

第七章 雨水处置

F. X. Browne

雨水处置涵盖了水文循环的各方面内容，但更着重于阐述人类活动对地表径流产生和流动状况的影响及控制方法。在自然体系中，地表径流速率受降雨速率、土壤条件、地表植被及地下地理状况的控制。

城市化使得一些区域土壤的渗透能力大为降低，地表径流流量及峰值流速大大增加。在这些地方，雨水会将地表沉积物冲至地表水中，造成水体污染。例如沉积物中的有机物会引起化学需氧量增高，营养物质将使湖泊富营养化进程加快，而重金属则在底泥中发生富集。

环境工程师的任务是要借助天然及人造雨水控制系统，采用现代雨水处置技术，将由此产生的环境影响降至最小。一套完整的雨水处置方案包括许多内容，例如：区域内的雨水渗透和停留，收集和排放系统，区域洪水控制和主要河道的疏浚等（如图 7.1 所示）。

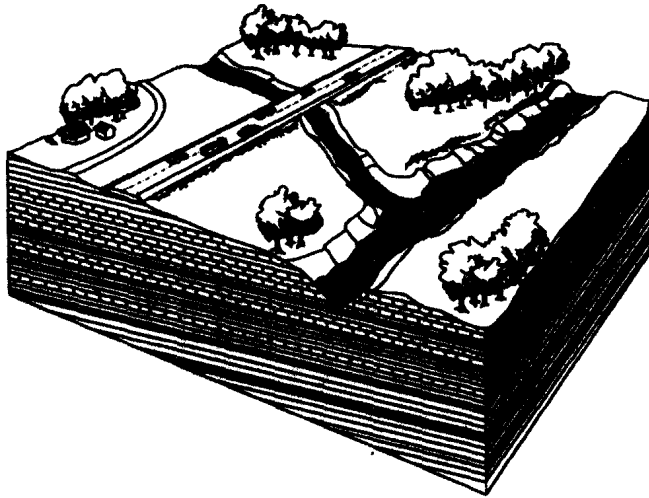


图 7.1 雨水系统的要素

以前，生活污水和雨水是由同一条水沟（合流式污水沟）进行收集的。当降雨量很大时，水沟里的水会发生漫溢，从而引发水体污染问题。现在，大部分合流式水沟已被分开建造，剩余的尚未分开建造的水沟产生的溢流通常作为点源污染物进行处理。雨水处置措施旨在降低对合流式水沟溢流进行处理的设施的要求及建造这些设施所需的费用。

降水

降水是雨水地表径流过程中最基本的控制因素。正因如此,了解一些控制雨水形成的过程以及描述降水的资料的来源和方法就显得尤其重要。这一节我们主要描述雨水类型,同时也涉及一些描述降水时间和空间分布的技术。

降水的产生及分布

降水是由于暖湿空气在大气中的不断提升、膨胀和冷却形成的。暖湿空气中的水气在大气中悬浮颗粒的表面冷却、冷凝形成雨滴。这些雨滴逐渐长大,当它们大到足以克服空气的阻力时,落向地面,这就是降水。雨滴通常可以通过两种途径变大:(1)无数小雨滴的凝聚或碰撞;或(2)冰晶的生长;冰晶是由于冰表面的蒸气压比液滴表面低,使得液滴表面水蒸气向冰表面扩散形成的。

降水通常按影响气流上升的因素进行分类。这些影响因素可分为如下三种主要类型:对流式、地形式和旋转式。

对流式降水 这类降水是由地表面的热空气引起的,主要发生在气温较高的地区,特别是热带地区。热空气膨胀上升,在上升过程中不断有蒸发水分积聚。在空中的某一点,达到了冷却、冷凝的条件,热空气开始冷却、凝结形成降水。

暴雨是对流式降水的特例。暴雨开始时总伴随着大气剧烈的上升运动。在上升气流的上部,空气不断膨胀直至冷凝,并形成雨滴。大气剧烈的上升阻碍了这些雨滴的降落,因此在云层上端便聚集了大量雨滴。最后,雨滴的重量大到足以克服上升气流对它们的阻力,雨滴便开始降落。下降的雨滴冲破了剧烈上升的气流,使聚集的雨水倾盆而下。

暴雨刚形成时,通常只覆盖3~4平方哩(8~10平方公里)的范围。但是,雨带的长度可达50~100哩(80~160公里)。这些暴雨通常以大约30哩/时的速度由西向东移动,持续时间约6小时。^[1]

地形式降水 当湿空气遇到山峰阻挡时,会自动上升越过山峰。地形式降水就是由越过山峰的湿空气引起的。美国沿太平洋西北海岸的年度降水大都是由于地形提升引起的。

旋转式降水 这类降水是由于气流从高压地带向低压地带运动引起的。旋转式降水可分为前沿式及非前沿式降水。当暖气流与较冷的气流交汇时,则会发生前沿式降水。所谓前沿是指暖气流前进的边缘,反之称为冷前沿。在美国前沿式降水通常发生在较冷的月份,并常常伴随着风暴,每次持续几天时间。

降水资料来源

常用的降水资料包括原始降水资料及降水频率资料。

原始降水资料 在美国,原始降水资料主要来自国家气象局,该局在全美设有约13 000个降水监测站^[2]。其降水资料以多种形式出版:每个州的日降水以“气候资料”形式报道^[3];总降水量及小时降水量可从“时降水资料”中获得^[4]。要获得一些特殊的降雨资料,可以向设在北卡罗莱纳州阿什维尔的国家海洋和大气局环境资料署的国家气候中心索取。

国家气象局的降水监测网络由记录监测站和非记录监测站组成。大多数监测站采用简单

的吊桶监测，这种已标准化的监测方法能保证监测结果的统一性。常用的三种记录仪器是倾斜桶、称重仪和浮标仪。倾斜桶用于记录降水速率，而称重仪及浮标仪记录降水累积量。现在多用笔来记录降水变化，不过它已逐渐被机器可读的纸带式记录仪所取代。

除了国家气象局，许多地方机构及个人也收集他们自己的降水资料。这些机构及个人大多来自洪水控制和灌溉区域以及水厂、废水处理厂、大学和私营业主。如果没有其他资料可以使用的话，通过水槽、水桶或类似容器获得的非正规的降水资料在分析降水中也是十分有用的。

降水频率资料 在美国，已完成了对大多数地区的历年降水深度 - 持续时间 - 频率的分析，分析资料也已被许多机构出版。这些资料通常来自国家气象局出版的等雨量线图，其中国家海洋和大气局地图集-2中^[5]收集了美国西部位于103度经线上11个相邻州的资料，而其他37个相邻州的资料则收集于国家气象局 HYDRO-35^[6]和 USWB TP-40^[7]地图中。通常每个州都能提供一些更详细的资料^[8]。

等雨量线分布图是由多条对特定的持续时间及重现周期具有相同降雨量的线组成的。Yarnell 首先开展了这项工作^[9]。

图 7.2~7.9 是来自 HYDRO-35 和 TP-40 的表示 2 年和 100 年，降水持续时间分别为 5 分钟、15 分钟、1 小时和 24 小时降水频率深度的等雨量线图。通过研究可得方程 7.1~7.6，它们可用于计算中间持续降雨时间的降水深度。

$$10 \text{ 分钟} = 0.59(15 \text{ 分钟}) + 0.41(5 \text{ 分钟}) \quad (7.1)$$

$$30 \text{ 分钟} = 0.49(60 \text{ 分钟}) + 0.51(15 \text{ 分钟}) \quad (7.2)$$

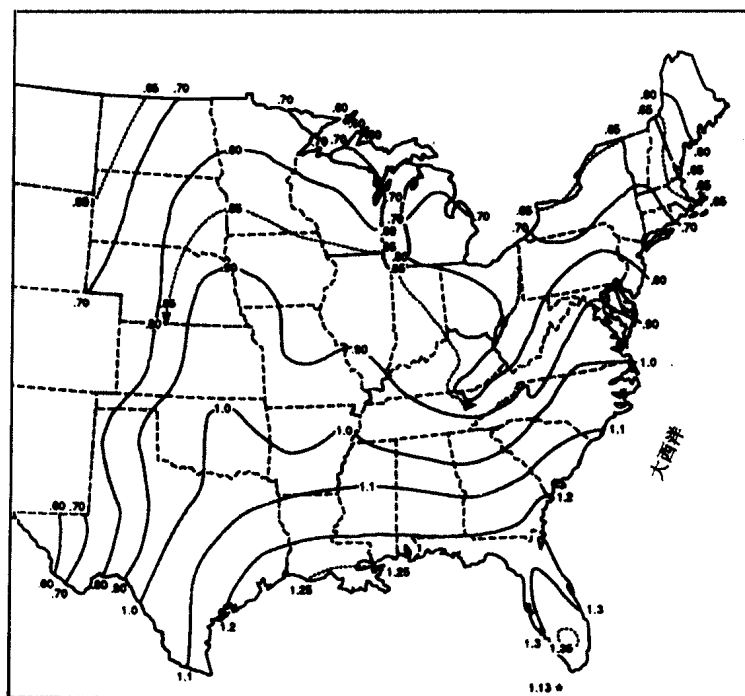


图 7.2 15min 降雨量, 二年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[6]

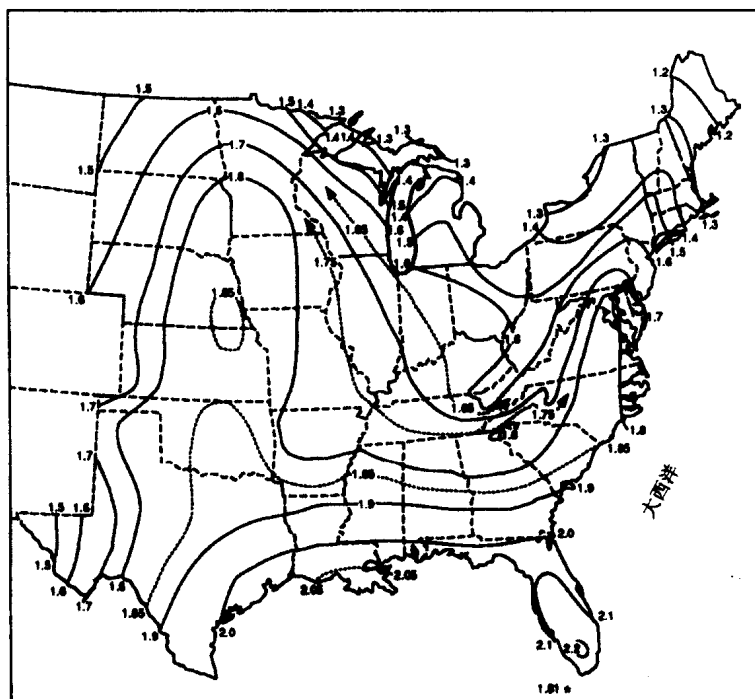


图 7.3 15min 降雨量, 100 年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[6]

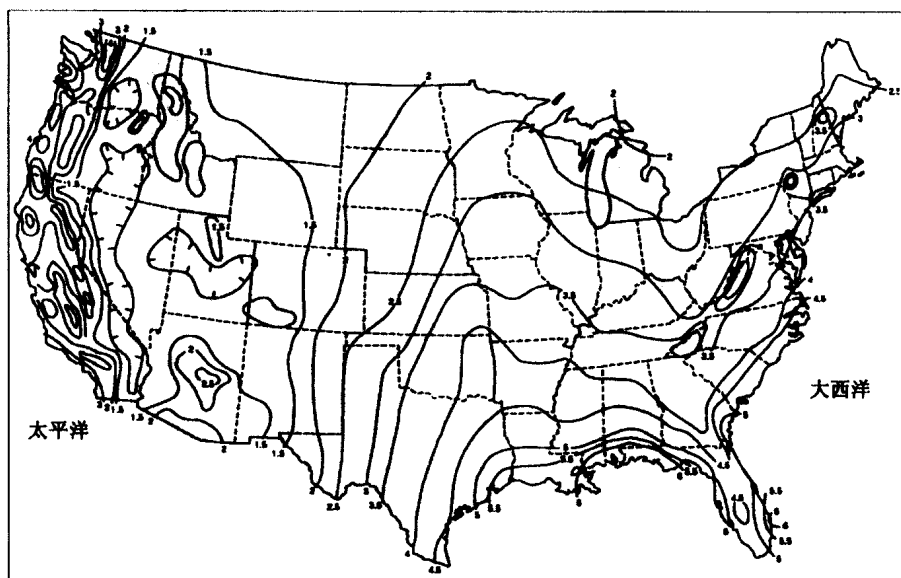


图 7.4 24 小时降雨量, 二年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[7]

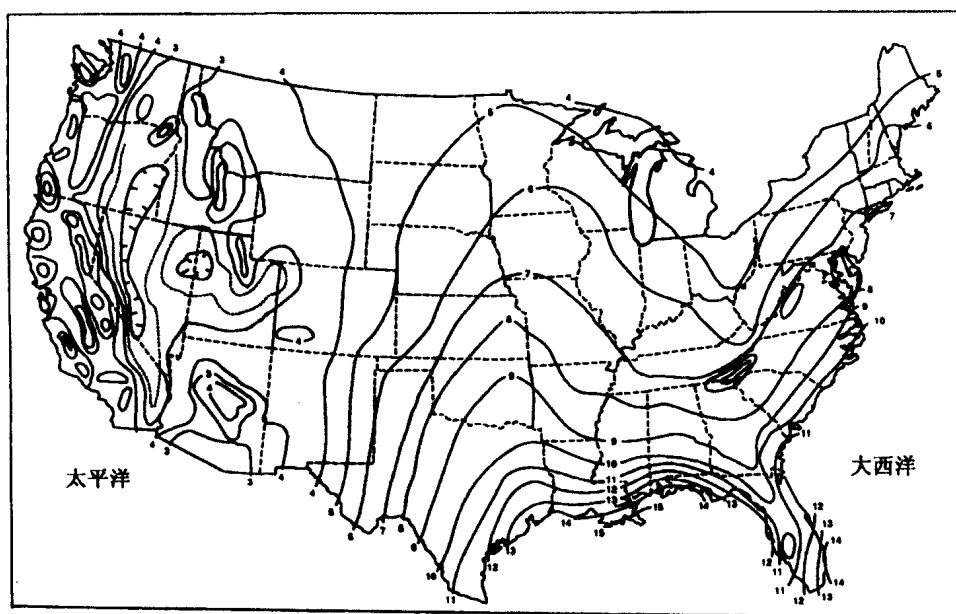


图 7.5 24 小时降雨量, 100 年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[7]

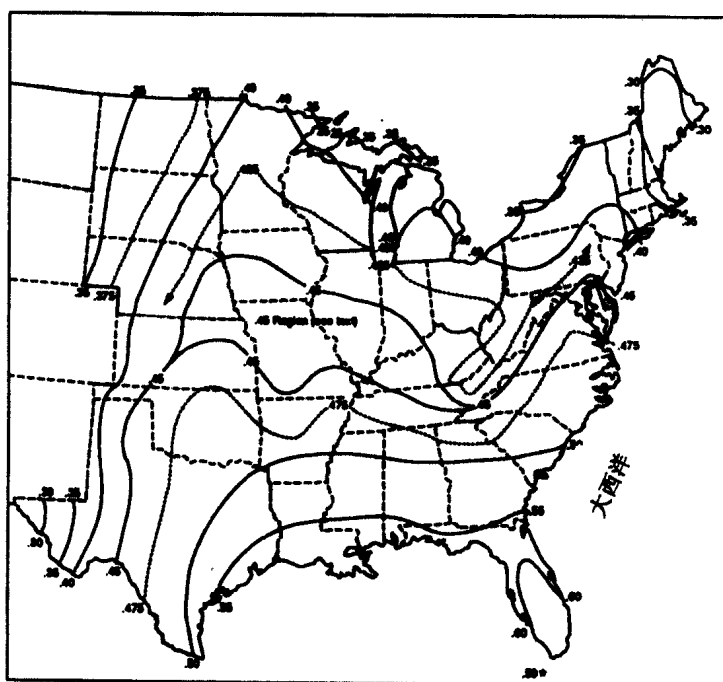


图 7.6 5min 降雨量, 二年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[6]

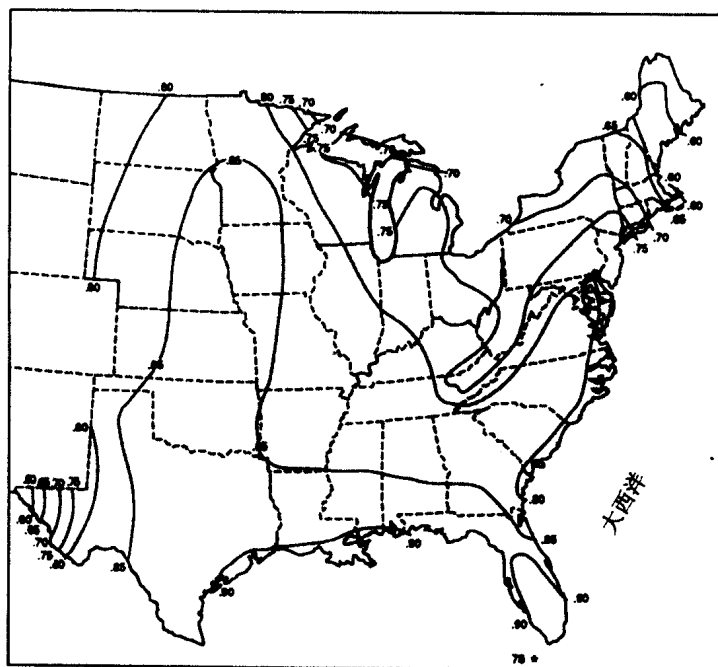


图 7.7 5min 降雨量, 100 年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[6]

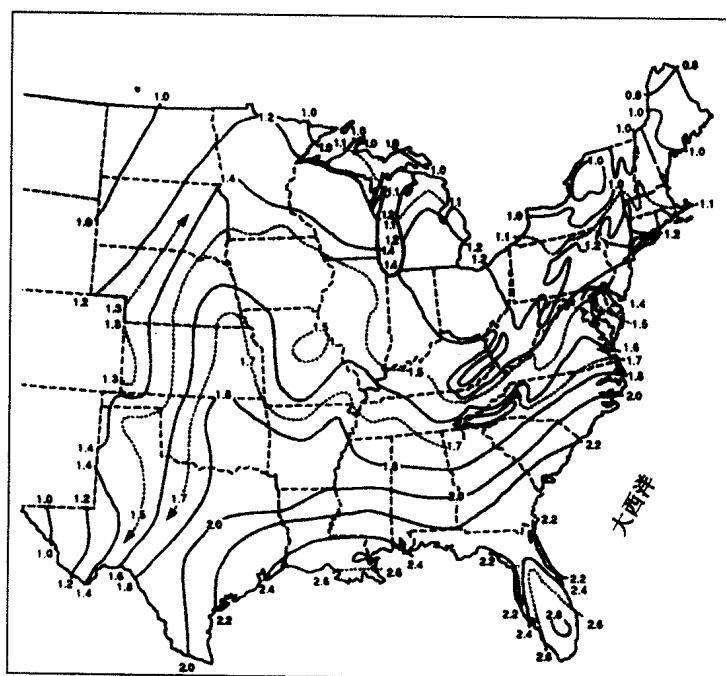


图 7.8 60min 降雨量, 二年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[6]

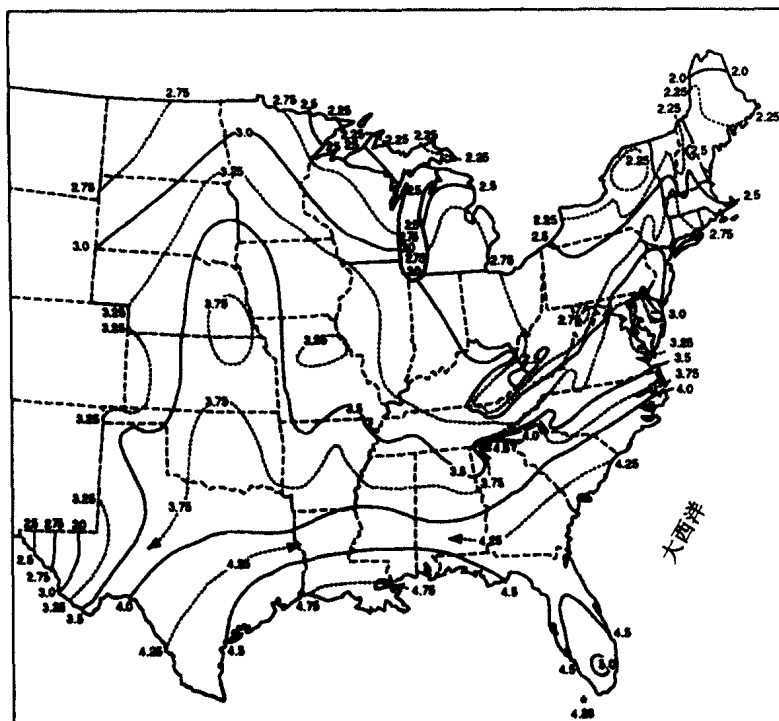


图 7.9 60min 降雨量, 100 年一遇 (inches; 1 in = 2.54cm)^[6]

$$2 \text{ 小时} = 0.11 (24 \text{ 小时}) + 0.89 (1 \text{ 小时}) \quad (7.3)$$

$$3 \text{ 小时} = 0.22 (24 \text{ 小时}) + 0.78 (1 \text{ 小时}) \quad (7.4)$$

$$6 \text{ 小时} = 0.50 (24 \text{ 小时}) + 0.50 (1 \text{ 小时}) \quad (7.5)$$

$$12 \text{ 小时} = 0.75 (24 \text{ 小时}) + 0.25 (1 \text{ 小时}) \quad (7.6)$$

例如, 将持续时间 15 分钟的降水深度和持续时间 5 分钟的降水深度代入式 7.1, 即可计算出持续时间 10 分钟的降水深度。

方程 7.1~7.10 可以直接由 Fisher-Tippett TYPE I 分布推导而来, 它们可用于计算频率从 2 年到 100 年的降水深度。方程 7.7~7.10 如下所示:

$$5 \text{ 年} = 0.278 (100 \text{ 年}) + 0.674 (2 \text{ 年}) \quad (7.7)$$

$$10 \text{ 年} = 0.449 (100 \text{ 年}) + 0.496 (2 \text{ 年}) \quad (7.8)$$

$$25 \text{ 年} = 0.669 (100 \text{ 年}) + 0.293 (2 \text{ 年}) \quad (7.9)$$

$$50 \text{ 年} = 0.835 (100 \text{ 年}) + 0.146 (2 \text{ 年}) \quad (7.10)$$

设计暴雨

在设计雨水处置系统时, 通常必须选取 1 个, 最好是 2~3 个降水深度、时间等分布因素进行设计。最适宜的方法应是对降水、温度、土壤湿度进行连续的全过程模拟, 并记录降水的全过程资料。这样, 我们就可以确定某类降水的发生概率, 并根据预测费用及效益最终选

定优化的设计方案。显然这种方法不一定适用于大多数小规模雨水处置模式，这时通常选择一种单一的或组合的设计暴雨。

采用的设计暴雨可以是某一特定的以往已发生的降水事件或基于频率分析的某一假设降水事件。选择怎样的事件取决于对分析的要求。在雨水处置实例中，经常是针对一特定的重现期（ T_w ）的峰值径流速率或径流量进行设计控制。相同重现期的设计降水主要用于确定平均条件下的降水分水岭，并在这一过程中假设预期的径流速率或径流量有相同的重现期，这种假设非常普遍但不太精确。

对某一给定的径流速率或径流量，其发生的概率是分水岭特性及降水和其他气象条件综合概率的函数。在美国的许多地方，雨水处置设计主要针对那些高强度的暴雨。这些暴雨通常发生在土壤湿度低、植被茂盛的夏季。这种条件显然不会是年度平均条件，也不可能产生平均条件下的径流量。用于其他地区的设计暴雨可能不同，但结果是类似的：重现期 T_w 一定的降水，在平均条件下不一定会产生重现期相同的径流。

尽管如此，基于某一特定降水频率的处置模式设计还是非常有用的。平均条件下的 10 年降水不可能精确的预测 10 年内的地表径流，但它可以给出径流量的大致预测数值。而且，许多政府机构在设计中刻意强调降水频率，这些设计降水虽然无法满足他们的需要，却非常有用。多年的实践证明，就某些方面而言这些已经足够了。

在这一章中，我们假设某一给定重现期的降水可以预测相同间隔的地表径流，虽然不完全正确，但它还是可以满足一般的要求。

设计降水频率 在雨水处置设施设计中，经常用到的降水频率通常会由当地政府特别提出，常用的设计降水频率如下所示^[11]：

2 年降水——路缘和集水坑入水口

10 年降水——雨水下水道、次要道路下的涵洞

25 年降水——主要道路、主要高速公路

50 年降水——州际高速公路

降水强度-持续时间-发生频率之间的关系 当设计小型处置模式时，使用降水强度-持续时间-发生频率曲线比使用国家气象局的降水深度频率图更方便。大多数主要城市的降水强度-持续时间-发生频率曲线（如图 7.10）均可从当地政府机构获得^[14]。

当用计算机进行雨水处置设施设计时，可以很方便地将降水强度-持续时间-发生频率曲线转化为易于编程的数学方程。实验表明，方程 7.11 和 7.12 与降水强度-持续时间-发生频率曲线十分吻合^[15]：

$$i = \frac{a}{(t_d + c)^b} \quad (7.11)$$

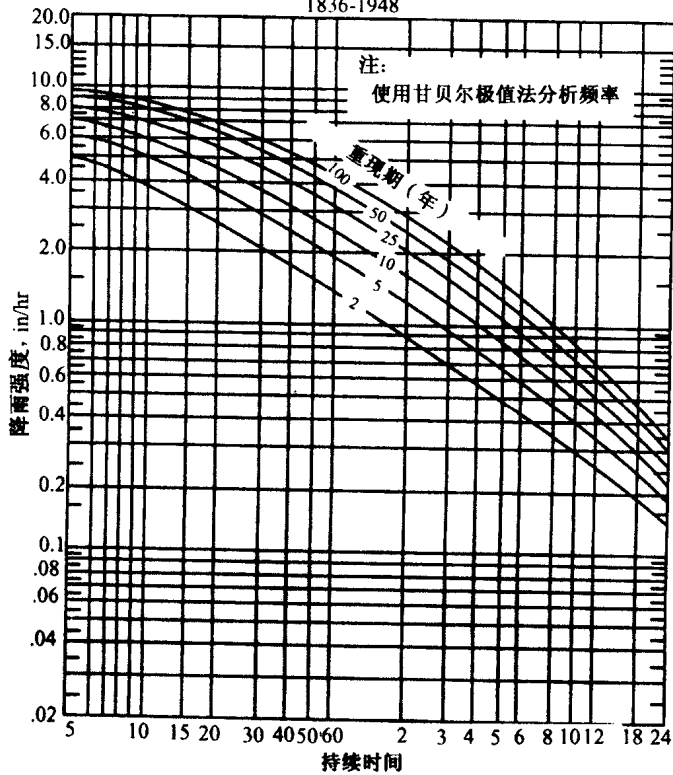
$$i = \frac{a}{(t_d^b + c)} \quad (7.12)$$

式中： i 为降水强度； t_d 为持续时间； a 为取决于降水重现期的常数； b 、 c 为与降水重现期无关的常数。

方程中的常数可由已知的图形得出的数据通过三个模拟方程或由曲线拟合程序求得。这些方程仅适用于降水强度在方程标定范围之内的降水强度计算。

这些方程的系数因地而异。表 7.1 给出了 Chen 计算和归纳出的不同城市降水重现期为 10 年的方程常数。

密苏里州堪萨斯城
1836-1948



10年重现期, 10分钟降雨量 = 5in
5年重现期, 15分钟降雨量 = 4.2in

图 7.10 降雨强度-时间曲线^[14]

表 7.1 重现期为 10 年的常数^[16]

地点	$i = \frac{a}{(t_d + c)^b}$			$i = \frac{a}{(t_d^b + c)}$		
	a	b	c	a	b	c
芝加哥	60.9	0.81	9.56	94.9	0.88	9.04
丹佛	50.8	0.84	10.50	96.6	0.97	13.90
休斯顿	98.3	0.80	9.30	97.4	0.77	4.80
洛杉矶	10.9	0.51	1.15	20.3	0.63	2.06
迈阿密	79.9	0.73	7.24	124.2	0.81	6.19
纽约	51.4	0.75	7.85	78.1	0.82	6.57
奥林匹亚	6.3	0.40	0.60	13.2	0.64	2.22
亚特兰大	64.1	0.76	8.16	97.5	0.83	6.88
赫勒拿	30.8	0.81	9.56	36.8	0.83	6.46
圣路易斯	61.0	0.78	8.96	104.7	0.89	9.44
克利夫兰	47.6	0.79	8.86	73.7	0.86	8.25
圣达菲	32.2	0.76	8.54	62.5	0.89	9.10

设计雨量图 当设计雨水处置设施时，经常将降水强度与时间关系图（雨量图）作为原始资料。强度-持续时间-频率曲线描述了在某一给定降水强度和持续时间条件下降水发生的概率，却没有给出降水发生的时间。许多研究者提出了改进设计雨量图的方法^[17~21]，图 7.11 给出了其中的几例。

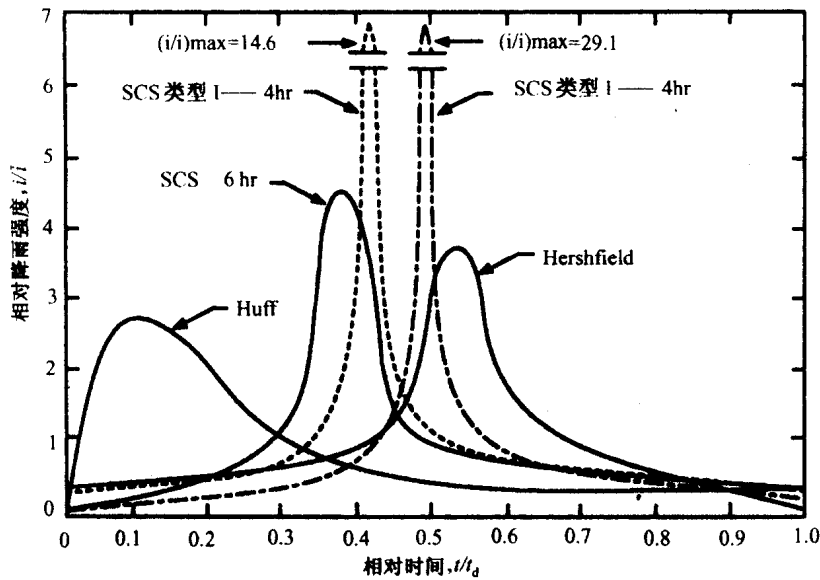


图 7.11 无量纲设计降雨雨量图^[17~21]

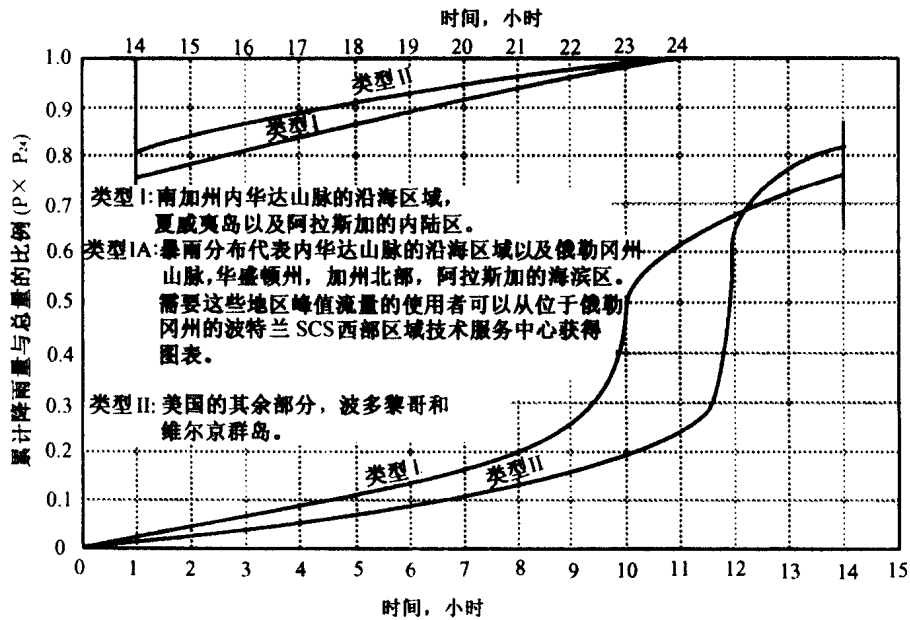


图 7.12 标准 SCS 24 小时降雨分布图^[21]

最常用的设计雨量图是 SCS I 型和 II 型分布图。图 7.12 列出了几种分布曲线。这些分布曲线是将取得的 5 分钟最大降水强度与 10 分钟最大降水强度及各时间段降水强度（直至 24 小时）进行嵌套处理而得。对于雨水类型相同而峰值降水量不同的区域而言，它们的分布曲线形状非常相似。SCS II 型特别适用于在夏季会有短暂、强烈暴雨的地区，SCS I 型则适用于其他地区。

地表径流

在众多雨水处置问题中，地表径流应是主要考虑的一类问题。涵洞、排水沟和停留池都是为地表径流而设计的。设计这些沟塘时通常不考虑地下水的流动问题。不过对于生活污水排放系统，则要考虑渗滤的影响。在这类系统中，地下水是主要控制因素，必须对其正常的流动特征加以详细地分析。不过这类分析不在本书的讨论范围之内，读者可参阅其他水力学书籍^[1, 22~24]。

对于分析和设计简单的雨水处置系统来说，知道地表径流的峰值流量就已足够了。这时，常用诸如有理公式或特定的回归方程等一些经验方法来计算峰值流量。当需要对水文学及水力学因素进行详细分析时，必须计算径流流量并绘出水文曲线。

径流过程 为了准确预测径流流动过程中任何一点的流速，必须充分了解控制径流产生及流动的因素。当雨水从空中落下时，会有部分雨水润湿植物或其他物体表面（截留）。而到达土壤表面的雨水一部分渗入地下（渗滤），另一部分则积蓄在地表低洼处（洼地蓄水）。降雨开始时，渗滤速度通常很高，随着降水的继续逐渐降低到一个稳定的低值。当降水速率大于渗滤速率时，就将产生地表径流。地表径流沿着不规则的地面向下坡方向流动，最后流入小溪和下水道，汇入大的溪流和湖泊中，流速由地表坡度和阻力损失决定。任何一点的汇流速率由排水区域和水流流经路径共同决定。

雨水径流通常可由几种径流流动过程形成，其中包括：Hortonian 地表流、饱和地表流及地下雨水流。

Hortonian 地表流 在土壤水力传导性很低的干旱和半干旱地区，当降水速率超过土壤吸水能力时，则产生 Hortonian 地表流。这类径流的一种极端情况是某些地区的地表为不透水地表，这时，水的渗滤速率为零。

在潮湿地区，植被覆盖着土壤表面，Hortonian 地表流仅发生在已锄去植被及无植物生长的土壤密实的部分地区。在植物生长茂盛，土壤具有一定渗滤能力的地方，当出现特大暴雨时，才会发生 Hortonian 地表流。在出现较小暴雨就可形成雨水径流的地区，通常会有另一径流流动过程对其产生影响。

饱和地表流 当地下水位升至地面阻止了雨水的渗滤时，就会发生饱和地表流。此时，所有的降水都会形成地表径流。饱和地表流通常发生于在降雨过程中土壤会向上膨胀的山谷底部。当下渗的雨水受到水力传导性较低的土壤表层阻挡时，也会出现饱和地表流，这是因为当雨水渗滤时，土壤表层的水位不断上升，最后到达地面，使随后的降水形成地表径流。

地下雨水流 这种类型的径流可随处发生，但只有在水力传导性很高的土壤中才显得非常重要。地下雨水流的水量通常小于总降水量的 30%，并且即使在较小的流域内，出现峰值流量也需 20~30 小时^[24]。因此，在雨水处置系统中通常对其不予考虑。

流域参数

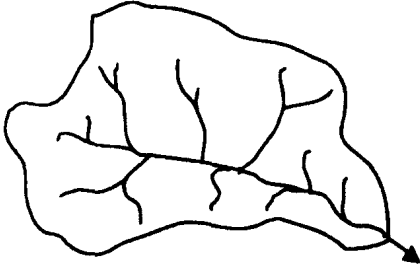


图 7.13 理想梨形流域

最基本的参数是流域面积。人们将大多数流域的形状想象成如图 7.13 所示的梨形。对非梨形流域（如图 7.14 所示），则应将其分割成形似梨形的几个部分。若几个部分的汇集时间 T_c （下面将给出其定义）近似相等，只需将各个部分的峰值流量直接相加便可得出整个流域的峰值流量。若汇集时间相差较大，则应绘制各部分的水文曲线，确定峰值流量，然后相加得出整个流域的峰值流量。

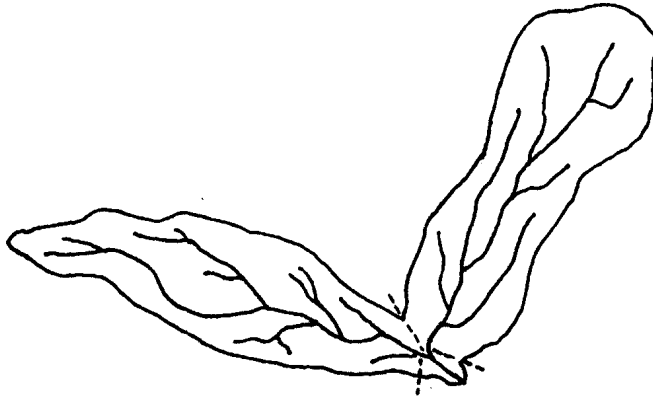


图 7.14 细分不规则流域

汇集时间和流域滞后时间 人们将雨水从流域的最远处流到流域排水口所需要的时间称为汇集时间 T_c ，而将流域出口处出现高峰降雨流量与在水文曲线上出现峰值流量的时间差称为流域滞后时间 T_L 。实际上，所有预测水文曲线峰值径流出现时间的方法均需要一至二个参数。在很多这样的方法中都会用到流域滞后时间，但它常由汇集时间来确定。水土保持局将它们之间的关系定义为 $T_L = 0.6 T_c$ [10]，这里的 T_c 常由雨水的地表径流时间加上河道输送时间而得。

地表径流时间 人们通常在如下给出的方程中选择其一计算地表径流时间，计量单位为分钟。详细的介绍可参见参考书 [37, 38]。

联邦航空机构给出的地表径流时间计算公式为：

$$\text{地表径流时间} = [X(1.1 - C)L^{0.50}] / S^{0.333} \quad (7.13)$$

式中： C 为径流系数； L 为径流里程，英尺或米； S 为地表坡度，%； X 为 1.8（采用国际标准单位制时取 3.26）。

式 (7.13) 称为动态波公式，它是由航空公司的工程技术人员根据机场排水资料推导出来的，主要用于解决机场的排水问题，不过也常常用于城市区域内地表径流的计算 [28]。

$$\text{地表径流时间} = (XL^{0.6}n^{0.6}) / (i^{0.4}S^{0.3}) \quad (7.14)$$

式中：X 为 0.94（采用国际标准单位制时取 2.78）；L 为径流里程，英尺或米；n 为曼宁粗糙度系数（见表 7.2）；i 为过量降水强度，英寸/小时或厘米/小时；S 为地区平均坡度，英尺/英尺或英寸/英寸。

表 7.2 推荐的地表径流曼宁粗糙度系数^[25]

地表类型	曼宁粗糙度系数 <i>n</i>
平滑的不透水表面	0.035
平滑，土壤裸露、密实，无石子	0.05
草稀少，土壤中度裸露	0.10
牧场或草皮覆盖程度一般	0.20
草木茂盛	0.40

这个公式是采用动态波形分析法对发达地区地表径流进行分析而得^[29]。若用数学法求解，由于过量降水强度和地表径流时间均为未知数，需要进行迭代计算。曼宁粗糙度系数可从表 7.2 中选取。

水土保持局滞后方程：

$$\text{地表径流时间} = [X L^{0.8} (1000/\text{CN} - 9)^{0.7}] / 1900 S^{0.5} \quad (7.15)$$

式中：L 为最长流动路径的水力学长度，英尺或米；CN 为水土保持局径流曲线数（表 7.9）；S 为流域平均坡度，%；X 为 60（采用国际标准单位制时取 155）。

该方程是水土保持局根据农业流域资料推导而来，常用于对农村地区的地表径流时间进行计算。用于混合流域计算时，所得到的结果偏高。为了修正对疏浚河道（如图 7.15）和不渗透地区（如图 7.16）进行计算所引起的偏差，水土保持局推荐了一些校正参数^[31]。McCuen 等人认为目前 TR-55 中的水土保持局滞后因子有待完善，并提出了一组滞后修正参数^[32]（如图 7.17）。Kibler 等人的研究证实，采用 McCuen 等人提出的修正参数比采用最初的水土保持局滞后因子进行计算，所得结果更加准确^[25]。

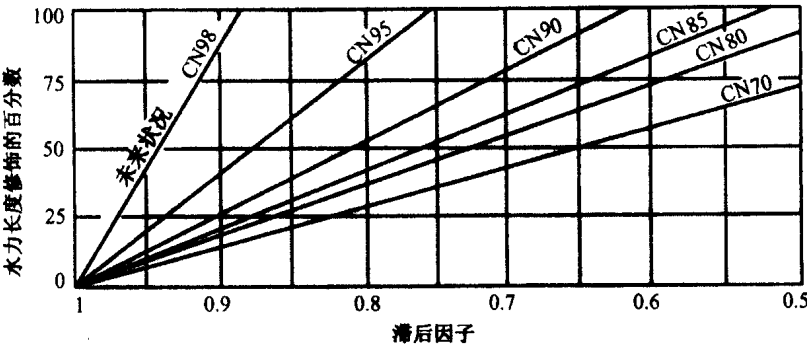


图 7.15 河道疏浚水力条件改善后，使用方程 7.15 调节滞后参数^[31]

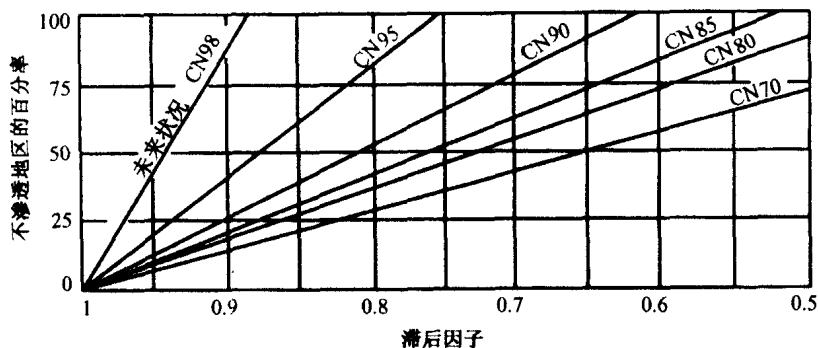


图 7.16 流域中出现不渗透地区，使用方程 7.15 需调节滞后因子^[31]

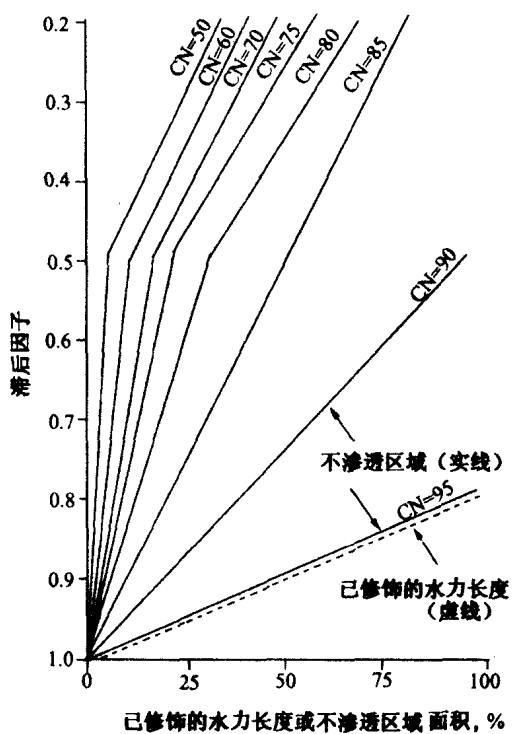


图 7.17 建议滞后因子与已修饰的水力长度或不渗透区域面积的关系^[32]

计算汇集时间时，首先按地表类型将径流长度分段，再由图 7.18 查出各段相应的地表径流速度，最后对各分段长度除以地表径流速度的值求和，即可得到汇集时间^[31]。

河道输送时间 表 7.3 给出了降水在河道内的一些典型流速。如果河道断面资料已知，可用曼宁方程计算流速。

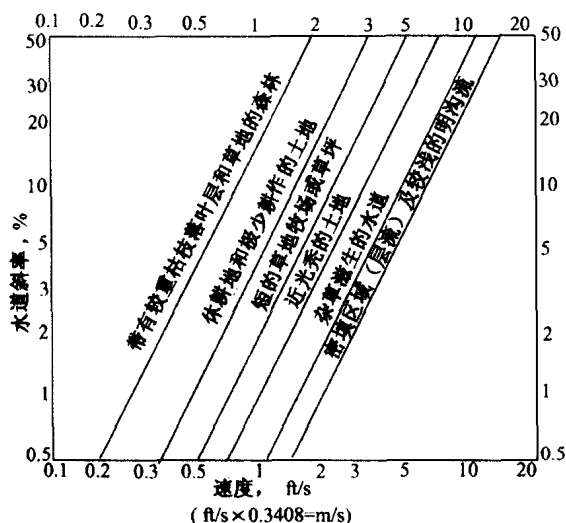


图 7.18 地面径流的平均速度 (用以估算通过时间)

$$V = (X/n)R_H^{2/3}S^{1/2} \quad (7.16)$$

式中: V 为流速, 英尺/秒或米/秒; R_H 为水力半径, 英尺或米; S 为河道坡度, 英尺/英尺或米/米; n 为曼宁粗糙度系数; X 为 1.486 (采用国际标准单位制时取 3.28)。

用该方程进行计算时, 假设河道处于满流状态。

表 7.3 降水在河道内的典型流速^[13]

河道坡度 (%)	林地 (流域上部)		牧场 (流域上部)		天然河道	
	m/s	ft/s	m/s	ft/s	m/s	ft/s
0~3	0.3	1.0	0.5	1.5	0.3	1.0
4~7	0.6	2.0	1.0	3.0	1.0	3.0
8~11	1.0	3.0	1.2	4.0	1.5	5.0
12~15	1.1	3.5	1.4	4.5	2.4	8.0

推理法

推理法常在小型排水结构的设计程序中使用。方程形式如下:

$$Q = X C i A \quad (7.17)$$

式中: Q 为径流的峰值流量, 立方英尺/秒或立方米/秒; C 为径流系数; A 为排水区域面积, 英亩或公顷; i 为降水强度, 英寸/小时或厘米/小时; X 为 1.01 (采用国际标准单位制时取 0.0278)。

降水强度可从前面讲过的强度-持续时间-频率曲线求得 (按区域的 T_c 等于降水持续时间查出)。

推理法假设当所有的支流汇集到出口时出现的径流量最大。降雨持续时间大于汇集时间

时, 将使峰值流量降低, 这是因为平均降雨强度降低了。推理法的其他假设包括:

1. 在全流域的整个降水过程中, 降水强度不变。
2. 在整个降水过程中, 径流系数不变。

径流系数 C 是最难估计的。表 7.4 列出了一些典型的 C 值。考虑到土壤类型、降水强度、降水持续时间、坡度及不透水区域等影响因素, 表 7.4 中列出的 C 值范围较大。重现周期对 C 值的影响见图 7.19。对不透水区域在全流域所占比例的估计值可由表 7.5 获得。

表 7.4 推理方程的径流系数^[33]

地域	C 值
商业区	
城区	0.70~0.95
郊区	0.50~0.70
住宅区	
单一家庭住宅	0.30~0.50
多单元 (分隔)	0.40~0.60
多单元 (连接)	0.60~0.75
住宅区 (郊区)	0.50~0.70
公寓	0.50~0.70
工业区	
轻工业区	0.50~0.80
重工业区	0.60~0.90
公园, 墓地	0.10~0.25
操场	0.20~0.35
铁路区	0.20~41.35
未开发地区	0.10~0.30
人行道	
沥青和水泥	0.70~0.95
砖	0.70~0.85
屋顶	0.75~0.95
草地 (沙质土壤)	
坡度 < 2%	0.05~0.10
坡度, 2%~7%	0.10~0.15
坡度 > 7%	0.15~0.20
草地 (非砂质土壤)	
坡度 < 2%	0.13~0.17
坡度, 2%~7%	0.18~0.22
坡度 > 7%	0.25~0.35

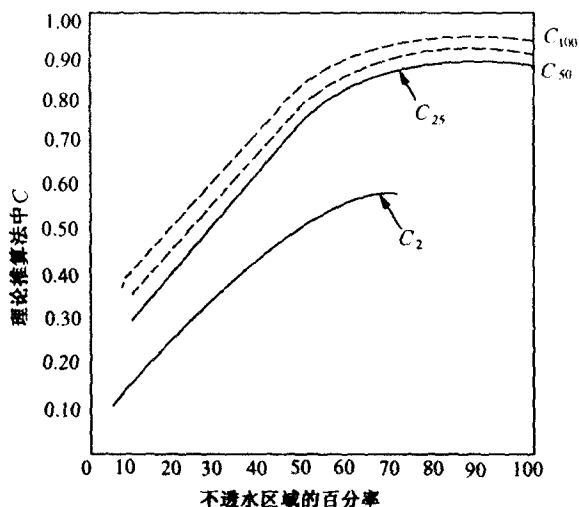


图 7.19 重现周期对径流常数的影响 (推算公式中的 C 与不透水区域)
(摘自暴雨的重现周期)^[34]

表 7.5 在不同土地使用区内不透水区所占比例^[35]

土地用途	不透水地区比例, %
住宅区	
单一家庭住宅平均占地	
小于或等于 1/8 英亩	65
1/4 英亩	35
1/3 英亩	30
1/2 英亩	25
1 英亩	20
大于 1 英亩	15
公寓及市内住宅	75
学校及教堂	50
商业区	85
工业区	70
公园和墓地	15
开阔地或未开发地区	1

Rawls 等人^[35]在 Rossmiller^[36]工作的基础上提出了一个较简单的推测 C 值的方法, 这种方法考虑了土地使用情况、坡度及土壤类型等影响因素, 根据 Rawls 的方法得到的 C 值如表 7.6 所示。