

文章编号:1001—4810(2000)01—0058—07

典型溶蚀丘陵系统岩溶发育特征 及其水资源开发条件分析 ——以湖南省新化县桑梓镇为例^①

章 程,裴建国,谢运球,翁金桃
(中国地质科学院岩溶地质研究所,桂林 541004)

摘 要:我国典型溶蚀丘陵型岩溶发育区主要分布于湘中的新化县—涟源县一带。受中国大陆梯级地形、复杂地质背景、气候水文等内外环境因子的联合作用,发育了一系列独具特色的不同类型的岩溶地貌及形态组合。宏观岩溶地貌主要有四种类型:丛丘谷地、丘岭谷地、峰丛洼地谷地和峰丘谷地。不同单元岩溶发育特征差异明显。溶蚀速度在 $10.26\sim30.04\text{m}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$,总体上侵蚀作用大于溶蚀作用,以流水溶蚀—侵蚀形态为主导特征。开发利用岩溶水应从地貌差异和岩溶水系统多层多块结构特点出发,因地制宜,蓄、引、提、堵等多种开发方式相结合。

关键词:溶蚀丘陵;岩溶发育;形态组合;岩溶水开发利用

中图分类号:P931.5;P641.134 **文献标识码:**A

溶蚀丘陵型岩溶发育区主要分布于湘中和湘东部分地区。典型区位于新化县—涟源县一带,总面积 6993.1km^2 ,其中岩溶面积为 5738.1km^2 ,占总面积的 82% 。受中国大陆梯级地形、复杂地质背景、气候水文等内外环境因子的联合作用,发育了一系列独具特色的不同类型的岩溶地貌、形态组合。而它们是不同的水动力、水化学条件下塑造出来的产物,能反映岩溶水资源的赋存条件和分布规律,对岩溶水开发利用研究具指导意义。

1 区域岩溶发育条件分析

研究区桑梓镇位于湘中地区雪峰山东南侧,新化县城东 6km ,面积 151km^2 ,总体上属于岩溶低山丘陵地形。山脉走向为 NNE—SSW 向,与区域构造线方向和地层走向基本一致。地形明显受地层岩性和构造体系的控制。现今属亚热带季风气候,多年平均气温为 $16\sim17\text{C}$,平均降雨量为 $1440\sim1460\text{mm}$ 。地表水主要为资江及其一级支流,即西部的朱溪(青峰河)和东部的栗溪。资江多年平均流量 $391\text{m}^3/\text{s}$ 。

^① 本文为国家计委专项项目“黔黔桂湘岩溶贫困区岩溶水有效开发规划建议与开发示范”部分成果之一,并受岩溶动力学开放研究实验室资助。
第一作者简介:章程,男,1966 年生,1989 年毕业于成都理工学院,理学硕士。
收稿日期:1999—10—25

受新构造运动特点控制,在宏观地貌上,雪峰山地处云贵高原至湘中盆地大地貌过渡区,水动力作用由垂直作用向水平作用过渡^[1]。在区域构造上位于雪峰山弧形构造带(NNE—NE)与祁阳弧形构造带北翼的交接部位^[2]。褶皱和断裂构造十分发育。构造形迹以宽缓向斜和短轴背斜为特征,多呈 NNE、NE 向展布。与之配套的主要断裂带亦呈 NNE、NE 向,多集中发育于褶皱核部,倾角大,破碎带宽,多次活动,和背斜倾伏端一起成为岩溶发育的有利部位(图 1)。

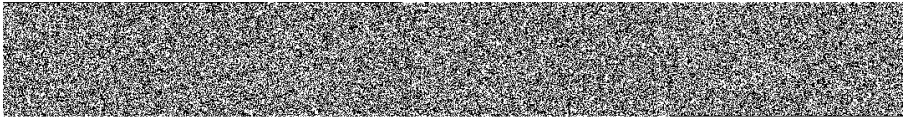


图 1 地貌分区及岩溶水文地质图

Fig. 1 The map showing the geomorphological type division and karst hydrogeological map

区内出露地层有石炭系、二叠系、三叠系下统。岩性主要有泥晶灰岩及生物灰岩(C₁d、P、

T₁)、微细晶白云岩(C_{2h})、厚层灰岩(C_{3c})。由于岩溶层组类型较多(6个)及众多区域性隔水层(6个)的分布(图1),加之构造复杂,无论在剖面上还是在平面上岩溶层位常与非可溶岩交替分布,具多层多块性。这一特点虽导致一些含水层系汇水面积减小,但同时却加快了另一些岩性、地形、构造有利环境区的集中及差异溶蚀作用,充分体现各环境因子的协同作用,有利于这些区域的岩溶发育,从而导致地貌类型的多样性、形态组合的差异性。

2 地表宏观岩溶地貌

根据地貌成因,结合本区地层岩性、构造、岩溶发育程度、分布高程及其形态特征,区内岩溶地貌主要有丛丘谷地、丘岭谷地、峰丘谷地、峰丛谷地洼地(图1)。

丛丘谷地分布于鹧鸪塘向斜。受构造和地表河流的作用,向斜轴部大冶组灰岩长期遭受强烈的溶蚀侵蚀作用,形成了与枢纽轴向一致的槽形谷地,十分开阔,谷底一般宽400~800m,两侧为溶丘、垄岗;翼部标高300~500m,山顶相连,脊状延伸。受横张裂隙的控制,垂直于垄岗、峰脊的沟谷十分发育。

丘岭谷地分布于东北部坪烟背斜一带,主要为构造相对活动、碳酸盐岩与非碳酸盐岩相间地段。其宏观形态为常态山,有舒缓波状的山脊线。沟谷密度1.5km/km²,多呈“V”形。在背斜轴部及北部倾伏端,发育数个岩溶盆地。

峰丘谷地洼地分布于满竹背斜一带,资江穿越其间,主要由石炭系地层组成。丘顶浑圆平缓,呈波状起伏。谷地断面呈“U”形,谷底宽度一般在100m至数百米,负地形面积较大,且多为棕红色残积粘土覆盖,局部基岩裸露。

各类型特点如表1。

表 1 岩溶地貌类型及发育特征
Tab.1 Types and development features of karst geomorphology

成因类型	形态类型	分布面积 (km ²)	主要含水层	地形标高 (m)	切割深度 (m)	岩溶发育特征及形态组合
构造溶蚀 侵蚀地貌	丛丘谷地(Ⅰ)	61.85	$P_1m^2-P_1m^3$ P_2d T_1d	200~500	70~150	小型洼地、地下河、消水洞、岩溶大泉;纵向槽形谷地+垄岗、峰脊+横向沟谷;见水平洞穴;分布于宽缓向斜区
	丛丘谷地(Ⅱ)	25.43	$C_1y^2-C_1d^1$	450~830	200~350	岩溶泉、洼地、消水洞、悬挂地下河;常态山+深切沟谷+岩溶盆地;分布于构造活动区,且碳酸盐岩与非碳酸盐岩交替频繁,属深切割区
溶蚀侵蚀 地貌	峰丛谷地 洼地(Ⅲ)	27.22	$C_1d^3-C_3c$	250~580	100~250	串珠状洼地、岩溶泉、大倾角地下河洞穴;峰丛(圆丘)+洼地(谷地);处于构造叠加且成片碳酸盐岩分布区,为岩溶高丘或峰丛洼地区
	峰丘谷地 洼地(Ⅳ)	31.02	$C_1y^2-C_1d^1$	180~300	30~60	负地形面积较大,地形坡度10°~40°,圆丘+U型谷地;处于区域侵蚀基准面附近

万方数据

3 岩溶洞穴分布和发育特征

3.1 洞穴区域分布

据野外调查,区内岩溶洞穴总数为 30 个,每平方公里岩溶洞穴的平均分布密度为 0.2 个,远小于桂林峰林平原区的 2 个,亦小于湘西洛塔岩溶山区的 0.45 个^[3]。洞穴主要分布于中部峰丛洼地(谷地)区,其它地域则属零星分布。峰丘谷地区未见洞穴。洞穴发育的相对集中地貌部位为沟谷的两侧及峰丛洼地的边缘。分布高程从 200m 至 550m 不等,个别达 700 余米,且高程由南往北逐渐增高,与地势变化相一致。但在地层岩性的分布上差异性十分明显,以 P_1m^3 厚层纯灰岩和 C_2h 白云岩中洞穴最发育,数量多且规模相对较大,共计 22 个,占总数的 69%; C_1d^3 及 P_1q^2 次之。

3.2 洞穴发育特征

本区未见有长度 $>500m$ 的大型洞穴,全部属中、小型。其中 50~500m 的中型洞穴 8 个,总长 1376m;长度 $<50m$ 的小型洞穴 22 个。

分布于中北部峰丛洼地谷地中的洞穴以大倾角或竖向洞穴为主,属渗入岩溶作用产物,是地表水点状注入式洞穴,故地表多以落水洞或漏斗形式出现。通道或逐渐尖灭,或与下层地下河式洞穴系统相接,因而很多大倾角洞穴的纵剖面形式表现为阶梯状,洞穴斜坡之间以较短的水平廊道或跌水陡坎相连,典型的有卢家山洞、桃树湾洞等。在地貌斜坡地带则发育伏流型洞穴,如云霄洞地下河式洞穴,横向发育为主,但坡度较大,达 25%。

分布于南部丛丘谷地中的洞穴以水平发育为主,且极大多数洞穴形态结构比较简单,以单一廊道为主,分支洞穴较少。只有出水口发育而无明显的进水洞口洞穴,受隔水层或侵蚀基准面控制,有季节性水流或常年性水流,坡度较小,以水平作用为主。洞穴中的堆积物往往不丰富,而且总体上以机械堆积物为主,化学沉积物相对较少。机械堆积物中又以崩塌碎屑堆积物为主,其次为残积粘土及河流相砂砾石堆积。洞穴的展布方向与断裂构造线、节理裂隙及地层走向密切相关,主要沿 NE($20^{\circ}\sim40^{\circ}$)、NW($330^{\circ}\sim340^{\circ}$)、近 EW 向三组裂隙发育。高角度斜向洞穴段往往受控于岩层层面,如卢家山上层洞和桃树湾洞,分别由岩层内所夹硅质条带(P_1m^2 内)及页岩(C_1d^3 内)构成隔水层而成为溶洞发育的底板,使洞穴沿层面发育。

4 岩溶形态组合

分布于本区岩溶地貌宏观形态内的岩溶个体形态有:溶蚀裂隙、岩溶泉、石牙和溶沟、落水洞和漏斗,特殊地段还有石林、溶孔、溶盆及岩溶峡谷。综合考虑区域内地表和地下的岩溶宏观形态、微观或个体形态及相关沉积物,其岩溶形态组合情况总结于表 2。

从表 2 可以看出:

(1)本区宏观形态以溶蚀丘陵为主,大形态主要表现为峰丛洼地、丛丘、峰丘谷地及丘岭谷地。这是由中国大陆阶梯状地形结构特点所决定的。雪峰山地区处于从黔东高原至湘中南盆地区的过渡区,岩溶作用也由“渗流”向“管流”过渡,溶注侧向扩展呈串珠状溶注或溶盆,地下河时出时没,呈现峰丛洼地与丛(峰)丘谷地组合形态配套共存的景观。

表 2 研究区岩溶形态组合特征

Tab. 2 Karst feature complex in the study area

类型	宏观形态	个体及微观形态	相关沉积物
地表岩溶形态	丛丘谷地、峰丘谷地、峰丛洼地、丘岭谷地	溶蚀裂隙、岩溶泉、洼地、漏斗、落水洞、溶孔、深溶痕分布广泛，局部见岩溶峡谷、溶盆、石林	红壤土
地下岩溶形态	以单一廊道、裂隙型洞、地下河为主，局部见分支式洞、岩屋式洞	以溶坑、波纹、蚀余形态为主，发育少量袋形洞、天锅、边槽	以河流相砂砾石、崩塌岩块、淤泥、流石类化学沉积物为主，滴石类化学沉积物不发育

剥蚀面几乎不存在，河流呈宽阔谷地。发育于石炭系中上统与二叠系茅口组灰岩、白云岩内的洼地星罗棋布，落水洞、伏流也较多。高程上于170~400m 的地下河及岩溶大泉数量最多，达 77 个(条)，占总数的 86%(图 2)。地下河平均水力坡度为 47.4‰。

地下河、洞穴分布广泛，但规模不大，且多数结构较简单，地下河发育强度 72m/km²，说明地下岩溶作用强度中等。受构造和地层组合控制，地下岩溶具明显的方向性和分布部位。如高坝岭向斜轴部及坪烟背斜翼部的地下河发育强度分别为 440m/km² 和 500m/km²。

(2)岩溶个体和微观形态类型较多，大到溶盆、溶蚀洼地，小到尖深溶痕及数量众多的岩溶泉，但分布不均，往往与特殊的构造部位和有利的岩性有关。如架桥河泉群、石窖河泉群的形成和 NE 向构造与 SN 向构造的叠加部位有关；成片分布的石牙和溶沟则与厚层灰岩(P₁m³,C₃c)密切相关，延伸受 110°与 150°两组大裂隙(平均间距 3.1m)控制，局部已发展成单株式石林。云霄洞地下河洞穴及一系列洞穴、岩溶泉、串珠状洼地及落水洞即受 C₂h 巨厚层状白云岩与 C₁d³ 泥灰岩接触带和柯家牌断裂带(275°∠70°)控制。另外洞穴溶蚀微形态不发育，规模小，分布局限。

(3)相关沉积物中，地表主要以红壤土为特征，广泛分布于次级沟谷及溶蚀裂隙内；地下洞穴化学沉积物不发育，主要以流石类化学沉积物为主，且规模较小；机械崩塌岩块、地下河流相沉积物则广泛分布。

本区的气候因子已经具备发育亚热带气候区岩溶形态的水热条件，但由于受褶皱型水文地质条件的限制，流域面积较小，径流途径短，除峰丛洼地谷地区地下河发育强度较高、洼地分布密度较大以外，区域主要岩溶形态和大多数岩溶景观类型发育程度远未达到热带亚热带发育的水平。前述的岩溶形态组合也表明了这一点。据水化学平衡法计算，本区的溶蚀速度在 10.26~36.02m³/km²·a 之间，平均为 25.19m³/km²·a，低于南方湿热峰林峰丛区，略高于温带半湿润区，总体上侵蚀作用似乎大于溶蚀作用，以溶蚀—侵蚀形态为主导特征。另一方面，区

图 2 地下河及岩溶泉(>5 l/s)频率直方图

Fig. 2 Frequency histogram of underground streams and karst springs (>5 l/s)

内较丰沛的降雨到达地面后,在转化为地表水或地下水的过程中,由于受多层多块的水文地质条件限制,进行能量的重新调配和聚集,在适当岩性和构造部位岩溶作用得到加强,发育峰丛洼地、地下河,从而使宏观岩溶形态表现出以溶蚀丘陵为主并叠加峰丛洼地的地貌景观。

5 岩溶水资源开发利用条件分析

地质结构和水文地貌特殊性决定了本区岩溶水系统具有多层多块的结构特征和高度非连续水流的动力场和动态变化特征。因不同地貌单元的岩溶发育特征各不相同,导致岩溶水的排泄条件也各不相同。因此开发利用岩溶水必须根据岩溶发育规律和分布特征,因地制宜,不同单元区别对待,蓄、引、提、堵、排等多种开发方式相结合。区内已有的 18 项饮水及灌溉工程正是根据上述原则规划的^[4]。

(1)丛丘谷地地貌中的谷地区接近资江,因谷中沿断裂带发育众多岩溶泉,水资源较丰富(图 1),但水位较低,应以先提(大泉)后引开发为主。如集新供水工程,完成后可改善水田 32.7 ha,新增水田 11.3 ha,解决 7 村 16570 人的饮水问题。丘岗、峰脊较深岩溶水位区则最好利用表层岩溶泉,避免盲目打硐取水,如魏家岭引水供水工程——引接一股标高为 460m、枯季流量为 0.28 l/s 的泉水即可解决两个自然村的生活用水,投入少,见效快。关键的是在今后的利用中要保持其良好的生态环境,涵养水源林。因为森林植被对表层岩溶泉的调蓄能力具十分重要的作用^[5](蒋忠诚等,1998)。

(2)峰丛洼地谷地区地势相对较高、碳酸盐岩成片分布,且处于多期构造活动叠加区(垂直作用和水平作用都较强)。该谷地内往往发育岩溶泉群,故可考虑引泉(如蛤蟆井),或引地下河(道士洞)或蓄坡立谷(如建刘家拦河坝),以增强调蓄能力及向低位的峰丘谷地区供水。

在峰丛洼地向丘岭谷地的过渡区(相当于斜坡地带),仍以发育孤立暗河为主,可考虑堵引高角地下河,建立地下水库,如对云霄河地下河只需抬高水头 22m,可引水灌田 20 ha;在梅青坝水库地下河出口“琵琶洞”,抬高水位 21m,可灌田千余亩^[1]。

(3)丘岭谷地区,河谷深切,水位埋深极大,处于渗入岩溶作用阶段,发育高于当地侵蚀基准面数十米的悬挂式地下河,如集云地下河;存在局部地下水分水岭。本区可通过引局部出露的表层岩溶泉,或提引地下河、泉,如天子冲泉引水、云易岭泉口提引水,或建立溶洼(谷)水库来进行开发利用。前述的岩溶发育特征及形态组合表明,在该区建库不易发生渗漏,已建 7 座小型水库均获良好的灌溉效益也说明了这一点。

(4)峰丘谷地区地下水位埋藏较浅,地下水以岩溶泉方式排泄,但流量均较小($<1\text{ l/s}$)。因此,除利用这些分散小泉引水外,应以引高位峰丛洼地谷地区的泉水或地表河水为主,同时傍河提取地下水(激发河水补给和有利于水质改善)及直接提取资江水。

考虑到当地农民的经济承受能力和工程的可持续运行,及生态环境的保护,应采用小型工程,分散布局,以自流为主,地表水与地下水相结合综合开发,以为山区农民最终脱贫致富打下坚实基础。

参考文献：

[1] 何宇彬等著. 中国喀斯特水研究[M]. 同济大学出版社,1997.
[2] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 地质出版社,1988.
[3] 袁道先等著. 中国岩溶学[M]. 地质出版社,1993.
[4] 裴建国等. 湖南新化县桑梓镇岩溶水系统特征及开发利用刍议[J]. 中国岩溶,1999,18(1):29~37.
[5] 赵翠薇. 岩溶峰丛洼地的农业生态效应研究[J]. 中国岩溶,1998,17(2):133~140.

KARST DEVELOPMENT AND KARST WATER RESOURCES
EXPLOITATION IN TYPICAL CORROSIONAL HILL REGIONS
——Case of Sangzi Town, Xinhua County, Hunan Province

ZHANG Cheng, PEI Jian-guo, XIE Yun-qiu, WENG Jin-tao
(Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China)

Abstract: In China, the typical corrosional hill regions mainly distribute in the central part (around Xinhua, Lianyuan counties) of Hunan province. Under the joint effect of step-like continental topography, complicated geological setting, climate and hydrology, etc., a series of karst landforms, and karst feature complex with distinctive features are well developed in this area. Macroscopic karst landforms can be divided into four types: cluster-hill, ridge-hill, peak-cluster, and peak-hill. And there are remarkable differences in varied morphological units with the corrosion rates ranging from $10.26\text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ to $30.04\text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$. According to the geomorphological differences, and the multi-layer and multi-unit structures of the karst water systems, the karst water exploitation should be made by the combination of diversified ways, such as reservoir, channel, pumping, drainage, pounding. Small-scale projects should be considered with scatting-distribution. Effects should be made to conduct water by self-flowing way, and for project's sustainable operation.

Key words: Corrosional hill; Karst development; Karst feature complex; Karst water exploitation