



河西走廊地下水与河水的互相转化 及水资源合理利用问题

甘肃省地质局研究所 范锡朋

河西走廊并不是一个统一的、连续的山前平原地带，而是由一系列具有共生关系的构造-地貌盆地所组成的。这些盆地呈南、北两排展布，南面的一排紧靠祁连山，北面的与低矮的北山邻接，南北盆地之间

多为不宽的构造山梁分隔。由于中生代以来强烈的沉降，各盆地中都有巨厚的半固结-疏松的山麓相、河湖相堆积，从而使这些盆地成为地下水良好的聚集体场所（图1）。

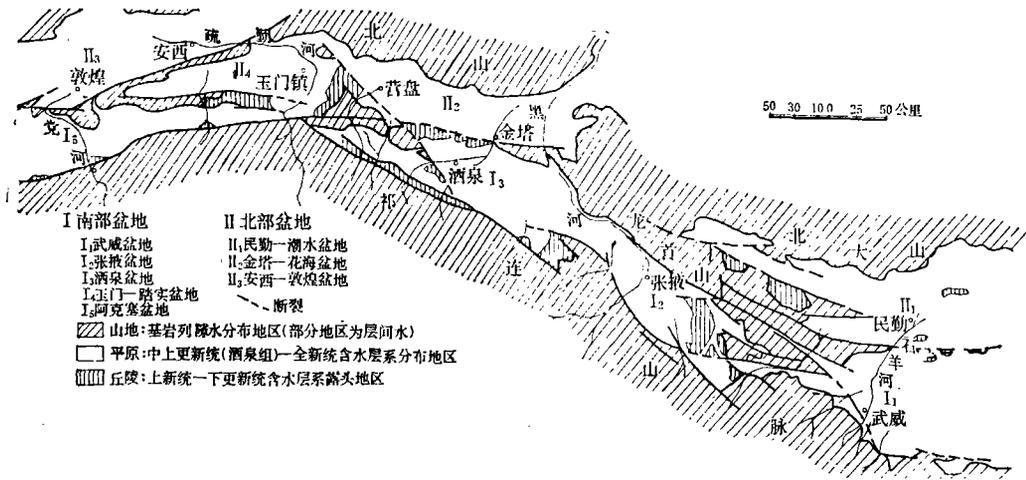


图1 河西走廊水文地质盆地分布略图

各盆地目前广泛作为供水水源的含水层系是中上更新统一全新统。这是一类受山前平原地貌及沉积物岩相制约的潜水-承压水系统，也是各盆地中地下水资源主要的富集层位。在分布上它受盆地的构造、地貌限制，具有独立的补给、径流、排泄过程，但通过地下水与河水的互相转化，又使一些盆地之间的水资源发生密切的联系，并在开发利用上互相牵制。

一、地下水与河水之间 互相转化的规律

一般，河西走廊的河流从发源地到其水流终止或散失区，要穿越以下几个不同的地带：

- I、中高山——水文网强烈排水带；
- II、山麓（丘陵）——阻水带；
- III、南部盆地；
洪积扇群——渗入径流带；

细土平原——泉水溢出（蒸发）带；

IV、低山丘陵——阻水带；

V、北部盆地；洪积、冲积、湖积平原——渗入蒸发带。

在中高山带，由于祁连山新第三纪以来上升幅度超过数千米，水文网密集而深切，从而使山区水积交替带的裂隙-脉状地下水强烈的排向河中。根据河流流量历时过程线分割，祁连山北坡，每年泄入河流中的地下水总量在23.4亿立方米左右。

虽然在祁连山内某些地区特别是一些巨大的构造纵谷，河水与地下水之间的转化过程颇为复杂，但就总的特征而言，山区的地下径流在河流出山前，绝大部分已排泄入河流。中国科学院冰川冻土所对河西走廊东段石羊河支流西营河山区流域部分的水均衡研究，也得到这样的结论。

祁连山区的地下径流在出山前基本上已转化为河

水,还有一个重要的原因,即山麓带所特有的地质结构。多方面的调查与勘探资料证实,祁连山与河西走廊南部各盆地平原之间的衔接带,常见的三种地貌-构造型式都起到阻挡山区地下径流向平原运动的作用(图2)。

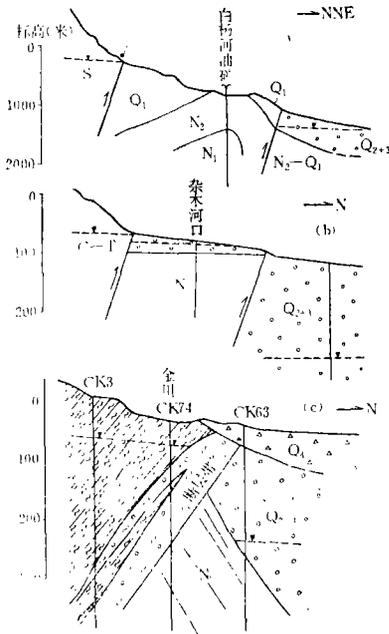


图2 祁连山山麓阻水带的三种型式

从祁连山进入河西走廊的三大水系(石羊河、黑河、疏勒河)总是先流进南部盆地,然后切穿南北盆地之间的山梁,再流入北部盆地中。在南部盆地中河流在洪积扇群带大量渗失。据计算,1977年河西走廊在此带通过天然河道的渗漏量为22.1亿立方米/年,通过渠系的渗漏量为16.5亿立方米/年,总计38.6亿立方米/年。

到了南部盆地中部和北部——细土平原带,由于北部山梁阻隔和地势低落,致使在洪积扇群带主要由河流(渠系)渗入而成的地下径流沿洪积扇边缘和细土平原上的河床、沟槽大量溢出地表,形成广泛分布的泉沟。河西走廊这个地带的泉水总流量达20.2亿立方米/年(1977年)。这些泉水汇集到主干河道中成为河西走廊上述三大河流下游河水的主要组成部分。

在南部盆地中,从河流渗入到地下水溢出,形成了,河水→地下水→河水,这样一个反复的转化过程。由于南、北盆地之间构造山梁(低山丘陵带)的阻隔,南部盆地的地下径流,除了很少的一部分通过沟通南、北盆地的现代河床或古河床冲积层直接以地下径流形式流向北部盆地外,绝大部分呈泉水溢出或

蒸发散失。因此南部盆地的水资源仍然主要以河流的形式流入北部盆地。

天然条件下进入北部盆地的河流基本上是一个与南部盆地近似的再渗入、溢出和蒸发的过程。不过这里泉水溢出有限,已看不到类似南部盆地那样大型泉群、泉沟,地下水的消耗几乎完全依赖于蒸发。

根据1977年(近于平水年)水均衡计算,河西走廊上述水资源转化过程的定量关系可概略地表达如下:

1. 中高山区的地下径流,在出山前转化为河水的数量,占出山水总量36.3%,直接以地下径流形式流入南部盆地的,仅占南部盆地地下水总补量的6%。
2. 在南部盆地南部洪积扇群带,来自中高山的河水有52.6%转化为地下水,占南部盆地地下水总补给量的90.5%。
3. 南部盆地北部的细土平原带,泉水溢出总量占南部盆地地下水总补给量47.4%,汇入河流下游的泉水,占下游河水总量60%。
4. 进入北部盆地的河水(其中60%是南部盆地的泉水)63%转化为地下水,占北部盆地地下水总补给量75%。

因此,有规律的、大数量的、反复的转化过程是河西走廊地下水与河水之间相互转化关系的基本特征。同时由于地下水与河水几乎是同出于一源,因而在一定程度上可以说地下水资源(指可恢复部分)与河水是同一水源在不同条件下的两种表现形式。认清这个客观规律才能找到近三十年来河西走廊在水资源的开发利用中所出现的矛盾和问题的症结。

二、河水利用率提高与地下水天然资源的变化

近三十年来,河西走廊地下水天然资源发生了较大的变化。这种变化已明显地反映在大面积水位降低和泉水流量普遍减少等区域性的水文地质现象上。

把现在的地下水位与五十年代后期、六十年代早期的地下水位相比较,河西走廊各盆地南部地下水位普遍降低3—5米,部分地区达10米以上。地下水位观测资料也证实之这个现象(图3)。河西走廊东部石羊河流域地下水降低幅度最大,在流域中部武威盆地,泉水溢出带以上的洪积扇群带,水位普遍下降10—20米,泉水溢出带以北下降1—5米;流域北部民勤-湖水盆地的南部下降5—15米,北部1—5米。

区域性地下水位降低的现象有一个共同的规律,即在各盆地地下水补给区降低的幅度最大,沿着地下

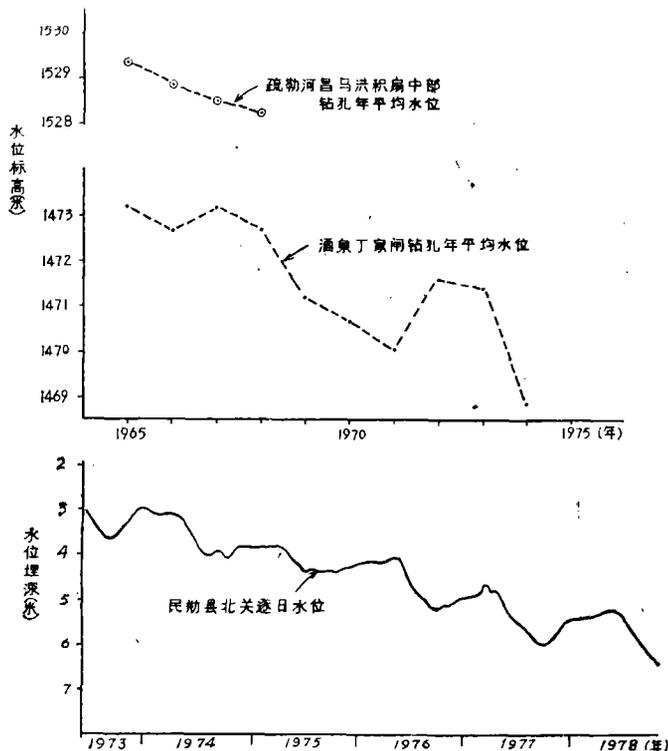


图3 河西走廊地下水水位多年动态变化曲线

径低的方向幅度递减。在一些井灌规模很大的盆地中，地下水位降低幅度最大的地区并不在井灌区，而是盆地南部地下水补给带（河、渠水大量渗入的洪积扇群带）。这个事实说明引起河西走廊大部分地区区域地下水位持续下降的主要原因是补给来源减少，开采（井灌）的影响是第二位的，只有大量超采的地区（石羊河流域下游）例外。

随着区域地下水位下降，泉水流量也在不断减少（图4）。以1959年、1966年、1977年三年相比较，河

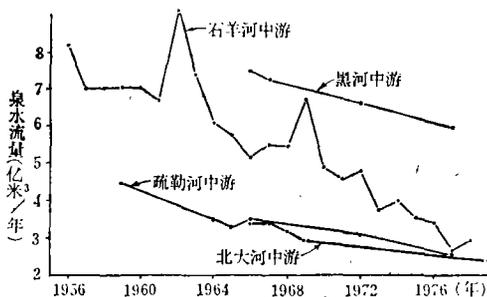


图4 河西走廊各地区泉水总流量逐年变化趋势

西走廊泉水总流量1966年较1959年减少11.2%，1977

年较1966年减少25.9%，1977年较1959年减少34%，其中石羊河流域减少幅度最大，达50.7%（表1）。泉水减少的原因与区域水位持续下降的原因是同一的，仅在井灌区马泉水分布区重叠，井灌规模又很大时（石羊河流域中游），井灌的影响才成为主导因素。

河西走廊地下水资源逐年的变化，虽受河流来水量周期性变化的影响而有所波动，但总的趋势是递减的。据计算，五十年代后期，当河水灌区渠系水的利用率为0.25—0.3时，地下水平均总补给量为64.9亿立方米/年，到六十年代中期渠系水利用率提高到0.3—0.45，地下水总补给量减为57.7亿立方米/年。七十年代后期渠系水利用率进一步提高到0.4—0.6，地下水总补给量下降到49.2亿立方米/年，较之五十年代后期减少25%。在河西走廊三大内陆河流域中，河水利用率提高幅度最大的石羊河流域，减少的比例也最大，达39%。

正是由于河水利用率提高和地下水补给来源递减，以及由此而造成的区域水位下降、泉水量减少，导致了河西走廊水资源重新分配过程，使这里千百年来已形成的水资源利用格局发生变化。

表1 河西走廊泉水多年变化 (亿米³/年)

| 地区 | 1959年 | 1966年 | 1977年 |
|-------|--------|--------|--------|
| 石羊河流域 | 6.502 | 4.973 | 3.199 |
| 黑河流域 | 18.611 | 17.640 | 13.789 |
| 疏勒河流域 | 5.556 | 4.613 | 3.187 |
| 总计 | 30.699 | 27.226 | 20.175 |

三、水资源重新分配及其所引起的矛盾和问题

适应于天然水资源分布的特点，河西走廊水资源在农业上的利用长期以来形成了自南而北分布的三个灌溉带：

I、河水灌溉带——位于各南部盆地南部近祁连

山麓的洪积扇群带。其引水工程修建于河流出口处，通过各级渠道将河水引入灌区。灌溉面积占河西走廊总灌溉面积60%。

II、泉水灌溉带——位于各南部盆地北部，分布范围与泉水溢出带一致。灌溉面积占总面积20%。由于泉流分散，引泉工程遍及各地。

III、泉水、河水混灌带——位于河西走廊三大水系下游北部盆地范围内，灌溉面积占总面积20%。这个灌溉带的水源由两部分组成：(1)上游的河水。

(2)上游泉水灌溉带多余的泉水。河水与泉水的比例各地不一，丰水年与枯水年也不一样。1977年入渠的总水量，泉水占64%，河水占36%。泉水中包含了泉水灌区泉水再渗入部分。

在最近三十年中，进入上述三个灌溉带的水源，在河水利用率不断提高的情况下，经历了一个不断重新分配的过程。

以石羊河流域为例：

第一阶段——五十年代，在这个流域基本上没有控制工程，引水渠或为天然土渠或为干砌，渗漏严重，渠系水利用率很低(0.25—0.3)。由于引入田间水量不足，流域南部河水灌溉带农业发展受到限制，同时因河、渠水大量渗入含水层，地下水来源充沛，泉水流量

稳定，在流域中部形成了五十余万亩泉水灌区。流域北部泉水、河水混灌面积约七十万亩，无水源不足之虞。

第二阶段——六十年代到七十年代初，南部山区修建了一部分调蓄水库，渠系进行了改建、衬砌，渠系水利用率提高到0.35—0.45，河水灌溉带扩大，保证程度也相应提高。但由于河渠水渗入减少，泉水流量逐年下降，此时期泉水量较五十年代减少了28%，使流域中部泉水灌溉带南缘泉脑地带的耕地失去灌溉水源，于是首先在这个地带打井，以井水代替泉水，并随着泉水不断减少而日益扩大井灌规模。此时期进入流域北部泉水、河水混灌带的水量与五十年代相比减少了16%，因而也出现了水源不足的现象，并开始兴建机井群，同样随着上游来水不断减少，井群规模愈来愈大。

第三阶段——七十年代中后期，流域南部河水灌溉带水的利用率进一步提高，渠系水利用系数达到0.45—0.68，加上井灌的直接影响，泉水大幅度削减(较五十年代减少48%)，流域中部的泉水灌溉带基本上改建成井灌区。进入流域北部泉水、河水混灌带的水量仅为五十年代水量的56%，以致超量开采井水弥补水源之不足。

表2是石羊河流域各阶段某些典型年分河水、泉

表2 河西走廊石羊河水源变迁

(单位：亿立方米/年)

| 阶段 | 年 限 | 南部河水灌溉带 | | | 中部泉水灌溉带 | | | 北部泉水、河水混灌带 | | |
|------|-----------|-----------|-----------|------------|---------|-----------|------------|------------|----------|-----------|
| | | 出山 河水量 | 入渠 河水量 | 入田间 河水量 | 泉水量 | 入渠 泉水量 | 入田间 泉水量 | 来水量 | 入渠 水量 | 入田间 水量 |
| 第一阶段 | 1963年前平水年 | 14.15 | 9.76 | 2.93 | 7.24 | 3.49 | 1.75 | 5.10 | 4.27 | 1.63 |
| | 1963年前中旱年 | 9.16 | 7.58 | 2.28 | 7.02 | 3.22 | 1.61 | 4.50 | 3.68 | 1.40 |
| 第二阶段 | 1961—1966 | 11.44 | 9.00 | 3.69 | 5.93 | 2.51 | 1.41 | 3.56 | 3.56 | 1.61 |
| | 1972 | 11.59 | 8.92 | 4.64 | 4.58 | 1.70 | 0.95 | 3.09 | 3.09 | 1.60 |
| 第三阶段 | 1977 | 13.01 | 9.58 | 5.66 | 2.39 | 0.60 | 0.40 | 2.53 | 2.53 | 1.46 |
| | 1978 | 11.72 | 8.34 | 4.93 | 2.01 | 0.66 | 0.45 | 2.26 | 2.26 | 1.29 |

水分配情况。如果把进入各灌区田间的河水、泉水总量与出山河水总量之比作为全流域地面水的利用率，把进入各灌溉带田间的河水或泉水量与出山河水总量之比作为每个灌溉带地面水的利用率，那么可以看到：

1. 就整个流域而言，地面水利用率显著提高。以1963年前平水年与近于平水年的1977年相比较，利用率提高13.2%。

2. 对于流域内各个灌溉带来说，地面水利用率

有的下降或大幅度下降。七十年代后期较五十年代，南部河水灌溉带提高17—23%，中部泉水灌溉带下降9—14%，北部混灌带下降1—4%。

3. 实际进入各灌溉带田间的水量(河水或泉水)发生了很大的变化，1977年与1963年前平水年相比较：河水灌溉带增加93%，中部泉水灌溉带减少了77%，北部混灌带减少了10%。

石羊河流域河水、泉水在中、下游重新分配的后果是：南部河水灌溉带取得了显著的效益，中部泉水

灌溉带和北部混灌带水源日益不足。已如前述，正是在这种情况下，中游泉水灌溉带用井水弥补水源之不足，但反过来又因井灌的发展进一步促使泉水大幅度减少。而主要依赖中部和南部泉水、河水为水源的北部混灌带，也因泉水减少，河水下泄量减少（上游水库调蓄）而失去很大一部分水源。同样为了弥补水源不足而大规模发展井灌，超量开采地下水，甚至开采高矿化的咸地下水（3—7克/升）进行灌溉（民勤湖区），以致地下水位连年下降（民勤坝区、泉水区），或遭受次生盐渍化的侵害（湖区）。

石羊河流域的现状在河西走廊有一定的代表性，它是河西走廊现行（也是过去多年来实行的）水利建设方针——片面强调河水利用在河水利用率较高时必然要产生的结果。实践证明，在这个方针指导下，水资源的利用率虽有所提高，但它却打破了原有上、下游之间的水土平衡状态，使下游地带千年来营建的灌溉区因水源逐年递减而处于衰败的威胁之下。石羊河流域正反两方面经验的启示是：仅仅强调提高河水利用率，在河西走廊所特有的自然条件下还不完全适应客观规律。问题的实质在于，既然河西走廊的地下水主要来源于河、渠水渗入，河水与地下水之间存在着大数量的、反复的转化关系，那么在目前农业灌溉技术和管理水平上，相对最佳的水资源利用方案，只有因地制宜地在全面规划（流域的、跨流域的）综合利用、合理调配河水、地下水的基础上才有可能制定出来。

四、水资源合理利用及综合利用模式

河西走廊水资源的合理利用还涉及两个问题，一

是河流来水不均匀，一是地下水分布的不平衡。河流来水不均则需要工程调蓄以保证灌溉时，某些情况下也是提高水资源利用率和用于灌溉的不可少的措施。河西走廊南部山区和南北盆地之间的低山丘陵地带都不缺乏修建水库的地质、地貌条件。地下水分布的不平衡就决定了井灌发展规模不平衡性。据计算，现状水利条件下，河西走廊地下水总补给量的多年均值约50.5亿立方米/年，其中南部诸盆地占79%，北部盆地占21%。就开采条件而言，南北的差异更大，一般可以划分出以下五类“地下水开采条件类型”：

- I、水量大，水位浅可配置浅或浅、中深大规模井群的；
- II、水量较小，水位浅可配置浅或浅、中深井群的；
- III、局部可配置小规模井群的；
- IV、水位埋藏过深非宜井的；
- V、水质不好非宜井的。

I、II、IV、V型在河西走廊占有的面积最大，也是绝大部分耕地和宜农荒地分布区，而宜于发展井灌的I、II型大致上相当于泉水灌溉带和泉水、河水混灌带中、南部，IV型与南部盆地山前洪积扇群带的范围一致，V型局限于河流下游水流终止地带。

根据地下水和地面水的开发利用条件，从综合利用水资源的观点提出的河西走廊水资源利用模式如表3。这个模式与现状相比较，原有的三个灌溉带将改建为四个灌溉带，自南而北是：河水灌溉带，井水灌溉带，泉水、河水、井水混灌带及泉水、河水灌溉带。

表3 河西走廊水资源利用模式

| 项 目 | | | 现 状 | | | 合 理 的 模 式 | | | |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------------|-----------|------------|--------|----------|
| | | | 石羊河流域 | 黑河流域 | 疏勒河流域 | 地下水开采类型 | 灌区类型 | 就地开发的源 | 调入或调出的水源 |
| 北 ↑ 南 | 北部盆地 | 北部 | 泉水、井水 | 泉水、河水 | 泉水、河水混灌区 | V型 | 河水、泉水混灌 | — | 调入泉水、河水 |
| | | 中部及南部 | 混灌区 | 混灌区 | 河水或泉水、河水混灌区 | II型 | 井水、泉水、河水混灌 | 井水 | 调入泉水、井水 |
| | 南部盆地 | 中部及北部 | 井水灌区 | 泉水灌区 | 河水灌区 | I、II型 | 井水灌区 | 井水 | 调入泉水、井水 |
| | | 南部 | 河水灌区 | — | — | IV型 | 河水灌区 | 河水 | — |

这样的水资源开发、调配方案，实质上是设想建立一个统一的，以流域为单位的“河水-泉水-井水联合系统，在这个系统中，河水的调配迁就了地下水资源分布状况，基本思想是：地下水多的地方尽可能发

展井灌，把易于集中调配的河水（泉水）调配到不宜打井灌溉的地区。

当然，提出这样一个“模式”只不过是轮廓性的规定了河西走廊各流域应当遵循的水资源综合利用方

式而已,在具体的流域规划过程中,对于各类灌区河水调配数量、井灌规模的确定,除了需要考虑水土平衡、技术经济合理性等因素外,还需要对以下三方面与水资源综合平衡有关的问题详加研究。

第一、流域上、下游之间的水资源平衡问题。实践证明,对任何一个局部灌区水资源利用情况的改变,都可能不同程度的引起全流域水资源的重新分配。因而离开一个流域的整体规划,采取分而治之的办法会造成兴此废彼的不良后果。因为:

1. 河水利用率不断提高时,地下水资源也将发生不断变化,从而引起区域性的地下水位降低,引起已经广为利用的泉水大幅度减少。

2. 在泉水灌区大规模打井提灌将引起泉水大幅度减少。

3. 河流中、下游之间,亦即南、北盆地之间,当南部盆地(流域中部)泉水大幅度减少时,进入北盆地(流域北部)的水资源也大幅度减少了。

4. 进入北部盆地(流域北部)的水资源减少也就意味着北部盆地地下水资源的减少,同时产生区域性水位降低。

第二、地下水天然水库的利用问题。河西走廊大部分地区含水层厚度很大,是一个特大的天然地下水库,可以人为的利用这个条件对变化颇大的水资源进行调节。因而在一个地区是修建地面水库或修建多大规模的水库还是利用含水层进行调节,应当对两者的

技术经济条件进行充分的比较。

第三、盐碱土灌区的水平衡问题。河西走廊各盆地北半部,一般地形闭塞径流不畅,有大面积盐碱地分布。从土壤改良的角度看,类似这样的垦区大都处于水分过剩的状态,为了有利于灌区地下水位降低,首先应研究就地开采地下水作为灌溉、洗盐水源的可能性(井灌、井排),以期收到灌、排的双重效果。即使引入水源也应详细研究灌区水平衡(盐平衡),控制调入水量,避免灌区水平衡向着不利于土壤改良的方向发展。

综上所述,可以得到一个初步的结论,那就是:河西走廊水资源形成和分布规律显然不同于华北平原那种以就地降水入渗为地下水主要来源的地区。这里气候干旱,降水稀少,地下水与河水几乎是同出一源,两者之间转化关系极为密切。河水的利用与地下水的利用,上游用水与下游用水,互相影响,互相牵制的现象异常突出。因此,水资源的开发利用如果不从整个流域着眼,不把河水、地下水作为统一的水资源来对待,就有可能兴此废彼,使一些地区得利,而另一些地区产生沙漠化、生态平衡变化、水质恶化等一时难以克服的问题。

参 考 文 献

中国科学院冰川冻土沙漠所,1965,西营河流域的水资源与进一步开发利用的可能性,地理集刊。

对黄淮海平原水资源开发利用的一些看法

许志荣 (河南省地质局水文地质十七队)

历史上黄淮海平原旱涝咸碱相随,长期影响农业的发展,积盐和脱盐、咸和淡、它们之间相互对立而又统一于一个“水”之上,要加快农业步伐,必须首先从“水”字着眼,综合治理旱涝咸碱,而水资源状况如何,又是综合治理的基础。黄淮海平原水资源状况究竟如何?看法很不一致。我认为黄淮海平原水资源是比较丰富的,开发利用潜力的很大。

一、浅层地下淡水资源丰富

1979年七省市地质局的水文地质队,计算浅层地下水水位埋深4米时,平均每年可开发利用的浅层地下淡水资源约有476亿方,其中黄河以北约占40%多。而目前,由于不少地区地下水水位较浅,每年有近一半的浅层地下淡水资源白白消耗于蒸发。大量观测和试验资料证实,当地下水水位埋深4米左右时,浅层水可停止蒸发或蒸发量相当微弱了。所以,可通过开采,将地下水水位降到4米左右,就可基本夺回这部份损耗量。由此可看出,控制最优地下水位,夺取地

下水蒸发量,是当前水利建设配套挖潜的重要方面。

二、加强人工调蓄,增加对地下水的补给

在开采地下水的前提下,配合一定的水利工程,将降水和地表水尽可能多地蓄积,这是该地区水资源开源的主要途径。

1. 目前黄淮海平原降雨补给地下水的量约占年降雨总量的20%到25%,每年每平方公里约有15万方左右的降水转化为地下水。而在利用河渠、坑塘等蓄水后,不少地区每年每平方公里的降水补给量已增加到20万方以上。山东省桓台县,面积516平方公里,利用沟渠、坑塘引渗回灌,使河道径流和区内地表径流基本不出境,降雨补给地下水量可占年降雨量的50%以上。1976年至1978年,平均每年每平方公里内的地下水开采量高达48万方,地下水水位仍保持平衡,全县粮食获得丰收。说明在平原区,通过一定的水利工程,是可以增大降水对地下水补给的。

2. 目前黄淮海平原已有的水资源并未充分利用起来。