

海绵城市透水铺装下渗雨水收集管管径与间距优化研究

文 / 常 泽 中烨工程建设集团有限公司西安分公司

摘要：本研究聚焦于海绵城市透水铺装下渗雨水收集管管径与间距的优化。通过理论分析与模拟实验，探讨不同管径和间距组合对雨水收集效率、系统成本的影响。研究结果为海绵城市建设中透水铺装雨水收集系统的设计提供了科学依据，有助于提高雨水资源利用率和降低建设成本。

关键词：海绵城市；透水铺装；雨水收集管；管径与间距优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.088

引言

随着城市化进程的加快，城市内涝和雨水资源浪费问题日益突出。海绵城市理念的提出为解决这些问题提供了有效途径，透水铺装作为海绵城市建设的重要组成部分，其下渗雨水收集系统的优化设计至关重要。雨水收集管的管径与间距直接影响着雨水收集效率和系统成本，因此开展相关优化研究具有重要的现实意义。

一、研究背景与意义

在中国，随着城市化进程的加速，城市内涝、水资源短缺和水环境污染等问题日益严重。海绵城市理念的提出，为解决这些问题提供了新的思路。透水铺装作为海绵城市建设的重要措施之一，能够有效地促进雨水下渗，补充地下水，削减地表径流。然而，透水铺装下渗雨水收集管的管径与间距的合理设计，直接影响到雨水收集的效率和效果。如果管径过小或间距过大，可能导致雨水无法及时排出，造成积水；反之，如果管径过大或间距过小，不仅会增加建设成本，还可能造成资源浪费。因此，开展海绵城市透水铺装下渗雨水收集管管径与间距优化研究，具有重要的现实意义。

从水资源管理的角度来看，中国是一个水资源相对匮乏的国家，许多城市面临着供水紧张的局面。通过优化雨水收集管的管径与间距，可以提高雨水收集量，将收集到的雨水经过处理后用于城市的绿化灌溉、道路冲洗等方面，从而缓解城市水资源的压力。同时，这也有助于提高城市的雨水资源利用率，实现水资源的可持续利用。

在应对城市内涝方面，合理的管径与间距设计能够确保透水铺装下渗的雨水快速有效地被收集和排出。当暴雨来袭时，城市排水系统面临巨大的压力。如果雨水收集管的设计不合理，可能导致雨水在透水铺装层内积聚，无法及时排出，进而引发城市内涝。而优化后的管径与间距能够与城市排水系统协同工作，增强城市应对洪涝灾害的能力。此外，从环境保护的角度出发，减少雨水径流中的污染物排放也是重要的目标。合理的管径与间距有助于控制雨水在透水铺装层中的停留时间和流动路径，从而有利于对雨水中污染物的截留和过滤。这对于改善城市水环境质量，保护城市水生态系统具有积极的意义。

二、相关理论基础

（一）海绵城市与透水铺装

海绵城市是一种新型的城市雨洪管理理念，旨在通过城市规划、建设和管理等多种手段，实现城市像海绵一样，在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”。透水铺装是海绵城市建设中的关键技术之一。在中国，海绵城市建设已经被纳入城市发展的重要战略。透水铺装材料种类繁多，包括透水混凝土、透水砖等。这些材料具有较大的孔隙率，能够让雨水快速下渗。透水铺装的应用可以改变传统城市路面不透水的状况，使雨水能够渗入地下，补充地下水，同时减少地表径流。这对于缓解城市内涝、改善城市热岛效应等有着重要的作用。

（二）雨水下渗与收集原理

雨水下渗是一个复杂的过程，涉及土壤的渗透性能、透水铺装材料的特性以及地下水位等多种因素。在中国不同的地区，土壤类型差异较大，这对雨水下渗有着显著的影响。例如，在砂土地区，土壤的渗透系数较大，雨水下渗速度较快；而在黏土地区，土壤的渗透系数较小，雨水下渗相对困难。雨水收集原理基于重力作用和水的流动性。当雨水落在透水铺装表面后，由于透水铺装的孔隙结构，雨水会在重力作用下向下渗透。下渗的雨水一部分会补充土壤中的水分，另一部分会通过收集管进行收集。收集管的设置是为了引导雨水的流动方向，将雨水汇集到特定的地点进行储存或处理。如图1所示：

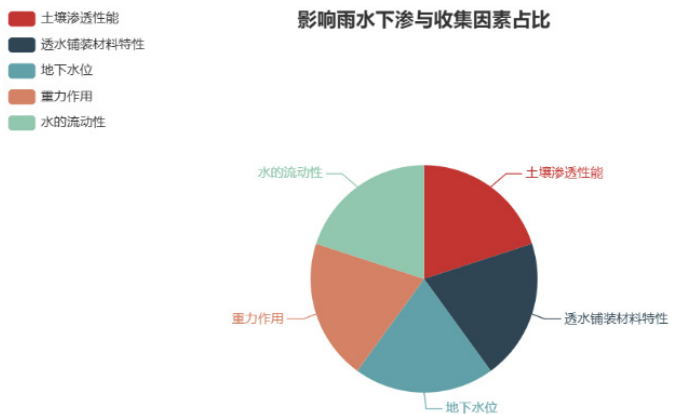


图 1

三、研究方法

(一) 实验设计

实验设计需要考虑多方面的因素，以准确模拟实际情况。首先，要选择具有代表性的透水铺装材料进行实验。在中国，由于不同地区的气候、土壤等条件不同，需要根据当地的实际情况选择合适的透水砖或透水混凝土等材料。

实验场地的选择也至关重要。可以选择在城市中的小型试验区域，例如城市公园的一角或者新建小区的空地等。这样的场地能够较好地模拟城市环境，同时便于控制实验条件。在实验过程中，要设置不同管径和间距的雨水收集管。例如，管径可以设置为 100mm、150mm、200mm 等不同规格，间距可以设置为 2m、3m、4m 等不同数值。通过对不同组合情况下的雨水下渗和收集情况进行监测，包括测量下渗速度、收集量等指标。为了确保实验结果的准确性，需要在实验过程中控制其他变量。例如，保持降雨强度的一致性，可以利用人工模拟降雨装置，按照一定的降雨强度进行降雨实验，如设定为每小时 10mm、20mm 等不同强度的降雨。同时，要对土壤的初始湿度、土壤类型等因素进行控制，使实验在相同的基础条件下进行。如图 2 所示：

(二) 模拟分析方法

采用计算机模拟分析是研究管径与间距对雨水收集影响的重要手段。在中国，随着计算机技术的不断发展，利用数值模拟软件可以有效地模拟雨水在透水铺装和收集管中的流动情况。首先，需要建立准确的数学模型。

这个模型要考虑到透水铺装的孔隙结构、土壤的渗透特性、雨水收集管的管径和间距等因素。通过对实际物理过程的数学描述，将其转化为计算机能够处理的数值模型。然后，利用数值模拟软件进行模拟计算。例如，采用有限元分析软件，将模型中的各个参数输入到软件中，设定边界条件，如透水铺装的上表面为降雨边界，收集管的入口为水流入口等。通过模拟计算，可以得到不同管径和间距情况下雨水的流动路径、速度分布以及收集效率等详细信息。

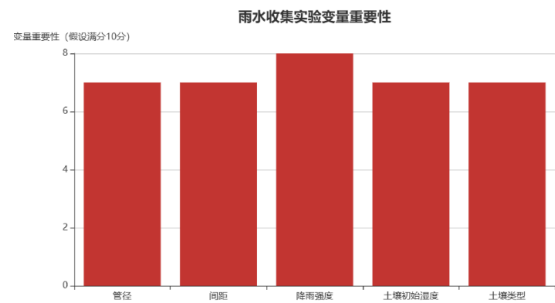


图 2

为了验证模拟结果的可靠性，需要将模拟结果与实验结果进行对比。如果两者之间存在较大的偏差，需要对模型进行修正，调整模型中的参数，直到模拟结果与实验结果较为吻合为止。这样，通过模拟分析方法，可以在不进行大量实际实验的情况下，对不同管径和间距的情况进行快速有效的分析，为优化方案的制定提供理论依据。如表 1 所示：

表 1- 模拟结果验证及应用步骤表

步骤	操作内容
验证	将模拟结果与实验结果对比
修正	若两者偏差大，对模型进行修正，调整模型参数，直至模拟与实验结果吻合
应用	利用模拟分析方法，在不大量进行实际实验时，对不同管径和间距情况快速有效分析，为优化方案制定提供理论依据

四、管径与间距对雨水收集的影响

(一) 不同管径的影响

在中国的海绵城市建设中，雨水收集管的管径大小对雨水收集有着显著的影响。当管径较小时，例如管径为 100mm，由于管道内部的过水断面较小，在相同的降雨强度和下渗量的情况下，雨水在管道内的流速相对较慢。这可能导致雨水在管道内积聚，无法及时排出，从而影响雨水收集的效率。随着管径的增大，如管径增加到 150mm 或 200mm，管道的过水断面增大，雨水在管道内的流速加快。这有利于雨水的快速排出，减少了雨水在管道内的停留时间，降低了积水的风险。同时，较大管径的收集管能够容纳更多的雨水，在暴雨期间，可以有效地收集更多的下渗雨水，避免雨水在透水铺装层内

形成积水。然而，管径的增大也并非完全有利。一方面，管径增大意味着建设成本的增加，包括管材的成本、施工成本等。在中国的工程建设中，成本控制是一个重要的考虑因素。另一方面，过大的管径可能导致雨水在管道内的流速过快，对管道的冲刷作用增强，可能会影响管道的使用寿命。

(二) 不同间距的影响

雨水收集管的间距同样对雨水收集有着重要的影响。当间距较大时，例如间距为 4m，在透水铺装区域内，可能会存在部分区域的雨水无法及时被收集管收集到。这是因为距离收集管较远的地方，雨水下渗后需要较长的距离才能到达收集管，在这个过程中，可能会由于土壤的渗透能力有限或者下渗速度不均匀等原因，导致部分

雨水在到达收集管之前就已经形成积水或者渗入地下深处而无法被收集。相反，当间距较小时，如间距为 2m，虽然能够更全面地收集雨水，减少积水的可能性，但也存在一些问题。首先，间距过小会增加收集管的铺设数量，

从而增加建设成本。其次，过于密集的收集管可能会对透水铺装层的结构稳定性产生一定的影响。在中国的工程实践中，需要在保证雨水收集效果的同时，尽量减少对工程结构和成本的不利影响。如表 2 所示：

表 2- 不同间距的影响

收集管间距	影响
间距较大（如 4m）	透水铺装区域部分雨水无法及时收集，因距离远、土壤渗透能力及下渗速度问题，雨水可能积水或渗入地下深处
间距较小（如 2m）	能更全面收集雨水、减少积水，但增加收集管铺设数量和建设成本，还可能影响透水铺装层结构稳定性

五、优化方案制定

（一）综合考虑因素

在制定海绵城市透水铺装下渗雨水收集管管径与间距的优化方案时，需要综合考虑多个因素。其中，当地的降雨特征是一个重要的考虑因素。在中国不同地区，降雨的强度、频率和持续时间等存在很大差异。例如，南方地区降雨量大且较为频繁，而北方地区降雨相对较少且集中。因此，在南方地区，可能需要更大管径和更小间距的雨水收集管，以应对频繁的降雨和较大的降雨量；而在北方地区，则可以根据实际降雨情况适当调整管径和间距，在满足雨水收集需求的同时，降低建设成本。土壤特性也是必须考虑的因素之一。中国的土壤类型丰富多样，从砂土到黏土不等。不同土壤的渗透系数不同，对雨水下渗的能力也不同。对于渗透系数较大的砂土地区，雨水下渗速度快，收集管的管径可以适当减小，间距可以适当增大；而对于渗透系数较小的黏土地区，则需要增大管径和减小间距，以确保雨水能够及时被收集。此外，工程的建设成本也是需要重点考虑的因素。在中国的城市建设中，资金往往是有限的。因此，在保证雨水收集效果的前提下，要尽可能地降低管径和间距优化后的建设成本。这包括管材的选择、施工工艺的优化等方面。同时，还要考虑雨水收集后的利用方式和需求。

如果收集的雨水主要用于绿化灌溉等对水质要求相对较低的用途，那么在管径和间距的设计上可以有一定的灵活性；但如果是用于生活用水等对水质要求较高的用途，则需要更加严格的设计，以确保雨水收集过程中的水质不受污染。

（二）优化结果

基于上述综合考虑因素，得到了管径与间距的优化结果。在南方多雨地区，如广东、福建等地，管径可以采用 150-200mm，间距为 2-3m 较为合适。这样的设计能够在应对频繁降雨的同时，有效地收集雨水，并且不会造成过高的建设成本。在北方少雨地区，例如北京、天津等地，管径可以选择 100-150mm，间距为 3-4m。这种设计能够满足当地相对较少的降雨需求，同时在保证雨水收集效果的基础上，降低建设成本，提高工程的经济性。对于不同土壤类型地区，在砂土地区，管径可以为 100mm，间距为 3m；在黏土地区，管径宜为 150mm，间距为 2m。这样的优化结果能够充分考虑土壤的渗透特性，确保雨水在不同土壤条件下都能够被有效地收集。通过这些优化结果，可以为中国各地的海绵城市透水铺装下渗雨水收集管的设计提供科学的依据，提高雨水收集的效率和效果，同时兼顾工程的经济性和可持续性。如表 3 所示：

表 3- 优化结果

地区分类	地区示例	管径	间距	设计优势
南方多雨地区	广东、福建等地	150-200mm	2-3m	应对频繁降雨，有效收集雨水，不过高增加建设成本
北方少雨地区	北京、天津等地	100-150mm	3-4m	满足少雨需求，保证收集效果，降低成本，提高经济性
砂土地区	-	100mm	3m	考虑砂土渗透特性，有效收集雨水
黏土地区	-	150mm	2m	考虑黏土渗透特性，有效收集雨水

结语

本研究通过对海绵城市透水铺装下渗雨水收集管管径与间距的优化研究，得出了具有实际应用价值的结论。优化后的管径与间距组合能够有效提高雨水收集效率，降低系统成本。未来研究可进一步拓展到不同气候和地质条件下的应用，以完善海绵城市雨水收集系统的设计。

参考文献

[1] 杨一丁, 吴玉婵, 蒋欣. 广州老旧社区建筑立面雨水收集系统设计研究 [J]. 建筑与文化, 2025, (01): 38-39.

[2] 张锋. 海绵城市措施在雨水回收利用系统工程中应用研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(11): 90-92.

[3] 郑晨, 杨西文, 张仪东. 临沂市高架桥雨水收集利用探讨 [J]. 工程建设, 2024, 56(05): 67-72.

[4] 任龙, 张远, 牛锋. 海绵城市理念在市政道路设计中的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2024, (20): 25-27.

[5] 齐涛. 海绵城市视角下市政道路景观绿化设计探究 [J]. 大众标准化, 2023, (23): 85-87.