

HEC-HMS 水文建模系统

原理·方法·应用

主编 李向新 副主编 和红强

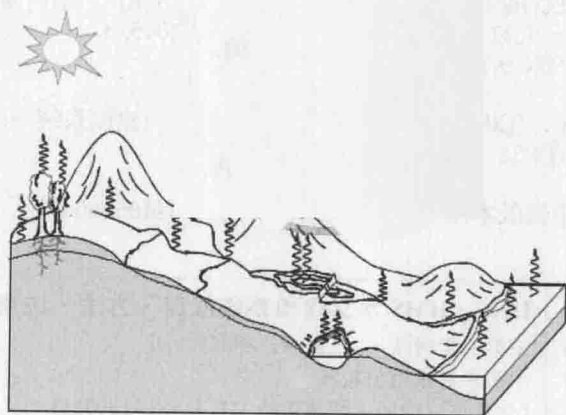


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

HEC-HMS 水文建模系统

原理·方法·应用

主编 李向新 副主编 和红强



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书从水文建模原理、方法与应用三个方面,详细介绍了美国陆军工程师团水文工程中心(HEC)开发的新一代水文建模计算机程序 HEC-HMS。全书由 3 篇共 31 章及附录组成。第 1 篇介绍了 HEC-HMS 水文建模原理,包括模型基础知识、HEC-HMS 组件等内容。第 2 篇介绍了基于 HEC-HMS 的工程水文学研究,包括城市洪水研究、洪水预警系统规划研究、水库溢洪道容量研究以及河流恢复研究等内容。第 3 篇介绍了 HEC-HMS 程序应用指南,包括 HEC-HMS 程序简介、工程和控制标准、数据输入、模拟运行分析等内容。附录部分给出书中涉及的相关数据和表格,以及水文工程专业术语的中英文对照和定义。

本书既可作为国内从事水文及水资源规划、水利水电工程、水环境与水信息学教学和研究人员参考资料,也可作为高等院校相关专业的本科生和研究生的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

HEC-HMS 水文建模系统原理·方法·应用 / 李向新主
编. — 北京:中国水利水电出版社, 2015.3
ISBN 978-7-5170-3070-6

I. ①H… II. ①李… III. ①水文—建模系统—研究
IV. ①P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第066804号

书 名	HEC-HMS 水文建模系统原理·方法·应用
作 者	主编 李向新 副主编 和红强
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 (发行部)
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
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 28.5 印张 676 千字
版 次	2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷
印 数	001—800 册
定 价	168.00 元(附光盘 1 张)

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

本书编委会

主 编：李向新

副 主 编：和红强

编写人员：黄 勇 吴学群 尹健梅 梁礼绘
 罗智锋 丛翔宇

前 言

PREFACE

近十几年,随着航空航天、遥感和新一代气象雷达技术的进步和广泛应用,流域地形、降水、气温、太阳辐射、土壤湿度、土地覆盖和土地利用等时空分布数据已很容易获得。同时,在GIS平台的支持下,许多计算机水文建模系统在水文过程模拟分析中可以考虑时空分布特性的影响。

在上述背景下,美国陆军工程师团水文工程中心(HEC)在其原有的HEC-1水文计算程序基础上,开发了新一代水文建模计算机程序HEC-HMS。HEC-HMS可模拟羽状流域系统的降水径流过程,适用于不同地区的各种水文问题的计算,包括计算大的河流流域的供水及洪水过程以及较小的城市或集水区的径流。该程序计算出的水文过程线可以与其他的软件相结合,用于水资源利用、城市排水、洪水预报、城市发展影响、水库溢洪道设计、洪水灾害减轻、洪泛区规划和防洪系统运行等诸多方面的研究。

HEC-HMS与其前面版本的程序相比,在图形用户界面、GIS集成以及水文模拟功能方面有了较大的改进。HEC-HMS图形用户界面友好,实现了流域模型、气象模型、水文模型和参数数据的集成和交互操作,提高了水文建模和模拟计算的效率和可靠性。同时HEC-HMS可以直接读入在ArcGIS平台上用HEC-GeoHMS组件构建的流域建模,实现了与GIS的无缝连接,使那些含有许多集水区的复杂流域的流域建模变得更加容易。

HEC-HMS程序具有一系列强大的水文模拟功能。程序中包含了工程水文大部分常用的方法。程序可以模拟流域长期和短期的降雨径流过程,这在研究区域洪水及持续降水和干旱事件时非常有用。在某些模型中(如修正的Clark方法)使用了栅格化的流域及数据表达方式,实现了分布式水文模型的应用。另外,程序还可以根据实测的水文过程线,进行优化试算和流域参数的反演分析。程序不仅可以作为工程水文计算程序使用,而且也可以为相关领域的研究人员提供水文建模和分析的工具。

本书由第1篇HEC-HMS水文建模原理、第2篇基于HEC-HMS的工程水文学研究和第3篇HEC-HMS程序应用指南等3部分组成,编译和介绍了《HEC-HMS技术手册2000》、《HEC-HMS应用指南2008》和《HEC-

HMS 用户手册 V3.5》的内容，并给出这 3 个技术文件中涉及的水文工程专业术语的中英文对照和定义。本书的出版和发行，为大专院校相关专业的学生、教学及科研人员、勘察设计单位的水文工程技术人员学习和使用这一软件提供了基础性资料。

在本书的筹划和出版过程中得到了中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司（以下简称昆明院）科技信息部的支持。全国工程设计大师、昆明院副总经理兼总工程师张宗亮给予了关心帮助和具体指导，在此特致谢意。同时，还要感谢昆明院曹以南副总工程师、严磊博士、杨建敏主任、马淑君高级工程师等的帮助和支持。感谢在美国的清华校友薄智泉博士与美国陆军工程师团水文工程中心（HEC）的有关负责人联系，为我获得了 HEC 文件的使用许可。感谢 HEC 现任执行秘书 Ozella R. Miller 先生对本书出版的支持和帮助。最后感谢我的家人对我的支持。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者和专家批评指正，本人将不胜感激。

李向新

2014 年 5 月 12 日

于昆明理工大学

目 录

前言

第 1 篇 HEC-HMS 水文建模原理

第 1 章 《HEC-HMS 技术手册 2000》内容简介	3
1.1 概述	3
1.2 HEC-HMS 简介	3
1.3 其他 HEC-HMS 参考资料	4
1.4 《技术手册》的组成结构	4
参考文献	5
第 2 章 模型基础知识	6
2.1 模型的定义	6
2.2 模型的分类	6
2.3 模型的组成部分	8
2.4 模型和计算程序	9
参考文献	10
第 3 章 HEC-HMS 组件	11
3.1 径流过程	11
3.2 HEC-HMS 对径流过程的表示方法	12
3.3 包含在 HEC-HMS 程序中的模型简介	12
3.4 HEC-HMS 的建立和应用	14
参考文献	15
第 4 章 HEC-HMS 模型的降水描述方法	16
4.1 实测历史降雨数据	16
4.2 历史降雨的雷达观测数据	20
4.3 假设暴雨	23
4.4 蒸发和散发	29
参考文献	29
第 5 章 HEC-HMS 径流量计算	31
5.1 基本概念	31

5.2	初始常速率和亏欠常速率损失模型	32
5.3	SCS 曲线数损失模型	33
5.4	格林安普特损失模型	34
5.5	连续的土壤—湿度计算模型 (SMA)	35
5.6	HEC-HMS 径流量模型的能力与局限	40
	参考文献	41
第 6 章	HEC-HMS 地表径流模型	43
6.1	单位线模型的基本概念	43
6.2	用户指定的单位线	44
6.3	参数化和合成单位线	45
6.4	斯奈德单位线模型	45
6.5	SCS 单位线模型	47
6.6	克拉克单位线模型	49
6.7	修正克拉克模型	51
6.8	动波模型	52
6.9	HEC-HMS 地表径流模型的适用性和局限性	57
	参考文献	58
第 7 章	HEC-HMS 的基流模型	60
7.1	基本概念和 HEC-HMS 应用	60
7.2	HEC-HMS 的基流模型参数估算	61
	参考文献	62
第 8 章	HEC-HMS 的河道水流模型	63
8.1	明渠水流方程及求解技术	63
8.2	修正的 Puls 模型	65
8.3	马斯京根模型	67
8.4	延迟模型	69
8.5	动波法	70
8.6	马斯京根—春格模型	71
8.7	HEC-HMS 演进模型的适用性和局限	73
8.8	用 HEC-HMS 模拟汇流点 (交汇点)	75
8.9	用 HEC-HMS 模拟分支点	76
	参考文献	76
第 9 章	HEC-HMS 模型校验	78
9.1	校验的定义	78
9.2	HEC-HMS 校验方法总结	78
9.3	符合度指标	80

9.4 各种搜索方法	82
9.5 搜索的约束条件	85
参考文献	87
第 10 章 水控制设施模型	88
10.1 分水设施建模	88
10.2 水库和挡水建模	89
参考文献	92
附录 A CN 表	93
附录 B SMA 模型蓄水量计算时间间隔选择	98
附录 C 词汇表	100

第 2 篇 基于 HEC-HMS 的工程水文学研究

第 11 章 HEC-HMS 应用领域概述	111
11.1 研究所需的与流域及河道有关的信息	111
11.2 研究所需信息的来源	112
11.3 HEC-HMS 及其作用	113
11.4 HEC-HMS 的使用	115
11.5 其他内容	117
11.6 是否需要其他方法	118
参考文献	118
第 12 章 城市洪水研究	120
12.1 背景	120
12.2 案例研究: CRS/SRS 流域城市化影响估算	121
参考文献	135
第 13 章 洪水频率分析	137
13.1 背景	137
13.2 案例研究: CRS/SRS 流域的洪水频率估算	139
参考文献	149
第 14 章 洪水损失减轻研究	151
14.1 背景	151
14.2 案例研究: CRS 流域淹没损失减轻效益评价	153
参考文献	164
第 15 章 洪水预警系统规划研究	165
15.1 背景	165
15.2 案例研究: 城市流域洪水预警系统效益估算	169

参考文献	177
第 16 章 水库溢洪道容量研究	178
16.1 背景	178
16.2 案例研究: Bonanza 水库溢洪道 PMF 评估	179
参考文献	186
第 17 章 河流恢复研究	187
17.1 背景	187
17.2 案例研究: Stirling Branch 的河道维护	189
参考文献	194

第 3 篇 HEC - HMS 程序应用指南

第 18 章 《HEC - HMS 用户手册》简介	197
18.1 使用范围	197
18.2 发展历程	197
18.3 功能	198
18.4 局限性	200
18.5 文字表示方法的约定	201
参考文献	201
第 19 章 安装和运行程序	203
19.1 操作系统需求	203
19.2 硬件要求及建议	203
19.3 安装	204
19.4 运行程序	206
19.5 命令行操作	207
19.6 内存分配管理	208
19.7 其他资源	208
第 20 章 HEC - HMS 程序简介	209
20.1 程序界面	209
20.2 程序设置	216
20.3 数据协议	217
20.4 应用步骤	219
参考文献	227
第 21 章 工程和控制标准	228
21.1 工程	228
21.2 目录和文件	233

21.3	控制标准	235
21.4	导入 HEC-1 文件	241
	参考文献	243
第 22 章	共享的组件数据	244
22.1	时间序列数据	244
22.2	配对数据	255
22.3	栅格数据	263
	参考文献	270
第 23 章	流域的物理描述	271
23.1	流域模型	271
23.2	流域模型特性值	274
23.3	流域模型地图	276
23.4	水文单元	280
23.5	流网	287
	参考文献	292
第 24 章	子流域单元	293
24.1	选择树冠截留方法	293
24.2	选择表面方法	294
24.3	选择损失方法	296
24.4	选择转换方法	304
24.5	选择基流计算方法	310
第 25 章	河段单元	315
25.1	选择演进方法	315
25.2	选择损失/补给方法	319
第 26 章	水库单元	321
26.1	选择演进方法	321
26.2	出流曲线演进	321
26.3	指定放水演进	323
26.4	泄水建筑物演进	324
第 27 章	水源、汇流点、分流点和排水单元	340
27.1	水源单元	340
27.2	汇流单元	342
27.3	分流单元	342
27.4	排水点单元	346

第 28 章 气象描述	348
28.1 气象模型	348
28.2 降水	354
28.3 蒸散发	365
28.4 融雪	368
参考文献	375
第 29 章 水文模拟	376
29.1 模拟运行	376
29.2 查看当前的运行	387
29.3 查看其他运行的结果	391
第 30 章 参数估算	395
30.1 优化试算	395
30.2 查看当前试算的结果	406
30.3 查看其他试算的结果	413
第 31 章 模拟运行分析	417
31.1 分析	417
31.2 深度面积分析	423
附录 D HEC-DSS 中的数据存储	429
附录 E 栅格文件格式	432
附录 F 地图文件格式	433
附录 G HEC-HMS 和 HEC-1 的差别	435
附录 H 英汉水文建模专业词汇对照表	438
附录 I 条款和使用条件	443

第 1 篇

HEC - HMS 水文建模原理

第 1 篇介绍《HEC - HMS 技术手册 2000》[HEC - HMS Technical Reference Manual (March 2000)] (以下简称《技术手册》) 的主要内容, 包括《技术手册》内容简介、模型基础知识、HEC - HMS 组件、HEC - HMS 模型的降水描述方法、HEC - HMS 径流量计算、HEC - HMS 地表径流模型、HEC - HMS 基流模型、HEC - HMS 河道水流模型、HEC - HMS 模型校验、地表径流计算模型、基流计算模型、河道洪水演进模型、模型参数演算、水控制设施模型模型等内容。附录部分, 给出了 SCS 城市、农用地及其他用地的径流曲线数 CN 表, 土壤湿度计算模型 (SMA) 简介, 以及《技术手册》中使用的专业技术词汇的中英文对照及定义。

第 1 章 《HEC - HMS 技术手册 2000》内容简介

本章介绍《技术手册》的基本内容，包括概述、HEC - HMS 简介、HEC - HMS 其他参考资料、技术手册的组成和结构等几个部分。

1.1 概述

HEC - HMS 是美国陆军工程师团水文工程中心 (HEC) 开发的水文建模系统计算机程序。该程序可以模拟自然或人工状态下流域降雨—径流及洪水演进过程。

HEC - HMS 是 HEC 的 HEC - 1 (USACE, 1998) 程序及 HEC - 1 的其他各种版本的程序的后续和替代程序。HEC - HMS 改进了 HEC - 1 的功能，并增加了分布式水文建模和连续模拟功能。《技术手册》介绍包含于 HEC - HMS 计算程序中的各种数学模型。除此之外，《技术手册》也为如何使用这些模型、如何估算模型参数提供指南。

《技术手册》在描述水文模型时考虑到水文工程师或科学工作者们在大学课程中已学习过水文学，因此没有给出一般模型的具体例子。读者可以从某些对口教科书和刊物中获得这些模型相关的详细信息。另一方面，《技术手册》中还包含了一些新的和不常见的模型。

1.2 HEC - HMS 简介

HEC - HMS 为降雨径流和洪水演进模拟提供了下面的组件。

(1) 指定降雨选项 (Precipitation-specification options)。用于描述实测的 (历史的) 降雨事件，基于频率的假设降雨事件，或者是描述在给定位置的可能降雨的上限值的

事件。

(2) 损失模型 (Loss models)。用于估算径流量，给出降雨和集水区特性。

(3) 地表径流模型 (Direct runoff models)。用于计算地表流，水流流过集水区进入河流和河道时的蓄水量及能量损失。

(4) 水文演进模型 (Hydrologic routing models)。用于计算水流流过河道时的蓄水量和能流密度。

(5) 自然发生的汇流和分流模型。

(6) 水控制措施模型。包括分水和蓄水设施。

上面这些模型与 HEC - 1 中的模型相似。除此之外，HEC - HMS 还包括：

(7) 使用分布式降雨数据 (例如从气象雷达获得的数据) 的分布式径流模型。

(8) 连续的土壤湿度计算模型。用于计算集水区对湿润和干旱的长期响应。

HEC-HMS 中还包含:

(9) 一个自动校验的软件包。在给定水文气象条件的观测数据时, 它可以估算特定的模型参数和初始条件。

(10) 与数据库管理系统的各种连接。允许对数据的存储、检索以及与从 HEC 或其他机构得到的其他的分析工具的连接。

1.3 其他 HEC-HMS 参考资料

除了《技术手册》之外还有两个参考资料。

1. HEC-HMS 用户手册

主要介绍包含在 HEC-HMS 程序中的模型以及 HEC-HMS 的用户界面, 包括如何使用用户界面输入数据、确定模型参数、运行程序和检查结果, 并提供了完成这些任务的全部案例。

2. HEC-HMS 在线帮助系统

HEC-HMS 在线帮助系统是 HEC-HMS 程序的组成部分, 其基本内容是用户手册的一个电子版本, 也包含来自《技术手册》的一些其他材料。由于该在线帮助系统是电子文档的形式, 因此可以进行文档的关键词搜索以及用超链接完成主题之间的切换。

HEC-HMS 用户手册和程序可以从水文工程中心 (HEC) 的网站获得。其网址是 www.hec.usace.army.mil。

1.4 《技术手册》的组成结构

表 1-1 列出了《技术手册》的组成结构。第 4~8 和第 10 章给出了模型的方程, 定义了方程中的术语, 解释了 HEC-HMS 中使用的求解算法。另外, 为了估算参数, 介绍了模型及方法的参数。

由于模型校验的重要性, 第 9 章详细介绍了 HEC-HMS 的自动校验功能。这一特性可以被用于根据实测的降雨和流量估算模型的参数。

表 1-1 HEC-HMS 技术参考手册内容总结

章序	主 题	内 容
1	前言	给出 HEC-HMS 和《技术手册》的概述
2	降雨—径流—洪水演进模拟模型简介	定义《技术手册》使用的术语, 介绍模型的基本概念和组成部分
3	HEC-HMS 的组成部分	介绍 HEC-HMS 是如何表达径流过程和定义包含在该程序中的模型
4	介绍用 HEC-HMS 建模的降雨	定义各种用于 HEC-HMS 进行分析的降雨事件类型, 介绍每一种数据的格式, 给出降雨处理算法
5	用 HEC-HMS 计算径流量	总结程序中给定降雨估算降雨量的模型
6	用 HEC-HMS 建立地表径流模型	总结程序中可用于计算给定径流量时的径流过程的模型

续表

章序	主 题	内 容
7	用 HEC - HMS 建立基流模型	介绍 HEC - HMS 的地表水流模型
8	用 HEC - HMS 建立河道模型	介绍可以使用的明渠水流的替代模型, 并提供使用指南
9	HEC - HMS 模型的校验	介绍如何用历史降雨和径流数据校验 HEC - HMS 模型
10	水控制设施的建模	介绍 HEC - HMS 中的分水和挡水设施模型
附录 A	CN 表	SCS 损失模型的参数表
附录 B	SMA 模型细节	有关 HEC - HMS 土壤—湿度—计算模型的更多信息
附录 C	词汇	重要术语的简单定义
附录 D	索引	提供一个《技术手册》中重要标题和术语的相互参照的清单

参考文献

[1] US Army Corps of Engineers, USACE (1998). HEC - 1 flood hydrograph package user's manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

[2] USACE (2000). HEC - HMS hydrologic modeling system user's manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.