

文章编号:1001—4810(2000)01—0052—06

影响喀斯特地下水调蓄功能的因素的探讨^①

程 星,杨子江

(贵州师范大学资源与环境科学系,贵阳 550001)

摘 要:分析了多个亚动态反映出来的喀斯特管道级、裂隙级、孔隙级水在衰减曲线中所占的比例,并指出了影响衰减曲线形态及衰减速度的因素及其对喀斯特地下水调蓄功能的影响。孔隙度提供了孔隙水空间,在诸因素中占有较重要的权重。构造断裂及破碎会加速孔隙水的衰减,使孔隙级水在衰减曲线上的比例减少,裂隙级水的比例增大。岩层产状也将直接影响孔隙级水的衰减速度。含泥岩层中的泥质成分可以使裂隙水在衰减过程中表现出孔隙水的特征。洞穴的发育使喀斯特地下水衰减速度增大。因此,在诸多因素的影响下,可使衰减过程具有二个、三个或四个亚动态。

关键词:喀斯特地下水;调蓄能力;影响因素;衰减速度;亚动态升级

中图分类号:P641.134 **文献标识码:**A

1 喀斯特地下水流量过程中的三个亚动态及其调蓄意义

我国南方岩溶地区雨量充沛,水资源丰富,只要开发 20%左右的天然水资源即可满足灌溉需要。然而在这些地方普遍存在的干旱缺水问题,年径流量与抗旱能力不协调,且干旱缺水各地差异很大。为什么在降雨量相差不大的情况下会存在这种差异?这是个很有意义的问题。研究这个问题,对认识喀斯特地下水的调蓄功能很有帮助。黄敬熙、祝凤君等曾对喀斯特地下水衰减过程中所表现出的亚动态进行了研究^[1~4],而本文力图从各种因素对各亚动态衰减速度的影响出发,进一步研究其调蓄方面的意义。

不同的碳酸盐岩(灰岩、云灰岩、白云岩、灰云岩、泥灰岩等)具有不同的调节径流的能力^[5,6]。而构造(产状、层厚、断裂)、地貌阶段、含泥成分、地下水坡度、入渗方式等也会影响含水层的调蓄作用。降雨后,渗入量在管道流、裂隙流和孔隙流的储量分配及衰减速度相差悬殊,使得喀斯特地下水的衰减近似地表现出较不明显的三个亚区,即第Ⅰ亚区代表管道级别的地下水,第Ⅱ、第Ⅲ亚区分别反映了裂隙级及孔隙级的衰减过程。图 1 是发育于灰岩地层中一喀斯特地下河的衰减过程曲线^[7]。图中三个亚动态区衰减系数分别为:第Ⅰ亚动态(从开始至 14 天)为 0.0355;第Ⅱ亚动态(从 14 天到 30 天)为 0.0129;第Ⅲ亚动态(在 30 天以后)为 0.00323。衰减系数的这种变化,反映出三种级别水的衰减速度。第Ⅲ亚动态(孔隙级水)衰减

^① 第一作者简介:程星,男,1959 年生,副教授。
收稿日期:1999—10—15

图 1 地下河衰减曲线实例

Fig. 1 A recession curve of a underground river

速度很慢,其调蓄储量和持水性(滞后时间)在地下水中占主导地位,是最有意义的调蓄水量。而对于Ⅰ、Ⅱ亚区,衰减系数大得多,衰减很快,地下水停留时间短,充分反映出喀斯特管道流的“过路水”特征。表 1 列出了不同的岩性中喀斯特地下水的衰减系数^[2,7]。从表中可以看出,泥灰岩的第Ⅰ亚区的衰减速度可以与灰云岩相同,而灰岩的第Ⅰ亚区衰减系数可以从 0.0355 变化到 0.151,而其第Ⅲ亚动态可以在 0.00323~0.0165 内变化,这与泥灰岩、云灰岩差别不很明显。由此反映出岩性因素未必是一决定性的因素。

表 1 不同岩性中喀斯特地下水的亚区衰减系数

Tab. 1 Release coefficients in three sub-areas for different rocks

岩性	地 名	Ⅰ 亚动态	Ⅱ 亚动态	Ⅲ 亚动态
泥灰岩	普定龙潭口	0.0723	0.0144	0.00257
灰 岩	普定后寨地下河	0.0355	0.0129	0.00323
灰 岩	洛塔蚌蚌洞	0.15	0.039	0.0165
灰 岩	洛塔双鼻洞	0.151	0.0333	0.0063
云灰岩	普定洪家地坝	0.1261	0.03198	0.00345
灰云岩	普定犀牛潭	0.0763	0.0138	0.00347
白云岩	普定陇戛	0.03017	0.00389	

喀斯特水的衰减过程受制于多种因素,是一个复杂的过程,下面将对影响其衰减过程及三个亚动态区衰减速度分配比例的因素作一探讨。

2 岩性与孔隙度及对喀斯特水衰减的影响

根据碳酸盐岩物理性质——介电性实验研究^[4]和野外抽水实验数据调查表明,泥灰岩的孔隙度为最小,白云岩的孔隙度最大。表 2 是关于碳酸盐岩孔隙度的一些数据。

上表是根据岩样分析所得出的结果。在实际中,由于受构造、地貌部位、演化阶段、含泥情况等的因素的影响,岩性的孔隙度,特别是有效孔隙度将对其调蓄功能产生许多影响。当构造

发育,特别是裂隙率较高时,由于沟通孔隙,会使孔隙水的衰减速度加快。因此对于岩性的孔隙度不能一概而论,应在相同的条件下才具有可比性。对孔隙部分含水概念,也即第Ⅲ亚动态水,是指空隙很小的孔隙及微裂隙中的水。而第Ⅱ和第Ⅲ亚动态与白云岩含水介质中表现出的水动力特征非常接近。因此,对于白云岩将其划分为两个亚动态更为恰当。

表 2 碳酸盐岩的孔隙度
Tab. 2 Porosity of carbonates

岩性	孔隙度(%)	平均孔隙度(%)
白云岩	3.10~3.50	3.3
灰云岩	2.10~2.24	2.17
云灰岩	1.00~1.16	1.08
灰岩	0.63~0.65	0.64
泥灰岩	0.45~0.65	0.55

3 影响喀斯特地下水调蓄功能的因素分析

地下调蓄功能主要反映在衰减过程中的衰减速度,衰减系数越大,地下水衰减越快,地下调蓄功能越差。反之,对于较小的衰减系数,地下水可缓慢地衰减,地下调蓄功能就强,地区的抗旱能力也越强。至于调蓄量多少,那是由含水体大小及补给量大小所决定的。因此,调蓄的关键在于衰减速度的快慢上,也即衰减系数大小。前面已经提到在碳酸盐岩中无论是什么岩性,其地下水可由几部分水组成,它们分别代表了管道级、裂隙级和孔隙级水在岩溶含水介质中所占的空间比例关系及衰减的速度关系,但并不能代表各级水水量的绝对值。岩溶地块中管道流径流速度快,裂隙流次之,孔隙中水的衰减是最慢的。在衰减初期由于管道流的快速排泄,很快(一般在 30 天以内)就将充满的管道水排完。此后,排泄流量主要由裂隙水组成,若没有新的降雨补给,地下水仍处于衰减过程中。但由于裂隙水比孔隙水衰减得快(流速快),所以一段时间以后裂隙水又将衰减完毕,最后的缓慢的、长期的衰减过程主要由孔隙级水组成,流量衰减的速度反映了含水介质中孔隙水的平均径流速度。由于在某一含水岩组中,管道、裂隙、孔隙所占的比例不一样,当然与之相应的三种水体所各占的比例也不一样,而衰减曲线中三个亚动态的比例可以作为此三种级别水比例的参考。

喀斯特地下水流量衰减过程中的三个亚动态的衰减速度不仅受限于岩性,而且与入渗方式、洞穴地貌演化阶段、构造、含泥成分、排泄条件等因素有关。因此在用衰减曲线作地下水资源评价时应考虑这些因素。下面将对影响诸亚动态喀斯特水衰减速度的因素作一分析。

岩性是喀斯特含水层的含水介质因素,不同的岩性使得介质的孔隙度不同,因此是影响孔隙水衰减速度的重要因素。但从岩石孔隙度的有效联通性及孔隙水的排出通道来看(参见图 2—(1)(2)),对图 2—(1)孔隙水,有 ab 一个排泄面,这时的衰减速度或者说孔隙水的径流速度,当然是缓慢的。但如果由于构造因素或者是管道裂隙的切割使得块体(1)变成块体(2)的情况,很明显,对于同样的孔隙体,由于排水面变成 $ab+cd$,再加上其中裂隙 f 的影响,实际的排水面可以是原来的 3 倍。在这种情况下,孔隙水的排出速度亦将大大增加,衰减速度也将大大

加快,此时由衰减曲线所算得的孔隙水比例就会减小(由于衰减速度的加快,它可能被计入到裂隙水中去)。至于泥质成分的影响,从表 1 中可以看出泥灰岩中孔隙水的参考比例占总量的 95%,而裂隙水占 1.6%。但一般地来说泥质成分是不利于水的流动的,特别是裂隙中填充泥时完全可以使裂隙的排水能力降低,以致降到与孔隙水的排泄速度相近的水平。在衰减过程中,部分的裂隙水的衰减也就具有了孔隙级水衰减的特征,因而导致了孔隙级水所占比例的增大。



图 2 孔隙水排出的影响因素示意图

Fig. 2 Sketch map showing influence factors on the pore water discharge

构造的影响可以从岩层产状、单层厚度及断裂构造、构造部位等方面表现出来。单层厚度由薄层、中厚层或是厚层组成。对于厚层来说图 2—(3)只有一个层面可以帮助孔隙水的排出,而对于薄层(图 2—(4)),可以有 5 个层面帮助孔隙水排出。很明显在薄层的情况下孔隙水的排出速度可以大大提高,其衰减速度也将大大地加快,以致有可能被考虑为裂隙水。岩层的产状的影响可以从图 2—(5)、(6)中清楚地表现出来。图 2—(5)岩层向排泄方向倾斜,其孔隙水流出速度自然要比倾斜与水流方向相反的岩层的快。

洞穴与地貌发育早期,地下空洞不发育,洞穴管道级水占较小的比例。同时,较小的洞穴也使得衰减速度变慢,而使衰减系数变小(如普定后寨),而以裂隙水及孔隙水为主。随着喀斯特块体的演化,特别是其中洞穴的充分发育(甚至形成多层洞),第Ⅰ亚动态的衰减速度加大,可以达到 0.15 的衰减系数。此时,很接近于地表河,降雨后,洪峰很快地响应,然后又很快地衰减,失去了调蓄的功能。但是对地貌发育晚期阶段,由于溶蚀裂隙的加宽,使之升级为早期较小洞穴的级别,从而使其衰减系数也达到早期管道级水的数量级。同理,早期的第Ⅲ亚区孔隙水的衰减系数也会变大,使得该亚动态区升级(裂隙级水)。早期阶段的更小的没有蓄水意义的小孔隙,由于岩溶阶段进行到晚期(或老年期),使之被溶蚀扩大为早期的第Ⅲ亚动态区级水(孔隙级水)。这样,就可能出现四个亚动态区的分类^[2,4]。因此,四个亚动态区应是岩溶作用进行得很充分的表现或是地貌演化进入后期的一种征兆。从这个意义上看,衰减过程应具有反映地貌演化阶段的意义。这种亚动态区的升级过程,反映在衰减系数的升级,最后将使“过路水”部分加大,而使有调蓄意义的水量减少。对这种规律的认识,对于我们在开发利用岩溶水中做到有的放矢是毋庸置疑的。这种升级过程示意于图 2—(7)、(8)中。

排泄条件对调蓄的影响主要表现在两个方面:一是单点排泄及多点排泄问题。对于多点排

泄,衰减过程应取多点之和来分析。二是地下水的水力坡度。当地下水水力坡度较大时,管道水趋于更快地衰减,即衰减时间更短,表现为衰减系数的增大。由于较大的水力坡度对管道级、裂隙级及孔隙级水的影响程度不一样,因而也将影响三个亚动态在衰减过程中的比例,同时整体的衰减系数也将增大。

入渗方式也将影响岩溶地下水的衰减过程。缓慢的入渗(在水土保持较好的地区),可以很好地延长第一亚动态的衰减时间。快速的落水洞式的渗入补给是造成管道快速衰减的一个因素。当然这受制于植被、地形、降雨强度因素。

由以上讨论可知,衰减过程受着岩性、构造、地貌发育阶段及排泄条件、入渗方式等的影响。喀斯特地下水的衰减过程是一复杂的多空间问题。在利用衰减曲线去评价某地的地下水之调蓄功能时,只考虑岩性因素显然是远远不够的,应考虑多种因素的影响,因此,地下水评价的指标也应为一多因子函数,即

$$I = f(x, y, z, h, d)$$

式中: I ——水资源评价指标, x ——岩性因子, y ——构造因子, z ——地貌演化因子, h ——水力坡度, d ——补给水的入渗方式。

4 结 论

(1)喀斯特地下水的衰减过程由二个、三个或四个亚动态区组成,各部分所占比例将受岩性、构造、地貌阶段、地下水水力坡度、降雨入渗方式的控制。

(2)受控于岩性的孔隙度,为喀斯特孔隙水提供空间,在诸因素中占有较大的重权。由于岩性影响可使衰减表现为二、三个亚动态区。

(3)构造对衰减过程有着重要的影响,断裂及破碎将加速孔隙级水的衰减,这也将使孔隙级水的比例减小,裂隙级水的比例增大。岩层产状也直接地影响孔隙的衰减速度。

(4)岩石中的泥质成分可以使裂隙水在衰减过程中表现出孔隙水特征。

(5)洞穴地貌发育处于后期时,地下水衰减过程中第 I 亚动态的比例将增大,可使亚动态区升级,从而出现四个亚动态区。

(6)地下水的水力坡度越大,衰减所需的时间越短。

参考文献:

- [1] 卢耀如. 关于岩溶(喀斯特)地区水资源类型及其综合开发治理的探讨[J]. 中国岩溶, 1985, Vol. 4 No. 2: 1~14.
- [2] 黄敬熙. 流量衰减方程及其应用——以洛塔岩溶盆地为例[J]. 中国岩溶, 1982, Vol. 1 No. 2: 118~126.
- [3] 祝凤君. 裂隙—岩溶型碳酸盐岩区岩溶化模拟原理[J]. 中国岩溶, Vol. 6, No. 4: 275~287.
- [4] 杨正貽. 山西郭庄泉流量的多亚动态分析[J]. 中国岩溶, Vol. 6, No. 1: 1~19.
- [5] Zhang Zhigan, Drought and flood Hazard in Southern China Bare Karst and Approaches of their Contral[J]. CARSO-LOGICA SINICA. 1966, Vol. 15 No. 1~2: 1~10.
- [6] 郭玉文, 王飞龙. 山东岩溶[J]. 中国岩溶, 1989, Vol. 8, No. 1: 18~25.
- [7] 俞锦标, 杨立铮等. 中国喀斯特发育规律典型研究——贵州普定南部地区喀斯特水资源评价开发利用[M]. 1994.

A DISCUSSION ON THE FACTORS OF UNDERGROUND WATER REGULATION IN KARST AREAS

CHENG Xing, YANG Zi-jiang

(Department of Resources and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: On the basis of the analysis of the corresponding proportion of the conduit flow, fissure flow and pore water flow in the recession curves, this paper discusses the controlling factors on the shape and the release velocity of the recession curve, and their influence on the function of karst underground water regulation. It is suggested that porosity plays an important role in controlling the recession curve. Faults and fractures will accelerate the recession of pore water, and make the pore water proportion reduce and the fissure water proportion increase in the recession curve. The stratigraphic occurrence will also influence the release velocity of pore water directly. Pelitic rock can make the fissure water act as the pore water in the release process. Karst caves speed up the release of karst underground water. Accordingly, because of the influence of multi-factors, the recession processes show a feature with two or three or four regime sub-areas.

Key words: Karst groundwater; Regulation capacity; Influence factors; Release velocity; Sub-area escalating