

# 汤山猿人洞穴埋藏堆积地质雷达勘探解译

周春林,袁林旺,刘泽纯

(南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210046)

[摘要] 通过对南京汤山猿人洞穴内部东侧地质雷达勘探资料的分析,得出东部洞穴基岩埋深在 10 m 以下,为水平状的岩系.其上的洞穴埋藏堆积可以分为上、中、下 3 个角砾层,反映了该洞穴曾经历过 3 次较大的崩塌堆积过程.上角砾层可能含有动物化石,是今后考古值得关注的堆积层.

[关键词] 汤山猿人,地质雷达勘探,埋藏堆积,洞穴演化

[中图分类号] P534. 63 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2006)04-0123-04

## Research on Ground Penetrating Radar (GPR) Exploration on Cave Sediments in Tangshan, Nanjing

Zhou Chunlin, Yuan Linwang, Liu Zechun

(School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Through analyzing the data of GPR exploration in the eastern cave of *Homo erectus* in Tangshan, this paper points out the bedrock of the eastern cave was more than 10 meters thick and probably belong to level-shaped rocks. The cave sediments on the bedrock were divided into three layers with breccia, which reflected the cave once underwent the process of serious landslip for three times. The upper breccia layer is probably rich in animal fossils, which will be the one worth paying more attention to in the future archaeology.

**Key words:** *Homo erectus* in Tangshan, GPR exploration, cave sediments, cave evolution

汤山猿人洞穴是著名的南京直立人化石发现地,通过对洞穴现存埋藏堆积物的分析,有望寻找到早期人类生活的遗迹<sup>[1,2]</sup>. 地球物理方法是一种无损且省时的勘探方法,可应用于埋藏地貌、地层和环境考古等方面的研究<sup>[3-6]</sup>. 本文重点解译 1998 年 12 月汤山猿人洞穴地质雷达(Ground Penetrating Radar—GPR)勘探结果,辅以前期精密磁测和折射波地震勘探的验证,力图对洞穴基底、洞穴充填结构与堆积物厚度进行定性与定量相结合的分析,为洞穴堆积与演化过程研究和进一步考古挖掘提供辅助决策信息.

### 1 勘探区概况

汤山猿人洞穴由葫芦洞及出土直立人化石的支洞组成,东西长 64 m,南北宽约 25 m(图 1). 洞穴堆积以化学沉积和碎屑堆积为主,局部含生物化石. 由于动力条件和物源供应的差异,葫芦洞西部由塌积与残积块石构成,西高东低,前缘坡度在 10°左右,后缘最大坡度可达 60°左右. 中部是塌积与坡积锥状体,主要由灰岩角砾与碎屑黏土构成,

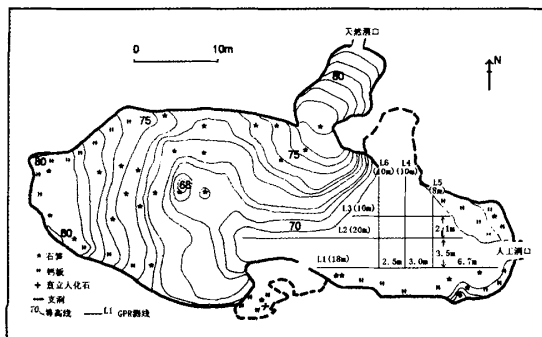


图 1 葫芦洞及地质雷达测线示意图

收稿日期: 2006-05-26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40073020).

作者简介: 周春林, 1966—, 博士, 副教授, 主要从事地貌与第四纪的教学与研究. E-mail: clzhou@njnu.edu.cn

含动物化石。锥状体厚8 m左右,前缘与南侧下伏的、产直立人化石的支洞堆积相邻。葫芦洞东部由于后期人工清理,相对平坦。从残留在东北部的洞穴堆积来看,清理前是局部覆盖钙板的碎屑堆积物。

前期调研表明,动物化石主要分布在洞穴的中部和东部<sup>[7,8]</sup>。人类化石往往是与动物化石伴生的,东部洞底10 m多厚的埋藏堆积是否含有化石?其堆积结构及与锥状堆积、支洞堆积的关系如何?作者以高分辨率、高精度的地质雷达作为工具,选择适宜操作的东部洞底作为勘探工作区,对洞穴内部锥状体前缘及以东区域进行了探测。

## 2 GPR 勘探资料分析

现场探测共布设6条测线,东西向和南北向各3条。测线距离及它们之间的相互关系如图1。勘探系统由SIR-II型地质雷达及其100 MHz收-发同体型天线组成,记录时窗为300 ns。连续剖面检测,点距在天线行进过程中自动定位,测点距为8 cm,即25个点/2 m,且每2 m自动记一距离标记量,原始记录经校正、增益恢复和带通滤波处理后成图(图2)。鉴于该洞穴内东部堆积为含灰岩角砾的砂质黏土,电磁波传播速度介于0.06~0.1 m/ns之间,取其中间值 $v=0.08$  m/ns,将时间深度转换为实际的解译深度。图右侧注记为换算后的深度,图上方标注了距离标记量。

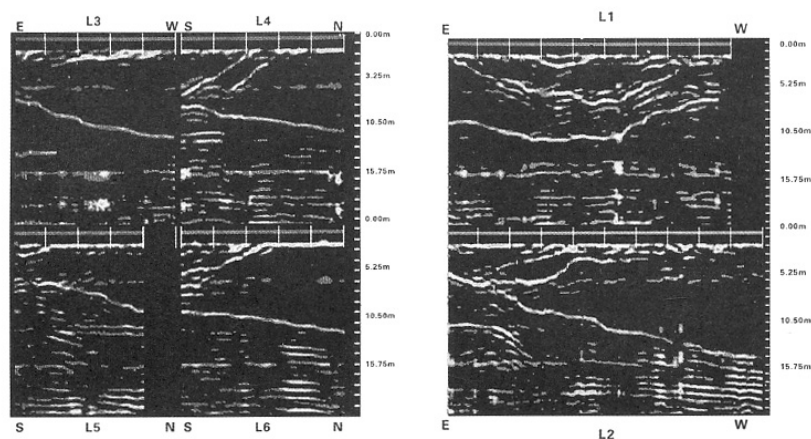


图2 葫芦洞东部处理后的GPR剖面

### 2.1 典型图像反演分析

地下不同目标体的电磁波形态是不同的,据此可以反演地下目标体的类别和特征。6条剖面记录的图像大致可以划分为4种电磁波组合形态。

(1)水平状:主要分布在剖面12 m以下,由7~8个大致平行的、连续的同相单层构成,显示剖面下部由近于均一、水平的地层构成。许汉奎等<sup>[9]</sup>推断该类地层是类似支洞顶底的泥灰岩或葫芦洞西端产状近于水平的红色钙质泥岩或硅质灰岩。强烈的反射层表明是一种高速度的介质,应该为洞穴岩石基底。

(2)杂乱状:主要分布在剖面中上部1~6 m之间,常呈块状或波状局部分布,不均匀、不规则。根据反射波的强弱,可分为弱反射和强反射两类。在洞穴堆积中,这类杂乱的强反射结构反映崩塌块石堆积,崩塌大而集中者为强反射;崩塌物小且分散于黏土堆积中时,则呈弱反射。

(3)弧形状:仅分布在L1、L2和L5剖面的中部。根据对称关系,可分为对称和不对称弧形结构。对称弧形状结构位于L2和L5剖面的中下部7~10 m之间。计算结果表明拱弧形异常不是断点的绕射波造成的,而是真实地下结构物的反映。根据L2剖面拱弧的西翼和L5剖面拱弧的北翼为实波,而它们的另一翼为虚波(反相波)可以推测这种拱弧可能代表埋藏的空洞。拱顶的相应深度约6.7 m,其平面位置在L2剖面离东起点3 m处,L5剖面离南起点2 m处。不对称弧形状结构位于L1和L5剖面2~7 m之间,一翼明显,延伸至弧顶后往往尖灭,呈单斜形,代表洞内堆积层倾斜的形态。

(4)错断状:仅分布在L2剖面 and L5剖面的中下部,连续的反射波被错开。在L2剖面上,断距可达1~2 m;在L5剖面上断距约0.5 m。连接这两处断点可以推测该断层为SE倾向的正断层,规模不大。断层的

存在说明剖面下部为洞底基岩构造。

## 2.2 图像结构与堆积物空间分布

根据波形组合状况,6条剖面自地面向下大致可分为五组反射波。五组反射波空间的不同表现和组合,反映了洞穴埋藏堆积的空间分布特征。

### (1) 第一组反射波

该反射波见于1 m上下。反射波不连贯、支离破碎,由大小不同的块状强反射波组成,似为块石角砾层。这一层分布于整个测区。

### (2) 第二、三组反射波

这两组波见于测区的东侧、南侧和西侧,波组更不连贯,更不平整,显示为更大的块体反射,推测为洞壁或洞顶崩塌相对集中的大型岩块堆积部分。

这两组波在L1剖面的中部及L2剖面的东部和西部显示很强;L3剖面的东部也有所显示,但只见第二组反射波,且范围不大。在3条南北向剖面(L4,L5,L6)上的显示也大致相当。

这两组波的深度约为2.5~3.5 m和5.8~6.7 m。但第三组波在L2剖面的西侧及L6剖面北侧显示较深,在L2剖面上为8~9.5 m、L6剖面为7.5~8 m。

在L4剖面上,可显示为三组,而且向北可见延伸的弱反射,南高北低。因此在这些剖面上第三组波都表现出自南向北和自东向西倾斜分布的特征,说明早期洞穴崩塌堆积时,洞穴内部地形由南东向北西锥状体根部倾斜。洞穴南侧高于北侧0.5~1.0 m左右,东侧高于中部锥状体附近1.0~1.5 m左右,造成后期洞穴东部人工洞口附近钙板和粉质黏土层的厚度和高度大于洞穴中部,南侧巷道剖面地表下3~5 m以浅的红黄交替黏土层向东、向北低角度倾斜。

### (3) 第四、五组反射波

总体上显得比较规则,平整连贯。在L1剖面上,这两组波中间略拱、两侧下塌,第四组波的拱顶偏西,第五组波的拱顶基本上在中心位置。这两组波的深度约为8~9 m和10~10.5 m。在离测线东起点2.2~5.3 m之间存在一个漏斗状凹坑,使得这两组波不连续,推测为基岩差异溶蚀所致。从波组的连贯性、平整性及东段尖灭来看,奥陶纪红花园组灰岩基底不具备这样的特征,推测基底是类似含猿人化石小洞顶底产状平缓的泥灰岩、钙质泥岩。

三条南北向剖面显示的第四和第五组波的特征基本上与东西向剖面相应。因而从总体上,这两个反射层是南高北低,东高西低,向西北方向倾斜。

## 3 GPR 勘探结果解译

根据上述分析,葫芦洞东部埋藏堆积自上而下可以划分为6层:

(1) 受到人工改造的洞穴内部表土层,厚约1 m。

(2) 连续角砾层,深度在1~2 m之间,在整个东部洞底都有分布,底界常穿插或斜交于下伏土层,与下伏地层呈不整合接触,不整合面向南倾(上角砾层)。

(3) 碎屑土层,深度在1.5~2.5 m之间,南侧夹较多块石角砾,北侧以土状堆积为主。

(4) 不连续崩塌角砾层,深度在2.5~4 m之间,为大型角砾与土状物的混杂堆积。崩塌角砾不连续,常呈波状或倾斜状压覆均质土层之上,具有阶段性。崩塌角砾层总体上倾向东南(中角砾层)。

(5) 夹角砾的厚层均质土层,深度在4~9 m之间,以均质土堆积为主。在东侧与南侧上覆多层的角砾,厚度相对薄,约2 m左右;而北侧和西侧堆积很厚,很少含角砾,层厚4 m以上。

(6) 崩塌角砾与碎石土交互层,深度约在7~9 m,崩塌角砾一般2~3层,有一定的连续性,出现的深度大致相似,倾向北西,其中深度在7~8 m之间的角砾最为密集(下角砾层)。

下伏基岩:可分辨出受到溶蚀的基岩和相对完整基岩。前者深度在8~10 m左右,因受到岩溶水作用,呈波状起伏,局部溶蚀凹坑深1 m左右。后者位于10~11 m以下,岩层相对完整,产状水平,仅在中部偏南有近东西走向的小型断裂切过基岩,断层深度不大,两侧岩层的断距在1~2 m之间。

由于本文是根据经验值进行深度演算,因此,所描绘的地下各类结构的特征不可避免存在误差。理论上可以通过钻孔取芯,以确定基岩顶面埋深,从而标定电磁波或弹性波的分层速度。但出于保护的需

要,研究区缺乏此类工作的条件,因此,本文用前期精密磁测和折射波地震勘探测量资料进行对比验证。精密磁测表明在东侧洞底存在显著的磁异常,曾经为一个消水洞或漏斗,后来被碎石土填塞<sup>[3]</sup>。折射法地震勘探表明洞穴东南侧洞底局部基岩的大体深度为 12 m 左右<sup>[5]</sup>。GPR 勘探也表明东部洞穴底部基岩埋深在 10~11 m,产状近水平。基岩之上可以分辨出多层角砾与土状堆积物,并有埋藏空洞存在。

## 4 讨论

### 4.1 物探结果与洞穴成因的新认识

野外工作证实葫芦洞南侧支洞顶底部围岩为产状平缓的棕红-黄色泥岩和泥灰岩,葫芦洞西部洞顶和洞穴西端均为产状近于水平的红色岩系,即许汉奎等<sup>[9]</sup>认为的红色蚀变灰岩。地质雷达勘测表明洞穴东部基底亦为水平状地层结构,不同于红花园组陡倾的灰岩产状,推测洞穴东部基底也是产状近于水平的岩组。基于这一认识,推测葫芦洞穴的成因可能与这种易溶蚀、易崩塌的红色岩系有关。

### 4.2 角砾层与洞穴演化的阶段性

如果不考虑洞穴发生堆积再侵蚀,那么在东部埋藏堆积中可能有 3 次相对集中的崩塌堆积过程,从而使洞体逐渐扩大,堆积逐步加厚,形成上、中、下 3 个角砾层。这种崩塌可能是洞穴自身演化导致洞顶或洞壁崩塌,也可能与古地震、冰期极端低温等偶然事件有关<sup>[10]</sup>,其成因有待进一步研究。通过识别崩塌堆积,为重建汤山猿人洞穴演化过程提供了新的可能途径。

### 4.3 物探给考古研究的新启示

无论在葫芦洞,还是在附近的驼子洞(又称炼灰厂洞)都能观察到动物化石与角砾混杂富集堆积的现象<sup>[2,11,12]</sup>。GPR 勘探虽不能直接用于确定埋藏堆积中是否含有化石、石器或灰烬,但能准确地分辨出块边角砾与碎屑黏土堆积。从猿人洞穴东部角砾层埋藏深度和侧向分布来看,上角砾层似可与巷道剖面 II 上部含化石的角砾层对比,中角砾层可与剖面 II 底部的角砾对比<sup>[13]</sup>。汪永进等<sup>[14]</sup>认为南京直立人 2 号头骨就出自剖面 II 上部的含化石的角砾层,所以在洞穴东部埋藏堆积的上角砾层中(埋深 1~2 m)可能含有动物化石,这为今后考古挖掘提供了辅助决策信息。

**致谢** 地球物理勘探工作及室内数据处理得到江苏省地震局张志天、华东石油物探研究所石人骥、南京大学地球科学系杨树林和本院汪永进等先生的帮助,汤山旅游公司为洞穴物探提供了方便,在此一并致谢。

## [参考文献]

- [1] 俞锦标,张兆干,朱诚,等. 南京直立人生存环境探讨[J]. 中国岩溶,1998,17(1):25-32.
- [2] 朱诚,张建新,俞锦标. 南京汤山猿人生存古环境重建探讨[J]. 地理科学,1998,18(5):433-441.
- [3] 周春林,张志天. GPM 技术及其在埋藏喀斯特勘查中的应用[J]. 中国岩溶,1997,16(3):275-282.
- [4] 周春林,陈晔. 探地雷达研究进展[J]. 南京师大学报:自然科学版,1998,21(1):111-115.
- [5] 周春林,袁林旺,张惠. 岩溶洞穴地球物理考古方法集成研究——以南京汤山直立人洞穴为例[J]. 南京师大学报:自然科学版,2005,28(3):102-105.
- [6] 刘泽纯,周春林. 葫芦洞洞穴的成因及其堆积演化过程[M]// 吴汝康,李星学. 南京直立人. 南京:江苏科学技术出版社,2002.
- [7] 南京博物馆,北京大学考古系汤山考古发掘队. 南京人化石地点 1993-1994[M]. 北京:文物出版社,1996.
- [8] 许汉奎. 区域地质[M]// 吴汝康,李星学. 南京直立人. 南京:江苏科学技术出版社,2002.
- [9] 许汉奎,李越. 南京汤山“白垩纪古溶洞岩层”的年代和成因新认识[J]. 地层学杂志,2002,26(3):216-220.
- [10] 汪永进,吴江滢,刘殿兵,等. 石笋记录的东亚季风气候 H1 事件突变性特征[J]. 中国科学(D 辑),2002,32(3):227-232.
- [11] 陆从伦,周春林. 南京喀斯特溶洞碎屑充填物的沉积特征和气候地层学研究[J]. 南京师大学报:自然科学版,1998,21(1):116-119.
- [12] 董为,房迎三. 南京汤山驼子洞的马科化石及其意义[J]. 古脊椎动物学报,2005,43(1):36-48.
- [13] 许汉奎,李星学,穆西南,等. 第四纪更新世地层[M]// 吴汝康,李星学. 南京直立人. 南京:江苏科学技术出版社,2002.
- [14] 汪永进,程海,陆从伦,等. 南京汤山洞穴碳酸盐沉积物的电离质谱铀系年代[J]. 科学通报,1999,44(14):1548-1551.

[责任编辑:陆炳新]