

从降雨总量控制维度探讨城市雨水设计

吴杰 朱安 罗合梅

湖南省交通规划勘察设计院有限公司

摘要：降雨具有强度集中，短历时降雨量大的特点，雨水管道不满足高重现期降雨集中流量排放需求。建设源头调蓄设施，可有效降低城市内涝风险，提高雨水系统排水安全。蓄排结合的雨水管理模式，可兼顾雨水排水与城市内涝防治双重标准，雨水管道设计由瞬间峰值流量向平均流量转变，简化雨水设计方法。

关键词：城市雨水；设计标准；调蓄；雨水设计方法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.079

一、概况

国内雨水排水以暴雨强度理论公式为基础，设计排水强度小于同标准下暴雨峰值强度，集中降雨时段存在内涝风险，陈卓等研究发现，降雨强度越大，产汇流速度越快，相同降雨历时内的径流量越多^[1]，内涝风险越高。近年来，海绵城市建设已成为雨水源头管控的有效途径，提高了城市雨水系统排水弹性。然而，海绵城市

设计强调年径流总量控制，对小概率强降雨内涝防治缺乏支撑^[2-3]。综合《室外排水设计标准》《城镇内涝防治技术规范》要求，本文从降雨总量平衡维度，研究源头调蓄设施对传统雨水管设计的积极作用，以长沙市暴雨强度公式与降雨暴雨模型为基础，提出源头调蓄设施容积计算、出水口流量控制的设计方法。

二、降雨与雨水排放的关系

查长沙市不同降雨历时设计降雨量^[4]，见表1。以30min为步长，分析t=180min内，每30min降雨量变化趋势见图1，0-30min降雨量超180min降雨总量的50%，且重现期越高，峰值强度越大，降雨集中度更高。高重现期降雨，表现为峰值强度高，降雨总量大（长沙市P=100a，雨峰3.53mm/min，24小时总降雨量约288mm），但降雨主要集中在峰值前后60min，该时段内降雨量约占总24小时降雨总量的21%，如图2。故控制峰值前后60min集中降雨，即可消除城市内涝。

表1 不同降雨历时设计降雨量

t (min)	5	10	30	60	90	120	150	180
P=2a	8.8	15.26	30.55	41.91	48.62	53.32	56.93	59.86
P=10a	12.84	22.26	44.57	61.15	70.93	77.79	83.06	87.34
P=100a	16.97	30.26	63.15	86.31	98.03	104.98	109.51	112.64

注：1、数据源于“关于发布2022暴雨强度公式的通知”（长住建发（2023）36号）。

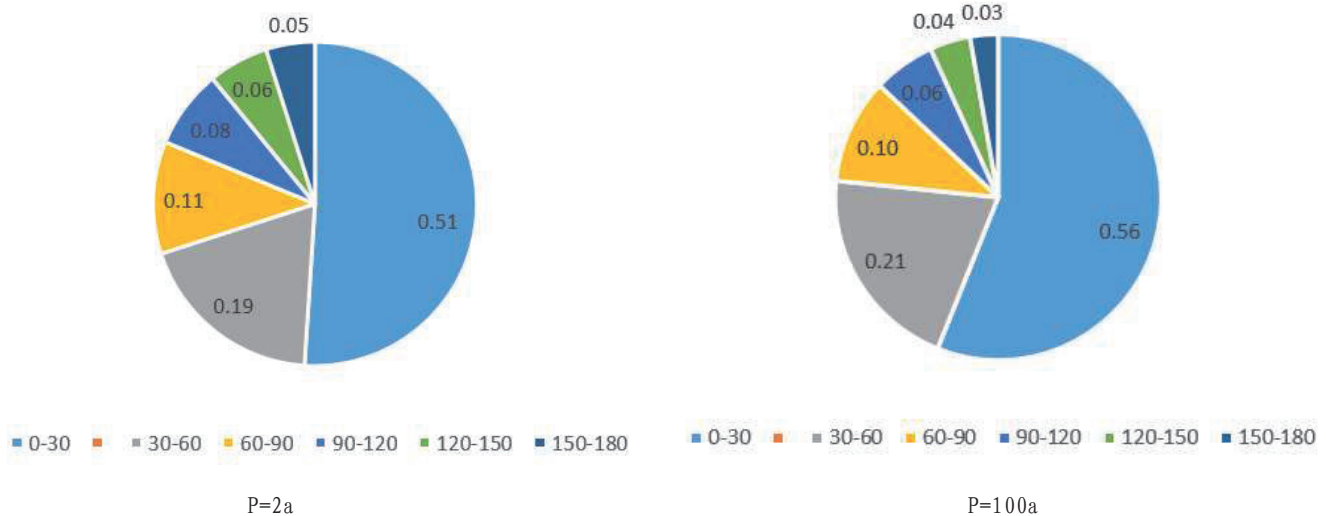


图1 降雨时段分布图 (t=180min, P=2a/100a)

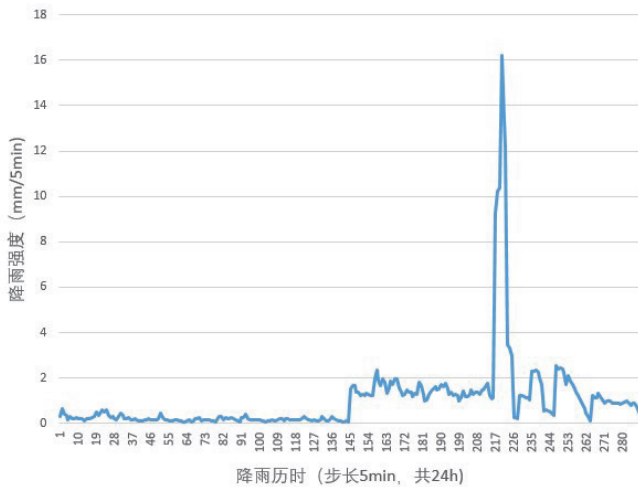


图2 长沙市长历时降雨芝加哥暴雨雨型 (t=24h, P=100a)

注：数据源于“关于发布2022暴雨强度公式的通知”（长住建发〔2023〕36号）。

依据《室外排水设计标准》（GB 50014-2021），采用暴雨强度推理公式（1）计算雨水设计流量^[3]。

$$Q = F \cdot q \cdot \Phi \quad (1)$$

$$q = \frac{167A_1(1+CLgP)}{(t+b)^n} \quad (2)$$

式中：Q—雨水设计流量（L/S）；

q—设计暴雨强度（L/（s·hm²））

Φ—综合径流系数

假定雨水管道设计中，t=10min，取0.65，不同重现期下雨水设计强度见表2。

表2 不同重现期雨水管道设计强度

设计重现期 P (a)	设计排水强度		雨峰 (mm/min)	设计排水强度与雨峰比值
	q (L/s·hm ²)	i (mm/min)		
2	165.7	0.994	1.97	0.50
3	184.8	1.109	2.18	0.51
5	208.8	1.253	2.40	0.52
10	241.7	1.450	2.68	0.54

注：1、P=2a~10a芝加哥暴雨雨峰数据源于“关于发布2022暴雨强度公式的通知”（长住建发〔2023〕36号）。

基于暴雨强度公式理论的雨水管道，设计排水强度约为相应重现期芝加哥暴雨峰值的0.5倍。结合表1、2，当前常规雨水设计强度难以匹配峰值降雨排水需求，集中降雨时段降雨量大于雨水管排水量，内涝风险高。然而，降雨集中在峰值前后60min，应对城市内涝的关键在控制峰值降雨量，故建设源头峰值雨水调蓄设施，将超过雨水管道排水强度的降雨滞留在调蓄设施中，错开集中降雨时段后再经雨水管排出，是解决暴雨时程分配不均匀导致城市内涝的有效办法。

三、调蓄设施设计

（一）设施设施容量计算

由表2知，雨水设计强度约为同标准下雨峰的0.5倍，现行排水规范指导城市雨水管设计标准多为P=2a，3a，5a，局部区域P=10a^[5]；《城镇内涝防治技术规范》中内涝防治设计重现期，县城P=20a~30a，大中城市P=50a、100a^[6]。排水规范雨水设计以地表不积水为目标，内涝防治规范积水设计标准为：1）居民住宅和商业建筑物的底层不进水，2）道路中一条车道的积水深度不超过15cm。虽然两本规范对积水校核的标准不同，但地块排水通道主要为雨水管，其排水强度低于降雨峰值，暴雨下内涝积水设计标准易突破，大中城市近年雨季看海频发^[7]，城市内涝成为我国主要自然灾害之一^[8]，形式不容乐观。

根据城市规模及地块政治、经济、文化重要程度，确定雨水管设计标准及内涝防治标准后，单场降雨总量应等于排水量、调蓄量、耗损量之和，P=20-100a高重现期降雨，雨水耗损量占总降雨量比重小，忽略其影响，降雨量减集中降雨历时雨水管排水量，即为调蓄水量。

以短历时t=60min芝加哥暴雨雨型为基础，可查算不同降雨标准下超过设计排水强度的降雨时间，该时长内超出雨水设计排水强度的降雨量为超负荷降雨量，即为设计调蓄水量。表3列出不同雨水管设计标准、内涝防治标准下调蓄水量。

排水+调蓄的雨水管理模式，以控制集中降雨时段不发生内涝为目标，突破雨水排水与内涝防治标准的界线，将二者统一到降雨量与蓄排控制雨量平衡中来，雨水管设计重现期高，调蓄设施规模小，反之亦反。

（二）调蓄设施出水口控制

调蓄设施采用可调式出水口，出水口最大排水能力同下游雨水管道设计排水强度，暴雨来临前，出水口全开，放空调蓄设施内蓄水，提供最大调蓄容量。暴雨过程中，出水口出流量同下游雨水排水强度，且小于降雨强度，超负荷雨量滞留在调蓄设施内。暴雨后，关闭排水口，可实现滞留雨水回用。

四、蓄排模式下雨水管设计

以控制降雨总量为目标，蓄排模式下，雨水管道设计可简化为设计排水强度、调蓄设施容量计算，步骤如下：1）选择合适的雨水管排水标准、内涝防治标准，2）计算设计排水强度；3）分析内涝标准下芝加哥暴雨雨型，查算超负荷降雨时段及超负荷降雨量，计算源头调蓄容量，如表2；4）根据设计排水强度，控制调蓄设施出水口最大出流量，实现超负荷雨量滞留。

以1hm²地块为例，选定雨水管设计标准P=2a，内

表3 不同降雨、雨水管设计标准下调蓄水量

雨水管设计标准 P (a)	设计排水强度 (mm/min)	内涝防治标准 P (a)	超负荷降雨历时 (min)	超负荷降雨量 (mm)	调蓄水量 (mm) 高值
2a	0.994	20	13-38	45.32	19.48
		30	12-40	51.31	22.48
		50	11-41	57.10	26.29
		100	10-43	65.39	31.59
3a	1.109	20	14-36	42.14	19.28
		30	13-38	48.24	22.40
		50	12-39	53.98	26.15
		100	11-41	62.29	31.48
5a	1.253	20	15-34	38.63	18.75
		30	14-35	43.62	21.75
		50	14-36	48.07	25.21
		100	13-38	56.42	30.58
10a	1.450	20	17-31	31.84	16.93
		30	16-32	36.89	19.99
		50	15-33	42.55	23.66
		100	14-35	50.96	29.09

涝防治标准P=100a。雨水设计排水强度0.994mm/min (166.7L/s.ha)，设计排水流量166.7L/s，雨水管径DN500。查表3，地块内同步建设总容量Q=315.9m³调蓄设施。源头调蓄设施可结合片区用地灵活选择，绿地率高优先选择下凹绿地、雨水花园等绿色设施；绿地率低，推荐采用地表雨水沟、雨水罐等。DN500雨水管协同315.9m³调蓄容积，可达到P=100a暴雨标准下地块不积水的目标。

五、结论

1) 暴雨具有集中降雨强度高，降雨时间分配不均匀的特点，蓄排模式可有效控制峰值降雨量，降低集中降雨时段内涝风险，排水安全。

2) 源头调蓄设施容量为60min降雨量与该历时下雨水设计排水量的差值。建设源头调蓄设施可消除暴雨强度、降雨历时对设计雨量的影响，调蓄设施后雨水管道设计流量仅与设计排水强度、汇水面积相关。

3) 蓄排结合的雨水管理模式，可兼顾雨水排水与城市内涝防治双重标准，实现雨水管道设计由瞬间峰值流量向平均流量转变，简化雨水设计方法。

参考文献

[1] 陈卓, 顾洋, 黄膺翰, 等. 城镇暴雨初期雨水产流与产污模拟研究[J]. 三峡生态环境监测, 2023, 8(2), 51-60.

[2] 陈思. 内涝治理系统化实施方案的外部衔接研究[J]. 中国市政工程, 2023(6) 54-57.

[3] 贾绍凤. 我国城市雨洪管理近期应以防涝达标为重点[J]. 水资源保护, 2017, 33(2): 13-15.

[4] 长沙市住房和城乡建设局, 长沙市气象局长住建发2023年第36号关于发布2022暴雨强度公式的通知[Z].

[5] GB50014—2021室外排水设计标准[S].

[6] GB51222—2017城镇内涝防治技术规范[S].

[7] 徐宗学, 程涛, 任梅芳. “城市看海”何时休: 兼论海绵城市功能与作用[J]. 中国防汛抗旱, 2017, 27(5): 64-66, 95.

[8] 郭玮, 袁宏永, 薛明, 等. SAR影像洪水淹没范围深度学习提取方法[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(4): 177-184.