

朱元牲 金光炎 著

城市水文学



中国科学技术出版社

城市水文学

朱元铎 金光炎 著

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书为国内第一部城市水文学理论专著。书中针对城市水文学中的主要问题——排水系统规划、设计和管理所需的水文知识作了详尽介绍，并提供了具体的分析和计算方法，还引用了不少先进国家的理论与方法，为城市建设、规划、设计和管理工作提供了水文学理论基础。

城 市 水 文 学

朱元铎 金光炎 著

责任编辑：沈国峰

中国科学技术出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市平谷县大北印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：8.75 字数：192千字

1991年5月第1版 1991年5月第1次印刷

印数：1—1800册 定价：5.85元

ISBN 7-5046-0382-1/P·8 登记证号：（京）175号

序 言

随着国民经济的发展，城市中人口密集、建筑林立、空气污染和水环境改变等，都使城市水文问题愈来愈突出。特别是城市的排水和水处理，更是迫切需要解决的问题。

城市水文学虽然已有一定的历史，但发展较快还是最近30年来的事。我国也正在努力探索。为了帮助城市建设工作者了解城市水文的特点并掌握分析计算方法，本书针对城市水文学中的主要问题——排水系统规划、设计和管理所需要的水文知识作了介绍。同时，还引用了不少国外的理论与方法，但有些文献使用了英制计量单位，尤其是一些经验公式，书中未进行换算，请读者注意。

本书在编写过程中，承蒙刘九夫和许圣斌同志参加部分编写与整理工作，并得到沈国峰同志精心编辑，在此深表谢意。

由于编者的水平有限，对城市水文学的内容了解不多，这里仅作为抛砖引玉，并欢迎读者批评指正。

编 者

1990年11月

目 录

序言

第一章	绪论	(1)
第一节	城市化与城市水文问题.....	(1)
第二节	城市水文学的发展.....	(8)
第三节	我国面临的的城市水文问题.....	(12)
第二章	城市气候	(28)
第一节	城市气候概述.....	(28)
第二节	城市热状况.....	(32)
第三节	城市化对降雨的影响.....	(41)
第四节	城市气候和城市规划.....	(54)
第三章	城市地区的雨洪径流	(60)
第一节	城市地区雨洪径流的一般情况.....	(60)
第二节	城市地区雨洪排水系统.....	(62)
第三节	城市化对径流形成的影响.....	(68)
第四节	城市化对径流量平衡的影响.....	(70)
第五节	城市化对洪水的影响.....	(79)
第四章	城市水文资料的收集与测验设备	(86)
第一节	降水和其他气象资料.....	(87)
第二节	河渠和管通流量资料.....	(88)
第三节	水质监测资料.....	(89)
第四节	土地利用情况资料.....	(93)
第五节	城市水文站专用设备.....	(95)

第五章	城市设计暴雨	(101)
第一节	城市设计暴雨概述.....	(101)
第二节	年最大24小时设计暴雨量.....	(105)
第三节	雨量-频率-历时关系的分析和应用.....	(107)
第四节	设计暴雨的时程分配.....	(116)
第五节	设计暴雨过程的计算实例.....	(125)
第六节	可能替代设计暴雨的方法.....	(129)
第六章	城市雨洪径流计算	(132)
第一节	城市流域的产流计算.....	(134)
第二节	城市雨洪过程汇流计算的 水文学方法.....	(145)
第三节	城市雨洪过程汇流计算的 水力学方法.....	(179)
第四节	城市雨洪产汇流计算的推理公式法.....	(187)
第七章	城市径流的水质分析	(207)
第一节	面源污染的来源和种类.....	(212)
第二节	地表污染物的集聚、冲洗和输送.....	(217)
第三节	城市径流污染物负荷量的计算方法.....	(224)
第四节	城市径流污染与环境评价.....	(240)
第五节	城市径流污染控制管理措施.....	(243)
第八章	城市水文水质模型概述	(247)
第一节	规划模型.....	(248)
第二节	设计和分析模型.....	(255)
第三节	运行和控制模型.....	(265)
第四节	城市水文水质模型的应用.....	(267)
参考文献		(270)

第一章 绪 论

第一节 城市化与城市水文问题

人口向城市地区集中,致使城市区域不断扩张的过程称为“城市化”。城市化总是和工业化互为因果的,代表了当今社会发展的趋势。世界城乡人口的统计和预估都说明了这一点(见表1-1)。

世界人口的增长是非线性的,可用下式表示

$$P = P_{-1}(1 + \alpha) = P_{-2}(1 + \alpha)^2 = \cdots = P_{-n}(1 + \alpha)^n \quad (1-1)$$

式中: $P, P_{-1}, P_{-2}, \cdots, P_{-n}$ ——分别为当年,前一年,前二年……前 n 年的世界人口总数; α ——世界人口的年增长率。

现在世界人口年增长率 α 为2%。由于人口总数不断增长,所以逐年净增的人数也在不断加大,现在世界人口已超过50亿,且每年净增8 000万人,预计2022年世界人口将达到80亿。联合国国际经济及社会事务署1981年预测世界及各主要地区人口增长情况如图示(图1-1)^[12]。

据人口资料统计分析,人口增长率 α 并非恒定的常数,长期以来存在逐年增大的趋势,这就更加剧了人口增长的速度。然而,本世纪70年代初期是个历史性转折点,增长率开始转为递减(见图1-2所示^[12]),但全球人口总数还在继续增加。随着人口向城市地区集中的城市化过程,城市地区人口占总人口的比例逐年上升,使城市地区人口总数上升得更为

世界城乡人口变动情况表[10] 表 1-1

类 别	年 份		1963		1970		1980		1990		2000	
	人 口	百 分 数	人 口	百 分 数	人 口	百 分 数	人 口	百 分 数	人 口	百 分 数	人 口	百 分 数
	(亿人)	(%)	(亿人)	(%)	(亿人)	(%)	(亿人)	(%)	(亿人)	(%)	(亿人)	(%)
总人口	全世界	32.89	100	36.35	100	44.68	100	54.56	100	65.15	100	100
	发展地区	10.37	100	10.91	100	12.11	100	13.37	100	14.54	100	100
	发展中地区	22.52	100	25.45	100	32.57	100	44.19	100	50.61	100	100
城市人口	全世界	11.58	35.2	13.52	37.2	18.54	41.5	25.17	46.1	33.29	61.1	61.1
	发达地区	6.51	62.8	7.17	65.7	8.64	71.4	10.21	76.4	11.74	80.2	80.2
	发展中地区	5.07	22.5	6.35	25.0	9.90	30.4	14.96	36.3	21.55	42.6	42.6
农村人口	全世界	21.31	64.8	22.83	62.8	62.14	58.5	29.39	53.8	31.86	48.9	48.9
	发达地区	3.86	37.2	3.74	34.3	3.47	28.6	3.16	23.6	2.80	19.8	19.8
	发展中地区	17.45	77.5	19.10	73.0	22.67	69.6	26.23	63.7	29.06	57.4	57.4

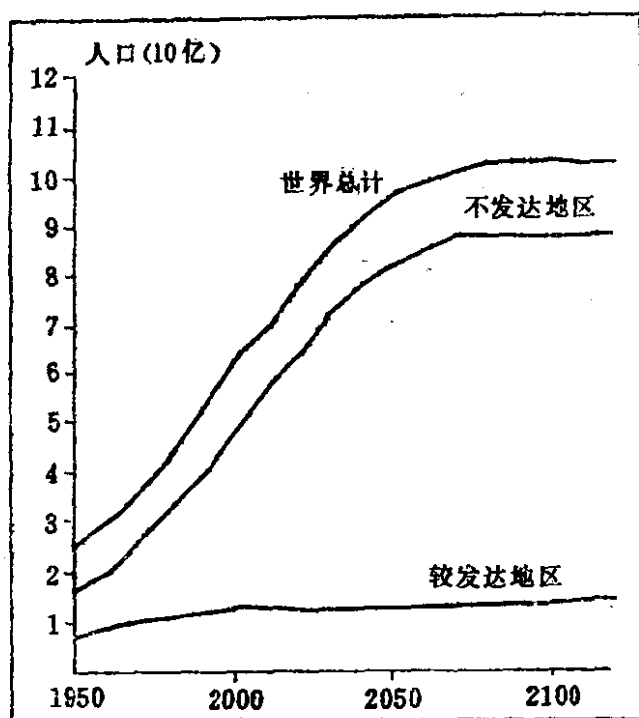


图 1-1 较发达地区、欠发达地区和世界总计人口(1950~2120年)

注：较发达地区包括欧洲、北美、澳大利亚、日本、新西兰和苏联。欠发达地区包括非洲、亚洲、拉丁美洲和大洋洲。

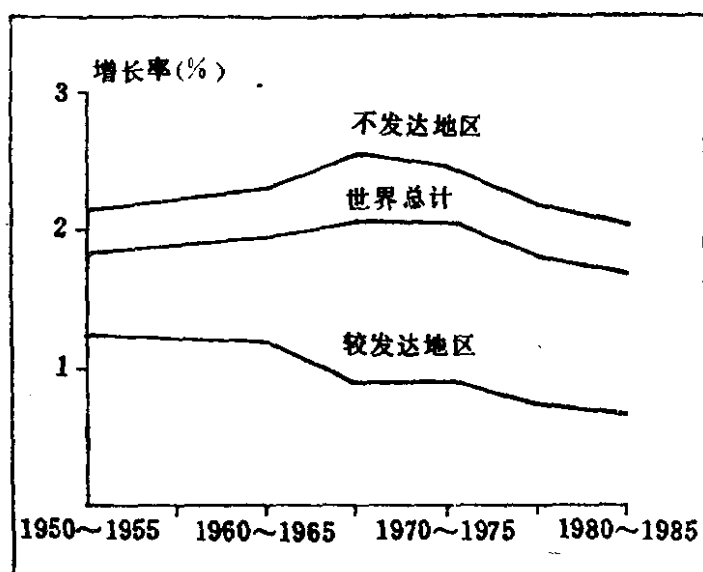


图 1-2 较发达地区和欠发达地区年平均人口增长率^[12](1950~1985)

注：较发达地区包括欧洲、北美、澳大利亚、日本、新西兰和苏联。欠发达地区包括非洲、亚洲、拉丁美洲和大洋洲。

世界城市地区人口①的区域分布
(1960年和1980年)

表 1-2

	人 口 (百万)		在城市地区 人口(百分比)		10万人以上 的城市人口 (百分比)		100万以上 的城市人口 (百分比)	
	1960	1980	1960	1980	1960	1980	1960	1980
非洲②			18.4	28.7				
东 非	76.0	136.7	7.4	15.7	2.7	8.4	0.0	3.1
中 非	34.9	54.6	18.2	34.4	7.1	18.7	0.0	9.7
北 非	65.1	108.2	30.0	44.1	19.9	25.0	7.9	14.6
南 非	20.8	32.8	42.2	49.2	22.8	23.0	6.3	13.0
西 非	80.7	143.8	13.4	22.8	5.6	15.8	0.0	5.5
拉丁美洲②			49.3	65.3				
加勒比	20.4	29.5	38.7	52.3	19.1	28.8	7.1	15.6
中美洲与墨西哥	49.5	92.3	46.7	60.7	23.1	37.2	10.5	22.6
热带南部美洲	116.1	198.0	46.1	65.8	24.7	41.5	14.3	26.2
南美南部	30.7	42.3	72.7	82.4	46.7	54.2	32.7	35.9
亚洲②			20.6	26.6				
中 国	667.3	1002.9	16.8	20.3	11.4	11.0	6.6	7.0
其它东亚国家 (不包括日本)	39.7	63.0	36.3	60.4	26.1	49.1	15.9	32.1
南 亚	864.5	1408.2	18.3	25.4	9.7	15.9	4.0	8.2
苏 联	214.3	265.5	48.8	63.2	25.6	36.2	6.0	14.0
东 欧	116.7	134.9	44.5	56.3	19.5	26.4	8.0	10.4
西 欧	308.4	349.1	66.6	76.8	42.9	48.2	22.6	25.7
北 美	198.7	251.9	69.9	73.8	49.5	56.3	28.7	34.7
日 本	94.1	116.7	62.5	76.2	30.5	45.6	21.7	27.0
澳大利亚和新西兰	12.7	17.9	79.8	85.8	54.8	69.1	31.7	47.0
全世界③	3013.8	4453.2	33.6	39.9	19.9	24.7	9.9	13.6

注：① 由于各国使用不同的城市人口定义，本表中的百分比不能进行比较。

② 非洲、美洲和亚洲大类中所列国家与联合国所用的相同。欧洲分为两类：东欧（阿尔巴尼亚、保加利亚、捷克斯洛伐克、民主德国、匈牙利、波兰、罗马尼亚和南斯拉夫）和西欧（其它所有国家）。

③ 由于数字经过化整并不包括美拉尼西亚和密克罗尼西亚，各栏不是世界总数累计。

资料来源：联合国1950~2025年城市、农村和市区的人口估计和预测，1982年评估（联合国，纽约，1985）。

明显，在发展中国家或地区，城市人口比例和总数上升的速度更是惊人（见表1-2和表1-1）。表中所示的发展中地区城市人口增长率高达4.2%，就是上述各项因素综合的结果。 $\alpha=4.2\%$ 意味着只需17年人口总数就要翻一番，这就要求人们在一代人的时间（35年）内，把住房和其它一切相应的城市设施翻上两番，才能满足人口的增长，维持现有的居住和生活水平。

虽然我国在控制人口出生率方面作了巨大的努力，不过还是很难遏制住城市人口的增长。近年来大量流动人口涌入城市，仅北京市一地粗略估计，每天流动人口有些季节可达100万人以上。参照世界和发达国家的城市化趋势，预计我国城市人口急剧膨胀的势头，在短期内不会缓解。

现在全世界有50%的人口集中居住在仅占大陆面积5%的城市范围之内，势必要造成资源、能源、交通、住房和排污等全面紧张。尤其是水资源，它是人类生存和社会生产须臾不能缺的。随着城市化的进展，水的供需矛盾日益尖锐，是使城市居民生活质量和社会福利水平有所下降的重要原因之一。各城市都通过兴建和运用各种供水、排水和水处理工程措施以及制定和实施一些管理法规，来处理上述水资源的供需矛盾，从而提高城市的生活质量和社会福利水平。

长期以来，人们把水作为取之不尽、用之不竭的再生性资源，在处理有关城市水利问题时，往往强调当前和局部的利益，较少考虑城市化长远的和对周围环境的影响。在国内外，城市给水排水的指导思想上都存在一定片面性，如用水时大手大脚，采取“随用随弃”，而在排水时则采取“尽快排出了事”。

第二次世界大战以后，欧美各国城市规模和需水排水量

都成倍地扩大,上述指导思想已不再适用。经过多书的实践,逐渐形成了以系统理论为基础的分析途径,把城市地区水文过程作为一个系统,将充分开发利用当地水资源的效益,同时最大限度地减少洪涝、供水不足和水质污染的损失,都作为分析的目标函数,协调各地区、各部门、当前与长远、投资与效益等方面的利害关系,寻求最优的解决方案(见图1-3)。

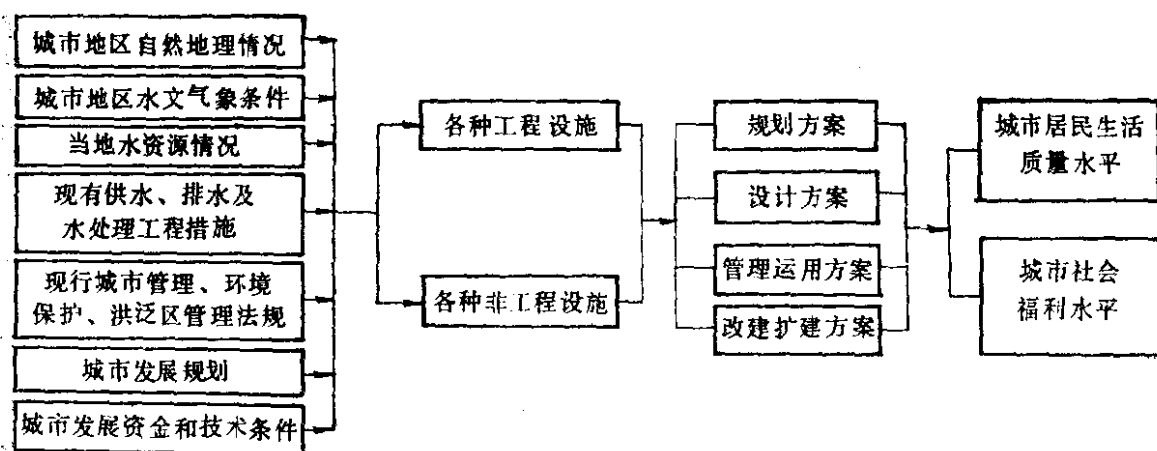


图 1-3 城市供水及排水的系统分析示意图

为了进行上述多目标系统分析,就必须建立适用的模拟模型,选定符合实际的约束条件和目标函数,还需要对城市水文物理过程作深入的观察、剖析和研究,以便掌握其中各项影响因素及其相互关系。

城市化的发展直接或间接地改变着水环境,影响城市居民的生活质量和社会福利,主要表现为三个城市水文问题(见图1-4),即城市水资源紧缺、城市水资源污染和城市减缓雨洪灾害问题。

为了解决城市发展所需的水量和水质,除了在现有的城市水文系统内新建或扩建蓄水、引水及水处理工程之外,还可以采取其他一些“开源节流”措施,如跨流域远距离调

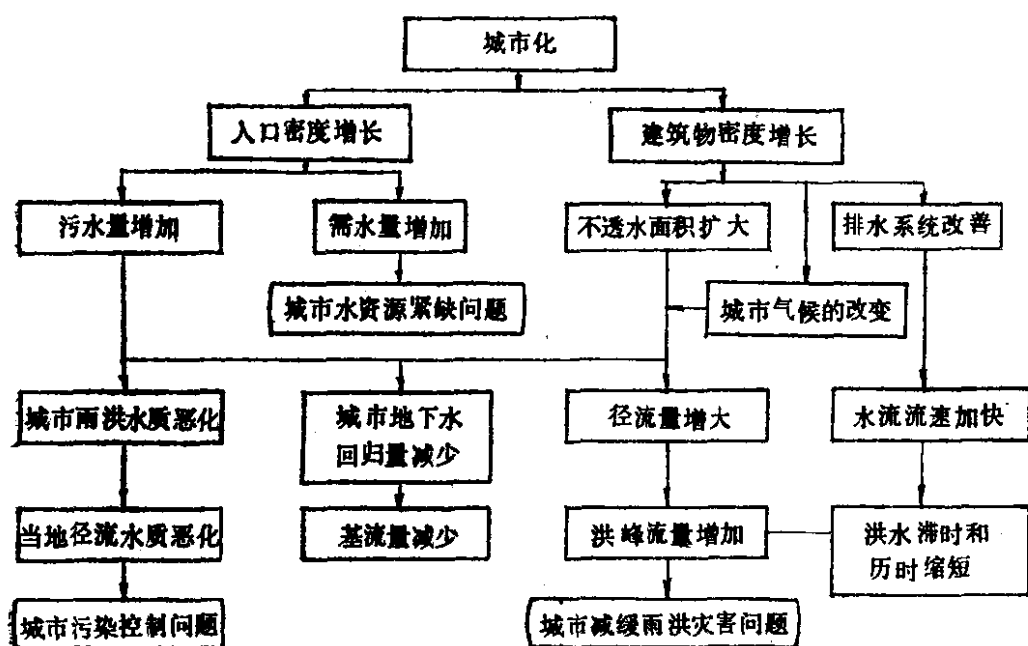


图 1-4 城市化发展带来的三个主要城市水文问题

水、地下水库人工回灌、地面水地下水联合调度、改进净化设备和增加水的重复利用等工程措施及管理法规。为了研究城市水污染的控制和管理，必须弄清城市水污染的理化和生物过程（由污染物的来源分成点源和非点源两类过程）。这方面需待解决的课题很多，例如测定和预测各排污点及其下游各河段的水量水质过程；面源污染物的集聚、冲洗和传输过程；合流式排水系统的漫溢水流的水量水质；水处理厂的合理布设；各项环保管理措施的效果研究；以及受纳水体水质污染状况等。为了减缓雨洪的灾害和潜在的威胁，不少城市已从单纯兴建或扩建排水管网、改善水力条件等排水工程措施，发展成为运用滞蓄水池、地下水回灌水井和采用一些糙率和透水性较高的材料或结构铺砌人行道和停车场等。此外，还配合采用洪泛区管理措施，如建立预报和警报系统，开展保险业务，制定防洪法规等。亟待解决的问题是正确模拟上述这些措施对各地的雨洪效应和环境效应。

第二节 城市水文学的发展

城市化水文研究工作，开始时只是针对个别地区的个别问题，简单地满足城市规划、设计和管理运用的需要进行一些分析计算。随着研究的开展，逐渐发展形成水文学的一个分支学科——城市水文学。美国德吕尔 (Delleur) 列出了城市水文研究的大事年表 (见表1-3) [8]。

该大事年表描述了自1850年到1981年百余年期间研究工作的进展。麦克弗森 (McPherson) 把这一进程分成三个阶段：1850~1967年为形成城市水文学的孕育阶段，基本上是运用一些常规的水文学方法来解决有关城市水文问题，如推理公式、下渗曲线、单位线等方法。在1967~1974年期间，建立了一些具有特色的分析方法，先后提出了一些适用于不同问题的、大型综合性的模拟模型。经过试用、修正，形成了几个通用性很强的模型软件包，如STORM、SWMM和ILLUDAS等，他把这个时期称为“方法研制时期 (Tool making)”，是城市水文研究发展最快并逐渐形成独立学科的时期。1975年以后，进入较为定型成熟的阶段，主要的工作是应用、推广和完善上述一些通用模型程序，称为“方法推广时期 (Tool weilding)。欧美各国主要城市广泛开展了扩大供水，防止污染，雨洪排水等各项工作。在应用中，通过实践的检验，特别是由于观测手段的完善，资料更加精细，使得对城市水文物理过程的认识更加深入，因而有可能验证或修正模型建立时所采用的一些假定，使模型更加符合客观实际，进一步提高了模拟的精度。

自本世纪70年代开始，逐渐地形成了城市水文学，其主

城市水文学的历史回顾

表 1-3

城市水文 发展阶段	年 份	作者或机构	城市地区专门建立 或应用的
城市水 文分析方 法孕育阶 段	1850	Mulvany	推理公式
	1880	Kuiehling	在美国第一次记录推理 公式的应用
	1906	LloYd-Davies	联合王国的推理公式分 区原则
	1930	Metcalf and Eddr	分区原则
	1932	Cregory and Arno	推理公式
	1944	Hicks	洛杉矶过程线
	1958	Bock and Viessman	进水口过程线方法
	1960	Tholin and Keifer	芝加哥过程线
	1964	Jens and Mephe- rson	当代的研究水平
	1964	公共法88-379 (水资源 研究法案)	内务部水资源研究办公 室
	1965	城市水文学研究会	工程基金会议
	1965	Eagleson and Ma- rch	单位线应用于城市水文 学
	1966	Viessman	单位线应用于城市水文 学
城市水 文分析方 法研制阶 段	1967	美国土木工程师学会	城市水资源研究程序
	1971	环境保护局	暴雨水管理模型和以后 的版本(SWMM)
	1972	公共法 (水污染控 制法)	全区域范围的水污染消 除和管理(208项目)
	1972	Rao等人	瞬时单位线应用于城市 水文学
	1974 1977	美国陆军工程兵团水文 工程中心	蓄量-处理-径流模型 (STORM)以及以后的改 进

续表

城市水文 发展阶段	年 份	作者或机构	城市地区专门建立 或应用的
城市水文 分析方法研 制阶段	1974	伊里诺州水利调查局	伊州城市排水模拟 (ILLUDAS)
	1975	美国农业部, 水土保持 局	技术通讯No.55
城市水文 分析方法推 广应用阶段	1975	Mcpherson and Mangan	28项技术备忘录的概述 ASCE项目
	1977	Mcpherson and Mangan	对上项的总结讨论由 ASCE发表的20篇有关 的附加报告
	1977	Mcpherson and Zuidema	城市水文模型国际性研 究的概论
	1977	联合国教科文组织	12个国家的城市水文学 进展
	1978		
	1978	Mcpherson	文献评述, 附309篇参考 文献目录
	1979	Lystrom and AL- Ley	USGS-EPA 城市水文 研究纲要, 城市流域数据 库的建立和其它雨洪管理 方法的评估
	1979	公共法95-217(净水法)	非点源污染研究
	1979	Mcpherson	文献评述(附220篇参考 文献目录)
	1979	Steele and Stefan	文献评述(水质)
	1979	Alley等	参数化确定性模型
	1980	Dellewrande D Den- drou	文献评述(附文献目录 183)
	1980	Field	城市雨水污染控制中的 EPA研究(附文献目录 60)
	1981	Delleur	文献评述(附文献目录 77)
	1974~1981	肯塔基大学	年度会议文集

要特征有两个：综合性和动态性。

虽然水文现象都是关于水的物理-化学-生物系统综合作用的结果,然而由于城市地区空间和时间的尺度都很小,其水文要素的响应过程十分敏感;另一方面,城市化使环境的改变十分显著。这两方面原因要求城市水文研究更精细,且须考虑过程中所涉及的各项影响因素及其相互之间的作用,这就需要建立具有物理基础的、分布式的模拟模型。在流域水文学中常用的,经验性的和集总式的模型,在城市化研究中则不大适用。

在城市水文研究过程中,还得打破水文工作中一些传统的分科界限,如水量与水质,地表水文与地下水文,市区水文与流域水文等分科界限。城市水文工作往往是把这些内容综合在一起,很难划分。城市水文观测和实验的站网布设、测验手段、仪器设备、测验方法等,都必须充分考虑上述各个方面的需求,体现出城市水文的综合性特征。

还应指出,城市是一个生态、气象、环境、水文、经济和社会等分系统耦合而成的大系统,社会、经济和法律等因素都对城市的发展起着决定性作用。

城市水文学的另一特征是“动态性”。由于城市地区人口和物质高度集中,加以近年来科学技术高度发展,使水环境发生异常迅速的变化。一个自然流域的演变是缓慢的,一般是以地质年代为尺度的,可将其水文过程作为“准平稳过程”来进行研究,在解决各种实际问题时,都是针对某种稳定的水平进行研究,并认为整个环境处在一种相对平衡的状态。而城市化的过程是一个不断发展的过程,水及其环境都处在“动态”中,分析研究城市地区的径流量、水质及雨洪过程都需要考虑这种动态性。具体来说,必须考虑在资料观