

带增材标记的空芯微结构光纤、预制棒及拉丝检测方法

技术领域

本发明属于光通信领域，更具体地，涉及带增材标记的空芯微结构光纤、预制棒及拉丝检测方法。

背景技术

空芯微结构光纤具有结构简单、空芯单模导光、传输谱宽的特点，在光与填充物质相互作用、非线性光学、气体检测、气体激光产生、光流体技术等领域都具有重要的应用；大空气孔纤芯导光具有超低的瑞利散射、低非线性系数、色散可调特性，可以提供更高的激光损伤阈值，使其在高功率激光传输、紫外/中红外光传输、脉冲压缩和光孤子传输等方面有潜在的应用；空气芯的超低损耗、低色散、低非线性、接近光速的传播速度，可实现空芯微结构光纤通信传输及通信器件的开发，为下一代超大容量、低延迟、高速光通信系统的建设发展奠定基础。

即使空芯微结构光纤在设计和应用方面有很大优势，然而其传输损耗一直高于传统的石英光纤，近年发现基于反谐振原理的空芯微结构光纤在合理的结构设计之下，能有效减小传输损耗，具有作为超长距离通信光纤的潜力。进一步降低衰减，是空芯微结构光纤制造领域的一个重要课题。

虽然已知的空芯反谐振光纤，特别是具有嵌套结构元件的光纤，能够显著降低光纤的衰减，但是在空芯反谐振光纤制造过程中，其与现有的实心光纤具有本质上的区别。空芯微结构光纤的微观立体结构是其导光的基础，为了维持或者形成特定的微观结构需要在拉丝过程中维持通入气体，由于原材料的不均匀性、嵌套结构元件堆栈过程中的偏差、拉丝过程中的热场分布不均等因素，会造成拉制出来的空芯反谐振光纤的反谐振结构元件出现尺寸大小不一的情况，如图 1 所示。这种几何结构上的不均匀将会

极大的影响空芯反谐振光纤的传输损耗。而正是由于这种制造方法相对于现有的实心光纤是颠覆性的，因此无法采用通常实心光纤增加光纤预制棒尺寸的方法来改善几何不均匀性。

发明内容

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明提供了带增材标记的空芯微结构光纤、预制棒及拉丝检测方法，其增材标记单元，可在拉丝检测中对各反谐振微结构单元进行标记和识别，对空芯微结构光纤的生产和工作具有指导意义。

按照本发明的一个方面，提供了带增材标记的空芯微结构光纤，包括包层空芯套管以及排列并附着在所述包层空芯套管内壁的多个反谐振微结构单元，所述反谐振微结构单元用于形成其内切圆尺寸的空气纤芯区域；所述多个反谐振微结构单元旋转对称；

所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D ，使得：

$$E_D \leq 0.5\%$$

$$E_D = \int_0^{2\pi} \int_D^R f(r, \theta) r dr d\theta$$

其中， E_D 为光纤横截面上与光纤结构中心距离大于 D 的区域能量分布占比；对于光纤横截面内以光纤结构中心为极点的极坐标系中的一点，其极径为 r ，极角为 θ ， $f(r, \theta)$ 为光纤横截面的归一化光场分布函数；

在所述空芯微结构光纤的横截面上，单个所述增材标记单元的外边缘面积占包层面积的0.002%~2%。

优选地，所述包层空芯套管的外轮廓为圆形；所述增材标记单元为实心玻璃条或空心玻璃管，所述增材标记单元的外轮廓为圆形、椭圆形、矩形和/或多边形。

优选地，所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D ，使得： $E_D \leq 0.1\%$ ；所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D 满足： $D \geq d$ ，其中 d 为空芯微结

构光纤的纤芯直径。

优选地，所述增材标记单元附着于所述空芯套管内壁，优选处于反谐振微结构单元外侧。

优选地，所述增材标记单元附着于相邻反谐振微结构单元之间，靠近其中一个反谐振微结构单元。

优选地，在空芯套管内壁，所述增材标记单元附着处与所述增材标记单元靠近的反谐振微结构单元附着处之间的弧度为 R_1 ，相邻两反谐振微结构单元附着处之间的弧度为 R_2 ， $R_1/R_2=1/6$ 至 $1/3$ 。

优选地，所述包层空芯套管内壁具有多个增材标记单元，多个所述增材标记单元具有不同的外轮廓形状、类型和/或面积。

按照本发明的另一个方面，还提供了带增材标记的空芯微结构光纤的预制棒，包括用于拉丝形成所述带增材标记的空芯微结构光纤玻璃件。

按照本发明的另一个方面，还提供了空芯微结构的预制棒的拉丝检测方法，包括以下步骤：

- (1) 将所述带增材标记的空芯微结构光纤在预设位置截断；
- (2) 对步骤(1)获得的截断后的端面采用透射光或反射光进行成像，获空芯微结构光纤该位置的端面图像；
- (3) 对于步骤(2)获得的端面图像，根据其增材标记单元进行反谐振微结构识别，获得各反谐振微结构单元的图像；
- (4) 对步骤(3)识别获得的反结构微结构单元的图像进行几何参数提取，判断所述空芯微结构光纤的几何均匀性。

优选地，步骤(2)采用显微镜对端面进行成像。

总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，能够取得下列有益效果：

1) 本发明的带增材标记的空芯微结构光纤，能快速辨别空芯微结构光纤中的反谐振微结构单元，便于在线控制反谐振微结构单元的大小均匀性，

有利于降低空芯微结构光纤的传输损耗。

2) 本发明的带增材标记的空芯微结构光纤，通过增材标记单元，可在拉丝检测中对各反谐振微结构单元进行标记和识别，判断和分析所述空芯微结构光纤的几何均匀性，从而对后续的空芯微结构的预制棒的生产提供借鉴和指导，及时进行工艺调整和改进来控制几何均匀性，可以在预制棒后续制造空芯微结构光纤过程中，保证空芯微结构光纤的几何均匀性。

3) 在空芯微结构光纤的耦合过程中，便于识别不同反谐振微结构单元，从而降低空芯微结构光纤的耦合损耗。

附图说明

图 1 是无标记的空芯微结构光纤示意图；

图 2 是本发明实施例 1 提供带增材标记的空芯微结构光纤预制棒的结构示意图；

图 3 是本发明实施例 1 提供带增材标记的空芯微结构光纤预制棒在拉丝过程中的压力控制示意图；

图 4 是本发明实施例 2 提供带增材标记的空芯微结构光纤预制棒在拉丝过程中的压力控制示意图；

图 5 是本发明实施例 3 提供带增材标记的空芯微结构光纤预制棒在拉丝过程中的压力控制示意图。

在所有附图中，相同的附图标记用来表示相同的元件或结构，其中：

1-反谐振微结构单元，2-标记单元，3-包层空芯套管。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

按照本发明的一个方面，提供了带增材标记的空芯微结构光纤，包括包层空芯套管 3 以及排列并附着在所述包层空芯套管 3 内壁的多个反谐振微结构单元 1，所述反谐振微结构单元 1 具有与包层空芯套管 3 的内壁内切的空气纤芯区域；多个所述反谐振微结构单元 1 旋转对称；

纤芯外侧光纤能量分布小于 0.5% 的区域内，设有一个或多个增材标记单元 2，使得所述空芯微结构光纤端面结构具有不对称性；

带增材标记的空芯微结构光纤，包括包层空芯套管 3 以及排列并附着在所述包层空芯套管 3 内壁的多个反谐振微结构单元 1，所述反谐振微结构单元 1 具有与包层空芯套管 3 的内壁内切的空气纤芯区域；多个所述反谐振微结构单元 1 旋转对称；

纤芯外侧光纤能量分布小于 0.5% 的区域内，设有一个或多个增材标记单元 2，使得所述空芯微结构光纤端面结构具有不对称性；

在所述空芯微结构光纤的横截面上，单个所述增材标记单元 2 的面积占包层面积的 0.002%~2%；包层包括空心套管形成的外包层以及反谐振微结构单元形成的反谐振包层。

优选地，所述包层空芯套管 3 的外轮廓为圆形；所述增材标记单元 2 为实心玻璃条或空心玻璃管，所述增材标记单元 2 的外轮廓为圆形、椭圆形、矩形和/或多边形。

优选地，所述增材标记单元 2 设置于纤芯外侧光纤能量分布小于 0.1% 的区域内；所述增材标记单元 2 设置于用于形成到纤芯与光纤结构中心距离超过纤芯直径区域的光纤预制棒相应区域。

优选地，所述增材标记单元 2 附着于所述空芯包层空芯套管 3 内壁，优选处于反谐振微结构单元 1 外侧。

优选地，所述增材标记单元 2 附着于相邻反谐振微结构单元 1 之间，靠近其中一个反谐振微结构单元 1。

优选地，在空芯包层空芯套管 3 内壁，所述增材标记单元 2 附着处与

所述增材标记单元 2 靠近的反谐振微结构单元 1 附着处之间的弧度为 R_1 ，相邻两反谐振微结构单元 1 附着处之间的弧度为 R_2 ， $R_1/R_2=1/6$ 至 $1/3$ 。

优选地，所述包层空芯套管 3 内壁具有多个增材标记单元 2，多个所述增材标记单元 2 具有不同的外轮廓形状、类型和/或面积；增材标记单元的类型即实心或空心增材标记单元。

按照本发明的另一个方面，提供了一种带增材标记的空芯微结构光纤的预制棒，包括玻璃件，所述玻璃件用于拉丝形成所述带增材标记的空芯微结构光纤。

关于反谐振微结构光纤的几何均匀性检测，目前没有成熟可行的技术方案，本专利构思采用图像法进行端面检测，提取几何特征，来解决几何均匀性检测的问题。图像法检测的难度在于反谐振微结构光纤的端面，理论上具有完美的对称性，难以相互区分。目前已经有一些反谐振微结构光纤具有不对称的端面，例如 CN115185034A，通过一个毛细管内设圆型嵌套结构，其余毛细管内设 U 型嵌套结构，从而形成单模、低损耗、结构简单的单偏振空芯反谐振光纤，适用于长距离场景并易于制备。专利 CN113885120A 中提出两层外包层结构的空芯微结构光纤。第一外包层界定了内部未封闭包层外表面；第二外包层为未封闭的，其上有一条贯穿光纤的微通道；第二外包层与第一外包层紧密连接，并界定了内部未封闭包层内表面；毛细管层作为反谐振层附接至第二外包层内表面，并与第二外包层一起界定具有有效半径的纤芯；毛细管层中的毛细管被间隔布置，且相邻的毛细管之间具有间隔；第一外包层可以有效保证光纤的机械可靠性，第二外包层具有未封闭结构，能够极大减小光纤后处理复杂度，并提高光纤的性能，解决了现有反谐振空芯微结构光纤损耗特性与处理复杂性的问题。

以上专利中虽然提出了非对称的空芯微结构光纤结构设计，但是主要是为了解决偏振问题以及光纤传感中空芯微结构光纤后处理问题，均未提

出对空芯微结构光纤拉制过程中的几何均匀性控制的解决方案。因此没有考虑过光纤端面成像难度、以及不对称型是否足够明显以在端面图像上区分反谐振微结构单元。增材标记单元相对于其他类型的标记，不需要精细的机械加工，不影响现有的预制棒装配工艺，具有设置简单的优势。然而基于不对称标记的考虑，一个必须要解决的问题是，不对称标记是否会影晌空芯微结构光纤的性能、拉丝难度。具体而言，足够明显的增材标记单元，需要有足够大的面积，而相对而言更容易影响微结构光纤的传输性能和拉丝制备难度。

通过巧妙的设计，将增材标记单元设置在纤芯外侧光纤能量分布小于 0.5% 的区域内，优选纤芯外侧光纤能量分布小于 0.1% 的区域内，尽可能减小对空芯微结构光纤传输性能的影响。即：

所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D ，使得：

$$E_D \leq 0.5\%$$

$$E_D = \int_0^{2\pi} \int_D^R f(r, \theta) r dr d\theta$$

其中， E_D 为光纤横截面上与光纤结构中心距离大于 D 的区域的能量分布占比；对于光纤横截面内以光纤结构中心为极点的极坐标系中的一点，其极径为 r ，极角为 θ ， $f(r, \theta)$ 为光纤横截面的归一化光场分布函数；

优选方案， $E_D \leq 0.1\%$ 。

优选地，所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D 满足： $D \geq d$ ，其中 d 为空芯微结构光纤的纤芯直径。

优选方案，设置在空芯套管内壁、反谐振微结构单元外侧即相邻反谐振微结构套管之间，不仅对传输性能影响小，同时在拉制过程中，对套管内的气流影响较小，减小套管变形，或者对套管的结构影响。更优选地，设置在靠近相邻微结构单元的一侧，不但能有效的破坏光纤端面的对称性，提高反谐振微结构单元的可辨识度，同时减小对拉丝时套管内气流的影响。

而拉丝过程需要通入大量气体，正是反谐振微结构光纤，区别于实心光纤以及光子晶体光纤等其他光纤的技术关键，减小对拉丝时通入气流的影响，是增材标记单元的设置的关键考量指标之一。同时由于拉丝时，反谐振微结构单元内需要通入气体，其气压甚至超过套管中心气压，需要避免由于增材标记单元的设置，导致反谐振微结构单元的厚度、形状发生非预期的异变，例如与增材标记单元粘连、厚度偏差过大等等，最终导致光纤性能恶化，优选的增材标记单元的设置，使得所述增材标记单元靠近的反谐振微结构单元附着处之间的弧度为 R_1 ，相邻两反谐振微结构单元附着处之间的弧度为 R_2 ， $R_1/R_2=1/6$ 至 $1/3$ ，从而保证面积易于观察的增材标记单元设置于合适的位置，形成明显的不对称标记的同时，对制备过中反谐振微结构单元的影响小，避免增材标记单元与反谐振微结构单元在拉丝时粘连，或者位置上靠近的反谐振微结构单元形状发生异变。

按照本发明的另一个方面，还提供了空芯微结构的预制棒的拉丝检测方法，包括以下步骤：

- (1) 将所述带增材标记的空芯微结构光纤在预设位置截断；
- (2) 对步骤(1)获得的截断后的端面采用透射光或反射光进行成像，获空芯微结构光纤该位置的端面图像；
- (3) 对于步骤(2)获得的端面图像，根据其增材标记单元 2 进行反谐振微结构识别，获得各反谐振微结构单元 1 的图像；
- (4) 对步骤(3)识别获得的反结构微结构单元的图像进行几何参数提取，判断所述空芯微结构光纤的几何均匀性。

优选地，步骤(2)采用显微镜对端面进行成像。

典型的带增材标记的空芯微结构光纤，包括反谐振微结构单元 1、增材标记单元 2 和包层空芯套管 3。反谐振微结构单元 1 的数量 $n \geq 3$ ，在反谐振微结构单元 1 之间插入 m 个增材标记单元 2， $m \geq 1$ 。

进一步地，所述反谐振微结构单元 1 由单层或多层负曲率结构的组件

构成。

进一步地，所述增材标记单元 2 可由棒、管、板或者其组合形式构成，可以是圆形、椭圆形、矩形、多边形等。

上述的带增材标记的空芯微结构光纤制备方法，制备步骤如下：

步骤 1、制备反谐振微结构单元 1：通过母管在高温拉丝炉中拉制成所需的毛细管；毛细管可根据设计需求进行二次加工，如切削、打磨、焊接等。

步骤 2、制备增材标记单元 2：通过母管或者母棒在高温拉丝炉中拉制成所需的毛细管或者毛细棒；毛细管或者毛细棒可以直接用作增材标记单元 2，亦可进行二次加工，如切削、打磨、焊接后再作为增材标记单元 2。

步骤 3、预制棒堆积：将步骤 1 得到的反谐振微结构单元 1 和步骤 2 得到的增材标记单元 2 在包层空芯套管 3 中进行堆叠组装，从而形成带增材标记的空芯微结构光纤预制棒。

步骤 4、将步骤 3 中的带增材标记的空芯微结构光纤预制棒直接拉制成空芯微结构光纤，或者先拉制成中间预制棒，再套入中间套管中拉成空芯微结构光纤。在拉制过程中通过增材标记单元 2，可以快速分辨光纤中反谐振微结构单元 1 与预制棒中反谐振微结构单元 1 的对应关系，从而通过控制预制棒中反谐振微结构单元 1 内的气压大小，来调节光纤中反谐振微结构单元 1 的大小。

进一步地，所述反谐振微结构单元 1、增材标记单元 2、包层空芯套管 3 可以是高纯二氧化硅材质、掺杂石英材质（掺有锗、氟、氯、硼、铝等一种或多种元素）、多组分玻璃材质、塑料材质等。

进一步地，所述空芯微结构光纤具有大于等于 100um 的包层直径。

进一步地，采用本发明方法制备的空芯微结构光纤具备较低的传输损耗，其最低的传输损耗 $\leq 30\text{dB/km}$ ，更优的 $\leq 1\text{dB/km}$ 。

进一步地，采用本发明方法制备的空芯微结构光纤具备较低的熔接损

耗，其空芯微结构光纤自熔接损耗为 $\leq 0.5\text{dB}$ 。

以下为实施例：

实施例 1

如图 2 所示，先通过一根母管制成毛细管作为反谐振微结构单元 1，反谐振微结构单元 1 的外径 6.7mm，壁厚 0.4mm。再通过其它线管拉制出毛细管作为增材标记单元 2，增材标记单元 2 为外径 1.5mm，壁厚 0.35mm 的中空的毛细管。将 5 根反谐振微结构单元 1 和 1 根增材标记单元 2 在包层空芯套管 3 中堆叠成如图 2 所示的带增材标记的空芯微结构光纤预制棒。带增材标记的空芯微结构光纤预制棒可在拉丝炉中直接拉制成空芯微结构光纤。但是在拉丝时，由于温度的波动，如果不施加压力，会造成反谐振微结构单元的尺寸不一样，如图 1 所示的反谐振微结构单元 1 的外径最大偏差为 13%。为此需要通过在反谐振微结构单元里通入不同压力的气体，来使得反谐振微结构单元的尺寸均一。如图 3 所示，通过增材标记单元 2，来识别反谐振微结构单元 1 中所需气压的大小，P1、P2、P3、P4、P5 分别为反谐振微结构单元 1 中的气压大小，其值分别为 24.2mbar、26.6mbar、22.5mbar、26.7mbar、24.5mbar。其反谐振微结构单元 1 的外径最大偏差为 3.5%，其在 1550nm 处的衰减为 4.2dB/km。此空芯微结构光纤熔接时，可通过增材标记单元 2 来辨别反谐振微结构单元 1 的方位，从而实现更精准的对接，其最低熔接损耗为 0.44dB。

实施例 2

如图 4 所示，先通过母管制备两种尺寸的毛细管，大毛细管外径 8.2mm，壁厚 0.33mm，小毛细管外径 3.9mm，壁厚 0.36mm。再通过母棒拉制增材标记单元 2，增材标记单元 2 为实芯圆棒，其直径 1.36mm。将大毛细管和小毛细管通过焊接的方式组装成反谐振微结构单元 1，5 个反谐振微结构单元 1 和 1 根增材标记单元 2 在包层空芯套管 3 中堆叠成如图 4 所示的带增材标记的空芯微结构光纤预制棒。带增材标记的空芯微结构光纤预制棒可

在拉丝炉中可先拉制成中间预制棒，中间预制棒的外径 8mm，再套入外径 17mm 且内径 8.5mm 的中间套管中拉丝。与上一实施例一样，通过在反谐振微结构单元 1 里通入不同压力的气体，来使得反谐振微结构单元 1 的尺寸均一。P1、P2、P3、P4、P5 分别为反谐振微结构单元中大毛细管内的气压大小，其值分别为 18.4mbar、19.6mbar、20.6mbar、20.8mbar、19.5mbar。P6、P7、P8、P9、P10 分别为反谐振微结构单元中小毛细管内的气压大小，其值分别为 82.4mbar、84.8mbar、85.2mbar、85.8mbar、84.5mbar。拉制而成的空芯微结构光纤，其反谐振微结构单元中大毛细管外径最大偏差为 4.5%，其反谐振微结构单元中小毛细管外径最大偏差为 2.7%，其在 1550nm 处的衰减为 0.5dB/km。此空芯微结构光纤熔接时，可通过标记单元来辨别毛细管方位，通过熔接机旋转功能实现更精准的对接，其最低熔接损耗为 0.32dB。

实施例 3

如图 5 所示，先通过母管制备两种尺寸的毛细管，大毛细管外径 6.4mm，壁厚 0.25mm，小毛细管外径 3.2mm，壁厚 0.28mm。再通过方形母棒拉制出增材标记单元 2，增材标记单元 2 为实芯方棒，其边长 0.95mm。将大毛细管和小毛细管通过焊接的方式组装成反谐振微结构单元 1，5 个反谐振微结构单元 1 和 2 根增材标记单元 2 在包层空芯套管 3 中堆叠成如图 5 所示的带增材标记的空芯微结构光纤预制棒。带增材标记的空芯微结构光纤预制棒可在拉丝炉中可先拉制成中间预制棒，中间预制棒的外径 6.2mm，再套入外径 13mm 内径 6.8mm 的中间套管中拉丝。与上一实施例一样，通过在反谐振微结构单元里通入不同压力的气体，来使得反谐振微结构单元 1 的尺寸均一。P1、P2、P3、P4、P5 分别为反谐振微结构单元 1 中大毛细管内的气压大小，其值分别为 33.6mbar、33.9mbar、34.5mbar、34.8mbar、34.5mbar。P6、P7、P8、P9、P10 分别为反谐振微结构单元 1 中小毛细管内的气压大小，其值分别为 112.2mbar、112.8mbar、113.2mbar、113.8mbar、

112.4mbar。拉制而成的空芯微结构光纤，其反谐振微结构单元中大毛细管外径最大偏差为 2.9%，其反谐振微结构单元中小毛细管外径最大偏差为 2.5%，其在 1550nm 处的衰减为 0.4dB/km。此空芯微结构光纤熔接时，可通过标记单元来辨别毛细管方位，通过熔接机旋转功能实现更精准的对接，其最低熔接损耗为 0.28dB。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1.带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，包括包层空芯套管以及排列并附着在所述包层空芯套管内壁的多个反谐振微结构单元，所述反谐振微结构单元用于形成其内切圆尺寸的空气纤芯区域；所述多个反谐振微结构单元旋转对称；

纤芯外侧设有一个或多个增材标记单元，使得所述空芯微结构光纤的端面结构具有不对称性；

所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D ，使得：

$$E_D \leq 0.5\%$$
$$E_D = \int_0^{2\pi} \int_D^R f(r, \theta) r dr d\theta$$

其中， E_D 为光纤横截面上与光纤结构中心距离大于 D 的区域的能量分布占比；对于光纤横截面内以光纤结构中心为极点的极坐标系中的一点，其极径为 r ，极角为 θ ， $f(r, \theta)$ 为光纤横截面的归一化光场分布函数；

在所述空芯微结构光纤的横截面上，单个所述增材标记单元的外边缘面积占包层面积的 0.002%~2%。

2.如权利要求 1 所述的带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，所述包层空芯套管的外轮廓为圆形；所述增材标记单元为实心玻璃条或空心玻璃管，所述增材标记单元的外轮廓为圆形、椭圆形、矩形和/或多边形。

3.如权利要求 1 或 2 所述的带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D ，使得： $E_D \leq 0.1\%$ ；所述增材标记单元与光纤结构中心的距离 D 满足： $D \geq d$ ，其中 d 为空芯微结构光纤的纤芯直径。

4.如权利要求 3 所述的带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，所述

增材标记单元附着于所述空芯套管内壁，优选处于反谐振微结构单元外侧。

5.如权利要求4所述的带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，所述增材标记单元附着于相邻反谐振微结构单元之间，靠近其中一个反谐振微结构单元。

6.如权利要求5所述的带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，在空芯套管内壁，所述增材标记单元附着处与所述增材标记单元靠近的反谐振微结构单元附着处之间的弧度为 R_1 ，相邻两反谐振微结构单元附着处之间的弧度为 R_2 ， $R_1/R_2=1/6$ 至 $1/3$ 。

7.如权利要求1所述的带增材标记的空芯微结构光纤，其特征在于，所述包层空芯套管内壁具有多个增材标记单元，多个所述增材标记单元具有不同的外轮廓形状、类型和/或面积。

8.带增材标记的空芯微结构光纤的预制棒，其特征在于，包括用于拉丝形成权利要求1至7任意一项所述带增材标记的空芯微结构光纤玻璃件。

9.空芯微结构的预制棒的拉丝检测方法，其特征在于，包括以下步骤：

(1)将权利要求1至7任意一项所述带增材标记的空芯微结构光纤在预设位置截断；

(2)对步骤(1)获得的截断后的端面采用透射光或反射光进行成像，获空芯微结构光纤该位置的端面图像；

(3)对于步骤(2)获得的端面图像，根据其增材标记单元进行反谐振微结构识别，获得各反谐振微结构单元的图像；

(4)对步骤(3)识别获得的反结构微结构单元的图像进行几何参数提取，判断所述空芯微结构光纤的几何均匀性。

10.如权利要求9所述的空芯微结构光纤预制棒的拉丝检测方法，其特征在

于，步骤（2）采用显微镜对端面进行成像。