



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112965135 A

(43) 申请公布日 2021.06.15

(21) 申请号 202110116126.5

(22) 申请日 2021.01.28

(71) 申请人 长安大学

地址 710000 陕西省西安市碑林区南二环路中段长安大学

申请人 中国科学院地理科学与资源研究所

(72) 发明人 兰恒星

(74) 专利代理机构 北京欣鼎专利代理事务所

(普通合伙) 11834

代理人 王阳虹

(51) Int.Cl.

G01V 11/00 (2006.01)

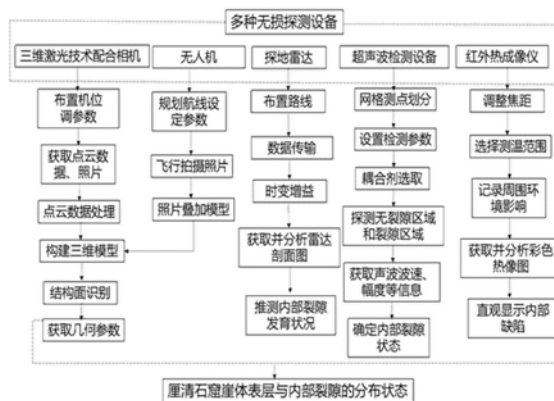
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法

(57) 摘要

本发明提出了一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,包括五种探测技术;其中,五种探测技术分别为:应用三维激光扫描技术;应用无人机探测技术;应用探地雷达技术;应用超声波探测技术;应用红外热像仪技术用来探测石窟崖体表层及内部裂隙发育情况;其中,五种探测技术用来厘清石窟崖体表层及内部裂隙;应用三维激光扫描技术配合相机技术用来识别石质文物表层裂隙并提取信息;应用无人机探测技术捕捉高陡石窟崖体表面整体地形和隐蔽的裂隙位置进行捕捉;应用红外热像仪技术用来探测石窟内部裂隙发育情况。本发明能够综合准确厘清石窟崖体表层与内部裂隙的分布状态;解决传统技术对石质文物结构面探测方式存在的不可逆破坏、精准性差的问题。



CN 112965135 A

1. 一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,其特征在於:包括五种探测技术;

其中,五种探测技术分别为:应用三维激光扫描技术;应用无人机探测技术;应用探地雷达技术;应用超声波探测技术;应用红外热像仪技术用来探测石窟崖体表层及内部裂隙发育情况;

其中,五种探测技术用来厘清石窟崖体表层及内部裂隙;

其中,应用三维激光扫描技术配合相机技术用来识别石质文物表层裂隙并提取信息;

其中,应用无人机探测技术捕捉高陡石窟崖体表面整体地形和隐蔽的裂隙位置进行捕捉;

其中,应用探地雷达技术用来推测石窟崖体内部目标部位结构面分布形态;

其中,应用超声波探测技术用来探测石窟崖体内部裂隙发育情况;

其中,应用红外热像仪技术用来显示石窟崖体隐蔽存在的缺陷。

2. 根据权利要求1所述的一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,其特征在於,所述应用三维激光扫描配合相机技术包括以下步骤:

A. 以所研究的石窟崖体6m长、10m高的区域作为调查窗口,选用Riegl VZ-1000型地面三维激光扫描仪布置合适的架机位,保证三脚架台面水平,放置扫描仪主机在三脚架台面,固定旋钮;通过粗调脚架及微调扫描仪底座使主机气泡居中,确保目标区域在三维激光仪器扫描的范围内;

B. 启动RiSCAN\_Pro扫描控制软件设置相关参数:水平角度范围为 $0^{\circ}$ - $120^{\circ}$ 、垂直角度为 $30^{\circ}$ - $110^{\circ}$ 、分辨率为0.05、历时1分钟对目标区域进行粗扫;

C. 若超出目标范围,设定仪器扫描水平角度为 $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ 、垂直角度为 $40^{\circ}$ - $100^{\circ}$ 、分辨率为0.003,以免点云数据占据过多计算内存;对目标区域精扫获取点云数据,历时25分钟,并可实时查看扫描点云数据及彩色信息情况;

D. 在三维激光扫描仪工作的同时利用架设在扫描仪上的高分辨率相机获取相应窗口的数码照片,以便后期数据处理及贴图工作;

E. 采用Cloudcompare将点云数据叠加数码照片构建目标区域三维模型,模型构建的过程为:转换点云的三维空间坐标,将点云数据三角网格化,噪音滤波去除冗余数据,将同一组结构面聚类分析,对结构面进行拟合;

F. 依次识别目标岩体结构面并获取结构面几何参数:产状,迹长、间距、张开度等。

3. 根据权利要求1所述的一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,其特征在於,所述应用无人机技术包括以下步骤:

A. 目标崖体高度20m,采用大疆“御”Mavic2专业版无人机规划航线,在Pix4Dcapture软件设定飞行参数:高度为35m,摄像头角度为 $70^{\circ}$ ,航向重叠率80%,旁向重叠率70%;

B. 启动无人机在航线飞行过程中拍摄,获取具有三维空间位置的照片,照片自动保存在无人机内部储存卡里,历时15分钟;

C. 采用Pix4D软件将获取的照片叠加到点云数据构建的模型,建立现场石窟崖体的DEM模型,数字模型中每一个点的绝对坐标都可以读取。

4. 根据权利要求1所述的一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,其特征在於,所述应用探地雷达技术包括以下步骤:

A. 选用雷迪RD1500型探地雷达,在需要关注的崖体部位布置探地雷达移动的路线,保证其在受控制的情况下匀速沿测线方向行进;

B. 采集的裂缝深部裂隙发育数据传输到计算机;

C. 时变增益处理,对近距离目标的散射回波采用衰减或较低增益放大,而对远距离目标的散射回波采用较高增益放大,使进入到数据采集电路的回波信号变得相对平稳;

D. 获取并分析雷达剖面图,解释探地雷达剖面图从而可以推测目标部位结构面发育状况及分布形态。

5. 根据权利要求1所述的一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,其特征在于,所述应用超声波探测技术包括以下步骤:

A. 选用HC-U86型超声波检测仪进行测试对所关注裂隙部位进行网格划分、布置跨缝测点,第一个测点的发射与接收换能器内边缘距离取值为100mm,测距增量为100mm;

B. 设置声波探测参数:测点间隔为100mm、波形点数、发射电压为50V;

C. 选取并涂抹耦合剂,黄土泥上敷凡士林,在保证足够好的声耦合效果同时不会造成石质文物损坏;

D. 探头对测测试,先探测未跨裂缝区域,再探测跨裂缝区域形成对比,工作时探头保持平稳;对于断面紧密结合的裂隙,超声波以投射形式传播;而对于具有一定张开度的裂隙,超声波则以绕射的方式传播;

E. 探测仪器显示屏上会自动传输并获取波速等信息,确定石质文物的损伤程度、内部裂隙发育情况以及裂隙走向和位置。

6. 根据权利要求1所述的一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,其特征在于,所述应用红外热像仪技术包括以下步骤:

A. 选用福禄克Ti32红外热像仪,自动聚焦和手动微调至目标岩体裂隙周围环境反射的温度适中;裂隙周围区域通过热像仪光学系统的图像需要占到九个及以上的像素;

B. 选择合适的测温范围,调至温度不宜过冷或者过热,直到显示最佳质量的裂隙图像;

C. 为了达到最好的效果,在冻结和记录图像的时候,应尽可能保证仪器平稳。对目标温度进行比较和趋势分析,需要记录所有影响精确测温的目标和环境温度情况;

D. 最终获取与石质文物表面热分布相对应的二维彩色热像图,直观地显示石窟内部存在的缺陷。

## 一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及石质文物探测技术领域,具体为一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法。

### 背景技术

[0002] 石质文物是我国悠久历史文化的重要传承。然而,在各种自然营力作用下,许多石质文物(尤其是暴露在自然环境条件下不可移动的石质文物)表面出现不同程度的病害,其中裂隙作为石质文物力学性质关键性控制因素,裂隙的组合造成石质文物整体强度和稳定性的降低而坍塌。因此需要对石质文物结构面的准确探测,并快速提取结构面发育特征与分布状态等信息。这不仅是分析石质文物整体稳定性的数据来源和重要依据,更是为制定合适的加固保护措施和施工工艺的基础。

[0003] 由于石质文物不可再生和珍贵的特殊属性,要求对裂隙探测的技术手段必须是无损甚至非接触的。此外,石质文物裂隙的发育状态复杂,裂隙形成于岩体内部,部分出露于岩体表面。石质文物表面裂隙传统调查的方法是在露头上采用地质罗盘、尺子进行量测,但该方法不能获取裂隙在岩体内部的延伸情况,甚至在测量过程中会导致石质文物不可逆的损伤破坏,造成严重的后果。厘清石质文物的裂隙发育情况,特别是内部的裂隙,对石质文物的稳定性预测与加固措施具有重大的指导意义和参考价值。

[0004] 因此,在研究石质文物保护的工作中,采用表面与内部综合无损探测的方法可以精确的探测到岩体结构空间异质分布及整体的情况。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,解决了背景技术提出的问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,包括五种探测技术;

[0007] 其中,五种探测技术分别为:应用三维激光扫描技术;应用无人机探测技术;应用探地雷达技术;应用超声波探测技术;应用红外热像仪技术用来探测石窟崖体表层及内部裂隙发育情况;

[0008] 其中,五种探测技术用来厘清石窟崖体表层及内部裂隙;

[0009] 其中,应用三维激光扫描技术配合相机技术用来识别石质文物表层裂隙并提取信息;

[0010] 其中,应用无人机探测技术捕捉高陡石窟崖体表面整体地形和隐蔽的裂隙位置进行捕捉;

[0011] 其中,应用探地雷达技术用来推测石窟崖体内部目标部位结构面分布形态;

[0012] 其中,应用超声波探测技术用来探测石窟崖体内部裂隙发育情况;

[0013] 其中,应用红外热像仪技术用来显示石窟崖体隐蔽存在的缺陷。

[0014] 优选的,所述应用三维激光扫描配合相机技术包括以下步骤:

[0015] A.以所研究的石窟崖体6m长、10m高的区域作为调查窗口,选用Riegl VZ-1000型地面三维激光扫描仪布置合适的架机位,保证三脚架台面水平,放置扫描仪主机在三脚架台面,固定旋钮;通过粗调脚架及微调扫描仪底座使主机气泡居中,确保目标区域在三维激光仪器扫描的范围内;

[0016] B.启动RiSCAN\_Pro扫描控制软件设置相关参数:水平角度范围为 $0^{\circ}$ - $120^{\circ}$ 、垂直角度为 $30^{\circ}$ - $110^{\circ}$ 、分辨率为0.05、历时1分钟对目标区域进行粗扫;

[0017] C.若超出目标范围,设定仪器扫描水平角度为 $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ 、垂直角度为 $40^{\circ}$ - $100^{\circ}$ 、分辨率为0.003,以免点云数据占据过多计算内存;对目标区域精扫获取点云数据,历时25分钟,并可实时查看扫描点云数据及彩色信息情况;

[0018] D.在三维激光扫描仪工作的同时利用架设在扫描仪上的高分辨率相机获取相应窗口的数码照片,以便后期数据处理及贴图工作;

[0019] E.采用Cloudcompare将点云数据叠加数码照片构建目标区域三维模型,模型构建的过程为:转换点云的三维空间坐标,将点云数据三角网格化,噪音滤波去除冗余数据,将同一组结构面聚类分析,对结构面进行拟合;

[0020] F.依次识别目标岩体结构面并获取结构面几何参数:产状,迹长、间距、张开度等。

[0021] 优选的,所述应用无人机技术包括以下步骤:

[0022] A.目标崖体高度20m,采用大疆“御”Mavic2专业版无人机规划航线,在Pix4Dcapture软件设定飞行参数:高度为35m,摄像头角度为 $70^{\circ}$ ,航向重叠率80%,旁向重叠率70%;

[0023] B.启动无人机在航线飞行过程中拍摄,获取具有三维空间位置的照片,照片自动保存在无人机内部储存卡里,历时15分钟;

[0024] C.采用Pix4D软件将获取的照片叠加到点云数据构建的模型,建立现场石窟崖体的DEM模型,数字模型中每一个点的绝对坐标都可以读取。

[0025] 优选的,所述应用探地雷达技术包括以下步骤:

[0026] A.选用雷迪RD1500型探地雷达,在需要关注的崖体部位布置探地雷达移动的路线,保证其在受控制的情况下匀速沿测线方向行进;

[0027] B.采集的裂缝深部裂隙发育数据传输到计算机;

[0028] C.时变增益处理,对近距离目标的散射回波采用衰减或较低增益放大,而对远距离目标的散射回波采用较高增益放大,使进入到数据采集电路的回波信号变得相对平稳;

[0029] D.获取并分析雷达剖面图,解释探地雷达剖面图从而可以推测目标部位结构面发育状况及分布形态。

[0030] 优选的,所述应用超声波探测技术包括以下步骤:

[0031] A.选用HC-U86型超声波检测仪进行测试对所关注裂隙部位进行网格划分、布置跨缝测点,第一个测点的发射与接收换能器内边缘距离取值为100mm,测距增量为100mm;

[0032] B.设置声波探测参数:测点间隔为100mm、波形点数、发射电压为50V;

[0033] C.选取并涂抹耦合剂,黄土泥上敷凡士林,在保证足够好的声耦合效果同时不会造成石质文物损坏;

[0034] D.探头对测测试,先探测未跨裂缝区域,再探测跨裂缝区域形成对比,工作时探头

保持平稳;对于断面紧密结合的裂隙,超声波以投射形式传播;而对于具有一定张开度的裂隙,超声波则以绕射的方式传播;

[0035] E.探测仪器显示屏上会自动传输并获取波速等信息,确定石质文物的损伤程度、内部裂隙发育情况以及裂隙走向和位置。

[0036] 优选的,所述应用红外热像仪技术包括以下步骤:

[0037] A.选用福禄克Ti32红外热像仪,自动聚焦和手动微调至目标岩体裂隙周围环境反射的温度适中;裂隙周围区域通过热像仪光学系统的图像需要占到九个及以上的像素;

[0038] B.选择合适的测温范围,调至温度不宜过冷或者过热,直到显示最佳质量的裂隙图像;

[0039] C.为了达到最好的效果,在冻结和记录图像的时候,应尽可能保证仪器平稳。对目标温度进行比较和趋势分析,需要记录所有影响精确测温的目标和环境温度情况;

[0040] D.最终获取与石质文物表面热分布相对应的二维彩色热像图,直观地显示石窟内部存在的缺陷。

[0041] 与现有技术相比,本发明的有益效果如下:

[0042] 1、本发明利用三维激光扫描技术结合高分辨率相机获取石质文物所研究区域结构面数据,获取结构面几何参数;配合无人机对高陡石窟崖体表面整体地形和较隐蔽的位置进行捕捉,建立宏观结构面的全局概念解译结构面信息;而对于石质文物内部的结构采用探地雷达、超声波、红外热像仪来进行检测。

[0043] 2、本发明能够综合准确厘清石窟崖体表层与内部裂隙的分布状态。

## 附图说明

[0044] 图1为本发明的石窟崖体示意图;

[0045] 图2为本发明应用的三维激光扫描仪工作示意图;

[0046] 图3为本发明应用的无人机探测技术示意图;

[0047] 图4为本发明应用的探地雷达工作示意图;

[0048] 图5为本发明应用的超声波探测工作示意图;

[0049] 图6为本发明应用的红外热像仪工作示意图;

[0050] 图7为本发明多种无损设备探测石窟崖体裂隙空间异质分布工作示意图;

[0051] 图8为本发明多种无损设备的探测系统框架图。

## 具体实施方式

[0052] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例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。

[0053] 请参阅图1至图8,本发明提供一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法技术方案:一种石窟崖体裂隙空间异质分布的无损探测综合方法,包括五种探测技术;

[0054] 其中,五种探测技术分别为:应用三维激光扫描技术;应用无人机探测技术;应用探地雷达技术;应用超声波探测技术;应用红外热像仪技术用来探测石窟崖体表层及内部

裂隙发育情况;

[0055] 其中,五种探测技术用来厘清石窟崖体表层及内部裂隙;

[0056] 其中,应用三维激光扫描技术配合相机技术用来识别石质文物表层裂隙并提取信息;

[0057] 其中,应用无人机探测技术捕捉高陡石窟崖体表面整体地形和隐蔽的裂隙位置进行捕捉;

[0058] 其中,应用探地雷达技术用来推测石窟崖体内部目标部位结构面分布形态;

[0059] 其中,应用超声波探测技术用来探测石窟崖体内部裂隙发育情况;

[0060] 其中,应用红外热像仪技术用来显示石窟崖体隐蔽存在的缺陷。

[0061] 本实施例,进一步的,所述应用三维激光扫描配合相机技术包括以下步骤:

[0062] A.以所研究的石窟崖体6m长、10m高的区域作为调查窗口,选用Riegl VZ-1000型地面三维激光扫描仪布置合适的架机位,保证三脚架台面水平,放置扫描仪主机在三脚架台面,固定旋钮;通过粗调脚架及微调扫描仪底座使主机气泡居中,确保目标区域在三维激光仪器扫描的范围内;

[0063] B.启动RiSCAN\_Pro扫描控制软件设置相关参数:水平角度范围为 $0^{\circ}$ - $120^{\circ}$ 、垂直角度为 $30^{\circ}$ - $110^{\circ}$ 、分辨率为0.05、历时1分钟对目标区域进行粗扫;

[0064] C.若超出目标范围,设定仪器扫描水平角度为 $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ 、垂直角度为 $40^{\circ}$ - $100^{\circ}$ 、分辨率为0.003,以免点云数据占据过多计算内存;对目标区域精扫获取点云数据,历时25分钟,并可实时查看扫描点云数据及彩色信息情况;

[0065] D.在三维激光扫描仪工作的同时利用架设在扫描仪上的高分辨率相机获取相应窗口的数码照片,以便后期数据处理及贴图工作;

[0066] E.采用Cloudcompare将点云数据叠加数码照片构建目标区域三维模型,模型构建的过程为:转换点云的三维空间坐标,将点云数据三角网格化,噪音滤波去除冗余数据,将同一组结构面聚类分析,对结构面进行拟合;

[0067] F.依次识别目标岩体结构面并获取结构面几何参数:产状,迹长、间距、张开度等。

[0068] 本实施例,进一步的,所述应用无人机技术包括以下步骤:

[0069] A.目标崖体高度20m,采用大疆“御”Mavic 2专业版无人机规划航线,在Pix4Dcapture软件设定飞行参数:高度为35m,摄像头角度为 $70^{\circ}$ ,航向重叠率80%,旁向重叠率70%;

[0070] B.启动无人机在航线飞行过程中拍摄,获取具有三维空间位置的照片,照片自动保存在无人机内部储存卡里,历时15分钟;

[0071] C.采用Pix4D软件将获取的照片叠加到点云数据构建的模型,建立现场石窟崖体的DEM模型,数字模型中每一个点的绝对坐标都可以读取。

[0072] 本实施例,进一步的,所述应用探地雷达技术包括以下步骤:

[0073] A.选用雷迪RD1500型探地雷达,在需要关注的崖体部位布置探地雷达移动的路径,保证其在受控制的情况下匀速沿测线方向行进;

[0074] B.采集的裂缝深部裂隙发育数据传输到计算机;

[0075] C.时变增益处理,对近距离目标的散射回波采用衰减或较低增益放大,而对远距离目标的散射回波采用较高增益放大,使进入到数据采集电路的回波信号变得相对平稳;

[0076] D. 获取并分析雷达剖面图,解释探地雷达剖面图从而可以推测目标部位结构面发育状况及分布形态。

[0077] 本实施例,进一步的,所述应用超声波探测技术包括以下步骤:

[0078] A. 选用HC-U86型超声波检测仪进行测试对所关注裂隙部位进行网格划分、布置跨缝测点,第一个测点的发射与接收换能器内边缘距离取值为100mm,测距增量为100mm;

[0079] B. 设置声波探测参数:测点间隔为100mm、波形点数、发射电压为50V;

[0080] C. 选取并涂抹耦合剂,黄土泥上敷凡士林,在保证足够好的声耦合效果同时不会造成石质文物损坏;

[0081] D. 探头对测测试,先探测未跨裂缝区域,再探测跨裂缝区域形成对比,工作时探头保持平稳;对于断面紧密结合的裂隙,超声波以投射形式传播;而对于具有一定张开度的裂隙,超声波则以绕射的方式传播;

[0082] E. 探测仪器显示屏上会自动传输并获取波速等信息,确定石质文物的损伤程度、内部裂隙发育情况以及裂隙走向和位置。

[0083] 本实施例,进一步的,所述应用红外热像仪技术包括以下步骤:

[0084] A. 选用福禄克Ti32红外热像仪,自动聚焦和手动微调至目标岩体裂隙周围环境反射的温度适中;裂隙周围区域通过热像仪光学系统的图像需要占到九个及以上的像素;

[0085] B. 选择合适的测温范围,调至温度不宜过冷或者过热,直到显示最佳质量的裂隙图像;

[0086] C. 为了达到最好的效果,在冻结和记录图像的时候,应尽可能保证仪器平稳。对目标温度进行比较和趋势分析,需要记录所有影响精确测温的目标和环境温度情况;

[0087] D. 最终获取与石质文物表面热分布相对应的二维彩色热像图,直观地显示石窟内部存在的缺陷。

[0088] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。



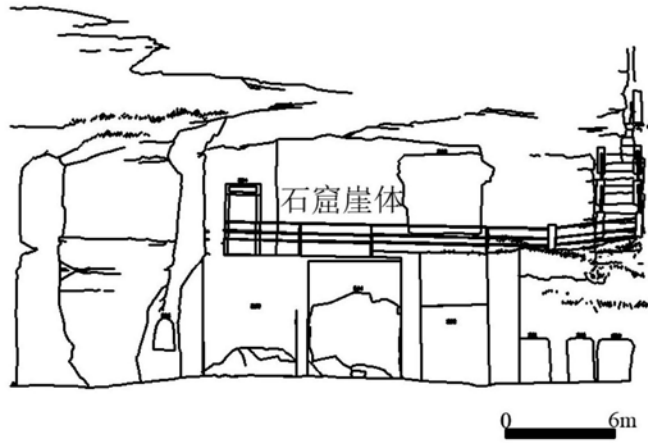


图1



图2

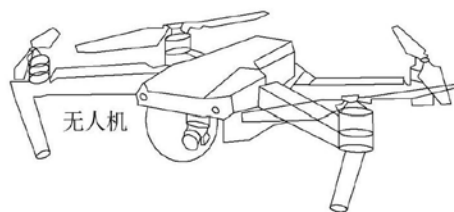


图3



图4

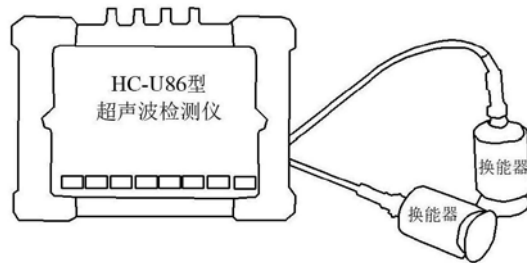


图5

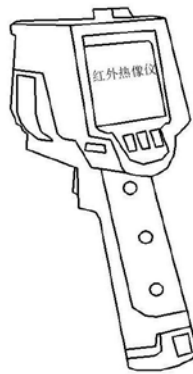


图6

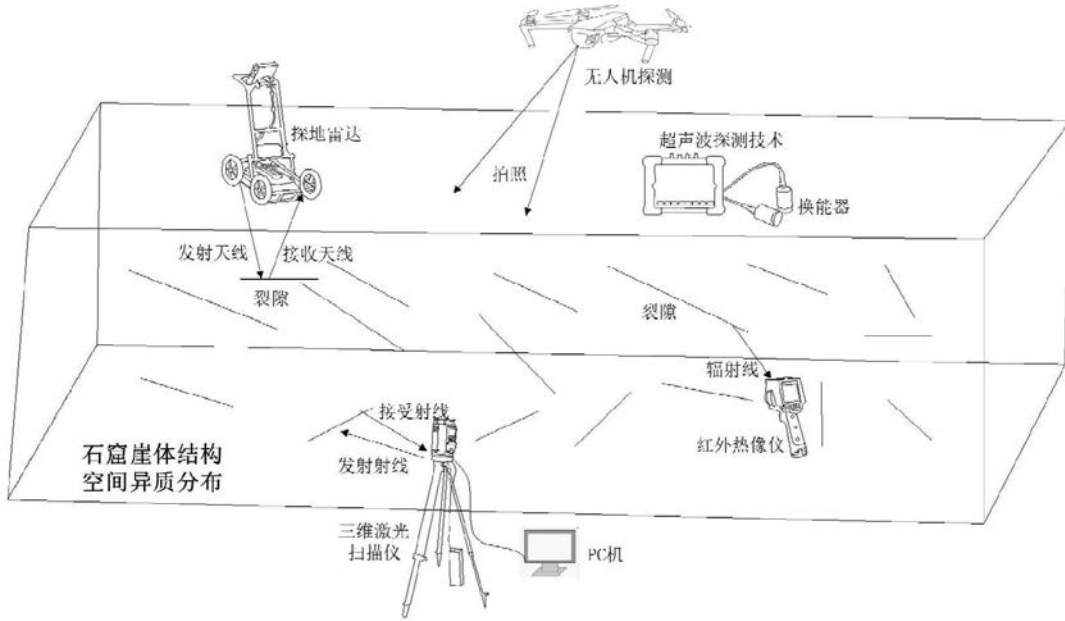


图7

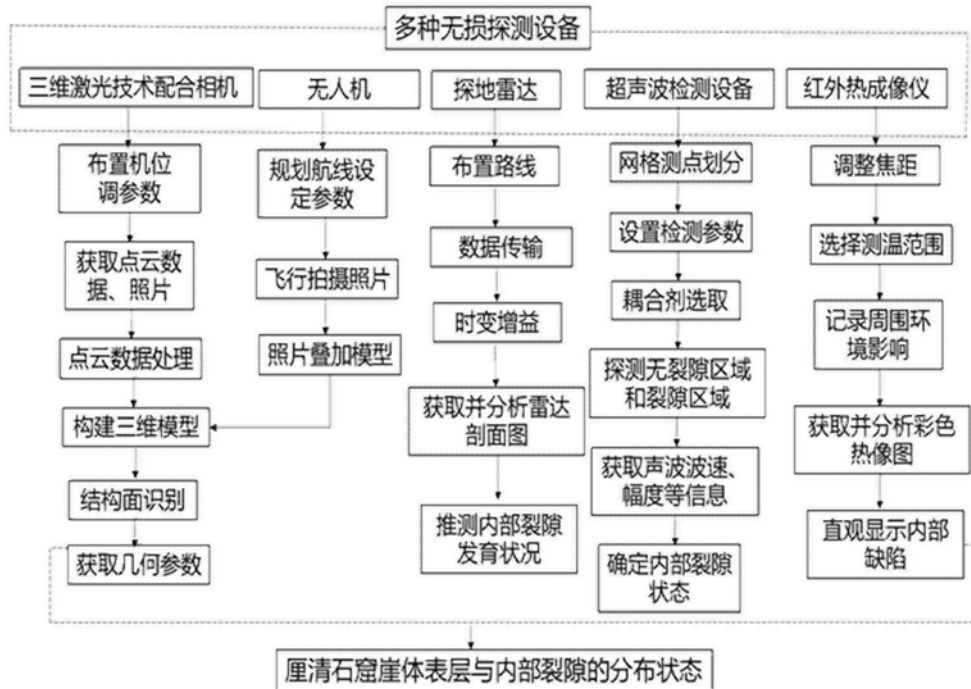


图8