



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114088734 A

(43) 申请公布日 2022. 02. 25

(21) 申请号 202111372933.X

(22) 申请日 2021.11.18

(71) 申请人 广东电网有限责任公司

地址 510000 广东省广州市越秀区东风东
路757号

申请人 广东电网有限责任公司电力科学研
究院

(72) 发明人 罗啸宇 聂铭 谢文平 刘小璐
黄正 董重里 梁永纯 吕旺燕
肖凯

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限
公司 44202

代理人 郭浩辉 颜希文

(51) Int.Cl.

G01N 21/95 (2006.01)

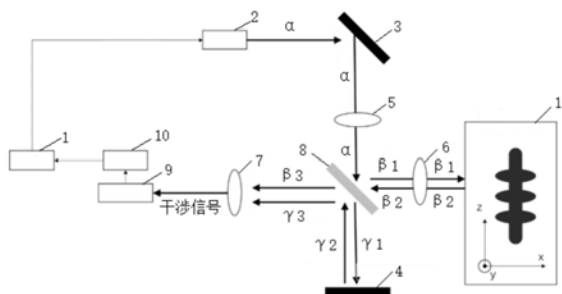
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54) 发明名称

一种复合绝缘子内部缺陷检测系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种复合绝缘子内部缺陷检测系统及方法。本发明通过采用电磁波扫描复合绝缘子的每一断面,得到复合绝缘子各个断面反馈的干涉信号,分别根据每一断面反馈的干涉信号确定每一断面的内部缺陷及缺陷位置,以绘制每一断面内部缺陷的二维分布图,进而根据所有断面内部缺陷的二维分布图生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图,能够适用于复合绝缘子的曲面检测,高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷,并实现内部缺陷的三维重构。



1. 一种复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,包括控制器、电磁波信号源、第一反射玻璃、第二反射玻璃、第一凸透镜、第二凸透镜、第三凸透镜、偏振分束器、量热仪、信号采集器;

所述控制器,用于针对复合绝缘子的每一断面,在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴每旋转预设角度时,向所述电磁波信号源发送控制信号;

所述电磁波信号源,用于根据所述控制信号产生入射信号,使所述入射信号依次经过所述第一反射玻璃、所述第一凸透镜到达所述偏振分束器;

所述偏振分束器,用于将所述入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使所述第一折射信号经过所述第二凸透镜到达所述复合绝缘子,使所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃,并在获取到所述第一折射信号到达所述复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃后产生的第二反射信号时,将所述第一反射信号在所述偏振分束器上形成的第二透射信号,以及所述第二反射信号在所述偏振分束器上形成的第二折射信号传递到所述第三凸透镜;

所述量热仪,用于获取所述第二透射信号和所述第二折射信号在所述第三凸透镜上发生干涉形成的干涉信号,通过所述信号采集器将所述干涉信号转发至所述控制器;

所述控制器,还用于在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图,并在所述复合绝缘子已绕各个所述断面的中心轴旋转一周后,根据所有所述断面内部缺陷的二维分布图,生成所述复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

2. 如权利要求1所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,所述在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图,具体为:

分别对每一所述干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换,得到各个所述干涉信号对应的深度分布图;

分别根据每一所述深度分布图确定内部缺陷的边界,并计算所述内部缺陷的边界与所述复合绝缘子的边界之间的距离;

根据所有所述距离,绘制当前所述断面内部缺陷的二维分布图。

3. 如权利要求1所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,在所述根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图之前,还包括:

对每一所述干涉信号进行误差校准。

4. 如权利要求3所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,所述对每一所述干涉信号进行误差校准,具体为:

通过预先建立的校准模型对每一所述干涉信号进行误差校准。

5. 如权利要求1所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,还包括工作台;

所述工作台,用于固定所述复合绝缘子,并带动所述复合绝缘子沿径向移动预设距离,使所述复合绝缘子的一个所述断面处于检测位,以及带动所述复合绝缘子沿当前所述断面的中心轴旋转所述预设角度。

6. 如权利要求1所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,所述电磁波信号源

由信号发生器、频率乘法器、隔离器和喇叭天线组成。

7. 如权利要求1所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,所述第一反射玻璃和所述第二反射玻璃均为氧化铟锡透明氧化膜玻璃。

8. 如权利要求1所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,其特征在于,所述入射信号为扫频信号;其中,所述扫频信号的频率范围为50-120GHz,扫频间隔为0.05-0.1GHz。

9. 一种复合绝缘子内部缺陷检测方法,其特征在于,适用于如权利要求1~8任一项所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,包括:

所述控制器针对复合绝缘子的每一断面,在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴每旋转预设角度时,向所述电磁波信号源发送控制信号;

所述电磁波信号源根据所述控制信号产生入射信号,使所述入射信号依次经过所述第一反射玻璃、所述第一凸透镜到达所述偏振分束器;

所述偏振分束器将所述入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使所述第一折射信号经过所述第二凸透镜到达所述复合绝缘子,使所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃,并在获取到所述第一折射信号到达所述复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃后产生的第二反射信号时,将所述第一反射信号在所述偏振分束器上形成的第二透射信号,以及所述第二反射信号在所述偏振分束器上形成的第二折射信号传递到所述第三凸透镜;

所述量热仪获取所述第二透射信号和所述第二折射信号在所述第三凸透镜上发生干涉形成的干涉信号,通过所述信号采集器将所述干涉信号转发至所述控制器;

所述控制器在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图,并在所述复合绝缘子已绕各个所述断面的中心轴旋转一周后,根据所有所述断面内部缺陷的二维分布图,生成所述复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

10. 如权利要求9所述的复合绝缘子内部缺陷检测方法,其特征在于,所述在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图,具体为:

分别对每一所述干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换,得到各个所述干涉信号对应的深度分布图;

分别根据每一所述深度分布图确定内部缺陷的边界,并计算所述内部缺陷的边界与所述复合绝缘子的边界之间的距离;

根据所有所述距离,绘制当前所述断面内部缺陷的二维分布图。

一种复合绝缘子内部缺陷检测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及缺陷检测技术领域,尤其涉及一种复合绝缘子内部缺陷检测系统及方法。

背景技术

[0002] 复合绝缘子由芯棒、伞裙、护套和连接金具组成。由于伞裙老化、机械断裂等原因,复合绝缘子的内部经常会出现许多缺陷,极大地降低了复合绝缘子的电气性能。目前,复合绝缘子内部缺陷检测主要采用射线检测、超声波检测等手段。射线检测是利用放射线(x射线、 γ 射线或其他高能射线)穿透金属材料,在底片上形成黑度不同的影像,据此来检测金属材料内部缺陷的性质、大小等情况,该手段具有发现缺陷直观、检查结果准确可靠、可将底片保留备查、对气孔夹渣和焊接不良等体积型缺陷敏感等优点,但放射线对人体有害,且探伤成本高、检测效率低。超声波检测是通过超声波与被检材料及其内部缺陷的相互作用,对被检材料及其内部缺陷反射和透射的超声波进行处理研究,来判断出被检材料是否存在内部缺陷、缺陷存在的位置等信息,该手段主要利用被检材料本身及其内部缺陷对超声波传播的影响来被检材料的内部缺陷,如气孔夹渣、橡胶分层、裂纹、脱粘、贫胶等,对面积型缺陷的检出率较高,被广泛应用于各种金属、非金属及复合材料等内部缺陷的无损检测,但超声波检测是一种接触性检测,需要紧贴复合绝缘子表面,要求探头的贴合性较高,难以对复合绝缘子伞裙曲率较大的部位进行检测。可见,基于现有的复合绝缘子内部缺陷的无损检测手段仍难以高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷。

发明内容

[0003] 为了克服现有技术的缺陷,本发明提供一种复合绝缘子内部缺陷检测系统及方法,能够适用于复合绝缘子的曲面检测,高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷,并实现内部缺陷的三维重构。

[0004] 为了解决上述技术问题,第一方面,本发明一实施例提供一种复合绝缘子内部缺陷检测系统,包括控制器、电磁波信号源、第一反射玻璃、第二反射玻璃、第一凸透镜、第二凸透镜、第三凸透镜、偏振分束器、量热仪、信号采集器;

[0005] 所述控制器,用于针对复合绝缘子的每一断面,在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴每旋转预设角度时,向所述电磁波信号源发送控制信号;

[0006] 所述电磁波信号源,用于根据所述控制信号产生入射信号,使所述入射信号依次经过所述第一反射玻璃、所述第一凸透镜到达所述偏振分束器;

[0007] 所述偏振分束器,用于将所述入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使所述第一折射信号经过所述第二凸透镜到达所述复合绝缘子,使所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃,并在获取到所述第一折射信号到达所述复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃后产生的第二反射信号时,将所述第一反射信号在所述偏振分束器上形成的第二透射信号,以及所述第二反射信号在所述偏振分

束器上形成的第二折射信号传递到所述第三凸透镜；

[0008] 所述量热仪，用于获取所述第二透射信号和所述第二折射信号在所述第三凸透镜上发生干涉形成的干涉信号，通过所述信号采集器将所述干涉信号转发至所述控制器；

[0009] 所述控制器，还用于在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后，根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测，生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图，并在所述复合绝缘子已绕各个所述断面的中心轴旋转一周后，根据所有所述断面内部缺陷的二维分布图，生成所述复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

[0010] 进一步地，所述在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后，根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测，生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图，具体为：

[0011] 分别对每一所述干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换，得到各个所述干涉信号对应的深度分布图；

[0012] 分别根据每一所述深度分布图确定内部缺陷的边界，并计算所述内部缺陷的边界与所述复合绝缘子的边界之间的距离；

[0013] 根据所有所述距离，绘制当前所述断面内部缺陷的二维分布图。

[0014] 进一步地，在所述根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测，生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图之前，还包括：

[0015] 对每一所述干涉信号进行误差校准。

[0016] 进一步地，所述对每一所述干涉信号进行误差校准，具体为：

[0017] 通过预先建立的校准模型对每一所述干涉信号进行误差校准。

[0018] 进一步地，所述复合绝缘子内部缺陷检测系统，还包括工作台；

[0019] 所述工作台，用于固定所述复合绝缘子，并带动所述复合绝缘子沿径向移动预设距离，使所述复合绝缘子的一个所述断面处于检测位，以及带动所述复合绝缘子沿当前所述断面的中心轴旋转所述预设角度。

[0020] 进一步地，所述电磁波信号源由信号发生器、频率乘法器、隔离器和喇叭天线组成。

[0021] 进一步地，所述第一反射玻璃和所述第二反射玻璃均为氧化烟锡透明氧化膜玻璃。

[0022] 进一步地，所述入射信号为扫频信号；其中，所述扫频信号的频率范围为50-120GHz，扫频间隔为0.05-0.1GHz。

[0023] 第二方面，本发明一实施例提供一种复合绝缘子内部缺陷检测方法，适用于如上所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统，包括：

[0024] 所述控制器针对复合绝缘子的每一断面，在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴每旋转预设角度时，向所述电磁波信号源发送控制信号；

[0025] 所述电磁波信号源根据所述控制信号产生入射信号，使所述入射信号依次经过所述第一反射玻璃、所述第一凸透镜到达所述偏振分束器；

[0026] 所述偏振分束器将所述入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号，使所述第一折射信号经过所述第二凸透镜到达所述复合绝缘子，使所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃，并在获取到所述第一折射信号到达所述复合绝缘子后产生的第一反射信号，以

及所述第一透射信号到达所述第二反射玻璃后产生的第二反射信号时,将所述第一反射信号在所述偏振分束器上形成的第二透射信号,以及所述第二反射信号在所述偏振分束器上形成的第二折射信号传递到所述第三凸透镜;

[0027] 所述量热仪获取所述第二透射信号和所述第二折射信号在所述第三凸透镜上发生干涉形成的干涉信号,通过所述信号采集器将所述干涉信号转发至所述控制器;

[0028] 所述控制器在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图,并在所述复合绝缘子已绕各个所述断面的中心轴旋转一周后,根据所有所述断面内部缺陷的二维分布图,生成所述复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

[0029] 进一步地,所述在所述复合绝缘子绕当前所述断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有所述干涉信号进行缺陷检测,生成当前所述断面内部缺陷的二维分布图,具体为:

[0030] 分别对每一所述干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换,得到各个所述干涉信号对应的深度分布图;

[0031] 分别根据每一所述深度分布图确定内部缺陷的边界,并计算所述内部缺陷的边界与所述复合绝缘子的边界之间的距离;

[0032] 根据所有所述距离,绘制当前所述断面内部缺陷的二维分布图。

[0033] 本发明的实施例,具有如下有益效果:

[0034] 通过设计复合绝缘子内部缺陷检测系统,利用控制器,针对复合绝缘子的每一断面,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴每旋转预设角度时,向电磁波信号源发送控制信号,利用电磁波信号源,根据控制信号产生入射信号,使入射信号依次经过第一反射玻璃、第一凸透镜到达偏振分束器,利用偏振分束器,将入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使第一折射信号经过第二凸透镜到达复合绝缘子,使第一透射信号到达第二反射玻璃,并在获取到第一折射信号到达复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及第一透射信号到达第二反射玻璃后产生的第二反射信号时,将第一反射信号在偏振分束器上形成的第二透射信号,以及第二反射信号在偏振分束器上形成的第二折射信号传递到第三凸透镜,利用量热仪,获取第二透射信号和第二折射信号在第三凸透镜上发生干涉形成的干涉信号,通过信号采集器将干涉信号转发至控制器,利用控制器,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,并在复合绝缘子已绕各个断面的中心轴旋转一周后,根据所有断面内部缺陷的二维分布图,生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图,实现复合绝缘子内部缺陷检测。相比于现有技术,本发明的实施例通过采用电磁波扫描复合绝缘子的每一断面,得到复合绝缘子各个断面反馈的干涉信号,分别根据每一断面反馈的干涉信号确定每一断面的内部缺陷及缺陷位置,以绘制每一断面内部缺陷的二维分布图,进而根据所有断面内部缺陷的二维分布图生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图,能够适用于复合绝缘子的曲面检测,高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷,并实现内部缺陷的三维重构。

附图说明

[0035] 图1为本发明第一实施例中的一种复合绝缘子内部缺陷检测装置的结构示意图;

- [0036] 图2为本发明第一实施例中的电磁波信号源的结构示意图；
- [0037] 图3为本发明第一实施例中示例的复合绝缘子横截面的示意图；
- [0038] 图4为本发明第一实施例中示例的在复合绝缘子中人工设置缺陷得到的干涉信号的信号光谱图；
- [0039] 图5为本发明第一实施例中示例的深度分布图；
- [0040] 图6为本发明第一实施例中示例的无缺陷断面的二维扫描图；
- [0041] 图7为本发明第一实施例中示例的有缺陷断面1的二维扫描图；
- [0042] 图8为本发明第一实施例中示例的有缺陷断面2的二维扫描图；
- [0043] 图9为本发明第一实施例中示例的有缺陷断面3的二维扫描图；
- [0044] 图10为本发明第二实施例中的一种复合绝缘子内部缺陷检测方法的流程示意图；
- [0045] 其中,说明书附图1中的附图标记如下:
- [0046] 1:控制器;2:电磁波信号源;3:第一反射玻璃;4:第二反射玻璃;5:第一凸透镜;6:第二凸透镜;7:第三凸透镜;8:偏振分束器;9:量热仪;10:信号采集器;11:工作台。

具体实施方式

[0047] 下面将结合本发明中的附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0048] 需要说明的是,文中的步骤编号,仅为了方便具体实施例的解释,不作为限定步骤执行先后顺序的作用。

[0049] 如图1所示,第一实施例提供一种复合绝缘子内部缺陷检测系统,包括控制器1、电磁波信号源2、第一反射玻璃3、第二反射玻璃4、第一凸透镜5、第二凸透镜6、第三凸透镜7、偏振分束器8、量热仪9、信号采集器10;控制器1,用于针对复合绝缘子的每一断面,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴每旋转预设角度时,向电磁波信号源2发送控制信号;电磁波信号源2,用于根据控制信号产生入射信号,使入射信号依次经过第一反射玻璃3、第一凸透镜5到达偏振分束器8;偏振分束器8,用于将入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使第一折射信号经过第二凸透镜6到达复合绝缘子,使第一透射信号到达第二反射玻璃4,并在获取到第一折射信号到达复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及第一透射信号到达第二反射玻璃4后产生的第二反射信号时,将第一反射信号在偏振分束器8上形成的第二透射信号,以及第二反射信号在偏振分束器8上形成的第二折射信号传递到第三凸透镜7;量热仪9,用于获取第二透射信号和第二折射信号在第三凸透镜7上发生干涉形成的干涉信号,通过信号采集器10将干涉信号转发至控制器1;控制器1,还用于在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,并在复合绝缘子已绕各个断面的中心轴旋转一周后,根据所有断面内部缺陷的二维分布图,生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

[0050] 需要说明的是,断面是根据实际检测需求指定的复合绝缘子的横截面,或者是复合绝缘子沿径向每移动预设距离后处于检测位的横截面。

[0051] 作为示例性地,控制器1监测复合绝缘子的位置状态,若监测到复合绝缘子的一断

面处于检测位,则在复合绝缘子绕当前断面的中心轴每旋转预设角度时,向电磁波信号源2发送控制信号,相当于复合绝缘子旋转一次即发送一次控制信号。

[0052] 电磁波信号源2在接收到控制器1发送的控制信号时,根据控制信号产生入射信号 α ,比如扫频信号,将入射信号 α 传递到第一反射玻璃3,以使第一反射玻璃3将入射信号 α 传递到第一凸透镜5,进而使第一凸透镜5将入射信号 α 传递到偏振分束器8。

[0053] 偏振分束器8将入射信号 α 分解为第一折射信号 $\beta 1$ 和第一透射信号 $\gamma 1$,将第一折射信号 $\beta 1$ 传递到第二凸透镜6,使第二凸透镜6将第一折射信号 $\beta 1$ 传递到复合绝缘子,同时将第一透射信号 $\gamma 1$ 传递到第二反射玻璃4,并在获取到第一折射信号 $\beta 1$ 到达复合绝缘子后产生的第一反射信号 $\beta 2$,以及第一透射信号 $\gamma 1$ 到达第二反射玻璃4后产生的第二反射信号 $\gamma 2$ 时,将第一反射信号 $\beta 2$ 在偏振分束器8上形成的第二透射信号 $\beta 3$,以及第二反射信号 $\gamma 2$ 在偏振分束器8上形成的第二折射信号 $\gamma 3$ 传递到第三凸透镜7,以使第二透射信号 $\beta 3$ 和第二折射信号 $\gamma 3$ 在第三凸透镜7上发生干涉形成干涉信号。

[0054] 量热仪9获取第二透射信号 $\beta 3$ 和第二折射信号 $\gamma 3$ 在第三凸透镜7上发生干涉形成的干涉信号,向信号采集器10发送干涉信号,以使信号采集器10将干涉信号转发至控制器1。

[0055] 控制器1在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,确定当前断面的内部缺陷及缺陷位置,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,并在复合绝缘子已绕各个断面的中心轴旋转一周,即得到所有断面内部缺陷的二维分布图后,根据所有断面内部缺陷的二维分布图,生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

[0056] 本实施例通过采用电磁波扫描复合绝缘子的每一断面,得到复合绝缘子各个断面反馈的干涉信号,分别根据每一断面反馈的干涉信号确定每一断面的内部缺陷及缺陷位置,以绘制每一断面内部缺陷的二维分布图,进而根据所有断面内部缺陷的二维分布图生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图,能够适用于复合绝缘子的曲面检测,高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷,并实现内部缺陷的三维重构。

[0057] 本实施例采用凸透镜在各个信号光路上对信号光波进行汇聚,减小信号光束的直径,从而提高信号的强度和分辨率。

[0058] 在优选的实施例当中,所述在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,具体为:分别对每一干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换,得到各个干涉信号对应的深度分布图;分别根据每一深度分布图确定内部缺陷的边界,并计算内部缺陷的边界与复合绝缘子的边界之间的距离;根据所有距离,绘制当前断面内部缺陷的二维分布图。

[0059] 作为示例性地,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周,完成扫描当前断面圆周上的若干个检测点后,接收当前断面反馈的所有干涉信号,分别对每一干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换(逆傅里叶变换),得到各个干涉信号对应的深度分布图,并分别根据每一深度分布图分辨内部缺陷的边界,计算内部缺陷的边界与复合绝缘子的左边界之间的距离,以及计算内部缺陷的边界与复合绝缘子的右边界之间的距离,根据得到的所有距离确定当前断面的内部缺陷及缺陷位置,绘制当前断面内部缺陷的二维分布图。

[0060] 本实施例通过对每一断面圆周上的各个检测点进行单点检测,根据扫描各个检测

点得到的干涉信号,分辨内部缺陷的边界,并结合各个内部缺陷的边界与复合绝缘子的左右边界之间的距离关系,定位各个内部缺陷的缺陷位置,方便绘制当前断面内部缺陷的二维分布图,能够直观获知每一断面内部缺陷的分布情况,高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷。

[0061] 在优选的实施例当中,在所述根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图之前,还包括:对每一干涉信号进行误差校准。

[0062] 在本实施例的一优选实施方式中,所述对每一干涉信号进行误差校准,具体为:通过预先建立的校准模型对每一干涉信号进行误差校准。

[0063] 其中,校准模型为:

$$[0064] \quad D_k = \sum_{l=1}^L (A_l \gamma_l^* + A_l^* \gamma_l^{**}) \quad (1);$$

[0065] 式(1)中, D_k 为干涉信号强度与信号源强度之比, L 为边界的数量, $A_l = a_l e^{i2\pi b_l k_{\min}}$, A_l 为到达复合绝缘子前计算得到的第一中间变量, $A_l^* = a_l e^{i2\pi b_l k_{\min}}$, A_l^* 为到达复合绝缘子后计算得到的第一中间变量, $\gamma_l^* = e^{i2\pi b_l \Delta k}$, γ_l^* 为第 k 个波束到达复合绝缘子前计算得到的第二中间变量, $\gamma_l^{**} = e^{i2\pi b_l \Delta k}$, γ_l^{**} 为第 k 个波束到达复合绝缘子后计算得到的第二中间变量, $a_l = (n_{l+1} - n_l) / (n_{l+1} + n_l)$ 为第 l 个边界的反射率, n_l 为第 l 个边界的折射率, $b_l = \sum_{p=1}^l (z_p - z_{p-1}) n_p$ 正比于光路到第 l 个边界的长度, z_p 为几何长度, n_p 为折射率, k_{\min} 为光源的最小波长, Δk 为波束的步长, k 为波束的序号。

[0066] 本实施例通过在根据所有干涉信号进行缺陷检测之前,通过预先建立的校准模型对每一干涉信号进行误差校准,有利于进一步准确地检测复合绝缘子的内部缺陷。

[0067] 在优选的实施例当中,所述复合绝缘子内部缺陷检测系统,还包括工作台11;工作台11,用于固定复合绝缘子,并带动复合绝缘子沿径向移动预设距离,使复合绝缘子的一个断面处于检测位,以及带动复合绝缘子沿当前断面的中心轴旋转预设角度。

[0068] 作为示例性地,工作台11带动复合绝缘子沿径向移动预设距离,使复合绝缘子的第一个断面处于检测位,带动复合绝缘子沿第一个断面的中心轴旋转预设角度,使第一个断面圆周上的第一个检测点对准检测位进行缺陷检测,继续带动复合绝缘子沿第一个断面的中心轴旋转预设角度,使第一个断面圆周上的第二个检测点对准检测位进行检测,按此操作,直至带动复合绝缘子沿第一个断面的中心轴旋转预设角度,使第一个断面圆周上的最后一个检测点对准检测位进行检测,完成带动复合绝缘子绕第一个断面的中心轴旋转一周。

[0069] 工作台11继续带动复合绝缘子沿径向移动预设距离,使复合绝缘子的第二个断面处于检测位,带动复合绝缘子沿第二个断面的中心轴多次旋转预设角度,完成带动复合绝缘子绕第二个断面的中心轴旋转一周。

[0070] 按此操作,直至带动复合绝缘子沿径向移动预设距离,使复合绝缘子的最后一个断面处于检测位,带动复合绝缘子沿最后一个断面的中心轴多次旋转预设角度,完成带动复合绝缘子绕最后一个断面的中心轴旋转一周。

[0071] 本实施例通过增设工作台11来驱动复合绝缘子移动及旋转,能够保证复合绝缘子每一断面圆周上的各个检测点对准检测位,有利于进一步高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷。

[0072] 如图2所示,在优选的实施例当中,电磁波信号源2由信号发生器、频率乘法器、隔离器和喇叭天线组成。

[0073] 在优选的实施例当中,第一反射玻璃3和第二反射玻璃4均为氧化铟锡透明氧化膜玻璃。

[0074] 本实施例通过采用氧化铟锡透明氧化膜玻璃作为第一反射玻璃3和第二反射玻璃4,能够利用氧化铟锡透明氧化膜玻璃的高反射率优点,尽可能保全信号的辐射能量,有利于提高复合绝缘子内部缺陷检测精度。

[0075] 在优选的实施例当中,入射信号为扫频信号;其中,扫频信号的频率范围为50-120GHz,扫频间隔为0.05-0.1GHz。

[0076] 为了更好地说明第一实施例提供的一种复合绝缘子内部缺陷检测系统,选择计算机作为控制器1,由控制器1控制电磁波信号源2发出THz电磁波,其中电磁波信号源2由信号发生器、频率放大器、隔离器和喇叭天线组成,如图2所示。通过电磁波信号源2产生频率范围为50-120GHz、扫频间隔为0.05-0.1GHz的扫频信号,即入射信号 α 。入射信号 α (电磁波)经过第一反射玻璃3折射进入第一凸透镜5,随后经偏振分束器8分成相互垂直的两束电磁波,即第一折射信号 β_1 和第一透射信号 γ_1 。第一折射信号 β_1 通过第二凸透镜6射向被检测的复合绝缘子试样,第一透射信号 γ_1 射向第二反射玻璃4。第一折射信号 β_1 在到达复合绝缘子后反射回来第一反射信号 β_2 ,第一透射信号 γ_1 在到达第二反射玻璃4后反射回来第二反射信号 γ_2 。第一反射信号 β_2 经过偏振分束器8产生第二透射信号 β_3 进入第三凸透镜7,第二反射信号 γ_2 经过偏振分束器8产生第二折射信号 γ_3 进入第三凸透镜7。第二透射信号 β_3 和第二折射信号 γ_3 在第三凸透镜7发生干涉作用形成干涉信号。通过量热仪9测量干涉信号,测量的干涉信号通过信号采集器10进入控制器1。

[0077] 复合绝缘子固定在工作台11上,可以沿复合绝缘子轴线(z轴)移动,或是绕轴线(z轴)旋转,测量过程中电磁波从径向照射复合绝缘子,如图1所示。

[0078] 当复合绝缘子伞裙内部无缺陷时,则其内部折射率为均匀不变的常数 n 。而当内部有气孔等缺陷时,由于气孔等缺陷与伞裙基体具有不同的折射率,则认为复合绝缘子是由不同折射率物质组成的多层物体。图3为复合绝缘子横截面的示意图,其中有2个方形的气孔缺陷,THz电磁波从天线照射复合绝缘子,首先经过空气(折射率 n_1),再达到伞裙基体(复合材料,折射率 n_2),再到达气孔(折射率 $n_3=n_1$),再到达基体以及后续的气孔等。电磁波在空气、伞裙基体内有不同的反射率,并在界面处反射,从而得到干涉信号。

[0079] 接收到的干涉信号的信号光谱图通过预先建立的校准模型,即式(1)建模:

$$D_k = \sum_{l=1}^L (A_l \gamma_l^k + A_l^* \gamma_l^{*k}) \quad (1)$$

[0081] 式(1)中, D_k 为干涉信号强度与信号源强度之比, L 为边界的数量, $A_l = a_l e^{i2\pi b_l k_{\min}}$, A_l 为到达复合绝缘子前计算得到的第一中间变量, $A_l^* = a_l e^{i2\pi b_l k_{\min}}$, A_l^* 为到达复合绝缘子后计算得到的第一中间变量, $\gamma_l^k = e^{i2\pi b_l \Delta k}$, γ_l^k 为第 k 个波束到达复合绝缘子前计算得到的第二

中间变量, $\gamma_l^{*k} = e^{i2\pi b_l \Delta k}$, γ_l^{*k} 为第 k 个波束到达复合绝缘子后计算得到的第二中间变量, $a_1 = (n_{l+1} - n_l) / (n_{l+1} + n_l)$ 为第 l 个边界的反射率, n_l 为第 l 个边界的折射率, $b_l = \sum_{p=1}^l (z_p - z_{p-1}) n_p$ 正比于光路到第 l 个边界的长度, z_p 为几何长度, n_p 为折射率, k_{\min} 为光源的最小波长, Δk 为波束的步长, k 为波束的序号。

[0082] 图4为在复合绝缘子中人工设置缺陷得到的干涉信号的信号光谱图,横坐标为电磁波扫频的频率范围,纵坐标为归一化后的信号强度,分别对应气孔距离绝缘子边界1mm、2mm、3mm、5mm、10mm的距离。

[0083] 首先通过预先建立的校准模型对在复合绝缘子中人工设置缺陷所得到的干涉信号的信号光谱图进行建模,得到理论上的干涉信号的信号光谱图,并计算50-100GHz之间波形的数量,比如有 x 个周期性片段,然后测量该人工缺陷得到实际的干涉信号的信号光谱图,并计算50-100GHz之间的波形数量,比如有 y 个片段,如果 $x=y$,则不需要进行误差校正,如果 $x \neq y$,则需要通过计算机对实际的干涉信号的信号光谱图进行校正,将实际的干涉信号的信号光谱图沿横坐标方向拉伸或压缩。通常只需要测一个人工缺陷,即可完成误差校准工作。

[0084] 对干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换(逆傅里叶变换),得到如图5所示的深度分布图,第一个光谱的距离即为电磁波到达复合绝缘子第一个边界所走过的路径,第二个光谱的距离即为电磁波到达复合绝缘子第2个边界走过的路径,即气孔的左边界。由于复合绝缘子伞裙边界到芯棒的距离已知,因此只需要截取从电磁波起点到芯棒距离这一段深度分布图。同样地,可以计算到气孔的右边界的距离。

[0085] 其中,图4和图5对应的是在复合绝缘子中设置宽度远小于1mm的裂缝的气孔,该气孔左边界到右边界的距离较小,无法分辨出来。图5中的横坐标即为电磁波走过的距离,第1个光谱对应的是复合绝缘子边界,第二个光谱对应的是气孔的左边界,右边界距离左边界太近无法分辨。只有当气孔的左右边界较大时,图5中就会有第3个光谱,对应的是气孔的右边界。因此图5也反映出该系统最佳的分辨率是到1-2mm左右。

[0086] 对复合绝缘子的一个检测点扫频一次后沿 z 轴旋转 1° ,进行第二次扫描,多次扫描,即可得到复合绝缘子的外边缘与内部缺陷的边界之间的距离,根据该距离绘制出该断面的二维扫描图。

[0087] 可以理解的是,无缺陷断面的二维扫描图如图6所示,有缺陷断面1、2、3的二维扫描图分别如图7-9所示。

[0088] 扫描一个断面后,将复合绝缘子沿 z 轴移动预设距离,按同样的操作扫描一圈后,得到该断面的二维扫描图,从而通过扫描多个断面,得到气孔的三维分布图。

[0089] 基于与第一实施例相同的发明构思,第二实施例提供如图10所示的一种复合绝缘子内部缺陷检测方法,适用于如第一实施例所述的复合绝缘子内部缺陷检测系统,包括步骤S1~S5:

[0090] S1、控制器1针对复合绝缘子的每一断面,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴每旋转预设角度时,向电磁波信号源2发送控制信号;

[0091] S2、电磁波信号源2根据控制信号产生入射信号,使入射信号依次经过第一反射玻璃3、第一凸透镜5到达偏振分束器8;

[0092] S3、偏振分束器8将入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使第一折射信号经过第二凸透镜6到达复合绝缘子,使第一透射信号到达第二反射玻璃4,并在获取到第一折射信号到达复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及第一透射信号到达第二反射玻璃4后产生的第二反射信号时,将第一反射信号在偏振分束器8上形成的第二透射信号,以及第二反射信号在偏振分束器8上形成的第二折射信号传递到第三凸透镜7;

[0093] S4、量热仪9获取第二透射信号和第二折射信号在第三凸透镜7上发生干涉形成的干涉信号,通过信号采集器10将干涉信号转发至控制器1;

[0094] S5、控制器1在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,并在复合绝缘子已绕各个断面的中心轴旋转一周后,根据所有断面内部缺陷的二维分布图,生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图。

[0095] 在优选的实施例当中,所述在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,具体为:分别对每一干涉信号的信号光谱图进行IFFT变换,得到各个干涉信号对应的深度分布图;分别根据每一深度分布图确定内部缺陷的边界,并计算内部缺陷的边界与复合绝缘子的边界之间的距离;根据所有距离,绘制当前断面内部缺陷的二维分布图。

[0096] 在优选的实施例当中,在所述根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图之前,还包括:对每一干涉信号进行误差校准。

[0097] 在本实施例的一优选实施方式中,所述对每一干涉信号进行误差校准,具体为:通过预先建立的校准模型对每一干涉信号进行误差校准。

[0098] 在优选的实施例当中,所述复合绝缘子内部缺陷检测系统,还包括工作台11;工作台11,用于固定复合绝缘子,并带动复合绝缘子沿径向移动预设距离,使复合绝缘子的一个断面处于检测位,以及带动复合绝缘子沿当前断面的中心轴旋转预设角度。

[0099] 在优选的实施例当中,电磁波信号源2由信号发生器、频率乘法器、隔离器和喇叭天线组成。

[0100] 在优选的实施例当中,第一反射玻璃3和第二反射玻璃4均为氧化铟锡透明氧化膜玻璃。

[0101] 在优选的实施例当中,入射信号为扫频信号;其中,扫频信号的频率范围为50-120GHz,扫频间隔为0.05-0.1GHz。

[0102] 综上所述,实施本发明的实施例,具有如下有益效果:

[0103] 通过设计复合绝缘子内部缺陷检测系统,利用控制器1,针对复合绝缘子的每一断面,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴每旋转预设角度时,向电磁波信号源2发送控制信号,利用电磁波信号源2,根据控制信号产生入射信号,使入射信号依次经过第一反射玻璃3、第一凸透镜5到达偏振分束器8,利用偏振分束器8,将入射信号分解为第一折射信号和第一透射信号,使第一折射信号经过第二凸透镜6到达复合绝缘子,使第一透射信号到达第二反射玻璃4,并在获取到第一折射信号到达复合绝缘子后产生的第一反射信号,以及第一透射信号到达第二反射玻璃4后产生的第二反射信号时,将第一反射信号在偏振分束器8上形成的第二透射信号,以及第二反射信号在偏振分束器8上形成的第二折射信号传递到第三凸透镜7,利用量热仪9,获取第二透射信号和第二折射信号在第三凸透镜7上发生干涉形成

的干涉信号,通过信号采集器10将干涉信号转发至控制器1,利用控制器1,在复合绝缘子绕当前断面的中心轴旋转一周后,根据接收到的所有干涉信号进行缺陷检测,生成当前断面内部缺陷的二维分布图,并在复合绝缘子已绕各个断面的中心轴旋转一周后,根据所有断面内部缺陷的二维分布图,生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图,实现复合绝缘子内部缺陷检测。本发明的实施例通过采用电磁波扫描复合绝缘子的每一断面,得到复合绝缘子各个断面反馈的干涉信号,分别根据每一断面反馈的干涉信号确定每一断面的内部缺陷及缺陷位置,以绘制每一断面内部缺陷的二维分布图,进而根据所有断面内部缺陷的二维分布图生成复合绝缘子内部缺陷的三维分布图,能够适用于复合绝缘子的曲面检测,高效准确地检测复合绝缘子的内部缺陷,并实现内部缺陷的三维重构。

[0104] 以上所述是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

[0105] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,可包括如上述各实施例的流程。其中,所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory,ROM)或随机存储记忆体(Random Access Memory,RAM)等。

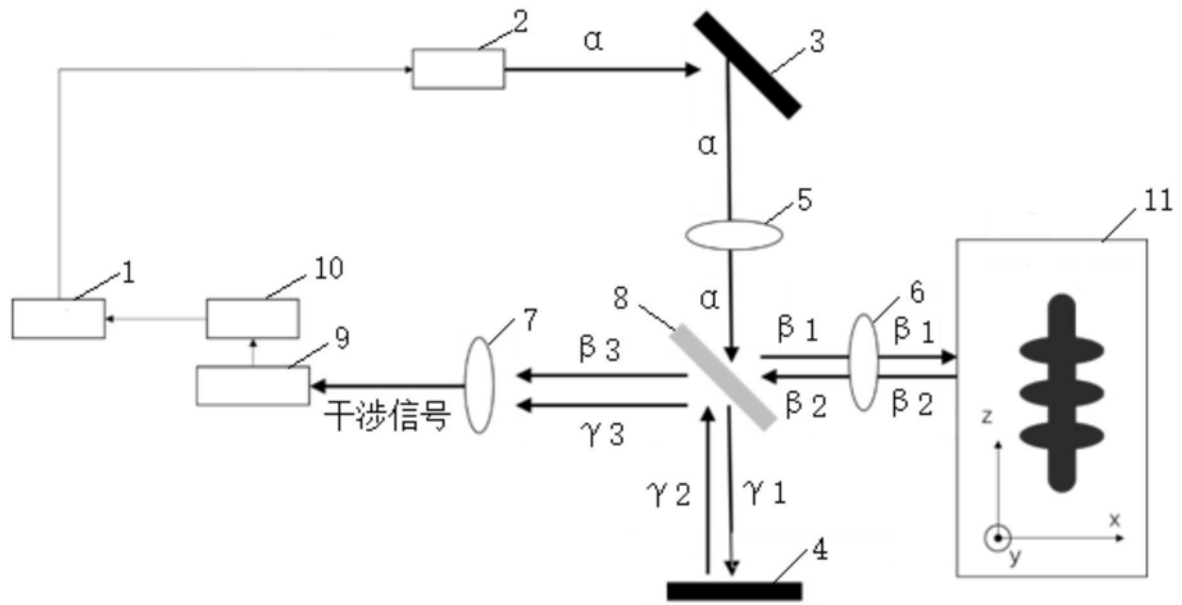


图1

信号源

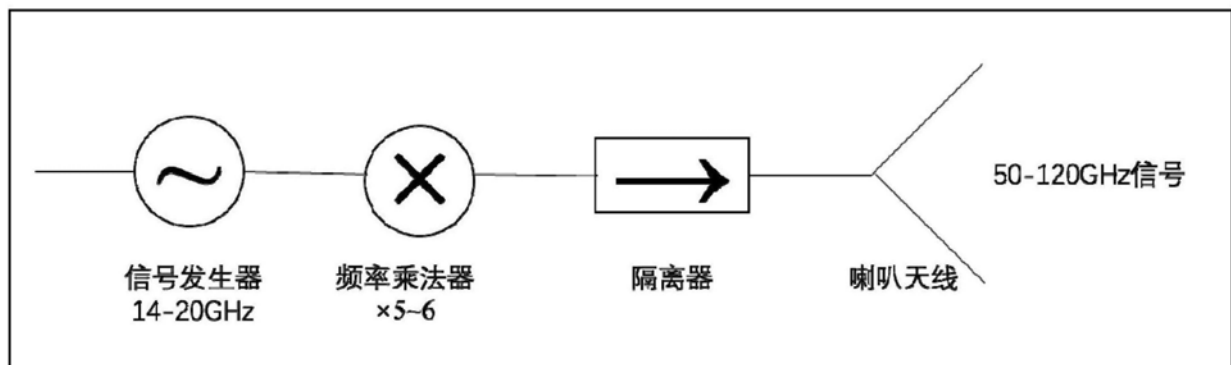


图2

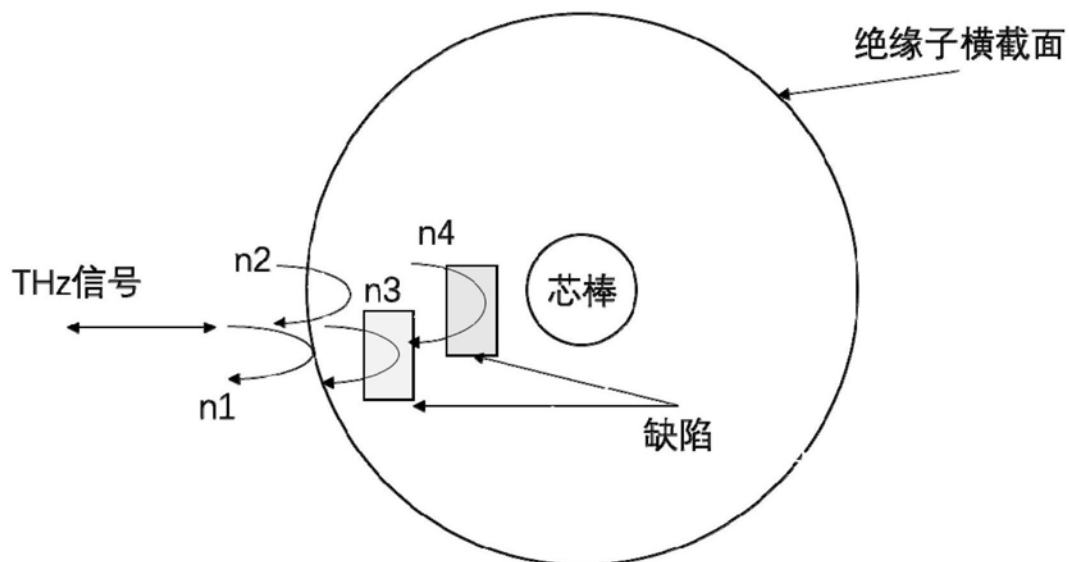


图3

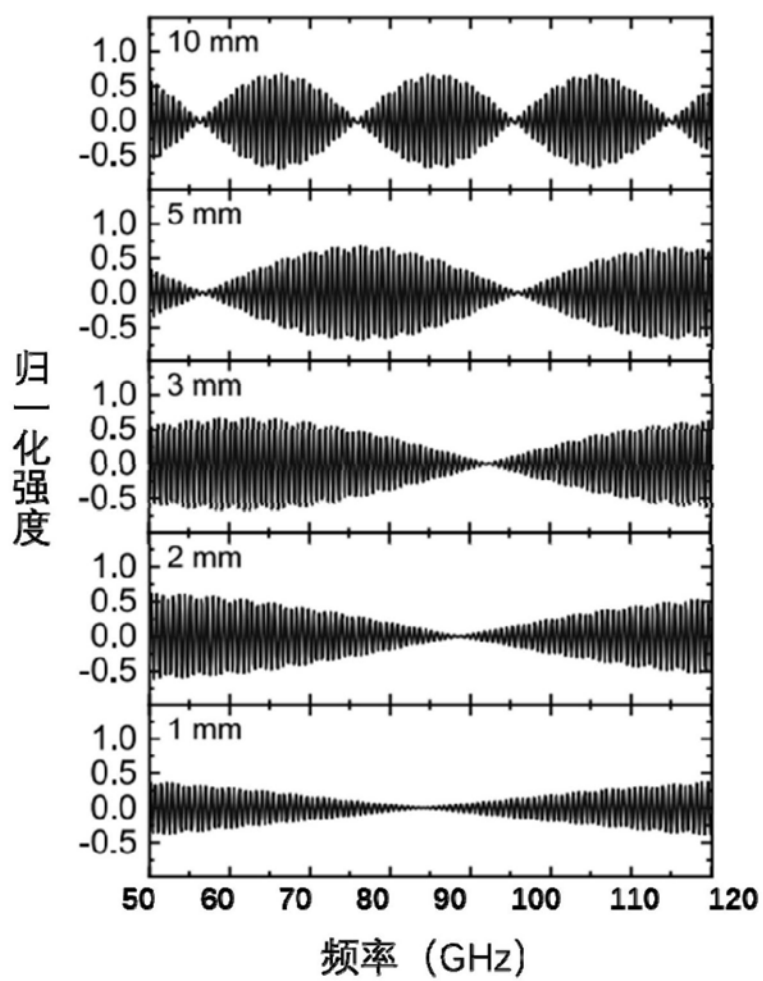


图4

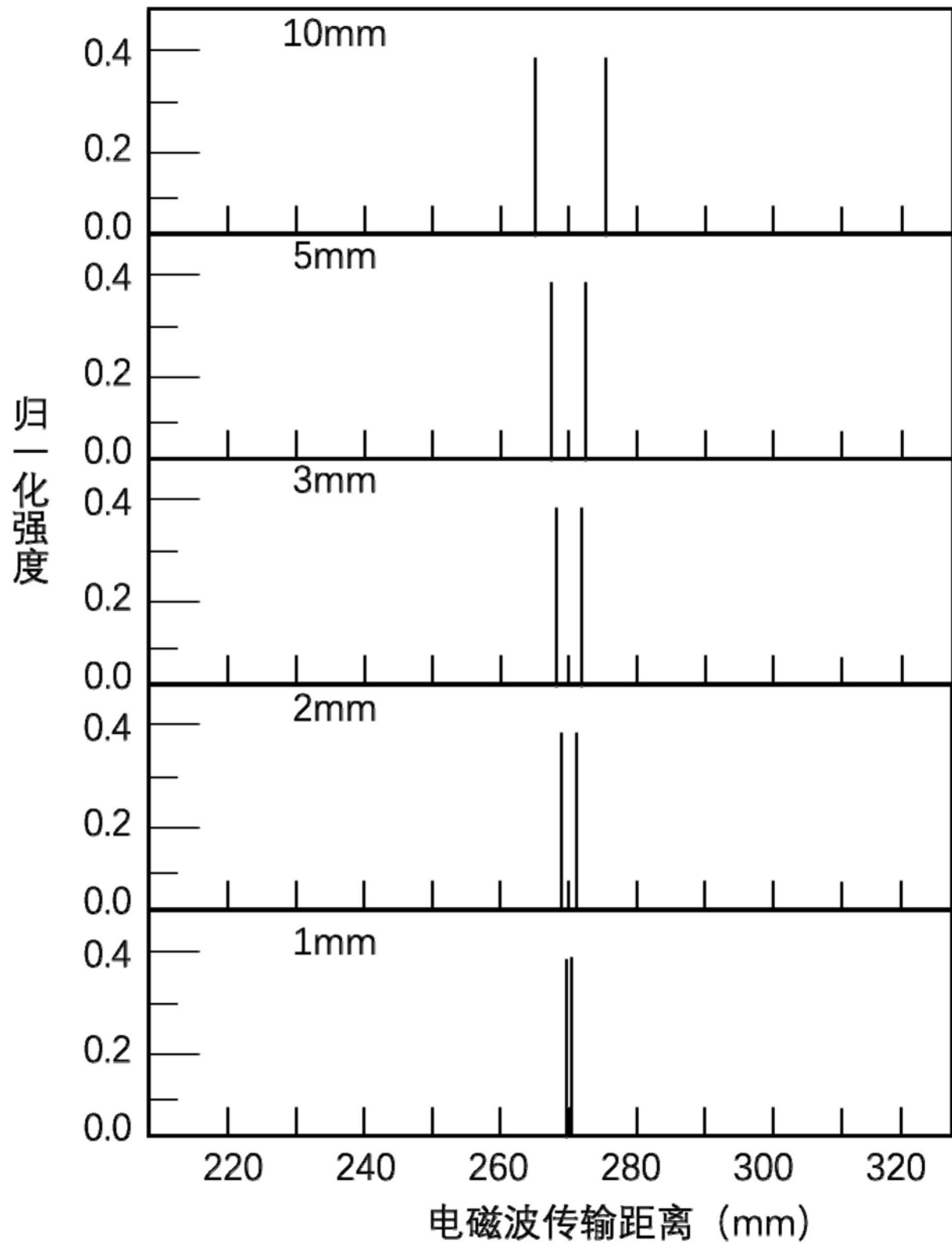


图5

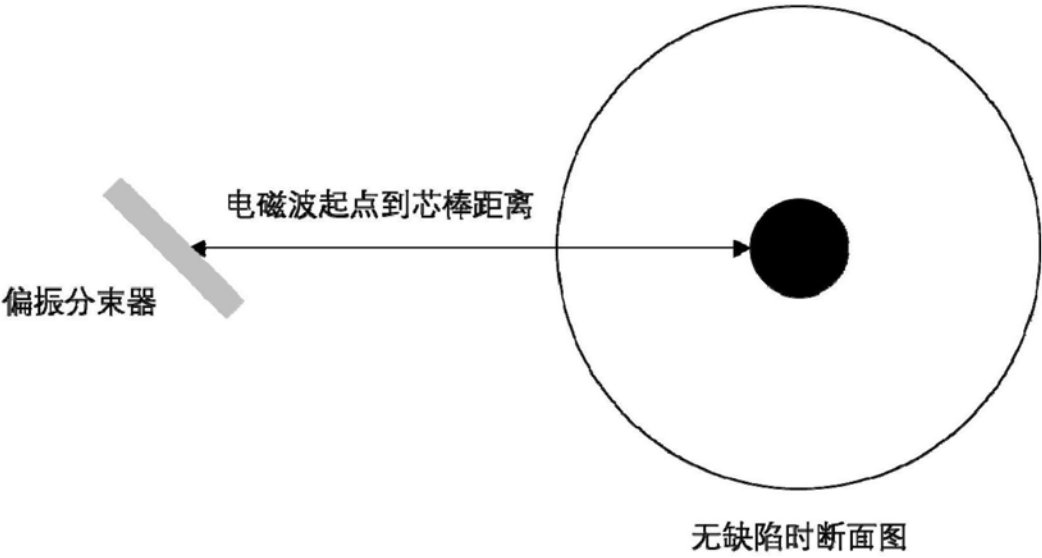


图6

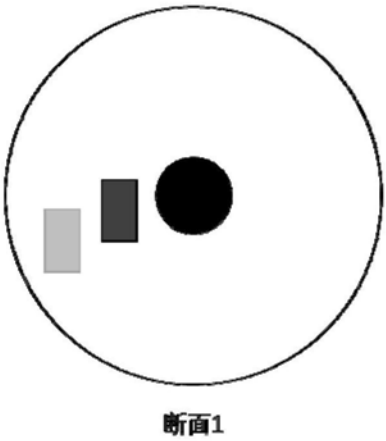
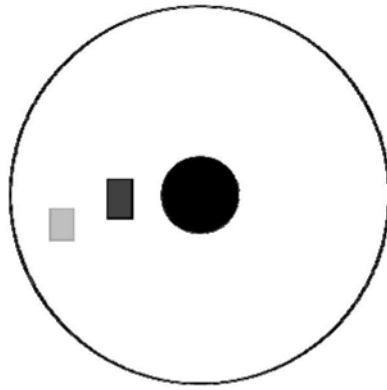
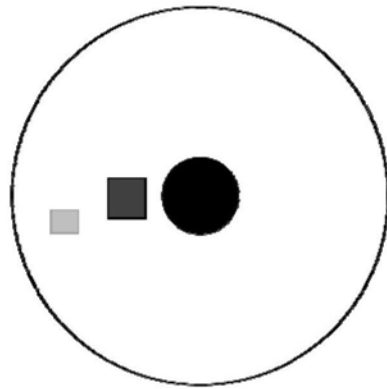


图7



断面2

图8



断面3

图9

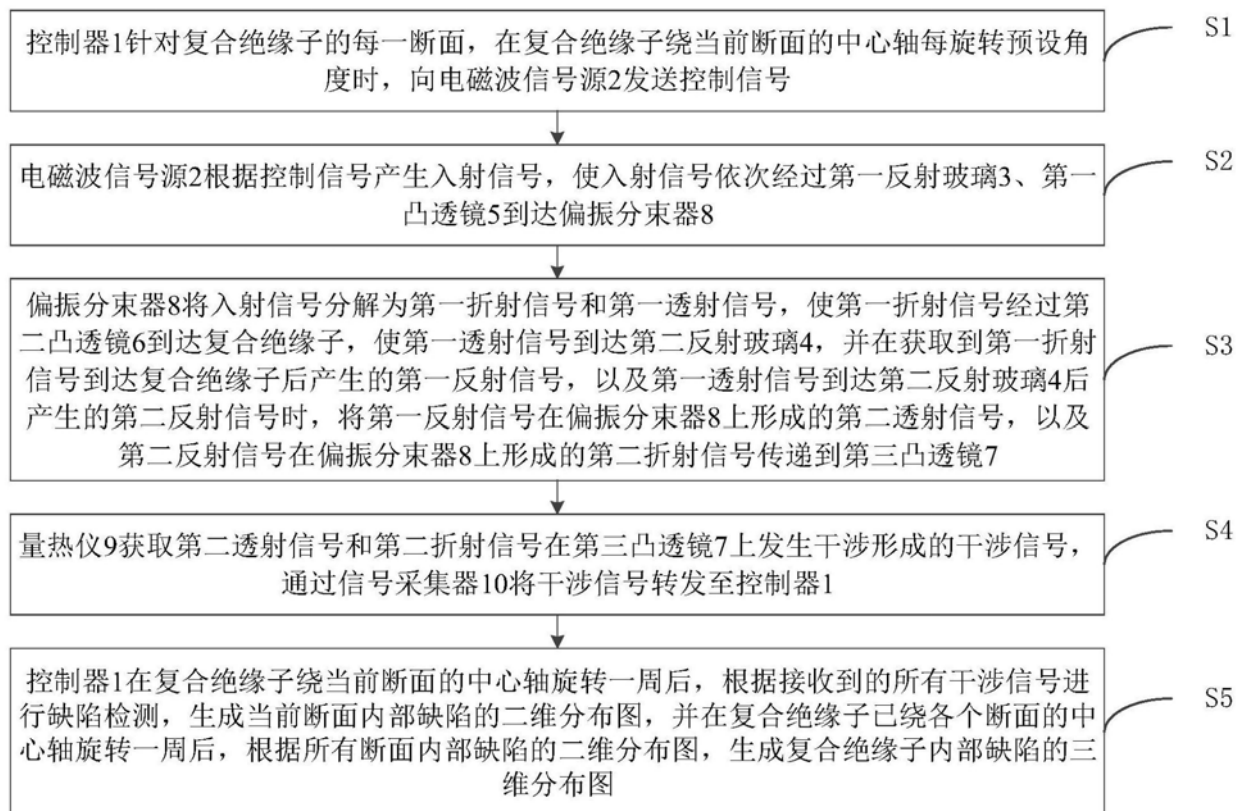


图10