

DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2025.01.002

1956—2016 年中国水资源总量时空 分布规律及变化特征

李原园, 李云玲, 郭旭宁, 潘扎荣, 刘为锋

(水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

摘要:为摸清中国水资源演变新情势, 科学合理地制定适应性水资源管理政策, 利用第三次全国水资源调查评价 1956—2016 年数据, 评估了全国、水资源一级区及省级行政区水资源总量及时空分布特征, 揭示了水资源总量时空演变规律。主要结论如下: ①中国南方水资源总量占全国水资源总量的 81.5%, 显著高于北方的 18.5%; ②中国水资源总量演变区域分异特征显著, 水资源总量从东南向西北递减, 南方产水系数普遍高于北方; ③1956—2016 年水资源总量变化趋势为西北、东南略增, 其余地区减少。

关键词: 水资源总量; 时空分布; 演变趋势

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2025)01-0018-10

全球气候变化、人口数量持续增长且社会活动不断增强, 导致流域降水、蒸发、土地利用/覆被、河道外用水等发生改变^[1-3]。受变化环境影响, 水资源时空分布规律及变化特征发生不同程度的变异, 加大了水资源开发利用的不确定性, 为国家经济社会可持续发展带来了严峻挑战^[4]。

地表水资源量是水资源总量的主要组成部分, 河川径流是地表水资源的最直观表达, 目前世界范围内诸多学者对河川径流演变特征及驱动机制做了大量研究。全球前 200 大的河流中, 观测到径流量显著增加的有 19 条, 显著减少的有 45 条, 其中人类活动导致的下垫面变化是径流变化的主要原因^[5-6]。冰川融化和降水增加是亚洲高海拔地区, 包括印度河、恒河、雅鲁藏布江、萨尔温江和湄公河上游径流量持续增加的主要原因^[7]。在中国, 对大江大河河川径流量变化趋势的研究成果较为丰富^[8-10], 且已有研究表明人类活动是北方江河径流减少的主要原因, 而对南方地区河川径流变化的影响较小^[11-12]。地下水资源量在水资源总量中占比较小, 同样受气候变化和人类活动的双重作用, 全球地下水资源量正持续减少, 且干旱地区地下水通量对气候变化的响应比湿润地区弱^[13-15]。中国已有的地下水资源量时空分布及其变化特征研究成果表明, 全国地下水资源量总体稳定, 但区域演变趋势差异明显^[16-18]。在水资源总量时空分布规律及演变特征研究方面, 刘晶等^[19]从时间和空间尺度上揭示了中国 10 个水资源一级区 1997—2016 年水资源量及用水量变化规律; 李原园等^[20]利用 1956—2010 年数据研究了中国水资源总量的时空变化, 发现水资源总量总体上呈现微弱的增加趋势, 水资源变化特征表现出空间异质性。可见, 目前主要从河川径流、地下水资源量等要素揭示水资源时空分布规律及其变化特征方面开展研究, 对近 60 多年中国经济快速发展和气候变化共同影响下的中国水资源总量的时空变化态势及其特征的研究相对较少。近年来人类活动影响加剧, 特别是城镇化快速推进、水土资源开发利用, 导致下垫面条件发生较大改变, 对区域产汇流机制和水循环过程产生明显影响。

本文基于第三次全国水资源调查评价 1956—2016 年数据, 分析水资源量在不同空间尺度的分布特征及

收稿日期: 2024-09-05; 网络出版日期: 2024-12-13

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/32.1309.P.20241213.1430.002>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3202300; 2023YFC3206500)

作者简介: 李原园(1964—), 男, 正高级工程师, 主要从事水利规划及战略方面研究。E-mail: liyuan@giwp.org.cn

通信作者: 刘为锋, E-mail: 815118706@qq.com

其演变趋势, 揭示全国水资源动态变化特征, 为构建适应变化环境的水资源安全保障体系、促进经济社会可持续发展提供科技支撑。

1 基础数据与研究方法

1.1 基础数据

本文采用第三次全国水资源调查评价 1956—2016 年数据, 按照一级水资源分区和省级行政区进行水资源总量时空分布规律及变化特征分析。第三次全国水资源调查评价于 2017 年启动, 数据经过严格筛选、验证和整理, 水资源量已经过还原及现状下垫面的一致性修正, 在全国层面具有权威性。地表水资源量用天然河川径流量表示, 主要以站点长系列监测数据为基础, 在单站天然河川径流量统计分析基础上, 通过分析计算, 汇总各级水资源分区、行政分区 1956—2016 年地表水资源量系列评价成果。地下水资源量是指与当地降水和地表水体有直接水力联系、参与水循环且可以逐年更新的动态水量, 即浅层地下水资源量。本文开展近期下垫面条件下 2001—2016 年(评价期)多年平均地下水资源量评价, 为进行水资源总量评价, 计算 1956—2016 年逐年降水入渗补给量及其形成的河道排泄量。其中台湾省缺少监测站点数据, 本文中台湾省数据是基于现有修编后的成果, 故涉及监测站点数据的图为空白。为便于表述全国不同地区水资源及其开发利用的特点, 除特别说明外, 本文所指的北方地区包括松花江区、辽河区、海河区、黄河区、淮河区和西北诸河区 6 个水资源一级区; 南方地区包括长江区、东南诸河区、珠江区和西南诸河区 4 个水资源一级区。

1.2 水资源总量计算

水资源总量是指当地降水形成的地表和地下产水量, 即地表径流量与降水入渗补给量之和。地表水和地下水之间既相互联系又相互转化, 且在山丘区、平原区以及土石山区、黄土高原、喀斯特地区等呈现出不同特点。本文的水资源总量成果是在地表水资源量和地下水资源量评价的基础上, 结合地表水和地下水之间相互转化关系分析, 由地表水资源量加上地下水与地表水资源的不重复量(以下简称不重复水量)计算, 如式(1)、式(2)所示。

$$W = W_R + Q_{NR} \quad (1)$$

$$Q_{NR} \approx (E_D + Q_C) \times (P_{ID} / Q_{DT}) \quad (2)$$

式中: W 为水资源总量; W_R 为河川径流量(即地表水资源量); Q_{NR} 为地下水资源量(W_{RG})与地表水资源量的不重复量; E_D 为旱地和水田旱作期的潜水蒸发量; Q_C 为浅层地下水开采净消耗量; P_{ID} 为旱地和水田旱作期的降水入渗补给量; Q_{DT} 为旱地和水田旱作期的总补给量, 即降水与灌溉入渗补给量之和。

按各级水资源分区、省级行政区分别分析计算多年平均年水资源总量及不同频率($P=20\%$ 、 50% 、 75% 、 95%)典型年的年水资源总量, 分析水资源总量空间分布特征及演变趋势。其中, 空间分布特征中采用产水系数与产水模数 2 个指标, 产水系数指评价区内水资源总量与降水量的比值, 产水模数为单位面积(1km^2)产生的水资源总量。

2 结果与讨论

2.1 水资源总量

2.1.1 分区水资源总量

全国水资源一级区水资源总量评价成果见表 1。全国 1956—2016 年系列多年平均水资源总量为 28 299.5 亿 m^3 , 折合年产水深为 298.0 mm; 北方地区多年平均水资源总量为 5 221.4 亿 m^3 (折合年产水深为 86.4 mm), 占全国水资源总量的 18.5%; 南方地区多年平均水资源总量为 23 078.1 亿 m^3 (折合年产水深为 668.0 mm), 占

全国的 81.5%；北方 5 区(北方地区除西北诸河区外的区域)多年平均水资源总量为 3 911.3 亿 m³(折合年产生水深为 145.9 mm)，仅占全国的 13.8%。

表 1 水资源一级区水资源总量评价成果
Table 1 Water resources assessment results of primary water resources districts

水资源一级区	1956—2016年多年平均					不同频率年水资源总量/亿m ³			
	产水深/mm	W_R /亿m ³	Q_{NR} /亿m ³	W /亿m ³	占全国/%	20%	50%	75%	95%
松花江区	159.5	1 249.3	220.0	1 469.2	5.2	1 800	1 432	1 175	865
辽河区	154.0	393.3	90.1	483.4	1.7	610	466	369	254
海河区	102.5	171.4	156.2	327.6	1.2	416	307	241	176
黄河区	88.3	583.6	119.2	702.8	2.5	806	684	606	520
淮河区	280.6	688.8	239.4	928.3	3.3	1 171	894	707	488
长江区	553.4	9 775.7	95.5	9 871.2	34.9	10 931	9 816	8 978	7 859
其中：太湖流域	507.2	174.8	13.4	188.2	0.7	246	179	135	86
东南诸河区	1 098.5	2 682.6	11.9	2 694.5	9.5	3 113	2 662	2 334	1 911
珠江区	821.8	4 740.3	18.3	4 758.6	16.8	5 423	4 713	4 191	3 510
西南诸河区	679.7	5 753.8	0	5 753.8	20.3	6 279	5 730	5 315	4 754
西北诸河区	39.0	1 207.1	102.9	1 310.1	4.6	1 416	1 299	1 217	1 115
北方地区	86.4	4 293.6	927.8	5 221.4	18.5	5 858	5 163	4 667	4 041
南方地区	668.0	22 952.4	125.7	23 078.1	81.5	24 806	23 016	21 645	19 772
全国	298.0	27 246.0	1 053.5	28 299.5	100.0	29 952	28 254	26 939	25 122

各水资源一级区 1956—2016 年多年平均年产生水深差异较大。东南诸河区、珠江区、西南诸河区和长江区(含太湖流域)多年平均年产生水深在 550 mm 以上，淮河区、松花江区、辽河区多年平均年产生水深在 154.0~280.6 mm 之间，黄河区、海河区多年平均年产生水深分别为 88.3 和 102.5 mm，西北诸河区多年平均年产生水深仅 39.0 mm。长江区多年平均水资源总量占全国水资源总量的比例最高，为 34.9%；海河区多年平均水资源总量仅占全国的 1.2%，在 10 个水资源一级区中所占比例最小。

受不同区域来水丰枯差异、地下水补排变化及其组合影响，全国水资源总量年际变化幅度相对较小，不同频率的水资源总量差别不大。全国 20% 频率的水资源总量为 29 952 亿 m³，比多年平均值偏多 5.8%；75% 频率的水资源总量为 26 939 亿 m³，比多年平均值偏少 4.8%；95% 频率的水资源总量为 25 122 亿 m³，比多年平均值偏少 11.2%。各水资源一级区不同频率水资源总量较多年平均值的变幅差异较大。整体上看，北方 5 区不同频率水资源总量较多年平均值的变幅较南方地区大。

全国水资源一级区水资源总量构成见表 1。在全国水资源总量中，地表水资源量为 27 246 亿 m³，占水资源总量的 96.3%；地下水资源量为 8 170 亿 m³，其中，不重复水量为 1 053.5 亿 m³，占水资源总量的 3.7%。北方地区中，西北诸河区地下水量最大，为 796 亿 m³，其余 5 区地下水资源量均小于南方地区，最小的辽河区仅有 175 亿 m³。北方地区由于地下水开发利用程度普遍较高，地下水开发夺取的潜水蒸发和河川基流量大，因此不重复水量在水资源总量中占比较大，占 17.8%，其中海河区占 47.7%，淮河区、辽河区、黄河区和松花江区占比在 15%~26% 之间，西北诸河区占比 7.9%。南方地区中东南诸河区地下水资源量最小，为 657 亿 m³；长江区地下水资源量最多，为 2 450 亿 m³。南方地区不重复水量在水资源总量中占比较小，仅占 0.5%。北方地区不重复水量为 927.8 亿 m³，占全国不重复水量的 88.0%；南方地区为 125.7 亿 m³，占全国的 12.0%。

2.1.2 地区水资源总量

全国各省级行政区水资源总量评价成果见图 1。中国东部地区¹面积占全国的 11.6%，水资源总量占全国的 22.0%；中部地区面积占全国的 17.6%，水资源总量占全国的 23.8%；西部地区面积占全国的 70.8%，水资源总量占全国的 54.2%。在各省级行政区中，水资源总量超过 1 000 亿 m³ 的有西藏、四川、云南、广西、广东、湖南、江西、福建、贵州和湖北等 10 个省(自治区)；水资源总量小于 50 亿 m³ 的有宁夏、天津、北京、上海以及香港、澳门特别行政区。各省级行政区不同频率水资源总量较多年平均值的变幅差异较大。

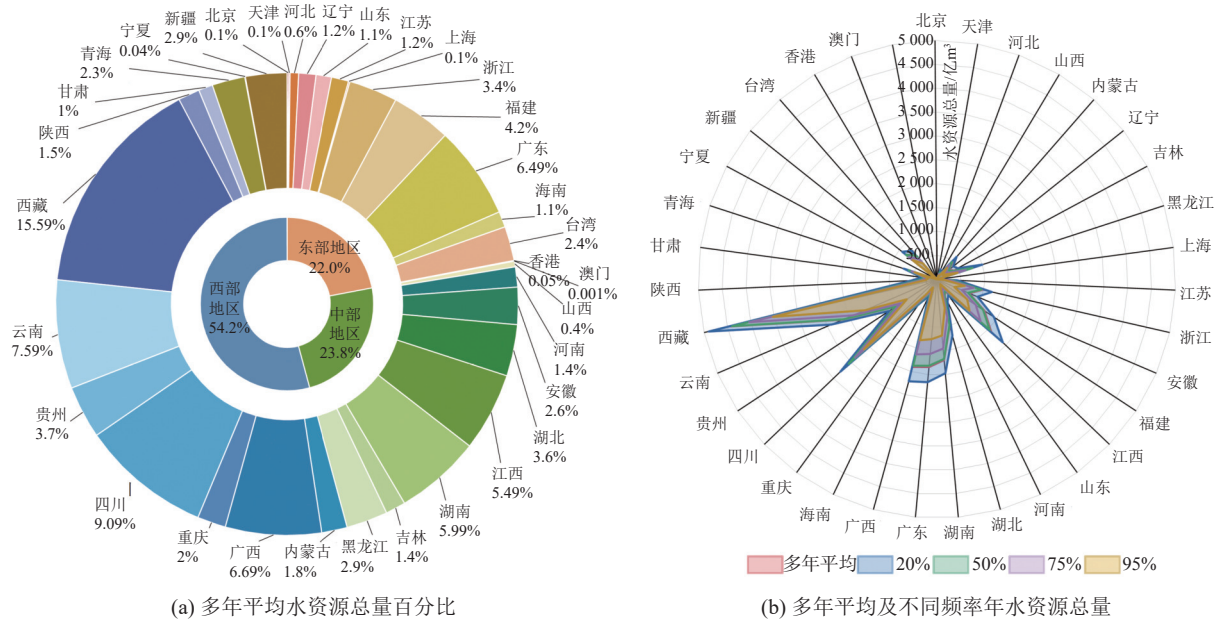


图 1 省级行政区水资源总量评价成果

Fig. 1 Water resources amount evaluation results of provinces

省级行政水资源总量构成见图 2。从地表水资源量来看，各省级行政区中西藏最多，达到 4 427 亿 m³，四川、云南两省在 2 000 ~ 3 000 亿 m³ 之间，福建、江西、湖南、广东、广西、贵州在 1 000 ~ 2 000 亿 m³ 之间，北京、天津、宁夏、澳门在 0.4 ~ 10 亿 m³ 之间。从地下水资源量来看，各省级行政区中同样西藏最多，达到 1 023 亿 m³，天津、香港、澳门不足 10 亿 m³。北京、河北、山东、山西、天津、内蒙古和河南等 7 个省级行政区不重复水量占水资源总量的比例超过了 25%，其中北京为 65%；宁夏、黑龙江、江苏、吉林、辽宁、安徽、上海等 7 个省级行政区不重复水量占水资源总量的比例在 10% ~ 25% 之间；重庆、贵州、云南等 9 个省级行政区以及台湾省、香港特别行政区不重复水量占水资源总量的比例不足 1%。

2.2 空间分布特征

水资源总量的地带分布格局与地表水资源量相似，整体由东南向西北递减，地区分布为南方多、北方少，山区多、平原少。全国多年平均产水系数分布见图 3。不同产水系数地带面积、水资源总量比例及其分布见表 2。

全国多年平均产水系数为 0.46，总体呈从东南向西北递减的趋势。北方地区多年平均产水系数为 0.26，

¹ 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南、台湾等 12 个省(直辖市)和香港特别行政区、澳门特别行政区；中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南等 8 个省；西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等 12 个省(自治区、直辖市)。

其中西北诸河区为 0.24；南方地区为 0.55。产水系数大于等于 0.7 的地带面积占全国的 3%，主要位于西南地区的藏南诸河、雅鲁藏布江下游以及长江上游岷江支流等流域，涉及 33 个县级行政区；产水系数介于 0.5~0.7 的地带面积占全国的 20%，主要位于雅鲁藏布江下游，长江上游及中游的乌江、鄱阳湖水系，珠江的东江、北江及西江下游，东南诸河等流域，涉及 762 个县级行政区；产水系数介于 0.3~0.5 的地带面积占

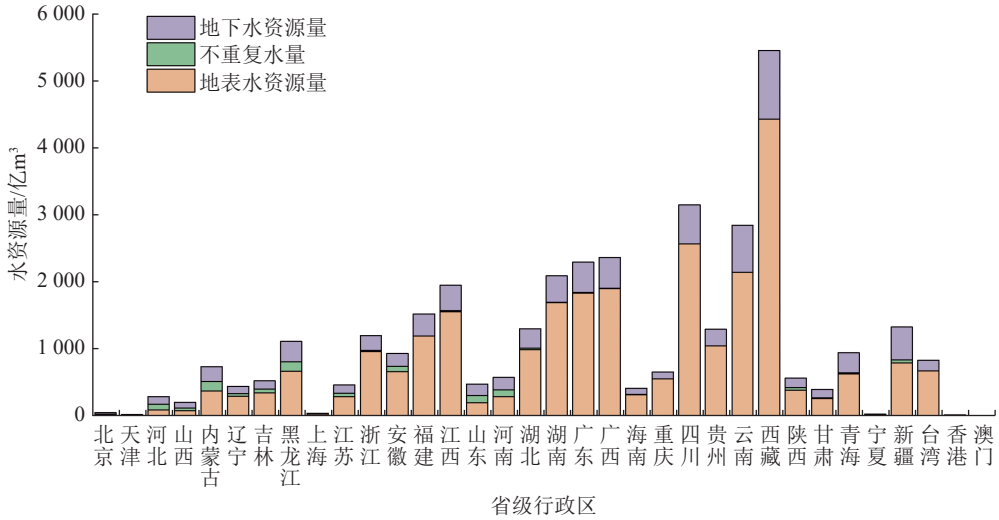


图 2 省级行政区水资源总量构成

Fig. 2 Composition of water resources amount of provinces

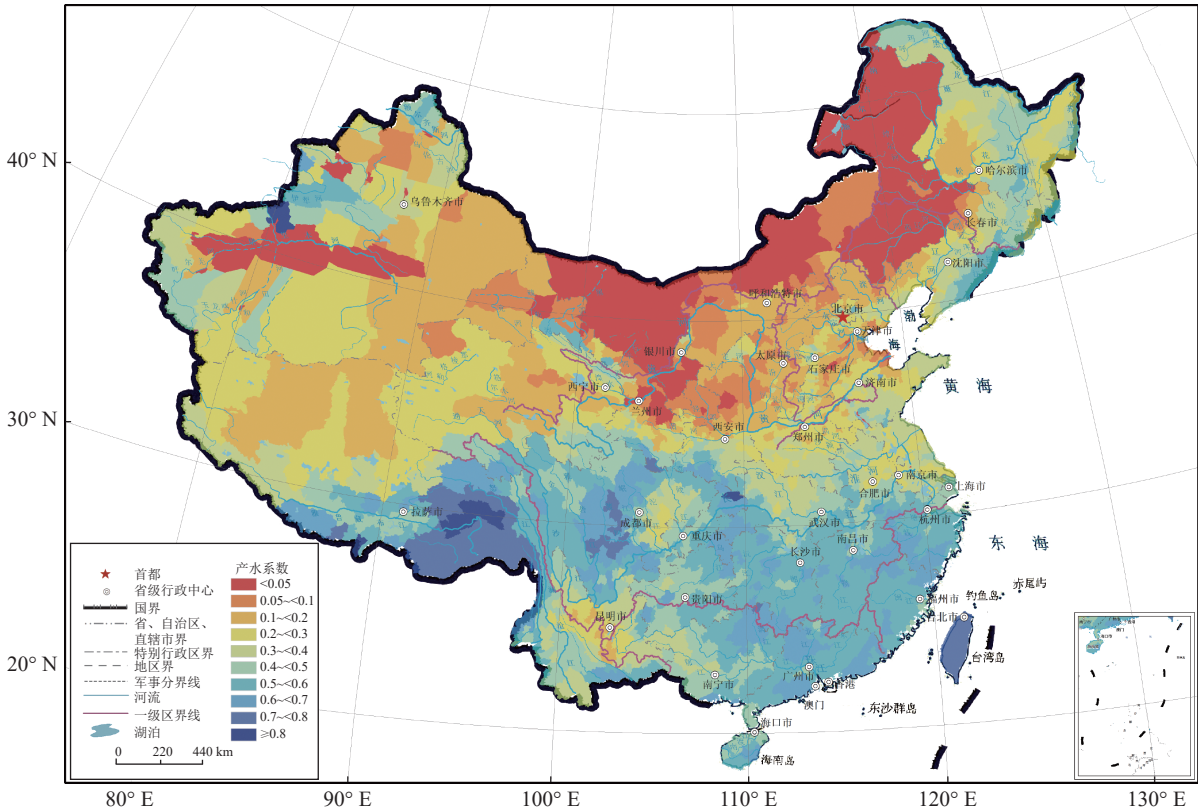


图 3 全国多年平均产水系数分布

Fig. 3 Distribution of average annual water production coefficient in China

全国的 26%, 主要位于西北及东北跨界河流, 黄河上游, 长江中游的嘉陵江、汉江, 长江下游及西江上游等流域, 涉及 818 个县级行政区; 产水系数介于 0.1 ~ 0.3 的地带面积占全国的 38%, 主要位于东北的额尔古纳河、松花江上游, 辽河、海河、淮河大部, 黄河中下游, 以及西南的元江等流域, 涉及 821 个县级行政区; 产水系数小于 0.1 的地带面积占全国的 13%, 主要位于西北塔里木河干流、河西荒漠区, 东北的呼伦湖水系、黄河中游的泾河及北洛河、清水河及苦水河等流域, 涉及 181 个县级行政区。

表 2 不同产水系数地带面积、水资源总量比例及其分布			
Table 2 Area, proportion and distribution of different water production coefficient in China			
产水系数	面积占全国的比率/%	水资源总量占全国的比率/%	涉及县级行政评价分区/个
<0.1	13.6	0.5	181
0.1 ~ <0.3	38.2	8.6	821
0.3 ~ <0.5	25.6	26.3	818
0.5 ~ <0.7	19.8	50.6	762
≥0.7	2.8	14.0	33
合计	100.0	100.0	2 615

水资源一级区与省级行政区多年平均产水系数与产水模数见图 4。全国多年平均产水模数为 29.80 万 m³/km², 北方地区多年平均产水模数为 8.64 万 m³/km², 南方地区多年平均产水模数为 66.80 万 m³/km², 南方为北方的 7 倍多。水资源一级区中, 东南诸河区产水模数最大, 为 109.85 万 m³/km²; 珠江区其次, 为 82.18 万 m³/km²; 黄河区和西北诸河区产水模数均小于 10 万 m³/km²。省级行政区中, 台湾、澳门、香港、广东、福建、江西、海南、浙江等 8 个省级行政区多年平均产水模数最大, 在 90 万 m³/km² 以上, 为全国平均的 3 倍多; 宁夏、内蒙古、新疆、甘肃、山西、青海、河北等 7 个省级行政区多年平均产水模数最小, 在 10 万 m³/km² 以下, 不足全国平均的 1/3。

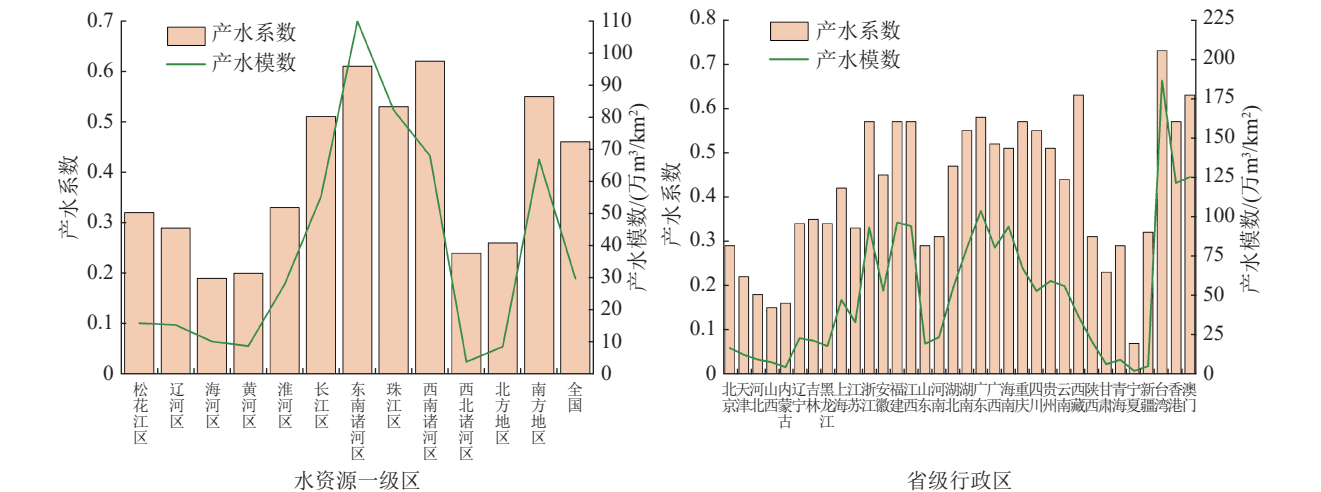


图 4 水资源一级区与省级行政区多年平均产水系数与产水模数

Fig. 4 Average annual water production coefficient and water production modulus of primary water resources districts and provinces

2.3 演变趋势

2.3.1 时间演变规律

全国及南、北方地区 1956—2016 年水资源总量变化见图 5。中国水资源总量在西北和东南地区大部呈

增加趋势,其他地区呈减少趋势。从不同时期来看,20世纪90年代、2010年以来全国水资源总量明显高于多年平均值,20世纪60年代略高于多年平均值,其他年代则低于多年平均值,年代平均值较多年平均值的变幅介于 $-3.1\% \sim 4.0\%$ 之间;北方地区20世纪50年代、60年代以及2010年以来的平均水资源总量高于多年平均值,20世纪80年代、90年代平均水资源总量与多年平均值基本持平,20世纪70年代和21世纪00年代则低于多年平均值,变幅介于 $-8.6\% \sim 8.1\%$ 之间;南方地区20世纪90年代以及2010年以来平均水资源总量高于多年平均值,20世纪70年代平均水资源总量与多年平均值基本持平,20世纪50年代、60年代、80年代以及21世纪00年代的平均水资源总量低于多年平均值,变幅介于 $-2.5\% \sim 4.8\%$ 之间。

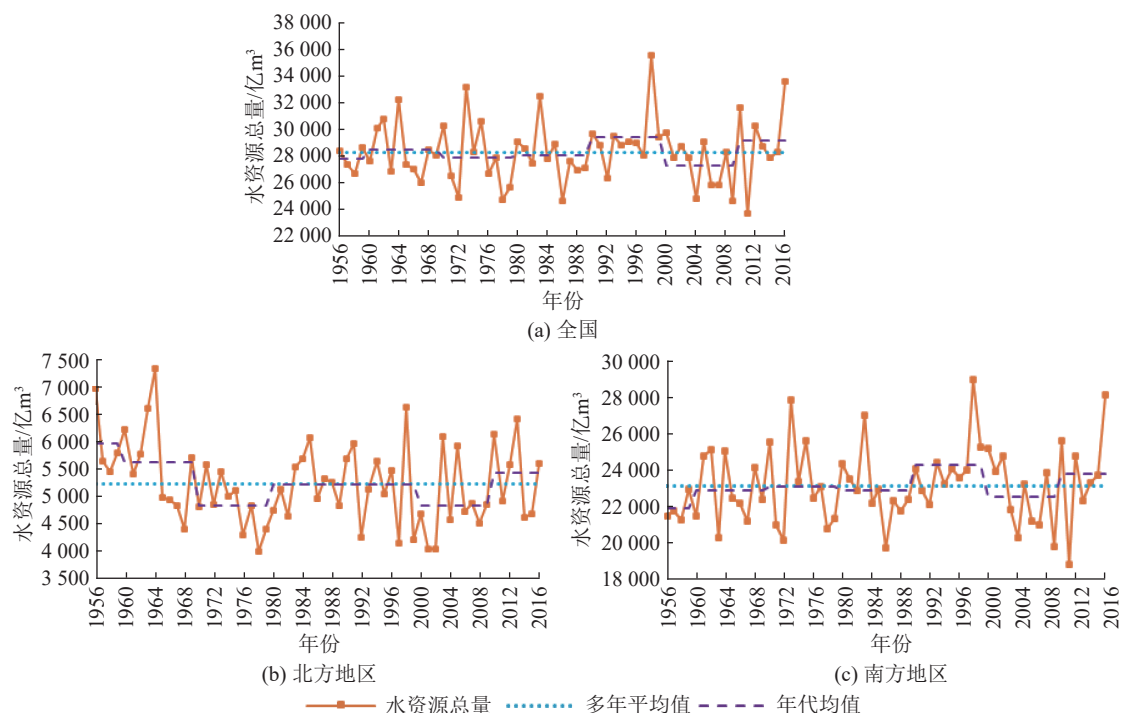


图 5 全国及南、北方地区 1956—2016 年水资源总量变化

Fig. 5 Variation trend of water resources amount in China and the South and North regions during 1956—2016

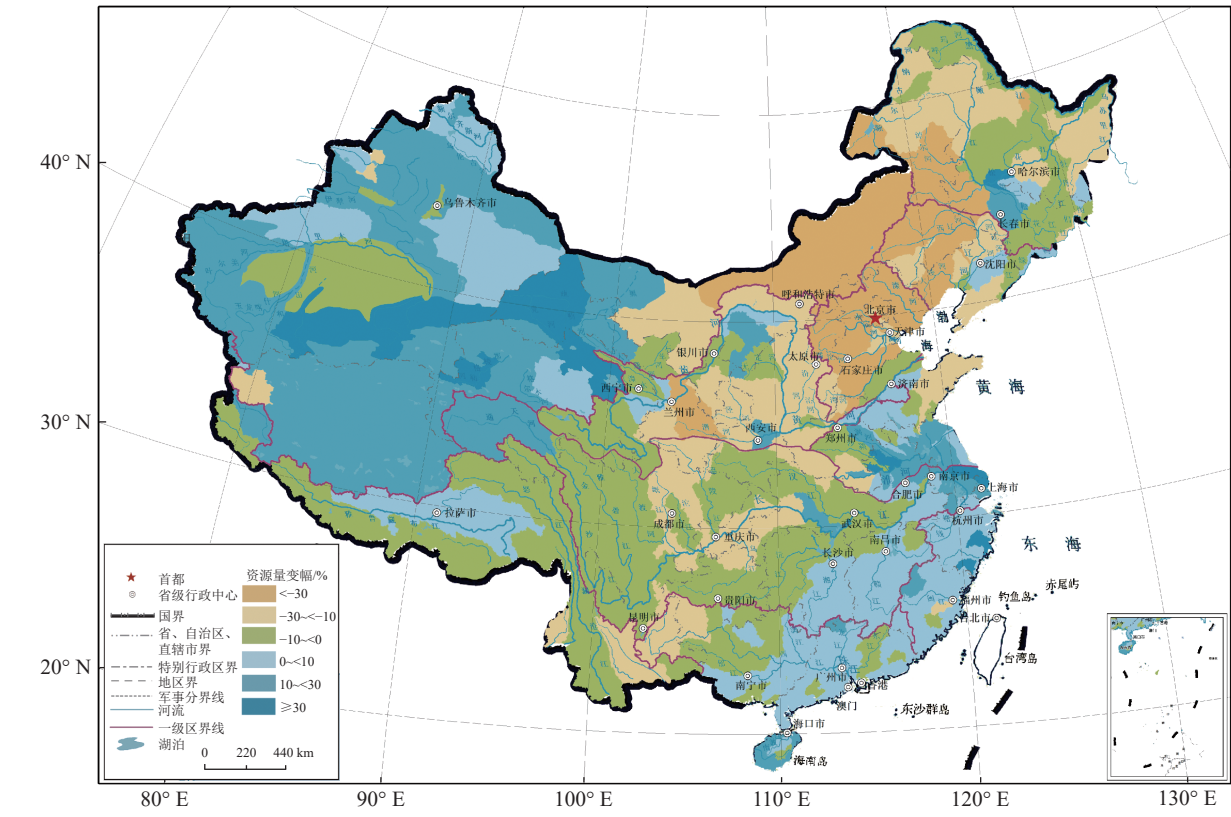
2.3.2 空间演变规律

分析 2001—2016 年较 1956—2000 年多年平均水资源总量变化幅度,如图 6 所示。2001—2016 年系列与 1956—2000 年系列相比,嫩江支流、西辽河,东北沿黄渤海诸河,海河区的滦河、大清河、蓟运河、滏阳河、潮白河、漳河,黄河中游的北洛河等流域水资源总量偏少幅度在 20% 以上,其中滦河、大凌河流域偏少幅度超过 35%;西北的塔里木河源头、青海湖水系、黑河,淮河下游,长江的太湖水系,东南的富屯溪等流域水资源总量偏多超过 10%。

2.3.3 三次水资源调查评价对比

对比分析第一次、第二次和第三次全国水资源调查评价 3 个不同时段水资源总量变化情况,如表 3 所示。

本次调查评价 1956—2016 年系列与第一次水资源调查评价 1956—1979 年系列相比,全国水资源总量偏多 0.6%;北方地区偏少 2.5%,除松花江区偏多 4.6%、西北诸河区偏多 0.5% 外,其他 4 个水资源一级区均不同程度偏少,其中海河区、辽河区、黄河区分别偏少 22.2%、7.9%、5.5%;南方地区偏多 1.4%,东南诸河区、长江区、珠江区分别偏多 4.0%、2.7%、1.1%,西南诸河区偏少 1.7%。与第二次水资源调查评价 1956—2000 年系列相比,全国水资源总量偏少 0.4%;北方地区偏少 0.9%,除西北诸河区偏多 2.7%、淮河区



注：审图号为 GS(2016)2893 号。

图 6 2001—2016 年较 1956—2000 年多年平均水资源总量变化幅度

Fig. 6 Variation of average annual water resources amount in 2001—2016 compared with 1956—2000

表 3 水资源一级区不同时段多年平均水资源总量评价成果

Table 3 Evaluation results of average annual water resources amount at different time periods in primary water resources districts

水资源一级区	1956—1979年		1956—2000年		1956—2016年		较1956—1979年系列 变化幅度/%	较1956—2000年系列 变化幅度/%
	产水深/ mm	水资源总量/ 亿m ³	产水深/ mm	水资源总量/ 亿m ³	产水深/ mm	水资源总量/ 亿m ³		
松花江区	158.6	1 404	163.7	1 492	159.5	1 469.2	4.6	-1.5
辽河区	165.4	525	159.2	498	154.0	483.4	-7.9	-2.9
海河区	123.3	421	108.7	370	102.5	327.6	-22.2	-11.5
黄河区	94.5	744	90.6	719	88.3	702.8	-5.5	-2.3
淮河区	289.8	961	279.2	911	280.6	928.3	-3.4	1.9
长江区	540.8	9 613	558.5	9 958	553.4	9 871.2	2.7	-0.9
其中：太湖流域	431.7	162	490.0	176	507.2	188.2	16.2	6.9
东南诸河区	1 058.6	2 592	1 084.9	2 675	1 098.5	2 694.5	4.0	0.7
珠江区	810.8	4 708	819.5	4 737	821.8	4 758.6	1.1	0.5
西南诸河区	687.8	5 853	683.7	5 775	679.7	5 753.8	-1.7	-0.4
西北诸河区	37.4	1 304	37.7	1 276	39.0	1 310.1	0.5	2.7
北方地区	88.4	5 358	87.2	5 267	86.4	5 221.4	-2.5	-0.9
南方地区	658.9	22 766	670.3	23 145	668.0	23 078.1	1.4	-0.3
全国	295.9	28 124	299.3	28 412	298.0	28 299.5	0.6	-0.4

偏多 1.9% 外, 其他 4 个水资源一级区均不同程度偏少, 其中海河区偏少 11.5%; 南方地区水资源总量基本持平, 其中长江区、西南诸河区分别偏少 0.9%、0.4%, 珠江区偏多 0.5%, 东南诸河区偏多 0.7%。

3 结 论

本文基于第三次全国水资源调查评价成果, 以水资源一级区及省级行政区为评价单元, 系统分析了 1956—2016 年中国水资源总量时空分布特征及演变趋势, 基于各水文要素开展了水量平衡分析。主要结论如下:

(1) 全国 1956—2016 年系列多年平均水资源总量为 28 299.5 亿 m^3 , 南方地区水资源总量占全国的 81.5%, 而北方地区仅占全国的 18.5%。地表水资源量为 27 246 亿 m^3 , 占水资源总量的 96.3%。

(2) 水资源总量呈现由东南向西北递减的分布格局, 南方地区水资源丰富, 北方地区相对匮乏。不同水资源一级区的产水系数差异显著, 南方地区的产水系数普遍高于北方地区。

(3) 水资源总量变化趋势为西北和东南地区大部分呈增加趋势, 而其他地区则呈减少趋势。20 世纪 90 年代和 2010 年以来全国水资源总量高于多年平均值。

参考文献:

- [1] 王浩, 贾仰文. 变化中的流域“自然-社会”二元水循环理论与研究方法[J]. 水利学报, 2016, 47(10): 1219-1226. (WANG H, JIA Y W. Theory and study methodology of dualistic water cycle in river basins under changing conditions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(10): 1219-1226. (in Chinese))
- [2] GEDNEY N, COX P M, BETTS R A, et al. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records[J]. *Nature*, 2006, 439(7078): 835-838.
- [3] ODINAEV M, HU Z Y, CHEN X, et al. Dynamic changes of terrestrial water cycle components over central Asia in the last two decades from 2003 to 2020[J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(13): 3318.
- [4] FOWLER K J A, PEEL M C, WESTERN A W, et al. Simulating runoff under changing climatic conditions: revisiting an apparent deficiency of conceptual rainfall-runoff models[J]. *Water Resources Research*, 2016, 52(3): 1820-1846.
- [5] ZHOU S, YU B F, LINTNER B R, et al. Projected increase in global runoff dominated by land surface changes[J]. *Nature Climate Change*, 2023, 13: 442-449.
- [6] 张建云, 王国庆, 金君良, 等. 1956—2018 年中国江河径流演变及其变化特征[J]. 水科学进展, 2020, 31(2): 153-161. (ZHANG J Y, WANG G Q, JIN J L, et al. Evolution and variation characteristics of the recorded runoff for the major rivers in China during 1956—2018[J]. *Advances in Water Science*, 2020, 31(2): 153-161. (in Chinese))
- [7] LUTZ A F, IMMERZEEL W W, SHRESTHA A B, et al. Consistent increase in High Asia's runoff due to increasing glacier melt and precipitation[J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4: 587-592.
- [8] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 230-234. (ZHANG J Y, ZHANG S L, WANG J X, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years[J]. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 230-234. (in Chinese))
- [9] 赵建华, 刘翠善, 王国庆, 等. 近 60 年来黄河流域气候变化及河川径流演变与响应[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(3): 1-5, 12. (ZHAO J H, LIU C S, WANG G Q, et al. Evolution of stream flow in the Yellow River during the past 60 years and its response to climate change[J]. *Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition)*, 2018, 39(3): 1-5, 12. (in Chinese))
- [10] 张利茹, 贺永会, 唐跃平, 等. 海河流域径流变化趋势及其归因分析[J]. 水利水运工程学报, 2017(4): 59-66. (ZHANG L R, HE Y H, TANG Y P, et al. Analysis of runoff change trend and its attribution in Haihe River basin[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2017(4): 59-66. (in Chinese))
- [11] 王国庆, 张建云, 管晓祥, 等. 中国主要江河径流变化成因定量分析[J]. 水科学进展, 2020, 31(3): 313-323. (WANG G Q, ZHANG J Y, GUAN X X, et al. Quantifying attribution of runoff change for major rivers in China[J]. *Advances in Water Science*, 2020, 31(3): 313-323. (in Chinese))
- [12] BAI X L, ZHAO W Z. Impacts of climate change and anthropogenic stressors on runoff variations in major river basins in China since 1950[J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 898: 165349.
- [13] SHAMSUDDUHA M, TAYLOR R G. Groundwater storage dynamics in the world's large aquifer systems from GRACE: uncertainty and

- role of extreme precipitation[J]. *Earth System Dynamics*, 2020, 11(3): 755-774.
- [14] CUTHBERT M O, GLEESON T, MOOSDORF N, et al. Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions[J]. *Nature Climate Change*, 2019, 9: 137-141.
- [15] SCANLON B R, FAKHREDDINE S, RATEB A, et al. Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2023, 4: 87-101.
- [16] 陈飞, 徐翔宇, 羊艳, 等. 中国地下水资源演变趋势及影响因素分析[J]. 水科学进展, 2020, 31(6): 811-819. (CHEN F, XU X Y, YANG Y, et al. Investigation on the evolution trends and influencing factors of groundwater resources in China[J]. *Advances in Water Science*, 2020, 31(6): 811-819. (in Chinese))
- [17] 贾建伟, 王立海, 王栋. 长江流域主要支流地下水资源特征分析[J]. 人民长江, 2022, 53(3): 103-107. (JIA J W, WANG L H, WANG D. Research on distribution characteristics of groundwater resources over main branches of Changjiang River basin[J]. *Yangtze River*, 2022, 53(3): 103-107. (in Chinese))
- [18] 王希栋, 孙文义, 穆兴民, 等. 黄河流域地下水储量变化特征及其驱动因素[J]. 人民黄河, 2023, 45(8): 96-100. (WANG X D, SUN W Y, MU X M, et al. Variation characteristics and driving factors of groundwater storage in the Yellow River basin[J]. *Yellow River*, 2023, 45(8): 96-100. (in Chinese))
- [19] 刘晶, 鲍振鑫, 刘翠善, 等. 近20年中国水资源及用水量变化规律与成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 31-41. (LIU J, BAO Z X, LIU C S, et al. Change law and cause analysis of water resources and water consumption in China in past 20 years[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2019(4): 31-41. (in Chinese))
- [20] 李原园, 曹建廷, 沈福新, 等. 1956—2010年中国可更新水资源量的变化[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(9): 2030-2038. (LI Y Y, CAO J T, SHEN F X, et al. The changes of renewable water resources in China during 1956—2010[J]. *SCIENTIA SINICA Terrae*, 2014, 44(9): 2030-2038. (in Chinese))

Spatial-temporal distribution and variation characteristics of water resources in China during 1956—2016*

LI Yuanyuan, LI Yunling, GUO Xuning, PAN Zharong, LIU Weifeng

(MWR General Institute of Water Conservancy Resources and Hydropower Planning and Design, Beijing 100120, China)

Abstract: To map the evolution of water resources in China and to scientifically and rationally formulate adaptive water resources management policies, this study used data from the third national water resources investigation and evaluation to calculate and analyze the amount of water resources at the national and water resources district and province levels from 1956 to 2016. We also evaluated the spatial and temporal distribution characteristics and evolution trends of the water resources. The main conclusions are as follows: ①The amount of water resources in Southern China accounts for 81.5% of the national water resources, which is significantly higher than the 18.5% in Northern China. ②The evolution of China's water resources is characterized by significant regional differences, with the total amount of water resources decreasing from southeast to northwest, while the water production coefficient in the south is generally higher than that in the north. ③From 1956 to 2016, the amount of water resources increased slightly in the northwest and southeast, but decreased in other regions.

Key words: water resources amount; spatial and temporal distribution; variation tendency

* The study is financially supported by the National Key R&D Program of China (No.2022YFC3202300; No.2023YFC3206500).