

871218



水文实践指南

第二卷

分析、预报和其他应用

GUIDE
TO
HYDROLOGICAL PRACTICES

VOLUME II
ANALYSIS, FORECASTING
AND OTHER APPLICATIONS

世界气象组织(WMO)编
赵珂经 等译

水利电力出版社

水文实践指南

第二卷

分析、预报和其他应用

GUIDE TO HYDROLOGICAL PRACTICES

VOLUME II
ANALYSIS, FORECASTING
AND OTHER APPLICATIONS

世界气象组织(WMO)编

赵珂经 等译

水利电力出版社

内 容 提 要

本书由世界气象组织(WMO)编写,目的是以简便的方式向从事水文及有关工作的人们提供有关水文实践、方法和仪器方面的材料。全书分两卷,第一卷为资料收集和整理,第二卷为分析、预报和其他应用。本卷包括水文分析、水文预报和水文分析在水利工程设计和运行工作中的运用等内容。本书阐述问题比较系统,并附有详细的参考文献目录,对水文工作者、特别是在水利水电建设和水资源管理业务中从事水文分析和预报工作的工程技术人员,有一定的参考价值。

World Meteorological Organization(WMO)
GUIDE
TO HYDROLOGICAL PRACTICES
VOLUME II
ANALYSIS, FORECASTING AND
OTHER APPLICATIONS
Fourth edition
Secretariat of the world Meteorological
Organization 1983 Geneva

水文实践指南
第二卷 分析、预报和其他应用
世界气象组织(WMO)编 赵珂经 等译

*

水利电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号)
各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.75印张 300千字
1988年4月第一版 1988年4月北京第一次印刷
印数0001—3120册 定价3.20元
ISBN 7-120-00091-8/TV·67

译者说明

世界气象组织(WMO)《水文实践指南》(第四版)第二卷,于1983年出版,内容包括水文分析、水文预报和水文分析在水管理上的应用等方面。本书对世界上现行的水文分析计算方法、水文预报和警报技术作了较全面的反映,对水文分析和预报在水利工程设计和运行工作中的应用问题进行了较系统的阐述。对我国水文工作者,特别是在水利水电建设和水资源管理业务中从事水文分析和预报工作的工程技术人员,这将是一本有价值的参考书。

本书作为一部“指南”,对于各种方法的理论基础和技术细节未作具体论述,但附有较详细的参考文献目录,可供读者进一步了解和研究时查阅。

本书译校工作由五位同志分担:第五章,5.1~5.2.5.3.12节,5.3~5.3.8节,赵珂经译;5.2.6~5.2.8.6.3,5.4.1~5.6.4.3节,张瑞芳译;全章,姜崇熙校;第六章,王厥谋译,姜崇熙校;第七章,7.1~7.6.3.4节,颜颂凯译;7.6.3.5~7.7.3.4节,颜颂凯、姜崇熙合译;7.7.4~7.12节,姜崇熙译;全章,赵珂经校;汉英词汇对照索引由姜崇熙编拟。全书由赵珂经复校,并最后审阅定稿。

译校中对生僻词汇、原文错误,均在相应页下加“译注”说明。原文错漏之处,均已在译文中改正。

本书的翻译出版得到水利电力部水文局和世界气象组织秘书处的支持,译者谨向他们表示衷心感谢。

完成这本书的译校任务,我们虽然作了努力,但限于水平,难免仍有错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

译者

一九八六年十二月

84930/103

第五章 水文分析

5.1 绪论	1
5.1.1 水文学中应用的分析方法	1
5.1.2 本章范围	1
5.2 降水资料的整理分析	2
5.2.1 前言	2
5.2.2 资料的校正	2
5.2.2.1 记录的标准基本年期	2
5.2.2.2 双累积曲线分析	3
5.2.2.3 缺测资料的插补	4
5.2.3 空间分布	4
5.2.3.1 用等雨量线图说明	4
5.2.3.2 评价地文学的影响	4
5.2.4 流域平均雨深	5
5.2.4.1 算术平均法	5
5.2.4.2 多边形法	6
5.2.4.3 等雨量线法	6
5.2.4.4 正常值百分率法	6
5.2.4.5 高程面积法	6
5.2.5 暴雨研究	7
5.2.5.1 累积曲线(积分曲线)	8
5.2.5.2 雨深-面积-历时分析	8
5.2.5.3 可能最大降水(PMP)	8
5.2.5.3.1 可能最大降水的估算方法	9
5.2.5.3.2 初步估算	10
5.2.5.3.3 选择设计降雨历时	10
5.2.5.3.4 选择分流域	10
5.2.5.3.5 暴雨移置	11
5.2.5.3.6 大暴雨的选择和分析	11
5.2.5.3.7 选定暴雨的极大化	12
5.2.5.3.8 暴雨雨型的方位	12
5.2.5.3.9 原地暴雨与移置暴雨比较	12
5.2.5.3.10 估算值的区域一致性	12

5.2.5.3.11 暴雨的季节性移置	12
5.2.5.3.12 无资料情况下的估算	12
5.2.6 降雨频率	14
5.2.6.1 点雨量	14
5.2.6.1.1 统计系列和重现期	14
5.2.6.1.2 计算方法	15
5.2.6.1.3 定时段观测资料的校正	22
5.2.6.1.4 点降雨-频率资料的间接估算	22
5.2.6.1.5 最大实测降雨	24
5.2.6.1.6 系列顺序	24
5.2.6.1.7 模拟资料	25
5.2.6.2 面雨量	26
5.2.6.3 概化图	27
5.2.6.4 干旱的严重程度	27
5.2.7 降雨强度	27
5.2.7.1 点雨量	27
5.2.7.1.1 强度-历时曲线及经验公式	27
5.2.7.1.2 经验公式的局限性	28
5.2.7.1.3 降雨强度的时序分布	28
5.2.7.2 面雨量	28
5.2.8 融雪	29
5.2.8.1 点融雪理论	29
5.2.8.2 无雨期流域融雪的估算	31
5.2.8.3 雨期流域融雪的估算	33
5.2.8.4 融雪人流量的估算	33
5.2.8.5 雪面蒸发	34
5.2.8.6 可能最大降水和融雪	35
5.2.8.6.1 前言	35
5.2.8.6.2 可能最大积雪	35
5.2.8.6.3 融雪估算	36
5.3 流量资料的整理分析	36
5.3.1 前言	36
5.3.2 资料校正	36

5.3.3 空间分布	37	5.4.1.2.2 反射的太阳辐射	58
5.3.3.1 平均年径流量等值线图	37	5.4.1.2.3 来自大气的长波辐射	58
5.3.3.2 由降水和温度资料求平均径流量	38	5.4.1.2.4 反射的长波辐射	59
5.3.3.3 测站相关	40	5.4.1.2.5 水库放射的辐射	59
5.3.3.4 延长记录的有效长度	41	5.4.1.2.6 净辐射	59
5.3.4 径流量的时间分配	41	5.4.1.2.7 能量存储量的变化	59
5.3.4.1 前言	41	5.4.1.2.8 水体中以显热形式传导的能量	60
5.3.4.2 单位过程线	41	5.4.1.2.9 蒸发	60
5.3.4.2.1 定义	41	5.4.1.3 空气动力学法	60
5.3.4.2.2 由流量记录推求单位过程线	42	5.4.1.3.1 系数 N 值	61
5.3.4.2.3 用综合法推导单位过程线	44	5.4.1.3.2 风	62
5.3.4.2.4 单位过程线的历时转换	45	5.4.1.3.3 水面温度	62
5.3.4.2.5 单位过程线的应用	45	5.4.1.3.4 空气的湿度或水汽压	62
5.3.4.3 等流时线法	46	5.4.1.4 空气动力学与能量平衡方程的综合	62
5.3.4.4 分布模型	47	5.4.1.5 蒸发器观测值的外推	64
5.3.5 流量演算	47	5.4.2 流域蒸散发量的估算	67
5.3.5.1 前言	47	5.4.2.1 可能蒸散发量	67
5.3.5.2 流体动力学法	47	5.4.2.2 实际蒸散发量	67
5.3.5.3 水文学法	48	5.4.2.3 水量平衡法	68
5.3.5.4 水库演算	49	5.4.2.3.1 降水	68
5.3.6 枯水流量分析	50	5.4.2.3.2 河川径流	68
5.3.6.1 流量-历时曲线	50	5.4.2.3.3 蓄水量变化	68
5.3.6.2 枯水流量频率	50	5.4.2.3.4 深层渗漏	68
5.3.6.3 干旱统计分析	52	5.4.2.4 能量平衡法	68
5.3.6.4 退水曲线分析	52	5.4.2.5 空气动力学法	69
5.3.7 洪水频率	54	5.5 降雨-径流和融雪-径流关系	69
5.3.7.1 单站分析	54	5.5.1 概述	69
5.3.7.1.1 洪峰流量	54	5.5.2 回归分析	69
5.3.7.1.2 洪水统计分析	54	5.5.3 暴雨期的径流	69
5.3.7.2 洪水特性的区域概化	54	5.5.3.1 前期土壤含水量指数法	70
5.3.8 长期趋势	56	5.5.3.2 作为降雨-径流指数的雨前基流	72
5.4 蒸发和蒸散发	57	5.5.3.3 土壤含水量的计算方法	72
5.4.1 湖泊和水库蒸发的推求	57	5.5.4 短期融雪径流	73
5.4.1.1 水量平衡法	57	5.5.4.1 平原地区	73
5.4.1.1.1 入流和出流	57	5.5.4.2 山区	74
5.4.1.1.2 降水	57	5.5.5 月、季、年的水量平衡	74
5.4.1.1.3 净渗漏量和湖(库)岸调蓄量	57	5.5.5.1 月、季的水量平衡	74
5.4.1.1.4 水库蓄水量的变化	57	5.5.5.2 年水量平衡	75
5.4.1.2 能量平衡法	58	5.6 水文系统模拟	75
5.4.1.2.1 太阳辐射	58		

5.6.1 概述	75	(引自赫什菲尔德)	13
5.6.2 黑盒子模型(系统方法)	76	5.9 用表5.4资料绘制的极值概率图示例	18
5.6.2.1 参数评定	77	5.10 降雨强度和雨深-历时关系	23
5.6.2.2 参数评定——线性系统	77	5.11 重现期内插曲线图	24
5.6.2.3 参数评定——非线性系统	78	5.12 雨深-面积,或面积-折减曲线	27
5.6.3 概念模型	78	5.13 流域的典型的度-日融雪关系	33
5.6.3.1 苏联水文气象中心模型	79	5.14 低地流域不同初始水当量的温度-融雪关系	35
5.6.3.2 萨克拉门托模型	79	5.15 过程线分析	42
5.6.3.3 水箱模型	81	5.16 反推直接径流过程线	43
5.6.3.4 模型的选择	83	5.17 等流时线法	46
5.6.4 水文时间系列的随机模拟	83	5.18 日平均流量历时曲线	51
5.6.4.1 一个滞时的马尔可夫模型	84	5.19 年枯水流量频率曲线	51
5.6.4.2 自回归滑动平均综合(ARIMA)模型	84	5.20 枯水期前、后月平均流量 Q_1 与 Q_2 的关系(苏联奇尔奇克河)	53
5.6.4.3 分数高斯噪音及折线过程模型	85	5.21 区域频率曲线	55
参考文献	85	5.22 对照4月份流量、温度和降水量的10年滑动平均值	56
附表		5.23 湖泊蒸发关系曲线	63
5.1 最大平均雨深(mm) 1962.3.31~4.2加拿大东南部暴雨	9	5.24 用于蒸发的转移能量(进入湖中)	64
5.2 年和部分系列的相应重现期	15	5.25 用于蒸发的转移能量(进入A型蒸发器的)	66
5.3 据式(5.2)计算的K值	16	5.26 由A型蒸发器的蒸发量换算成湖泊蒸发量	66
5.4 极值计算	18	5.27 γ 因子与 $\bar{t}$ 的关系	67
5.5 用于式(5.6)的 $\beta_{T_r}/\sqrt{n}$ 值	20	5.28 前期降水指数	70
5.6 各种选定历时的最大实测点雨量	25	5.29 由暴雨估算径流的前期土壤含水量指数法	71
5.7 北美山区的度-日因子(mm/°C)	32	5.30 用于降雨-径流关系的基流指数	72
5.8 苏联低地区的度-日因子(mm/°C)	32	5.31 黑盒子系统	76
5.9 S曲线示例	45	5.32 萨克拉门托模型的结构	80
5.10 确定 β 值的表	65	5.33 水箱模型	82
附图		第六章 水文预报	
5.1 记录年期条线图	3	6.1 前言	91
5.2 双累积分析示例	3	6.2 水文预报和警报	91
5.3 西科罗拉多地区10~4月平均降水量与地形参数的关系	5	6.2.1 预报的特性	91
5.4 多边形法	6	6.2.1.1 概述	91
5.5 高程面积法	7	6.2.1.2 预报的限制条件	91
5.6 降雨累积曲线(1962.3.31~4.2暴雨)	8	6.2.1.3 一般的预报变量	91
5.7 外包雨深-面积-历时曲线	9		
5.8 降雨历时和年系列均值的函数 K			

6.2.1.4 预报用语的定义	92	6.5.3 土壤湿度指数	104
6.2.1.5 预报的组成部分	92	6.5.4 洪峰水位预报	105
6.2.2 必要性	93	6.5.5 利用蓄水量预报径流	106
6.2.3 精度和时效	93	6.5.6 退水预报	106
6.2.4 不确定性	93	6.5.7 概念径流模型	106
6.3 水文预报机构	93	6.5.8 流量演算	107
6.3.1 组织	93	6.5.8.1 动力波演算法	107
6.3.2 业务	94	6.5.8.2 扩散比拟和运动波演算法	108
6.4 预报所需的资料	94	6.5.8.3 蓄量演算法	109
6.4.1 概述	94	6.5.9 时间序列分析	109
6.4.2 编制水文预报方案所需的 资料	95	6.5.10 预报修正方法	110
6.4.2.1 概述	95	6.5.11 概率预报	110
6.4.2.2 编制方案所需的要素	95	6.6 专门预报	111
6.4.2.2.1 水文变量	95	6.6.1 概述	111
6.4.2.2.2 流域特征	95	6.6.2 洪水预报	111
6.4.2.2.3 河流特性	95	6.6.3 骤发洪水预报	112
6.4.3 预报作业所需的资料	96	6.6.3.1 概述	112
6.4.3.1 概述	96	6.6.3.1.1 预报方案	112
6.4.3.2 水文变量	96	6.6.3.1.2 告警系统	113
6.4.3.2.1 降雨	96	6.6.3.1.3 警戒和警报	113
6.4.3.2.2 雪	96	6.6.3.1.4 骤发洪水和水质	113
6.4.3.2.3 水位和流量	96	6.6.3.2 城市洪水	113
6.4.3.2.4 其他资料	97	6.6.3.3 垮坝洪水	114
6.4.4 气象预报的应用	97	6.6.4 河流中的风暴潮	114
6.4.5 观测资料的精度和测验次 数	97	6.6.5 供水预报	115
6.4.6 作业资料的收集	97	6.6.6 枯季径流	115
6.4.6.1 站网	97	6.6.7 干旱	116
6.4.6.2 遥感	99	6.6.8 融雪预报	116
6.4.6.2.1 雷达	99	6.6.8.1 概述	116
6.4.6.2.2 卫星	100	6.6.8.2 低地和山区河流的融雪径流 过程	117
6.4.6.2.3 航空遥感	101	6.6.8.3 预报模型	117
6.4.6.3 通讯系统	101	6.6.8.3.1 指数法	117
6.4.6.3.1 卫星通讯	102	6.6.8.3.2 概念模型	118
6.4.6.3.2 流星余迹通讯	102	6.6.8.3.3 扩展的流量预报	118
6.5 预报方法	103	6.6.8.3.4 输入的资料	119
6.5.1 概述	103	6.6.8.4 短期和中期融雪径流预报	119
6.5.2 相关和回归	103	6.6.8.5 长期融雪预报	119
		6.6.8.6 平原地区的季节融雪预报	120

6.6.8.7 山区季节融雪预报	121
6.6.9 冰的形成和解冻	121
6.6.9.1 概述	121
6.6.9.2 结冰预报	121
6.6.9.3 解冻预报	122
6.6.9.3.1 水库解冻预报	122
6.6.9.3.2 开河预报	122
6.6.9.4 长期冰情预报	122
6.6.9.4.1 概述	122
6.6.9.4.2 冰的形成	123
6.6.9.4.3 解冻	123
6.6.9.4.4 大气环流的应用	123
6.6.10 湖泊水位预报	123
6.7 预报方案的编制	124
6.7.1 概述	124
6.7.1.1 分析洪水预报工作的要求	124
6.7.1.2 应用适用的情报和方案	125
6.7.1.2.1 选择方法	125
6.7.1.3 确定模型参数和系数	126
6.7.1.4 计算方法	127
6.8 预报评定	128
6.8.1 一般要求	128
6.8.2 评定标准	128
6.8.3 作业预报的评定	129
6.9 预报和警报的传送	129
6.10 用户对预报的反应	130
6.11 水文预报的收益投资和成本效果分析	131
参考文献	134
附表	
6.1 合乎要求的水文预报观测资料的精度和测验次数	98
附图	
6.1 伏尔加河洪峰水位及传播时间	105
6.2 以区间径流为参数的典型水位关系	105
6.3 积雪和消融模型的流程框图	119
6.4 社区水位-灾害损失关系图	132
6.5 水位-概率关系图	132

6.6 总收益-概率关系图	133
第七章 在水管理上的应用	138
7.1 前言	138
7.1.1 需水量	138
7.1.2 水管理工程的用途	138
7.1.3 综合利用工程	139
7.1.4 水资源系统	139
7.1.5 水管理工程的初步调查研究	139
7.2 地表水可供水量的估算	139
7.2.1 需估算的要素	139
7.2.2 现有资料的适用性	140
7.2.3 水文资料的综合	140
7.2.3.1 概述	140
7.2.3.2 径流记录的综合	141
7.2.3.2.1 回归法	141
7.2.3.2.2 确定性模型	141
7.2.3.3 径流统计特征的综合	141
7.2.3.3.1 概述	141
7.2.3.3.2 平均年径流量	142
7.2.3.3.3 流量历时曲线	142
7.2.3.3.4 枯水流量和丰水流量频率	142
7.2.3.4 人造径流系列的综合	143
7.3 需水量的估算	143
7.3.1 初步估算	143
7.3.2 兴建工程前的要求	143
7.3.3 航运	143
7.3.4 灌溉	144
7.3.5 水力发电	144
7.3.6 防洪	144
7.3.7 城市供水	144
7.3.8 消除污染	144
7.3.9 工业用水	144
7.3.10 游览、美化环境和传统的要求	144
7.3.11 保护鱼类和野生动物	145
7.3.12 地下水回灌	145
7.4 地表水系统水的损失估算	145
7.4.1 损失的性质	145

7.4.2 灌区的损失	145	7.6.5.2 经验方法	157
7.4.3 水库蒸发	145	7.6.5.2.1 洪水的经验公式	157
7.4.3.1 水库蒸发的估算方法	145	7.6.5.2.2 外包线	157
7.4.3.2 工程兴建前库区的蒸散发量	146	7.6.5.3 确定性模型	157
7.4.3.3 库容设计及运行对蒸发损失的 影响	146	7.6.5.3.1 概述	157
7.4.3.4 水库渗漏	146	7.6.5.3.2 降雨-径流模型	158
7.5 库容估算	146	7.6.5.3.3 流量演算法	158
7.5.1 前言	146	7.6.5.4 概率法	159
7.5.2 水库定位的影响	147	7.6.5.4.1 概述	159
7.5.3 泥沙淤积的影响	147	7.6.5.4.2 洪水的统计分析	159
7.5.4 时序分析	147	7.6.5.4.3 概率分布模型	159
7.5.4.1 概述	147	7.6.5.4.4 在给定时段内事件的发生概 率	160
7.5.4.2 数值法	147	7.6.5.4.5 设计重现期	161
7.5.4.3 图解法	149	7.7 防洪工程设计	161
7.5.5 概率法	149	7.7.1 前言	161
7.5.5.1 概述	149	7.7.2 防洪水库	161
7.5.5.2 精确法	150	7.7.2.1 设计问题	162
7.5.5.3 近似法	150	7.7.2.1.1 有控制的拦洪库容	162
7.5.6 库容-取水量-保证率关系	151	7.7.2.1.2 无控制的河上型拦洪库容	162
7.5.7 综合利用水库	151	7.7.2.1.3 无控制的河旁型拦洪库容	163
7.5.8 水库群系统	153	7.7.2.2 为设计而进行的水库运行研究	163
7.5.9 兴建水库带来的影响	153	7.7.2.3 关于水库的进一步研究	163
7.5.9.1 对水力和水文情况的影响	153	7.7.2.3.1 相邻洪水间的时间间隔	163
7.5.9.2 对环境的影响	153	7.7.2.3.2 泥沙沉积的影响	163
7.6 设计洪水的估算	154	7.7.2.3.3 今后上游开发的影响	164
7.6.1 概述	154	7.7.3 其他工程措施	164
7.6.2 设计洪水及其类型	154	7.7.3.1 分洪	164
7.6.3 设计洪水的选择	154	7.7.3.2 河道整治	164
7.6.3.1 设计洪水的大小和计算方法	154	7.7.3.3 堤防和防洪墙	164
7.6.3.2 工程的设计年限	155	7.7.3.4 洪水防护	164
7.6.3.3 大型水库的设计洪水	155	7.7.4 非工程措施	165
7.6.3.4 可能最大洪水	155	7.7.4.1 控制洪泛区开发	165
7.6.3.5 标准设计洪水	156	7.7.4.2 洪水警报	165
7.6.4 资料的准备工作	156	7.8 城市和乡村小汇水区的排水工程 设计	165
7.6.4.1 站网资料	156	7.8.1 前言	165
7.6.4.2 间接资料	156	7.8.2 推理方法	166
7.6.5 设计洪水的计算技术	157	7.8.3 单位线和流时-面积曲线	167
7.6.5.1 前言	157	7.8.4 分布系统模型	167

7.9 最高库水位的估算	167	7.11.5.4 污染物的吸附和累积	176
7.9.1 前言	167	7.11.5.5 热污染	177
7.9.2 风增水	167	7.11.6 减少水质污染的措施	177
7.9.3 风成波	168	7.11.6.1 预防性措施	177
7.9.4 水面的周期波动	168	7.11.6.2 补偿性措施	177
7.10 泥沙输送	169	7.11.7 水质模型试验	178
7.10.1 前言	169	7.11.7.1 概述	178
7.10.2 流域冲刷	169	7.11.7.2 模型种类	178
7.10.3 河道冲刷	169	7.11.7.3 应用与实例	178
7.10.4 河道中的泥沙输送	170	7.12 水管理需要的水文资料	179
7.10.4.1 悬移质输送	170	参考文献	182
7.10.4.2 推移质输送	170	附表	
7.10.5 沉积作用	171	7.1 水库运行的时序计算法	148
7.10.6 防淤措施	171	7.2 事件所需的设计重现期 T_d , 此事件 在 n 年中出现的风险率为 p_n	161
7.11 水质管理	172	7.3 近岸风速的校正	168
7.11.1 前言	172	7.4 方程(7.16)的系数值	171
7.11.2 水量与水质的关系	173	7.5 水管理需要的资料	180
7.11.2.1 河流	173	附图	
7.11.2.2 大型湖泊与水库	173	7.1 日流量历时曲线	142
7.11.3 水利工程对河流水质的影 响	174	7.2 应用累积曲线法确定供给恒定取水 量 D 所需的库容 S	149
7.11.3.1 坝与堰	174	7.3 作为历时函数的流量发生频率	151
7.11.3.2 河道整治工程	174	7.4 作为历时函数的大洪量发生频率	152
7.11.3.3 流量增减	175	7.5 库容-取水量-保证率关系	152
7.11.4 水资源工程对大湖、大库 的水质影响	175	7.6 水库对洪水的影响	162
7.11.5 污染引起的水质变化	175	7.7 巴黎地区降雨强度-历时-频率曲线	166
7.11.5.1 概述	175	7.8 石英砂的沉降速度	172
7.11.5.2 富营养化	175	7.9 高坝大容积水库中, 夏季温度层结 的代表廓线	174
7.11.5.3 有机物及自净作用	176	附录 汉英词汇对照	185

第五章 水文分析

5.1 绪论

5.1.1 水文学中应用的分析方法

水文分析涉及已经确立的流体动力学和热力学原理。其中心问题是将这些原理应用于不规则的、取样稀疏的、而且只是部分地被认识了的自然环境。被取作样品的事件通常是无计划的和未加控制的。因此，分析是为了取得某项要素的空间和时间分布、区域概化及各要素间的关系。然而，这些有关要素往往是没有、或者不能直接测量的。

分析可以使用不同的方法，如确定性的、参数的、概率的和随机的方法等。以确定性方法为基础的分析工作遵循描述物理过程的规律。在参数法中，分析则是采用对比不同地点、时间记录的资料。在概率法中，则是分析变量不同量值的发生频率。在随机方法中，既分析不同量值的序列次序，也分析它们的发生频率。

有一些变量是直接测得的，如水位和流速，或者是根据测验直接计算出来的，如流量。另有一些变量是根据直接测验的样本计算出来的，如流域降雨深度。还有其他一些变量只能间接地进行估算，如湖面蒸发量。

在很多情况下，实测变量不是最适合于分析的。例如，在分析直接径流时，流量过程线往往被分割成几部分，以便将一次特定降雨的相应部分和过程线的其余部分区别开来。这种分割是以分析模型为基础，而不是靠实际测验计算出来的。

分析包括个例研究和对大量资料的统计检验。统计分析包括用回归法或时间系列分析方法使资料拟合频率分布和理论模型。推导出的关系，其有效性往往用独立资料进行检验；重建过程线是一种典型的水文检验法。

分析的详细程度和精确程度应与所用资料的质量和抽样充分程度、以及使用此分析所要求的精度相一致。要考虑用于分析的费用和时间与预期的效益和要求的时间之间的关系。很多事例说明，图解法和比较简单的计算方法比复杂高深的方法更为经济，并且对所用资料 and 原定目的具有足够的精度。

5.1.2 本章范围

第5、6、7章介绍已经成熟的分析方法，这些方法合在一起概括了大多数水文用途所需要的方法。还提供有可供选择的方法，来适应可得到的资料类型、数量都不同的情况下的实际需要。

分析可以用于若干用途中的一个或几个，例如，站网设计、工程措施评价、河流预报及制定水资源管理计划等。主要针对某一单项用途的分析方法，请见有关该项用途的章节。例如，主要用于河川流量预报的方法见第6章“水文预报”，估算所需要的水库库容的方法在第7章“在水管理上的应用”中有所论述。第6章和第7章给出进行预报和设计

所必需的运算顺序, 这往往要有若干个分析步骤。

第5章中叙述的方法, 可用于若干目的, 如估算降雨量的面分布。这些普通的方法在有关的章节中只引用而不再加叙述。不打算对使用的所有方法都加以叙述, 也不打算对这些方法中的任何一个进行深入研究, 也不包含这样的意思: 所论述的方法必定是最好的, 或能普遍应用的。比《指南》更加详细的叙述, 则应参考世界气象组织的其他出版物和教科书, 及各个部门的一些手册(见本章末的参考文献和参考书目)。

5.2 降水资料的整理分析^①

5.2.1 前言

整理分析降水资料及其他水文资料的主要目的有二。一个目的是对一次降水事件或者事件系列的抽样观测资料进行评价。观测样本的评价包括对外部影响的研究(如雨量器的开敞度不足或者有所改变), 及对自然环境如地文学影响的解释。

另一个目的是用一种适合于显示、连续分析或者其他应用的形式对事件进行描述。例如, 以适当的深度、时间和空间尺度来表示一场暴雨; 以表格、曲线图或代数形式来表示尺度大小; 以及用频率或者其他标准计量单位来表示暴雨的大小。

5.2.2 资料的校正

所有的测验成果都是某些随时间和空间变化的要素样本。例如, 河流测验是在河流横断面的一些点上断续地进行的。即使天气雷达, 它能积分面积, 但也是从间歇脉冲的狭窄转动射束中抽取水滴样品的。在实用水文学中, 有用的测验成果必须是能代表或者能转换成有效面积和历时的成果。要在各种测验中取得一致性的成果, 就必须进行校正。这些校正并不破坏测验成果的完整性。

一般地说, 校正的目的有三。一是使记录与给定的环境(如一种标准情况)相一致。例如, 为计算均值或正常值而选取一个统一的记录年期, 或者把测验成果换算到仪器的标准高度。二是消除或者减少外部影响的作用。例如, 应用双累积分析以求因仪器位置和开敞度改变所受到的影响。三是提取或概括资料以便展示或检查。这个过程是有内在的选择性的。例如, 一幅修匀的等雨量线图。又如一条回归线, 它表示一种平均关系, 用来取代复杂的点聚图。率定曲线则是后两个目的的组合物。

5.2.2.1 记录的标准基本年期

在水文资料的区域概化(如平均年降水量)中常会碰到一个问题: 各测站的记录年期不齐。一个测站可能是在多雨年期进行观测的, 而另一个测站记录可能包括了一个特别干旱年期。想把这样两个站的记录对比, 例如在绘制平均年降水量等值线图时, 会使空间变化与时间变化混淆不清。

能够帮助解决这个问题的一种方法是条线图(图5.1), 它用同一时间标尺表明若干个测站的记录年期。这样就可很容易通过审视来挑选出一个最优的记录年期。对于在这个最优年期内记录短缺的测站, 可以用与其他测站同年期段的资料求相关进行估算, 并用此相

^① 译注, “interpretation of precipitation data”及“interpretation of streamflow data”中的interpretation一词, 在本书中统译作“整理分析”, 有的文献中则译作“释义”, 两者涵义相同。

关关系来插补记录较短的测站缺测年期的数值。

挑选最优年期需要考虑一个时段，其长度足以使整个时段的记录样本具有良好的代表性。如果年期太长，就会有很多站的记录是综合出来的。如果年期太短，那必将是一个不好的时间变化样本，并且可能受到异常干旱或者多雨年期的过分影响。

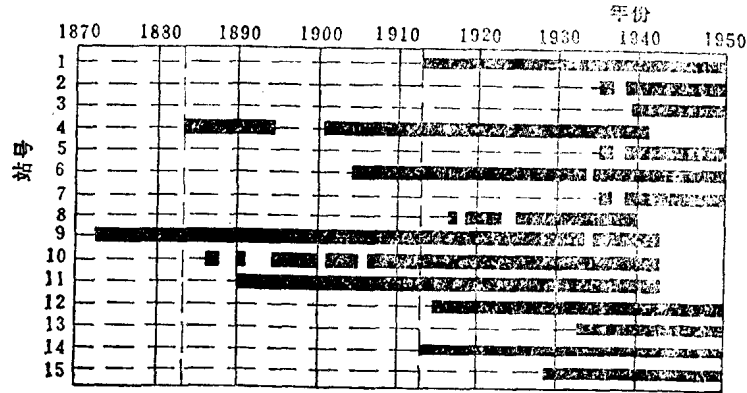


图 5.1 记录年期条线图

5.2.2.2 双累积曲线分析

双累积曲线分析是一种图解方法，用以对测站记录的不一致性进行判别或校正，办法是把本站记录的时间趋势与其他站进行比较。将所讨论测站的年或季累积值与邻近的一个或一组可靠测站的同类数值对应点绘于图上。一条双累积曲线斜率的趋势和变化，可能是由于仪器开敞度或位置的改变、资料收集和整理方法的改变等等所引起的。一个用双累积分析法检查雨量站开敞度变化的实例示如图5.2。这是把一个假设测站的记录与周围几个测站平均的、相对稳定的记录进行比较。

对图5.2的曲线进行审查，可以看出A站年降水量与12个站均值间的关系在1955年有突然的变化，曲线的斜率由1955年以前的0.75变为1955年以后的0.95。旧有记录可按0.95

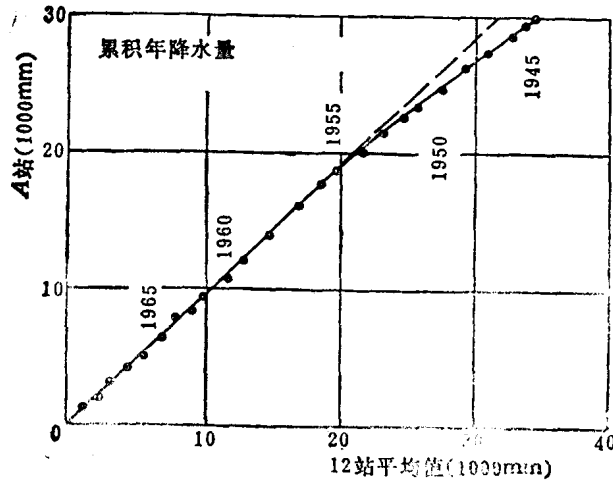


图 5.2 双累积分析示例

与0.75之比加以校正,以弥补在A站发生的变化。

如果双累积分析揭示出斜率有变化,按照双累积曲线两段斜率之比进行校正,对某些目的是有用的。对于其他目的,这个揭示是研究确定斜率变化原因的开始。在双累积分析中填绘的点据总是偏离那条通过点据所画的直线。在曲线上隔不几年就对斜率修改一下,可以使点据与曲线拟合得更加密切。然而,必须承认斜率如此短促的变化是由偶然性引起的,并且少于5个点据的曲线段不能被认为是充分依据的。一般地说,改变斜率只有用其他资料证实,或者已为长年期所明确确定,才可认为是真实可信的。

图5.2所示双累积分析实例仅只是这类分析的多种应用形式之一。对应地点绘累积年或季降水量指数和相应的累积年或季径流量可揭示出二者关系的时间趋势。这种趋势经双累积分析发现后,将会被验明是由于分流或者是土地利用情况改变而引起的,而且是可以被估算出来的。点绘一个流域的累积径流量对一个相邻流域的累积径流量的关系,往往能够揭示出河流水情或者河道特性的渐进的或突然的变化^[1]。

5.2.2.3 缺测资料的插补

为进行分析而准备资料时,往往发现有些记录不完整。为了填补时间系列的缺漏和地图上的空白,从而而开拓一部分记录,可以利用邻站同期记录进行插补等一类方法估算记录的缺漏部分。这类方法见水文学教科书和世界气象组织的出版物[2, 3]。在决定短缺资料需要插补多少时,应先作出判断。插补太少,大量接近完整的记录可能被忽略。插补得太多,总体资料可能因杂有大量分析数据,使资料质量变得非常不好。插补超过记录的5%或10%,很少能被证明是恰当的。

5.2.3 空间分布

5.2.3.1 用等雨量线图说明

将测站位置和适当历时的降水量点绘在合适的地图上,然后绘制出等雨量线。典型的历时有小时、日、月、一场暴雨、季、年,以及平均月、平均年或者平均季,因用途而定。

在地文影响很小或者没有影响的地区,绘制等雨量线是一个比较简单的内插问题。在内插绘图中,等值线的平滑程度及根据等值线间距绘制的剖面的平滑程度是与测站间距、资料的质量和变率相一致的。关于等雨量线图的进一步讨论,见卷I第4章第4.5.1.2节。

在降水受崎岖地形或者大水体影响的地方,必须对有关的地文参数进行评估。需要评估的因素有高程、至海距离、坡度、以及对致雨风的迎风山坡的位向等。曾经介绍过研制和应用客观方法绘制等雨量线图,在这些方法中借助于回归分析明确地说明这些地文参数与降水量有关。

5.2.3.2 评价地文学的影响

山及其他地文特征强烈地影响着大气环流、暴雨的发生和降水量。评价地文对单场暴雨的影响是很困难的,因为关于风向量、稳定度及其他暴雨特性等资料不足,还由于暴雨特性的极大易变性。假如暴雨是确定平均雨型的主型式,山区单场暴雨的面分布型式可以有效地表示为暴雨降水量与季或年平均降水量之比。

年平均降水量随高程、背风面以及迎风方向等而变化,这是久已公认和研究过的。另

外的参数还有坡地陡峭度和开敞度。开敞度可以客观地确定，例如，作一个以测站为中心、半径为30km的圆，在此圆面积内，除了那些高于测站0.3km的障碍物所占的扇形面积外，可用其余所有扇形面积之和作为开敞度。坡地陡峭度要求有一个按照所研究坡地的度数或长度的惯用规定。

有效地确定这些参数及其对年或季平均降水量的共同关系，可以通过图解相关用连续渐近法达到。一个这样的成果示例如图5.3^①。运用相关以便找到一个与资料吻合良好的解法，见参考文献[4]、[5]及[6]。

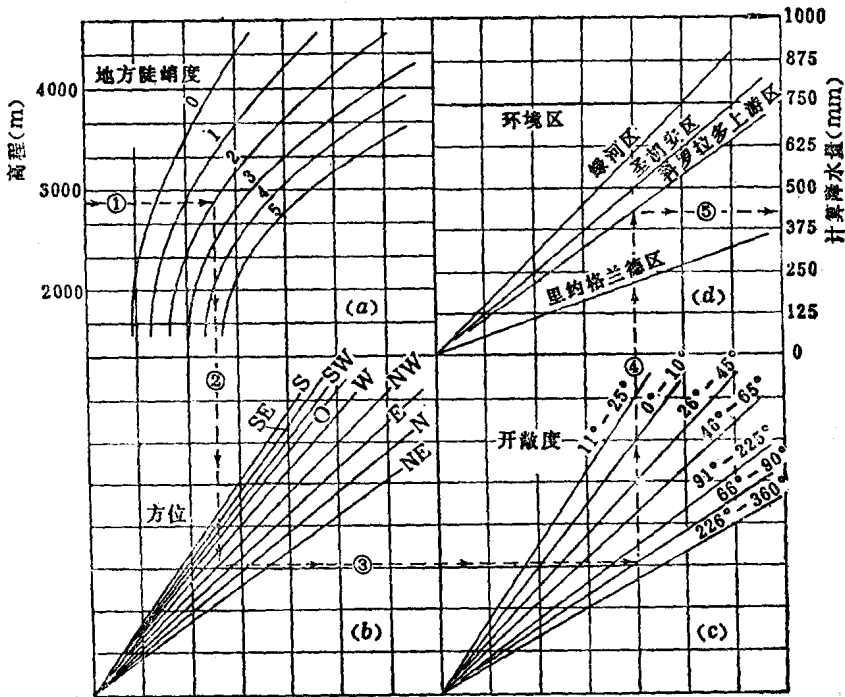


图 5.3 西科罗拉多地区10~4月平均降水量与地形参数的关系

5.2.4 流域平均雨深

有几种方法^[6]是通常用来估算一特定地区，如一个流域上的平均降水量的。方法的选择要在考虑资料的质量和性质、重要性、用途及成果要求的精度等等基础上加以判断。为了提供和刊布资料，卷I第4章第4.5.2节讨论了用于整理观测资料的初步分析。

5.2.4.1 算术平均法

流域内各测站降水量观测值的算术平均值是流域平均降水量最简单的、客观的估算值。这种方法适用于雨量站很多的流域，而且这些雨量站分布均匀或者能以其他方式合宜地选取流域降水量分布样本。方法的适用程度，可以通过与在给定情况下较为高深复杂的方法对比来进行检验。

① 译注：图5.3纵坐标高程单位原文为km，显然不合理，译时更正为m。

5.2.4.2 多边形法

图5.4所示的多边形法适用于测站间距不均匀的情况,并且能对测站资料给以与站距成比例的权重。在这个方法中,将地图上的相邻测站联以直线。这些直线的垂直平分线构

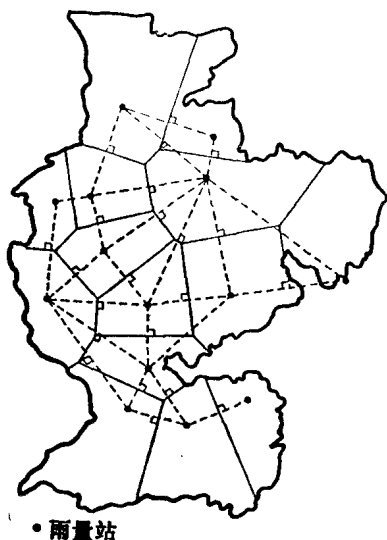


图 5.4 多边形法

成一些多边形,每一个多边形内有一个测站。每一个测站所代表的面积,就是它的多边形面积,而且就用这个面积作为本站降水量的权重因数。将各个测站面积与降水量的乘积累加,除以流域面积,即得平均降水量。在流域边缘上,多边形的一部分跨越边界,只取用多边形位于本流域内的那部分。在这种情况下,那些邻近本流域但位于界外的测站,其多边形面积很可能扩展到本流域内来,这些测站的资料在计算时应包括在内。

计算程序是呆板的,并且一旦测站权重确定了就可立即用机械法进行运算。站网因撤销或增设一个测站而发生变化时,需要重新计算权重系数。如果有一个站或几个站某一天或某

次暴雨期的资料缺测,一般是估算这些资料而不是重新计算测站的权重。估算可以采用测站之间插补或者绘制等雨量线等办法。

尽管其客观性是一个优点,但是这个方法刻板地排除了对站距和降水量以外的其他信息的考虑。

5.2.4.3 等雨量线法

等雨量线法使用雨量等值线之间包围的面积。这些面积可用面积仪量算,或用透明格纸覆盖在等雨量线图上并统计每一等值线间距内的格点数以确定面积。

等雨量线法容许分析人员应用他所掌握的全部信息。这类信息可以包括雷达回波的类型、地文学关系、暴雨路径和类型及径流资料等。熟练地应用这个方法可以得出优良的成果。

上述的三种方法适用于任何历时的降水。历时愈短,应用等雨量线法就愈重要。

5.2.4.4 正常值百分率法

世界上有许多山区都编制了年和季平均降水量图,这些图考虑了地文对降水的平均影响。应用本法,暴雨降水量是以年平均或季平均降水量的百分率来表示的,并且应用等百分率线图编制等雨量线图。这个方法用于地文影响显著的地区最为成功,在这些地区场次暴雨因而往往具有相似的等雨量线型。

5.2.4.5 高程面积法

如图5.5所示的高程面积法,在山区特别有用。在象限(a)中绘制面积-高程曲线,即把流域内位于各等高线以下的面积(A' ,位于 x 轴上)与相应高程(z ,位于 y 轴上)对应点绘而成。