

ICS  
CCS

# 团体标准

T/CI XXX-2022

## 城市降雨径流实验技术标准

Technical Standards for Urban Rainfall Runoff Experiments

2022-X-XX 发布

2022-X-XX 实施

中国国际科技促进会 发布

# 目 次

前言.....	2
1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和符号.....	3
3.1 术语.....	3
3.2 符号.....	4
4 原则.....	5
5 实验装置.....	5
5.1 人工模拟降雨装置.....	5
5.2 下垫面设施.....	5
5.3 监测设备.....	7
6 实验操作规范.....	9
6.1 人工模拟降雨操作.....	9
6.2 流量测量操作.....	9
6.3 土壤含水量测量操作.....	9
7 实验数据处理.....	10
7.1 流量数据.....	10
7.2 数据处理分析.....	11

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

为指导城市降雨径流实验，制定本标准。本标准为首次发布，今后将根据城市降雨径流实验技术发展情况适时修订。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由珠江水利委员会珠江水利科学研究院提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

请各单位在使用过程中，总结经验和积累资料，及时将发现的问题和意见反馈给珠江水利委员会珠江水利科学研究院，以供今后修订时参考。联系方式：广州市天河区天寿路 80 号珠江水利大厦，邮编：510611；E-mail：zhangyin\_1994@outlook.com。

本标准起草单位：珠江水利委员会珠江水利科学研究院、中山大学、广东省水文局惠州水文分局、广东省水文局广州水文分局、武汉大学、中国科学院地理科学与资源研究所。

本标准主要起草人：张印、宋利祥、杨芳、林凯荣、田兆伟、陈刚、余敦先、邹磊、刘培、张炜、翁忠华、王汉岗、张大伟、刘红岩、胡豫英、谢冰绮。

本次标准为首次制定。

# 城市降雨径流实验技术标准

## 1 范围

本标准规定了城市降雨径流实验中所使用实验装置的工作性能标准, 实验操作规范以及数据处理方式。

本标准适用于大专院校、科研机构等开展城市降雨径流实验等相关工作。

## 2 规范性引用文件

本标准内容部分引用了下列文件中的条款。凡是注明日期的文件, 仅注日期的版本适用于本文件。

2014 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建 (试行)

GB50318-2017 城市排水工程规划规范

GB50014-2021 室外排水设计标准

GB5122-2017 城镇内涝防治技术规范

GB/T 50095-2014 水文基本术语和符号标准

GB/T 15966-2017 水文仪器基本参数及通用技术条件

## 3 术语和符号

### 3.1 术语

#### 3.1.1 降雨径流 precipitation-runoff

由降雨所形成的径流。

#### 3.1.2 降雨径流实验研究 experimental research on precipitation-runoff

研究降雨产流和汇流的物理机制和变化规律的科学实验。

#### 3.1.3 径流实验场 runoff plot

为研究径流形成和汇流的物理过程及机制, 按一定条件选定和设置的小面积实验场地。

#### 3.1.4 人工模拟降雨装置 artificial rainfall simulation device

人为设计可以控制雨强、雨型的降雨装置。

### 3.1.5 雨型 rainfall distribution

降雨事件中，降雨量随时间的变化过程。

### 3.1.6 径流过程线 hyetograph

降雨事件中，径流量随时间变化的过程曲线。

### 3.1.7 径流量 runoff

降落到地面的雨水超出一定区域内地面渗透、滞蓄能力后多余水量，汇流到出水口的流量的统称。

### 3.1.8 径流系数 runoff coefficient

任意时段内径流深度与同时段内降雨深度之比。

### 3.1.9 不透水面比例 impervious area rate

由混凝土、沥青、石材等不透水材料覆盖的下垫面面积占总下垫面面积的比例。

### 3.1.10 透水路面 permeable pavement

采用透水材料或透水结构铺设的具有一定下渗能力的路面。

### 3.1.11 生物滞留设施 bioretention facility

通过植物、土壤和微生物装置滞蓄、渗滤、净化径流雨水的设施。

### 3.1.12 绿色屋顶 green roof

在建筑物屋顶铺设种植土层并栽种植物，收集利用雨水、减少雨水径流的源头减排设施，又称种植屋面或屋顶绿化。

## 3.2 符号

$P$ ——降雨量；

$I$ ——雨强；

$Q$ ——流量；

$R$ ——径流深；

$\varphi$ ——径流系数。

#### 4 原则

1 科学性原则：实验目的要明确，实验设备和实验操作选择要恰当，实验设计方案能实现实验目的，实验结果需遵循水文学原理。

2 可重复性原则：实验具有可重复性。

3 安全原则：实验过程不得对土壤环境、地下水、公众健康和环境卫生造成危害。

#### 5 实验装置

##### 5.1 人工模拟降雨装置

###### 5.1.1 人工模拟降雨装置功能

为城市降雨径流实验提供实验所需的降雨过程。

###### 5.1.2 人工模拟降雨装置要求

根据实验研究的需要，在选择人工模拟降雨装置时，应符合以下基本要求：

1 装置本身需具备一定的强度和刚度，可以承受本身自重和实验过程中可能出现的动荷载；

2 装置具有较高的稳定性，可重复性好，产生的降雨可类比天然降雨过程；

3 装置可生成的降雨强度范围满足实验需求，装置可控制降雨强度在空间和时间上发生变化；

4 实验开始和结束时，装置的雨滴可以实现生成和停止的速度快，不出现喷头滴水现象；

5 装置的扩展性好，便于自动化控制，可靠性高，便于维护；

6 造价较低。

##### 5.2 下垫面设施

###### 5.2.1 下垫面设施功能

用于模拟城市下垫面。

### 5.2.2 下垫面分类

城市下垫面可分为不透水下垫面与透水下垫面，其中常见的不透水下垫面包括道路、广场和建筑物，透水下垫面包括绿地、裸地、海绵设施等。

### 5.2.3 不透水下垫面

可使用混凝土与不透水砖模拟不透水下垫面，亦可使用隔水性好、有一定厚度的胶垫或塑料膜。

### 5.2.4 海绵设施

#### (1) 透水铺装

a) 透水铺装结构层应由透水面层、基层、垫层组成，功能层包括封层、找平层和反滤隔离层等。

b) 面层应具有良好的渗透能力，常见材料包括透水砖、透水水泥混凝土、透水沥青。

c) 基层应具有较大的孔隙率，宜采用级配砾石、大孔隙混凝土等材料。

d) 垫层宜采用碎石、粗砂等材料。

e) 在寒冷和严寒地区铺设透水铺装时应满足防冻厚度和材料抗冻性要求。

f) 透水铺装结构应符合《透水砖路面技术规程》(CJJ/T188)、《透水沥青路面技术规程》(CJJ/T190) 和《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJJ/T135) 的规定。

#### (2) 绿色屋顶

a) 设置绿色屋顶时，实验坡度不宜大于 15°。

b) 绿色屋顶自上而下宜设置植被层、基质层、过滤层、排水层、保护层、防水层。

c) 基质层宜选择轻质、适宜植物生长的材料，其铺设厚度应根据种植植物的种类确定；当种植乔木时，其厚度应大于 600mm；当种植其他植物时，厚度不宜大于 150mm。

d) 过滤层应采用透水且能防止泥土流失的材料。

e) 排水层宜采用卵石、碎石或具有储水能力的合成材料，孔隙率宜大于 25%，

厚度宜为 100mm~150mm。

- f) 保护层厚度应能防止被植物根系穿透。
- g) 防水层宜选择对屋顶变形或开裂适应性强的柔性材料。
- h) 找平层宜由水泥砂浆铺成，厚度宜为 20mm~30mm。
- i) 绿色屋顶的设计可参考《种植屋面工程技术规程》(JGJ155)。

### (3) 生物滞留设施

a) 生物滞留设施自上而下宜设置蓄水层、覆盖层、种植层、透水土工布和砾石层。

b) 蓄水层深度应根据植物耐淹性能和土壤渗透性能来确定，一般为 200-300mm，并应设 100mm 的超高。

c) 砾石层起到排水作用，厚度一般为 250-300mm，可在其底部埋置管径为 100-150mm 的穿孔排水管，砾石应洗净且粒径不小于穿孔管的开孔孔径。

d) 生物滞留设施内应设置溢流设施，可采用溢流竖管、盖篦溢流井或雨水口等，溢流设施顶一般应低于汇水面 100mm。

### 5.2.5 下垫面布设

城市地区下垫面类型复杂，为模拟不同的城市地区下垫面，在进行下垫面布设时，需考虑以下因素：

- 1 不同下垫面类型的面积比例；
- 2 不同类型下垫面的空间分布；
- 3 下垫面坡度；
- 4 下垫面地下空间情况。

## 5.3 监测设备

### 5.3.1 降雨监测仪器

1 常见的降雨测量仪器包括雨量器和雨量计，其中雨量计根据型式可分为翻斗式雨量计、虹吸式雨量计、称重式雨量计和光学式雨量计。

2 雨量器应备有专用量雨杯，专用量雨杯的最小刻度不应低于实验降雨的记录精度，最下起始刻度划线应等于 1/2 记录精度。

3 翻斗式雨量传感器测量范围应包含实验最大雨强，当降雨强度在

0.01mm/min~4.0mm/min 范围变化时，其翻斗计量误差应在-4%~4%范围内。

4 虹吸式雨量计测量范围应包含实验最大雨强，当降雨强度在0.01mm/min~4.0mm/min 范围变化时，时段雨量的测量误差在-4%~4%范围内。

5 称重式雨量计的适用降雨强度不限，测量误差应在-3%~3%范围内。

6 其他类型的雨量计的测量误差应在-4%~4%范围内。

### 5.3.2 流量监测设备

1 流量监测可直接使用堰槽流量计、多普勒超声波流量计等测流仪器，亦可使用体积法与电子秤称重法等流量监测方式。

2 体积法测流通过测量径流总量的体积来推求流量。常用的体积法测流设备有量筒、烧杯、水槽、液位传感器。

3 电子秤称重法测流通过电子秤称重的方法得到径流总量的重量进而推求流量。电子秤称重法使用的设备包括水箱、电子秤、串口线、电脑。

### 5.3.3 土壤含水量监测设备

1 土壤含水量测量方法包括烘干法、中子仪法、 $\gamma$ 射线法、土壤水分传感器法、时域反射法、频域反射法等，其中土壤水分传感器法在降雨径流实验中使用较为广泛。

2 土壤水分传感器法：目前采用的传感器种类较多，包括陶瓷水分传感器、电解质水分传感器、高分子传感器、压阻水分传感器、光敏水分传感器、微波法水分传感器、电容式水分传感器等等。

## 6 实验操作规范

### 6.1 人工模拟降雨操作

1 正式开展实验前,需对人工模拟降雨装置的空间均匀性与降雨过程稳定性进行检验,不同位置降雨相对误差在宜 $\pm 10\%$ 以内,降雨过程波动范围宜在 $\pm 10\%$ 以内。

2 正式开展实验前,需进行人工模拟降雨率定,待人工模拟降雨过程满足实验设置要求,方可进行实验,人工模拟降雨率定过程不应对实验下垫面造成影响。

3 在室外开展人工模拟降雨径流实验时,宜选择无风天气,或在径流场四周布设挡风装置,以避免室外起风对实验造成影响。

4 需记录降雨过程,包括降雨开始时刻、雨强、降雨结束时刻等信息。

### 6.2 流量测量操作

1 需记录径流过程,包括开始产流时刻、产流结束时刻以及径流量等信息。

2 使用体积法测流时,应尽可能避免水位波动以减少流量观测误差。

3 使用体积法测流时,可通过烧杯、量筒等仪器直接读取体积数据,也可通过液位计读取水位数据后转化为体积。

4 使用电子秤称重法测流时,应尽可能避免下垫面土体等杂物冲入水箱中以影响读数。

5 使用电子秤称重法时,径流流入放置于电子秤上的水箱内,各时刻电子秤测得的累计径流量的重量数据通过串口线传输到电脑,并通过程序实现数据的自动记录。

### 6.3 土壤含水量测量操作

1 使用电容式土壤水分传感器前,需对土壤水分传感器进行标定,得到土壤含水量与电压的关系。

2 需记录降雨前初始土壤含水量、实验过程中土壤含水量变化过程。

3 土壤水分传感器应均匀布设于实验场内。

4 土壤水分传感器插入实验土体后实验过程中不可随意移动。

## 7 实验数据处理

### 7.1 流量数据

#### 1 体积法测流

体积法记录的是各时刻总径流量的体积, 通过计算各时刻水的体积较前一时刻水的体积的差值即得到流量序列。当读取的数值为水位时, 需先将水位数据转化为体积数据:

$$V_i = A(H_i - H_{i-1})$$

式中:  $V_i$ —— $i$  时刻测得的累计径流量的体积 ( $\text{cm}^3$ );

$A$ ——水槽的底面面积 ( $\text{cm}^2$ );

$H_i$ —— $i$  时刻测得的水位 ( $\text{cm}$ )。

再将体积数据转化为流量数据:

$$Q_i = (V_i - V_{i-1}) / \Delta t$$

式中:  $Q_i$ —— $i$  时刻的流量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );

$\Delta t$ ——时间步长 ( $\text{s}$ )。

场次径流深为:

$$R = V/F/1000$$

式中:  $R$ ——径流深 ( $\text{mm}$ );

$V$ ——场次降雨累计径流量的体积 ( $\text{cm}^3$ );

$F$ ——径流场面积 ( $\text{m}^2$ )。

#### 2 电子秤称重法测流

电子秤测流装置直接记录的是各时刻总径流量的重量, 首先把重量转换为体积, 再计算各时刻水的体积较前一时刻水的体积的差值即得到流量序列。具体计算公式如下:

$$Q_i = (M_i - M_{i-1}) / \rho \Delta t$$

式中:  $Q_i$ —— $i$  时刻的流量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );

$M_i$ —— $i$  时刻电子秤测得的累计径流量的重量 ( $\text{g}$ );

$\rho$ ——水的密度 ( $1\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\Delta t$ ——时间步长 ( $\text{s}$ )。

场次径流深为:

$$R=M/\rho/F/1000$$

式中： $R$ ——径流深 (mm)；

$M$ ——场次降雨电子秤测得的累计径流量的重量 (g)；

$\rho$ ——水的密度 (1g/cm<sup>3</sup>)；

$F$ ——径流场面积 (m<sup>2</sup>)；

## 7.2 数据处理分析

径流系数作为降雨产流量的一个重要指标,其值大小通常用某一时段内径流深和相应时段内降雨量的比值来表示,可用来反映降雨过程中降雨转换为径流的量。其公式为:

$$\phi=R/P$$

式中： $\phi$ ——径流系数；

$R$ ——径流深 (mm)；

$P$ ——降雨量 (mm)。

---