

双对称管壳式酸冷器

兴化宏伟科技有限公司 丁华

【摘要】当水侧压力高于酸侧压力时，一旦泄漏则是水漏进酸中，泄漏使酸温升高的同时酸浓下降，酸的腐蚀性急剧增大。包含两个径向对称且结构相同的管壳式换热段，将换热段壳程与蒸汽汽包连接就成为蒸汽发生器，将换热段壳程用管道连接就成了水加热器。给出了酸冷器特性比计算式，在线测量进出口酸温和连接管箱酸温、同时测量蒸汽或进出口及连接管水温，通过这些温度值计算出特性比。一旦泄漏特性比会显著变化，其变化率比酸浓变化快百倍，可快速确认泄漏、避免事故发生。

【关键词】 双对称 管壳式 酸冷器 蒸汽发生器 热回收 硫酸装置

要将 SO_3 吸收过程产生的热量回收利用产生蒸汽或者加热锅炉给水、达到废热回收利用的目的，需要提高吸收塔循环酸的温度。目前的酸热回收技术已经将循环酸温度提高到了 200°C 以上，可产压力高达 1.0MPa 的饱和蒸汽，或将全部或部分热量用于加热锅炉给水。

可是硫酸是强腐蚀性液体，温度越高腐蚀性越大、酸浓越低腐蚀性越大。由于此类酸冷器的水侧压力大于酸侧压力，一旦泄漏则是水漏进酸中。硫酸与水的稀释反应热很大，泄漏使得酸温升高的同时酸浓下降，腐蚀性就急剧增大，从而造成泄漏的快速扩大。

目前利用硫酸余热的蒸汽发生器大多采用的是 U 型管束、串酸冷却器是单管程的管壳式换热器，不能通过中间酸温和出口酸温间的异常变化及时反映泄漏的发生。U 型管束是不等管长的——内短外长，内层管的流速高、弯曲半径小、弯管处流速差别大，泄漏往往首先发生在内层弯管的外表面。如果泄漏不能及时发现，此类酸冷器会严重损坏甚至整台设备报废。

作者发明的双对称管壳式硫酸冷却器^[1]，解决了水侧压力高的酸冷器不能及时检测、可靠判断泄漏的问题，以达到安全生产、保护设备、方便维修的目的。

1 双对称管壳式酸冷器原理

酸冷器总是要用到泄漏发生、修补后还将继续使用，周而复始直至严重的泄漏使其报废。对于水侧压力高的酸冷器的泄漏开始时，是水漏进酸中，酸浓会降低，但是酸浓度在线测量的影响因素较多、测量误差较大，用酸浓的降低来判断酸冷器泄漏，误判概率大。水漏进酸中，酸温就会升高，酸温的在线测量简单、便宜、影响因素少、可以精确测量，用酸温的异常变化来及时判断酸冷器的泄漏比较可靠。

采用两个径向对称且结构相同的管壳式换热段，相当于将 U 型管束在长度上一分为二、或者将单管程的管壳式换热器切成两段，酸走管程、水走壳程，用一个酸连接管箱将两个换热段的酸侧连接起来、用一个连接水管或一个蒸汽汽包将两个换热段的水侧连接起来。结构上包括酸进口管箱、换热段 A、酸连接管箱、换热段 B、酸出口管箱、连接水管或者汽包。这两个径向对称且结构相同的管壳式换热段，不仅可以互换而且可以掉头，因为在通常情况下腐蚀最严重的往往是在酸温最高的换热段 A 的进口附近，将换热段掉头——酸进口变为酸出口、酸出口变为酸进口——就可延长酸冷器的使用寿命。在准备备品备件时，两个换热段只需要制作一个相同的第 3 个换热段作为备件即可，既节省了该酸冷器的维护费用，且单个换热段的质量轻了，安装更换也更加方便。

将双对称管壳式酸冷器两个换热段壳程与一个蒸汽汽包的上升管和下降管连接，水在壳侧进行蒸发汽化，该酸冷器就成了一个水蒸汽发生器，结构如图 1；将两个换热段壳程用一根管道连接起来，水在壳侧被加热升温，该酸冷器就成了一个水加热器，结构如图 2。

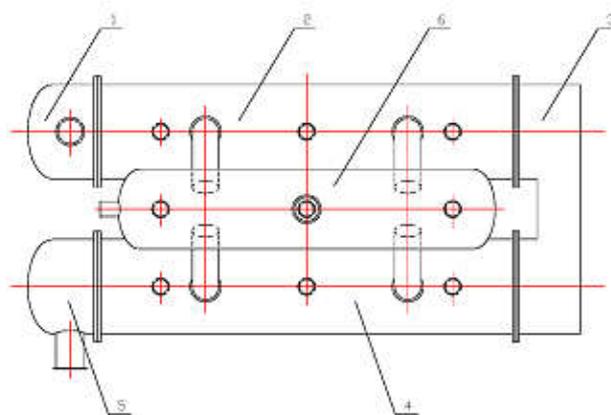


图 1 双对称管壳式硫酸余热回收蒸汽发生器示意图

图中：1 酸进口管箱、2 换热段 A、3 酸连接管箱、4 换热段 B、5 酸出口管箱、6 汽包。

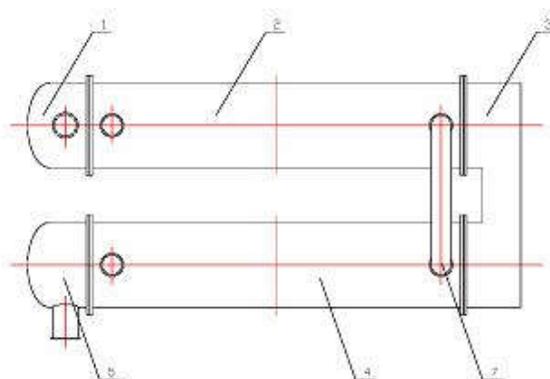


图 2 双对称管壳式锅炉给水加热器示意图

图中：1 酸进口管箱、2 换热段 A、3 酸连接管箱、4 换热段 B、5 酸出口管箱、7 连接水

管。

在线测量酸进出口温度和连接管箱中的酸温这 3 个酸温度值,同时在线测量饱和水蒸汽温度值或者水进出口温度和连接水管中的水温这 3 个水温度值。通过这些温度值可以计算出该双对称管壳式酸冷器各换热段的换热量及换热特性数。

按照热量衡算,对于换热段 A 的传热量为:

$$Qa = KaF\Delta Tma \quad (1)$$

而该段酸冷却移热的换热量为:

$$Qa = MCpa\Delta Ta \quad (2)$$

两个热量相等,因此有:

$$\frac{MCpa}{KaF} = \frac{\Delta Tma}{\Delta Ta} \quad (3)$$

令换热段 A 的特性数 $Sa = \frac{MCpa}{KaF}$,得换热段 A 的特性数等于传热平均温差除以酸进出口温差,即:

$$Sa = \frac{\Delta Tma}{\Delta Ta} \quad (4)$$

同理,对于换热段 B,有:

$$Sb = \frac{\Delta Tmb}{\Delta Tb} \quad (5)$$

令酸冷器特性比 R,为两换热段特性数之比:

$$R = \frac{Sa}{Sb} \quad (6)$$

则:

$$R = \frac{\Delta Tma\Delta Tb}{\Delta Tmb\Delta Ta} \quad (7)$$

正常运行时,酸冷器的特性比 R 接近 1。当装置操作参数发生变化时,该酸冷器的特性比也会发生变化,其变化幅度取决于哪个参数引起的变化以及该参数的变化速率,但是随着操作参数的调整结束,酸冷器的换热又会达到一个新的平衡,这时该酸冷器的特性比又重新回到 1 附近。

一旦酸冷器发生泄漏,由测得的温度值计算得到的特性比的实际数值会发生显著变化,并且随着泄漏的扩大会越来越偏离正常值,可以以此实时监测泄漏的发生。

酸冷器发生泄漏总是从点蚀开始的。如果是换热段 A 发生泄漏,换热段 A 出口酸浓降低、酸温升高,由于这部分温升不是换热段 A 的特性数变化引起的,用泄漏后的换热段 A 出口酸温计算出的换热段 A 的特性数在数值上就大于换热段 A 真正的特性数。漏入的水会在酸连接管箱与酸很好地混合,泄漏初始的漏入量对换热段 B 的特性数的影响可以忽略,用泄漏后的换热段 A 出口酸温计算出的换热段 B 的特性数在数值上仍等于换热段 B 真正的特性数。因此,该酸冷器的特性比就异常增大。当泄漏使换热段 A 出口酸温异常升高 1℃,特性比会增大 10%以上;当泄

漏使换热段 A 出口酸温异常升高 2℃，特性比会增大 20%至 30%，而此时的酸浓降低值还不到进口酸浓的 0.2%，从判断泄漏的敏感性角度看，由温度计算的特性比的变化率要比酸浓变化率敏感百倍以上。

如果是换热段 B 发生泄漏，酸冷器出口（换热段 B 出口）酸浓降低、酸温升高，同样由于这部分温升不是换热段 B 的特性数变化引起的，用泄漏后的换热段 B 出口酸温计算出的换热段 B 的特性数在数值上就大于换热段 B 真正的特性数，而此时换热段 A 的特性数不发生变化，则该酸冷器的特性比会异常减小。当泄漏使换热段 B 出口酸温异常升高 1℃，特性比减小 6%左右；当泄漏使换热段 B 出口酸温异常升高 2℃，特性比减小 12%左右。

两个结构相同的换热段互为参比，通过对酸温、水或汽温在线实时测量，用酸冷器特性比计算值来监测泄漏，就可及时判断泄漏的发生。即使两个结构不同的换热段亦可互为参比、用特性比来监测泄漏。这与酸浓变化不一样，不是通过个别温度变化来判定泄漏，而是通过一组相关或者说是可比的温度值来判定。

对于双对称管壳式硫酸冷却器不是全逆流换热而是半逆流换热，即换热段 A 顺流、换热段 B 逆流或者相反，则正常运行时酸冷器特性比不是在 1 附近而是另外一个基本固定的数值，当泄漏发生时该特性比亦会发生显著变化。此外，如果两个换热段结构不相同，只要不是零换热面积的换热段，同样存在酸冷器特性比。

2 双对称管壳式酸冷器应用

2.1 硫酸余热回收蒸汽发生器

某 30 万吨/年硫酸装置低温位热回收塔的循环酸冷却，采用双对称管壳式蒸汽发生器回收硫酸余热产生蒸汽，产绝压 0.8MPa 的饱和蒸汽。循环酸浓度为 99.50%，酸进口温度 205℃、出口温度 183℃，汽包水温 170℃。稳定运行时，换热段 A 出口酸温是 191.3℃，该蒸汽发生器的特性比 R 是 1.01，特性数据见表一。

表一 双对称管壳式蒸汽发生器特性数据

状态	泄漏温升/℃	进口酸温/℃	连接箱酸温/℃	出口酸温/℃	特性比	酸浓/%
无泄漏		205.0	191.3	183.0	1.01	99.50
A 泄漏	1.0	205.0	192.3	183.6	1.11	99.41
	2.0	205.0	193.3	184.2	1.23	99.32
B 泄漏	1.0	205.0	191.3	184.0	0.85	99.41
	2.0	205.0	191.3	185.0	0.71	99.32

当换热段 A 发生泄漏时，换热段 A 出口酸温会异常升高，换热段 B 出口酸温也会相应升高。当泄漏使换热段 A 出口酸温异常升高 1℃、即达到 192.3℃时，蒸汽发生器出口酸温也会相应升高至 183.6℃，这时该蒸汽发生器的特性比 R 已经变为 1.11，而酸浓只是从 99.50%降为 99.41%；

当泄漏继续扩大使换热段 A 出口酸温异常升高 2℃、达 193.3℃时，特性比 R 就飙升至 1.23，这时酸浓仍有 99.32%。

当换热段 B 发生泄漏时，蒸汽发生器出口酸温会异常升高，这时换热段 A 出口酸温是正常的、换热段 A 的换热特性数是不变的。当泄漏使蒸汽发生器出口酸温异常升高 1℃、即达到 184℃时，特性比 R 随之降至 0.85；随着腐蚀的发生泄漏会快速扩大，当泄漏使蒸汽发生器出口酸温异常升高 2℃、即达到 185℃时，特性比 R 就降到 0.71 了。

2.2 双对称管壳式加热器

80 万吨/年硫酸装置的低温位热回收塔循环酸串出酸，采用双对称管壳式酸冷器，用以加热锅炉给水。串酸浓度为 99.60%，酸进口温度 180℃、出口温度 150℃，将锅炉给水从 104℃加热到了 172℃。稳定运行时，换热段 A 出口酸温（换热段 B 进口温度）是 171.2℃、两换热段中间的连接水管中的水温是 152℃，该酸冷器的特性比 R 是 1.00，特性数据见表二。

表二 双对称管壳式加热器特性数据

状态	泄漏温升/℃	进口酸温/℃	连接箱酸温/℃	出口酸温/℃	特性比	酸浓/%
无泄漏		180.0	171.2	150.0	1.00	99.60
A 泄漏	1.0	180.0	172.2	150.4	1.12	99.51
	2.0	180.0	173.2	150.8	1.30	99.42
B 泄漏	1.0	180.0	171.2	151.0	0.94	99.51
	2.0	180.0	171.2	152.0	0.88	99.42

当换热段 A 发生泄漏时，换热段 A 出口酸温会异常升高，酸冷器出口酸温也会相应升高。当泄漏使换热段 A 出口酸温异常升高 1℃、即达到 172.2℃时，酸冷器出口酸温也会相应升高至 150.4℃，这时该酸冷器的特性比 R 已经变为 1.12，而酸浓只是从 99.60%降为 99.51%；当泄漏继续扩大使换热段 A 出口酸温异常升高 2℃、达 173.2℃时，特性比 R 已升至 1.30，这时酸浓是 99.42%。

当换热段 B 发生泄漏时，酸冷器出口酸温会异常升高，这时换热段 A 出口酸温是正常的。当泄漏使酸冷器出口酸温异常升高 1℃、即达到 151℃时，特性比 R 随之降至 0.94；随着腐蚀的发生泄漏会快速扩大，当泄漏使酸冷器出口酸温异常升高 2℃、即达到 152℃时，特性比 R 就降到 0.88。

3 结束语

酸冷器泄漏是必然的。常规干吸酸冷器的水侧压力小于酸侧压力，泄漏是酸漏入水中，极易通过水的 pH 值发现，且最大腐蚀量也只是漏入的酸量而已。而酸热回收中蒸汽发生器及酸冷器的水侧压力大于酸侧压力，泄漏则是水漏进酸中，泄漏使得酸温升高的同时酸浓下降，这就将所有酸的腐蚀性都激活了，腐蚀量将是巨大的，且水侧压力越大泄漏发展就越快，极易从泄漏事件

转变成安全事故。本发明利用酸温的变化来监测泄漏的发生，其敏感性比监测酸浓快百倍，可快速确认泄漏、避免事故发生。

吸收酸低温位热回收技术除了水漏进酸中的安全风险外，则是热回收塔出口水分增多，造成第 2 次转化设备腐蚀和催化剂粉化，关键在于酸雾雾粒变细，提高分酸均匀性是治本之策^[2]。

符号说明

- Q_a —— 换热段 A 的换热量；
 K_a —— 换热段 A 的总传热系数；
 F —— 换热段 A 的传热面积；
 ΔT_{ma} —— 换热段 A 的传热平均温差；
 M —— 酸流量；
 C_{pa} —— 换热段 A 的酸的平均热容；
 ΔT_a —— 换热段 A 的酸进出口温差；
 S_a —— 换热段 A 的特性数；
 ΔT_{mb} —— 换热段 B 的传热平均温差；
 ΔT_b —— 换热段 B 的酸进出口温差；
 S_b —— 换热段 B 的特性数；
 R —— 酸冷器特性比。

【参考文献】

- [1] 丁华，双对称管壳式硫酸冷却器，中国，201410125533.2 [P]：2016-03-02
[2] 丁华，碟式分酸器在吸收热回收塔中的应用，硫酸工业[J]，2016 [2]：

Twin-symmetrical Shell-and-tube Sulfuric Acid Coolers

Ding Hua

(Xinghua Hongwei Technology Co.,Ltd.,Xinhua,Jiangsu,225715,China)

Abstract: When leaking in an acid cooler or a boiler which water side pressure is higher than acid side pressure, it is water going into acid and the acid concentration is down, the acid temperature up in same time, acid corrosiveness increases rapidly. Two radial-symmetrical and same-structural heat exchanger sections are included, it is a steam boiler while the two sections connect with a drum and it is a water heater while by a pipeline. Character ratio of the twin-symmetrical shell-and-tube acid cooler can be calculated by acid temperatures in inlet, outlet and connection column, steam temperature or water

temperatures in inlet, outlet and connection pipeline in same time. During leaking the ratio varies significantly, it is faster hundredfold than the change of acid concentration. The ratio can confirm the leaking quickly and avoid into an accident.

Key Words: twin-symmetrical, shell-and-tube, sulfuric acid cooler, steam boiler, heat recovery, sulphuric acid plant