

论广花平原隐伏岩溶水资源的补给条件

刘尚仁

(地理学系)

摘 要

广花平原隐伏岩溶水接受垂向的间接补给,侧向补给很弱;越流补给面积大于渗流补给面积,雨后井水位即时上升,多数属压力传递而不是获得水量补给;开采井给水能力较大而补给常跟不上,补给条件不是原先估算的那样好。采区静水位下降的主要原因是过量开采,井干扰属次要因素。由隐伏岩溶中未完全淡化的海水残留,说明用达西模型计算岩溶水径流量是可行的。

关键词 隐伏岩溶水, 间接补给, 越流补给, 过量开采

广花平原是广州、花县一带的洪冲积、冲积、冲积海积等复合堆积平原,位于三水红层构造盆地东北部,基岩由呈复式褶皱的中泥盆系至第三系的砂页岩、石灰岩和红层组成。岩溶水赋存于天子岭组(D_{3t})、石磴子段(C_1d_3)、壶天群(C_{2+3ht})和栖霞组(P_1q)的石灰岩中,总厚度超过535m,岩溶发育。上复第四系以上更新统为主,次为全新统的粘性土、砂和卵砾石,一般厚度20~40m,最厚79.85m(将军潭38号孔¹⁾),构成上部孔隙潜水和微承压水、下部隐伏岩溶水这两个含水层。广花平原岩溶水区是广州市域以及更大范围地区地下水资源较丰富、最有开采利用价值的地段。该岩溶水是在50年代找到的,起初认为水量很丰富,可是近20年的开采,各采区不同程度出现水质恶化、静水位下降和地面变形等环境问题,现在重新认识该区岩溶水资源条件,尤其是补给条件,是正确制定水资源战略,做到地下水资源与地表水资源统一规划合理利用的前提。

1 给水能力与补给量

广花平原下伏的石灰岩,在高程-80m之上属地下水强烈循环带,岩溶率0.64~25.32%²⁾。新华镇ZK65孔揭露一溶洞高33.15m,该洞上部25.67m为饱水空洞,下部为中细砂和粘土互层充填³⁾。江村水源地SCJ17井在深度51.83~52.03,52.23~54.99,58.13~58.30,71.48~72.04m为无充填的饱水溶洞,60.50~61.70m为砂卵砾石充填的溶洞,72.40~73.70,75.26~75.81m为含粘土砂砾石充填的溶洞,从灰岩顶面高程-31.52m至最低一个溶洞底部高程-70.29m,灰岩进尺38.77m,总洞高6.74m,岩溶率

本文1989年6月16日收到

1)广东省地质局,1:20万从化幅区域水文地质普查报告,1980年2月

2)广东省地质矿产局水文工程地质二大队,广花盆地环境水文地质工作报告,1987年11月

3)广东省地质局水文地质观测站,广州供水江村水源地详勘报告,1969年9月

17.38%；该井给水能力大，第3次降深12.986m，流量15594.509m³/d；事实上，该井抽出的水量包含着储存量；1969年井试验时，3次水位降低的静水位埋深陆续增加，依次为2.774、3.056、3.339m，以及各次‘稳定降深’时的 $S=f(t)$ 曲线仍略有下降趋势，已暴露出该水源地今日静水位下降原因：开采井给水能力大而补给量相对不足。含水层的岩溶化程度愈高，这种差异愈明显。在裂隙或孔隙含水层也偶见这种现象。

2 垂向补给

2.1 直接补给与间接补给

广花平原岩溶淡水的分布面积441(km)²。按照污染物进入岩溶水的易难程度，进行岩溶水资源保护条件分区比较合理²⁾。地表或水流中污染进入岩溶水的过程，基本上反映岩溶水的垂向补给条件，也就是说，上述岩溶水资源保护条件分区实际上揭示了岩溶水垂向补给条件的优劣。

由表1看出，石灰岩出露地表受直接补给的面积只占2.3%，97.7%面积的石灰岩全被20~40m厚的第四系复盖；各河的河床在平原下数米，没有切到石灰岩。降水、地表水对隐伏岩溶水的补给几乎都要通过第四系，对第四系孔隙水是直接补给，而经过孔隙水去补给岩溶水是一种间接补给。尽管丰沛的降雨、平坦的平原地形、众多的水系对广花平原地下水补给十分有利，然而对孔隙水的补给不等于对隐伏岩溶水的补给。即使在开采条件下，孔隙水从外界获得的补给水量仍将部份在孔隙系统内径流，部份泄入河溪，部份蒸发排泄，部份才渗流和（或）越流补给下伏岩溶含水层。SCJ17井抽岩溶水时，灰岩水位降深12.98m，而上部孔隙水水位只下降4.52m（图1）。可见上下两含水层有水力联系，但不十分密切。

表1 广花平原隐伏岩溶水（淡水）补给条件分区表

Tab. 1 The subarea of the recharge condition of the covered karstic water (fresh water) in Guang-Hua Plain

分区名称	补给条件	面积(km) ²
最易补给区	石灰岩出露地表，渗流补给条件好	10
	隐伏岩溶区，其第四系顶层和底层均为透水层（砂砾、砂和亚砂土类），渗流补给条件好	40
易补给区	隐伏岩溶区，其第四系顶层为透水层，底层为相对隔水层（亚粘土、粘土类），或者顶层为相对隔水层，底层为透水层。入渗的水流许多要从第四系顶层为透水层的位置径流到底层为透水层处，再渗流补给岩溶含水层；一部份靠越流补给	160
不易补给区	隐伏岩溶区，其第四系顶层和底层均为相对隔水层，全部靠越流补给	231

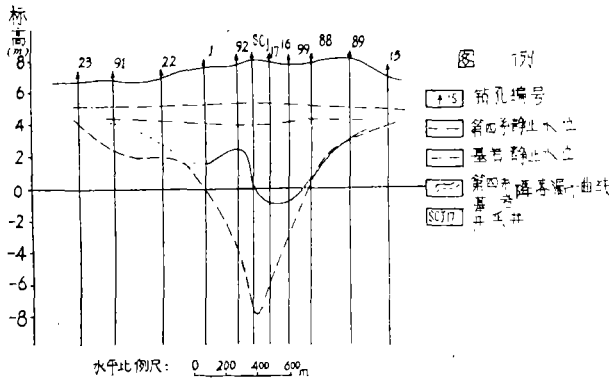


图1 江村水源地SCJ17孔群抽水试验第四系与基岩水位降落漏斗曲线图

Fig.1 The water-table depression curve on Quaternary and bedrock from the multiple wells pumping test at well SCJ17 in the supply base of Jiang Village

2.2 渗流与越流

由表1看出,广花平原隐伏岩溶水获得孔隙水的垂向渗流补给,是在最易补给区和部份易补给区,仅占小半面积。而获得的越流补给面积是在不易补给区和一部份易补给区,面积超过一半。更为重要的,同样是垂向间接补给,单位面积通过粘土、亚粘土的越流量当然要比通过砂砾、砂和亚砂土的渗流量少得多,受渗透系数控制要少若干个数量级。因此,虽然广花平原隐伏岩溶含水层从孔隙含水层获得相当数额的补给量,但是从整体来看,其垂向补给条件不算很好。

2.3 水量补给与压力传递

对于降雨引起隐伏岩溶水位立即抬高,岩溶水与上部孔隙水水位峰谷值同步和相似的现象(图2)如何解释?前人认为是广花平原隐伏岩溶水补给丰沛的有力证据,应该说,降雨时间接补给随之增加,进而岩溶水位迅速上升,这对于占总面积11.3%的最易补给区是正确的,因为上复砂砾、砂和亚砂土层与下部岩溶层是一个整体的含水系统;

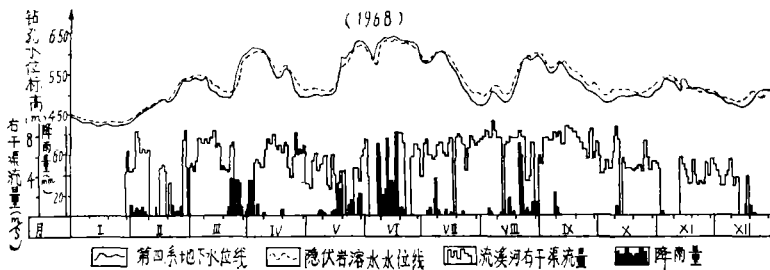


图2 江村水源地SCJ17地下水水位动态与降雨量、右干渠流量关系曲线图

Fig.2 The dynamic curve on the rainfall, the flow of right main canal and the groundwater level at well SCJ17 in the supply base of Jiang village

对于占36.3%面积的易补给区可能不合适，因为入渗的补给量要在孔隙含水层水平径流一段才能向下渗补岩溶含水层，进而造成岩溶水位抬高，必然会有明显滞后，上下两含水层的水位峰谷值不可能同步；对于占52.4%面积的不易补给区就更不可能是水量补给问题。像SCJ17井的第四系厚达39.04m，自上而下各层：晚更新世花斑色粘土3.45m，上部亚粘土下部中粗砂2.24m，砾质粗砂2.80m，上部亚粘土，下部亚砂土2.37m，砾质亚砂土3.48m，亚粘土2.52m，中粗砂6.07m，具粘塑性的砾质亚粘土16.11m。该井粘土、亚粘土总厚度超过24m。看来，该井岩溶水位的立即抬高，可能与上部孔隙水位雨后抬高所产生的压力向下传递有关，不一定是该孔隙水量即时对岩溶水补给的结果。

这是仍需进一步探讨的课题。这和波浪的波形向外传播（表现为水位高低起伏规律变化）是力的传递，速度很快，而该水量水质随波浪向外输移却慢得多的道理有相似之处。江村水源地开采岩溶水的SCJ180井，距感潮河段——流溪河1500多米，其间有第四系和基岩隔水层，若按最少隔水层的途径（经江高镇）计，距该河2300m。1969年抽水试验时，试井动水位与流溪河（河水潮差0.5~1m）水位每日都有两次同相位的峰谷值，岩溶水潮差0.1~0.15m，三次降深都有显示。显然，这是河水位波动对该井岩溶水位的压力传递，而不是河水每天两次在峰值水位时对试井的即时水量补给。不然，江村水源地八口开采井中，唯独距河近的SCJ180井经过十余年开采后静水位下降最大（在1982年达5.28⁴⁾）是不好解释的。类似的情况在上海市第四系5个承压含水层的地下水潮汐表现最典型^[1]：黄埔江潮差3.4m，自上而下5个承压含水层的埋深和地下水位潮差依次为：40和1.35m，70和1.02m，100和0.74m，180和0.59m，270和0.08m。显然，与黄埔江无水力联系的各承压含水层水位出现潮汐，不是直接由地表水体传递的，而是通过地表水每日的涨落潮交替地对河岸土体施加压（涨潮时）、拉（落潮时）性应力，这些应力再向下传递到各隔水层和含水层中的。可见，含水层的水位高低变化不一定反映其水量的增减。

以上只是探讨广花平原上下两含水层水位峰谷同步的原因，不否定它们的相互补给作用。据江村水源地开采前1966~1969年51个长期观测孔资料统计³⁾：有38个孔的孔隙水位高于基岩水位，最高达1m余，大多数在0.5m内；有10个孔的基岩水位高于孔隙水位，水位差很小，唯花县东湖村的ZK86孔岩溶水位达+0.98m，而孔隙水位埋深1.61m；其余3个孔上下含水层水位关系不大固定。因此，天然状态以孔隙水向下补给岩溶水为主，开采隐伏岩溶水时，这种经常的渗流和越流补给作用将更加强烈。

3 井干扰与过量开采

采区井距过小或补给量不足都可能出现静水位下降（或称区域水位下降）。前人认为广花平原的采区静水位下降是开采井过密造成的。根据多年开采实践，现在看来采区静水位下降的根本原因，主要不是井距小所产生的井干扰，而是开采量大于隐伏岩溶水获得的补给量，即过量开采。江村水源地的8口开采井井距1005.73~2974.89m³⁾，井

4) 广东省地质科学研究所，广州市白云区江高、蚌湖、神山地区地下水位下降，地面变形与房
原因调查研究报告，1987年8月

干扰涌水量减少系数的计算值不超过25~30%，最大为SCJ96，32.68%和SCJ34，34.20%，略超过允许范围。然而10余年的开采实践，实测静水位下降最大者不是该两井，而是SCJ180。1983年以后开采量大量减少，约减到表2计算涌水量的一半，采区静位才大幅度回升；1969年该采区详勘时静水位属天然状态，表2的观测孔水位削减值和计算的干扰孔水位削减总值多在3m内，可是开采12年后到1982年春，各开采井的静水位已下降3.52(SCJ5)~5.28m(SCJ180)⁴⁾，况且最高的年开采量只及表2涌水量的3/4。广花平原的其它开采地段亦不同程度存在开采量少而静水位下降过大的情况²⁾；肖岗水源地开采量500和300m³/d的605和551井，相距1700m(中间只有一口开采量157m³/d的602井)，到1982年静水位各下降8.35和6.90m；花县两龙开采量283~425和124m³/d的025和027两口井，井距已有800m，到1982年静水位各下降7.40和5.75m；花县四角围开采量都只有128m³/d的117和115两口井，相距750m，静水位各下降6.81和6.13m。上述过大的静水位下降虽然与井干扰有关，但更主要是过量开采造成的。考虑目前广花平原井距多在750m以上，参考表2数据，采区静水下落在3m内的，与井距小。

表2 江村水源地开采前8口开采井计算的干扰抽水资料表

Tab. 2 The information on interference pumping counting of 8 exploited wells before exploitation in supply base of Jiang Village

开采井号	单井抽水试验时降深 m	观测孔号	观测孔与抽水井距离 m	单井抽水时观测孔的实测水位削减值 m	设计降深10m(ZK5降深为15m)时计算的开采井干扰抽水水位削减值总和 m	设计降深时计算的开采井干扰涌水量 m ³ /d
SCJ17	13.589	ZK93	1131.09	1.900	2.862	8837.6
SCJ17	13.589	ZK96	1031.56	0.937	2.862	8837.6
SCJ17	13.589	ZK34	1523.50	0.667	2.862	8837.6
SCJ17	13.589	ZK37	2974.89	0.173	2.862	8837.6
ZK93	4.950	ZK1	997.57	0.243	2.191	4694.5
ZK96	4.234	ZK15	163.34	0.546	3.268	3807.4
ZK96	4.234	ZK89	419.70	0.403	3.268	3807.4
SCJ34	11.595	ZK96	1005.73	2.466	3.420	6316.2
SCJ34	11.595	ZK17	1523.50	0.664	3.420	6316.2
SCJ34	11.595	ZK93	1703.26	0.421	3.420	6316.2
SCJ34	11.595	ZK73	1945.31	0.227	3.420	6316.2
ZK37	4.412	ZK98		0.033	0.798	5423.1
ZK104	3.676	ZK37	1451.04	0.197	0.572	6165.5
ZK104	3.676	ZK98	2213.82	0.040	0.572	6165.5
SCJ180	13.168	ZK38	1166.37	0.100	0.388	4750.3
SCJ180	13.168	ZK37	1447.31	0.120	0.388	4750.3
SCJ180	13.168	ZK5	2664.55	0.190	0.388	4750.3
ZK5					0.154	8569.7
合计						48564.3

相互干扰密切,大于3 m的,主要是补给量少过量开采的结果。

4 侧向补给

4.1 侧向补给条件

如果广花平原的四周有大面积岩溶丘陵山地,那末该隐伏岩溶水的侧向补给条件可弥补其垂向间接补给的不足。可是平原的北界、东界为燕山花岗岩、下古生界或震旦系碎屑岩、变质岩的山地,西界、南界为上白垩系、老第三系红岩不连续分布的丘陵和台地,平原周围的岩性都是些蓄水性差、含水层厚度薄和给水能力弱的非可溶岩。虽然通过枯季测流确定的地下径流模数在一些地段如花岗岩山地较大,但是该地下径流量在未进入平原之前已基本上洩入山地丘陵中的河溪,尔后河溪流入广花平原。这样前人把这些地下径流模数计算所得的地下径流量,当作平原四周非可溶岩裂隙水对岩溶水的侧向补给量是欠妥的,实际上补给岩溶水的侧向径流微弱。况且广花平原的岩溶水赋存在复式背、向斜的许多条带内,各岩溶条带多被测水组等砂页岩分隔开,只有边缘的条带才可能获得这种侧向补给,事实上各边缘岩溶条带的井流量并无明显增大,这又反过来说明其侧向补给微弱。在岩溶水资源概算中,这些侧向补给量常可忽略。

4.2 达西模型适用性

前人用达西模型计算江村水源地,双岗岩溶条带 SCJ17井所在断面的天然径流量为 $757.815\text{m}^3/\text{d}$,而该井降深 12.986m 时的涌水量已达 $15594.509\text{m}^3/\text{d}$,流量相差20.6倍,由此认定这种计算是失败的。尽管达西模型是据孔隙水试验建立起来的,然而大量的实践证明,以溶蚀裂隙和溶洞为主的岩溶地区,达西模型应用效果良好^[2]。上面的计算正好揭示:SCJ17试井时抽出如此大的流量有一部份是储存量;广花平原隐伏岩溶水主要受垂向补给,侧向径流很微弱。

广花平原地下水由北向南径流。值得注意的是平原南部的蓼江、和顺、鸦岗、里水和石井一带,隐伏岩溶咸水与上部孔隙咸水的北部边界相比较,落后 20km ,这又证实岩溶水侧向径流交替很弱,比上部海积冲积孔隙含水层的侧向径流还要微弱,以至晚更新世和全新世多次海侵留下的地下咸水至今没有充分淡化。同时说明用达西模型计算广花平原的隐伏岩溶水径流量是可能的,不能因为计算结果的径流量少就否定。试想,若宽大的溶洞内岩溶水作快速紊流运动,该洞穴内的残留海水早应全部淡化,可能只在允许慢速层流运动的隐伏砂页岩等裂隙中仍有咸水;可是现在该范围的隐伏岩溶水、裂隙水水质无明显差异,都是咸水,这就说明该岩溶水流态与公认的基本符合达西模型的裂隙水流态相似,使用达西模型来计算是可行的。

5 结 语

广花平原隐伏岩溶水接受垂向的间接补给,侧向补给很弱;越流补给面积大于渗流补给面积;雨后井水位即时上升,多数属压力传递而不是获得水量补给;开采井给水能力较大而补给常跟不上,补给条件不是原先估算的那样好。采区静水位下降的主要原因是过量开采,井干扰属次要因素。由隐伏岩溶中未完全淡化的海水残留,说明用达西模型计算岩溶水径流量是可行的。

参 考 文 献

- [1] 叶玲玲, 环境水文地质问题, 水文地质工程地质选辑20, 地质出版社, 1984, 316~326
[2] 王兆馨, 中国岩溶, 7(1988), 3, 187~191

Discussing the Recharge Condition on Covered Karstic Water Resource in Guanghua Plain

*Liu, Shangren**

Abstract

The covered karstic water in Guang-Hua Plain receives vertical indirect recharge, the lateral recharge is very weak. The area of the leakage supplementation exceeds that of the seepage. The cause of the well-water level rises at once after rainfall is mostly not that karstic water obtains supply, but that pressure transmits. The Capacity of water supply of the exploited wells are often larger than the complement. The recharge condition is not utterly well as former evaluated. The main cause of the static water level drops in the exploited districts is the overextraction and the well interference is secondary. According to the remains of sea water which is not completely desalted, it is shown that using Darcy model to count karstic water runoff is feasible.

Keywords covered karstic water, indirect recharge, leakage supplementation, overextraction

•Department of Geography