

The Advanced Methods for Mid-long Term Hydrological Forecasting  
and Its Application

# 现代中长期水文预报方法 及其应用

汤成友 官学文 张世明 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

国家重点基础研究计划“973”项目(编号: 2003CB415205)资助

The Advanced Methods for Mid-long Term Hydrological Forecasting and Its Application

# 现代中长期水文预报方法 及其应用

汤成友 官学文 张世明 著

<p>现代中长期水文预报方法及其应用 汤成友 官学文 张世明 著 中国水利水电出版社(北京三里河) 100044 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202298 (发行), 63202295 (编辑中心) (零售) 北京林水园图书营销中心 电话: (010) 88383914, 88382743 全国各省市新华书店均有出售或向本社邮购</p>	<p>书 名 作 者 出 版 社 定 价 印 次 印 数 印 日 期</p>
<p>中国水利水电出版社编辑中心 北京中关村印刷厂 787mm×1092mm 1/16开 25.5印张 19.5万字 2008年2月第1版第1次印刷 0001-2000册</p>	<p>中 国 水 利 水 电 出 版 社 25.00</p>



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

水利水电·水利机械

## 内 容 提 要

本书在介绍中长期水文预报的常用方法和原理的基础上,系统介绍了人工神经网络、投影寻踪、灰色系统、小波分析、模糊系统等较新的科学方法在中长期水文预报领域的应用。包括回归分析技术、周期外延叠加预测技术、时间序列预测技术、灰色预测技术、人工神经网络预测技术、小波分析技术、投影寻踪预测技术、模糊分析预测技术及组合预测技术。所有方法均附计算程序流程框图和 Visual Basic6.0 源程序代码。

本书是全面介绍水文中长期预报方法的科技专著,是一本探索和研究中长期水文预报方法的参考书和工具书,内容全面,深入浅出,理论联系实际,程序代码及注解详细,便于读者使用。

本书可供从事中长期水文预报的工程技术人员和研究人员参考使用,也可作为高等院校相关专业的本科生或研究生学习的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

现代中长期水文预报方法及其应用 / 汤成友, 官学文, 张世明著. —北京: 中国水利水电出版社, 2008  
ISBN 978 - 7 - 5084 - 5120 - 6

I. 现… II. ①汤…②官…③张… III. ①中期预报: 水文预报—方法②长期预报: 水文预报—方法 IV. P338

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 182827 号

书 名	现代中长期水文预报方法及其应用
作 者	汤成友 官学文 张世明 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19 印张 451 千字
版 次	2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	52.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 序

The advanced methods for mid-long term hydrological forecasting and its application

人类文明的历史就是一部探索自然、利用自然的历史。人类从它诞生的那一天开始，就不断地认识自然、利用自然。人们渴望了解自然的最主要目的之一就是抵御自然灾害，由于人类文明最初源于农耕文化，人们对洪涝干旱等自然灾害最为关心。随着人类社会的进步，人们对自然灾害预测能力的要求越来越高，中长期水文预报作为减灾防灾工作中的重要内容，一直受到各国政府部门的重视，对于危险的水文现象提前发布警告和建议，以便采取必要的措施，对保护人民生命财产、将损失减小到最低限度具有非常重要的意义。不仅如此，随着经济活动的深入发展，国民经济各个部门越来越需要掌握更长期、更准确的水文情报。例如，具有多年和季径流调节的综合水利经济系统，为了最大限度地发挥水利设施的经济效益，要求提供水文规律的长期〔洪（枯）水期、季和月〕数值预报，灌溉和水运也需要这样的预报。特别是中、长期水文预报，对区域内水资源统一规划管理、水资源合理配置等都具有重要的现实意义。

水文现象十分复杂，人们至今还不能用数学物理方程严格地描述水文过程中的每一个子过程，尤其是影响中长期水文预报对象的因子众多而复杂，影响因子与预测对象之间关系的复杂性往往超出目前人类的认识能力，以至于中长期水文预报成为自然科学与应用技术领域内的一项研究难题，就目前国内外的研究现状而言仍处在探索和发展阶段，没有完善的理论模式和方法可借用。20世纪50年代以来，我国许多水文部门相继开展了中长期水文预报，取得了许多经验，特别是近年来新的数学理论和方法被引进中长期水文预报领域，丰富了中长期水文预报的内容。

《现代中长期水文预报方法及其应用》一书总结了长江水利委员会长江上游水文水资源勘测局过去和近期中长期预报的方法和内容，是作者长期从事中长期水文预报工作的结晶。本书不但介绍了目前中

长期水文预报的常用方法和原理，而且系统介绍了投影寻踪、神经网络、小波分析等较新的科学方法在中长期水文预报领域的应用。

由于我国系统介绍中长期水文预报的著作很少，近期中长期水文预报方法的进展也需要总结，本书的出版及时为我们提供了中长期水文预报方法的知识和实践经验，是一本理论与实践紧密联系的科技专著，特别是书中的 VB 应用程序对从事中长期水文预报的水文工作者有极大的参考价值。希望《现代中长期水文预报方法及其应用》一书的出版能推动和促进我国中长期水文预报事业的发展，进一步提高各地中长期水文预报的精度，为防汛抗旱、水资源合理调配和利用作出贡献。

四川大学水电学院教授



2007 年 8 月

# 前言

The advanced methods for mid-long term hydrological forecasting and its application

我国是世界上自然灾害多发的国家之一，每年都会发生不同程度的洪涝灾害，洪灾直接经济损失达几百亿元甚至上千亿元。1998年长江中下游的暴雨洪水淹没耕地482万亩，受灾人口229万人，中下游5省死亡人口1562人，直接经济损失1450.9亿元；同时，据测算分析，1998年水文预报直接减灾效益达800多亿元。因此，水文预报在防洪减灾中起到了重要作用。

随着我国现代化建设的不断发展，国民经济各部门对水文预报提出的要求越来越高，不仅要求有较高精度的短期预报，而且要求有预见期更长的中长期预报。从防洪抗旱指挥的角度来说，各级防汛抗旱部门，大中小型水利、水电、水运工程的兴建、管理运行直至国防建设，都要求水文部门能提供预见期长、准确性高的中期与长期预报。与此同时，进入21世纪，作为支撑社会、经济和生态环境可持续发展的水资源，其危机日益严重，开展水资源中长期预报对合理开发和优化水资源、更好地推动区域社会经济发展具有重要意义。

我国自1958年以来开展了水文中长期预报工作。40多年来，中长期预报应用范围逐步扩展，预报准确率明显提高，学科发展逐步深入。但是生产部门大多采用传统的方法进行预报，如逐步回归、多元线性回归、自回归、历史演变与周期分析等。对模糊分析、小波分析、人工神经网络、灰色系统分析、投影寻踪技术等新方法比较生疏，且应用较少。研究表明，水文学研究对象（如洪水、径流、降雨等）具有大量的不确定性和复杂性，常规的分析方法很难对他们的发展规律和变化特征有清晰的了解和准确的预测。

本书除介绍中长期预报的传统方法以外，着重将目前比较新的预报方法和技术介绍给读者。全书包括绪论、回归分析技术、周期分析预测技术、时间序列预测技术、灰色预测技术、人工神经网络预测技术、小波分析技术、投影寻踪预测技术、模糊分析预测技术及水文

长期组合预测模型等 10 章，共介绍了 17 种具体的预测技术与方法，10 种组合预测方法。由于模糊预测技术、小波分析技术、投影寻踪技术等方法牵涉的理论知识较多，书中没有介绍太多的深奥理论，而是侧重于方法的实现和应用。所有方法均附计算程序流程框图和 Visual Basic 6.0 源程序代码，并通过应用实例对计算过程进行了详细介绍。

本书是在综合国内外许多资料的基础上，经过反复酝酿编写而成的，其中一些章节融入了作者近年来的研究成果。由于作者水平有限，编写时间仓促，对某些预测技术的理论研究不够深入，书中必然有许多缺陷和不妥之处。在引用文献时，也可能存在挂一漏万的问题，希望读者和有关专家批评指正。

本书的主要研究成果是在国家重点基础研究计划“973”项目(2003CB415205)的资助下完成的，项目研究过程中得到了四川大学水电学院缪韧教授的悉心指导。在本书的出版过程中，长江水利委员会水文局总工程师程海云教授、四川大学缪韧教授对本书进行了审定，提出了许多宝贵的意见和建议。四川大学缪韧教授为本书作序，长江水利委员会长江上游水文水资源勘测局领导对本书的出版给予了大力支持。另外，中国水利水电出版社水利水电第一出版中心主任王志媛及编辑隋彩虹同志对此书的出版付出了大量心血，在此一并致谢。

**著 者**

2007 年 8 月于重庆

# 目 录

## 序 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 中长期水文预报的概念 .....	1
1.2 中长期预报的发展现状 .....	1
1.3 中长期预报的方法与途径 .....	2
1.3.1 长期预报方法 .....	3
1.3.2 中期预报方法 .....	3
1.4 预报因子的挑选 .....	4
1.4.1 从前期环流形势挑选 .....	4
1.4.2 从供给大气运动的能量来源方面挑选 .....	5
1.4.3 从下垫面因素方面挑选 .....	5
1.4.4 从前期水文气象要素方面挑选 .....	5
1.4.5 中期水文预报因子的挑选 .....	5
1.4.6 预报对象和预报因子的尺度对应问题 .....	6
1.5 挑选预报因子的统计计算方法 .....	6
1.5.1 相关概率法 .....	6
1.5.2 单相关系数法 .....	6
1.5.3 斯皮尔曼等级相关系数法 .....	7
参考文献 .....	7
<b>第 2 章 回归分析技术</b> .....	9
2.1 一元线性回归 .....	9
2.1.1 基本概念 .....	9
2.1.2 模型建立与参数估计 .....	9
2.1.3 回归模型的检验 .....	11
2.1.4 程序设计 .....	13
2.1.5 应用实例 .....	17
2.2 多元线性回归 .....	19
2.2.1 基本概念 .....	19
2.2.2 模型原理 .....	19
2.2.3 参数估计 .....	19



2.2.4	回归模型的检验 .....	21
2.2.5	程序设计 .....	24
2.2.6	应用实例 .....	28
2.2.7	问题讨论 .....	30
2.3	逐步回归 .....	30
2.3.1	基本思路 .....	30
2.3.2	矩阵变换法 .....	31
2.3.3	方差贡献的概念 .....	32
2.3.4	逐步回归计算步骤 .....	33
2.3.5	统计检验 .....	34
2.3.6	程序设计 .....	34
2.3.7	应用实例 .....	38
2.3.8	问题讨论 .....	42
2.4	多元门限回归 .....	42
2.4.1	基本原理及数学模型 .....	42
2.4.2	建模步骤及预报方法 .....	43
2.4.3	程序设计 .....	44
2.4.4	应用实例 .....	50
	参考文献 .....	53
<b>第3章</b>	<b>周期分析预测技术 .....</b>	<b>54</b>
3.1	非平稳序列功率谱分析 .....	54
3.1.1	基本概念 .....	54
3.1.2	计算公式 .....	54
3.1.3	显著性检验 .....	55
3.1.4	程序设计 .....	56
3.1.5	应用实例 .....	61
3.2	周期外延叠加预测技术 .....	62
3.2.1	基本思路 .....	62
3.2.2	实现过程及显著性检验 .....	63
3.2.3	程序设计 .....	64
3.2.4	应用实例 .....	68
3.2.5	有关问题讨论 .....	70
3.3	逐步回归周期分析技术 .....	70
3.3.1	基本思路及计算步骤 .....	70
3.3.2	回归效果检验 .....	72
3.3.3	程序设计 .....	72
3.3.4	应用实例 .....	74

3.4	逐步回归趋势分析技术	76
3.4.1	基本思路及计算步骤	76
3.4.2	回归效果检验	77
3.4.3	程序设计	77
3.4.4	应用实例	78
	参考文献	79
<b>第4章</b>	<b>时间序列预测技术</b>	<b>80</b>
4.1	时间序列的概念	80
4.1.1	时间序列	80
4.1.2	平稳时间序列	80
4.1.3	非平稳时间序列	81
4.2	自回归模型	82
4.2.1	自回归模型结构	82
4.2.2	模型的参数估计	82
4.2.3	模型的识别	84
4.2.4	模型的检验	85
4.2.5	程序设计	85
4.2.6	应用实例	88
4.3	均生函数模型	89
4.3.1	模型原理	89
4.3.2	计算步骤	90
4.3.3	程序设计	91
4.3.4	应用实例	96
4.4	最近邻抽样回归	96
4.4.1	基本原理	96
4.4.2	模型参数确定	97
4.4.3	程序设计	98
4.4.4	应用实例	100
4.5	马尔科夫定性预测模型	101
4.5.1	马尔科夫链的基本概念	101
4.5.2	时间序列状态的确定	101
4.5.3	模型基本原理	102
4.5.4	程序设计	103
4.5.5	应用实例	107
	参考文献	108
<b>第5章</b>	<b>灰色预测技术</b>	<b>110</b>
5.1	灰色系统简介	110

5.1.1	灰色系统的产生与发展	110
5.1.2	灰色系统的基本概念	111
5.1.3	灰色系统研究的主要内容	112
5.1.4	几种不确定性方法的比较	112
5.2	灰色系统在水文水资源中的应用	113
5.2.1	灰色系统在水资源水环境评价中的应用	113
5.2.2	灰色系统在方案优选及规划管理中的应用	114
5.2.3	灰色系统在水文水资源预测中的应用	114
5.3	灰色动态预测模型	115
5.3.1	灰色动态模型的数学原理	115
5.3.2	GM (1, 1) 模型	116
5.3.3	GM (1, N) 模型	123
5.4	灰色灾变预测模型	130
5.4.1	灾变预测的数学原理	130
5.4.2	灾变预测方法的基本步骤	131
5.4.3	程序设计	131
5.4.4	应用实例	132
	参考文献	135
<b>第 6 章</b>	<b>人工神经网络预测技术</b>	<b>137</b>
6.1	人工神经网络概述	137
6.1.1	人工神经网络的产生与发展	137
6.1.2	人工神经网络的特点	138
6.1.3	人工神经网络的分类	138
6.1.4	神经网络在水文水资源中的应用	139
6.2	人工神经网络的基本原理及算法	140
6.2.1	生物神经元	141
6.2.2	人工神经元	141
6.2.3	简单神经元的学习	143
6.3	人工神经网络模型	144
6.3.1	网络拓扑结构	144
6.3.2	网络学习规则	147
6.3.3	BP 网络算法	148
6.4	程序设计	150
6.4.1	程序计算流程	150
6.4.2	程序代码	150
6.5	应用实例	155
6.6	问题讨论	156

参考文献	157
<b>第7章 小波分析技术</b>	159
7.1 小波分析在水文学中的应用	159
7.1.1 小波分析在水文多时间尺度分析中的应用	159
7.1.2 小波分析在水文时间序列变化特性上的应用	160
7.1.3 小波分析在水文预测预报中的应用	161
7.1.4 小波分析在水文随机模拟中的应用	161
7.2 小波分析简介	162
7.2.1 小波函数	162
7.2.2 连续小波变换	168
7.2.3 离散小波变换	171
7.3 快速小波变换算法	172
7.3.1 Mallat 算法	172
7.3.2 A Trous 算法	178
7.3.3 基于二次样条小波的快速算法	181
参考文献	185
<b>第8章 投影寻踪预测技术</b>	187
8.1 投影寻踪简介	187
8.1.1 投影寻踪的产生背景	187
8.1.2 投影寻踪的发展简史	188
8.1.3 投影寻踪研究的主要内容及其特点	188
8.2 投影寻踪在水文水资源中的应用	189
8.2.1 投影寻踪在洪灾评估中的应用	189
8.2.2 投影寻踪在水资源及水环境评价中的应用	190
8.2.3 投影寻踪在水资源规划中的应用	190
8.2.4 投影寻踪在水文预报中的应用	191
8.3 投影寻踪的概念	192
8.3.1 基本思想	192
8.3.2 线性投影	193
8.3.3 投影指标	193
8.3.4 最优投影方向	193
8.4 遗传算法	194
8.4.1 遗传算法的基本概念	194
8.4.2 遗传算法的特点	194
8.4.3 遗传算法的运行过程	195
8.4.4 遗传算法优化投影方向	198
8.5 投影寻踪回归模型	199

8.5.1	投影寻踪回归模型简介	199
8.5.2	模型算法实现过程	199
8.5.3	程序设计	201
8.5.4	应用实例	213
	参考文献	216
<b>第9章</b>	<b>模糊分析预测技术</b>	<b>218</b>
9.1	模糊数学简介	218
9.1.1	模糊数学的产生与发展	218
9.1.2	模糊数学的研究内容	219
9.1.3	模糊数学的主要应用	220
9.2	模糊数学在水科学中的应用	220
9.2.1	模糊数学在水资源评价中的应用	221
9.2.2	模糊数学在水资源管理中的应用	221
9.2.3	模糊数学在水文预报中的应用	221
9.3	模糊数学基础	222
9.3.1	模糊集的概念	222
9.3.2	模糊关系	223
9.3.3	模糊数	225
9.3.4	模糊模式识别原则	226
9.4	模糊聚类分析	227
9.4.1	模糊聚类分析步骤	227
9.4.2	最佳阈值的确定	230
9.4.3	程序设计	231
9.4.4	应用实例	236
9.5	基于因果聚类的模糊预测	238
9.5.1	模型基本思路及计算方法	238
9.5.2	程序设计	240
9.5.3	应用实例	243
9.6	模糊综合分析预测	245
9.6.1	模型基本原理计算步骤	245
9.6.2	程序设计	249
9.6.3	应用实例	254
	参考文献	256
<b>第10章</b>	<b>水文中长期组合预测模型</b>	<b>258</b>
10.1	逐步回归与自回归组合预测模型	258
10.1.1	基本原理及计算步骤	258
10.1.2	应用实例	259

10.2	人工神经网络—小波分析组合模型	264
10.2.1	基本原理及建模步骤	264
10.2.2	应用实例	265
10.3	最近邻抽样回归小波模型	267
10.3.1	基本原理及建模步骤	267
10.3.2	应用实例	268
10.4	灰色—周期外延组合模型	271
10.4.1	基本思想及建模步骤	271
10.4.2	应用实例	271
10.5	灰色—马尔科夫模型	275
10.5.1	基本思想及建模步骤	275
10.5.2	应用实例	276
10.6	灰色线性回归组合模型	278
10.6.1	基本思想及参数计算方法	278
10.6.2	应用实例	280
10.7	其他组合模型	282
10.7.1	灰色人工神经网络模型	282
10.7.2	门限回归人工神经网络模型	282
10.7.3	投影寻踪门限回归模型	283
10.7.4	遗传门限回归模型	284
	参考文献	285
	<b>后记</b>	<b>287</b>

# 第 1 章 绪论

## 1.1 中长期水文预报的概念

根据前期水文气象资料,用成因分析和数理统计方法,对未来较长时期的水文情势进行科学的预测,称为中长期水文预报(Mid-long Term Hydrological Forecasting)。通常泛指预见期超过流域最大汇流时间,且在 3 天以上、1 年以内的水文预报,预见期一年以上的为超长期水文预报。中长期水文预报包括径流、江河湖海的水位、旱涝趋势、冰情及泥沙等预报项目。

水文情势长期变化的影响因素主要有:

(1) 大气环流。它决定着一个流域(或地区)的降水和蒸发的变化,影响水文循环的各个环节。异常的旱涝现象总与大气环流的异常联系在一起。

(2) 太阳活动。太阳辐射是大气运动和水文循环的能量来源,太阳活动的增强和减弱会引起大气运动状态的改变从而影响水文过程,使其发生相应的变化。如不少地区的旱涝灾害与太阳黑子相对数的变化存在一定的对应关系。

(3) 下垫面情况。海洋表层水温异常会引起大气运动的异常,陆地表面状况的异常,也会影响大气环流的形势,从而影响水文过程的长期变化。

(4) 其他天文地球物理因素。地球自转速度的变化、火山爆发、行星相对位置等对大气环流和水文情势变化也有一定影响。

(5) 人类活动。人类活动不仅直接影响当地水文情况的变化,而且对水文过程产生间接影响。

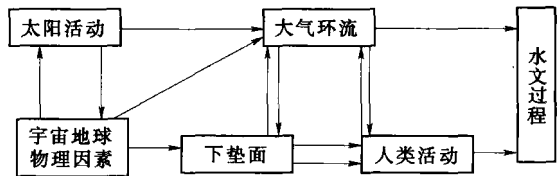


图 1.1 水文情势长期变化的影响示意图

这些影响因素与水文过程的联系如图 1.1 所示。

## 1.2 中长期预报的发展现状

早在我国汉代就已有关于水文情势长期变化的记载。《史记·货殖列传》有“故岁在金,穰;水,毁;木,饥;火,旱,……六岁穰,六岁旱,十二岁一大饥”之语。反映了当时黄河流域一带旱涝年景交替出现的变化趋势。至 11 世纪的宋代,《宋史·河渠志》更载有:“自立春之后,东风解冻,河边人候水,初至凡一寸,则夏秋大汛当至一尺,颇为信验,故谓之‘信水’”。说明当时已经出现了由前期水文情况估计后期水文趋势的意思,标志着长期水文预报进入了萌芽时期。

近代的中长期水文预报是 19 世纪末、20 世纪初才开始出现的。“世界天气法”首先应用于尼罗河下游的春汛洪水预报，其后又较广泛地应用到欧洲与北美一些国家。20 世纪 30 年代，中国气象学家涂长望根据前期东亚大气活动中心的特征作了预测后期长江水文状况的研究。50 年代，内蒙古自治区水文总站根据杨鉴初 1951 年提出的“历史演变法”作了黄河的长期预报系统；原水电部水文局分析了高空气象因素对后期水文情势的影响，研究了华北地区中小河流的中期预报；长江水利科学研究院根据东亚大气环流的前后演变规律作了长江的长期水文预报。这些方法在中国的其他流域或地区也相继得到应用。60 年代以后，由于气象学、海洋学等其他相关学科的发展以及新的探测手段的出现，进一步发现了一些影响江河水量变化的因素。概率统计的发展则为揭示水文要素自身演变规律、辨别各种影响因素的显著性以及影响因素之间的相互关系等方面提供了有力的工具。这使中长期水文预报获得了进一步发展。

随着我国现代化建设事业的不断发展，国民经济各部门对水文预报提出的要求越来越高，不仅要求有正确的短期预报，而且要求有预见期更长的中长期预报；不仅要求定性预报，而且要求定量预报。实际上，从防洪抗旱的指挥，大中小型水利、水电、水运工程的兴建、管理运行直至国防建设，都要求水文部门能提供预见期长、准确性高的中期与长期预报。为了满足这些要求，全国自 1958 年以来已有十多个流域机构，省（自治区、直辖市）水文局以及为数更多的地区水文分局、水库管理单位以至基层水文测站都逐步开展了这一工作，并在防洪抗旱斗争中取得了一定的成绩。

长江水利委员会 1958 年在长江流域建立了短期水文气象预报业务，1962 年尝试开展了中长期水文气象预报业务，1972 年正式组建了专门负责中长期水文气象预报业务和科研的机构。进入 20 世纪 80 年代中期，长江流域的长期水文气象预报在 70 年代开始开展北太平洋海温、青藏高原热状况、太阳活动和大气环流季节变化与长江流域水旱关系研究与预报应用的基础上，已经进入物理统计分析的新阶段，注重分析和研究预报因子与长江旱涝的物理关系以及旱涝气候的历史变化规律。与此同时，我国其他流域机构和省（自治区、直辖市）水利部门也进行了本流域和本省（市）的长期水文气象预报物理统计分析研究，而不再是单纯的数理统计方法的应用。

但是，随着预见期的增加，许多影响因素变化的不确定性以及目前科学技术水平的限制，中长期水文预报仍然处于探索、发展阶段，预报精度还不能满足各生产部门的需要。一般来讲，大面积旱涝趋势的定性预报有一定的参考价值，而定量预报的误差还较大，特别是对特大的洪涝、干旱还缺乏有效的预报方法，需要多学科共同协作，进一步研究影响水文过程各种因素的物理本质和它们的相互作用，特别是引起大旱大涝的环流异常状态及其演变规律，加强多模型比较研究和适用性研究，是提高中长期水文预报的关键。

### 1.3 中长期预报的方法与途径

由于预见期的增长，中长期水文预报在方法上显然无法利用实测降水资料通过产汇流计算或应用上下游关系来获得预报结果，必须考虑影响水文过程的各种因素或分析水文要素自身演变规律来进行预报。中长期水文预报方法可分为传统方法和新方法两大类。前者主要有成因分析和水文统计方法，后者主要包括模糊分析、人工神经网络、灰色系统分析



等方法。

### 1.3.1 长期预报方法

(1) 天气学方法。径流的变化主要取决于降水,而降水又是由一定的环流形式与天气过程决定的。因此,径流的长期变化应与大型天气过程的演变有密切关系。天气学方法就是根据前期大气环流特征以及表示这些特征的各种高空气象要素,直接与后期的水文要素建立起定量的关系进行预报的一种方法。大气环流有全球性的特点,因此主要采用北半球 500hPa 月平均形势图或能反映主要环流特征的各种环流指数和环流特征量作为依据。根据水文要素和环流的历史资料,概括出旱涝年前期环流特征的模式,由前期环流特征作出后期水文情况的定性预测;或在月平均形势图上找出与预报对象关系显著的地区和时段,从中挑选物理意义明确、统计贡献显著的因子,用逐步回归或其他多元分析方法与预报对象建立方程,据此作出定量预估。

(2) 天文地理物理因素方法。近代研究结果表明:地球自转速度的变化、海温状况、火山爆发、臭氧的多少以及行星运动位置、太阳活动等大气运动与水文过程都有一定的影响。分析这些因素与水文过程的对应关系后,就可以对后期水文要素可能发生的变化情况作出预测。

海温的异常分布具有范围广、厚度大、持续时间长等特点,它往往是大气环流异常的先兆,能为长期水文预报提供信息。根据历史资料概括出旱涝年前期海温分布的模式后,可由前期海温分布特征对后期水文状况作出定性预估;或考虑时间与空间上的连续性,在关键海域和关键时段内挑选若干地点的海温作为预报因子,并与预报对象建立回归方程,进行定量预报。

太阳黑子相对数能够反映太阳活动的强弱。根据太阳黑子数年周期的位相或分析黑子数的变化与江河水量变化之间的对应关系,定性预测后期可能发生的旱涝。

(3) 统计学方法。从大量历史资料中应用数理统计方法去寻找、分析水文要素与预报因子之间的统计规律和关系,然后应用这些规律来进行预报。按照预报时考虑因子的方法特点,统计学方法可分为两大类:一类是多元分析,即把江河水量等预报对象作为随机变量,把分析得出的各个影响因素作为预报因子,然后应用回归分析或判别分析的方法对预报因子进行筛选,建立预报方程进行预测。此外,为了客观分析、浓缩信息、简化计算等,还经常应用聚类分析、主分量分析、典型相关等方法作为数据处理的手段。另一类方法是时间序列分析,其原理是把预报对象作为一个离散化的平稳随机过程,应用自回归等模型进行预测。考虑到水文序列的非平稳性,20 世纪 60 年代前后主要采用的方法是,把水文序列分解成趋势项、周期项、平稳项,然后分项预测,叠加后得到预报结果。

### 1.3.2 中期预报方法

中期水文预报与水利水电工程的施工、水库调度及防洪工作有着直接的关系,是当前生产上急需解决的一个课题。由于问题的复杂性,至今在这方面进行的工作还不多,目前主要的方法有:

(1) 高空气象因素法。即当影响预报流域的暴雨天气形势出现时,在 700hPa 形势图上分析水汽输送和垂直上升运动等条件,选择能够反映这些条件的高空气象因素与后期发