

水泥混凝土路面集雨产流特征研究

赵慧芳, 苏德荣, 赵会娟

(北京林业大学 森林培育教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 在我国雨水资源缺少地区, 把雨水收集起来加以利用成为提高城市道路雨水利用效率的关键。作为雨水收集面的道路, 其产流特性对于雨水收集利用起着重要作用。利用人工水泥混凝土处理集雨面进行了道路路面产流特性模拟试验研究。水泥混凝土路面在干燥情况下的临界产流降雨量为 1.55 mm, 只有降雨量达到或接近 1.55 mm, 集雨面才会产生径流, 次径流系数随着次降雨量增大而增大, 产流时间与降雨时间相比存在着明显滞后性, 并且径流强度明显小于降雨强度。

关键词: 混凝土路面; 雨水收集; 雨水径流; 产流特性

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2009)03-0229-04

中图分类号: TV121.1, S273.1

Research on Characteristics of Rainwater Runoff on Concrete Pavement

ZHAO Huifang, SU Derong, ZHAO Huijuan

(The Key Laboratory of Silviculture and Conservation of

the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In the area lack of rain water resources, collecting rain water for utilization is the key to enhance the utilization efficiency of urban road rainwater. The road runoff characteristics as water harvesting surface plays an important role in the collection and utilization of rainwater. This article uses the artificial concrete surface to simulate road surface for the research on concrete pavement runoff characteristics. Threshold rainfall of the concrete pavement without antecedent rainfall is found to be 1.5 mm. Only if the rainfall amount approaches 1.5 mm, the rain water collection surface will have runoff. Road runoff coefficient increases with the increasing of rainfall amount. Runoff intensity is lagging and weak in comparison with rainfall intensity.

Keywords: concrete pavement; rainwater collection; rainwater runoff; runoff characteristics

在我国城市化进程中, 市政道路里程快速增长, 不透水路面面积急剧增加, 导致径流系数增大, 暴雨汇流迅速, 径流量成倍增加, 城市积水问题严重。城市道路雨水利用对减小暴雨洪峰流量, 减轻市政排水压力, 解决道路积水和城市防洪、排涝等方面起着至关重要的作用。我国现有城市道路雨水利用主要分为直接利用和间接利用两种方式, 直接利用即在路边修建蓄水池, 蓄水池置于绿地下, 雨天集存, 晴天利用^[1], 收集的雨水经过简单处理作为绿化、洗车、消防、冷却等非生活用水水源^[2] 3]。间接利用即把雨水引入路边绿化带或使用各种透水性铺装, 使雨水直接渗入地下, 通过植被与土壤对雨水的天然净化作用, 对地下水做有利补充^[4]。

在道路雨水利用技术相对成熟的干旱半干旱地区, 由于水资源缺乏, 人们往往选择把路面作为雨水收

集面, 收集雨水作为农业灌溉用水水源^[5]。目前我国各地城市修建的主要道路都相当宽阔, 可收集雨水量亦相当可观, 就近收集道路径流用于城市绿地灌溉、城市清洁等方面, 可以减少管道长度, 节省管网造价, 提高雨水利用率, 降低绿地养护成本, 产生良好环境效益。可见在我国雨水资源缺少地区, 把雨水收集起来加以利用更是提高城市道路雨水利用效率的关键。

道路作为雨水收集面的产流特性是雨水收集系统设计的主要影响因素, 对于雨水的收集与利用起着至关重要的作用。我国已经针对道路路面作为集雨面的雨水集流系统进行了初步研究, 已有研究主要反映集雨面平均集雨效率^[1, 6], 也有研究者针对混凝土集雨面以及沥青集雨面临界产流降雨量进行了研究^[7], 但目前针对路面集雨产流全过程的观测和研究还很少。本文利用人工水泥混凝土处理集雨面模拟

水泥混凝土道路路面来进行产流特性试验研究,以便为我国城市道路雨水收集的计算与利用提供更加精确的理论基础。

1 材料与方 法

在试验空地修建人工集雨面模拟水泥混凝土道路路面,对其自然降雨产流特性进行观测。小区底部材料从下到上分别为 10 cm 夯实自然土,10 cm 砂石混料,5 cm 水泥。自然土夯实后利用水准仪打桩定位,灌注砂石混料使小区表面达到粗略水平,用普通硅酸盐水泥砂浆(优号 P.0, 标号 525)填平,最后用水平尺板检查路面水平度及平整度,符合要求后用铁抹子人工抹光。每个径流小区占地面积为 2.5 m@5 m,四周用砖和水泥围成,高为 10 cm,顶部削尖,以消除围砖上表面对集雨量的影响。在集雨面宽为 2.5 m 一侧底部开设直径 5 cm 圆形雨水出口,下方安装 25 L 水桶用以收集径流,出水口与水桶用 PVC 管连接。

试验空地处安装 25 cm 口径虹吸式自记雨量计,每次降雨后,记录降雨强度和降雨量。对于产流过程的研究,在降雨过程中用量筒在雨水口承接雨水,并用秒表计时,记录单位时间量筒内承接水量,除以小区面积即得到径流强度,而后与降雨强度做比较分析。

2 结果与分析

2.1 试验区降雨特征

试验区位于北京市丰台区地区东北部,冬季受高纬度内陆季风影响,寒冷干燥,夏季受海洋季风影响,高温多雨,是典型的暖温带半湿润季风型气候,年平均降水量为 585 mm。试验地 5) 10 月共降雨 39 次,总降雨量为 336 mm,其中 7 月份降雨量最多,占 23.3%,最大降雨量为 40.5 mm,出现在 7 月 30 日,其它各月降雨量分别为,10 月 18.6%,6 月 16.7%,8 月 15.3%,9 月 13.6%,5 月 12.5%。从降雨次数分布来看,< 5 mm 降雨次数为 20,占总降雨次数 51.28%,\ 5 mm, [20 mm 降雨次数占 33.33%,> 20 mm 降雨次数仅占 15.38%。但从降雨量分布来看,虽然 53.85% 次降雨来自 < 5 mm 降雨,但降雨量只占总降雨量的 6.68%,而 57.84% 的降雨量来源于 > 20 mm 降雨,可见试验地降雨量主要由少数强度较大降雨组成。

2.2 临界产流降雨量

临界产流降雨量,是指正好能产生径流的最小降雨量,是雨水集流系统设计的重要参数。国外的研究,主要采用直线回归法,即通过对次降雨量和次降雨径流量建立线性关系,确定临界产流降雨量^[8) 9]。观测期间降雨 39 次,其中 26 次降雨有产流记录。径流量

的收集受到前期即降雨前集雨表面干湿度的影响较为严重,将两次相邻降雨相隔 3 d 以上的降雨事件认为其产流不受前期降雨影响^[10],观测期间不受前期降雨影响径流观测记录为 19 次,图 1 为 19 次次降雨量与次降雨径流量观测值关系图,次降雨径流量随着次降雨量增加而增加,呈现明显线性关系。从图 1 可以看到,次降雨量与次降雨径流量符合以下直线方程:

$$R_1 = -1.38 + 0.8926P_1 = 0.8926(P_1 - 1.55)$$

$$R^2 = 0.9854$$

式中: R_1))) 次降雨径流量(mm); P_1))) 次降雨量(mm); R))) 相关系数。此公式说明水泥混凝土集雨面在干燥条件下的临界产流降雨量为 1.55 mm。

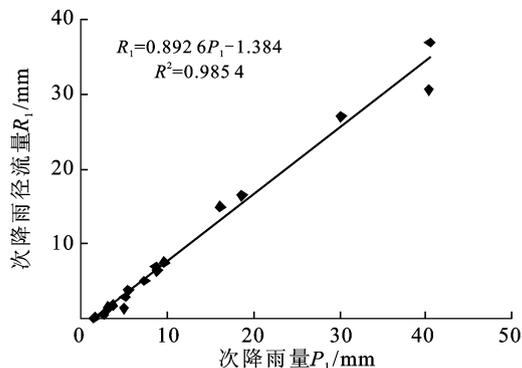


图 1 次降雨量与次降雨径流量的关系

2.3 径流系数

我国城市道路雨水收集都是按照 0.9 的路面径流系数进行计算,并没有考虑到次降雨量对次径流系数的影响。在一次降雨过程中,由于集雨面的初始入渗作用以及浸湿损失非常明显,最初降雨不能产生径流,随着降雨历程进行,降雨量不断增加,浸湿损失消失,入渗损失不断降低并趋于稳定,集雨面才开始产生径流,降雨过程中这些损失仍然会对集雨面的径流产生影响,降雨量不同,损失量在降雨量中所占的比例会有所不同,从而集雨面的径流系数也会不同。图 2 为 19 次不同降雨量情况下集雨小区的次径流系数。从图 2 可以看出,在次降雨量很小的情况下,次径流系数随着次降雨量的增加呈现明显增加趋势,当次降雨量为 1.55 mm 时,集雨面才开始产生径流,并且次径流系数仅为 0.05,当次降雨量为 7.4 mm 时,次径流系数已增加至 0.67,当次降雨量达到一定值时,次径流系数随着次降雨量的增加趋势已不明显,次降雨量为 18.62 mm 时,次径流系数为 0.88,当次降雨量大于 18.62 mm 时,次径流系数已基本稳定在 0.9 左右。

2.4 径流过程曲线 7

雨水降落到集雨面后,由于集雨面的浸湿作用、

入渗作用以及蒸发作用, 使得初期雨水降落到集雨面并不会马上产生径流, 只有降雨量大于初期雨水的损失量时集雨面才能产生径流, 降雨结束后, 集雨面内雨水全部流入雨水出口需要一定时间使得产流也不会立即停止。试验记录了 3 次不同降雨强度下降雨强度与径流强度变化过程。表 1 为 9 月 26 日, 10 月 5 日和 7 月 15 日 3 次降雨基本资料, 这 3 次降雨平均降雨强度分别为 0.6, 1.9, 6.4 mm/h, 从我国内陆降水强度等级划分标准来看, 依次为小雨强度、大雨强度和暴雨强度, 其中 7 月 15 日 30 min 最大雨强达到 17.4 mm/h, 属于特大暴雨强度。

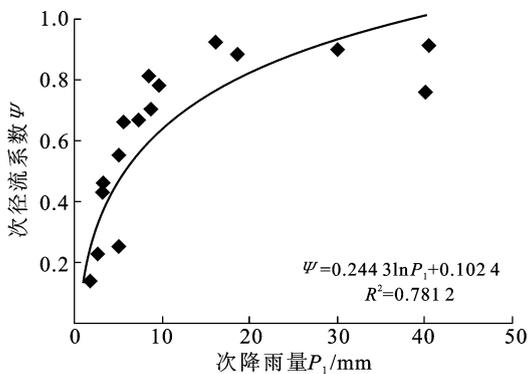


图 2 次降雨量与次径流系数关系图

表 1 3 次降雨基本情况

降雨时间	降雨量/mm	降雨历时/min	降雨强度/(mm# h ⁻¹)	30 min 最大雨强/(mm# h ⁻¹)
220926	1.7	166	0.6	3.1
221005	6.3	180	1.9	3.2
220715	9.6	90	6.4	17.4

2.4.1 产流时间与降雨时间相比存在明显滞后性

图 3) 5 为 3 次降雨全过程降雨强度与径流强度关系

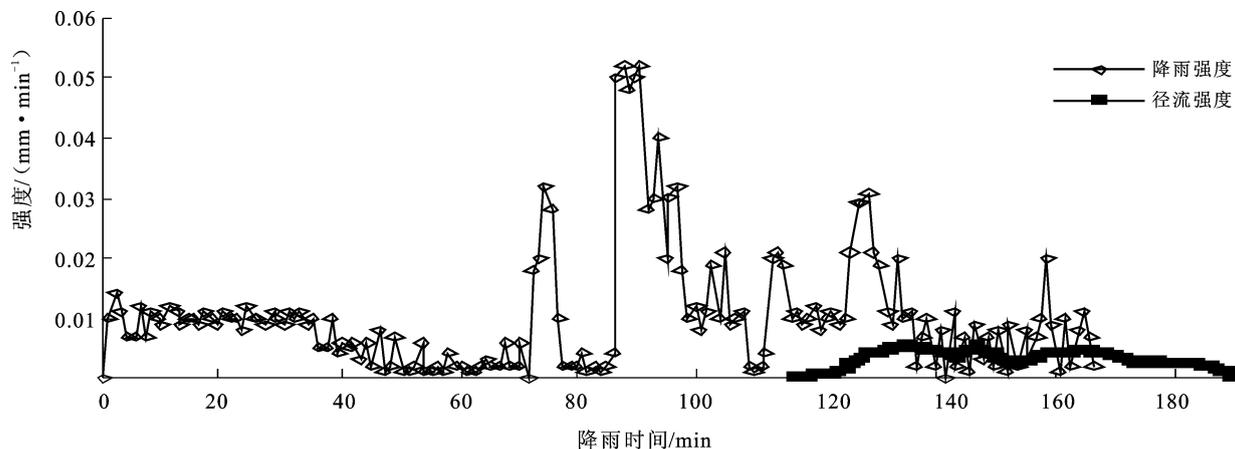


图 3 9 月 26 日降雨强度与径流强度关系曲线

曲线图。从图 3) 5 中可以看出, 产流时间与降雨时间相比存在着明显滞后性, 产流开始时间, 产流峰值出现时间以及产流停止时间, 都比相应降雨时间要晚, 并且降雨强度不同, 产流时间滞后性也有所不同。水泥混凝土在干燥情况下的临界产流降雨量为 1.55 mm, 只有降雨量达到或接近 1.55 mm, 集雨面才会产生径流。由于降雨强度不同, 降雨量达到临界产流降雨量的时间长短会有所不同, 所以开始产流时间会有区别, 降雨强度越小, 开始产流时间越晚, 其中 7 月 15 日, 降雨 8 min 后, 降雨量达到 2.00 mm, 集雨面开始产生径流, 10 月 5 日, 降雨 22 min, 降雨量达到 1.55 mm 时产生径流, 9 月 26 日, 降雨开始 116 min, 降雨量达到 1.57 mm 时才出现径流。3 次降雨产流峰值出现时间都比降雨强度峰值出现时间晚, 滞后时间分别为 4, 15, 59 min, 降雨强度小产流峰值出现时间滞后作用较为明显。3 次降雨产流结束时间比降雨停止时间也都存在明显滞后性, 降雨结束后, 集雨面上的水流要经过一段时间才能全部进入收集桶内, 滞后时间受降雨强度影响已经不大, 3 次降雨滞后时间分别为 21, 23, 24 min。

2.4.2 径流强度明显低于降雨强度

径流强度与降雨强度相比不仅存在着明显的滞后性, 由于径流开始前以及径流过程中集雨表面入渗、蒸发等损失使得径流强度明显低于降雨强度。从 3 条曲线可以看出, 降雨强度曲线变化曲折, 而径流强度曲线变化较为平滑, 降雨强度变幅 < 0.01 mm/min 时, 在径流强度曲线基本不会表现。另外, 由于降雨过程中的损失, 径流强度值都要比相应降雨强度值小。其中 9 月 26 日, 10 月 5 日, 7 月 15 日 3 次降雨强度的峰值分别为 1.30, 0.103, 0.052 mm/min, 而与之对应径流强度的峰值分别为 0.58, 0.057, 0.005 6 mm/min。

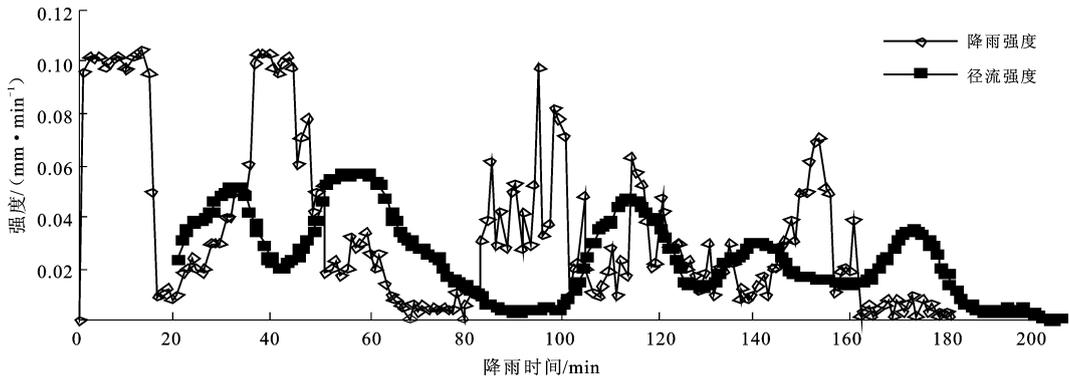


图 4 10月5日降雨强度与径流强度关系曲线

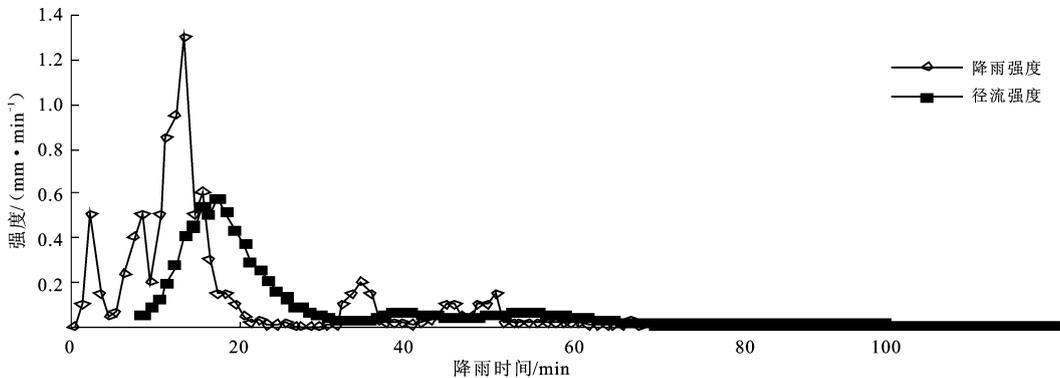


图 5 7月15日降雨强度与径流强度关系曲线

3 结论

在不受前期降雨影响下,水泥混凝土处理集雨面的次降雨径流量随着次降雨量的增加呈现明显增加趋势,临界产流降雨量为 1.55 mm,只有降雨量达到或接近 1.55 mm,集雨面才会产生径流。集雨面的次径流系数随着次降雨量变化而变化,所以在进行雨水收集计算时,应充分考虑次降雨量对次径流系数的影响,使雨水收集计算更加精确。从整个径流过程看,产流时间与降雨时间相比存在着明显滞后性,产流开始时间,产流峰值出现时间以及产流停止时间,都比相应降雨时间要晚,降雨强度不同滞后作用不同,在整个降雨过程中,降雨强度对产流的影响主要表现在对产流开始时间的滞后作用上,降雨强度越小的降雨,产流开始时间越晚。

另外径流强度明显低于降雨强度。由于条件所限,试验利用人工处理集雨面来模拟路面开展集雨面产流特性研究,并且只针对水泥混凝土路面产流过程进行了研究。

然而我国城市道路更多以沥青混凝土路面为主,沥青混凝土与水泥混凝土路面的表面粗糙度以及入渗速率都有差异,雨水产流特点自然会有区别,所以

今后应对这两种材料路面进行系统的对比研究,以便对不同路面展开雨水的收集与利用。

[参 考 文 献]

- [1] 郭凤台,朱磊.北方城市雨水利用工程模式探讨[J].水科学与工程技术,2005(4):9211.
- [2] 张艳杰,叶剑.城市道路与雨水利用[J].水利科技与经济,2005(12):7412744.
- [3] 侯玉玲,张艳红,李春辉.城市雨水资源利用现状及发展建议[J].水科学与工程技术,2004(6):1213.
- [4] 侯立柱,冯绍元,韩志文,等.透水砖铺装地面垫层结构对城市雨水入渗过程的影响[J].中国农业大学学报,2006,11(4):83288.
- [5] 辛鹏科,徐洁,刘建平,等.宁夏彭阳县雨水集蓄利用模式与效益分析[J].节水灌溉,2006(4):3238,58.
- [6] 杨苏龙,石跃进,史俊东,等.旱塬地集雨节水灌溉的初步研究[J].干旱地区农业研究,2003(4):8290,112.
- [7] 李小雁,龚家栋.人工集水面降雨径流观测实验研究[J].水土保持学报,2001,15(1):124.
- [8] Fink D H, Frasier G W, Myers L E. Water harvesting treatment evaluation at granite reef [J]. Water Resources Bull. 1979, 15: 8612873.
- [9] Diskin M H. Definition and uses of linear regression model [J]. Water Resour Res, 1970, 6: 16621673.
- [10] 李小雁,龚家栋,高前兆.人工集水面临界产流降雨量确定实验研究[J].水科学进展,2001,12(4):5162522.