

论北方岩溶水资源的开发与管理问题

廖 资 生

(长春地质学院)

一、北方岩溶水资源开发利用的前景

北方岩溶区,系指我国秦岭、淮河以北的碳酸盐岩分布区。裸露面积近12万平方公里^①,岩溶水资源极其丰富,据不完全统计,在晋、冀、鲁、豫、辽、陕六省内,仅流量大于1米³/秒的岩溶大泉就有40余处,总流量达到150米³/秒(47.3亿米³/年)^{〔1〕}。

全区岩溶水资源总量,目前尚无确切的统计数字。如果按岩溶含水层的平均径流模数—3.50升/秒·平方公里估算^②,仅裸露岩溶区岩溶水资源的总量即达420米³/秒(132.45亿米³/年),相当于北方地区(黄、淮、海、滦河流域)地表径流总量(1560亿米³/年)^{〔2〕}的8.5%;地下淡水资源总量(475亿米³/年)^③的27.8%。

如果仅就岩溶分布区而言,则岩溶水在当地水资源总量中所占的比重要比上述区域平均值大得多。例如,在碳酸盐岩分布面积最大的山西省境内,仅流量大于0.01米³/秒的岩溶泉流量即达到37.3亿米³/年^④,约占该省地表径流量的33%,地下水总储量的40%。而在许多岩溶大泉的泉域内,则岩溶水资源远远超过地表水和其它类型地下水资源之总和。由此可见,在北方地区,特别是岩溶地区的水资源组成中,岩溶水资源占有极其重要的地位。

如果将北方岩溶泉域的岩溶含水层径流模数与南方岩溶暗河的径流模数相比较,就会发现,尽管北方降水量只及南方的1/4—1/2,但它们的地下径流模数却相差无几。据概略统计,北方岩溶含水层的径流模数,一般在4~7升/秒·平方公里,高者可达10~12升/秒·平方公里。而南方岩溶暗河的地下径流模数一般仅在3—4升/秒·平方公里之间。即使在我国降水量最大的粤北地区,地下径流模数也小于5—6升/秒·平方公里^⑤。上述情况说明,我国北方岩溶水资源具有得天独厚的地面补给条件和地下蓄积条件。

在开采条件上,北方岩溶水资源较之当地地表水资源和南方岩溶暗河水资源也具有显著

①综合1981年北方岩溶和岩溶水学术讨论会的有关论文材料,未包括埋藏型岩溶分布面积(约32万平方公里)。

②根据山西和太行山地区主要岩溶大泉的流量与泉域内岩溶含水层分布面积估算。

③根据地质矿产部水文工程地质局陈梦熊《我国的地下水资源及其合理利用与开发前景》一文资料,1981年4月。

④根据山西省地质局水文地质工程地质大队《山西省地下水资源》一文的资料。

⑤如果考虑暗河以下的岩溶水量,则其地下径流模数可能稍大。

的优点。

首先,北方岩溶水资源由于巨大地下库容的调贮和渗透径流的滞后作用,致使水量的年内分配和多年变化要比其它两类水资源均匀得多。例如,北方主要岩溶大泉年内的最大与最小流量的比值,一般在1.5~2.5之间。其中一些特大型泉水如娘子关泉(多年平均流量为12.6米³/秒),流量的年变化幅度仅是当年平均流量的16%^①;朔县神头泉(多年平均流量为8.1米³/秒)历年年内最大与最小月平均流量的平均变幅,仅为多年平均流量的6.0%^②。上述泉水流量的多年变化也很小,娘子关泉1959~1980年间最大和最小年平均流量之变率^③为46%,神头泉仅23.2%(1965—1979年间)。

而与之对比的北方地表径流,年内及多年的变化则要大得多。六、七、八三个月的河川径流量一般要占年径流总量的60—70%;年内最大流量一般为年平均流量的40—150倍^{〔2〕};年际间的最大与最小流量之比,一般为5—10倍,大者上百倍。南方暗河径流也有类似特点。如著名的广西都安地苏岩溶暗河,在总出水口测得的年内最大流量(629米³/秒)为最小流量(1.34米³/秒)的470倍^④。北方岩溶水资源在时间分布上的均匀性是它经常成为最优供水水源的主要原因之一。

北方岩溶水资源开采条件上的另一个优点是——岩溶含水层的富水性极强且资源分布集中,单一井点或连续片上常常具有很大的出水能力。单井出水量多在每昼夜千吨以上,大者可达二、三万吨;集中片上的产水量可达1万—10万吨/昼夜或更大。由于含水层埋藏较深或有弱透水层覆盖,故水质一般较优且不易污染。此外,由于岩溶水资源多富集于城镇和工矿企业集中的山前地区或山间盆地中,故便于就地取用,并可节省大量输水工程投资。

鉴于以上种种优点,故北方岩溶水正被大量开采,已成为这一地区的一种重要供水水源。现在一些城市和工矿区岩溶水的开采量已高达每昼夜40—80万吨,完全可与国内最大的冲洪积层水源地相媲美。岩溶水已成为北方许多地区工农业发展上的重要因素,具有广阔的开采前景。

但是丰富的北方岩溶水资源,也不是取之不尽的源泉。近年来,由于无计划的过量开采,已引起种种环境地质上的严重恶果。因此,加强合理开发利用的研究已是当务之急。作者将就以下几个主要问题阐明意见。

二、统一评价和调配岩溶区的水资源

各种水资源的相互转化是北方岩溶水资源形成上的一个重要特点。为了正确的评价区域水资源,合理的水资源调配方案,就必须对区域内的一切水资源进行统一的调查与评价。针对北方岩溶区的具体特点,首先应该注意查明地表水,岩溶水,山前孔隙地下水的具

①娘子关泉的有关流量动态资料均由山西省地矿局第一水文地质大队提供。

②神头泉的流量动态资料由山西省电力勘测设计院提供。

③平均流量变率等于最大年平均流量与最小年平均流量之差除以多年的年平均流量。

④根据广西都安岩溶会战指挥部资料。

体数量以及三者之间的相互转化与包容关系，并在此基础上，确定出区域水资源的总量。

北方岩溶区，从区域性分水岭到山前地区常有以下典型的地质结构和水资源组成特征：分水岭或河川上游地段，多由古老的弱透水地层组成，这里由大气降水或裂隙潜水补给的河川径流是区域水资源的主体。而在主要由碳酸盐岩石组成的河川中游地段，由于河水的强烈渗漏，地表水资源又大部或部分的转化成为岩溶水资源。在下游或山前地带，当岩溶水流被弱透水地层或隔水断层阻挡时，则岩溶水又大量溢出转化而成地表径流；若无上述阻水条件存在，岩溶水则以潜流形式大量补给山前（或山间盆地）孔隙含水层。

很显然，如果我们不认识各类水资源之间的转化与相互包容关系，就势必造成区域水资源统计上的大量重复。例如根据山西省水利、地质部门的统计，山西全省地表和地下水资源的重复量高达65.5亿米³/年^①，差不多相当该省水资源总量的46%，而在重复的水资源中，岩溶水又占了绝大部分。

忽视各类水资源之间的转化关系，将会人为的夸大区域水资源的总量，制定出错误的区域水资源开发方案；进而在开采过程中，破坏各类水资源的依存关系，带来种种环境地质问题。

例如，许多岩溶地区，在河川上游构筑地面水利工程，大量引走河川径流，结果导致中、下游碳酸盐岩石分布区岩溶水的补给量大大减少；而在河川中下游地区，又不顾岩溶水大量补给地表迳流或山前孔隙地下水的特性，大量抽取岩溶水资源，结果导致下游河川或泉口引水工程失效或山前孔隙水资源的枯竭。如山东省的淄博地区，由于在淄河上修建水库，加之近年来工业部门大量开采了中、下游河段和山前岩溶水，结果在近15年内，山前冲洪积扇中的地下水位普遍下降了10米以上，最大下降值达30余米，导致孔隙地下水枯竭，二千余眼农用浅机井报废，直接的经济损失达1000万元^②。又如该省的泰安市，近年来由于大量开采山前岩溶水，致使上部冲积盖层中的潜水位急剧下降，导致严重的地面塌陷，直接危及城市和津浦铁路的安全。

此外，由于长期以来我们仅重视了局部开采资源的评价，而忽视了区域岩溶水资源的评估，加之开发过程中又缺乏区域水量平衡的观点，也带来了严重恶果。十年前，许多同志对于我国北方丰富的岩溶水资源曾抱着“取之不尽”的乐观态度，十年后的今天，几乎所有的岩溶水域都传来岩溶水资源不断枯竭的恶讯。一方面是过量开采导致区域岩溶水位的不断下降，使许多取水工程的开采量和岩溶泉水的流量急剧减小。驰名中外的济南趵突泉和河南辉县百泉，近年来已多次断流；太原晋祠泉的流量较之六十年代前减少了近三分之二^③，朔县神头泉，近15年内，以每年0.125米³/秒的速度持续下降^④，河南新乡的愚公泉（人工大池），近十年内岩溶水位下降了近十米，开采量由6万吨/昼夜减至2万吨/昼夜；大连附近的滨海岩溶水源地，由于过量开采，区域水位显著下降，导致海水大范围入侵。而另一方面，则是

①根据山西省地矿局水文地质工程地质大队《山西省地下水资源》一文的资料。

②根据淄博市水利局提供的资料。

③根据山西省地质矿产局第一水文地质队资料。

④山西省电力勘测设计院资料。

对区域岩溶水资源缺乏科学管理与合理调度,致使岩溶区的工农业之间和水源地之间的争水矛盾日增。此外,在一些岩溶大泉附近盲目打井取水,结果只是掠夺了泉水流量,并未能更多增加取水总量;而在一些矿区,一方面工、农业急需用水,而另一方面,大量的岩溶水资源又被采矿时白白的排掉。诸如此类顾此失彼,事倍功半的问题,已不便一一例举。

总结已有经验和教训,我们认为当前在查明区域水资源总量及其各类水资源组成和转化关系的基础上,急需制订出每一岩溶水域水资源的总体开发方案。在开发方案的制定时,应考虑以下原则:

(1) 原则上不改变各类水资源的天然组成和转化关系。某一地段或某一类水源地的开发,必须考虑对相邻地段(特别是对下游地段)其它水资源形成的影响。

(2) 根据各种水资源的分布状况及需水点的位置,所选用的取水工程(井、库、渠、扬水站和输水管道),在技术经济上是最合理的。当前值得提出的是,应该纠正那种在岩溶水的深埋区(补给—径流区)盲目建库蓄水而忽视开发岩溶水的倾向。这些地段由于渗漏严重,很难发挥水库的贮水效益。而陕西壶关,山西阳泉等地则依靠开发深层岩溶水成功地解决了当地供水问题^[3]。

(3) 一切最优的水资源开发方案,必须有利于区域水资源的最充分利用和增加有效资源的数量。

(4) 在国家重点保护的岩溶大泉的泉域内取水,原则上只能夺取泉域内的开采补给增量和泉口下游的隐伏排泄量。

(5) 矿山排水必须与供水有机地结合。

(6) 防止水质的恶化和地面塌陷与沉陷等有害作用的产生。

三、开展岩溶水域划分和岩溶水循环系统的研究

岩溶水域是指由补给、径流和排泄区组成的、具有统一区域径流场的岩溶水的地下流域范围。在我国北方,岩溶水域常常是与某些岩溶大泉的泉域范围(即岩溶泉水的地表或地下汇水范围)相一致,所以常常又把岩溶水域称作“岩溶泉域”。岩溶水域的边界,常常是由各种隔水或弱透水的岩层(岩体)、断裂和区域性的地下水分水岭组成;有时也可由河流等强透水的边界构成。某一岩溶水域的范围可与某个地表水系的流域一致,但也可包括一个或几个地表水系范围的一部分。

岩溶水域是岩溶区进行区域水量均衡计算的基本单位。故正确地划分岩溶水域(泉域)则是正确评价和合理调度区域水资源的基础。积极开展这项工作势在必行。

北方岩溶水,除了在平面上可以划分为不同的岩溶水域外,在一些较大的岩溶水域内,还常常可划分出2—3个不同循环深度和范围的水流循环系统^[4]。一般来说,随着循环系统的加深,水流系统在平面上的分布范围就越大;但水流的交替循环强度则逐渐减弱。各种循环系统间的水头压力,在其补给区常常接近一致;而在径流区和排泄区,则深部的(区域的)水流循环系统常常要比浅部的(局部的)水流循环系统具有更大的水头压力。此外,当某个岩溶水域内存在多个水流循环系统时,岩溶水域的范围主要是由区域性的深部循环系统所决定的。因此,同一岩溶水域内,可以有多个由区域地质结构、地形及补给条件决定的局

部(浅的)水流系统的存在。

上述同一岩溶水域内,不同深度水流循环系统存在的事实,我们可以从许多岩溶水域内不同深度含水层存在的巨大的水头差异而得到证实。例如,在河北省峰峰地区的黑龙洞泉域,泉口附近的深孔揭露:深度 0—121.96 米的中奥陶 7—8 段含水层,水头值为 -0.51 米(即地面以下 0.51 米);深度为 164.10 米的中奥陶 6 段下部,水头值为 +4.80 米(即地面以上 4.80 米);深度为 426 米的中奥陶 2—4 段含水层水头值为 +5.96 米;而在 713 米深度的中寒武张夏灰岩含水层,水头值则高出地面 9.31 米^①。

在研究了北方某些岩溶水域水流循环系统后,我们发现,目前北方岩溶区各种取水工程的深度普遍较小。多数水井的深度仅几十米到 250 余米,主要是开采浅部及部分中深循环系统的岩溶水资源,而深部循环系统内的水资源基本上未加触及(但可以越流的形式补给浅部循环系统)。如在娘子关泉域内,从泉口娘子关逆流而上至下盘石,距离约 9.5 公里,岩溶水位埋深 0—30 米,多数机井深度在 40—150 米之间,只深达下奥陶上部含水层。河南新乡市西北郊的愚公泉大池,池深仅 47 米,刚触及中奥陶上部含水层。类似的情况可以在许多岩溶水域,特别是在排泄区附近看到。但是从多个岩溶水流循环系统的观点来看,探索和挖掘北方岩溶区中间或深部循环系统的岩溶水资源是极有前途的。

中、深部循环系统内的岩溶水资源,尽管交替滞缓,补给条件较差,但分布范围广,水头压力大,因此具有丰富的弹性储存量。据峰峰矿区深部坑道和深钻孔资料,在一些较好的深部循环带上(标高 -200—-500 米深度),钻孔的单位涌水量一般可达 0.4—0.9 升/秒·米,大者可达 1.0—2.3 升/秒·米^[9]。但是,中、深部循环系统内的岩溶水,由于交替条件较差,在某些封闭地段矿化度可能较高。可是,水质问题是可以过开采加剧水流的交替循环条件、或人工回灌淡水办法逐渐加以改善。例如山西省清徐县的平泉自流井群,建井初期岩溶水的矿化度高达 1.55 克/升,仅开采了二年,矿化度下降为 1.27 克/升^②。

总之,我们认为深部岩溶水资源的开发,不仅扩大了区域岩溶水的可采资源;同时也增加了整个岩溶地下水库的调蓄能力;深、中、浅岩溶水资源的合理调配,更可弥补干旱年份浅部岩溶水资源的不足。

四、北方岩溶水资源的人工调蓄问题

由于对水资源的综合管理缺乏认识,以及其它种种原因,直到今天我们尚未有计划的开展北方岩溶水资源的人工调蓄工作。但是随着工农业对水资源需求量的不断增加,天然岩溶水资源已越来越不能满足要求。因此,迅速开展岩溶水资源的人工调蓄工作已刻不容缓。

针对北方岩溶水资源空间和时间分布上的具体特点,人工调蓄北方岩溶水资源的主要目的将是:增加岩溶水的开采资源总量;使岩溶水资源在时间分布上更加均匀,以提高枯水年份或季节的供水能力;同时也达到改善岩溶水的开采条件和防止环境地质条件恶化的目的。

^①根据煤炭部水文地质勘探公司资料。

^②根据山西省地矿局第一水文地质地质队资料。

从以下几个方面看,我国的北方岩溶水资源具备着人工调蓄的良好条件。

第一,我国北方岩溶水域在地质结构上多为封闭条件较好的岩溶地块,其中的碳酸盐岩贮水体的面积少则上百、多则上千平方公里。贮水体的厚度,仅中奥陶统就有300—600余米。孔隙率常常高达2—10%。上述优越的地质条件,为北方岩溶水的人工调蓄提供了庞大的地下库容。

例如,根据钱学溥对山西娘子关泉的滞后相关计算资料,娘子关泉域的地下调节库容有14亿米³[4]。又如煤炭部水文地质勘探公司在河北峰峰的王凤矿区和二里山—羊角铺地区先后二次大型抽水试验表明,历时30和70天,抽出的岩溶水量分别为415万和600万米³,而含水层中的最大水位降深仅2.56和2.85米。如此巨大的地下库容是北方许多岩溶大泉流量动态具有多年调节特征和极大稳定性的主要原因。

第二,我国北方岩溶水资源,常以集中的强径流带形式出现。这些强径流带的宽度一般不大,水力坡度极小,带内与带外岩溶发育强度、导贮性质有显著差异。例如,在峰峰地区和村盆地和鼓山东麓分布的岩溶水强径流带(带内钻孔的单位涌水量一般为3—20升/秒,大者达30—40升/秒)地下水水面的坡度仅0.3~0.5%(最小为0.14%①),几乎接近许多大河河床的比降。上述条件非常有利于地下挡水工程的修建,并保证挡水工程有较好的回水效果。

第三,北方岩溶水,在天然条件下,具有补给期短,水位上升速度快;消耗期长,水位降落速度慢的动态特征。在河北的黑龙洞泉域的径流区内,雨季的地下水位平均日升幅为0.2米,而旱季的日降幅仅0.016—0.02米,两者相差十倍②。上述岩溶水的动态特征,预示着岩溶水具有很好的补给和调蓄效果。

第四,岩溶泉域内的地下水位,在多数地段远低于地表水位,为地表水的自流入渗补给创造了条件。

关于北方岩溶水资源的调蓄方法,考虑到北方岩溶区的具体特点,结合国外岩溶区水资源调蓄的经验,我们提出以下建议:

(1)在适宜的位置修建地下挡水建筑物,形成地下岩溶水库,并可同时达到聚集分散岩溶水流,提高岩溶水位以改善岩溶水开采条件的目的。

地下挡水建筑宜布置在宽度不大的岩溶水的强径流带上;也可考虑布置在现代岩溶发育的河槽中以及有地下径流外排的某些岩溶泉水的泉口。

鉴于岩溶发育带的下限深度一般较大,故地下挡水建筑物,应以灌浆帷幕形式为主。只有在拦蓄通过上覆松散岩层外排的岩溶水流时,可考虑在厚度不大的上覆地层中修建挡水堤坝(地下或地上堤坎)。

北方岩溶区,使用灌浆帷幕截流的效果,现在已为某些岩溶矿床的堵水帷幕所证实。如1966年竣工的徐州青山泉矿二、三号井田之间的灌浆帷幕(位于太原群石灰岩中)在帷幕两侧形成了26米的地下水位差;1970年竣工的肥城大封煤矿9204工作面附近的灌浆帷幕(地层

①煤炭部水文地质勘探公司资料。

②根据余国光,林学钰:《有限元法稳定流求参问题的研究》一文资料。长春地质学院学报,1980年第一期。

同上),使工作面上突水点的涌水量由注浆前的 $1172\text{米}^3/\text{小时}$,减少至 $5.4\text{米}^3/\text{小时}$ 。

(2)在有条件的地区实行抽降扩容调蓄法。即在补给期(即岩溶水的高水位期)到来之前,通过井群大量抽取岩溶水(抽出水用于农灌或蓄存于地表水库中),以腾出更多的地下库容,从而增加丰水期的蓄存量。

这种方法的优点是,可减少丰水期通过地下,地表径流或泉口排往区外的水量,从而增加了岩溶水域内的地下水资源储量,并使岩溶水资源在时间上分配更加均匀。此外对于具有多年调节功能的岩溶泉域,也可实行多年调节平衡的抽降扩容法。

采用抽降扩容法,首先需要确定出年内丰水期岩溶水可能得到的最大补给量(也可借助人工补给增加补给量),并以此补给量来确定丰水期到来之前的抽水总量。但是应该注意,在较大的岩溶水域内,各地段丰水期(高水位期)出现的时间可能相差很远(特别是在排泄区附近),因此必须根据水位动态观测资料和水文气象预报资料慎重的确定抽水扩容的时间。根据以上特点,我们认为这种方法将主要适用于补给迅速的岩溶潜水区,但承压水区也会有一定效果。

(3)以人工回灌方法增加岩溶水的总资源量。由于北方岩溶区的河流经常断流,因此其回灌水源将主要是雨季流向区外的弃水。此外,一部分满足回灌水质要求的工业冷却、循环用水,特别是大量的矿山坑道排水也应尽量用于回灌。回灌时,主要应该利用天然渗漏量较大的河床。为增大回灌能力,可在河道上修建一些滞洪,蓄洪或“漏库”工程以及大口径的回灌井;最好剥离掉河床中厚度不大的弱透水盖层;也可在河道两侧开挖引渗渠道或入渗池。据一些国外资料介绍,由于岩溶区松散土层分布较少,因而河川径流中的泥质含量较少;加之岩溶裂隙通道较畅,因而一些引渗工程常常使用多年而不致淤塞。此外在高矿化的岩溶水区,采用抽降与回灌淡水相结合的方法,将会起到改良水质的作用。

本文编写过程中,大量引用了山西,山东两省地质、水利、电力勘察部门和煤炭部水文地质勘探公司的原始资料,作者在此表示衷心谢意。

参 考 文 献

- [1]谢云鹤、李国芬 中国北方岩溶和岩溶水的几个问题 长春地质学院学报 1983年第二期
- [2]中国科学院中国自然地理编辑委员会 中国自然地理(地表水) 科学出版社 1981年
- [3]中国地质学会岩溶专业委员会编 中国北方岩溶和岩溶水 地质出版社 1982年
- [4]J·托思 区域地下水运动特性和表现形式 水文地质工程地质选辑(译文集)第八辑 地质出版社 1978年
- [5]钱学溥 娘子关泉水流量的系统理论分析 中国岩溶 1982年第一期

ON DEVELOPMENT AND MANAGEMENT OF KARST WATER RESOURCE IN NORTH CHINA

Liao Zisheng

(*Changchun College of Geology*)

Abstract

Karst water resource accounts for a great portion of total water resources in North China. Comparing with the surface water resource in areas of North China and the water resource of underground river in karst areas of South China, karst water resource in North China is of superiority in time and space distribution, in water quality and in the protection against pollution. Therefore, the development of karst water resource in North China is quite prospective.

In recent years, the withdrawal of karst water in North China has led to the exhaustion of water resources in not a few places, and has consequently induced various problems of environmental geology because of irrational development and unscientific management.

For solving the above problems, karst water resource has to be evaluated and planned for its development as a whole, water-bearing karstified rock formations should be divided into zones and the karst water circulation system studied; artificial regulation of karst water resource should be put into operation.