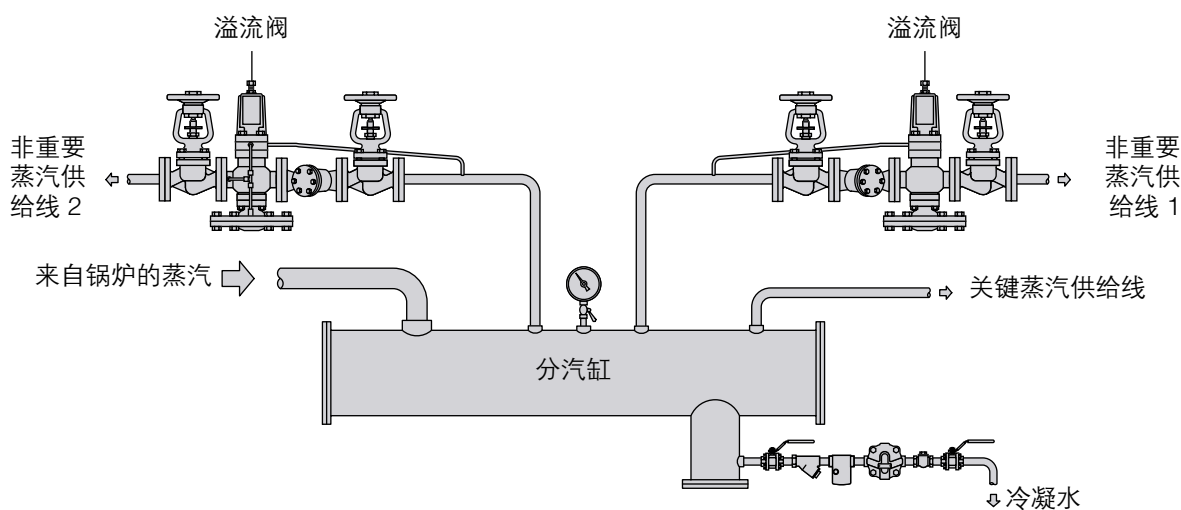


图3.22.2 溢流阀用作负荷屏蔽装置

溢流阀也可以直接安装到锅炉或者安装在至工厂的供汽主管上，见图3.22.3。

设定压力为：

- 小于“高火”控制压力，以防止溢流控制和燃烧控制之间的干扰。
- 足够高以维持锅炉压力在安全的范围内。

根据溢流阀选型，要求压降最小，一般情况下建议与管道同口径。

- 二元或三元水位控制。当峰值负荷不是很剧烈时应用得很好，而且出现峰值负荷时锅炉是运行的，但锅炉必须有足够的蒸发量。

二元控制使用从锅炉水位控制和蒸汽流量来的控制信号，确定给水调节阀的开度。

三元控制使用了上述二元加上从锅炉给水的流量计来的信号，控制进入锅炉的给水流量，而不是仅仅确定阀门的位置。第三元仅适用于应用给水总管供水的调节水位控制的锅炉。

例 3.22.1

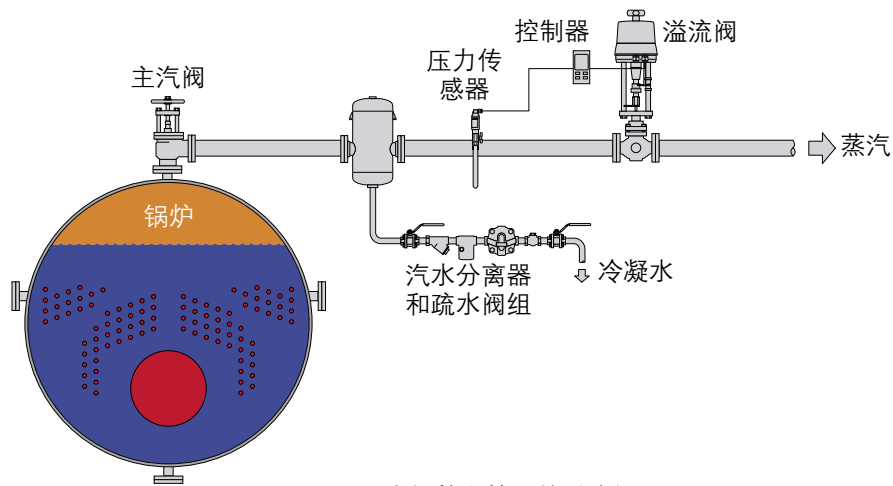


图3.22.3 在锅炉主管上的溢流阀

锅炉额定蒸发量5000 kg/h “From and At”。

高/低火压力设定分别为11.3/12.0 bar g (12.3/13.0 bar a)。

溢流阀设定在11.0 bar g (12.0 bar a)。

1. 以流速接近25 m/s为基础，应选100 mm蒸汽主管。
2. 标准DN100的溢流控制阀的 K_{vs} 是160 m³h。
3. 使用以下用于饱和蒸汽的质量流量计算公式，可计算溢流阀下游压力 (P_2)：

$$\dot{m}_s = 12 K_v P_1 \sqrt{1 - 5.67 (0.42 - \chi)^2}$$

公式3.21.1

式中：

\dot{m}_s = 蒸汽流量 (kg/h)；

K_v = 阀门流量系数；

P_1 = 控制阀上游压力；

P_2 = 控制阀下游压力；

χ = 压力降 $\left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right)$

在这个例子中，在低火位，锅炉压力是12 bar g (13 bar a)。

从公式3.21.1可以计算溢流阀全开阀后的压力是11.89 bar g (12.89 bar a)。

因此，压降很小 (0.11 bar) 这在正常运行时不是很重要。但是，如果压力降低到11.0 bar g，溢流阀开始关闭以便维持上游压力。

控制器的比例带应设置成在不造成阀门沿设定点震荡的条件下尽可能窄。

应用溢流阀的两个方法都可保护锅炉设备，但不能满足制程对更多蒸汽的基本需求。

管理方法

这些方法包括，例如，交叉启动制程设备以使峰值负荷尽可能的低。这种平抑峰值的方法有利于锅炉设备但对生产有害或有限制，与溢流阀有同样的作用。但无论如何不可能仅用管理的方法来平抑短期的峰值。

在一个工厂内有很多单独的制程影响着这个峰值，很可能有拉平负荷的效果，但同时，这些单独的制程也很可能加剧峰值，带来严重的后果。

如果上述方法不能提供要求的负荷稳定，就要考虑储存蒸汽的方法了。

蒸汽蓄热器

为了满足峰值负荷，瞬时提供干净干燥蒸汽最合适的方式是用一种办法储存蒸汽，以便在需要的时候蒸汽可以释放出来。因为在锅炉压力下要求巨大的储存体积，在压力下蒸汽作为气体储存是不实际的。

最好用例子解释：

在本章后面的例子中，使用的容器体积是52.4 m³。

进汽压力是10 bar g (比容 = 0.177 m³/kg)。

□ 排汽压力是5 bar g (比容 = 0.315 m³/kg)。

□ 以这些参数为基础，最终储存的而且准备立即释放到设备的能量都包含在130 kg蒸汽里。与充满水的蓄热器相比，这仅等于储存而且准备使用的能量的5.2%。

实际上有两个方法提供蒸汽：

通过增加饱和水的热量，通常用燃烧器。

□ 通过降低储存于饱和温度的水的压力。这样使水中的能量过剩，过剩的能量使部分水变成蒸汽。

□ 这个现象就是“闪蒸”，而用于储存有压力水的设备被称为蒸汽蓄热器。

蒸汽蓄热器本来是锅炉能量储存能力的外延。当设备的蒸汽需求低时，锅炉能够蒸发比需要更多的蒸汽，多余的蒸汽在一定压力下喷入储存的水中。经过一段时间，储存的水温度上升，直到最终达到运行锅炉压力下的饱和温度为止。

在下列情况负荷将超过锅炉的能力：

□ 出现的负荷变化比锅炉的反应能力快，例如：燃烧器停用，在燃烧器被安全点火前必须完成吹扫循环。这个循环将花费5min，而不能给锅炉加热，实际上吹扫循环对锅炉水有轻微的冷却效果。加上锅炉水闪蒸的因素将引起锅炉水位的下降，而锅炉水位控制系统将自动补充给水以维持水位，例如补水在90°C。这对已经在饱和温度的水有降温效果，这将使情况恶化。

□ 在很长一段时间内出现重负荷。

在这两个情况中，蒸汽蓄热器内的压力下降导致热水闪蒸成蒸汽。水闪蒸成蒸汽的速度取决于压力而不是时间。

充汽

蒸汽蓄热器包括一个部分充水的圆柱形压力容器，储水在总容积的50%和90%之间。蒸汽在水面以下通过一个分配管充入，分配管装配了很多喷射器，充汽直到全部的水达到需要的压力和温度为止。

在充汽和放汽期间水位将上升或者下降是正常的。

如果蒸汽蓄热器用饱和蒸汽（或者湿蒸汽）来充汽，水由于罐体的散热而少量增加。正常情况下可排放稍微更多的蒸汽。

在工作水面安装一个蒸汽疏水阀用作水位限制器，可排放少量多余的水到冷凝水回收系统。

但是，如果蒸汽蓄热器用过热蒸汽来充汽，或者如果散热损失非常小，由于蒸发水将逐渐损失，在水位探头的控制下，进水阀或者水泵将需要进水以弥补水量的不足。

排放

当蒸汽蓄热器内所有饱和温度的水发生压降，将以峰值负荷需求的流量产生闪蒸蒸汽，因此峰值负荷被满足。当峰值负荷逐渐减小，蒸汽蓄热器通过锅炉多余的蒸汽充汽。这个充汽放汽循环解释了“蒸汽蓄热器”的名称，并允许锅炉运行在平均负荷。

为满足峰值负荷维持的压降与系统中保持在饱和温度的水大约成反比。例如，如果一个需求引起3bar的压降，系统中有10 m³饱和温度的水，而同样的需求在有30m³饱和水的系统中仅引起约1 bar的压降。

蒸汽蓄热器的选型

蒸汽蓄热器在蒸汽系统中增加了储存能力。蒸汽蓄热器合适的设计能确保满足任何流量。理论上对蒸汽蓄热器没有尺寸限制，但考虑实际的因素将有所约束。

实际上蒸汽蓄热器的储存量是以满足峰值负荷需求为基础，以及在允许的压降下，从水面以合适的蒸汽释放速度供应干净干燥的蒸汽。下面例3.22.2，用于计算水平放置蒸汽蓄热器蒸汽能力。

例 3.22.2

锅炉：

最大连续蒸发量 = 5 000 kg/h
 正常工作压力 = 10 bar g ($h_f = 782 \text{ kJ/kg}$)
 燃烧器开关差 = 1 bar

设备要求:

最大瞬时负荷 = 20 000 kg/h, 每小时有 10min
 压力 = 5 bar g ($h_f = 671 \text{ kJ/kg}$, 查蒸汽表)

蒸汽蓄热器:

长度 = 5.45 m
 直径 = 3.50 m

水容量 = 47 t (一般为蓄热器容积的 90%)

蓄热器内潜在的蒸汽能力可用公式3.22.1计算:

$$\text{储存蒸汽能力(kg)} = \frac{\text{水中焓值的差(kJ/kg)} \times \text{储水量(kg)}}{\text{在低压下的蒸发焓值}} \quad \text{式3.22.1}$$

储存蒸汽能力 = 2500 kg

请注意, 在压力下降所用的时间内将释放2500 kg闪蒸蒸汽。如果时间是1h, 蒸发率就是2500 kg/h, 如果时间是30min, 蒸发率是:

$$\frac{2500 \text{ kg/h} \times 60\text{min}}{30\text{min}} = 5000 \text{ kg/h}$$

同样, 如果蒸发量是10min, 蒸发率是15000 kg/h。

如果蒸汽蓄热器与蒸发量为5 000 kg/h的锅炉连接, 并且在它的容量内供应平均负荷, 锅炉和蓄热器的总出力能满足20000 kg/h的峰值负荷10min。其它办法是增加一台锅炉, 能够在10min内一共产生20000 kg/h的蒸汽。

对指定的应用可以计算所需要的蒸汽蓄热器的尺寸。

在下面使用例子 3.22.2中的数字便于检查。

锅炉:

最大连续蒸发量 = 5 000 kg/h
 正常工作压力 = 10 bar g

设备要求

最大瞬时负荷 = 20 000 kg/h, 每小时10 分钟
 压力 = 5 bar g
 蒸汽储存 = 20 000 kg/h - 5 000 kg/h (锅炉供应的蒸汽)
 蒸汽储存 = 15 000 kg/h

但是每小时仅需要10分钟的蒸汽, 所以要求的蒸汽储存必须是:

$$\text{所需储汽量} = \frac{15000 \text{ kg/h} \times 10\text{min/循环}}{60\text{min/h}}$$

$$\text{所需储汽量} = 2500 \text{ kg/循环}$$

产生2500 kg蒸汽所需的水量与由于降压产生的闪蒸蒸汽是比例函数。

如果蒸汽蓄热器在10 bar g锅炉压力下充汽, 并且在5 bar g压力下送到设备, 闪蒸蒸汽的比例可如下计算:

$$\text{闪蒸蒸汽比例} = \frac{(P_1\text{压力下的}h_f) - (P_2\text{压力下的}h_f)}{P_2\text{压力下的}h_{fg}} \quad \text{公式2.2.5}$$

$$\text{闪蒸蒸汽比例} = \frac{(782 - 671)}{2086}$$

$$\text{闪蒸蒸汽比例} = 0.0532 \text{ kg/kg水}$$

$$\text{所需饱和温度下的水量} = \frac{2500 \text{ kg闪蒸蒸汽}}{0.0532 \text{ kg/kg水}}$$

$$\text{所需饱和温度下的水量} = 46992 \text{ kg}$$

水容积通常占据90%的蒸汽蓄热汽空间：

$$\text{总容积} = \frac{46.992\text{m}^3}{90\%}$$

$$\text{总容积} = 52.2\text{m}^3$$

使用前面指定的容器尺寸，当完全充汽后水表面积接近14 m²。

蓄热器最大蒸发率给定是15000 kg/h，因此：

$$\text{最大蒸汽释放率} = \frac{15000 \text{ kg/h}}{14 \text{ m}^2}$$

$$\text{最大蒸汽释放率} = 1071 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

经验测试工作显示从水表面产生干蒸汽的速率是压力的函数。建议：

不发生蒸汽带水的最大蒸发率 (kg/m²h) = 220 x 压力 (bar a)

在例3.22.2中蒸汽蓄热器运行在10 bar g (11 bar a)。不发生蒸汽带水的最大蒸发率是：

$$220 \times 11 \text{ bar a} = 2420 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

结果显示在图3.22.4中。

例中1071 kg/(m² · h)比最大值低很多，因此产生的肯定是干蒸汽。如果蒸发率太高，对同样容积的容器可以考虑不同的直径和长度。

必须强调这仅是一个指导，详细设计要委托专业的制造商。

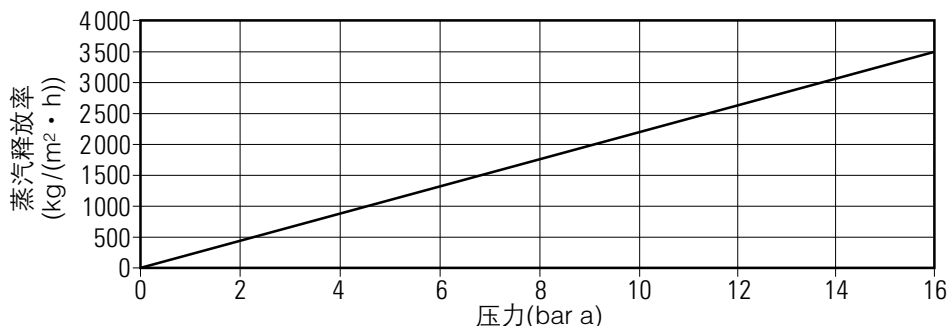


图3.22.4 不发生蒸汽带水的蒸发率

蒸汽蓄热器的控制和附件

下面是所需设备的回顾，用于蒸汽蓄热器的安装，以及选型和选择合适设备。

使用例 3.22.2中的数据。

锅炉：

$$\text{最大连续蒸发量} = 5\,000 \text{ kg/h}$$

$$\text{正常工作压力} = 10 \text{ bar g}$$

蓄热器：

$$\text{水量} = 46\,992 \text{ kg}$$

$$P_1 \text{ (锅炉压力)} = 10 \text{ bar g}$$

$$P_2 \text{ (排放压力)} = 5 \text{ bar g}$$

设备需求：

压力 = 5 bar g

最大瞬时负荷 = 20 000 kg/h，每小时10min，锅炉供应5 000 kg/h。

从这些数字中可以得出46 992 kg的水必须在50min内从5 bar g (159°C) 饱和温度加热到10 bar g (184°C)

管道

锅炉与蒸汽蓄热器之间的管道必须正确选型，根据常规，按照最大锅炉出力时蒸汽流速在25到30 m/s之间，在例3.22.2中，这个管道要求100 mm口径。

截止阀

锅炉主汽阀后需要一个与管道同口径的截止阀。截止阀的压力等级要适当，最好用铸钢材质的阀门。

止回阀

需要一个与管道同口径的止回阀以防止在锅炉停炉或者联锁时蒸汽倒灌。碟片式止回阀是最佳的选择。

溢流阀

溢流阀必须保证从锅炉到蒸汽蓄热器的流量在锅炉容量范围内。例3.22.1显示了阀门的选型方法。

导阀型自作用溢流阀可用于较小的装置，较小（非可调的）的比例带是可接受的。对较大的装置最好用气动控制器和控制阀，它的优点是可提供可调节的比例带。

对这个应用，应选择一个DN100气动控制阀，带合适的操作和切断能力。

蒸汽喷射装置

正确选型的蒸汽进口管道必须从水面以下进入，并与蒸汽分配集箱连接，如图3.22.5所示。蒸汽应从喷射器喷射进入水中。值得注意的是蒸汽流量随着容器压力的升高是变化的，因此在喷射蒸汽与容器压力之间的差压是减少的。

当流量很低时，蒸汽倾向于从距蒸汽进口管最近的喷射器流出。

进口管道，分配集箱以及喷射器的位置的设计必须能够在任何实际的蒸汽流量下沿蓄热器长度平均喷射蒸汽。

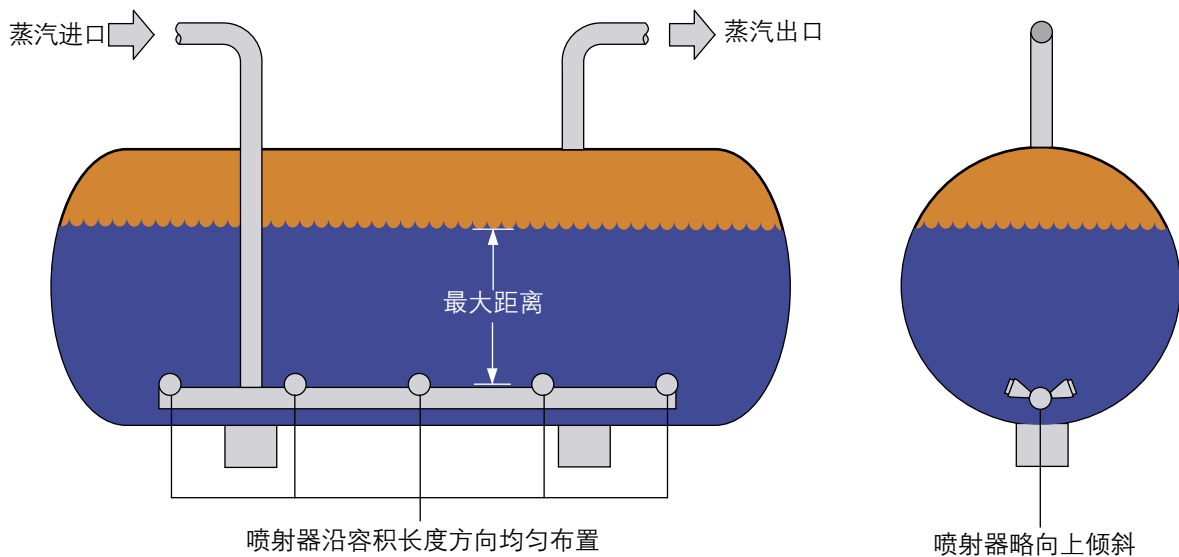


图3.22.5 蒸汽蓄热器内蒸汽喷射器的安装

从喷射器排放出来的是高温热水，可能会带一些冷凝蒸汽泡，喷射速度高，促进了水的扰动和混合。喷射器不能直接对着，或者靠近容器壁喷射。因此建议角状安装。理想情况下，喷射器不同方向的角度有助于更均匀的分配蒸汽。典型的布置见图3.22.5。

在很长的容器中，如果使用2个或更多的进口管有利于更规则的分配。在这种情况下，主进汽管上会有更多的分支管。

所有的喷射器在蓄热器内应安装的尽可能的低，以保证在上面有尽可能大的静压头。喷射器的安装最好稍微成角度以避免容器冲蚀。

回到例3.22.2:

锅炉压力 (P₁) = 10 bar g

设备压力 (P₂) = 5 bar g

ΔP(最大) = 10 - 5 = 5 bar

流量 = 锅炉最大连续蒸发量 (5 000 kg/h)



图3.22.6 蒸汽喷射器

制造商的选型表将给出喷嘴的K_{vs} 值(见表3.22.2)

喷射器尺寸	IN15	IN25M	IN40M
K _{vs}	1.4	5.8	15.3

用表 3.22.2的数据并参考图 3.22.7，该图取自饱和蒸汽选型图表3.22.8:

1. 从 'X' 轴11bar a (10bar g) 点向右画一条水平线，直到与临界压降线相交于点(A)。
2. 从点 (A) 垂直画线直到与喷射器的K_{vs} 值线相交于点(B) (举例为K_{vs} 5.8, IM25M 喷射器)。
3. 向左画水平线，直到与 'y' 轴相交于点(C)。这个值就是喷射器的容量。(接近760kg/h)。

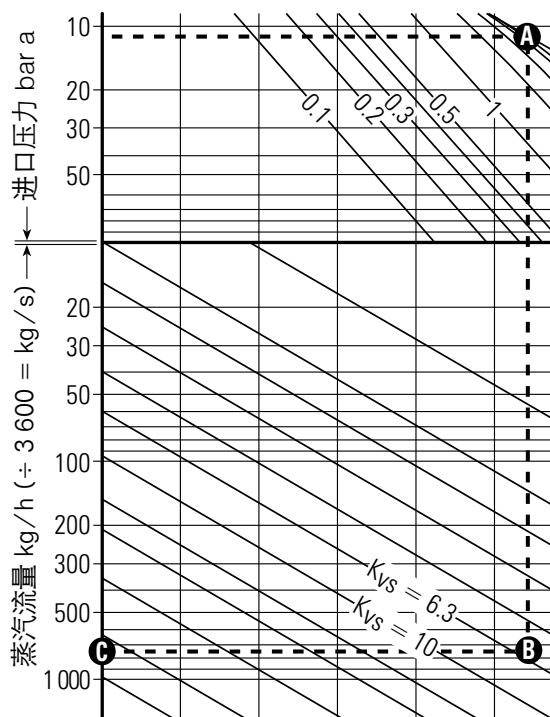


表 3.22.7 蒸汽喷射器容量

流量也可用式 3.21.1 计算:

$$m_s = 12 K_v P_1 \sqrt{1 - 5.67 (0.42 - \kappa)^2} \quad \text{式3.21.1}$$

式中:

m_s = 蒸汽质量流量 (kg/h); K_v = 喷射器容量系数; P₁ = 锅炉压力 bar a; κ = 压降系数ΔP/P₁。

因为发生极限压降，公式简化为:

$$m_s = 12 K_v P_1, \quad m_s = 12 \times 5.8 \times 11 = 766 \text{ kg/h}$$

举例: 需要的喷射器数量通过将总蒸汽流量除单个喷射器的容量来获得。

$$\text{举例: } \frac{\text{所需总容量}}{\text{喷射器容量}} = \frac{5000 \text{ kg/h}}{766 \text{ kg/h}} = (6.6) \text{ 使用7个喷射器。}$$

注意: 最好用几个较小的喷射器而不是一个大的喷射器，这样能保证蒸汽蓄热器内更好的混合。

本选型图是经验性的，不要用于关键应用

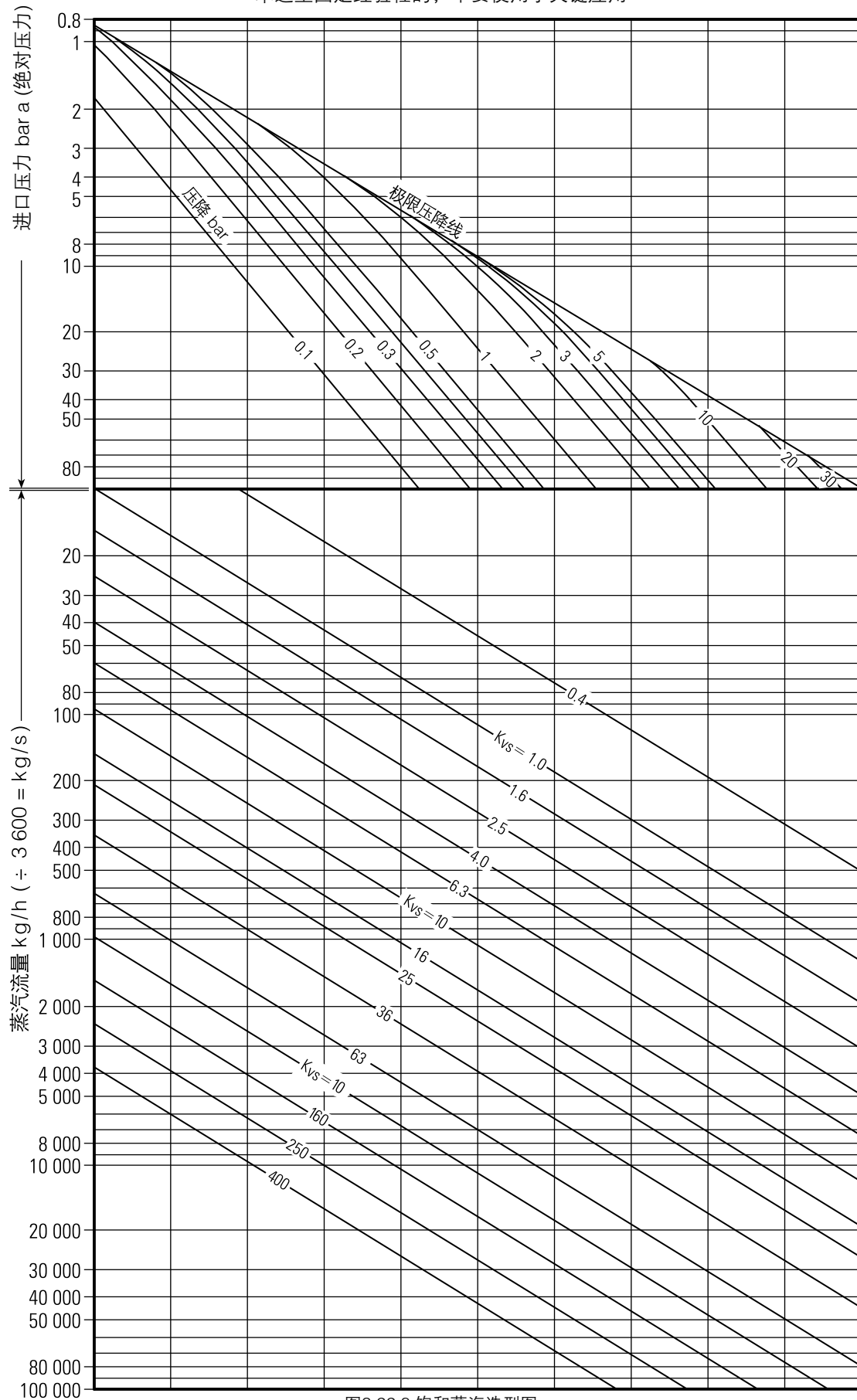


图3.22.8 饱和蒸汽选型图

选定了喷射器的尺寸和数量，应进行校验计算以确保储存的水在允许的时间内达到需要的温度和压力，考虑到喷射器容量的减少。

在再次充汽过程的启动阶段：

$$\begin{aligned} \text{水量} &= 46\,992 - 2\,500 = 44\,492 \text{ kg} \\ \text{罐体压力} &= 5 \text{ bar g} \\ \text{容器内水温} &= 159^\circ\text{C} \\ \text{喷射的蒸汽压力} &= 10 \text{ bar g} \\ \text{温度} &= 184^\circ\text{C}, \\ \text{蒸发焓} &= 2\,000.1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

工作5 min的增加量：

$$\begin{aligned} \text{时间} &= 0 - 5 \text{ min} \\ \text{喷射器差压}\Delta P &= 10 - 5 = 5 \text{ bar} \\ \text{该}\Delta P\text{下喷射器容量} &= 766 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

有7个喷射器，则最大喷射量为：

$$766 \times 7 = 5\,362 \text{ kg/h}$$

但是锅炉最大出力是5000 kg/h，溢流阀将保证不超过这个量。

$$5\text{min喷射的蒸汽量} = 5000 \text{ kg/h} \times \frac{5}{60}$$

$$5\text{min喷射的蒸汽量} = 417 \text{ kg}$$

$$\text{增加的能量} = 417 \text{ kg} \times 2000.1 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{增加的能量} = 834042 \text{ kJ}$$

从公式 2.1.4

$$Q = m c_p \Delta T$$

公式2.1.4

$$\text{温度改变}(\Delta T) = \frac{\text{能量}(Q)}{\text{水量}(m) \times \text{比热}(C_p)}$$

$$\text{温度改变}(\Delta T) = \frac{834042 \text{ kJ}}{(44492 \text{ kg} \times 4.19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})}$$

$$\text{新的水温} = 159 + 4.47^\circ\text{C}$$

$$\text{新的水温} = 163.5^\circ\text{C}$$

但是喷射过程中通过冷凝也增加了一些184°C的饱和水。

混合温度用平衡方程计算：

$$(163.5^\circ\text{C} \times 44492 \text{ kg}) + (184^\circ\text{C} \times 417 \text{ kg}) = (44492 \text{ kg} + 417 \text{ kg}) \times \text{新的水温}^\circ\text{C}$$

$$\text{因此：} \quad 7351170 \text{ kg}^\circ\text{C} = 44909 \text{ kg} \times \text{新的水温}^\circ\text{C}$$

$$\text{新的水温} = \frac{7351170 \text{ kg}^\circ\text{C}}{44909 \text{ kg}}$$

$$\text{新的水温} = 163.7^\circ\text{C}$$

$$5\text{min后的温度} = 163.7^\circ\text{C}$$

$$\text{对应的饱和压力} = 5.8 \text{ bar g (查蒸汽表)}$$

$$\text{对时间段} = 5 \text{ 到 } 10 \text{ min}$$

上述计算用新数字计算，也就是：

$$\text{水量} = 45\,087 \text{ kg (} 44\,492 \text{ kg} + 417 \text{ kg)}$$

$$\text{容器压力} = 5.8 \text{ bar g}$$

$$\text{容器内水的温度} = 163.7^\circ\text{C (查蒸汽表)}$$

$$\text{喷射器压差} = 10 - 5.8 = 4.2 \text{ bar}$$

$$\text{计算工作10min后的温度} = 168.21^\circ\text{C}$$

$$\text{对应的饱和压力} = 6.57 \text{ bar g}$$

使用这个检验程序，可以确定在规则的时间段的温度。图3.22.9显示了这个应用的计算的图结果。

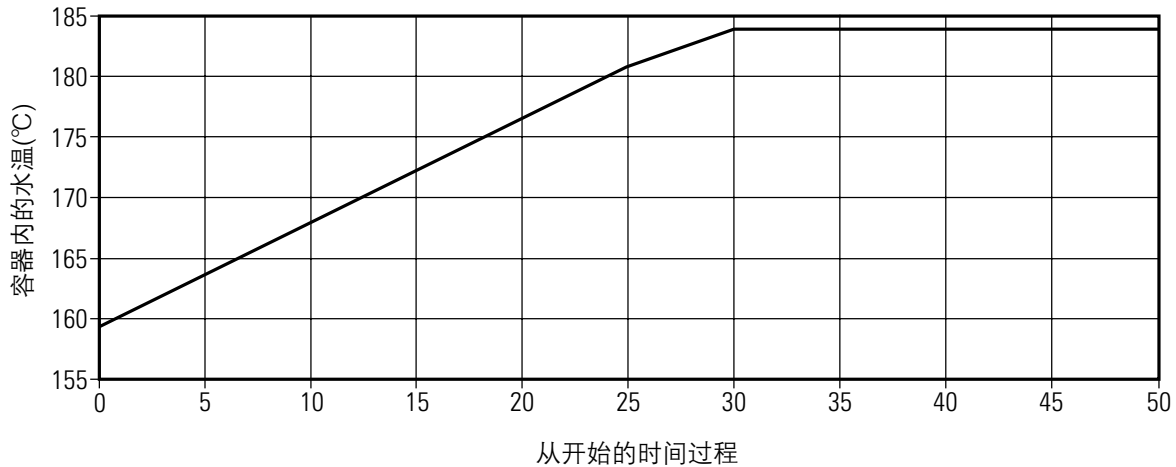


图3.22.9 过程和温度启动时间图

表3.22.3 过程和温度启动时间

从开始后的时间(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
温度(°C)	159	163.4	168.2	172.7	177.1	181.2	184.1	184.1	184.1	184.1	184.1

从表 3.22.3，蓄热器在大约30min后就完全充满能量。这完全在目标时间50min内，所以喷射器的选型和数量是正确的。如果蓄热器在允许时间内不能达到完全充汽的情况，可以选择更大或者更多的喷射器，而且用演算程序确认证明新的选型正确。

压力表

需要一个合适量程的压力表显示蒸汽蓄热器内压力。应在压力表上标注；

- 最小压力 (设备蒸汽压力)。
- 最大压力 (锅炉蒸汽压力)。
- 容器最大工作压力。

安全阀

如果蓄热器的最大工作压力等于或者超过锅炉，则可不需要安全阀。

但是，客户关心的是其它很少出现的特例。例如，万一工厂失火，如果蓄热器充满能量而且所有进口和出口都关闭的情况，蓄热器的压力将上升。在作决定之前与保险检查员的讨论是必要的。

如果安装了安全阀，排放必须通过适当口径的放空管引到安全地点，管道应有排水管。

空气排放和破真空器

当蒸汽蓄热器从冷态启动时，蒸汽空间充满了空气。这部分空气没有热值，实际上对蒸汽设备性能还有相反的效果（如道尔顿定律所阐述的），而且还有覆盖换热器表面的作用。空气还导致冷凝水系统的腐蚀。

空气可用一个简单的旋塞阀排放，打开旋塞阀直到蒸汽蓄热器升压达到0.5 bar时关闭。旋塞阀可用压力平衡排空气阀代替，它不仅减轻锅炉操作人员的人工排空气的（并且确保要实际做了）工作，而且更准确，可以排放聚集在容器内的任何气体。

相反，当蒸汽蓄热器离线，蒸汽空间的蒸汽冷凝产生真空。真空导致容器外部受压，造成从查检孔泄漏空气。破真空器可避免这种情况。

排水阀

该阀门用于排放容器以便维修和检查。一个DN40的阀门适用于例3.22.2的蓄热器。

溢流

需要一个带热静力排空气阀的浮球疏水阀，如图3.22.10所示。当如图安装时，蓄热器内的水位不会高于这一点，因为疏水阀用作自动溢流阀。当水位下降，就是说，蒸汽离开的量比进入的量多，疏水阀将自动关闭以防止蒸汽泄漏。

使用一个带热静力排空气阀的浮球疏水阀作为水位限制装置还提供了额外排空气的优点。疏水阀靠近玻璃管水位表安装。疏水阀的排放直接返回锅炉给水箱，注意避免过多的背压和提升。浮球疏水阀的口径根据蓄热器的大小而变化，对例3.22.2，通常选用DN32或DN40口径。

水位表

因为仅有10% (近似) 的水闪蒸成蒸汽，蒸汽蓄热器内水位的变化不会大，但是可视水位仍然是必要的。很明显，水位计应运行在蒸汽蓄热器最大工作压力下。因此，从存货和设备标准化的观点看，使用与锅炉一样的水位计有如下优点：仅需要一种水位计。

减压站

减压站装在排放口。打开减压阀以维持下游压力，蓄热器内压力降低造成部分水闪蒸成蒸汽。

减压阀应按如下参数选型：

P_1 = 锅炉压力 (10 bar g 举例)

P_2 = 设备压力 (5 bar g 举例)

ΔP = 10 - 5 = 5 bar

流量 = 峰值流量 (20 000 kg/h 举例)

现在可以根据制造商的选型图表或者用饱和蒸汽选型图3.22.8选择合适的阀门。

对直到DN80的口径，导阀型自作用减压阀是合适的，更大的口径应使用气动控制阀。

管道

这是检查蒸汽蓄热器减压站和设备之间管道选型是否合适的时候。管道选型应按照蒸汽流速为25到30 m/s，但应使用设备压力下蒸汽蓄热器峰值流量，本例中压力是5 bar g。

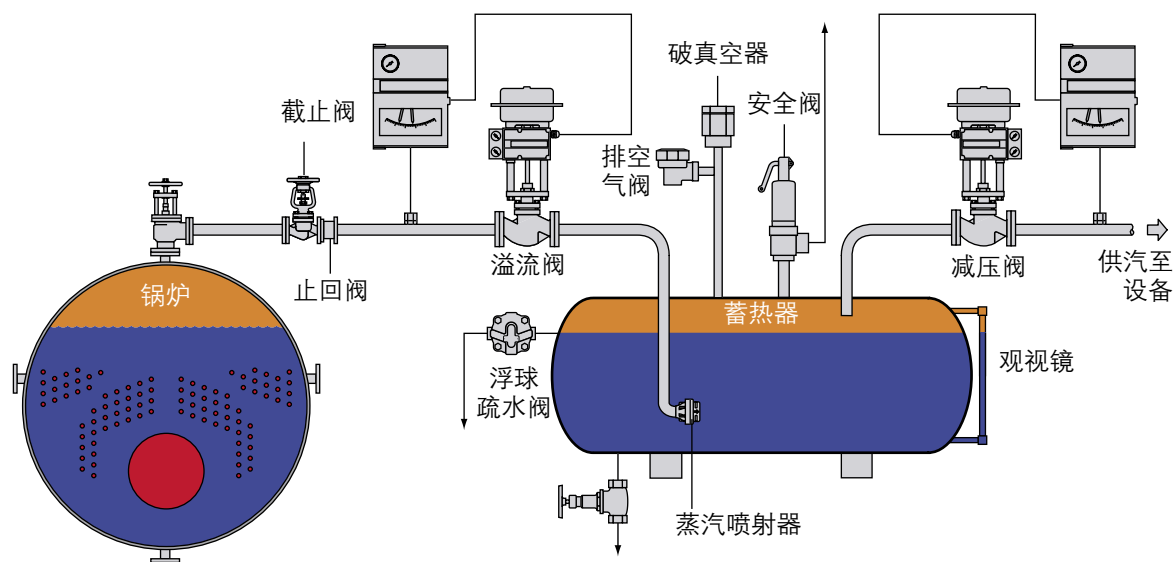


图3.22.10 蒸汽蓄热器和附件

蒸汽蓄热器的典型布置:

图3.22.11显示了所有锅炉产生的蒸汽都通过蒸汽蓄热器。这通常是更现代的首选布置。

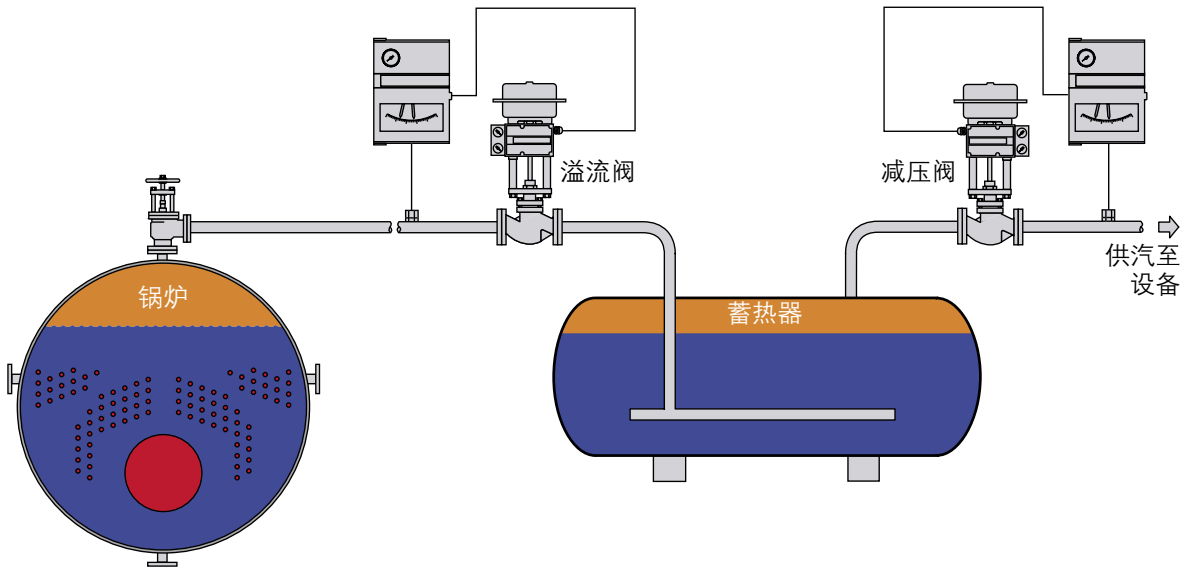


图3.22.11 蒸汽蓄热器邻近锅炉

图3.22.12所示通常是以前使用的布置，而且当蒸汽蓄热器必须位于远离蒸汽主管的现场时还是有用的。但是止回阀应定期检查，因为阀门的“粘连”和“贯通”能导致蒸汽在蒸汽表面上充入，这没有任何好处。

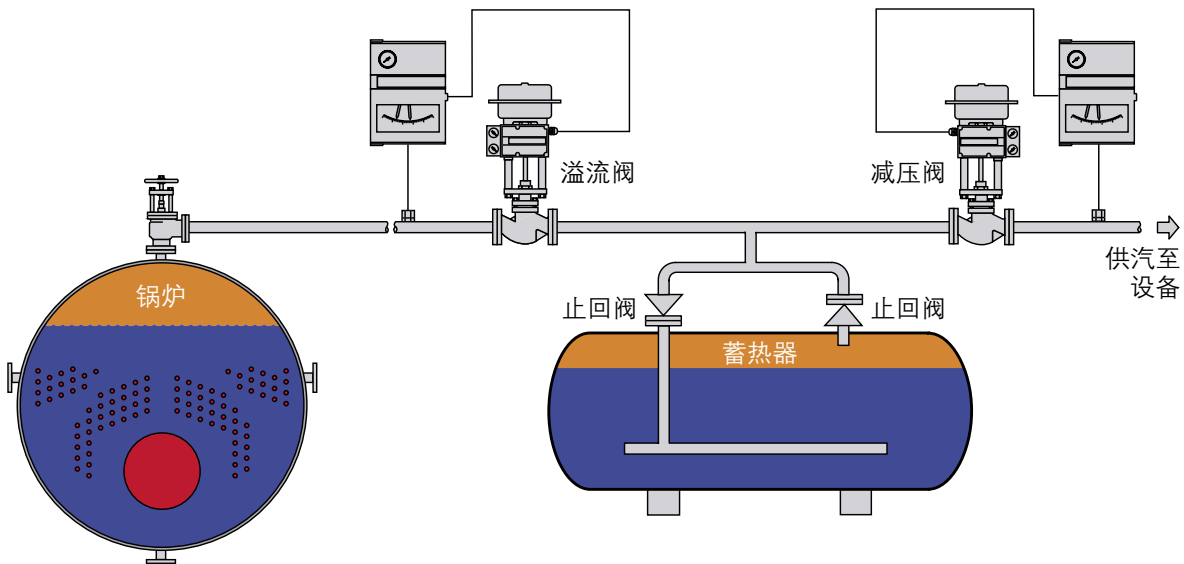


图3.22.12 蒸汽蓄热器远离锅炉

图3.22.13显示的布置是工厂同时需要锅炉压力和较低压力的蒸汽。

一些制程应用不能使用低压蒸汽，所有时间可能需要锅炉压力的蒸汽（通常用于干燥过程）。如果峰值负荷是由于高压用户造成的，图3.22.13中的压力维持阀将感受到压力降低，并关小阀门，因此保存高压蒸汽用于高压用户，这期间留下蒸汽蓄热器为低压用户供汽。这种方法系统通过蒸汽蓄热器提供低压变动负荷，高压用户的最大可能流量由压力维持阀的作用保证。

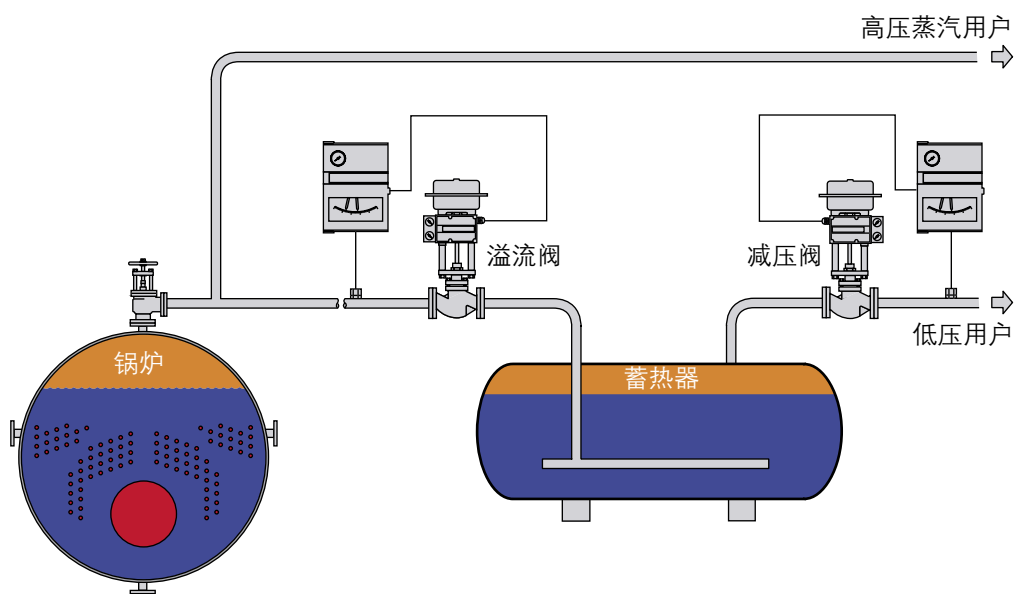


图3.22.13 同时需要锅炉压力和低压蒸汽

在图 3.22.14中，锅炉在正常设计压力下蒸发，如10 bar，蒸汽供给变化的负荷例如不超过5 bar。减压阀 A 在锅炉分汽缸和设备分配主管之间减压，对5 bar管线感应的压力作出反应。

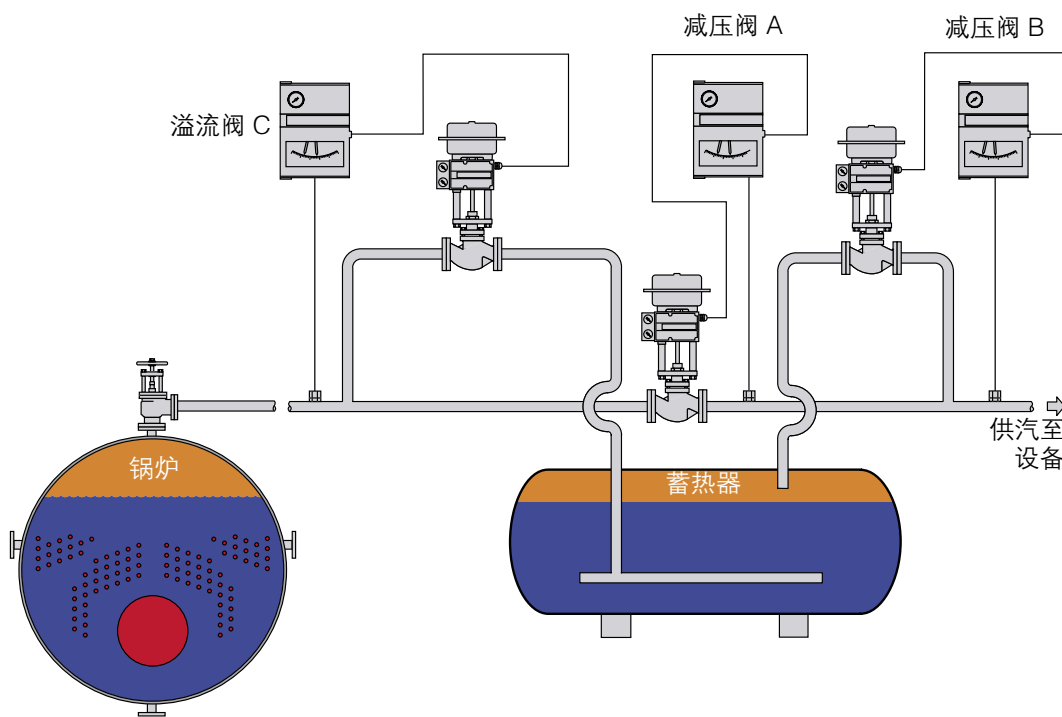


图3.22.14 可选的标准布置

如果蒸汽需求超过了锅炉的供汽能力，并且低压主蒸汽管的压力降低到，例如，4.8 bar以下，阀门 B 开始打开以补充供应。这样就从蒸汽蓄热器提取蒸汽，在这期间蓄热器的压力下降。阀门 B 对分配主管下游的压力作出反应，因此也作为减压阀。它的排量应与蒸汽蓄热器允许的排放率相匹配，而且比减压阀 A 较小。阀门 C 是压力维持阀，对锅炉压力作出反应。如果由于设备需求减少压力上升，压力维持阀 C 打开。蒸汽允许进入蓄热器向最大压力充汽，比锅炉压力稍低。减压阀 B 这时关闭，因为设备从减压阀 A (部分关闭) 得到了足够的蒸汽。

蒸汽蓄热器实际要考虑的事项

旁通

对任何设备，工程经理必须努力至少提供一个最小的服务以防蒸汽蓄热器或者其相关设备需要维修或停用。这包括提供蓄热器及阀门的合适并安全的隔离，如果需求大的改变不能避免，还要有保护锅炉避免过负荷的办法。最明显的解决方案是压力维持阀旁路。

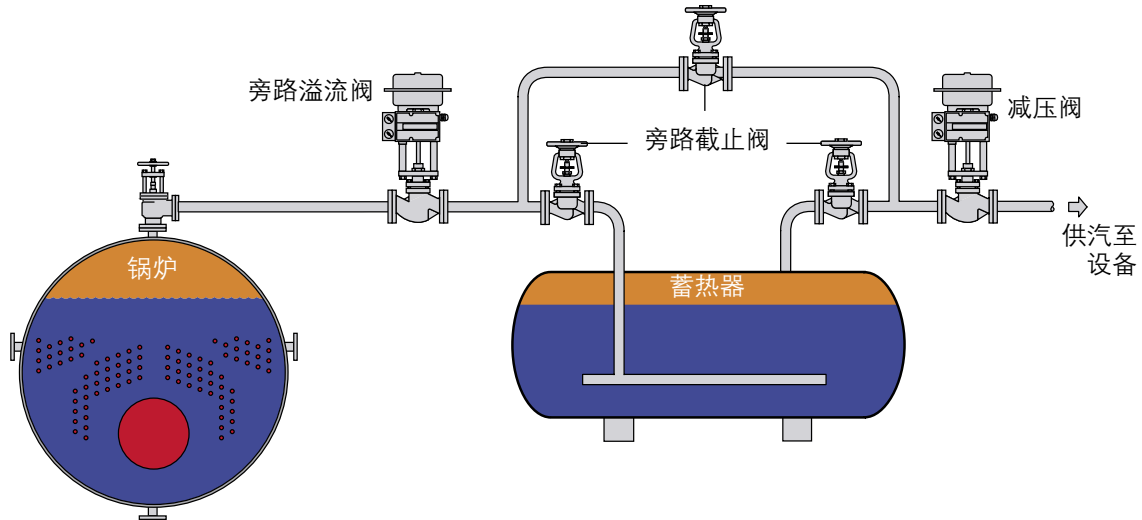


图3.22.15 蓄热器旁路布置 (阀控制未显示)

锅炉燃烧率的效果

蒸汽蓄热器和压力维持阀一起保护锅炉不会过负荷，使锅炉能够适当的运行在设计条件下。这对达到高效率，同时供应干净、干燥的饱和蒸汽非常重要。图3.22.16和3.22.17表示了有蓄热器和没有蓄热器的各自的燃烧率。

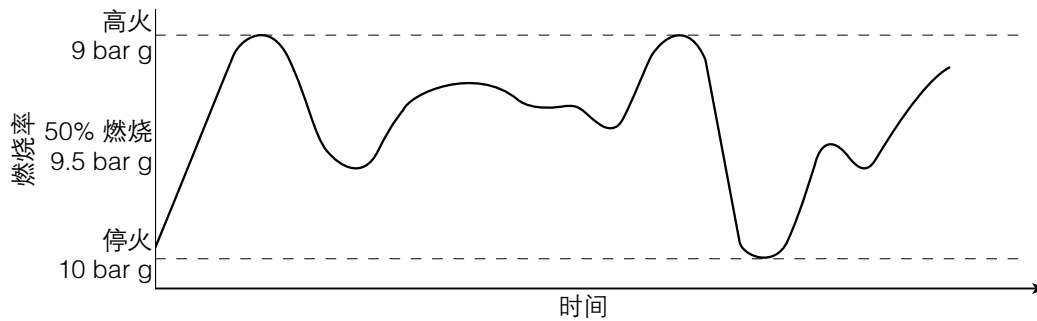


图3.22.16 锅炉不用蓄热器

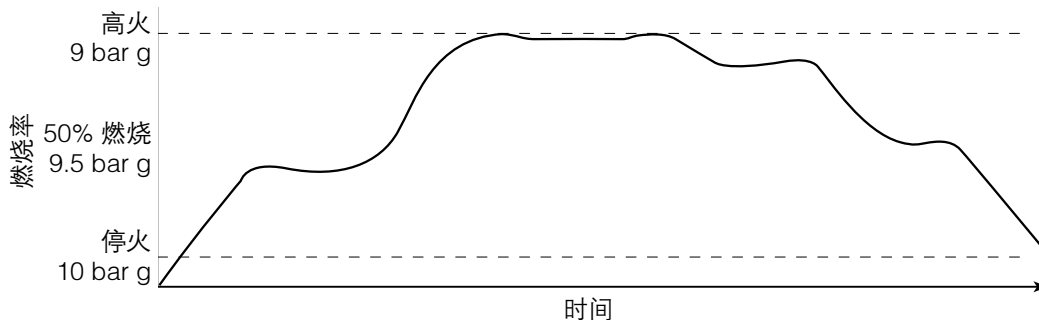


图3.22.17 锅炉用蓄热器和溢流阀

蒸汽质量

如果正确的设计和运行，蒸汽蓄热器产生的蒸汽总是干净，而且干燥度接近1。蒸汽蓄热器设计有很大的水表面和足够的蒸汽空间，以便在峰值负荷期间几乎瞬时就产生高品质的蒸汽。对垂直布置的蒸汽蓄热器，扩大蒸汽空间以补偿较小的水表面。

水

蒸汽蓄热器内的水是蒸汽冷凝的因此清洁而且纯净，通常其TDS水平为 $20\sim 100 \times 10^{-6}$ (相比之下锅壳锅炉的TDS不低於 2000×10^{-6})，有利于清洁和相对稳定的水表面。蒸汽蓄热器有时用于确保提供清洁蒸汽，该蒸汽可直接与产品接触，就像在医院和工业杀菌，纺织整理以及在食品和饮料行业的特殊应用。

- 在正常运行情况下，一旦蓄热器充水，水的增加和溢流率实际非常小。
- 如果使用过热蒸汽，水量的增加与过热量有关，但由于过热蒸汽的比热比水低，对水位改变的影响很小。

如果使用的是饱和蒸汽，水位的增加是容器热损失的结果。如果保温良好，热损失很少，水位的上升，以及从疏水阀（用作水位限制装置）的溢流也很少。

蒸汽蓄热器的设计

在本章阐述的蒸汽蓄热器很大而且是水平结构。蒸汽蓄热器总是根据应用设计和制造，仅1m直径的容器并不少见。较小的蒸汽蓄热器通常是垂直结构（尽管也有大型垂直蒸汽蓄热器）。两种结构都能保持同样的储存和排放率，而且垂直的结构更节省空间。

容器

这通常是蒸汽蓄热器系统最昂贵的部分，而且对每一种应用单独设计。它必须设计用于保存水和蒸汽在设备需要的温度。对工业设备，这通常意味着在5和30 bar之间，尽管电站设备可能到150 bar。通常直径对总长度的比率在1.4到1.6之间，但根据现场的情况可能变化很大。

- 蒸汽蓄热器一般是圆柱型和椭圆封头，这在结构上是最有效的形状。它们用锅炉钢板制造。在欧洲，设计和结构必须符合欧洲压力设备指令97/23/EC。
- 在锅炉和设备压力之间可接受的差压越大，闪蒸蒸气的比例就越大，因此对一次蒸汽的容量要求就降低。

为增加有效储存能力，容器必须：

- 在容器底部有足够的水、最少应聚集浸没蒸汽喷射器。
- 在完全充满能量的情况下在水上有足够的空间，以保证有合理的表面积蒸发蒸汽。这非常重要因为如果峰值负荷很大而且突然的，瞬时蒸汽释放速度应不超过极限。

判断蓄热器的成本

有几个方法可以证实蓄热器的投资成本，通常在短期内即可回收。在作初步分析时应考虑以下几点：

- 对比仅用锅炉满足峰值需求的投资成本，或者用较小的锅炉和一台蓄热器的投资成本。估算一台较小锅炉运行在接近最大出力和基本负荷时的燃料节约。在最近的案例中，一个酿酒厂计算
- 有10%的燃料节约和接近18个月的回收期。

作为平抑蒸汽产生的峰值和波谷的结果，确定是否燃料的单位成本降低。可能签定一份降低最大供汽量的合同。

估算减少对锅炉设备、蒸汽控制阀和蒸汽使用设备维修带来的财务上的好处。这些好处来自于稳定的蒸汽负荷和高品质的蒸汽。

结论

蒸汽蓄热器远不是过时的产品。蒸汽蓄热器在现代工业应用普遍，包括生物技术、医院和工业杀菌、产品测试台、印刷和食品生产以及更传统的行业如酿造和染坊。

现代锅炉变得更小，并且还有使用小型水管锅炉、盘管锅炉和套管锅炉的，它们非常高效，但减少了系统的热容量，使得系统容易受峰值负荷的冲击。

蒸汽蓄热器有很多更进一步的应用。对锅炉基本上能处理的长期峰值负荷，蒸汽蓄热器可用于储存，例如，5min的峰值流量，允许锅炉有时间达到合适的安全出力。蒸汽蓄热器也可与电加热锅炉一起使用以便蒸汽产生能够平抑峰值，储藏并在峰值期间使用。

总之，蒸汽蓄热器是一个有效的工具，因为它可以提供为批次过程供应蒸汽的最高效的方法。

Questions

1. After filling, how is the level of water maintained in a steam accumulator?
 - a| With a conductivity or capacitance level probe
 - b| With an overflow pipe
 - c| With a steam trap and overflow pipe
 - d| With a float level control
2. How is the water that flashes off in an accumulator replaced?
 - a| By the condensed steam heating the incoming water
 - b| By make-up water from the boiler feedpump
 - c| By a connection to the boiler and a self-adjusting level
 - d| The water level does not change
3. What would be the effect of a peak demand for steam above a boiler's maximum continuous rating?
 - a| A drop in pressure and a rise in water level
 - b| Foaming within the boiler and carryover
 - c| A rise in pressure as the water level rises, and burner shut-off
 - d| A drop in pressure and water carryover
4. What is the purpose of a surplussing valve on the steam main leaving a boiler?
 - a| To remove any carryover of water
 - b| To open further to meet any peak demand for steam
 - c| To reduce the steam pressure and overloading of the boiler
 - d| To maintain pressure in the boiler
5. A steam accumulator provides steam to meet peak demand
 - a| From the water flashing off
 - b| By steam generated from the steam injected into the water
 - c| From steam stored in the vessel
 - d| From steam flowing into and out of the vessel from the boiler
6. An accumulator stores 30 tonnes of water and operates at 6 bar g. The boiler operates at 12 bar g. What will be the steaming rate from the accumulator over a 15 minute period?
 - a| 1 707 kg/h
 - b| 6 854 kg/h
 - c| 5 928 kg/h
 - d| 7 830 kg/h

Answers

1: c, 2: a, 3: d, 4: d, 5: a, 6: b