

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

F22B 21/34

F22B 29/06 F22B 37/14



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00805448.7

[45] 授权公告日 2005 年 3 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1193191C

[22] 申请日 2000.3.20 [21] 申请号 00805448.7

[30] 优先权

[32] 1999. 3. 31 [33] DE [31] 19914760.4

[86] 国际申请 PCT/DE2000/000865 2000. 3. 20

[87] 国际公布 WO2000/060283 德 2000.10.12

[85] 进入国家阶段日期 2001.9.24

[71] 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

[72] 发明人 埃伯哈德·威特乔

审查员 李 扬

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

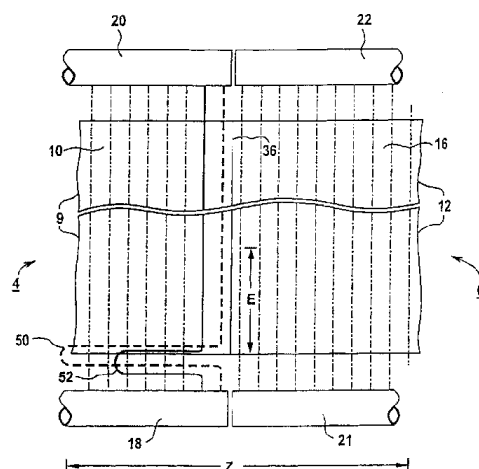
代理人 侯 宇

权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 5 页

[54] 发明名称 矿物燃料加热的直流式锅炉

[57] 摘要

本发明涉及一种具有一个燃烧室(4)的直流式锅炉(2)，这个燃烧室中具有用于矿物燃料(B)的蒸发管(10)，沿热烟气的流向，燃烧室在其下游通过一水平烟道(6)连接一垂直烟道(8)。为了在直流式锅炉运行时，使燃烧室(4)出口区(34)与水平烟道(6)进口区之间的温度差特别小，在多根可平行地加入流动介质(S)的蒸发管(10)中，一定数量的蒸发管(10)在其进入燃烧室(4)外壁(9)之前经过燃烧室(4)导引。



1. 一种具有一个用于矿物燃料(B)的燃烧室(4)的直流式锅炉(2), 沿热烟气流向在燃烧室下游通过一水平烟道(6)连接一垂直烟道(8), 该燃烧室(4)包括一定数量按水平烟道(6)的高度布置的烧嘴(30), 燃烧室(4)的外壁(9)由互相气密焊接垂直排列的蒸发管(10)构成, 可分别平行地往多根蒸发管(10)中加入流动介质(S), 在燃烧室(4)的出口区(34), 一些可平行地加入流动介质(S)的蒸发管(10), 在它们进入燃烧室(4)相关的外壁(9)前首先沿水平方向逆热烟气(G)的主流方向(24)地在燃烧室(4)外部延伸, 然后它们进入燃烧室(4)中, 接着, 它们在燃烧室(4)内沿热烟气(G)的主流方向(24)这样回引, 使得只有在经过此回路后, 它们才被焊接到燃烧室(4)的外壁(9)中, 从而使它们成为燃烧室(4)的外壁(9)的一部分。

2. 按照权利要求 1 所述的直流式锅炉(2), 其中, 所述水平烟道(6)的侧壁(12)由互相气密焊接垂直排列可平行地加入流动介质(S)的蒸汽发生器管(16)构成。

3. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 垂直烟道(8)的侧壁(14)由互相气密焊接垂直排列可平行地加入流动介质(S)的蒸汽发生器管(17)构成。

4. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 沿流动介质流向, 分别在多根可平行地加入流动介质(S)的蒸发管(10)上游设有一公共的进口总系统(18)并且在其下游设有一公共的出口总系统(20)。

5. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 沿流动介质流向, 分别在一定数量的可平行地加入流动介质(S)的水平烟道(6)或垂直烟道(8)的蒸汽发生器管(16、17)上游设置一公共的进口总系统(21)并在其下游设置一公共的出口总系统(22)。

6. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 燃烧室(4)的一个外壁(9)是端壁(11), 可平行地往该端壁(9)的蒸发管(10)中加入流动介质(S)。

7. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 燃烧室(4)端壁(11)的蒸发管(10)沿热烟气流向设在燃烧室(4)另一些外壁(9)的上游。

8. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 燃烧室(4)中一定数量的蒸发管(10)的管内径(D), 根据蒸发管(10)在燃烧室(4)内的具体位置来

选择,使得所述直通式蒸汽发生器(2)与所述汽化管(10)不同强度的受热相适应。

9. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 一定数量的蒸发管(10)在其内侧分别带有一些构成多头螺纹的肋片(40)。

5 10. 按照权利要求 9 所述的直流式锅炉(2), 其中, 在垂直于管轴线的平面(42)与设在管内侧上的肋片(40)的侧面(44)之间的螺旋角(α)小于 60° 。

11. 按照权利要求 10 所述的直流式锅炉(2), 其中, 所述螺旋角(α)小于 55° 。

10 12. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 一定数量的蒸发管(10)分别具有一节流器。

13. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 设有一管道系统(19), 用于向燃烧室(4)的蒸发管(10)内供入流动介质(S), 在这里, 为了减小流动介质(S)的流量, 管道系统(19)具有一定数量的节流器。

15 14. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 相邻的蒸发管或蒸汽发生器管(10、16、17)通过鳍板互相气密地焊接, 鳍板宽度根据蒸发管或蒸汽发生器管(10、16、17)在燃烧室(4)、水平烟道(6)和/或垂直烟道(8)内的具体位置选择, 使得可以影响对蒸发管或蒸汽发生器管 (10, 16, 17)的加热。

20 15. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 在水平烟道(6)内按悬挂的结构方式设有一定数量的过热加热面(23)。

16. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 在垂直烟道(8)内设有一定数量的对流加热面(26)。

17. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 烧嘴(58)装在燃烧室(4)的端壁(11)上。

25 18. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 由从燃烧室(4)的端壁(11)到水平烟道(6)的进口区(32)的距离定义的燃烧室(4)长度(L)至少等于满负荷运行时燃料(B)的完全燃烧长度。

30 19. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 燃烧室(4)的长度(L)作为满负荷时的蒸汽产量(M)、燃料(B)火焰(F)的完全燃烧时间(t_A)和/或热烟气(G)从燃烧室(4)排出的出口温度(T_{BRK})的函数, 近似地按照下面两个函数式(I)和(II)来选择:

个函数式(I)和(II)来选择:

$$L(M, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot M) \cdot t_A \quad (I)$$

以及

$$L(M, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4)M + C_5(T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (II)$$

- 5 其中 $C_1 = 8\text{m/s}$ 、 $C_2 = 0.0057\text{m/kg}$ 、 $C_3 = -1.905 \cdot 10^{-4}(\text{m} \cdot \text{s})/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $C_4 = 0.286(\text{s} \cdot \text{m})/\text{kg}$ 、 $C_5 = 3 \cdot 10^{-4}\text{m}/(^{\circ}\text{C})^2$ 、 $C_6 = -0.842\text{m}/^{\circ}\text{C}$ 和 $C_7 = 603.41\text{m}$, 对于一个预先给定的满负荷时的蒸汽产量(M), 燃烧室(4)的长度(L)总是适合采用由这两个函数式得到的值中较大的那个, 其中, 所述长度(L)、蒸汽产量(M)、完全燃烧时间(t_A)和出口温度(T_{BRK})的单位分别是 m、kg/s、s 和 $^{\circ}\text{C}$ 。

- 10 20. 按照权利要求 1 或 2 所述的直流式锅炉(2), 其中, 燃烧室(4)下部区设计为漏斗形(5)。

矿物燃料加热的直流式锅炉

- 5 本发明涉及一种直流式锅炉，它有一个用于矿物燃料的燃烧室，沿热烟气流向其下游通过水平烟道连接垂直烟道，其中，燃烧室的外壁由互相气密焊接垂直排列的蒸发管构成。

- 在具有锅炉的电厂设备中，燃料中所含能量被用于蒸发在锅炉内的流动介质。流动介质通常在一个蒸发循环中流动。由锅炉制备好的蒸汽又可例如
10 规定用于驱动汽轮机和/或用于所连接的一个外部过程。若蒸汽驱动一汽轮机，则通过汽轮机的透平轴通常带动发电机或加工机械。在发电机的情况下，由发电机产生的电流可规定用于馈入联合电网和/或孤立电网。

- 在这里锅炉可以设计为直流式锅炉。由论文“用于本生(Benson)锅炉的蒸发原理”(作者为 J.Franke, W.Koehler 和 E.Wittchow, 公开发表在 VGB
15 Kraftwerkstechnik 73(1993)第 4 期第 352-360 页上)已知一种直流式锅炉。在直流式锅炉中，从加热作为蒸发管的蒸汽发生器管到蒸汽发生器管内流动介质的蒸发在流动介质的一次性直流过程中完成。

- 直流式锅炉通常设计成具有垂直构造的燃烧室。这意味着供有待加热的介质或热烟气流过的燃烧室基本上按垂直的方向设计。沿热烟气流向可在燃
20 烧室下游连接一水平烟道，在这种情况下，热烟气流在从燃烧室过渡到水平烟道时要实施一次转向，以便转到基本上水平的流动方向上来。但这类燃烧室由于温度引起的燃烧室长度改变通常需要一个支架，燃烧室被悬挂在此支架上。这样做在直流式锅炉的制造及装配时引起巨大的工程费用，而且此直流式锅炉的结构高度越大这种费用越高。尤其对于那些在满负荷时蒸汽产量
25 大于 80kg/s 的直流式锅炉来说更是如此。

- 由于直流式锅炉不受压力限制，所以新汽压力允许远大于水的临界压力 ($P_{\text{krit}} = 221\text{bar}$)，此时在液体状介质与蒸汽状介质之间只有微小的密度差。高的新汽压力有利于获得高的热效率并因而有利于让采用矿物燃料加热的电
30 厂实现低的 CO_2 排放，这种电厂例如可用固体形式的烟煤或褐煤作为燃料加热。

基于在直流式锅炉的烟道或燃烧室外壁处出现的管壁或材料温度，对它

们的设计存在特殊的困难。在低于大约 200bar 的亚临界压力范围内,若能保证蒸发管内表面润湿,燃烧室外壁的温度基本上取决于水饱和温度的大小。这例如通过使用在其内侧有某种表面结构的蒸发管达到。为此尤其考虑有内肋的蒸发管,这种蒸发管在直流式锅炉中的使用例如在上面援引的论文中就提到过。这种所谓的肋管,亦即具有加肋内表面的管,从管内壁到流动介质有特别有效的热传导。

经验表明,在直流式锅炉运行时,不同温度的相邻管壁如果它们互相焊接,则在它们之间的热应力是不可避免的。尤其在燃烧室与连接在其下游的水平烟道的连接段存在上述情况,也就是在燃烧室出口区的蒸发管与水平烟道进口区的蒸汽发生器管之间存在热应力。由于这些热应力,直流式锅炉的使用寿命可能显著缩短,在极端的情况下甚至可能发生管子断裂。

因此本发明的目的是提供一种上述类型的矿物燃料加热的直流式锅炉,它只需要特别低的制造和装配费用,而且在它运行时,在燃烧室与其下游的水平烟道连接处的温度差特别小。尤其对于互相直接或间接相邻的燃烧室蒸发管与连接在燃烧室下游的水平烟道的蒸汽发生器管而言更是如此。

本发明的目的这样来实现,即,直流式锅炉有一个燃烧室,而该燃烧室具有一定数量按水平烟道的高度布置的烧嘴,可分别平行地往多根蒸发管中加入流动介质,并且在燃烧室的出口区,一定数量可平行地加入流动介质的蒸发管在它们进入燃烧室相关的外壁前通过燃烧室导引。

本发明考虑问题的出发点是,能用特别低的制造和装配费用制成的直流式锅炉应当有一种可采取简单措施实现的悬挂结构。用较低工程费用制造的用于悬挂燃烧室的支架可与直流式锅炉特别低的结构高度同时实现。通过按水平的结构方式设计燃烧室,可以达到直流式锅炉特别低的结构高度。为此将烧嘴按水平烟道的高度装在燃烧室壁上。因此当直流式锅炉运行时热烟气基本上沿水平的主流方向流过燃烧室。

此外,在具有水平燃烧室的直流式锅炉运行时,应在燃烧室与水平烟道的连接处有特别小的温差,以可靠避免因热应力导致材料早期疲劳。这种温度差尤其在彼此直接或间接相邻的燃烧室蒸发管与水平烟道的蒸汽发生器管之间应当特别小,以便特别可靠地避免在燃烧室出口区和水平烟道进口区内因热应力造成材料疲劳。

但是在直流式锅炉运行时,加入流动介质的蒸发管进口段与连接在燃烧

室下游的水平烟道的蒸汽发生器管的进口段相比有较低的温度。这是因为进入蒸发管内的流动介质与进入水平烟道的蒸汽发生器管中的热流动介质相比较冷。因此在直流式锅炉运行时，蒸发管进口段比水平烟道蒸汽发生器管进口段冷。其结果是必然在燃烧室与水平烟道之间的连接处因产生热应力引起的材料疲劳。

若现在进入燃烧室蒸发管内的不是冷的而是经预热的流动介质，那么在蒸发管进口段与蒸汽发生器进口段之间的温度差便不再如在冷的流动介质进入蒸发管内时那么大。如果通过加热来实现流动介质预热的管子直接与间接或直接地与水平烟道的蒸汽发生器管连接的蒸发管相连或就是该蒸发管的一部分，则还可以更进一步减小此温差。为此，一定数量的蒸发管在其进入燃烧室外壁内之前通过燃烧室导引。在这里，这些一定数量的蒸发管是多根可平行地加入流动介质的蒸发管中的一部分。

水平烟道和/或垂直烟道的侧壁比较有利地由互相气密焊接垂直排列可分别平行地加入流动介质的蒸汽发生器管构成。

比较有利的是分别在燃烧室一定数量并联的蒸发管上游设一公共的进口总系统并在其下游连接一流动介质的公共出口总系统。因为如此设计构造的直流式锅炉可以在一定数量可平行地加入流动介质的蒸发管之间实现可靠的压力平衡，所以在进口总系统与出口总系统之间所有并联的蒸发管具有相同的总压损失。这意味着与受加热较少的蒸发管相比在受加热较多的蒸发管中的流量必须增大。这也适用于可平行地加入流动介质的水平烟道或垂直烟道的蒸汽发生器管，比较有利地是在它们上游连接一个用于流动介质的公共进口总系统并在它们下游连接一个用于流动介质的公共出口总系统。

比较有利地是，可平行地往燃烧室端壁的蒸发管中加入流动介质，并且这些蒸发管沿流动介质流向连接在构成燃烧室侧壁的那些外壁的蒸发管的上游。由此保证特别有利地冷却燃烧室被强烈加热的端壁。

按照本发明的另一项有利设计，燃烧室中一定数量蒸发管的管内径根据蒸发管在燃烧室内的具体位置来选择。以此方式使蒸发管在燃烧室内与可由热烟气预定的加热剖面相适配。通过由此造成的对蒸发管流量的影响，特别可靠地使得在燃烧室各蒸发管出口处流动介质的温度差保持得特别小。

为了将燃烧室的热量特别有效地传输给在蒸发管内流动的流动介质，比较有利的是一定数量的蒸发管在其内侧分别具有一构成多头螺纹的肋。在这

种情况下比较有利的是，在垂直于管轴线的平面与设在管内侧上的肋的侧面之间的螺旋角 α 小于 60° ，优选小于 55° 。

在一根被加热的设计为无内肋的蒸发管，即所谓光滑管的蒸发管内，从某一个蒸汽含量起，管壁为了特别有效地热传导所需的润湿便不再能保持。

5 在润湿不足的情况下可能存在局部干燥的管壁。向这种干燥管壁的转变将导致一种具有恶化的热传导特性的所谓传热危机，所以通常在这种部位的管壁温度特别强烈地上升。但是现在在有内肋的蒸发管内，与光滑管相比，这种传热危机只有在蒸汽质量含量 > 0.9 时，亦即在蒸发结束前不久才出现。这一结果归诸于流动介质通过螺旋形肋流动时获得的涡旋扭转。由于离心力不同，使水的部分与蒸汽部分分离并被输送在管壁上。因此直至高的蒸汽含量均保持管壁润湿，从而在有传热危机的地点已经存在高的流速。这促使尽管

10 有传热危机仍有比较良好的热传导，其结果是降低了管壁温度。

燃烧室一定数量的蒸发管比较有利地具有用于减小流动介质流量的装置。在这种情况下业已证明特别有利的是，这些装置设计为节流器。节流器

15 可例如装入蒸发管内，它们在有关蒸发管内部的一个位置减小了管的内径。在这里业已证明有利的是，用于减小流量的装置也设在一个包括多根平行管道的管道系统中，流动介质可通过此管道系统供入燃烧室的蒸发管内。在这种情况下，此管道系统也可以连接在可平行地加入流动介质的蒸发管进口总系统的上游。在管道系统的一根或多根管道内可例如设置节流配件。借助这

20 些用于减小通过蒸发管的流动介质流量的装置，可以使得通过各蒸发管的流动介质流量与它们在燃烧室内具体的受加热状况相适配。由此特别可靠地进一步使蒸发管出口处流动介质的温度差保持得特别小。

相邻的蒸发管或蒸汽发生器管在其纵侧比较有利地借助金属带，即所谓的鳍板(Flossen)互相气密地焊接。这些鳍板可以在管子的生产过程中就已经

25 与此管固定连接并与这些管一起构成一个单元。由一根管和鳍板构成的单元也可称为鳍板管(Flossenrohr)。鳍板宽度影响蒸发管或蒸汽发生器管内的加热量。因此鳍板宽度优选地根据该蒸发管或蒸汽发生器管在直流式锅炉内的具体位置与热烟气方面可预定的加热剖面相适应。在这里作为加热剖面可以采用一种由实验值确定的典型的加热剖面，或也可采用一种粗略的估计，例如

30 是一种台阶状的加热剖面。通过恰当地选择鳍板宽度，即使在不同的蒸发管或蒸汽发生器管受加热明显不一样的情况下，也能在所有的蒸发管或蒸汽发

生器管内按这样的方式实现加热, 即, 使得在各蒸发管或蒸汽发生器管出口处流动介质的温度差保持得特别小。以此方式可靠防止由于热应力引起材料的提前疲劳。由此使这种直流式锅炉具有特别长的使用寿命。

- 比较有利地是在水平烟道内设置一定数量的过热加热面, 它们基本上垂直于热烟气的主流方向布置以及它们用于流过流动介质的管子并联。这些按悬挂的结构方式设置的、也称为舱壁加热面的过热加热面主要通过对流被加热, 并沿流动介质方向连接在燃烧室的蒸发管下游。由此保证特别充分地利用热烟气热量。

- 垂直烟道优选具有一定数量的对流加热面, 它们由基本上垂直于热烟气主流方向布置的管子构成。对流加热面的这些管子为让流动介质流过进行并联。这些对流加热面主要也是通过对流来加热。

为进一步保证特别充分地利用热烟气的热量, 垂直烟道优选具有一燃料节省器。

- 比较有利地是将烧嘴装在燃烧室的端壁上, 也就是布置在燃烧室与去往水平烟道的流出口处于相对位置的那个端壁上。如此设计的直流式锅炉可通过特别简单的方式与矿物燃料的完全燃烧长度相适应。在这里, 矿物燃料的完全燃烧长度指的是, 在规定的平均热烟气温度下沿水平方向的热烟气速度与矿物燃料火焰的完全燃烧时间 t_A 的乘积。对于具体的直流式锅炉, 最大的完全燃烧长度在直流式锅炉的满负荷情况下, 亦即在所谓的满负荷运行时的锅炉蒸发量 M 下得出。矿物燃料火焰的完全燃烧时间 t_A 则是例如平均尺寸的煤粉粒在规定的平均热烟气温度下完全燃烧所需要的时间。

- 为了使得例如因受高温熔融的灰对水平烟道的材料造成的损伤和不希望的污染保持得特别小, 由端壁到水平烟道进口区的间距定义的燃烧室长度比较有利地至少等于直流式锅炉满负荷运行时矿物燃料的完全燃烧长度。燃烧室的这一水平长度通常至少等于从漏斗上边缘(若燃烧室下部区是设计为漏斗状的)测量到燃烧室盖得到的燃烧室高度的 80 %。

- 为了特别充分地利用矿物燃料的燃烧热, 燃烧室的长度 L (以 m 计)有利地作为满负荷时直流式锅炉的蒸汽产生量 $M(kg/s)$ 、矿物燃料火焰的完全燃烧时间 $t_A(s)$ 以及热烟气从燃烧室排出的出口温度 $T_{BRK}(^{\circ}C)$ 的函数进行选择。在这种情况下, 当给定满负荷时的直流式锅炉的蒸汽产生量 M 时, 燃烧室的长度 L 近似地适用两个函数式(I)和(II)中的较大值:

$$L(M, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot M) \cdot t_A \quad (I)$$

以及

$$L(M, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4)M + C_5(T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (II)$$

其中 $C_1 = 8\text{m/s}$, $C_2 = 0.0057\text{m/kg}$, $C_3 = -1.905 \cdot 10^{-4}(\text{m} \cdot \text{s})/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, $C_4 = 0.286(\text{s} \cdot \text{m})/\text{kg}$, $C_5 = 3 \cdot 10^{-4}\text{m}/(^{\circ}\text{C})^2$, $C_6 = -0.842\text{m}/^{\circ}\text{C}$, 以及 $C_7 = 603.41\text{m}$.

在这里“近似地”的意思是允许燃烧室的长度 L 偏离通过相关的函数式确定的值 $\pm 20\%/-10\%$.

燃烧室的下部区优选设计为漏斗形。以此方式在直流式锅炉运行过程中矿物燃料燃烧时产生的灰可以非常方便地排出, 例如引入设在漏斗下方的除灰器中。矿物燃料在这里可涉及固体形式的煤。

采用本发明获得的优点主要在于, 通过使一些蒸发管在其进入燃烧室外壁之前经由燃烧室导引, 使得在直流式锅炉运行时, 在紧邻燃烧室与水平烟道连接部位处的周围温度差特别小。因此, 在直流式锅炉运行时, 由于在直接相邻的燃烧室蒸发管与水平烟道的蒸汽发生器管之间的温度差而在燃烧室与水平烟道连接处引起的热应力, 便远低于例如存在管子断裂危险时的值。因此在直流式锅炉内使用水平的燃烧室也可以有比较长的使用寿命。此外, 通过针对基本上水平的热烟气主流方向来设计燃烧室, 使直流式锅炉有特别紧凑的结构方式。在将此直流式锅炉装入具有汽轮机的电厂中时, 这也就允许从直流式锅炉到汽轮机的连接管特别短。

下面借助附图进一步说明本发明的实施例, 附图中:

图 1 示意表示按双通道结构方式设计的矿物燃料加热的直流式锅炉侧视图;

图 2 示意表示一单根蒸发管的纵剖面;

图 3 示出一个绘有六条特性曲线 K_1 至 K_6 的坐标系;

图 4 示意表示燃烧室与水平烟道的连接; 以及

图 5 示出一个绘有四条特性曲线 U_1 至 U_4 的坐标系。

在所有的附图中彼此对应的部件采用相同的附图标记来表示。

图 1 所示用矿物燃料加热的直流式锅炉 2 配属于一个没有进一步示出的电厂设备, 电厂内还包括汽轮机装置。此直流式锅炉 2 设计成在满负荷时的蒸汽产量为至少 80kg/s 。在直流式锅炉 2 内产生的蒸汽用于驱动汽轮机, 此

汽轮机本身又去驱动发电机发电。发电机产生的电流规定馈入联合电网或孤立电网。

用矿物燃料加热的直流式锅炉2包括一个按水平结构方式设计的燃烧室4，就热烟气而言在燃烧室下游通过水平烟道6连接有一垂直烟道8。燃烧室4的下部区由一个漏斗5构成，它有一个与具有端点X和Y的辅助线对应的上边缘。在直流式锅炉2运行时，矿物燃料B的灰可通过漏斗5排入设在其下方的除灰器7中。燃烧室4的外壁9由互相气密焊接垂直排列的蒸发管10构成，其中，可往一定数量的N根蒸发管中平行地加入流动介质S。在这里，燃烧室4的一个外壁9是端壁11。除此之外，水平烟道6的侧壁12或垂直烟道8的侧壁14也是由互相气密焊接垂直排列的蒸汽发生器管16或17构成。在这种情况下，可分别平行地往一定数量的蒸汽发生器管16或17中加入流动介质S。

就流动介质而言，在燃烧室4中一定数量的蒸发管10的上游连接一用于流动介质S的进口总系统18，并在其下游连接一出口总系统20。进口总系统18包括一定数量相互并联的进口总管。为了将流动介质S供入蒸发管10的进口总系统18内采用一管道系统19。该管道系统19包括多根相互并联的管道，它们分别与进口总系统18的进口总管之一连接。

以相同的方式，在水平烟道6侧壁12可平行地加入流动介质S的蒸汽发生器管16的上游连接一公共的进口总系统21，并在其下游连接一公共的出口总系统22。为了将流动介质S供入蒸汽发生器管16的进口总系统21内，同样采用一管道系统19。此管道系统也包括多根并联的管道，它们分别与进口总系统21的进口总管之一连接。

采用这种具有进口总系统18、21和出口总系统20、22的直流式锅炉2的设计，在燃烧室4并联的蒸发管10之间或在水平烟道6并联的蒸汽发生器管16之间可以按这样的方式实现特别可靠的压力平衡，即，使得所有并联的蒸发管10或蒸汽发生器管16有相同的总压损失。这意味着，与受加热较少的蒸发管10或蒸汽发生器管16相比，受加热较多的蒸发管10或蒸汽发生器管16中的流量必须增加。

如图2所示，蒸发管10具有一个管内径D并在其内侧具有肋40，这些肋片构成一种多头螺纹并有肋高C。在垂直于管轴线的平面42与设在管内侧上的肋40的侧面44之间的螺旋角 α 小于 55° 。由此达到从蒸发管10的

内壁向在蒸发管 10 内流动的流动介质 S 特别良好的热传导，并与此同时实现管壁特别低的温度。

燃烧室 4 蒸发管 10 的管内径 D 根据蒸发管 10 在燃烧室 4 内的具体位置选择。以此方式使直流式锅炉 2 适应于蒸发管 10 不同强度的加热。燃烧室 4 蒸发管 10 的这种设计，特别可靠地保证在各蒸发管 10 出口处的流动介质 S 具有很小的温度差。

作为用于减小流动介质 S 流量的装置是在一部分蒸发管 10 内设计有节流器，这在附图中没有进一步表示。这些节流器设计为在一个部位缩小管内径 D 的孔板，并在直流式锅炉 2 运行时促使在受热较少的蒸发管 10 内的流动介质 S 流量降低，由此使流动介质 S 的流量与加热状态相匹配。

此外，一根或多根图中没有进一步表示的管道系统 19 的管道配备有节流器、尤其是节流配件，作为减少蒸发管 10 内流动介质 S 流量的装置。

相邻的蒸发管或蒸汽发生器管 10、16、17 按图中没有进一步表示的方式在其纵侧通过鳍板互相气密地焊接。通过恰当地选择鳍板宽度可以影响蒸发管或蒸汽发生器管 10、16、17 的加热。因此具体的鳍板宽度与热烟气可预定的加热剖面相适配，加热剖面取决于相关蒸发管或蒸汽发生器管 10、16、17 在直流式锅炉 2 中的位置。在这里加热剖面可以是一种由经验值确定的典型的加热剖面，或也可以是一种粗略的估计。由此使蒸发管或蒸汽发生器管 10、16、17 出口处的温度差即便在蒸发管或蒸汽发生器管 10、16、17 受加热程度差异很大时也能保持得特别小。以此方式可靠地防止由于热应力引起材料疲劳，其结果是保证直流式锅炉 2 有特别长的使用寿命。

在为水平结构的燃烧室 4 布置管道时应当考虑到，互相气密焊接的各蒸发管 10 在直流式锅炉 2 运行时的受加热状况差别很大。因此，蒸发管 10 在其内肋、与相邻蒸发管 10 连接用的鳍板及其管内径 D 等方面的设计应按这样的方式选择，即，使所有的蒸发管 10 尽管受加热程度不同但仍有基本上相同的流动介质 S 出口温度，并保证所有蒸发管 10 对于直流式锅炉 2 各种运行状态均能充分地冷却。与此同时，一些在直流式锅炉 2 运行时受到较少加热的蒸发管 10 可通过装入节流器另外得到考虑。

在燃烧室 4 内蒸发管 10 的管内径 D 根据其在燃烧室 4 内的具体位置选择。在直流式锅炉 2 运行时受到更强烈加热的蒸发管 10 的管内径 D 比在直

流式锅炉 2 运行时受加热较少的蒸发管 10 有更大的管内径 D 。因此, 与具有相同管内径的情况相比, 在具有较大管内径 D 的蒸发管 10 内可以达到增加流动介质 S 的流量的目的, 并因此减小由于加热不同引起的蒸发管 10 出口处的温度差。另一项使蒸发管 10 的流动介质 S 的流量与加热适配的措施, 5 是在部分蒸发管 10 内和/或在规定用于供入流动介质 S 的管道系统 19 内装入节流器。反过来为了使加热与通过蒸发管 10 的流动介质 S 的流量相适配, 鳍板宽度可根据蒸发管 10 在燃烧室 4 内的位置选择。上述所有的措施保证在直流式锅炉 2 运行时尽管各蒸发管 10 的加热差别很大但在蒸发管 10 内流动的流动介质 S 仍有大体相同的单位吸热量, 并因而使各蒸发管出口处的流动介质 S 只有小的温度差。蒸发管 10 的内肋按这样的方式设计, 即在直流式锅炉 2 所有的负荷状态下, 尽管流动介质 S 的流量及其受加热程度不同, 10 仍能保证蒸发管 10 特别可靠的冷却。

所述水平烟道 6 具有一些设计为舱壁加热面的过热加热面 23, 它们按悬挂的结构方式基本上垂直于热烟气 G 的主流方向 24 布置, 并且它们用于 15 流过流动介质 S 的管分别并联。过热加热面 23 通常被对流加热, 并且就流动介质而言连接在燃烧室 4 蒸发管 10 的下游。

垂直烟道 8 具有一些主要可通过对流被加热的对流加热面 26, 它们由基本上垂直于热烟气 G 主流方向 24 排列的管构成。这些管为了流过流动介质 S 分别并联。此外在垂直烟道 8 内装有一燃料节省器 28。垂直烟道 8 出口侧通入另一个换热器, 例如通入一空气预热器, 并从那里经一个滤尘器通 20 入烟囱。这些连接在垂直烟道 8 下游的构件在附图中没有进一步表示。

具有水平燃烧室 4 的直流式锅炉 2 设计成有特别低的结构高度, 并因而只需特别少的制造和装配费用。此外, 直流式锅炉 2 的燃烧室 4 具有一定数量用于矿物燃料 B 的烧嘴 30, 它们按水平烟道 6 的高度装在燃烧室 4 的端 25 壁 11 上。在这里, 矿物燃料 B 可以是固体燃料, 尤其是煤。

为了使矿物燃料 B 、例如固体形式的煤, 特别完全地燃烧以获得特别高的效率, 以及为了特别可靠地防止水平烟道 6 沿热烟气流向的第一个过热加热面 23 例如由于进入高温的熔融灰造成材料受损和被污染, 燃烧室 4 的长度 L 应这样选择, 即, 使此长度大于在直流式锅炉 2 处于满负荷运行状态下 30 时矿物燃料 B 的完全燃烧长度。在这里, 长度 L 是从燃烧室 4 的端壁 11 到水平烟道 6 进口区 32 的距离。矿物燃料 B 的完全燃烧长度定义为在规定的

平均热烟气温度下沿水平方向的热烟气速度与矿物燃料B火焰F完全燃烧时间 t_A 的乘积。对于具体的直流式锅炉2, 最大的完全燃烧长度在该直流式锅炉2满负荷运行时得出。矿物燃料B火焰F的完全燃烧时间 t_A 则是例如平均尺寸的煤粉粒在规定的平均热烟气温度下完全燃烧所需要的时间。

- 5 为保证特别充分地利用矿物燃料B的燃烧热, 燃烧室4的长度(以m计)根据热烟气G从燃烧室4排出的出口温度 $T_{BRK}(^{\circ}C)$, 矿物燃料B火焰F的完全燃烧时间 t_A 和满负荷时直流式锅炉2的蒸汽产量 $M(kg/s)$ 恰当地选择。在这里, 燃烧室4的水平长度L至少等于燃烧室4高度H的80%。此高度H从图1中用具有端点X和Y的辅助线标示的燃烧室4漏斗5的上边缘测量到燃烧室盖。燃烧室4的长度L近似地通过函数式(I)和(II)确定:

$$L(M, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot M) \cdot t_A \quad (I)$$

以及

$$L(M, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4)M + C_5(T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (II)$$

- 其中 $C_1 = 8m/s$, $C_2 = 0.0057m/kg$, $C_3 = -1.905 \cdot 10^{-4}(m \cdot s)/(kg^{\circ}C)$, C_4
15 $= 0.286(s \cdot m)/kg$, $C_5 = 3 \cdot 10^{-4}m/(^{\circ}C)^2$, $C_6 = -0.842m/^{\circ}C$, 以及 $C_7 = 603.41m$ 。

- 此处的“近似”是指允许燃烧室4的长度L偏离通过相关的函数式确定的值+20%/-10%。在针对一个预定的直流式锅炉2满负荷时的蒸汽产量M设计此直流式锅炉2时, 燃烧室4长度L适合采用由函数式(I)和(II)得出的值
20 中较大的那个。

作为直流式锅炉2可能的设计的举例, 在按图3的坐标系中示出了六条曲线 K_1 至 K_6 , 表示燃烧室4的长度L与满负荷时直流式锅炉2蒸汽产量M的关系。其中下列参数分属于这些曲线:

- $K_1: t_A = 3S$ 按(I);
25 $K_2: t_A = 2.5S$ 按(I);
 $K_3: t_A = 2S$ 按(I);
 $K_4: T_{BRK} = 1200^{\circ}C$ 按(II);
 $K_5: T_{BRK} = 1300^{\circ}C$ 按(II);
 $K_6: T_{BRK} = 1400^{\circ}C$ 按(II)。

- 30 因此, 为了确定燃烧室4的长度L, 例如对于矿物燃料B火焰F的完全燃烧时间 $t_A = 3S$ 以及热烟气G从燃烧室4流出的出口温度 $T_{BRK} = 1200$

℃, 使用曲线 K_1 和 K_4 。由此在预先给定直流式锅炉 2 满负荷运行时的蒸汽产量 M 时

当 $M = 80\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_4 得出长度 $L = 29\text{m}$,

当 $M = 160\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_4 得出长度 $L = 34\text{m}$,

5 当 $M = 560\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_4 得出长度 $L = 57\text{m}$ 。

也就是始终适用表示为实线的曲线 K_4 。

而对于矿物燃料 B 火焰 F 的完全燃烧时间 $t_A = 2.5\text{s}$, 以及从燃烧室排出的热烟气 G 的出口温度 $T_{\text{BRK}} = 1300^\circ\text{C}$, 则例如适用曲线 K_2 和 K_5 。由此在预先给定满负荷直流式锅炉 2 的蒸汽产量 M 的情况下

10 当 $M = 80\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_2 得出长度 $L = 21\text{m}$,

当 $M = 80\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_2 和 K_5 得出长度 $L = 23\text{m}$,

当 $M = 560\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_5 得出长度 $L = 37\text{m}$ 。

也就是说在 $M < 180\text{kg/s}$ 时适用表示为实线的部分曲线 K_2 , 而不适用在此 M 值范围内画成虚线的曲线 K_5 。而当 $M > 180\text{kg/s}$ 时, 则适用表示为实线的部分曲线 K_5 , 而不适用在此 M 值范围内画成虚线的曲线 K_2 。

15 配属于矿物燃料 B 火焰 F 的完全燃烧时间 $t_A = 2\text{s}$ 以及热烟气 G 从燃烧室 4 排出的出口温度 $T_{\text{BRK}} = 1400^\circ\text{C}$ 的例如是曲线 K_3 和 K_6 。由此在直流式锅炉 2 满负荷时蒸汽产量 M 给定的情况下

当 $M = 80\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_3 得出长度 $L = 18\text{m}$,

20 当 $M = 465\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_3 和 K_6 得出长度 $L = 21\text{m}$,

当 $M = 560\text{kg/s}$ 时, 按曲线 K_6 得出长度 $L = 23\text{m}$ 。

也就是当 M 值 $< 465\text{kg/s}$ 时, 适用在此范围内表示为实线的曲线 K_3 , 而不适用在此范围内表示为虚线的曲线 K_6 。对于大于 465kg/s 的 M 值则适用表示为实线的部分曲线 K_6 , 而不适用表示为虚线的部分曲线 K_3 。

25 为了在直流式锅炉 2 运行时在燃烧室 4 的出口区 34 与水平烟道 6 的进口区 32 之间产生比较小的温度差, 蒸发管 50 和 52 按特殊的方式在图 1 中标出的连接段 Z 内导引。在图 4 中详细表示了此连接段 Z, 它包括燃烧室 4 的出口区 34 和水平烟道 6 的进口区 32。在这里, 蒸发管 50 是燃烧室 4 外壁 9 直接与水平烟道 6 侧壁 12 焊在一起的蒸发管 50, 以及蒸发管 52 是燃烧室 4 外壁 9 与蒸发管 50 直接相邻的蒸发管 52。

30 这两根蒸发管 50 和 52 与和它们并联的蒸发管 10 一起从公共的进口总

系统 18 引出。但接着蒸发管 50 和 52 首先基本上沿水平方向逆热烟气 G 主流方向 24 地在燃烧室 4 外部延伸，然后它们进入燃烧室 4 中，现在，在它们进入燃烧室 4 时它们并未立即成为燃烧室 4 外壁 9 的组成部分。也就是说它们在燃烧室 4 内沿热烟气 G 的主流方向 24 回引到这样一个区域，亦即曾经在这个区域内它们曾在燃烧室 4 外部通过弯折基本上垂直于燃烧室延伸，亦即逆热烟气 G 的主流方向 24 延伸。只有在经过此回路后，它们才焊入燃烧室 4 的外壁 9 内，从而使它们成为燃烧室 4 外壁 9 的一部分。

采用这种特殊的管子导引方式，在直流式锅炉 2 运行时在蒸发管 50 和 52 进入燃烧室 4 外壁 9 之前对它们进行预热。也就是在直流式锅炉 2 运行时加热并因而预热了在蒸发管 50 和 52 中流动的流动介质 S，所以此流动介质具有比燃烧室 4 中与蒸发管 50 和 52 直接相邻的那些蒸发管 10 内的流动介质更高的温度地进入燃烧室 4 外壁 9 内。通过这种特殊的导引蒸发管 50 和 52 的方式，在直流式锅炉 2 运行时，蒸发管 50 和 52 在进口段 E 内有比燃烧室 4 外壁 9 中与它们直接相邻的那些蒸发管 10 更高的温度。因此在直流式锅炉 2 运行时，在燃烧室 4 与水平烟道 6 之间的连接部位 36 处的温度差特别可靠地保持为特别小。

作为在燃烧室 4 的蒸发管 10 内或在水平烟道 6 的蒸汽发生器管 16 内流动介质 S 可能的温度 T_s 的举例，在按图 5 的坐标系中示出了曲线 U_1 至 U_4 ，表示一些温度 $T_s(^{\circ}\text{C})$ 与相对管长 $R(\%)$ 的关系。其中 U_1 说明水平烟道 6 内的一根蒸汽发生器管 16 的温度变化曲线。 U_2 则说明一根蒸发管 10 沿其相对管长 R 的温度变化曲线。 U_3 表示特殊导引的蒸发管 50 的温度变化曲线，以及 U_4 表示燃烧室 4 外壁 9 蒸发管 52 的温度变化曲线。借助于图示曲线可以清楚看出，通过蒸发管 50 和 52 的这种特殊导引，在燃烧室 4 外壁 9 内的进口段 E 中，与水平烟道外壁 12 的蒸汽发生器管 16 的温度差可以显著减小。在此例中，蒸发管 50 和 52 的温度在蒸发管 50 和 52 的进口段 E 中可以提高 45K。因此，当直流式锅炉 2 运行时，保证在燃烧室 4 与水平烟道 6 之间的连接部位 36 处，在蒸发管 50 和 52 进口段 E 内的流体介质与在水平烟道 6 的蒸汽发生器管 16 内的流体介质有特别小的温度差。

在直流式锅炉 2 运行时，向烧嘴 30 供入矿物燃料 B，优选为固体形式的煤。在这里烧嘴 30 的火焰 F 水平定向。通过燃烧室 4 的这种水平构造方式，造成在燃烧时产生的热烟气 G 的流动基本上沿水平的主流方向 24。热

烟气经水平烟道6进入基本上朝向地面定向的垂直烟道6，并朝着图中未进一步表示的烟囱方向离开垂直烟道。

5 进入燃料节省器28中的流动介质S到达直流式锅炉2燃烧室4蒸发管10的进口总系统18内。在直流式锅炉2燃烧室4中垂直排列互相气密焊接的蒸发管10内发生流动介质S的蒸发以及必要时部分过热。由此产生的蒸汽或水汽混合物收集在流动介质S的出口总系统20内。蒸汽或水汽混合物从那里经水平烟道6和垂直烟道8的壁进入水平烟道6的过热加热面23中。在此过热加热面23中蒸汽被进一步过热，然后蒸汽被供给一用户，例如用于驱动汽轮机。

10 通过特殊地导引蒸发管50和52，使得在直流式锅炉运行时在燃烧室4出口区34与水平烟道6进口区32之间的温度差特别小。在这种情况下，通过根据直流式锅炉2满负荷时蒸汽产量M选择燃烧室4的长度L，保证特别可靠地充分利用矿物燃料B的燃烧热。此外，直流式锅炉2由于其极小的结构高度和紧凑的结构方式，只需特别低的制造和装配费用。在这里可以采用一个可用较低的工程费用制成的支架。此外，在包括汽轮机和具有这种小结构高度的直流式锅炉2的电厂设备中，从直流式锅炉到汽轮机的连接管可设计得特别短。

15

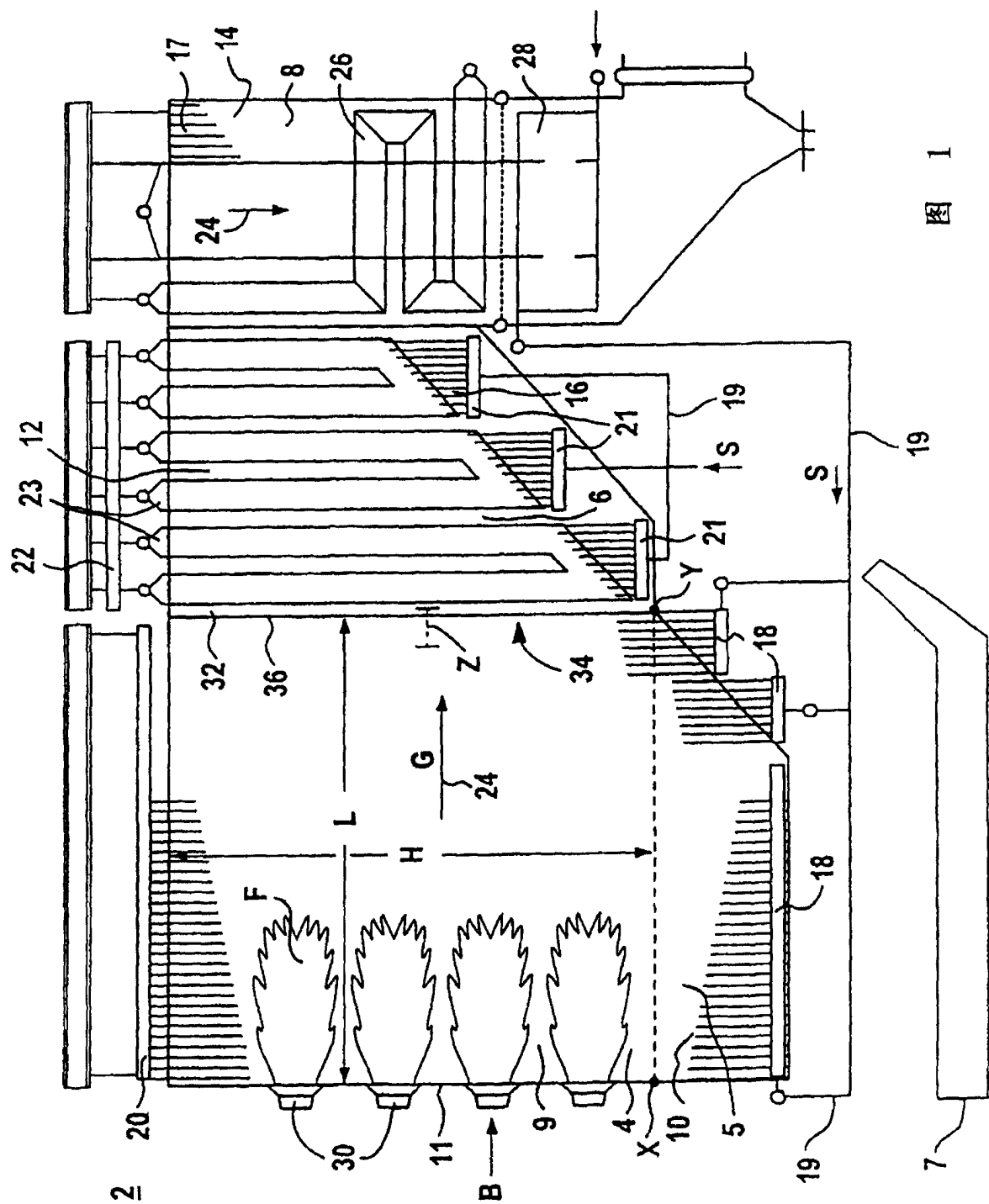


图 1

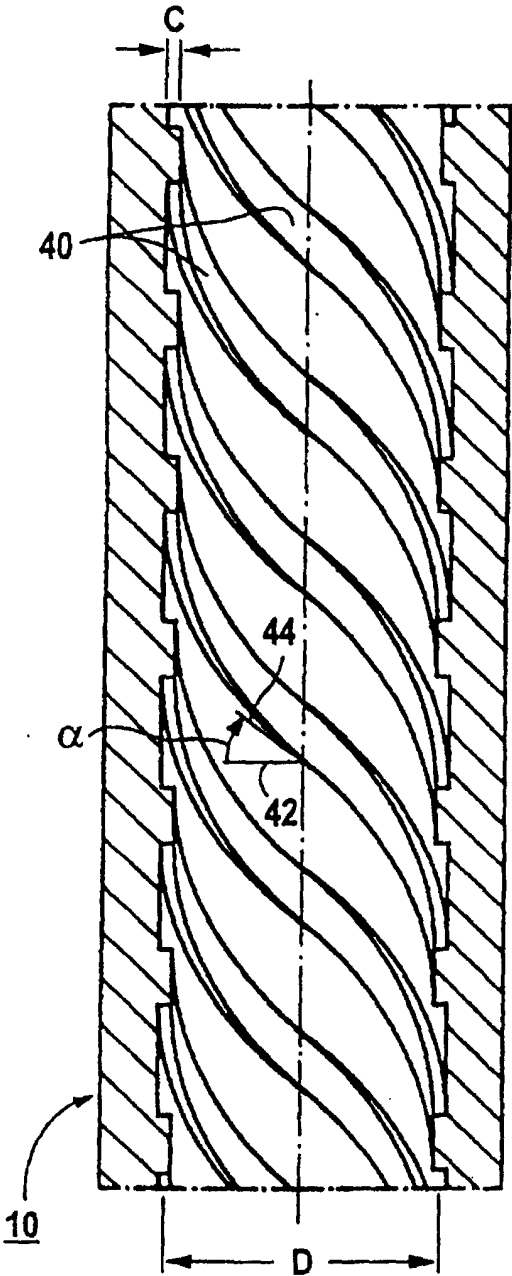


图 2

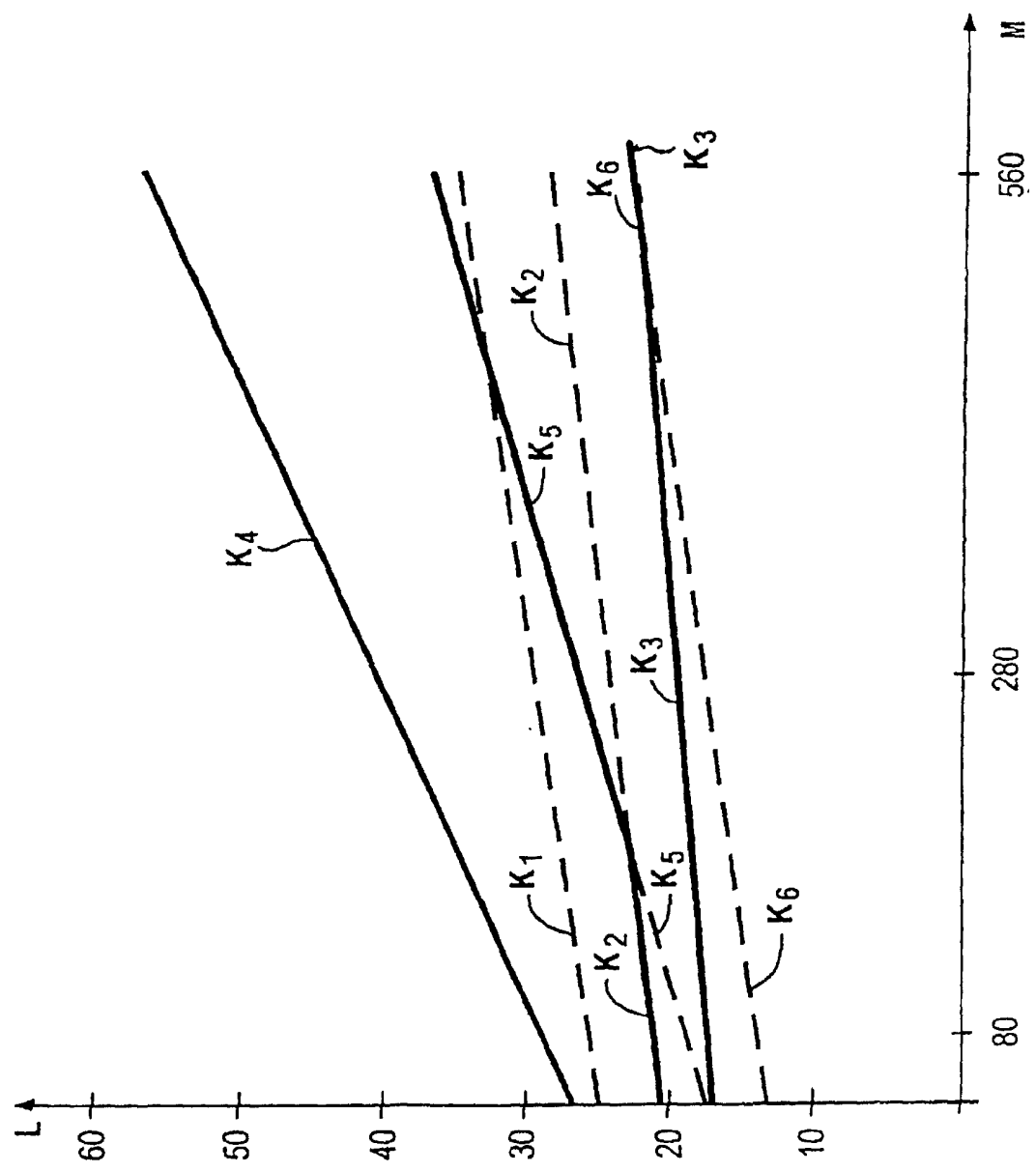


图 3

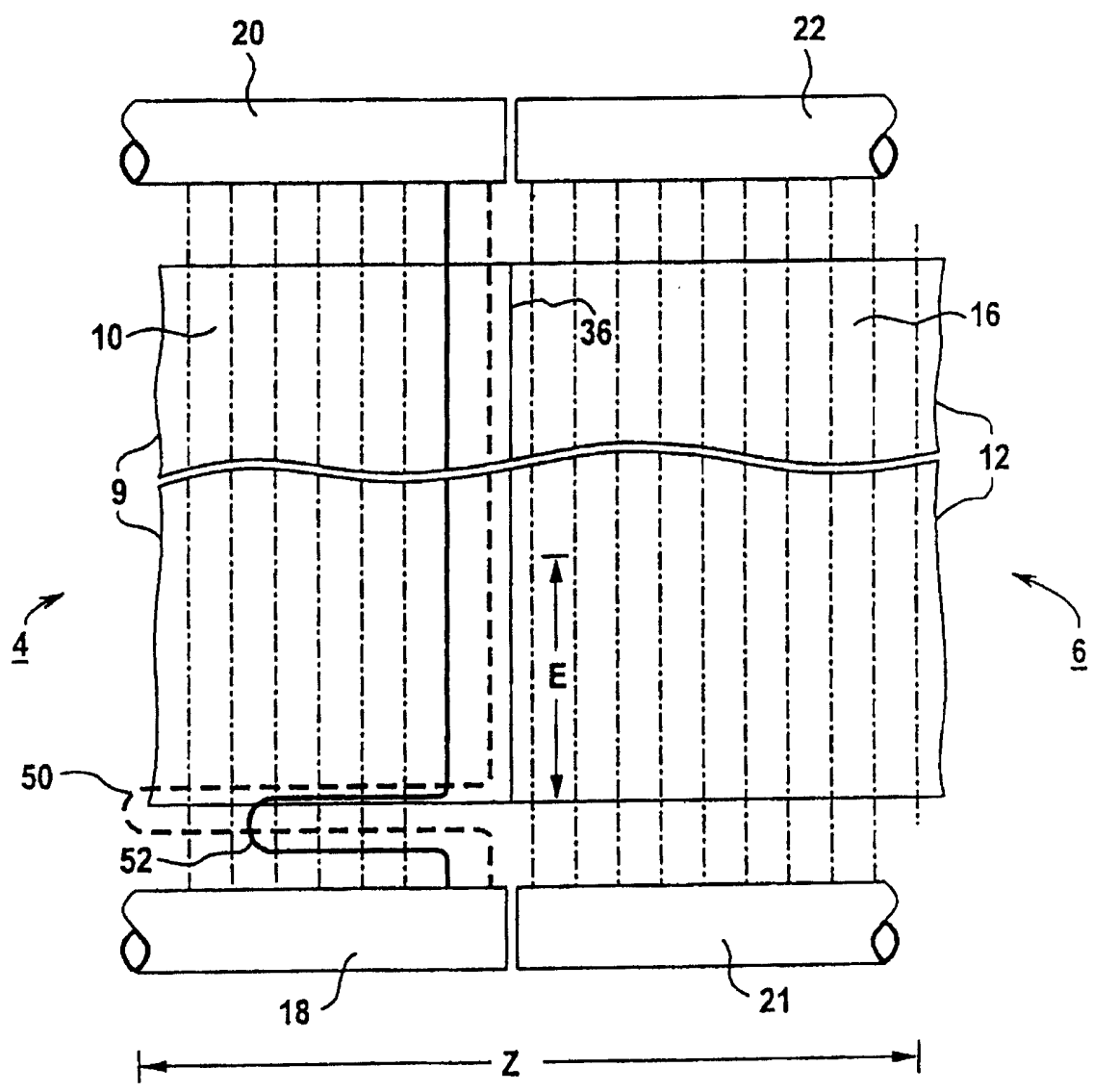


图 4

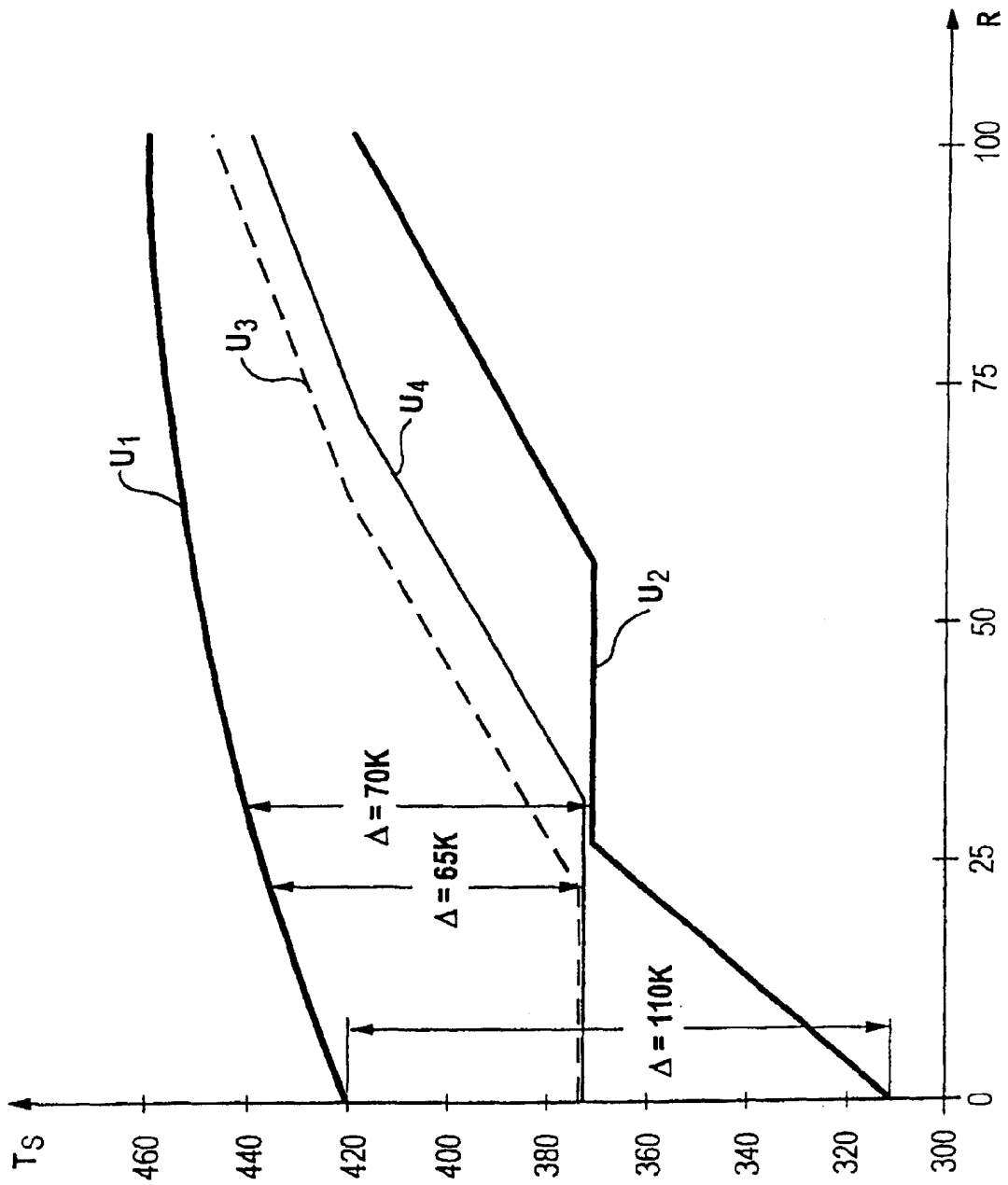


图 5