

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C03B 37/02

C03C 25/10

G02B 6/00



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03109167.9

[45] 授权公告日 2005 年 12 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1233577C

[22] 申请日 2003.4.4 [21] 申请号 03109167.9

[30] 优先权

[32] 2002. 4. 8 [33] FR [31] 0204344

[71] 专利权人 阿尔卡特公司

地址 法国巴黎市

[72] 发明人 奥若林·里昂 丹尼斯·舒姆佩尔

奥立维尔·舒尔巴赫

杰恩-弗朗索瓦·鲍立斯

审查员 卢立明

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

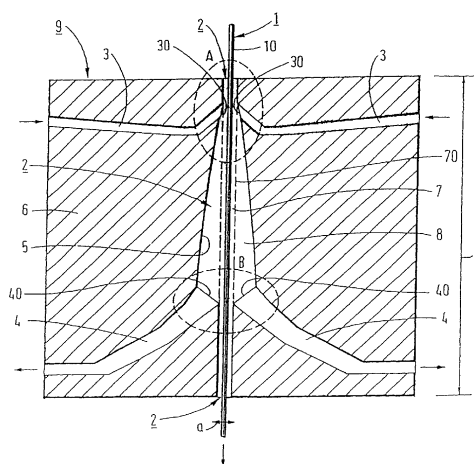
代理人 张 维

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 3 页

[54] 发明名称 光纤冷却管

[57] 摘要

本发明公开了一种光纤冷却管。这种光纤冷却管包括适于光纤通过的内腔以及一组沿冷却管分布的注气管。注气管开口于内腔，其取向和光纤的移动方向相反。



ISSN 1008-4274

1. 一种光纤冷却管，包括一个适于光纤通过的内腔，和一组沿冷却管分布的注气管，注气管形成于内腔的壁中并且开口于所述内腔的壁的内表面，其取向与光纤的移动方向相反。

2. 根据权利要求 1 所述的光纤冷却管，其特征在于，内腔的横截面在注气管处足够窄，以使在冷却管使用时，光纤所带动的气体的边界层的外表面距内腔的壁较距光纤的外表面要近。

3. 根据权利要求 1 所述的光纤冷却管，其特征在于，冷却管还包括沿冷却管分布的一组抽气管，抽气管开口于内腔内，其取向和光纤的移动方向相反，至少有三个注气管组，每个注气管组中有一根或多根注气管，注气管组与抽气管组沿冷却管交替分布，至少有三个抽气管组，每个抽气管组有一根或多根抽气管，冷却管朝外界的开口只有注气管、抽气管以及冷却管的端部。

4. 根据权利要求 1 所述的光纤冷却管，其特征在于，内腔在注气管处的横截面足够窄，以使光纤所带动的气流的边界层的外表面距内腔的壁较距光纤的外表面要近，并且冷却管中还有一组沿冷却管分布的抽气管，抽气管开口于内腔内，其取向和光纤移动的方向相反，至少有三个注气管组，每个注气管组中有一根或多根注气管，注气管组和抽气管组沿冷却管方向交替布排，至少有三个抽气管组，每个抽气管组中有一根或多根抽气管，冷却管向外界的开口只有注气管、抽气管以及冷却管的端部。

5. 根据权利要求 3 或 4 的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，每组注气管或包括一根注气管，或包括相对于冷却管有相同的轴向位置和规则分布的径向位置的多根注气管，每组抽气管或包括一根抽气管，或包括相对于冷却管有相同的轴向位置和规则分布的径向位置的多根抽气管。

6. 根据权利要求 3 或 4 的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，

所有的注气管都和一条共同的供气管连接，并且所有的抽气管都和一条共同的排气管连接。

7.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，加宽内腔，在每组注气管与每组抽气管之间形成一个室。

5 8.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，变窄内腔，在每组注气管和每组抽气管之间形成一个瓶颈。

9.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，每根注气管和每根抽气管间沿冷却管方向的距离小于100mm。

10 10.根据权利要求9所述的光纤冷却管，其特征在于，每根注气管与每根抽气管在沿冷却管方向的距离在10mm至50mm之间。

11.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，在冷却管中至少有十组抽气管，其中至少有一半抽气管组距冷却管端部较远，其抽取的气体或直接重新注入或进行循环，并且对于处在离冷却管端部最近的至少每个抽气管组，其抽取的气体既不
15 直接重新注入，也不循环。

12.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，冷却管由多个模块构成，每个模块中只有一组注气管和一组抽气管。

13.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，注气管处的内腔的横截面的面积在 3mm^2 到 10mm^2 之间。
20

14.根据权利要求3或4的任一项所述的光纤冷却管，其特征在于，注气管的开口为长形，沿冷却管的轴向开口有较长的尺寸，在冷却管的横截面方向开口有较小的尺寸。

15.根据权利要求14所述的光纤冷却管，其特征在于，较大尺寸
25 是较小尺寸的一倍半到四倍。

16.根据权利要求15所述的光纤冷却管，其特征在于，较长尺寸是较小尺寸的两到三倍。

17.根据权利要求14所述的光纤冷却管，其特征在于，较小尺寸小于1mm。

18.根据权利要求 14 所述的光纤冷却管，其特征在于，较大尺寸在 1mm 到 5mm 之间。

19.根据前述权利要求 1 所述的光纤冷却管，其特征在于，注入角在 30 度到 60 度之间。

5 20. 根据权利要求 19 所述的光纤冷却管，其特征在于，注气角为 45 度。

光纤冷却管

5 技术领域

本发明涉及的是光纤冷却管领域，即用于在拔制光纤时对光纤进行冷却的冷却管的方面。

背景技术

10 光纤是用放在炉中的坯料经拔丝而得到的。在出炉时，光纤的温度很高，在其温度没有下降到约 600℃之前不能对它进行快速冷却。而且在光纤上还要加外包层，只有当光纤的温度低于 100℃时，典型值接近 70℃时才能涂制这层外包层。光纤冷却管通常处在炉口到光纤外包层涂制装置之间，其功能是在很短的距离内，典型的是小于
15 4m 甚至 2m 的距离内，将可以达到很高拔丝速度（例如拔丝速度大于或等于 1500 米每分钟（mpm））的光纤的温度大大降低，典型的是从 500℃降至 100℃以下。在拔丝时，由于冷却距离很短，而拔丝速度很高，因此拔丝时光纤处于冷却管的时间就很短，典型值在十分之几秒的量级上，这就意味着需要使用效率特别高的冷却管。这
20 样的冷却管使用的是热导率大于空气的气体，典型的是氦气，然而也可考虑使用别的气体。拔丝越快，为达到特定的冷却效率所需要的氦气流速就越快。

第一种现有技术中的冷却管是用于低速拔丝的，其包括一个围绕光纤的距离为 3m 到 4m 的拉长的腔，将氦气从该腔的入口端注入这个腔。消耗氦气是情理之中的事，而每分钟不超过几十升。然而，
25 此种管子长，且在拔丝速度提高时效率降低。

第二种现有技术中的冷却管，例如为美国专利 4761168 所描述的冷却管，是用于较大的拔丝速度的。这份文献提出冷却管的一种特殊结构，在冷却管的大的腔中布满凸起，用来干扰光纤带动的边界

层 (boundary layer)，简单地叫做边界层。事实上，在拔丝时，光纤以一定的速度穿过冷却管，并带动最近的气体层随着它以近似相同的速度移动，正是这层气体被称为边界层，其延伸的程度和拔丝的速度特别有关。这种边界层具有如下缺点：一方面它主要由空气组成，而空气的热导率低于氦气；另一方面使处在光纤和冷却管的腔壁之间的剩余气体通过扩散混合得很少，这就在很大程度上降低了光纤和注入的氦气之间的热交换的效率。然而，对于高的拔丝速度，典型值在 1500mpm 到 1800mpm 之间，冷却就要迅速消耗非常多的氦气，假设这种冷却能够在短的冷却距离中保持充分的效率。

10

发明内容

本发明提出一种基于特别有益于高的拔丝速度的提高冷却效率的冷却管的方案。这种冷却管具有一种特殊的结构，用来沿冷却管，并和光纤移动的方向相反的方向反复注入氦气。

15 根据本发明的光纤冷却管具有一个适于光纤通过的内腔和一组注气管，这些注气管沿冷却管分布，开口于所述的内腔内，且取向和光纤移动的方向相反。

为使注入的氦气的量在和光纤进行热交换方面达到最优，就是说，为了能够尽可能早，尽可能经常地用冷的氦气首先将空气换出，然后将热了的氦气换出，根据本发明的冷却管的特殊性结构有下列两个特征中的至少一个：一方面，在注气管处的内腔壁距边界层要近，以使尽可能有效地注入冷的氦气；另一方面注气管和抽气管都是沿着光纤移动方向的反方向交替布排的，以使效率更高地将空气和热的氦气抽出。这种交替布排是和少量的外部开口相结合的，以使注入到冷却管中的空气很少。本发明所提出的冷却管可以和现有技术冷却管有相同的长度但效率更高；或和现有技术的冷却管有相同的效率但要短，还可以是介于前述的两种可能性的中间。用短的冷却管是有好处的，因为这可以降低拔丝炉所需的高度。

25 根据本发明，最好冷却管内腔具有在注入管处足够窄的横截面，

以使当冷却管使用时，光纤在这个部分所携带的气流的边界层的外表面距内腔的壁比其距光纤的外表面还近。冷却管还包括一组抽气管，所有的抽气管沿冷却管布排，开口于冷却管的内腔，取向和光纤的移动方向相反。冷却管还包括注气管组，每个冷却管至少有三个注气管组，每个注气管组中有一个或多个注气管，注气管组和抽气管组沿冷却管交替布排，每个冷却管至少有三个抽气管组，每个抽气管组中有一个或多个抽气管。冷却管向外的开口只有注气管、抽气管和冷却管的端部。

另外，根据本发明，还要设计内腔的横截面在注入管处足够窄，以使在冷却管使用时，在这里光纤所带动的气流的边界层的外表面距内腔壁较距光纤的外表面还要近。

另外，根据本发明，冷却管还包括一组沿冷却管分布的抽气管，抽气管都开口于冷却管内腔，并沿着和光纤移动方向相反的方向取向。冷却管还具有注气管组，每个冷却管至少有三个注气管组，每个注气管组有一个或多个注气管，注气管组和抽气管组沿冷却管交替布排，每个冷却管至少有三个抽气管组，每个抽气管组中有一个或多个抽气管，冷却管向外的开口只有注气管、抽气管和冷却管的端部。

附图说明

借助于后面作为示例的描述和附图将更容易地理解本发明的其他特征和好处，其中：

图 1 示意性地示出根据本发明的冷却管的一个优选实施方式，这个冷却管是由多个叠层的模块组成的。

图 2 示意性地示出图 1 所示冷却管中的诸模块中的一个。

图 3 示意性地示出光纤和周围气流间的热交换效率沿根据本发明的一个实施方式的冷却管的演化。

具体实施方式

图 1 示意性地示出根据本发明的冷却管的一个优选实施方式, 这个冷却管是由多个叠层的模块组成的。为简单明晰起见, 在图 1 中仅示出四个模块, 而实际的一根冷却管中经常有更多的模块, 约半米长的管内有大约十二个模块是合适的。当冷却管使用时, 一根光纤 1 从上到下通过冷却管, 光纤 1 端部的箭头表示出光纤的移动方向, 如图 1 所示, 从上到下。光纤 1 在冷却管的内腔 2 中移动。各个模块 9 例如是用接口处的密封系统一个接一个组接起来, 使得各模块之间的连接处是密封的。为简明起见, 在图 1 中没有画出众所周知的榫连接系统和密封连接系统。然而, 外面的空气可以从冷却管的两端进入内腔 2, 就是说, 光纤 1 进入第一个模块 9 的入口处和光纤 1 伸出最后一个模块 9 的出口处。将冷却管分成多段甚至数量很多的短段的模块 9 是有好处的。一方面单个的模块 9 制造容易, 另一方面在安装时可以通过选择首尾连接的模块 9 的数量来选择冷却管的长度, 另外对冷却管的维护也方便。每个模块 9 上有多个开口于内腔 2 的注气管 3, 这些注气管相对于冷却管有相同的轴向位置, 相对于冷却管有规则的径向分布, 使得注气管 3 在垂直于光纤 1 的截面内的分布相对于光纤 1 是轴对称的, 而其整体构成了注气管组。在图 1 中每个模块只有一个注气管组, 每组只有两个注气管 3。所有的注气管 3 的取向都是和光纤 1 的移动方向相反, 取向向上的方向而不是向下的方向。让注气管 3 的取向和光纤 1 的移动方向相反是为了更好地干扰边界层, 特别是在边界层处用冷的氦气取代空气或热的氦气。所说的冷的氦气例如是在室温下的氦气, 就是说具有冷却管外部介质的温度。每个模块 9 上有多个抽气管 4, 开口于内腔 2 的它们的开口处, 相对于冷却管有相同的轴向位置, 且相对于冷却管有规则的径向分布, 其整体构成一个抽气管组。在图 1 中, 每个模块上只有一组抽气管, 每个抽气管组有两根抽气管 4。所有的抽气管的取向都和光纤 1 的移动方向相反。事实上向上较向下为好。使抽气管 4 的取向和光纤 1 的移动方向相反是为了更为有效地驱走空气或热的氦气, 特别是滞留在边界层处的空气或热的氦气。注气管 3

和抽气管 4 有同样的取向。所有位于冷却管的同一侧的注气管 3，例如在光纤 1 的左侧或右侧的注气管 3，最好和同一条供气管（画中未画出）连接。所有位于冷却管的同一侧的抽气管 4，例如在光纤的左侧或右侧的抽气管 4，最好是和同一条排气管（图 1 中未画出）相连接。

图 2 示意性地示出图 1 所示冷却管的模块中的一个模块的截面图。用截面图所示出的模块是以光纤 1 的轴线呈轴对称的，其外形例如可以为平行六面体或圆柱体。在注气管 3 和在抽气管 4 中的气流的方向用箭头示出。当冷却管工作时，具有外表面 10 的光纤 1 沿图 2 所示的模块的对称轴穿过这个模块，构成这个模块的材料 6 为热的良导体，例如为金属。从中垂直地穿过内腔 2，内腔的截面可以沿模块的轴向有变化。从上到下，内腔 2 的截面先为一个保持不变的窄小的截面，然后在注气管 3 的入口 30 处变宽，形成室 8，最后在抽气管 4 的开口 40 处又重新变窄并保持不变直到模块的出口处。内腔 2 的横截面是内腔在和垂直光纤 1 的平面内的截面。虚线 7 象征性地示出向下移动的光纤 1 所带动的边界层，光纤 1 的移动方向用光纤 1 端部的箭头表示出来。在图 2 所示的模块中，内腔 2 的截面和具有外表面 70 的边界层 7 的截面有相同的量级，这仅对于拔丝速度范围内的情况是正确的，因为边界层 7 的长度随着拔丝的速度而增大，此处内腔 2 的截面和边界层 7 的截面对于大于或等于 1500mpm 的拔丝速度有相同的量级。因此，边界层 7 的外表面 70 距内腔 2 的壁 5 比距光纤 1 的外表面 10 更接近。注气管 3 在开口于内腔 2 的壁 5 处的开口 30 处弯曲并和其开口 30 的取向相反。和注气管 3 和抽气管 4 的壁相似，内腔 2 的壁 5 用材料 6 中的冷的液体流循环冷却，例如用冷水冷却，因为其在现有技术中已知，这里没有画出。抽气管 4 在其在内腔 2 的壁 5 处的开口处弯曲，且取向和开口 40 处的方向相反。注气管 3 和抽气管 4 在到达内腔 2 处时和光纤 1 成约 45 度角。用虚线示出的区 A 为注气区，而用虚线示出的区 B 为抽气区。

在冷却管使用时，气流在模块内依下面的方式循环：一段光纤 1

进入内腔 2 便随着它带进了包着它的一段边界层 7，这个边界层 7 在第一段模块的入口处为空气，在第二段和第三段模块的入口处为空气和热的氮气的混合气体，而在第四段及以后各段的模块的入口处是热的氮气及极微量的空气，而通常将最后两三段模块除外，在最后的两三段模块处，空气可能从冷却管的端部渗漏进去。冷的氮气被注入注入气管 3，通过开口 30 注入到光纤 1 附近的室 8，就是说注入到 A 区，来自注气管 3 的冷的氮气将边界层 7 截断，并在边界层处取代了那里的大部分空气和/或热的氮气。在室 8 处边界层 7 中冷的氮气明显地提高了光纤 1 和其周围气体之间的热交换效率。

在室 8 的出口处，即在区 B 处，在室 8 入口处注入到边界层 7 的冷的氮气已被加热并在室 8 中扩散，其中的一部分通过开口 40 进入抽气管 4 被抽离室 8，只有一部热的氮气仍残留在边界层 7 内继续在内腔 2 内向下朝下面一段模块的入口方向移动。通过加宽内腔 2 的横截面得到的室 8，将 B 区处的抽气管 4 的效率优化，然而在整个模块的高度上内腔 2 的截面除去 A 区和 B 区都是同样大的，而在 A 区和 B 区加大，上述大小不变的截面也应该受到正视，并和图 3 相适应。这种同样大小的截面使得冷的氮气的注入更好，就是说冷的氮气更好地渗到边界层 7 中，虽然这是以 B 区在一定程度上降低了对热的氮气的抽取效率为代价的。在一个好的数据的例子中，一段模块的高度 H 大约为 40mm，而对于拔丝速度约为 1500mpm 到 1800mpm 或更高的速度的直径为 125 μ m 的光纤来说其边界层 7 的直径约为 2mm。边界层的长度尤其和拔丝的速度以及限制边界层 7 的内腔 2 的大小有关。注气管 3 的开口和抽气管 4 的开口都是圆形的，注气管的直径为 0.5mm，每个注气管 3 在其开口 30 处的截面较边界层 7 的横截面要小。

图 3 示意性地示出沿根据本发明的一个实施方式的冷却管的长度方向上光纤室和其周围氮气之间热交换效率的演化。在图 3 的曲线中，曲线的各点都用小圆环表示。横轴表示沿冷却管的轴线方向，即沿光纤 1 的方向的高度，单位为米。曲线 h 示出沿冷却管方向的

第一个 20 厘米。曲线 h 是模拟的结果，没有表示出实例的值。效率 h 的单位为瓦特每平方米即开尔文。示出的冷却管段两部分的总效率实际上是和示出曲线 h 之下的面积直接相关的，即和曲线的积分相关。这条曲线 h 对应于高度为 40mm 的模块、1800mpm 的拔丝速度、

5 10 升每分钟 (lpm) 的注气流量和 5lpm 的抽气流量,且每个冷却管有 12 个模块的情况。曲线 h 以多个峰 P1 至 P5 以及多个略微下降的平坦区 L1 至 L5 为特征。各个峰 P1 至 P5 是和各注气管 3 开口于内腔 2 的注气区 A 相对应的。将边界层 7 截断使得在冷的氦气注入区 A 的效率比其他处高出许多，但是距离很短；各个峰 P1 至 P5 较平坦

10 区 L1 至 L5 不仅高许多，而且窄得多。峰的高度及平坦区的平均高度沿着冷却管的方向逐步增高，就是说（例如），峰 P3 较峰 P2 为高，而峰 P2 又较峰 P1 为高，而平坦区 L3 的平均高度较平坦区 L2 的平均高度为高，而平坦区 L2 的平均高度又较平坦区 L1 的平均高度为高；一个平坦区较另一个平坦区提高的高度越来越小，在第三

15 个平坦区 L3 以后几乎变得可以不计。从平坦区 L1 到平坦区 L3 的平均高度的增量对应于用氦气换去边界层中的空气，从第四个模块开始，空气在内腔 2 中实际上已经近乎于消失。根据第二种现有技术的冷却管的效率是 AA'，大约仅相当于根据本发明的冷却管的效率的四分之一。具有和根据第二种现有技术的冷却管相同的效率，根

20 据本发明的冷却管所消耗的氦气量则要例如除以 6，或许除以更大的数。

第二种现有技术的冷却管是建立在干扰边界层 7 的理念上的，而本发明试图截断边界层 7，并在边界层 7 用由冷的氦气构成的新的气流取代由空气和/或是热的氦气所构成的旧的气流，而且是沿整个冷

25 却管多次，最好是有规律的间隔。注气管沿冷却管分布，就是说注气管沿冷却管分布在轴线的不同位置上，最好是沿管的长度方向均匀分布，就是说在冷却管的轴向或长度方面的间隔是周期性的。这里指出，可以用热导率大于空气的其他气体取代氦气，气体注入时的温度远远低于空气的温度。在拔丝速度为 1500mpm 的情况下，相

当于在冷却管入口处的温度为 600°C ，使用根据第二种现有技术的冷却管系统，要正确冷却光纤，在 2m 的长度上需要 250lpm 的流量，而使用根据本发明的冷却管系统，要获得相等的效率仅需要 40lpm 的氮气，作为比较，这相当于在室温下的 7m 的等效冷却长度。这明显看出截断边界层较单纯的对边界层的干扰要有效得多。也可以增加在根据本发明的冷却管系统中的流量而将冷却管的长度缩短到 1.5m 而保持相同的效率，例如用约半米长的管子三根首尾连接而不是用四根。使用更短的冷却长度就相应地降低拔丝炉的高度。

在根据有本发明的第一优选实施方式中，一方面内腔 2 的横截面在注气管 3 处足够窄，以使为光纤 1 所带动的气体的边界层 7 的外表面 70 距室 8 的壁 5 比距光纤 1 的外表面 10 更近；另一方面在冷却管中还有抽气管 4，沿冷却管长度方向上分布，开口于内腔 2 中，其取向和光纤 1 的移动方向相反。至少有三个注气管组，每个注气管组中有一根或多根注气管 3，注气管组和抽气管组沿冷却管长度方向交替布排，至少有三个抽气管组，每组有一根或多根抽气管 4。冷却管向外界的开口只有注气管 3、抽气管 4 以及冷却管的两个端部。在第一种实施方式中，注气管 3 经常并且最好是有规律地将边界层 7 截断，而抽气管 4 反复地而最好是有规律地抽去了边界层 7 的大部分。因此，在边界层 7 的绝大部分地方，首先是空气为氮气迅速取代，然后热的氮气被冷的氮气反复最好是有规律地所取代。将冷却管向外的口开得最小，使得在不靠近冷却管端部的大部分模块中循环的氮气不被污染或很少被污染。这就使得氮气只需少量净化操作就可再循环利用，或无需净化就能进行纯粹的简单的重新注入。空气在相应的室 8 中在实际上是没有的。

在根据本发明的第二实施方式中，内腔 2 在注气管 3 处的横截面足够的窄，使得在冷却管工作时由光纤 1 带动的气体的边界层 7 的外表面 70 距内腔 2 的壁 5 较距光纤 1 的外表面 10 为近。事实上，为了切断边界层并使冷的氮气大量渗入边界层 7 以取代热的氮气或残留的空气，氮气流注入要快，并要接近光纤 1，为此一方面注气

管 3 的入口 30 相对地要小，以能在保持合理流量的情况下注入的速度高，另一方面注气管 3 的入口 30 距光纤 1 要近。然而，如果内腔的截面过窄，光纤 1 可能遇上的很小的横向偏移就可能遭到不可救治的损伤，特别是会断裂。当内腔 2 具有大的截面时，距光纤 1 很近的入口 30（典型的是穿过长通路进入内腔 2 的注气管的开口）得到的结果就较差，原因是在光纤 1 和模块的材料 6 间的气体厚度较大，其结果是降低了光纤 1 和冷却管材料 6 之间通过其间的氦气进行热交换的效率。因此，注气管 3 最好是开口在内腔 2 的壁 5 处，而不要伸进内腔 2 内。在本发明的一个优选数字例子的情况下，拔丝速度为 1500mpm，边界层的直径约为 2mm，内腔 2 的横截面最好为圆形，横截面的直径在 2mm 到 3.9mm 之间，在注气管处内腔的横截面的表面积约在 3mm^2 到 10mm^2 之间。

在根据本发明的第三实施方式中，在冷却管中还有一组抽气管 4，其沿冷却管分布，开口于内腔 2 内，其开口的取向和光纤 1 的移动方向相反，冷却管中还有注气管组，一根冷却管至少有三个注气管组，每个注气管组中有一根或多根注气管 3，注气管组与抽气管组 4 沿冷却管交替布排，一根冷却管至少有三个抽气管组，每个抽气管组中有一根或多根抽气管 4，冷却管向外界的开口只有各注气管 3、各抽气管 4 以及冷却管的两个端部。抽气管 4 的作用在于将残留的空气或热的氦气排出。注气管组和抽气管组的规则的交替布排使得能有规则地抽走所在处释放出来的热氦气以能接着注入冷的氦气。抽气管的另一个作用是将氦气净化和冷却以后，或是单纯地将氦气冷却后重新注入循环使用，以在给定流量的情况下节约消耗的氦气的数量，因为向冷却管外部逸散要损失氦气。净化主要是除去残留的空气，特别是残留的氧气。减少冷却管向外界的开口使得内腔 2 只有在冷却管端部才会沾染空气，这样，使位于冷却管中间部分的模块所注入的是纯净的且是简单的氦气，或是只进行稍微的净化即可再循环的氦气。作为示例，在图 3 中对应的第一实施方式中，在第五个单元后的残留的氧气的比例是很小的，小于 0.01%。将氦气循

环或再注入到例如冷却管中间模块的至少一半模块，对于在给定流量的条件下减少氮气的用量是非常重要的，这就大大降低了冷却的费用，因此降低了拔丝方法的费用。

最好，注气管 3 的开口 30 具有长的形状，沿冷却管轴的方向所述开口 30 的尺寸较大，就是说在冷却管使用时在光纤 1 的方向尺寸较大；而在冷却管的横截面的方向开口的尺寸较小，即在冷却管使用时和光纤 1 相垂直的方向尺寸较小。这样注入的冷氮气流就沿光纤 1 的方向集中，而不是象在圆形出口的情况下，有部分在距光纤较远处注入，后一种情况效率较低。和圆形开口相比，在小截面大流量的情况下，对于相同的总流量，长形开口还具有注入气流沿光纤 1 的长度方向分布的好处，因而振动较小。较大尺寸与较小尺寸相比最好在一倍半到四倍之间，在两倍到三倍之间则更为有利，这样使得在保持一个合理的流量的情况下注入氮气的效率更为提高，并避免尺寸过小，因为过小的尺寸是有多种缺陷的。较小尺寸小于 15 1mm 是有利的，较大尺寸在 1mm 至 5mm 之间是有利的。作为示例较小尺寸取 0.5mm，而较大尺寸取 1.5mm，开口 30 的形状可以是长方形或椭圆形。开口 30 为长形较圆形具有的好处在于加大了图 3 中峰 P1 至 P5 的宽度，这是有利的，因为这些峰很高但太窄，而这样就能增大曲线 h 的积分，因而也就可以增大光纤 1 和它周围的气流间的热交换的总效率，因此增大了冷却管对光纤 1 的冷却效率。这种长形的开口 30 同样可以用于本发明冷却管以外的别的冷却管。

最好，为了用最为高效最为完全的方式截断边界层，注气角要在 30 度到 60 度之间，例如等于约 45 度。这里所说的注入角是注气管 3 在其开口 30 处的取向。当注入角接近 90 度时，例如为 75 度时，25 光纤 1 移动的速度矢量和注入的冷氮气的位移速度对于截断边界层 7 而结合的有效性差。当注入角接近于 0 度，例如为 15 度时，注入的冷的氮气在到达光纤 1 之前流动的距离太长，对注入角的优化的好的折衷在 45 度附近。

最好在冷却管中至少有十组抽气管组，例如为 12 组，而且为了

有至少一半的抽气管组处于离冷却管端部较远的地方，例如是处在最中间的六个抽气管组，抽出的气流或者直接再注入，这时可能混有一定比例的纯净氮气以保证注入的流量，或者是进行循环。与此同时，对于至少是处在最接近冷却管某一个端部的抽气管组，例如

5 处在每个最端头的三组抽气管，抽出的气流既不直接重新注入也不直接循环。其原则如下：对于循环在处在足够靠中间的模块的内腔 2 内的气流，很少或没有为空气所污染，将这种气流重新注入或循环是有利的，而对于位于离外界足够近的一个模块的内腔 2 内循环的气流，基本上被空气污染，将这种气流淘汰是有利的。这样至少有一

10 一部分用过的氮气没有损失，可以以很低的代价重新使用。

最好，述及的冷却管是用数量相对多而相对小的模块组成，每个模块中只有一组注气管组和一组抽气管组，这样还使冷却管的制造、清洗和操作更方便，并优化了对光纤 1 的冷氮气的注入和从光纤 1 的附近将热氮气抽出之间的热交换距离，使得在氮气和光纤 1 之间的

15 的热交换效率更高。因此将抽气管和注气管之间沿冷却管方向上的距离选择在小于 100mm，最好在 10mm 到 50mm 之间，这对应于模块大约在 20mm 到 60mm 之间的高度 H，将冷却管分成模块还使得用不同数量的完全相同的模块可以制成不同长度的冷却管，而只需要相对低的额外代价。将冷却管分成模块还使得当拔丝速度低于使用

20 所有模块完成冷却需要的正常速度时，可以通过停止氮气流动，使某些模块失去作用。根据本发明的一个优选数字示例，模块的大小，即它的高度 H 为 40mm，相应的整个冷却管的长度中有十二个模块，冷却管大约有半米长，而冷却的高度大约为 2m，使用四个冷却管串联是方便的，它们之间可以焊接，也可以不焊接，每根冷却

25 管约有半米长，用于一个拔丝炉上。亦可使用一个含有五十来个模块的约 2 米长的冷却管。

最好，每个注气管组是由一个注气管 3 或是由多个相对于冷却管有同样的轴向位置且相对于冷却管有规则的径向分布的注气管 3 组成的，而每组抽气管组也是由一根抽气管或是由多根相对于冷却管

有相同的轴向位置且相对于冷却管有规则的径向分布的抽气管组成。在各组中只有一根管的情况下，最好同一种类型的管道—注气管或抽气管—沿冷却管交替出现，通过补偿（即稍微增加或减小）在一根管道的位 5 置上施于光纤 1 的力，以避免光纤 1 的过大的振动而造成的危害。为了避免光纤 1 的过大的振动的危害，要抵消掉管道在同一位置施于光纤 1 的力，最好是在每组管中有多根管道，就是说两根或更多根，在冷却管使用时，这些管道相对于光纤 1 的轴线、即相对于冷却管的轴线是轴对称的。

最好，为了简单地制造和维护冷却管，所有的注气管 3 都和一条共用的供气管连接，而所有的抽气管 4 都和一条共同的排气管连接， 10 这样就能令每根注气管 3 和抽气管 4 的本身的长度最小。

在图 2 中，为了将每组注气管和抽气管之间的空气或热的氦气抽出，将内腔扩宽以形成一个室。抽气效率的改善的实现是建立在注气效率的降低上面的，相反为了优先考虑注气的效率并提高它，在 15 每组注气管和每组抽气管之间的内腔要缩小，以构成一个窄狭的瓶颈。

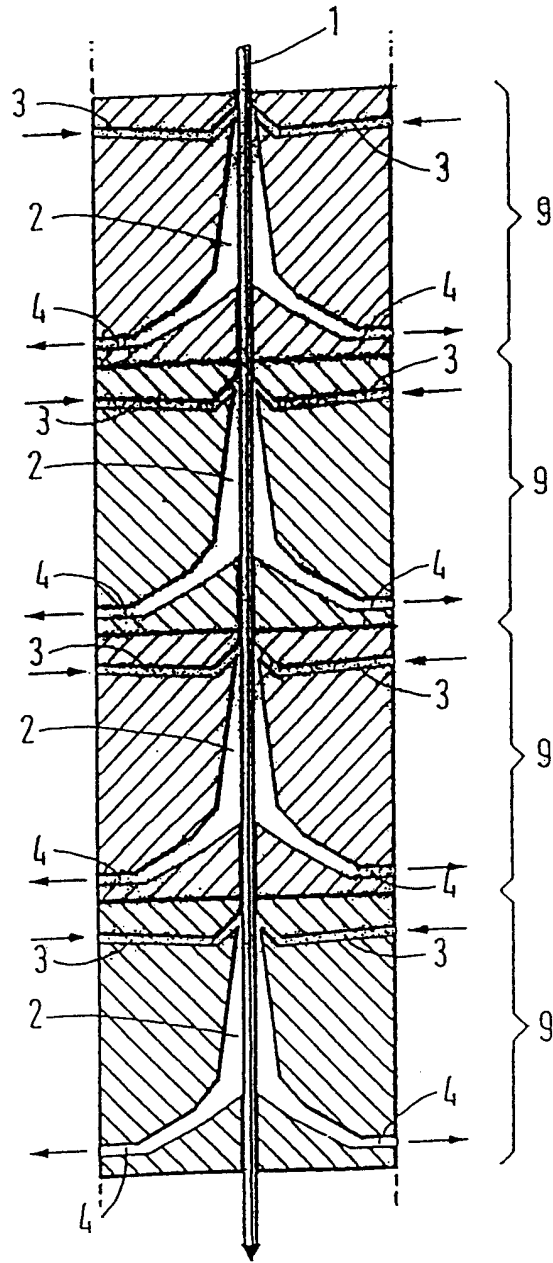


图 1

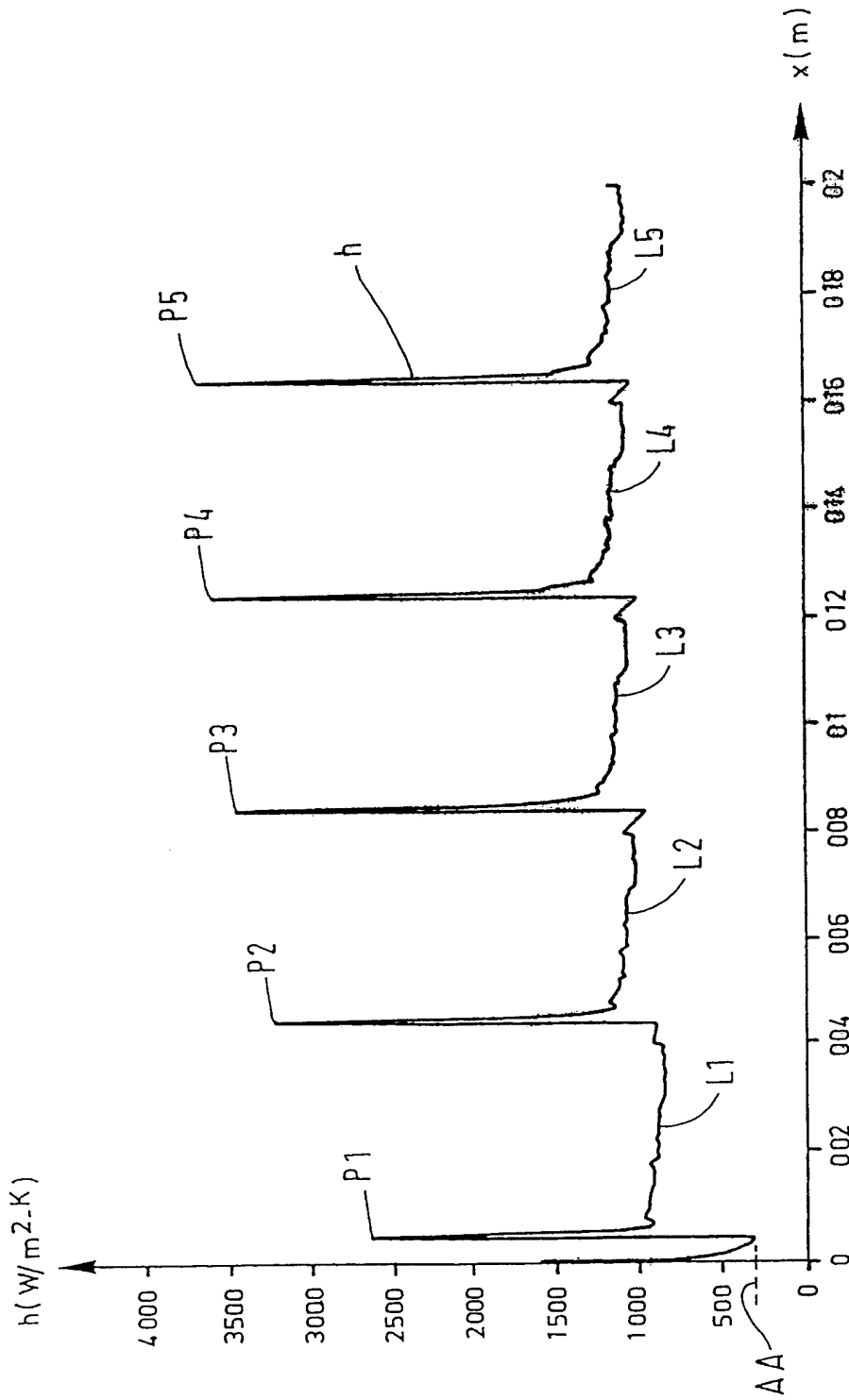


图 3