

淮河流域及山东半岛地下水超采原因与管理对策

曹先树¹,王浩¹,吴晨晨¹,曹炎煦²,顾雨田¹

(1. 中水淮河规划设计研究有限公司,安徽合肥 230091; 2. 水利部淮河水利委员会,安徽蚌埠 233001)

摘要:针对淮河流域及山东半岛地区地下水严重超采的问题,从地下水开发利用趋势、水位动态变化、生态环境地质问题等方面分析了该地区地下水超采的状况,从水资源禀赋条件、水资源承载能力、城镇用水需求变化、地下水监管能力等方面剖析了地下水超采的原因。针对地下水双控指标体系、监测计量、信息化监管等方面存在的问题,从强化流域对地下水资源统一管理的角度提出了相关对策建议。

关键词:地下水;超采治理;地下水管理;淮河流域;山东半岛

中图分类号:TV211

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2024)05-0065-09

Causes and management measures of groundwater overexploitation in Huaihe River Basin and Shandong Peninsula//CAO Xianshu¹, WANG Hao¹, WU Chenchen¹, CAO Yanxu², GU Yutian¹(1. China Water Huaihe Planning and Design Research Co., Ltd., Hefei 230091, China; 2. Huaihe Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Bengbu 233001, China)

Abstract: The problem of groundwater overexploitation is prominent in the Huaihe River Basin and Shandong Peninsula region. This paper analyzes the situation of groundwater overexploitation in this region from aspects such as groundwater development and utilization trend, dynamic change of water level, and ecological and environmental geological problems. The causes of groundwater overexploitation are analyzed from aspects such as water resources endowment conditions, water resources carrying capacity, urban water demand changes, and groundwater supervision ability. In view of the existing problems in groundwater dual control index system, monitoring and measurement, information supervision and other aspects, this paper puts forward relevant countermeasures and suggestions from the perspective of strengthening the unified management of groundwater resources in the basin.

Key words: groundwater; overexploitation management; groundwater management; Huaihe River Basin; Shandong Peninsula

淮河流域及山东半岛地区(以下简称“淮河区”)是我国中东部地区重要的能源资源供应区和商品粮主产区^[1]。地下水在支撑区域经济社会发展,应对持续干旱,保障饮水安全、供水安全、粮食安全等方面发挥了重要作用^[2-5]。由于地下水管理工作常以区域管理为主,流域层面介入较少,地下水管理成为流域水资源管理工作中的薄弱环节^[6-7]。淮河区相关地下水研究多侧重于地下水资源量、水文地质、水环境状况等方面^[1,8-10],地下水开发利用趋势与水位动态研究也主要以省级尺度为主^[11-14]。为提升流域治理管理能力和水平,推动新阶段水利高质量发展,水利部提出要强化流域水资源统一管理^[15],水利部在推进“十四五”重点区域地下水超采治理、地下水管控指标确定以及新一轮地下水超采区划定等工作中,均要求流域机构加强对省级成果

的复核与协调。在此背景下,本文结合流域地下水超采治理的工作实践,以淮河区为研究对象,从地下水开发利用趋势、水位动态、超采引发问题等角度,系统分析淮河流域尺度的地下水超采状况,剖析地下水超采原因,并就强化流域对地下水资源的统一管理提出对策建议。

1 研究区概况

淮河区位于我国东部(图1),西起伏牛山,东临黄海,介于长江和黄河之间,总面积约33万km²,其中淮河流域约27万km²,山东半岛约6万km²,山丘区约占流域总面积的1/3,主要分布在南部、西部和东北部。淮河区地下水含水层按含水介质及储存条件可分为松散岩类孔隙水含水层组、碳酸盐类岩溶水含水层组和基岩裂隙水含水层组3种类型^[9],其

中松散岩类孔隙水含水层组是流域地下水开发利用的主要对象,多分布在豫东平原、淮北平原、淮河下游苏中平原、南四湖平原及山东半岛泰沂山北部平原地区。淮河区 1956—2016 年多年平均地下水资源量为 239 亿 m³,占水资源总量的 26%。

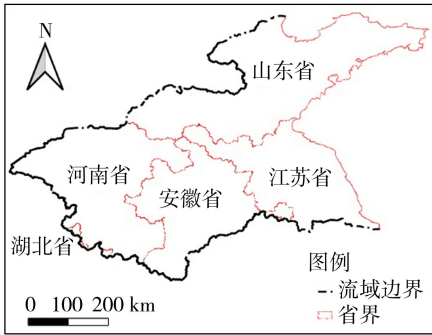


图 1 淮河区示意图

2 地下水超采状况

2.1 地下水超采区划定

2012—2014 年水利部组织开展第四次全国地下水超采区评价工作,评价结果显示,全国地下水超采区涉及 21 个省级行政区的 512 个县级行政区,超采区总面积 28.71 万 km²,地下水超采量约 170 亿 m³[16]。淮河区共划定地下水超采区 76 个(表 1),超采区总面积 6.16 万 km²,超采总量 12.17 亿 m³,超采区涉及河南、安徽、山东、江苏 4 省 29 个地市的 112 个县级行政区,主要分布在豫东平原、淮北平原、南四湖湖西地区、山东半岛及沿海局部地区。

表 1 淮河区地下水超采区划定情况

地区	地形地貌	地下水埋藏条件	超采区数量/个	超采区面积/km ²	深层与浅层超采区重叠面积/km ²	超采量/万 m ³
河南省	平原区	浅层地下水	10	3 784		5 650
	平原区	深层地下水	6	24 321	1 568	45 569
	山丘区	浅层地下水	4	3 398		13 931
安徽省	平原区	浅层地下水	14	1 720		2 379
	平原区	深层地下水	11	2 480	1 132	19 197
山东省	平原区	浅层地下水	9	6 436		12 450
	平原区	深层地下水	5	15 485		18 591
江苏省	平原区	浅层地下水	17	6 710		3 970
淮河区	平原区	浅层地下水	50	18 650		24 449
	平原区	深层地下水	22	42 286	2 700	83 357
	山丘区	浅层地下水	4	3 398		13 931

2021 年 8 月,水利部启动新一轮地下水超采区划定工作,初步划定结果显示,淮河区地下水超采区分布范围与上一轮基本一致,但部分特大型、大型超采区消失或转为中小型超采区,区域严重超采区面积较上一轮减少 56%,超采总量较上一轮减少 26%,表现出超采规模缩小、超采程度减轻的变化趋

势;分省来看,淮河区河南省平原区地下水超采面积和超采量增加,安徽省、山东省、江苏省超采面积和超采量均有所减少。

2.2 地下水开发利用趋势

分析淮河区 1980—2020 年地下水分水源供水量及供水占比变化趋势(图 2)可知,淮河区地下水供水量表现出急剧增长—先降后增—逐步下降的趋势,可划分为 3 个典型阶段:①1980—2000 年,区域国民经济的快速发展过度依赖地下水开采,地下水供水增长率高于供水总量增长率,地下水供水占比由 1985 年的最低值 22%持续增长到 2000 年的最高值 33%;②2000—2014 年,由于地表水和跨流域调水的开发利用,区域地下水开采量出现短时期一定程度下降,自 2003 年又开始缓慢增长;③2014—2020 年,随着南水北调工程通水对地下水源的置换以及一系列地下水超采治理措施的实施,区域地下水开采量逐步下降[17]。1980—2020 年,淮河区地下水开采总量增长 11%,其中浅层地下水增长 21%,深层承压水先增后降,总体减少 48%。

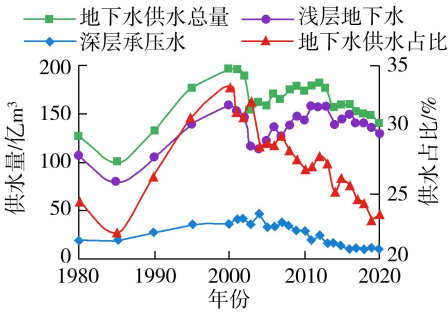


图 2 淮河区地下水供水量及供水占比变化

2.3 地下水水位动态

2.3.1 地下水水位演变特征

依据淮河区序列表完整连续的 3 736 眼浅层和 327 眼深层国家(水利部门、国土部门)及地方地下水监测井 2011—2020 年水位监测成果(监测井分布见图 3),采用克里金插值法生成区域平均埋深,以地下水埋深累计变幅揭示地下水水位动态。

a. 浅层地下水。淮河区 2011—2020 年地下水埋深变幅(表 2、图 4(a))空间分析显示:淮河区平原区浅层地下水位上升区、稳定区、下降区面积分别占 40%、39%、21%,水位下降区主要分布在豫中平原、皖北平原、南四湖湖西平原。河南省东部和南部地下水位总体稳定,豫中平原的开封及许昌大部、漯河北部、商丘西部、周口北部地下水位集中连片下降,占平原区总面积的 33%;安徽省 92%的平原区地下水位上升或保持稳定,仅阜阳、淮北、宿州、蚌埠城区附近水位下降;山东省浅层地下水位下降区占 43%,主要分布在湖西黄泛平原中西部以及胶东半

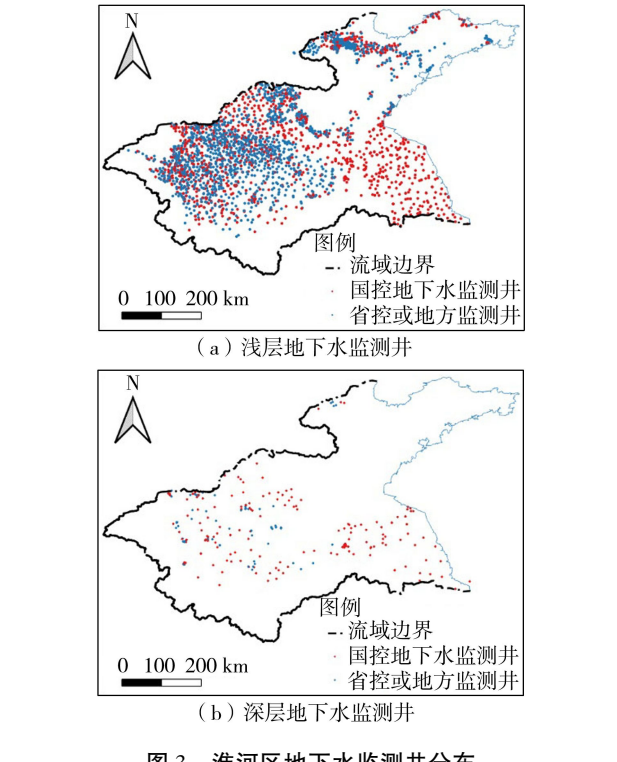


图3 淮河区地下水监测井分布

岛部分地区,其中济宁梁山县、汶上县,潍坊昌邑市、高密市,青岛平度市降幅超过2 m;由于江苏省较早实施地下水禁采限采措施,2011—2020年江苏省浅层地下水位动态以稳定和上升为主,仅在徐州丰县、沛县及沿海局部水位下降,下降区仅占2%,无区域性的水位持续下降区。

表2 淮河区2011—2020年地下水埋深变幅空间分布

含水层	水位动态	地下水埋深变幅范围/m	分布面积/km ²				
			河南省	安徽省	山东省	江苏省	淮河区
浅层	上升	≤-0.5	6344	7404	16472	52496	82716
	稳定	>-0.5~0.5	30998	34327	10565	4146	80036
	下降	>0.5~1	8312	2408	6180	386	17286
	下降	>1~2	8481	929	8817	309	18536
	下降	>2	1735	383	5116	272	7506
深层	上升	≤-0.5	23346	1556	23576	46787	95265
	稳定	>-0.5~0.5	4714	1078	2428	6687	14907
	下降	>0.5~1	3299	2152	1625	1638	8714
	下降	>1~2	7680	7021	5634	1621	21956
	下降	>2~5	11376	20865	9187	773	42201
	下降	>5	5455	12779	4700	103	23037

b. 深层地下水。与浅层地下水水位动态变化不同,淮河区深层地下水水位变化呈东西部水位上升、中部水位下降(图4(b)),水位上升区、稳定区、下降区分别占46%、7%、47%,淮北平原、湖西平原水位下降严重。受水源条件制约,河南省开封、商丘、周口等地大量开采深层承压水,导致深层地下水水位下降,水位降幅2~5 m的面积占20%,商丘夏邑县、永城市降幅超5 m;皖北地区深层地下水呈现水位下降区分布广、水位降幅大的特征,约46%的区

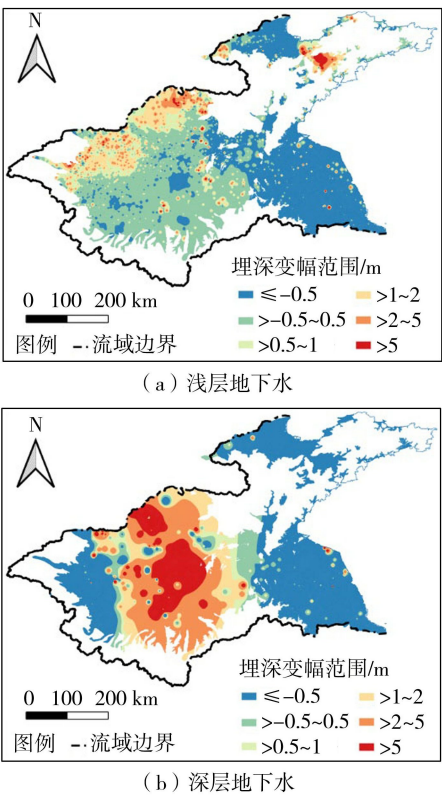


图4 淮河区2011—2020年地下水埋深变幅分布

域降幅2~5 m,28%的区域降幅超5 m,主要分布在宿州砀山县,亳州市区及利辛县、涡阳县,阜阳市区及界首市、太和市;山东省55%的平原区地下水水位上升或稳定,分布在鲁北的小清河南前平原,水位下降区主要分布在鲁西平原的菏泽市大部、济宁鱼台县及金乡县,其中菏泽市区及定陶区、曹县、东明县水位降幅超5 m;江苏省深层承压水水位上升趋势明显,46%的平原区水位上升1~3 m,水位下降区呈零星分布状,主要位于徐州市区、丰县西部及北部、沛县北部,盐城市沿海局部地区,降幅基本在2 m以内。

2.3.2 超采区典型地下水监测井水位动态

图5为淮河区浅层地下水超采区典型监测井2011—2020年水位动态曲线。由图5可知,超采区地下水水位处于下降趋势,2014年以前由于地下水开采量居高不下,地下水水位以持续快速下降为主;2013年、2014年南水北调东线和中线一期主体工程分别建成通水,为地下水超采治理提供了水源条件^[18],超采区地下水水位下降趋势得到缓解。以阜阳市3421010121站监测井为例,由于城镇过量开采地下水,该监测井水位在2011—2017年间持续下降,累计降幅17 m;受地下水压采治理的影响,该监测井水位在2018—2020年间保持稳定。许昌市襄城县4站地下水位在2014年前呈快速下降趋势,下降速率4.4 m/a;2014年后地下水位降幅减缓,下降速率减小至0.6 m/a。

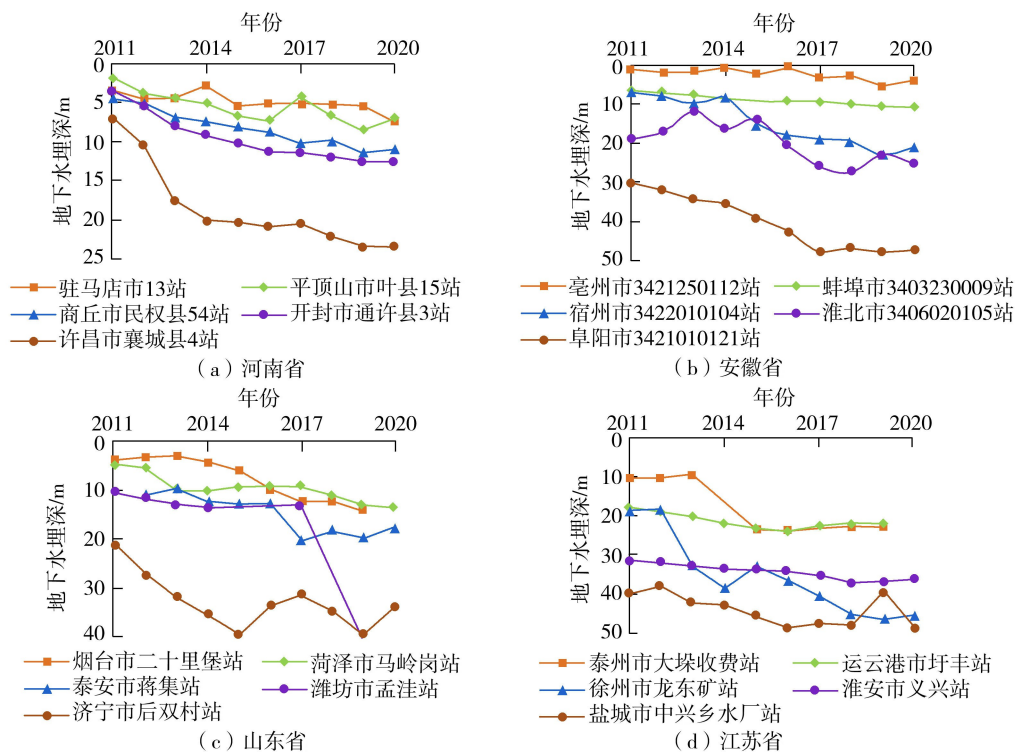


图5 淮河区浅层地下水超采区典型监测井水位动态趋势

受水源条件制约,淮北平原、湖西平原城镇用水长期依赖超采深层地下水,造成深层地下水头持续下降^[11-12]。商丘、阜阳、亳州、菏泽等地典型地下水监测井2011—2020年水位动态曲线(图6)表明:超采区地下水水位呈线性下降趋势,地下水埋深累计增加20~37 m,水位下降速率为2~4 m/a。

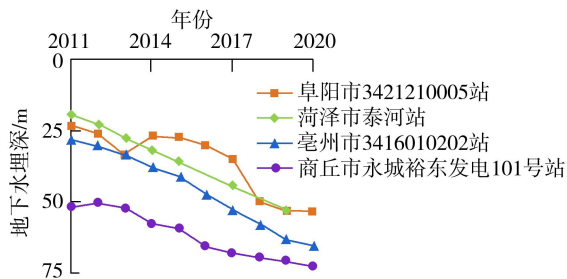


图6 淮河区深层地下水超采区典型监测井水位动态趋势

2.4 超采引发的问题

由于长期大规模集中开采地下水,淮河区超采区地下水位持续下降,含水层疏干,引发了局部地区的地面沉降、地裂缝、岩溶塌陷、海水入侵、泉流量衰减、地下水水质恶化等一系列生态与环境地质问题^[2,11,19],威胁区域可持续发展。

2.4.1 地面沉降

大量开采地下水导致地下水位不断下降,是引发地面沉降的主要原因之一^[16]。淮河区河南、安徽、山东、江苏4省都存在地下水超采引发的地面沉降问题。郑州、开封两市是河南省发生地面沉降较为严重的地区,2020年地面沉降区面积分别为637、

976 km²;2018—2020年,郑州市地面沉降区年沉降量分别为12.40、8.46、1.90 mm,地面沉降速率为7.59 mm/a;开封市地面沉降区年沉降量分别为11.30、14.38、10.31 mm,地面沉降速率为12.00 mm/a。安徽省地面沉降主要发生在淮北平原,以阜阳市中心城区最为突出,1963—2020年累计沉降量达1859 mm,年沉降量大于30 mm。山东省潍坊、东营、滨州等市存在6个较明显的沉降区域,其中潍坊市寿光市近海区域沉降中心沉降速率达164 mm/a,东营市河口区近海区域为162 mm/a。地面沉降是江苏省影响面积最大的地质灾害,尤以苏锡常地区及苏北沿海平原区最为严重^[17],2000年江苏省在全国率先通过立法实行苏锡常地区地下水禁采,地面沉降得到有效控制^[20],目前江苏省地面沉降速率大于10 mm/a的面积约为1670 km²,其中约10%的区域沉降速率大于30 mm/a,主要分布在徐州市、连云港市、盐城市。

地面沉降还会诱发建筑物被拉裂、工程崩塌事故,威胁市政工程、桥梁、铁路等建筑安全,如地面沉降造成阜阳市区中心多处深层地下水开采井及管上升、井台破裂,颍河节制闸4号、6号、8号闸墩曾发生开裂,颍河、阜裕河、泉河等跨度较大的公路大桥曾多处发生开裂、错位、变形等。

2.4.2 地裂缝

地裂缝是由不均匀地面沉降引发的一种次生地质灾害,全国已有200个县(市)发现了因地下水超

采产生的地裂缝。豫东平原的开封市尉氏县、商丘市睢县、周口市川汇区和太康县已发现地裂缝 6 处,其中开封市尉氏县永兴镇东范村地裂缝长度最长,达 180 m,地表面撕裂宽度平均 3 cm,最宽处达 8 cm,造成 50 户居民房屋出现不同程度的基础下陷、开裂等现象。

2.4.3 岩溶塌陷

岩溶塌陷具有突发性,且易造成地面建筑物开裂,对生命财产安全构成极大威胁。淮河区地面塌陷始于 20 世纪 70 年代初,以岩溶地下水为水源地是发生地面塌陷的主要诱因。安徽省淮北市岩溶塌陷区面积 171 km²,沉陷中心最大沉陷深度 22 m,部分沉陷区已积水成湖、连接成片;山东省泰安、莱芜、枣庄、临沂等山间平原隐伏灰岩区是岩溶塌陷高易发区,规模最大的塌陷坑发生于 2003 年 5 月的泰安市泰山区省庄镇东羊娄村,塌陷坑口呈东西长 35 m、南北宽 27 m 的椭圆形,深度约 30 m;江苏省徐州市岩溶水源地于 1986 年出现岩溶塌陷问题,随后在市电业宿舍、新生街等地发生 10 余起岩溶塌陷事故。

2.4.4 海水入侵

黄渤海沿海地区是我国海水入侵最为严重的区域,海水入侵面积占全国的 61%^[21]。据调查,山东省东营、潍坊、烟台 3 市 12 个县级行政区因地下水超采引发的海水入侵面积约 2 270 km²。历史上,山东省威海市黄垒河、母猪河下游以及青岛市大沽河下游也存在局部地区因超采地下水引发海水入侵的问题,经过治理,威海市黄垒河、母猪河下游海水入侵区已全部消除,青岛市大沽河下游建成带地下坝的地下水库,阻断了海水入侵通道。

2.4.5 泉流量衰减

过度开采泉域地下水会造成泉水衰竭,河南省、山东省就存在地下水超采引发的名泉泉水流量衰减问题。山东济宁泗水泉林泉泉域面积 280 km²,2020 年泉水流量 0.55 m³/s,相较 20 世纪 80 年代的 1.34 m³/s,泉流量衰减率为 0.015 m³/(s·a)。济南趵突泉在 1972 年 6 月首次出现断流,1999 年 3 月 2 日至 2001 年 9 月 17 日连续断流 926 d,通过减小地下水开采量,加大泉水保护力度,目前趵突泉水位基本保持在 28.0 m,泉流量基本保持在 10 万 m³/d,逐步恢复泉水喷涌风貌。但通过减小开采量来增大泉流量的效果是有限的,在相同降水量、开采量的情况下,济南泉群的泉流量已无法恢复到 1959—1980 年水平^[22]。

2.4.6 地下水水质恶化

由于天然不良水质和各类污染源的存在,在地

下水超采过程中,原含水层水系统平衡状态受到破坏,形成有利于污染物进入地下含水层的通道条件时,将会引发地下水水质恶化^[23-24]。据地质环境监测,1974—2005 年间,由于淮北市大量开采岩溶水,其漏斗区地下水中溶解性总固体、总硬度质量浓度持续增长,增长速率分别达到 16.98、6.36 mg/(L·a);2005—2020 年,两项水质指标质量浓度虽有阶段性短暂下降,但整体呈波状上升趋势,区域岩溶地下水水质恶化与地下水超采有一定关系。

3 超采原因分析

a. 水资源禀赋条件较差,加剧了对地下水的过度依赖。淮河区人均水资源量 458 m³,仅占全国平均水平的 1/5,为水资源短缺地区。区域水资源时空分布极不均匀,降水的年内分配具有汛期集中、季节分配不均匀和最大最小月相差悬殊等特点,多年平均汛期降水占全年的 50%~75%,而区域农业种植以小麦、玉米为主,作物灌溉需水关键期与降水不匹配;降水年际变化较为剧烈,具有降水极值比较大、变差系数较大和年际间丰枯变化频繁等特点,河南省永城闸站年降水量极值比达 7.1,信阳市大庙堰站年降水量极差达 2 315 mm;径流空间分布总体呈现由南向北递减的趋势,东西向又呈中间低两端高的态势,开封、许昌、商丘、滨州、菏泽、东营等地径流深低于 80 mm。区域水资源禀赋条件总体较差,资源性缺水问题突出,加剧了对地下水开采的过度依赖。

b. 经济社会发展与水资源承载能力失衡。淮河区是我国中东部地区重要的能源资源供应区和商品粮主产区,布局了大量的电力、钢铁、煤炭、化工等重要工业,承担着保障国家粮食安全的重要任务,具有人口密集、经济总量大、耕地面积广的特点,人口密度约是全国的 4 倍。以 2020 年经济社会指标来看,区域以约占全国 3%的国土面积和 3%的水资源总量,养育了全国 15%的人口,灌溉了全国 19%的耕地,支撑了全国 14%的经济总量。淮河区内部也同样存在水资源分布与经济发展布局不匹配的问题。淮河区 1/3 面积为山丘区,山区雨量丰沛,水资源丰富,但人口和耕地较少,如:王家坝以上南岸区以山丘区为主,水资源总量约占淮河区的 7%,但耕地、人口分别仅占 3%、2%;山东半岛经济总量大,GDP、人口分别占淮河区的 31%、19%,但水资源总量仅占 12%。淮河区经济社会发展与水资源承载能力失衡,水资源供需矛盾突出,一些地区地下水长期处于高强度开发状态,造成地下水超采。

c. 城镇快速发展导致用水需求大幅增加。淮河区交错叠加了淮河生态经济区、山东半岛蓝色经济区、长江三角洲一体化发展区等重要国家战略规划,地理位置极其重要^[1]。从20世纪80年代开始,淮河区国民经济快速发展(图7),1980—2020年区域总人口增加4 970万人,同期城镇人口增加9 600万人,城镇人口年均增长率是总人口的6.6倍,城镇化率由12%持续增长至56%;2020年GDP、工业增加值分别是1980年的264倍、207倍,年均增速分别达到15.0%、14.3%。淮河区城镇化、工业化进程的高速发展,导致城市居民生活用水、公共事业用水、工业生产用水需求的大幅增加。淮河区1980—2020年城镇供水增长趋势表明,区域城镇用水增长趋势可以进一步划分为两个阶段(图8):1980—2000年城镇用水总量从46亿m³持续增长到131亿m³,年均增速5.4%,呈现粗放式快速增长特征;2000年以后,城镇用水总量继续增长到161亿m³,但年均增速降低至1.1%,向集约式稳定增长转变。由于城镇用水的快速增长,在南水北调、引江济淮等跨流域调水工程发挥效益前,淮河区必须依靠大规模开采地下水以满足城镇用水增长需求,进而导致地下水超采。

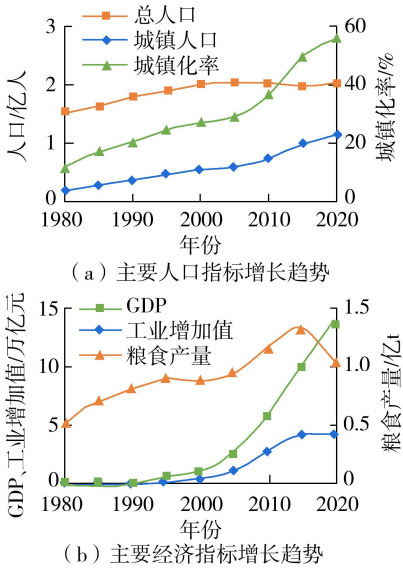


图7 淮河区1980—2020年社会经济增长趋势

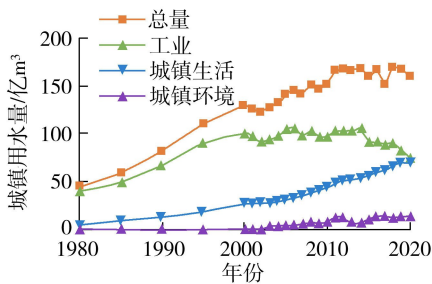


图8 淮河区1980—2020年城镇用水增长趋势

d. 地下水监测体系不完善。近年来国家地下水监测工程建设取得重大进展,淮河区共建成国家地下水监测井2 867眼,平原区监测站网密度平均为115眼/万km²,存在平原区的41个地级行政区均布设有国家地下水监测工程。但淮河区地下水监测站点还存在着分布不均、密度不够等问题,有的县区监测井密度达到300眼/万km²,而有的县区低于30眼/万km²,如阜阳市界首市为495眼/万km²,东营市东营区仅为26眼/万km²;信阳市光山县、青岛市即墨区等28个存在平原区的县级行政区还是监测空白区域。同时,现有监测井在地下水监测层位上也多为浅层水,对深层水、裂隙水、岩溶水以及山区布站偏少,如济宁市深层地下水超采区未布设监测站点。此外,在监测信息共享方面也存在薄弱环节,目前水利部与自然资源部地下水监测信息需要进行数据转换后才能进行对接^[25],地方地下水监测信息也未共享到全国地下水监测系统。地下水监测站网不完善,难以及时、准确、可靠地掌握地下水动态信息,容易造成地下水超采。

e. 地下水监管能力薄弱。随着取水许可管理的不断加强,淮河区城镇生活和工业机井计量设施不断完善,年取用水量1万m³以上的机井取用水量计量率约为95%,山东、江苏两省年取用水量10万m³以上的机电井基本实现在线计量。但淮河区现状58%的地下水开采量用于农业,而农业灌溉机井计量设施安装率较低,如淮河区安徽省农业取用水户规模以上机电井(包括井口井管内径200mm及以上的灌溉机电井、日取水量20m³及以上的供水机电井)取用水量计量率约为50%,河南省仅为10%,农业地下水开采量主要通过以电折水、典型试验和灌溉定额估算,统计数据欠准确。加之资金投入不足、技术手段落后、管理体系尚不健全等因素影响,淮河区地下水监管能力薄弱,难以满足地下水精细化管理与保护的需要,粗放的地下水开发利用导致了区域地下水超采。

f. 缺少流域层面对地下水的统一管理。地下水管理工作常以区域管理为主,近几年,水利部在推进“十四五”重点区域地下水超采治理、地下水管控指标确定以及新一轮地下水超采区划定等工作中,要求流域机构加强对省级成果的复核与协调。但由于各地管理手段、管理重点不同等原因,流域层面仍然存在难以协调和规范管理等问题,如流域各省深浅层地下水认定标准不一致^[9]、地下水超采区划定方法和评价标准不统一、省界相邻地区同一水文地质单元水位管控指标存在差异等。缺少流域层面对地下水开发利用的有效监管,也是造成地下水超采

的原因之一。

4 强化流域地下水管理的对策建议

a. 完善双控指标体系,强化水资源最大刚性约束。2020 年水利部组织开展全国地下水管控指标确定工作,以县级行政区为单元确定地下水取用水量和水位控制指标。但地下水取用水量计量率低、地下水监测井数据少、监测资料系列短等客观因素,给管控指标的确定及后期考核带来了一定困难,管控指标的合理性和准确性可能不足。建议进行为期 3~5 a 的模拟考核,随着监测计量体系的不断完善,经一定程序对管控指标进行复核、修正,使地下水得到更加精准的管控。将地下水管控指标作为区域城镇发展、土地利用、产业布局的约束性指标实行严格管控,遏止粗放用水增长,确保水资源可持续利用。

b. 合理布局流域地下水监测站网,提高基础支撑能力。地下水动态监测系统是及时发现和掌握地下水状况、实施地下水超采控制的重要依据^[26]。以完善地下水监测站网体系作为流域地下水管理的重要抓手,实现对地下水动态的有效监控。重点增加深层水、岩溶水、裂隙水分布区和地下水超采区监测站点数量,监测项目除水量、水质和水位监测外,还应加强因地下水开发利用所引起的生态环境和地质灾害监测,在深层地下水超采区的动态监测区内布设地面沉降量监测站网,在隐伏型岩溶水超采区的动态监测区内进行经常性地面塌陷调查。在国家地下水监测工程的基础上,统筹补充吸纳地方监测井,强化国家和地方监测井的信息共享,提升流域地下水信息化管理水平。

c. 全面提升地下水取水计量水平,实施地下水精细化管理。地下水开采计量是实施地下水精细化管理的前提,是实行地下水开采总量控制和最严格水资源管理的基础。推动农业灌溉用水严格装表计量,逐步提高分散式农业灌溉机电井的计量率,城市公共供水水源井、企事业单位自备井、农村集中供水水源井要逐步实现在线监控。

d. 加强地下水取用水量统计复核,摸清地下水开发利用实际状况。淮河区大部分市、县目前掌握得较为权威的地下水开采井统计资料为 2011 年水利普查成果,距今已过去 10 余年,地下水开采井数量与开采方式均产生了一定变化。受多方面因素影响,流域内部分省、市水资源公报统计的地下水开采量与现状实际用水量存在较大偏差,这对地下水管控指标确定、地下水超采区划定、地下水压采治理等工作均造成了影响。2020 年安徽省组织开展全省中深层地下水开采情况调查,摸清了全省中深层地

下水开采井名录,这一工作应进行推广,并覆盖到浅层地下水开采井。建议对流域地下水开采井数量、开采量进行深入调查,开展统计复核工作,以便掌握真实的用水情况,实现对地下水的精细化管理。

e. 开展基础研究,统一划定深层地下水。《地下水管理条例》第二十七条明确提出,除 3 种情形外禁止开采难以更新的地下水。从定义来看,难以更新的地下水是从补给更新的角度来确定的,与埋藏深度没有直接和必然关系,可以理解为深层承压水^[25]。但淮河流域内各省对深浅层地下水的划分一直比较混乱,没有统一的标准^[9],安徽省将孔隙第三含水层组作为深层地下水,大致以埋深 150 m 作为划定标准,而江苏省以第四含水层及其以下为深层承压水,这给流域地下水统一管理造成了困难。建议进一步研究制定深浅层地下水类型的划分标准,组织开展深浅层或难以更新地下水的划定工作,针对条例对难以更新地下水的禁采要求,避免出现打“擦边球”的情况。

f. 建立“流域+区域”协作机制,凝聚地下水治理保护合力。在充分发挥区域管理作用的同时,进一步强化流域对地下水资源的统一管理。流域管理的重点是加强对流域范围内地下水开发利用和超采治理等工作的监督管理,指导督促地方落实地下水超采治理与保护的主体责任,既不能“无序管理”,又要避免“多头管理”。建议在推进重点区域地下水超采治理工作中,建立省区治理+流域监督评估的工作机制,流域通过巡查、调研、考察、座谈等多种途径,加强对省区压采工作的督导,并对压采治理工作实行年度抽样考查和阶段全面考核,评估压采治理成效,流域与区域形成合力,提高地下水行政管理效能。

g. 分层次、分层位建立地下水储备系统。分层次建立地下水储备制度和应急备用饮用水水源,地下水储备应主要定位为应对特殊干旱年份以及重大突发事件的长期和中期供水安全保障;应急备用应主要定位为应对水污染等突发性事件时的短期备用水源^[27]。针对不同层位应采取不同的地下水储备策略,平原区浅层、深层地下水及山丘区地下水要制定不同的储备要求及动用条件,其中深层地下水是不可更新的战略储备资源,应作为禁止开采的长期地下水储备,仅在极端水资源紧缺状况下用于保障生活供水。地下水超采区一般具有较大的水资源储备需求,且地下水超采产生了较大的地下储水空间,这为实现地下水水资源储备与综合调度提供了条件^[28],但地下水超采区水资源条件较差,建议探索研究地下水超采区建立地下水储备区。加强地下水

储备区地表水与地下水联合调度,为枯水年或突发干旱事件提供水资源保障。

h. 构建地下水数字孪生系统,实现信息化监管。利用地表水、地下水水量、水质、水位等监测数据,结合地形、大气降水、地表径流、地质结构与类型、开采水量、周边开采状况等,建立集水资源管理、评价、预测、预报于一体的流域级地下水资源管理平台,实现对地下水取水户在线监管、地下水位动态监测与智能预警、地下水超采状况监控与压采计划管理,为流域地下水资源的开发利用管理提供坚实的信息服务基础。

5 结 论

a. 淮河区地下水超采区面积、超采量分别约占全国的21%、7%,现状浅层地下水超采区水位下降趋势有所缓解,但淮北平原深层地下水超采状况仍然严重,地下水超采引发的地面沉降、地裂缝、岩溶塌陷、海水入侵、泉流量衰减等生态与环境地质问题突出,威胁区域可持续发展。

b. 除水资源禀赋条件、水资源承载能力等自然因素外,地下水监测体系、计量体系、监管机制等管理因素对地下水超采产生的影响不容忽视,流域要注重提升地下水管理水平,逐步实现地下水精细化管理。

c. 流域应围绕《地下水管理条例》开展相关基础研究和配套制度建设,在完善地下水双控指标体系、地下水取用水量统计复核、深浅层地下水划定、地下水储备制度建设、地下水信息化监管等方面,尚需开展大量工作。

参考文献:

[1] 龚建师,王赫生,李亮,等. 淮河流域地下水资源概况及开发潜力[J]. 中国地质, 2021, 48(4): 1052-1061. (GONG Jianshi, WANG Hesheng, LI Liang, et al. Groundwater resources and development potential in Huaihe River Basin[J]. Geology in China, 2021, 48(4): 1052-1061. (in Chinese))

[2] 王浩. 淮河流域地下水超采区治理与保护措施研究[J]. 水文, 2013, 33(6): 77-80. (WANG Hao. Control and protection measures for groundwater overdraft areas in Huaihe River Basin [J]. Journal of China Hydrology, 2013, 33(6): 77-80. (in Chinese))

[3] 张婧,马贵宏,高雅,等. 华北山前平原典型井灌区地下水水位变化影响因素分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 21-28. (ZHANG Jing, MA Guihong, GAO Ya, et al. Analysis on influencing factors of groundwater level change in typical well irrigation area in

piedmont plain of North China [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2022, 50(1): 21-28. (in Chinese))

[4] 徐丽丽,束龙仓,李伟,等. 2000—2020 年中国地下水开采时空演变特征[J]. 水资源保护, 2023, 39(4): 79-85. (XU Lili, SHU Longcang, LI Wei, et al. Spatial and temporal evolution characteristics of groundwater mining in China from 2000 to 2020 [J]. Water Resources Protection, 2023, 39(4): 79-85. (in Chinese))

[5] 刘紫萱,周冰玉,李志威,等. 黄河源区典型泥炭湿地地下水水位时空变化及流量过程[J]. 水利水电科技进展, 2024, 44(3): 27-33. (LIU Zixuan, ZHOU Bingyu, LI Zhiwei, et al. Spatiotemporal change of groundwater level and discharge process in a typical peatland watershed in Source Region of Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2024, 44(3): 27-33. (in Chinese))

[6] 于翔,解建仓,姜仁贵,等. 河北省地下水超采治理效果过程化评价[J]. 排灌机械工程学报, 2021, 39(4): 364-371. (YU Xiang, XIE Jiancang, JIANG Rengui, et al. Process evaluation for governance effect of groundwater over-exploitation in Hebei Province [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2021, 39(4): 364-371. (in Chinese))

[7] 张光辉,王茜,田言亮,等. 我国北方区域地下水演化研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(5): 124-129. (ZHANG Guanghui, WANG Qian, TIAN Yanliang, et al. Review of research on regional groundwater evolution in northern China[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(5): 124-129. (in Chinese))

[8] 周志才,王卫平,李冰瑶. 基于 GRACE 卫星时变重力场的淮河流域地下水储量变化规律研究[J]. 水电能源科学, 2017, 35(10): 37-41. (ZHOU Zhicai, WANG Weiping, LI Bingyao. Research on groundwater reserve variation regulations in Huaihe Basin based on GRACE temporal gravity field[J]. Water Resources and Power, 2017, 35(10): 37-41. (in Chinese))

[9] 葛伟亚,叶念军,龚建师,等. 淮河流域平原区第四系含水层划分及特征分析[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(4): 268-276. (GE Weiya, YE Nianjun, GONG Jianshi, et al. The Quaternary aquifer division and character analysis of plain in Huaihe River Basin[J]. Resources Survey & Environment, 2006, 27(4): 268-276. (in Chinese))

[10] 许乃政,陶小虎,龚建师,等. 淮河流域平原区高铁锰地下水环境健康风险评估[J]. 华东地质, 2023, 44(2): 119-127. (XU Naizheng, TAO Xiaohu, GONG Jianshi, et al. Exposure risk of high Fe and Mn groundwater from Huaihe River Plain [J]. East China Geology, 2023, 44(2): 119-127. (in Chinese))

[11] 胡波,刘中刚. 安徽省淮河流域地下水开采历史与开发

- 利用现状探讨[J]. 地下水, 2022, 44(3): 70-74. (HU Bo, LIU Zhonggang. Discussion on the history of groundwater exploitation and utilization in Huaihe River Basin, Anhui Province[J]. Ground Water, 2022, 44(3): 70-74. (in Chinese))
- [12] 刘猛, 许一. 安徽省淮北地区地下水超采治理对策[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(15): 190-192. (LIU Meng, XU Yi. Countermeasures of groundwater overexploitation in the Huaihei area of Anhui Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(15): 190-192. (in Chinese))
- [13] 王赫生, 龚建师, 陶小虎, 等. 淮北平原浅层地下水多年动态变化及监测统测评估[J]. 中国地质, 2022, 49(6): 1778-1791. (WANG Hesheng, GONG Jianshi, TAO Xiaohu, et al. Analysis of multi-year rainfall variation and shallow groundwater flow field monitoring in Huaibei Plain[J]. Geology in China, 2022, 49(6): 1778-1791. (in Chinese))
- [14] 刘革, 刘波, 季叶飞, 等. 阜阳市农灌区浅层地下水安全开采量评价[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(4): 70-74. (LIU Ge, LIU Bo, JI Yefei, et al. Research on safe exploitation quantity of shallow groundwater in agricultural irrigation area of Fuyang City[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(4): 70-74. (in Chinese))
- [15] 水利部办公厅. 水利部办公厅关于强化流域水资源统一管理工作的意见(办资管〔2022〕251号)[EB/OL]. (2022-09-06). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-09/10/content_5709298.htm.
- [16] 陈飞, 侯杰, 于丽丽, 等. 全国地下水超采治理分析[J]. 水利规划与设计, 2016(11): 3-7. (CHEN Fei, HOU Jie, YU Lili, et al. Analysis on treatment of groundwater overextraction in China[J]. Water Resources Planning and Design, 2016(11): 3-7. (in Chinese))
- [17] 黄晓燕, 冯志祥, 李朗, 等. 江苏省地下水超采区变化趋势分析[J]. 地下水, 2014, 36(4): 53-54. (HUANG Xiaoyan, FENG Zhixiang, LI Lang, et al. [J]. Ground Water, 2014, 36(4): 53-54. (in Chinese))
- [18] 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 overexploitation in North China Plain[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(2): 191-198. (in Chinese))
- [19] 王浩. 淮河流域及山东半岛地下水可持续利用研究[C]//中国水利学会. 中国原水论坛专辑. 南京:《河海大学学报(自然科学版)》编辑部, 2010: 117-119.
- [20] 郑在洲. 系统治理 精准施策 有力推进苏锡常地区地下水超采治理[J]. 中国水利, 2021(7): 50-53. (ZHENG Zaizhou. Control of groundwater overdraft in the Suzhou-Wuxi-Changzhou with systematic governance, targeted measures and strong promotion[J]. China Water Resources, 2021(7): 50-53. (in Chinese))
- [21] 吴吉春, 吴永祥, 林锦, 等. 黄渤海沿海地区地下水管理与海水入侵防治研究[J]. 中国环境管理, 2018, 10(2): 91-92. (WU Jichun, WU Yongxiang, LIN Jin, et al. Study on the groundwater management and seawater intrusion prevention in the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2018, 10(2): 91-92. (in Chinese))
- [22] 徐光瑜, 刘福臣, 张道震. 济南市四大泉群泉流量衰减规律研究[J]. 人民黄河, 2010, 32(12): 87-89. (XU Guangyu, LIU Fuchen, ZHANG Daozhen. Study on flow attenuation of four spring groups in Jinan City[J]. Yellow River, 2010, 32(12): 87-89. (in Chinese))
- [23] 郝改枝, 高晶, 陈岩. 超采地下水引发的环境地质问题[J]. 内蒙古水利, 2009(1): 38-39. (HAO Gaizhi, GAO Jing, CHEN Yan. Environmental geological problems caused by overexploitation of groundwater[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2009(1): 38-39. (in Chinese))
- [24] 王丽娟, 宋翹楚, 吴为, 等. 江苏沿海滩涂地下水埋深及矿化度变化规律[J]. 水利水电科技进展, 2021, 41(6): 52-57. (WANG Lijuan, SONG Qiaochu, WU Wei, et al. Variation law of groundwater depth and mineralization of coastal tidal flats in Jiangsu Province[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2021, 41(6): 52-57. (in Chinese))
- [25] 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))
- [26] 朱晓春, 毛慧慧. 关于加强海河流域地下水管理的思考[J]. 水利规划与设计, 2020(10): 25-27. (ZHU Xiaochun, MAO Huihui. Thoughts on strengthening groundwater management in Haihe River Basin[J]. Water Resources Planning and Design, 2020(10): 25-27. (in Chinese))
- [27] 钟华平. 地下水战略储备研究探讨[J]. 中国水利, 2021(3): 34-36. (ZHONG Huaping. Discussion on groundwater strategic reserve[J]. China Water Resources, 2021(3): 34-36. (in Chinese))
- [28] 左其亭, 邱曦, 马军霞. 地下水储备制度构建及关键问题研究[J]. 水利发展研究, 2022, 22(3): 11-15. (ZUO Qiting, QIU Xi, MA Junxia. Research on construction of groundwater reserve system and key issues[J]. Water Resources Development Research, 2022, 22(3): 11-15. (in Chinese))

(收稿日期: 2023-11-05 编辑: 俞云利)