

# 废热锅炉

(译文集)

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

# 废热锅炉

(译文集)

广东化工学院、上海锅炉厂研究所等 译  
上海化工专科学校、上海化工设计院等 校

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

一九七五年四月

# 废 热 锅 炉

(译 文 集)

---

75-14-V-8

(内部资料 注意保存)

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

(上海南京西路 1856 号)

上海 商务印刷厂 印刷

一九七五年四月

工本费: 1.50 元

---

# 毛主席语录

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

## 前 言

化肥、石油化工生产的效率，在很大程度上取决于废热锅炉的优劣，近年来引进的合成氨、乙烯装置中都采用废热锅炉回收生产过程中的余热产生高温高压蒸汽作为动力和工艺用蒸汽，目前国内也广泛开展废热锅炉的设计以提高生产经济性和节约用煤。为了配合国内设计，我们遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导选择了国外有关废热锅炉的设计、结构和元件强度计算等部分文章供设计、制造和使用人员参考。

本书由广东化工学院、南京化工学院、华东石油学院、上海锅炉厂研究所、上海汽轮机厂研究所、和上海机电产品设计院等单位翻译，上海化工专科学校、上海化工设计院、清华大学、染化九厂和清江化工研究所等单位校对，在本书出版工作中承上海高桥化工厂和上海化工机修总厂大力协助，在此一并致谢。

由于我们水平有限，对错误的地方希广大读者批评指正。

上海化学工业设计院  
石油化工设备设计建设组

1975. 1. 1

## 目 录

|                                           |                      |     |
|-------------------------------------------|----------------------|-----|
| 1. 化工过程废热锅炉的设计和操作·····                    | 广东化工学院 黎廷新译          | 1   |
| 2. 裂解气的废热锅炉·····                          | 上海化工设计院二室            | 10  |
| 3. 乙烯装置换热器的问題·····                        | 广东化工学院 黎廷新 蒋中坚译 邓颂九校 | 16  |
| 4. 苏尔寿直流式废热锅炉·····                        | 华东石油学院 陈建存编译         | 22  |
| 5. Shell 公司重油气化废热锅炉·····                  | 南京化工学院 桑芝富译 戴树和校     | 26  |
| 6. 合成气废热锅炉·····                           | 上海化工设计院              | 27  |
| 7. 化学和冶金工业的废热锅炉·····                      | 上海化工设计院              | 31  |
| 8. 废热回收装置·····                            | 上海锅炉厂研究所 方 健译        | 38  |
| 9. 类似于气体——液体传热系统的废热锅炉·····                | 上海锅炉厂研究所 沈汉云译        | 42  |
| 10. 高温气体冷却用管板构造·····                      | 上海化工设计院 张嘉钦译         | 48  |
| ·····                                     | 清江化工研究所 何维德校         |     |
| 11. 设备的焊接结构(特别考虑热交换器的焊接结构) 上海汽轮机厂研究所 李宝生译 |                      | 51  |
| ·····                                     | 清华大学 鲁钟琪校            |     |
| 12. 特殊形状的受压力容器计算·····                     | 甘建衡译 清江化工研究所 何维德校    | 58  |
| 13. 椭圆形管板的计算·····                         | 上海化工设计院              | 68  |
| 14. 特种列管式热交换器的强度计算·····                   | 上海汽轮机厂研究所 王上一译       | 73  |
| ·····                                     | 上海染化九厂 郑世德校          |     |
| 15. U 形管废热锅炉的应力研究·····                    | 上海汽轮机厂研究所 李宝生译       | 78  |
| ·····                                     | 清华大学 鲁钟琪校            |     |
| 16. U 形波纹管的强度计算·····                      | 一机部通用机械研究所 徐有达译      | 83  |
| 17. 波纹管的寿命·····                           | 一机部通用机械研究所 徐有达译      | 91  |
| 18. 受热冷凝器管子的热应力和初变形·····                  | 南京化工学院 沈士明译 戴树和校     | 95  |
| 19. 高温下工作的焊制压力容器的承载能力·····                | 上海机电产品设计院 沈耀南译       | 106 |
| 20. 废热锅炉的事故·····                          | 转自上海化工局设计室           | 116 |

# 化工过程废热锅炉的设计和作

H. J. Streich 等

在今天,大型化工厂的废热锅炉也是动力锅炉。这个现实一定会实现,并且在废热锅炉里还需用蒸汽净化装置,以清除蒸汽中的杂物。

化工过程热量回收锅炉或废热锅炉或过程气体冷却器是由常用管壳式换热器以及火管式锅炉的结合发展起来的。本文介绍设计者和操作者关于操作中可能出现的问题和这装置中的一些危险问题。为了工业上的广泛用途,斯特鲁则(Struthers)设计了火管和水管工业热回收锅炉。而在化学工业制造厂中,尤其在制造氨、硫酸、硝酸和乙烯中,使用管壳式锅炉。此外,化工厂用常用的蒸汽锅炉燃烧某些很有害的化工过程废流体,这已不属本文讨论的范围,但其操作上的问题,必定接近我们的想法。

历史上,废热回收锅炉是用来冷却过程气体的,最初在操作中偶然产生了或多或少的低压蒸汽,这种低价的能量,很快被工厂设计者们所利用,反过来占据了重要位置。蒸汽压力已经增加了(现在在一些化工厂中,一般达到 2300 磅/时<sup>2</sup>),热量回收不再是仅来源于低压过程气体,而且已经扩展到高压(500~2300 磅/时<sup>2</sup>(表压))富氢含量(高达 50 克分子%)高温(达 1800°F 或更高)的过程气体。热量回收系统增加了一个过热器和一个给水预热器(省煤器),使之更加复杂。在本文中我们省略了过热器和省煤器的讨论,只限于从原则上介绍一下火管锅炉,我们将简要地探讨一下水管锅炉设计中的某些方面。

火管型废热回收锅炉是一个换热器,热的过程气体从管中通过时就被冷却,热被壳程中的水蒸发所吸收,然后,将蒸汽从水中分离、干燥,以供加热用,产生动力用,或供流程所需用。蒸汽的发生和分离,可以在一个独立装置中完成,像在一组火管锅炉或釜式重沸器。或者(通常是遇到高温高压气体时)可分为二部分。图 1 说明一个典型的过程气体蒸汽发生器,其中高温气体由一个衬耐火材料的入口进入管箱并流经管内。给水则进入顶部的汽包内,再经外部的下降管,流入过程气体的冷却器中,大约 5~10% 的水汽化。产生的汽水混合物,按热力自然循环,通过外部的上升管回到顶部的汽包中,这是因为上升管中汽水混合物的密度比下降管中水的密度要小,于是提供了循环的推动力。在顶部蒸汽包中,内部分离器使蒸汽从水中分离。用汽包的液面控制器来调节给水量,以保持稳定液面。

许多年来,火管锅炉,特别是属于苏格兰船用种类的,在气体由火箱或火炉进到管子的地方,仍然保存着近似于原火焰对管座冲击,这些锅炉是用煤或天然原油作燃料的,其传热率很少超过 15000 英热单位/小时呎<sup>2</sup>。此外,其燃烧系统污脏,在金属表面上有很多污垢。最后但不是最不重要的是蒸汽压力很少超过 200~225 磅/时<sup>2</sup>(表压)。与此比较,现代过程气体火管式热回收锅炉,虽不见火焰,其传热率经常超过 110,000 英热单位/小时呎<sup>2</sup>(在入口端)。气体和加热热面易于清洁,蒸汽压可以达到 1000 甚至 2300 磅/时<sup>2</sup>(表压),在过去,入口管板是长期泄漏的地方,经常需要在管内加入套管,用以增强由于反复滚轧而严重减薄的管端。

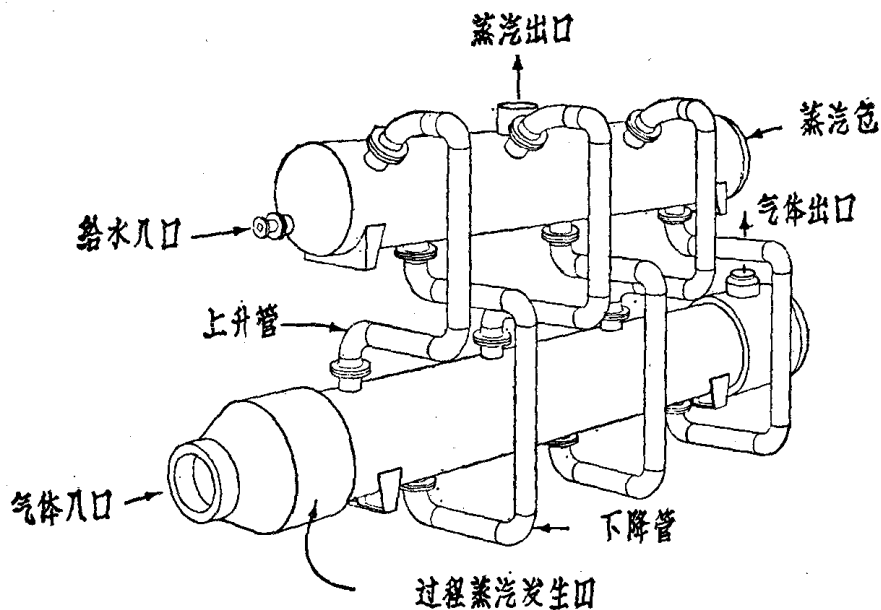


图1 上部带蒸汽包的典型过程气体废热锅炉

若不考虑成本，我们愿意任意废热锅炉都应设计制造成至少三个组段。热量的传递是气体速度和气体与沸水间的温度差的函数。一个好的设计应该在入口高温段处采用低气速，并当气体温度的下降而速度增加，换句话说，第一段在由大直径的管子组成，宽的管间距离，最后段是小直径的管子，管间距也小；没有这种最适宜的设计，几乎任何废热锅炉，就变成了完全由前端的热流量来决定设计了。在后端因气体温度较低，比较起来，效率就较差。图2表示典型的高温高压热回收锅炉蒸汽发生量与管子长度增加的关系。

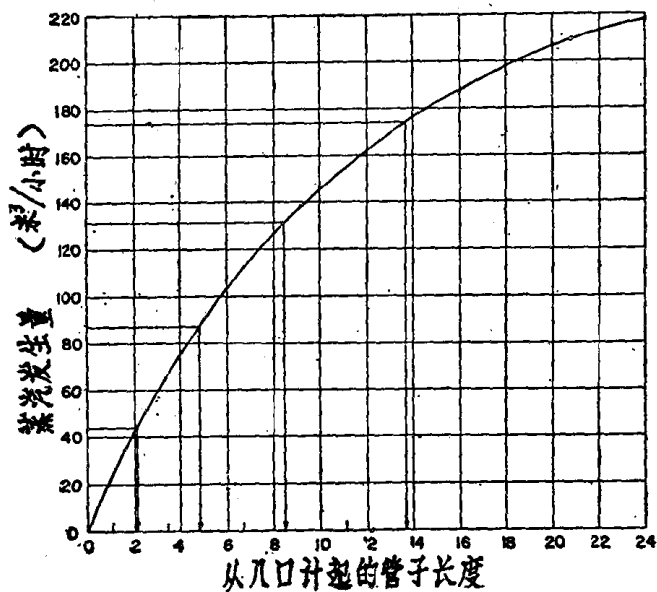


图2 从入口管板计起的管子长度与蒸汽产量关系

过程锅炉的失效，通常是下列一种或几种原因：

1. 水位的损失。
2. 水循环的破坏。
3. 蒸汽的堵塞或蒸汽包围着管子。
4. 水侧的污垢。
5. 水侧的腐蚀。
6. 入口管板问题。
7. 气侧的污垢。
8. 气侧的腐蚀。

9. 管箱和壳体的耐热衬里层问题。
10. 热循环和热瞬时变化。
11. 仪表和控制失灵。

入口管板

高压高温废热锅炉的热端或入口端的主要问题有：

1. 管板设计: 厚与薄——考虑到温度梯度, 机械挠度和循环变化的要求。
2. 管间距: 避免蒸汽的阻塞, 同时也要有充分的空间以适宜焊接。
3. 要有适当的管板面积以保证冷却合适。
4. 管子与外壳间的环形空间: 维持蒸汽的蒸发, 并防止固体堆积。
5. 管板的保护: 设计耐热衬里层加套管。

图3为一典型的有中心旁通管的高温高压过程气体的火管式废热回收锅炉, 过程气体由衬有耐热材料的入口进入管箱, 当它流过管束时把热量传给了壳程里的水, 当工厂负荷改变或当管内有了污垢堵塞(阻得了热传递率)可以操纵(在蒸汽出口端设一阀)一些气体流经隔热的旁通管, 以保持要求的出口温度或汽化。

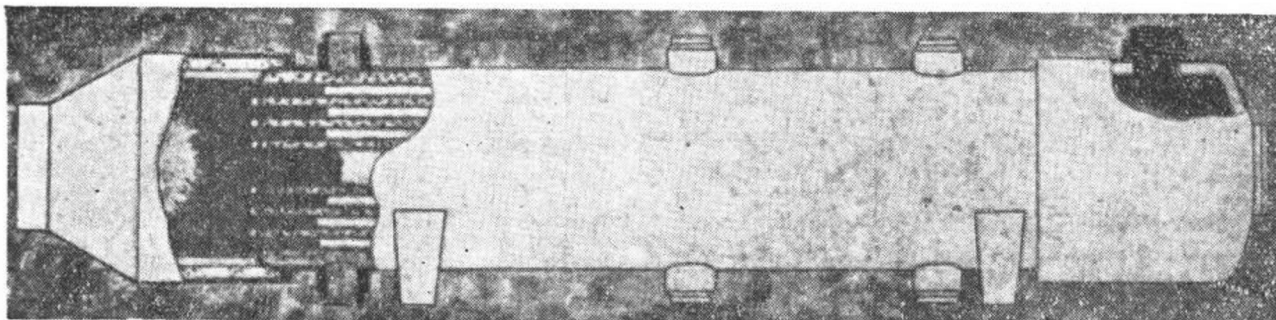


图3 具有内旁通管的典型废热锅炉局部剖视图

图4是热气体流经管束入口端的详细情形, 管板的正面是被冲击管板的气体和以高度湍流状态流经管束入口端的气体两者所加热, 管板的背面由壳程内的水冷却, 管束浸在水中, 当气体沿管子轴向流动时, 热量传给较低温的水润湿段。

当换热器和火管锅炉变成废热锅炉时, 有二个主要原因, 通常厚的 TEMA 型管板被薄的加撑式锅炉管板所代替。

第一, 薄管板具有过渡圆弧与壳体对接焊, 这样便具有一定的挠性, 这是厚管板所没有的, 第二, 薄管板由于热面和平均温度比厚管板小得多, 避免了较厚管板中高的温度梯度。由于在管板与壳体连接处产生高的应力, 所以一般避免采用平插入式管板。

入口管板的最危险部位是管子与管板连接处。图5示出了许多已经应用的一些设计, 最简单(并最易坏)的是开槽胀接。此种连接如在管端加以密封焊即可改进一

步。如不开槽, 而在原连接处施以多道强度焊接就更好了。在所有的情况下, 管子是按设计者和购买者的需要, 而作不同程度的胀接。进一步的改进还有把管子焊在管板的后面, 或者是与管板进行了全深焊接, 如图所示。在管板和管端的局部温度是输入热量, 排出热量(或冷却)和二者在传热过程上热阻的函数。参照图4入口管端详图, 管板和管壁被冲刷于前面

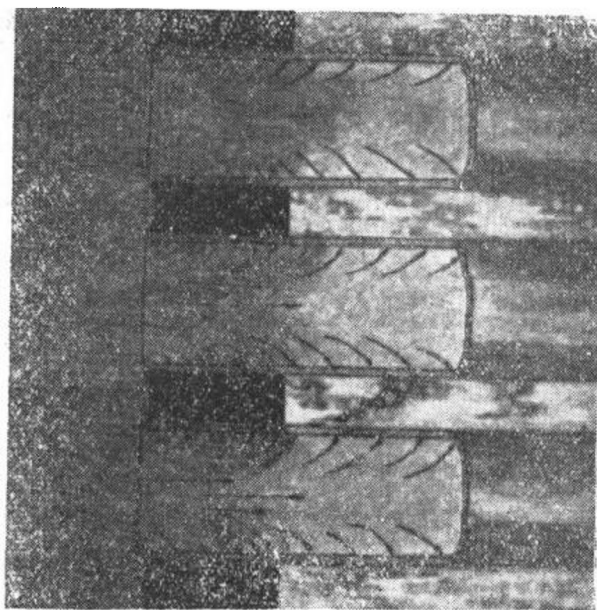


图4 当热气体进入管束时的热流图

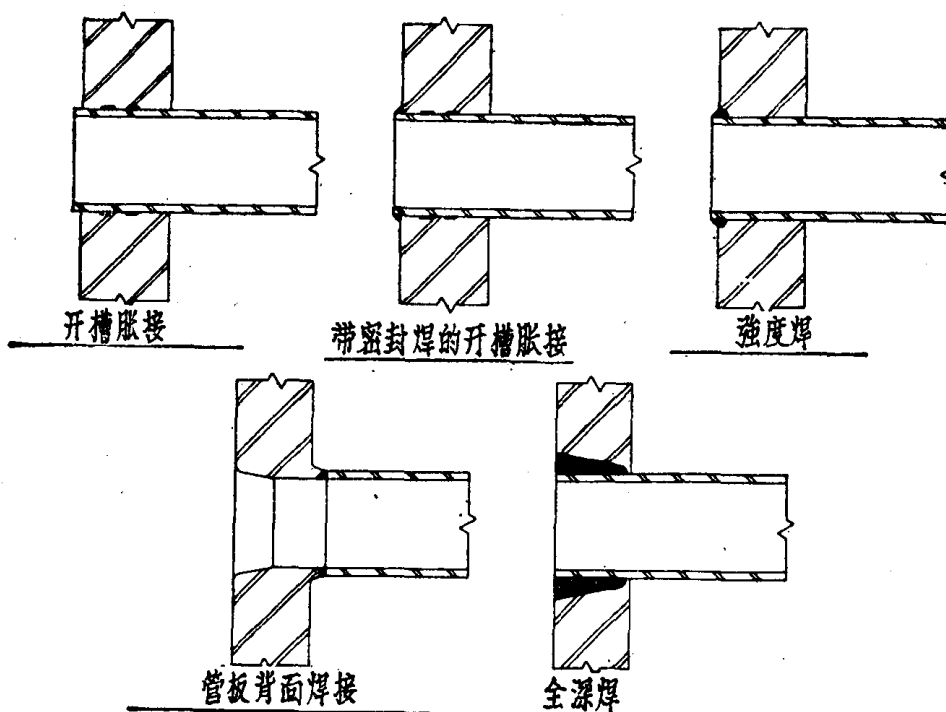


图5 管子与管板的联接

并流经管端的气体所加热。一种典型的过程气体热回收锅炉采用厚度为  $1\frac{1}{4}$  吋的管板。外径 2 吋、内径  $1\frac{3}{4}$  吋的管子。管束排列成四方形，管间距为  $2\frac{1}{2}$  吋。这种排列中每根管子将提供管板前面加热面积(包括管端)4.35 平方吋，加上穿过管板的管子内孔表面积 7.0 平方吋，则总传热面积为 11.35 平方吋。略去管板以外沿轴向传出的热量，冷却面将是管板的背面 3.6 平方吋。因此，加热面为冷却面的 3.2 倍。厚管板(如为 7 吋)相应加热面积为 43 平方吋，冷却面仍为 3.6 平方吋，则加热和冷却面积之比为 12:1。

即使管板较薄，管板前面仍变得很热，管子和管板的连接处是属于危险区，在标准换热器的条件下，胀接可以有高的强度，并且达到不漏水。在早期火管锅炉低流量的情况下，胀接是合适的。当运行条件变得较苛刻时，就应充分注意由管子和管板热阻所造成的热障碍。即使温差超过很少几度，由于膨胀量的差异，使管子金属受到压缩，所产生应力可以超过屈服点。这种情况下，将使管子松脱，如没有最后的密封焊来保护，将会发生破坏。

#### “尺蠖幼虫”(inchworm)式的破坏

可以导致典型的入口端“环形”或“尺蠖幼虫”(inchworm)式破坏。图6是这个机理的演变。在①中管子和管板连接的特点是强度焊接，管子和管孔的间隙用胀接紧密。②中表示强度焊接仍保持不变，由于多次热循环的作用，结果将胀管从管板拉脱，这是由于多次热循环中，管端过热、屈服，然后冷却和收缩。锅炉水进入间隙后蒸发，固体沉积，进一步减少热量沿连接处的传递，最后管壁金属温度上升，足能产生汽水反应，生成氧化铁。这些氧化铁和锅炉水垢填满了空隙(③和④)，管壁进一步屈服——这次是永久屈服。通常在管子胀接部位突起顶点——像尺蠖幼虫拱背行态；如图6之⑤，先开始环形裂纹，最后结果是管子破坏。

这种破坏过程可将管子对接焊于管板背面或用全深焊把管子焊于管板上来消除，这两种设计都会使最初投料明显增加。

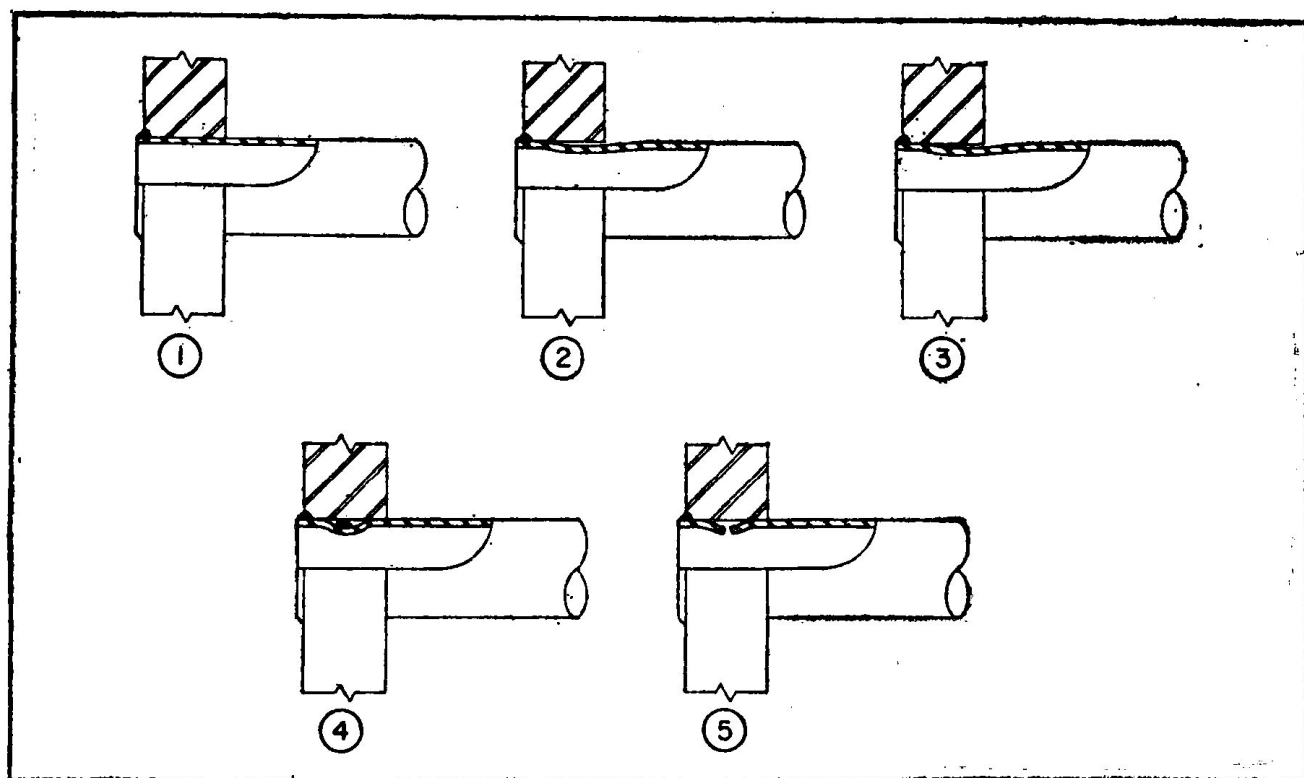


图6 管子破坏的次序

另一方法是利用一个隔热套管来保护管的入口端，如图7所示。隔热的套管和有耐火衬里层的管板可更好使热气体直接进入沉浸在水中并被水保护的管子里。

采用陶瓷套管获得一些成功。然而，这种套管插入管板耐火衬里层部分比插入冷却管子部分的温度高得多，因此经常由于热冲击而发生破碎。用普通金属套管时应小心，伸入管板耐火衬里层的套管部分很快就可达到进入气体的温度，而这种热量就沿套管轴向传至套管与管板接触的地方，于是我们得到翅片效应。在套管的设计上，在管的入口端与套管之间用一种隔热材料来减少进入管端的热量。应当预防当高速气体流入时，金属套管可能落出的

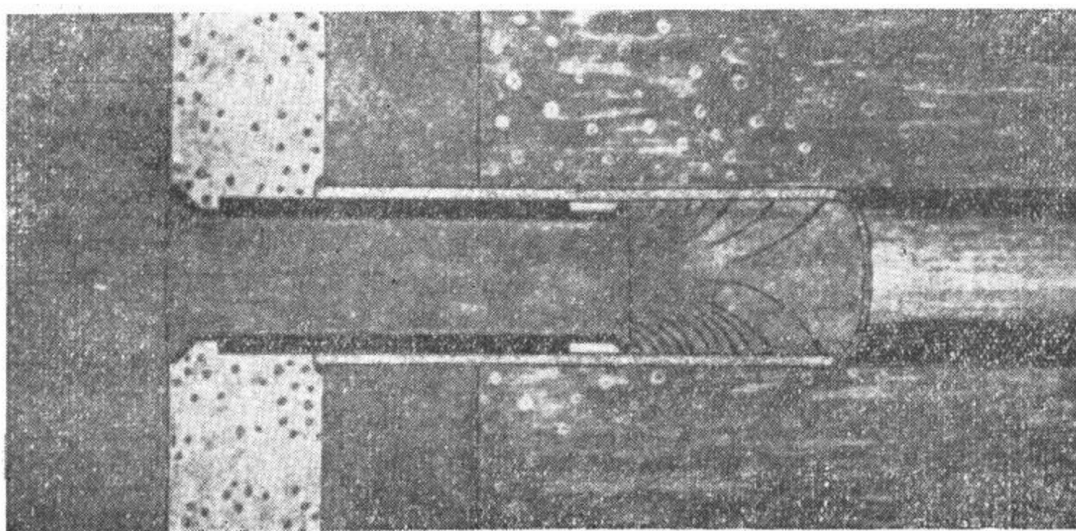


图7 有隔热套管保护的管子入口端

情况,这可能是由于套管端与管子间的制动效应,当温度多次循环变化时,套管膨胀,然后收缩,可使套管自动移出管端。

在入口管端遇到问题的一个例子:一个制造费用极大的装置,在实际设计上将管子根部全部与管板做成一整体,并将管子焊接在管板的背面,这就使浸在水中的焊接的管子接头避免了脱焊。但也有失败的经验,当有一个焊缝泄漏,就会向管板喷水,以致使管板产生了局部收缩和带状破裂,努力焊好这个破裂是极困难的和很浪费的。一般用先进的苏联轮盘焊接。你是否称赞管板新焊接接点,在转过身时就听到剧烈的裂缝并发现裂带明显的横过?从这个经验促使该公司采用全深透焊加上最好的套管和我们知道怎样应用的管板绝热。事实上,这个特殊的经验指使下次在这个热流量范围内的锅炉,将不仅是水管结构,而且将很肯定是强制循环设计。

### 失水

在任何时候都要使管子潮湿,这是显而易见的事情。这必须从设计和操作两方面来考虑。在决定蒸汽包的大小时,必须估计系统控制的可靠程度和供水水源。在水面消失(由于控制器失灵或供水泵漏水)和安全停工之间需要多少时间?蒸汽包是一个贮水缶,如果够大的话,就可以当为锅炉水源来维持一个安全停工,斯特鲁则(Struthers)提供的蒸汽包的大小,是在最大蒸汽产量时,可维持45分钟的水源,这是最大值,在其他装置中,汽包的储量,仅能维持10~20分钟,一般设计为能维持5分钟或更少。

蒸汽包的大小,一般是根据投资和操作可靠性决定。从低液位报警到水全流空,一般能延续2~5分钟,但是否合适?

也必须考虑蒸汽发生器和蒸汽包间的循环管道,普通用多路的上升管和下降管。上升管的主要作用是用来从热管中移走蒸汽的。第一个上升管应该尽量靠近入口端管板,其余上升管位置应使所有上升管在全蒸汽产量时处理数量大约相等的蒸汽。参照图2,我们可以找出在蒸汽等流量时,上升管对于换热管长度上的位置。下降管是热管的水源,它的位置考虑也可像上升管一样,第一个下降管尽量靠近入口管板,有时用一个内挡板来引导水流到入口管板。

在锅炉剖视中,最外边的管子和壳体内径间需有充分的空间,以便运送蒸汽到顶部的上升管和从底部下降管运送水。在底部还应考虑要去除固体杂质,因为锅炉处在系统的下方,所有固体杂质将会在此集中。安装的间歇排污接头尽量靠近入口端管板,以维持危险区无固体沉积。我们已经见过的装置没有这一排污接头,操作者曾遇到底部管子经常失效。经研究发现,这是管束下部堆积了锅炉污垢,管子不是浸没在水中而是被固体杂质所复盖。很明显,这会造成过热与破坏。

上升管和下降管需要足够大来保证不堵塞,并且维持一个再循环比率至少是5:1(即流过上升管的每一磅蒸汽要有5磅水)我们曾见过在下降管的导管上加上一个流体平衡孔来加强流过离入口端管板最近的下降管的流体,并保证对此区域的供水。在别的装置上有加上强制循环时,以使其能得到良好的供水。用强制循环时,你必须考虑到循环系统的可靠性。

我们曾听到关于“反向流动”的情况,在开车时,在一段时间中蒸汽流过下降管,在蒸汽发生增多以后,流动经片刻停止就又改回正常方向。当这种流动停止时就会发生管子的破坏。这就要对蒸汽包内件采取适宜设计,以消除这个问题。

若下降管位于系统的低的地方,为了防止当小修时冻结,要有一排水管,也要考虑导管的挠性。由于输送线导管热增长,将使蒸汽发生器沿水平移动,假若如此,汽包将是固定或移动。

### 腐蚀

水侧的腐蚀通常是与水的处理(除气、化学处理、和除氧)以及操作技术(适当的排污)有关的。如果蒸汽是在水平管内产生的,而且如果没有足够的再循环来保持管子在任何时候都是润湿的话,蒸汽就会聚集成气囊。在蒸汽与水的界面上,锅炉的固体物就会聚集而出现严重腐蚀。

图8所示为一台双汽包锅炉,其中的下汽包向管段上游伸出有相当的长度,我们曾经看到过在下汽包的水侧由于蒸汽复盖而产生的腐蚀,这种腐蚀已用内挡板所校正。

有时希望利用奥氏体不锈钢制造锅炉管子和管板,要这样做就必须经过慎重地考虑锅炉给水中因含有氯化物而产生氯化物应力腐蚀的可能性,如果真是需要用不锈钢,与其考虑用300号系列还不如用400号系列的不锈钢。

冷却含硫气体的废热回收锅炉,在启动和停炉时必须采取预防措施以防止这类气体凝结和腐蚀管束、管箱

和外壳。这种情况间或能用系统适当吹净办法或在启动时先用惰性气体加热到温度高于冷凝温度的方法来处理,在过程气体流量低的时候,酸性气体可能冷却到危险的低温。

如果有酸性气体流经衬有耐热层的炉膛时,必须采取预防措施防止酸性气体透过耐热层侵袭冷金属壁,在锅炉系统运行中金属壁的温度高于酸性气体的露点就能减少出现这类问题。这就要求很慎重地进行设计,使各部分的温度都高于露点,但这样就会限制操作的伸缩性。

前面已经提到过程热量回收锅炉所处理气体通常应该都是比较清洁的,过程气体的正常污垢是由于气流中的硅化合物的凝结或从上游带入设备的某些固体物积存而成,硅化合物可能来源于蒸汽,催化剂或位于上游的耐热层。因此而引起的问题是所形成的污垢是一层热绝缘良好的材料,因此使热传递衰退,从而缩短运行周期,通常在这里出现的危险是出口温度太高以致损坏下游的设备。

有些过程(特别是乙烯)会产生焦油,这些焦油能进到很小的缝隙中去,如耐热层的裂缝或套管与管子之间的间隙,这类固体物会膨胀而胀破耐热层和损坏套管或堵塞管子,这种情况也可以因黑酸(black acids)而引起。

### 耐热层

火管式锅炉通常在进气管箱和管板上衬有一层耐热层,虽然耐热衬里的设计超出了本文的讨论范围,但我们曾见过一些损坏事例,有必要对此引起注意,在一切可能的情况下,进气管箱应该用喷枪法衬上一层耐热层,在灌注的耐热层的联结处,可能出现破绽,由于混合物料太干或太湿,工人抹第一层时抹得太光滑而使耐热层的层与层之间的结合不适当,耐热

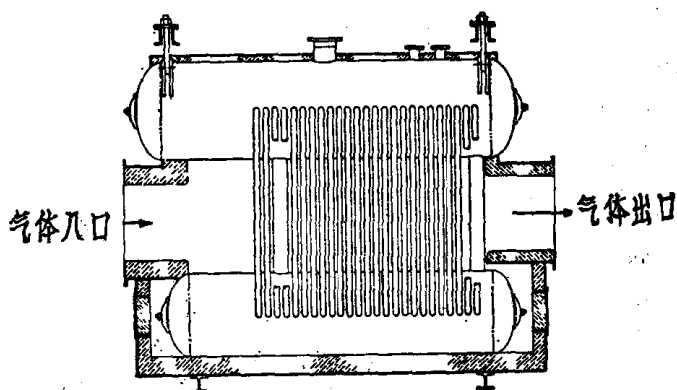


图8 双汽包热回收锅炉

层的破裂危险还可能在运输的时候出现,可能因处置粗鲁也可能因在寒冷气候下冻裂,耐热层施工后进行适当的干燥是必要的。

在这类很关键区域决不要用普通劳动力或泥水工去装设你的耐热层,我们建议你将这项工作转包给那些熟练的工人去完成。

我们打算推荐像我们曾经看到过的许多解决衬里问题那样用金属衬里去保护耐热层,常见的问题是衬里总是在其支持物上断开(应该记住这是在  $1500^{\circ}\text{F}$  至  $1900^{\circ}\text{F}$  的大气中的)而压在进气管板上,而堵塞一部分管子,这时剩下的管子就负担着全部气流,因而在这些管子内出现很高流量,在堵塞了的或部分堵塞了的管子内实际上就没有气体流过了,这种情况曾引起过不少的损坏,在有现代的耐热材料和应用技术情况下,我们认为还不如只依靠耐热层本身。

薄的锅炉式管板所具备的优点超过厚的 TEMA 式管板,其传热阻力较低(因而比较冷),而且还有一定的挠性。

有些应用上也得考虑重型(TEMA)管板,例如 U 形管式或插入式管子的设计或者两侧的压强都高的情况,这种管板对热冲击特别敏感,而且寿命要受到设备的周期性操作的限制,在启动和停炉时,管子与管板之间的温度差是相当大的,在管子与管板连接处会出现一个特大的拉力,在紧急停炉时特别是在进气温度突然下降时,管子要比管板冷却得快得多,这时会使管子与管板连结处出现过应力而损坏。

#### 水管式锅炉设计

过程气体水管式锅炉设计通常只限于三种基本型式:第一种是从低压气体(很少超过 3 磅/时<sup>2</sup>表压)回收热的双汽包锅炉,这种装置使用烟灰吹除器、灰斗等,能处理比较脏的气体,而且通常是自然循环的设计,双汽包锅炉适合于另加过热器和省煤器。

在双汽包锅炉中气体是沿其流经的设备而冷却的,而且在气体流动方向,外壳有一个渐降的温度分布,要注意酸性气体在外壳温度降低到低于“露点”时出现凝结的可能性。

高压过程气体(过程气体一侧超过 500 磅/时<sup>2</sup>表压,蒸气一侧超过 1500 磅/时<sup>2</sup>表压)的过程热量回收锅炉既可以设计插入式管束,也可以设计 U 形管束,这两种管束都是可拆卸的,而且都可以有备用管束在现场修机时进行调换用,这些管束在需要时都可以清理和检修,在用户当中进行过一些用蒸汽或水不停机冲洗管子的试验,这种做法有一定的效果,在一些情况下可以延长运行时间四倍。

在插入式和 U 形管束中水流既可以是自然循环,也可以是强制循环,自然循环的设备需要有特殊的启动技术,但一经启动成功,就不必依赖循环泵的可靠性了,插入式和 U 形管束的锅炉都是在系统低处,都有不能用脏水的问题,锅炉的给水必须很清洁(低于 10 ppm 的溶解固体)。

仪表以及控制问题是超过了本文讨论的范围,但在整个设计中必须考虑进去。

#### 锅炉的破坏

对这里介绍的硫酸厂的废热锅炉的严重破坏给予格外的注意是太必要了。在停机的一年后,这一台锅炉管经操作压力为 450 磅/时<sup>2</sup>表压和蒸汽出率为 45,000 磅/时,这个工厂刚刚完成每年大修,在锅炉面积上没有发现破损,而且已经再次投入生产,预期可有一年的正常运行。

大约在正常运行两个星期后,汽轮机带动的主风机出现了湍振,而且未发出先警报就停

机, 停火后发现蒸汽和水从锅炉外的所有通路缝隙中漏出来, 自然全厂也就停车了, 没有进行过细的检查就发现换热器的前面管板漏得很利害。

研究后才揭示了 3 吋厚的进气管板上的耐热绝热层及保护管口的锆氧套管在管板上没有适当的支持物, 经过检修时加热和冷却, 这一层热保护层已经从管板上拉松, 上面部分已经从管板上离开 2 吋, 在这部分面积上的套管都折断了, 当耐热层拉松时, 它“下陷”了一点, 但还保持其基本形状, 这就使得插在耐热层的套管离开了原来管线而使气流阻塞。因而气体就从比较容易通过的下半部管束内通过, 那里大部分的套管还是原来的样子没有移动, 而且气体的流动路线仍然是直的。

这样事故引起了下面部分的管子的传热提高了很多, 而且蒸发了管束中心线以上的全部水量, 在中心线以上的管子只与蒸汽和过热蒸汽接触。

虽然上面部分的管子内气流减少了, 但温度仍然是正常的, 由于失去了水的冷却作用管子的温度升高到与气体同样高的温度, 因而烧塌了管板面附近长达 12 到 20 吋的管子。剩下的 20 呎长的管子还是直的没有变形, 令人惊讶的是在管子烧塌了的面积上没有出现漏泄, 但是我们根据什么去理解锅炉水平中心线附近的水线呢? 传热速率高到超出了胀接所能承受的负荷而引起焊接破裂, 只有管板中心线上的那一排管子的焊缝破裂了而且出现了大的泄漏, 故而使风机沿着曲线下降而产生湍振和停机, 这台锅炉的改建又是另一事情, 但我们请你相信, 现在锅炉的前端已经用金属套管和耐热层装备起来了。

就是在最近, 另一制酸厂的同样一种传统设计的锅炉, 曾经发现蒸汽带出的水为蒸汽的 15%, 正是这个时候, 这还是仅有的一台已知的不需连续排污的锅炉, 好在改建汽包时在蒸汽路线上装了一个专门的分离器——把收集的水排入下水道, 分离效果的记录表明, 流出的蒸汽中大约有 10 到 15 ppm 的溶解固体。

由于遇到了这样的情况, 曾经对其他的废热锅炉也进行过评论, 其中大多数都在蒸汽质量方面与设计要求有相当大的差距, 这里只简单提一提, 目前在不断增大规模的化学过程工厂中的废热锅炉(不管称为什么), 都是动力锅炉, 我们最好现在就正确认识到这一点, 因而应借助于动力锅炉设计者们所采用的更有效的蒸汽净制装置。

译自 G. E. P., Vol. 68, No. 7, 57~63, 1972.

# 裂解气的废热锅炉

三枝明彦

## 1. 前言

1950年初开始发展的日本石油化学工业,经过了十余年来急速发展,到近一二年气势仍未减弱。以乙烯生产量来看其发展,1970年约300余万吨,至1974年预计可达到约500余万吨。

作为石油化学联合企业基础的乙烯装置,它的主要原料石脑油,今后在世界上是紧张的、可以预期在不久的将来,不得不以煤油和柴油等重质油品作为热裂解的原料。采用这样重质的油品,目前技术上存在的困难之一,是裂解气体的急冷热交换。以下叙述的三菱式急冷热交换器,就是为了克服此困难而开发的运转稳定和经济的热交换器。

## 2. 急冷热交换器的作用

乙烯装置如第1图所示,石脑油等碳氢化合物与水蒸汽一起在管式裂解炉中加热至 $800^{\circ}\text{C}$ 左右,热裂解成乙烯,丙烯和芳香烃等馏分。为了防止裂解气体因二次分解作用而使目的产物损失,需要在极短时间内经急冷热交换器使裂解气冷却到约 $400^{\circ}\text{C}$ 左右。一般采用水冷却,以产生高压水蒸汽的形式回收废热、用以作为压缩机等的原动力,冷却后的裂解气经压缩和分离后分成各种馏分,作为聚乙烯、聚丙烯和苯乙烯单体等众多的石油化学制品的原料。

这种急冷热交换器在乙烯装置中是对裂解气进行急冷的同时,达到经济回收废热,最大限度地发挥裂解炉的性能,并使装置稳定地连续运转不可缺少的重要设备,为了充分发挥这些作用,急冷热交换器要求具备以下的性能:

- (1) 结焦轻微(炭沉积于热交换器管壁,降低导热性能)能长期地连续运转。
- (2) 可回收高压蒸汽,热回收率高,经济性能好。
- (3) 无机械上的麻烦,稳定性好。

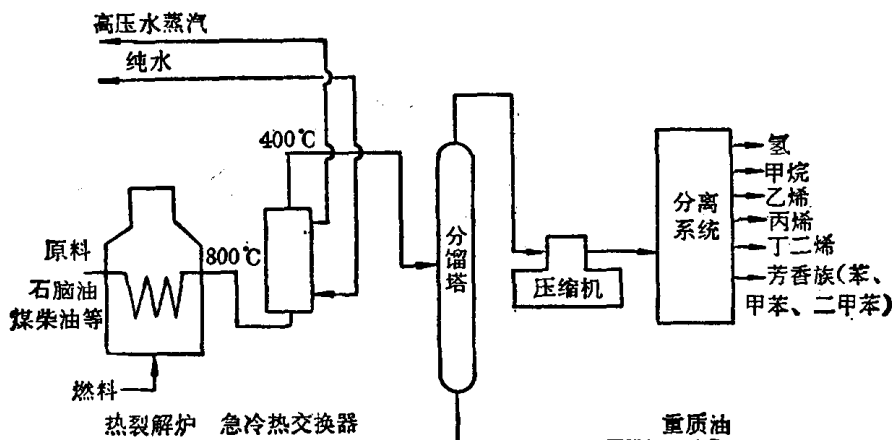


图1 乙烯装置流程

(4) 投资低。

### 3. 以往的急冷热换热器

#### 3-1 种类

以往很多采用西德施米特公司或波吉希公司制的急冷热换热器,用在比石脑油还轻的原料时能发挥很大的效果。

#### 3-2 问题

##### 3-2-1 用于重质油品时的困难。

预计最近的将来,石脑油将严重不足。利用更重质的煤油或柴油作为乙烯制造原料,已成为方向性问题予以考虑。若把以往的急冷装置用于以煤油或柴油的热裂解过程中,则换热器的结焦激增。连续和稳定的运转就不可能,对于急冷系统,以往一般是采用油直接冷却,即把冷的重质油直接喷到从裂解炉来的高温裂解气中,利用其显热使裂解气冷却、但是这种方法存在着以下缺点:

- (i) 在急冷处结焦激增,不可能提高对裂解炉的苛刻程度。
- (ii) 不能回收高压水蒸汽,热回收率低,经济性差。
- (iii) 在裂解炉附近使用大量的冷却用油,存在着火灾的危险性。
- (iv) 运转上存在着很多麻烦。

##### 3-2-2 除焦作业复杂。

结焦现象随着裂解炉及急冷热换热器的运转而增加,因而导致压力降增大,炉管管壁温度上升和热换热器堵塞等运转上的不良影响。因此必须定期停车除焦。这种情况,在以往的装置中,由于如后面所述的极为复杂的除焦作业及在此期间造成的减产,带来了重大的经济损失。

##### 3-2-3 装置投资费用大。

最近的裂解炉构造中,多数在其上部设置急冷热换热器装置。因此,以往大型装置的急冷热换热器,其本体不待说,它的大小与重量均构成增加裂解炉投资费用的重要因素。

### 4. 三菱式急冷热换热器的开发背景

基于上述情况,便要求开发解决这些问题的急冷装置。本公司很早就注意这点,在进行了解结焦机理的同时,根据十余年来建设和运转了总产量为70万吨的5个乙烯装置的经验,设想了具有上述二项的各种条件,并适用于石脑油到煤油柴油广阔范围原料的完全新型的急冷装置。以这些见解为基础,本公司与三菱重工业公司一起进行技术开发,设置了与生产装置完全一样的实验装置,进行了对各种原料与苛刻条件下的许多试验。结果开发成功了具备独特性能的三菱式急冷热换热器。

现在已完成了设计和制造的标准化。已经在本公司鹿岛工厂的30万吨乙烯装置中全面采用,并已顺利运转。

### 5. 三菱式急冷热换热器的概况

#### 5-1 构造

该装置如第2图所示,基本上是一个立式的列管式热换热器,它由壳体本体及与之成一体化的汽包,贯穿壳体的螺旋形蒸发管以及气体出入总管构成。裂解气从管子一端上升,被壳间的高压水所急冷。

首先从裂解炉炉管来的裂解气进入与炉管直接联接的特殊形状的气体入口分配器。分