

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2021.05.04

湖南省水库与干旱情势空间匹配关系研究

危润初^{1,2,3}, 李淑雅^{1,2,3}, 欧阳琦^{1,2,3}, 龙秋波^{3,4}, 樊鸣放¹

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114; 3. 洞庭湖水环境治理与生态修复湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114; 4. 湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 根据湖南省地质、地形等条件,以县域为单元将湖南省划分为9个区域,对省内14 000多座各类型水库开展空间统计,分析了水库空间分布规律,并采用SPI-3指数法计算得到4-9月重旱及以上干旱频率的空间分布,对比研究了水库分布与干旱的空间匹配关系。结果表明:湖南省水库分布具有明显的空间分异特征,丘陵区水库数量密度一般要大于山地区,但受大型水库不足的影响,库容密度一般要小于山地区。洞庭湖平原腹地水库密度极低,而外围岗地区则拥有全省最大的水库分布密度。不同分区水库供水能力与人口、耕地的匹配关系也有很大差异。湘东南罗霄-南岭山地区单位面积兴利库容和人均兴利库容最大分别可达54 397.32 m³/hm²和3 286.53 m³,而在湘中南岩溶丘陵区、洞庭湖区等地区则分别不大于3 450 m³/hm²和210 m³。湖南省水库的空间分异特征主要受地质、地形等地理条件控制,山地区水库规模大、数量少,而丘陵区水库小、数量多。总体上看,湖南省水库供水能力与干旱的空间分布存在明显的失衡错位,如衡邵盆地不仅年均降雨量少、重旱频率高,而且水库供水能力也处于全省较低水平,再加上岩溶区“保水难”的特性,该区成为省内干旱情势最为严重的地区。

关键词: 水库分布特征; 空间分布; 供水能力; 干旱情势; 匹配关系

中图分类号:TV697.1⁺1

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2021)05-0027-08

Spatial matching relationship between reservoirs and drought situation in Hunan Province

WEI Runchu^{1,2,3}, LI Shuya^{1,2,3}, OUYANG Qi^{1,2,3}, LONG Qiubo^{3,4}, FAN Mingfang¹

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Water - Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China; 3. Key Laboratory of Dongting Lake Aquatic Eco-environmental Control and Restoration of Hunan Province, Changsha 410114, China; 4. Hunan Water Resources and Hydropower Survey, Design, Planning and Research Co., Ltd., Changsha 410007, China)

Abstract: Based on the geological, topographical and other conditions, Hunan Province was divided into nine regions by counties for statistic purposes. More than 14,000 reservoirs of various types in the province were investigated to analyze the spatial distribution pattern of reservoirs and the spatial distribution of drought frequency of severe droughts and above from April to September using SPI-3 index method, so as to conduct a comparative study on the spatial matching relationship between reservoir distribution and droughts. The results show that the reservoir distribution in Hunan Province is obviously spatially differentiated. The number density of reservoirs in hilly areas is generally greater than that in mountainous areas, and the reservoir capacity density is generally smaller than that in mountainous areas due to the shortage of large reservoirs. The density of reservoirs in the hinterland of the Dongting Lake Plain is extremely low, but that in the periphery of the plain ranks first in the whole province. The matching relationships between reservoir water supply capacity and population, reservoir water supply capacity and cultivated

收稿日期:2020-12-05; 修回日期:2021-05-07

基金项目:国家自然科学基金项目(41602264); 湖南省自然科学基金项目(2020JJ5572); 长沙理工大学“双一流”科学研究国际合作拓展项目(2019IC08)

作者简介:危润初(1984-),男,湖南新邵人,博士,讲师,硕士生导师,研究方向为岩溶区水文演化。

通讯作者:龙秋波(1986-),男,湖南保靖人,博士,高级工程师,研究方向为水资源规划与管理。

land in different regions are also differentiated. The maximum reservoir capacity *per unit area* and *per capita* in the southeastern Luoxiao – Nanling mountainous area of Hunan reached 54, 397.32 m³/hm² and 3, 286.53 m³ respectively, whereas in central Hunan karst hilly area and Dongting Lake area, they were not higher than 3, 450 m³/hm² and 210 m³ respectively. The spatial differentiation characteristics of reservoirs in Hunan Province are mainly under the influence of geological and topographical conditions, with large scale but small quantity of reservoirs in the mountainous area, and small scale but large quantity of reservoirs in the hilly area. In general, the spatial distribution of reservoir water supply capacity and drought situation in Hunan Province are obviously unbalanced and dislocated. For example, the Hengshao Basin is not only afflicted by low average annual rainfall, but also frequent severe droughts, and its reservoir water supply capacity is also at a low level compared to the other areas in the province. In addition, karst areas are difficult to retain water, now this basin has the most severe drought situation in Hunan Province.

Key words: reservoir distribution characteristics; spatial distribution; water supply capacity; drought situation; matching relationship

1 研究背景

我国是一个水库大国,全国建有各类型的水库共 98 822 座,合理优化水库布局与管理是贯彻习近平总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”新时代治水思路的必要要求。区域水库数量及分布首先是受人类需求所驱动,但同时也受到区域的地理环境所制约^[1]。宏观地理环境是区域构造、岩性、气候等条件的综合^[2],在具有同一地理背景的区域内部,建库环境在空间上具有一定的均一性,但是在具有不同地理背景区域间的建库环境往往差别较大^[3]。这种差别最终反映为以水库规模、水库数量、兴利库容等为表征的工程蓄供水能力的差异。多年来,学者们从局部空间尺度对水库建库条件开展了大量研究,主要集中在构造的稳定性^[4]、库区基岩的防渗能力^[5-6]、地形条件^[7]等方面。虽然近年来有部分学者开始关注到区域水利工程分布的差异^[8-9],但均是以前行政区划为单元开展的对比分析,很少有从宏观地理分异的角度进行分析。

受大气环流、下垫面等空间差异的影响^[10-12],不同地理区域间的多年气象干旱情势往往会有所差异^[11,13]。近年来,有关干旱空间分异的研究方兴未艾^[14-17],但是大多数研究仅是从降水的角度进行对比,而事实上降水并不能反映干旱的全部面貌^[18]。不同地理背景区域在土壤保水能力、土地利用模式、经济开发强度等方面存在差异,在遭遇同等气象干旱情况下的干旱烈度也会存在差异^[19-20]。因此,对于某一地理区域来说,水库调节能力、气象干旱情势和区域需水强度三者之间会形成特定的匹配关系,充分理解不同地理区域的这种匹配关系对科学开展

水利空间规划具有重要意义。

本文选择水库数量全国最多、地理分异明显的湖南省作为研究对象,对全省各类型水库按地理单元开展空间分区统计,并从分区人口、耕地、多年干旱情势等方面开展对比研究,力求揭示湖南省各地地理分区水库调节能力、气象干旱情势和潜在的需水强度之间的匹配关系,为湖南省水利工程规划提供一定的理论参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

湖南省地处云贵高原向江南丘陵地貌的过渡地带,整体呈北向开口的簸箕状地形。区内地形以山地、丘陵为主,且碳酸盐类岩石广布,岩溶发育强烈,岩溶区主要分布在湘西北、湘中和湘东南地区^[21]。湖南省属大陆性亚热带季风湿润气候,夏秋季节多旱,降水较为集中,多年平均降雨量为 1 450 mm。省内河网密布,水系发达,湘、资、沅、澧四大水系流入洞庭湖,经城陵矶汇入长江,形成较为完整的洞庭湖水系,水资源量丰富。全省耕地主要分布在洞庭湖平原区及湘中丘陵盆地一带,湘西、湘东南山地及一般丘陵区则以林地为主^[22]。

湖南省是我国的水利大省,截止 2016 年,全省共建成各类型水库 14 000 多座,水库数量居全国第一,其中大型水库 47 座,中型水库 362 座。但是,受气候条件的影响,干旱仍然是制约湖南省经济社会发展的主要灾害因素之一。自新中国成立以来,湖南省旱灾年均成灾面积达 104×10^4 hm²,其中中旱以上面积为 50×10^4 hm²^[23]。从空间分布上看,衡邵盆地是湖南省气象特旱频次与程度最突出的区

域,其次为洞庭湖区^[24]。

2.2 数据来源

本研究收集的主要数据及其来源为:(1)湖南省各类型水库的总库容、兴利库容,数据源为湖南省2019年水库信息数据库(数据统计至2016年);(2)各县、市区面积、耕地面积等,数据源为湖南省2019年农业信息数据库(数据统计至2018年);(3)各县、市、区常住人口,数据源为湖南省各市州统计信息网;(4)湖南省97个气象站(1981-2017年)的日降水监测资料,数据源为湖南省气象中心。

2.3 研究方法

2.3.1 空间对比分析 综合地层岩性^[25]、地形、地貌^[22]等因素,以县级行政区为基本单元将湖南省划分为9个区域,分别为:湘西北岩溶山地区(I区),湘西雪峰山地区(II区),湘中南岩溶丘陵区(III区),湘东南岩溶丘陵区(IV区),湘东南罗霄-南岭山地区(V区),湘东南一般丘陵区(VI区),湘东北丘陵区(VII区),湘东北山地区(VIII区)和洞庭湖区(IX区),区域划分及水库分布见图1。

本次研究即以上述9个区域为研究对象,通过对省内不同地理背景条件下的14 000多座水库开展分区空间统计,对比研究湖南省水库分布与干旱情势的空间匹配关系。

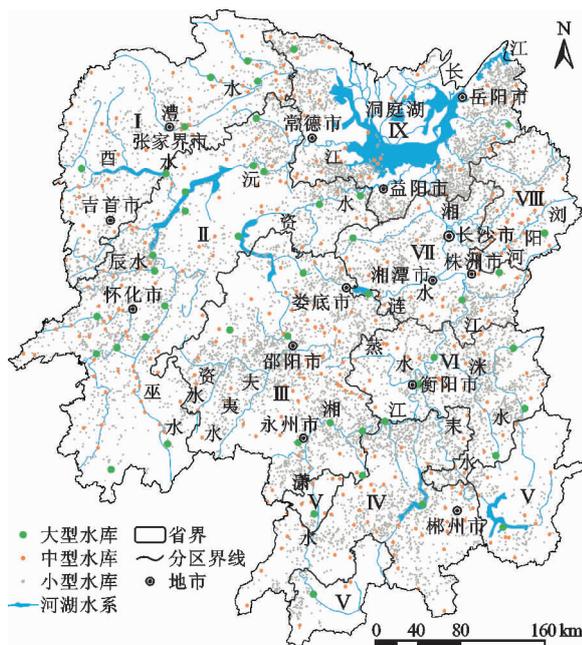


图1 湖南省地理条件区域划分及水库分布

2.3.2 标准化降水指数(SPI) 标准化降水指数(SPI)是表征时段降水量出现概率多少的指标^[13],被很多学者应用于区域干旱程度的对比,其计算简单且具有多时间尺度的优点^[13,26-27]。一般认为3

个月时间尺度的标准化降水指数能够很好地反映农业缺水程度^[15]。考虑到年内农业耕作时间,本研究仅将4-9月份的干旱情况开展空间对比。

按照文献[28]中的方法,计算研究区各年4-9月份3个月时间尺度的标准化降水指数(SPI-3)^[28],并按照干旱分级标准(表1)对各月进行干旱级别划分,利用公式(1)计算得到各气象站4-9月重旱级别以上的干旱频率 P_i ,并绘制干旱频率空间分布图。

$$P_i = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: n 为发生重旱及以上干旱级别的次数; N 为样本总数; i 代表不同的气象站点。

3 结果与分析

3.1 湖南省水库分区统计

根据湖南省水库信息数据库2019年数据,对各分区各类型水库数据进行统计,并对水库数量密度及总库容密度进行分区对比,结果分别如表2和图2所示。

由表2可知,湖南省共建有大型水库47座、中型水库362座、小型水库13 688座,水库总库容分别为 365.6×10^8 、 92.9×10^8 和 $70.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由图2(a)中水库数量密度的空间分布来看,湘东南一般丘陵区(VI区)最大,达到了 $1 046 \text{ 座}/10^4 \text{ km}^2$,其次分别为洞庭湖区(IX区)、湘中南岩溶丘陵区(III区)、湘东南岩溶丘陵区(IV区)和湘东北丘陵区(VII区),均超过了 $750 \text{ 座}/10^4 \text{ km}^2$,其余各区不大于 $550 \text{ 座}/10^4 \text{ km}^2$ 。需要指出的是,洞庭湖区虽然总体拥有较高的水库密度,但是该区水库主要分布在环湖高台地区,形成了全省水库密度最大的环湖水水库带,而在洞庭湖平原腹地水库密度极小。由图2(b)中水库总库容密度的空间分布来看,湘东南罗霄-南岭山地区(V区)拥有全省最大的库容密度值,但主要为东江水水库、涔天河水库等大型水库所贡献,而小型水库的库容密度为全省各分区最低。此外,湘西雪峰山地区(II区)大型水库库容密度也高达 $32.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,仅次于湘东南罗霄-南岭山地区(V区)。湘西北岩溶区(I区)、湘东南一般丘陵区(VI区)大型水库库容密度处于第二层次的水平,库容密度在 $12.0 \times 10^4 \sim 13.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 之间,而其余各区大型水库库容密度均在 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 以下。就中小型水库库容密度而言,除湘东南罗霄-南岭山地区(V区)外,其余各区库容密度在 $6.7 \times 10^4 \sim 9.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 之间,其中库容密度最大为洞庭湖区(IX区),其次为湘东南一般丘陵区(VI

区),最小为湘东南岩溶丘陵区(IV区)和湘东北丘陵区(VII区)。

3.2 湖南省水库供水能力与人口、耕地匹配分区对比

为了进一步分析湖南省水库供水能力与耕地、

人口等分布的空间匹配情况,对全省按分区统计了耕地面积与人口,并根据各分区水库总兴利库容计算得到单位面积兴利库容与人均兴利库容,结果见表3和图3。

表1 SPI干旱等级划分标准^[28]

干旱等级	特旱	重旱	中旱	轻旱	无旱
SPI 值	$SPI \leq -2.0$	$-2.0 < SPI \leq -1.5$	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	$-1.0 < SPI \leq -0.5$	$SPI > -0.5$

表2 2019年湖南省水库分区统计结果

分区	区域面积/ km ²	大型水库		中型水库		小型水库	
		数量	总库容/10 ⁴ m ³	数量	总库容/10 ⁴ m ³	数量	总库容/10 ⁴ m ³
I区	27380	5	380400	44	130921	967	68202
II区	46107	18	1500134	72	212426	2151	128702
III区	33216	8	183915	59	148415	2802	139912
IV区	21550	1	42400	41	77003	1616	72589
V区	15387	3	1147000	18	34618	433	26406
VI区	17308	6	208700	30	92323	1775	71462
VII区	15900	3	74830	28	44372	1193	63706
VIII区	9117	1	27830	24	47345	468	25503
IX区	25864	2	91300	46	141813	2283	111916
总计	211829	47	3656509	362	929236	13688	708398

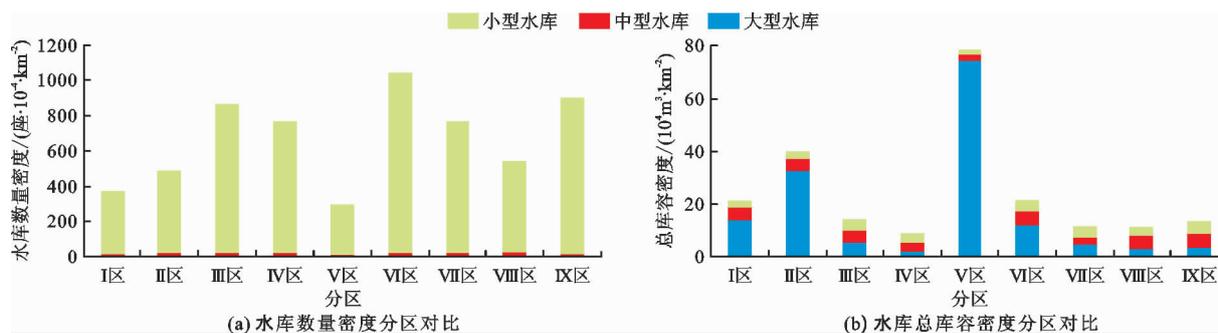


图2 2019年湖南省水库数量密度及总库容密度分区对比

表3 湖南省水库兴利库容分区统计

分区	耕地面积/10 ⁴ hm ²	兴利库容/10 ⁴ m ³	常住人口/10 ⁴	单位面积兴利库容/(m ³ ·hm ⁻²)	人均兴利库容/m ³
I区	34.50	357675.44	448.19	10367.40	798.04
II区	60.29	886467.24	835.79	14703.29	1060.63
III区	82.74	271868.55	1410.59	3285.75	192.73
IV区	40.14	137699.78	670.39	3430.22	205.40
V区	12.76	694344.40	211.27	54397.32	3286.53
VI区	40.02	218701.20	655.61	5465.40	333.58
VII区	44.65	107255.47	1224.43	2402.06	87.60
VIII区	13.60	70366.12	230.55	5172.11	305.21
IX区	86.62	245666.17	1181.74	2836.27	207.89

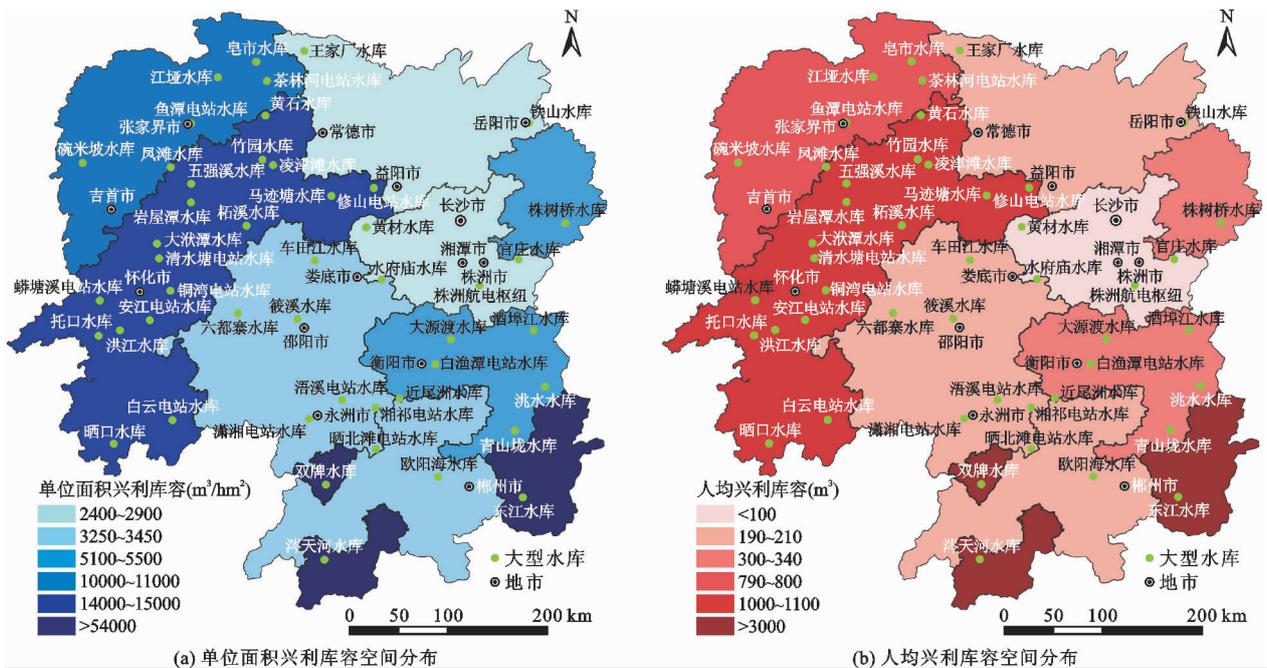


图 3 湖南省分区单位面积兴利库容与人均兴利库容空间分布

兴利库容又称调节库容,相较于总库容,更能够直接反映水库的供水能力^[29]。由表 3 和图 3 可知,全省单位面积兴利库容与人均兴利库容空间变化基本一致,空间上的分布呈现出明显的规律性。湘东南罗霄—南岭山地区拥有全省最高的单位面积兴利库容与人均兴利库容,分别为 54 397.32 m³/hm² 和 3 286.53 m³,远超过其他各区。该区的这种特性主要由区内的 3 个特大型水库决定,包括东江水库(兴利库容 52.5 × 10⁸ m³)、涔天河水库(兴利库容 9.92 × 10⁸ m³)和双牌水库(兴利库容 2.43 × 10⁸ m³)。湘西雪峰山地区和湘西北岩溶山地区处于第 2 层次,单位面积兴利库容和人均兴利库容分别为 10 000 ~ 15 000 m³/hm² 和 790 ~ 1 100 m³。湘西地区位于云贵高原与江南丘陵的过渡地带,主要为山地地形,人口密度和耕地面积占比均处于全省较低水平,且该区拥有全省数量最多的大型水库,因此湘西两个区域拥有较高的水库供水能力。其余 6 个区整体处于第 3 层次,单位面积兴利库容和人均兴利库容分别在 5 500 m³/hm² 和 340 m³ 以下,其中湘东北丘陵区单位面积兴利库容和人均兴利库容均为全省最低,分别仅为 2 402.06 m³/hm² 和 87.60 m³。湘中南岩溶丘陵区与湘东南岩溶丘陵区单位面积兴利库容分别为 3 285.75 和 3 430.22 m³/hm²,人均兴利库容分别为 192.73 和 205.40 m³,两者非常接近。洞庭湖区受湖区平原水库数量太少、耕地面积占比

和人口密度大的影响,单位面积兴利库容和人均兴利库容也分别仅为 2 836.27 m³/hm² 和 207.89 m³。

3.3 湖南省水库供水能力与气象干旱匹配关系分析

收集湖南省 97 个气象站 1981—2017 年的日降水监测资料,统计得出湖南省多年平均降水量;基于标准化降水指数 (SPI) 及干旱分级标准,利用公式 (1) 得到湖南省各气象站 1981—2017 年 4—9 月 3 个月时间尺度的重旱级别及以上干旱频率空间分布,结果见图 4。

由图 4(a) 可以看出,湖南省多年平均降水量空间分布变化较大。东部降水量丰富,其范围始于雪峰山脉北端,向湘东、湘南地区延伸,年均降水量约为 1 400 ~ 1 600 mm。而洞庭湖区、湘西地区、邵阳岩溶盆地为湖南省三大降水量低值区,年均降水量仅为 1 240 ~ 1 360 mm。而由图 4(b) 重旱以上频率的空间分布来看,湘中的衡邵娄盆地至湘西南一带是湖南省内重旱频率最大的区域,多在 6.74% ~ 7.46% 之间。湘东北和湘东南则是省内重旱频率小值区,多在 5.48% ~ 6.38% 之间,最小约为 5.29%。

一般认为,水库调节库容增大,径流调节能力增强,能够抵御的干旱烈度就越高^[30],即水库的调节能力对其所在区域干旱灾害的最终烈度有重要影响。而水利工程与干旱情势的空间匹配还会进一步影响水利工程群整体应对干旱的能力^[29],合理建设水利工程是区域应对干旱的强有力的支撑^[31]。对

前述水库的空间分布特征与多年平均降雨量、重旱频率空间分布展开对比可以看出,湖南省水库供水能力与干旱的空间分布存在明显的失衡错位。如在湘东南山地区,年平均降雨量大,重旱频率也相对较低,但是该区拥有全省最大的单位面积兴利库容和人均兴利库容,而在湘中南岩溶丘陵区以及湘东南一般丘陵区的西部,年平均降雨量小,重旱频率也大,但是单位面积兴利库容与人均兴利库容仅高于洞庭湖区和湘东北丘陵区,即该区存在明显的气象干旱与工程供水能力差的效应叠加。对于湘西北岩

溶山地区和湘西雪峰山地区而言,虽然年均降雨量小、重旱频率也大,但是这两个地区的水库供水能力要远大于湘中南岩溶丘陵区。湘东南岩溶丘陵区在地质、地形、区内水库供水能力等方面与湘中南岩溶丘陵区近似,但是该区年均降雨量更大、重旱频率小,因此湘东南岩溶丘陵区的整体多年干旱情势好于湘中南岩溶丘陵区。洞庭湖区是全省三大降雨低值区之一,但是该区重旱频率全省最低,同时在外围岗地区拥有全省密度最大的中小水库群,在平原腹地河网密布,因此该区多年干旱情势也相对较好。

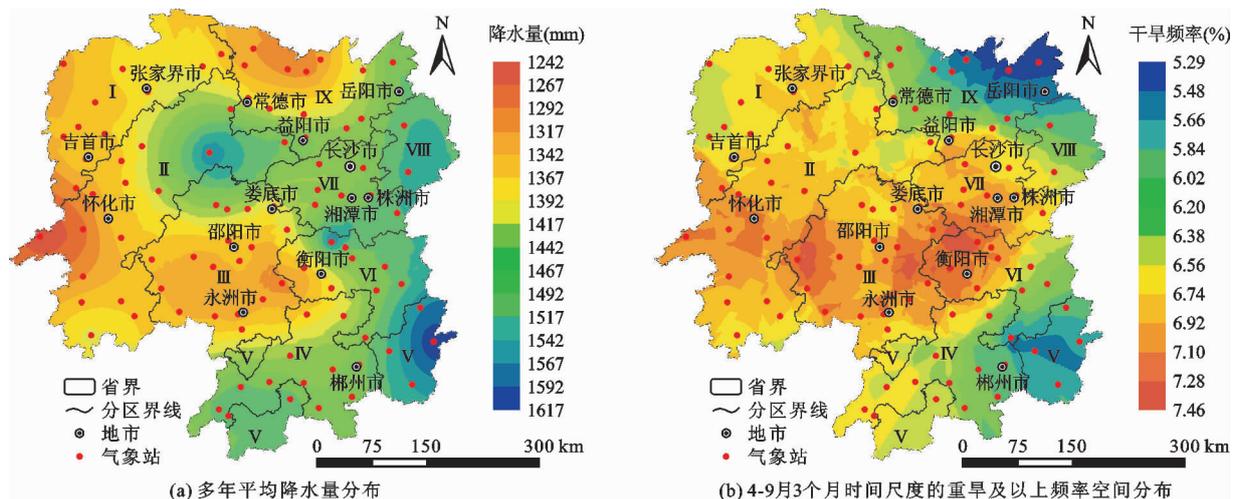


图4 湖南省多年平均降水量与重旱频率空间分布

4 讨论

(1) 本研究主要基于地质与地形条件对湖南省进行分区,受数据来源的限制,选择以县级行政区为基本数据单元开展分区对比,但仍然与传统地貌分区^[32]保持了较好的一致性。由于很多县级行政区跨越两个甚至多个地貌区,因此本文的不同分区边界存在一定失真,但是总体上对分区统计结果不会产生大的影响。另外,很多大型水库的主要服务区域往往为其下游的其他分区,而并非为水库坝址所在分区,这也会给分区统计结果带来较大影响。这种现象主要出现在湘东南罗霄-南岭山地区,但是为了更加清晰地反映出不同地理环境下水库的分布特征,本文未进行区域数据转移。

(2) 湖南省水库空间分异与区域地形及地质等条件密切相关,图5为湖南省地形高程分布及地质简图。非岩溶山地区普遍山原耸立、河谷深切,地形变化较大,建库条件优良,大型水库数量和库容密度均较大,而在湘西北岩溶区,虽然地形切割强烈,但因区域岩溶特性,大型水库数量和库容密度明显要

小于湘东南罗霄-南岭山地区和湘西雪峰山地区。在各丘陵区,地形起伏较小,优越的河流水文条件对水库建设显得更为重要,中小型水库占据主导地位,而大型水库密度相对较低。湘中南岩溶丘陵区 and 湘东南岩溶丘陵区均属典型构造溶蚀、剥蚀丘陵地貌区,极少发育大型地下水系统,主要分布中小型水库,大型水库密度处于全省较低水平。湘东北丘陵区与湘东南一般丘陵区地质、地貌条件近似,受湘江干流枢纽工程的贡献,大型水库密度要明显大于湘中南岩溶丘陵区 and 湘东南岩溶丘陵区,但不同的是,湘东北丘陵区是湖南省城市化的核心区域,其经济比重与人口密度均为全省最大,因此该区单位面积兴利库容和人均兴利库容均处于全省最低水平。湘东北山地区地处罗霄山脉北段,受断陷盆地的影响,湘东北山地区的山区河流流程一般较短,因此该区大型水库库容密度远低于其他山地区。洞庭湖区地势低平,在洞庭湖平原腹地,河湖纵横,水库密度极低;但在平原外围的岗地区,地层岩性仍以第四系沉积物为主,地貌主要以低山及微丘为主,受耕地面积大所带来的供水需求的驱动,岗地区拥有全省密度

最大的水库群,这就使得洞庭湖区整体拥有全省最大的中小型水库库容密度。

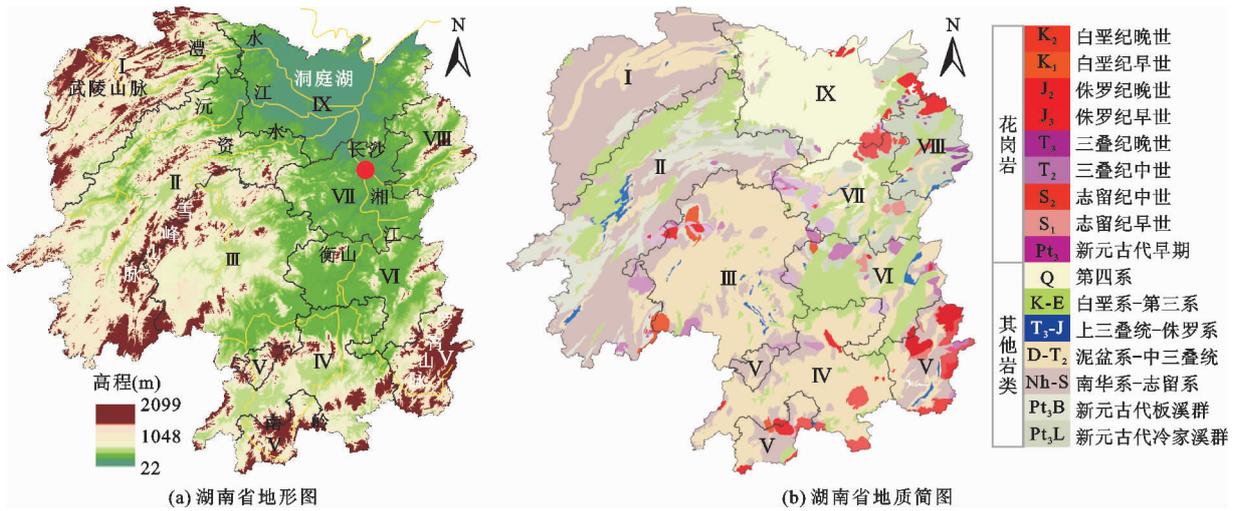


图5 湖南省地形高程分布及地质简图

(3)湖南省现有水库空间分布特征差异明显,山地区单位面积水库库容要高于丘陵区和平原区,但是本次研究是以县级行政区统计数据为基础的大分区对比,掩盖了一些局部问题。就湖南省干旱情况而言,全省历史干旱总体上表现为谷地、盆地地区干旱严重且多发,而湖区及山地地区发生干旱情况相对较少^[23]。山地耕地占比小,且山区林地有较强的水资源调蓄能力,但是在某些山地区域,特别是在湘西北岩溶山地区,耕地分散、地形复杂,灌区不配套,农业灌溉缺水等问题仍然难以解决。此外,在洞庭湖区,自三峡大坝运行以来,长江与洞庭湖之间的“江湖关系”也发生了很大变化,长江“四口”来水量减小、枯季洞庭湖水位逐年降低,使得湖区的干旱情势发生了很大转变,洞庭湖区的干旱问题正日益突出^[33]。从长远来看,需要通过跨区域调水工程、平原水库工程及地下水开发工程来根本解决湖区缺水问题。

(4)区域干旱是多种干旱共同作用的结果。湘中南岩溶丘陵区受地质条件限制,多发育岩溶丘陵,耕地面积占比与人口密度均处在湖南省前列,经济社会需水量较大,但同时该区是湖南省有名的“旱极”,不仅多年平均降雨量要较外围地区少100 mm,而且气象干旱频率和程度也要大于其他区域^[34],因此该区域也被称之为“衡邵干旱走廊”。以往有关“衡邵干旱走廊”的研究多集中在气象方面,而从本文的统计结果来看,自然条件制约下的低水利工程调节能力也是本区干旱情势的重要影响因素。对于该地区的治理,需要加大区域统筹,通过新建大型水库及灌区工程来切实提高区域内的供水能力以提高

整个区域的抗旱能力。

5 结论

(1)湖南省水库分布具有明显的空间分异特征,与区域地质、地形等条件密切相关。湘东南一般丘陵区水库数量密度最大,其次为洞庭湖区、湘中南岩溶丘陵区、湘东南岩溶丘陵区、湘东北丘陵区,各山地区区相对较小。从水库库容密度来看,湘东南罗霄-南岭山地区最大,其次为湘西雪峰山地区、湘西北岩溶山地区和湘东南一般丘陵区,但这些区域大型水库库容值占主导地位。在大部分丘陵区 and 洞庭湖区,主要以中小型水库为主。同样,不同分区水库供水能力与人口、耕地的匹配关系也有很大差异。湘东南罗霄-南岭山地区拥有最大的单位面积兴利库容和人均兴利库容,最大分别可达 $54\ 397.32\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 和 $3\ 286.53\ \text{m}^3$,其次为湘西雪峰山地区、湘西北岩溶山地区、湘东南一般丘陵区 and 湘东北山地区。湘中南岩溶丘陵区、湘东南岩溶丘陵区、湘东北丘陵区 and 洞庭湖区单位面积兴利库容和人均兴利库容为全省最低,分别在 $3\ 450\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 和 $210\ \text{m}^3$ 以内。

(2)湖南省水库供水能力与干旱的空间分布存在明显的失衡错位。湖南省年均降雨量总体呈现出“东多西少”的特征,其中洞庭湖区、衡邵盆地、湘西地区是湖南省三大降雨低值中心。而从重旱频率的空间分布来看,湘中的衡邵盆地至湘西南一带是湖南省内重旱频率最大的区域,在 $6.74\% \sim 7.46\%$ 之间,湘东北和湘东南则是省内重旱频率小值区,多在 $5.48\% \sim 6.38\%$ 之间。衡邵盆地不仅为降雨低值区,而且表现为较高的重旱频率,同时该区拥有较高

的耕地面积与人口密度,工程供水能力也偏低,同时又地处岩溶区,下垫面保水能力不足,多因素的综合叠加影响,使该区域成为干旱情势最为严重的“衡邵干旱走廊”。

参考文献:

- [1] 卢耀如. 喀斯特发育机理与发展工程建设效应研究方向[J]. 地球学报, 2016, 37(4): 419-432.
- [2] 陈发虎, 傅伯杰, 夏军, 等. 近70年来中国自然地理与生存环境基础研究的重要进展与展望[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(11): 1659-1696.
- [3] 刘海明. 中国东南部山区水库塌岸预测研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [4] 何付明, 谭志华. 云南省桃源水库枢纽工程区断裂构造特征与活动性[J]. 人民长江, 2021, 52(3): 98-106.
- [5] 刘浩, 田茂中. 贵州冗赖水库岩溶成库条件分析[J]. 中国岩溶, 2019, 38(4): 515-523.
- [6] 张丽艳, 袁彦超, 刘芙蓉, 等. 贵州某水库的地质成库条件分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2019, 41(S1): 170-173.
- [7] 王海成. 三河口水库坝址区工程地质条件分析与坝址选择[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(3): 156-159.
- [8] 郭晓雅, 李思远. 我国水库工程分布特点分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(2): 252-254.
- [9] 何镇宇, 宋松. 近三十年来中国水库时空变迁及其效应分析[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2020, 19(4): 75-87.
- [10] 张强, 张红丽, 张良, 等. 论我国夏季风影响过渡区及其陆-气相互作用问题[J]. 地球科学进展, 2017, 32(10): 1009-1019.
- [11] 黎云云. 气候和土地利用变化下流域干旱评估-传播-驱动-预测研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [12] 杨思遥, 孟丹, 李小娟, 等. 华北地区2001-2014年植被变化对SPEI气象干旱指数多尺度的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 1028-1039.
- [13] 李玮, 陈晓俊, 王文君, 等. 1962-2017年典型半干旱草原区不同时间尺度干旱特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(1): 226-232+240.
- [14] 廖要明, 张存杰. 基于MCI的中国干旱时空分布及灾情变化特征[J]. 气象, 2017, 43(11): 1402-1409.
- [15] 卢洪健, 莫兴国, 孟德娟, 等. 气候变化背景下东北地区气象干旱的时空演变特征[J]. 地理科学, 2015, 35(8): 1051-1059.
- [16] ABDULRAZZAQ Z T, HASAN R H, AZIZ N A. Integrated TRMM data and standardized precipitation index to monitor the meteorological drought[J]. Civil Engineering Journal, 2019, 5(7): 1590-1598.
- [17] 符静, 旷微, 邓运员, 等. 湖南省近56年降水变化趋势及空间特征[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(2): 110-119.
- [18] 裴源生, 蒋桂芹, 翟家齐. 干旱演变驱动机制理论框架及其关键问题[J]. 水科学进展, 2013, 24(3): 449-456.
- [19] 郭纯青, 潘林艳, 周蕊, 等. 2009-2010年中国西南岩溶区旱情分析与减灾对策——以广西岩溶区为例[J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32(4): 495-499.
- [20] 郭纯青, 周蕊, 潘林艳. 中国西南岩溶区1900-2012年旱涝灾害分析[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(2): 12-15.
- [21] 周宇成, 陈清华, 孙珂, 等. 湖南地区岩溶分布特征及其发育模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2020, 44(4): 163-173.
- [22] 程娟. 湖南省土地分区研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [23] 白超海. 湖南省干旱成因分析及对策研究[J]. 中国防汛抗旱, 2010, 20(6): 20-22+31.
- [24] 黎祖贤, 周盛, 樊志超, 等. 湖南特大干旱时空变化特征分析[J]. 干旱气象, 2018, 36(4): 578-582+616.
- [25] 陈勇军, 袁红, 周游, 等. 湖南岩溶分布与土地利用景观的响应及驱动力分析[J]. 国土资源导刊, 2011, 8(6): 74-76.
- [26] 王志霞, 穆振侠, 陈翠彦. 水文干旱与气象干旱临界转变条件的判定及响应关系[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(3): 119-125.
- [27] 林慧, 王景才, 黄金柏, 等. 基于SPI和SPEI的淮河流域中上游流域气象干旱时空分布特征对比研究[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(6): 59-67.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 气象干旱等级: GB/T 20481—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [29] 王刚, 严登华, 吴楠, 等. 水利工程群应对干旱能力评价方法及应用[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 39-44.
- [30] 尹正杰, 黄薇, 陈进. 水库径流调节对水文干旱的影响分析[J]. 水文, 2009, 29(2): 41-44.
- [31] 任怡. 黄河流域干旱特征及抗旱能力研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
- [32] 朱国南, 丁传礼. 湖南农业地貌区划[J]. 湖南师范大学(自然科学学报), 1985(2): 93-101.
- [33] 李静芝, 朱翔, 李景保, 等. 洞庭湖区城镇化进程与水资源利用的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1677-1685.
- [34] 符静, 秦建新, 黎祖贤, 等. “衡邵干旱走廊”历史降雨量时空特征及趋势分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(8): 3097-3106.