

广西岩溶水文地质特征及其资源*

李国芬

(地矿部岩溶地质研究所)

摘 要 广西具有岩溶发育和岩溶水赋存最优越的地质地理条件,形成了典型的岩溶地貌。不同的岩溶地貌类型在很大程度上控制岩溶水的富集和分布。区内有 > 50 l/s 天然水点七百余处,地下河 604 条。大多数地区岩溶水资源模数 > 40 万 $\text{m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ 。红水河中游东西两侧,岩溶水资源最丰富,地下河规模最大。红水河中下游、柳江中游、右江下游及左江上游北岸,岩溶水资源丰富,地下河发育密度最大。全区补给资源量为 484.04 亿 m^3/a ,最枯排泄总量为 144.76 亿 m^3/a 。

关键词 岩溶水文地质特征 岩溶水资源 广西

广西岩溶面积为 9.6 万 km^2 ,占全区总面积的 4%,是我国岩溶发育最强烈的地区。在地表,造就了我国典型热带岩溶峰丛峰林地貌景观;在地下,岩溶管道、溶隙十分发育,形成了众多大流量的地下河和大泉,其中多有发育完善的地下河系。就岩溶水赋存空间区域的总体发育情况而言,在中国乃至全世界,均首屈一指。大多数地区岩溶水资源模数 > 40 万 $\text{m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$,是我国岩溶水资源最丰富的地区。

1 岩溶地下水的补给

降雨是岩溶水的主要补给源。本区年降雨大多在 1200~1800mm。降雨通过地表溶洞、溶隙补给岩溶水。在不同地区,具不同的补给方式。在桂西的大部分地区,尤其是红水河中、上游及左、右江流域,岩溶水以管道赋存为主,降水通过广布在峰丛洼地、谷地中的漏斗、落水洞、溶井、地下天窗等垂直形态,集中注入式补给为主。桂西的峰丛山区,封闭洼地多(每百平方公里最多可达到三百多个),消水能力很强,降水几乎全部沿洼地中的落水洞等注入地下。在大新一带,洼地中消洪洞的消洪量大者可达到 10~30 m^3/s 。因此,在这些地区地表水系不发育或无地表河溪,或仅在雨季有暂时性地表溪流;在桂东及岩溶零星分布区,或渗入式和注入式补给并重,或渗入式补给为主;在岩溶盆地和平原,主要为渗透式补给。

* 《1:400 万中国岩溶水文地质图》项目部分成果,成果获 1994 年地质部科技成果二等奖。
作者简介:李国芬,女,1939 年出生,高工,1960 年毕业于昆明工学院地质专业。(541004)广西桂林市七星路 40 号。
收稿日期:1995-10-25;改回日期:1996-01-27。

相邻非岩溶区的地表、地下水是岩溶水的重要补给源。非岩溶区的地表溪流进入岩溶区后,常通过进水洞、漏斗、落水洞消入地下;在岩溶区周边,基岩裂隙水、第四系孔隙水对岩溶水的侧向潜流补给也很普遍。这种来自非岩溶区的水,对碳酸盐岩具有较高的溶蚀性,从而在接触带常形成规模宏大的洞穴、溶井和大断面的地下河,如东兰地区的列宁岩,高42.8m,宽60m,长600m,是当年韦拔群创办农民讲习所的旧址;巴马所略地下河的入口高达50m,宽20m余,人可通行长度近4km;乐业地区深大的溶井,如血泪洞,深在80m以上,这种非岩溶区的侧向补给,不仅增强岩溶发育强度,而且也增强了岩溶水的富水性。巴马一带的坡月、所略、坡心三条地下河的侧向补给量均达到 $0.68\text{m}^3/\text{s}$ 以上,在雨季,甚至高达数十立方米每秒。在桂林一带,有7条地下河受侧向补给,其补给量占年总径流量的37%。在有侧向补给的海洋至南圩,径流模数为 $35.71/\text{s}\cdot\text{cm}^2$,而无侧向补给的漓江两岸峰丛洼地,径流模数仅为 $28.41/\text{s}\cdot\text{km}^2$ 。

蓄水、引水工程渗漏及灌溉水回渗,也是岩溶水的一种重要补给源。本区水库星罗棋布,灌渠纵横交错。建国以来兴建蓄水工程数千处,但水库实际效益较差,渗漏量大。据来宾地区统计,武宣平田水库、来宾樟村水库、象州丰收水库等蓄水工程的渗漏量达到数万至数十万立方米每天,而直接补给岩溶地下水;灌溉渠道的沿途渗漏亦很严重。据对贵县地区的调查,道充水后,附近地下河和泉的流量增大2~4倍。又据龙州、扶绥县水电局的统计,渠道水的利用率仅为40~50%,其中水口~下冻的峒桂渠道,长30km,沿途渗漏量达 $3.48\text{m}^3/\text{s}$,占渠道总流量的80%。无疑,这些渠道渗漏水也都通过渗流的方式被给附近岩溶地下水。此外,在农田分布区,岩溶水也受到灌溉水的回流补给。

地表水的倒灌补给,也是岩溶水的补给源。本区河川一级支流的中、下游,坡降较平缓,雨季河水泻泄不畅,沿河两岸常接受河水的倒灌补给,尤其是出口位于河岸的地下河,因其坡降较缓,在雨季接受河水的倒灌补给比较明显。红水河沿岸是地下河的主要排泄区,宜山地区1号地下河经河水倒灌后,抬高水位的影响范围,从出口往上游,可达到9km。郁江流域的小河口、三江口,及贵县一带次级支流,每年雨季多产生回水倒灌,同时在洼、谷地出现涝灾。在红水河支流,存在低于河床的下伏岩溶,两岸可见河水的补给,到枯季,河槽呈现干枯。

2 岩溶地下水的径流

本区在侵蚀基准面以上,从补给区到排泄区,同时存在管道流和隙脉流两种基本径流通道;在侵蚀基准面以下,管道流向深部逐步过渡为隙脉流。管流多为非承压流,但百色、德保一带的地下河天窗多为未见流天窗,说明局部也是有压流。在地理位置上,桂西以管流为主,隙脉流为次,而桂东则管流与隙脉流并存。

地下径流的埋深:桂西北高峰丛山区,枯水位埋深 $>100\text{m}$,乐业带最深者达到200m。桂西南至桂中的峰丛、峰林区,枯水位埋深大于50m。上述地区,地下水深埋,地表干旱,但到雨季,大量洪水从地下河天窗溢出,造成部分谷地涝灾;而在桂东南,地下径流埋深多 $<10\text{m}$ 。

地下径流的地表显示:大量资料表明,地下径流集中之处,如地下河流径处,多有明显的地表标志,洼、谷地、漏斗、落水洞、地下河天窗、溢洪洞、塌陷等呈线状排列。在汛期,洪水从补给区向排泄区呈线状消泄。

地下径流常构成各自完整独立的水文地质单元,相当一部分地下河具有独立的补、径、排

系统 另一方面,由于地下河的发育,抑制地表水文网的发育,二者具有相互消长的关系,在地下河密集的地区,几乎无地表河溪,或仅在雨季有暂时性地表溪流,密布的地下河系代替了地表水文网;反之,在地表水文网发育的地区,地下河的数量便较少。

本区岩溶地下径流突出表现为管通的线状富集,高度集中的点状排泄 一方面具有较多、较大的贮水空间——发育良好的地下河系、规模较大的天窗、消溢洪洞、溶潭,另一方面却横向水力联系差,垂向见洞率低,供水钻孔成井率低。据对东兰一带 98 个钻孔的统计,遇洞率仅 34.7%,其中 6 号孔打在规模宏大的所略地下河附近,降深达到 26.85m 时,涌水量仅 5l/s,而 6 号孔不远处该地下河天窗的枯流量却达 650l/s,含水极不均匀。也由于此,含水层保水能力差。一方面枯期地表干旱,在补给径流区更是旱灾严重,而在汛期,地下河排泄量十分壮观,以比枯季大十几倍至几十倍,乃至上百倍的流量泻泄,致使许多洼地、谷地涝灾。

地下径流纵剖面具有多样性 在村西的高峰丛洼谷地区,地下河坡降较桂东南大,一般 8‰~50‰,而桂东南南宁、贵县一带为 1‰~3‰。地下河一般具均衡剖面特点,但在南丹、大新一带,规模较大的地下河,其纵剖面又常具反均衡剖面特点,如黄后地下河系的主流,具有多级反均衡剖面;在桂西南,地下河更以多级地下跌水甚至出现落差数十米的地下瀑布为特色;排入红水河及右江的地下河,其下游常常具有深、浅两层管道和高、低两个排泄口;也有因管道的向深发育而形成的虹吸管流,如龙江虹吸循环带眶吸管流。这些都说明管道的纵剖面具有多样性,其空间展布具有三维性。

地表、地下径流具有互补和频繁转换的性质。一些地下河出口后成为地表小河的源头,而在径流途中,沿河又常常分散注入地下。东兰一喧部分地下河和泉出口,成为红水河支流的源头,又百色红泥坡背斜北翼的地下河出口也多成右江次级支流的发源地;一些地下河与地表河呈明暗相间,频繁转换,如乐业百郎地下河的中上游呈明、伏流交替,以伏流为主。

地下径流具有迁移改造性 由于地下通道在汛期的随机堵塞,地下径流具有比地表河汉更灵活多变的迁移改造性,可能出现局部或全部的改变。

3 岩溶地下水的排泄

珠江支流红水河、左江、右江、柳江、漓等江河,构成本区岩溶水的最低排泄基准面。岩溶水以地下河和大泉的集中排泄为主。在雨季,还有许多溢洪天窗、溢洪洞、溶潭、溶井季节泉等临时性排泄口。

绝大多数地下河分布于桂西和桂中的峰丛洼谷地位。70% 以上的岩溶水由地下河集中排泄于红水河流域、左江、右江流域及其支流两岸。在红水河北岸,更集中排泄了区内几条最大地下河系的水量。少量岩溶水以泉形式排泄。一些地下河具双层出口,低层出口有常年性水流,高层出口则仅在雨季排洪。一些地下河呈深潭式,或呈分散泉群式。部分天窗、溶潭、溶井仅在汛期溢流;在桂东及碳酸盐岩零星分布区,地下河排泄和泉排并重,地下河规模较小,天窗、溢洪洞数量减少。地下河和泉水主要排泄于柳江、漓江及其支流沿岸以及谷地、盆地边缘。在孤峰平原和岩溶盆地,多有上升泉。

广西岩溶水天然水点的集中排泄量,是我国其他省不能比拟的(见图 1)。计有枯流量 > 50l/s 的天然水点 700 余处,> 1m³/s 的地下河 70 余条,其中枯流量 > 2m³/s 的地下河就有 20 多条。在桂西和桂中,平均每 1000km² 面积内,有枯流量 > 1m³/s 的地下河 1~2.5 条。地下河

的常见枯流量为几百至 3000l/s 岩溶泉的常见流量为数十至数百升每秒;在桂东,地下河常见最枯流量几十至几百升每秒,最大者也达 $1\text{m}^3/\text{s}$ 以上。而岩溶泉流量多在 10~ 50l/s 从地下河的发育密度看,以桂西北和桂西南的高峰丛洼、谷地区,地下河的数量最多,占全区地下河总数的一半以上,平均每 1000km^2 范围内,有地下河 6~ 12.8条

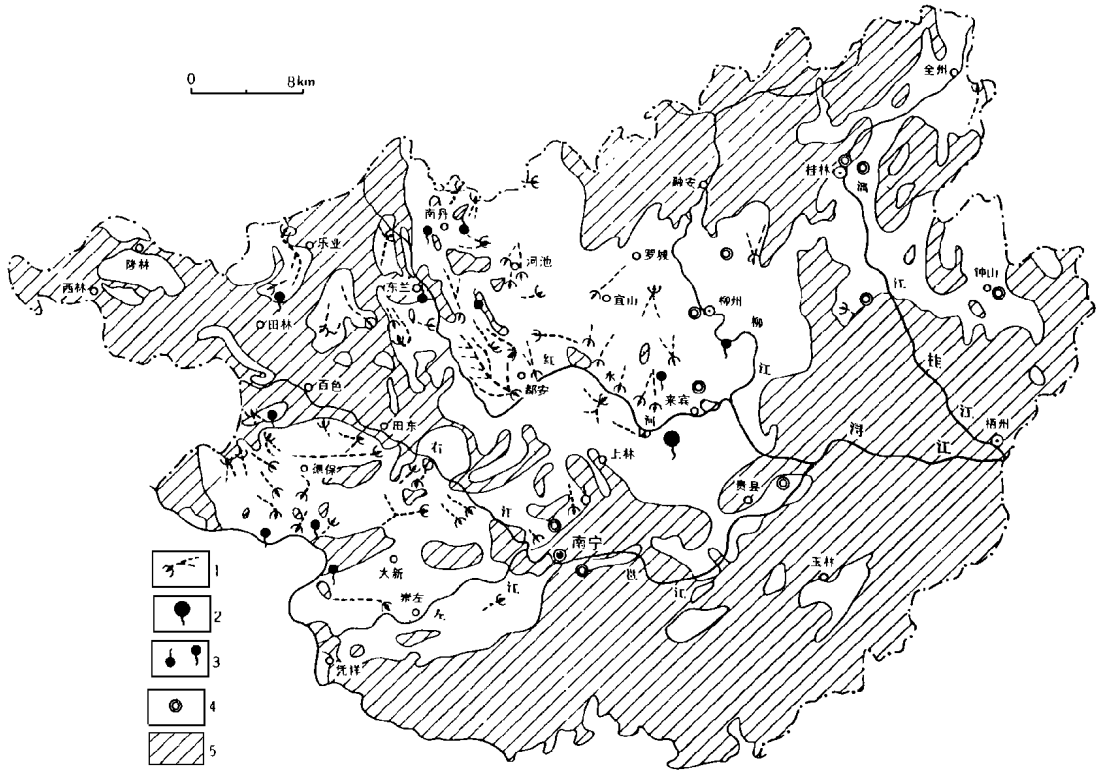


图 1 广西大流量水点分布图

Fig. 1 Map showing distribution of high-yield water points of Guangxi

- 1. 地下河 (主流长度 > 10km, 平均流量 > 1000l/s);
- 2. 下降泉 (平均流量 > 1000l/s);
- 3. 上升、下降泉 (平均流量 500~ 1000l/s);
- 4. 钻孔 (单位涌水量 > $1000\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$);
- 5. 非碳酸盐岩

本区地下河的发育规模和发育的完善程度,也是其他省不能比拟的。在桂西和桂中的岩溶管道发育区,地下河多发育成具有二、三级支流,平面展布呈羽毛状、树枝状等多种形态,纵剖面具有多层性和多样性,空间展布具有三维性的地下河系。主流长度多在十几公里至几十公里,汇水面积数十至数百,甚至上千平方公里。如地苏地下河系平面展布呈树枝状,有支流 16 条,主、支流总长逾百公里,汇水面积达到 1080km^2 ,是广西乃至全国最大的地下河系。地下河管道规模宏大,在东兰、巴马一带的地下河排泄区,常有高达十几米,宽 5~ 6m,可乘竹筏进入数百米的水平管道。有侧向补给的地下河,其规模更加宏伟,如巴马一带坡丹、坡心所略 3 条地下河,无论出口、入口或天窗,均高达二、三十米,宽几十米,人可进入数百米至数千米。地下河多有连续发育的天窗和消、溢洪洞。据对靖西、德保一带 32 条地下河的统计,有天窗 80 多个。百色地区 8 条地下河有天窗 48 个。崇左、凭祥地区 23 条地下河有天窗 90 个。地下河天

窗在雨季排洪,在旱季则成为抽水、提水的有利处所。

4 岩溶地下水的动态

本区岩溶地下水的动态大多属气象型,好流量,水位随季节的演变呈相应周期性变化。由于年内降雨量的月际分配不均,大多数地区天然水点的洪、枯期流量悬殊。在雨季,水位、流量呈峰值,到旱季则跌入低谷。对每一次降雨过程而言,迅速出现水位、流量高峰。

岩溶水动态暴涨暴落的极不稳定和不稳定性特征,与其他省份相比更典型。在桂西、桂中、桂东北广泛分布的峰丛洼地,多系岩溶水的补给、径流区,水力坡降较大,水位年变幅多在 20~50m。红水河流域的中、上游,水位年变幅多 > 50m,流量年变幅二、三十倍到百余倍。对于一次降雨过程,一般数小时至两天内出现水位和流量峰值。在峰林谷地地区,流量年变幅几倍至二、三十倍,水位年变幅几米至二、三十米。在桂东南碳酸盐岩零星分布的谷地、盆地、孤峰平原区,海拔高度降至几十米到二、三百米,水位、流量峰值滞后时间较长,水位年变幅 < 10m,流量年变幅 < 10倍,动态呈现较稳定至不稳定型。

此外,在红水河、柳江、黔江等江河两岸 1km 范围内,为水文动态型。地下水受河水水位涨落的影响,其动态与河水动态相似,滞后河水涨落 1~2 天,水位年度幅 12~22m。

5 岩溶地下水资源

地区碳酸盐岩的富水性,受岩性、构造、地貌的影响,具有较大的差异。在特定的地质、水文地质条件下,地貌类型的不同,不仅直接影响岩溶水的富集和分布,而且控制岩溶水的埋藏深度。岩溶水富集程度的总趋势是,由峰丛洼地→峰林谷地→孤峰岩溶平原,碳酸盐岩的富水性逐渐增强。

峰丛洼地多是补给区,岩溶水初始分散径流,后汇入地下河。由于水力坡降较大,枯期水量保存较少,加上水位埋深较大,地表干旱缺水。

峰林谷地(直到岩溶平原),由径流过渡为排泄区,垂直岩溶转为水平岩溶。岩溶水富集程度增高,多系岩溶水的富集地段。地下河出口、溶潭、有水溶洞、岩溶泉水较多。水位埋深较浅,枯期保存水量较多。对桂林地区的一些水点抽水,会造成几十个甚至上百个塌陷点,且钻孔涌水量 > 1000m³/d 的命中率达到 50%,说明横向水力联系增强,含水相对均匀,且富水性较强。

在与非岩溶区的接触带,由于外源水的补给,岩溶强烈发育,富水性较强。桂林地区 90% 以上的地下河和大、中泉水,分布于与非岩溶区接触带的峰丛、峰林谷地边缘。

广西大多数地区岩溶水资源模数 > 40万 m³/a·km²,表明比其他省(区)有更丰富的岩溶水天然资源。

红水河中游东西两侧,东兰至都安一带,资源模数 > 80万 m³/a·km²,岩溶水资源最丰富,地下河的发育规模最大。

红水河中下游、柳江中游、右江下游、左江上游北岸,含南丹、河池、宜山、罗城以南,来宾以西,西至凌云、乐业,南至田东、德保、靖西、大新、崇左一带,资源模数 60~80万 m³/a·km²,岩溶水资源丰富,地下河发育密度最大。

南宁、上林、来宾、柳州、桂林、全州一线以南,及河池、宜山、罗城一线以北,南丹以西,资源

模数 $40 \sim 60 \text{万 m}^3 / \text{a} \cdot \text{km}^2$, 岩溶水资源较丰富。

全区多夹层及不纯碳酸盐岩零星分布区, 资源模数 $< 40 \text{万 m}^3 / \text{a} \cdot \text{km}^2$, 岩溶水资源相对较少。

全区岩溶水资源计算面积为 96372km^2 , 占广西总面积的 41% 。按降雨入渗量法计算, 补给资源量为 $484.04 \text{亿 m}^3 / \text{a}$ 。按枯季径流模数法计算, 最枯排泄总量为 $144.76 \text{亿 m}^3 / \text{a}$ 。

主要参考文献

1 广西地矿局. 广西 1:20万区域水文地质普查报告, 1977~1983

KARST HYDROGEOLOGIC CHARACTERISTICS AND WATER RESOURCES IN GUANGXI

Li Guofen

(Institute of Karst Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

There exist the most favourable geologic-geographical conditions for karst development and karst groundwater occurrence in Guangxi, where typical karst landform has controlled, to a large extent, the distribution and enrichment of karst groundwater. There are more than 700 natural water points with individual discharge $> 50 \text{l/s}$ and 604 subterranean rivers. In most areas karst water resources module is over $400000 \text{m}^3 / \text{a} \cdot \text{km}^2$. The east and west sides of the middle Hongshui River are very rich in karst water resources and rather large in scale of subterranean river. The abundant karst water resources and the highest density of subterranean river distribution can also be found along the middle-lower Hongshui River, the middle Liujiang River, the lower Youjiang River and the north bank of the upper Zuojiang River. The amount of recharge resources accounts for $484.04 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ and the total discharge rate in driest season $144.76 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$.

key words Karst hydrogeologic characteristics Karst water resources Guangxi