

文章编号:1672-6561(2012)03-0057-05

## 华北平原水资源合理开发利用的思路与举措

刘少玉,刘鹏飞,周晓妮,王哲,宋淑红

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北石家庄 050061)

**摘要:**经过几十年的大量开采利用,华北平原地下水资源不仅表现为区域超采和局部严重超采,也暴露出地下水补给源严重萎缩的问题。其主要表现在中西部粗质平原的地下水易补给区,因汇流山地水库强力拦蓄,河道主体补给功能丧失,而在中东部细质平原的径流主产区,因水位埋藏浅和水质咸化,降水径流不能形成对地下水的有效补给,蒸发流失严重。以往实践强调山区水利工程建设而轻视了东部低平原区径流拦蓄利用,重视对高海拔咸水体的改造利用而忽视了对低海拔咸水体的改造利用,强化地表水库建设的重要性而忽略了地下水水库的重要性。面对华北平原供水紧张的严峻形势,调整水资源开发战略势在必行,其具体思路是:以千方百计提高降水利用水平为中心,调整和改善水资源开发利用整体布局;以地下水补给调蓄为重点,大力集蓄雨洪水和改造利用浅层水,充分发挥地表水和地下水两大功能作用。其具体举措有:实施山前梯级水坝的地下水水库“回灌”工程;实施中东部及滨海淡水蓄水利用工程;实施东部浅层地下水规模化改造开发利用工程。若上述措施得以实施,可使降水利用率从现状的20.65%提高到26%以上,则华北平原供水问题有望获得解决。

**关键词:**水资源;地下水;回灌;雨洪水利用;浅层水改造;华北平原;思路与举措

**中图分类号:**P641;S273

**文献标志码:**A

## Idea and Action for the Rational Development and Utilization of Water Resource in North China Plain

LIU Shao-yu, LIU Peng-fei, ZHOU Xiao-ni, WANG Zhe, SONG Shu-hong

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China)

**Abstract:** After the large exploitation and utilization for the past several decades, the groundwater utilization in North China Plain not only showed regional and serious local overexploitation, but also exposed the problem of serious decrease of groundwater recharge source. Because of the powerful impoundment of confluence mountain reservoir, the recharge function of main river body, lost in the middle-west of North China Plain with coarse particles, which was easy groundwater recharge area; because of the shallow burial depth and water salinization, the rainfall-runoff could not be effective to the recharge of groundwater in the middle-east of North China Plain with fine particles, which was the main runoff area. The traditional practice showed that the hydraulic engineering construction was emphasized in mountain area while impounding and utilizing the runoff in the west low plain area was neglected; renovating and utilizing saline water was valued in high altitude area but ignored in low altitude area; the surface reservoir construction was strengthened while the ground water reservoir was

收稿日期:2012-04-05

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212010634106)

作者简介:刘少玉(1961-),男,满族,辽宁锦州人,研究员,理学博士, E-mail:liushaoyu323@263.net。

overlooked. Facing the grim situation of intense water supply in North China Plain, it was necessary to adjust the development strategy of water resource. The idea was as follows: improving the utilization of precipitation should be the most important, and then the overall layout of development and utilization of water resource should be adjusted and improved; groundwater supply and store should be important, collecting the rain flood and transforming and utilizing the shallow water also should be paid attention to, giving full play to the function of surface and groundwater. The actions included the project of groundwater reservoir recharged by multi-level stone check dam in the piedmont, the project of storing fresh water in the middle-east and the coastal region and the project of utilizing the shallow water with large scale in the eastern. If the above actions could be carried out, the utilization rate of rainfall could increased from 20.65% to more than 26%, so the shortage of water supply in North China Plain could be solved.

**Key words:** water resource; groundwater; recharge; rain flood utilization; transformation of shallow groundwater; North China Plain; idea and action

## 0 引言

华北平原包括京、津、冀、豫北和鲁北的平原地区,总面积  $13.92 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是中国北方重要的政治、文化中心,是首都经济圈、环渤海经济带所在地,也是重要的粮棉产区。华北平原水资源短缺状况由来已久,近 40 年来,随着气温升高、降水减少、蒸发加大以及地区人口增多、工农业用水增大、水利工程截流损失以及污染浪费等,使可用水资源急剧减少,缺水威胁越来越严重。华北平原地下水资源经过 30 多年的大量开采利用,不仅表现为区域超采和局部严重超采,也暴露出地下水补给源的严重萎缩问题。其主要表现在中西部粗质平原的地下水易补给区,因汇流山地水库强力拦蓄,河道主体补给功能丧失;而在中东部细质平原的径流主产区,因水位埋藏浅水质咸化,降水径流不能形成对地下水的有效补给,蒸发流失严重。纵观以往实践,强调山区水利工程建设而轻视了东部低平原区径流拦蓄利用,重视了对高海拔咸水体改造利用而忽视了对低海拔咸水体改造利用,强化了地表水库建设重要性而忽略了地下水库的重要性。事实上,华北平原水资源仅占全国 1.7%,却维持了该地区几十年的经济社会高速发展。目前,华北平原 75% 以上的用水需求要靠地下水支撑,每年开采量达  $206 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[1-2]</sup>,造成过度开采下的区域性水位大幅度下降,直接诱发地面沉降、地裂缝等环境地质灾害,水资源已成为制约该区可持续发展的瓶颈。因此,面对新形势,必须从战略高度和提高国家资源安全保障能力的需要上,重

视华北平原水资源合理开发利用的问题,具有十分重大的现实意义。

## 1 水资源开发利用及其主要环境问题

### 1.1 水资源开发利用状况

几十年来,在华北平原汇流山区,大规模建设水利工程,修建水库 1 600 多座,总库容超过  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,控制了山区汇水面积的 85% 以上(远超过国际公认的河流开发程度 30%~40%),直接导致华北平原的主要河流下游基本上成为季节性河流,甚至全年断流干涸。根据目前的开发利用水平<sup>[2]</sup>,华北平原每年可用水资源总量为  $371.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中地表水每年可利用量  $148.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水每年可开采总量为  $223.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,浅层可开采总量每年为  $202.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。该区地下水自 20 世纪 70 年代开始,开采量逐年增大,70 年代每年平均为  $156.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,2003 年则达到  $206.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中浅层水每年开采量  $176.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,深层水每年开采量  $29.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,平均年增加开采量约  $1.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

历经几十年的大量开采,华北平原地下水储量减少了约  $1300 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水是该地区不可替代的支撑性资源。目前,深层地下水总体处于超采状态,无开采潜力;浅层地下水总体略有开采潜力,但因资源分布和开采程度不平衡,超采区和潜力区并存,黄河沿岸及中东部平原的古河道带尚有潜力,山前开采漏斗区处于严重超采状态。

华北平原水资源开发利用主要特点有:①补给源区河水主要被束缚在山区,平原河流大部干涸,扣除大量蒸发损失,地表水实际净水利用率不足

50%;②现有供水能力不能满足经济社会高速发展下的巨大需水体系,缺水争水现象严重,在缺水条件下,河北省每年向京、津保证供水约  $19.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,城乡间争水和工农业间在用水高峰期争水问题突出;③生态环境用水和景观用水基本被生产、生活用水挤占,生态环境明显恶化;④地下水不仅区域开发利用不平衡,而且深层、浅层开发利用程度差别很大,深部淡水普遍开采过度,而浅层水(尤其是平原东部各种水质的浅层水)开采程度都比较低,尚存在较大的潜力;⑤地下水补给河源严重减少,首先因山区修建的水库过多,造成山前地下水强补给区不能获得来自山区的河流水补给,显著影响地下水补给量,其次是平原东部属于宽阔平坦的滨海低平原区,是降水主产径流区,年产径流深  $100 \sim 200 \text{ mm}$ ,但由于浅部土层岩性多为细颗粒黏性土,入渗补给能力差,而且 56% 的面积为浅埋广布的咸水分布区,过分集中的内涝洪水常常致灾,很少通过自然循环有效更替浅层地下水,造成大量雨洪水资源流失或蒸发,浪费严重,充足的光热资源和生物环境潜力不能发挥作用。

### 1.2 水资源开发利用产生的主要环境问题

华北平原总体上表现为山区来水大量减少,平原河道断流,河流功能丧失,水资源衰减严重。平原地下水过量开采,部分地区已经枯竭,平原生态系统已由开放型向封闭型和内陆型方向转化。地下水长期超采以及补给源消减,使地下水流动系统发生变异,水位从局部下降到区域性下降,同时诱发了含水层疏干、地面沉降、地面塌陷、地裂缝、海水入侵、水质恶化等环境地质问题。

资料显示,20 世纪 50 年代末期,山前平原区浅层地下水位在  $25 \sim 80 \text{ m}$ ,中东部平原区为  $5 \sim 25 \text{ m}$ ,滨海平原区为  $0 \sim 5 \text{ m}$ 。2001 年,山前平原区浅层地下水位在  $20 \sim 60 \text{ m}$ ,同比普遍下降  $5 \sim 20 \text{ m}$ ;中东部及滨海平原区浅层地下水位在  $0 \sim 20 \text{ m}$ 。截至 2006 年,华北平原浅层地下水漏斗面积超过  $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,漏斗水位埋深为  $30 \sim 60 \text{ m}$ ,深层地下水漏斗面积超过  $7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,最大水头埋深达  $110 \text{ m}$ ,已经成为世界上最大的地下水漏斗区<sup>[3]</sup>。

20 世纪 60 年代,华北平原地面沉降仅发生在河北保定、衡水以及天津市的市区、塘沽区、汉沽区等地下水下降漏斗中心地带。20 世纪 80 年代以后,沉降区域快速发展,截至 2006 年,大于  $200 \text{ mm}$  的地面沉降区域达  $6.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中北京、天津、沧州的最大沉降量分别达到  $1.20$ 、 $3.25$ 、 $2.50 \text{ m}$ ,出

现 400 余条地裂缝。

1979~1997 年的 18 年间,华北平原东部咸水水位下移  $10 \sim 30 \text{ m}$ ,最大下移了  $56 \text{ m}$ ,每年平均下移  $0.5 \sim 2.0 \text{ m}$ ,使下层淡水水质出现不同程度的恶化。20 世纪 80 年代,秦皇岛沿海海水入侵面积曾达  $20 \text{ km}^2$ ,1991 年引青济秦工程通水后,入侵面积减少到  $15.9 \text{ km}^2$ ,1999 年则低于  $4.6 \text{ km}^2$ 。

## 2 2020 年华北平原水需求状况

地下水、地表水和引黄河水共同构成了华北平原的水资源供给系统,工业用水、农田灌溉、生活用水和地表水环境用水构成了本区的需水系统,供需平衡是水资源可持续利用的基本保障。

可供水量主要包括:本流域河川径流、跨流域引地表径流,如引黄河水和滦河水等;浅层地下水和深层承压地下水;海水淡化、污水回用、节水;南水北调引长江水等。地表径流按平水年计算,地下水依评价数据<sup>[2]</sup>,得到 2020 年可供水量为  $372.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。依据社会经济发展,以县级行政单元为基本单位,统筹兼顾社会、经济、生态、环境等各部门发展对水的需求,计算得出 2020 年需水量  $462.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

供需平衡结果表明,2020 年水资源缺口约  $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。可见,未来 10 年华北平原水资源供需矛盾仍很突出,区域发展将受到水资源短缺严重制约,特别是近几年旱情加剧,现有供水无法满足巨大的耗水体系,未来地下水普遍超采有不可避免的发展趋势。破解水资源紧缺、环境地质灾害严重的难题,如何解决长期稳定安全的供水问题是需要认真思考和付诸行动的重大问题,需要对地下水资源采取多种切实措施加以科学的保护利用。

## 3 水资源合理开发利用的思路与举措

### 3.1 思路

目前,华北平原水资源总体开发利用存在以下弊端:上游源区为降水和地表水强力工程性截流区,平原中下游为径流流失丧失区,整个平原为地下水强烈超采区,形成了全域性水资源循环系统的水补给与开发利用的严重脱节,造成降水、地表水和地下水“三水”分割局面。其中,降水、地表水利用率低,而地下水无论是深层水还是浅层水开发利用严重失衡,同时淡水普遍严重超采,而低平原区咸水和微咸水利用极不充分。在某种程度上,华北平原缺水问题不是水资源不够,更多的原因是人为的不合

理开发利用造成的。因此,调整水资源开发利用战略势在必行。

水资源合理开发利用的主要思路是:以千方百计提高降水资源利用水平为中心,调整和改善水资源开发利用整体布局。应该地下水开采调蓄并重,大力集蓄雨洪水和改造利用浅层水,充分发挥地表水和地下水的功能作用。

根据汇流面积计算,全区总面积  $29.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中平原  $13.92 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,山区  $15.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ;年降水量  $400 \sim 800 \text{ mm}$ ,多年平均降水总量约  $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。要满足 2020 年  $462.50 \times 10^8 \text{ m}^3$  的水需求总量,必须使现状的  $371.77 \times 10^8 \text{ m}^3$  (2010 年)供水能力从占降水总量的 20.65% 提高到 26% 以上。根据国际有关旱区雨洪水利用的先进经验,降水利用率可以达到 50% 以上。因此,只要千方百计大力积蓄雨洪水,提高降水资源利用水平,是完全有可能解决未来发展用水需求的。

### 3.2 举措

水资源合理开发利用的主要举措有:①实施山前梯级水坝拦蓄水库弃水及部分雨洪水,实施地下水库“回灌”工程;②实施华北平原中东部及滨海淡水蓄水利用工程;③实施华北平原东部浅层地下水规模化改造开发利用工程。上述三大工程措施的有效实施,不仅可以解决水资源短缺问题,同时可极大促进土地、光热和生态环境资源潜力的大开发,促进生产力水平迈上新台阶。

#### 3.2.1 山前梯级水坝的地下水库“回灌”工程

单纯提倡节水、减少或控制地下水开采量,并不能从根本上解决发展条件下的巨大水需求,而实施人工地下水“回灌”,使采空区地下水位得到最佳恢复,地下水量得到充分补充,水质获得有效净化,是保障区域稳定供水的必要前提。据计算,华北平原可调蓄区面积为  $5.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占总面积的 37.20%,全区可利用的地下调蓄总库容为  $1.0 \times 10^8 \text{ m}^3$  以上,仅太行山前调蓄区,可调蓄库容  $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,改变现有水库运行方式,实施山前多级梯度拦水,进行地下水库“回灌”工程是值得重视的措施<sup>[4]</sup>,同时充分利用水库弃水、雨季过剩洪水和外引缓用水等,积极开展多种形式的地下水高效回灌研究和工程示范,舍弃河道防渗的不科学做法,从而达到多途径涵养地下水资源、增强供水能力的目的。

#### 3.2.2 中东部及滨海淡水蓄水利用工程

对中东部低平原(径流主产区)应着重开展调查研究,利用低洼地修建低平原蓄洪水库和其他蓄水

设施,尽可能多地滞蓄雨洪水,解决地区农业和生态供水问题。构建区域地表水(包括雨洪水)、外调水和地下水统一合理长期稳定的供水方案,以满足不同地区、不同水用户的需求。据计算,1956~1998 年海河流域入海水量平均为  $107 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[5]</sup>,对于入海大河可考虑建立大型滨海淡水蓄水利用工程<sup>[6-7]</sup>,提高毗邻上游区供水保障能力,减缓地下水超采压力和环境灾害。若上述措施得以实施,可使降水利用率达到 26% 以上,则华北平原供水有望获得解决。

#### 3.2.3 东部浅层地下水规模化改造开发利用工程

研究表明<sup>[8]</sup>,华北平原东部浅层地下水总面积  $6.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中有潜力区  $3.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占总面积的 45%,其开采资源量  $73 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,现状开采量  $41.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,尚有  $31.5 \times 10^8 \text{ m}^3$  的开采潜力。这些地区不仅为水量型缺水,也有水质型缺水,甚至是工程技术型缺水。充分集用当地降水资源,进行浅层水抽咸换淡的有效改造利用,是一举多得的关键工程<sup>[9-10]</sup>。因此,必须针对东部低平原大面积劣质水区浅部含水层薄、单井出水量低、海拔低浅层咸水不能形成自然排泄的特点,结合雨洪水、地表水与浅层水自然循环交替极为缓慢难以改造的现状,积极开拓思路,实施人为主动改造工程。

总之,开展低渗透含水层地下劣质水高效抽取技术、浅层地下空间的雨洪地表水有效回灌换淡技术攻关研究是关键。应充分利用淡水蓄水体,科学设立不同规模的淡水体屏障,分割控制改造大面积浅层咸水体,开发高效的连通辐射浅层地下水开采技术,实施浅层地下水连片高效抽取,这是增大供水量和提高用水效率极其重要的举措。只有这样,才能提高咸水、浅层淡水和雨洪水的利用程度,增加水资源可利用量。当然,除了上述举措,继续提高淡水重复利用率及咸水利用量、实施污水资源化、采用先进技术实施节水工程、加强水资源管理、建立节水型社会仍是不可荒废的措施。

## 4 结 语

(1)华北平原上游源区为降水和地表水强力工程性截流区,平原中下游为径流严重流失区,整个平原为地下淡水强烈超采区,出现水资源循环系统的水补给与开发利用的严重脱节,造成降水、地表水和地下水“三水”分割局面;因此,调整水资源开发利用战略势在必行。

(2)华北平原水资源开发利用整体战略思路:以千方百计提高降水资源利用水平为中心,调整和改

善水资源开发利用整体布局;以地下水补给调蓄为重点,大力积蓄雨洪水和改造利用浅层地下水,充分发挥地表水和地下水两大功能作用。主要举措有:①实施山前梯级水坝的地下水库“回灌”工程;②实施中东部和滨海淡水蓄水利用工程;③实施东部浅层水规模化改造开发利用工程。

(3)地下水开发利用必须由开采为主向开采和涵养(调蓄)并重转变,山区水库运行形式(包括雨洪弃水)转变为山前梯级地表水库和地下水库联合运行形式。在广大平原和滨海地区应该十分珍视当地的降水资源,千方百计滞留和回灌雨洪水。在有条件的地方尽力建设淡水蓄水工程,充分改造利用浅层咸水资源,减缓深层地下水开采。当降水利用率达到26%以上时,华北平原供水就有希望获得解决。当然,上述举措需要进一步加强研究。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 李晓明,李凯.地下水危机的警钟已经敲响,华北危机怎解?[N].科学时报,2009-12-15(5).  
LI Xiao-ming, LI Kai. Alarm of the Groundwater Crisis Has Sounded, and How to Solve the Crisis in North China Plain? [N]. Science Times, 2009-12-15(5).
- [2] 张兆吉,雒国中,王昭,等.华北平原地下水资源可持续利用研究[J].资源科学,2009,31(3):355-360.  
ZHANG Zhao-ji, LUO Guo-zhong, WANG Zhao, et al. Study on Sustainable Utilization of Groundwater in North China Plain [J]. Resources Science, 2009, 31(3):355-360.
- [3] 费宇红,苗晋祥,张兆吉,等.华北平原地下水降落漏斗演变及主导因素分析[J].资源科学,2009,31(3):394-399.  
FEI Yu-hong, MIAO Jin-xiang, ZHANG Zhao-ji, et al. Analysis on Evolution of Groundwater Depression Cones and Its Leading Factors in North China Plain [J]. Resources Science, 2009, 31(3):394-399.
- [4] 吴忱,许清海,赵明轩,等.华北地貌及其开发利用[M].石家庄:河北科学技术出版社,2005.  
WU Chen, XU Qing-hai, ZHAO Ming-xuan, et al. The Landforms and Their Development and Utilization in North China [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2005.
- [5] 费宇红,张兆吉,张凤娥,等.气候变化和人类活动对华北平原水资源影响分析[J].地球学报,2007,28(6):567-571.  
FEI Yu-hong, ZHANG Zhao-ji, ZHANG Feng-e, et al. An Analysis of the Influence of Human Activity and Climate Change on Water Resources of the North China Plain [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(6):567-571.
- [6] 方利平,吴倩.荷兰:从造坝拦水转向与水共生[J].生命与灾害,2010(10):28-29.  
FANG Li-ping, WU Qian. Netherlands: Shifting from Making Stone Check Dam to Water Symbiotic [J]. Life and Disaster, 2010(10):28-29.
- [7] 刘学锋.荷兰水资源开发利用与管理——各国水概况系列之五[J].水利发展研究,2007(2):53-60.  
LIU Xue-feng. The Development and Management of Water Resources in Netherlands—the Fifth Series of Various Countries Water Profiles [J]. Water Resources Development Research, 2007(2):53-60.
- [8] 刘少玉,靳盛海,韩双平,等.华北东部平原浅层高矿化弱渗透地下水的开发技术示范研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2010,40(1):114-120.  
LIU Shao-yu, JIN Sheng-hai, HAN Shuang-ping, et al. Development and Utilization Mode of High Salinity Shallow Groundwater from Low Permeability Aquifer in Eastern North China Plain [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(1):114-120.
- [9] 段永侯,肖国强.河北平原地下水资源与可持续利用[J].水文地质工程地质,2003,30(1):2-8.  
DUAN Yong-hou, XIAO Guo-qiang. Sustainable Utilization of Groundwater Resources in Hebei Plain [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003, 30(1):2-8.
- [10] 方生,代文元.华北平原咸水区雨洪控制利用[J].南水北调与水利科技,2003,1(1):38-43.  
FANG Sheng, DAI Wen-yuan. Control and Utilization of Rainwater in Saline Groundwater Region of North China Plain [J]. South-to-north Water Transfers and Water Science and Technology, 2003, 1(1):38-43.