

基于灰色系统的黄龙钙华景观演化研究

辜寄蓉¹ 范立学¹ 范 晓²

(1.四川师范大学地理与资源科学学院,四川 成都 610068;2.四川省地质矿产局区域地质调查队,四川 双流 610213)

摘要:黄龙的景观是在数万年的岩溶地质作用下的产物。近年来黄龙钙华出现了干涸、变黑、沙化等现象严重地影响了景观的观赏性。水资源在黄龙钙华发展变化中起着重要的作用,笔者通过收集并分析黄龙地区的监测数据,针对监测系统不健全,时序数据缺乏的特点,选用对时序数据要求不高、预测效果较好的灰色系统模型,以岩溶水体的 pH 值为指标预测了钙华未来的发展情况。采用地质统计学空间分析的克里金插值法,对预测结果进行插值获得了整个景区的钙华预测结果。笔者按 pH 值将钙华演化情况划为强侵蚀、弱侵蚀、堆积 3 种类型,指出黄龙钙华景观目前正处于动态平衡与消亡重组阶段。

关键词:黄龙钙华;灰色系统;克里金插值;演化预测

中图分类号:P588.24⁵ **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)06-1148-06

1 引言

对于黄龙钙华演化的阶段类型划分,目前尚无统一标准。不同的学者曾经从不同的角度提出了各自的划分标准。

四川省地质矿产局的范晓根据钙华的沉积特点将其分为衰退期、蜕化期、蜕化后期^[1]。衰退期沟源来水大部潜入地下,古钙华的溶蚀和侵蚀作用的日益加强。蜕化期侵蚀作用强烈,古钙华地貌景观已面目全非。蜕化后期原有的钙华层已被改造得面目全非,古钙华景观已不复存在。

此外也有按成因将其分为原生建造型和再生建造型两种。所谓原生建造型的是指由钙华物源地适当条件下直接沉积析出形成的钙华堆积体。这一类钙华体的主要景观有钙华瀑布和钙华梯池、边石坝以及原生洞穴和保存完整的古钙华台地、钙华滩等钙华景观体。而再生建造型的钙华是指由先期形成的钙华体经后来的地质作用改造后形成的钙华堆积体。主要钙华景观体有塌陷湖泊、溶蚀溶洞以及钙华砂堆积体等。

而另外也有根据同位素测定的地质年代和钙华沉积速率,将其分为成长期、平衡期、消退期^[2-3]。成长期的钙华体形成年代较晚,整体以堆积作用为主。平衡期形成年代稍久,整体上堆积与溶蚀作用大致相当。消退期的钙华体则形成较远,整体上以溶蚀作用为主。

由于当前黄龙钙华面临的主要问题是钙华萎缩、坍塌,而其直接原因就在于钙华体没有岩溶水体的钙华沉积。因此,钙

华演化阶段类型的划分应当能够反应钙华的沉积于侵蚀状态。当钙华处于沉积状态时,其在未来一定时期内景观必然会继续发育,而不会衰退。若钙华处于被侵蚀状态时,其必然面临着退化的危险,也应当是采取措施进行保护的重点。

笔者根据分析的 pH 值具有综合反映钙华沉积各因素的天然优势,因而可根据 pH 值的高低划分钙华演化阶段类型。因此根据黄龙各监测点钙华目前侵蚀与堆积的情况,并结合前人的研究成果和反复试验将其划分为强侵蚀、弱侵蚀、堆积 3 种类型。由于不同年份监测数据的误差,以及监测数据、监测方法的不同,以及灰色系统中白化函数的特点,确立了其划分标准。具体为:pH 值小于 6.3 或 7.0 的,岩溶水呈弱酸性主要以侵蚀作用为主为强侵蚀型。由于岩溶水会随着季节和水量的变化而交替出现弱酸性与弱碱性,相应地侵蚀与堆积两种情况会交替出现,因而可分为弱侵蚀型。其标准也根据监测季节相应分枯水期 pH 值在 6.3 或 7.0 至 7.0 或 7.4 之间,丰水期 pH 值在 7.0 或 7.4 至 8.0 或 8.33 之间。pH 值大于 8.0 或 8.33 的,岩溶水呈弱碱性以堆积作用为主可作为堆积型。

2 预测模型的选取

钙华的成长和衰退的因素是多种多样的。水温、压力、pH 值的测定简便易行,中间环节少可以利用相应设备直接测出,相应地最终误差也必然较小。方解石饱和指数 SIC 和水动力条件则较为综合,需要测取相关因子的值才可间接求出。而生物因素的定量化表示则较为困难,在目前情况下只

能定性研究。为了研究钙华演变的趋势,不同的学者曾从不同角度提出了各种模型。由于黄龙地区尚未建立系统的水质监测体系,可用预测数据较少且缺乏系统性。尤其是时间序列数据仅有数个年份可供对比,而监测点仅有 10 多个,对整个地区的代表性不足。而黄龙地区地表水-地下水转换频繁、景观类型多样,不同类型景观成因模式又各不相同。所有这些都使得钙华演变的预测模型的选择受到了极大限制,建立多参数的预测模型面临难以克服的困难。为了能够在有限的时间内对黄龙钙华景观的演变进行预测,尽快为黄龙景观保护提供建议,因此,笔者选用了较适合不确定情况下预测的灰色系统模型,且该模型在九寨沟水资源动态模拟以及其他许多研究中都取得了较好效果^[4-7]。

3 pH 值与其他沉积因素关系

由于钙华具有与岩溶水共存亡的特点^[8-10],离开了岩溶水的滋养,钙华体就会变黑、风化、破裂、坍塌,最终走向灭亡。由此可见,岩溶水的变化对钙华体的演化发展会产生重要的影响,将岩溶水作为钙华研究的重要内容是完全必要的。因此可通过分析岩溶水的各监测指标间的关系确定出最适合的预测因子,将其代入灰色系统模型进行预测。笔者首先选取了数据较为完备的 1993 年水质数据(表 1)进行相关分析,从而筛选出进行回归分析的因子。

由此可知,在 0.01 的置信度水平下 SIC 与 pH 值成较强的正相关,而与其他因素却成较强的负相关。pH 值的情况与此类似,但它同钙离子、镁离子、重碳酸根离子的负相关更明显。

另根据目前的研究成果岩溶水的 SIC 值和 pH 值对钙华的生长和衰退具有指标意义,因而二者都可以用于进行灰色系统模拟。但如前文对 SIC 值的分析一样,其测定需要同时监测钙离子、镁离子、碳酸氢钙离子、碳酸氢镁离子、硫酸镁离子等。测定内容过多,而每一项内容都不可避免的会存在着误差,这必然大大的降低的最终结果的可信度。同时 SIC 值以 0 为界,将钙华截然分为溶解、堆积两种,而只将 SIC=0 作为平衡态。这种划分方法太过绝对,没有白化区间,这与灰色系统的原理也是不相符合的。而 pH 值与其的相关系数高达 0.902,因此用 pH 值来代替 SIC 值是完全可行的(图 1)。

另一方面钙华的生长主要来自岩溶水中钙离子的沉积,

表 1 水质因素的相关性

Table 1 Correlation of water quality factors

	pH值	钙离子	镁离子	重碳酸根离子	SIC
pH值	1	-0.842(**)	-0.751(**)	-0.872(**)	0.902(**)
钙离子	-0.842(**)	1	0.928(**)	0.987(**)	-0.540(**)
镁离子	-0.751(**)	0.928(**)	1	0.902(**)	-0.445(**)
重碳酸根离子	-0.872(**)	0.987(**)	0.902(**)	1	-0.589(**)
SIC	0.902(**)	-0.540(**)	-0.445(**)	-0.589(**)	1

注:相关水平高于 0.01 属于显著相关。

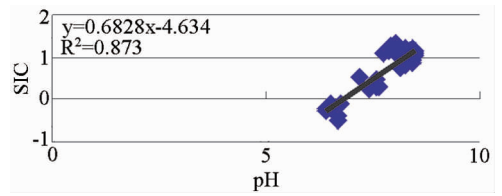


图 1 SIC 与 pH 的关系

Fig.1 Relation between SIC and pH

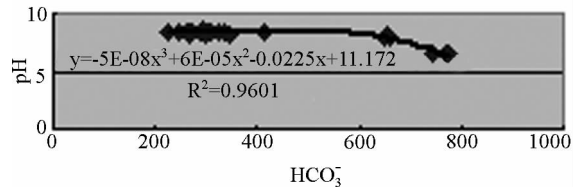


图 2 pH 值与 HCO₃⁻的关系

Fig.2 Relation between pH and HCO₃⁻

而影响钙离子沉积的各因素都是通过影响水中二氧化碳和碳酸氢根的含量实现的。至于二氧化碳和碳酸氢根的含量以及它们同钙离子相对关系,都可以通过 pH 值反映。因为二氧化碳和碳酸氢根在水中含量越高,钙离子的含量越低,所表现出来的 pH 值就愈低(图 2)。相应地水体的酸性也越强,就越不利于钙离子沉积而有利于钙华体堆积。与此相反,二氧化碳和碳酸氢根在水中含量越低,钙离子的含量越高,则 pH 值也相应较高。与此相应,钙离子沉积愈加有利。

至于 pH 值同温度的关系。如前所述,温度越高二氧化碳溶解越少,则 pH 值越高,越有利于沉积。pH 值同水动力条件的关系则为,水流越快,水压越低,二氧化碳溶解量就越大,pH 值就越低,越不利于沉积。pH 值同生物作用的关系,由于生物的光合作用越强烈,消耗的二氧化碳也越多,pH 值就越低,越不利于沉积。这很好地弥补了难以定量反映的生物因素。至于微地貌因素,由于其主要是通过改变水的流速发生作用,因此也可以通过 pH 值得到很好的反应。至于钙华沉积水体的钙离子含量,也可以直接通过 pH 值反应。表现为二氧化碳一定时,钙离子含量越高 pH 值越高,则越有利于沉积。

综上所述,pH 值具有能综合反映影响钙华沉积的因素和水文环境特点,尤其是钙离子含量这一天然优势。因此把 pH 值作为钙华演化模型的因子,不失为一种较好的方法。

由于笔者获取的数据部分年份缺少 pH 值,但可用其他指标通过回归分析插补缺少的 pH 值。其原理如下:

假设自变量为 x , 因变量为 y , 估计 y 与 x 之间存在线性关系,则有

$$y = ax + b$$

其中 a, b 是回归系数。实际观测中由于随即因素的干扰,因变量的值不仅与自变量的取值有关,而且与误差有关。通

常采用最小二乘法估计 a 和 b ,使误差的平方和达到最小。为了验证 x 与 y 之间是否存在线性关系可进行假设检验,可以定义如下系数:

$$r^2 = \frac{ESS}{TSS}$$

$$\text{其中 } ESS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$TSS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

显然 $0 \leq r^2 \leq 1$,通常把 r 称为相关系数。 r^2 越接近于 0, x , y 之间线性相关的程度就越小;反之, r^2 越接近于 1, x , y 之间的线性相关程度就越密切。将获取数据用 SPSS 分析,建立 pH 与 HCO_3^- 的相关方程如下:

$$y = -4.8 \times 10^{-8}x^3 + 5.8 \times 10^{-5}x^2 - 0.0225x + 11.172$$

$$r^2 = 0.9601 \quad \text{其中 } x \text{ 为 } HCO_3^- \text{ 值, } y \text{ 为 pH 值}$$

由此可知,回归方程效果显著。再将缺失玉树池、隐芳池、明镜池、洗身洞 pH 值的 1987 年数据代入方程,可得 1987 年各监测点的 pH 值(表 2)。

4 pH 值的灰色模型预测

灰色系统是中国著名学者邓聚龙教授 1982 年在国际上首先提出的。灰色系统的建立,是根据事件在时间序列上的内在变化规律,利用微分方程,建立抽象系统发展变化的动态模型。由于 SIC 值同时有正负值在对其原始时间序列进行累加时,正负值会抵消难以弱化随机性,所以用其较难进行灰色模拟。因此,本次建模选取从 1987 年到 2005 年的 4 个年份中水力联系较强、从上游到下游的一系列泉点和地表水对 pH 值进行一维一阶模拟。

以转花 6 号泉为例,其 1987,1993,1999,2005 年水质 pH 值数据为(表 3):

年份:1987 1993 1999 2005

时间序列: $x_1^{(0)}$ $x_2^{(0)}$ $x_3^{(0)}$ $x_4^{(0)}$

pH 值:7.7 6.29 6.52 6.8

将以上原始数据作一阶累加得:

年份:1987 1993 1999 2005

时间序列: $x_1^{(0)}$ $x_2^{(0)}$ $x_3^{(0)}$ $x_4^{(0)}$

pH 值:7.7 14.0 20.52 27.52

表 2 1987 年的 pH 值回归结果

Table 2 Regression results of pH in 1987

监测点	泉-1	泉-2	泉-3	泉-4	泉-5	泉-6	泉-10	泉-11	泉-12	泉-13	泉-14	泉-20	泉-15
pH	7.75	8.193	1.415	4.6	4.9	4.9	8.185	8.18	8.17	8.175	8.188	8.17	8.18
HCO_3^-	622	457.6	939.7	830	818	818	414.9	403	366.7	384.4	476.6	356	317.3
矿化度	867	643.2	1302	1129	1111	1115	570.1	561	514.3	525.9	651.7	447	446.9
监测点	泉-16	泉-17	泉-18	泉-19	地表 7	转花池	五彩池	金沙滩	玉树池	隐芳池	明镜池	洗身洞	迎宾池
pH	8.17	8.209	8.214	8.23	8.17	8.18	8.9	10.3	10.14	10.17	10.62	10.5	10.8
HCO_3^-	336	290.4	286.8	278	366	315	145	42.6	51.1	49.7	25.6	34.1	17
矿化度	460	407.6	394.8	385	514	1094	1033	577	570.1	518.3	447.2	411	407.6

表 3 pH 值预测结果

Table 3 Estimate of pH

监测点	1987	1993	1999	2005	2011	时间响应函数
3 号泉	7.4	6.6	6.39	6.8	6.8	$x(i+1) = 418.55e^{0.0154i} - 417.1403$
6 号泉	7.7	6.29	6.52	6.8	7.06	$x(i+1) = 161.2024e^{0.3828i} - 153.5024$
5 号泉	7.6	6.49	6.52	6.9	7.06	$x(i+1) = 203.17e^{0.0312i} - 198.2698$
上游地表水	8.17	7.91	7.84	7.5	7.35	$x(i+1) = 306.47e^{-0.0263i} + 314.64$
五彩池	8.91	8.15	7.56	7.8	7.49	$x(i+1) = -356.652e^{-0.0227i} + 365.5622$
上金沙铺地	10.29	8.4	8.22	8.2	8.07	$x(i+1) = -694.761e^{-0.012i} + 705.051$
接仙桥	8.19	8.29	8.24	7.7	7.51	$x(i+1) = -235.705e^{-0.036i} + 243.895$
13 号泉	8.17	8.25	8.18	7.7	7.51	$x(i+1) = -249.529e^{-0.0339i} + 257.699$
明镜倒映池	10.62	8.37	7.42	8.46	8.18	$x(i+1) = 1380.949e^{0.0058i} - 1370.3289$
15 号泉	8.18	8.21	7.56	7.6	7.19	$x(i+1) = -208.256e^{-0.0397i} + 216.44$
迎宾池	8.21	8.38	8.18	7.9	7.69	$x(i+1) = -289.85e^{-0.0294i} + 298.06$
20 号泉	8.17	8.42	8.26	8.64	8.66	$x(i+1) = 628.1136e^{0.013i} - 619.9436$

则有矩阵 B 为 $B = \begin{bmatrix} -10.85 & 1 \\ -17.26 & 1 \\ -23.92 & 1 \end{bmatrix}$, 再解得 $a = -0.03828, u =$

5.876 因而可得其时间响应函数为 $x(i+1) = 161.2024e^{0.3828i} - 153.5024$, 平均相对误差为 0.176, 结果较为可信。模拟值与实际值比较如下:

年份:	1987	1993	1999	2005
实际值:	7.7	6.29	6.52	6.8
模拟值:	7.7	6.3	6.53	6.79

用同样方法将各监测点数据代入模型, 利用 VB 和 MATLAB 编程计算可减少重复计算的工作。经计算得到从上游到下游各点的 pH 值(表 3)。

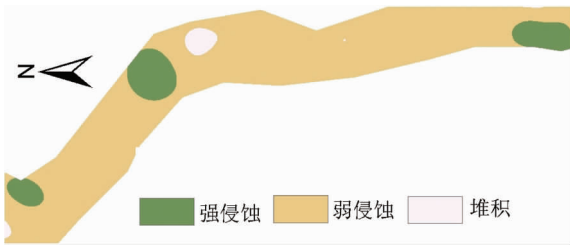


图 3 1987 年模拟插值结果

Fig.3 Result of simulation of interpolated values in 1987

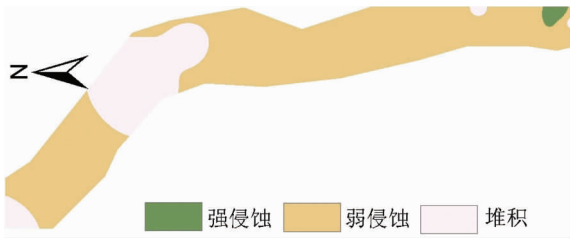


图 4 1993 年模拟插值结果

Fig.4 Simulation of interpolation results in 1993

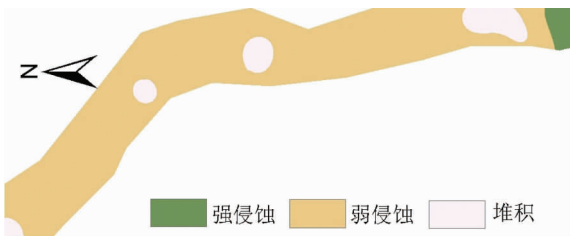


图 5 1999 年模拟插值结果

Fig.5 Simulation of interpolation results in 1999

从中可看出在未来可预见的时期内黄龙水体的 pH 值从上游至下游逐渐升高的总趋势仍不会改变, 这与现有的观测结果基本相符。

5 模拟值的内插

由于受监测手段的限制, 人们常常无法得到所有地理位置上的观测值, 因而笔者所能获得的地理数据多为离散数据。但空间数据大都具有自相关性, 因而可以利用地统计学方法对离散的空间数据进行内插, 从而获取地理对象完整的空间分布规律。常用的空间插值方法有反距离倒数插值法、移动拟合法、自然邻近法和克里金法等, 笔者采用了克里金法。

克里金法与其他确定性插值法一样, 都是从预测点周围的观测值中生成权重系数进行预测; 但克里金法又与它们不完全相同, 克里金法中观测点的权重系数更为复杂, 是通过计算反映数据空间结构的半变异图得到的。运用克里金法可以在研究领域观测值的半变异图和空间分布的基础上对研究区中未知点的值进行预测。

根据这一理论笔者对各年 pH 值模拟结果进行插值, 最后根据当前黄龙钙华演化的实际情况, 并借鉴已有的黄龙钙华演化研究成果, 经反复试验得出钙华演化的划分标准。从而得到了整个黄龙景区钙化的发展演变情况(图 3~7)。

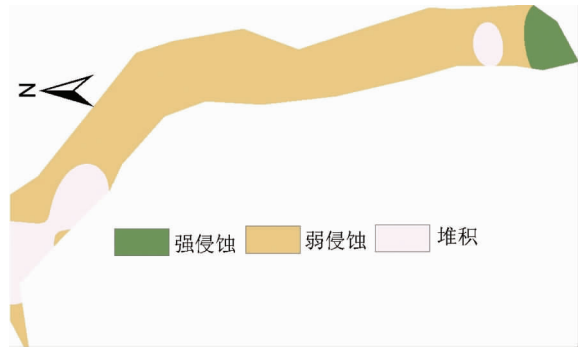


图 6 2005 年模拟插值结果

Fig.6 Simulation of interpolation results in 2005

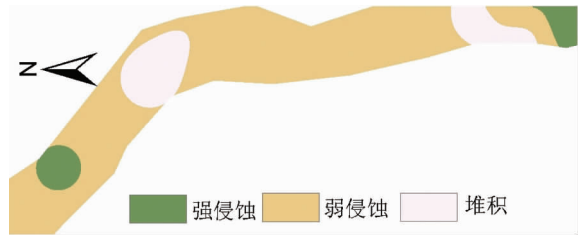


图 7 2011 年模拟插值结果

Fig.7 Simulation of interpolation results in 2011

6 结 论

笔者在已有研究成果的基础上综合借鉴了前人的理论和方法,并将一些新方法和新技术成功的运用于该地区的研
究。通过研究获得了一些成果:在该区域使用 GIS 技术实现了对多种类型和来源数据的统一管理,在空间数据库的支持下将灰色系统理论运用于钙华演化研究。这为今后类似的研究提供了宝贵经验和实证案例。笔者提出了利用岩溶水的 pH 值划分的方法,并给出了划分的白化区间,即 pH 值 $<6.3\sim 7.0$ 为强侵蚀, $6.3\sim 7.0 < \text{pH}$ 值 $< 8.1\sim 8.33$ 为弱侵蚀, $8.1\sim 8.33 < \text{pH}$ 值为堆积。

参考文献 (References):

- [1] 石岩. 黄龙水环境特征与钙华景观演化趋势研究[D]. 成都理工大学学位论文, 2005.
Shi Yan. Study on the Hydro-environmental Characteristics and Travertine Evolution at HuangLong Area [D]. Chengdu Institute of Technology, 2005(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨俊义, 万新南, 席彬, 等. 九寨沟黄龙地区钙华漏斗的特征与成因探讨 [J]. 水文地质工程地质, 2004(2):90-93.
Yang Junyi, Wan Xinnan, Xi Bin, et al. Characteristics and formation of the travertine funnels in the Jiuzhaigou-Huanglong area, Hydrogeology and Engineering Geology, 2004 (2):90-93(in Chinese with English abstract).
- [3] 杨俊义. 九寨沟黄龙地区景观钙华的特征与成因探讨[D]. 成都理工大学学位论文, 2004.
Yang Junyi. Characteristics and Formation of the Travertine in Jiuzhaigou-Huanglong Area [D]. Chengdu Institute of Technology, 2004(in Chinese with English abstract).
- [4] 辜寄蓉, 范晓, 彭东. 九寨沟地质灾害预测的空间分析模型[J]. 中国地质, 2002, 2, 109-112.
Gu Jirong, Fan Xiao, Pang Dong. Spatial analysis model for the forecast of geological disasters in Jiuzhaigou [J]. Geology in China, 2002, 2, 109-112(in Chinese with English abstract).
- [5] 辜寄蓉, 范晓, 杨俊义, 等. 九寨沟水资源灰色系统预测模型[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 4(2):192-197.
Gu Jirong, Fan Xiao, Peng Dong, et al. Water resource forecast model based on gray system of Jiuzhaigou [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 4 (2):192-197(in Chinese with English abstract).
- [6] 辜寄蓉, 范晓, 王成善, 等. 九寨沟岩溶管道空间分析模型 [J]. 矿物岩石, 2001, 21(2):98-101.
Gu Jirong, Fan Xiao, Wang Chengshan, et al. Spatial analysis model of karst channel in Jiuzhaigou [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001,21(2):98-101(in Chinese with English abstract).
- [7] 辜寄蓉, 范晓. 九寨沟旅游景观资源保护和规划中 GIS 的应用[J]. 地球信息科学, 2002, 6:100-103.
Gu Jirong, Fan Xiao. GIS Application Travel Resource Protection and Planning of Jiuzhaigou [J]. Geo-information Science,2002,6: 100-103(in Chinese with English abstract).
- [8] 张彦林, 李永生, 付东林, 等. 陇东盆地西部岩溶地下水形成机制研究[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1393-1399
Zhang Yanlin, Li Shengyong, Fu Donglin, et al. Formation mechanism of karst groundwater in the western Longdong basin, northwestern China[J]. Geology in China, 2006,3(6):1393-1399(in Chinese with English abstract).
- [9] 王宇. 西南岩溶石山区断陷盆地岩溶水系统分类及供水意义[J]. 中国地质, 2003, 30(2):220-224.
Wang Yu. Classification of karst water systems in karst down-faulted basins of the southwestern China karst region [J]. Geology in China, 2003, 30(2):220-224(in Chinese with English abstract).
- [10] 张光辉, 刘少玉, 张翠云, 等. 黑河流域地下水循环演化规律研究[J]. 中国地质, 2004, 31(3):289-293.
Zhang Guanghui, Liu Shaoyu, Zhang Cuiyun, et al. Evolution of groundwater circulation in the Heihe River drainage area [J]. Geology in China, 2004, 31(3):289-293(in Chinese with English abstract).

Study of the landscape evolution of the Huanglong tufa based on the grey system

GU Ji-rong¹, FAN Li-xue¹, FA Xiao²

(1. School of Geography and Environmental Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, Sichuan, China;

2. Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chengdu 610213, Sichuan, China)

Abstract: Tufa in Huanglong is the product of several ten thousand years of karst geological processes. In recent years, the tufa has gradually dried up, blackened and been sandified, which has seriously affected the aesthetic characteristics. Water resources have played an important role in the development and change of the Huanglong tufa. The authors have collected and analyzed the monitoring data in the area and found that the monitoring system is not sound and that the data of the time sequence are lacking. According to these features, the authors choose a grey system model which does not require too much of the data of the time sequence and may yield a good result of prediction. They predicted the tufa development using pH as a proxy and used the kriging method to make interpolation of the results of prediction and thus obtained the prediction results of the tufa in the whole Huanglong area. Based on the pH values, the tufa development is divided into three types: strong erosion, weak erosion and accumulation. The Huanglong tufa is now in the stage of dynamic balance and decline and recombination.

Key words: Huanglong tufa; grey model; kriging interpolation; development prediction

About the first author: GU Ji-rong, female, born in 1968, doctor and associate professor, engages in geographic information system research and development; E-mail: annygu@21cn.com.

2006 年度地质、地球科学类期刊前 40 名影响因子排序表

序次	期刊名称	影响因子	序次	期刊名称	影响因子
1	岩石学报	2.649	21	地球科学	1.023
2	地质学报	2.326	22	岩石矿物学杂志	0.867
3	地质科学	2.212	23	地球学报	0.776
4	中国科学(D 辑)	2.062	24	矿物岩石地球化学通报	0.758
5	大地构造与成矿学	1.906	25	西北地质	0.681
6	中国地质	1.576	26	沉积与特提斯地质	0.676
7	地质论评	1.495	27	吉林大学学报地球科学版	0.667
8	地球化学	1.487	28	铀矿地质	0.667
9	第四纪研究	1.478	29	地层学杂志	0.641
10	地学前缘	1.447	30	中国岩溶	0.636
11	地质通报	1.398	31	地质力学学报	0.630
12	高校地质学报	1.388	32	矿物岩石	0.603
13	工程地质学报	1.374	33	地球科学与环境学报	0.598
14	石油实验地质	1.371	34	海洋地质与第四纪地质	0.513
15	古地理学报	1.311	35	地质与勘探	0.500
16	天然气地球科学	1.243	36	地球与环境	0.448
17	矿床地质	1.213	37	地质科技情报	0.421
18	现代地质	1.191	38	世界地质	0.404
19	沉积学报	1.142	39	新疆地质	0.403
20	地球科学进展	1.105	40	水文地质工程地质	0.391

注:表中数据引自中国科学技术信息研究所编《2007 年版中国科技期刊引证报告(核心版)》,北京:科学技术文献出版社。