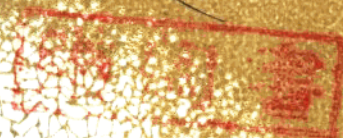


水利水电译文丛书之七

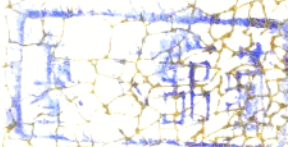
938009



1/2



水文干旱研究译文集



能源部
水利部

水利水电西北勘测设计院

编



出版前言

干旱和洪水是人类生存密切相关的两类自然灾害，对于社会安定和经济发展关系极大。兴利除害，减轻水旱灾害损失是我们水利部门的主要职责。虽然人们早已认识到干旱和洪水发生的危害，但是，由于洪水的突发性，直接影响人民的生命财产的安全，因而容易引起重视。因此，洪水的研究远比干旱研究深入。近年来，由于全球性的气候变化，干旱的发生趋于频繁，特别是在水资源紧缺地区，干旱严重威胁着工农业生产的发展，给人民生活带来了不可低估的困难。因此，干旱问题已为世界各国所重视，并进行了广泛的研究。我国地域辽阔，地理形势特殊，历史上一直存在着南涝北旱的现象。陕西、甘肃、宁夏、青海、内蒙、山西等省区以及河北、辽宁等省部分地区都属于干旱半干旱地区，即使东南沿海历史上也发生过多次旱灾。我国劳动人民在与干旱的长期斗争中积累了丰富的经验，但对于干旱现象的科学和系统的研究起步较晚。我国水文界从五十年代开始在历史旱涝规律分析方面做了许多工作，七十至八十年代，在西北地区召开了几次干旱学术讨论会，促进了干旱研究的继续和深入。我国正在编写的《中国水旱灾害》专著，说明了对干旱研究的重视。干旱研究的国际性合作也正在进行，1991年9月在美国阿利桑那州召开的中美《干旱及干旱区水文》学术讨论会，必将促进我国干旱水文的研究。为了借鉴国外干旱研究的成果，提高广大水文工作者对干旱研究的水平，进一步推动我国干旱研究工作，我们根据谭维炎同志带领的中国干旱考察组于1990年9、10月赴美考察搜集的有关干旱研究的文献，经有关同志仔细挑选，组织翻译出版了《水文干旱研究》译文集。供从事水利、水电、农业等部门工程技术人员和科研人员参考。

本译文集由向世武、孙汉贤主编，刘琦凤责任编辑、杨百银、杨超等同志参与编辑。在本译文集的选题、译校、编辑出版过程中，受到石瑞芳院长、王维弟高级工程师和谭维炎研究员的热情支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于水平所限，疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正。

西北勘测设计院情报室

一九九一年

2AC12/07

他山之石，可以攻玉

—代序—

1990年9、10月间，由谭维炎带队的中国干旱考察小组，赴美进行了系统的考察，并搜集了很多有关干旱的文献。由于我国西北地处干旱，我院对此深感兴趣，经协商和挑选，组织翻译出版了这本译文集。我有幸先睹为快，读后感到颇有收获。首先是对水文干旱的研究，在水文研究中比较薄弱，国内尤其如此；其次，选译的这些文献，许多是最新研究成果，还摘译了一些重要著作。其中值得我们借鉴的东西不少，所谓“他山之石，可以攻玉”相信读者对此是会感兴趣的。

这次所选的文献，以水文干旱为主，旁及干旱的其他方面。按其性质，粗略地分为5大类，共23篇。本文略谈一点读后感想，为抛砖引玉之举。

首先是关于干旱的定义问题。由于涉及自然现象、人类活动和社会经济等诸多方面，要下一个确切的定义是不容易的。事实上迄今也还没有一个公认的统一定义，而已有的定义，都明确地带有学科的性质，即根据各个学科的特点，对干旱给出定义。例如，已见诸文献的有水文干旱、气象干旱、农业干旱、有的文献还增列了气候干旱、大气干旱以及用水管理干旱、社会经济干旱，等等，但以前三种分类比较通用。在本文集中，则以水文干旱为重点。译文集中M·A·拜伦等的《水文干旱概论》对此给予了详细的阐述。

关于干旱指标（指数），国际上也有多种表达方式，其中最著名和应用最广的有帕尔默干旱烈度指标PDSI。译文集中有不少论文提到这一指标，其中W·M·阿莱的论文，不仅详细介绍PDSI的计算方法，而且还作了评述，指出了方法的优点及其存在的局限性。方法的优点在于用水量平衡原理，考虑了降水、蒸发、土壤水补给，损失以及当地气候上的适宜水量等各种因素，是一个综合性很强的指标，但也正因如此，它对有的因素，如对径流的考虑，不免过于粗略。目前，国内正在进行全国和各大流域以及省区的水旱灾害分析，对干旱指标的选用或制定，具有重要的参考意义。

关于干旱影响评价问题。干旱影响问题，以其与自然现象、经济活动、社会情况各方面的因素密切联系，变的非常复杂。干旱影响评价已逐渐发展成为一门专门技术。译文集中选译了几篇有关文献，从中可以略窥梗概。M·L·帕里等人的论文对此作了系统的阐述：在概念结构分类中，介绍了干旱影响的方式和各因素相互作用的模型。在综合影响评价中，引入了分层模型，在横向上分为农业影响、工业影响和服务机构影响，而在纵向上又分为生物物理、企业部门、地区以及全国等各种层次，是一个相当复杂的系统。论文还列举了干旱评价的一些技术问题，例如，在估计生物物理的气候响应时，有三类模型：第一类是建立农业气候资源与气候的关系，将气象变量化为农业气候指标；第二类是经验——统计性的，如各种因素的回归分析；第三类是模拟性的，用于评价植物对气候的敏感性。干旱评价的最后一部分工作是为减轻干旱灾害而进行的对调节和适应提出的措施，可供政府部门决策时参考。在W·E·埃

斯台令等人的论文中,着重阐述了供水系统对干旱的敏感性分析,并列出了实例,对调节的作用进行了分析。这些论文对当前我国进行的水旱灾害分析,可以起到很好的参考作用。

水文干旱分析计算,在本文集中占有重要的位置。有两篇文章对枯水流量的研究方法,作了详尽的介绍,(M·A·拜伦,1985;H·C·黑格尔,1972)包括资料搜集、系列延长、统计分布特征,频率曲线的线型选择以及绘点公式的比较等项内容。从中还可以看到,除对年径流进行分析外,有的国家还整编了许多河流不同历时(1,3,7……180天)的枯水流量系列,进行频率分析计算。这种作法值得提倡,因不同的水利水电工程,对设计枯水历时的要求是不同的。对年径流系列的延长,除传统采用的野外调查和历史文献考证外,利用树木年轮延长系列的做法引人注目。美国亚利桑那大学建有树木年轮研究所,对树木年轮与降水丰枯的关系,有深入的研究,例如曾据以重建了美国西部大平原338年的干旱历史,可谓独树一帜(D·M·梅科)。文集中还着重翻译了对超长历时干旱持续研究的文献。由联合国教科文组织负责并由M·A·拜伦等主笔对干旱持续问题所做的总结性报告,详细阐述了不同学派间长期进行的争论以及倾向性意见,读来饶有兴趣。一些较新的研究成果,如轮次理论、赫斯特现象以及随机模拟技术等最新发展及其应用,很有启发作用。结合我们的工作实践,关于黄河上游1922~1932年连续枯水段的定量频率分析,是长期未获得解决的一个问题。近两年来,我们利用随机模拟技术,做出了不同干旱持续长度($n=1, 3, 5, 8, 11, 15$ 年)的频率分析成果,为进一步改进龙羊峡水电站的水库和水能设计提供了一种可能性。初步成果显示,1922~1932连续11年的枯水段平均流量,约为1000年一遇,并论证了这一成果的可信性。我们有趣地看到,译文集中有一篇D·戈德曼的关于干旱分析的论文,他应用了随机模拟技术,分析了奥斯维加河西支的干旱概率,其中连续10年枯水的概率约500年一遇,可以和我们的成果相互印证。这不仅表明了随机模拟技术在分析超长期干旱持续问题上的重要作用,而且还显示了在水文系列中偶而出现的超长期持续的干旱,其重现期远较观测年限为大,而采用观测长度作为设计的重现期,是过分偏于保守了。附带指出,对随机模拟技术,也有不同的看法,译文集中V·克莱姆斯的论文就是一例。我们认为在学术上存在不同论点,不仅是正常的,而且有利于科技的发展,读者也可以从中进行比较,得到启发。

译文集有不少论文联系了实际生产问题,提出了一些重要的成果和概念。例如D·K·弗莱沃特等人的《随机水文学在水库运行中的应用》一文,介绍了对美国加利福尼亚州中央谷地工程,利用随机模拟水文系列分析综合供水系统的干旱概率问题,并指出:“这些随机序列呈现出广泛而多样的、将来可能遇到的水文事件,因此就能提供一种更加全面的水库管理的决策评定。”这正是随机模拟的优势所在。L·E·德滋曼等人的《地表水供水指标的制定》一文,介绍了美国科罗拉多州政府制定干旱反应计划的情况。为了弥补帕尔默干旱指标的不足,提出了地表供水指标作为补充。他们认为帕尔默干旱指标,用于天然情况,是一项重要的指标,但在人类活动显著地区(如灌区)就不适用,而且也没有与供水系统相联系。制定地表水供水指标,与帕尔默干旱指标结合使用,实行双重控制,这样就能更好地反映实际情况了。这种做法值得借鉴。有的论文还涉及到制定供水计划的指导思想、经验和问题。例如,美国加利福尼亚州,80年代以前,水库保留的缓冲容量很大,加剧了干旱期供水的紧张程度。进入80年代,随着需水量的不断扩大,对过去的超蓄容量开始发生怀疑,认为是造成了浪费。考虑到今后增辟水源的不确定性,提出了供水的风险概念,认为供水应承担更大的风险,即在不增加来水的情况下,以承担更大风险为目标,以满足逐渐增长的供水要求,用

户也支持这种做法。另外一条经验是，当实际发生干旱时，对民用和工业用水限水较易，对农业限水很难，这和规划目标有很大矛盾。上述两种情况，在国内也不同程度地存在，确实有进一步研究的必要。当然这是一个复杂的经济和社会问题，需要做过细的分析研究，才能作出合乎我国具体情况的结论。

此外，译文集中还列入了干旱预测和预报，蒸散发量估算以及干旱研究的重点等论文，均有一定参考价值，在此就不一一列举了。

王维第

一九九一年

目 录

出版前言

他山之石，可以攻玉

——代序——

干旱的定义和指标

干旱定义 R·L·汉森 著

刘琦凤 译 向世武 校..... (1)

认识干旱现象：定义的作用 D·A·维尔海特，M·H·格兰兹 著

丁 岩 译 向世武 校..... (12)

水文干旱问题概论 M·A·拜伦，J·A·罗戴尔 著

王维第 译 向世武 校..... (22)

水文干旱的特征 M·A·拜伦，J·A·罗戴尔 著

许翼正 译 王维第 校..... (26)

帕尔默干旱烈度指标：局限和假设 W·M·阿莫

周尚民 译 王维第 校..... (34)

干旱影响评价

干旱的鉴别 D·戈德曼 著

刘琦凤 译 向世武 校..... (46)

气候影响评价：一些方法的回顾 M·L·帕里，T·R·卡特 著

刘舒明 译 孙汉贤 校..... (49)

农业和水资源系统中对于干旱影响和调节的评价 W·E·埃斯台令，W·E·雷布西姆 著

刘九夫 译 王维第 校..... (62)

干旱条件的卫星遥感 C·J·图克尔，S·N·高瓦德 著

陆家驹 译 向世武 校..... (75)

干旱与枯水流量分析

干旱分析 D·戈德曼 著

向世武 译 王维第 校..... (78)

干旱和特枯流量的研究方法 M·A·拜伦，J·A·罗戴尔 著

王正发 译 孙汉贤 校..... (86)

枯水流量研究 H·C·里格斯 著

杨百银 译 向世武 校..... (103)

应用概率点据的相关系数进行枯水流量频率分析 R·M·欧格尔，C·N·克罗尔 著

杨百银 译 孙汉贤 校..... (120)

- 河川流量过程的自回归模型 D·戈德曼 著
 杨超 译 王维第 校.....(136)
- 用树木年轮重建西部大平原的干旱历史 D·M·梅科 著
 高又平 译 孙汉贤 校.....(152)
- 局地与区域蒸散发量估算 R·D·杰克逊 著
 杨洁 译 孙汉贤 校.....(158)
- 干旱研究的重点 D·A·维尔海特, W·E·伊斯特林 等著
 顾颖 译 孙汉贤 校.....(171)

干旱预测

- 预报干旱的可能性 M·A·拜伦, J·A·罗戴尔 著
 向世武 译 孙汉贤 校.....(175)
- 干旱预测: 水文学观点 V·克莱姆斯 著
 金培康 译 向世武 校.....(180)
- 干旱预测的轮次理论 L·A·莫埃, A·S·卡帕底亚 等著
 王正发 译 孙汉贤 校.....(188)
- 干旱预测的全球展望: 一种气象学观点 E·M·罗斯姆逊 著
 孙云伟 译 王维第 校.....(197)

工程应用

- 随机水文学在水库运行中的应用 D·K·弗莱沃特, M·S·考宛 等著
 赵书丽 译 王维第 校.....(205)
- 地表水供水指标的制订——科罗拉多的干旱烈度显示
 L·E·德兹曼, B·A·谢弗 等著
 樊友海 译 孙汉贤 校.....(211)

干旱定义

R.L. 汉森

一、干旱定义

干旱对不同的人来说具有不同的解释或意义。由于干旱是许多不同因素的产物，普遍接受的定义是不存在的，也是不切实际的。因此，利用了以下许多不同的标准来衡量干旱：

- 降水量统计；
- 土壤含水量指标；
- 地下水位和枯水流量特性；
- 整个农业生产；
- 作物产量；
- 作物产量和销售的经济利润。

世界气象组织（1975）承认以下六种干旱型式：

- 气象干旱，依据降水量不足定义，以特定历时降水的绝对值表示。
- 气候干旱，依据降水量不足定义，不是以特定数量，而是以与平均值或正常值的比率表示。

- 大气干旱，定义不仅涉及降水量，而且也可能涉及温度、湿度、或风速。
- 农业干旱，定义主要涉及土壤含水量和植物性态，或许是某种特定作物的性态。
- 水文干旱，定义为河道流量的减少，湖泊或水库库容的减少和地下水位的下降。
- 用水管理干旱，其特征是由于用水管理的实际操作或设施的破坏引起的缺水。

三种通用的定义是：

• 气象干旱：“不正常的干燥天气时期，持续缺水足以在影响区域引起严重水文不平衡”（赫查克，1959）。

• 农业干旱：“涉及降水量不足的气候变化，对作物产量或牧场产量足以产生不利影响”（罗森堡，1979）。

• 水文干旱：“在河流、水库、地下水含水层、湖泊和土壤中低于平均含水量的时期”（耶弗杰维奇及其它人，1977）。

二、干旱指标

已提出许多干旱指标以供农民、水管人员、气象工作者和水文工作者衡量干旱的严重程度。常用的一些指标描述如下：

降水累积指标：德克萨斯州农业部门利用秋冬雨季（9月1日~2月28日）累积降水量

量和随后的生长季节（3月1日~8月31日）的累积的降水量作为农民发布湿度条件。将实际累积降水量同长期平均（正常）累积值进行比较，以指示现有湿度是高于还是低于本年给定时间的正常湿度。下表引自1988年8月29日俄克拉何马州作物——天气摘要，该表示出俄克拉何马州九个气候区1983年8月28日主要干旱生长季节末正常降水量的累积百分数：

气候区	前一周温度 (°F)			本周 3月1日	降水量指标 (英寸)		累积值的 百分数 0
	平均	最大	最小		自3月1日起 累积降水量	正常期累积 降水量	
西弗吉尼亚	85.6	105	64	0.14	11.00	13.56	81
北、中	86.4	105	70	.21	18.17	17.53	104
东北	87.7	106	69	.13	18.77	23.13	81
西、中	86.9	104	73	.00	11.13	16.00	70
中部	86.2	100	71	.00	17.12	20.43	84
东、中	87.6	105	68	.00	17.76	25.49	70
西南	85.9	104	70	.00	11.66	15.88	73
西、中	85.9	104	63	.00	20.30	20.91	97
东南	85.3	102	67	.05	25.45	26.10	98

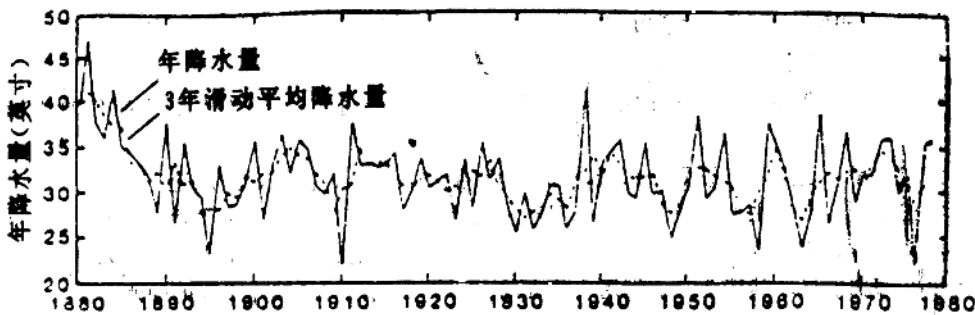


图1 1881~1978年威斯康星州年降水量和3年滑动平均降水量（扎波罗泽克（Zaporozec），1980年）

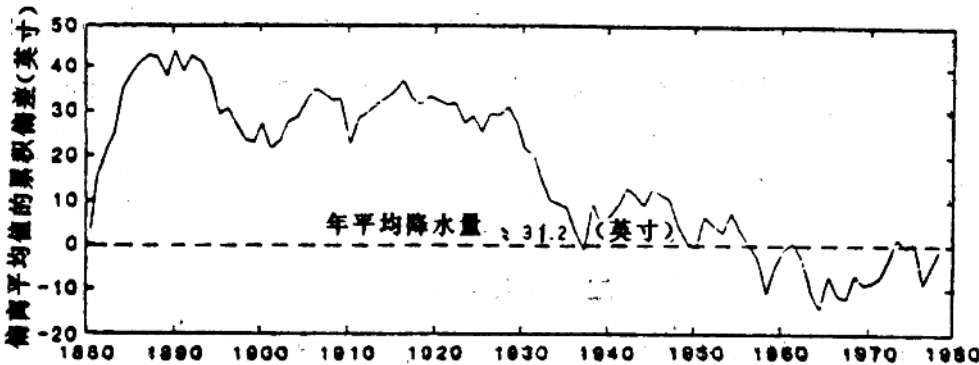


图2 1981~1978年威斯康星州平均年降水量的累积偏差（扎波罗泽克，1980年）

1983年夏俄克拉何马发生一次大的干旱，除一个气候区外所有气候区均持续低于正常百

分数。表中列出前一周的温度资料。

帕尔默干旱指标：国家天气局利用帕尔默干旱指标（帕尔默，1965年）对持续气象异常现象的时期作了定量评价。帕尔默干旱指标包括现在的和前期降水量以及异常缺水的历时和量级。用来推导该指标的具体因素包括：

1. 月温度；
2. 月降水量；
3. 根据现有气候资料计算的可能月蒸发量；
4. 可资利用的表层和根区土壤含水能力。导出的指标值指明与“正常”气候的偏差，并用以下无因次量进行分类：

大于+2——潮湿状态；
+2~-2——正常状态；
-2~-3——中等干旱；
-3~-4——严重干旱；
小于-4——极度干旱。

图3中的帕尔默干旱指标值示出1977年7月2日整个美国干旱状态的范围和严重程度。

作物湿度指标：国家天气局(1977年)提出的作物湿度指标(CMI)提供了关于大面积的(比如整个主要小麦生产区的)土壤湿度资料。作物湿度指标的研究基于降水量、蒸发蒸腾量、径流量、土壤湿度、回灌和土壤持水量的盛行状态指出了土壤中的水分利用率。然而，作物湿度指标并没有指示出个别现场条件或范围、严重程度，以及持续干旱的频率。作物湿度指标应用帕尔默干旱指标的现有资料，有目标地进行研究，提出了一个简单指标，该指标随大规模的湿度条件而快速变化。作物水量指标(CMI)确定如下：

$$CMI = Y + G,$$

式中 Y = 利用帕尔默干旱指标得出的蒸散发缺量指标，和

G = 湿度过量指标（不小于0）。

大于0的指标值表示“潮湿”度，而小于0的值则表示“干燥”度。

国家天气局编制了一张临界干燥或潮湿期间每周作物水量指标图。图上（图4）的阴影区为1977年7月的干旱表明在过去一周期间指标保持不变或因降水量而增加的情况。非阴影区示出在过去一周期间指标减小的情况。

河川流量指标：河川流量的不同统计值已用于描述局部的、区域的和全国性的干旱状态。最通用的量数叙述如下：

三、美国全国的水源情况

美国地质调查局每月出版的全国水情况报告，根据全国设置的长期的河川流量——水文测验站的记录，示出美国的河川平均流量以及高于和低于河川平均流量的地区。1981年3月（图5）的一张图表明1980~81年全国性干旱期间美国全国大面积河川流量不足。在这份报告中包括了选择的流量站水文过程线。过程线比较了长期中流量与过去2年的流量（图6A）。也给出了选择的水库平均可用库容与前2年的水库库容的比较（图6b）。



图3 1977年7月2日帕尔默干旱指标值。大于+2的值表示潮湿状态；+2~-2表示将近正常状态；-2~-3表示中等干旱；-3~-4表示严重干旱；小于-4表示极度干旱（国家天气局）。

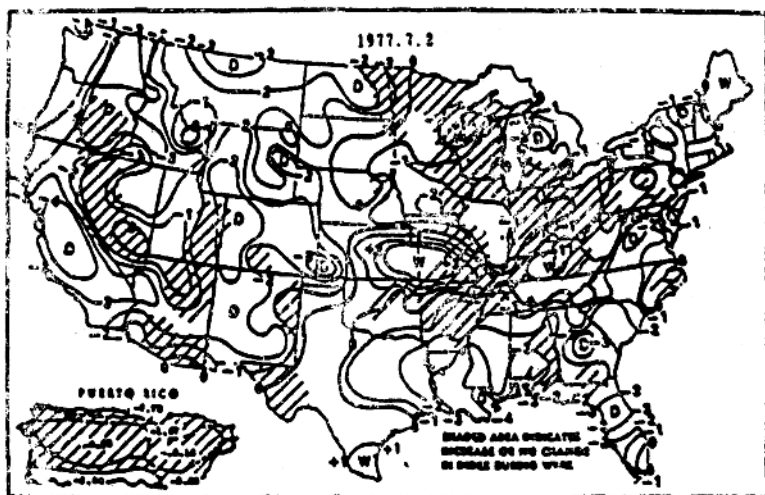


图4 1977年7月2日周末的作物水量指标值。大于+3的值表示极度的潮湿状态；+3~+1表示有利于作物生长的普遍太潮湿状态；+1~-1表示有利的生长状态；-1~-4表示太干燥不利于作物生长；小于-4表示极度干燥状态。阴影区表示指标的增加或无变化、非阴影区表示在本周期间指标的减小（国家天气局）。

四、日流量历时曲线

日流量历时曲线示出流量站实测期间内日流量的分布情况。首先列出记录天数作成一条历时曲线，所记录的日流量均在规定的流量区间范围内。在图7A中的直方图示出弗吉尼亚詹

姆斯河1911~1955水文年这种流量的分布情况。然后，可用直方图中以总天数的百分数表示的每一直方柱的高度来计算累积百分数（该百分数，从直方图尾部的大流量端开始累计）与流量绘制日流量历时曲线，如图 7B 所示。曲线表示实测期内都超过任一给定值的日流量的时间的百分数。因此，流量历时曲线可用于描述罕见的枯水流量的发生；然而，却不能用于描述可能干旱的历时或严重程度。

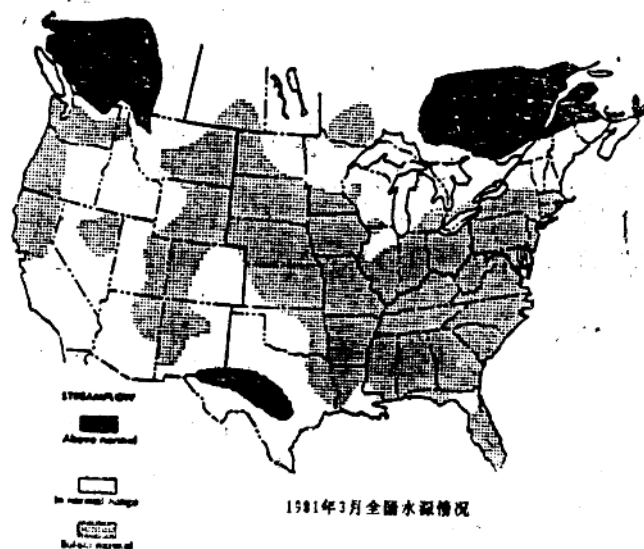
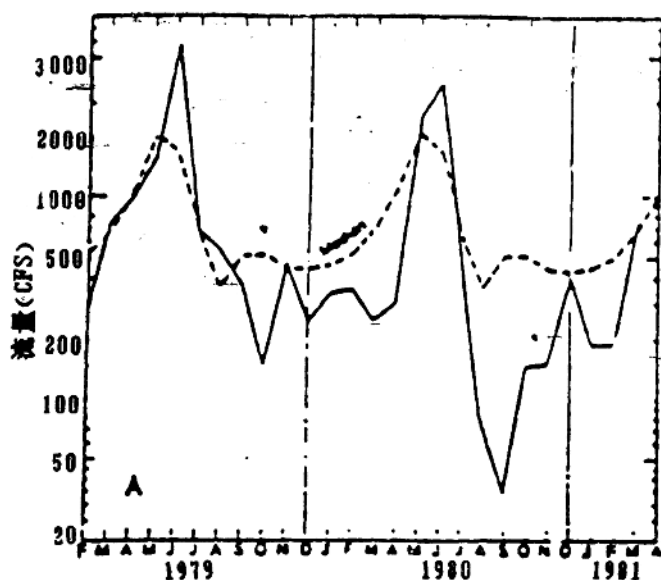
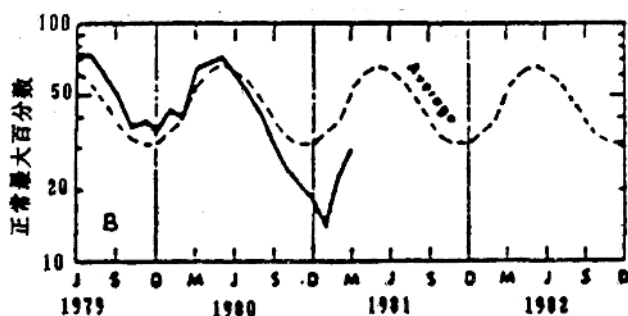


图 5 美国1981年3月间河川流量状态（根据美国地质调查局1981年3月水资源考察）



(A) 俄克拉何马州杜尔伍德 (Durwood) 附近沃希托河的月平均流量



(B) 美国田纳西州诺里斯湖和梅尔顿希尔湖的可利用容量

图 6 (A) 俄克拉何马州杜尔伍德附近沃希托河的月平均流量和中流量; (B) 美国田纳西州诺里斯湖和梅尔顿湖1981年3月的可利用容量和平均容量(1981年美国地质调查局)。

图 7 (A) 日平均流量直方图; (B) 弗吉尼亚州布坎南, 詹姆斯河1911~1955年流量-历时曲线。(略)

五、枯水流量频率曲线

枯水流量频率曲线(里格斯, 1972)一般是根据实测流量, 或者从每年中选出最小日流量, 或者更通常地选择每年7月最小流量平均值。这些数值按大小排列(最小值的给定数字为 $m = 1$), 其发生的概率 (P) 由下式计算:

$$P = m / (n + 1)$$

式中 m = 排队序号,

n = 资料长度。

P 的倒数即重现期 (RI)。发生的概率和重现期利用9个水文年 (1937~1945) 的每年7月最小流量 (Q_7) 资料计算说明如下:

水文年	Q_7 (cfs)	m	$P = \frac{m}{n+1}$	$RI = \frac{1}{P}$ (年)
1937	111	6	0.6	1.67
1938	112	7	.7	1.43
1939	127	9	.9	1.11
1940	97	4	.4	2.50
1941	71	2	.2	5.00
1942	84	3	.3	3.33
1943	56	1	.1	10.00
1944	108	5	.5	2.00
1945	123	8	.8	1.25

用对数分格绘的纵坐标轴线上的 Q_7 , 和用耿贝尔 I 型分布画出的横坐标轴线上的 RI 之间的关系曲线 (图 9) 示出给定 Q_7 值的平均重现期。该曲线示出每年7日最小流量 $56 \text{ ft}^3/\text{s}$

或更小的流量的发生频率可能是平均每10年大概只发生一次。

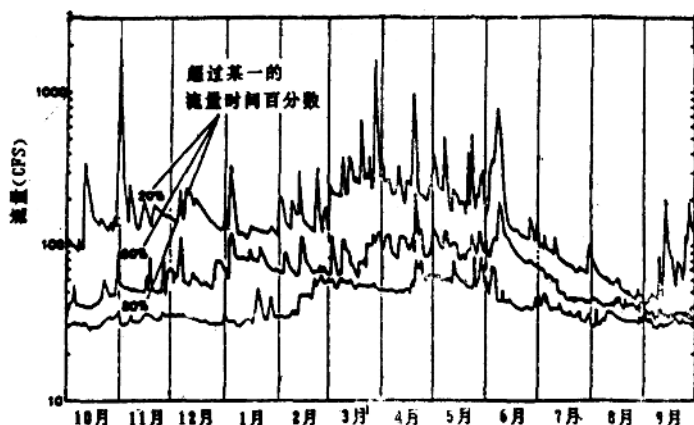


图 8 俄克拉何马州米尔本(Milburn), 蓝河1970~1978各水文年流量—历时过程线

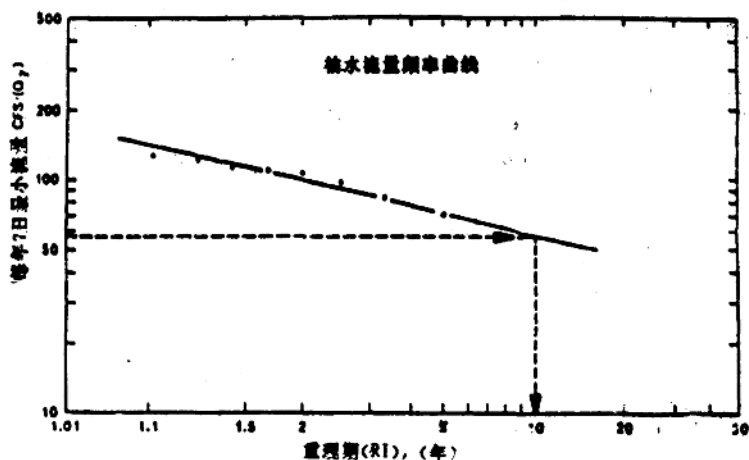


图 9 1937~1945各水文年, 每年7日最低枯水流量的频率曲线

六、基流频率曲线

基流为从地下水系统流入河流中的流量。对于未整治河流, 基流近似等于持续干旱期间河流的总流量(图10)。因此, 基流是流域可资利用的地下水的指示值。

在月基流频率曲线开始时的基流的发生频率曲线的绘制, 在某种意义上相似于为确定正常(夏季)枯季以前可能发生的干旱状态而选定的俄克拉何马指标河流的枯水流量频率曲线。用于计算频率曲线的基流值是通过估算冬季和春季各月份河川流量过程线月基流的起点而得出的。然而, 推求出的月基流频率曲线的起点如图13位于俄克拉何马中卅南部的蓝河的每个月的基流频率曲线所示。例如, 预计在元月1日可能出现平均每10年 $25\text{ft}^3/\text{s}$ 一遇的基流, 因此, 倘若不发生大于正常值的降雨干旱状态也许存在, 也许是即将来临的。

七、地下水位指标

在长期观测现场的月地下水位的曲线示出存在的或潜在的干旱状态，其条件是观测井不受局部抽水或灌溉回归水流的影响。在渗透性低的含水层中打的深井的水位变化可能要比降水量持续不足和地下水系统补给减少要滞后几个月或更长的时间。

美国地质调查局的全国月水状况出版物（如前述）包括在美国选择的水井近期的水位过程线。过程线将平均水位与利用前1~2年间实测水位进行比较（图12）。这些过程线反映相当有限的地区的地下水状况，确实示出了地下水位的趋势，表明了局部地区地下水的供给存在的或潜在短缺现象。

全国水状况也包括美国东北各州（图13）的图，示出：（1）高于正常地下水位，其水位最高在历史水位范围25%以内；（2）正常水位，在平均水位的10%以内；（3）低于正常水位，其水位最低在历史水位范围的25%以内的地区。图上的箭头表示水位上升的地区和在过去几个月间的水位下降的地区。

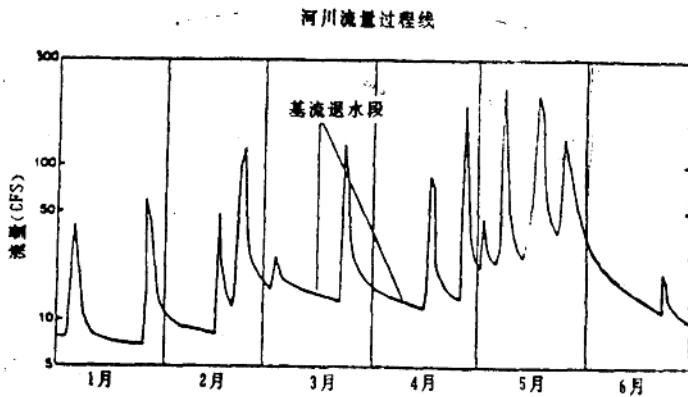


图10 总河川流量过程线和基流退水段

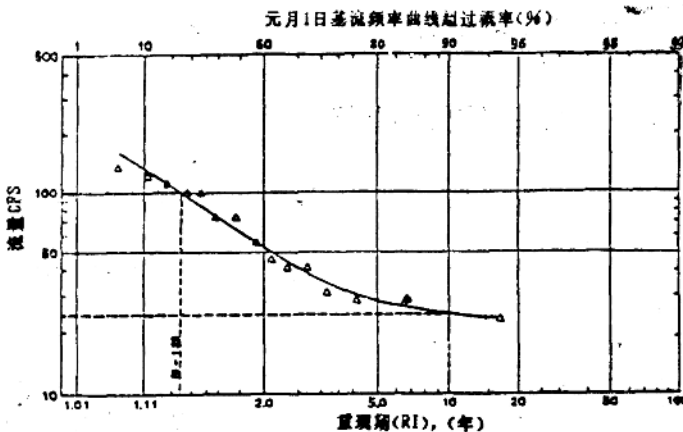


图11 俄克拉何马州米尔本(Milburn), 蓝河1966~1981各水文年, 元月1日的基流频率曲线

八、干旱预测模型

上述各种干旱指标描述现有的或以前的干旱的严重程度。但是，在预测将来的干旱方法的研究，取得的成效尚小。大气、海洋、和其它有关地球物理的过程是相当复杂的，以致在预测模型中这些因素的有效应用没有成功，尤其作几星期以后的预测更是如此。

然而，现有地表地下水状况的知识可用于预测以后水的可用性，这些预测根据概率的范围来定量。显然，如果在预测期开始的时候供水小于正常供水，将来干旱发生的概率比预测期开始时供水接近正常或大于正常值的概率大的多。1~2星期的预测或许是相当可靠的，而几个星期或数月的预测一般是根据当前的和前期水分条件的“猜测”。

在近几年中研究提出的干旱预测模型应用了象前期降水、有效土壤含水量、积雪的水分含量、季节性河川流量、基流、和地下水位之类的因素。一些可用于做干旱预测的气候和水文模型的例子描述如下：

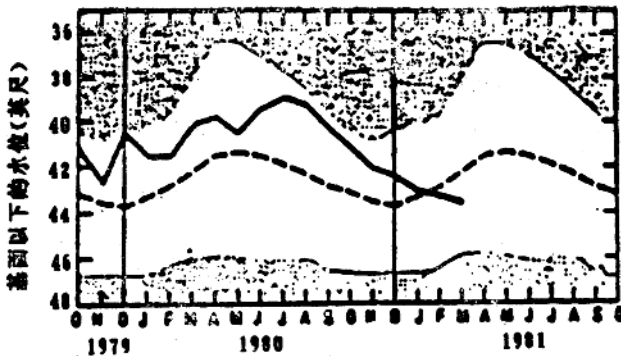


图12 N·C·奥兰治县查珀尔希尔附近，逐月井的地下水位线(根据美国地质调查局，1981年)。无阴影区表示该月实测最高和最低值之间的范围；虚线表示44年实测月水位的平均值，实线表示现时期的水位。

图13 1981年3月底地下水储量和1981年3月间地下水储量的变化(根据美国地质调查局，1981年)。(略)

九、降雨模型

柯里(1972)利用历史降雨资料，确定涉及俄克拉何马几个长期气象站不同概率的月和年降雨量。为每个县准备的表格示出月和年降雨量，其概率范围为0.10~0.90。以下示出俄克拉何马州南部约翰斯顿县蒂肖明戈气象站与发生概率相符合的年和月降雨量；(详见第10页)

例如，该表示出在此站元月份的概率为0.1，其月降水量小于等于0.32英寸。如果可获得表明下月或今后几个月低于正常降水量的气象资料，小于50%的任何概率的降雨量的选择表示小于规定的大部分严重干旱状态最小概率的正常降水量。对将来干旱烈度做预测的技术不包括预测期开始时的水分状况。显然，如果年初可用供水量小于正常供水，而不是等于正常或大于正常供水量，全年每个月10%或20%的发生率的影响都是极其严重的。

约翰斯顿县蒂肖明戈气象站

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
概 率	降雨量 (英寸)												
•10	0.32	0.45	0.59	1.61	1.99	1.35	0.27	0.29	0.39	0.20	0.15	0.60	2
•20	.56	.78	1.01	2.34	2.78	1.93	.63	.77	1.17	.70	.53	.98	2
•30	.80	1.12	1.43	2.99	3.47	2.44	1.01	1.15	1.85	1.20	.89	1.31	3
•40	1.06	1.48	1.88	3.64	4.14	2.95	1.44	1.53	2.55	1.75	1.30	1.64	3
•50	1.36	1.88	2.39	4.34	4.85	3.48	1.95	1.94	3.31	2.37	1.76	1.98	3
•60	1.70	2.36	2.97	5.11	5.63	4.08	2.56	2.41	4.21	3.12	2.31	2.37	4
•70	2.13	2.95	3.70	6.04	6.56	4.79	3.22	2.98	5.30	4.06	3.01	2.83	4
•80	2.71	3.76	4.69	7.26	7.76	5.73	4.32	3.74	6.79	5.38	3.98	3.43	4
•90	3.68	5.10	6.32	9.20	9.66	7.20	6.27	4.97	9.22	7.58	4.76	4.40	5

十、流量模型

利用冬季降水量或径流量预测季节性径流

为了预测华盛顿北卡斯卡德山流域的夏季（五~九月）河川流量，坦戈伯德和拉斯马森（1976年）提出一种水文气象流量模型。

该模型以流域的冬季（10~4月）降水量和总年径流量之间的线性关系为基础。假设春季蓄量包括积雪、冰、土壤水分、和地下水，根据下列关系估算预测期初始日的春季蓄量：

$$\text{春季蓄量} = P_w - R_w - E_w。$$

式中 P_w = 冬季降水量，（毫米）

R_w = 冬季径流量，（毫米）

E_w = 冬季蒸散发量。（毫米）

根据这个预测方法得出的结果优于依据高山积雪调查资料得出的回归估计值，因为收集积雪资料是非常昂贵和花费时间的。

利用积雪储水量资料预测季节性枯水流量

在春季发生融雪径流以前，在河源测得的积雪储水量准确地指示随后的夏季枯水流量季节期望径流。

里格斯和汉森（1969年）提出位于美国爱达荷州西南部半干旱地区布鲁诺河4月1日积雪调查资料和9月份以后月平均流量之间的关系。这种关系确定：（1）“确定的”9月份平均流量，代表由低于正常积雪预期的径流的下限；（2）“可能的”9月份平均流量，代表由冬天正常积雪预期的径流（图14）。这种预测方法对春天和夏天降雨不大的干旱和半干旱地区是相当可靠的。

利用基流退水特征预测季节性枯水流量

如上所述，基流是从地下水流出的流量。如果干早期特别长，基流近似于河道总流量（图10）。

里格斯和汉森（1969年）利用实测录的河道流量过程线（图10）的退水段，提出马里兰