

易连兴,夏日元,唐建生,等. 西南岩溶地下河流量重复统计问题及对策探讨[J]. 中国岩溶, 2015, 34(1): 72—78
DOI:10.11932/karst20150110

西南岩溶地下河流量重复统计问题及对策探讨

易连兴,夏日元,唐建生,时 坚,罗伟权,陈 阵

(中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室,广西 桂林 541004)

摘 要:西南岩溶区的地下河数量及总流量是有关职能部门和专业技术人员关心的两个重要数据。20 世纪 80 年代对西南 6 省进行统计,结果为 2 836 条,流量 1 482 m³/s;20 世纪 90 年代对西南 8 省进行统计,并经过近年的数据库校核为 2 523 条,总流量 1 321.7 m³/s;其中流量大于 2 000 L/s 有 120 条,合计流量 699.7 m³/s,占总流量的 52.94%;流量在 50~500 L/s 地下河最多,有 1 311 条,占总数的 51.55%,其次为流量小于 50 L/s 的有 723 条,占总数的 28.43%。文章针对上述统计方法存在岩溶地下河流量重复统计、与岩溶大泉流量交叉重复统计两种问题,以大小井和寨底地下河系统为例,给出了具体重复统计量。基于 1:20 万水文地质普查资料,大小井和寨底地下河重复统计量分别占总出口流量的 57.1%、7.1%;而基于最新调查资料,重复统计量则分别可增加到 134.3%、86.1%。因此,随着 1:5 万水文地质调查面积越多,所发现的地下河出口越多,按传统的统计方法其重复统计量则越大。引起上述重复统计问题主要原因是把地下河系统和子系统混合在一起。文章最后讨论了地下河系统的空间属性,提出避免重复统计措施,对西南岩溶区地下河流量正确统计以及具有相同特征的岩溶大泉流量统计有一定指导意义。

关键词:地下河系统;区域总流量;重复统计;空间属性;对策

中图分类号:P641.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-4810(2015)01-0072-07

0 引 言

我国西南岩溶区以贵州高原为中心,是世界上碳酸盐岩连片分布面积最大的岩溶区,总面积约 78×10⁴ km²,行政区范围涉及贵州、广西、云南、湖南、广东、湖北、四川、重庆八个省、市、自治区。

地下河是西南岩溶区最重要的岩溶现象之一,也是地下水赋存的一种独特形式,是西南岩溶区重要水源,因此,关于地下河数量以及水资源量是有关职能部门、众多专业技术人员关心的两个重要数据^[1-6]。目前对于西南岩溶地区的地下河数量以及流量统计主要有 3 个版本,即上世纪 80 年代版本、90 年代版本,以及近年来开展 1:5 万水文环境地质调查以后的基于 MAPGIS 电子地图版本。由于时代不同、统计条件以及调查精度差异,不同版本的统计数据存在一定差异,但其统计方法有一个共同点,均按地下河

出口流量进行直接累加,这种方法已经扩展应用到省级区域的统计中。

本文详细讨论这些统计中所存在地下河流量重复性统计、与泉流量交叉重复统计问题,并辅以实例进一步说明。

1 不同时期地下河流量统计结果

关于西南岩溶区地下河统计数据最早文献可推到 1985 年^[4],地下河有 2 836 条,总长度为 13 919 km,流量 1 482 m³/s(表 1),统计范围包括广西、贵州、云南、四川(包含重庆)、湖南等 6 省(区),不包含湖北和广东两个省,统计依据为 1:20(或 1:25)万水文地质普查资料。上述 3 个统计数据,被众多学者包括本文作者广泛引用,并做为西南八省岩溶区的地下河总数量和总流量。

表 1 地下河统计表(杨立铮,1985)
Tab. 1 Statistics of underground rivers (after Yang, 1985)

省(区)	条数	占比(%)	长度	占比(%)	流量	占比(%)
广西	433	15.27	2051	14.74	230	15.48
贵州	1 076	37.94	6 640	47.70	572	38.49
云南	189	6.66	1 473	10.58	138	9.29
四川	566	19.96	2 443	17.55	200	13.46
湖南	572	20.17	1 312	9.43	346	23.28
合计	2 836	100	13 919	100	1 486	100

20 世纪 90 年代初,有关学者统计并发表了我国及西南 8 省岩溶区地下河数量。我国流量大于 50 L/s 的地下河有 2 525 条,大泉 2 764 个,总流量为 $2\,353\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,其中广西、贵州、云南、四川(含重庆)、湖南、湖北和广东的地下河 2 497 条,大泉 2 450 个^[3,7]。

2008 年,中国地质科学院岩溶地质研究所信息中心对 1:20(或 1:25)万水文地质普查资料进行了

二次整理,建立了西南岩溶区地下河数据库。统计表明西南八省岩溶区岩溶地下河为 2 543 条,合计流量 $1\,321.7\text{ m}^3/\text{s}$;出口流量大于 2 000 L/s 有 120 条,合计流量为 $699.7\text{ m}^3/\text{s}$,占总流量的 52.94%;流量在 50~500 L/s 范围的最多,有 1 311 条,其次流量为 0~50 L/s 有 723 条,两者合计有 2 034 条,占地下河总数的 79.98%(表 2)。

表 2 地下河出口流量分布特征
Tab. 2 Distribution features of underground-river outlets

流量等级 (L/s)	测流(条)			小计 (条)	占总数 (%)	流量小计 (m^3/s)	占总流量 (%)
	日期不详	0~3 月	4~9 月				
0—50	197	380	146	723	28.43	13.8	1.04
50—500	419	429	463	1 311	51.55	231.8	17.54
500—1 000	89	68	73	230	9.04	161	12.18
1 000—2 000	59	35	65	159	6.25	215.4	16.30
>2000	47	30	43	120	4.72	699.7	52.94
小计	811	942	790	2 543	100	1 321.7	100
百分比	31.89	37.04	31.07	100			

说明:据岩溶地质研究所信息中心岩溶地下河分布数据库

袁丙华等提出最新统计数据,西南八省岩溶区有地下河 3 066 条^[8]。该数据比前面两个时期统计结果大,主要考虑了部分最新的 1:5 万水文环境地质调查资料。

上述几个版本的统计方法,都是简单把地下河出口的数量等同于地下河数量,将所有地下河出口流量的累加值作为西南岩溶区地下河的总流量。这种简单统计方法在全国已被广泛使用,部分省区也按照这种方法进行岩溶区地下河流量统计^[9-12];有关文献提出了贵州岩溶地下河有 1 130 条、重庆岩溶地下河有 380 条、年平均流量为 $151.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。

上述区域地下河流量统计方法存在地下河流量重复统计以及与区域岩溶泉流量交叉重复统计现象。

为更好说明问题,下面以贵州大小井大型地下河系统和广西桂林寨底小型地下河系统为例详细论述。

2 典型地下河系统重复统计率

2.1 寨底地下河系统

寨底地下河位于桂林市东部,距桂林市 31 km。岩溶峰丛洼地地貌,地下河系统汇水面积 33.5 km^2 。含水岩组为泥盆系中上统($D_2\sim_3$)中厚层纯灰岩。地下水系统内,发育有多条岩溶地下河子系统,接收大气降水补给后,地下水最终由南部寨底总排泄口 G47 排出地表(图 1)。

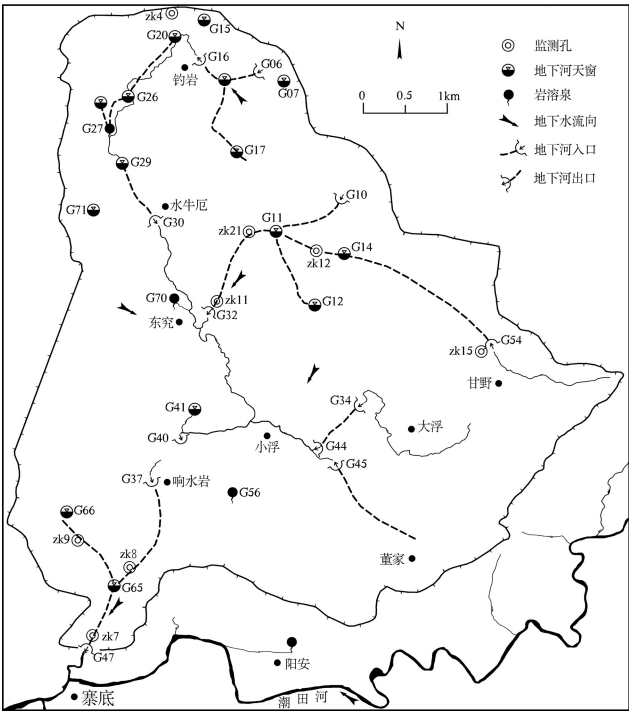


图 1 寨底地下河分布图
Fig. 1 Map showing distribution of underground rivers in the Zhaidi area basin

尽管该地下河系统汇水面积小,但在 1 : 20 万水文地质普查资料中,仍标注有寨底总出口(G47,原编号:桂 329)和东究(G32,原编号:桂 294)2 个地下河出口并参与了流量统计,流量分别为 124.9 L/s 和 8.9 L/s,合计流量为 133.8 L/s。东究地下河出口(G32)排泄的地下水经过约 2.3 km 地表溪沟径流后在响水岩天窗 G37 进入地下岩溶管道,最后与其他方向来的地下水一起在寨底总出口(G47)排泄,因此,东究地下河出口(G47)流量 8.9 L/s 为重复统计流量,该部分占寨底总出口流量的 7.1%。

最新调查资料表明,寨底地下河系统内还发育有大浮 G44、小浮 G45、水牛厄 G30、钓岩 G16 等地下河子系统,2009 年 1 月枯季流量分别为 0、14.5、21.0、2.5 L/s,加上东究地下河子系统出口 G32 流量 24.6 L/s,5 个地下河子系统流量合计为 62.6 L/s,该部分重复统计流量占寨底总出口枯季流量 104.8 L/s 的 59.73%。

如果按雨季测流数据进行统计,寨底总出口及 5 个子系统出口流量总计为 2 241.5 L/s,其中重复统计的 5 个子系统流量为 1 037.0 L/s,为寨底总出口流量 1 204.5 L/s 的 86.1%(表 3、表 4)。

表 3 寨底地下河流量统计表
Tab. 3 Statistics of underground-river discharge in the Zhaidi basin

编号	名称	1 : 20 万水文地质普查资料			枯水季节		丰水季节	
		原编号	日期	流量(L/s)	调查日期	流量(L/s)	调查日期	流量(L/s)
G16	钓岩				2009.01.10	2.5	2008.06.07	28.0
G30	水牛厄				2009.01.10	21.0	2008.06.08	400.0
G44	大浮				2009.01.10	0.0	2008.06.09	189.0
G45	小浮				2009.01.10	14.5	2008.06.09	200.0
G32	东究	桂 294	1.01	8.9	2009.01.10	24.6	2008.06.08	220.0
G47	寨底	桂 329	12.25	124.9	2009.01.10	104.8	2008.06.09	1204.5
流量合计				133.8		167.4		2 241.5

表 4 统计结果对比表
Tab. 4 Comparison of statistical results

地下河名称	工作比例尺(万)	总出口流量(L/s)	参与统计的地下河子系统			参与统计的岩溶大泉			统计流量合计(L/s)	总重复统计率(%)	季节
			数量(个)	重复统计量(L/s)	重复统计率(%)	数量(个)	重复统计量(L/s)	重复统计率(%)			
大小井	1/20	6572	6	3 451.8	52.50%	1	302	4.60%	10 325.8	57.1%	
	1/5	20 058	24	25 671.5	128.00%	29	1 274.5	6.40%	47 004.1	134.3%	雨季
	1/5	2 774.5	13	1 491.2	53.70%	0			4 265.7	53.7%	旱季
寨底	1/20	124.9	1	8.9	7.10%	0			133.8	7.1%	
	1/1	1 204.5	5	1037	86.10%	0			2 241.5	86.1%	雨季
	1/1	104.8	5	62.6	59.70%	0			167.4	59.7%	旱季

2.2 大小井地下河系统

大小井地下河系统地处贵州高原向广西丘陵过渡的斜坡地带,行政区范围含贵州省平塘县、惠水县、罗甸县以及贵阳市花溪区的部分国土,地理坐标:东经 $106^{\circ}35'35'' \sim 106^{\circ}57'14''$,北纬 $25^{\circ}30'49'' \sim 26^{\circ}04'00''$,流域面积 1943.2 km^2 。流域内地层从泥盆系至三叠系中统地层均有出露。接受大气降水补给后,地下水自北向南径流,最终在南部大小井出口排泄(图2)。

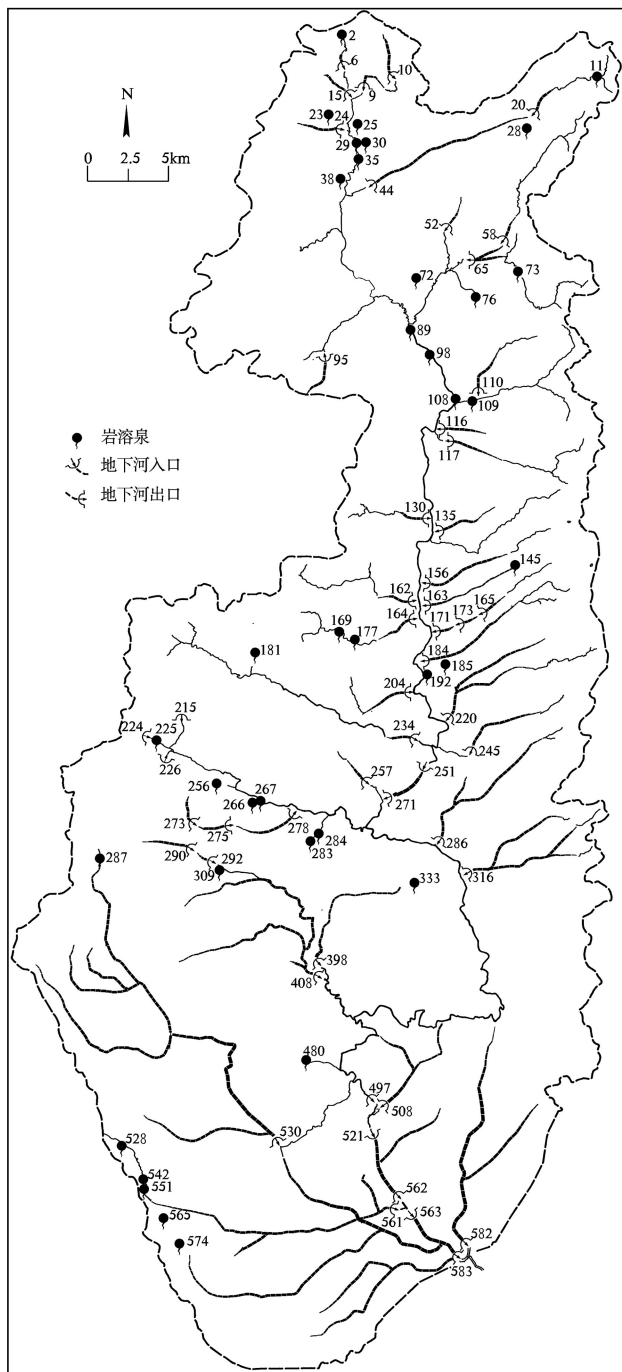


图2 大小井地下河和泉分布图

Fig. 2 Map showing distribution of underground rivers in the Daxiaojing basin

根据20世纪90年代修订版数据库,贵州大小井地下河系统共有8个地下河出口流量参与统计,合计流量为 $10\,023.8 \text{ L/s}$;其中大井和小井地下河出口为整个地下河系统的排泄口,这两个排泄口的流量合计为 $6\,212 \text{ L/s}$;岗金等其他6个地下河出口为内部的地下河子系统,合计流量为 $3\,451.8 \text{ L/s}$,该部分为重复统计流量,它等于大井小井总排泄口流量的 52.5% 。

2006年开展1:5万水文地质环境地质调查工作后发现,该区域发育具有一定规模的地下河出口33个(表5),其中地下河子系统出口31个^[13]。依据不完全统测数据,其中的13个地下河子系统出口枯水季流量 $1\,491.2 \text{ L/s}$,为枯水季总出口流量 $2\,774.5 \text{ L/s}$ 的 53.7% ;其中的24个地下河子系统出口雨季流量 $25\,671.5 \text{ L/s}$,为雨季总出口流量 $20\,058.0 \text{ L/s}$ 的 128.0% 。因此,按枯水季或雨季流量统测资料进行流量统计时,则流量重复统计率分别等于总出口流量的 53.7% 、 128.0% (表4)。

2.3 岩溶大泉流量重复统计

地下河系统内部,也发育有岩溶大泉,它们所排泄的地下水经过一定距离径流后,再次补给地下河系统,并最终通过地下河总出口排泄,因此,这些岩溶大泉的流量隐含在地下河系统总出口流量中,但在区域岩溶大泉流量统计中再次进行了统计。反过来也可能存在类似情况,属于某个岩溶大泉的地下河子系统也分别在区域岩溶大泉和区域岩溶地下河流量中进行了两次统计。

在大小井地下河系统中,1:20万水文地质普查资料中标注有1个大泉,即翁吕大泉(编号287),流量为 302.0 L/s ,实际上该泉排泄到地表径流约450 m后,即通过消水洞补给到地下河系统中,最后在大井地下河出口排泄;该泉的流量不应该在区域岩溶大泉流量中再次进行统计,为重复统计,重复统计量占总出口流量 $6\,572 \text{ L/s}$ 的 4.60% 。因此,基于1:20万水文地质普查资料,大小井地下河系统共有8个地下河出口、1个岩溶大泉参与流量统计,总重复统计量为 $3\,753.8 \text{ L/s}$,占总出口流量的 57.1% 。

新一轮1:5万水文环境地质调查工作,查明的岩溶大泉有29个,合计雨季流量为 $1\,274.5 \text{ L/s}$ (表6)。地下河出口与29个泉点合计雨季流量为 $47\,004.1 \text{ L/s}$,总重复统计量为大小井出口流量的 134.3% (表4)。

表 5 大小井地下河出口流量统计表

Tab. 5 Statistics of underground-river outlets in the Daxiaojing underground river basin

编号	名称	原编号	流量(L/s)	枯水期		丰水期	
				调查日期	流量(L/s)	调查日期	流量(L/s)
6				05.02.25	47	04.08.09	135.11
9				04.11.11	41.6		
15						04.8.9	111.8
24	小龙井					04.8.9	163.6
44				05.2.25	130.52	04.7.28	4 500
65	上寨					04.6.28	250
117	小田坝			05.2.29	39.24	04.6.29	300
135						04.6.22	200
162						04.6.25	200
164						04.6.25	50
165	小坝			05.2.26	19.06	04.6.14	160
171						04.6.14	80
173						04.6.14	60
184						04.6.12	50
215	翁荣			04.03.30	7.89	03.7.22	300
220	冈金	130064	190	03.11.22	190		
224	上房					03.7.22	300
226	翁招					03.7.22	300
234				03.11.24	80.82		
257	小木金			03.11.19	160		
271	燕子洞	130079	1 797.9	03.11.28	516.1		
278	绸绢	130078	30.6			03.7.10	2 095
286	白洞	130080	193	03.11.23	20		
290	龙洞					03.7.14	60
316	拉傲	130081	420	03.12.1	42		
408	巨木	130095	820.3	05.03.02	196.99	03.7.9	5 530
497	下干河					03.7.23	6 005
508	马鞍寨					03.7.23	250
530	新田堡					03.6.28	100
561	打代河					03.7.22	2 621
562	打代河					03.7.22	1 850
582	小井	130099	1 843	05.03.02	1 292.88	03.7.30	9 400
583	大井	130100	4 729	05.03.02	1 481.59	03.7.30	10 658
合计			10 023.8		4 265.69		45 729.51

注:带*数据来自1:20万水文地质普查。

表6 大小井地下河流域岩溶大泉一览表

Tab. 6 Major karst springs in the Daxiaojing underground river basin

编号	调查日期	流量(L/s)	编号	调查日期	流量(L/s)	编号	调查日期	流量(L/s)
11	04.8.6	57.75	76	04.6.28	20.1	283	03.7.10	25
23	04.8.9	20	89	04.6.26	60	284	03.7.10	23
25	04.8.9	30	98	04.6.26	30	287	03.6.30	50.8
28	04.8.6	30.96	108	04.6.26	54.1	309	03.7.7	57
29	04.8.9	43.29	109	04.9.19	205.44	333	03.7.8	37.1
30	04.8.5	30	145	04.6.15	40	480	03.7.23	21.34
35	04.8.9	21.75	169	04.6.23	40	528	03.6.28	51.89
38	04.7.25	90.1	225	03.7.22	60	542	03.6.28	21.06
72	04.6.28	20	256	03.07.23	30.6	574	03.6.27	25
73	04.6.27	48.26	267	03.07.23	30	流量合计		1274.54

3 避免重复统计方法探讨

引起重复统计的主要原因在于把地下河系统与子系统相混淆。因此,解决区域地下河流量重复统计问题首先需要把二者进行明确划分,最有效的方法则是通过地下河系统的边界特征(即空间属性)进行判断。

对于岩溶地下河的概念,中外学者有着不同的理解并从不同角度给出了地下河的定义^[2-3,14-15]。这些文献描述了地下河在地下水补给、径流、排泄等不同方面的含义,侧重强调岩溶地下河主管道含水介质,水文水动力特征等,但在地下河系统的空间属性即边界问题上没有明确阐述。

近年来,部分学者已经意识到了地下河系统与子系统划分问题,并提出:地下河系统由地下河的干流及其支流组成的且具有统一边界条件和汇水范围的岩溶地下水系统^[16]。上述定义引入了系统边界概念,但它既适用于地下河系统,同时也适用于地下河子系统,并不能把二者划分开来。

西南岩溶地下河系统中,一般存在多级排泄及二次(或再次)补给特征,利用这个特征进行条件限制,则对地下河系统、子系统的划分具有可操作性。如果地下河出口排泄的地下水不再进行二次(或再次)补给岩溶地下水(河)系统,则它是一个地下河系统,否则为地下河子系统。如图1,东究地下河出口G32排泄的地下水,经过约2.8 km后通过响水岩天窗G37再次进入地下岩溶管道,显然,G32为一个地下河子系统;此时,需要注意的是不能受地下河出口排泄的地下水在地表径流的距离所蒙蔽;如图2,北部地区15、24、44号地下河出口所排泄的地下水需要经过大于50 km长距离地表径流后,才在南部521地下河入口再次补给地下岩溶管道,表明15、24、44号地下河也是地下河子系统。

有了地下河系统或子系统野外定性描述,在室内

资料整理或在地下河电子地图属性数据库中把地下河系统、地下河子系统分类表示,在开展区域地下河流量统计时,按分类进行统计,则可以有效地避免出现重复统计现象。

4 结论

西南八省岩溶区地下河流量统计数据存在重复统计以及交叉重复统计问题。目前被有关文献普遍引用的统计结果与地下河系统实际流量有一定误差。

通过两个典型实例的重复统计量分析,进一步得出随着西南岩溶区调查精度的提高,1:5万水文地质环境地质调查范围的增大,所发现的地下河出口和岩溶大泉数量的增多,按照传统的直接累加的方法所统计的区域地下河流量与实际流量则误差越大。

通过强调和建立地下河系统空间属性概念,在电子图件以及相关工作中对地下河系统、子系统进行分类表示,并按分类进行统计,可规避重复统计问题。

5 后语

由于西南岩溶区地下河分布面广,许多地下河出口需要到现场确认属于完整系统或子系统,同时还涉及岩溶大泉划分问题,野外调查工作量大,因此本文不能给出按分类划分后西南岩溶区地下河的具体流量,下一步,将深入开展该方面工作。文中仅利用空间属性划分地下河子系统,主要针对目前地下水系统描述中的边界特征(即空间属性)不能指导划分是否是子系统,事实上,划分子系统的方法很多,由于篇幅关系,不一一阐述。目前,西南八省岩溶区岩溶大泉的总流量统计以及以省为统计范围的区域地下河和岩溶大泉流量统计均采用传统方法,也具有文中阐述的重复统计问题,本文思路对上述区域地下河和岩溶

大泉流量正确统计有一定参考意义。

参考文献

- [1] 袁道先. 对南方岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质调查的一些意见[J]. 中国岩溶, 2000, 19(2): 103—108.
- [2] 杨立铮. 地下河流域岩溶水天然资源类型及评价方法[J]. 水文地质工程地质, 1982, 9(4): 22—25.
- [3] 朱学稳. 地下河洞穴发育的系统演化[J]. 云南地理环境研究, 1994, 6(2): 7—15.
- [4] 杨立铮. 中国南方地下河分布特征[J]. 中国岩溶, 1985, 5(1—2): 92—99.
- [5] 郭纯青. 中国岩溶地下河系及其水资源[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2004: 15—25.
- [6] 杨立铮. 我国南方某些地区地下河的结构特征及其形成和演化[J]. 成都地质学院学报, 1982, (2): 54—61.
- [7] 李国芬, 韦复才, 梁小平, 等. 中国岩溶水文地质图说明书[M]. 中国地图出版社, 1992.
- [8] 袁丙华. 西南岩溶石山地区地下水资源勘查及生态环境地质调查评价[R]. 国土资源部中国地质调查局地质调查成果专报(水文地质、工程地质、环境地质), 2006.
- [9] 覃小群, 蒋忠诚, 李庆松, 等. 广西岩溶区地下河分布特征与开发利用[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(6): 10—13.
- [10] 肖进原. 贵州岩溶大泉及地下河赋存条件、分布及特征研究[J]. 贵州科学, 2002, 20(2): 48—52.
- [11] 曹卫峰. 贵州岩溶大泉和地下河水资源[J]. 贵州地质, 2001, 18(1): 37—43.
- [12] 杨梅, 扈志勇, 蒲俊兵. 渝东南岩溶区地下河水水质情况调查[J]. 中国农村水利水电, 2009, (2): 12—14.
- [13] 王明章, 王伟, 巴特, 等. 贵州典型地区岩溶地下水调查和地质环境整治示范——大小井岩溶流域地下水地质环境调查[R]. 国土资源部中国地质调查局地质调查成果, 2006.
- [14] Ford D C, Williams P. Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley and Sons Ltd., ISBN 978—0—470—84996—5 Jennings. 2007.
- [15] 国家技术监督局. 中华人民共和国 GB12329—90 岩溶地质术语[S]. 2009. 04.
- [16] 裴建国, 梁茂珍, 陈阵. 西南岩溶石山地区岩溶地下水系统划分及其主要特征值统计[J]. 中国岩溶, 2008, 27(1): 6—10.

Dealing with overestimates of underground river discharge in karst areas of southwestern China

YI Lian-xing, XIA Ri-yuan, TANG Jian-sheng, SHI Jian, LUO Wei-quan, CHEN Zhen

(Institute of Karst of Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: In the karst areas of eight provinces in southwestern of China, the number of underground river and their total discharge are two important parameters that draw much attention. The statistics in the 1980s yielded 2 836 underground rivers and total discharge 1 482 m³/s. Whereas in the 1990s, the statistics for all the 8 provinces, corrected by the database in recent years, shows that there are 2 523 underground rivers with total discharge about 1 321.7 m³/s. Of them, there are 120 underground rivers with single discharge more than 2 000 m³L/s, and their discharge sums 699.7 m³/s accounting for 52.94% of the total. The underground rivers with discharge between 50—500 L/s is the most, occupying 51.55% of the total; next is those less than 50 m³L/s which is 723 in number and accounts for 22.43% of the total. This paper points out that the statistics above are problematic with over-estimation in karst underground river discharge and large-discharge karst springs. Taking two examples of the Daxiaojing and Zhaidi underground river systems, this paper presents the specific amount of double counting. Based on the old 1 : 200 000 hydrogeological survey data, the total re-statistics account for 57.1% and 7.1% separately for the total outlet discharge of the Daxiaojing and Zhaidi river systems, respectively. While these values can be increased separately to 134.3% and 86.1% using the latest survey data. It can concluded further that with increasing coverage of 1 : 50 000 hydrogeological surveys, more outlets will be counted, the amount of the double counting by the traditional methods will be greater. The primary reason for such an overestimation problem lies in mess of the underground river system and sub-system. Finally, this paper discusses the spatial attributes of karst underground river systems and proposes countermeasures to mitigate the problem of double counting. It would help establish realistic statistics of discharge of underground rivers and major springs of karst areas in southwestern China.

Key words: underground river system; total discharge; over-estimates; spatial attribute; mitigation measures

(编辑 张 玲)