

## 我国地下水管理面临的问题与对策

邵景力, 白国营, 刘翠珠, 张秋兰, 崔亚莉

## Problems and countermeasures of groundwater management in China: Concurrently talking about groundwater dual-control management

SHAO Jingli, BAI Guoying, LIU Cuizhu, ZHANG Qiulan, and CUI Yali

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202208064>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 西北地区地下水水量-水位双控指标确定研究——以民勤盆地为例

A study of the determination of indicators of dual control of groundwater abstraction amount and water table in northwest China: a case study of the Minqin Basin

王晓玮, 邵景力, 王卓然, 崔亚莉, 张秋兰 水文地质工程地质. 2020, 47(2): 17-24

#### 鄂尔多斯浩勒报吉水源地开采地下水的环境影响分析

Inspection and assessment of the environmental impacts of groundwater exploitation at the Haolebaoji wellfield in Inner Mongolia

王旭升, 尹立河, 方坤, 张俊, 王晓勇 水文地质工程地质. 2019, 46(2): 5-5

#### 安阳市地下水热源泵系统建设水资源管理区划研究

A study of the water resources management and division of the groundwater heat pump system construction in Anyang

朱文举, 平建华, 侯俊山, 宁艺武, 耿文斌 水文地质工程地质. 2022, 49(1): 200-208

#### 河北省地下水资源承载能力评价及预警方法研究

Research on evaluation and early warning of groundwater resources carrying capacity in Hebei Province

孙超, 王昕洲, 叶莹莹, 刘琼, 曹颀, 韩冲, 王轶 水文地质工程地质. 2022, 49(6): 55-63

#### 黑河流域中游盆地地下水动态特征及其调蓄能力分析

Research on the dynamic characteristics of groundwater and regulation capability of aquifers in the intermediate section of Heihe River Basin

凤蔚, 李文鹏, 邵新民, 祁晓凡, 黎涛 水文地质工程地质. 2022, 49(3): 11-21

#### 三江平原地下水流场演化趋势及影响因素

An analysis of the evolution trend and influencing factors of the groundwater flow field in the Sanjiang Plain

刘伟朋, 崔虎群, 刘伟坡, 程旭学, 李志红 水文地质工程地质. 2021, 48(1): 10-17



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202208064

邵景力, 白国营, 刘翠珠, 等. 我国地下水管理面临的问题与对策——兼谈地下水“双控”管理 [J]. 水文地质工程地质, 2023, 50(5): 1-9.

SHAO Jingli, BAI Guoying, LIU Cuizhu, *et al.* Problems and countermeasures of groundwater management in China: Concurrently talking about groundwater dual-control management[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2023, 50(5): 1-9.

## 我国地下水管理面临的问题与对策 ——兼谈地下水“双控”管理

邵景力<sup>1</sup>, 白国营<sup>2</sup>, 刘翠珠<sup>2</sup>, 张秋兰<sup>1</sup>, 崔亚莉<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 北京市水文总站, 北京 100089)

**摘要:** 实施最严格水资源管理制度以来, 我国地下水管理取得了显著的成效, 地下水得到不同程度的修复, 至 2020 年末, 东北平原、黄淮海平原和长江中下游平原浅层地下水水位总体呈现上升趋势, 深层地下水水位下降速率减缓, 年均下降超过 2 m 的仅有 291 个, 占全国监测站点的 8.7%。但仍然存在很多难以解决的问题, 体现在有些超采区地下水水位持续下降态势依然存在、尚未达到采补平衡、地面沉降继续发生, 同时地下水管理、超采区治理效果并没有达到人们期望的那么显著。我国地下水管理面临的主要问题有水文地质条件尚不能清晰刻画、地下水监测与计量精度不能满足需求、地下水管理目标与目前技术手段不协调、地下水管理的外部条件不成熟、地下水确权登记难度大。文章提出了有针对性的对策与措施, 主要包括从流域或区域水平衡的角度开展地下水水循环转化机理研究、加强地下水“双控”指标确定方法研究与试点、加强地下水监测和开采量计量统计工作、进一步明确地下水管理的职责等。在地下水“双控”管理实施中, 首先明确地下水开采量和水位之间的定量关系, 依据地下水水位的资源、地质环境和生态环境功能确定水位控制指标, 并考虑实际需求和地下水管理目标、降水年份等条件确定合理的“双控”指标。文章深入思考了我国严格地下水管理和超采区治理的问题所在, 为我国地下水可持续利用和科学管理提供了参考依据。

**关键词:** 地下水管理; 超采区治理; 地下水“双控”指标; 地下水监测; 地下水可开采量

中图分类号: P641.8

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2023)05-0001-09

## Problems and countermeasures of groundwater management in China: Concurrently talking about groundwater dual-control management

SHAO Jingli<sup>1</sup>, BAI Guoying<sup>2</sup>, LIU Cuizhu<sup>2</sup>, ZHANG Qiulan<sup>1</sup>, CUI Yali<sup>1</sup>

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Beijing Hydrological Center, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Remarkable achievements have been made in groundwater management in China since the implementation of the strictest water resources management system. Groundwater has been restored to some extent. By the end of 2020, the shallow groundwater level generally showed an upward trend in the Northeast China Plain, the Huang Huai Hai Plain and the Middle and Lower Yangtze Plain, and the decline rate of deep

收稿日期: 2022-08-22; 修订日期: 2022-09-17

投稿网址: [www.swdzcgdz.com](http://www.swdzcgdz.com)

基金项目: 北京市水务局项目(11000022210200010720-XM001); 国家重点研发计划项目(2017YFC0406106)

第一作者: 邵景力(1959-), 男, 博士, 教授, 从事水文学及水资源教学与科研工作。E-mail: [jshao@cugb.edu.cn](mailto:jshao@cugb.edu.cn)

通讯作者: 崔亚莉(1962-), 女, 博士, 教授, 主要从事水文地质教学和科研工作。E-mail: [cuiyl@cugb.edu.cn](mailto:cuiyl@cugb.edu.cn)

groundwater level was slowed down. Only 291 monitoring stations have an average annual decrease in groundwater level of over 2 m, accounting for 8.7% of the total national monitoring stations. However, there are still many problems difficult to solve, mainly reflecting in some areas where the groundwater level continues to decline, the balance between mining and replenishment has not yet been reached, and land subsidence still occurs. Meanwhile the effectiveness of over-exploitation area management has not been as significant as expected. In this paper, we first briefly review the progress and obtain achievements of strict groundwater management and groundwater over-exploitation area treatment in our country. Then we discuss the main problems faced by groundwater management in China, e. g., unclear delineation of hydrogeological conditions, inadequate accuracy of groundwater monitoring and measurement, inconsistency between groundwater management objectives and current technics, immature external conditions for groundwater management, and difficulty in groundwater ownership registration. The targeted countermeasures are put forward, mainly including strengthen the study of groundwater circulation and transformation from the perspective of watershed or regional water balance, strengthen the research and pilot of groundwater double-control indicator determination method, further strengthen the groundwater monitoring and mining output measurement and statistics, and further clarify the responsibilities of groundwater management. The determination method of groundwater dual-control management index is demonstrated. It is proposed that the quantitative relationship between groundwater exploitation and groundwater level should be clarified, based on the resources, geological environment, and ecological environment functions of groundwater level to determine water level control indicators, and the reasonable dual-control index should be determined considering the actual demand, groundwater management objectives, precipitation years and other conditions. This paper deeply think about the probable problems of strict groundwater management and groundwater over-exploitation treatment in China, and the solving ways of the problems is also proposed. It can provide a basis for sustainable utilization and scientific management of groundwater in China

**Keywords:** groundwater management; treatment of groundwater over-exploitation area; groundwater dual-control index; groundwater monitoring; allowable groundwater exploitation

地下水是我国主要的供水水源之一, 20 世纪 80 年代以来, 地下水供水量持续增长, 1993 年地下供水量达到  $864 \times 10^8 \text{ m}^3$  (约占全国供水总量的 16.5%), 到 2012 年全国地下水供水量达到高峰, 供水量达到  $1\,132 \times 10^8 \text{ m}^3$  (占全国供水总量的 18.5%), 年均增加接近  $27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。之后随着我国一系列地下水管控措施的出台和落实, 地下水开采量得到一定控制, 至 2018 年地下水供水量跌至  $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$  以内, 2019、2020 年全国地下水用水量分别为  $934 \times 10^8$ 、 $892.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 分别占全国供水总量的 15.5%、15.4%。其中, 我国北方地区地下水供水量占比超过 40%, 而华北平原高达 50%<sup>[1]</sup>。近 40 a 来持续大量开采地下水, 造成我国北方、西北等区地下水严重超采, 全国地下水超采区面积近  $30 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其中严重超采区面积约  $17 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 特大和大型超采区主要分布在河北、山东、河南、新疆、山西等省份<sup>[2]</sup>。地下水超采严重威胁我国的供水安全、粮食安全和高铁等工程安全, 提高了供水成本, 并引发了一系列生

态环境和地质环境问题<sup>[3-4]</sup>。

欧美等发达国家地下水开发利用早, 经过多年实践, 逐渐形成了较为完善的地下水管理制度、法律体系, 并制定了符合各自国情的地下水监测、保护和开发利用技术标准<sup>[5]</sup>。除了注重地下水管理立法外, 很多国家都以水文地质单元为管理区, 统筹地下水监测、评估和管理<sup>[6]</sup>, 地下水水权交易等经济手段也是调解水资源供需矛盾的重要方法<sup>[7]</sup>。

本文在对我国地下水管理举措历史回顾的基础上, 从技术层面分析我国地下水管理面临的现状与问题, 并重点探讨地下水“双控”管理政策与指标确定的方法, 提出地下水管理的对策与措施。

## 1 我国地下水管理回顾

鉴于我国地下水超采以及产生的一系列环境问题, 我国自 20 世纪 90 年代末以来, 逐步重视地下水资源的管理<sup>[8]</sup>。国家层面制定的《中华人民共和国

水法》(1988年发布,2002年修订,2009年修正,2016年修正),明确规定了地下水管理的责任主体,并对地下水的开发、利用和保护,包括水位控制和超采区治理,做出了相关规定。《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》(2011年中央一号文件),提出严格地下水管理和保护,尽快核定并公布禁采和限采范围,逐步削减地下水超采量,实现采补平衡等要求。2012年,《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》(国发[2012]3号)明确提出了水资源管理实施“三条红线”政策<sup>[9-11]</sup>,针对我国地下水开采量计量不完善、地下水水位监测相对容易和准确的情况,并考虑到地下水的环境控制作用,水主管部门提出了地下水实行取水总量和水位“双控”管理政策<sup>[12-14]</sup>。2021年12月1日实施的中华人民共和国国务院令第七48号《地下水管理条例》,对地下水调查与规划、节约与保护、超采治理、污染防治、监督管理等方面作出规定<sup>[15-16]</sup>,使严格地下水管理与保护有了行政法规依据。

近十多年来,我国河北、陕西、新疆、内蒙、辽宁等省、自治区根据各自地下水开发利用及其出现的问题,制定了有针对性的地下水管理条例、管理办法、地下水水位和水量“双控”方案等<sup>[17]</sup>。为各地地下水管理提供了地方行政执法依据,大大推动了我国地下水管理的进程。

为了更加有效地实施地下水监督管理,2012年严格水资源管理制度实施以来,我国开展了与地下水管理相关的基础工作,2015—2018年,开展国家地下水监测工程建设<sup>[18-19]</sup>,在全国7大流域及16个重点监测区,共建设了地下水监测站点20469个,监测范围 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$ ;2017年修订了《地下水超采导则》;目前正在开展全国性的第三次地下水超采区划定工作<sup>[20]</sup>;第三次全国水资源调查评价工作<sup>[21]</sup>已经完成。这些工作为我国地下水管理奠定了良好的基础。近年来各省区开展了大量的地下水管理、地下水超采区治理工作,江苏省全面禁采深层地下水<sup>[22]</sup>;华北平原和西北地区在地下水超采区划定和评价的基础上,确定了地下水的限采区和禁采区,通过替代水源、减少种植面积、调整农业种植结构、节水灌溉等措施大量压采地下水<sup>[23]</sup>,采用河流生态补水回补地下水<sup>[24]</sup>。这些措施取得了明显的效果。根据水利部官网2020年中国水资源公报、《地下水动态月报》2020年12期数据显示,东北平原、黄淮海平原和长江中下游平原浅层地下水水位总体呈现上升趋势,与2019年年末对比,黄

淮平原浅层地下水水位上升1.4 m;深层地下水水位下降超过2 m的仅有291个,占全国监测站点的8.7%。

然而,有些超采区地下水水位仍然持续下降、地下水仍未达到采补平衡、地面沉降继续发生<sup>[25-27]</sup>,地下水管理、超采区治理效果并没有人们期望的那么显著,在地下水“双控”管理、超采治理、监测与数据共享等方面仍需改进<sup>[28]</sup>。

## 2 我国地下水管理面临的问题

### 2.1 基础水文地质调查研究程度尚不能满足地下水科学管理的需要

地下水赋存于地表之下的地质体中,尽管人们通过多种手段可以了解地下水的某些存在状态,但由于水文地质条件的复杂性,到目前为止,尚不能完全明晰地下水的形成演化规律,也无法精确刻画它的水动力学、水文地球化学的过程。目前我国地下水管理中,面临的困难主要有:

(1)地下水的形成、循环和演化是水文地质学的基本问题,这是地下水研究的永恒主题。就目前的科技水平,尚不能完全掌握地下水的补径排规律,在很多情况下,得不到准确的地下水开采-地下水水位的定量关系,这是当前很多地区虽然制定了地下水“双控”指标,而又难以用来管控地下水和考核管理绩效的原因。

(2)地下水可开采量是地下水总量指标制定的重要依据。如何在变化环境下(气候变化和人类活动)考虑地下水的生态作用和地下水-地表水的有机联系,确定一个区域或流域地下水可开采量,仍然是一个难题。

(3)地下水水位是地下水“双控”的重要指标,但对于一个管理区,如何确定该控制指标仍然是个难题。目前常用的方法是算术加权或者面积加权,但对于有较大漏斗、存在地质和生态环境问题、管理区存在多个水文地质单元或含水层组的情况下,采用平均方法将会导致水位指标的失真。

(4)通常地下水管理以行政区为单元,而地下水是以水文地质单元循环和分布的,大多数情况下行政区与水文地质单元是不一致的,很难实现地下水上下游或不同行政区之间开采量的合理配置。

### 2.2 地下水监测和计量尚不能满足管理的需求

地下水监测和计量通常包括地下水水位监测、地下水开采量计量和统计、地下水取样和水质分析、泉流量监测、地下水温度监测、专项监测(如地面沉降)等,对于地下水管理来说,前两项工作是最重要的。

经过近 60 a 的建设,我国已形成较为完善的地下水水位(埋深)监测系统,包括水利部门、自然资源部门等布设的国家级、省级、地市级地下水监测站网。但各省、地市级监测系统不完善、数据不连续,监测井大都是民井和生产井,数据质量不高。而国家地下水监测工程自 2018 年试运行至今仅 4 a,尚不足以反映地下水-开采量的定量关系。而对于最基层的县一级地下水管理,国家级监测井一般只有 3~5 个,监测井密度不足以支撑地下水管理。

目前我国城市市政、工业用地下水已基本计量,而占地下水总用水量 60% 以上的农业用水(主要用于农作物灌溉),除了甘肃石羊河和黑河下游、北京、河北部分地区外基本没有计量。地下水开采井的特点是数量多且分散,据统计,河北省农业灌溉机井有 96 万眼<sup>[24]</sup>,地处我国西北的甘肃省机井数也有 20.6 万眼<sup>[29]</sup>。完全实现水表计量几乎不可能,不仅耗资巨大,还存在常年维护、更新、统计等人力和财力的投入,无论从经济上还是管理上都是难以持续的。目前也有以电折水、灌溉定额、水均衡反演等方法获取地下水开采量,但估算的开采量对于地下水管理而言误差偏大,尚待完善。

“没有监测就没有管理”这句话对于地下水管理尤为适用。地下水水位监测、水量计量和统计的不到位,导致无法制定准确的、适用的地下水“双控”指标,更无法对地下水“双控”管理进行绩效考核。

### 2.3 地下水管理目标与实现管理目标的技术手段不协调

我国地下水管理目标与实际地下水需求的矛盾普遍存在,主要体现在地区社会经济发展对地下水资源的需求与地下水资源有限性以及环境相关性相矛盾。特别是在没有其他替代水源的情况下,维持当下社会经济发展和人民生活水平,既要保障供水安全又要保障粮食安全的刚性需水量,可能很难真正实现地下水管理目标。

从地下水行政管理角度,要求提出一套简单、可量化、可实施、可考核的管理指标,例如地下水开采总量控制指标、地下水水位控制指标,而且越简单越好,便于基层管理人员实际操作。而在技术上,这个指标通常难以给出准确数字,或者过于复杂难以实施。例如,从管理者角度,最好每个行政区选择一个监测孔的水位或者平均水位进行控制和考核,但从技术上考虑如何选择这个孔?如果管理区内有不同的水文地质单元或者存在多层地下水,显然用一个平均

水位作为控制和考核水位不合适。

绩效考核是督促地下水管理工作、评定地下水管理成效的重要手段,如果制定的地下水“双控”指标过于宽松,则达不到严格水资源管理的目的;而过于严格,则管理人员难以完成致使绩效考核不合格。从目前的地下水科学与技术水平、地下水监测与计量手段,尚不能给出精确的地下水“双控”指标,这也是目前地下水管理的难题之一。

### 2.4 外部条件尚不成熟

地下水管理需要持续不断的资金和人员投入,而且需要多部门的协调和协作。例如,地下水超采区治理是一项长期、持续资金投入的系统工程,需要资金投入的长效机制做保障。而一般在超采区治理初期,由国家和政府财政一次性投入,后期维护资金难以落实到位,制约了地下水管理工作的持续开展。

目前我国大部分地区对于市政和工业用水,已收取水资源费,有些省份开展了费改税试点工作,效果良好。但是对于用水量占比很大的农业用水,大部分省份和地区没有征收水资源费。征收水资源费(税)不仅能增加国家税收,也可以有更多的资金投入 to 水资源管理和节约用水中。更重要的是通过经济杠杆作用,可以使用水户自觉节约用水。

农业节水灌溉是地下水管理、减少地下水开采的重要措施,全国各地,特别是缺水地区大量开展了该项工作,建立各类节水灌溉试验田,但基本都是国家或地方财政投入资金,缺少节水工程的持续投入资金来源,致使一些节水示范工程半途而废。

### 2.5 确权登记难度较大

地下水水权交易机制是通过市场手段高效管理地下水、优化配置和防治地下水环境问题,其中地下水资源产权确权登记是建立健全地下水资源产权制度的前提。由于水文地质条件复杂性(包括边界条件界定不确定性、地下水-地表水关联性)、地下水环境问题(包括地下水污染、地面沉降、海水入侵等)严重性以及地下水开采分散性带来的计量困难等问题,地下水水权确权登记难度远大于地表水。

美国、澳大利亚等国家 20 世纪 90 年代开始开展地下水确权和水权交易的实践,为这些国家水资源合理配置和可持续利用提供了重要支撑<sup>[30]</sup>。尽管目前我国水资源管理部门对非农业灌溉用水和少部分农业灌溉用水实施地下水取水许可、颁发许可证等管理措施,但该项工作属于行政管理制度,并不能替代地下水资源产权确权登记工作<sup>[31]</sup>。2014 年水利部下文在

河北、内蒙等7个省区率先启动水权改革试点<sup>[32]</sup>,探索水资源使用权确权与交易制度,为进一步推动全国性工作积累了丰富的经验和示范。但鉴于以上提及的地下水确权登记的困难,目前我国尚未形成统一的地下水确权方法、法律法规体系以及监管和调控机制。

### 3 对策与措施

#### 3.1 加强区域水文地质调查地下水循环转化研究

对于地下水管理而言,加强基础水文地质调查、掌握地下水赋存分布规律和循环转化条件,是实施地下水科学管理、超采治理、污染防治的前提。目前还需要重点研究的水文地质理论和技术方法包括:

(1)研究人类活动(土地利用造成的下垫面变化、拦蓄地表水、持续开采地下水等)对地下水的形成、循环和演化的影响机理。

(2)探讨地下水水位埋深的地质环境和生态环境控制作用。在华北地区重点关注地面沉降与深层地下水水位的关系;在西北地区,注重研究浅层水位对生态的控制作用。

(3)我国西北内陆盆地地下水的特征是:①地表水-地下水相互转化,是统一的水资源;②地下水具有重要的生态作用,它是维持着河道、湖淖、湿地和植被的正常生态耗水的主要水源。因此,在这类地区要研究地表水-地下水转化关系和转化量,评价各类生态需水量。

(4)地下水可开采量是制定地下水总量控制指标的基础。其可开采量受水文地质条件、气候条件和人类活动等诸多因素的影响,不同的地区应加以区别评价。

在人类活动强烈影响条件下,一个流域、水文地质单元或区域的多年平均水均衡为:

$$\Delta V = P \cdot A - 365(Q_s + Q_G + Q_E + Q_D) \quad (1)$$

式中:  $\Delta V$ ——多年平均地表水和地下水储存变化量/ $m^3$ ;

$A$ ——均衡区面积/ $m^2$ ;

$P$ ——多年平均降水量/ $m$ ;

$Q_s$ ——多年平均地表水取水量/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ ;

$Q_G$ ——多年平均地下水开采量/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ ;

$Q_D$ ——多年平均流入或流出评价区的水量(包括地表水和地下水量)/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ ;

$Q_E$ ——评价区多年平均生态环境需水量/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ ,主要包括河流、湖泊、沼泽以及维持非地

带性植被的蒸发蒸腾量<sup>[33-34]</sup>。

一个完整的内陆河流域可持续的地下水开采量( $Q_Y$ )可表示为:

$$Q_Y = \frac{P \cdot A}{365} - (Q_s + Q_E) \quad (2)$$

式(2)说明,我国内陆河流域地下水可开采量为降水量扣除人类强烈活动条件下的地表水利用量和维持生态环境的水量。目前常用的地下水可开采量的评价方法有开采系数法、水量均衡法、数值法等,这些方法更多地考虑地下水动力学特征或者地下水均衡本身,而在内陆河流域地下水可开采量还应该扣除地下水-地表水交换量和生态需水量。

#### 3.2 加强地下水“双控”指标确定方法研究

##### (1)地下水开采总量-控制水位的关系

地下水开采总量和水位控制指标的确定方法是地下水管理的关键技术。实质上,地下水“双控”指标是统一的、具有有机联系的,要制定合理的、不出现两者矛盾的“双控”指标,首先要给出两者的定量关系。除其他补排因素以外,地下水水位变化主要由地下水开采引起,可表示为:

$$h_t = f(Q_G, p, \varepsilon) \quad (3)$$

式中:  $h_t$ ——当前地下水水位/ $m$ ;

$Q_G$ ——地下水开采量/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ ;

$p$ ——其他地下水补排项/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ ;

$\varepsilon$ ——水文地质结构和参数。

式(3)可以是地下水数值模型,也可以是均衡方程式或统计模型,也可以通过大数据和机器学习方法获得。

控制一定的地下水水位  $h_t$ , 所得到的地下水开采量可表示为式(3)的逆函数:

$$Q_G = f^{-1}(h_t, p, \varepsilon) \quad (4)$$

##### (2)地下水“双控”指标的确定

地下水水位控制指标可分为资源型、地质环境型和生态环境型水位控制指标<sup>[35]</sup>。资源型控制水位通常要求地下水水位维持多年平稳而不是持续下降。如果已确定管理区的地下水开采量控制指标,则可根据式(3)确定控制点(区)的水位控制指标。在干旱年份,考虑到地下水补给的减少和灌溉开采量增加而导致的地下水水位下降,在确定地下水水位控制指标时,要允许地下水水位较正常降水年份有一定的下降值:

$$H_{CA} = H_C - \Delta H \quad (5)$$

式中： $H_C$ ——多年平均降水量条件下地下水控制水位值/m；

$H_{CA}$ ——枯水年地下水控制水位值/m；

$\Delta H$ ——枯水年比多年平均降水条件下水位下降值/m，一般可根据地下水水位多年监测数据统计得出。

地质环境型和生态环境型控制水值可根据管理区的地面沉降、地面塌陷、植被荒漠化的水位阈值确定<sup>[36-40]</sup>。

为保证地下水资源的可持续利用，维持地下水的地质和生态环境，地下水水量控制指标通常不大于管理单元的地下水可开采量。如果一个水文地质单元包含若干个行政管理分区，则应综合考虑各行政区面积占比、历史地下水开采量、社会经济发展状况、替代水源落实、再生水利用等因素，确定各管理单元的地下水开采量控制指标，一般原则是各行政区地下水开采量控制指标之和应小于该水文地质单元的地下水可开采量( $Q_V$ )：

$$\sum_{i=1}^N Q_{Gi} \leq Q_V \quad (6)$$

式中： $N$ ——水文地质单元内管理单元个数；

$Q_{Gi}$ ——第  $i$  管理分区地下水开采量控制指标/( $m^3 \cdot d^{-1}$ )。

在地下水超采区或漏斗中心，如果行政区主管部门已制定地下水超采区治理修复规划、方案等，则希望水位有一定的回升幅度；而在无替代水源地区，可允许地下水水位一定幅度的下降以满足用水基本需求，可根据式(4)确定一定地下水水位限定条件下的地下水开采量指标。

如果在一个管理区有多个水文地质单元或多个地下水开采层，应该分别制定“双控”指标。

### 3.3 加强地下水监测和开采量计量统计工作

目前国家地下水监测工程，监测密度尚不能满足县一级地下水管理的要求，应尽快推进国家地下水监测工程二期的进程。

现在我国地下水监测系统主要集中在水利部、自然资源部和生态环境部(水质)，各级别(国家级、省级、地市级)、各部门地下水监测的内容、频率、时间不尽相同，且监测数据尚不能公开，大大降低了地下水监测数据的利用价值和效率。建议尽快协调各类地下水监测数据的接续和整合工作，并实现各部门、各级别地下水监测数据的公开和共享。

前已论述，农业灌溉地下水开采量计量和统计一直是地下水监测工作的难点，建议针对不同水文地质条件、不同农作物和灌溉方式的地区，开展各类地下水开采估算试点，通过水表计量、灌溉定额、水电折算、遥感等多种方法的融合，寻求适宜于本地区的地下水灌溉开采量估算方法。

### 3.4 进一步明确地下水管理的职责

尽管在《地下水管理条例》中明确规定了“国务院行政主管部门负责全国地下水统一监督管理工作”，国务院生态环境、自然资源部主管部门按照职责分工做好相应的工作，但在实际地下水管理工作中，仍然存在着职责不清的问题。例如：水利部和自然资源部都在开展地下水监测、地下水资源调查与评价、地下水储备等相关工作，在地热水的开发利用管理职责上也存在不同省份归属不同部门管理的现象，需要进一步明确各部门的职责。

### 3.5 其他对策与措施

(1)通过土地流转，实行农业土地利用规模化、集约化，是实现农业节水、地下水管理的必由之路。

(2)充分发挥经济杠杆作用，多渠道筹措资金，建立农业节水工程、地下水管理资金的长效机制。

(3)加快替代水源工程的论证和建设，是缺水地区地下水超采区治理的关键。

(4)在水资源紧缺地区和生态脆弱区，调整地区社会经济发展规划以适应水资源条件，寻找人类用水与生态环境用水的平衡点。

(5)目前基层水资源管理部门，地下水、水文地质专业的本科及以上学历人员十分缺乏，应加强专业人才的引进和培养。

## 4 结论

(1)严格的地下水管理是地下水可持续开发利用和地下水环境保护的不二选择，但在实施过程中面临诸多的困难。应当清醒地认识到地下水超采区治理、地下水科学管理是一项长期而艰巨的任务，应加强包括水文地质学科理论和技术、地下水监测、资金投入等方面的工作。

(2)基础水文地质调查和监测是地下水科学管理的基础和前提。要积极推进国家地下水监测工程二期建设，高质量推进地下水调查监测工作；构建新时代水资源调查监测体系；加强地下水状况调查评价、重点地区水文地质专项调查以及水平衡研究，支撑地下水超采区治理。

(3)地下水总量和水位“双控”指标确定是地下水管理中的关键技术手段。首先要明确地下水开采量和水位之间的定量关系,并考虑实际需求和地下水管理目标、降水年份等条件确定合理的“双控”指标。

(4)地下水时空分布的复杂性和隐蔽性、近 40 a 的超采使得地下水管理和超采区修复工作异常艰巨而漫长,需要广大的科技工作者和管理者齐心协力共同应对。

#### 参考文献 (References) :

- [ 1 ] 杨得瑞,杜丙照,黄利群,等.加强地下水管理促进高质量发展[J].中国水利,2021(7):1-4. [ YANG Derui, DU Bingzhao, HUANG Liqun, et al. Enhance groundwater management and promote high-quality development[J]. China Water Resources, 2021(7): 1-4. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 2 ] 穆恩林.我国地下水超采区管理探讨[J].地下水,2017,39(6):55-57. [ MU Enlin. Discussion on management of groundwater over-exploitation area in China[J]. Ground Water, 2017, 39(6): 55-57. (in Chinese) ]
- [ 3 ] 石建省,李国敏,梁杏,等.华北平原地下水演变机制与调控[J].地球学报,2014,35(5):527-534. [ SHI Jiansheng, LI Guomin, LIANG Xing, et al. Evolution mechanism and control of groundwater in the North China plain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2014, 35(5): 527-534. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 4 ] FOSTER S, GARDUNO H, EVANS R, et al. Quaternary aquifer of the North China Plain: Assessing and achieving groundwater resource sustainability[J]. *Hydrogeology Journal*, 2004, 12(1): 81-93.
- [ 5 ] 姜斌,邵天一.国外地下水管理制度经验借鉴[J].水利发展研究,2010,10(6):68-73. [ JIANG Bin, SHAO Tianyi. Experience of foreign groundwater management system for reference[J]. Water Resources Development Research, 2010, 10(6): 68-73. (in Chinese) ]
- [ 6 ] 金海,胡文俊,夏志然.国外地下水管理经验及启示[J].中国水利,2021(7):24-28. [ JIN Hai, HU Wenjun, XIA Zhiran. Experiences and inspiration of groundwater management in foreign countries[J]. China Water Resources, 2021(7): 24-28. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 7 ] 童学卫,李伟,周明亮,等.地下水管理对策初探[J].中国水利,2015(3):21-24. [ TONG Xuwei, LI Wei, ZHOU Mingliang, et al. Countermeasures of groundwater management[J]. China Water Resources, 2015(3): 21-24. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 8 ] 乔世珊.加强地下水管理与保护工作的思考[J].中国水利,2007(15):19-21. [ QIAO Shishan. Reflections on improving groundwater management and conservation[J]. China Water Resources, 2007(15): 19-21. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 9 ] 孙雪涛.贯彻落实中央一号文件实行最严格水资源管理制度[J].中国水利,2011(6):33-34. [ SUN Xuetao. Implement the No. 1 Document of the Central Committee and implement the strictest water resources management system[J]. China Water Resources, 2011(6): 33-34. (in Chinese) ]
- [ 10 ] 齐殿斌.水资源管理要严守“三条红线”——水利部副部长胡四一访谈录[J].决策与信息,2012(10):40-42. [ QI Dianbin. Strict adherence to “Three Red Lines” in water resources management: Interview with Hu Siyi, Vice Minister of Water Resources[J]. Decision & Information, 2012(10): 40-42. (in Chinese) ]
- [ 11 ] 曹升乐,孙秀玲,庄会波.水资源管理“三条红线”确定理论与应用[M].北京:科学出版社,2020:259. [ CAO Shengle, SUN Xiuling, ZHUANG Huibo. Theory and application of the “Three Red Lines” in water resources management[M]. Beijing: Science Press, 2020: 259. (in Chinese) ]
- [ 12 ] 张远东,王策.地下水取用水量与水位双重控制刍议[J].中国水利,2014(9):7-9. [ ZHANG Yuandong, WANG Ce. Dual control on total volume and level of groundwater consumption[J]. China Water Resources, 2014(9): 7-9. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 13 ] 刘江,付强.地下水开采量和水位双控管理模式探讨[J].地下水,2017,39(3):62-63. [ LIU Jiang, FU Qiang. Discussion on dual control management mode of groundwater exploitation and water level[J]. Ground Water, 2017, 39(3): 62-63. (in Chinese) ]
- [ 14 ] 李原园,于丽丽,丁跃元.地下水管控指标确定思路与技术路径探讨[J].中国水利,2021(7):5-8. [ LI Yuanyuan, YU Lili, DING Yueyuan. Formation and technical path of indicator system for groundwater management and control[J]. China Water Resources, 2021(7): 5-8. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 15 ] 杜丙照.贯彻《地下水管理条例》依法强化地下水监督管理[J].中国水利,2022(6):5-6. [ DU Bingzhao. Implementing regulations on groundwater management to reinforce groundwater supervision and management according to law[J]. China Water Resources, 2022(6): 5-6. (in Chinese) ]
- [ 16 ] 李原园,陈飞,羊艳,等.《地下水管理条例》立法思路

- 与法律制度设计[J]. 中国水利, 2022(6): 11 - 14. [ LI Yuanyuan, CHEN Fei, YANG Yan, et al. Legislative thoughts and legal system of Groundwater Management Regulation[J]. China Water Resources, 2022(6): 11 - 14. (in Chinese with English abstract) ]
- [17] 陈飞, 于丽丽, 侯杰, 等. 地下水管理立法分析与制度研究[J]. 人民黄河, 2018, 40(1): 46 - 49. [ CHEN Fei, YU Lili, HOU Jie, et al. Analysis of the groundwater management legislation and studies on the groundwater management system[J]. Yellow River, 2018, 40(1): 46 - 49. (in Chinese with English abstract) ]
- [18] 侯金武. 精心实施国家地下水监测工程[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(5): I. [ HOU Jinwu. Careful implementation of national groundwater monitoring project[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014, 41(5): I. (in Chinese) ]
- [19] 范宏喜. 开启地下水监测新纪元——聚焦国家地下水监测工程建设[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(2): 161 - 162. [ FAN Hongxi. Opening a new era of groundwater monitoring: Focusing on the construction of national groundwater monitoring project[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015, 42(2): 161 - 162. (in Chinese) ]
- [20] 中华人民共和国水利部. 地下水超采区评价导则: GB/T 34968—2017[S]. 北京: 中国标准出版社. [ Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Guidelines for the assessment of groundwater over exploitation zones: GB/T 34968—2017[S]. Beijing: Chinese Standard Publishing house. (in Chinese) ]
- [21] [ 第三次全国水资源调查评价工作启动[EB/OL]. [2017-04-20]. [http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/20/content\\_5187681.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/20/content_5187681.htm). [ The third national water resources survey and evaluation work started[EB/OL]. [2017-04-20].(in Chinese) ]
- [22] 冯志祥. 江苏省地下水超采区的分类及治理[J]. 水资源保护, 2017, 33(5): 117 - 122. [ FENG Zhixiang. Classification and management of groundwater over-development area in Jiangsu Province[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(5): 117 - 122. (in Chinese with English abstract) ]
- [23] 雷米, 周金龙, 曾妍妍, 等. 干旱区绿洲城市地下水超采区综合治理研究——以新疆库尔勒市为例[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(2): 67 - 74. [ LEI Mi, ZHOU Jinlong, ZENG Yanyan, et al. Comprehensive treatments of groundwater over-exploitation in arid oasis city: A case of Korla city in Xinjiang[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(2): 67 - 74. (in Chinese with English abstract) ]
- [24] 陈飞, 丁跃元, 唐世南, 等. 华北地区河湖生态补水与地下水回补的实践及效果分析[J]. 中国水利, 2021(7): 36 - 39. [ CHEN Fei, DING Yueyuan, TANG Shinan, et al. Practice and effect analysis of river-lake ecological water supplement and groundwater recharge in the North China region[J]. China Water Resources, 2021(7): 36 - 39. (in Chinese with English abstract) ]
- [25] 陈飞, 丁跃元, 李原园, 等. 华北地区地下水超采治理实践与思考[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(2): 191 - 198. [ CHEN Fei, DING Yueyuan, LI Yuanyuan, et al. Practice and consideration of groundwater over exploitation in North China Plain[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(2): 191 - 198. (in Chinese with English abstract) ]
- [26] 褚敏, 徐志侠, 王海军. 艾丁湖流域地下水超采综合治理效果与建议[J]. 水资源开发与管理, 2020, 18(12): 9 - 13. [ CHU Min, XU Zhixia, WANG Haijun. Effect and suggestions on comprehensive treatment of groundwater over-exploitation in Aiding Lake Basin[J]. Water Resources Development and Management, 2020, 18(12): 9 - 13. (in Chinese with English abstract) ]
- [27] 张晓辉, 赵勇, 张增勤, 等. 华北地下水压采修复与综合调控关键技术及应用[R]. 2019. [ ZHANG Xiaohui, ZHAO Yong, ZHANG Zengqin, et al. Key technology and application of remediation and comprehensive regulation of groundwater in north China Plain[R]. 2019. (in Chinese) ]
- [28] 钟华平. 地下水管理若干问题思考[J]. 水利发展研究, 2022, 22(3): 7 - 10. [ ZHONG Huaping. Reflections on several problems of groundwater management[J]. Water Resources Development Research, 2022, 22(3): 7 - 10. (in Chinese with English abstract) ]
- [29] 甘肃省水利厅. 甘肃省地下水超采区治理成效评估报告[R]. 兰州: 甘肃水利厅, 2021. [ Gansu Provincial Department of Water Resources. Evaluation report on the effectiveness of groundwater overexploitation restoration in Gansu Province[R]. Lanzhou: Gansu Provincial Department of Water Resources, 2021. (in Chinese) ]
- [30] 谷丽雅. 国外地下水交易实践与启示[J]. 中国水利, 2023(2): 59 - 61. [ GU Liya. Practices of groundwater trading in other countries and lessons learned[J]. China Water Resources, 2023(2): 59 - 61. (in Chinese with English abstract) ]

- [31] 董四方,冯嘉.地下水资源产权确权登记研究[J].地下水,2018,40(1):1-2. [DONG Sifang, FENG Jia. The study on registration of the groundwater resources property right[J]. Ground Water, 2018, 40(1): 1-2. (in Chinese with English abstract)]
- [32] 马素英,孙梅英,付银环,等.河北省水权确权方法研究与实践探索[J].南水北调与水利科技,2019,17(4):94-103. [MA Suying, SUN Meiyong, FU Yinhuang, et al. Methods and practice use of water right confirmation in Hebei Province[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(4): 94-103. (in Chinese with English abstract)]
- [33] 冯平,肖丽英,林超.地下水生态需水量的估算方法及其恢复问题的研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(6):102-107. [FENG Ping, XIAO Liying, LIN Chao. Studies on the estimation methods of water demand for groundwater eco-environment and its restoration problems[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2005, 19(6): 102-107. (in Chinese with English abstract)]
- [34] 陈亚宁,郝兴明,李卫红,等.干旱区内陆河流域的生态安全与生态需水量研究——兼谈塔里木河生态需水量问题[J].地球科学进展,2008,23(7):732-738. [CHEN Yaning, HAO Xingming, LI Weihong, et al. An analysis of the ecological security and ecological water requirements in the inland river of arid region[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(7): 732-738. (in Chinese with English abstract)]
- [35] 王晓玮,邵景力,王卓然,等.西北地区地下水水量-水位双控指标确定研究——以民勤盆地为例[J].水文地质工程地质,2020,47(2):17-24. [WANG Xiaowei, SHAO Jingli, WANG Zhuoran, et al. A study of the determination of indicators of dual control of groundwater abstraction amount and water table in northwest China: A case study of the Minqin Basin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(2): 17-24. (in Chinese with English abstract)]
- [36] 樊自立,陈亚宁,李和平,等.中国西北干旱区生态地下水埋深适宜深度的确定[J].干旱区资源与环境,2008,22(2):1-5. [FAN Zili, CHEN Yaning, LI Heping, et al. Determination of suitable ecological groundwater depth in arid areas in northwest part of China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(2): 1-5. (in Chinese with English abstract)]
- [37] 赵辉,陈文芳,崔亚莉.中国典型地区地下水位对环境的控制作用及阈值研究[J].地学前缘,2010,17(6):159-165. [ZHAO Hui, CHEN Wenfang, CUI Yali. Control function of groundwater table on the environment of typical areas in China and the study of thresholds[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(6): 159-165. (in Chinese with English abstract)]
- [38] 牛之俊.深入贯彻落实现习近平生态文明思想高质量推进地下水调查监测工作[EB/OL]. [2022-03-24]. <https://new.qq.com/rain/a/20220324A06E3L00>. [NIU Zhijun. Deeply implement the Concept of Xi Jinping's Ecological Civilization high quality promotion of groundwater investigation and monitoring work[EB/OL]. [2022-03-24]. (in Chinese)]
- [39] 郝爱兵.构建新时代水资源调查监测体系[EB/OL]. [2022-03-24]. <https://new.qq.com/rain/a/20220324A06E3L00>. [HAO Aibing. Building a new era water resources survey and monitoring system[EB/OL]. [2022-03-24] (in Chinese)]
- [40] 吴爱民.加强调查监测,助力依法保护地下水——地质调查精准支撑《地下水管理条例》实施[EB/OL]. [2022-03-24]. <https://new.qq.com/rain/a/20220324A06E3L00>. [WU Aimin. Strengthen investigation and monitoring to help protect groundwater according to law - geological survey accurately supports the implementation of the Groundwater Management Regulations[EB/OL]. [2022-03-24]. (in Chinese)]

编辑:张若琳