

## 城镇水系统研究与应用

徐延春. 城市内涝时空分布特征及对城市建设的启示[J]. 净水技术, 2025, 44(2): 148-157.

XU Y C. Characteristics of spatial and temporal distribution for urban waterlogging and the inspiration for urban construction[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 148-157.

## 城市内涝时空分布特征及对城市建设的启示

徐延春\*

(深圳市规划国土发展研究中心, 广东深圳 518034)

**摘要** 【目的】为从整体层面了解城市内涝和治理的变化情况,得出城市内涝的主要成因,找出内涝与治理的薄弱区域和薄弱环节,【方法】以深圳近3年的内涝点动态统计数据为基础,针对内涝点的相关属性,分别研究全市和不同流域2个层面内涝点数量、内涝成因和内涝治理情况的时空分布特征。【结果】结果表明:深圳内涝呈现“西重东轻”的空间分布特征,全市近年内涝情况有所缓解,但呈现“西降东升”的趋势,中西部地区内涝不断减轻,东部地区内涝不断加重;城市开发强度大而雨水收集排放系统不完善,地势低洼是导致深圳内涝最主要的原因;深圳中西部流域的致涝成因较为复杂,越往东致涝成因越简单,但东部地区内涝成因日趋复杂和多样化;近年深圳内涝治理总体向好,但未整治内涝点占比依然较高;全市不同流域在内涝整治方面存在不平衡的现象,但逐步呈现均衡化的分布趋势。【结论】据此针对性提出了城市建设管理和内涝防治建议,可为相关部门内涝治理提供依据。

**关键词** 内涝点 内涝成因 内涝治理 时空分布 城市规划和建设

中图分类号: TU992 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)02-0148-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.02.017

## Characteristics of Spatial and Temporal Distribution for Urban Waterlogging and the Inspiration for Urban Construction

XU Yanchun\*

(Shenzhen Urban Planning & Land Resource Research Center, Shenzhen 518034, China)

**Abstract** [Objective] In order to know the changes of urban waterlogging and its treatment from the overall level, draw the main causes of urban waterlogging, and find out the weak areas and links of waterlogging and its treatment, [Methods] the spatial and temporal distribution characteristics of the waterlogging points' number, the causes of waterlogging and its treatment were studied based on the dynamic statistical data of recent waterlogging points in Shenzhen from two angles of the whole city and different river basins. [Results] The results showed that: The waterlogging in Shenzhen presented the spatial distribution characteristics of "more serious in the west areas and less serious in the east areas". The waterlogging situation in Shenzhen had alleviated in recent years, but showed the trend of "falling in the west areas and rising in the east areas on the severity of waterlogging". The high intensity of urban construction, imperfection of rainwater collection and drain-off system, low-lying terrain were the main causes of waterlogging in Shenzhen. The causes of waterlogging in the middle and western river basins were more complex, and becoming more simple in the east river basins. But the causes of waterlogging in the east areas were becoming more complex and diversified. The waterlogging treatment had been improved generally in recent years, but the proportion of untreated waterlogging points was still very high. The waterlogging treatment of different river basins was unbalanced, but was becoming more balanced gradually. [Conclusion] According to the above results, suggestions of urban construction and waterlogging treatment are put forward, which can provide reference for related departments to

[收稿日期] 2023-03-08

[通信作者] 徐延春(1989—),男,硕士,研究方向为给排水规划与设计,E-mail:771753348@qq.com。

treat waterlogging.

**Keywords** waterlogging point waterlogging cause waterlogging control spatial and temporal distribution urban planning and construction

近年我国城市内涝频发,给人民生命财产安全带来严重威胁<sup>[1]</sup>。政府和学术界过去虽然对城市内涝进行了深入的理论研究和治理实践,采取了一系列工程<sup>[2]</sup>和非工程措施<sup>[3]</sup>治理城市内涝,但更多的是通过上层的城市规划和建设提出治理措施<sup>[4-6]</sup>。这种自上而下的治理思路缺乏内涝点基础数据对顶层城市规划和建设的反馈,使得在前端将内涝防治理念融入城市规划和建设,以及在末端对内涝进行治理时缺乏针对性。2021年国务院发布《关于加强城市内涝治理的实施意见》,提出要更有效应对内涝防治标准内的降雨,全面消除历史上严重影响生产生活的易涝积水点。要消除内涝点应首先掌握内涝点的分布情况和致涝成因。因此,研究内涝时空分布特征,无论对于从城市建设角度针对性提出内涝防治对策,还是单纯的内涝点整治都具有重要意义。

目前,内涝时空分布特征研究一般以历史记录的内涝点数据为基础,针对内涝点数量的时空变化进行分析,辅以综合性讨论剖析内涝的原因。例如:那仁满都拉等<sup>[7]</sup>利用新闻报道的历史内涝点研究了呼和浩特市的内涝点数量分布,并结合降雨和地形数据分析了内涝成因;杨慧燕等<sup>[8]</sup>利用水务部门多年记录的内涝点数据研究了广州市的内涝点数量分布和主要内涝成因;Ma等<sup>[9]</sup>通过对城市内涝点分布特征分析,提出一种实时模型定标方法,提高了SWMM模型的内涝模拟精度;Bastawesy等<sup>[10]</sup>利用地理信息系统(GIS)和遥感手段对埃及Farafra地区的内涝点分布进行了评估,分析了水文地质、土壤性质和土地复垦对内涝分布的影响。城市内涝与治理是动态变化的,近年深圳加强了对内涝点的滚动梳理,每年会记录内涝点的所属流域、具体成因、整治情况等,于年底形成当年的内涝点动态统计数据。利用内涝点动态统计数据同时分析内涝点数量、内涝成因和治理情况时空变化特征的研究尚属鲜见。

本文以深圳为例,将内涝成因和治理状态作为内涝点的属性,从全市和不同子流域2个尺度,研究内涝点数量、成因、整治情况的时空分布特征,从内涝点出发,积少成多,从整体层面掌握城市内涝变

化,找出城市内涝与治理的薄弱区域和薄弱环节,为针对性提出内涝防治建议,采取精准措施治理内涝,实现自下而上对城市建设和内涝治理的引导提供借鉴。

## 1 研究区域概况和数据资料

### 1.1 研究区域概况

#### 1.1.1 流域分布

深圳位于广东南部、珠江口东岸,东临大亚湾和大鹏湾,西濒珠江口和伶仃洋,总面积为1 997 km<sup>2</sup>。根据河流位置、流向,结合地形,深圳河流自西向东划分为三大水系、九大流域,如图1所示。

珠江口水系:包括深圳河、深圳湾、珠江口、茅洲河四大流域。西部地区诸河流,流入珠江口伶仃洋。

东江水系:包括观澜河、坪山河、龙岗河三大流域。区内河流发源于海岸山脉北麓,流入东江中下游。

粤东沿海水系:包括大鹏湾、大亚湾两大流域。河流发源于海岸山脉南麓,流入大鹏湾和大亚湾。

#### 1.1.2 降雨情况

深圳属“多雨”降水特征<sup>[11]</sup>的地区。根据2019年—2021年《深圳市气候公报》,深圳年平均雨量分别为1 882.9、1 581.8、1 822.5 mm;年内局地暴雨频发,分别记录到58、44 d和56 d局地暴雨及以上降水。综合比较多年记录值,近3年深圳的降雨量、降雨场次、全年降雨分布情况等偏差相对较小,全年降雨重现期涵盖了从小于2年一遇到100年一遇的各类雨型,局地暴雨及以上降水天数基本持平。从多年记录看,3年的降雨数据具有较强的相似性和典型性。

在空间分布上,2019年降雨呈现“东多西少”分布特征,最大降雨出现在大鹏湾和大亚湾流域,最小降雨在深圳湾和珠江口流域。2020年降雨呈现“东南多、西北少”分布特征,东部沿海的大鹏湾、大亚湾流域雨量最大,茅洲河和珠江口流域雨量最小,各流域雨量均偏少。2021年降雨呈现“中部多西北少”的特点,深圳河、深圳湾和大鹏湾流域雨量最大,茅洲河和观澜河流域雨量最小。

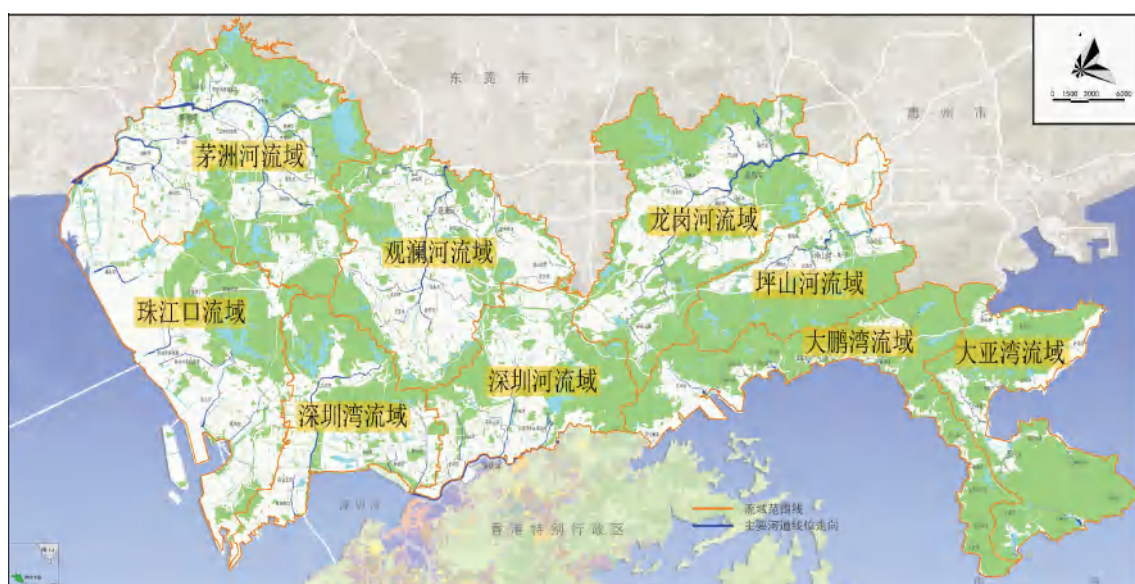


图1 深圳市流域分布

Fig. 1 River Basins Distribution Map of Shenzhen City

## 1.2 数据来源

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)和深圳内涝相关规划,并参考相关文献,确定内涝点判断标准:道路积水时间大于 30 min,积水深度大于 15 cm;下

凹区积水时间大于 30 min,积水深度大于 27 cm<sup>[12]</sup>。

以深圳水务局动态统计的近 3 年内涝积水点资料为基础,筛选出符合判断标准的内涝点做进一步统计分析。内涝点数据举例如表 1 所示。

表 1 2019 年内涝点数据举例

Tab. 1 Examples of Waterlogging Points in 2019

流域	内涝点编号	内涝点具体位置	内涝成因	整治情况
茅洲河流域	MZH001	广田路龙大高速入口处	中电建罗田水施工排放口未开	正在整治
	MZH005	燕罗街道洪桥头社区青岛啤酒厂旁	地势低洼,导致排水不及	未整治
珠江口流域	ZJK001	西沙路百利西城小区	雨量太大排水不及时	未整治
	ZJK032	新和村委悦盛一路	地势低洼,排水不及	正在整治
	ZJK036	怀德社区怀德新村津村药厂边	地势低洼,排水不及	正在整治

注:统计数据截止至当年年底。

## 2 内涝时空分布特征

### 2.1 内涝点数量时空分布特征

从全市范围看,深圳近 3 年内涝点数量不断减少,2019 年为 281 个,2020 年为 143 个,2021 年下降到 111 个。从不同流域范围看,茅洲河、珠江口、深圳湾、深圳河、观澜河、龙岗河流域的内涝点数量总体呈下降趋势,主要分布在中西部地区;坪山河、大鹏湾、大亚湾流域的内涝点数量相对持平并有略微上升趋势,主要分布在东部地区。深圳内涝呈现“西降东升”和逐渐“东移”的变化趋势。各流域近 3 年内涝点数量变化如图 2 所示。

由图 2 可知,2019 年内涝点主要分布于茅洲

河、珠江口、深圳河流域,占比接近或超过 20%;其次是龙岗河、深圳湾、坪山河、观澜河流域;大鹏湾和大亚湾流域的内涝点不足 1%。2020 年内涝点主要分布于茅洲河、珠江口流域;其次是观澜河、深圳河、龙岗河流域,占比为 13%~26%;深圳湾、坪山河、大鹏湾、大亚湾流域的内涝点最少,占比不足 3%。2021 年内涝点主要分布于深圳河、坪山河、茅洲河流域,其次是龙岗河、珠江口、深圳湾流域,观澜河、大鹏湾、大亚湾流域的内涝点占比不到 5%。

综合来看,茅洲河、珠江口、深圳河流域是历年内涝的重灾区,其次是龙岗河、观澜河、深圳湾和坪山河流域,大鹏湾和大亚湾流域的内涝情况相对较



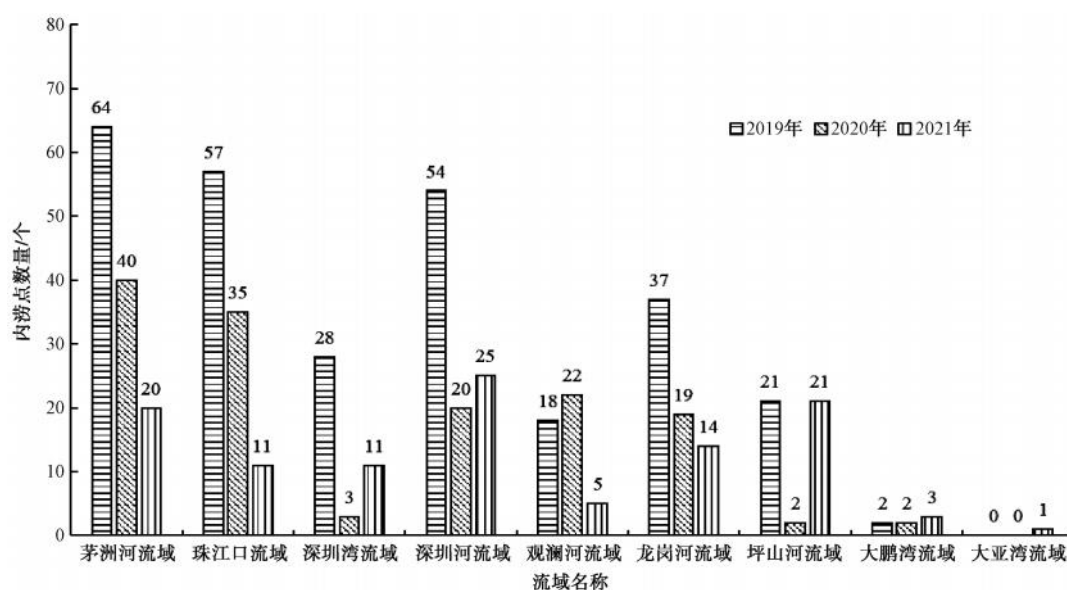


图2 近年深圳各流域内涝点数量变化

Fig. 2 Changes in the Number of Waterlogging Points in Shenzhen River Basins

轻。由此说明,深圳内涝情况较为严重的区域多集中于开发建设强度较高、自然排水条件较差的中西部地区,人口较少、开发建设强度较低、排水地形条件较好的东部地区内涝情况较轻,内涝呈现“西重东轻”的空间分布特征。

## 2.2 内涝成因时空分布特征

### 2.2.1 内涝成因分析

对近3年各内涝点内涝积水原因进行了统计分析和归纳总结,深圳内涝积水成因主要包括降雨、地形地势、雨水收集排放系统、第三方施工、人为原因和雨污混流产生的污水回流倒灌6个方面,如表2所示。

### 2.2.2 时空分布特征

如表2所示,深圳历年产生内涝的成因中以地形地势、雨水收集排放系统、降雨原因为主,接近或超过70%的内涝均是由这3种原因造成,2019年所占比重高达91.8%;其次是第三方施工和雨污混流导致的污水回流倒灌。在3种主要致涝成因中,与自然排水条件相关的地形地势,以及与城市开发强度相关的雨水收集排放系统是导致内涝的最主要因素。由于2020年深圳降雨明显减少,由降雨和地形地势导致的内涝为3年最低,仅为14.0%和27.3%。2019年和2021年由降雨原因导致内涝的比重基本持平。

随着深圳排水系统的建设和内涝点整治的推

进,地形地势、雨水收集排放系统、雨污混流污水倒灌导致的内涝情况所占的比例呈下降趋势。但是由于深圳仍然处于高速发展期,高强度的开发使得第三方建设工程较多,由第三方施工及人为操作原因产生的内涝情况比例不断增加。

如图3所示,综合来看,中西部流域的致涝成因较为复杂。历年人为操作原因致涝主要分布在中西部的茅洲河、深圳湾、深圳河和珠江口流域,致涝比例为3%~8%;雨污混流、污水回流倒灌占比较多,为5%~40%。越往东致涝成因越简单,第三方施工致涝比例增加,占比达到11%~50%。除大亚湾流域以外,由雨水收集排放系统导致的内涝比例增加,最高的龙岗河和大鹏湾流域甚至达到53%和67%。原因可能是深圳中西部建成度高,以往建设了较多的雨水泵站等排涝设施和合流制管网,在人员操作培训方面较为欠缺,加之中西部地区受河水和海水倒灌影响较为严重,故内涝成因错综复杂;随着城市发展向东扩展,东部地区雨水排放系统不完善、地铁等第三方施工导致排水管网和地形地势被破坏的问题逐渐凸显。另外,在降雨较少的2020年,茅洲河、珠江口、深圳湾、龙岗河流域因雨污混流、污水回流倒灌导致的内涝陡然增加。一方面,反映出上述流域排水管网建设的不完善,雨污混流严重、受河水和海水顶托严重;另一方面,说明在降雨量相对较大的2019年和2021年,降雨原因导致的内涝会掩盖其

表 2 深圳内涝成因统计  
Tab. 2 Statistics of Causes of Waterlogging in Shenzhen

内涝成因总结	内涝具体原因	2019 年		2020 年		2021 年	
		内涝点数量/个	占当年内涝点总数的比例	内涝点数量/个	占当年内涝点总数的比例	内涝点数量/个	占当年内涝点总数的比例
降雨原因	短时强降雨导致瞬时雨量较大,排水不及导致地面积水	61	21.7%	20	14.0%	23	20.7%
地形地势原因	①地势低洼,排放不及时导致内涝 ②汇水面积较大导致周边雨水集中流入	118	42.0%	39	27.3%	39	35.2%
雨水收集排放系统原因	①山水水量过大,现状没有截洪沟,排水无出路 ②地表径流携带大量泥沙、渣土和垃圾等,堵塞雨水篦子和雨水管渠 ③雨水管渠建设标准低,排水能力不足 ④路面沉降,管网穿插挤压,排水管网受到损坏 ⑤暗涵明渠交替,存在流量缺口,无法满足行洪要求 ⑥河道淤积,高于雨水管出水口,失去行洪功能 ⑦雨水箱涵底部淤积,过水断面不足,影响其行洪能力	79	28.1%	37	25.9%	24	21.6%
雨污混流,污水反流倒灌	①雨水管错接入污水管,雨天大量雨水进入污水系统导致倒灌 ②河道水位升高,河水进入沿河截污管,大量污水溢流至路面	0	0.0	32	22.3%	10	9.0%
第三方施工原因	①部分工程施工管理不规范,破坏或阻断雨水管道排放口、雨水管渠等,积水无法及时排出 ②部分工程施工时改变道路和排水管渠竖向标高 ③部分工程施工时违规改迁,缩小雨水口口径和雨水管管径,减小了排水量	21	7.5%	12	8.4%	12	10.8%
人为原因	①强降雨时由于挡水闸板等人为开启不及时,雨水无法及时排放 ②雨水泵站设计缺陷,雨水泵站未提前或无法及时启动抽排	2	0.7%	3	2.1%	3	2.7%

他原因对内涝造成的严重程度,而在降雨较小时,会更多地暴露出排水系统中存在的问题。

从空间分布变化看,随着深圳城市内涝逐步“东移”,各内涝成因的主要分布流域也出现“东移”迹象,尤其是坪山河、观澜河和龙岗河流域等中东部地区的内涝成因日趋复杂和多样化,导致深圳全域内涝成因的分布呈现更加均衡化的发展趋势。

### 2.3 内涝治理时空分布特征

近年深圳针对不同内涝成因的内涝点采取了针对性整治措施,主要整治措施如表 3 所示。

近 3 年深圳已整治和正在整治内涝点占内涝点总数的比例总体呈上升趋势。2019 年已整治和正在整治内涝点数量为 28 个,2021 年为 49 个,占内涝点总数量比例由 2019 年的 10% 提高至 2021 年的 44.1%,但未整治内涝点占内涝点总数的比例依然较高,超过 50%。2020 年内涝点基本未整治,

可能是受疫情影响导致。

如图 4 所示,九大流域中,茅洲河、深圳湾、深圳河、龙岗河、大鹏湾五大流域近年的内涝点整治比例逐步提高,且 2021 年内涝点整治比例较高,整治情况相对较好。坪山河流域虽然近年的内涝点整治比例在提高,但 2021 年内涝点整治比例仅为 14.3%,整治情况仍有待改善。珠江口、观澜河、大亚湾三大流域近年的内涝点整治比例逐步减小,且 2021 年内涝整治比例较低,整治情况不佳。

如图 5 所示,2019 年已整治和正在整治的内涝点主要分布于茅洲河、珠江口和观澜河流域,其他流域未对内涝点进行整治。2020 年受疫情影响,实际上只有观澜河流域整治了一个内涝点,其他流域未对内涝点进行整治。2021 年随着疫情得到控制,全市各流域内涝整治工作逐步恢复,但已整治和正在整治内涝点的空间分布仍然不平衡,主要集中分布

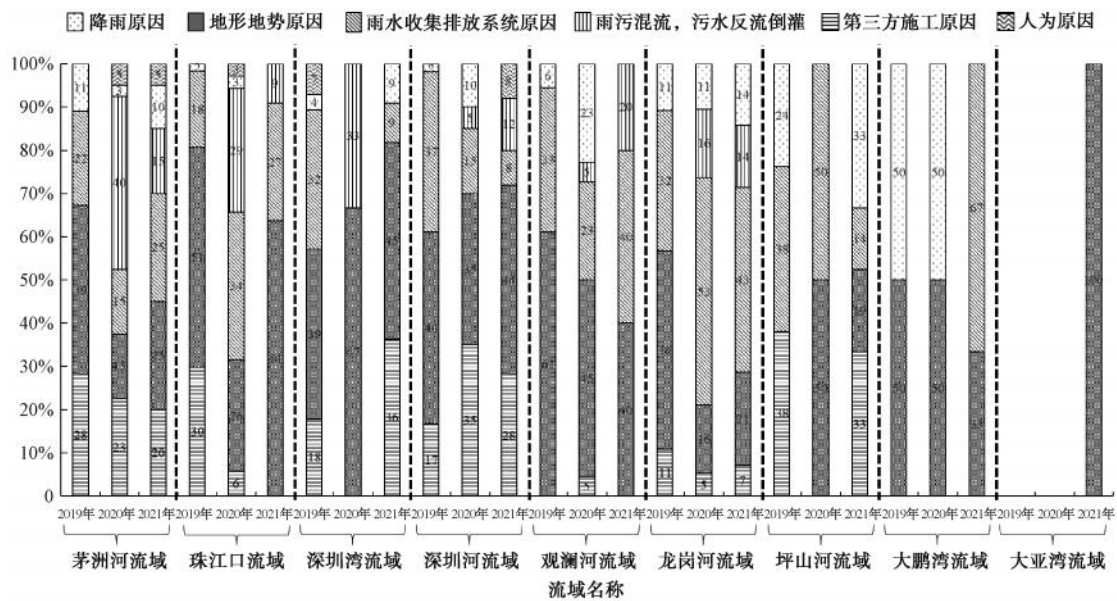


图 3 历年各流域内涝成因所占比例

Fig. 3 Proportion of Waterlogging Causes in Each Watershed

表 3 内涝点整治具体措施

Tab. 3 Control Measures for Waterlogging Points

内涝成因	内涝整治措施
降雨原因	①排水管网整治,及时排出强降雨水 ②对道路外沿行泄化改造,增设管网导流进入周边绿地等
地形地势原因	①结合汇水分区对周边地势和竖向综合整治 ②整治雨水管网,设置雨水泵站抽排 ③局部海绵化改造,建设调蓄空间,将雨水引入调蓄设施
雨水收集排放系统原因	①完善雨水排放系统,建设截洪沟,管网整治,提标改造 ②对道路雨水设施维护、清洁,保持雨水篦子和管渠畅通 ③对道路综合整治,设计管线综合方案,对涉及管网进行迁改和完善
雨污混流,污水反流倒灌	①管网改造,雨污剥离 ②对沿河截污管提标改造,扩大管径
第三方施工原因	①加强工程管理,严格执法,责令工程整改,恢复管网 ②对违规迁改依法查处,并对迁改管网重新设计整改 ③对施工路段的竖向标高综合整治和执法检查,依据规划进行设计改造
人为原因	①加强人员培训和管理 ②对雨水设施维护保养

于茅洲河、深圳河、深圳湾和龙岗河流域,其次是坪山河、珠江口和大鹏湾流域,观澜河和大亚湾流域未对内涝点进行整治。综合来看,深圳全市对内涝点的整治空间分布不均衡,但抛开疫情因素,随着时间的推移,逐步呈现均衡化的分布趋势。

### 3 启示与建议

#### 3.1 对深圳城市建设和内涝防治策略的启示

以往深圳城市发展重点位于中西部地区,由于建设开发强度较高、排水条件较差,内涝情况较为严

重,也是全市内涝整治的重点,内涝点逐步减少。东部地区由于人口较少、建设开发强度较小、排水地形条件较好,内涝积水点较少。但随着城市发展逐步东扩,东部地区内涝积水点近年有增加趋势,且内涝成因日趋复杂。侧面反映出深圳现阶段及未来一段时间仍处于城市扩张的高速发展期,城市正由以中西部为发展重心逐步向东部地区扩展。

不同地区应据此采取不同的内涝防治策略。中西部地区应以“治”为主,更多的在末端结合城市更

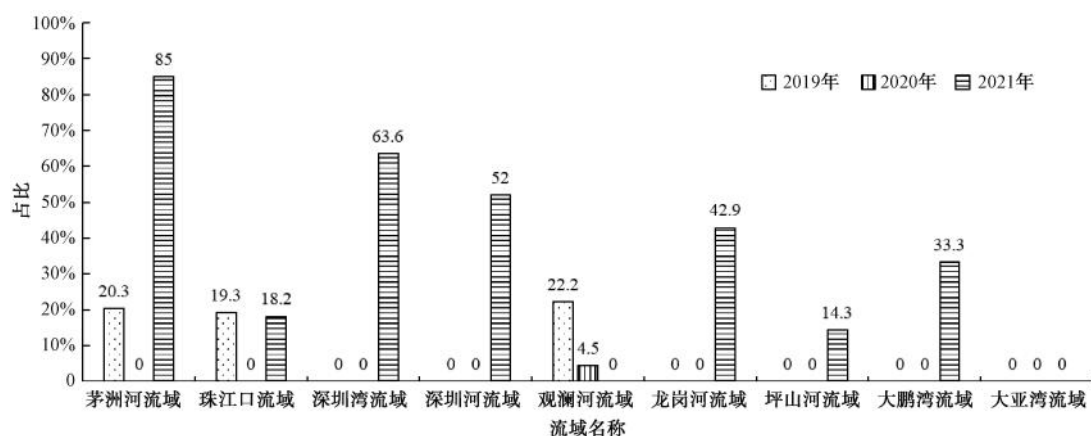


图4 近年各流域已整治和正在整治内涝点数量占当年各流域内涝点总数量的比例

Fig. 4 Proportion of the Number of Regulated or Being Regulated Waterlogging Points in Each Watershed to the Total Number in Recent Years

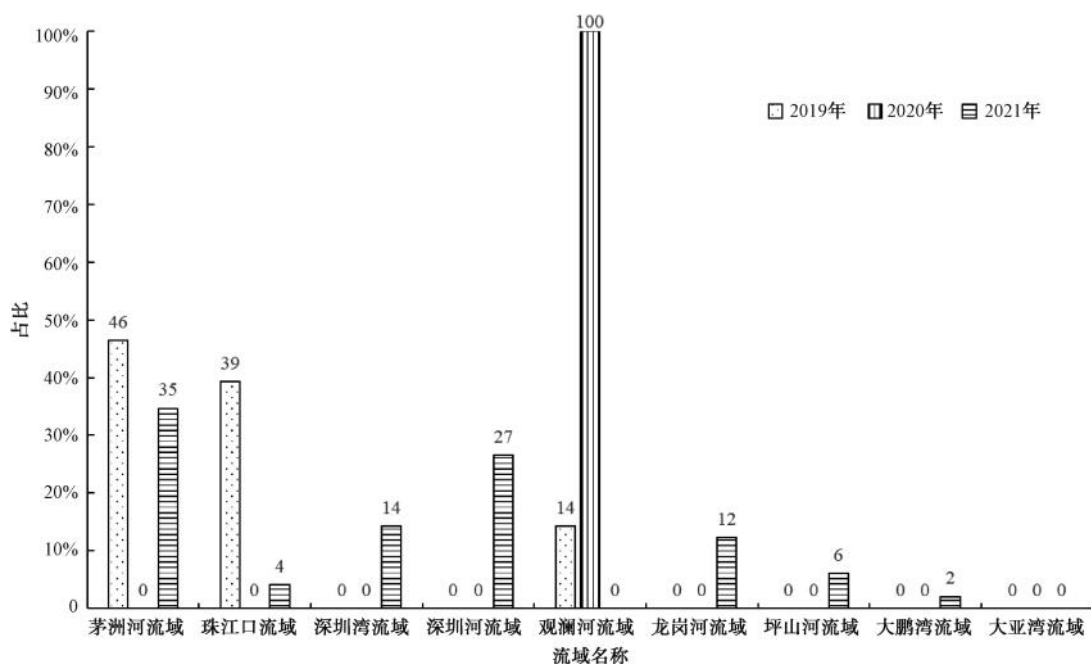


图5 历年已整治和正在整治内涝点数量在全市各流域的分布情况

Fig. 5 Distribution of the Number of Regulated and Being Regulated Waterlogging Points

新为主要的城市建设形式,加强对现有排水体系的梳理和内涝点的整治,着重通过完善雨水管网<sup>[13]</sup>、建设滞蓄设施<sup>[14]</sup>、局部海绵化改造<sup>[15-17]</sup>等综合措施改善排水条件和治理城市内涝。东部地区应以“防”为主,在高强度开发建设前,在前端从规划层面做好城市的排水防涝工作<sup>[18]</sup>,充分利用有利的自然排水条件,将系统化内涝防治理念<sup>[19]</sup>融入城市规划中,加强排水防涝规划与城市建设和管理的衔接。

### 3.2 对城市建设管理和雨水设施利用的启示

造成深圳内涝的原因以地形地势、雨水收集排

放系统、降雨为主。深圳内涝“西重东轻”,结合城市建设“西强东弱”、自然排水条件“西差东优”和降雨“东多西少”的空间分布特征,说明降雨并不是导致深圳内涝最主要的因素,与城市开发强度、自然排水条件相关的雨水收集排放系统和地形地势是导致内涝的最主要因素,这在内涝成因分析中也得到了印证。

地形地势、雨水收集排放系统、雨污混流污水倒灌原因的致涝比例呈下降趋势,第三方施工及人为



操作原因的致涝比例不断增加。说明深圳近年在城市竖向设计和排水系统建设方面取得了一定成效,减少了内涝的发生,但今后应在完善排水系统的同时,将内涝防治理念<sup>[20]</sup>融入城市建设和管理的各个方面,在工程建设和管理时综合考虑内涝防治,重视对第三方施工的规范化管理,加强对雨水设施管理维护<sup>[21]</sup>和使用人员的培训和监管,充分发挥雨水设施的作用。

### 3.3 对未来深圳各流域内涝整治重点的建议

深圳不同流域在内涝整治方面存在不平衡的现象。茅洲河、深圳湾、深圳河、龙岗河、大鹏湾流域近

年内涝整治情况相对较好,坪山河流域整治情况仍有待改善,珠江口、观澜河、大亚湾流域整治情况不佳。后续应在继续加强茅洲河、深圳河、珠江口流域等城市内涝重灾区整治的同时,重视前期规划建设阶段对坪山河、观澜河和大亚湾流域等中东部新开发片区的排水防涝研究,以及后期建设完成后的内涝整治。

根据前述对各流域内涝成因时空分布特征的研究,不同流域主要致涝成因各不相同,且各有自身的变化趋势。因此,各流域在未来的内涝整治工作中应有所侧重,具体如表4所示。

表4 各流域主要致涝成因和内涝整治重点  
Tab.4 Main Causes of Waterlogging and Control Key Points in Each Watershed

流域	主要内涝原因	内涝成因变化	内涝整治重点
茅洲河流域	地形地势、降雨、雨水收集排放系统	雨水收集排放系统、人为操作、雨污混流、污水反流倒灌致涝比重增加	整治低洼地势,完善排水系统,减少强降雨的影响,加强人员培训和管理
珠江口流域	地形地势、雨水收集排放系统、降雨和雨污混流造成的污水反流倒灌	降雨的致涝比例减少,雨污混流、污水反流倒灌的致涝比例显著增加	整治低洼地势,完善排水系统
深圳湾流域	地形地势、降雨、雨水收集排放系统、雨污混流造成的污水反流倒灌	降雨、第三方施工致涝比例增加	减少降雨的影响,整治低洼地势,防止河水和海水倒灌,加强建设管理
深圳河流域	地形地势、降雨	雨水收集排放系统致涝比例下降,雨污混流造成的污水反流倒灌、人为原因的致涝比例上升	整治低洼地势,预防强降雨的影响,加强人员培训和管理,减少河水、海水倒灌产生的影响
观澜河流域	地形地势、雨水收集排放系统	地形地势的致涝比例下降,雨水收集排放系统、雨污混流、污水反流倒灌的致涝比例上升	整治低洼地势,完善排水系统
龙岗河流域	雨水收集排放系统和地形地势	地形地势的致涝比重呈下降趋势,雨水收集排放系统、第三方施工和雨污混流、污水反流倒灌的致涝比例呈增加趋势	整治低洼地势,完善排水系统,加强雨污分流的治理和减少城市建设对地势和排水管网的破坏
坪山河流域	雨水收集排放系统、地形地势、第三方施工和雨污混流导致的污水反流倒灌	-	完善排水系统,整治低洼地势,加强建设管理
大鹏湾流域	地形地势、第三方施工和雨水收集排放系统原因	-	整治低洼地势,加强建设管理,完善排水系统
大亚湾流域	地形地势原因	-	整治低洼地势

## 4 结论

(1)深圳内涝呈现“西重东轻”的空间分布特征,茅洲河、珠江口、深圳河流域是历年城市内涝的重灾区,其次是龙岗河、观澜河、深圳湾和坪山河流域。深圳近年内涝逐步缓解,但中西部地区内涝不断减轻,东部地区内涝不断加重。

(2)城市的开发强度和自然排水条件是影响深圳内涝的最主要因素。深圳中西部流域致涝成因相对较为复杂,越往东致涝成因越简单,东部流域的内涝成因日趋复杂和多样化,全市内涝成因呈现更加

均衡化的空间分布特征。

(3)近年深圳内涝治理总体向好,但未整治内涝点占比依然较高。坪山河流域整治情况仍有待改善,珠江口、观澜河、大亚湾三大流域的内涝整治情况不佳。全市不同流域在内涝整治方面不平衡,但逐步呈现均衡化的分布趋势。

(4)深圳不同地区应采取不同的内涝防治策略,“西治东防”,中西部地区应着重结合城市更新综合整治,东部地区应着重在前端做好排水防涝规划以及与城市建设管理的衔接。深圳今后应更加重



视对第三方施工的建设管理,加强对雨水设施管理人员的培训和监管。

本文对深圳不同流域的内涝防治重点提出了建议,研究结果有助于相关部门采取精准措施治理城市内涝,研究方法可为相关人员提供参考,下一步可运用模型对城市内涝风险进行分析,内涝点和内涝风险评价相结合,以更合理和精确地提出内涝防治措施。

### 参考文献

- [ 1 ] 姚蕊, 杨群涛, 张书亮. 城市暴雨内涝灾害脆弱性研究综述 [J]. 水资源保护, 2023, 39(1): 93-100.  
YAO R, YANG Q T, ZHANG S L. Review on vulnerability of urban rainstorm waterlogging disaster [J]. Water Resources Protection, 2023, 39(1): 93-100.
- [ 2 ] 黄秀凤. 下牙谷地岩溶内涝成因分析与治理工程方案设计 [J]. 安全与环境工程, 2017, 24(4): 52-57.  
HUANG X F. Cause analysis of karst waterlogging and scheme design of the control project in Xiaya Karst Valley [J]. Safety and Environmental Engineering, 2017, 24(4): 52-57.
- [ 3 ] 卢翔, 金秋, 赵思远, 等. 平原区城市典型区域内涝问题研究——以湖南省华容县为例 [J]. 人民长江, 2020, 51(9): 22-27.  
LU X, JIN Q, ZHAO S Y, et al. Research on urban waterlogging problem in typical city of plain area: Case of Huarong County, Hunan Province [J]. Yangtze River, 2020, 51(9): 22-27.
- [ 4 ] 陈圆, 毛绪昱, 陈曦, 等. 山地城市内涝防治中问题及对策建议——以重庆市中心城区为例 [J]. 给水排水, 2021, 47(12): 35-39.  
CHEN Y, MAO X Y, CHEN X, et al. Problems and suggestions for urban flood prevention and mitigation in mountainous cities: A case study of Chongqing urban-central area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(12): 35-39.
- [ 5 ] 汤钟, 张亮, 陆利杰, 等. 高密度城市建成地区内涝防治系统规划探索 [C]. 成都: 2020/2021 中国城市规划年会暨 2021 中国城市规划学术季, 2021.  
TANG Z, ZHANG L, LU L J, et al. Planning exploration of waterlogging control system in high-density urban built-up areas [C]. Chengdu: 2020/2021 China Urban Planning Annual Conference and 2021 China Urban Planning Academic Season, 2021.
- [ 6 ] 高学珑, 陈奕, 蔡辉艺, 等. 城市发展变化背景下的内涝防治顶层设计研究 [J]. 给水排水, 2019, 45(2): 53-57.  
GAO X L, CHEN Y, CAI H Y, et al. Research on top-level design of urban waterlogging prevention and control under the background of urban development and change [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(2): 53-57.
- [ 7 ] 那仁满都拉, 宫凌旭, 张虎贵, 等. 城市内涝的时空分布特征及其成因分析——以呼和浩特市为例 [J]. 灾害学, 2022, 37(1): 107-111.  
NA R M D L, GONG L X, ZHANG H G, et al. Spatial and temporal distribution of urban waterlogging and its causes: A case study of Hohhot [J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(1): 107-111.
- [ 8 ] 杨慧燕, 李海燕, 赵琴, 等. 广州市城市内涝特征分析 [J]. 广东气象, 2021, 43(2): 5-9.  
YANG H Y, LI H Y, ZHAO Q, et al. An analysis of the characteristics of urban floods in Guangzhou [J]. Guangdong Meteorology, 2021, 43(2): 5-9.
- [ 9 ] MA B Y, WU Z N, HU C H, et al. Process-oriented SWMM real-time correction and urban flood dynamic simulation [J]. Journal of Hydrology, 2022, 605: 127269. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.127269.
- [ 10 ] BASTAWESY M E, ALI R R. The use of GIS and remote sensing for the assessment of waterlogging in the dryland irrigated catchments of Farafra Oasis, Egypt [J]. Hydrological Processes, 2013, 27: 206-216. DOI: 10.1002/hyp.9218.
- [ 11 ] 邹艳, 于德森, 白静, 等. 我国不同降水特征区域海绵城市建设与应用现状——以萍乡、珠海、济南为例 [J]. 净水技术, 2022, 41(s1): 211-219.  
WU Y, YU D M, BAI J, et al. Present situation of construction and application of sponge city in different precipitation regions at home—Case of Pingxiang, Zhuhai and Jinan [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(s1): 211-219.
- [ 12 ] 张亮, 俞露, 任心欣, 等. 基于历史内涝调查的深圳市海绵城市建设策略 [J]. 中国给水排水, 2015, 31(23): 120-124.  
ZHANG L, YU L, REN X X, et al. Construction strategy of sponge city based on historical waterlogging survey in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(23): 120-124.
- [ 13 ] 车伍, 葛裕坤, 唐磊, 等. 我国城市排水(雨水)防涝综合规划剖析 [J]. 中国给水排水, 2016, 32(10): 15-21.  
CHE W, GE Y K, TANG L, et al. Analysis of integrated plan for urban drainage (stormwater) and flood control [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(10): 15-21.
- [ 14 ] 李实, 陈俊峰, 黄宁. 雨水调蓄技术在建筑小区海绵规划中的应用 [J]. 建筑技术开发, 2018, 45(11): 22-23.  
LI S, CHEN J F, HUANG N. Application of rainwater storage technology in sponge planning of building community [J]. Building Technology Development, 2018, 45(11): 22-23.
- [ 15 ] 孙茵, 彭世瑾, 王莉芸, 等. 基于问题导向和环境提升的老旧小区海绵化改造 [J]. 中国给水排水, 2021, 37(8): 125-129.  
SUN Y, PENG S J, WANG L Y, et al. Sponge city renovation for an old residential quarter based on problem orientation and landscape environment improvement [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8): 125-129.

- [16] 叶陈雷, 徐宗学, 雷晓辉, 等. 福州晋安河片区海绵改造对城市内涝的影响[J]. 水资源保护, 2023, 39(1): 83-92.  
YE C L, XU Z X, LEI X H, et al. Influences of sponge reconstruction of Jin'an River drainage district in Fuzhou City on urban flooding/waterlogging [J]. Water Resources Protection, 2023, 39(1): 83-92.
- [17] 符韵, 胡爱兵. 珠三角河网地区海绵城市建设路径探讨——以中山市为例[J]. 净水技术, 2021, 40(s1): 356-362.  
FU Y, HU A B. Discussion on construction path of sponge city in Pearl River Delta—Taking Zhongshan City as an example [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(s1): 356-362.
- [18] 车伍, 张鹏, 赵杨. 我国排水防涝及海绵城市建设中若干问题分析[J]. 建设科技, 2015(1): 22-28.  
CHE W, ZHANG K, ZHAO Y. Analysis of some problems in the construction of drainage and waterlogging prevention and sponge city in China [J]. Construction Science and Technology, 2015 (1): 22-28.
- [19] 张亮, 汤钟, 俞露. 新型城镇化背景下城市内涝防治规划的编制思考[J]. 给水排水, 2021, 47(6): 43-49.  
ZHANG L, TANG Z, YU L. Thoughts on the compilation of urban waterlogging prevention and control planning under high-quality development [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(6): 43-49.
- [20] 赵丰昌, 章林伟, 高伟. 海绵城市理念下城市内涝防治体系构建的探讨[J]. 给水排水, 2021, 47(8): 37-44.  
ZHAO F C, ZHANG L W, GAO W. Discussion on the construction of urban waterlogging control system under the concept of sponge city [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(8): 37-44.
- [21] 刘兴坡, 夏澄非, 柴耀智, 等. 基于 MIKE FLOOD 的巢湖市主城区现状排水能力与内涝风险评估[J]. 净水技术, 2020, 39(4): 59-66.  
LIU X P, XIA C F, CHAI Y Z, et al. Evaluation of current drainage capacity and waterlogging risk for Chaohu City based on MIKE FLOOD [J]. Water Purification Technology, 2020, 39 (4): 59-66.

## (上接第 138 页)

- [8] 鲍任兵, 高廷杨, 官玲, 等. 污水生物脱氮除磷工艺优化技术综述[J]. 净水技术, 2021, 40(9): 14-20.  
BAO R B, GAO T Y, GONG L, et al. Review of process optimization of biological denitrification and phosphorus removal in wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(9): 14-20.
- [9] 李冬, 刘孟浩, 张瑞苗, 等. 低温地下水净化工艺中氨氮去除性能及机制[J]. 环境科学, 2021, 42(10): 4826-4833.  
LI D, LIU M H, ZHANG R M, et al. Removal efficiency and mechanism of ammonia nitrogen in a low temperature groundwater purification process [J]. Environmental Science, 2021, 42 (10): 4826-4833.
- [10] 姚亮, 张强, 李鹏. 多级 AO+MBR 工艺在污水处理厂高排放标准提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(3): 164-173.  
YAO L, ZHANG Q, LI P. Application of multistage AO+MBR processes in upgrading and reconstruction of stricter discharge standard of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(3): 164-173.
- [11] BIANCO A, MINELLA M, DE L E, et al. Photochemical generation of photoactive compounds with fulvic-like and humic-like fluorescence in aqueous solution [J]. Chemosphere, 2014, 111: 529-536. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.04.035.
- [12] 雷呈, 黄琪, 刘丽贞, 等. 猪场废水处理系统 DOM 吸收和荧光光谱的变化[J]. 水处理技术, 2019, 45(10): 46-51.  
LEI C, HUANG Q, LIU L Z, et al. The change of adsorption and fluorescence spectra of DOM during the swine wastewater treatment systems [J]. Technology of Water Treatment, 2019, 45 (10): 46-51.
- [13] WANG Z, CAO J, MENG F. Interactions between protein-like and humic-like components in dissolved organic matter revealed by fluorescence quenching [J]. Water Research, 2015, 68: 404-413. DOI: 10.1016/j.watres.2014.10.024.
- [14] CHEN W, HABIBUL N, LIU X Y, et al. FTIR and synchronous fluorescence heterospectral two-dimensional correlation analyses on the binding characteristics of copper onto dissolved organic matter [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49 (4): 2052-2058.
- [15] 胡斌, 王沛芳, 张楠楠, 等. 基于光谱特征的 pH 对溶解态有机质与铜相互作用的影响研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(5): 1628-1635.  
HU B, WANG P F, ZHANG N N, et al. Effect of pH on interaction between dissolved organic matter and copper: Based on spectral features [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2023, 43(5): 1628-1635.
- [16] NODA I. Recent developments in two-dimensional (2D) correlation spectroscopy [J]. Chinese Chemical Letters, 2015, 26(2): 167-172.