

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.11.006

引文格式: 官娇娇, 郑跃军, 曹祥会. 2024. 我国地下水资源面临的问题及对策思考[J]. 华东地质, 45(3): 255-263. (GUAN J J, ZHENG Y J, CAO X H. 2024. The problems faced by groundwater resources in China and countermeasures suggestion[J]. East China Geology, 45(3): 255-263.)

我国地下水资源面临的问题及对策思考

官娇娇¹, 郑跃军², 曹祥会²

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要:随着我国经济与社会的高速发展, 地下水资源的需求量越来越大, 可能引发地下水资源超采和污染等问题, 需要制定和执行更加科学合理的水资源安全管理保护措施。文章通过系统分析地下水资源现状和安全保障面临的问题, 提出了对我国地下水资源安全保障对策的思考: 今后应深化推进地下水资源调查监测, 进一步准确评估我国地下水资源现状, 细化地下水超采区、战略储备区及保护区; 不断提升生态修复技术, 完善基于大数据融合的水资源保障智慧化监管平台, 保障水资源安全。

关键词: 地下水资源量; 地下水资源质量; 水资源安全; 对策建议

中图分类号: P641

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2024)03-255-09

近年来, 在气候变化和人类活动的双重影响下, 世界范围内普遍出现了水资源短缺、水污染等水资源与水环境风险问题(Jasechko et al., 2023; Siska and Takara, 2015; Vörösmarty et al., 2010)。随着社会经济的快速发展和人口的急剧增长, 我国也面临着地下水资源短缺的问题。当前, 我国人均水资源量不足 2 100 m³, 仅为世界人均水平的三分之一(Zhang et al., 2023; 李原园等, 2021)。此外, 还存在着水资源时空分布不均和各地区水资源量与人口、生产力等要素不匹配的问题(常一帆, 2022)。地下水资源作为水资源的重要组成部分, 具有分布范围广、水质较好和便于利用等特点而被广泛开发利用。为了保障地下水资源的可持续开发与利用, 探究地下水资源安全保障对策具有重要意义。

自从实施最严格的水资源管理制度以来, 我国地下水资源管理取得了显著的成效, 但仍存在着许多需要进一步解决的问题, 特别是地下水超采和污染等问题依旧存在(邵景力等, 2023)。20

世纪 80 年代以来, 随着城镇化的快速发展, 人们对水资源的需求量越来越大, 地下水供水量也随之逐渐提高, 2012 年达到 1 132 亿 m³ 的供水量高峰(邵景力等, 2023)。近年来, 随着一系列地下水管控措施的陆续出台和落实, 我国地下水开采总量得到了一定的控制。虽然 2018 年地下水供水量跌至 1 000 亿 m³ 以内(2019 年、2020 年和 2022 年地下水供水量分别为 934 亿 m³、892.5 亿 m³ 和 828.2 亿 m³), 但是北方地区地下水超采仍较严重(邵景力等, 2023; 杨得瑞等, 2021), 截至 2019 年, 地下水超采量已达 160 亿 m³ 左右(李原园等, 2021)。随着地下水超采引起的区域地下水位持续下降, 部分地区引发了地面沉降、海水入侵等一系列生态环境地质问题, 这对地下水资源可持续开发及利用造成了严重的威胁(Hasan et al., 2023; Jasechko et al., 2023)。此外, 由于人们缺乏地下水环境保护意识, 在生产及生活中过量使用农药化肥和偷排工业废水等行为导致的地下水污染也较严重。据统计, 我国约 90% 的地区地下水

* 收稿日期: 2023-11-27 修订日期: 2024-04-30 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“全国水资源调查监测评价与智慧服务(编号: DD20230075)”和国家自然科学基金“辽河干流-近海口生态环境演变机制与功能提升综合调控(编号: U21A20155)”项目联合资助。

第一作者简介: 官娇娇, 1999 年生, 女, 硕士研究生, 主要从事地下水环境研究工作。Email: 2283001570@qq.com。

通信作者简介: 曹祥会, 1990 年生, 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水平衡及地下水环境研究工作。Email: xhcao199054@163.com。

受到了不同程度的污染(Han et al., 2016),地下水污染呈现出由点到面、由浅到深、由城市向农村发展的态势。地下水超采和污染问题的出现,减少了水资源可利用量,进一步加剧了水资源短缺,对地下水资源安全造成了严重的威胁。

为了缓解严峻的地下水资源安全形势,国家层面采取了地下水资源相关安全管理措施。1988年颁布的《中华人民共和国水法》,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;2008年《中华人民共和国水污染防治法》的出台,为地下水资源保护提供了法律保障;2017年我国推出了现行的《地下水质量标准》,为地下水质量监测提供了有效依据;2021年《地下水管理条例》对地下水节约与保护、超采治理、污染防治和监督管理等方面做出了相关规定(杜丙照, 2022),使地下水管理与保护有了行政法规依据。尽管如此,这些相关法律法规的出台还没有完全达到预期效果,超采区地下水水位持续下降的趋势和存在的污染现象还未得到解决,我国地下水资源管理仍然面临着许多深层次的问题。

本文基于地下水资源安全保障面临的问题,

分析了地下水资源现状和安全保障面临的问题,提出了坚持“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的水资源安全保障对策,同时重点流域“山水林田湖草沙”协同治理、地下水资源分区治理、构建基于大数据融合的水资源保障智慧监管平台等,对于保障我国地下水资源安全及可持续开发利用地下水资源可起到重要作用。

1 我国地下水资源总体形势

1.1 地下水资源量时空变化情况

过去几十年内,我国地下水资源量发生了较大变化。从时间分布上来看,地下水资源量总体呈现下降趋势,从1980—1999年的9555.97亿 m^3 下降到2016—2022年的8568.76亿 m^3 ,下降了10.33%;从各省市变化来看,全国76.47%的省市地下水资源量也呈现总体下降的趋势,其中下降比较明显的地区主要是天津市、辽宁省、北京市、湖北省、广西壮族自治区、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、台湾省等,下降率为-52.39%~-31.89%(图1)。

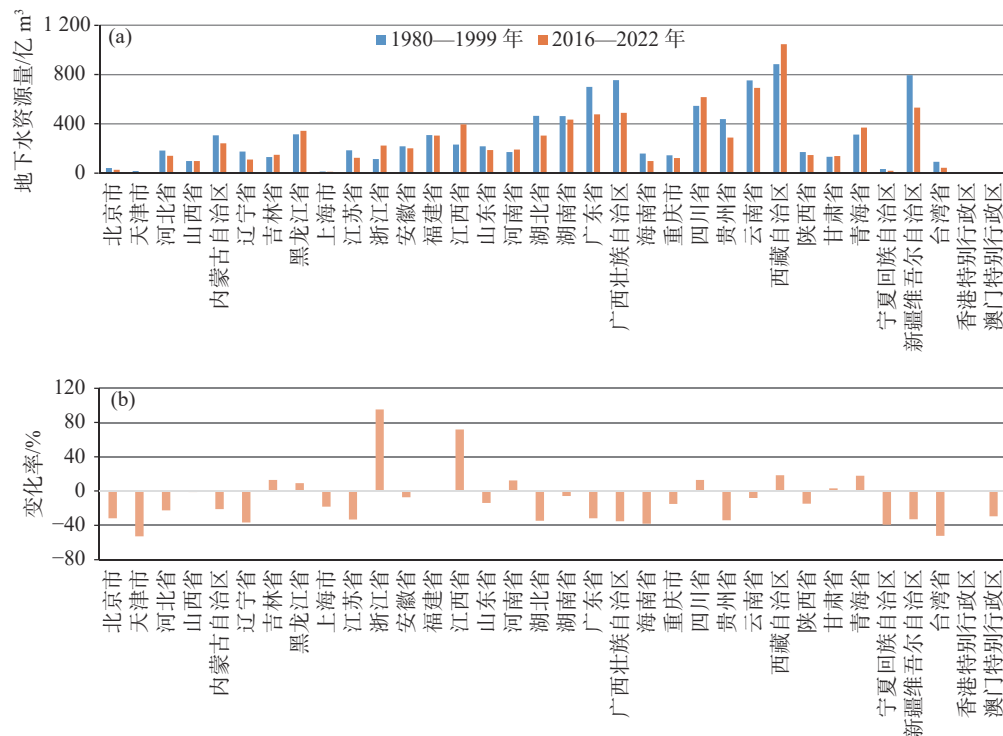


图1 1980—1999年、2016—2022年全国各省市地下水资源量及变化情况统计图(数据来源自水资源公报)

Fig. 1 Volume changes of groundwater resources during 1980-1999 and 2016-2022 (data sourced from *China Water Resources Bulletin*)

以秦岭—淮河作为分界线, 将我国划分为南方地区和北方地区, 并对比分析了两者的山丘区、平原区地下水资源量及总量(图 2)。由图 2 可以看出, 地下水资源量呈现南多北少、山丘区多于平原区的分布模式。其中, 南方地区地下水资源量约占全国地下水资源量的 70.78%, 全国山丘区地下水资源量约为平原区地下水资源量的 3.69 倍。平原区地下水资源量主要分布在北方地区, 约占全国平原区地下水资源量的 67.70%; 山区地下水资源量主要分布在南方地区, 约占全国山区地下水资源量的 79.30%(图 2)。北方地区以占全国不到三分之一的地下水资源量, 支撑了 64% 的国土面积、60% 的耕地和 46% 的人口(李原园等, 2021)。由上可知, 我国地下水资源量与国土空间分布极不匹配。

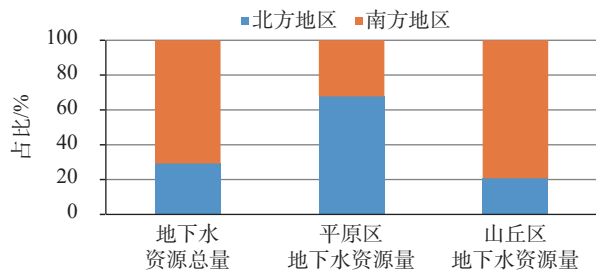


图 2 我国北方地区和南方地区平原地下水资源量、山区地下水资源量及总量占比统计图(数据来自水资源公报)

Fig. 2 The proportion of the groundwater-resources volume across the country, and that under plains and mountains in northern and southern China (data sourced from China Water Resources Bulletin)

1.2 地下水资源质量状况

近年来, 我国工业化、城市化的快速发展和地下水的大量开采给不同的生产、生活领域带来了不同程度的直接或间接污染。此外, 各种污染物的输入不同程度地破坏了地下水环境状态的平衡, 导致地下水污染现状不容乐观(Han et al., 2016; 刘林等, 2023)。基于全国 20 469 个地下水监测站点监测数据, 统计分析了 2021 年全国各省市地下水质量状况(图 3)。结果表明: 2021 年约 20% 的省份地下水水质相对较好, 其 I-III 类地下水占比达 50% 以上; 约 42% 的省市地下水水质相对较差, I-III 类地下水占比达 30% 以下, 其中约 16% 的省市 I-III 类地下水占比低于 10%。此外, 西藏自治区地下水的水质最好, I-III 类地下水占比达 90.59%; 上海市地下水的水质最差, I-III 类地下水占比仅为 1.32%。超 III 类地下水的主要影响指标是锰、总硬度、硝酸盐、氨氮、耗氧量以及挥发酚类, 其中锰超标率达 39.43%, 主要是原生环境导致的。硝酸盐、氨氮、耗氧量以及挥发酚类超标率为 10%~20%, 主要受人类活动的影响较大。

由 2022 年国家地下水监测结果可知, 全国可以直接作为饮用水源的 I-III 类水占比为 10.4%, 经过过滤吸附处理后可达到生活饮用水标准(GB 5749—2022)的 IV 类水占比为 70.3%, V 类水占比为 19.3%。影响水质的主要指标为锰、铁、硫酸盐、氟化物、砷、耗氧量等, 其中锰的超标率达 43.9%, 其余指标的超标率均 > 10%。与 2021 年对比, 2022 年全国地下水水质呈现进一步劣化的趋势, 表现为 I-III 类水占比减少了 4.3%, IV 类水占比增

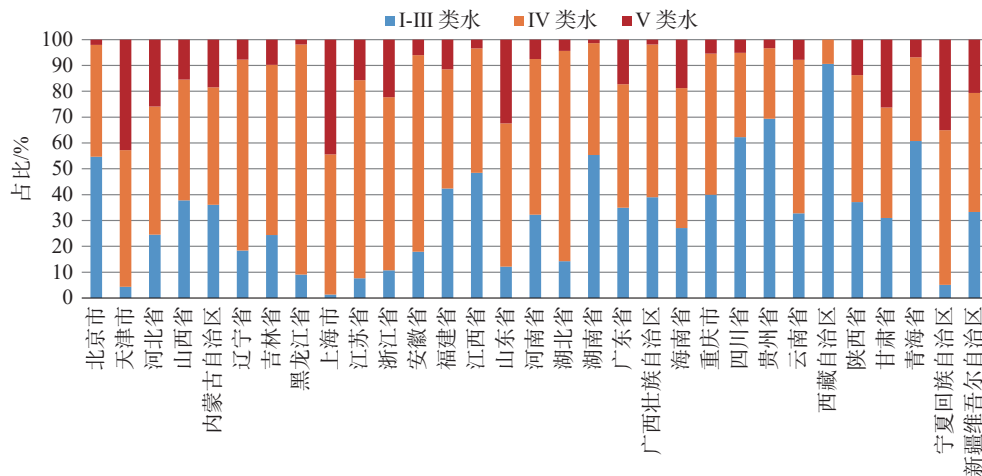


图 3 我国各省市 2021 年地下水质量状况统计图(数据来自国家地下水监测报告)

Fig. 3 Groundwater quality in various provinces/cities in China in 2021 (data sourced from China Water Resources Bulletin)

加了2.4%，V类水占比增加了1.9%(图4)。总体来说，我国地下水水质整体偏差，经济发达的省市地下水质量状况普遍比经济不发达的省市差(蔡磊等, 2023)。

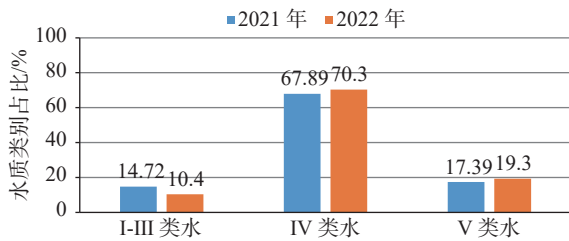


图4 2021年和2022年我国地下水质量对比统计图(数据来自国家地下水监测报告)

Fig. 4 Comparison of groundwater quality between 2021 and 2022 (data sourced from *China Water Resources Bulletin*)

2 我国地下水资源安全保障面临的问题

2.1 气候变化加剧了地下水资源安全风险

受全球气候变化影响，极端天气事件发生的频率增加(Ali et al., 2012; Chowdhury and Al-Zahrani, 2013; Costa-Cabral et al., 2013; Habets et al., 2013; Pasini et al., 2012)，气候变化已成为全球关注的热点之一。在全球升温1.5℃和2℃的背景下，气候变暖将加速冰川退缩、加剧极端水文事件的发生、改变降水过程、增加水分的蒸发量，使区域水循环发生变化，导致水资源的时空再分配也发生相应变化(Wang et al., 2013)，进一步为我国地下水资源管理带来了巨大的挑战。近年来，全球多地高温干旱事件频发，在干旱与高温同时发生期间，水资源会呈现出极度短缺的状态，这严重威胁了水资源的安全保障。历史上，包括2006年、2011年、2013年、2019年和2022年我国长江流域曾发生过多次大旱(姜雨彤等, 2023; 夏军等, 2022; 邹旭恺等, 2022)。2022年夏季干旱是长江流域1979年以来覆盖面积最广的复合高温干旱事件，平均气温之高、高温日数之多、高温事件持续时间之长、降水量之少均为1961年以来同期之最；2022年7月1日以来，长江流域降水量为143.2 mm，较常年同期偏少4成，为1961年以来同期最少，来自江河的水量也减少2~8成；8月

1日以来，长江流域、乌江和长江中下游降水均为历史同期最少，降雨量不足20 mm，其中中游干流降雨量不足10 mm。受持续高温干旱天气影响，长江主汛期水位持续走低，例如，2022年8月22日长江湖口站水位9.51 m，比2021年同期水位低6.72 m，为长江有水文记录以来历史同期最低，出现“汛期反枯”现象。受长江中游严重干旱、大通流量持续偏低等因素影响，上海遭遇了史上最大的咸潮，入侵强度大，持续时间长。此外，不合理的经济社会活动造成人水争地，也会进一步影响健康的水循环过程(Qin et al., 2014; Wang et al., 2004; Zhang et al., 2017)。

2.2 人类活动增强引发地下水资源过度开发利用及地下水污染

由于农业灌溉对地下水的需求较大，华北平原地下水超采问题最为突出(图5)，尤其是海河流域多年平均水资源量为372亿 m^3 ，人均水资源量仅为305 m^3 ，水资源开发利用强度已达101%，属于资源型缺水地区。自20世纪70年代以来，盐碱地改造和农田水利建设也导致地下水开采量急剧增加，农业灌溉用水量占地下水总开采量的79%。近60年来，山前单一的潜水含水层超采区水位整体下降了30~50 m，如石家庄市区的潜水位最大降幅达55 m(常一帆, 2022)；弱承压水超采区累计水位下降了50~90 m，地下水漏斗面积和体积逐年扩大、加深，并呈现了复合连片的趋势。根据1959年、1984年、2005年、2019年形成的9个山前平原地下水降落漏斗统计结果，总面积由2005年的0.97万 km^2 增加至2019年的1.4万 km^2 。其中，除北京顺义—通州漏斗中心水位回升，其余8个漏斗中心水位仍在下降，最大漏斗位于石家庄南部农业开采区的宁柏隆漏斗，面积由2005年的0.23万 km^2 增加至2019年的0.37万 km^2 ，中心水位由2005年的65.2 m增加至2019年的119.7 m(赵龙等, 2024)。地下水资源过度开发利用导致地下水位持续下降，引发了一系列的生态环境问题，严重影响了地下水资源的可持续发展。

此外，生活、农业和工业排放大量的污染物进入地表，在降雨淋滤、土壤入渗以及水循环的作用下，进入地下水体，导致地下水环境恶化。由于地下水污染具有极强的隐蔽性和滞后性，无法

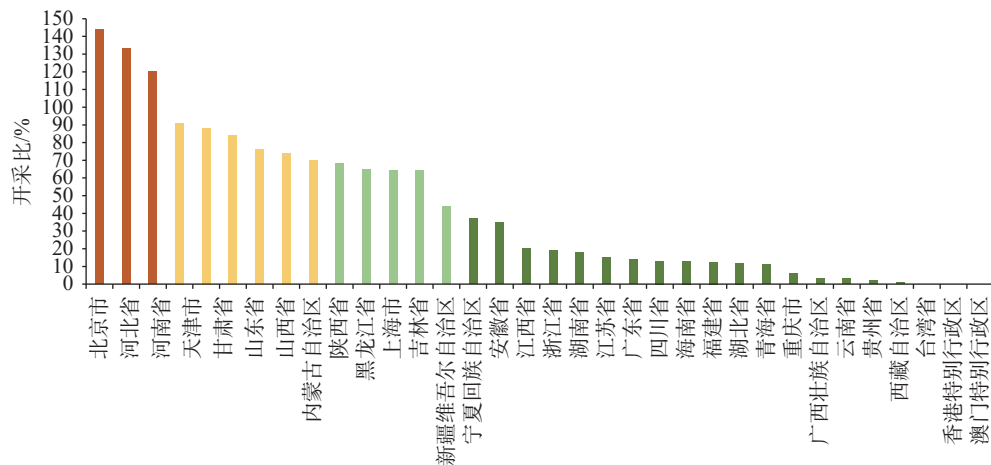


图5 2000—2020年我国多年平均地下水资源开采占比统计图(数据源自水资源公报)

Fig. 5 Annual average proportion of groundwater resource extraction during 2000-2020 (data sourced from *China Water Resources Bulletin*)

有效开展相关的地下水污染防治工作。地下水污染来源复杂,其中工业污染源和农业面源是造成地下水污染的主要原因(任静等, 2022; 王宝燕和肖巍, 2020; 王焰新, 2007; 周兰兰等, 2023)。目前,地下水污染防治工作仍处于起步阶段,尚未形成完善的监督管理体系。

2.3 水资源安全保障科技支撑和管理体制有待健全

与地表水相比,地下水资源管理具有一定的复杂性。人们短暂的开采活动并不会使地下水储量快速缩减,但是长期的超采活动会导致其水位持续下降和储量逐渐耗损直至枯竭(马宝强等, 2022)。目前,还无法全面实现超采治理以及水位变化的预警和预判。对于水生态环境,以往通常采取点对点、线对线、面对面的治理方式。随着“生态-环境地质”理论体系不断发展,人们开始意识到水环境综合治理是一项系统性的工程,涉及到与水系统相关的多个方面。新时期的水资源管理仍存在诸多问题:一是水陆环境治理不协同,工作分头推进,目标不一,标准各异,对治水兴水系统推进的认识还不足(肖宇等, 2021);二是水陆统筹的管理体制未能较好地推行,对生态修复的系统性和整体性认识不够,目前依然处于就污治污、就点治点的状态(王立新等, 2019);三是现行地下水质量标准难以适应新时期水生态安全保障的需求,如标准限值的水质基准研究支撑不足、各功能水体与水质要求对应性不强、功能指标重污染防治而轻生态保护、部分污染物项目和限值

缺失或陈旧、标准值未体现空间差异性等。因此,对于水环境综合治理方面需要建立有效的联动机制,进一步加强现代科学技术支撑,充分利用科技创新来协助地下水资源管理工作。

3 思考及建议

3.1 水资源开发利用与水生态安全保障并重

水资源安全保障应坚持“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的思路(图6),核心是科学合理地开发水资源,能应对各种突发的水资源极端事件,实现水资源的可持续利用(夏军等, 2022)。从战略性、系统性的角度出发,设定并严守流域水资源利用上限,立足区域差异性,提出具有差别化、针对性、操作性的分类管控要求,指导和落实地下水资源安全保障方案。此外,正确处理水生态环境安全保障与经济社会优化发展的关系,针对不同区域的水生态环境问题和污染特征,结合区域经济发展和技术水平,提出科学、合理的水生态环境管理目标和任务,并采用基于区域差异的分区控制策略。按照水生态退化和环境污染特征及其对经济社会的支撑功能,对水生态环境安全保障进行分类指导。

3.2 开展重点流域水环境水生态质量整体提升科技攻关与示范

针对海河流域、淮河流域等地下水污染严重的重点流域,研发先进的地下水污染治理设备、

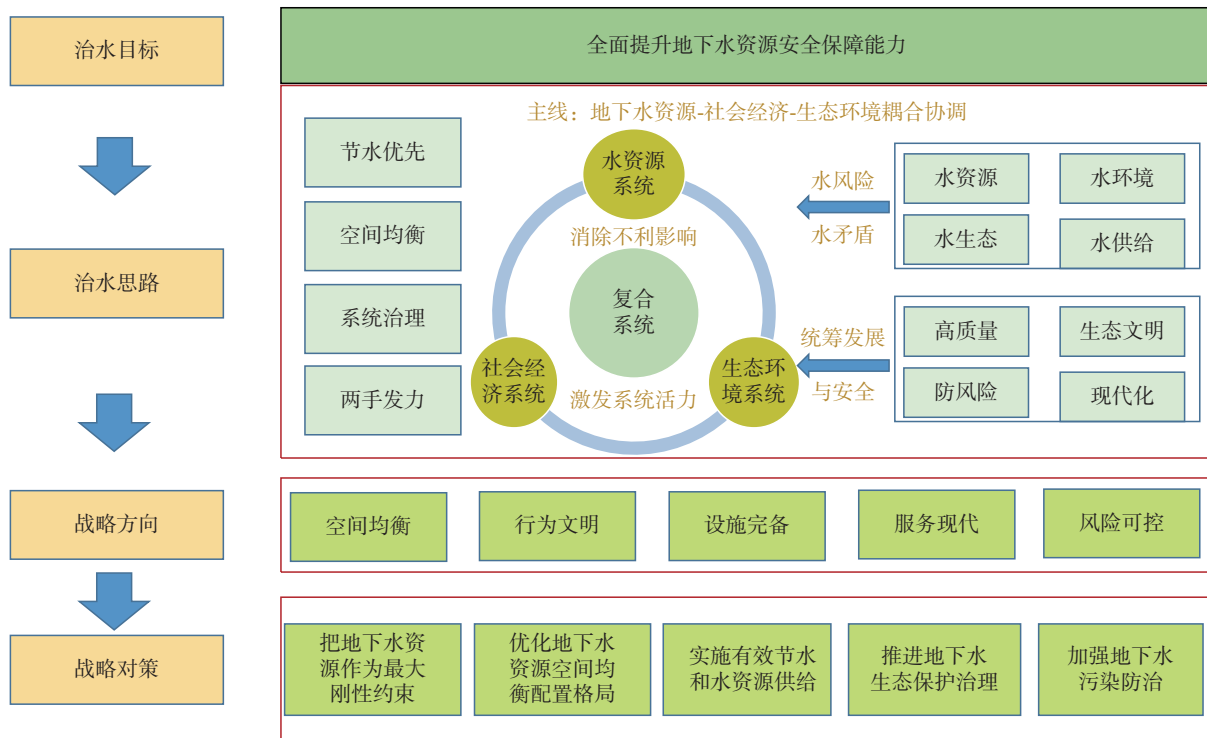


图6 我国地下水资源安全保障总体思路(李原园等, 2021)

Fig. 6 General conceive for ensuring the safety of groundwater resources in China (Li et al., 2021)

材料和工艺技术, 构建实用且有效的源头控制-过程阻断-末端治理的地下水污染防控技术体系, 突破高效可持续地下水修复的关键技术, 推进原位修复、协同修复、绿色修复技术的工程化应用, 构建基于风险管控的污染监管与决策支持技术体系。从提标扩容、流域综合治理的目标要求和急需的管理政策出发, 研究适用于新阶段经济社会发展特点的水环境战略决策平台、水环境管理体制和水环境政策体系。

3.3 科学评估我国地下水资源现状, 深化推进地下水资源监测和评价

目前, 我国现有的地下水监测站点主要集中在东部地区, 西部地区相对较少。此外, 在水质监测指标方面, 主要是常规的水质监测指标, 一些新型污染物、重金属等还未纳入监测体系中。可见, 当前的地下水监测体系难以准确地反映地下水资源的实际状况。因此, 利用现代化科学技术推进水资源监测和评价, 增加西部地区地下水监测站点的布设, 在全国尺度上力争每个乡镇有一个监测站点, 构建地下水动态监测和水质、水位预警预报体系, 实现对地下水状态的动态监控, 进而及时准确地掌握我国地下水资源整体状况。

3.4 科学划定地下水超采区、战略储备区及保护区

基于水资源安全保障思路, 新时期水资源安全保障应采用分类分区、整体施策的方法开展工作, 对地下水进行科学划分, 合理划分地下水超采区、战略储备区以及保护区。同时, 充分考虑各区域的地下水状况, 对各个地下水划分区实行一区一策的管理方式。对于地下水超采区, 调整产业布局和农业结构, 严格执行取水制度, 减少地下水的开采量, 并通过跨流域调水、退耕还林等方式增加地下水的补给量, 促进资源与经济发展相适配, 逐步实现地下水的采补平衡。对于地下水战略储备区, 协同推动水生态保护修复, 提倡节约, 减少不合理用水, 服务于国家战略安排, 为水资源短缺地区、经济发展区提供用水的安全保障。对于地下水保护区, 实行最严格的水资源保护举措, 限制工农业生产活动, 避免水资源受到污染。

3.5 构建基于大数据融合的水资源保障智慧化监管平台, 保障水资源安全

利用现代化信息技术, 构建基于大数据融合的水资源保障智慧化监管平台, 实现各部门地下水监测数据的快速共享, 并统一管理地下水各项监测数据, 制定科学合理的地下水管理措施和有

针对性的地下水污染防治策略,提升决策制定的科学性与合理性。同时,加强极端气候事件下应急备用水源与管网建设,形成有效的水源地应急预案与应急演练制度,做到科学调度、稳定供水,提高饮用水安全应急保障能力。

4 结论

(1)我国地下水资源量总体呈下降趋势,从1980—1999年的9 555.97亿 m³降至2016—2022年的8 568.76亿 m³,下降了10.33%。地下水水质相对较差,2021年和2022年Ⅳ类水占比分别为67.89%和70.3%。

(2)华北平原地下水超采问题较突出,地下水超采区治理和地下水科学管理是一项长期而艰巨的任务,应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工作。

(3)对于极端气候事件,应科学划定地下水战略储备区和应急水源地,其中地下水战略储备区地下水含水层应具备较大规模及集中供水量的应急保障能力,同时在应急开采动用储存资源水量结束后,具有3~5年恢复含水层地下水储量至启用前水平的条件。

(4)地下水时空分布具有复杂性和隐蔽性,地下水超采和污染使超采区修复和污染治理工作异常艰巨而漫长,应持续完善地下水监督管控体系,构建新时代水资源调查监测体系,推进地表水-地下水一体化管理,不断提升生态修复技术,完善基于大数据融合的水资源保障智慧化监管平台,保障水资源安全。

References

- ALI R, MCFARLANE D, VARMA S, DAWES W, EMELYANOVA I, HODGSON G, CHARLES S. 2012. Potential climate change impacts on groundwater resources of south-western Australia[J]. *Journal of Hydrology*, 475: 456-472.
- CAI L, SU J W, LI Z, SHI H F, WANG R, YANG Y, DING Y. 2023. Study on the chemical characteristics and hydrogeochemistry process of groundwater in the upper reaches of Xin'an River Basin[J]. *East China Geology*, 44(3): 262-272 (in Chinese with English abstract).
- CHANG Y F. 2022. Study on water resources security of Yuefengcanal under the influence of climate change and human activities[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 74-80 (in Chinese with English abstract).
- CHOWDHURY S, AL-ZAHRANI M. 2013. Implications of climate change on water resources in Saudi Arabia[J]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(8): 1959-1971.
- COSTA-CABRAL M, COATS R, REUTER J, RIVERSON J, SAHOO G, SCHLADOW G, WOLFE B, ROY S B, CHEN L M. 2013. Climate variability and change in mountain environments: some implications for water resources and water quality in the Sierra Nevada (USA)[J]. *Climatic Change*, 116(1): 1-14.
- DU B Z. 2022. Implementing regulations on groundwater management to reinforce groundwater supervision and management according to law[J]. *China Water Resources*, (6): 5-6,18 (in Chinese).
- HABETS F, BOÉ J, DÉQUÉ M, DUCHARNE A, GASCOIN S, HACHOUR A, MARTIN E, PAGÉ C, SAUQUET E, TERRAY L, THIÉRY D, OUDIN L, VIENNOT P. 2013. Impact of climate change on the hydrogeology of two basins in northern France[J]. *Climatic Change*, 121(4): 771-785.
- HAN D M, CURRELL M J, CAO G L. 2016. Deep challenges for China's war on water pollution[J]. *Environmental Pollution*, 218: 1222-1233.
- HASAN M F, SMITH R, VAJEDIAN S, POMMERENKE R, MAJUMDAR S. 2023. Global land subsidence mapping reveals widespread loss of aquifer storage capacity[J]. *Nature Communications*, 14(1): 6180.
- JASECHKO S, SEYBOLD H, PERRONE D, FAN Y, SHAM-SUDDUHA M, TAYLOR R G, FALLATAH O, KIRCHNER J W. 2023. Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally[J]. *Nature*, 625(7996): 715-721.
- JIANG Y T, HAO Z C, FENG S F, ZHANG Y, ZHANG X, FU Y S, HAO F H. 2023. Spatiotemporal evolution characteristics in compound hot-dry events in Yangtze River and Yellow River basins[J]. *Water Resources Protection*, 39(2): 70-77 (in Chinese with English abstract).
- LI Y Y, LI Y L, HE J. 2021. Strategic Countermeasures for China's water resources security in the new development stage[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 52(11): 1340-1346,1354 (in Chinese with English abstract).
- LIU L, CHEN Q, ZHAO R R, ZHOU X, JIANG Y H, YE Y H. 2023. The mechanism of high iodine groundwater driven by human activities: a case study of Fuzhou City[J]. *East China Geology*, 44(4): 457-466. (in Chinese with English ab-

- stract).
- MA B Q, WANG X, TANG C, MA J Y. 2022. Overview of the characteristics of global groundwater resources development, utilization and the main environmental problems[J]. *Natural Resources Information*, (8): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- PASINI S, TORRESAN S, RIZZI J, ZABEO A, CRITTO A, MARCOMINI A. 2012. Climate change impact assessment in Veneto and Friuli Plain groundwater. Part II: a spatially resolved regional risk assessment[J]. *Science of the Total Environment*, 440: 219-235.
- QIN D Y, LU C Y, LIU J H, WANG H, WANG J H, LI H H, CHU J Y, CHEN G F. 2014. Theoretical framework of dualistic nature-social water cycle[J]. *Chinese Science Bulletin*, 59(8): 810-820.
- REN J, LI J, XI B D, YANG Y, LU H J, SHI J X. 2022. Groundwater pollution prevention and control in China: current status and countermeasures[J]. *Strategic Study of CAE*, 24(5): 161-168 (in Chinese with English abstract).
- SHAO J L, BAI G Y, LIU C Z, ZHANG Q L, CUI Y L. 2023. Problems and countermeasures of groundwater management in China: concurrently talking about groundwater dual-control management[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 50(5): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- SISKA E M, TAKARA K. 2015. Achieving water Security in global change: Dealing with associated risk in water investment[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 28: 743-749.
- VöröSMARTY C J, MCINTYRE P B, GESSNER M O, DUDGEON D, PRUSEVICH A, GREEN P, GLIDDEN S, BUNN S E, SULLIVAN C A, LIERMANN C R, DAVIES P M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity[J]. *Nature*, 467(7315): 555-561.
- WANG Y X. 2007. *Groundwater contamination*[M]. Beijing: Higher Education Press (in Chinese).
- WANG L X, LI Y H, LIANG C Z, ZHUO Y. 2019. Integrated management and control of river basins with integrated water and land planning[J]. *Northern Economy*, (10): 26-27 (in Chinese with English abstract).
- WANG W G, SHAO Q X, YANG T, PENG S Z, XING W Q, SUN F C, LUO Y F. 2013. Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes: a case study in four catchments of the Haihe River basin, China[J]. *Hydrological Processes*, 27(8): 1158-1174.
- WANG H, WANG C M, WANG J H, QIN D Y. 2004. Investigations into the effects of human activities on the hydrological cycle in the Yellow River Basin[J]. *Water International*, 29(4): 499-509.
- WANG B Y, XIAO W. 2020. Study on the status quo of groundwater pollution and countermeasures[J]. *Environment and Development*, 32(10): 38-39 (in Chinese with English abstract).
- XIA J, CHEN J, SHE D X. 2022. Impacts and countermeasures of extreme drought in the Yangtze River Basin in 2022[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 53(10): 1143-1153 (in Chinese with English abstract).
- XIAO Y, MA X M, CAO H T, XIE Y H. 2021. Analysis of key points of overall management of land and water from the perspective of territorial spatial planning — A case study of Wanlibi Road, Guangdong Province[C]//CHINA SOCIETY OF URBAN PLANNING, CHENGDU MUNICIPAL PEOPLE'S GOVERNMENT. *Spatial Governance for High-quality Development: Proceedings of the 2020 China Urban Planning Annual Conference (Urban and Rural Governance and Policy Research)*. Beijing: China Architecture and Construction Press, 10-17 (in Chinese).
- YANG D R, DU B Z, HUANG L Q, HAUNG Y F, SUN X M. 2021. Enhance groundwater management and promote high-quality development[J]. *China Water Resources*, (7): 1-4 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG S H, FAN W W, YI Y J, ZHAO Y, LIU J H. 2017. Evaluation method for regional water cycle health based on nature-society water cycle theory[J]. *Journal of Hydrology*, 551: 352-364.
- ZHANG Y Q, LI C C, CHIEW F H S, POST D A, ZHANG X Z, MA N, TIAN J, KONG D D, LEUNG L R, YU Q, SHI J C, LIU C M. 2023. Southern Hemisphere dominates recent decline in global water availability[J]. *Science*, 382(6670): 579-584.
- ZHAO L, JIANG X W, LI Y M, LUO Y, CUI W J, TIAN M Z, WANG S F, TIAN F, XU L, LIU Y Z, SHA T, WANG X H, QI M H. 2024. Groundwater level changes and its impact on land subsidence in the Beijing Plain during the recent 10 years[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1-15 (in Chinese with English abstract).
- ZHOU L L, LIU Y M, LIU Z J, HUANG C F, HAN Y N. 2023. Analysis on the current situation and solution strategies of groundwater pollution prevention and control[J]. *Leather Manufacture and Environmental Technology*, 4(13): 122-124 (in Chinese with English abstract).
- ZOU X K, GAO R, CHEN X Y, WANG L, LI W, GONG W T, ZHANG Q. 2022. Monitoring and assessment of summer drought in the Yangtze River basin in 2022[J]. *China Flood & Drought Management*, 32(10): 12-16 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

蔡磊, 苏晶文, 李状, 史洪峰, 王睿, 杨洋, 丁勇. 2023. 新安江

- 流域上游地区地下水化学特征及水文地球化学作用研究[J]. 华东地质, 44(3): 262-272.
- 常一帆. 2022. 气候变化及人类活动影响下跃峰渠水资源安全保障研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 74-80.
- 杜丙照. 2022. 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, (6): 5-6,18.
- 姜雨彤, 郝增超, 冯思芳, 张宇, 张璇, 付永硕, 郝芳华. 2023. 长江与黄河流域复合高温干旱事件时空演变特征[J]. 水资源保护, 39(2): 70-77.
- 李原园, 李云玲, 何君. 2021. 新发展阶段中国水资源安全保障战略对策[J]. 水利学报, 52(11): 1340-1346,1354.
- 刘林, 陈琦, 赵汝荣, 周迅, 姜月华, 叶永红. 2023. 人类活动驱动下的高碘地下水成因机制——以福州市为例[J]. 华东地质, 44(4): 457-466.
- 马宝强, 王潇, 汤超, 马建源. 2022. 全球地下水资源开发利用特点及主要环境问题概述[J]. 自然资源情报, (8): 1-6.
- 任静, 李娟, 席北斗, 杨洋, 鹿豪杰, 史俊祥. 2022. 我国地下水污染防治现状与对策研究[J]. 中国工程科学, 24(5): 161-168.
- 邵景力, 白国营, 刘翠珠, 张秋兰, 崔亚莉. 2023. 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, 50(5): 1-9.
- 王焰新. 2007. 地下水污染与防治[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 王立新, 李永宏, 梁存柱, 卓义. 2019. 水陆统筹的流域综合治理与管控[J]. 北方经济, (10): 26-27.
- 王宝燕, 肖巍. 2020. 地下水污染现状与防治对策研究[J]. 环境与发展, 32(10): 38-39.
- 夏军, 陈进, 余敦先. 2022. 2022年长江流域极端干旱事件及其影响与对策[J]. 水利学报, 53(10): 1143-1153.
- 肖宇, 马向明, 曹海涛, 谢永红. 2021. 国土空间规划视角下水陆统筹治理要点辨析——以广东万里碧道为例[C]//中国城市规划学会, 成都市人民政府. 面向高质量发展的空间治理——2020中国城市规划年会论文集(11 城乡治理与政策研究). 北京: 中国建筑工业出版社, 10-17.
- 杨得瑞, 杜丙照, 黄利群, 黄一凡, 孙晓敏. 2021. 加强地下水管理促进高质量发展[J]. 中国水利, (7): 1-4.
- 赵龙, 蒋小伟, 李玉梅, 罗勇, 崔文君, 田苗壮, 王树芳, 田芳, 许亮, 刘元章, 沙特, 王新惠, 齐鸣欢. 2024. 近10年北京平原区地下水水位变化及与地面沉降的关系研究[J]. 地质学报, 1-15, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023065.
- 周兰兰, 刘玉梅, 刘志杰, 黄朝凡, 韩燕妮. 2023. 地下水污染防治现状与解决策略探析[J]. 皮革制作与环保科技, 4(13): 122-124.
- 邹旭恺, 高荣, 陈鲜艳, 王凌, 李威, 龚文婷, 张强. 2022. 2022年长江流域夏伏旱监测评估[J]. 中国防汛抗旱, 32(10): 12-16.

The problems faced by groundwater resources in China and countermeasures suggestion

GUAN Jiaojiao¹, ZHENG Yuejun², CAO Xianghui²

(1. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China;

2. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: With rapid development of society and economy, ever-increasing demand on groundwater resources may lead to problems such as overexploitation and groundwater pollution. It is necessary to formulate and implement more scientific and reasonable control and protection measures for water resource safety. This paper systematically analyzes the current situation of groundwater resources in China, and proposes countermeasures for the safety assurance of groundwater resources. It is urgent to deepen the investigation and monitoring of groundwater resources, more accurately evaluate the current situation of groundwater resources in future, and further refine the overexploitation areas, strategic reserve areas, and protection areas of groundwater. We should continuously improve ecological restoration technology and intelligent supervision platform for water resource protection based on big data fusion, contributing to ensuring water resource safety.

Key words: groundwater resources; groundwater resource quality; water resources security; countermeasure