

文章编号:1001-4810(2001)02-0111-06

广西岩溶地下水资源及允许开采量的探讨

钱小郭

(广西地质矿产勘察开发局, 南宁 530023)

摘 要:广西岩溶地下水资源十分丰富,前人用枯水迳流模数法计算的地下水允许开采量为148.11亿 m^3/a ,但该方法未能充分考虑广西岩溶区雨季补给量大及地下岩溶储存空间大的特性,使评价结果偏于保守。本文从地下水开发利用的经济、技术及生态的约束性条件出发,并参考已有水源地的有关参数,提出了评估地下水允许开采量的方法,使地下水允许开采量评价结果比前人有了较大的提高。

关键词:岩溶;地下水资源;允许开采量

中图分类号:P641.2 **文献标识码:**A

广西地处亚热带季风气候区,气候温暖湿润,雨量充沛,地表水地下水资源十分丰富。但大面积的岩溶且连片分布,除形成举世闻名的桂林、都安等地的热带岩溶地貌景观之外,也造就了境内地表水资源与居民、耕地严重分离的自然环境,水资源开发利用难度大,利用程度低。受岩溶地下水分布特征的影响,地下水利用程度也很低,因此地下水的开发利用潜力,已成为区内水资源利用的一个热门话题。

1 岩溶地下水资源及其埋藏分布特点

广西全境23.67万 km^2 ,岩溶区面积达9.6万 km^2 以上,约占总面积的41%。岩溶地下水多年平均补给量达484亿 m^3/a ,可采资源按枯水迳流模数法计算达148.11亿 m^3/a ,地下水资源十分丰富,其分布埋藏规律如下^[1]:

(1)地下水的赋存受岩溶含水岩组控制。广西碳酸盐岩以灰岩为主,其次为白云岩。在灰岩中,含水介质往往以溶蚀裂隙、溶洞、岩溶管道为代表,岩溶洞穴规模较大而分布不均匀。白云岩则以厚层中晶(粒)白云岩为主,晶内解理面很发育,因此在晶内形成许多微孔隙及孔洞,尔后在构造及地下水的溶蚀作用影响下发育成密集的、分布相对均匀的岩溶裂隙。受岩溶

发育特征的影响,前一类地层中多发育地下河,后者则多见岩溶大泉。

(2)地下水的富集,受地质构造及地下水的补给条件等因素控制。区内的弧形褶皱如山字型构造、旋弧构造,常常控制岩溶管道系统的基本方向,如著名的乐业地下河、凌云地下河等便是很典型的例子。

从补给条件看,在峰丛洼地,主要是灌入式补给,垂直的岩溶较发育,水平方向的岩溶受地下水的迳流条件控制,相对较弱。谷地及至平原区,地下水补给既有垂向(包括集中渗入式的)大气降水补给,又有较强的侧向迳流条件,同时还有地表水的补给,使岩溶作用较强。受制于岩溶发育的这种特点,地下水的分布也遵从相似的规律。

(3)岩溶地下水埋深受地形地貌及侵蚀基准的控制。地下岩溶主要分布在地面以下(指谷地、平原面)30~80m左右的范围,并形成多层状地下洞穴。受此控制,地下水系统则以浅循环、短渗径为特征。故在谷地(平原)区,地下水埋藏较浅,一般10~30m左右,有利于地下的开发利用。峰丛洼地区地下水埋藏则较深,一般大于50m,甚至100m。这也是峰丛洼地区严重缺水的主要因素之一。

(4)岩溶地下水的分布以不均一为基本特征。岩溶地下水赋存于岩溶空隙介质之中,即孔洞、溶洞、管

基金项目:广西软科学研究项目(桂科软 9920049)

作者简介:钱小郭(1946—),男,教授级高工,1970年毕业于北京地质学院。

收稿日期:2001-03-15

道空隙介质之中,故从平面或剖面上看,都具有不均匀特征,而与松散岩类孔隙水有很大的差别,尤其在峰丛地区,不均匀性尤其突出。从某种意义上讲,地下河愈发育,流量愈大,岩溶地下水的分布就愈不均匀。

初步统计,在广西长度大于 2km,并独立存在的地下河有 435 条,总长度 1 万余公里,平均分布密度 0.1km/km²,枯季排泄量 191m³/s(60.2338 亿 m³/a)。地下河的数量、规模,以桂西峰丛洼地区最多、最大,峰林谷地区次之,平原区最少,且规模较小。除地下河外,广西的岩溶大泉也很多,计达 700 多个,枯流量大于 50 l/s 的达 296 个,总流量 39.1m³/s(21.96 亿 m³/a)。

(5)岩溶地下水动态变动大,这主要与降水及岩溶发育的特点有关。雨季由于降水强度大,大量雨水直接贯入地下河,使地下水位随之暴涨,雨过之后,又快速回落,地下水位的这种复杂变化,使早期以滑轨电站、水泥泵船等抽水设施难于适应,限制了地下水的利用。

近年来,国产潜水泵技术的进展,使水位变化不再成为地下水开发利用的障碍。

2 广西地下河、大泉水资源及其可利用性

广西 435 条地下河及 700 多个岩溶大泉的枯水迳流量分别达到 191m³/s 及 52.3m³/s,换算成年迳流量则分别达 60.234 亿 m³/a 及 16.524 亿 m³/a,但它并未反映出地下河、大泉丰枯流量的变化。据典型地下河、大泉长观资料表明,地下河、大泉丰季水流量分别是枯水季流量的 12 及 10 倍,平水季则分别是枯季的 2.0 及 1.8 倍。如丰季取 120 天,平水季取 180 天,枯季取 65 天,则上述大泉及地下河的年迳流量将达 375.28 亿 m³/a,为岩溶地下水天然补给量 484.84 亿 m³/a 的 77.4%(见表 1)。由此我们可以看出,广西岩

溶地下水资源的研究,从一定意义上讲也就是对岩溶地下河及大泉水资源的研究。此外,从表中还可看出,丰季地下河及大泉水资源分别达 237.63 亿及 54.22 亿 m³,分别占地下河、大泉年总资源的 77.7%及 73.8%。而雨季这一部分丰富的补给量,枯水迳流模数法计算的允许开采量是未予考虑的,因此该法的局限性也显而易见。事实上,根据我们对广西许多城镇、工矿及农村水源地的统计,凡做过较高级别的研究之后,运用多种方法(包括地下水动力学法、数值法等)计算的地下水允许开采量,均较枯水迳流模数法的结果有较大的提高,如表 2 所列的 24 个水源地,其平均地下水允许开采量等于地下水天然补给量的 61.72%,与正态分布的众值的比例相当,为前人的全区地下水允许开采量平均值的 2 倍。此外,从表中还可以看出,除降雨因素外,广西岩溶谷地及平原地区地下水补给条件相差并不是很大,但地下水可开采量占天然补给量的比例则差异较大,主要因素显然包括两个方面:一是地下水本身的分布埋藏条件,如富水性好坏,分布的均匀性程度及埋藏深度等;另一个是环境地质条件,即大量抽取地下水时地面的稳定性条件。桂林、玉林、黎塘、贺州等地,浅层岩溶(埋藏深度小于 30m,特别是小于 10m)的岩溶洞穴十分发育,地表覆盖层薄,抽水条件下易引发岩溶塌陷等问题。这些地区,为防止抽水等因素引起地面塌陷,地下水可开采量计算时要附加降深等诸多条件的限制。而前一个因素则主要反映了取水的难易程度,地下水分布越不均匀,埋藏越深,取水工程的建设越困难;富水性越好,分布越均匀,则越有利于取水工程的建设,地下水的可利用性将较高。从宏观上看,广西岩溶区从岩溶平原→峰林谷地→峰丛谷地→峰丛洼地,具有地下水分布越不均匀的特点,与之相应地下水开发利用的难度也越来越大。

表 1 广西岩溶地下河、大泉排泄量推算表

Tab. 1 The Calculation of discharges of karst underground rivers and springs in Guangxi

水点 类别	枯季水资源			平季水资源			丰期水资源			小计 (亿 m ³)	合计 (亿 m ³)	备注
	枯季 流量	历 时 天 数	时段总 流 量	换 算 系 数	历 时 天 数	时段总 流 量	换 算 系 数	历 时 天 数	时段总 流 量			
	(m ³ /s)	(d)	(亿 m ³)		(d)	(亿 m ³)		(d)	(亿 m ³)			
地下河	191.0	65	10.73	1.8	180	54.36	12	120	237.63	301.82		
大泉	52.3	65	2.94	2.0	180	16.30	10	120	54.22	73.46	375.28	77.43

注:以上资料根据《广西岩溶地下河大泉分布图说明书》表 6 重新推算,原表平水期取时过长,枯水期取时过短,本文作了适当的修订。

表 2 典型岩溶水源地地下水资源一览表
Tab. 2 The table of groundwater resources in the typical karst water source areas

水源地名 称	面积 (km ²)	岩溶水文地质条件	年降雨量 (mm)	岩 溶 地 下 水 资 源				可开采量 与补给量 的百分比	影响地下水开采利用的重要因素
				天然补给量 (10 ⁶ m ³ /a)	多年平均补给模数 (10 ⁴ m ³ /a · km ²)	可开采量 (10 ⁶ m ³ /a)	平均可开采模数 (10 ⁴ m ³ /a · km ²)		
柳州柳北	66.18	河谷平原,白云岩含水岩组	1460	54.76	82.27	47.84	72.28	87.86	富水性好,且分布相对均匀
柳东	49.43	河谷平原,白云岩含水岩组为主	1470	31.63	63.99	18.17	54.76	85.58	富水性好,且分布相对均匀
柳西	76.97	河谷平原,白云岩含水岩组	1475	52.98	68.84	45.49	59.10	85.85	富水性好,且分布相对均匀
太阳村	29.00	背斜谷地,灰岩含水岩组	1400	19.66	67.79	6.20	21.38	31.54	浅层岩溶发育,大强度地下水开采,地面易塌
露塘	35.75	河谷平原,白云岩含水岩组	1400	20.56	57.52	14.43	40.36	70.17	富水性好,且分布相对均匀
进德	182.66	峰林平原,灰岩含水岩组	1500	119.67	65.52	69.09	37.09	56.61	富水性好,但分布相对不均匀
新兴	67.20	峰林平原,灰岩含水岩组	1500	47.24	7030	22.03	32.78	46.63	地下水富水性不均一
阳和	42.69	河谷平原,灰岩含水岩组为主	1460	23.96	56.12	17.95	42.04	74.91	地下水富水性较好
沙塘	34.37	向斜盆地,白云岩含水岩组为主	1440	22.18	64.55	14.69	47.75	73.97	地下水富水性好,分布相对均匀
柳南	28.77	峰林谷地,灰岩含水岩组为主	1500	21.33	74.15	14.94	51.91	70.01	地下水分布相对不均匀
小计	654.83			441.03	67.35	294.96	45.04	66.87	
桂林东区	82.87	峰林平原,灰岩含水岩组为主	1926	70.96	85.63	51.75	62.45	72.93	地下水富水性好
西区	84.57	峰林平原,灰岩含水岩组为主	1926	67.80	80.17	29.61	35.01	43.67	浅层岩溶发育,易引起岩溶塌陷
南区	56.16	峰林平原,灰岩含水岩组为主	1926	41.58	74.12	14.93	26.61	35.90	浅层岩溶发育,易引起岩溶塌陷
雁山	78.35	峰林平原,灰岩含水岩组为主	1926	43.37	56.12	19.83	25.30	45.08	浅层岩溶发育,易引起岩溶塌陷
扶绥昌平	54.6	峰林谷地,灰岩含水岩组为主	1130	23.63	43.28	16.70	30.81	71.19	富水性好,且分布相对均匀
忻城大塘	26.45	向斜谷地,灰岩含水岩组为主	1560	19.94	75.39	7.99	30.23	40.10	浅层岩溶发育,易引起岩溶塌陷
思练	21.27	向斜谷地,灰岩含水岩组为主	1560	21.27	64.57	6.31	19.17	29.69	地下水富集条件较差,分布不均匀
柳江月亮塘	47.86	峰林谷地,灰岩含水岩组为主	1400	30.60	63.93	16.53	34.55	54.04	富水性较好,但分布不均匀
龙凤	76.65	峰林谷地,灰岩含水岩组为主	1400	49.00	63.93	25.26	32.96	51.56	富水性较好,但分布不均匀
定吉	17.20	峰林谷地,灰岩含水岩组为主	1350	11.59	67.38	6.36	36.96	54.85	富水性较好,但分布不均匀
三都	53.60	峰林谷地,灰岩含水岩组为主	1550	37.26	69.51	24.91	46.47	66.85	富水性较好,但分布不均匀
横县马岭地区	264.29	孤峰平原,白云岩含水岩组为主	1390	191.32	72.39	133.47	50.50	69.76	富水性较好,分布相对均匀
富津	60.86	孤峰平原,白云岩含水岩组为主	1390	48.03	78.92	31.60	51.92	65.79	富水性较好,分布相对均匀
白花	41.18	孤峰平原,白云岩含水岩组为主	1390	35.04	85.10	32.16	78.10	91.77	富水性较好,分布相对均匀

3 岩溶地下水资源允许开采量评价的探讨

从前面的讨论我们知道,地下水资源的可利用性受到地质水文地质背景及开发利用的技术经济条件的制约,按欧共体对地下水资源的定义——“对于一个含水层系统,资源量(指允许开采量——摘者注)等于多年平均补给量扣除为满足各种经济的、技术的、生态的限制条件所需保有的量”^[2],即还需考虑生态环境的制约。为此,按上述定义,我们可以把上述地下水允许开采量用数学式来表达:

$$Q = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot Q_p \quad (1)$$

式中 Q 为水源地允许开采量; Q_p 为地下水多年平均天然补给量; a_1, a_2, a_3 为分别为影响水源地允许开采

量评价的经济、技术、生态约束系数($a_1, a_2, a_3 \leq 1$)。

为此,我们可以把上述约束性条件用如图 1 的层次模型来表示。现在,我们分别就经济的、技术的、生态的约束性因子来作进一步的讨论。

为计算方便,不考虑图中的中间层次,而直接针对底层的因子。以生态约束性因子为例,首先对次级因子进行分级,如地下水污染因子可进一步分出轻、中、重三级,地下水自净能力分为大、中、小三级,等等。由此,我们得到一个生态约束性因子的分级模型矩阵,即:

$$[x] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

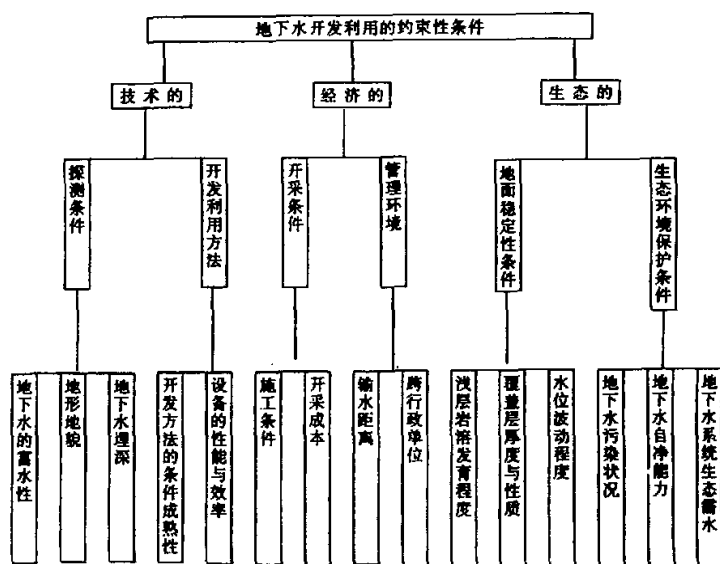


图 1 地下水开发利用的约束性层次模型

Fig. 1 Binding model of exploiting and utilizing

其中 X_{ij} 为任一约束性因子的分级。如对分级数量化,如 X_{1j} 取 1, X_{12} 取 0.6, X_{13} 取 0.2, 则式(2)可以数量化。

在对前述 24 个水源地各约束性因子分级的基础上,各因子的得分用面积加权平均值,则我们可以得到一个代表这 24 个水源地均化条件的生态因子列矩阵为:

$$[X_0] = \begin{bmatrix} X_{01} \\ X_{02} \\ \vdots \\ X_{0n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, X_{0n} 为某约束性因子(24 个水源地)的均值。

考虑到各约束性因子对生态的影响是非等价的,我们可利用专家打分法,进而求得各约束性因子的权重 $W_1, W_2, \dots, W_n$, 它们可表述为一个行矩阵,即:

$$[W] = [W_1, W_2, \dots, W_n] \quad (4)$$

令上述 24 个典型水源地生态因子的综合因子得分 a_3 , 则有:

$$a_3 = [W][X_0] = [W_1, W_2, \dots, W_n] \begin{bmatrix} X_{01} \\ X_{02} \\ \vdots \\ X_{0n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

同理我们可以求出经济约束因子 a_2 及技术约束因子 a_1 。这样利用式(1),我们可以求出水源地允许开

采量占地下水补给量的比例。

要直接求出上述3个约束系数,显然有一定困难,因为不同的水源地, α_1 、 α_2 、 α_3 是可变的。我们在前面已经提到,广西24个水源地地下水允许开采量占地下水补给量的比例达61.72%,其中,许多水源地已经长期生产的考验,说明此数决不是偶然的,它是典型条件下水源地经济的、技术的、生态制约因素的综合反映,也就是说,相当于某种平均意义上的典型水源地 α_1 、 α_2 、 α_3 的乘积。但要把这个系数推广到任意一个岩溶水源地,甚至只在广西岩溶区,则显然是不适当的,因为每一个水源地条件千差万别,而且,上述24个水源地总体讲自然地质背景相对较好,而其它岩溶地区,大多地形地貌复杂。对绝大多数岩溶山区水源地,我们不可能按稳定流或非稳定流并流理论,将水井布置到评价单元的每一个计算点上;同样,我们也很难按计算要求那样,控制协调每一个计算点上的水位降深,这也就是说,我们必须对式(1)作一定的修正,使其具有普适性和方便于评价,故将(1)式改为:

$$Q = K_i \alpha_0 Q_p \quad (6)$$

式中, α_0 ——典型水源地的综合制约系数,用前述的24个水源地平均允许开采量的比例系数代替, $\alpha_0 = 0.6172$; K_i ——水源地对典型水源地综合约束系数的模比系数,简称模比系数, $K_i \leq 1$; 其余参数同上。

对于有多个水源地组成的计算单元,则有:

$$Q = \sum K_i \alpha_0 Q_{pi} \quad (7)$$

式中 K_i ——第 i 个源地的模比系数; Q_{pi} ——第 i 个水源地的地下水天然补给量; 其余系数同上。

当进行区域水资源评价时, $\sum K_i$ 也可用平均值代替,即

$$Q = \alpha_0 \bar{K} \sum Q_{pi} \quad (8)$$

但 K 值的取值,仍有赖于各水源地的 K_i 值。理论上,我们可以通过与上述典型水源地的参数模比,并建立模比矩阵等办法求解 K_i ,进而求得 K 。对于广西全境岩溶区,我们近似地取 $\bar{K} = 0.8$,其地下水允许开采量为:

$Q = 0.8 \alpha_0 \sum Q_{pi} = 0.8 \times 0.6172 \times 484.84 = 239.39$ (亿 m^3/a),其值相当于岩溶地下水天然补给量的49.4%。

此数较前人枯水迳流模数的结果(148.11亿 m^3/a)有较大的提高(相当于1.62倍),说明广西岩溶地下水允许开采量仍有较大的提高空间。当然,要精确评价岩溶地下水资源的允许开采量,尚有待于较

系统地开展全区地下河系为代表的地下水资源潜力调查,并详细模比计算。

4 岩溶地下水开发利用现状及开发利用潜力

据广西水利厅1998年统计,广西全区水资源利用总量为290.5亿 m^3 ,约为全区水资源多年平均量(1880亿 m^3/a)的15.45%,其中地下水资源利用量12.7亿 m^3 ,仅为前述地下水允许开采量的5.3%,按经济区统计,广西水资源利用程度较高的有桂南、桂东南两个经济区,其水资源利用量已超过了区内水资源的20%,分别达到了21.38%及20.39%。从地质背景看,上述两区均为非岩溶区;以岩溶为主的桂西桂中经济区,水资源利用量占水资源总量仅为10.18%及14.72%(表3)。

表3 广西五大经济区实际供水、用水统计表(单位 10^9m^3)

Tab. 3 The statistics of practical water supply and water demand in five economic zones, Guangxi

分区名称	实际供水量			合计	占水资源总量的比例(%)
	地表水	地下水	其它		
桂东经济区	74.91	3.9	0.26	79.83	20.39
桂南经济区	53.54	2.9	4.02	60.47	21.38
桂西经济区	57.34	2.3	2.10	61.80	10.18
桂北经济区	46.16	2.5	0	48.7	14.78
桂中经济区	38.58	1.1	0	39.64	14.72
小计	271.3	12.7	6.4	290.5	

* 据《广西生态建设规划》(广西生态环境规划组1999)报告整理

权威专家估计,表3列出的地下水开采量比实际偏小。其原因一方面是地下水开采规模较小且分散,故难以统计,另一方面,一些地方,水利部门往往把引泉引地下水等工程列入地表水工程范畴,因此也自觉不自觉地压低了地下水开采量。据广西水文队对桂中经济区的有关县市调查,仅柳江(地下水年开采量22.35万 m^3)、柳城(年开采量4790万 m^3)、忻城(年开采量3711万 m^3)3县的地下水年开采量就达1.07亿 m^3 。显然表3列出的桂中经济区每年1.1亿 m^3 的地下水开采量与实际不符。因此,光耀华先生估计,广西地下水年开采量应在25~30亿 m^3/a 左右^[3],这一数字,与广西地勘开发局许多专家的估计比较吻合。

如果按光先生的25亿 m^3/a 的数字推算,则广西地下水开采量约占全区水资源利用总量的8.67%,

为前述地下水允许开采量的 10.44%。这一比例,与我国地下水开发利用程度较高的地区相比(后者多在 30%~50% 以上),广西地下水资源开发利用程度尚低。退一步讲,即便按前人比较保守的枯水迳流法计算的地下水允许开采量 148.11 亿 m^3/a 计,广西地下水开采量也仅占地下水允许开采量的 16.9%,远远低于全国平均约 30% 的比例^[2]。广西岩溶地下水开采利用的潜力很大,这一结论应是不庸置疑的。

5 结 论

广西岩溶地下水资源丰富,特别是雨季补给量大,地下岩溶储水空间大,调节性强。因此,岩溶地下水允许开采量评价,应充分利用雨季丰富的补给量及

地下岩溶水库的调节性。按上述基本思想并考虑地下水开发利用的经济的、技术的、生态的约束性条件,以及对比广西一些地区已经开发利用的若干源地参数,初步评估广西岩溶地下水允许开采量为 239.39 亿 m^3/a ,相当于其天然补给量的 49.4%。但广西地下水开发利用量仅为 25 亿 m^3/a ,约为上述允许开采量的 10.44%,地下水开发利用潜力仍然很大。

参考文献:

- [1] 钱小鄂. 广西岩溶地下水资源及其开发利用情况[A]. 科学技术与西部大开发[C]. 广西科学出版社,2001;319~320.
- [2] 籍传茂,侯景岩等. 世界各国地下水开发和国际合作指南[M]. 北京:地震出版社,1996;59,16.
- [3] 光耀华. 广西岩溶地区水资源开发利用问题[J]. 中国岩溶,2000,19(3):255.

ALLOWABLE WITHDRAWAL OF GROUNDWATER IN GUANGXI KARST REGION

QIAN Xiao-e

(Guangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Nanning 530023, China)

Abstract: Karst groundwater is quite rich in Guangxi karst regions. The allowable withdrawal of karst groundwater in these regions was estimated around $148 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ using the modulus method of dry season runoff. But the result was thought to be much lower comparing with the huge recharges in rainy season and the great capacity of underground reservoirs. A new method was presented to estimate the allowable withdrawal of groundwater according to the restrictive conditions, such as technical, economic and ecological, and the parameters in the existing groundwater source fields.

Key words: Karst; Groundwater resources; Allowable withdrawal of groundwater