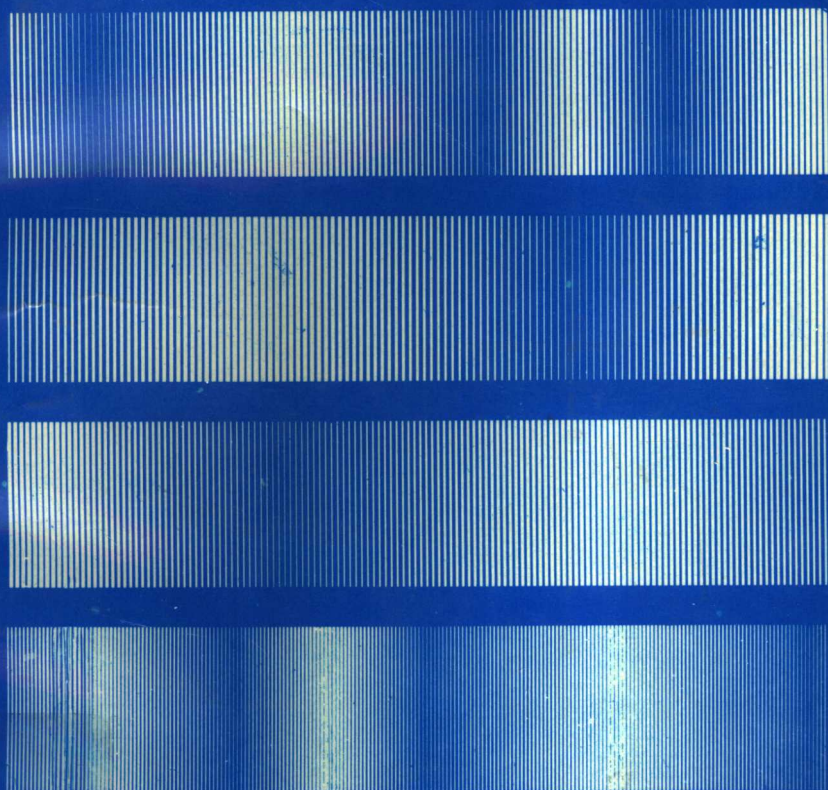


城市水文与水资源导论

吕明强 都金康 合编



中国科学技术出版社

城市水文与水资源导论

吕明强 都金康 合编

中国科学技术出版社

(京)新登字 176 号

内 容 提 要

全书共分十章,在系统介绍城市水文、水环境及水资源的基本知识的基础上,重点论述了城市降雨、产流、汇流、排水及防洪的基本特点与计算方法;城市水质分析与监测,污染负荷的计算与评价,水污染的防治与规划;城市供水用水系统的组成、结构和特征及供需平衡系统分析,城市水资源的规划与管理。全书内容丰富,材料翔实,深入浅出,循序渐进,是一本有特点的教学参考书,也可供从事城市水文与水资源研究和城市规划工作的专业人员参考。

城市水文与水资源导论

吕明强 都金康 合编

责任编辑 姜伟

*

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

溧水第二印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:8.80 插页:8 字数:190 千字

1993 年 10 月第一版 1993 年 10 月第一次印刷

印数:1—1,000 册 定价:6.85 元

ISBN 7-5046-1011-9/IV. 22

前 言

城市是人们生活工作的综合体,随着我国改革开放的进一步深入,城市化进程不断加速。城市人口的增加、经济的发展、规模的扩大,使城市供水、排水、用水、防洪及水环境污染问题愈来愈突出。

迫切需要人们对城市水文及水资源问题进行深入的研究。

城市水文水资源的研究,在国外已有一定的历史,至少在 60 年代就已开始,在我国始于 70 年代末 80 年代初。城市暴雨、产流、汇流、防洪、水质、供水、用水、排水等城市水文及水资源各个方面都有比较深入的研究。本书就是在这种基础上编写而成的,它比较全面地介绍了城市水文水资源及水环境变化规律的基础知识,并力图反映国内外城市水文水资源研究的最新成果,可供从事城市建设、环境保护和水利工作和研究的专业人员参考。也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

本书第一章至第五章由吕明强编写,第六章至第十章由都金康编写。在编写过程中,承蒙金光炎高级工程师的精心审阅,并提出了宝贵的意见。书中插图由顾国琴清绘。在此深表谢意。作者在写作过程中所参考的一些引用讲义资料或未公开出版的文章就不一一列举,在此特向这些作者表示衷心感谢。

编者

1993 年 8 月

目 录

第一章 引论	(1)
第一节 城市化的动因与城市水文学的起源.....	(1)
第二节 城市水文学的特点与主要研究范围.....	(5)
第三节 城市水文与我国水资源问题.....	(8)
第四节 城市化对河流的影响	(15)
第五节 城市化对环境水量平衡的影响	(21)
第二章 城市气候	(25)
第一节 城市气候概述	(25)
第二节 城市地区的热量状况	(27)
第三节 城市热岛的形成条件与特点	(29)
第四节 城市气候研究的主要内容与方法	(33)
第五节 城市降雨	(34)
第六节 城市暴雨	(37)
第七节 指定历时的雨量——频率关系分析	(39)
第三章 城市雨洪径流	(50)
第一节 城市地区的产流计算	(50)
第二节 城市地表径流子系统	(55)
第三节 城市径流的传输子系统	(62)
第四节 城市排水系统设计雨洪径流	(69)
第四章 城市径流污染	(79)
第一节 水体与水体污染	(79)
第二节 地表径流污染	(96)
第三节 地表径流污染监测与评价	(99)
第四节 城市雨水径流污染物质负荷的计算.....	(111)
第五节 城市水污染防治措施的规划.....	(117)

第五章 城市防洪规划	(129)
第一节 概述.....	(129)
第二节 城市防洪的总体规划.....	(130)
第三节 城市防洪标准简述.....	(134)
第四节 城市防洪规划的基本资料.....	(144)
第五节 洪水调查法推求洪峰流量.....	(146)
第六节 城市防洪的非工程措施.....	(160)
第六章 城市水资源概述	(163)
第一节 概述.....	(163)
第二节 城市水资源系统的组成.....	(165)
第三节 城市水资源系统的结构.....	(167)
第四节 城市水资源系统的特征.....	(170)
第五节 城市水资源系统的演变.....	(172)
第七章 城市供水系统分析	(176)
第一节 概述.....	(176)
第二节 供水系统的规划.....	(178)
第三节 供水系统的经济分析.....	(198)
第八章 城市用水系统分析	(213)
第一节 生活用水分析.....	(213)
第二节 工业用水分析.....	(228)
第三节 其它用水分析.....	(252)
第九章 城市水资源供需分析与协调	(255)
第一节 概述.....	(255)
第二节 供需分析原则.....	(255)
第三节 城市水资源供需分析.....	(257)
第四节 城市水资源供需调控的经济原理.....	(261)
第五节 城市水资源供需调控模型.....	(268)
第六节 城市水资源供需协调的多目标分析.....	(280)
第七节 城市水资源供需协调的系统动力学分析.....	(287)

第十章 城市水资源管理	(293)
第一节 概述	(293)
第二节 城市供水管理	(295)
第三节 城市用水管理	(306)
第四节 建设“节水型”城市	(331)
参考文献	(338)

第一章 引 论

第一节 城市化的动因与 城市水文学的起源

一、城市化的动因

人口向城市集中,致使城市区域不断扩展,其过程称为“城市化”。城市化始终是和农业技术革命、工业技术革命相互联系的。虽然有些地区的“城市化”早在 6000 多年以前已开始,但直到 19 世纪初期才渐渐显著起来。

19 世纪初期以来,由于工业革命的兴起,“城市化”开始在世界各地发展起来。随着制造业的兴盛,吸收了更多的劳动力,城镇规模不断扩大。同时由于农业机械化迅速发展,一方面农业从为了维持生存阶段过渡到以销售农产品为目的的阶段;另一方面一部分农业人口转向扩大农业生产和向城市经销产品。至 19 世纪后半期,交通运输业的发展,打破了城镇与周围乡村的传统关系,形成了城市人口比率不断增加。

交通运输业的进展,促进了货物的运输与农业的发展,同时也改变了人们居住生活的习惯,这些变化导致城镇街道和房屋建筑在各方面的增长与城市人口增长的失调。当大多数市民依靠诸如铁路及汽车等交通工具时,城市则沿主交通线呈线性的星状发展。

交通的转换(指从一种交通工具改用另一种交通工具,如从轮船改为火车运输)将对本地转换货物的工具如制造业等发展起了推动作用。许多城市,如美国的纽约、路易斯威尔、旧金山、芝加哥等,开始都是交通的转换点,由于卡车运输和公路干线网络的形成,使许多城市迅速发展。因为这些城市处于一个交通枢纽的位置。

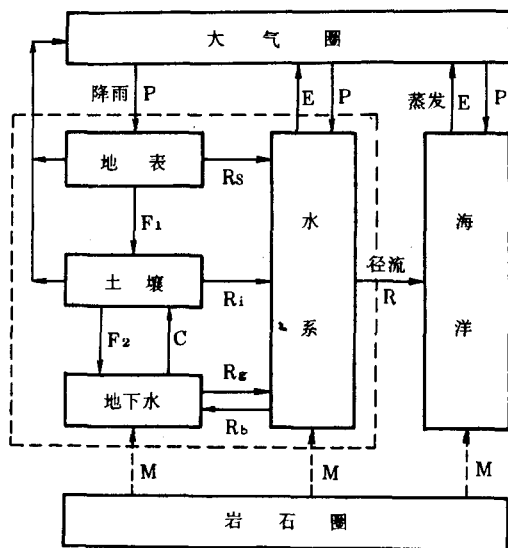
20 世纪公路运输的发展,使城市更为分散。城镇的商业中心失去了支配地位,具有许多卫星城镇的大城市趋向于变为多中心。

第二次世界大战后,世界各国制订了城市相对集中的法律,诸如英国的伦敦绿带法就是专为限制这种分散而设立的。近几十年来,世界各国许多大城市的边缘与相邻城市中心的日益靠拢而逐渐变成宽阔的过渡带。典型的例子是美国东北沿海地带,那里城市与郊区延绵 1100km。

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,势必造成水资源、交通、住房和排污等全面地紧张。其中水资源对于城市来说,既是动脉又是静脉。除了对于人类生存是必需外,水在城市里还广泛地用于废物处理。而与人们有更多直接利害关系是水害,其中最常见的是洪水。这些问题是由于城市化对一般自然环境及特殊景观的改变综合造成的。因此,有人认为有必要把这些变化的研究从一般水文学中分离出来。⁽³⁾

二、城市水文学的定义

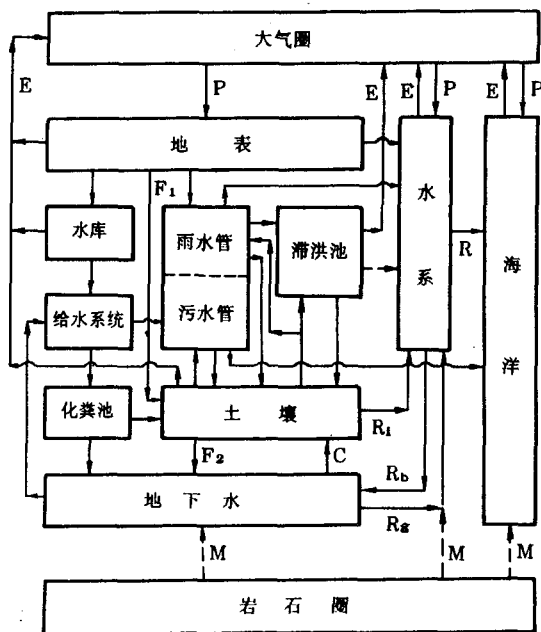
水文学是一门研究地球上水体的形成、循环和分布;化学和物理性质及水和环境的作用。⁽²⁾该定义强调了这门学科的两个特殊方面;包括物理、化学、生物以及应用科学在内的各学科之间的性质和它们关系到各种形态水的时空分布与运动。后者包含着水文循环概念。水文循环可以用框图说明,图 1.1 是 Dooge 提出的一种典型例子。⁽²⁾此系统以虚线包围着,这部分以降雨 P 作为输入,以蒸发 E 和径流 R 作为输出。但遗漏一个重要因素——人类活动的影响。



P 降水 E 蒸发 F₁ 下渗 C 毛管上升
 F₂ 深层渗漏 R 径流 M 深层地下水

图 1.1 水文循环系统⁽²⁾

自有人类出现以来,人们就有努力增强控制环境的能力,为他们自己的目的服务。为了耕作,他们清除野生植物、砍伐森林、开辟农地等。而最重要的是城镇及基本建设在曾经是农业的区域建立起来了。近 25 年来,对于改变土地利用而产生影响的 hydrology 受到普遍的注意,致使只有城市化的不断发展才导致了一门新兴的分支——城市水文学的出现。



P 降水 E 蒸发 F₁ 下渗 C 毛管上升
 F₂ 深层渗漏 R 径流 M 深层地下水

图 1.2 城市水文循环

简明的城市水文学定义是对发生在城市环境里的水文过程的研究。^[2]然而,如对比图 1.2 所示的城市水文循环过程进一步研究,就能发现这一简明的概念是不够的。原来的天然排水系统为污水工程系统所取代和补充。洪水泛滥造成的影响因减洪或滞洪措施而减轻。随着城市的发展,建立了排泄污水到污水处理厂的排污系统,经过处理的污水仍然流入就近河道或直接入海。初期城市供水是以最低的成本取自当地的地面水及地下水,随着人口增加及对水需求量的增大,人们只能从跨地区或跨流域调水来满足要求。

因而使污水处理与供水的影响超过了城市的范围。城市水文学因此可以恰当地定义为对受城市化影响城市内外水文过程的研究。

第二节 城市水文学的特点与主要研究范围

一、城市水文学的主要特点

城市水文学主要的特征有两个：综合性和动态性。

(一)综合性

虽然水文现象是有关水的物理—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。由于这两方面原因要求城市水文研究更精细,而且必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,移用在城市化研究中一般是不十分适合的。^[1]

在城市水文研究过程中,还必须破除河川水文工作中一些传统的分科界限,如水量与水质、地表水与地下水、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方面的需求,体现出城市水文的综合性特征。

还应该进一步指出,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、经济和法律等因素对城市的发展起着决定性作用。所以美国城市水文学家 T. R. Lazaro 十分强调城市水文学是一门多学科交叉的科学。^[3]

(二)动态性

城市水文学的另一特征是动态性。由于城市地区人口和财富高度集中,而且近年来科学技术高度发展,使水环境发生迅速的变化。而一个自然流域的演变是相对缓慢的,一般以地质年代为尺

度,其水文过程可以作为“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,必须考虑在资料观测期间内城市环境已有的变化,及其对各种水文要素响应过程的影响。因此,需要同时量测或调查与城市化有关的资料,并不断更新,在这方面航空象片和卫星象片已经广泛应用。另外,还应考虑城市化以后的发展趋势,研究城市环境演变规律,作为建立各种预测模型的基础。

二、城市水文学的主要研究范围

几位学者如 Sacchi 与 Kammerer、Leopold、Hall 及 Cordery 都讨论过农业的流域经过城市化后地表水流特性变化⁽²⁾⁽¹⁾。对水文过程产生最显著影响的城市化特殊方面就是在城市区域内人口密度和建筑密度的增大。其影响的结果如图 1.3 所示⁽²⁾。

随着人口增加,对水需求量也随之增大,这种需求量的增加又随着城市生活水平的提高而加速。同时也带来了一个要寻找充足水源的问题——首要的水文问题。

城市化的初期阶段实现后,排泄生活及地表水的下水道系统建成了。致病的污水也因人口的增加而增多。水质的总变化是与建筑物密度紧密相联的。建筑密度增加,不透水地面亦随之增加,天然排水系统改变了,局地的小气候也变化了。由于不透水地面的增加,相应的雨量变为径流部分较之乡村原始状态为大。而且在城市化过程中雨水下水道的铺设及天然河道的改变使水流向排水管网集中更为迅速,流速的增长直接影响径流过程线的时间尺度。由于短时期内的径流量,洪峰流量不可避免地要增大,出现第二个水文问题——洪水控制。

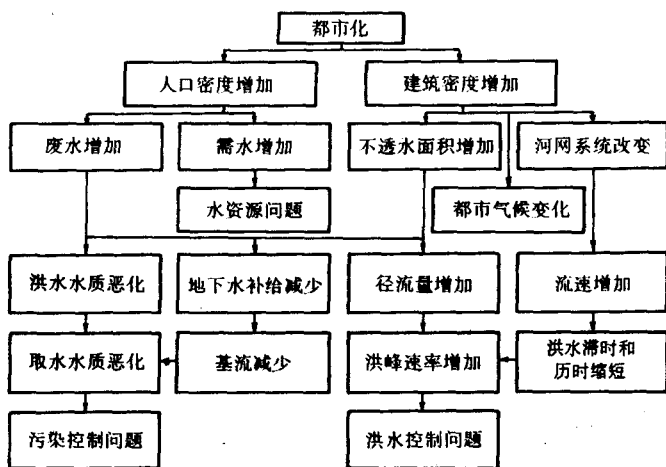


图 1.3 城市化对水文过程的影响

城区的扩大引起的小气候变化,初看起来与城市化引起的水文循环变化相比似乎没有关系,不过,若对 Landsbery⁽⁸⁾⁽¹⁶⁾ 所提出的证据进一步探讨,则可看出由于气候的各方面都在某种程度上受城市发展的影响,规划时对这些可能的变化结果要加以注意,即由此带来的局地气候问题——城市气候。例如,在排水设计时,指定历时内大雨的频率尤为特别重要。雨量历时和频率关系的变化可能改变设计施工工程的的保证程度。这类变化的修正值可以作为城市防洪问题的补充依据。

如图 1.3 所示,水文循环的水质方面既受人口增加又受不透水面积增大的影响。由于城市化初期,径流量增大,土壤水分减少,因此,城市地区渗透至含水层的水量减少了。各次降雨之间,天然排水系统内的基流都来自地下水的贮存,因而当城市扩大时,枯水流量可能减小。这种减小的同时,又逢上述致病污水的增加及雨水径流因冲洗街道、屋顶及铺砌地面上的污物而变坏。固态及液态致

病污染物的处理对地下水水质也可能产生不利影响。因此,服务于城市的排水管网及地下含水层中水的质变引起了第三个重要的水环境问题——污染控制。^[2]

第三节 城市水文与我国水资源问题

一、城市化引起的水文问题

从地表水水文学的观点,城市化地区的水文主要问题是“内部”与“外部”排水问题。如图 1.4 所示,说明一个流域,当土地利用从农村变为城市时,其地表为不透水表面所覆盖;如屋顶、街道、人行道、停车场,不透水区域下渗基本上为零。地表面的覆盖面变化如此之剧烈,以致需要铺设雨洪下水道设施以保障人们的财产和生命。设计这种管网可以用于城市的“内部”排水,使城市径流过程中的水文特征产生了作用,如河道增加了汇流的水力效率。天然河道往往被截弯取直、加深并整治,又开挖边沟,布设雨水管网和排洪沟。不透水面积比和汇流的水力效率的改变,导致径流量和洪峰流量加大,峰现时间缩短且提前出现,城市下游基流减少,因而也就产生了“外部”排水问题。^[3]

城市雨洪径流的增加,可能引起下游泛滥,一般会造成交通中断以及其它严重损失。据国外的经验,倾向于单有工程措施不能完全解决洪水造成的损失问题,因此制定了许多非工程措施,其中包括土地利用控制、洪水防护,保险规划等。White 曾作过一个涉及减少洪灾最优方案因子的综合评述。^[23]

虽然工程及非工程性防洪措施对水的定量控制上是必要的,但图 1.4 中表明这些规划方案不能完全脱离对水质的考虑。直至 60 年代初,水质控制政策主要还是直接针对生活及工业废水处理的改善。许多污水处理厂能获得较好的出水,这是由于对接纳水体水质变坏后引起注意的结果。但从其本质而论,对解决点源污染问题,收集生活污水处理的那一套技术用于非点源污染并不适合。规

划性措施,如土地利用的控制、自然植被保护,似乎具有成功的前景,只是对控制时空变化的作用过程(机制)要有清晰的了解。这种了解对于制定水污染控制规划的数学模型也是基本的。

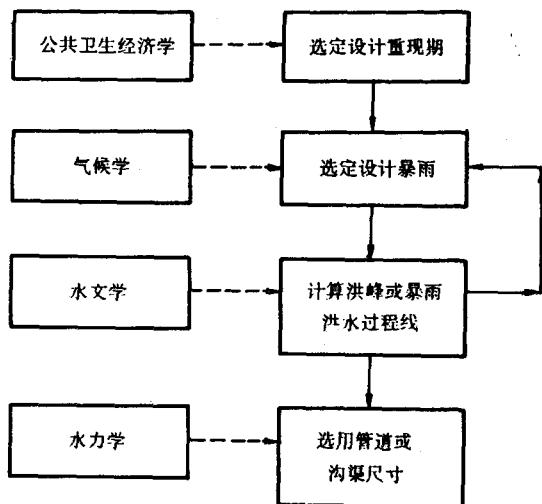


图 1.4 城市内部、外部排水框图

二、我国面临的城市水资源问题

据统计,在中国,多年平均的年降水总量为 $61889 \times 10^8 \text{m}^3$ (折合平均降雨量为 648mm), 可提供的水资源总量为 $28124 \times 10^8 \text{m}^3$ (扣除蒸发), 其中河川径流总量 $27115 \times 10^8 \text{m}^3$ (折合径流深 284mm), 居世界第六位, 低于面积小于我国的巴西、美国和印尼。从另一方面来看, 我国亩均为 1800m^3 , 是世界平均的 $3/4$, 人均年占有水量仅 2630m^3 , 仅占世界人均占有量的 $1/4$, 居世界第 84 位, 所以是一个水资源较贫乏的国家⁽⁴⁹⁾。水资源的地区分布不均匀, 南多北少, 东多西少, 其分布与人口、耕地的分布不相适应。例如, 人口最集中的城市区, 水资源的缺乏问题日趋严重。这是由于城市的发展, 不仅大幅度地增加用水量, 同时大量增加了废水和污水排

放量,使水源受到污染,减少了洁净水源,加剧了城市供水不足的矛盾。

据联合国环境规划署提供的材料^[19],全世界用水分配为:用于农业灌溉占73%、工业用水占21%、生活用水占6%。而各个国家与地区的用水量有较大的差异,如发达国家工业用水占40%以上,而发展中国家只占10%左右(表1.1)。

表 1.1 若干国家的年平均用水量、总量和人均用水量*

国家名称	取水量		各部门取水量的百分比			
	总量 (km ³)	人均 (m ³)	公共用水	工业用水	电厂冷却用水	农业灌溉用水
美 国	472.000	1986	10	11	38	41
加 拿 大	30.000	1172	12	39	39	10
埃 及	45.000	962	2	0	0	98
芬 兰	4.610	946	7	85	0	8
比 利 时	8.260	836	6	37	47	10
原苏联	226.000	812	8	15	14	63
巴拿马	1.300	596	12	11	0	77
印 度	380.000	499	3	1	3	93
中 国	460.000	460	6	7	0	87
波 兰	15.900	423	14	21	40	25
利比亚	1.470	408	17	0	0	83
阿 曼	0.043	350	2	0	0	98
南 非	9.200	284	17	0	0	93
尼加拉瓜	0.890	272	18	45	0	37
巴巴多斯	0.027	102	45	35	0	20
马耳他	0.023	60	100	0	0	0

* 世界资源报告,1986。