

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.01023

抗旱能力研究理论框架

梁忠民¹, 郇建强², 常文娟¹, 胡义明¹

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 水利部 水利水电规划设计总局, 北京 100120)

摘要: 在总结抗旱能力相关研究成果的基础上, 探讨了抗旱能力的理论内涵及其评估方法。借鉴抗御地震和洪水等其他自然灾害能力、自然资源承载力的定义, 综合考虑抗旱能力的自然与社会双重属性, 兼顾相关行业中关于能力描述的两点要义: 一是与灾害级别或量级大小联系在一起, 二是强调人类的抵御活动及最大程度的概念, 阐述了抗旱能力的定义及其内涵。基于构成要素和定义剖析, 构建了抗旱能力评估方法体系, 初步构建了抗旱能力基础理论研究框架。

关键词: 抗旱能力; 定义; 内涵; 评估方法

中图分类号: X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)01-0023-06

Research on the Theoretical Framework of Drought Resistance Capacity

LIANG Zhong-min¹, LI Jian-qiang², CHANG Wen-juan¹, HU Yi-ming¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China)

Abstract: The theoretical concept and evaluation method of drought resistance capacity were investigated based on the summary of current research on drought resistance capacity. The concepts of resistance capacity of other natural disasters such as earthquake and flood and carrying capacity of natural resources were used, and the natural and social properties of the drought resistance capacity were also considered. Two essences of capacity were generalized, including that the capacity was linked with the degree or magnitude of the disaster, and that the capacity emphasized the human resistant activity and the concept of maximum extent. On this basis, the definition of drought resistance capacity and its connotation were proposed. The assessment system of drought resistance capacity was constructed on the basis of the elements and definition analysis of drought resistance capacity. The framework of drought resistance capacity was preliminarily presented.

Key words: drought resistance capacity; definition; connotation; evaluation methodology

干旱问题已引起社会各界的高度关注并成为当前水资源科学的研究热点。其中, 抗旱能力的研究是制定抗旱减灾策略的重要依据。随着国民社会经济发展, 我国的水利基础设施建设不断完善, 生产技术也日趋进步, 使得我国的抗旱减灾能力不断增强, 抗旱工作也取得显著的成果。当前抗旱正按照人与自然和谐相处的理念向科学性、合理性、健康性逐步发展, 力图实现由单一抗旱向全面抗旱转变、被动抗旱向主动抗旱转变^[1]。抗旱能力研究是开展抗旱减灾策略的基础性工作之一, 通过对抗旱能力研究, 有助于了解区域现有抵御干旱灾害的能力, 认识抗旱的优劣势所在, 并能明确今后防旱抗旱工作的方向, 对实现科学、有效的干旱风险管理具有重要的意义。

目前, 关于抗旱能力的研究还处于起步阶段, 系统、完善的抗旱能力理论方法体系尚未形成。近年来, 国内外学者从干旱识别^[2-3]、干旱频率分析^[4-7]、干旱监测^[8-9]、干旱风险评估和风险管理^[10-13]等方面开展了大量的相关研究, 在理论和应用上取得了一些进展。但对抗旱能力问题, 研究相对较少, 主要局限于对农业抗旱能力的综合评价^[14-18], 流域或区域尺度抗旱能力的定量分析鲜有研究。

本文以理论和方法研究为主导, 通过归纳和总结国内外有关抗旱能力的研究, 借鉴抗御地震、洪水等其他自然灾害能力和自然资源承载力的研究成果, 深入认识抗旱能力的本质, 阐述抗旱能力的定义, 剖析其内涵及构成要素, 分析其研究方法, 初步构建一个较为系统的抗旱能力研究理论与方法

收稿日期: 2012-10-31 网络出版时间: 2013-01-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130124.1128.012.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2010CB951102)

作者简介: 梁忠民(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事水文水资源研究。E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

体系,为防旱抗旱战略应对及后期旱灾风险管理提供科学、合理的理论依据及切实、可行的建议与对策。

1 抗旱能力的定义与内涵

1.1 抗旱能力的定义

根据灾害系统理论,灾害一般被定义为由自然与人类活动共同作用引起的自然变异,超过一定限度时对人类和环境造成损害的现象或过程^[19]。灾害除了取决于自然灾害的危险性、孕灾环境及承灾体的脆弱性,还与防灾减灾能力密切相关。因而,灾害往往被认为是由致灾因子、孕灾环境和承灾体共同组成的复杂系统^[20],该系统包含自然与社会双重属性,两种属性相互影响、共同作用。抗御灾害的过程本质上就是对灾害的双重属性进行干预的过程,其目的是避免或减少灾害损失。

旱灾作为一种自然灾害,其演变过程既取决于气候极端事件、土地利用/覆被变化、地形地貌等自然因素,同时也与水利工程布局和调度运用、作物种植结构、社会经济发展等人类活动及社会要素有关,这两类因素共同构成了抗旱能力的范畴。因此,抗旱能力,应该从旱灾的双重属性两个方面进行定义或界定;同时,研究抗旱能力,也可借鉴其它领域关于能力的定义和描述。如水库的抗洪能力一般定义为:水库在某一蓄水水位下,能够完全防御或渡过某一量级(频率)洪水而不出现险情(不超过最高允许洪水水位)的能力^[21],由此可见,水库的抗洪能力与洪水量级大小相对应;在地震灾害研究中,建筑物抗震能力^[22]一般定义为:建筑物在其设防基本加速度对应的地震危险性环境下,抵抗该区域可能遭受地震破坏的能力,表明抗震能力与地震危险性及承灾体的易损性密切相关;在群落生态学中承载力的定义为:某一特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的配合),某种生物个体存在数量的最高极限^[23];水资源支撑持续发展能力论认为水资源承载能力是指在某一具体历史发展阶段,以可预见的技术、经济和社会水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性循环发展为条件,经过合理的优化配置,水资源对该地区社会经济发展的最大支撑能力^[24]。推广到各种自然资源的承载力,在概念上都强调自然资源对社会的最大支撑规模。

综上相关行业关于“能力”的定义可以看出,能力往往与灾害级别或量级大小联系在一起,同时也强调人类的抵御活动及最大程度的概念。兼顾以上两点要义,基于自然与社会双重属性,将抗旱能力定义为:一定区域范围,在某一具体的发展阶段下,以可预见的技术、社会经济发展水平为依据,人类为保证自身生存、维持正常生活生产秩序而具有的抗御某种程度干旱缺水影响的水平。抗旱能力包含三层要义:一是与旱灾大小或量级有关,表征发生某一程度干旱(或干旱频率)的抵御能力;二是人类为抵御、抗拒干旱缺水进行的所有抗御活动,同时强调抗旱的目标是减小因旱损失;三是人类所能承受干旱灾害的最大程度。

1.2 抗旱能力的内涵

(1) 自然-社会双重属性。

抗旱能力具有自然和社会双重属性,其中自然属性为水

资源系统满足社会经济活动的的能力,取决于天然来水条件、下垫面地形地貌、土壤特性等因素。社会属性则为人类社会积极抗御干旱缺水影响的能力,水利工程布局和调度运用、作物特性(如作物布局、耐旱性能)、社会经济发展水平、抗旱组织管理水平、生产技术及产业布局等因素从不同的层面影响干旱期间水资源的供给和需求,从而对抗旱能力产生一定的影响。

(2) 静态-动态两重性。

抗旱能力在一定程度上取决于水利工程(如蓄水工程)所能提供的水资源量,而工程在设计时本身具有一种蓄、供水容量(如水库的兴利库容大小),这种工程固有的容量表征了一种潜在的抗御干旱缺水的能力,以此代表其具有的静态抗旱能力,称为设计抗旱能力或潜在抗旱能力。但在实际抗旱活动中,抗旱水资源量不仅与水利工程容量有关,还与当时来水条件、工程蓄水状况及调度有关,这种根据当前水利工程蓄水状况或人类利用降雨径流预报、实施水利工程调度去防御或抗御某种程度(或频率)的干旱时,工程实际可调度水资源量的能力称之为实际或实时抗旱能力,即为动态抗旱能力。动态抗旱可分为两个层面,一是由当前水利工程的供水状况所表征的抗旱能力;二是由未来某一时期工程的实际蓄水状态、当时的来水过程及工程调度所能提供水资源量表征的抗旱能力。

显然,静态抗旱能力表示的是一种现状工程条件下的最大抗旱能力,而动态抗旱能力代表的是实际抗旱能力。极端的情况是:若工程的实际可用水量达到了其设计供水能力,则动态抗旱能力就等同于静态抗旱能力;若虽然具有一定的工程规模,但具体到某一干旱年份的时候可能无水可用,则动态抗旱能力即为 0。所以,如果将静态的抗旱能力设定为 1,则动态抗旱能力就是介于 $[0, 1]$ 之间的值。

(3) 广义-狭义属性。

由上可知,抗旱能力受自然、社会双重因素影响,且随着人类活动的不断加剧,其社会属性越来越强烈。因此,抗旱能力有广义和狭义之分,广义的抗旱能力综合考虑自然禀赋与人类抗御活动,由自然基础支持能力、水利工程保障能力、经济实力支撑能力、生产技术适应能力和抗旱减灾应急能力五部分构成,并以此为指标评价抗旱能力;而狭义的抗旱能力则侧重于人类抗御活动,以自然因素作背景,在同一干旱区划内评估人类抗御干旱缺水的能力。抗旱能力构成要素模式见图 1。

(4) 相对极限性。

受自然、社会经济条件的约束,在某一具体的发展阶段,区域的抗旱能力应维持在一定范围内,不可能无限制的增长,存在一个适宜抗旱能力区间。具体表现在两个方面:其一,受气候变化、土地利用/覆被变化及水资源条件的约束,一定区域范围内所能提供的抗旱水资源量是有限的;其二,受技术、经济和社会水平发展的约束,水利工程的建设、生产力水平及抗旱管理水平是相对有限的。

2 抗旱能力研究方法

2.1 基于构成要素的抗旱能力定性评估

抗旱是通过采取工程措施和非工程措施预防和减轻干

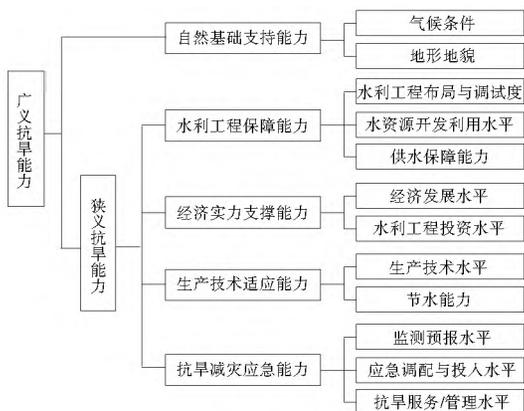


图1 “广义-狭义”抗旱能力构成要素

Fig. 1 Schematic diagram of the elements of "general special" drought resistance capacity

旱缺水对生活、生产和生态造成不利影响的的活动。根据抗旱对象的不同,抗旱能力可分为农业抗旱能力、城市抗旱能力和区域综合抗旱能力。基于构成要素的抗旱能力评估,其基本思路是通过分析不同抗旱对象抗旱能力的主要影响因素,构建不同抗旱对象的抗旱能力评估指标体系,并选择合适的评价方法或模型对抗旱能力进行综合评价。

2.1.1 抗旱能力评价指标体系构建

根据“广义-狭义”抗旱能力构成要素图(图1)及评价指标体系构建的原则^[21],构建评价指标体系。本文从抗旱能力社会属性方面筛选抗旱能力的主要影响因素,以区域抗旱能力为例(下同)构建区域综合抗旱能力评价指标体系(详见表1)。同理可建立农业抗旱能力、城市抗旱能力指标体系。

2.1.2 抗旱能力评价指标等级确定

鉴于抗旱能力地域间的差异性,将抗旱能力分为1~5级,分别代表弱(1级)、较弱(2级)、一般(3级)、较强(4级)、强(5级),各指标在每个等级中的边界条件(边界值)用正态分布求得,设定1~5级区间出现的概率分别为15%、20%、30%、20%和15%,则可用 $(\bar{X} - 1.04S)$ 、 $(\bar{X} - 0.39S)$ 、 $(\bar{X} + 0.39S)$ 、 $(\bar{X} + 1.04S)$ 4个分点值将各指标按指标值从小到大分为5个等级。本文根据全国各省市数据,初步确定区域综合抗旱能力评价指标等级划分标准,详见表2。

2.1.3 抗旱能力评估模型

目前,用于评价的方法有很多,如模糊数学法、灰色评价法等经典数学方法,或人工神经网络、遗传算法、支持向量机、云模型等智能模型方法。其中,基于模糊数学理论的模糊综合评判法^[26-28]应用较为广泛。本研究以采用模糊综合评判法评估抗旱能力为例,简述抗旱能力评估模型构建的基本思路。

(1) 模糊综合评判及权重确定。

构造隶属度函数,对模糊指标进行量化,通过综合各评价层各个单指标的模糊评判得到总目标层在评判集上的评判 Z ,即评价对象隶属于1~5级的隶属度值。其计算公式为:

$$Z = W \cdot R = (z_1, z_2, \dots, z_m) \quad (1)$$

式中:模糊关系矩阵 $R = \{r_{ij}\}_{n \times m}$ 称为模糊评判矩阵, $i = 1, 2, \dots, n$ 代表各评价层的指标个数, $j = 1, 2, \dots, m$,本文 $m = 5$ 代

表1 区域综合抗旱能力评价指标体系

Table 1 Evaluation indexes of the regional integrated drought resistance capacity

目标层	准则层	指标层	指标含义
水利工程	水利	单位耕地面积的工程供水量/ $(m^3 \cdot hm^{-2})$	工程现状总供水能力/耕地面积
		耕地灌溉率(%)	有效灌溉面积/耕地面积
		旱涝保收率(%)	旱涝保收面积/有效灌溉面积
		供水水源地抗旱天数	供水水源供水量/日需水量
		城市缺水率(%)	缺水量/需水量($P = 75\%$)
区域综合抗旱能力	经济实力	人均GDP/万元	GDP/人口总数
	用水水平	旱田百分比(%)	旱田面积/(旱田面积+水田面积)
		节水灌溉率(%)	节水灌溉面积/有效灌溉面积
		万元GDP用水量/ m^3	用水总量/GDP
	应急抗旱及管理	工业用水重复利用率(%)	工业重复利用水量/工业总用水量
再生水利用率(%)		再生水量/污水排放总量	
抗旱浇地率(%)		抗旱浇地面积/受旱面积	
		城市应急供水比(%)	应急水源供水能力/需水量($P = 75\%$)

表抗旱能力5级评判语(下同),其中, r_{ij} 表示第*i*个指标隶属于第*j*个评判语的可能性; W 为指标权重,考虑各评价因子对抗旱能力影响程度的不同,其权重也不同,可以采用主/客观赋权方法确定权重,如采用主观赋权层次分析法确定各评价指标的权重值^[29],分别给出不同指标层下各指标权重的推荐值和权重值的变幅区间,如表3所示。实际使用过程中,可结合当地实际情况按表中建议的权重区间值对指标权重做适当调整(如对于灌区,“水利工程”权重可在给定区间范围内取大于推荐值的值;“经济实力”权重与“应急抗旱及管理”权重可在推荐值范围内取小于推荐值的值),但须满足, $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ 以及同一准则层下各指标权重之和为1(如 $w_{11} + w_{12} + w_{13} = 1$)。

(2) 最大贴近度原则。

根据总目标层在评判集上的评判 Z ,设 $Z_k = \max_{1 \leq i \leq m} Z_i$,计算出 $\sum_{h=1}^{k-1} Z_h$ 及 $\sum_{h=k+1}^m Z_h$,其中, Z_h 为评价对象隶属于第*h*等级的隶属度值,按以下判别原则对抗旱能力等级进行评定:

若 $\sum_{h=1}^{k-1} Z_h \leq 0.5$ 且 $\sum_{h=k+1}^m Z_h \leq 0.5$,则按 Z_k 所属等级评定;

若 $\sum_{h=1}^{k-1} Z_h \geq 0.5$ 时,则按 Z_{k-1} 所属等级评定;

若 $\sum_{h=k+1}^m Z_h \geq 0.5$ 时,则按 Z_{k+1} 所属等级评定。

2.2 基于定义剖析的抗旱能力定量计算

抗旱能力定义中,“某一具体的发展阶段”体现的是水平年的概念,“维持正常生产、生活秩序”强调的是满足正常需水的概念,“某种程度干旱”体现了来水频率的概念,“抗御...

表 2 区域综合抗旱能力评价指标等级划分标准

Table 2 Classification standard of evaluation indexes of the regional integrated drought resistance capacity

目标层	准则层	指标层	等级划分标准				
			1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
区域综合抗旱能力	水利工程	单位耕地面积的工程供水量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	< 2 200	2 200~ 3 980	3 980~ 7 200	7 200~ 145 000	> 14 500
		耕地灌溉率(%)	< 27	27~ 52	52~ 77	77~ 90	> 90
		旱涝保收率(%)	< 21	21~ 30	30~ 51	51~ 65	> 65
		供水水源地抗旱天数	< 30	30~ 75	75~ 120	120~ 180	> 180
		城市缺水率(%)	> 20	20~ 15	15~ 5	5~ 1	< 1
	经济实力	人均 GDP/万元	< 0.87	0.87~ 1.50	1.50~ 2.90	2.90~ 4.50	> 4.50
		旱田百分比(%)	< 20	20~ 45	45~ 75	75~ 93	> 93
	用水水平	节水灌溉率(%)	< 13	13~ 24	24~ 40	40~ 53	> 53
		万元 GDP 用水量/ m^3	> 390	280~ 390	160~ 280	80~ 160	< 80
		工业用水重复利用率(%)	< 30	30~ 45	45~ 65	65~ 80	> 80
		再生水利用率(%)	< 5	5~ 7	7~ 10	10~ 12	> 12
	应急抗旱及管理	抗旱浇地率(%)	< 1	1~ 4	4~ 8	8~ 18	> 18
		城市应急供水比(%)	< 1	1~ 5	5~ 9	9~ 20	> 20

表 3 区域综合抗旱能力评价指标体系指标权重

Table 3 The weights of evaluation indexes of the regional integrated drought resistance capacity

目标层	准则层	权重		指标层	权重	
		推荐值	区间		推荐值	区间
区域综合抗旱能力	水利工程(w_1)	0.607	0.584~ 0.643	单位耕地面积的工程供水量(w_{11})	0.360	0.338~ 0.382
				耕地灌溉率(w_{12})	0.110	0.057~ 0.158
				旱涝保收率(w_{13})	0.041	0.031~ 0.063
				供水水源地抗旱天数(w_{14})	0.390	0.377~ 0.403
				城市缺水率(w_{15})	0.098	0.039~ 0.152
	经济实力(w_2)	0.233	0.208~ 0.255	区域人均 GDP(w_{21})	1.000	
	用水水平(w_3)	0.113	0.101~ 0.120	旱田百分比(w_{31})	0.300	0.116~ 0.456
				节水灌溉率(w_{32})	0.074	0.041~ 0.133
				万元 GDP 用水量(w_{33})	0.400	0.297~ 0.509
				工业用水重复利用率(w_{34})	0.156	0.076~ 0.240
	应急抗旱及管理(w_4)	0.047	0.041~ 0.055	再生水利用率(w_{35})	0.069	0.038~ 0.093
				抗旱浇地率(w_{41})	0.50	0.250~ 0.750
				城市应急供水比(w_{42})	0.50	0.250~ 0.750

缺水影响的水平”强调的是供水量的概念。同时,抗旱能力受水利工程建设及运行调度、经济社会发展水平、农作物种植结构及工业用水水平,抗旱服务组织等工程与非工程因素影响,但最终都可归结为干旱期间水利工程能够提供多少水量用于抗旱或提供的水量能否满足干旱期间的需水要求。抗旱能力定量计算应综合反映抗旱能力定义中包含的要义及抗旱能力的影响因素,因此,可以从水资源的角度,构造反映干旱期间供需平衡关系的变量——抗旱能力水平指数,以该指数数值大小或该指数等于 1 对应的最大来水频率间接反映研究区域的抗旱能力大小;同时,建立来水频率与干旱频率的关系,实现抗旱能力与干旱频率的对应关系描述。

2.2.1 抗旱能力水平指数计算公式

抗旱能力水平指数(Level Index of Drought Resistance Capacity,简称 L_{drc})定义为:某一水平年、不同干旱程度(或频率)下,干旱期间的可供水量与相应条件下应供水量的比值,即干旱期间的可供水量满足正常需水量的程度,以此反映抗旱能力大小。其表达式为:

$$L_{drc}(t, p) = \frac{\text{干旱期间可供水量 } S(t, p)}{\text{干旱期间应供水量 } W(t, p)} \quad (2)$$

式中: t 为评价水平年(包括现状水平年及中、远期规划水平年); p 为来水频率(反映干旱程度,下同);干旱期间可供水量 $S(t, p)$ 为 t 水平年 p 来水频率下,干旱期间水利工程提供的水量;干旱期间应供水量 $W(t, p)$ 是指 t 水平年 p 来水频率下,干旱期间维持正常生活、生产秩序所需的水量,包括生活、生产和生态需水量; $L_{drc}(t, p)$ 代表 t 水平年 p 来水频率下的抗旱能力,且 $L_{drc}(t, p) \in [0, 1]$,其数值越大表明抗旱能力越大。

2.2.2 抗旱能力水平指数计算

根据公式(2),抗旱能力水平指数的计算应分别确定干旱期间可供水量和干旱期间正常需水量。干旱期间可供水量的计算流程如下。

a.采用游程理论,划分干旱期,确定研究区域评价年份的干旱起止时间^[30-32],干旱期确定的示意图见图 2。

b.确定干旱开始时评价区域的可利用水量(如根据库水位计算出的蓄水量、根据河道流量确定的可引水量等)、干旱

期间的来水及需水过程,采用长系列法进行调节计算,确定干旱期内水利工程所能提供的水量。干旱期供水调节计算见图3。

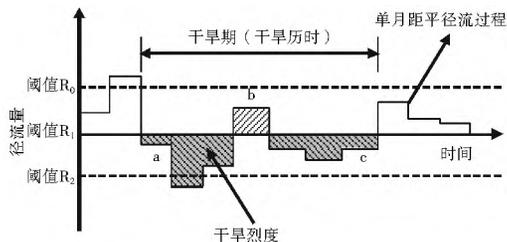


图2 干旱期识别确定示意

Fig. 2 Schematic diagram of the identification of drought period

干旱期间正常需水量需根据前述确定的干旱起止时间,综合考虑研究区域的评价水平年、干旱程度、社会经济发展需求、生态环境发展状况及用水对象的重要性,计算干旱期内各用水行业(或用户)的需水量。按照《全国水资源综合规划技术细则》中“新口径”的分类,一个区域的需水量分为生活需水、生产需水和生态需水三部分,通过确定用水定额、预测社会经济指标等,分别计算三部分的需水量并累加得到评价区域某一水平年和来水频率下的总需水量。

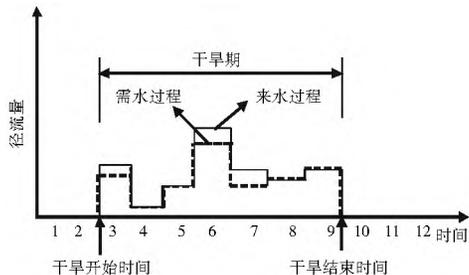


图3 干旱期供水调节计算示意

Fig. 3 Schematic diagram of the regulation calculation of water supply during the drought period

2.2.3 抗旱能力表述

当获得评价地区不同来水频率条件下的抗旱能力水平指数后,抗旱能力定量计算成果的表述可采用以下2种方式:(1)以抗旱能力水平指数 L_{dc} 值的大小来表征。即,指定某一来水频率(对应某一干旱频率)条件下,抗旱能力水平指数值越大,表明其抗旱能力越大,反之亦然;(2)以抗旱能力水平指数 L_{dc} 值等于1对应的最大来水频率来表征。即,该频率越大,表明其抗旱能力越大,反之亦然。表述方式(2)通过绘制来水频率-抗旱能力水平指数关系曲线,见图4;由抗旱能力水平指数等于1查该曲线,寻找对应的最大来水频率 P_M ,以此表征该地区的抗旱能力大小。同时, P_M 对应一个来水频率年,其可供水量可表征该地区以水量为表征指标的抗旱能力。

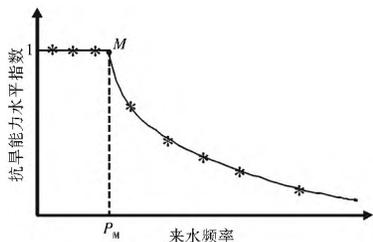


图4 来水频率与抗旱能力水平指数关系曲线

Fig. 4 The relationship curve between the inflow frequency and drought resistance capacity

2.2.4 抗旱能力与干旱频率关系描述

根据游程理论,由长系列设计月径流过程(对应不同来水频率,如50%、75%等)识别干旱过程,提取干旱特征变量(如图2中的干旱历时和干旱烈度),采用Copula方法^[31]计算不同来水频率年发生干旱的频率(或重现期)。绘制来水频率与干旱频率关系曲线,见图5。再由抗旱能力水平指数对应的最大来水频率 P_M ,查对应的干旱频率 $P_{频}$,以此表征该地区具有抵御 $P_{频}$ 频率干旱(或多少年一遇干旱)的能力。

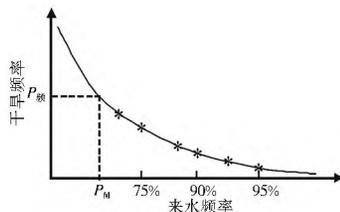


图5 来水频率-干旱频率对应关系曲线

Fig. 5 The relationship curve between the inflow frequency and drought frequency

3 结语

近年来,区域性干旱灾害在我国频率发生,对工农业生产和人民生活产生了巨大影响,抗旱能力是开展防旱抗旱战略研究的核心内容之一。本研究从抗旱能力的定义、内涵及其研究方法三个方面初步构建了一个较为系统、科学的抗旱能力理论研究框架,可为防旱抗旱战略研究及早灾风险管理提供理论依据及技术支持。

参考文献(References):

- [1] 鄂竟平. 推进单一抗旱向全面抗旱转变[J]. 中国水利, 2004, (6): 16-18. (E Jing ping. Promoting Single Drought Transition to Comprehensive Drought [J]. China Water Resources, 2004, (6): 16-18. (in Chinese))
- [2] White D. A. Integrated Climate Monitoring for Drought. Detection, Drought: A Global Assessment [C]. London & New York: Routledge, 2000, 145-158.
- [3] 闫桂霞. 综合气象干旱指数及其应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2009. (YAN Guixia. Study on the Integration Meteorological Drought Index and Its Application [D]. Nanjing: Hohai University, 2009. (in Chinese))
- [4] 闫宝伟, 郭生练, 肖义, 等. 基于两变量联合分布的干旱特征分析[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 237-242. (YAN Baowei, GUO Shenglian, XIAO Yi, et al. Analysis on Drought Characteristics Based on Bivariate Joint Distribution [J]. Arid Zone Research, 2007, 24(4): 237-242. (in Chinese))
- [5] Shiau J. T., R. Modarres. Copula based Drought Severity duration frequency Analysis in Iran [J]. Meteorol. Appl., 2009, 16: 481-489.
- [6] Wong G, Lambert MF, Leonard M, et al. Drought Analysis Using Trivariate Copulas Conditional on Climate States [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2010, 15(2): 129-141.
- [7] Songbai Song, Vijay P. Singh. Metrelliptical Copulas for Drought Frequency Analysis of Periodic Hydrologic Data [J]. Stoch Environ Res Risk Assess, 2010, 24: 425-444.
- [8] Mark Svoboda, Doug LeCompte, Mike Hayes, et al. The Drought Monitor [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83(8): 1181-1190.

- [9] 闫娜, 杜继稳, 李登科, 等. 干旱遥感监测方法研究应用进展[J]. 灾害学, 2008, 23(4): 117-121. (YAN Na, DU Jiwen, LI Dengke, et al. Progress in Research and Application of Drought Monitoring Method by Remote Sensing [J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(4): 117-121.)
- [10] Cody Knutson, Mike Hayes, Tom Phillips. How to Reduce Drought[M]. Risk Preparedness and Mitigation Working Group. 1998.
- [11] David Thompson, Roy Powell. Exceptional Circumstances Provision in Australia: Is There Too Much Emphasis on Drought[J]. Agricultural Systems, 1998, (57): 7469-7488.
- [12] 陈晓楠. 农业干旱灾害风险管理理论与技术[D]. 西安: 西安理工大学, 2008. (CHEN Xiaonan. Theory and Technology of Risk Management for Agricultural Drought Disaster[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [13] 王静爱, 商彦蕊, 苏筠, 等. 中国农业旱灾承灾体脆弱性诊断与区域可持续发展[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2005, 17(3): 130-136. (WANG Jingai, SHANG Yarrui, SU Yun, et al. A Vulnerability Diagnosis of Agricultural Drought Disasters and Regional Sustainable Development in China[J]. Journal of Beijing Normal University (Social Science Edition), 2005, 17(3): 130-136. (in Chinese))
- [14] 顾颖, 倪深海, 王会容. 中国农业抗旱能力综合评价[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 700-704. (GU Ying, NI Sheerhai, WANG Huirong. Comprehensive Evaluation on Ability of Coping with Agriculture Drought in China[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(5): 700-704. (in Chinese))
- [15] 杨奇勇, 冯发林, 巢礼义. 多目标决策的农业抗旱能力综合评价[J]. 灾害学, 2007, 22(2): 5-8. (YANG Qiyong, FENG Farlin, CHAO Liyi. Comprehensive Evaluation on Ability of Coping with Agriculture Drought by Using Multiobjective Decision[J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(2): 5-8. (in Chinese))
- [16] 刘迎春, 肖谦益. 湖南农业抗旱能力综合评价[J]. 云南地理环境研究, 2007, 19(4): 39-42, 57. (LIU Yingchun, XIAO Qianyi. Comprehensive Evaluation on Ability of Coping with Agriculture Drought in Yunnan[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2007, 19(4): 39-42, 57. (in Chinese))
- [17] 李树岩, 刘荣华, 成林, 等. 河南省农业综合抗旱能力分析与其区划[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1555-1560. (LI Shuyan, LIU Ronghua, CHENG Lin, et al. Comprehensive Agricultural Drought-resistant Capability of Henan Province: Analysis and Regionalization[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(8): 1555-1560. (in Chinese))
- [18] 邓伟杰, 金彦兆, 李莉. 甘肃省农业抗旱能力综合评价[J]. 人民长江, 2010, 41(12): 105-107. (DENG Weijie, JIN Yanzhao, LI Li. Comprehensive Evaluation on Agriculture Drought-resistance Ability of Gansu Province[J]. Yangtze River, 2010, 41(12): 105-107. (in Chinese))
- [19] 科技部国家计委国家经贸灾害综合研究组. 灾害·社会·减灾·发展: 中国百年自然灾害态势与 21 世纪减灾策略分析[M]. 北京: 气象出版社, 2000. (State Planning Commission and the State Economic and Trade Ministry of Science and Technology of Disaster Research Group. Disaster · Society · Disaster Reduction · Development: The Hundred Years of Natural Disasters Trend Analysis and Mitigation Strategies in the 21st Century in China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000. (in Chinese))
- [20] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1991, (11): 37-42. (SHI Peijun. Theory and Practice of Disaster Study [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1991, (11): 37-42. (in Chinese))
- [21] 长江流域规划办公室水文处. 水利工程实用水文水利计算[M]. 北京: 水利出版社, 1980. (Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. Water Conservancy Engineering Hydrology and Hydraulic Calculation [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1980. (in Chinese))
- [22] 林世斌. 建筑物抗震能力研究[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2010. (LIN Shibin. Study on Seismic Capacity of Buildings[D]. Haerbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2010. (in Chinese))
- [23] Manuel C. Molles Jr. Ecology: Concepts & Applications (Future Edition)[M]. New York: McGraw Hill High Education Press, 2008.
- [24] 张丽. 水资源承载能力与生态需水量理论及应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005. (ZHANG Li. Water Resources Carrying Capacity and Ecological Water Demand Theory and Its Application [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2005. (in Chinese))
- [25] 水利部水利水电规划设计总院. 中国抗旱战略研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (The Ministry of Water Resources and Hydropower Planning and Design. The China Drought Strategic Research [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))
- [26] 陈守煜. 水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005. (CHEN Shouyu. Theories and Methods of Variable Fuzzy Sets in Water Resources and Flood Control System [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2005. (in Chinese))
- [27] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. (CHEN Shouyu. Engineering Fuzzy Set Theory and Application [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998. (in Chinese))
- [28] 张中旺, 江华军, 李长安, 等. 南水北调中线工程核心水源区水安全模糊综合评价[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 16-21. (ZHANG Zhongwang, JIANG Hua jun, LI Chang an, et al. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Water Security in Central Water Source Area of Middle Route of South to North Water Transfer Project [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 16-21. (in Chinese))
- [29] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [30] Fleig A K, Tallaksen L M, Hisdal H, et al. A Global Evaluation of Streamflow Drought Characteristics [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2006, 10(4): 535-552.
- [31] 陆桂华, 闫桂霞, 吴志勇, 等. 基于 copula 函数的区域干旱分析方法[J]. 水科学进展, 2010, 21(2): 188-193. (LU Guihua, YAN Guixia, WU Zhiyong et al. Regional Drought Analysis Approach Based on Copula Function [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(2): 188-193. (in Chinese))
- [32] 徐春晓, 袁满晨, 金菊良, 等. 基于 Copula 的区域干旱空间分布特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2308-2313. (XU Chunxiao, YUAN Xiaochen, JIN Juliang, et al. Analysis of Characteristics of Spatial Distribution of Drought Based on Copula [J]. Resources Science, 2011, 33(12): 2308-2313. (in Chinese))
- [33] Shiau, J. T. Fitting Drought Duration and Severity with Two-dimensional Copulas [J]. Water Resources Management, 2006, 20: 795-815.