

## 晋西黄土洞穴发育特征研究<sup>\*</sup>

李 滨<sup>1</sup>, 彭建兵<sup>1</sup>, 郑书彦<sup>1</sup>, 安光明<sup>2</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 西安 710054; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘 要:**黄土洞穴是晋西黄土高原地区发育的一种特殊微地貌景观和地质灾害。在野外调查基础上,详细总结了晋西黄土洞穴的分布情况及发育特征,研究表明:晋西黄土洞穴发育密度沿万荣-隰县-离石-兴县一线由南向北呈递增趋势,而发育深度受地层构造、岩性及其厚度、地形等多因素的综合控制;黄土构造节理的产状与黄土洞穴的产状基本一致,对洞穴形成影响显著;黄土洞穴内部构造特征多样化,反映了黄土洞穴不同时期的演化特征。

**关键词:**晋西黄土高原;黄土洞穴;分布规律;发育特征

中图分类号:P642.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)04-0098-03

## Characteristic Features of Loess Caves in West of Shanxi Province

LI Bin<sup>1</sup>, PENG Jian-bing<sup>1</sup>, ZHENG Shu-yan<sup>1</sup>, AN Guang-ming<sup>2</sup>

(1. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Loess cave is a kind of special micro-geomorphology and geological hazard in the Loess Plateau of west of Shanxi province. Based on the field survey, this paper summarizes the distribution of loess caves and the characteristic features. Researches show the characteristic density of loess caves increase by degrees with Wanrong-Xixian-Lishi-Xingxian county in west of Shanxi province. The combined function of various factors controls the characteristic depth, including layer, loess quality, depth, topography and so on. The tectonic joints of loess have great influence on loess caves formation, its attitude and loess caves attitude being consistent. The interior tectonic feature that is diversification reflects the different evolution characters.

**Key words:** the Loess Plateau in west of Shanxi province; loess caves; law of distribution; characteristic features

晋西黄土高原地势起伏,沟壑纵横,地形破碎,黄土覆盖厚度一般为20~30 m,最厚可达100~150 m。这些黄土地区水土流失严重,生态环境恶劣,地质灾害频发。这里广泛发育着一种特殊的微地貌单元——黄土洞穴,它的发育演化促进了滑坡、崩塌等地质灾害的发生和发展<sup>[1]</sup>。因此,认清黄土洞穴的发育特征是研究黄土地区地貌演化、灾害防治等相关工程问题的基础之一。

### 1 晋西黄土洞穴的类型及分布情况

#### 1.1 晋西黄土洞穴的类型

晋西黄土高原地区发育的黄土洞穴形态各异,大小不一,深度不同,可谓千姿百态,成为黄土高原地区一种特殊地貌景观。黄土洞穴既包括地表上可见的跌穴、陷穴、碟形地等,也包括地表上不可见或只能观察到其进出口断面的黄土暗穴。从黄土洞穴的形态上来说,根据洞穴断面的大小分为微型、小型、中型、大型和巨型;根据发育深度可分为表层、浅层、中层、深层以及超深层;根据水的侵蚀方式不同分为冲蚀成因的冲穴、跌穴、潜蚀成因的陷穴、暗穴以及湿陷作用下形成的碟形地等<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 晋西黄土洞穴的分布情况

野外调查表明晋西黄土洞穴侵蚀的区域差异性大,地区性规律差,加之地形地貌、构造以及人为活动等因素的相互交叉影响<sup>[2]</sup>,造成晋西黄土洞穴往往呈集中式成片分布。但总体来看,晋西黄土洞穴分布具有一定的区域规律:

(1)黄土洞穴发育密度沿万荣-隰县-离石-兴县一线由南向北呈递增趋势,其中石楼、离石、柳林、兴县等地区黄土洞穴发育密度最高;兴县以北的广大黄土高原丘陵区的黄土洞穴发育逐渐减弱。

(2)黄土洞穴的发育情况受地形地貌的影响显著。一般黄土梁、黄土塬及黄土残塬、表层有黄土沉积的冲积扇边缘地带及各类地貌单元中发育的冲沟等地形地貌上黄土洞穴发育最为强烈<sup>[2]</sup>。

(3)晋西黄土洞穴高发区的土壤侵蚀强度都为强度侵蚀,占到总面积的65.5%。其中临县、柳林、石楼、永和、大宁的侵蚀模数较高,以此向南向北侵蚀模数逐渐降低(表1)。

### 2 晋西黄土洞穴的形态特征

黄土洞穴的形态可分为断面形态和空间形态两类。

\* 收稿日期:2007-06-16

基金项目:国家西部交通建设科技攻关项目(200131881213)

作者简介:李滨(1980-),男,博士生,主要从事地质工程和地质灾害研究。E-mail: zsyang@chd.edu.cn

表 1 晋西各县土壤侵蚀模数  $t/km^2$

地点	侵蚀模数	地点	侵蚀模数	地点	侵蚀模数
兴县	8106	中阳	7121	大宁	10413
临县	12477	柳林	11151	吉县	7503
方山	4082	石楼	12000	乡宁	6234
离石	7620	永和	13781	河津	3170

2.1 黄土洞穴断面形态特征

黄土洞穴的断面形态特征是指洞穴断面的几何形态,是洞穴最为直观的基本特征。由于黄土洞穴的特殊土性和成因,其断面形状很复杂。从野外调查所得到的众多的断面形状中挑选出最为常见的几种,用以概化洞穴的断面形状,统计结果表明,黄土洞穴的断面形态以狭缝形、三角形、圆形、拱形为主,兼有其它一些不规则形状。

2.2 黄土洞穴空间形态特征

黄土洞穴的空间形态指黄土洞穴在三维空间的展布形态。黄土洞穴在三维空间的展布形态可以分为倾斜直线型、垂向重叠型及由多种洞穴在三维空间组成的复合型洞穴系统(图 1)等多种类型。

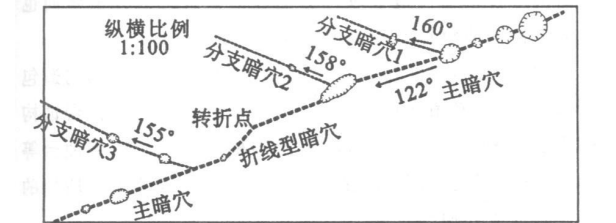


图 1 复合型黄土洞穴平面投影示意图  
(山西离石羊道沟)

3 晋西黄土洞穴的发育深度特征

洞穴的发育深度是指由洞穴断面顶部至地表之间的距离,一般受地层构造、岩性及其厚度、地形等因素的控制。晋西黄土地区黄土洞穴发育深度特征如下:

(1) 全新世黄土( $Q_4$ )和 马兰黄土( $Q_3$ ) 由于具有孔隙大、结构疏松、湿陷性、崩解性强而抗冲性弱等土性条件,因此黄土洞穴一般多发育于这两种地层中,但发育深度通常受到全新世黄土和马兰黄土地层厚度限制。野外调查表明,洞穴发育深度一般不大于 20 m,而湿陷性地层深度也在 8~ 15 m,说明黄土洞穴的发育程度一定程度上受湿陷性黄土地层厚度的控制。此外,黄土洞穴发育深度也常常和构造节理裂隙相关,沿构造节理裂隙发育的洞穴深度一般较厚,规模较大,属于大型或巨型洞穴。

(2) 剖面出露于地表的离石黄土( $Q_2$ )和 午城黄土( $Q_1$ ),虽不具备有利于黄土洞穴形成的土性因素,但若其出露地表较浅且各种节理裂隙发育程度较高以及地形地貌有利于汇水的情况下,通常也会有少量的黄土洞穴发育,但洞穴发育程度大为减弱。

(3) 晋西黄土地层中含有多层古土壤层、钙质结核层及部分黄土地区地层底部的第三系红土,对黄土地层岩性垂向差异影响较大,其作用有两点:第一,古土壤层等地层渗透性

明显降低,洞穴形成期的侵蚀水流在这些地层顶面转为水平运移,有利于洞穴的形成,从而 影响洞穴的发育深度;第二,黄土洞穴形成后,水流侵蚀力变强,可能切穿古土壤层而形成双层或多层洞穴。

4 晋西黄土洞穴的产状特征

黄土洞穴的产状是以洞穴中心轴线为基准进行界定的,包括轴线的倾角及走向。黄土洞穴的产状特征可以分段描述,也可以结合剖面图、平面投影以及断面图来对其形态进行描述。

通过野外调查发现,晋西黄土洞穴的倾角一般和其发育地层一致,其走向则与构造节理的方向一致。如在黄土塬边、梁卯边缘的冲沟中及黄土坡上的分水岭两侧,构造节理发育程度较高,且构造节理方向通常也与冲沟方向或条带状负地形的方向一致,所以在这些部位,黄土洞穴的走向也一般沿冲沟或负地形的延伸方向展布。因此,在晋西黄土地区,构造节理裂隙的产状对黄土洞穴的产状特征影响显著。

晋西黄土构造节理裂隙具有延伸长、方向稳定、切深相对较大等特点,塑造了各种类型的黄土地貌,沿其发育的黄土洞穴一般也具有延伸距离较远、走向稳定、埋深大而且洞穴断面大等特点(图 2)。以万荣张李冯村为例,NE 25°,NW 70°走向两组构造节理最为发育,调查发现每组节理都有与其发育程度相适应的同组黄土洞穴、切沟与之对应。这种由构造节理的优势发育方向决定洞穴产状类型的现象在晋西黄土地区普遍存在。

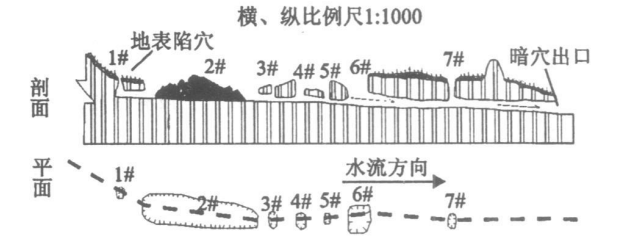


图 2 石楼大型黄土洞穴剖面、平面示意图

5 晋西黄土洞穴的内部构造特征

黄土洞穴内部构造特征主要包括洞穴内部充填构造特征和内部侵蚀构造特征,下面以晋西大型黄土洞穴为例,详细阐述黄土洞穴的内部构造特征。

5.1 充填构造特征

晋西石楼大型黄土洞穴和万荣万合沟巨型黄土洞穴是沿大型构造节理发育而成的,内部构造节理十分清晰,洞穴内部的充填构造多种多样,是黄土洞穴形成和发展演化过程的伴随产物,主要包括以下充填特征:

(1) 风化崩积:一般发生在洞穴进出口附近,这里温差、湿度变化大,与空气接触充分,风化作用强烈,但风化崩积物一般颗粒较细,在洞穴中的堆积厚度也相对较薄。

(2) 崩塌堆积:与风化崩积相比,崩塌堆积的厚度较大,往往呈大的块体堆积,在整个黄土洞穴的内部较为常见,这是由于洞穴顶部土体沿构造节理发生卸荷崩塌形成。

(3) 土溜:一般发生在洞穴进出口处,在没有水作用的前

提下, 洞穴进出口处顶部的土体塌落物在重力作用下向洞穴内部滑溜充填, 在水的作用下塌落物则形成流泥堆积。

(4) 干淤堆积: 黄土洞穴内部由于水流搬运的细粒物质在水流搬运能力变弱后会发生沉淀, 这种沉淀的堆积物在洞穴内部被风干后形成黏性较大、质地较硬的干淤堆积。

5.2 侵蚀构造特征

在晋西黄土大型洞穴中, 内部侵蚀构造也是形式多样, 它是黄土洞穴形成和发展演化过程中主要侵蚀方式的反映。主要包括以下构造特征:

(1) 天窗构造: 一般认为是洞穴的洞内镜像, 即洞穴进口, 这种构造只有在洞穴体积足够大以及洞穴底部周围畅通的情况下才能够观察得到。

(2) 穴中桥: 这种侵蚀构造主要在两种情况下形成, 一是垂向重叠型黄土洞穴的上层洞穴大部分塌陷破坏后的残余部分, 形成穴中桥; 二是洞穴内部的大量堆积充填在水流作用下底部被侵蚀而淘空, 使上部堆积物架空而形成穴中桥。

(3) 底蚀沟槽: 仅发生在以构造节理裂隙为主要成因的黄土洞穴中, 洞穴底部的水流沿裂缝侵蚀下切而形成狭窄而深度较大的沟槽。

(4) 侧蚀沟槽: 是洞穴内部较浅水流向洞穴两侧或一侧集中侵蚀形成的。侧切沟槽的存在是黄土崩塌重力侵蚀的重要形式, 它的发展使洞穴壁因下部悬空而卸荷塌落。

(5) 侧蚀台: 一般存在于构造节理为主要成因的洞穴中, 是由于洞穴中水流集中侵蚀深切细沟使其两侧进一步拓宽而形成的, 是洞穴内部发生多期侵蚀的直接标志。

5.3 晋西黄土洞穴内部构造特征与洞穴形成演化的关系

通过对野外调查总结发现, 黄土洞穴内部构造特征的差异, 主要与黄土洞穴所处的不同发展演化阶段有着相当密切的关系。

(1) 发育期: 主要表现为地表水沿优势渗透带快速下渗, 机械侵蚀搬运黄土中细粒物质, 优势渗流通道出现, 但洞穴发育部位仍被黄土充填。

(2) 形成期: 随着渗流通道的全面贯通, 水的冲蚀快速地对通道中的粗粒松散物质进行侵蚀搬运, 中空的径流通道形成, 洞穴雏形显现。但由于洞穴的空间较小, 内部构造特征以小部分黄土的重力崩塌堆积物为主, 洞穴的断面多呈宽缝状、三角状或其它不规则形态。

(3) 扩展期: 这一时期是洞穴规模扩大的阶段, 水的冲蚀作用十分强烈, 诱发各种重力侵蚀, 使黄土洞穴壁崩塌、掉块, 洞内出现各种形式的充填构造(如崩塌堆积、风化崩积

等)和侵蚀构造(如穴中桥、深切细沟等), 这个阶段在洞穴形成演化过程中最为重要, 时间相对较长, 洞穴内部变化形式多样化, 洞穴断面多呈三角形、圆形和拱形。

(4) 破坏消亡期: 这一阶段, 黄土洞穴内部重力崩塌异常强烈, 洞穴最终塌陷破坏, 进而形成黄土桥、黄土碟等微地貌单元, 侵蚀方式以冲蚀、重力侵蚀为主。在外界因素的进一步作用下, 黄土桥等微地貌单元消失, 冲沟形成。

6 结 论

(1) 黄土洞穴根据分析角度不同可将其形态分为断面形态(如圆形、拱形等)和空间形态(如倾斜直线型、垂向重叠型等), 这是黄土洞穴最直观的外部特征。

(2) 黄土洞穴的发育深度受地层构造、岩性及其厚度、地形等因素的综合控制。一般全新世黄土( $Q_4$ )和马尔黄土( $Q_3$ )由于具备孔隙大、结构疏松等特性, 黄土洞穴多发育于这两种地层中。若黄土洞穴发育深度受构造节理裂隙有关, 沿构造节理裂隙发育的洞穴深度一般较厚, 规模较大, 属于大型或巨型洞穴。

(3) 晋西大型黄土洞穴的倾角一般和其发育地层一致, 其走向一般则与构造节理的方向一致。黄土洞穴的走向也一般沿冲沟或负地形的延伸方向展布。

(4) 黄土洞穴内部构造多种多样, 其中内部充填构造包括风化崩积、崩塌堆积、土溜、流泥、干淤堆积等, 内部侵蚀构造主要有天窗构造、穴中桥、底蚀沟槽、侧蚀沟槽、侧蚀台等形式, 黄土洞穴内部的构造特征直接反映了黄土洞穴所处的不同的形成和演化阶段。

参考文献:

[1] 彭建兵, 李喜安, 孙萍, 等. 黄土洞穴的环境灾害效应[J]. 地球与环境, 2005, 33(4): 1-7.

[2] 李喜安, 彭建兵, 郑书彦, 等. 黄土高原地区黄土洞穴的成因研究[J]. 公路, 2005(11): 142-146.

[3] 彭建兵, 李喜安, 陈志新, 等. 公路黄土暗穴分布规律研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6): 1-5.

[4] 王景明. 黄土构造节理理论及其应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

[5] 王斌科. 引起洞穴侵蚀的主要因素探索[J]. 水土保持学报, 1989, 3(3): 84-90.

[6] 李喜安, 彭建兵, 陈志新, 等. 湿陷性黄土地区土壤洞穴侵蚀研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 28-32.

[7] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.