

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710142859.6

[43] 公开日 2008 年 1 月 23 日

[51] Int. Cl.
G01B 11/00 (2006.01)
G01B 21/00 (2006.01)

[11] 公开号 CN 101109621A

[22] 申请日 2007.8.1

[21] 申请号 200710142859.6

[71] 申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街 5
号

[72] 发明人 徐春广 肖定国 朱文娟 冯忠伟
郝 娟 周世圆

[74] 专利代理机构 北京华夏正合知识产权代理事务所

代理人 韩登营 吴建国

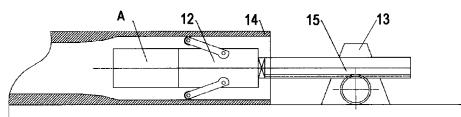
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 5 页

[54] 发明名称

孔容积的光学测量方法

[57] 摘要

本发明提供一种孔容积的光学测量方法，其包括以下步骤：a. 将激光光源放入待测孔内并使其发光；b. 用与激光光源相向设置的光拾取装置拾取由孔壁反射的光；c. 采用伺服电机驱动激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向匀速前进；d. 通过光拾取装置反复拾取孔壁反射的光，取得孔待测终点前的所有数据，对所述数据进行处理得出孔容积。这样，可通过非接触的方式实现孔容积的高精度的测量。



1. 一种孔容积的光学测量方法，其特征是包括以下步骤：
 - a. 将激光光源放入待测孔内并使其发光；
 - b. 用与激光光源相向设置的光拾取装置拾取由孔壁反射的光；
 - c. 采用伺服电机驱动激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向匀速前进；
 - d. 通过光拾取装置反复拾取孔壁反射的光，取得孔待测终点前的所需数据，对所述数据进行处理得出孔容积。
2. 如权利要求1所述的孔容积的光学测量方法，其特征在于：所获得的数据包括每个截面的直径和对应的轴向位置，利用分段积分的方法对孔容积进行计算。
3. 如权利要求1所述的孔容积的光学测量方法，其特征在于：激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向前进的速度为1-5mm/s。
4. 如权利要求1所述的孔容积的光学测量方法，其特征在于：在激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向匀速前进的过程中，由计算机触发同步信号，控制光拾取装置进行图像采样，同时控制位置编码器返回上述光拾取装置或激光光源相对于起始测量位置的轴向位置。
5. 如权利要求4所述的孔容积的光学测量方法，其特征在于还包括如下步骤：
采样图像的频率根据孔数字化模型的曲率变化而变化，范围为0.5~2Hz。
6. 如权利要求1所述的孔容积的光学测量方法，其特征在于还包括如下步骤：
导入孔的设计长度，当位置编码器返回的测量装置轴向位置大于孔的待测部分设计长度30-50mm时，停止测量。
7. 如权利要求1所述的孔容积的光学测量方法，其特征在于，根据孔的设计数据建立数字化模型，导入孔电子塞规，将此次孔的实际测量数据同电子塞规作相关性处理，以获得相关系数最高的轴向位置为孔的待测部分的终点。

孔容积的光学测量方法

技术领域

本发明涉及孔容积的测量方法，尤其涉及采用结构光测量传感器进行测量的孔容积的光学测量方法。

背景技术

现有技术中，对于孔容积的测量，特别对于近似圆柱状或圆台状等形状的孔，通常可通过测量孔的两端的直径和孔的长度等参数之后利用几何公式计算得出，但这只适用于规则孔的容积的测量，在测量不规则孔的容积时，例如可采用分段机械塞规或注水的方法，但存在精度难以保证且易受条件限制的问题。

发明内容

本发明是针对上述实际情况而提出的，其目的是提供一种可以有效高精度地进行孔容积测量的光学方法，采用环形激光器投射方式，在孔内表面形成截面轮廓曲线，伺服电机驱动结构光测量装置沿孔轴线匀速前进，计算机控制 CCD 相机根据孔数字化模型的曲率变化进行不同频率的采样，将实际测量数据同电子塞规作相关性处理，确定孔终点，对终点以前的所有数据进行分段积分，获取孔容积的精确值。

本发明提供一种孔容积的光学测量方法，包括以下步骤：a.将激光光源放入待测孔内并使其发光；b.用与激光光源相向设置的光拾取装置拾取由孔壁反射的光；c.采用伺服电机驱动激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向匀速前进；d.通过光拾取装置反复拾取孔壁反射的光，取得孔待测终点前的所有数据，对所述数据进行处理得出孔容积。

通过采用技术方案 1，可通过非接触的方式实现孔容积的高精度的测量。

在技术方案 1 的基础上，技术方案 2 的特征在于，所获得的数据包括每个截面的直径和对应的轴向位置，利用分段积分的方法对孔容积进行计算。

通过获取每个截面的直径和对应的轴向位置即可计算得出孔容积。可通过非接触的方式实现孔容积的快速的测量。

在技术方案 1 的基础上，技术方案 3 的特征在于，激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向前进的速度为 1-5mm/s。

在该速度范围内移动激光光源和光拾取装置可较准确地实现光拾取装置对激光的拾取。

在技术方案 1 的基础上，技术方案 4 的特征在于，在激光光源和光拾取装置沿孔的轴线方向匀速前进的过程中，由计算机触发同步信号，控制光拾取装置进行图像采样，同时控制位置编码器返回上述光拾取装置或激光光源相对于起始测量位置的轴向位置。

这样可获得对应不同轴向位置的孔的图像。

在技术方案 4 的基础上，技术方案 5 的特征在于还包括如下步骤：采样图像的频率根据孔数字化模型的曲率变化而变化，范围为 0.5~2Hz。

这样可在保证测量准确性的前提下提高测量效率。

在技术方案 1 的基础上，技术方案 6 的特征在于还包括如下步骤：导入孔的设计长度，当位置编码器返回的测量装置轴向位置大于孔的待测部分设计长度 30-50mm 时，停止测量。

这样可确保完成对待测孔整体的测量。

在技术方案 1 的基础上，技术方案 7 的特征在于，根据孔的设计数据建立数字化模型，导入孔电子塞规，将此次孔的实际测量数据同电子塞规作相关性处理，以获得相关系数最高的轴向位置为孔的待测部分的终点。

通过采用电子塞规确定孔的终点，这样可进一步提高待测孔轴向距离的精确度，并进而可提高待测孔容积的精确度。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：（1）通过建立孔数字

化模型，可以调整 CCD 相机在不同轴向位置的采样频率，提高了测量速度和精度；（2）通过把测量数据和电子塞规做相关性处理，获得孔部分的终点，提高了测量精度；（3）利用分段积分的方法对孔容积进行计算，提高了测量精度；（4）根据已知孔设计尺寸，选择接近孔尾部折线部分的测量数据参与相关性处计算，可以节省处理时间；（5）采用环形激光器照明，一次得到轮廓截面上一周完整数据，提高测量速度；（6）由工业控制计算机控制系统，使各子系统协调工作，自动化程度高，测量速度快；（7）采用结构光测量装置，实现孔容积的非接触测量，避免测头磨损和对孔的划伤。

附图说明

图 1 是本发明实施方式 1 中采用的光学测孔装置的剖面示意图，该剖面经过装置中心轴线。

图 2 是本发明实施方式 1 的光学测量方法的工作原理示意图。

图 3 是本发明实施方式 2 中采用的光学测孔装置的剖面示意图，该剖面经过装置中心轴线。

图 4 是本发明实施方式 2 的光学测量方法的工作原理示意图。

图 5 是待测孔的剖面示意图。

图 6 是本发明中采用的光学测孔装置的工作原理示意图。

具体实施方式

下面，基于附图对本发明的实施方式加以说明。

图 1 是本发明实施方式 1 中采用的光学测孔装置的剖面示意图，该剖面经过装置中心轴线。图 2 是本发明实施方式 1 的光学测量方法的工作原理示意图。

如图 1 所示，光学测孔装置 A 具有框架 5 以及设置在框架 5 内的作为激光光源的激光发生器 1、作为光拾取装置的 CCD 相机 3。此外，该光学测孔装置 A 由电源供电。

如图 1 所示，激光发生器 1 是能够发出环状激光的环形激光发生

器，其发出的激光束呈外扩散状，即从形状来看，该激光束呈圆锥的侧表面状。

在光学测孔装置 A 放入待测孔内时，由激光束照射待测孔内壁而在其上形成图像，该 CCD 相机 3 用于拍摄该图像。

由于激光发生器 1 和 CCD 相机 3 可采用现有的公知装置，因此，本说明书中省略对它们的说明。

框架 5 包括用于安装激光发生器 1 的第一框架 51、用于安装 CCD 相机 3 的第二框架 52、以及用于连接第一框架 51 和第二框架 52 的第三框架 53。第三框架 53 为透明的玻璃制的圆筒状部件。之所以选用圆筒状部件，是避免第三框架 53 对环形激光发生器发出的激光在向孔内壁照射的过程中对激光路线的影响。此外，第一框架 51 与第三框架 53 间、第二框架 52 与第三框架 53 间接合，该接合方式并不特别限定，可以是螺纹或卡合等多种接合方式。

如图 2 所示，激光发生器 1 与第一框架 51 同轴配置。此外，CCD 相机 3 与第二框架 52 同轴配置。由此，通过框架 5 的各部件间的接合，使得上述激光发生器 1 和 CCD 相机 3 被同轴配置。

对于激光发生器 1 向第一框架 51 的安装的结构，可采用各种公知的安装结构，例如，采用螺纹安装、卡合安装等，例如，在第一框架 51 的安装孔的靠右侧（图 1 中的右侧）的端部附近设置有凸缘部，在将激光发生器 1 放入安装孔后，从安装孔的左侧（图 1 中的左侧）放入固定件，将激光发生器 1 安装固定在安装孔内等。CCD 相机 3 向第二框架 52 的安装的结构，与激光发生器 1 向第一框架 51 的安装的结构相似，故省略其说明。

此外，对于第一框架 51 和第二框架 52 的材料没有特别的限定，其可以使用树脂材料，也可以选择金属材料或其它。此外，对于它们的形状，也没有特别的限定，可以是圆柱形，也可以是棱柱形状等。采用圆柱形易于定位，且易于加工。

此外，在第一框架 51 或/和第二框架 52 上设置有固定件，用于将光学测孔装置安装在其它构件上。

如图 1 所示，激光发生器 1 的激光发射端部 10 与 CCD 相机 3 的镜头端 30 相向配置，这样，由激光发生器 1 发出的激光束便于被光拾取装置所拾取到。

所述的激光发生器 1 优选其发出的激光与待测孔的轴线间所形成的角度为大于或等于 20° 且小于 90° 的激光发生器。在使用本激光发生器 1 时，所选用的激光发生器 1 发出的激光与待测孔的轴线间所形成的角度为 45° 。

因此，从激光发生器 1 发出的激光，不会直接照射到 CCD 相机 3 里，不会造成 CCD 相机 3 的损坏。而且，当光学测孔装置 A 被放入待测孔内时，CCD 相机 3 可以拍摄到由激光束在待测孔孔壁上形成的图像。

此外，此处的激光发生器 1 相对于第一框架 51 安装是固定安装，但并不限于此，激光发生器 1 也可以被安装为可相对第一框架 51 沿轴向移动的结构，该移动结构可以采用各种公知结构，例如，在激光发生器 1 的后端部设置有螺纹轴，在第一框架 51 内设置有由电动机带动的与上述螺纹轴配合的转动构件，并且，在激光发生器 1 的侧表面上，沿轴向设置有凸起或凹槽，在第一框架 51 上与之对应的部分上设置凹槽或凸起，用作导向机构，通过该导向机构，通过上述电动机带动转动构件转动，利用转动构件与上述螺纹轴的配合，将电动机的转动转换为激光发生器 1 的轴向移动，由此，可使激光发生器 1 相对于第一框架沿轴向移动。此外，就上述螺纹轴和转动构件的配置方式不特别限定，例如，可将螺纹轴配置在第一框架上而将转动构件配置在激光发生器 1 上，这样，也可以实现由转动到直线运动的转换。就导向结构也不特别限定，可以是一条凹槽和凸起的配合，也可以是多条凹槽和凸起的配合，还可以是其他的导向结构。由此，可通过令激光发生器 1 相对第一框架 51 沿轴向移动，可对激光发生器 1 的位置进行微调。此外，还可以使用隔套，对于激光发生器 1 和第一框架 51 的位置关系进行有级调整。

CCD 相机 3 与第二框架 52 之间的关系，和激光发生器 1 与第一

框架 51 之间的关系相类似，具有相同或相似的结构。在这里就不进行赘述。

通过设置可移动的结构，可以在将该激光测孔装置 A 放入待测孔内时，边观察孔内情况，边进行激光发生器 1 和 CCD 相机 3 之间的位置调整。

此外，激光发生器 1 并不限于环状激光发生器，其可以是发出一道光束的激光发生器，此时，可通过旋转整个装置来实现对孔壁的测量。此外，在使用可发出一道光束的激光发生器时，第三框架的形状就不限于筒状，其可以是其他的各种形状。

此外，本发明的光拾取装置选用的是 CCD 相机，但并不限于此，其也可以选用 CMOS 相机或其他的光拾取装置，只要是能够拾取到孔壁反射回来的激光的信息的装置，都适用于本发明。

此外，本发明的第三框架是透明的玻璃制件，但并不限于此，其也可以是透明的树脂制件。此外，该第三框架还可以是不透明，但沿周向设置有一个或多个沿轴向延伸的长孔，激光发生器发出的激光通过该长孔照射到孔壁，通过使该第三框架相对孔壁旋转，得到孔壁的沿周向的信息。

[实施方式 2]

图 3 是本发明实施方式 2 中采用的光学测孔装置的剖面示意图，该剖面经过装置中心轴线。图 4 是本发明实施方式 2 的光学测量方法的工作原理示意图。

如图 3、图 4 所示，光学测孔装置 A₀ 在第三框架 53 上安装有作为反光构件的反光镜 2。该光学测孔装置 A₀ 中，激光发生器 100 与上述光学测孔装置 A 中的激光发生器 1 不同，其余的部件均可参照光学测孔装置 A。

光学测孔装置 A₀ 中，反光镜 2 是呈圆锥状的实体构件，该反光镜 2 用于反射由激光发生器 100 发出的激光束，因此，该反光镜的锥角应该是大于 0°，此外，由于不希望经反光镜 2 反射的激光束照到待测孔内壁上所形成的光斑（图形）不易被 CCD 相机 3 所拍摄到，因

此，优选该反光镜的锥角小于或等于 90° ，例如 60° 。由此，可更加有效地改变激光束的路径，进而，缩短光学测孔装置 A_0 的整体轴向长度。本改型光学测孔装置反光镜 2 的锥角为 90° 。

此外，上述反光镜 2 是呈圆锥状的实体构件，但并不限于此，只要是能起到反射由激光发生器 100 发出的激光束的作用即可。例如，其可以是具有圆锥或圆台的侧表面的形状的空心构件，并利用该呈圆锥或圆台状侧表面的面，反射由激光发生器 100 发出的激光束。

对于将反光镜 2 安装于第三框架 53 的结构，如图 4 所示，在第三框架 53 的内壁上设置有安装卡子 K，将反光镜 2 以与第三框架 53 同轴的方式安装在第三框架 53 内。但并不限于此，只要是能够将反光镜 2 安装于第三框架 53 的各种安装方式，均适用于本发明。

由于使用了作为反光构件的反光镜 2，因此，能够改变由激光发生器 100 发出的激光束的光路，从而，可以缩小光学测孔装置 A_0 的整体轴向长度。此外，还可以降低对激光发生器 1 的要求，可以选择出射角较小的激光发生器。例如，本光学测孔装置所使用的激光发生器 100 发出的激光与待测孔的轴线间所形成的角度为 11.4° 。

〔测量方法〕

下面，就该光学测孔装置的测量方法加以说明。

根据待测孔的直径的大小，对激光发生器 1（激光光源）和 CCD 相机 3（光拾取装置）间的位置关系调整，使之呈如图 3 所示的状态，在调整完成后，将光学测孔装置 A 放入待测孔内。并使激光发生器 1 发光。

通过 CCD 相机 3，拍摄由激光发生器 1 发出的激光照到待测孔内壁上所形成的光斑（图形）。

然后对上述得到的图形进行处理，将其转换为上述待测孔的内壁的直径、形状等数据。

孔外调整时，存在激光发生器 1 和 CCD 相机 3 之间的关系不是很合适的情况，即，存在通过 CCD 相机 3 不能完全拾取到上述三维曲线的情况。此时，可将整个光学测孔装置 A_0 从待测孔中取出，对上述两

构件间的关系进行调整，然后再将光电测孔装置放入待测孔中。

在激光发生器 1 和 CCD 相机 3 之间的位置关系可以调节的情况下，在将光学测孔装置 A 放入待测孔内后，可根据由 CCD 相机 3 得到的三维曲线，对激光发生器 1 和 CCD 相机 3 之间的位置关系进行调节。

在使用光学测控装置 A_0 检测时，其检测方法基本上与使用光学测孔装置 A 的方法相同，唯一不同的地方，激光发生器 100 所发出的激光束，经由反光镜 2 反射后，才照到待测孔孔壁上，形成一条三维曲线。

此外，在激光发生器所发出的激光不是环形激光时，例如，所发出的激光是一束激光时，此时，可通过旋转激光发生器整体来得到一条三维曲线。另外，如果第三框架 53 是整体可透光的部件时，也可以仅旋转激光发生器，由于这样的结构可通过各种现有手段实现，因此，这里就不再赘述。

然后，对由 CCD 相机 3 得到的三维曲线进行处理。

图 5 为待测孔的剖面示意图，如图所示，待测孔为 A 点至 D 点之间的部分。该待测部分包含若干个锥面，各锥面间存在拐点，如图 5 所示 B、C、D 点。本发明提供的方法就是利用结构光测量方法高精度地获取孔各截面的直径，同时获取编码器返回的相对应轴向位置，通过分段积分的办法对容积进行精确计算。图 5 中 A 为起始测量位置，孔的终点 D 通过电子塞规的方法获得，即首先根据设计尺寸建立孔的数字化模型，通过离散化处理得到合理采样密度的数据，以数字化模型中出现折线部分为开始点到模型的终点建立电子塞规，将待测孔的实际测量数据与电子塞规作相关性处理，认为获得相关系数最高的轴向位置为孔的终点。

图 6 显示了本发明中采用的光学测孔装置的工作原理示意图。其中，光学测孔装置 A 设置在承载装置 12 上，电动机 13 通过丝杠 15 驱动光学测孔装置 A 和承载装置 12 在待测孔 14 内移动。

本实施例的具体实现步骤如下：

1. 进行孔容积测量前，先建立被测孔的数字化模型。孔数字化

模型是实际孔的数字化表达，可以根据孔设计图纸直接输入得到，根据图 5 可知，孔的轴向剖面可由多段直线表达，因此，创建模型时首先输入各段直线的起点和终点坐标 (x_i, y_i) ，求得孔剖面的数学方程 $y = f(x)$ ，其中 x 代表轴向位置， y 代表相应轴向位置时孔截面的半径；然后通过离散化处理得到合理采样密度的数据 (x_i, y_i) ，其中 $(i=1, 2, \dots, n)$ 。采样密度根据孔的数学方程确定，在 AB 部分，由于其曲率为 1，采样密度较小，在 BCD 部分，由于其曲率不为 1，采样密度较大，这样建立起的孔数字化模型在后续的处理中不仅可以提高测量速度，还能提高测量精度。由于一些孔具有相同的形状，或者对同一孔需要实现多次重复测量，为了避免重复操作，可以将孔模型保存成文件，在以后测量过程中直接导入模型完成孔计算；

2. 建立被测孔的电子塞规。电子塞规是孔数字化模型中的一部分，以模型中出现折线部分为开始点到模型的终点，是目前使用于孔容积测量中的机械塞规的数字化表达。

3. 打开激光发生器 1、CCD 相机 3 和伺服电机驱动器电源，所述激光发生器 1 此处为环形激光器，使得环形激光器投射出的环形光经光学锥镜反射后正好打在待测孔口；

4. 采用伺服电机驱动结构光测量装置沿孔的轴线方向匀速前进，速度为 1-5mm/s，驱动机构采用电动机 13，其采用齿轮齿条传动机构，通过标定可知此系统的位置测量精度达到 0.627‰；

5. 由计算机触发同步信号，控制 CCD 相机进行图像采样，同时控制位置编码器返回相对于起始测量位置的轴向位置，采样频率根据孔数字化模型的曲率变化而变化，范围为 0.5 ~ 2Hz；

6. 如图 4 所示，环形激光器投射的环形光经反光镜 2 反射和孔内轮廓表面反射后成像于 CCD 相机 3，所成的像反映了孔内轮廓表面的截面信息，对其进行图像处理和分析计算得到内轮廓截面直径；

7. 当位置编码器返回的测量装置轴向位置大于孔的设计长度 30-50mm 时，停止测量；

8. 求取孔的终点。导入孔电子塞规，调出接近孔尾部折线部分

的测量数据 (L_i, R_i) ，其中 L 代表测量的轴向位置，R 代表相应的轴向位置孔截面的半径，将孔的实际测量数据与电子塞规作相关性处理，认为获得相关系数最高的轴向位置为孔的终点。只选择接近孔尾部折线部分的测量数据与电子塞规做相关性处理，可以节省处理时间。由于电子塞规的采样数据 (x_i, y_i) 与系统的测量数据 (L_i, R_i) 在相对于测量零点的轴向位置上不是一一对应的，所以先对采样数据 (x_i, y_i) 进行线性插值，假设 $x_i < L_i < x_{i+1}$ ，则

$$\begin{cases} x_i = L_i \\ y_i = \frac{(y_{i+1} - y_i)(L_i - x_i)}{x_{i+1} - x_i} + y_i \end{cases} \quad (1)$$

对 (L_i, R_i) 和插值后的 (x_i, y_i) 做相关性处理：

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - y_i)^2}{n} \quad (2)$$

当 a 值为最小值时，认为对应的点为孔的终点。

9. 获取孔终点以前的所有测量数据，包括每个截面的直径和对应的轴向距离，利用分段积分的办法对容积进行精确计算，方法为：

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{\pi(L_{i+1} - L_i)(R_{i+1}^2 + R_{i+1}R_i + R_i^2)}{3} \quad (3)$$

实验验证，本发明涉及的孔容积光学测量的结构光测量方法能够达到的测量精度为 4‰。

上述孔数字化模型的建立是通过对孔设计曲线进行数据离散化处理而得到的，数据离散化的疏密程度是根据孔内部形廓变化的曲率而合理确定的，该模型是对孔进行结构光或其它数字化测量的必要表达。电子塞规是孔数字化模型中的一部分，以模型中出现折线部分为开始点，以孔数字化模型的终点为电子塞规的终点，是目前使用于孔容积测量中的机械塞规的数字化表达。孔终点的确定是通过实际测量数据与电子塞规做相关性处理而确定的，其中，根据已知孔设计尺寸，选择接近孔尾部折线部分的测量数据参与相关性处计算，可以节省处理时间。

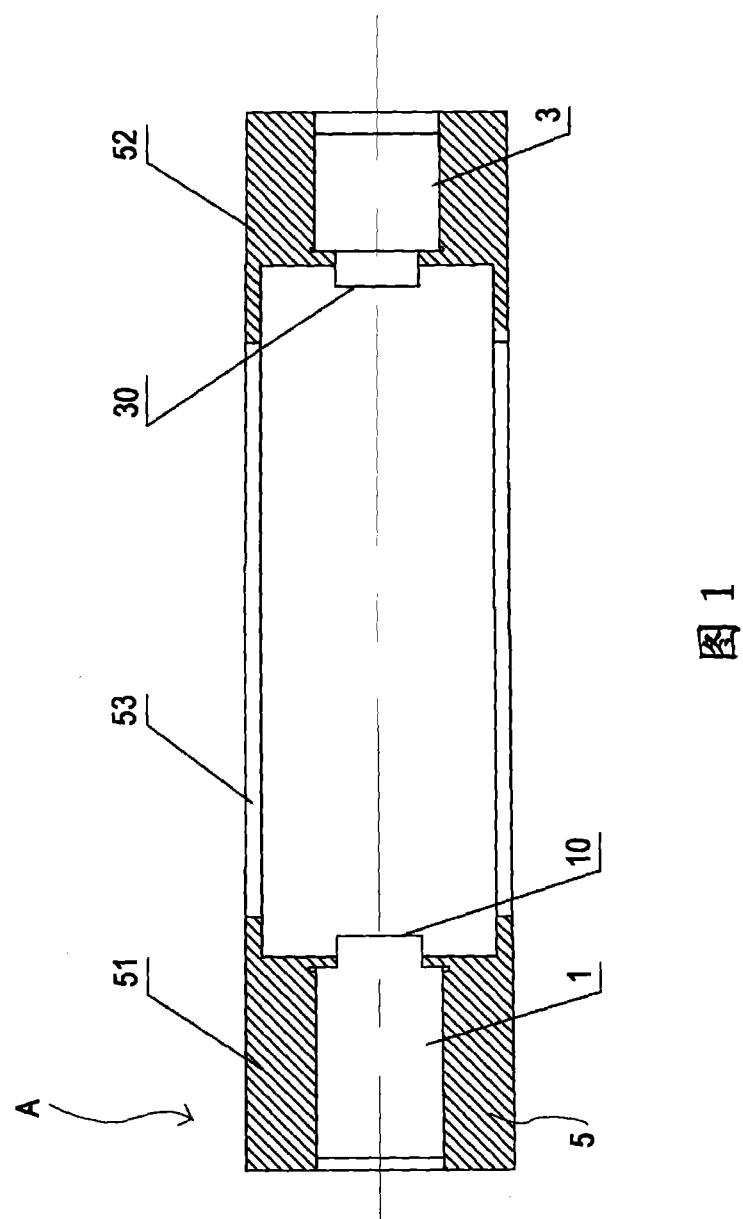


图 1

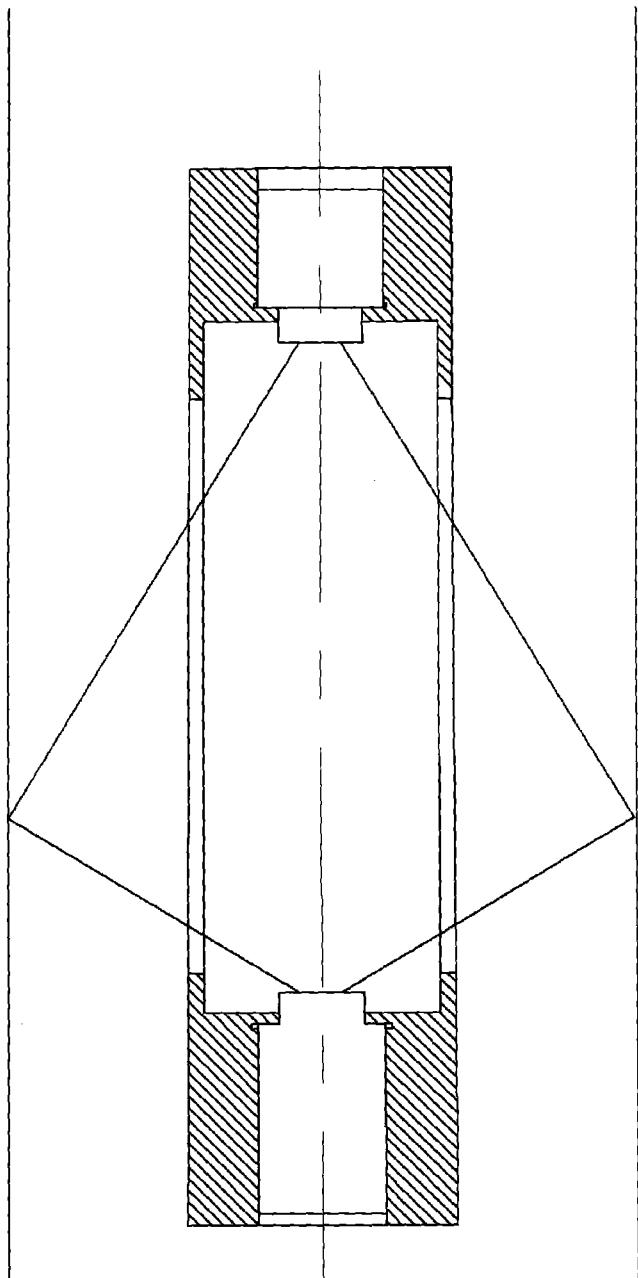


图 2

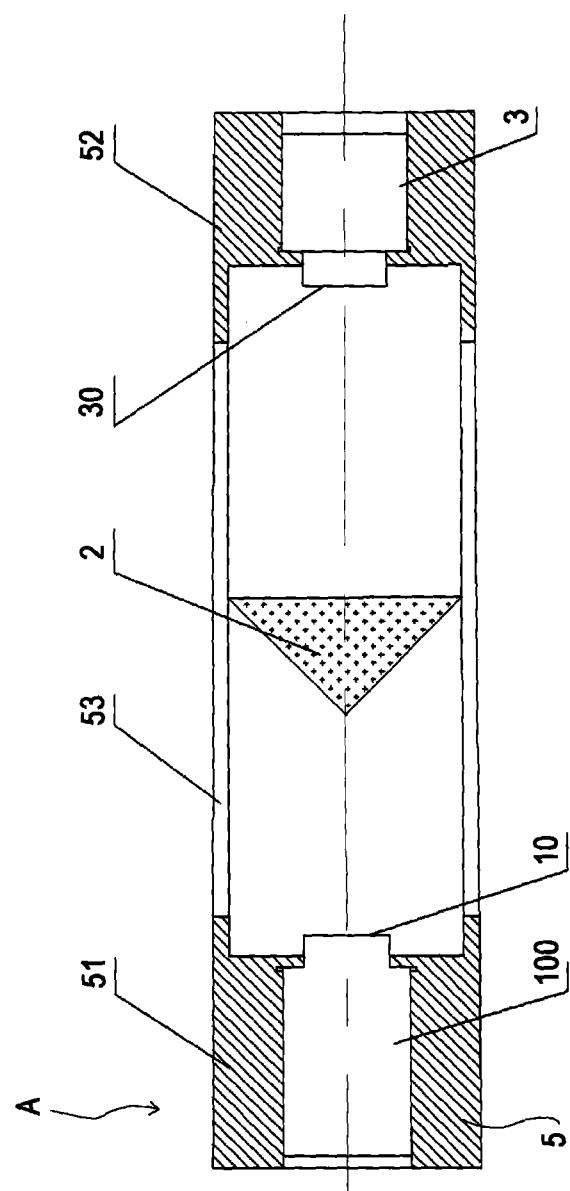


图 3

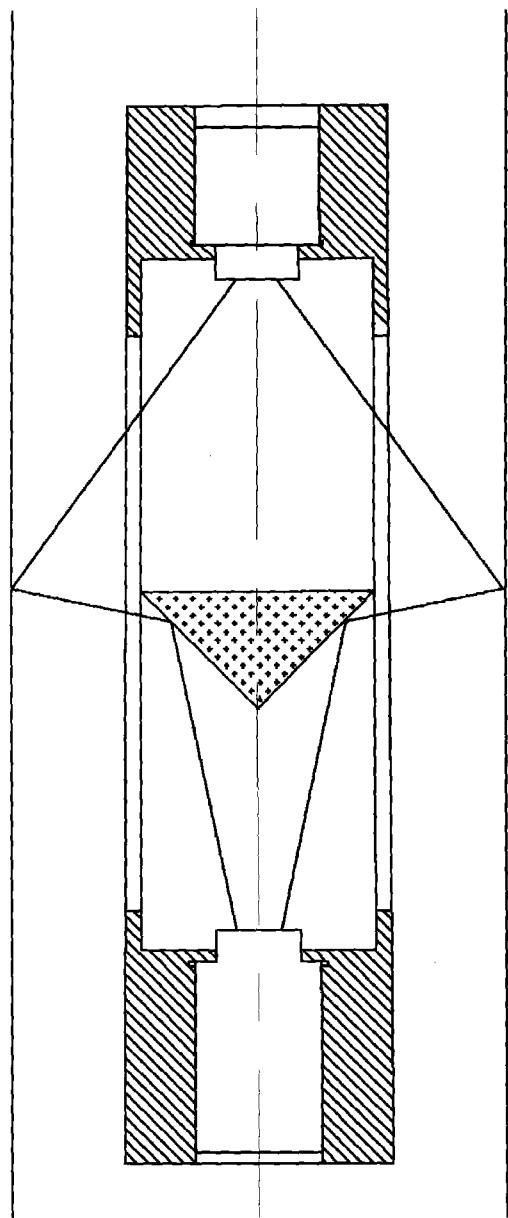


图 4

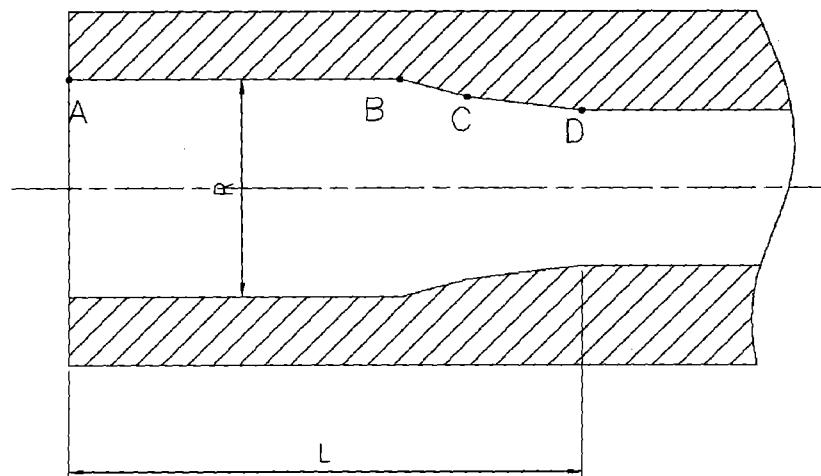


图 5

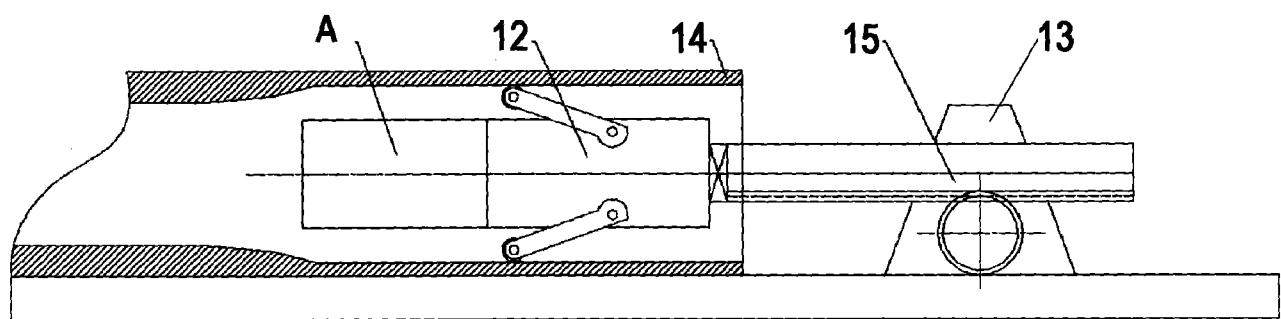


图 6