

无焰板式喷嘴 双辐射墙管式炉

〔苏联〕И. А. 巴赫希扬 著

王兰田 李应阳 译

时铭显 校订

本书论述了无焰板式喷嘴和采用无焰板式喷嘴的双辐射墙管式炉的结构与计算方法，并提出对旧有管式炉的改装及传热强化途径。另外，也提供了无焰板式喷嘴在锅炉上、热处理炉上及食品焙烤炉上的应用实例。

本书可供从事石油加工、化学工业、热处理及锅炉设备的工作人员、工程技术人员、设计人员及有关院校师生参考。

本书在重印时，译者对原文中的错误，作了修改并加了译者注。

И. А. Бахтияв
ТРУБЧАТЫЕ ПЕЧИ С ИЗЛУЧАЮЩИМИ
СТЕНАМИ ТОПКИ
ГОСИНТИ МОСКВА 1960

* * *

无焰板式喷嘴双辐射墙管式炉

(只限国内发行)

王兰田 李应阳 译 尉铭显 校订

(根据中国工业出版社俄文版印)

燃料化学工业出版社 出版

(北京安家门外和平北路16号)

北京印刷八厂印刷

新华书店北京发行所 发行

* * *

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $6^{5/16}$ 插页 1

字数147千字 印数1—6,650

1973年6月新1版 1973年6月第1次印刷

* * *

书号15C63·内543(油·5) 定价 1.00 元

序 言

管式炉是炼油厂主要设备之一。在管式炉内燃烧的燃料约占石油总开采量的8%〔1〕。由于管式炉的结构不完善，而且传热技术指标低，因而多消耗了大量的燃料。建造管式炉每百万仟卡有效热负荷需消耗12—20吨金属。仅一个热负荷为16百万仟卡/时的炼油厂常压装置标准型管式炉占地面积就为250—300米²，高为7米。

管式炉传热技术指标低（与蒸汽锅炉比较）说明了由管壁对被加热介质的传热系数小。

管子内表面的结焦也是引起加热表面在低的热强度下操作的主要原因之一。这点说明，管式炉内油品的加热是在管壁最高温度下进行的。

为了建造技术经济指标高的管式炉，就必须完满的解决以下问题：1）完善的燃料燃烧方法；2）传热过程的强化；3）辐射管热量的合理分配；4）兴建造价低及金属与砖消耗量少的小尺寸炉子。

国立石油机械制造科学研究设计院根据计算和研究，以及通过试验对过去的论点进行校验后，得出了以下结论。

1. 正如过去已经指出的那样，在管式炉炉膛内传给每根管子的最大热量应该是不相同的，而最大允许热量是根据油品加热工艺，防止管子内壁结焦以及管子的强度要求等条件决定。

2. 为了强化传热过程，在炉膛内必须设置二次辐射体。

3. 根据强度与加热工艺的允许条件，将辐射管加热表面热强度适当地提高到最大值。这样就可减小管式炉的总加热面积，缩减金属与耐火砖的用量，此外，在操作中还可降低油泵与通风机传动的电能消耗量。

除以上所述外，国立石油机械制造科学研究设计院制订了带

IV

有二次輻射体炉膛的传热計算方法；給出了加热表面热强度、烟
气出口溫度以及管子內被加热油品的流速与对流管束間气体燃烧
产物流速等最宜数值的决定方法；也指出沿管子圓周及沿管子长
度加热不均匀对加热表面平均热强度的影响。

根据以上的研究成果，以及燃料的燃烧与传热过程的强化等
最新的热工技术，国立石油机械制造科学研究設計院設計了一系
列新結構高热負荷的管式炉。除此而外，也提出了現有管式炉的
改建方案。

本书的主要材料取自无焰燃烧双輻射墙管式炉的科学研究、
試驗及設計工作成果，这些工作是在本文作者的負責下在国立石
油机械制造科学研究設計院內进行的。

目 录

序 言

第一章 管式炉概述	1
§1. 对流式炉子	4
§2. 辐射-对流式炉子	6
§3. 辐射式炉子	10
§4. 无焰板式喷嘴双辐射墙炉子	11
§5. 各种结构炉子的特性与技术经济指标的比较	18
第二章 无焰板式喷嘴的结构与操作	27
§6. 气体燃料无焰燃烧法概述	27
§7. 无焰板式喷嘴的结构	36
§8. 无焰板式喷嘴的计算	41
第三章 无焰板式喷嘴双辐射墙管式炉的结构与操作	51
§9. 无焰板式喷嘴双辐射墙管式炉的主要型式	51
§10. 炉子的结构部件	57
§11. 双辐射墙管式炉结构概述	62
§12. 旧有管式炉改装为无焰燃烧管式炉	75
§13. 无焰板式喷嘴在不同加热设备内的应用	78
第四章 双辐射墙管式炉传热计算原理	80
§14. 炉膛的燃烧与传热过程	80
§15. 双辐射墙炉膛的计算方法	81
§16. 炉子对流加热表面的计算	96
§17. 双辐射墙管式炉的传热计算步骤	107
§18. 炉子传热计算例题	108
第五章 管式炉水力与空气动力计算原理	130
§19. 油品加热无相的变化时, 管式炉蛇形管内的压力降	130
§20. 油品加热有相的变化时, 管式炉蛇形管内的压力降	131
§21. 油品加热伴随有化学反应时, 管式炉蛇形管内的压力降	133
§22. 管式炉内烟气的阻力与抽力	139

VI

§ 23. 炉子蛇形管内与烟气通道内压力降的计算例题	144
第六章 管式炉强化操作的主要途径与方向	161
§ 24. 管式炉内烟气离对流管束时最宜温度的确定	161
§ 25. 关于提高管式炉辐射管加热表面热强度的合理性	165
§ 26. 对流管束间的烟气流速与油品流速的最宜数值的确定	168
§ 27. 提高管式炉加热表面热强度的途径	169
§ 28. 辐射传热强化的合理方法	179
附录	187
参考文献	191

第一章 管式炉概述

管式炉用于石油、石油加工产品、气体以及煤、頁岩与泥煤加工产品的火力加热，而主要是高温加热。

在苏联石油及化学工业中已广泛采用的管式炉见图1a，它本身乃是一个連續的蛇形管，被加热的油品以单程或多程流过蛇形管。因此，管式炉好像是直流鍋炉机组的一种类似型式。但是由于被加热的液体或气体的物理性质与水的性质不同，因而管式炉在结构上又具有某些特点。

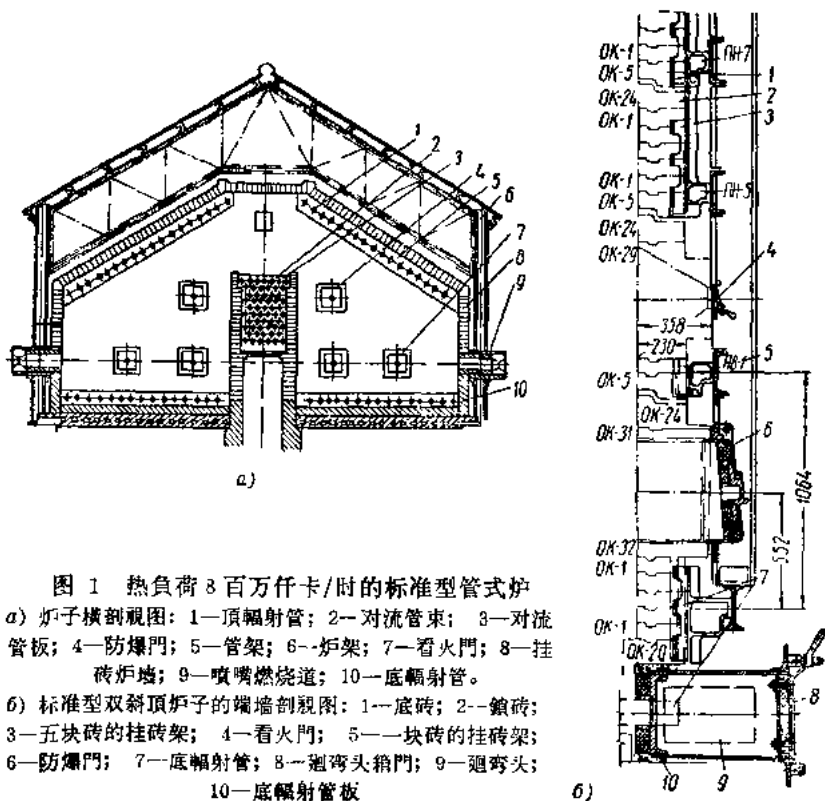


图1 热负荷8百万仟卡/时的标准型管式炉

a) 炉子横剖视图: 1—顶辐射管; 2—对流管束; 3—对流管板; 4—防爆门; 5—管架; 6—炉架; 7—看火门; 8—挂砖炉墙; 9—喷嘴燃烧道; 10—底辐射管。

b) 标准型双斜顶炉子的端墙剖视图: 1—底砖; 2—鎖砖; 3—五块砖的挂砖架; 4—看火门; 5—一块砖的挂砖架; 6—防爆门; 7—底辐射管; 8—迴弯头箱门; 9—迴弯头; 10—底辐射管板。

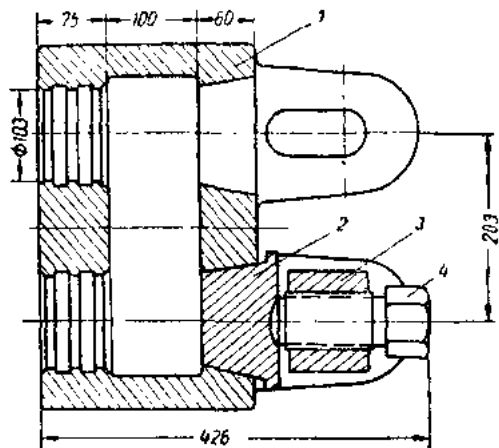


图 2 廻弯头

1—壳体；2—堵头；3—横梁；4—压紧螺栓

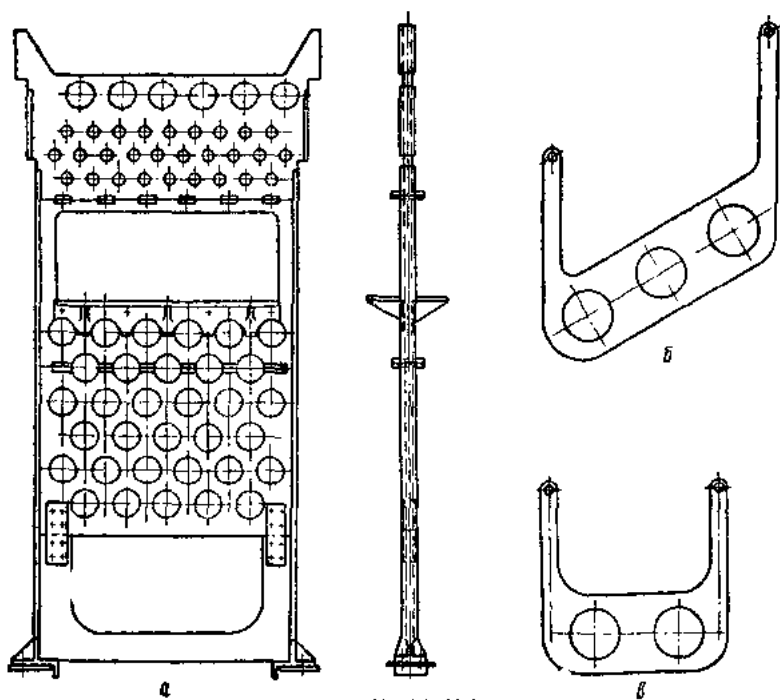


图 3 管板与管架

a—对流管板；b—斜顶幅射三根管的管架；

c—平顶幅射两根管的管架

管式炉蛇形管絕大多数是由6—18米长的直管組成，直管之間用急弯管或带有可拆卸堵头的特制廻弯头連接（图2）。有了可拆卸的堵头，則便于管子內壁的检查与清扫。

有廻弯头的管端裝在有門（检查門）的廻弯头箱內，并且用两端管板将管端与輻射室及对流室隔离，管板朝向炉膛的一面采用耐火涂料隔热（图16）。

当炉子蛇形管的两端用急弯管連接时，有急弯管的管端不必放到炉膛的外面，可以放在輻射室內。

在大多数的管式炉內，管心距为 $(1.8-2)d$ ，其中 d 为管子外径。

图3为支撑管子的管板与管架图。当对流管束为臥管时，对流管束即支撑在用耐热鑄鉄ЖЧХ 1.5、耐热鋼“馬赫洛基”（Махроги）或ЭИ-316鋼制成的管板上（图3а）。頂輻射管每几根分为一組，利用主要是由ЭИ-316鋼制成的特殊管架固定在鋼架上（图3б、в）。

管板与管架之間距离是根据油品最終加热温度确定的。当加热温度小于 550°C 时，为2.5—3米；当加热温度在 $800-850^{\circ}\text{C}$ 之間时，則为0.8—1.2米。

炉墙主要是采用吊砖架与挂砖架支撑的吊挂式結構（见图1а）。

絕大部分管式炉是輻射-对流式炉子，純对流式炉子或純輻射式炉子很少采用。

燃料主要是瓦斯与重油，一般二者是在联合噴嘴內燃烧的。

重油一般采用蒸汽雾化，长火焰燃烧。炉膛过剩空气系数 $\alpha_r = 1.4-1.8$ 。

目前倾向于用重油低压空气雾化代替重油蒸汽雾化，这样可以保証在 $\alpha_r = 1.2-1.3$ 时得到滿意的操作。

瓦斯燃烧除采用常用型式的噴嘴外，也采用了不同类型的无焰燃烧噴嘴。

一般的噴嘴火焰中心綫是水平的，但也有的管式炉燃烧火焰

是垂直的。这种炉子只能采用瓦斯喷嘴，因为采用装在炉底或炉顶的垂直火焰重油喷嘴时，会给操作带来困难。

不利用出口烟气的热量时，管式炉的热效率为 50—70%；利用出口烟气热量时，热效率可达 60—80%。

目前苏联已有的管式炉，热负荷不超过 25 百万仟卡/时。炉膛热强度为 30000—80000 仟卡/米³·时，而辐射管加热表面热强度为 15000—45000 仟卡/米²·时。

油品入炉速度为 0.5—3 米/秒，而气体加工与蒸汽过热时，则为 20—150 米/秒。

管式炉蛇形管内油品的压力降，在 1—35 公斤/厘米² 的较大范围内变动。

由于采用自然通风，而烟囱高度又限制在 40—50 米的范围内，故绝大多数管式炉对流室内的烟气流速采用 3—4 米/秒。

当管式炉采用含硫重油作燃料，而且要利用出口烟气的热量时，则应该采取措施，以防止沉积在管壁上的硫化物对金属的腐蚀。

为了提高进空气预热器的空气温度，国立石油机械制造科学研究所设计设计的管式炉空气预热器均采用了热空气循环的措施，而且装有可在空气预热器操作时清扫管子上的硫化物以及其它沉积物的特殊设备〔2〕。经验证明，这种空气预热器可以长期操作。

图 4、5、6、7、8、9，是在苏联和国外的石油及化学工业中已广泛采用的主要炉型。

§1. 对流式炉子

图 4 是几种型的对流卧管式及对流立管式管式炉。卧管式炉子的优点是，在定期停炉检修、发生事故以及炉管烧坏的时候，油品容易从蛇形管内放空，而且管子容易清扫。而立管式炉子的管子固定和检修则可大大简化。当烟气由上向下流过对流管束时（图 4 б、в），烟气极其均匀地流过管子加热表面，因而

从这一点看来，采用这种型式的炉子是最好的〔3〕。

但是选择炉型的主要因素还是结构上的要求，因为由于烟气流动方向选用的不同，对于传给对流管束的热量影响并不很大。

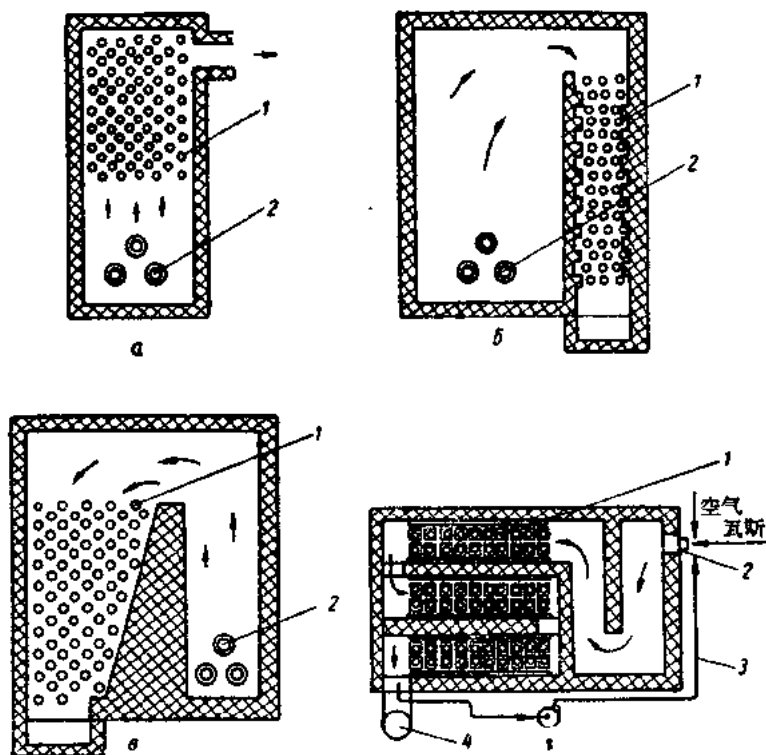


图 4 对流卧式管式炉子横剖视图 (图 a、b、c) 及对流立式管式炉子平面图 (图 d)。

1—管束；2—喷嘴；3—入炉膛的烟气循环管线；4—烟囱

出口烟气循环或加大燃料燃烧的过剩空气系数，均可使进对流管束的烟气温度的降低，因而就使得对流式炉子的传热指标急剧下降。所以，这种炉子就被辐射-对流式炉子所代替。

但是如图 4 d 所示那种管式炉却是不久前才建造的，并已成功用在破坏加氢装置内。在破坏加氢装置内，油品的加热与反应过程是在 500—700 公斤/厘米² 高压下进行的，所以当管间的

烟气流速快，并利用翅片管时，采用这种型式的炉子是合理的。采用翅片管对吸热量（与光管比较）与强度都有所提高，而强度的提高又提供了管子在高压下利用的条件。

翅片管为立管时，则管子的安装与检修都比较方便（图4₁）。但为了防止对流管束上硫化物与烟灰的沉积，故只能采用气体燃料。如果在炉子操作过程中（在管壁温度高于气体燃烧产物的露点时），管子外壁能够定期用空气吹扫，那么，在燃烧含硫重油时，翅片管同样能够可靠的操作。

碳钢翅片管的最高允许温度为600—650°C。采用烟气循环可使图4₁炉子的烟气温度低于上述最高温度。

对流式炉子的优点，就是沿管子圆周加热是很均匀的（与单排遮墙辐射管比较）。

§2. 辐射-对流式炉子

图5和图6是辐射-对流臥管式炉子的主要型式，图7则为辐射-对流立管式炉子的主要型式。

图5和图7的炉子可采用液体燃料与气体燃料，而图6的炉子只有在采用气体燃料时才能可靠的操作。

图5_a炉子的有效热负荷为8百万仟卡/时，主要用于裂化装置。

管子用X5M钢制造，外径 $\phi 102$ 毫米，长8—12米，用带有可拆卸堵头的廻弯头连接（见图2）。

炉顶有两排顶辐射管，第二排为反应段，在加热过程中，油品在吸热量较少的反应段内要保持一定的时间。

为了降低进对流管束前的烟气温度，在炉子操作时，可用抽风机从烟道内抽出部分烟气进行循环。

因为两排辐射管比一排辐射管的吸热量多的有限（多11%），故炉子内的顶辐射管一般都采用一排。

图5₆炉子主要用于化学工业的气体烃热解装置。炉子热负荷为4—8百万仟卡/时。这种型式的炉子采用外径 $\phi 114$ 毫米，

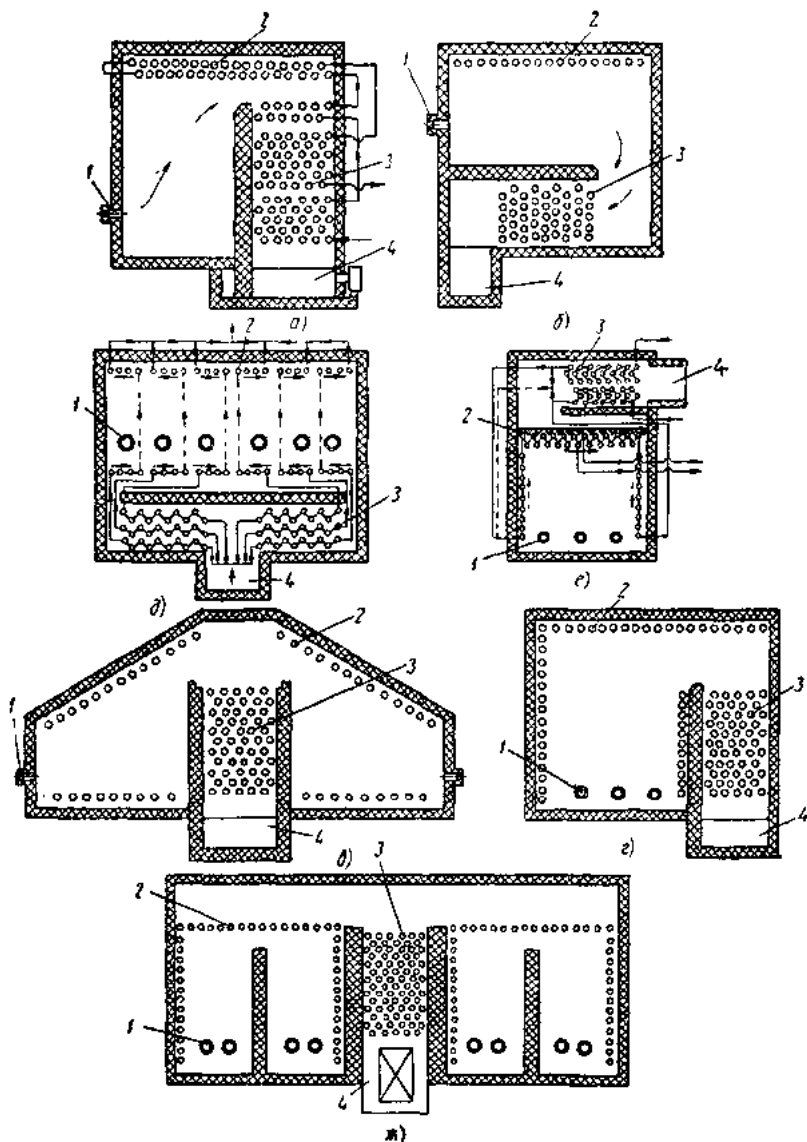


图 5 采用液体及瓦斯作燃料的辐射-对流管式炉子的横剖视图

1—喷嘴；2—辐射管；3—对流管；4—烟道

长6—12米的管子（管子材料为X5M、ЭИ417及2号合金）。管子之間用急弯弯管焊接連接。蛇形管內的积垢与結焦采用烧焦法清除〔4〕。

这种炉子（图5б）結構上的特点是在对流室与輻射室之間有一条水平墙。

图5в为苏联石油工业标准型炉子。在1940年以后新建的炼油厂內，所有的石油加工过程几乎都采用了这种型式的炉子。

双斜頂双室炉子用于同时加热两种不同加热条件或两程可单独調节的油品。

处理量小时，可采用单斜頂单室的炉子。

炉子的設計热負荷为5—16百万仟卡/时，而管子长度为6—12米。根据处理量的不同，采用外径为 $\phi 102$ 、 $\phi 127$ 与 $\phi 152$ 毫米的管子，管子之間用带有堵头的迴弯头連接。这种炉子結構上的特点是炉頂为傾斜的。

图5г所示炉型是1940年以前兴建的，并且已在炼油厂的各种装置上采用，其热負荷为6—12百万仟卡/时，管子长度为10—12米。

以上所述炉子（图5а、б、в）的噴嘴中心綫与管子中心綫是互相垂直的。图5г炉子的噴嘴中心綫与管子中心綫是互相平行的，因而也就使沿管子热强度的分布很不均匀。

图5д所示炉型是苏联1940年以前建造的，热負荷为15—18百万仟卡/时。在炉子中，气体燃烧产物通过一排比炉底稍高的輻射管，然后分为两路，从两个相反的方向进入对流管束。这种炉子与图5б炉子一样，炉底也是由架在对流管板上的梁支撑的，而噴嘴中心綫与管子中心綫是互相平行的。这种炉子底輻射管的支架固定在对流管板上。

在图5е炉子內，气体燃烧产物通过两排頂輻射管，然后进入炉子上部的对流管束。在第二排頂輻射管的上面盖有一层異型耐火砖，耐火砖与管子之間留有縫隙，以促使烟气与第二排管子之間更好的进行对流传热。

图5 κ 为四室炉子，这种炉子的热负荷比一般炉子要大些，其用途是加热几程单独调节的油品。

在这种炉子内，气体燃烧产物通过一排顶辐射管，而顶辐射管与异型耐火砖之间留有一段空间。

图6 α 、 β 、 ϵ 炉子的火焰中心线是垂直的，因而炉子的外形尺寸可以减小。因为液体燃料喷嘴安装在炉底中部时，操作上是困难的，所以这种炉子只有在采用气体燃料时才能可靠的操作；该炉热负荷为6—8百万仟卡/时；烟囱直接装在炉顶，高为10—20米，相互之间的距离为3—6米。图6 ϵ 炉子在结构上的特点是具有双面加热的双排辐射管，而且对流室在下部。图6 δ 炉子具有双面加热的双排辐射管，而对流室位于上部。

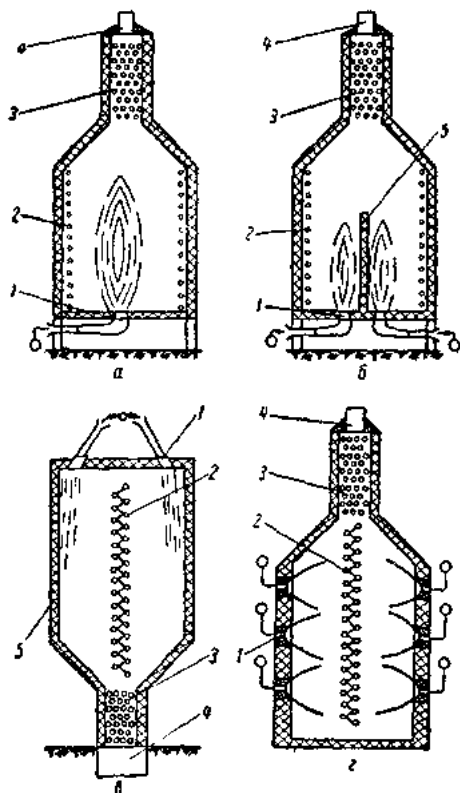


图6 采用瓦斯作燃料的辐射-对流风管式炉的横剖视图

1—瓦斯喷嘴；2—辐射管；3—对流管；
4—炉子烟气出口；5—隔墙

无焰瓦斯喷嘴装在炉子的侧墙上，每隔1.2—1.5米成三角形排列。这样布置喷嘴的缺点是：与喷嘴相对应的管段局部热强度很高。这种结构的炉子用于两程或三程不同油品的加热。每程的加热量可以通过改变相应一排喷嘴的能量来调节。烟囱直接安装在上部。这种炉子的最大热负荷（在管子长度为12米时）为

8—10 百万仟卡/时。

图 7 炉子结构上的特点是具有直立式的蛇形管和双面加热的

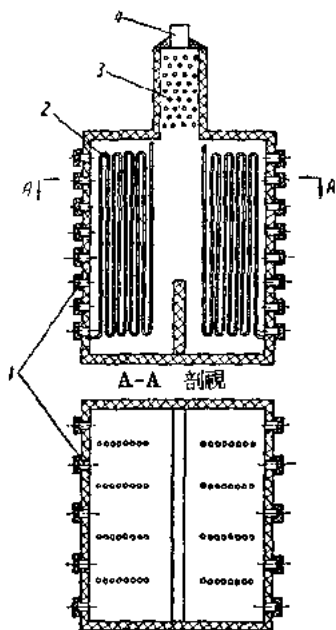


图 7 双面加热的单排辐射管辐射-对流式立管式炉子
1—喷嘴；2—蛇形管；3—对流管束；4—烟囱

单排辐射管。炉子内共有 8 排管子，每边各有 4 排。每排管子之间的距离为 3 米。每两排管子之间以及最边上一排管子与端墙之间，沿炉子高度方向均装有喷嘴，喷嘴之间的相互距离为 800—1000 毫米。

由于对流室位于上部，并且需要有高大的管子检修设备，故这种型式的炉子单位热负荷的金属消耗量多。

§ 3. 辐射式炉子

图 8 为辐射式炉子的主要型式。这种型式的炉子由于没有对流管束，因而出口烟气的热损失大（出炉烟气温度高），故其主要的缺点是热效率低。当油品需要加热的温度不高，并且管子加热表面热强度低，或者出炉烟气热量加以利用时，这种型式炉子的热效率才有所提高。

立管式炉子（图 8 a, b）适合于在气体燃料下操作。这种炉子比其它型式的炉子占地面积小。由于烟囱上部装有电动滑车，可将管子向上抽出，故这种炉子不需要有拆换管子用的操作平台。图 8 a 炉膛的上部装有金属锥体 3，锥体将辐射热传给管子的上部，因而加强了辐射传热，并且改善了沿管子长度加热的均匀性。

当没有热辐射锥时（图 8 b），喷嘴中心线平行于管子中心

当没有热辐射锥时（图 8 b），喷嘴中心线平行于管子中心

綫将使管子沿长度方向的加热极不均匀。图 8 6 炉子比图 8 a 炉子的优点是可以利用出口烟气的热量。

辐射卧式管式炉子 (图 8 a) 的优点是可以简化安装与检修过程。

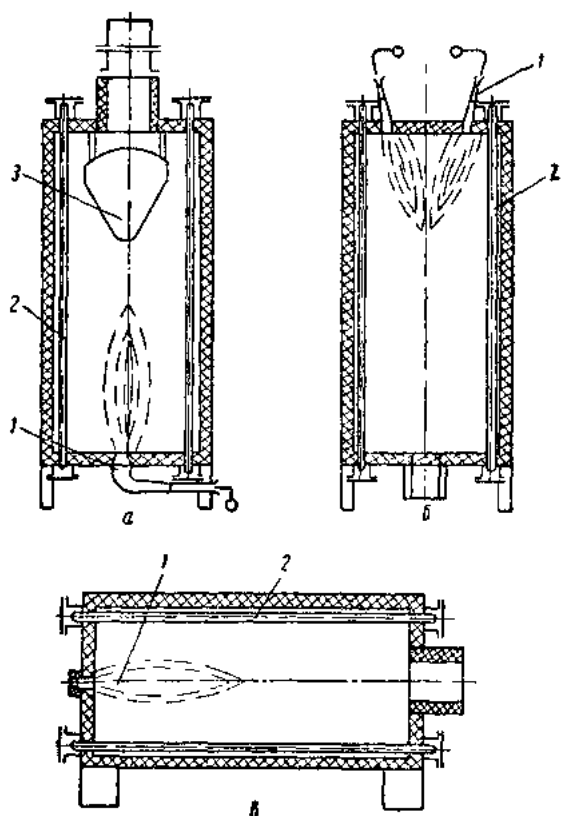


图 8 辐射式管式炉纵剖视图
1—喷嘴；2—蛇形管；3—热辐射金属锥

§4. 无焰板式喷嘴双辐射墙炉子

苏联国立石油机械制造科学研究设计院于 1954 年首先进行了无焰板式喷嘴双辐射墙管式炉的研究工作。