

南京汤山地区的地貌与岩溶发育演化

周春林, 袁林旺, 刘泽纯, 张 惠

(南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要: 岩性和构造控制了南京汤山地区的地貌格局和碳酸盐岩山地岩溶地貌发育。研究表明, 汤山地区岩溶演化具有长期性、多代性和继承性的特点, 石炭纪中晚期及此前发育了第一期岩溶洞穴, 三迭纪末至早侏罗纪是古岩溶最为发育的时期, 晚第三纪以来进入了现代岩溶发育阶段。著名的南京直立人洞穴形成于晚第三纪之后。

关键词: 汤山地区; 地貌演化; 岩溶发育

中图分类号: P931.5/P531 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2006)01-0047-05

南京汤山地处宁镇山脉西段, 由小汤山、雷公山等 7 座近东西走向的山峰组成。以该山地为中心, 北到陡山, 南至走家山, 西起侯家塘, 东至汤山镇一线的大致范围称为汤山地区。受岩性和地质构造影响, 岩溶地貌发育。著名的南京直立人洞穴, 即葫芦洞位于汤山东段雷公山北坡。对汤山地区地貌演化及岩溶发育的研究^[1], 有助于揭示该地区古地理演变和古人类生存环境。

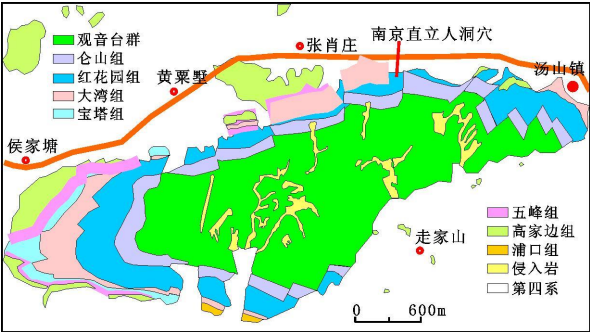


图 1 汤山地区主要地层分布

Fig 1 Sketch of main strata near Tangshan region

1 地质背景与地貌格局

岩性和地质构造对汤山地区的地貌发育起着主控作用。印支运动形成的褶皱构造及后期的推覆构造控制地形起伏, 岩性特征和燕山运动导致的断块构造控制地貌类型的分布。

1.1 地层岩性与地貌

汤山地区地层从古生代到新生代都有出露。可溶岩主要分布在汤山, 为寒武系和奥陶系的碳酸盐岩。非可溶岩分布在汤山外围, 主要为志留系、泥盆系和白垩系的沉积岩(图 1)。

汤山地区出露的碳酸盐岩种类主要有石灰岩、白云岩、灰质白云岩和白云质灰岩等。可溶性岩的岩矿成分、化学成分和结构等对岩溶的发育速度、发育程度和发育特征都有明显影响。根据文献[2~5]、野外观察与室内分析, 综合考虑岩性、结构、相带和地层厚度等因素, 本区最利于岩溶发育的地层首推红花园组(O_1h), 其次是仑山组(O_1l)

和观音台群(ϵ_{2+3g})。在这些地层中广泛分布着岩溶洞穴, 并发育了石芽、溶沟、小型溶蚀洼地、漏斗等多种喀斯特地貌类型。由寒武系和奥陶系碳酸盐岩构成的汤山为喀斯特作用明显的常态山。

汤山地区非可溶性岩主要有泥岩、粉砂岩和砂岩等。志留系下统高家边组(S_{1g})为薄层泥质粉砂岩、泥岩和页岩, 抗蚀能力弱, 表现为谷地等负地形; 中上统坟头群(S_{2+3f})为石英砂岩、细砂岩、粉质泥岩和泥质粉砂岩, 现在为低丘或山坡。泥盆系中下统茅山群(D_{1+2m})和上统五通组(D_{3w})均为石英砂岩, 常构成山脊。白垩系的红色砂岩(K_{2p} 或 K_{2c})局限分布在汤山南侧, 为山前低丘岗地(图 2)。

1.2 地质构造与地貌

1) 穹状短轴背斜。汤山位于汤仑复背斜的

收稿日期: 2004-10-20 修订日期: 2005-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40073020)资助。

作者简介: 周春林(1966-), 男, 江苏姜堰人, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要研究方向为地貌与第四纪、地理信息系统应用。E-mail: clzhou@njnu.edu.cn

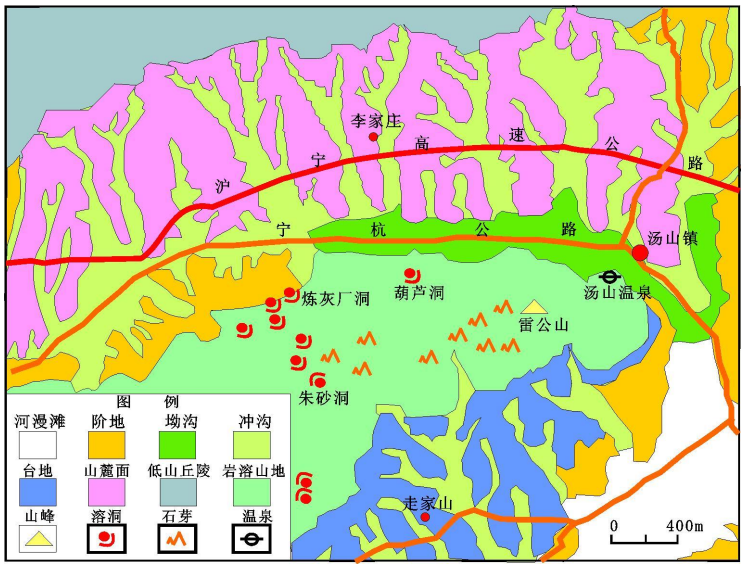


图 2 汤山地区地貌类型图

Fig. 2 Map of geomorphological types in Tangshan region

中段,为一穹状短轴背斜。核部由寒武系和奥陶系地层构成,北翼由上奥陶统-中三叠统地层构成,岩层较陡(倾角大于 60°)或倒转,并发育次级褶皱;南翼不完整,仅有奥陶系及志留系底部地层出露,产状相对平缓(倾角在 40° 左右)。由于所受应力的差异,在背斜的不同部位发育了性质不同的小型构造。其中,背斜轴部的张节理、翼部的纵向断裂和层间劈理等构造对岩溶发育有显著的促进意义,使溶蚀漏斗、溶蚀洼地和岩溶洞穴等沿这些构造向深部优先发育。

2) 复杂的断裂构造。区内主要发育有近东西向主断裂(如逆掩断裂、平移断裂等)、北西南东向平移断裂和北东向断裂等三大断裂体系。它们对汤山地区的地层(两翼缺失中上奥陶统地层)、地貌及岩溶洞穴的空间分布有较大影响。沟谷的优势方向与构造和主要断裂体系的走向一致。汤山地区沟谷的平均走向为 348° 和 76° ,与南京市郊29条大型沟谷的平均走向以NNW向的沟谷为主相一致^[6]。沟谷间是被切割的山前岗地和山麓面,大部分山麓面上覆黄土层。汤山北侧的山麓面高程在70~90 m。南京直立人洞穴也是沿着近东西向的断层发育的。

2 地貌与岩溶演化

构造、气候、海平面与地貌旋回具有一定的共

轭关系。随着地质构造的发展和古气候、古海面的波动,本区古地理环境与古地貌发生重大变化。岩溶发育也表现出长期性、多代性和继承性的特点。

2.1 古生代海陆交替

在震旦纪至三叠纪,海陆的频繁变迁导致本区准地台型盖层历经多次沉积间断与夷平。古岩溶是碳酸盐岩遭受大气降水及深部热水溶蚀作用的产物,形成于渗入型交替阶段,并主要形成于下述两个阶段:

1) 志留纪末至早中泥盆纪。受加里东运动影响,志留纪末宁镇地区海退,全面抬升成陆。其后遭受长期剥蚀作用,致使早中泥盆纪沉积缺失,古地理面为稳定的平坦地形^[4],这一阶段是中国古岩溶发育的主要时期之一^[7]。在汤山因上覆厚层志留系泥质岩的隔水作用,推测当时的奥陶纪碳酸盐岩岩溶化程度不高。

2) 中晚石炭纪。晚石炭纪早期受地壳抬升的影响,发生海退,曾一度脱离海相环境,中晚石炭纪之间沉积不连续。在这一较短暂的渗入型交替阶段,汤山以西的古泉采石场的黄龙灰岩与船山灰岩的不整合面上发育有溶洞及洞穴角砾灰岩和粗晶灰岩。推测本区此时也发育一定规模的溶洞并充填古岩溶岩系。从岩相分析,雷公炼灰厂南采石场所揭露的不同于奥陶纪灰岩的灰白、肉红色的次生粗晶灰岩可能代表该期岩溶堆积^[8]。

2 2 中生代褶皱断块山地与盆地

印支早期的金子运动使本区地层开始褶皱, 三叠纪末的南象运动使准地台盖层隆起, 形成台褶皱带, 最终结束海侵历史, 宁镇陆地形成。开始了漫长的渗入型交替阶段, 古岩溶发育。

宁镇地区受燕山期强烈的断块运动和大规模岩浆活动的影响, 山地大幅度抬升与剥蚀, 各时代碳酸盐地层普遍遭受岩溶作用, 在中上寒武统上部、下奥陶统、石炭统的黄龙组、二叠统的栖霞组和三叠统的青龙群中均可见古溶洞。断陷盆地、溶蚀洼地和部分溶洞接受黄色和红色碎屑堆积, 气候一度炎热干燥。

周边地区可见象山群 (J_{1+2x}) 不整合在栖霞组 (P_{1q}) 灰岩上, 接触面上发育的不规则溶洞在栖霞组灰岩之中; 中下侏罗统与古生界角度不整合面之下的石炭二迭系灰岩中发育古岩溶洞穴, 洞穴沉积体来自洞壁^[9 10]。在南京直立人洞穴附近的采石坑中, 古溶洞下部堆积黄色、棕黄色钙质泥岩夹钙板, 微层理发育; 中部为数层结晶良好的方解石层; 上部为厚层红色钙质含方解石晶体的泥岩。中部结晶方解石样品 003 和 004 的裂变径迹年代分别为 159.58 ± 11.17 和 149.04 ± 10.43 Ma B. P. (表 1), 表明这些方解石层及其下的黄色、棕黄色钙质泥岩为侏罗纪中期以前的堆积, 可与象山群堆积的宏观环境对比。由表 1 可以看出, 三叠纪末至侏罗纪中期是早期岩溶或裂隙中方解石结晶最为重要的时期。

白垩纪宁镇山脉继续上升遭受风化剥蚀。早白垩世初期短暂湿热环境之后, 气候转为炎热, 局部堆积红色粉砂岩、泥岩 (K_{1y})。中期火山喷发, 气候炎热干燥。火山活动之后, 进入平静期, 山体遭受剥蚀。在皖南的黄山与华东地区的其它中高山地形成的剥蚀面成为目前最高一级剥蚀面, 该剥蚀面上古岩溶发育^[11~13]。宁镇地区该级剥蚀面现在分布的高度在 140~240 m 之间, 汤山南侧的朱砂洞可能在此时形成。

晚白垩纪早期 (浦口期) 区域性东西向断裂发生于汤山南侧, 山体更加抬升, 遭受剥蚀; 盆地拗陷, 山麓和盆地交接部位沉积以厚层砾岩、砂砾岩为主的浦口组。同期的古岩溶岩系也具有类似的特征, 在汤山北坡灰岩中可见到这种块状层理和微层理发育的紫红色粉砂岩或泥岩。晚期 (赤山期), 地壳运动趋于减弱, 盆地中堆积砖红色、含高价铁离子的粉砂岩。铁钙质胶结疏松易碎, 以石英为主, 含长石和岩屑, 反映当时本区为炎热干燥的气候所控制^[14]。此种气候条件不利于岩溶作用, 新生溶洞不发育。外力作用主要以机械风化剥蚀和风蚀风积作用为主, 在灰岩山区同期堆积红色灰岩角砾和红色、砖红色粉砂岩。汤山南侧面向干旱盆地的朱砂洞再充填的红色钙质砂岩可能为该期沉积。晚白垩世末期地壳抬升, 全区再次遭受剥蚀。

2 3 新生代差异升降的山地与洞穴发育

经长期剥蚀, 宁镇地区形成老第三纪夷平面,

表 1 南京直立人洞穴附近部分结晶方解石样品的裂变径迹年代*
Table 1 Fission-track dating of some calcite samples near Nanjing homo erectus cave

样品编号	中子积分通量 ($\times 10^{16}/\text{cm}^2$)	自发裂变径迹数 (条)	诱发裂变径迹数 (条)	裂变径迹年代 (Ma B. P.)	备 注
003	5.74	147	1493	159.58 ± 11.17	葫芦洞北侧
004	5.74	135	1468	149.04 ± 10.43	葫芦洞北侧
005	5.74	186	1606	187.71 ± 13.14	葫芦洞上方
007	5.74	124	1438	139.81 ± 9.79	雷公洞东侧

* 由兰州大学地理系陈怀录测试。

其基底由中生代及更老地层组成, 经过后期改造现为残存的山顶面, 和华北的北台期准平原、华中的鄂西期准平原、皖南发育最广的二级剥蚀面及青藏高原最高夷平面都是同时代的产物^[11, 15]。早第三纪是中国北方古岩溶发育形成的主要时期^[16]。同期宁镇地区新生溶洞不多, 以对古溶洞改造作用为主, 堆积红色钙质胶结粘土、粉砂与角砾。

渐新世中晚期全球海面下降, 喜马拉雅运动二期导致青藏高原隆升, 全球气候显著变冷, 南极东部形成冰盖^[17, 18]。至中新世中期气候显著湿热, 海面上升, 青藏高原主夷平面开始形成^[15, 19]。同期中国东部因拉张断裂, 构成丘陵盆地广布的地貌格局, 在长江下游形成较广泛的夷平面。宁镇地区相应的地貌面高程在 100 m 左右, 由砂砾层组成,

被称为“新生代冰前基准面”或“第四纪冰前基准面”。在汤山地区,此级剥蚀夷平面经改造为山麓面。中更新世初,在山麓面和其它一些适当的部位以泥流堆积、冰缘堆积的粘土砾石为主^[20]。其后气候温暖乃至湿热,经过长期湿热风化,长江中下游地区广泛发育成红土或网纹红土砾石层。岩溶化强度和规模相对增强,是第四纪岩溶发育的主要时期。南京直立人洞穴可能在这个时期完成扩展并发生充填的。中更新世中期之后,本区新构造抬升有所加强,气候也逐渐变得干冷^[21],山体基岩受寒冻风化崩裂,先是在山顶和坡面堆积,后受重力、坡面径流和冻融蠕移影响,逐渐向低处搬运,南京直立人洞穴物理堆积加快。

中更新世中晚期至晚更新世,宁镇地区下蜀黄土堆积^[22~25]。由于当时处于抬升剥蚀阶段,汤山地区下蜀黄土堆积厚度较小。再经后期流水改造,

尤其在末次冰期海面最低时期,发生强烈切割,不仅使山顶和山坡上的黄土冲刷殆尽,而且在山前还发育较深的沟谷和狭长的垄岗状台地。在一些高程较低的洞穴中,如雷公洞,充填灰黄或浅黄色粉质粘土,不利于洞穴扩展和新生洞穴的形成。冰后期,气候转暖,岩溶作用有所加强。

3 结果与讨论

汤山地区岩溶演化是气候、地质及海平面变化耦合作用的结果,根据区域地质构造发展、地貌发育演化和野外调查,可以做出如下推断:

1) 岩性和地质构造对岩溶地貌发育起着主控作用。岩性决定了碳酸盐岩分布区岩溶发育的程度,而构造运动则决定了岩溶发育的层位和分布。区域构造运动对汤山岩溶发育的期次有明显控制作用,决定了岩溶岩系的空间分布(表2)。

表 2 汤山及周边地区构造发育与岩溶岩系关系			
Table 2 Relationship Between geological structure development and karst rock series near Tangshan region			
地质构造期		构造发育史	岩溶岩系
喜山期	晚期 - 第四纪	间歇上升阶段	灰黄色钙华层、钙质土层及钙砾层
	早期 - 第三纪	差异抬升阶段	棕红、灰黄色钙质粉砂岩、泥岩
燕山期	晚期 - 早晚白垩纪间	东西向断裂发育阶段伴随断块升降	红色钙质砂砾岩、泥岩与方解石团块
	早期 - 侏罗纪末至白垩纪初	新华夏系断裂发育阶段伴随断块升降	灰黄、灰白色钙质泥岩与方解石团块
印支期	晚期 - 三叠纪末至早侏罗纪	近东西向弧形构造发育阶段	灰色钙砾岩、钙屑岩与钙质泥岩
	早期 - 早三叠纪	开始抬升伴随微褶皱阶段	
海西期	泥盆至二叠纪	海进海退的升降阶段	灰岩角砾岩、钙屑灰岩
加里东期	志留纪末	海退、抬升成陆、夷平	?

2) 汤山地区岩溶地貌演化具有长期性和阶段性特点,汤山有四次岩溶强烈发育期,即中晚石炭纪、三迭纪末至早侏罗纪、晚第三纪和第四纪的中更新世;微发育期为志留纪、泥盆纪和早第三纪。汤山岩溶发育史可以上推到志留纪末,石炭纪中晚期及此前发育了早期岩溶洞穴,三迭纪末至早侏罗纪是古岩溶最为发育的时期,晚第三纪以来进入了现代岩溶地貌发育阶段。

3) 汤山地区岩溶洞穴演化具有复杂性和继承性特征,垂向分布的岩溶洞穴,存在着不同时代发育形成的洞穴互相交叉、相互叠置的现象,不能简单地以高低论新老,岩溶洞穴经受了不同期次的多次改造。南京汤山直立人洞穴可能与三迭纪末至早侏罗纪的古岩溶最发育阶段有关,其现代洞穴的主体主要形成于晚第三纪,中更新世洞穴进入物理充填期,晚更新世初期洞口封闭,以化学堆积为主。

参考文献:

[1] 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): 432~ 441

[2] 许汉奎. 江苏宁镇山脉仑山灰岩的新认识 [J]. 地质科学, 1976 (3): 235~ 242

[3] 俞剑华,陈敏娟,黄志诚,等. 江苏南部的奥陶系 [J]. 地层学杂志, 1979, 3(3): 157~ 173

[4] 江苏省地质矿产局. 宁镇山脉地质志 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989

[5] 沈渭洲,方一亭,倪琦生,等. 南京汤山寒武系 - 奥陶系红地层地球化学特征 [J]. 地层学杂志, 1996, 20(3): 175~ 181

[6] 潘凤英,石尚群,沙 润. 南京市区坳沟地貌探讨 [J]. 南京师大学报(自然科学版), 1989, 12(3): 88~ 95

[7] 袁道先,朱德浩,翁金桃,等. 中国岩溶学 [M]. 北京: 地质出版社, 1993

[8] 毕仲其. 下扬子地区黄龙组中巨晶灰岩的形成 [J]. 江苏地质, 1986 (4): 1~ 6

[9] 肖振明. 栖霞山铅锌矿区古岩溶发展及其控制矿性 [J]. 地质

- 论评, 1984 31(2): 82~ 87
- [10] 陈丕基. 晚白垩世中国东南沿岸山系与中南地区的沙漠和盐湖化[J]. 地层学杂志, 1997 21(3): 203~ 212
- [11] 王则江. 我国南方一些古溶洞洞穴沉积铅锌矿床的成矿特征[J]. 矿物岩石, 1985 5(1): 1~ 10
- [12] 王心源, 朱 诚. 晚白垩世以来黄山地区隆升机制研究[J]. 地理研究, 1997 16(3): 75~ 81.
- [13] 黄培华, R F Diffenall Jr 杨明钦, 等. 黄山山地演化与环境变迁[J]. 地理科学, 1998 18(5): 401~ 408.
- [14] 孙毓飞. 皖南溶洞分布规律初探[A]. 见: 中国地理学会地貌专业委员会. 喀斯特地貌与洞穴[C]. 北京: 科学出版社, 1985. 144~ 147
- [15] 李吉均. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999 19(1): 1~ 12
- [16] 张瑞成, 田级生. 古环境对华北古岩溶发育的影响[J]. 中国岩溶, 1989 8(3): 213~ 221
- [17] 潘保田, 高红山, 李吉均. 关于夷平面的科学问题——兼论青藏高原夷平面[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 520~ 526
- [18] 拓守廷, 刘志飞. 始新世—渐新世世界线的全球气候事件: 从“温室”到“冰室”[J]. 地球科学进展, 2003 18(5): 691~ 697
- [19] 郑 度, 李炳元. 青藏高原地理环境研究进展[J]. 地理科学, 1999 19(4): 295~ 302.
- [20] 朱 诚. 庐山黄山与天目山地区第四纪沉积环境比较研究[J]. 地理科学, 1996 16(1): 37~ 45.
- [21] 汪永进, 陈 琪, 刘泽纯. 南京猿人洞石笋年代学研究及其古气候记录[J]. 地理科学, 1999 19(1): 82~ 87.
- [22] 黄姜依, 方家骅, 邵家骥, 等. 南京下蜀黄土沉积时代的研究[J]. 地质论评, 1988 24(3): 240~ 247
- [23] 邵家骥, 黄姜依, 刘志平, 等. 南京下蜀黄土沉积时代的研究[J]. 江苏地质, 1985 (3): 52~ 59
- [24] 吴胜光, 陈日友, 杨达源. 江苏镇江下蜀土的初步研究[A]. 见: 刘东生, 安芷生. 黄土·第四纪地质·全球变化(第三集)[C]. 北京: 科学出版社, 1992 140~ 143
- [25] 赖忠平, 周 杰, 夏应菲, 等. 南京下蜀黄土红外释光地层年代学[J]. 中国沙漠, 2001, (2): 116~ 121

Evolution of Landform and Karst Development in Tangshan, Nanjing

ZHOU Chun-Lin, YUAN Lin-Wang, LIU Ze-Chun, ZHANG Hui

(Geographic Science College, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097)

Abstract Lithological character and geologic structure determine the landform pattern and its evolution in Tangshan area, Nanjing. Through studying the evolution course of the karst physiognomy in Tangshan area, this paper shows that the karst evolution in this area is marked by protracted nature, multi-era and inheritance. In the Paleozoic the paralic transition was the main characteristic. The karst cave in the first stage was developed in the middle-late Carboniferous and heretofore. In the Mesozoic the folding block-fault mountain and basin were developed. Among them, the palaeokarst was fully enriched from the ending of Trias to Lias. The differential uplifting mountains came into being in the Cenozoic. Since the Neogene period, the modern karst development stage began to occur. As the karst evolution in Tangshan area has the characteristics of complexity and inheritance, and in the karst cave of vertical distribution, there exists the intercrossed and superimposed caves, which were formed in the different stages. Moreover, the karst caves had gone through many changes in the different stages so that their original height sequence were possibly changed, thus the height of the caves was not regarded as the only criterion to judge their ages. The well-known homo erectus cave in Nanjing is possibly related with the fully enriched palaeokarst from the end of Trias to Lias, the principal part of which could be seen at present was mainly formed in the Neogene period. The cave came into the physical infilling stage in the Middle Pleistocene. The entrance of the cave began to block in till the initial stage of the Late Pleistocene and took the chemical deposit as the dominant factor. Therefore, it can be seen that the well-known homo erectus cave in Nanjing came into being after the Neogene period.

Key words Tangshan area, landform evolution, karst development