

洞穴内部地貌测量方法

沈 婕

(南京师范大学 地理信息科学江苏省重点实验室, 江苏 南京 210097)

[摘要] 针对洞穴内部地貌的特殊性及洞穴测量环境, 提出适合于洞穴内部地貌测量的多种方法, 如罗盘、倾角计测量法、计算机辅助测距仪和全站仪方法、超声波方法及激光扫描系统方法。这一研究不仅可以应用于洞穴内部地貌测量, 而且为洞穴内部地貌形态构建、洞穴内部地貌三维可视化、虚拟洞穴内部地理场景构建提供数据源, 为洞穴研究人员和其他专业人员进行洞穴地貌、洞穴考古、洞穴矿产、洞穴旅游提供有效的技术支持。

[关键词] 洞穴, 内部地貌, 测量

[中图分类号] P237 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2006)04-0087-04

Methods of Surveying the Interior Topography of Caves

SHEN Jie

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of GIS, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract Aiming at the particularity of interior topography and the surveying environment of cave, this paper proposes some methods on surveying such as compass and inclinometer measuring, computer aided range finder or total station, ultra-sonic measuring and laser scanning system. It can be of great use in surveying the interior topography of cave and providing the data source for 3D visualization of the interior topography of caves and the construction of the virtual geographical environment of cave. It can provide the speleologists and other specialists with technical supports on their researches of cave topography, archeology, mining and travel.

Key words cave, interior topography, survey

0 引言

我国是世界上洞穴资源丰富的国家, 也是世界旅游洞穴开发数量最多的国家。我国的洞穴分布广泛、资源丰富、数量庞大、类型多样、特色鲜明, 但是对洞穴的调查与实地测绘工作却比较薄弱, 洞穴科学研究较为滞后^[1]。为了有效开发与利用洞穴资源, 保护具有珍贵历史价值的洞穴, 对洞穴内部地貌的测量成为开展这些工作的前提条件。

本文针对洞穴内部地貌的特殊形态特征, 对已有的测量方法进行总结与分析, 探索在当前技术条件下洞穴内部地貌测量的有效方法。这一研究不仅可以应用于洞穴内部地貌测量, 而且为洞穴内部地貌形态构建、洞穴内部地貌三维可视化、虚拟洞穴内部地理场景构建提供数据源, 为洞穴研究人员和非专业人员进行洞穴地貌、洞穴考古、洞穴矿产、洞穴旅游提供有效的技术支持。

1 罗盘、倾角计测量法

由于洞穴地理环境不同于地面上的情况, 黑暗、弯曲较多、不规则; 有些洞穴还在地下, 传统的测量仪器比较笨重, 体积也较大; 采用普通测量仪器进行测量时存在盲区等情况, 因此有时需要采用罗盘、倾角计测量法。罗盘、倾角计测量法采用的测量仪器一般包括罗盘、倾角计、量尺以及用于记录测量信息的手簿, 一般用防水材料做成, 如图 1 所示。每次测量需要有 3~ 4 人组成: 1 人仪器观测、1~ 2 名读尺和引路人员、

1 名记簿人员.

当一个洞穴测量任务开始后, 首先是手簿记录准备. 内容包括: 测绘时间、测绘人员、所使用的测绘仪器类型、量尺类型及单位、比例尺以及指北方向, 洞穴内部地貌形态观察及草图绘制等. 记录项目包括: 测站、距离、方位角、方位、垂直角或倾斜角. 然后开始测量, 持尺人将尺末端至于上次测站上, 然后拉出尺子往前, 直到前一测站能看见的地方为止, 然后读数、记簿. 一旦测站间的距离确定后, 就可以开始罗盘和倾角测量. 罗盘设置在本测站的上方或下方, 而在下一个测站上, 点亮一盏灯, 测量人员通过罗盘观测到的光线量测出现在所处位置与下一测站的方位, 然后记录在手簿上. 罗盘测好方位后, 利用倾角计测出本站至下一测站的垂直角. 这个值记录下来, 可以用于计算洞穴的深度及水平距离. 记簿人员估计从测站至洞穴顶部、从测站至洞穴底部、从测站至左边及右边墙壁的距离, 这些都被记录下来, 结合测量值绘出洞穴草图. 洞内测量任务结束后, 在洞外进行手簿的整理、计算, 检查是否超出误差限制, 最后绘图. 这种方法适用于能够便于直接丈量的断面较小的洞穴.



图 1 Suunto KB14 罗盘和 PM5 倾角计

2 计算机辅助测距仪、全站仪方法

由于洞穴测量时光线昏暗, 通道狭窄, 采用罗盘、倾角计测量法记录的数据要等回去后才能处理, 不利于检测错误等, 在此基础上, 出现了计算机或掌上电脑辅助测距仪、全站仪洞穴测绘法. 主要区别于罗盘、倾角计测量法在于: 倾斜角和水平角由测绘仪器测量、测量数据电子存储而且在洞内就可以检查、测量数据可以输出到测绘软件中.

测量方法与洞穴的形状有关, 对于长条形的洞穴, 应事先调整或测定洞穴的设计线路中线或设计洞穴结构中线, 而后以中线点为准进行断面测量. 对于方形或圆形 (椭圆型、抛物线型) 的洞穴, 应事先测量洞穴的结构轴线, 而后以洞穴的结构轴线点为准进行断面测量^[2]. 可以利用全站仪向洞穴内引入三维控制导线, 建立洞穴测量的三维控制系统. 其次在洞穴内依据三维导线, 根据洞穴断面的变化进行横断面测量, 建立详细的断面测量资料, 以全面地掌握洞穴内的基本地形特征, 然后根据实测数据进行制图与管理.

在洞内三维导线点上, 定出测量断面时仪器架设点处的三维坐标, 丈量断面测量时的仪器高, 定出仪器横轴的高程, 将仪器瞄准某一后视导线点后转 90°, 定出断面方向, 此时制动照准部, 望远镜扫出的一个铅直面即为横断面. 望远镜可以从天顶方向竖向连续扫描一个圆周, 但在底面一定范围内存在一个观测盲区, 盲区内的地形仪器无法测出. 对盲区地形可用直接丈量法补测^[3]. 将观测的每一个断面点的水平角、垂直角信息, 连同用棱镜测定的水平距离和高程的信息自动传输到预先编程的掌上电脑中, 则掌上电脑即可在屏幕上实时输出断面测量的成果和断面简图, 并将该断面信息贮存, 之后再测量下一个断面 (如图 2 所示).

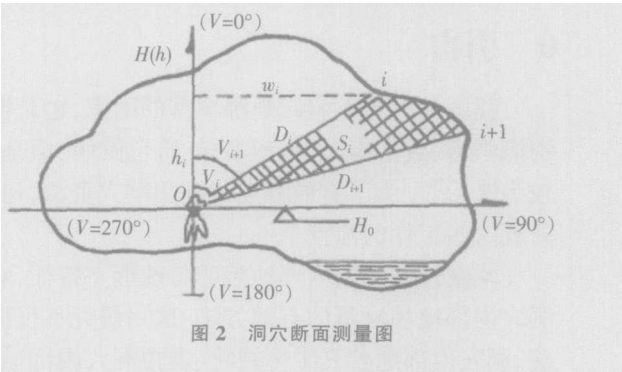


图 2 洞穴断面测量图

3 超声波方法

由于洞穴内部结构的不规则性以及工作条件的限制, 有时无法采用测距仪和全站仪进行测量. 由于普通地形测量方法在洞穴内部弯曲表面上采用部分点来代替表面, 因此不能提供待测洞穴的可视化全貌, 难以较好地表达洞穴内部地貌形态.

有多种方法可以自动计算从某点至待测目标之间的距离, 最精确的方法就是使用电磁射线如雷达和激光. 激光测量的精度依赖于待测目标表面的反射特性, 不适合于对粗糙、裸露的岩石表面进行测量. 雷达相对来讲要好一些, 但是合适的雷达设备既不便宜又不便于携带. 声波测量对于精度要求不是特别高的作

业任务是一种比较可行的方法. 超声波传感器不是特别昂贵, 而且超声波束可以在岩石表面得到很好的反射. 采用旋转超声波发射仪, 使超声波束可以扫描洞穴断面的内表面. 系统可以计算从发射仪至墙壁的距离, 从而可以得到洞穴断面. 通过移动发射仪进行测量, 可以得到一系列的断面, 由一系列的断面得到洞穴的片断, 这些片断可以在软件中进行连接, 从而重建洞穴系统的三维地貌形态.

超声波扫描系统包括一个超声波发射器和接收器, 连接在纺锤形的步进马达上. 步进马达和超声波发射器通过笔记本电脑控制, 同时可以读取超声波接收器的信号. 当发射器发出一个脉冲, 接收器接受到后, 步进马达旋转发射器和接收器 7.5° , 计算机存储这 48 次扫描方位然后将测量结果显示在屏幕上, 如图 3 所示.

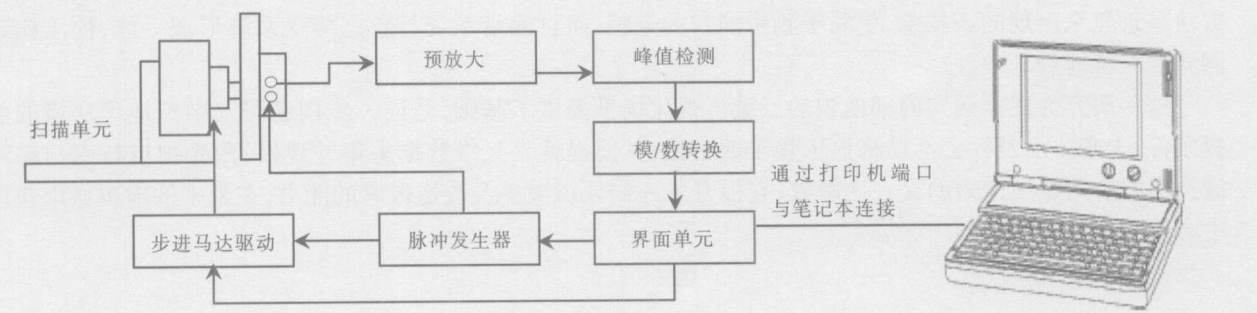


图 3 超声波测量方法流程图

测站设置上, 在洞口采用普通测量方法获取一个起始点, 随后通过控制测量得到洞穴轴线上的合适点位作为测站, 在这些测站上进行扫描, 每个测站上的扫描时间大约在 1 min 左右^[4].

4 激光扫描系统测量方法

4.1 激光扫描系统介绍

激光扫描系统由三维激光扫描仪、数码相机、GPS 定位装置、升降台、旋转平台、软件及附件构成. 激光扫描仪可以进行水平 360° , 垂直 $90^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 的快速扫描 (1 000 点 /s ~ 25 000 点 /s), 分辨率可高达 mm 量级. 可用来扫描任何物体或实景, 进而实现三维立体信息的采集及数据建模, 特别适用于不规则构成的大型目标及实景. 通过三维的激光扫描, 直接将室内外各种大型目标 (实体或实景) 以三维数据形态的方式量化到电脑中, 然后进行目标的综合测绘、三维建模、立体编辑及分析处理等后处理工作. 同时, 也可通过开放的软接口将数据共享到其它软件中, 以便根据不同应用进行深层的设计及研发. 它可实现宽距离、大空域、广视野的扫描; 可高精度 (可达 0.2 mm)、高密度地采集目标三维数据; 多方位、多姿态、自动化、自环转的全天候扫描; 可便携、遥控、及机动地定点操作, 户内外皆宜; 对环境适应性强. 激光扫描系统可对目标进行三维数据模型的重构并为其它 3D 设计软件及管理软件提供模型及数据. 其工作原理如图 4 所示.

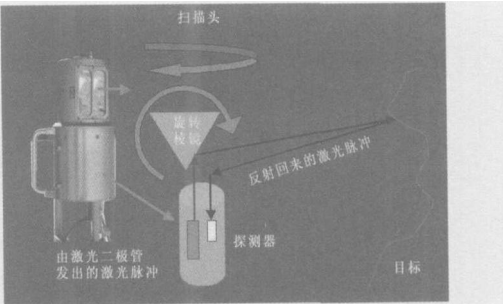


图 4 激光扫描仪工作原理

4.2 激光扫描系统用于洞穴测量

测站位置需进行控制测量事先布设^[5], 每次激光扫描仪放置在测站上, 扫描洞穴的自然表面以后, 都能直接测出三维坐标, 不需要任何中间处理过程. 量测结果马上以图形点显示在计算机屏幕上, 当点数逐渐增多后, 所扫描的三维图像就显示出来. 这些图像可以称为“点云 (集)”, 它由上万个三维表面点构成. 即使有时还在扫描过程中, 操作者可以快速看见所采集到的图像. 扫描后, 可以生成格网或多层设色的三维几何场景可视化图像. 激光扫描系统不需要中间过程和步骤以产生大量的点的坐标, 如图 5 所示.

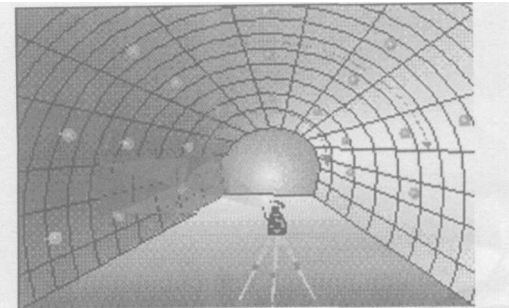


图 5 激光扫描系统洞穴测量

除了上述几种方法可用于洞穴内部地貌的测量以外,还可以采用摄影测量方法,不仅需要实地拍摄照片,而且实际的测量还需要几个冗长的步骤.首先需要拍摄照片然后处理,随后需要量测和调整图版,最后测图人员利用测图仪数字化每张照片.该方法内业处理的工作量比较大.

5 结论与展望

本文针对洞穴内部地貌的特殊性及洞穴测量环境,对洞穴内部地貌测量的多种方法进行了探索.认为罗盘、倾角计测量法由于用时较长,记录数据不方便,更适用于洞穴断面较小、用全站仪、激光扫描仪测量存在盲区情况下的测量.计算机辅助测距仪和全站仪方法更适用于断面测量.超声波方法及激光扫描系统方法是近年来出现的新技术,更利于测量洞穴的全貌,而且测量系统与数据接受系统形成一体,便于构建洞穴的三维地貌.

这一研究为建立洞穴内部地貌的三维可视化场景提供了基础,是进一步构建洞穴虚拟地理环境的前提条件.未来生活及社会活动将更依赖于数字化,其前提就是三维数据采集并建模.激光扫描技术与超声波技术的应用是生产力的又一次解放,它提升了人们认识世界及改造世界的能力,在未来的虚拟城市建设中必将起到重要的作用.

[参考文献] (References)

[1] 朱学稳. 我国的岩溶洞穴研究与国际合作 [EB /OL]. [2006- 06- 06]. <http://www.lzdx.com/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=232> 2006
ZHU Xuewen Cave research in china and the international cooperation[EB /OL]. [2006- 06- 06]. <http://www.lzdx.com/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=232> 2006 (in Chinese)
[2] 闫福礼, 黄志文. 介绍一种地下洞穴断面测量方法 [J]. 工程勘察, 1997(3): 62- 64
YAN Fuli HUANG Zhiwen A method of cross section survey for subterranean cave[J]. Geotechnical Investigation and Surveying 1997(3): 62- 64 (in Chinese)
[3] 姜晨光. 利用无合作目标测距仪进行地下洞穴测量的基本构想 [J]. 城市勘测, 1994(3): 26- 27.
JIANG Chenguang The proposal of underground cave surveying using no-cooperation target range finder[J]. Urban Investigation and Surveying. 1994(3): 26- 27 (in Chinese)
[4] SELLERSW I CHAMBERLAIN A T. Ultrasonic cavemapping[J]. Journal of Archaeological Science. 1998, 25(9): 867- 873
[5] 张宗塘. 洞穴测量 [J]. 科学中国人, 1999(8): 67.
ZHANG Zongtang Cave surveying[J]. Science Chinese. 1999(8): 67 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]