

中国南方地下河分布特征

杨立铮

(成都地质学院)

前 言

地下河是中国南方碳酸盐岩地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,是南方各省岩溶地区主要供水水源。也是矿床充水、矿山建设的主要威胁,因而地下河成了岩溶水文地质工作研究的主要对象,它的分布、埋藏、水质、水量、开发治理就成了研究的课题。

地下河分布在什么地方?那些部位最发育?受什么因素控制?这是研究地下河时需要优先考虑的问题,这些问题的解决不仅为进一步寻找地下河指出方向,而且有助于地下河的开发与治理。

本文主要讨论地下河的分布特征、发育强度、富水区、结构形态、主要的发育层位和构造部位等方面的问题。主要的资料依据是各省地矿局近年来完成的1/20万水文地质区测报告及我们所编制的“中国南方地下河分布图”。为了便于对比,在选择各报告中所列地下河的流量时,考虑了两点:(1)地下河的枯季流量不小于50升/秒,小者不列入统计范围;(2)地下河的流量如属于非枯季测流值,则按枯洪比例换算成枯季流量。

一、地下河的分布

我国南方地下河主要分布于秦岭以南、云南昆明以东、桂林宜昌一线以西,涉及到东经 $102^{\circ}\sim 111^{\circ}$,北纬 $22^{\circ}40'\sim 32^{\circ}00'$ 的广大地区。广西、贵州、云南、四川和湖南五省进行1/20万水文地质普查时查明的地下河大约有2836条,总长为13919公里。流量达 $1482\text{米}^3/\text{秒}$ (表1),其中尤以黔、桂、滇东最为发育。

这一地区有海拔2000~2500米的云贵高原、海拔约500米的四川盆地,还有广西的岩溶峰林平原,地形变化复杂。大地构造上处于扬子准地台的西南部。

(一)云贵高原向广西盆地过渡的地貌斜坡地带,包括滇东南、黔东南、桂西部分地区、碳酸盐岩大面积出露,褶皱平缓,地形切割强烈,地下河表现为:

1.流程长,汇水面积大。主流长达数十公里,汇水面积达数百平方公里者几乎全都分布在这些地区,如著名的广西地苏地下河长达45公里,汇水面积近1000平方公里,贵州罗甸大小井地下河长有65公里。

表 1 中国南方地下河发育长度和流量统计表

Table 1 Statistical table showing the length and the discharges of Subterranean rivers in S. China

地 区	碳酸盐岩 分布面积	地下河条数		地下河长度		地下河流量	
	平方公里	条 数	%	公 里	%	米 ³ /秒	%
广 西	95397	433	15.3	2051	14.8	230	15.5
贵 州	92534	1076	38.0	6640	47.7	572	38.5
云 南	57300	189	6.4	1473	10.7	138	9.3
四 川	39257	566	20.1	2443	17.4	200	13.4
湖 南	18650	572	20.2	1312	9.4	346	23.8
合 计	303138	2836	100	13919	100	1482	100

注：①碳酸盐岩分布面积系根据 1/20 万水文地质区测资料统计；
 ②湖南省只有部分地区参加统计，并为偶测流量，未加换算；
 ③云南省未包括滇西。

2. 地下河的埋深大，地下水垂直循环带厚，一般都在数十米至 100 米以上。水力坡度陡，大者可达 20%。

3. 结构形态复杂，树枝型地下河分布普遍，主流、支流清晰，管道明显，规模壮观。

4. 集中排泄量大，地下河岩溶水资源丰富，常为地表河的源头。

(二) 长江和珠江分水岭地带，包括贵州中部都匀到贵阳至安顺一带，短轴背、向斜发育，地形切割不强烈，地势平坦，地下河表现为：

1. 源近流短，规模不大，主流长度一般数公里，少数超过十公里，汇水面积一般为数十平方公里。地下河流量小，枯季流量大多为每秒几百升。

2. 埋藏浅，水力坡度小，地下水垂直循环带厚度薄，一般小于 20 米，埋藏浅者只有数米。仅在大河谷坡地带埋深可超过百米。

3. 地下河与地表河交替出现。形态多样，袭夺频繁。

(三) 川黔线状褶皱带，包括川东南、黔北、滇东北、鄂西和湘西部分地区，北东向华夏系构造发育，可溶岩与非可溶岩相间呈带状分布，地形上为条形谷地，地下河基本上沿构造线延伸，以单管型地下河为主，长度短小，一般在数公里范围。

(四) 广西岩溶峰林平原，地下河埋藏浅，分支多，水力坡度平缓，出现虹吸承压管道，地下河发育深度不受当地侵蚀基准面控制。

二、地下河发育强度分区

地下河发育规模大小不一，长者达数十公里，短者几千米，汇水面积大者超过 1000 平方公里，小者在几平方公里的范围，我们对 2495 条地下河统计的结果（表 2）得出：主流大于

40公里者只占0.44%，小于10公里者高达92.88%，说明象广西地苏那一类主流长度超过40公里的地下河在我国南方占极少数，总体看来，仍以短而小的地下河为主。

表2 中国南方地下河长度分类表

Table 2 Classifications of subterranean rivers in S. China according to length

地区	>40			40~20			20~10			<10			地下河总数	
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	条数	%
广西	4	0.9	36.3	32	7.4	52.4	36	81	34	371	83.6	16	443	17.7
云南	4	2.12	36.3	5	2.64	8.2	18	9.53	17	162	85.5	7.02	189	7.57
贵州	3	0.28	27.4	17	1.58	27.8	45	7.96	43	1011	93.9	43.8	1076	43.1
四川				5	0.89	8.2	6	1.06	5	555	98.05	24	566	22.9
湖南				2	0.905	3.4	1	0.45	1	218	99.64	9.2	221	8.7
总计	11	%		61	%		106	%		2317	%		2495	
		0.44			2.44			4.24			92.88			

注：I——地下河条数； II——占各省地下河总数的百分数； III——占本类长度的百分数。

地下河发育强度涉及两个问题：一是条数，二是长度，条数在概念上不包括长度，长度不涉及面积，因而都难以反映地下河发育程度，为了便于各区相互对比，考虑长度、面积两因素，采用地下河发育强度指标(I)作为衡量标准，它定义为：碳酸盐岩单位面积上地下河的发育长度。对某一地区，设地下河总长度为l(米)，碳酸盐岩出露面积为A(平方公里)，则：

$$I = l/A \text{ (米/平方公里)}$$

根据我国南方实际情况，把地下河发育强度分为三级：强发育区 $I > 100$ (米/平方公里)，中等发育区 $I = 100 \sim 50$ (米/平方公里)，不发育区 $I < 50$ (米/平方公里)(图1)。

(一)强发育区分布在大河流及其支流两岸，主要出现在：

1.红水河流域的广西都安，贵州罗甸等地区，地下河发育强度指标平均为124米/平方公里，罗甸地区最大可达190米/平方公里。

2.长江流域的四川重庆，涪陵等地，地下河发育强度指标达180米/平方公里。值得指出的是：这些地区碳酸盐岩分布面积不大，只占整个面积的10%，但短而小的地下河数量极多，发育比较密集。

3.大面积灰岩分布的地形斜坡地带，如贵州独山地区，地下河发育强度指标高达189米/平方公里。

(二)中等发育区分布较广，面积约占32%，主要分布在长江和珠江分水岭两侧，包括川东南、黔北广大地区，发育强度 $I = 67.8$ 米/平方公里。

(三)不发育的地区分布在大江河的分水岭，主要展现在：

1.长江与珠江分水岭地区，包括贵阳、都匀苗岭山脉延伸地区，地下河很不发育，地下河发育强度指标平均只有23.19米/平方公里。

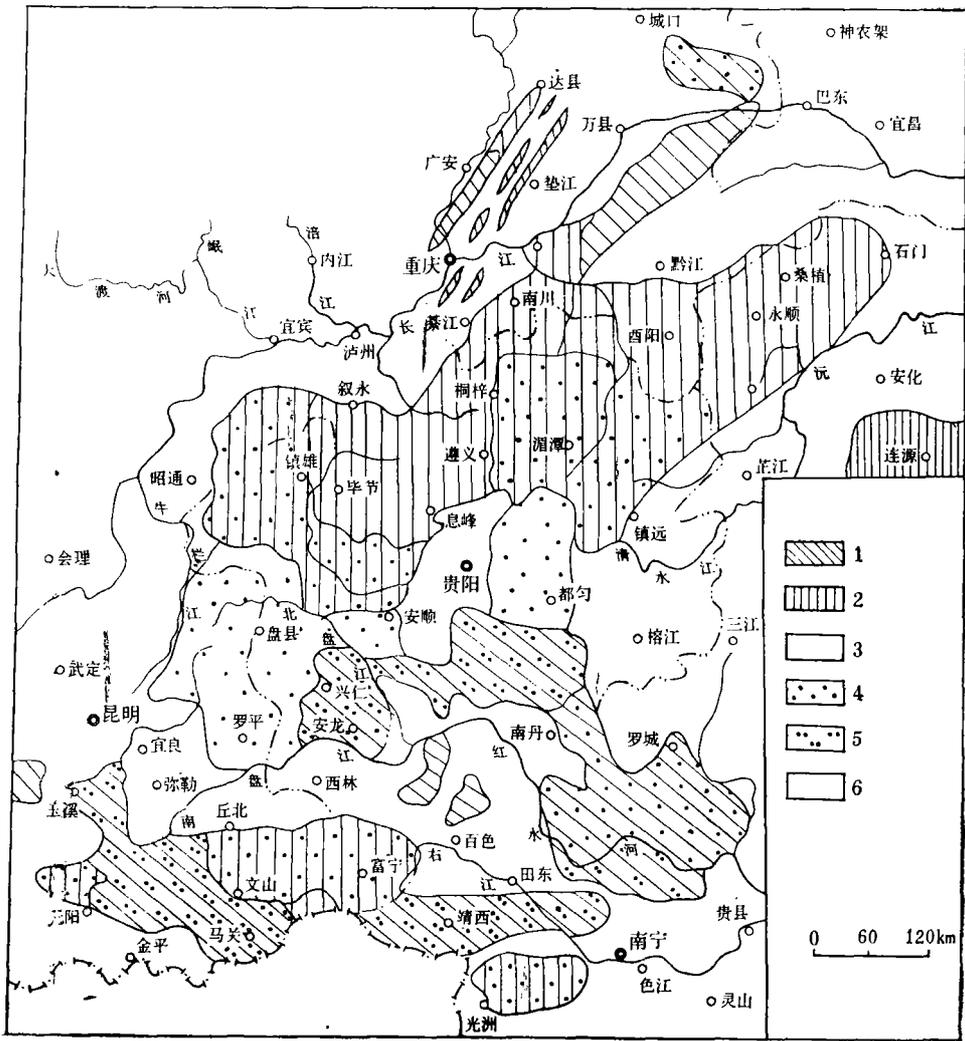


图 1 中国南方地下河发育程度和富水性分区示意图

Fig. 1 Sketch map showing different regional characteristics and its distribution of subterranean rivers in S.China divided by development degree and aquiferous properties

- 1. 强发育区 ($I > 100\text{m}/\text{km}^2$) 2. 中等发育区 ($I = 50 \sim 100\text{m}/\text{km}^2$) 3. 不发育区 ($I < 50\text{m}/\text{km}^2$)
- 4. 富水区 ($q > 3 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$) 5. 中等富水区 ($q = 1 \sim 3 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$) 6. 不富水区 ($q < 1 \text{ l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$)

2. 金沙江、南盘江、红水河分水岭地区，地下河发育强度只有25.43米/平方公里。

综上所述，我国南方地下河在区域展现出分带规律：从长江和珠江分水岭向北延伸到长江沿岸，向南延伸到红水河、地下河由不发育到中等发育到发育这样一个区域性变化规律。但由于岩溶发育不均一，局部构造和地貌的影响，使得它们参差不齐，有些地方表现不很清楚。

三、地下河富水程度分区

我国南方地下河水资源十分丰富,据广西、贵州、云南、四川、湖南五省不完全统计,地下河水量可达1482米³/秒(表1),丰富的地下河水已为工农业提供了重要的水源,然而,这些水量在时间和空间上分配极不均一,大小流量级差明显,大者枯季流量每秒数千升,小者只有每秒几十升,相差几个数量级。

据我们所编制的“中国南方地下河分布图”所选择的513条地下河的流量资料统计结果是:流量在500~100升/秒之间居多,约250条,占48.7%,当然统计数字不一定完全正确,但是枯季流量达每秒数千升的地下河总是少数,这一点认识不会有有多大出入。

地下河水资源是否丰富取决于两因素,一是补给量;另一为汇水面积,前者具体反映为地下河的排泄量,后者表现为碳酸盐岩的出露面积,考虑到这两个因素,我们采用富水性指标(q)作为衡量地下河富水程度的标准,它定义为:碳酸盐岩单位面积所流出的水量,对某一地区设碳酸盐岩出露面积为 A ,地下河出口流量为 Q ,则

$$q = Q/A \text{ (升/秒} \cdot \text{平方公里)}$$

据地下河流量级差情况,按三级划分,富水区 $q > 3$ (升/秒·平方公里);中等富水区 $q = 1 \sim 3$ 升/秒·平方公里,不富水区 $q < 1$ 升/秒平方公里(图1)。

(一)富水区,主要分布在:

(1)云贵高原向广西岩溶峰林平原过渡的斜坡地带,包括黔东南、桂西大面积碳酸盐岩分布区,富水性指标为3.1~7.3不等(表3)。

表3 某些地区地下河富水性指标统计表

Table 3 Statistical table showing the aqueous index of subterranean rivers in some regions

地区	1/20万 图幅 名称	碳酸盐岩 出露面积 (公里 ²)	枯流量 米 ³ /秒	富水性指标 升/秒·公里 ²
广西	田林	2258	9.5	4.2
	靖西	4558	14.0	3.01
	大新	3298	11.5	3.5
	南宁	2543	11.1	4.4
贵州	兴仁	4970	18.2	3.6
	罗甸	4792	35.2	7.3
	独山	4449	13.9	3.8
	安龙	4100	22.5	5.4
云南	东川	3061	11.8	3.8
	锁雄	3595	19.9	5.5
	马关	3327	10.3	3.1
	富宁	2755	9.9	3.6

(2) 滇东南向广西过渡地区, 如富宁、马关等地, 富水性指标为 3.1~3.6。

(3) 广西西部碳酸盐岩大面积分布区, 如大新、靖西等地, 富水性指标为 3.1~4.4。

(三) 中等富水区及不富水区, 这两区分布广, 前者富水性指标在 1.29~2.87 之间, 地下河流量以 100~500 升/秒居多。后者富水性指标为 1 左右。

分析上述三区的展布后, 不难得出如下认识: 地下河富水区的分布并不普遍, 具有相对集中的特点, 主要分布在云贵高原向广西峰林平原过渡的地貌斜坡地带以及大面积灰岩出露的地区。

这些地区地下河水资源丰富的主要原因是:

1. 贮存条件优越, 由于碳酸盐岩大面积分布, 岩溶十分发育, 溶蚀管道和溶蚀裂隙构成大量的贮水空间, 岩体贮水能力强, 地下水有优越的贮存条件。

2. 保存条件良好, 由于地处斜坡, 地下河埋藏深, 垂直循环带厚, 水流途径远, 保存条件好。

3. 汇水条件有利, 由于岩溶垂直形态遍布, 洼地、落水洞特别发育, 其汇水能力特别强。

四、地下河结构形态分区

地下河是由错综复杂的管道系统组成, 它的结构特征不单控制着地下河的分布, 而且也影响到地下河的发育规模, 特别是岩溶水的贮存、补给、迳流和排泄严格受到地下河结构形态的制约。

1. 单管型地下河在平面上呈线状分布, 只有主流, 没有支流(多沿构造线纵向延伸), 常发育在河谷斜坡地带及碳酸盐岩带状分布区, 如川东线型复式褶皱带, 黔北紧密褶皱区。

2. 树枝型地下河是上游有数条分支, 向下游逐渐汇合, 支流以不同的锐角注入主流, 地下河如同一丛树枝, 其分枝多, 流域面积广, 汇水面积大。发育这类地下河必须具备的基本条件有两个: 一是碳酸盐岩大面积出露; 二是褶皱比较平缓。主要分布在黔东南、滇东南、桂西等地。

3. 环状地下河常受旋转构造控制, 发育在旋转构造的外缘, 分布在滇东南的富宁、广西田林等地。

上述资料可归纳为: 单管形地下河多发育在长江与珠江分水岭以北广大紧密褶皱区, 碳酸盐岩呈条带状分布, 地下河沿构造线纵向发育。树枝型和网格型地下河多分布在长江与珠江分水岭以南, 碳酸盐岩大面积出露区。环状地下河多与旋转构造伴生。

五、地下河发育的主要层位

我国南方各时代地层发育有巨厚碳酸盐岩系, 不同时期, 不同层位, 因沉积环境不同, 其化学成份、矿物组成、结构构造, 沉积韵律各具特色, 导致各时代碳酸盐岩中地下河的发育程度有明显差异。

据黔西、黔东、滇东南统计结果(表 4):

表4 不同时代地层中地下河发育程度统计表

Table 4 Statistical table of development degree of subterranean river in different stratum

地层 项目 地层时代	黔东南			黔西			滇东			川东南			总计	
	条数	长度	流量	条数	长度	流量	条数	长度	流量	条数	长度	流量	条数	长度
Pt							23		3.77				23	
Zb							6		1.39				6	
ε	158	582.8	95.5	22	78.6	3.01	12		3.3	80	137.3	28.3	272	798.7
O	32	113.4	11.6	2	10.3	0.12	1		0.06	44	7.75	24.4	79	131.5
D	16	81.9	2.36	9	29.4	0.02	32		2.39				57	111.3
C	62	60.64	12.9	137	74.99	0.34	23		22.6				222	135.6
P	145	618.6	3.7	244	1661.6	122	55		5.08	151	582	74.4	595	2862.2
T	73	255.2	1.05	292	1195	73.6	37		32.5	278	1098	64.9	680	2548.5

注：(1) 长度单位为公里；流量单位米³/秒； (2) 总计的长度不包括滇东。

1. 除志留系因缺失碳酸盐岩外，其余各系地层都有地下河发育；

2. 地下河发育的最优层位是二叠系和三叠系地层，泥盆系虽然厚度大，但因白云岩所占比例较大，地下河数量不多。

二叠系地层特别是下统灰岩地下河特别发育，以贵州为例，其总长度约为2014公里，占地下河总长度的65%，该系地层成为地下河发育的主要层位其原因为：

1. 二叠系阳新统灰岩在我国南方各省分布广泛，发育良好，出露齐全。

2. 二叠系阳新统灰岩以海相沉积为主，方解石含量高，Ca/Mg 比值较大，酸不溶物含量少，具备良好的溶蚀条件（表5）。

表5 扬子准地台碳酸盐岩平均成分表

Table 5 Average composition of carbonate rocks in the Yangtze Paraplatform

时代 成份	T	P	C	O	ε ₂₊₃	ε ₁	Zb
方解石	64.45	89.12	76.95	75.64	13.91	42.8	16.17
白云石	28.74	7.49	21.28	15.48	78.43	51.1	76.28
不溶物	5.91	3.99	1.27	8.35	6.94	5.53	7.04

（引自《中国岩溶研究》）

3. 二叠系是我国碳酸盐岩沉积盛行时期，灰岩沉积厚，岩相稳定，难溶夹层少而薄，形成均匀状灰岩层组。

六、地下河发育的主要构造部位

构造破裂缝为地下水提供活动场所，为地下河发育创造原始通路，各种构造形态诸如背斜、向斜、断层都可使原生地层产生裂隙，不同构造形态破裂缝其形成机制不同，对地下河的发育产生不同的控制作用。

据 929 条地下河统计结果（表 6）得出：断层是地下河发育的最佳部位，沿断层发育的地下河总长达 2402.7 公里，占统计总长度的 49%，为沿背斜发育的 1.6 倍，为沿向斜发育的 2 倍，沿断层发育的地下河流量也最大，达 202 米³/秒，值得注意的是沿断层发育的地下河总条数并不是最多，只有 234 条，约占 25%，比沿背斜和向斜发育的条数少得多，这说明沿断层发育的都是大型地下河。

表 6 不同构造部位地下河发育程度统计表

Table 6 Statistical table of development degree of subterranean river in different stratum

构造形式	地下河条数		地下河发育长度		地下河流量	
	条数	%	公里	%	米 ³ /秒	%
背斜	367	39.5	1466.5	29.8	181	40
向斜	328	35.3	1043.1	21.2	86	17
断层	234	25.2	2402.7	49	202	43
合计	929	100	4912.3	100	469	100

结 语

根据各省 1/20 万水文地质区测所查明的大约 2836 条地下河和我们所编制的“中国南方地下河分布图”，统计分析得出：

1. 从长江和珠江分水岭向北延伸到长江沿岸，向南延伸到红水河，地下河由不发育、中等发育到发育，展现出区域性分带规律，不过由于岩溶发育的不均匀性及局部因素影响，区域性分带规律受到一定程度的干扰。

2. 地下河的富水区比较集中，主要分布在云贵高原向广西峰林平原过渡的地貌斜坡地带，这里地下河流量大，地下水资源丰富。

3. 地下河结构形态可分为单管型、树枝型和网格型。它们与区域构造类型关系密切，前者与紧密褶皱伴生，分布在长江和珠江分水岭以北，后者分布在长江和珠江分水岭以南，大片碳酸盐岩地区。

4. 各时代碳酸盐岩中都有地下河发育，但以二叠系和三叠系为主，地下河的数量最多，

泥盆系地层中地下河最不发育。

5.为地下河发育创造条件的主要构造形态是：背斜轴、向斜轴、转折端、断层、区域裂隙，在这些构造形态中断层是地下河发育的最佳部位，地下河最易沿断层发育。

参加研究工作的还有罗彬全及学生10人。

DISTRIBUTION OF SUBTERRANEAN RIVERS IN SOUTH CHINA

Yang Lizheng

(*Chengdu College of Geology*)

Abstract

Subterranean rivers in S. China cover a vast area between $102^{\circ}\text{E}-110^{\circ}$ and $22^{\circ}40'\text{N}-32^{\circ}00'$. According to incomplete statistics on Guangxi, Guizhou, Yunnan, Sichuan and Hunan provinces, there are about 2836 subterranean rivers totalling 13919 km in length, with a discharge up to $1482\text{ m}^3/\text{s}$. A regional zoning of subterranean rivers from undeveloped to developed is displayed, extending from the watershed between the Changjiang River and the Zhujiang River northward to the Changjiang River and southward to the Hongshui River. The water-bearing sections of the underground rivers are mainly distributed in the transitional sloping terrain between the Yunnan-Guizhou Plateau and the matured karstic plains of Guangxi. The structural patterns of the subterranean rivers may be divided into three types: single tube type, dendritic type and trellis type. They are closely related to the regional geologic structures, the single tube type associated with tight folds is distributed in the Changjiang River valley, whereas the dendritic type is distributed over a large area of carbonate rocks in the Zhujiang River valley. Although they are all developed in carbonate rocks of various ages, most of them are developed in the Permian and Triassic ones, and less developed in the Devonian ones. The geological structures that favour the development of underground rivers include the anticline, the axial part of a syncline, faulted and regional fissured zones, and the turning point of a fold, among which faulted zone is the most favourable.