



辽宁大连骆驼山地区第四纪溶洞形成条件分析

高福亮,江 洋,张国仁,吴子杰

辽宁省地质勘察院有限责任公司,辽宁 大连 116100

摘 要:对骆驼山地区构造以及溶洞进行了详细的地质调查工作,在 1:2000 的地质调查中,重点调查了构造与溶洞的分布特征。通过综合研究溶洞的形成与构造的关系,从溶蚀及冲蚀、崩塌和堆积两方面论述了溶洞的形成条件,并根据溶洞高程对比,推测溶洞堆积物的形成时代,总结出溶洞的形成规律,为进一步研究第四纪哺乳动物演化规律提供了基础地质资料。

关键词:骆驼山;金远洞;溶洞;形成条件;辽宁省

FORMING CONDITIONS OF THE QUATERNARY KARST CAVES IN LUOTUO MOUNTAIN OF DALIAN CITY, LIAONING PROVINCE

GAO Fu-liang, JIANG Yang, ZHANG Guo-ren, WU Zi-jie

Liaoning Institute of Geological Exploration Co., Ltd., Dalian 116100, Liaoning Province, China

Abstract: A detailed investigation was carried out on the structures and karst caves in Luotuo Mountain, with the 1:2000 geological survey focusing on their distribution characteristics. Through comprehensive study on the relationship between formation of karst caves and structures, the paper discusses the forming conditions of karst caves from the aspects of corrosion and erosion, as well as collapse and accumulation, infers the formation age of karst cave accumulation according to the elevation comparison of karst caves, and summarizes the formation rule of karst caves, which provides basic geological data for further study on evolution law of the Quaternary mammals.

Key words: Luotuo Mountain; Jinyuan Cave; karst cave; forming condition; Liaoning Province

骆驼山地区位于辽东半岛南部、普兰店湾北岸。研究区位于大连市金普新区复州湾街道南东约 4 km,隶属于金普新区管辖。大地构造位置位于华北陆块胶辽隆起带复州拗陷复州-大连沉陷(图 1)。

辽宁省大连市是中国东北地区重要的第四纪哺乳动物化石产地,碳酸盐岩地层发育,且构造活动相对较

强,形成许多溶洞,部分溶洞被充填后形成第四纪哺乳动物遗迹,吸引着国内外众多学者的关注^[1]。在该地区先后发现了大连海茂动物群^[2]、古龙山动物群^[3-4]以及骆驼山金远洞等众多第四纪哺乳动物群^[5],为辽南地区第四纪地层划分对比提供了可靠的资料,同时对于华北、东北甚至朝鲜半岛和日本列岛第四纪哺

收稿日期:2020-02-12;修回日期:2020-03-12。编辑:李兰英。

基金项目:辽宁省国土资源厅“辽宁省瓦房店市古生物化石地质遗迹调查及评分”(辽国土资项[2017]20 号)。

作者简介:高福亮(1987—),男,硕士,主要从事古生物及区域地质专业研究,通信地址 辽宁省大连市金州区五一一路 10 号,E-mail//kevinangus@sina.com

表1 骆驼山地区溶洞特征汇总表

Table 1 Characteristics of karst caves in Luotuo Mountain

洞穴编号	顶部高程/m	洞穴大小/m			洞口方向/(°)	洞穴充填物	控制断层编号	洞穴堆积时代(推测)
		宽	高	延深				
KC1	83	36	32	58	60	黏土、石块、角砾、岩块等		Qp ¹⁻²
KC2	52	11	8	18	60	红土及钙质结核	F22	Qp ³
KC3	38	15	8	22	325	红土、钙质结核、岩块及少量紫色泥岩	F2	Qp ³
KC4	42	20	16	20	300	红土、钙质结核、岩块		Qp ³
KC5	39	2	3	5	250	红土及钙质结核		Qp ³
KC6	69	5	4	15	50	红土、岩块、钙质结核	F4	Qp ¹⁻²
KC7	40	20	8	24	110	红土、岩块、钙质结核		Qp ³
KC8		1.5	2	>4	160	无	F5	
KC9	66	1	1	1	130	红土及钙质结核	F4	Qp ¹⁻²
KC10	13.5	1	1.5	2	330	红土、岩块及钙质结核		Qh ¹
KC11		0.5	1	>8	230	无	F6	
KC12		12	4	15	0	无	F5	
KC13	44	6	4	10	245	红土、钙质结核	F6	Qp ³
KC14		2	1.5	>4	220	无		
KC15	44	12	2*	20	40	层状方解石、黏土岩、泥岩、石钟乳	F7	Qp ³
KC16	65	6	5	20	50	石钟乳及方解石、纹石	F11	Qp ¹⁻²
KC17	55	2	6	22	50	红土、岩块及钙质结核	F8	Qp ³
KC18	32	3	2	5	0	红土及钙质结核		Qh ¹
KC19	73	8	8	>10	40	黄土、钙质结核、黏土岩		Qp ¹⁻²
KC20		8	4	15	40	无	F10	
KC21	53	2.5	2	3	60	红土及岩块	F11	Qp ³
KC22	20	18	16	5	130	红土、岩块及钙质结核		Qh ¹
KC23	28	8	6	8	190	红土、钙质结核以及方解石细脉	F7	Qh ¹
KC24	57	4	2*	4	未见	红土	F10	Qp ³
KC25	8	1	3	1	60	红土		Qh ¹
KC26	53	12	2	12	320*	红土、岩块、钙质结核	F14	Qp ³
KC27	70	20	15	30	40	石钟乳	F14	Qp ¹⁻²
KC28	31	6	6	6	240	红土、岩块及钙质结核	F11	Qh ¹
KC29	68	10	14	20	60	石钟乳、红土、钙质结核、岩块	F13	Qp ¹⁻²
KC30	27	8	3	15	20	红土、钙质结核及少量泥岩		Qh ¹
KC31	61	10	6*	10	40	红土、石块及骨屑		Qp ¹⁻²
KC32	57	10	5*	12	50	红土、钙质结核、黏土岩及泥岩		Qp ³
KC33	32	6	3*	14	80	红土、岩块及钙质结核	F15	Qh ¹
KC34	21	5	5	5	50	红土、钙质结核及石块		Qh ¹
KC35	56.4	0.5	0.4	1.5	140	石钟乳	F18	Qp ³
KC36	54	6	4		100	红土、石块及钙质结核,下部为黏土岩		Qp ³
KC37	59	1	4	1	330	红土、石块	F20	Qp ¹⁻²
KC38		1.5	2	15	80	无	F21	
KC39		4	3	30	60	无	F22	
KC40	68	16	8*	16	70	红土、钙质结核、石块以及少量黏土岩		Qp ¹⁻²
KC41	55	2	3	2	30	红土及钙质结核	F10	Qp ³

注: * 为推测数据。

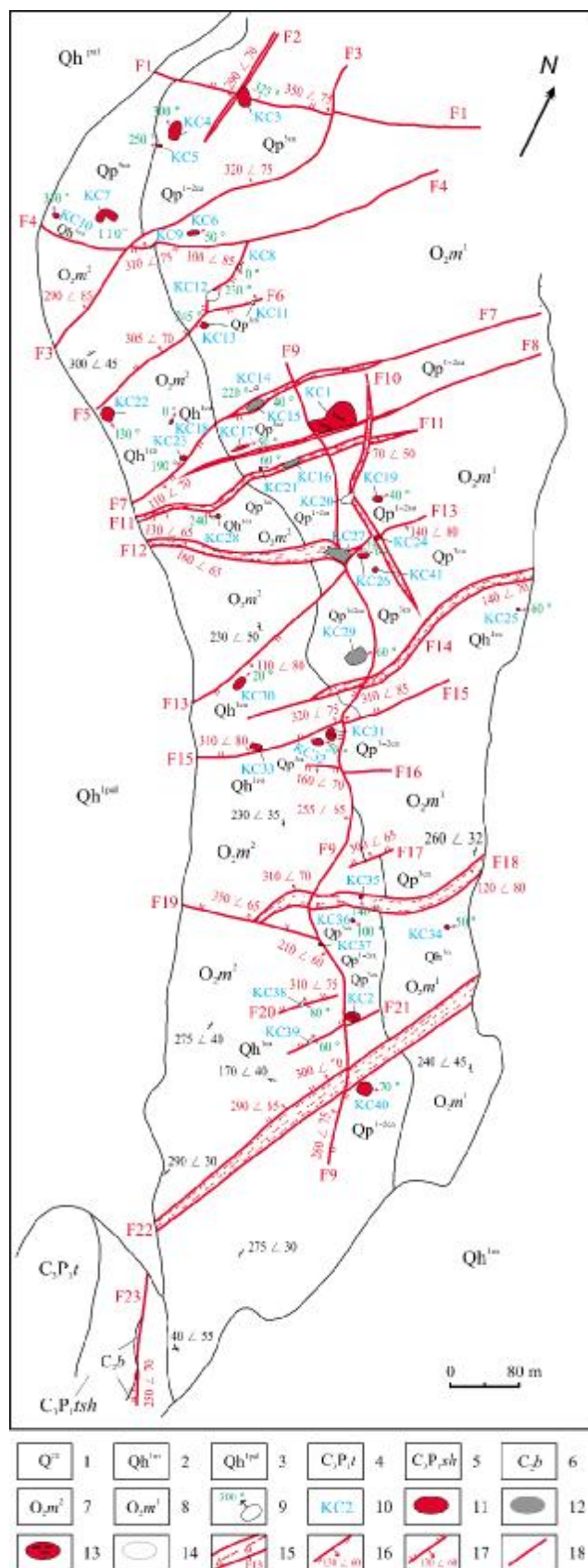


图2 骆驼山地区构造纲要及溶洞分布图

Fig. 2 Structure outline and distribution of karst caves in Luotuo Mountain

1—第四系溶洞堆积物 (Quaternary karst cave deposit); 2—第四系海积物 (Quaternary marine deposit); 3—第四系冲洪积物 (Quaternary alluvium-diluvium); 4—石炭-二叠系太原组 (Carboniferous-Permian Taiyuan fm.); 5—三棱山灰岩 (Sanlengshan limestone); 6—石炭系本溪组 (Carboniferous Benxi fm.); 7—奥陶系马家沟组二段 (2nd mem. of Majiagou fm., Ordovician); 8—马家沟组一段 (1st mem. of Majiagou fm.); 9—实测溶洞边界及洞口方向 (measured cave boundary and opening direction); 10—溶洞编号 (cave number); 11—物理充填为主的溶洞 (不含化石) (cave dominated by physical fillings, without fossils); 12—化学充填为主的溶洞 (cave dominated by chemical fillings); 13—物理充填为主的溶洞 (含化石) (cave dominated by physical fillings, with fossils); 14—未被充填的溶洞 (unfilled cave); 15—充填红土及角砾岩的断层构造带及编号 (red clay- and breccia-filled fault structure zone and number); 16—正断层及产状 (normal fault and occurrence); 17—逆断层及产状 (reverse fault and occurrence); 18—实测断层 (surveyed fault)

对每个溶洞的大小、形态以及洞穴堆积物进行调查,并总结其形成规律和时间. 溶洞在空间上分布散乱,无明显的分带,但均位于断裂周围,与断裂构造关系十分密切.

2.1 形成条件分析

溶洞的形成较为复杂,主要包括了水对可溶岩石的溶蚀和冲蚀,以及崩塌和堆积^[15-16].

2.1.1 溶蚀和冲蚀

骆驼山地区溶洞形成以溶蚀为主,伴随着冲蚀作用. 溶蚀作用主要的影响因素有水的溶蚀力、岩石的可溶性以及岩石的透水性.

(1) 水的溶蚀力

骆驼山地区地处海岸线边缘处,溶洞形成的水源主要为海水. 海水中盐度较高,且溶解大量的CO₂,受潮汐作用的影响,海水的流动性强,可不断的补充溶蚀所消耗的CO₂. 同时流动状态下的水还会发生浓度、温度、异离子混合溶蚀现象,导致溶蚀速度提高^[15]. 因此,骆驼山地区岩溶水的溶蚀能力极强.

(2) 岩石的可溶性

骆驼山地区主要地层为马家沟组的灰岩,属于溶解度一般的岩石,但碳酸盐岩分布十分广泛,且碳酸盐岩地貌保存完好,使得局部地区溶蚀形成溶洞,而未经溶蚀的部分则完好的保留下来,形成溶洞壁和低山. 据研究^[17]发现岩石的可溶性顺序:质纯的石灰岩>白云岩>硅质石灰岩>泥质石灰岩. 骆驼山地区岩性主要为质地较为纯净的石灰岩以及少量的白云质灰岩,溶洞大多发生于纯净的石灰岩之中,而白云质灰岩则相对

较少。

(3)岩石的透水性

研究表明,岩石的透水性取决于岩石的孔隙及裂隙的大小和多少。骆驼山地区原生的孔裂隙十分有限,但构造活动强,形成了大量的开放式孔隙及裂隙,故构造孔裂隙是本地区控制溶洞的主要因素。

基于以上几点分析,形成溶洞的基础是石灰岩发育区,且具有溶蚀性较强的岩溶水,在此基础上叠加断裂、节理、裂隙等脆性破裂,使海水有充分的流动空间和储存场所,加快了石灰岩的物理、化学溶蚀作用速率,导致空间不断扩大,最终形成溶洞。区内40多个形成于不同标高、大小不等、形态各异的石灰岩溶洞,90%分布于断裂带内或其附近。因此,断裂构造,特别是不同方向断裂的交接复合部位以及与断裂活动有关的次级裂隙是溶洞形成的主要控制因素。

除此之外,流水的冲蚀作用对溶洞的形成也起到一定的作用,夹杂着砂砾的海水进入之后且流速较大,这样的流水与岩体表面摩擦时会发生冲击和磨蚀,导致溶洞的扩大。

2.1.2 崩塌和堆积

崩塌作用同样发生在地表和地下,而且与溶蚀作用有关。因为溶蚀首先为崩塌创造了空间条件,由溶蚀而诱发的崩塌,可称为岩溶崩塌作用。其主要类型有:错落、陷落和氣爆。根据骆驼山地区洞穴形态及堆积物断定,崩塌作用以陷落为主。

骆驼山地区堆积作用比较复杂,它不仅有地表和地下堆积,而且还有化学性的 CaCO_3 堆积与物理性的碎屑物堆积。据调查结果显示,骆驼山地区洞穴堆积物以物理性碎屑堆积为主,在41个溶洞中26个溶洞内为物理碎屑堆积。这些洞穴也是寻找第四纪古人类和哺乳动物化石的主要层位,有3个洞穴为化学沉积,4个洞穴为混合沉积,8个洞穴无沉积物。物理沉积主要由红土、围岩石块、钙质结核、泥岩等构成,部分洞穴内部还存在骨屑。化学沉积物主要有石钟乳、层状的方解石、纹石。

2.2 溶洞堆积物形成时代

本次工作选取以物理碎屑堆积为主的洞穴顶部高程进行对比,将这些溶洞主要分为三级台地,其中8~33 m之间为一级台地,34~58 m为二级台地,59~83 m为三级台地。在辽南地区第四纪共经历了两次大的抬升,

一次为中更新世晚期,另一次为晚更新世晚期^[12,18],并且骆驼山金远洞洞穴堆积物形成于早一中更新世,推测最下部的一级台地形成于早全新世,而中部的二级台地形成于晚更新世,最高的三级台地形成于早一中更新世。

3 结论

根据以上研究分析,可以得出以下几点溶洞的分布规律。

(1)溶洞多发生于断层周围,溶洞的规模与构造带大小成正比,溶洞的数量与构造带的密集程度呈正比,北东向正断层与北西向的逆断层交汇部位是形成溶洞的有利地带。

(2)在寻找第四纪古人类及哺乳动物化石时,应着重对标高在34 m以上的溶洞进行研究,特别是标高59 m以上的溶洞,这些溶洞多形成于更新世,对应着泥河湾期和周口店期,容易寻找到古人类遗迹。

通过以上两点可以进行骆驼山地区第四纪古人类及哺乳动物遗迹的寻找工作。同时,还可以结合物探工作对未出露地表的溶洞的形态、填充物等信息进行探查。

致谢:参加“瓦房店市古生物化石地质遗迹调查及评价”项目的工作人员还有李显东、刘富、高永钊、杨海旭等同志。另外,在工作期间,得到了原辽宁省化石保护管理局张立军博士,大连自然博物馆刘金远、刘思昭等专家指导,在此一并感谢。

参考文献(References):

- [1]魏海波. 辽宁地区旧石器文化特征、埋藏规律与古生态[J]. 史前研究, 1986(S1):152-158.
Wang H B. The Paleolithic cultural characteristics, burial law and paleo-ecology in Liaoning [J]. Prehistory, 1986(S1):152-158. (in Chinese)
- [2]宋波,宋建伟. 辽宁省地质遗迹资源调查与评价[J]. 科技信息, 2010(31):391-392.
Song B, Song J W. Investigation and evaluation of geological heritage resources in Liaoning Province [J]. Science and Technology Information, 2010(31):391-392. (in Chinese)
- [3]周信学,孙玉峰,王家茂. 古龙山动物群的时代及其对比[J]. 古脊椎动物学报, 1984, 22(2):151-156, 175-176.
Zhou X X, Sun Y F, Wang J M. A new mammalian fauna found in

- Gulongshan, Dalian [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 1984, 22 (2): 151–156, 175–176.
- [4] 尤玉柱, 李毅, 孙玉峰, 等. 大连古龙山洞穴文化遗物及对当时古生态环境的探讨[J]. *史前研究*, 1985(1): 68–73, 111–112.
- You Y Z, Li Y, Sun Y F, et al. The cultural relics of the Gulong Mountain Cave in Dalian and the discussion on the ancient ecological environment at the time [J]. *Prehistory*, 1985(1): 68–73, 111–112. (in Chinese)
- [5] 李宏龙, 刘丽, 刘思昭. 探古骆驼山金远洞——大连普湾骆驼山金远洞野外发掘记[J]. *化石*, 2018(4): 72–77.
- Li H L, Liu L, Liu S Z. Exploring the ancient Jinyuan Cave in Luotuo Mountain: Excavation of Jinyuan Cave in Luotuo Mountain, Puwan, Dalian [J]. *Fossils*, 2018(4): 72–77. (in Chinese)
- [6] 陈琼, 陈琳, 黄嘉仪, 等. 岩溶洞穴次生碳酸盐沉积物及其同位素组成古气候环境研究进展[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(5): 479–485.
- Chen Q, Chen L, Huang J Y, et al. Progress in the study of paleoclimate reconstruction from speleothem uranium and its isotope [J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34(5): 479–485.
- [7] 陈晓辉. 北黄海陆架晚第四纪地层结构与物源环境演变研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2014.
- Chen X H. Sedimentary stratigraphic structure and provenance environmental evolution in the North Yellow Sea during the Late Quaternary [D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2014
- [8] 王恒伟. 大连市复州湾金远洞红粘土粒度特征和地球化学分析及其环境指示意义[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2016.
- Wang H W. The study of environment evolution of Jinyuan Hole's red clay grain size and geochemical characteristics in Fuzhou Bay, Dalian [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2016.
- [9] 杨丛宁, 张戈, 刘思昭, 等. 大连金远洞更新世洞穴红色堆积物粒度特征及沉积环境分析[J]. *地质与资源*, 2018, 27(6): 508–513.
- Yang C N, Zhang G, Liu S Z, et al. Analysis on the grain size characteristics and sedimentary environment of the Pleistocene red cave deposits in Jinyuandong, Dalian [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(6): 508–513.
- [10] 李春华. MC-ICP-MS 两步静态法测量 U-Th 同位素及其在考古测年研究中的应用[D]. 南京: 南京师范大学, 2019.
- Li C H. MC-ICP-MS two-step static method to measure U-Th isotope and its application in archaeological dating [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2019. (in Chinese)
- [11] 国际地层委员会. 国际年代地层表[J]. *地层学杂志*, 2013, 37(3): 257–258.
- International Commission on Stratigraphy. International chronostratigraphic chart [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2013, 37(3): 257–258.
- [12] 辽宁省地质勘察院. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 1382–1384.
- Liaoning Institute of Geological Prospecting. *Regional Geology of Liaoning Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 1382–1384. (in Chinese)
- [13] 田德培, 王兰化, 王丽瑛. 环渤海地区区域地壳稳定性分区与评价[J]. *地质调查与研究*, 2005, 28(1): 47–55.
- Tian D P, Wang L H, Wang L Y. Estimation on regional crustal stability in Circum-Bohai-Sea region [J]. *Geological Survey and Research*, 2005, 28(1): 47–55.
- [14] 吕贻峰, 秦松贤. 辽南地区构造演化与构造控矿[J]. *辽宁地质*, 1998(3): 2–9.
- Lu Y F, Qin S X. Tectonic evolution and structural ore-controlling in south Liaoning Province [J]. *Liaoning Geology*, 1998(3): 2–9.
- [15] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995.
- Cao B X. *Geomorphology and Quaternary geology* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1995. (in Chinese)
- [16] 李明辉, 郑光琳. 河北曲阳灵山溶洞成因浅析[J]. *科技资讯*, 2007(24): 218.
- Li M H, Zheng G L. Analysis on the causes of karst caves in Lingshan Mountain, Quyang, Hebei [J]. *Science & Technology Information*, 2007(24): 218. (in Chinese)
- [17] 蒋玺, 龙克树, 刘纯军, 等. 贵州绥阳双河洞白云岩溶洞群成因研究[J]. *地质论评*, 2018, 64(3): 674–684.
- Jiang X, Long K S, Liu C J, et al. Research on formation and evolution of Shuanghe dolostone cave system, Suiyang, Guizhou [J]. *Geological Review*, 2018, 64(3): 674–684.
- [18] 张颖. 辽南泥石流第四纪环境背景研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2007.
- Zhang Y. Research on debris flow in south of Liaoning in background of Quaternary period [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2007.