

文章编号:1001-4179(2013)07-0011-05

水文干旱指标研究进展综述

胡彩虹¹,王金星²,王艺璇¹,李勇¹

(1. 郑州大学 水利与环境学院,河南 郑州 450001; 2. 水利部 水文情报预报中心,北京 100053)

摘要:随着气候变化及其极端气候事件的频繁出现,对抗击干旱灾害的决策服务能力和管理水平提出了更高要求。在介绍干旱研究的背景、干旱基本状况及其分类的基础上,系统总结了国内外水文干旱指标及干旱预警等级的研究成果。分析了我国水文干旱研究存在的不足,以及将来可能的研究方向,建立了以反映机理分布式水文模型为主的一主多辅综合性水文干旱指标。分析表明,建立以旱限水位为干旱预警的全国干旱预警体系是今后的发展方向。

关键词:干旱;水文干旱指标;分布式水文模型;综述

中图分类号: P334.92 **文献标志码:** A

干旱灾害的影响面广、经济损失大,被认为是世界上最严重的自然灾害类型之一。我国干旱具有发生频率高、持续时间长、波及范围广的特点。历史上有记载的旱灾更是多不胜数,近年来,全国大多省份都发生过干旱,且旱灾损失呈增加趋势。即使是南方湿润地区,局部旱灾损失甚至大于洪灾。据不完全统计,进入21世纪后,全国年平均旱灾成灾率超过50%,与20世纪相比有不同程度的增加。近年来的干旱事件呈现持续增长和灾害强度增强的趋势。在全球变暖的背景下,水循环过程加速,将可能引起区域性气候以及极端事件的变化,降水时空格局及其结构将发生显著变化,也进一步加重了干旱发生的风险,给我国日益严峻的水资源供需矛盾增加新的危机。

干旱发展缓慢、发生频繁、影响范围广且复杂、灾害损失严重,且起始和结束的标志相对模糊。因此,至今没有能让人普遍接受认可的干旱定义。在不同的地区和行业,不同人群对于干旱有不同的理解,有关干旱的定义多达几十种。现今,人们普遍接受的干旱定义认为:干旱是在某地理范围内,因为降水在一定时间段持续偏离正常状态导致水源短缺,对经济社会活动和生态环境造成影响的自然现象^[1]。美国气象学会在总

结众多干旱定义基础上,将干旱分为4种类型:气象干旱(由降水和蒸发不平衡所造成的水分短缺现象)、农业干旱(以土壤含水量和植物生长形态为特征,反映土壤含水量低于植物需水量的程度)、水文干旱(河川径流低于其正常值或含水层水位降落的现象)和社会经济干旱(在自然系统和人类社会系统中,由于水分短缺影响生产、消费等社会经济活动的现象)^[2]。这种分类方法也已基本达成共识。对于4种干旱类型,从发生的时间次序上讲,依次是气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱;而从复杂程度方面看,次序则是气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱。目前,国内外有关气象干旱和农业干旱研究较多,其次是水文干旱,而社会经济干旱研究最少。但是,水文干旱是联系气象干旱、农业干旱和社会经济干旱的纽带。尽管我国已做了大量的抗旱预案和研究工作,但由于干旱的致灾机理及过程相对复杂,至今仍未找到能够客观全面评估干旱影响及早灾损失的指标。而且,干旱等级划分、预警指标等还不够明确和完善,缺乏针对性。因此,本文在总结现阶段各类干旱指标意义的基础上,重点阐述了水文干旱指标在国内外的应用进展,并在最后提出了研究展望。

收稿日期:2013-01-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51079131);国家“十二五”科技支撑计划(2012BAB02B04-07)

作者简介:胡彩虹,女,教授,博士,主要从事水文学及水资源方面的教学和科研工作。E-mail:hucaihong@zzu.edu.cn

通讯作者:王金星,男,高级工程师,博士,主要从事水文学方面的科研和管理工作。E-mail:jxwang1976@foxmail.com

1 常用干旱评估指标综述

对于干旱灾害真正引起重视并深入研究还是在 20 世纪 60 年代末以后。2012 IPCC《管理极端事件和灾害风险,推进气候变化适应特别报告》对干旱再次明确了定义^[3],即“由于长期的非正常干燥天气而导致的水量严重不平衡的现象”,同时指出,干旱是个相对概念,由于降雨减少所导致的影响不同,干旱的形成原因复杂,影响因素众多,包括气象、水文、地质地貌、植被分布和人类活动等。由于干旱自身的复杂特性和对社会影响的广泛性,众多的研究是针对不同干旱类型进行的,干旱指标都是建立在特定的地域和时间范围内,并有其相应的时空尺度。气象干旱是一种纯粹的气候异常现象,而农业、水文和经济社会干旱更多的是强调干旱会对人类活动造成影响,这 4 类干旱相互关联且各具特色,通常气象干旱的发生更为频繁,农业、水文和经济社会干旱滞后于气象干旱。一般来说,降水显著减少数周之后,土壤和作物的水分短缺才开始表现出来;河流、水库、湖泊和地下水水位所受到的影响有时会在更长时间后才逐渐显现出来。因此,不同的干旱种类采用不同的评价指标,目前常用的各类干旱评估指标见表 1^[4-8]。由表 1 可见,气象干旱指标最多,降雨是计算干旱指数的主要气象变量,其次是用于衡量蒸发作用强弱的相关变量。因此,气象指标多由降雨和气温构成的指标。区别于气象干旱,农业干旱指标更多的是关注反映作物不同生长期的供需水关系及土壤墒情特征等,多与降雨及土壤作物相关。水文干旱多为反映径流或供水大小的,主要为以径流量为基础的干旱指数。社会经济干旱指标多为以社会损失为主的指标。从这些可以看出,目前的指标多为单一性指标,且多为建立在特定的地域或时间范围内,缺乏机理性指标。

表 1 常用干旱评估指标分类

干旱分类	概念	评估指标
气象	由降水和蒸发不平衡所造成的水分短缺现象	综合气象干旱指数(CI)、降水距平百分率(Pa)、相对湿度指数(M)、标准化降水指标(SPI)、帕默尔干旱指数(PDSI)、Munger's 指数、Marcoritch's 指数、干燥度指标、旬干燥度指标、先前降水指数
农业	以土壤含水量和植物生长形态为特征,反映土壤含水量低于植物需水量的程度	降水量、土壤含水量、作物旱情、作物需水、综合指标、作物水分
水文	河川径流低于其正常值或含水层水位降落的现象	径流距平指数、地表供水指数、游程理论
社会经济	由于水分短缺影响生产、消费等社会经济活动的现象	缺水损失、社会缺水指数(SWSI)

2 水文干旱研究及进展

干旱指标是旱情监测和评估的基本参数,是干旱管理决策的基础。R. Linsley 等把水文干旱定义为:“某一给定的水资源管理系统下,河川径流在一定时期内满足不了供水需要”^[9]。水文干旱指标主要体现了降水和水资源收支不平衡时造成的水分亏缺程度,开始是以河川径流量为研究对象,以时间尺度(时段、日、旬、月或季等)的平均径流量小于某临界值来定义干旱。目前,对水文干旱的研究多集中在干旱的识别、干旱指标及其预警等级划分上。

2.1 水文干旱指标研究

供水水分在完成下垫面全部物理过程后,最终主要以径流的形式体现,因此,以径流量为干旱指标的水文干旱被认为是最彻底的干旱,更能全面反映整个区域内的干旱情况。所以丁晶用符合 P-III 型分布的负轮长统计特性对中国主要河流 177 个站的干旱特性作了统计分析^[10]。以年径流量序列的负轮长(以多年平均值为切割水平)作为水文干旱现象的定量指标,便于应用和综合归纳。但平均负轮长的分布具有较明显的区域差异,在具体应用时应予充分注意。1999 年,冯平和朱元姓考虑供水系统对径流过程的调节作用以及水文干旱的开始与结束时间干旱程度指标 RDSI, RDSI 绝对值越大,干旱程度越严重^[11]。G. Tsakiris 等利用 RDSI 对干旱进行多尺度分析,该指数可以避免 SPI(标准化降水)指数不考虑蒸散发因素的弊端^[12-13]。2000 年,王劲松和冯建英对流量进行正态化处理,构造了以 Z 为变量的适合于灌溉应用的径流量干旱指数,对于内陆河灌溉的河西地区农业生产来说,具有明确的意义^[14]。

随着对干旱研究的深入,大多数干旱指标虽然已经可以用于各种流域,仍有一些研究者认为,单一的干旱指数并不能充分反映当地复杂的干旱现象,因此多运用多个干旱指标或将干旱指数聚合的方法进行研究。如在 2004 年建议的 ADI(Aggregated Drought Index)指数^[15],它是将不同的干旱类型(气象、水文和农业干旱)的物理形式相结合,利用正态分布得出未来的干、湿状况和时间。2004 年,康玲玲等结合径流变化趋势,以降水、气温为基本因子,建立了包含有气象干旱和水文干旱含义的干旱定义和计算公式,但计算式中以权重校核指标使其具有一定的局限性^[16];2009 年张波等根据降雨量、流量及蒸发量的资料,构造了综合干旱指标,并以指标函数值对旱情进行分级,以等级来反映旱情的严重程度,实例应用旱情情况符合度为

60.8%^[17]。

现在正在发展中的标准化径流指数(Standardized Runoff Index, SRI)和水流干旱指数(Streamflow Drought Index, SDI),是由 S. Shukla 和 A. W. Wood 于 2008 年提出的水文干旱指数,它的确定类似于 SPI 指数,在计算时只需输入 30 a 的月降雨量数据序列^[18]。该指数能很好地反映由于季节变化引起水的滞后而导致干旱时间发生变化的问题,但无法标识频率发生地区。两指标的差别在于 SDI 是采用观测径流数据进行判别, SRI 指标还可以用来进行预测水文干旱,但 SRI 由于采用水文模型模拟得到的径流数据进行判别,存在模型的率定和检验问题,需要长序列降雨量数据才能保证计算的准确度,两指标均能反映流域水文特征,可以计算不同时间尺度的水文干旱情况,也能反映由于季节变化引起的滞后而导致干旱事件变化的情况。I. W. Jung 等以 GCM 模型和 GHG(温室气体排放)为基础,通过 SRI 和 SPI 指数建立极端干旱频率变化的空间模型^[19],该模型可以判断威拉米特河谷地区有相对较高的干旱漏洞(热点),高瀑布地区有较低的干旱风险(冷点),同时得出空间模式的干旱频率变化可能会受干旱指数选择的影响。这表明选择正确干旱指数对干旱状况的研究将是至关重要的。L. Liu 等在 2011 年提出的 SFI 指数(Standardized Flow Index), S. M. Vicente-Serrano 于 2012 年提出的标准流量指数(Standardized Streamflow Index, SSI)都是以径流资料为基础,分别利用不同的频率分布来分析区域的干旱状况^[20-21]。

随着遥感技术的发展, F. N. Kogan 于 1995 年在此基础上提出了植被状态指数(Vegetation Condition Index, VCI),该指数可以很好地反映植被含水量的状况,并且还可以识别水文干旱的起因、强度持续时间以及影响^[22]。现在利用遥感和 GIS 技术来计算径流指数,可以更精确、更简单地判别区域干旱程度以及空间分布。Richard 从美国干旱指数的评价中总结了两个水文干旱指标:① 地表供水指数(SWSI),是 1981 年为美国克罗拉多州开发的经验水文指数。R. A. Wilhite 等指出经验水文指数作为地表水状况的度量^[23],弥补了 Palmer 指数未考虑降雪、水库蓄水、流量以及高地形降水情况的不足。由于 SWSI 指数对评估(和预测)地表供水状况非常有用, D. C. Doesken 等指出下列几个值得关注的问题,包括地表供水的定义缺乏一致性;权重因子随区域不同而变,有些情况下,还随月份而变,导致 SWSI 具有不同的统计特性;美国西部河谷盆地特有的水文气候差异导致 SWSI 在不同的地方和时间并非总具有相同的意义^[24]。② 利用长期平均

的年径流量资料,提出了发生水文干旱事件的随机模式,用它进行区域干旱频率分析。

对于水文干旱,研究较多的是水文干旱的概率问题,将水文干旱的发生看作一种随机事件,利用随机理论方法分析研究,如游程理论^[25]、Copula 等。V. Yevjevich 应用过程统计理论分析干旱事件,指出大陆尺度的水文干旱应该用持续时间、面积范围、强度、再现概率、开始或结束的时间来描述^[26]。H. Lankeswara 等采用 ARMA 模型生成径流系列进行多年水文干旱模拟,得到了水文干旱历时与烈度的统计分布规律^[27]。冯国章分别采用解析法和试验法,对极限水文干旱历时的概率分布做了分析^[28]。王文胜应用内插方法,分别采用不同的干旱截断水平分析了河川径流水文干旱的历时、烈度和条件概率等特征^[29]。朱延举等运用随机模拟的方法生成研究区多个代表站的长期径流序列,作为径流样本的一个近似,在对于干旱年份模糊识别的基础上,统计连续枯水段的发生规律,揭示了研究区的水文干旱特征^[30]。Copula 理论为多变量的区域水文干旱频率分析提供了途径^[31],利用它可建立多个具有任意分布变量之间的联合分布,突破对变量分布硬性假设的束缚。目前,不同种类的 Copula 函数,以及多种变量的联合概率分析已在区域干旱频率研究中有所应用,并取得一定进展。J. T. Shiau 以指数分布和伽玛分布分别拟合干旱历时和干旱烈度的边际分布,并用极大似然法估计分布函数,采用二维 Copula 函数表征两者相关结构,构建了干旱二变量概率模型,并在此基础上求出联合概率和二变量重现期,并应用于台湾地区^[32]。其后又将黄河水文干旱中干旱历时和干旱烈度的联合概率分布,应用于黄河地区^[33]。G. Wong 等根据南方涛动指数,将降雨分为厄尔尼诺、平水期和拉尼娜 3 种情况,研究干旱最大强度、干旱历时和烈度的三变量关系,并运用到新南威尔士雨区和澳大利亚大分水岭西部^[34]。袁超利用游程理论、极值理论以及随机理论,基于 Copula 函数,建立水文干旱二变量概率模型,并用泾河和北洛河的月径流资料对其做了检验^[35]。

以上研究方法直接或间接反映了水文干旱的特征及其规律,虽然所有指标各具特色,但同时也存在着区域局限性,所以应结合当地水文特性,选择不同的指标才能准确地分析干旱情况,从而做好干旱预警工作。

2.2 干旱预警等级划分

通过对水文干旱指标以及水文干旱频率的研究,进而深入了解水文干旱的历时、重现期等情况,并定出相关干旱预警等级,可为抗旱减灾工作提供有力的科技支撑。我国目前干旱预警的等级划分主要根据是

《气象干旱等级》和水利行业标准《旱情等级标准》。我国干旱预警等级按照灾害严重性和紧急程度,分为特大干旱(Ⅰ级)、重旱(Ⅱ级)、中旱(Ⅲ级)和轻旱(Ⅳ级)4级,分别用红色、橙色、黄色和蓝色表示。而这些等级主要根据气象干旱指标进行划分的。由于目前水利与防汛抗旱部门没有完全掌握水文干旱指标所需的多种动态监测数据,所以基本上没有应用水文干旱指标来进行干旱预警等级划分,只是在气象干旱指标的基础上,稍加考虑水文要素。

国外水文干旱预警多以可用水量或流量作为预警等级划分依据,各国的旱情等级划分见表2。美国地质调查局(USGS)对境内有30 a(及以上)系列的监测站点,采取一定时间的平均流量在历史同期统计系列中的百分位数进行判断,水文干旱等级分为4级。加拿大在干旱监测与预警系统(CDAMP)中,将可用水量与正常蓄水量距平的比例设为5个等级,并匹配可能采取的保护措施。西班牙依据水文模拟,将河道内的水文干旱划分为4个等级。前南斯拉夫水文气象中心在萨瓦河建立了水文干旱评价指数。该指数是以最小30 d平均流量为系列(1945~2006年),进行频率分析后,按照不同保证率将水文干旱警报分为3级。

表2 各国水文干旱预警等级划分

美国 USGS 水文干旱等级划分		加拿大 CDAMP 可用水量与正常 蓄水量距平比例		西班牙 河道内 水文 干旱 等级	前南斯拉夫萨格勒布市 水文干旱评价指数		
级别	范围/ %	干旱 程度	级别	偏少 程度/%	级别	干旱程度	对应阈值
D1	10~20	中度	1级(绿色)	5	正常	Ⅰ 预警	$Q_{30} 65\% = 663 \text{ m}^3/\text{s}$
D2	5~10	重度	2级(黄色)	10	预警	Ⅱ 警报	$Q_{30} 80\% = 250 \text{ m}^3/\text{s}$
D3	2~5	极度	3级(橙色)	20	警报	Ⅲ 警报	$Q_{30} 95\% = 200 \text{ m}^3/\text{s}$
D4	0~2	异常	4级(红色)	30	紧急	-	-
-	-	-	5级(黑色)	50	-	-	-

目前,我国干旱预警等级研究主要集中在江河湖泊方面。现阶段只有航运管理部门开展了江河湖泊枯水预警,一般以水深作为预警指标,适用于枯水期航道管理和航运调度,对于水利部门抗旱指挥决策和水资源管理作用不大,需要研究制定与其相适应的江河湖泊枯水预警等级体系。闵騫和闵聘针对鄱阳湖区特点,采用鄱阳湖枯水位作为水文干旱指标划分鄱阳湖历年水文干旱等级,并从土壤墒情、地下水位、江湖水位与流量3个方面建立干旱水文预警指标体系^[36],江河湖泊枯水警戒水位或流量与抗旱保证水位或流量的设置综合考虑了江河湖枯水形势。2011年12月国家防汛抗旱总指挥部发布《关于开展旱限水位(流量)确定工作的通知》,指出旱限水位(流量)指江河湖库水位

持续偏低,流量持续偏少,影响城乡生活、工农业生产、生态环境等用水安全,应采取抗旱措施的水位(流量)。实际需水作为干旱研究的截断水平,对两种情况下的水文干旱进行分析研究:①天然的径流系列;②供水系统径流调节下的径流系列。这是确定江河湖库干旱预警等级的重要指标,也是启动抗旱应急响应级别的重要依据。该通知统一了旱限水位(流量)的确定方法,推进完善全国江河湖库干旱预警。但是,该办法仅是采取外包线的方式确定唯一的旱限水位(流量),与防汛抗旱的4级响应不匹配。同时,该办法只是通过用水需求制定的指标,没有考虑江河来水的季节性变化规律。

3 总结与展望

在今后的研究中,有待建立一主多辅的综合性水文干旱指标,即建立包含明确的物理机制,考虑降水、蒸散发、径流、渗透、土壤特性及地下水等因素的,能反映水文干旱形成机制及其整体现象的指标。考虑到,水文干旱研究偏重于天然条件下水文干旱的要素及过程特征,较少考虑人类活动对水文过程的影响。分布式水文模型能更准确描述水文过程的机理,并能有效地利用GIS和RS提供的大量空间信息。因此,水文干旱与GIS相结合还有很大的研究空间,还有诸多的研究方向等待着进一步发展完善。在对干旱进行分类研究分析的基础上,可以将水文干旱与农业干旱或是与社会经济干旱相结合研究,提出有效实用的综合性干旱指标,反映干旱状况,从而减少结果的不确定性。

在干旱预警等级方面,我国主要以气象干旱指标进行划分的,现有气象、农业、水文和经济等行业干旱预警标准尚未建立。因此,以我国气象基本业务平台为基础,联合农牧业、水利等部门,建立以旱限水位为干旱预警的全国干旱预警体系是今后干旱研究的发展方向和目标。

参考文献:

- [1] ISDR. Drought Risk Reduction Frame Work and Practices[R]. New York: United Nations, 2007.
- [2] American Meteorological Society. Meteorological drought policy statement[J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1997, (78): 847-849.
- [3] IPCC. 管理极端事件和灾害风险,推进气候变化适应特别报告[R]. [S. l.]: IPCC, 2012.
- [4] 冯平,李绍飞,王仲珏. 干旱识别与分析指标综述[J]. 中国农村水利水电, 2002, (7): 13-15.
- [5] 袁文平,周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991.
- [6] 王劲松,郭江勇,周跃武,等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 60-65.

- [7] 喻朝庆. 国际干旱管理进展简述及对我国的借鉴意义[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2009, 7(2): 312-319.
- [8] 张俊, 陈桂亚, 杨大文. 国内外干旱研究进展综述[J]. 人民长江, 2011, 42(10): 65-69.
- [9] Linsley R, Kohler M, Paulhus J. Hydrology for Engineers (third edition) [M]. New York: McGraw-Hill, 1982.
- [10] 丁晶. 中国主要河流干旱特性的统计分析[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 374-381.
- [11] 冯平, 朱元姓. 供水系统水文干旱的识别[J]. 水利学报, 1997, (11): 71-76.
- [12] Tsakiris G. Uni-dimension analysis of droughts form management decisions[J]. European Water, 2008, 23(24): 3-11.
- [13] Tsakiris G, Pangalou D, Vangelis H. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI) [J]. Water Resour. Manag., 2007, (21): 821-833.
- [14] 王劲松, 冯建英. 甘肃省河西地区径流量干旱指数探讨[J]. 气象, 2000, 26(6): 3-7.
- [15] Sun L, Mitchell S W, Davidson A. Multiple drought indices for agricultural drought risk assessment on the Canadian prairies[J]. Int J Climatol, 2011, doi: 10. 1002/joc. 2385.
- [16] 康玲玲, 张亚民, 王玲玲, 等. 黄河中游干旱指数计算方法探讨[J]. 人民黄河, 2004, 26(8): 31-33.
- [17] 张波, 陈润, 张宇. 旱情评价综合指标研究[J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 21-24.
- [18] Shukla S, Wood A W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought[J]. Geophysical Research Letters, 2008, (35): 41-46.
- [19] Liu L, Yang H, Christopher N, et al. Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma [J]. Springer, 2012, (26): 2761-2779.
- [20] Li W, Kerry Lee R, Joanne L, et al. The impacts of river regulation and water diversion on the hydrological droughts characteristics in the Lower Murrumbidgee River, Australia [J]. Journal of Hydrology, 2011, (405): 382-391.
- [21] Vicente-Serrano SM, López-Moreno JJ, Beguería S, et al. Accurate computation of a streamflow drought index[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2012, (17): 318-332.
- [22] Quiring S M, Ganesh S. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas [J]. Agric. For Meteorol., 2010, (150): 330-339.
- [23] Garen D C. Revised surface water supply index for western United States [J]. Water Resour. Plan. Manage, 1993, (119): 437-454.
- [24] Doesken N J, Garen D. Drought monitoring in the western United States using a surface water supply index [J]. Amer. Meteor. Soc., 1991, (121): 266-269.
- [25] Mohan S, Rangacharya N C. A modified method for drought identification [J]. Hydrological Sciences Journal, 1991, 36(1): 11-22.
- [26] Yevjevich V. Stochastic Processes in hydrology [M]. Fort Collins: Water resources Publication, 1972.
- [27] Lankeswara H, Golub E. Multiyear drought simulation [J]. Water Resource Bulletin, 1991, 27(3): 387-395.
- [28] 冯国章. 极限水文干旱历时概率分布的解析与模拟研究[J]. 地理学报, 1994, 49(5): 457-464.
- [29] 王文胜. 河川径流水文干旱分析[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(2): 184-187.
- [30] 闵骞, 占腊生. 洪枯水预警等级设置方式探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2011, 21(3): 35-37.
- [31] 周玉良, 袁满晨, 金菊良, 等. 基于 Copula 的区域水文干旱频率分析[J]. 地理科学, 2011, 1(11): 1383-1388.
- [32] Shiau JT. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas [J]. Water Resources Management, 2006, 27(2): 55-57.
- [33] Shiau JT, Feng S, Nadarajah S. Assessment of hydrological droughts for the Yellow River, China, using copulas [J]. Hydrological Processes, 2007, 21(16): 2157-2163.
- [34] Wong G, Lambert MF, Leonard M, et al. Drought analysis using trivariate copulas conditional on climatic states [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2010, (15): 129.
- [35] 袁超. 渭河流域主要河流水文干旱特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [36] 闵骞, 闵聃. 鄱阳湖区干旱演变特征与水文防旱对策[J]. 水文, 2010, 30(1): 84-88.

(编辑:李慧)

Review on research of hydrological drought index

HU Caihong¹, WANG Jinxing², WANG Yixuan¹, LI Yong¹

(1. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Hydrological Forecast Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: With the climate change and frequent occurrence of extreme weather events, high demands required for decision-making service and management ability in drought fighting are proposed. By introducing the research background, basic condition and its classification of drought, the research progress of hydrological drought index and drought warning level at home and abroad are systematically summarized. The development and possible direction of hydrological drought index research are discussed on the basis of summarizing the weakness of drought index research in China. It is pointed out that comprehensive hydrological drought index mainly based on distributed hydrological model with other models as supplement, and the national drought warning system with drought limit water level as drought warning level are the future development direction for drought research.

Key words: drought; hydrological drought index; distributed hydrological model; summary