



高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水文与水资源工程

全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

“十二五”江苏省高等学校重点教材

水文预报（第5版）

主编 河海大学 包为民



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水文与水资源工程

全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

“十二五”江苏省高等学校重点教材（编号：2014-1-135）

水文预报（第5版）

主 编 河海大学 包为民



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书是高等学校水利类专业的通用教材,同时也是高等学校水利学科专业规范核心课程教材。主要介绍了水文预报基本原理、方法与实际应用中可能遇到的问题及解决方法,主要包括流域产流、流域汇流、河道流量演算与洪水预报、流域水文模型、实时洪水预报、枯季径流与旱情分析预报、水库水文预报、冰雪融水径流与冰情预报、泥沙预报、水文预报结果评定等。

本书为高等院校水文与水资源专业的教学用书,亦可供水文、水利、水保、水电、航运及水环境等领域的教学、科研、设计与工程管理人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文预报 / 包为民主编. — 5版. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 8

普通高等教育“十五”国家级规划教材 高等学校水利学科专业规范核心课程教材. 水文与水资源工程 全国水利行业“十三五”规划教材(普通高等教育) “十二五”江苏省高等学校重点教材

ISBN 978-7-5170-5650-8

I. ①水… II. ①包… III. ①水文预报—高等学校—教材 IV. ①P338

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第168718号

| | |
|------|--|
| 书 名 | 普通高等教育“十五”国家级规划教材 高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水文与水资源工程 全国水利行业“十三五”规划教材(普通高等教育) “十二五”江苏省高等学校重点教材 水文预报(第5版) |
| 作 者 | SHUIWEN YUBAO 主编 河海大学 包为民 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售 | 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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 |
| 刷 刷 | 北京市密东印刷有限公司 |
| 规 格 | 184mm×260mm 16开本 24印张 569千字 |
| 版 次 | 1986年10月第1版第1次印刷 2017年8月第5版 2017年8月第1次印刷 |
| 印 数 | 0001—4000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

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

编 审 委 员 会

主 任 姜弘道 (河海大学)

副主任 王国仪 (中国水利水电出版社) 谈广鸣 (武汉大学)

李玉柱 (清华大学) 吴胜兴 (河海大学)

委 员

周孝德 (西安理工大学)

李建林 (三峡大学)

刘 超 (扬州大学)

朝伦巴根 (内蒙古农业大学)

任立良 (河海大学)

余锡平 (清华大学)

杨金忠 (武汉大学)

袁 鹏 (四川大学)

梅亚东 (武汉大学)

胡 明 (河海大学)

姜 峰 (大连理工大学)

郑金海 (河海大学)

王元战 (天津大学)

康海贵 (大连理工大学)

张展羽 (河海大学)

黄介生 (武汉大学)

陈建康 (四川大学)

冯 平 (天津大学)

孙明权 (华北水利水电学院)

侍克斌 (新疆农业大学)

陈 楚 (水利部人才资源开发中心)

孙春亮 (中国水利水电出版社)

秘 书 周立新 (河海大学)

丛书总策划 王国仪

水文与水资源工程专业教材编审分委员会

主 任 任立良（河海大学）

副主任 袁 鹏（四川大学）

梅亚东（武汉大学）

委 员

沈 冰（西安理工大学）

吴吉春（南京大学）

刘廷玺（内蒙古农业大学）

方红远（扬州大学）

姜卉芳（新疆农业大学）

靳孟贵（中国地质大学）

吴泽宁（郑州大学）

陈元芳（河海大学）

冯 平（天津大学）

纪昌明（华北电力大学）

刘俊民（西北农林科技大学）

金菊良（合肥工业大学）

郭纯青（桂林工学院）

总 前 言

随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与1999年相比,水利学科专业的办学点增加了将近一倍,每年的招生人数增加了将近两倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年底完成了相关的工作,制定了水文与水资源工程,水利水电工程,港口、航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适用不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各水利学科专业点参照专业规范组织教学,经水利学科教学指导委员会与中国水利水电出版社共同策划,决定组织编写出版“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学组讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好,我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会,对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等

作用。

本套教材第一批共规划 52 种，其中水文与水资源工程专业 17 种，水利水电工程专业 17 种，农业水利工程专业 18 种，计划在 2009 年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力，付出了许多心血，但是，由于专业规范还在修订完善之中，参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高，加之，在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验，因此，这套教材一定会有各种不足与缺点，恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材，以利于教、便于学，更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会

中国水利水电出版社

2008 年 4 月

第5版前言

《水文预报》(第5版)是高等学校水利类专业的通用教材,同时也是高等学校水利学科专业规范核心课程教材。

本教材在前4版的基础上,根据教学要求,并结合近代水文预报技术发展和研究成果编写。教材中一些内容间接或直接引用了国内外的一些成果,特别是长江水利委员会主编的《水文预报方法》、庄一鹤和林三益合编的《水文预报》(第1版)教材、林三益主编的《水文预报》(第2版)等教材。

本教材第2版由四川大学林三益主编,河海大学朱华、包为民和水利部长江水利委员会水文局葛守西参编。其中第3、9、10章由包为民编写,第6章由朱华编写,第5章由葛守西编写,第1、2、4、7、8、11章由林三益编写,并对全书进行统稿和修改。葛守西高级工程师对第2版教材还提出了许多宝贵的修改意见和建议,在此谨致谢意。

本教材第3版和第4版由河海大学包为民主编,河海大学李致家、李杰友和李琼芳参编。其中第4、8章由李致家编写,第5、10章由李杰友编写,第3、7章由李琼芳编写,其余由包为民编写。全书由南京水利科学研究院院长张建云教授主审。

本教材在第3版和第4版的基础上做了一些调整。考虑到水文业务需要,增加了流域泥沙一章,结合早情研究进展,修改和增加了一些早情研究的方法和应用成果介绍,其他章节也做了一些修改。第1章1.4节介绍了水文预报研究思路与方法内容,考虑到过去教材一般不涉及此内容,所以这部分内容打上了星号(*),可以不作教学要求,供学生自学用。第8、9和13章内容,由于不同学校教学大纲要求差异和教学学时不同,可以三章全选,也可以选其中两章。这样可以满足不同教学大纲、不同学时和不同学校的需求。

本教材由河海大学包为民主编,李致家、李琼芳、瞿思敏、李杰友和张行南参编。其中第4、8章由李致家编写,第3、7章由李琼芳编写,第10章由

瞿思敏编写，第5、11章由李杰友编写，其中张行南对第5章进行了一些修改，其余由包为民编写。瞿思敏对全书进行了通稿检查。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

包为民

2016年12月

第 1 版前言

本书根据 1982 年 4 月原水利部主持召开的高等学校陆地水文专业“水文预报”教学大纲编写，共有 10 章，以系统介绍短期洪水预报方法为主，讲课总时数是 65 学时。

本书由庄一鹤（华东水利学院）和林三益（成都科学技术大学）两同志合编。韩承荣（长江流域规划办公室水文局）主审。其中第 1、2、6、9、10 章由林三益编写，其余各章由庄一鹤编写。

书中部分章节内容及预报方案实例取材于《中国湿润地区洪水预报方法》（华东水利学院编）。部分示例引用了各地交流材料。在此谨向有关作者致谢。

本书第 8 章主要参考及取材于张书农教授（华东水利学院）所著《环境水力学》（即将出版）等教材，张教授对本章的编写给予了帮助及指导，在此谨致谢意。

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，书中定有不少错误及缺点，恳请读者批评指正。

编者

1984 年 12 月

目 录

总前言

第5版前言

第1版前言

| | |
|-----------------------|----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 水文预报概念 | 1 |
| 1.2 水文预报作用 | 1 |
| 1.3 水文预报研究现状 | 3 |
| 1.4 水文预报研究思路与方法 | 4 |
| 参考文献 | 10 |
| 第2章 流域产流 | 12 |
| 2.1 概述 | 12 |
| 2.2 产流机制分析 | 13 |
| 2.3 流域蒸发 | 18 |
| 2.4 实测径流分析 | 25 |
| 2.5 降雨径流经验相关法 | 30 |
| 2.6 蓄满产流 | 33 |
| 2.7 超渗产流 | 51 |
| 2.8 混合产流 | 62 |
| 参考文献 | 65 |
| 第3章 流域汇流 | 67 |
| 3.1 概述 | 67 |
| 3.2 单位线 | 68 |
| 3.3 等流时线法 | 81 |
| 3.4 地貌瞬时单位线法 | 85 |
| 3.5 地下径流汇流计算 | 89 |
| 3.6 流域汇流的非线性问题 | 92 |
| 参考文献 | 94 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第4章 河道流量演算与洪水预报 | 95 |
| 4.1 流量演算法的基本原理 | 95 |
| 4.2 特征河长法 | 100 |
| 4.3 马斯京根法 | 102 |
| 4.4 河道相应水位(流量)预报 | 116 |
| 4.5 有支流、分流河段的流量演算 | 125 |
| 4.6 回水、感潮河段的水位(流量)预报 | 131 |
| 4.7 水力学的河道洪水演算方法 | 135 |
| 4.8 问题讨论 | 137 |
| 参考文献 | 139 |
| 第5章 流域水文模型 | 141 |
| 5.1 流域水文模型概论 | 141 |
| 5.2 概念性流域水文模型 | 144 |
| 5.3 分布式流域水文模型 | 207 |
| 5.4 流域水文模型研究与检验 | 213 |
| 参考文献 | 216 |
| 第6章 实时洪水预报 | 218 |
| 6.1 概论 | 218 |
| 6.2 实时洪水预报建模 | 218 |
| 6.3 实时洪水预报误差修正 | 224 |
| 6.4 实时作业预报与问题处理 | 238 |
| 6.5 实时洪水预报系统功能简介 | 249 |
| 参考文献 | 251 |
| 第7章 枯季径流与旱情分析预报 | 252 |
| 7.1 枯季径流 | 252 |
| 7.2 枯季径流预报方法 | 253 |
| 7.3 干旱分析基础 | 259 |
| 7.4 农业旱情分析与预报 | 271 |
| 7.5 城市缺水综合分析 | 276 |
| 参考文献 | 283 |
| 第8章 水库水文预报 | 286 |
| 8.1 建库后河道水力要素和水文特性的变化 | 286 |
| 8.2 入库(湖泊)流量预报 | 287 |
| 8.3 水库水位与出流量预报 | 290 |
| 8.4 水库施工期水文预报 | 296 |
| 8.5 中小型水库的水文预报 | 300 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 参考文献 | 303 |
| 第 9 章 冰雪融水径流与冰情预报 | 304 |
| 9.1 冰雪融水径流概述 | 304 |
| 9.2 冰川积雪融水量计算 | 307 |
| 9.3 积雪融水径流预报 | 313 |
| 9.4 冰情概述 | 316 |
| 9.5 封冻预报 | 319 |
| 9.6 解冻预报 | 322 |
| 9.7 水库调蓄后的冰情预报 | 327 |
| 参考文献 | 332 |
| 第 10 章 泥沙预报 | 333 |
| 10.1 土壤侵蚀 | 333 |
| 10.2 流域产沙 | 337 |
| 10.3 泥沙运动 | 345 |
| 10.4 模型应用检验 | 350 |
| 参考文献 | 355 |
| 第 11 章 水文预报结果评定 | 357 |
| 11.1 预报误差原因分析 | 357 |
| 11.2 评定和检验的目的与方法 | 358 |
| 11.3 洪水预报结果评定 | 359 |
| 11.4 其他水文预报结果评定 | 362 |
| 11.5 水文情报预报效益评估 | 367 |
| 参考文献 | 370 |

第 1 章 绪 论

1.1 水文预报概念

水文预报 (hydrologic forecasting) 就是据已知的信息对未来一定时期内的水文状态作出定性或定量的预测^[1]。已知信息, 广义上指对预报水文状态有影响的一切信息, 最常用的是水文、气象要素与流域下垫面信息, 如降水、蒸发、流量、水位、冰情、气温和含沙量等观测信息, 流域植被、地貌等特征信息。预报的水文状态变量可以是任一水文要素也可以是水文特征量, 不同的状态量预报要求的已知信息不同、预报方法不同、预见期也不同。目前通常预报的水文要素有流量、水位、泥沙、冰情和旱情等。

水文预报方法以水文基本规律、水文模型研究为基础, 结合生产实际问题的需要, 构成具体的预报方法或预报方案, 服务于生产实际。一般水文预报研究的重点和关键有两部分: ①共性规律研究, 即具有一定普遍性的水文基本规律模拟方法和流域水文模型研究; ②个性问题研究, 对反映具体问题的特征、方法进行了解, 构成具有解决各种具体实际问题的、具有较高预报精度的预报方案。

1.2 水文预报作用

水文预报在防汛、抗旱、水资源开发利用、流域治理、国民经济建设和国防等领域都有广泛的应用, 经济效益巨大, 应用单位众多。

洪水预报是应用最广泛、产生经济效益最巨大的水文预报方法之一。1949 年以前, 由于防灾减灾手段少、技术落后, 洪旱灾害频繁、灾害范围广、死亡人数多、损失惨重。而新中国成立后, 党和政府高度重视水旱灾害防治和水资源的开发利用, 一方面进行了大规模的水利基本建设, 其中对防洪起到骨干性调控作用的大型水库就建了 442 座, 表 1.1 是新中国成立以来建设的部分重要的防洪骨干性大型水库; 另一方面从中央到流域机构和各地方省市都成立了水文监测、预报和管理机构, 全方位地研究、监控、预报和管理洪旱灾害, 从非工程措施角度防治和减轻灾害损失。据统计, 1901—2000 年全国发生的最严重的 30 次大灾害中, 16 次是由洪水引起、7 次由于干旱引起, 其余为 4 次地震、1 次风暴潮、1 次鼠疫和 1 次人为灾害 (花园口决口), 表 1.2 是 20 世纪全国最严重的 30 次大灾害统计^[2,3]。其中, 1949 年前的 49 年间共发生 22 次大灾害, 洪灾有 13 次占 59.1%, 而新中国成立后的 51 年共发生 8 次大灾害, 洪灾 3 次, 只占 37.5%。洪灾频率大大降低, 洪灾损失大大减少, 其中洪水预报的作用功不可没。据《中国水利年鉴 2004》统计, 仅 2003 年全国水文情报预报减灾效益就达 180 亿元^[4]。

表 1.1 防洪骨干性大型水库

| 水库名称 | 库容/亿 m ³ | 所在河流 | 水库名称 | 库容/亿 m ³ | 所在河流 |
|------|---------------------|--------|-------|---------------------|-------|
| 潘家口 | 24.03 | 滦河 | 安康 | 25.9 | 汉江 |
| 桃林口 | 20.83 | 青龙河 | 湖南镇水库 | 19.5 | 乌溪江 |
| 密云 | 41.45 | 潮白河 | 新安江水库 | 198.0 | 新安江 |
| 官厅 | 41.6 | 永定河 | 紧水滩水库 | 30.0 | 龙泉溪 |
| 龙羊峡 | 247.0 | 黄河 | 水口水库 | 26.0 | 闽江 |
| 刘家峡 | 57.0 | 黄河 | 岩滩 | 33.8 | 红水河 |
| 小浪底 | 126.5 | 黄河 | 西津 | 30.0 | 郁江 |
| 漳河 | 20.23 | 沮漳河 | 新丰江 | 139.8 | 新丰江 |
| 丹江口 | 208.9 | 汉江 | 松涛 | 33.5 | 南渡江 |
| 东江 | 91.48 | 湘江 | 镜泊湖 | 18.2 | 牡丹江 |
| 柘溪 | 35.65 | 资水 | 丰满 | 107.8 | 第二松花江 |
| 五强溪 | 42.0 | 沅水 | 白山 | 59.1 | 第二松花江 |
| 万安 | 22.16 | 赣江 | 红山 | 16.2 | 西辽河 |
| 柘林 | 79.2 | 修水 | 二龙山 | 17.6 | 东辽河 |
| 陈村 | 26.9 | 青弋江 | 大伙房 | 21.9 | 浑河 |
| 花凉亭 | 23.98 | 皖河支流长河 | 观音阁 | 21.7 | 太子河 |
| 宝珠寺 | 25.5 | 白龙江 | | | |

表 1.2 灾 害 统 计

| 年份 | 灾害类型 | 年份 | 灾害类型 |
|-----------|--------------|-----------|---------------|
| 1906 | 长江中下游地区洪水灾害 | 1935 | 长江、黄河大洪水灾害 |
| 1910 | 长江中下游洪水灾害 | 1937 | 四川干旱灾害 |
| 1911 | 长江沿江所有省份洪水灾害 | 1938 | 黄河花园口决口(人祸) |
| 1910—1911 | 东北三省鼠疫灾害 | 1939 | 海河洪水灾害 |
| 1915 | 珠江流域洪水灾害 | 1942 | 中原干旱灾害 |
| 1917 | 海河大水洪水灾害 | 1943 | 广东干旱灾害 |
| 1920 | 华北干旱灾害 | 1947 | 两广洪水灾害 |
| 1920 | 甘肃隆德和静宁大地震 | 1954 | 长江、淮河大洪水灾害 |
| 1921 | 淮河大洪水灾害 | 1959—1961 | 干旱灾害(三年自然灾害) |
| 1922 | 汕头风暴潮灾害 | 1966 | 邢台地震灾害 |
| 1928—1930 | 西北、华北干旱灾害 | 1976 | 唐山地震灾害 |
| 1931 | 长江、淮河大洪水灾害 | 1987 | 大兴安岭森林大火 |
| 1932 | 哈尔滨大洪水灾害 | 1991 | 长江、淮河大洪水灾害 |
| 1933 | 黄河大洪水灾害 | 1998 | 长江、松花江、嫩江洪水灾害 |
| 1934 | 长江中下游干旱灾害 | 1999 | 台湾地震灾害 |

水文预报在生产上的应用领域十分广泛。主要有流域或区域性洪水与旱情预测，河道、水库、湖泊等水体的封冻、开冻状况及冰凌等冰情预测，积雪、冰川的融雪径流预报，水利工程施工期的施工预报，水库运行管理要求的入库水流过程预报，河道航运要求的沿程水位变化预报等。

在我国应用水文预报方法开展业务的单位众多。不仅从中央到各大流域机构和地方省市都有开展水文预报业务的专门机构，而且还有数百座大型水库、水电站和 1000 余座水文站也在开展水文预报业务^[5]。

1.3 水文预报研究现状^[6]

水文预报研究具有漫长的历史，最早可以追溯到公元前 3500 年，那时人们为了生存、为了防御洪水就开始观测和研究了。例如文明古国的埃及人，通过观测尼罗河水的涨落、记载分析年水位变化等。表 1.3 记载了早期水文规律研究方面的一些成果与年代进展。

表 1.3 水文规律研究成果与年代进展^[6]

| 年 份 | 成 果 |
|----------------|--|
| 公元前 3500—前 300 | 埃及人开始观测尼罗河水位，记载发生的洪水 |
| 公元前 4500—前 350 | Plato 和 Aristotle 提出水文循环的初步概念 |
| 公元前 27—前 17 | Vitruvius 提出完整的水文循环概念 |
| 公元前 100 | Hero 提出流量计算公式 |
| 200 | 中国开始设置雨量站观测雨量 |
| 1610 | Santorio 设计了第一台流速仪 |
| 1663 | Wren 设计了第一个自记雨量站 |
| 1674 | Perrault 提出 $P-R$ 相关概念和产流计算公式： $Q=P/6$ |
| 1687—1715 | Halley 做了蒸发观测试验 |
| 1738 | Bernoulli 提出压力与流速的关系 |
| 1775 | 谢才 (A. de Chézy) 提出河道流速公式 (谢才公式) |
| 1851 | Mulvaney 提出汇流时间概念和暴雨成因公式 $Q=CIA$ |
| 1856 | 达西 (Darcy) 提出地下水流动理论 |
| 1932 | Sherman 提出单位线汇流方法 |
| 1933 | Horton 提出下渗理论与下渗计算公式 |
| 1935 | McCarthy 提出马斯京根河道洪水演算方法 |
| 1945 | Clark 提出储蓄理论和相应的汇流方法 |
| 1951 | Kohler 和 Linsley 提出合轴相关图 |
| 1955 | Lighthill 和 Whithmat 提出动力波理论 |
| 1956 | 系统分析理论与方法应用于水资源研究 |

续表

| 年 份 | 成 果 |
|------|--------------------------------------|
| 1957 | Nash 提出瞬时单位线概念、理论与方法 |
| 1958 | 加里宁和米留柯夫提出特征河长方法 |
| 1958 | 美国陆军工程兵团研制了第一个概念性流域水文模型 |
| 1959 | Linsley 和 Grawford 把数字计算机应用于流域水文模拟研究 |
| 1962 | 赵人俊提出马斯京根法多河段连续演算概念与方法 |
| 1963 | 赵人俊等提出蓄满产流概念、理论与方法 |
| 1965 | 国际水文十年开始 |

纵观水文规律研究,根据其研究内容和成果的复杂性大致可划分为古代萌芽状态发展时期、经验研究和简单水文规律或单因素规律研究时期,以及综合性规律的现代水文研究时期。

第一个时期是从公元前 3500—1500 年,该时期的研究思想和概念都是很朦胧的,方法是很简单的,观测很少有仪器,只凭眼睛和自然条件,凭经验计算与估计。

第二个时期是从 1500—1953 年,该时期在概念、实验研究和量测工具、经验相关方法、简单水文机制的实验模拟等方面都有很大的进展,在这时期内无论是研究的内容、形成的概念、理论与方法都有大的发展,其规模与现代研究相差不大。特别巴利西(Palissy)提出了水文循环概念,桑托利(Santorio)、卡斯特(Castelli)、霍克(Hooke)、巴斯卡(Pascal)等先后提出了使用流速仪、测雨仪、雨量计、机械计算机等,卡斯特还证实了希罗(Hero)在公元前 100 年左右据经验提出的流量计算公式,还有哈雷(Halley)的蒸发试验、伯努利(Bernoulli)的水压与水流的关系研究、谢才(A. de Chézy)的河道流速公式、达西(Darcy)的地下水流理论、马尔凡尼(Mulvaney)的暴雨成因公式、麦克瑟(G. T. McCarthy)的马斯京根河道流量演算方法、霍顿(Horton)的下渗计算公式等。

第三个时期是从 1954 年至今,高速、大容量计算机的发展与应用,使得人们对水文规律的综合研究、利用复杂模型对水流的模拟成为可能,使水文预报能解决许多生产上的实际问题,流域或区域性大范围的洪水、旱情预测研究才得以进行。

当前,水文预报研究主要还存在基本规律研究和误差修正两方面的问题。基本规律研究涉及机理研究的进一步深入、规律描述方法的物理化和综合性。误差修正主要是与修正效果有关的研究,包括修正方法、修正利用信息^[10]、修正内容等方面的研究。

1.4 水文预报研究思路与方法*

水文预报方法研究以规律描述方法研究(如流域水文模型)为核心,形成了具有特色的和一定先进性的思路与方法,总结、掌握和了解这些思路与方法,对水文预报研究和课程学习都具有重要意义。