

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

F23C 11/00

F24H 1/40

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 94190459.8

[45]授权公告日 1999年11月24日

[11]授权公告号 CN 1046802C

[22]申请日 94.7.1 [24]颁证日 99.8.21

[21]申请号 94190459.8

[30]优先权

[32]93.7.2 [33]DE [31]P4322109.2

[86]国际申请 PCT/EP94/02156 94.7.1

[87]国际公布 WO95/01532 德 95.1.12

[85]进入国家阶段日期 95.3.1

[73]专利权人 弗兰茨·德斯特

地址 联邦德国兰根先德尔巴哈

共同专利权人 迪莫斯菲尼斯·特里米斯

能源方法环境及水流技术应用及技术
中心

[72]发明人 弗兰茨·德斯特

迪莫斯菲尼斯·特里米斯

G·迪马切克

审查员 石 竟

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

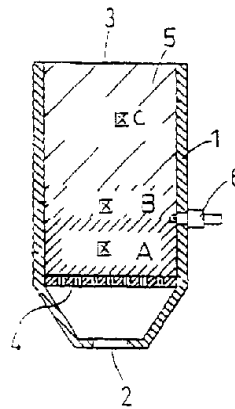
代理人 赵 辛 蔡民军

权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 燃烧器

[57]摘要

本发明介绍了一种用一外壳(1)包围着燃烧室的燃烧器,燃烧室有一个以燃气-空气混合气为燃料的入口(2)和一个废气出口(3),并用孔隙材料(5)充填。孔隙材料的孔隙率沿燃烧室是这样变化的:即沿燃气-空气混合气流动方向的孔隙大小是不断增加的,从而在孔隙材料(5)的界面上或在某一确定的(B)区为孔隙大小和火焰发生给出了一个临界皮克里特数,在达到这个临界皮克里特数时,可以发生火焰,而低于此数时,火焰则被抑制。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 带有一个外壳(1)的燃烧器, 所述燃烧器具有一个燃烧室, 所述燃烧室具有一个用于作为燃料的燃气-空气混合气进入的入口(2)和用于排出废气的出口(3), 所述外壳(1)内用具有连在一起的空穴的孔隙材料(5)充填, 其特征在于, 所述孔隙材料的孔隙率沿所述燃烧室变化, 使得从所述燃气-空气混合气入口(2)到出口(3)的方向上, 所述孔隙的大小不断增加, 和为在所述燃烧室内的一个区域(B)内或所述孔隙材料的一个界面(7)上所述孔隙大小的结果为火焰形成给出临界皮克里特数, 超过所述临界皮克里特数可形成火焰, 而低于所述临界皮克里特数, 则火焰的形成受到抑制。

2. 根据权利要求1所述的燃烧器, 其特征在于, 所述临界皮克里特数为 65 ± 25 , 燃气-空气混合气具体为 65。

3. 根据权利要求1所述的燃烧器, 其特征在于, 在所述外壳内沿所述燃气-空气混合气流动方向上一前一后设置有两个孔隙大小不同的区域(A和C), 其中, 位于紧接所述入口(2)之后的第一区域(A)的皮克里特数小于临界皮克里特数, 而离所述入口(2)较远的第二区域(C)的皮克里特数则大于临界皮克里特数。

4. 根据权利要求3所述的燃烧器, 其特征在于, 所述第一区域(A)所具有的孔隙大小造成皮克里特数小于或等于~~40~~^于40, 而所述第二区域(C)所具有的孔隙大小造成皮克里特数大于或等于~~90~~^于90。

5. 根据权利要求1所述的燃烧器, 其特征在于, 所述孔隙材料为耐高温的泡沫塑料、陶瓷或金属或金属合金。

6. 根据权利要求5所述的燃烧器, 其特征在于, 所述孔隙材料可耐受达到 1500°C 的温度。

7. 根据权利要求1所述的燃烧器, 其特征在于, 所述孔隙材料



是一种填充物，所述填充物可以为散料，且于必要时可例如通过烧结使之硬化。

8. 根据权利要求 7 所述的燃烧器，其特征在于，所述散料可以是金属或陶瓷，特别是，滑石、高纯度氧化铝或氧化铝。

9. 根据权利要求 7 所述的燃烧器，其特征在于，在大气压下，当达到临界皮克里特数所需的所述散料颗粒的直径介于 5 和 11 毫米之间时，特别是 9 毫米时，在所述入口 (2) 附近的散料为平均直径 5 毫米的球形颗粒，而其后方区域内的散料为平均直径大於或等~~於~~于 11 毫米的球形颗粒。

10. 根据权利要求 1 所述的燃烧器，其特征在于，所述孔隙材料的孔隙内表面或所述散料的颗粒的外表面涂有催化剂。

11. 根据权利要求 1 所述的燃烧器，其特征在于，所述外壳 (1) 至少部分地设置以一个冷却装置 (8)。

12. 根据权利要求 11 所述的燃烧器，其特征在于，所述冷却装置 (8) 制造成围绕所述外壳 (1) 或形成所述外壳 (1) 的冷却盘管，有一种冷却剂最好是水流动通过所述冷却盘管中。

13. 根据权利要求 12 所述的燃烧器，其特征在于，设置以一个用以在没有冷却剂流入时阻止将燃料输送到所述燃烧室中的监视装置。

14. 根据权利要求 1 所述的燃烧器，其特征在于，在所述材料的孔隙较大的区域设置一个用以进行热交换的冷却装置 (9)。

15. 根据权利要求 14 所述的燃烧器，其特征在于，所述外壳 (1) 的所述冷却装置 (8) 和用以进行热交换的所述冷却装置 (9) 是串联连接的。

16. 根据权利要求 14 所述的燃烧器，其特征在于，所述冷却装置 (9) 本身构造成，其至少部分地起到一种孔隙材料和/或取代孔隙材

料的作用。

17. 根据权利要求 14 所述的燃烧器，其特征在于，所述冷却装置(9)离所述区域(B)或离具有临界皮克里特数的界面(7)的距离至少应足以使所述冷却装置(9)不与火焰接触。

18. 根据权利要求 14 所述的燃烧器，其特征在于，所述外壳(1)的内壁在至少所述火焰区域范围内用一个例如适当材料制成的嵌件的附加装置(10)屏蔽直接热幅射。

19. 根据权利要求 18 所述的燃烧器，其特征在于，所述附加装置(10)设置成与所述外壳(1)的内壁相距一定距离，以便留有一个部包含燃气-空气混合气的间隙(11)。

20. 根据权利要求 14 所述的燃烧器，其特征在于，所述冷却装置(9)离具有临界皮克里特数所需的孔隙率的区域的距离应足够地远，使得所述冷却装置(9)不贯穿到所述火焰区域之内。

21. 根据权利要求 1 所述的燃烧器，其特征在于，设置以一个点火装置(6)，使得所述燃气-空气混合气的点燃发生在具有临界皮克里特数的孔隙率的区域内。

22. 根据权利要求 1 所述的燃烧器，其特征在于，在所述入口(2)和所述孔隙材料(5)之间设置一个隔焰器(4)。

23. 根据权利要求 22 所述的燃烧器，其特征在于，所述隔焰器(4)为具有多个穿孔的板，所述穿孔的直径小于相应的混合燃料的临界熄火直径。

24. 根据权利要求 1 所述的燃烧器，其特征在于，所述入口(2)、所述出口(3)和所述孔隙材料(5)制成使得冷凝液能通过所述出口(3)流出。

说明书

燃烧器

本发明涉及一种带一个外壳的燃烧器,燃烧器有一个燃烧室,燃烧室有一个以燃气-空气混合气为燃料的入口和废气出口。

这类燃烧器通常在燃烧室中以自由燃烧火焰燃烧燃气-空气混合气,同时热废气可作为热源利用,特别是使热废气流经冷水管进行热交换,使管中产生热水或蒸汽。

这类燃烧器会产生 NO_x 或 CO 之类的有害物。这类有毒的对健康有害的气体或是在高火焰温度下产生或是在不稳定火焰的不完全燃烧时产生;在低火焰温度时,固然可减少这种有毒气体,但会产生不稳定火焰,此外,还会产生降低效率的燃气-空气混合气的不完全燃烧。

为了避免上述缺点,人们提出了各种不同的燃烧器。A·绍尔(Saul)和D·阿尔特马克(Altemark)在“燃气轮机燃烧室中的贫燃预混合燃烧”一文中综述了这方面的发展,见埃森富尔坎(Vulkan)出版社卷40(1991年)7-8期,336~342页。该文在介绍减少有害物质方面的进展的主要特点是低火焰温度,同时为了使燃料尽可能完全燃烧而采取了各种不同的措施。实现有效燃烧的最重要的措施是超化学计量和催化作用。例如在该文中介绍了通用电气公司的一个处于研究阶段的“LM2500”型富-骤冷-贫燃烧室,这种燃烧室在第一阶段燃烧富燃料混合气,在中间区将空气送入第一阶段中部分燃烧过

的气体中,由此产生的贫混合气在第二阶段燃烧。该文作者对这个燃烧器给出的NOx含量小于190 mg/m³气体。

该文还介绍了在低温时可用催化剂实现完全燃烧,并提出催化燃烧产生的NOx含量小于20mg/m³。许多研究单位都在研究催化燃烧,但至今仍未迈出研究阶段。该文的作者认为,在今后5年内,这种燃烧器不可能用于商业。

该文没有详细讨论稳定性问题,但火焰温度选得越低,稳定性问题则变越重要。

奥托·门泽尔 (Otto Menzel) 在燃气使用的环境保护论文“新式燃气燃烧器技术和燃气仪表技术”一文中提出了低温稳定燃烧的可能性(见《燃气/天然气》1989年130卷,第7期355~364页)以及H·贝尔格 (Berg) 和 Th·雅勒曼 (Jannemann) 在“圆柱形燃烧室的家用燃气热水器用的有害物质少的预混燃烧器之发展”一文(见《国际燃气热》38卷(1989年)第1期,28~34页,埃森富尔坎 (Vulkan) 出版社)介绍了只排出少量NOx的“特摩马克斯”(Thermomax)燃烧器。这种燃烧器通过散热的燃烧板实现火焰稳定,这种燃烧板实质上是带圆孔的钢板,燃气流经圆孔。由于通过这种带孔的钢板散热,火焰实际上被固定在燃烧板上,从而产生稳定的火焰。

但是燃烧板不足以保证在所有运行参数时火焰的稳定。因此,在高的空气系数时规定了300°C左右的混合预热,从而提高燃烧速度和降低火焰的上升趋势。

从上面引用的现有技术中清楚地看出,通过低的火焰温度来减少有害物质是可能的,但是火焰的稳定性则仍然是一个未解决的重要问题。

所以本发明的任务在于，提出一种在低温下和有害物排放少的情况下稳定燃烧的燃烧器。

根据现有技术，本发明是这样解决这问题的：外壳内用具有连在一起的空穴的孔隙材料充填，这种材料的孔隙率沿燃烧室是这样变化：即从燃气-空气混合气入口到出口的流动方向内的孔隙大小是由小到大的，同时，在燃烧室一个区域内或者在孔隙材料的界面上为孔隙大小给定个火焰发生的临界皮克里特数，超过此数可产生火焰，而低于此数则火焰产生受到抑制。

本发明建议则与现有技术相反，外壳内用孔隙材料填充，而孔隙材料则具有阻止燃气-空气混合气流特性，从而对燃烧的气量产生节流作用。此外，由于燃烧室中孔隙材料的热容量可较好地吸收燃烧热，因而与现有技术比较起来更有利于传递燃烧热进行再利用。通过孔隙材料附加产生的冷却作用而降低了火焰温度。

在一定的孔隙大小时，火焰的化学反应和热张驰是相等的，所以低于这个孔隙大小时，不可能产生火焰，但在超过这个孔隙大小时则可自由点火。这个条件适宜用给出传播引起的热流与导热引起的热流之比值的皮克里特数来描述。相对于可以自由点火的孔隙率有一个火焰发生的超临界皮克里特数。因为火焰只能在具有临界皮克里特数的范围内产生，所以在孔隙材料内产生一个自稳定的焰锋。

由于燃烧室用孔隙材料而产生了高的热容量，所以可在孔隙材料中局部积蓄高的热能和高的有效值。此外，这种高的热容量还有这样的优点，例如可在燃烧室中配备一个热交换器来加热水、产生热水或蒸汽，从而与现有技术比较起来大大地改善了热交换的热传递。高的功率密度是由于孔隙材料中高的燃烧速度和由于孔隙所引起的大

多的焰锋表面所致。

孔隙材料还有这样的优点，即在燃气-空气混合气流中产生很高的紊流，从而可比正常燃烧速度高达50倍。这样就改善了燃烧率并达到更高的功率密度。对下面要述及的另一个实施例进行的测量表明，热利用率可大于95%。

由于孔隙材料本身使火焰冷却，所以可达到与低的排放量相应的低的火焰温度。这就是说，不需要冷却。而现有的技术则用超化学计量或废气再循环来进行冷却。

因为孔隙材料对气流产生阻力，所以本发明燃烧器可在一个很大的压力范围内进行工作。这样，本发明的燃烧器可在很不同的压力下甚至在高压下工作。换句话说，本发明燃烧器具有很大的使用范围。

根据本发明的实施例，临界皮克里特数为 65 ± 25 ，特别是在用天然气-空气混合气时为65。这个数值是根据不同燃气-空气混合气进行试验求得的。但分散性很大，视燃气的种类而异。然而，在天然气-空气混合气时，试验证明了临界皮克里特数为65则与混合比例和天然气的成分无关。这一事实表明，皮克里特数是确定本发明燃烧器所用材料的孔隙率的适当参数。专家根据这个原则通过孔隙材料的孔隙率把临界皮克里特数定为65就可以确定本发明的燃烧器的工作类型，而不需要大量的预先试验。

根据本发明上述原则实施的燃烧器，燃烧室中的孔隙材料由低的孔隙率连续过渡到高的孔隙率，同时在具有临界皮克里特数的孔隙率时开始火焰发生。但如上述所述，临界皮克里特数在不同的燃气-空气混合气时也是一个变数。这在外壳中孔隙材料的孔隙率连

续变化时势必产生这样的缺点,即火焰可能在不同条件下移动。为了对火焰发生提供一个确定的位置,根据本发明的一个最佳实施例,在外壳中考虑了两个位于燃气-空气混合气流动方向内不同孔隙大小的前后区域。其中直接位于入口后面的第一区域具有的发生火焰的皮克里特数小于临界皮克里特数,而远离入口的第二区域具有的皮克里特数则大于临界皮克里特数。

根据这一措施,火焰发生被确定在两个区域之间的界面或范围内,亦即基本上与可能导致临界皮克里特数变化的运行参数无关。换言之,由于采取了这个确定火焰发生位置的措施而进一步提高了稳定性并可制造使用范围很广的燃烧器。

根据本发明的一个最佳改进结构,第一区域具有的孔隙大小得出皮克里特数 ≤ 40 ,而第二区域具有的孔隙大小则得出的皮克里特数 ≥ 90 。

所以,根据这一特点,完全覆盖了前述临界皮克里特数可能为 65 ± 25 的整个已知的变化范围。这就简单地实现了对各区域规定的皮克里特数 < 40 或 > 90 ,这点可从下面的实施例一目了然,并可设计出一个可广泛用于各种燃气-空气混合气的燃烧器。

根据本发明的一个最佳改进结构,孔隙材料可用耐高温的泡沫塑料、陶瓷、金属或金属合金。至于这种孔隙材料是怎样制成的,则已详于有关这方面的现有技术中。

但是对于一般家用燃烧器来说,耐高温的性能不必要求特别高,因为火焰通过孔隙材料本身可以冷却。试验证明了本发明燃烧器在功率为9kw时温度保持在 1400°C 以下。所以本发明最佳方案规定孔隙材料耐高温到 1500°C 即可。根据这一特点,本发明的燃烧器有多

种材料可供选用，这样，选用材料不仅只从技术方面，而且也可从成本低的结构和制造费用方面来考虑使燃烧器最佳化。

根据本发明的一个最佳改进结构，孔隙材料用填料，例如以松散材料的形式，必要时例如通过烧结硬化。

用这类材料可按简单的方式产生孔隙率。即孔隙材料可用松散的分层颗粒组成，亦可硬化成相互连接在一起的多孔材料。

松散材料主要的优点是，易于装填在外壳中，而且加工处理简单。此外，在燃烧器修理时，例如在清洁燃烧器时易于从壳体中清除掉散料。

根据本发明的一个最佳改进结构，散料可用金属、金属合金或陶瓷，特别是滑石、斯特马诺克思（一种商品名称为 stemanox 的高纯度氧化铝）或 Al_2O_3 。这些材料各方面都能满足本发明燃烧器的技术要求。这种散料容易得到，且价钱可受。因此，本发明燃烧器价格低廉、结构简单。

根据本发明的一个最佳改进结构，如果达到临界皮克里特数时的粒径介于 5 和 11mm 之间，特别是 9mm，出口附近的填料由平均直径为 5mm 的球状颗粒组成，而其后区域的填料则用平均直径大于 11mm 的颗粒。

当填料颗粒为球状时，填料的均匀性在制造时比较容易控制，特别是孔隙率也容易控制，因为这时孔隙率只由球状颗粒的直径及其堆放的状态来确定的。在用天然气-空气混合气时，钢、滑石、斯特马诺克思或 Al_2O_3 这些填料在粒径为 9mm 时的皮克里特数为 65，而在粒径为 11 或 5mm 时的皮克里特数则为 40 或 90。这就是说，用很简单的方法就能达到要求的孔隙率，特别是上述填料及其颗粒大小都很容易得到。因此，不用大的花费就可以获得本发明燃烧器要求的填

料孔隙率。

从现有技术已知，通过使用催化材料，可以降低 NOx 和 CO 排放量。所以，根据本发明的一个最佳实施例，建议孔隙材料空穴的内表面或填料颗粒的外表面涂上催化材料。

本发明燃烧器由于孔隙率而存在与燃气交替作用的很大表面，从而与现有技术提到的结构比较起来，催化剂的作用要有效得多。此外，按本发明带催化剂实施例的燃烧器也相当简单，因而可很快成批制造催化剂燃烧器。

根据本发明的一个最佳改进结构，外壳至少部分带有冷却装置。原则上，导入外壳中的热也可用绝热材料与外界隔起来，但冷却的优点是，热被冷却剂吸收后又可继续利用，因此，进一步提高了本发明燃烧器的效率。

根据本发明的一个有优点的改进结构，围绕外壳的冷却装置作成冷却盘管，盘管中通冷却剂，特别是水。此外，设有监视装置，以便在没有冷却剂时，停止燃料输入燃烧室。

根据上述特点，冷却吸收的热可以继续利用，因为流动的冷却剂可把热传递到别的地方再散热。但在冷却剂流动时，由于管道破裂或冷却盘管堵塞而引起冷却剂流动中断，从而造成燃烧器外壁过热以至可引起火灾或燃烧。所以，最好设置一个监视装置来防止冷却剂没有时燃料继续输入燃烧器中。

由于采取了这些措施，燃烧器在外壁同时冷却的情况下可达到很高的效率，并保证了运行安全。

根据本发明的一个最佳改进结构，在填料孔隙较大的区域内考虑了一个热交换的冷却装置。用这个可作成冷却盘管的冷却装置把

燃烧器中的热作为热水或蒸汽导走，并可继续用于另外的要加热的过程或涡轮机的运行。与现有技术比较起来，热传递在这里不仅是通过热燃气与冷却装置的直接相互作用，而且绝大部分通过孔隙材料进行的，从而保证了更好的热传递。这一特点亦有利于效益的提高。

根据本发明的一个最佳改进结构，外壳的冷却装置与热交换的冷却装置串联在一起。由于这一措施，通过对外壳的冷却被冷却剂吸收的能量传到把冷却剂中的热作为热交换用的相同的回路中。最好将冷却剂首先用来冷却外壳，然后流入燃烧器的内腔中，在那里与高温的孔隙材料相互作用。这样，燃烧器产生的全部热能都被冷却剂吸收，从而进一步提高了效率。

由燃烧器产生的热传递到燃烧器的内部的冷却装置越有效，则热传递的效果就越好。此外，燃烧器冷却装置形成的流动阻力可在选定冷却装置范围内的孔隙材料时予以考虑。这就是说，冷却装置与孔隙材料起着类似的作用。根据本发明的一个改进结构，如果将冷却装置本身构成至少一部分起着孔隙材料的作用或/和取代孔隙材料，则可减少孔隙材料的用量，同时也可达到更有效的热传递。

在一个最佳的燃烧器中，冷却装置离火焰的距离必必须尽可能选择得当。虽然在火焰附近达到最高的温度，但是如果冷却装置位于火焰范围之外，亦可选用适用于低温的材料来构成冷却装置。此外，冷却装置如果位于火焰范围之外，则冷却装置不会附加地冷却火焰，却可附加地增加火焰的稳定性。所以，本发明的一个最佳改进结构考虑冷却装置离开带有临界皮克里特数区域的距离至少是冷却装置与火焰不产生接触。由于孔隙材料有良好的导热性能，所以对火焰到冷却装置的热传递只有很少的影响。

为了使火焰不受外壳冷却的影响，本发明的一个最佳改进结构考虑在燃烧室中用一个附加的装置例如嵌件来在外壳内壁和嵌件之间形成一个大于1mm的缝隙，而嵌件内放有孔隙材料。从而进一步抑制了由于不完全或不稳定的燃烧而产生的CO。

对实施例进行的试验表明，在松散材料产生一定的孔隙率并把冷却装置布置在离带有临界皮克里特数65边界区大约2~4个颗粒大小的距离时，可达到最高的效率。一般来说，当冷却装置离临界皮克里特数所要求的孔隙率的区域与火焰范围不接触时，则是最有利的条件。

根据本发明的另一个最佳改进结构，在燃烧器上装一个点火装置来在临界皮克里特数要求的孔隙率范围内进行燃气—空气混合气的点火。

原则上，凡是燃烧器上有可燃燃气—空气混合气的地方都可以点燃燃气—空气混合气，例如从出口处也可点火。但在这个改进结构中，点火是在临界皮克里特数所要求的孔隙率范围内进行的。这样，火焰准确地在该区域点燃，并稳定燃烧。根据这一特点，从点火时刻开始，火焰就已经高度稳定，因为在别的部位只有火焰回火，但在燃料高的流动速度时，回火是根本不可能的。在这种情况下，只有在燃料流中途降低时才可能进行点火。也就是说，这一改进结构的特点是最大限度地减少了本发明燃烧器的仪表费用，因为点火过程不需要调节。

根据本发明另一个有利的改进结构，在入口和孔隙材料之间布置一个隔焰器。由于孔隙材料不可能有火焰的回火，因为在入口区的皮克里特数不可能形成火焰。但为安全起见还是考虑了一个隔焰器，

例如在进行燃烧器清洁后无意中把具有高孔隙的松散填料装进了入口区,这时隔焰器则可能很重要。

由于在正常情况下不需要隔焰器,所以它的结构应该尽可能简单。根据一个最佳的改进结构,隔焰器是一块带有许多孔的板,孔的直径小于相应燃料临界“熄火”的直径。业已证明,这种隔焰器在天燃气-空气混合气时是有效的。它的最大优点是制造简单和价格低廉,所以隔焰器的费用是很小的完全可以接受的,因而尽管在正常情况下本发明燃烧器不需要隔焰器,但以其价廉而可附加一隔焰器。

由于高的功率密度和大量的吸热材料,所以本发明的燃烧器也可用作冷凝式锅炉,因为废气温度在这种燃烧器中已经显著下降。但是产生的冷凝液必须排出,这点在用本发明燃烧器时很容易实现,因为在试验模型上进行的试验证明了这些模型在任何位置甚至火焰朝着重力也能工作。在出口向下布置时,燃烧器中的冷凝液可方便地通过出口流出,因此,不需采取附加的措施。本发明的一个最佳改进结构考虑了入口、出口和孔隙材料的合理布置,以便产生的冷凝液可以通过出口流出。

下面结合附图所示的实施例来阐述本发明的其他措施和优点。

附图是:

图 1 表示由三个区域组成的燃烧器的第一实施例;

图 2 表示由两个区域组成燃烧器的另一实施例;

图 3 表示用球状粒料时粒径与皮克里特数的关系曲线;

图 4 表示图 2 实施例孔隙材料内部的温度变化曲线;

图 5 表示按热水器或蒸汽发生器的图 2 所示燃烧器在出口向下布置时的实施例断面图;

图 6 表示燃烧器有一嵌件的断面图。

许多科学家都曾对孔隙材料的火焰发生进行过研究和描述，特别是 V·S·巴布金、A·A·柯茨哈文和 V·A·布涅夫在“孔隙材料中预混合气体的燃烧火焰之传播”一文中描述了如下的火焰传播机理(见《燃烧和火焰》1991 年 87 卷 182~190 页)。

在孔隙材料中，燃料流会产生紊流。由于在紊流火焰区的强烈热交换引起的化学反应的局部抑制作用而抑制了火焰加速和紊流产生之间的正的反馈。当热平衡的特征时间变得小于化学转换过程时就会阻止火焰形成。此外，由于在紊流时产生极不相同的速度，所以，最大速度的火焰部分被抑制，从而产生稳定的火焰传播。

上述作者们的试验得出了在孔隙材料中火焰传播的临界皮克里特数为 65 ± 25 ，且其分散主要取决于极不同的燃气成分，但在天然气-空气混合气时，皮克里特数可望为 65。

皮克里特数可通过下列方程式计算：

$$P_c = (S_L d_m C_p \rho) \lambda$$

式中 S_L 是层流火焰速度， d_m 是孔隙材料平均孔穴的等效直径， C_p 是混合气体的比热， ρ 是混合气体的密度， λ 是混合气体的导热率。上式表明，火焰发生的条件主要与气体参数有关，而孔隙材料的特性只通过 d_m 带入方程式中。也就是说，皮克里特数基本上与材料特性无关，而只取决于孔隙率。换言之，本发明的燃烧器可用各种不同的材料或几何形状作为孔隙材料。

此外，全部带入方程式的值都是可以测量的，所以借助于上述的方程式可得出用于不同的混合气体的技术方案。

图 1 表示带有外壳 1 的燃烧器示意图。外壳上有一个燃气-空

气混合气的入口2和废气出口3。隔焰器4布置在入口2上方并把外壳1的内腔分开。在隔焰器4和出口3之间的外壳1的内腔部分用孔隙材料5充填。此外,还考虑了一个混合气的点火装置6。

燃气-空气混合气通过入口2进入燃烧室,而废气则通过出口3从燃烧器流出。孔隙材料5具有局部不同的孔隙率,即阴影区A、B和C的孔隙率不同。A区孔隙很小,得出的皮克里特数小于临界皮克里特数(天然气-空气混合气时为6.5),临界皮克里特数是一个极限值,超过此值可发生火焰,低于此值则火焰被抑制。C区的皮克里特数比临界皮克里特数大得多,所以该处可产生火焰。B区是过渡区,该处的孔隙率可达到临界皮克里特数。

根据上面关于在孔隙材料中形成火焰的认识,火焰只可能在B区产生,亦即只有在孔隙率达到临界皮克里特数的区域产生火焰。孔隙材料使火焰冷却,所以,只产生很少的 NO_x 。孔隙材料特别是B区孔隙材料的内表面亦可涂以催化剂,从而可进一步降低废气中的 NO_x 和CO成分。

根据上述在孔隙材料中火焰形成的物理规律,在B区的火焰是稳定的,即在燃气-空气混合气正好达到临界皮克里特数的地方,火焰是稳定的。但这也意味着在B区的物理参数明显改变的情况下,火焰始段可能移动,这样原则上就不能保证局部的火焰稳定性。另一方面由B区给出的过渡层则具有使焰锋在最小的孔隙中稳定的优点,从而保证了从火焰到孔隙材料的最佳热传导。

但如重视局部的稳定火焰,则可用图2所示的燃烧器实施例。此例没有图1所示的B区即只有A区和C区。此时由于上述规律,火焰在A区和C区之间的边界层上是稳定的,即火焰被界面固定,所

以是局部稳定的。由于给出的皮克里特数65的分散性为 ± 25 ，所以最好A区的孔隙率考虑为皮克里特数小于40，而C区的孔隙率则相当于皮克里特数大于90。然后燃气-空气混合气在很大范围时的边界层确定火焰形成的地点，从而保证气体参数很大范围时的稳定性。

孔隙材料例如可用各种不同的材料，如陶瓷。但也可用耐高温的泡沫塑料。在下面的讨论中用散料作孔隙材料。在圆粒散料时，代入皮克里特数方程式的孔隙率参数 d_m 由于考虑到几何形状而可按 $d_m = \sigma / 2.77$ 计算。式中 σ 为散料球形颗粒的直径。

根据上式算出的天然气-空气混合气的皮克里特数与直径 σ 的关系如图3所示。计算时，假定按理论配比的层流火焰速度 S_L 为每秒0.4mm。在球粒半径为9mm时，达到的皮克里特数为65，而在6mm和12.5mm时，则得出的皮克里特数分别为40和90。

在一个按图2的试验结构中，A区和C区所用的粒料直径分别为5mm和11mm，同时用了各种不同的试验材料，例如抛光的钢球、不同成分和粒径的陶瓷颗粒、滑石、斯特马诺克思或 Al_2O_3 。试验表明，所有这些材料都能实现本发明的这些优点。

这个试验形燃烧器在不同功率时的燃气-空气混合气流动方向内的温度变化如图4所示，其中Z表示从燃气-空气混合气进入的入口2起在流动方向上离入口2的距离，同时外壳由外部冷却。试验表明，即使在功率高达9kw时，最高温度也低于 $1500^\circ C$ 。所以，到 $1500^\circ C$ 温度稳定的全部材料都可使用。

图4中的第一条垂直线表示A区和C区的分界面。从图中清楚看出，在分界面或在C区内分界面后面一点达到最高的温度。

从图4还可看出，到出口3的温度(第二条垂直线)明显下降。换句话说，本发明燃烧器的废气温度可达到露点以下，从而具有冷凝式

锅炉的优点。但炉中形成的冷凝液必须排出。试验表明，这个燃烧器稳定工作与它在地球重力场的位置没有关系，所以它亦可在水平位置或出口 3 向下进行工作。在后一种布置中，冷凝液可从燃烧器中流出。

在出口处低的燃气温度还表明，燃烧后的燃气-空气混合气的热能几乎完全被孔隙材料吸收，从而可构成一个高效率的热交换器。用图 2 实施例所示的燃烧器可作成功率为 5kw 的热水器，其废气温度为 60°C，效率为 95%，同时燃烧器的尺寸可以作得很小：长只有 15cm、直径只有 8cm。这样小的尺寸主要是由于孔隙材料达到的高功率密度所致。

从图 4 还可看出，在 A 区和 C 区之间的界面稍后面一点出现最高温度。其结果是，在产生热蒸汽时，火焰会将热能传递到这个界面附近要加热的水上。所以，应在孔隙材料范围内考虑一个冷却装置来把产生蒸汽用的水导走，这个冷却装置离界面大约 3cm。

一般地说，冷却装置最好不要离火焰太近，因为，火焰为了保持稳定，本身不应当冷却。所以最好把冷却装置布置在界面的附近，但不宜布置在火焰范围内。如果在设置冷却装置时由于高温而出现了材料问题，则最好考虑较大的距离。

图 5 表示适用于加热水或产生蒸汽的燃烧器之示意图。这个燃烧器基本上也是由外壳 1、入口 2、出口 3、隔焰器 4、点火装置 6 和孔隙材料 5 组成。它的出口 3 向下，以便冷凝液流出。孔隙材料 5 只用相同大小的球示意，这并不符合真实的情况。实际上，孔隙材料的孔隙率是沿燃气-空气混合气流动方向变化的，且入口区球的直径小于出口区球的直径。

上述 A 区和 C 区之间的界面用虚线 7 表示。如上所述, 在这个界面 7 上产生火焰, 且火焰的热能被传递到 C 区几个 cm 范围内的孔隙材料上。

围绕外壳 1 或者甚至是组成这个外壳的一个附加的外部冷却装置 8 可作成围绕外壳 1 的冷却盘管并阻止向外导热。冷却盘管中有冷水流动, 并考虑一个控制装置, 以便在停水时中断燃气 - 空气混合气流入入口 2 中, 所以, 当燃烧器工作时, 外壳 1 总是被冷却。这样, 就保证了外壁不会太热, 从而防止了外壳燃烧或由此引起的火灾。冷却盘管从外壳壁导走的热能可再利用, 从而提高了在产生热水或蒸汽时的效率。

此外, 图 5 还考虑了一个内部冷却装置 9, 该装置从出口 3 一直快伸到 C 区孔隙材料的界面 7 为止。

内部冷却装置 9 只是一个示意图, 实际上它例如可呈螺旋状, 这样就保证了与孔隙材料 5 的尽可能好的热传导。但冷却装置 9 亦可考虑为比较复杂的结构, 例如它本身就可以构成孔隙材料或提高孔隙率, 从而可实现更好的传热。

外部冷却装置 8 与内部冷却装置 9 串联, 从而把已经通过外壳 1 预热的水引入内部冷却装置 9 中, 并作加热水或产生蒸汽之用。

为了避免燃烧室中的火焰不受外部冷却装置 8 引起的过分冷却的影响, 在图 6 中可见, 燃烧室火焰范围内考虑了一个由适当材料制成的嵌件 10 来盛放孔隙材料 5, 并挡住外壳 1 的内壁以防止直接的热辐射。嵌件 10 亦可布置在离外壳 1 的内壁有一定的距离, 这样在内壁和嵌件 10 之间形成一个没有可燃气体混合物的缝隙 11。通过燃烧室火焰区的这种构造进一步抑制了由于不完全或不稳定燃烧引

起的 CO。

隔焰器 4 用于防止回火。原则上, 本发明燃烧器并不用它, 因为由于 A 区很小的皮克里特数, 火焰不会冲到入口 2, 亦即隔焰器 4 只是为了增加安全而设。在图 5 所示的实施例中, 隔焰器 4 由一块有许多穿孔的钢板组成, 板厚为 4mm, 穿孔直径为 1mm, 且穿孔密度小于 $20/\text{cm}^2$ 。

点火装置 6 位于界面 7 附近, 以便特别有效地进行点火。在这个实施例中, 火焰在界面 7 上自稳定燃烧。

也曾从出口 3 进行过点火试验, 但这种方式有缺点, 因为自由火焰焰锋的速度比孔隙材料中的火焰速度小。只有当出口 3 的燃气-空气混合气的平均速度保持很小时, 从出口 3 到界面 7 才可能出现回火。换言之, 从出口 3 点火需要附加的调节, 即需要首先对燃气-空气混合气的流速进行限制, 然后在界面 7 上着火后再提高流速。而在界面 7 附近点火则具有这样的优点: 不需要对燃气-空气混合气进行复杂的调节。

上述各个实施例表明了本发明燃烧器结构简单、低温、良好的热传递和稳定的火焰。在不完全燃烧时, 本发明燃烧器亦可用超化学计量或通过孔隙材料中考虑催化剂来改善燃烧, 从而进一步降低废气中的有害成分。

说明书附图

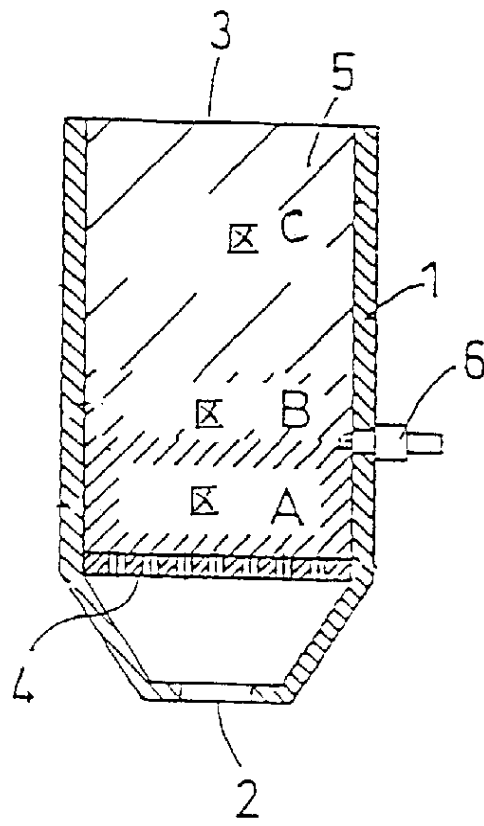


图1

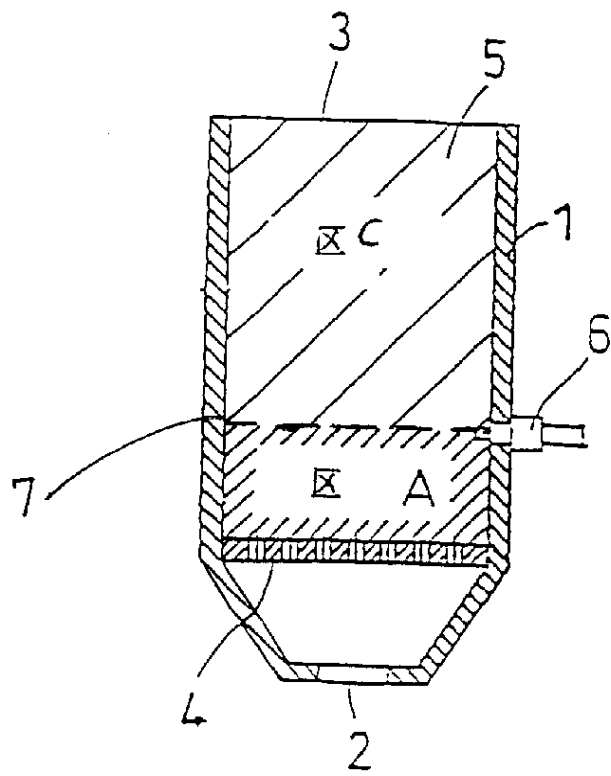
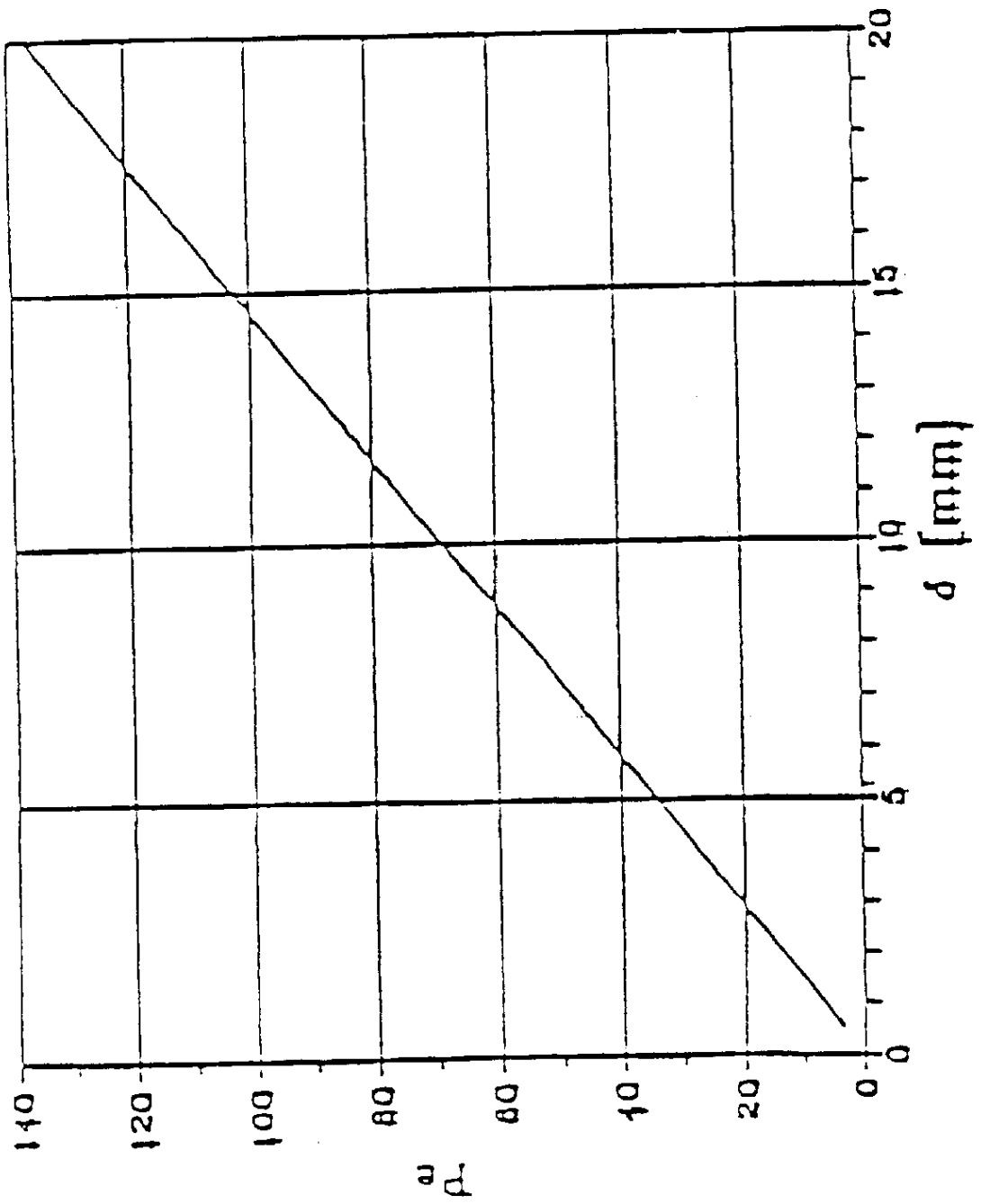


图2



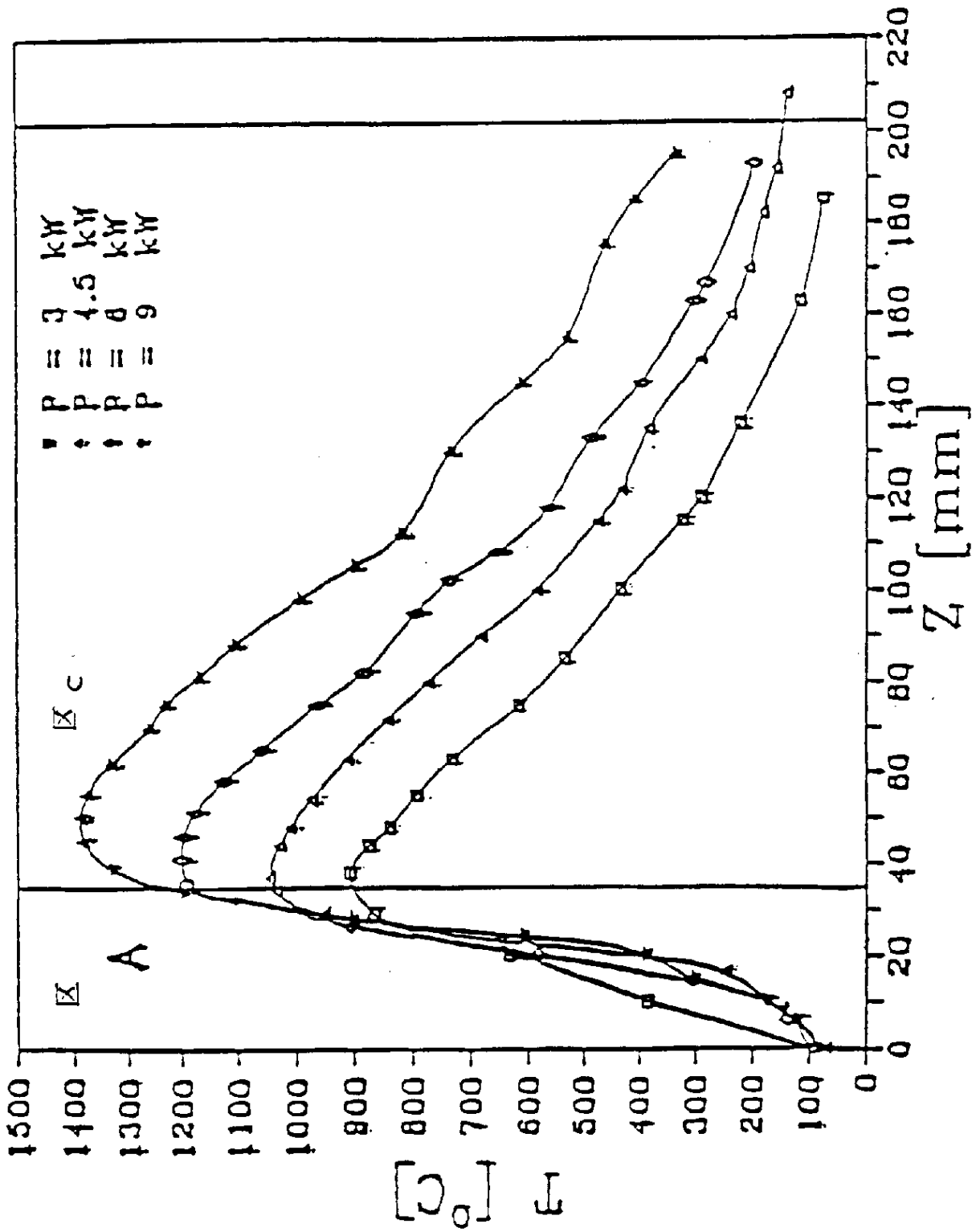


图4

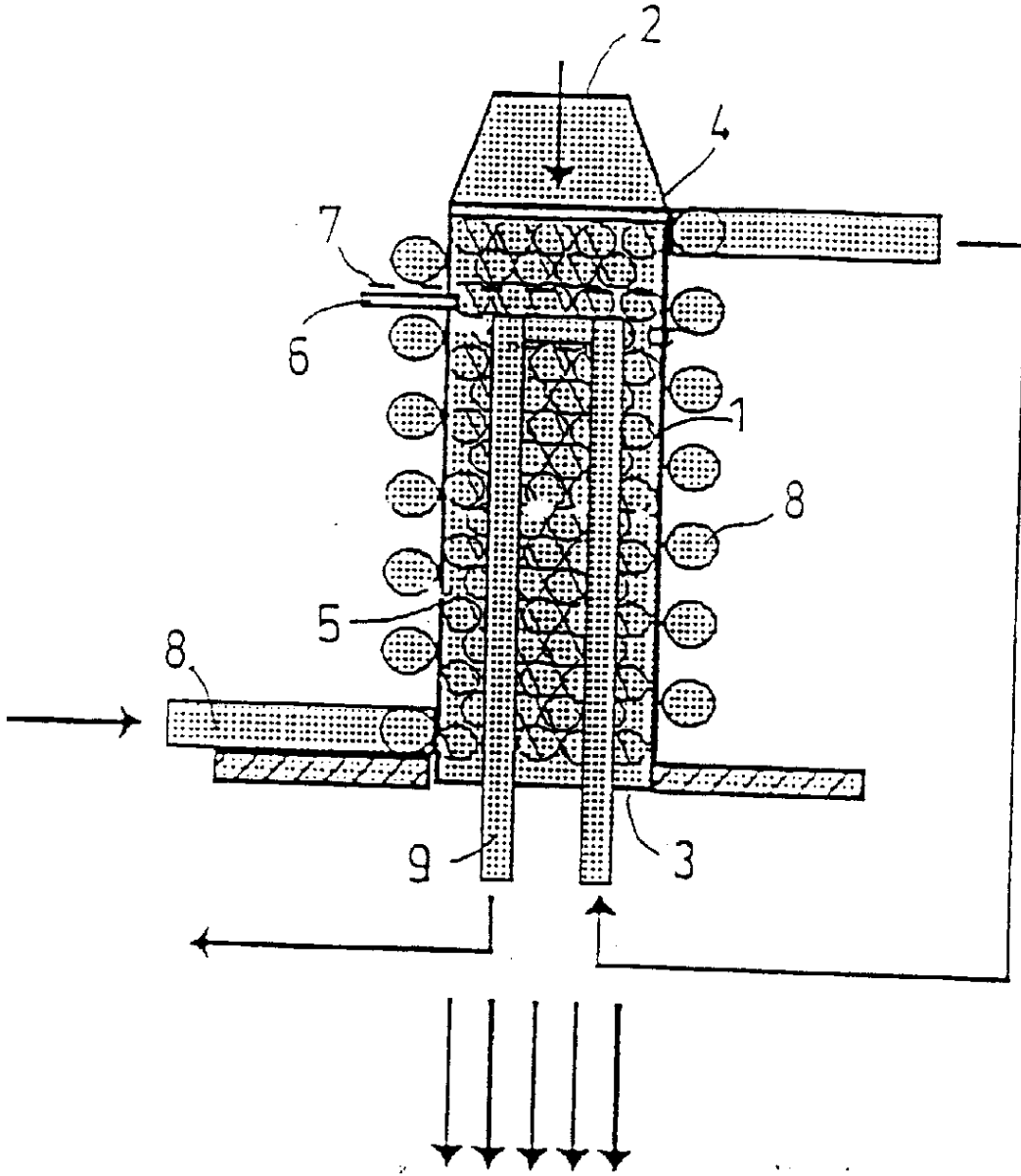


图5

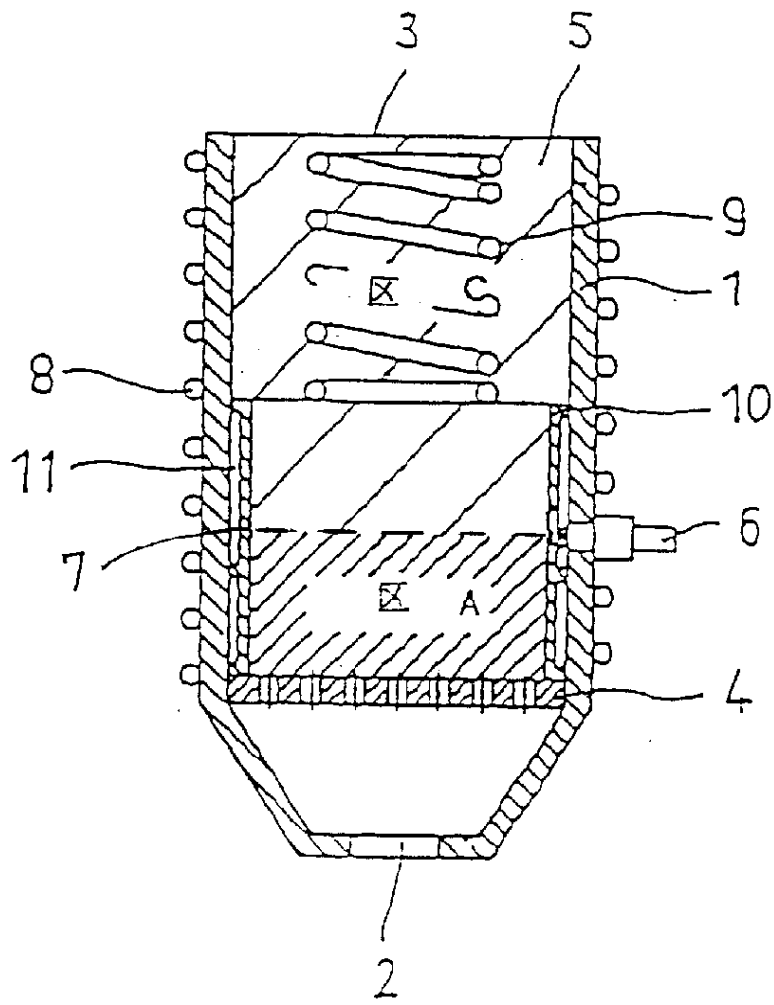


图6