

文章编号:1001-4810(2001)02-0106-05

我国南方表层岩溶带及其对岩溶水的调蓄功能

蒋忠诚¹,王瑞江²,裴建国¹,何师意¹

(1 中国地质科学院岩溶地质研究所、国土资源部岩溶动力学开放研究实验室,桂林 541004;

2. 国家地质调查局资源评价部,北京 100083)

摘要:表层岩溶带是地表强烈岩溶化过程的产物,为表层碳酸盐岩各种岩溶个体形态和微形态组合构成的不规则带状的岩溶带,在我国南方岩溶区广泛分布。表层岩溶带对岩溶水的调蓄表现在两个方面:一是增加入渗补给量;二是延缓降雨后雨水在岩溶水系统停留的时间,并形成了表层岩溶泉。表层岩溶带对岩溶水的调蓄功能大小主要与表层岩溶带的结构、岩层产状、地表覆盖情况和降雨性质有关。石漠化环境与森林环境的表层岩溶带对岩溶水的调蓄功能差异很大。石漠化地区,表层岩溶带泉的出流时间短,动态非常不稳定;表层岩溶带对岩溶管道泉调蓄能力弱,泉水动态与降雨动态一致。森林环境表层岩溶泉则多为常流泉,水文动态比较稳定。表层岩溶带形成的表层岩溶泉为开采深部岩溶水困难的峰丛山区的居民饮水提供了重要的水源,但只有恢复了岩溶石山区森林生态,才能实现表层岩溶泉应有的供水功能。

关键词:表层岩溶带;岩溶水;水资源调蓄

中图分类号:P642.251,P641.134

文献标识码:A

1 什么是表层岩溶带

“表层岩溶带”(epikarst zone)一词,由 Mangin 于 20 世纪 70 年代^[1]首先使用于岩溶水文方面,目的是为了区分出岩溶水动力带的包气带中上部相对含水比较丰富的部分,使岩溶水分带更加完善。20 世纪 80 年代 Williams 在分析新几内亚等地的岩溶漏斗和洼地的成因时,又提出了“皮下层”(subcutaneous layer)^[2]的概念,以说明表层岩溶的集中溶蚀过程。实际上,“皮下层”的含义与表层岩溶带相似,但更加强调岩溶区植被和表层土壤的存在及岩溶动力意义。在我国,袁道先首先使用表层岩溶带中文术语,并自 20 世纪 80 年代后期以来,带领国土资源部岩溶动力学开放研究实验室的研究人员,以桂林试验场为基地,对表层岩溶带的结构、动力条件、岩溶特征、水文地质特征以及对岩溶水的调蓄进行了系统研究^[3],并以此为基础,创立了岩溶动力学^[4]。可见,表层岩溶带

作为浅层地表的一种岩溶特征,在推动岩溶研究和岩溶学的发展方面具有重要意义。

概括成一般概念,表层岩溶带是由于强烈的岩溶化过程,在表层碳酸盐岩形成各种犬牙交错的岩溶个体形态和微形态并组合构成不规则带状的强岩溶化层。

长期的野外调查发现,表层岩溶带主要发育在坚硬的纯碳酸盐岩石表面,尤其以古生代石灰岩上发育得最典型。软弱岩层和纯白云岩上表层岩溶带不发育。之所以在岩石表层的形成强岩溶化的表层岩溶带,是因为其处于四大圈层的交汇带,碳-水-钙循环活跃,溶蚀化学反应过程迅速。近年来,对表层岩溶带的形成机理已有初步研究成果^[5]。除岩性的影响外,表层岩溶带的厚度和特征还因气候、构造和地貌部位而异。在湿热多雨的广西桂林岩溶区,表层岩溶带的厚度可达 10m,在贵州高原一般在 2m 左右,在秦岭附近的岩溶区,带状的岩溶化层已不明显^[6]。产

基金项目:国家自然科学基金项目(49872096 和 30069005),广西自然科学基金匹配项目和新一轮地质调查项目(DKD2002008)共同资助

作者简介:蒋忠诚(1962—),男,岩溶环境学博士,研究员。

收稿日期:2001-03-15

状平缓的岩层比产状陡的岩层更易发育表层岩溶带。不同的地貌部位,表层岩溶带发育的规模不同。地形相对平缓的地段,如岩石浅埋的岩溶谷地和平原,峰丛山区的垭口、洼地底部、峰顶均是表层岩溶带发育较好的部位。表层岩溶带既能发育于岩石裸露的地表,又发育在薄层土下的岩石表面。有薄层土壤覆盖时,发育的深度较大,最大深度可达20多米。

2 表层岩溶带对岩溶水的调蓄方式及影响因素

20世纪90年代,美国学者 Peter W. Huntton 多次发表论文^[7~9],以中国南方普遍存在“石林含水层”(stone forest aquifer)来说明表层岩溶带的水文地质意义,虽然其理论并不能准确地反映中国南方岩溶区的实际情况^[10],因为“石林含水层”现象仅是某些岩溶地区土下浅部岩溶含水层的特例。但表层岩溶带在我国南方岩溶区的确为重要的岩溶含水层,对于地下岩溶潜水位深埋的峰丛岩溶山区的供水具有重要意义^[11]。这不是因为其表层岩溶带的含水量很大,而是因为表层岩溶带通过对岩溶水的调蓄,能够形成表层岩溶泉,这些表层泉为当地居民的供水提供了方便。

表层岩溶带对岩溶水的调蓄表现在两个方面:一是岩溶水量上的调蓄,增加入渗补给量;二是岩溶水流过程的调蓄,即通过复杂的表层岩溶系统延缓降雨后雨水在岩溶水系统停留的时间。

表层岩溶带对入渗补给量的影响,除了降雨因素^[3]外,主要与表层岩溶带的结构有关。入渗量随裂隙率而增加,而渗透性在表层岩溶带以内随深度而增加,表层岩溶带以下,随深度而迅速降低^[7]。然而,不同地区表层岩溶带的发育程度存在差异,不但存在如前述的表层岩溶带厚度因地而异,而且,岩溶化程度各地也不同。如实地调查表明,广西弄拉等地的表层岩溶带裂隙率达60%,而且表层带深厚,厚度可大于5m,所以降雨后,雨水很快渗入表层岩溶带中,给人以“来多少消多少”的感觉,降雨入渗系数可达0.7。而贵州六盘水梅花山岩溶区,由于表层岩溶带发育得不好,约1m,裂隙率30%左右,所以降雨入渗系数只有0.4,比表层岩溶带发育的弄拉的降雨入渗系数低得多,但比无表层岩溶带的北方岩溶区高,如山东土门岩溶区的入渗系数为0.3。另外,浅的表层岩溶带,岩溶水的蒸发量也大,这也是实际入渗量相对较低的原因。

表层岩溶带对岩溶水流过程的调蓄也主要取决于表层岩溶带的结构。表层岩溶带的结构越复杂,规模越大,岩溶水在地表附近停留的时间越长。更重要

的是,表层岩溶带在某些山坡或洼地中形成的表层岩溶泉可造成特殊的岩溶水循环过程——表层岩溶带的岩溶水循环。在峰丛洼地的这一水循环路径为:雨水—入渗至表层岩溶带—表层岩溶泉—洼地。然后,表层岩溶水在洼地重新汇集,通过落水洞流入岩溶管道中,其剖面结构见图1。这一表层岩溶水循环是实现表层岩溶带供水的关键。

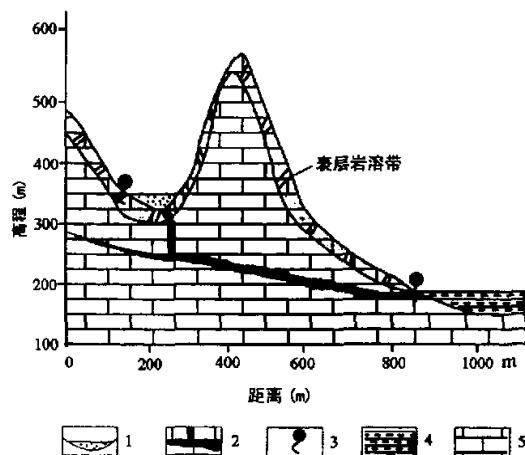


图1 桂林岩溶试验场表层岩溶带及岩溶管道的剖面结构简图

Fig. 1 Schematic profile of epikarst zone and karst conduits in the Karst Experimental Site, Guilin

1. 土壤; 2. 岩溶管道; 3. 泉; 4. 粘土; 5. 灰岩

然而,高的裂隙率和渗透性使表层岩溶水容易下渗,因此就泉的数量来说,表层岩溶带多数泉为超渗产流所形成,泉水为季节性泉,其中大多数在暴雨期间出流,这种超渗产流所形成的泉的供水意义不大。重要的表层岩溶泉为沿表层岩溶带底板或顺岩层流动的泉水,它可成为常流泉,其水流量及动态主要取决于地表植被和土壤覆盖情况,这在下一节详细讨论。

不同岩层倾角地区的表层岩溶带,渗透性存在差别,对岩溶水的调蓄功能也不相同。调查发现,具有供水意义的表层岩溶泉往往发育于岩层产状比较平缓的岩溶区,而在岩层直立或倾角大的岩溶区,尽管有表层岩溶带,也很少形成表层岩溶泉。例如,在碳酸盐岩岩层产状水平的广西弄拉,约1km²的范围内发育有常流的表层岩溶泉6个;在贵州六盘水梅花山的峰丛山区,岩层产状主要在30°以下,表层岩溶泉的密度也为5个/km²左右;而六盘水杨梅台沙村的岩溶石山区,面积十几平方公里,岩层产状一般在70°以上,经过几天的调查和访问,都没有找到表层岩溶泉。

究其原因,岩层直立或倾角大的岩溶区的表层岩溶带的岩溶水可能主要顺岩层下渗,而不能形成岩溶泉水。

表层岩溶带对整个流域岩溶水系统水文过程的调蓄主要与降雨强度有关。桂林岩溶试验场的研究表明:当降雨量 $<5\text{mm}$ 时,表层带的调蓄量为泉域总调蓄量的98.58%;当降雨量为 $5\sim 10\text{mm}$ 、 $10\sim 30\text{mm}$ 和 30mm 以上时,其调蓄量分别占泉域总调蓄量的73.91%、77.29%和67.69%^[3]。这是因为:小雨时,降雨几乎全部被植物和岩溶裂隙截留,泉域总排泄量不形成洪峰,即洪峰与降雨的滞后趋于无穷大。但在大雨量时,表层带蓄水空间很快趋于饱和,形成大量地表产流,并汇集于洼地,通过落水洞等进入岩溶管道,由岩溶水系统总排水点出流,反映在泉域总排泄过程上,即形成水位的暴涨暴落。

3 石漠化环境与森林环境的表层岩溶带对岩溶水的调蓄功能差异

石漠化环境与森林环境的表层岩溶带对岩溶水的调蓄功能差异很大。

石漠化地区,表层岩溶带的调蓄功能差。表现为两个方面:一方面,表层岩溶带泉的出流时间短,动态非常不稳定。另一方面,表层岩溶带对岩溶管道泉调蓄能力弱,泉水动态与降雨动态一致。如六盘水梅花山地区,由于石漠化严重,表层岩溶带泉都为季节性泉,仅在雨季出流,旱季无水,除暴雨期外,表层岩溶泉水量一般很小;泉水滞后暴雨的时间仅在1小时左右。下部的岩溶管道泉如玛嘎岩溶泉,泉水动态与降雨动态曲线非常一致(图2),只是时间上略有滞后,表明岩溶水系统对降水的调蓄作用较弱。

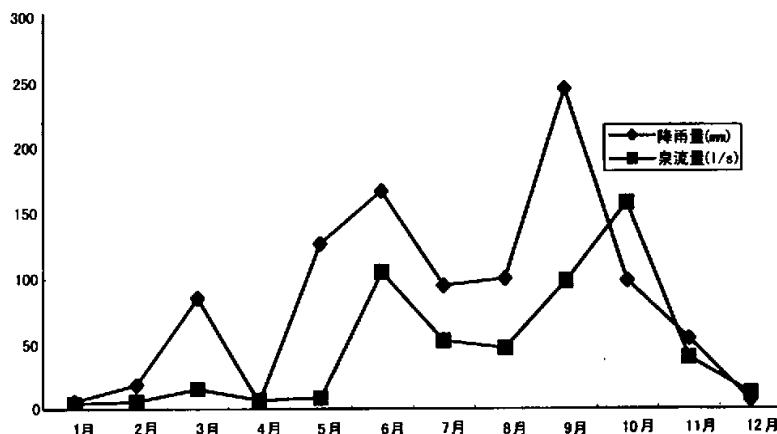


图2 六盘水梅花山裸露石山环境1999年玛嘎岩溶泉月平均流量曲线与降雨量对比

Fig. 2 The contrast of the average discharges a month of Maga karst spring with the rainfall in the bare hills of Meihuashan, Liupanshui in 1999

桂林岩溶试验场,20世纪90年代以前,也是裸露的石山环境,表层岩溶泉也主要为季节性泉,大暴雨后几分钟,表层岩溶带泉水即迅速增加,对降雨滞后的时间很短,并具有动态变化大、泉水流量衰减快等水循环特征,暴雨后的洪水往往不足一天即完成衰减全过程。试验场的管道泉如31号泉,流量变化达70000倍,而且流量洪峰平均滞后降雨峰值仅4小时。这再次说明裸露石山环境的表层岩溶带对岩溶水的调蓄能力较弱。

森林环境的表层岩溶带则对岩溶水的调蓄功能强得多。与梅花山和桂林岩溶试验场相比,在弄拉由

于补给区为森林植被,其表层岩溶泉的水位和流量对降雨的调蓄作用加强,时间响应相对较为迟缓,动态比较稳定,且形成了四季流水不断的常流泉。以月动态而言,泉水只有一个峰值,出现在7月份,没有明显的反复起伏的多个峰(图3)。暴雨效应观测表明,弄拉兰电堂岩溶泉暴雨后的水流动态也与裸露环境明显不同。有的暴雨能够引起水位上升,有的则不能,如观测期内的第53天到56天连续暴雨,水位上升6cm。观测期内第70天和第110天降雨量分别为56mm和35mm,但水位不涨反降,可能与前期雨量少,水位正从相对高位回落有关。暴雨后水位一旦上

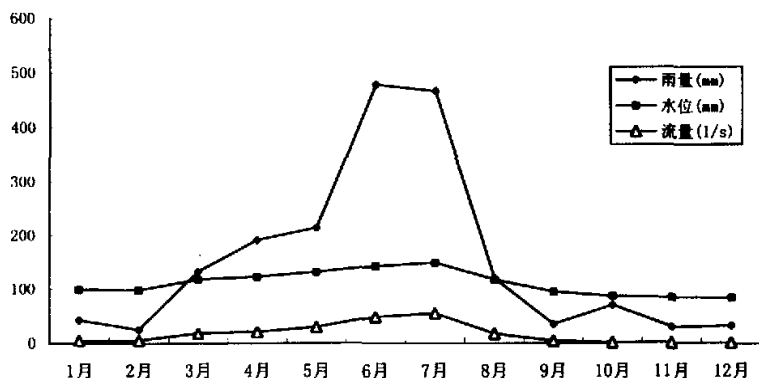


图3 广西弄拉兰电堂森林环境表层岩溶泉1998年水位、流量月动态与降雨的对比

Fig. 3 The comparison of the water level, discharge of the epikarst springs with the rainfall in Nongla, Guangxi

升,则衰减很慢,至少需要4~5天才能衰减至正常水平。

4 问题讨论和建议

表层岩溶带是湿热岩溶区非常普遍的一种岩溶现象,在中国南方岩溶区广泛分布。坚硬质纯的碳酸盐岩是表层岩溶带发育的物质基础,高温多雨且雨热同期造成的强的水动力和高的土壤空气 CO_2 含量(0.3%~5.5%)是其形成的动力条件。气候条件决定了表层岩溶带主要分布在我国秦岭以南的热带和亚热带岩溶区。表层岩溶带作为一种特殊的地貌现象,其形成的动力过程和岩溶地貌特征的定量刻划还有待于进一步研究。

表层岩溶带不但对岩溶地下水系统具有调蓄作用,而且可形成表层岩溶泉,这给地下管道水深埋、打井取水困难的岩溶峰丛山区来说,解决居民的饮用水问题提供了条件。但西南岩溶石山区,由于普遍缺乏森林覆盖而岩石裸露,表层岩溶带对雨水的调蓄能力弱,使得岩溶泉水在雨后不久即干涸。显然,只有提高表层岩溶带的森林覆盖率才能增加表层岩溶水的调蓄功能,使表层岩溶泉水常流不断。因此,在应用表层岩溶泉作为供水源地的地区,应当将岩溶泉的补给区划定为水源林,一方面选择速生易蓄水的树种造林,另一方面采取严格的封山育林政策来加强对水源林的保护,任何人都不准进入林区砍柴和伐木,尽快恢复岩溶石山区的森林生态,加强表层岩溶带的调蓄功能,使间歇岩溶泉逐渐成为常流泉,真正实现表层岩溶泉的供水功能。典型峰丛山区广西弄拉电,就是通过几个石峰建设水源林,发展表层岩溶泉来保证

125人的饮用水的。值得一提的是,弄拉电堂表层岩溶泉,补给区为两个石峰,面积不足 0.04km^2 ,由于封山育林,森林茂密,2000年产水量 22000m^3 ,除满足当地100多人的饮用外还有盈余。

我国南方岩溶区,特别是峰丛岩溶山区的主体岩溶水资源(岩溶含水层、地下河等)多为深埋型,加之岩溶区经济不发达,开发能力有限,因此开发岩溶表层带的水资源具有重要的实际应用价值。但在岩溶山区石漠化严重的今天,表层岩溶水资源往往水流量小而且动态变化不稳定,如何有效开发利用表层岩溶水资源尚无成熟的技术和经验。有的地区如修建田间地头水柜、小型山塘和水库来蓄积雨水、地表径流和表层岩溶水,取得了一定的效果,但也存在一些问题,如小型蓄积工程的水质容易变质。因此,表层岩溶水的开发技术也有待深入研究。

参考文献:

- [1] Mangin A. Contribution a l'etude hydrodynamique des aquiferes karstiques[J]. Annales de Speleologie, 1974, (29):283-332.
- [2] Williams P W. Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst[J]. Z. Geomorph. N. F., 1985, 29(4).
- [3] 袁道先,戴爱德等. 中国南方裸露型峰丛山区岩溶水系统及其数学模型的研究[M]. 广西师大出版社, 1996.
- [4] 袁道先. 现代岩溶学 and 全球变化研究[J]. 地学前缘, 1997, 4(1~2):17-25.
- [5] 蒋忠诚. 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理[J]. 热带地理, 1998, 18(4).
- [6] Jiang Zhongcheng. An analysis on formation of fengcong depressions in China[J]. Carsologica Sinica, 1996.
- [7] Peter. W. Huntoon. Hydrogeologic characteristics and deforestation of the stone forest karst aquifers of South China[J]. Ground water, 1992, 30:167-176.
- [8] Peyer. W. Huntoon. Exploration and development of ground

- water from the stone forest karst aquifers of South China[J]. Ground water, 1992, 30: 324—330.
- [9] Peter. W, Huntoon. Characteristics of stone forest aquifers in South China, Stone Forest—A Treasure of Natural Heritage [M]. China Environmental Science Press, 1997: 98—104.
- [10] Jiang Zhongcheng, Yuan Daoxian and Peter. W. Huntoon. Discussion and reply: Hydrogeologic characteristics and deforestation of the stone forest karst aquifers of South China [J]. Ground Water, 1993, 31: 325—327.
- [11] 蒋忠诚, 袁道先. 中国南方表层岩溶带的结构、岩溶动力学特征及其地质意义[J]. 地球学报, 1999, 20(3).

EPIKARST ZONE IN SOUTH CHINA AND ITS REGULATION FUNCTION TO KARST WATER

JIANG Zhong-cheng¹, WANG Rui-jiang², PEI Jian-guo¹, HE Shi-yi¹

(1. Institute of Karst Geology, CAGS, Karst Dynamics Laboratory, MLR Guilin 541004, China;

2. Geology Survey of China, Beijing 100083, China)

Abstract: Epikarst zone is an irregular karst zone occurring in surface carbonate rocks and consisting of various individual and micro karst forms, which result from strong karstification processes. It is wide-spread in South China, but its size, landform and location are influenced by geological and climatic factors. Epikarst zone has two important regulation functions to karst water. Firstly, it can increase recharge of karst water with high intensity of fissure. Secondly, it may make rain water to store in karst water systems for a longer time and form epikarst springs somewhere. However, the regulation functions to karst water depend on the structure of the epikarst zone, occurrence of strata, land cover and rainfall intensity. The regulation of epikarst zone to water in rock desertification environments is quite different from that in forests. For example, in the rock desertification areas of Liupangshui, Guizhou, the water cycle time in epikarst zones is short, and the hydrologic behavior of epikarst springs is unstable and in correspondence with rainfall, and there is no water flow in dry seasons, showing that the regulation function of the epikarst zones is low. But the epikarst springs in forests, such as in Nongla, Guangxi, have a stable hydrologic behavior and are permanent. Therefore, the rehabilitation of forests in karst mountain areas of South China is very important to improve the regulation functions of epikarst zones to karst water. Epikarst springs in forests can provide local people with permanent drinking water, which also are important water sources in karst mountains, especially in karst peak cluster depressions where karst water in underground conduits is deep and difficult to exploit.

Key words: Epikarst zone; Karst water; Regulation of water resources