



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115880597 B

(45) 授权公告日 2023.07.25

(21) 申请号 202310114492.6

(22) 申请日 2023.02.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115880597 A

(43) 申请公布日 2023.03.31

(73) 专利权人 中国铁路设计集团有限公司
地址 300251 天津市河北区金沙江路33号
增1号

(72) 发明人 王衍汇 张璇钰 刘桂卫 崔庆国
常天龙 孙琪皓 王飞 李红旭
饶露 马泽民 焦峥瑞

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限公司 12209
专利代理师 王利文

(51) Int.Cl.

G06V 20/17 (2022.01)

G06V 20/10 (2022.01)

G06T 17/05 (2011.01)

(56) 对比文件

CN 110672073 A, 2020.01.10

审查员 马聪聪

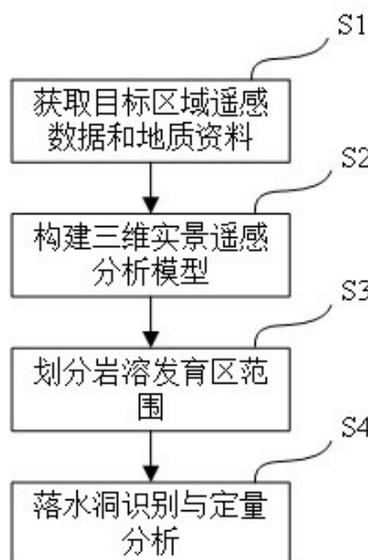
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,通过获取目标区遥感影像和地质资料,对遥感影像进行处理,建立三维实景遥感分析通用和精细模型,提取岩溶洼地分布范围,通过坡度分析查找、点云断面复核、现场验证识别落水洞,最终对其进行量测分析。本发明实现了落水洞的无接触式测量,同时实现了落水洞空间分布特征的快速、准确识别,提高了效率,节省了大量的人力。



1. 一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤1、获取综合遥感数据目标采集区域遥感数据和地质资料;

步骤2、根据综合遥感数据目标采集区域遥感数据和地质资料,构建三维实景遥感分析模型;

步骤2.1、根据步骤1中遥感数据,制作数字正射影像DOM;

步骤2.2、根据步骤1中遥感数据,制作数字表面模型DSM;

步骤2.3、根据步骤2.1和步骤2.2的影像和模型进行处理,得到三维实景遥感分析通用模型;

步骤2.4、根据步骤1中遥感数据,制作精细化数字高程模型DEM;

步骤2.5、将步骤2.4中高程模型进行处理,制作三维遥感分析精细模型;

步骤3、在步骤2中三维实景遥感分析模型的基础上,提取岩溶洼地分布范围;

步骤3.1、根据步骤2.3中构建的三维实景遥感分析通用模型,通过人机交互形式,根据地表岩溶地貌特点:地面崎岖不平,地表常见峰丛、峰林与孤峰形态;同时,结合易溶岩发育范围,划定岩溶发育区;

步骤3.2、在岩溶发育区内,利用GIS空间分析技术对步骤2.4中精细化数字高程模型DEM数据进行处理,通过水流方向判定水流汇集区洼地位置,以分水岭为界得到洼地贡献区域;

步骤3.3、分别提取洼地贡献区域内的最高点和最低点,计算两者之差得到洼地深度;对于深度小于5m的贡献区域认定为伪洼地贡献区域,进行排除处理;

步骤3.4、通过坡度分析,得到坡度 $> 25^\circ$ 的范围,认定为伪洼地贡献区域,进行排除处理,获得岩溶洼地分布范围;

步骤4、根据提取岩溶洼地分布范围的三维实景遥感分析模型进行落水洞识别与提取;

步骤4.1、对步骤2.5中去除植被影响的精细化数字高程模型DEM进行坡度分析,得到坡度渲染图,提取闭合度 $> 80\%$, 尺寸 $< 5\text{m}$ 的圆环地形,初步判定为落水洞;

基于圆环目标边界矢量,自动提取去除植被影响的精细化数字高程模型DEM中与其相交像元的高程,记为向量 $H(h_1, h_2, h_3, \dots, h_n)$, 将向量 H 中最大、最小横纵坐标记为向量 $(x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min})$, 并依此构建包络圆形目标的最小矩形,记为 $Rect$, 计算矩形 $Rect$ 几何中心的平面坐标,并将此近似为圆环的几何中心:

$$Rect_x = \frac{x_{max} + x_{min}}{2} \quad Rect_y = \frac{y_{max} + y_{min}}{2} \quad \text{读取 } (Rect_x, Rect_y)$$

位置处的高程,记为 $Rect_z$, 计算向量 H 的平均值,记为 H_{mean} , 计算

$H_{mean} - Rect_z$, 若结果为正,且大于1m,则判定该圆环为落水洞;

步骤4.2、对步骤1.2中获得的LiDAR点云数据进行处理,以步骤4.1中圆环的几何中心为中心,每隔 90° 切一断面,共计4条,得到去除植被的LiDAR点云数据断面,进一步判定圆环为落水洞,同时获取其所在空间位置坐标 (X、Y、Z);

步骤4.3、根据空间位置坐标(X、Y、Z)确定落水洞实际位置,若验证为连续性较好的地表出现不规则圆形、长条形凹陷状,且坡度较大的面状目标,判定为落水洞,若否,则为一般山体坡面;

步骤4.4、对于确定的落水洞,利用步骤4.2中获得的去除植被的LiDAR点云数据断面量测得到深度;利用步骤4.3获得的落水洞量测得到长度、宽度。

2. 根据权利要求1所述的一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,其特征在于:所述步骤1包括以下步骤:

步骤1.1、划定潜在岩溶区作为综合遥感数据目标采集区域;

步骤1.2、采集综合遥感数据目标采集区域的遥感影像;

步骤1.3、收集综合遥感数据目标采集区域的地质资料信息。

3. 根据权利要求2所述的一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,其特征在于:所述步骤1.2的具体实现方法为:采用无人机变高仿地飞行方式同步获取综合遥感数据目标采集区域高分辨率光学影像和LiDAR点云数据;所述步骤1.3的具体实现方法为:收集综合遥感数据目标采集区域1:5万地质图,并数字化处理,获取易溶岩范围。

4. 根据权利要求1所述的一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,其特征在于:所述步骤2.1的具体实现方法为:将步骤1中获取的综合遥感数据目标采集区域高分辨率光学影像,利用内、外方位元素和像控点对影像进行几何校正,生成高精度数字正射影像DOM;

所述步骤2.2的具体实现方法为:根据步骤1中获得的LiDAR点云数据,以20cm×20cm的格网对点云数据进行抽稀,获取平面和高程坐标,进行空间插值处理得到包含植被信息的工程区数字表面模型DSM;

所述步骤2.3的具体实现方法为:将步骤2.1中数字正射影像DOM和步骤2.2中数字表面模型DSM进行分块、叠加、拼接和整合处理,获得综合遥感数据目标采集区域三维实景遥感分析通用模型;

所述步骤2.4的具体实现方法为:将步骤1中得到的LiDAR点云数据,进行去噪预处理和质量检查工作;基于渐进加密三角网滤波算法,初步构建稀疏的不规则三角网;根据测区地形起伏,设定迭代距离与迭代角度,构建加密的不规则三角网;通过点云断面分析和点云赋色的方式对自动分类结果进行检查,剔除残留的植被点,找回过度分类的地面点,通过空间插值法构建去除植被影响的精细化数字高程模型DEM;

所述步骤2.5的具体实现方法为:基于步骤2.4中精细化数字高程模型DEM,采用坡度、坡向、等高线以及山体阴影分析技术进行二次处理,获取相应的栅格分析结果,利用地形渲染技术构建去除植被影响的三维遥感分析精细模型,全面呈现目标区微地貌细节信息。

一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法

技术领域

[0001] 本发明属于隧道水文地质勘察技术领域,尤其是一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法。

背景技术

[0002] 隧道施工中出现的突涌水问题成为南方岩溶山区隧道工程典型灾害,具有“突发性强、涌水量大、危害性高”等特点,一旦发生将造成重大的伤亡和经济损失。南方岩溶水系统内结构特征和水循环条件复杂,地表岩溶洼地、岩溶槽谷、落水洞广布,地下岩溶管道、暗河、洞穴、溶腔呈树枝状展布,岩溶水系统的时空分布极为复杂。其中,落水洞主要受构造裂隙控制,多呈隙缝状、长条状,规模不大,是地表水体补给地下水的主要窗口,对查明岩溶分布至关重要;落水洞多分布于岩溶洼地,茂密植被覆盖,呈零星、点状分布,现有勘察手段多为人工现场调查,识别难、精度低,空间分布特征难以查明,由此无法精细刻画岩溶水系统,进而无法进行岩溶隧道突涌水定量评价。

[0003] 高速铁路、公路等线路工程不可避免地要穿越岩溶发育区,岩溶隧道已成为这些线路工程的“咽喉”,如何精准的识别与提取落水洞,精确评价岩溶水害,确保工程建设安全,已成为南方岩溶地区线路工程建设面临的“卡脖子”技术。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提出一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,通过获取目标区遥感影像和地质资料,对遥感影像进行处理,建立三维实景遥感分析通用和精细模型,提取岩溶洼地分布范围,通过坡度分析查找、点云断面复核、现场验证识别落水洞,最终对其进行量测分析。

[0005] 本发明解决其技术问题是采取以下技术方案实现的:

[0006] 一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1、获取综合遥感数据目标采集区域遥感数据和地质资料;

[0008] 步骤2、根据综合遥感数据目标采集区域遥感数据和地质资料,构建三维实景遥感分析模型;

[0009] 步骤3、在步骤2中三维实景遥感分析模型的基础上,提取岩溶洼地分布范围;

[0010] 步骤4、根据提取岩溶洼地分布范围的三维实景遥感分析模型进行落水洞识别与提取。

[0011] 而且,所述步骤1包括以下步骤:

[0012] 步骤1.1、划定潜在岩溶区作为综合遥感数据目标采集区域;

[0013] 步骤1.2、采集综合遥感数据目标采集区域的遥感影像;

[0014] 步骤1.3、收集综合遥感数据目标采集区域的地质资料信息。

[0015] 而且,所述步骤1.2的具体实现方法为:采用无人机变高仿地飞行方式同步获取综合遥感数据目标采集区域高分辨率光学影像和LiDAR点云数据;所述步骤1.3的具体实现方

法为:收集综合遥感数据目标采集区域1:5万地质图,并数字化处理,获取易溶岩范围。

[0016] 而且,所述步骤2包括以下步骤:

[0017] 步骤2.1、根据步骤1中遥感数据,制作数字正射影像DOM;

[0018] 步骤2.2、根据步骤1中遥感数据,制作数字表面模型DSM;

[0019] 步骤2.3、根据步骤2.1和步骤2.2的影像和模型进行处理,得到三维实景遥感分析通用模型;

[0020] 步骤2.4、根据步骤1中遥感数据,制作精细化数字高程模型DEM;

[0021] 步骤2.5、将步骤2.4中高程模型进行处理,制作三维遥感分析精细模型。

[0022] 而且,所述步骤2.1的具体实现方法为:将步骤1中获取的综合遥感数据目标采集区域高分辨率光学影像,利用内、外方位元素和像控点对影像进行几何校正,生成高精度数字正射影像DOM;

[0023] 所述步骤2.2的具体实现方法为:根据步骤1中获得的LiDAR点云数据,以20cm×20cm的格网对点云数据进行抽稀,获取平面和高程坐标,进行空间插值处理得到包含植被信息的工程区数字表面模型DSM;

[0024] 所述步骤2.3的具体实现方法为:将步骤2.1中数字正射影像DOM和步骤2.2中数字表面模型DSM进行分块、叠加、拼接和整合处理,获得综合遥感数据目标采集区域三维实景遥感分析通用模型;

[0025] 所述步骤2.4的具体实现方法为:将步骤1中得到的LiDAR点云数据,进行去噪预处理和质量检查工作;基于渐进加密三角网滤波算法,初步构建稀疏的不规则三角网;根据测区地形起伏,设定迭代距离与迭代角度,构建加密的不规则三角网;通过点云断面分析和点云赋色的方式对自动分类结果进行检查,剔除残留的植被点,找回过度分类的地面点,通过空间插值法构建去除植被影响的精细化数字高程模型DEM;

[0026] 所述步骤2.5的具体实现方法为:基于步骤2.4中精细化数字高程模型DEM,采用坡度、坡向、等高线以及山体阴影分析技术进行二次处理,获取相应的栅格分析结果,利用地形渲染技术构建去除植被影响的三维遥感分析精细模型,全面呈现目标区微地貌细节信息。

[0027] 而且,所述步骤3包括以下步骤:

[0028] 步骤3.1、根据步骤2.3中构建的三维实景遥感分析通用模型,通过人机交互形式,根据地表岩溶地貌特点:地面崎岖不平,地表常见峰丛、峰林与孤峰等形态;同时,结合易溶岩发育范围,划定岩溶发育区;

[0029] 步骤3.2、在岩溶发育区内,利用GIS空间分析技术对步骤2.4中精细化数字高程模型DEM数据进行处理,通过水流方向判定水流汇集区洼地位置,以分水岭为界得到洼地贡献区域;

[0030] 步骤3.3、分别提取洼地贡献区域内的最高点和最低点,计算两者之差得到洼地深度;对于深度小于5m的贡献区域认定为伪洼地贡献区域,进行排除处理;

[0031] 步骤3.4、通过坡度分析,得到坡度 $>25^\circ$ 的范围,认定为伪洼地贡献区域,进行排除处理,获得岩溶洼地分布范围。

[0032] 而且,所述步骤4包括以下步骤:

[0033] 步骤4.1、对步骤2.5中去除植被影响的精细化数字高程模型DEM进行坡度分析,得

到坡度渲染图,提取闭合度>80%,尺寸<5m的圆环地形,初步判定为落水洞;

[0034] 基于圆环目标边界矢量,自动提取去除植被影响的精细化数字高程模型DEM中与其相交像元的高程,记为向量 $H(h_1, h_2, h_3, \dots, h_n)$,将向量 H 中最大、最小横纵坐标记为向量 $(x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min})$,并依此构建包络圆形目标的最小矩形,记为Rect,计算矩形Rect几何中心的平面坐标,并将此近似为圆环的几何中心:

$$[0035] \quad Rect_x = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}$$

$$[0036] \quad Rect_y = \frac{y_{max} + y_{min}}{2}$$

[0037] 读取 $(Rect_x, Rect_y)$ 位置处的高程,记为 $Rect_z$,计算向量 H 的平均值,记为 H_{mean} ,计算 $H_{mean} - Rect_z$,若结果为正,且大于1m,则判定该圆环为落水洞;

[0038] 步骤4.2、对步骤1.2中获得的LiDAR点云数据进行处理,以步骤4.1中圆环的几何中心为中心,每隔 90° 切一断面,共计4条,得到去除植被的LiDAR点云数据断面,进一步判定圆环为落水洞,同时获取其所在空间位置坐标(X、Y、Z)。

[0039] 步骤4.3、根据空间位置坐标(X、Y、Z)确定落水洞实际位置,若验证为连续性较好的地表出现不规则圆形、长条形凹陷状,且坡度较大的面状目标,判定为落水洞,若否,则为一般山体坡面;

[0040] 步骤4.4、对于确定的落水洞,利用步骤4.2中获得的去除植被的LiDAR点云数据断面量测得到深度;利用步骤4.3获得的落水洞量测得到长度、宽度。

[0041] 本发明的优点和积极效果是:

[0042] 本发明通过获取目标区遥感影像和地质资料,对遥感影像进行处理,建立三维实景遥感分析通用和精细模型,提取岩溶洼地分布范围,通过坡度分析查找、点云断面复核、现场验证识别落水洞,最终对其进行量测分析。本发明实现了落水洞的无接触式测量,同时实现了落水洞空间分布特征的快速、准确识别,提高了效率,节省了大量的人力。

附图说明

[0043] 图1为本发明的流程图;

[0044] 图2为本发明划定岩溶发育区示意图;

[0045] 图3为本发明提取洼地贡献区域示意图;

[0046] 图4为本发明获取岩溶洼地分布范围示意图;

[0047] 图5为本发明落水洞判定区高程点采集示意图;

[0048] 图6为本发明坡度分析示意图;

[0049] 图7为本发明点云断面分析示意图;

[0050] 图8为本发明现场验证图;

[0051] 图9为本发明落水洞量测分析示意图。

具体实施方式

[0052] 以下结合附图对本发明做进一步详述。

[0053] 一种基于遥感技术的岩溶区落水洞提取方法,如图1所示,包括以下步骤:

[0054] 步骤1、获取综合遥感数据目标采集区域遥感数据和地质资料。

[0055] 步骤1包括以下步骤:

[0056] 步骤1.1、划定潜在岩溶区作为综合遥感数据目标采集区域;

[0057] 步骤1.2、采集综合遥感数据目标采集区域的遥感影像;采用无人机变高仿地飞行方式同步获取综合遥感数据目标采集区域高分辨率光学影像和LiDAR点云数据;其中,高分辨率光学影像分辨率不低于5厘米;LiDAR点云数据密度不低于80点/平方米,激光强度满足Class I(发射功率不高于0.4mW)。

[0058] 步骤1.3、收集综合遥感数据目标采集区域的地质资料信息;收集综合遥感数据目标采集区域1:5万地质图,并数字化处理,获取易溶岩范围。

[0059] 步骤2、根据综合遥感数据目标采集区域遥感数据和地质资料,构建三维实景遥感分析模型。

[0060] 步骤2包括以下步骤:

[0061] 步骤2.1、根据步骤1中遥感数据,制作数字正射影像DOM。

[0062] 将步骤1中获取的综合遥感数据目标采集区域高分辨率光学影像,利用内、外方位元素和像控点对影像进行几何校正,生成高精度数字正射影像DOM。

[0063] 步骤2.2、根据步骤1中遥感数据,制作数字表面模型DSM。

[0064] 根据步骤1中获得的LiDAR点云数据,以20cm×20cm的格网对点云数据进行抽稀,获取平面和高程坐标,进行空间插值处理得到包含植被信息的工程区数字表面模型DSM。

[0065] 步骤2.3、根据步骤2.1和步骤2.2的影像和模型进行处理,得到三维实景遥感分析通用模型。

[0066] 将步骤2.1中数字正射影像DOM和步骤2.2中数字表面模型DSM进行分块、叠加、拼接和整合处理,获得综合遥感数据目标采集区域三维实景遥感分析通用模型。

[0067] 步骤2.4、根据步骤1中遥感数据,制作精细化数字高程模型DEM。

[0068] 将步骤1中得到的LiDAR点云数据,进行去噪预处理和质量检查工作;基于渐进加密三角网滤波算法,初步构建稀疏的不规则三角网;根据测区地形起伏,设定迭代距离与迭代角度,构建加密的不规则三角网;通过点云断面分析和点云赋色的方式对自动分类结果进行检查,剔除残留的植被点,找回过度分类的地面点,通过空间插值法构建去除植被影响的精细化数字高程模型DEM。

[0069] 步骤2.5、将步骤2.4中高程模型进行处理,制作三维遥感分析精细模型。

[0070] 基于步骤2.4中精细化数字高程模型DEM,采用坡度、坡向、等高线以及山体阴影分析技术进行二次处理,获取相应的栅格分析结果,利用地形渲染技术构建去除植被影响的三维遥感分析精细模型,全面呈现目标区微地貌细节信息。

[0071] 步骤3、在步骤2中三维实景遥感分析模型的基础上,提取岩溶洼地分布范围。

[0072] 步骤3包括以下步骤:

[0073] 步骤3.1、根据步骤2.3中构建的三维实景遥感分析通用模型,通过人机交互形式,根据地表岩溶地貌特点:地面崎岖不平,地表常见峰丛、峰林与孤峰等形态;如图2所示,结

合易溶岩发育范围,划定岩溶发育区;

[0074] 步骤3.2、如图3所示,在岩溶发育区内,利用GIS空间分析技术对步骤2.4中精细化数字高程模型DEM数据进行处理,通过水流方向判定水流汇集区洼地位置,以分水岭为界得到洼地贡献区域;

[0075] 步骤3.3、分别提取洼地贡献区域内的最高点和最低点,计算两者之差得到洼地深度;对于深度小于5m的贡献区域认定为伪洼地贡献区域,进行排除处理;

[0076] 步骤3.4、如图4所示,通过坡度分析,得到坡度 $>25^\circ$ 的范围,认定为伪洼地贡献区域,进行排除处理,获得岩溶洼地分布范围。

[0077] 步骤4、根据提取岩溶洼地分布范围的三维实景遥感分析模型进行落水洞识别与提取。

[0078] 步骤4包括以下步骤:

[0079] 步骤4.1、坡度分析查找:如图6所示,对步骤2.5中去除植被影响的精细化数字高程模型DEM进行坡度分析,得到坡度渲染图,提取闭合度 $>80\%$,尺寸 $<5\text{m}$ 的圆环地形初步判定为落水洞;

[0080] 基于圆环目标边界矢量,自动提取去除植被影响的精细化数字高程模型DEM中与其相交像元的高程,记为向量 $H(h_1, h_2, h_3, \dots, h_n)$,将向量 H 中最大、最小横纵坐标记为向量 $(x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min})$,如图5所示,并依此构建包络圆形目标的最小矩形,记为 $Rect$,计算矩形 $Rect$ 几何中心的平面坐标,并将此近似为圆环的几何中心:

$$[0081] \quad Rect_x = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}$$

$$[0082] \quad Rect_y = \frac{y_{max} + y_{min}}{2}$$

[0083] 读取 $(Rect_x, Rect_y)$ 位置处的高程,记为 $Rect_z$,计算向量 H 的平均值,记为 H_{mean} ,计算 $H_{mean} - Rect_z$ 。若结果为正,且大于1m,则判定该圆环为落水洞;此步骤意在通过比较圆环中心与边界高程的大小来排除同样呈圆环状的地面凹坑。

[0084] 步骤4.2、点云断面复核:对步骤1.2中获得的LiDAR点云数据进行处理,以步骤4.1中圆环的几何中心为中心,每隔 90° 切一断面,共计4条,断面长度5m,断面宽度50cm。得到去除植被的LiDAR点云数据断面,进一步判定圆环为落水洞,同时获取其所在空间位置坐标 (X, Y, Z) ,如图7所示。

[0085] 步骤4.3、现场验证:如图8所示,根据空间位置坐标 (X, Y, Z) 确定落水洞实际位置,若验证为连续性较好的地表出现不规则圆形、长条形凹陷状,且坡度较大(大于等于25度)的面状目标,判定为落水洞,若否,则为一般山体坡面;

[0086] 步骤4.4、量测分析:如图9所示,对于确定的落水洞,利用步骤4.2中获得的去除植被的LiDAR点云数据断面量测得到深度;利用步骤4.3获得的落水洞量测得到长度、宽度。

[0087] 需要强调的是,本发明所述的实施例是说明性的,而不是限定性的,因此本发明包括并不限于具体实施方式中所述的实施例,凡是由本领域技术人员根据本发明的技术方案

得出的其他实施方式,同样属于本发明保护的范围内。

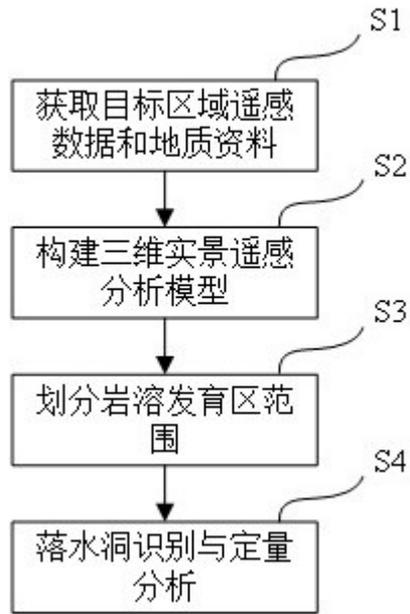


图1

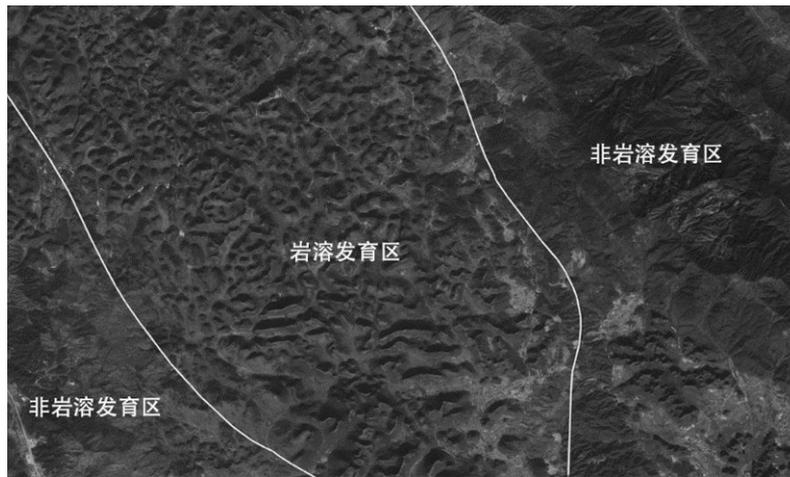


图2

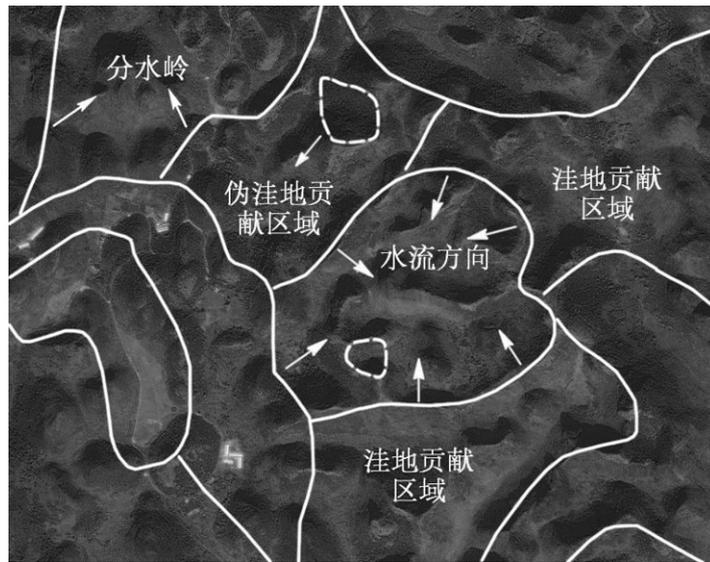


图3

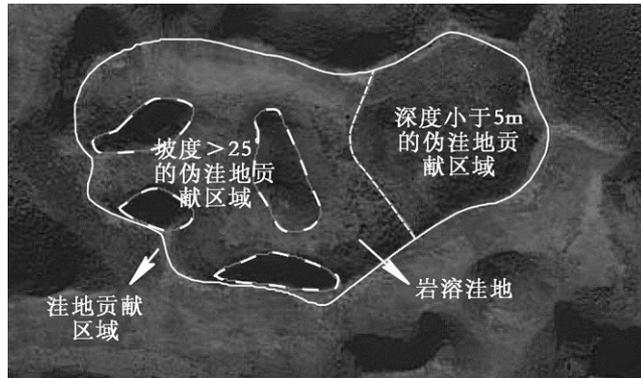


图4

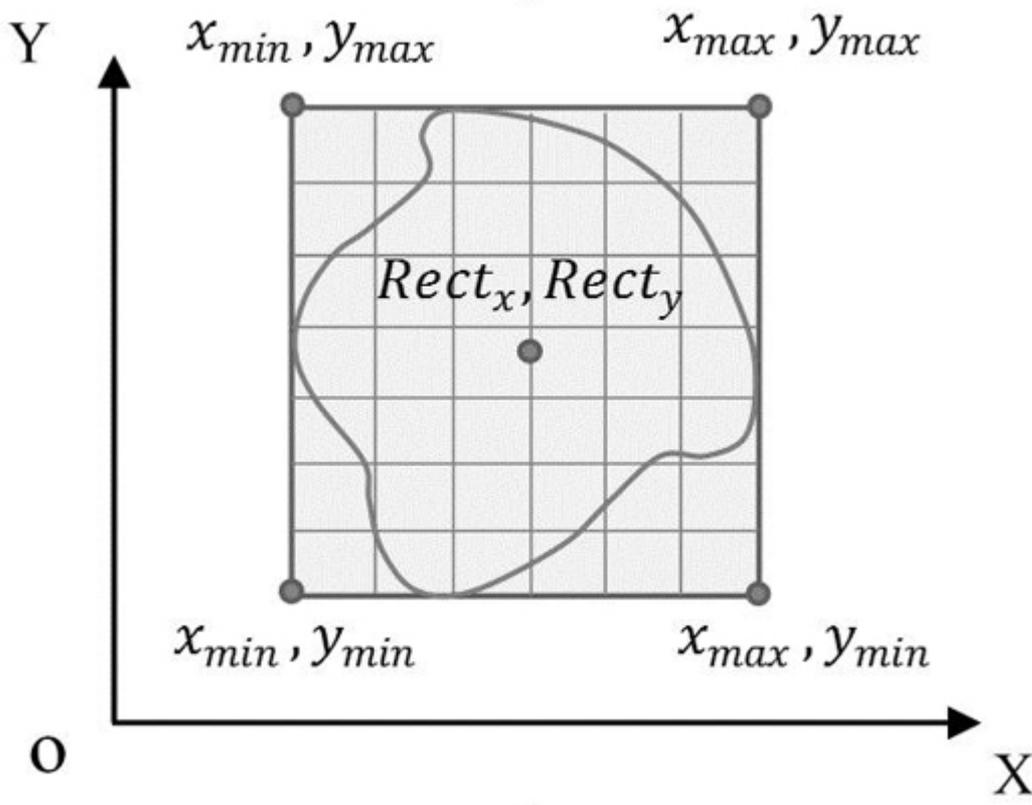


图5

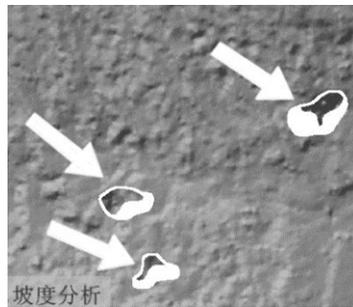


图6

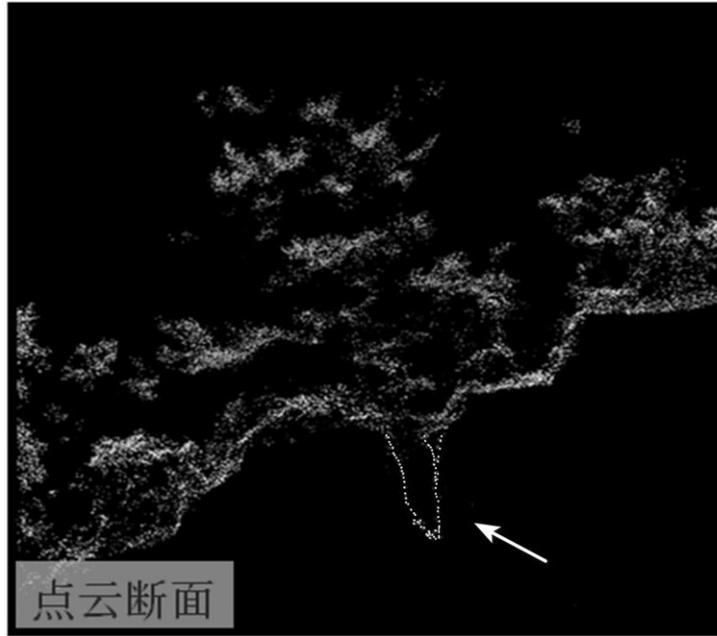


图7



图8

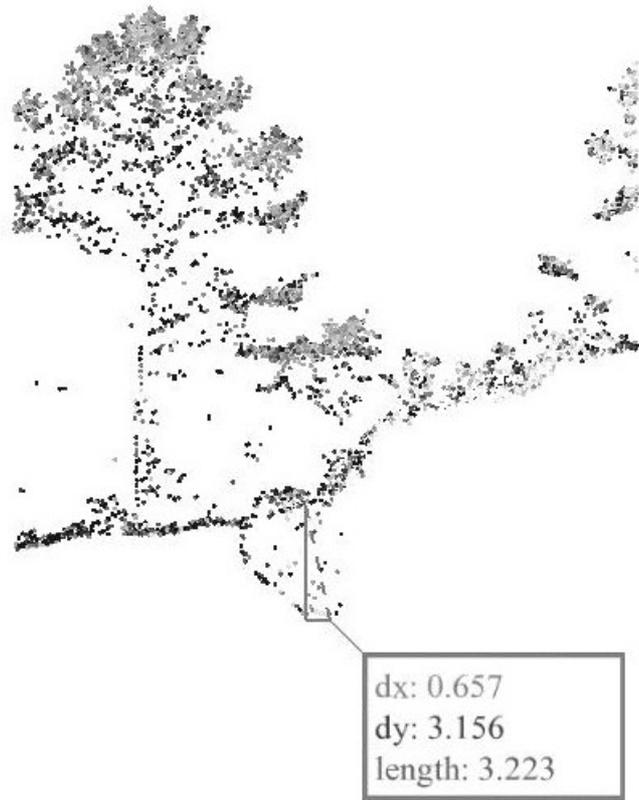


图9