

LID 设计控制指标解读及设施规模计算探讨

张法国

中冶建工集团有限公司 重庆 400080

【摘要】：本文基于对低影响开发雨水系统构建相关的指标解读，应用《指南》推荐的容积法，对 LID 设施规模计算进行探讨，并通过案例进行分析，旨在加深对 LID 设计相关指标的理解，并为今后正确运用容积法计算雨水径流控制设施提供参考。

【关键词】：海绵城市；低影响开发（LID）；容积法

引言

近四十多年来，中国的城市化进程经历了一个快速发展的过程，且目前仍处于急剧城镇化发展时期。在这快速发展过程中，城市下垫面变化显著，城市逐渐被大面积硬化地面覆盖，加上早期规划未对河湖、湿地及绿地的保护予以重视，导致城市建设区水面率急剧减少，最终导致了一系列的城市内涝、水污染、水资源短缺和水生态破坏的城市用水问题。为了缓解日益严重的城市水问题，我国一直在雨水管理方面作努力。2000 年以前，我国城市水管理研究与典型实际项目相关的应用研究为中心，2000 年之后，城市水管理研究则侧重于战略，从 2000 年到 2010 年，水资源的优化配置（包括城市中的雨水资源）和控制城市径流的绿色基础设施的实施成为我国的研究重点，2010 年之后，城市水管理研究变得更加全面^[1]。

2011 年修订的《室外排水设计规范》（GB 50014-2006，2011 年版）首次提出应采用低影响开发理念进行雨水综合管理。

2013 年 12 月，习近平总书记在中央城镇化工作会议上正式提出“海绵城市”这一新理念。

为促进低影响开发建设模式的应用，为建设海绵城市提供保障，2014 年 10 月，住房和城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建（试行）》（以下简称《指南》）。

而落实海绵城市建设，构建低影响开发雨水系统，LID 设施的选择和规模确定是关键。本文应用《指南》所推荐的容积法，对 LID 设施规模计算进行探讨，为今后正确运用容积法计算雨水径流控制设施提供参考。

1 指标概念解读

1.1 海绵城市与低影响开发（LID）

海绵城市是指城市在适应环境变化方面能够像海绵一样具有弹性，下雨时候通过渗水、蓄水等方式把雨水控制起

来，需要时把储存的雨水加以利用。海绵城市是充分尊重自然的结果。建设海绵城市，一是对城市原有的生态系统作最大限度保护；二是对已经遭到破坏的水体、自然环境进行采用生态方式进行恢复；三是进行低影响开发，按对城市生态环境影响最低的理念，合理控制开发强度和规模。

低影响开发（LID）作为一种雨洪管理理念，核心是维持场地开发前后水文特征不变，在此过程中用到源头削减、中途转输、末端调蓄等多种手段，以及渗、滞、蓄、净、用、排等多种技术措施，保持城市良性水文循环，维持或恢复城市的海绵功能。由此可见，LID 是海绵城市建设的重要基础元素和技术手段。

1.2 年径流总量控制率与设计降雨量

年径流总量控制率是指对场地内累计全年控制的雨水量占全年总降雨量的百分比。该指标是在对多年日降雨量统计数据进行分析计算的基础上，通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发等方式实现。该指标与低影响开发内涵一致，亦即维持场地开发前后水文特征不变。年径流总量控制率示意图如图 1.1 所示。可实现年径流总量控制的低影响开发技术主要有渗透、储存、调节、转输、截污净化等技术。

设计降雨量是采用统计学方法，对过去至少 30 年的日降雨量（扣除小于等于 2mm 的降雨事件）进行的概率统计。举例说明，重庆市巴南区 70%年径流总量控制率对应的设计降雨量为 16.1mm，其含义是，如果该区某地块要达到 70%的年径流总量控制率控制目标，就需要将日降雨量为 16.1mm 的降雨控制不外排。由于降雨具有时空分布不均匀性，设计降雨量具有地区特定性，其与年径流总量控制率具有一一对应关系，由各地根据降雨资料单独推求。表 1.1 为重庆主城区年径流总量控制率对应的设计降雨量^[3]。

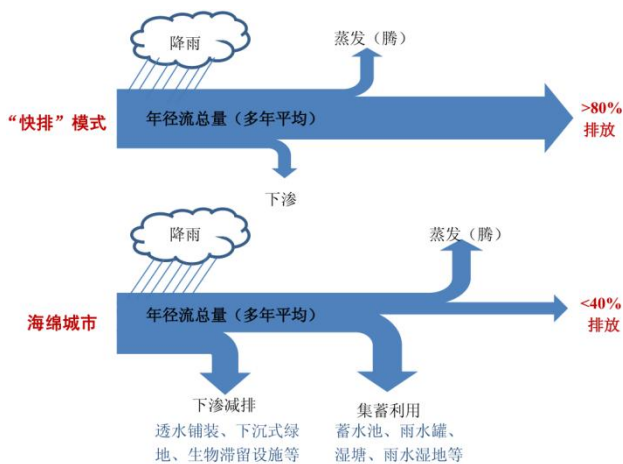


图 1.1 年径流总量控制率概念示意图

表 1.1 重庆主城区年径流总量控制率对应的
设计降雨量一览表（单位：mm）

地区名称		巴南	北碚	沙坪坝	渝北
年 径 流 总 量 控 制 率	50.0%	8.2	9.6	8.9	9.0
	55.0%	9.9	11.1	10.5	10.7
	60.0%	11.5	13.7	12.5	12.7
	65.0%	13.6	16.4	14.9	15.3
	70.0%	16.1	19.6	17.8	18.1
	75.0%	19.1	23.7	21.4	21.9
	80.0%	23.0	29.1	26.2	26.8
	85.0%	28.4	36.2	32.7	33.4
	90.0%	36.5	46.6	42.6	43.8

说明：（1）沙坪坝指标适用于沙坪坝区、渝中区、九龙坡区、大渡口区和嘉陵江以南部分的北碚区区域。

（2）巴南指标适用巴南区、南岸区。

（3）渝北指标适用渝北区、江北区和嘉陵江以北部分北碚区区域。

1.3 流量径流系数与雨量径流系数

流量径流系数是形成高峰流量的降雨历时内所产生的地表径流量与降雨量之比，该指标主要在排水管道设计时计算流量用。雨量径流系数是在设定时间内降雨所产生的地表径流总量与降雨总量之比，用于雨量径流总量的计算^[4]，根据雨量径流系数的定义，可以理解作如下理解：如果某下垫

面雨量径流系数为 ϕ ，其径流总量控制率为 $(1-\phi) \times 100\%$ 。在低影响开发设计中，计算指标应采用雨量径流系数。而在实际工程设计中，很多设计人员误用排水管道设计时采用的流量径流系数，未对二者进行区分。重庆市地方标准《低影响开发雨水系统设计标准》（DBJ50-T-292-2018）（以下简称《重庆地标》）给出了不同下垫面的雨量径流系数供设计人员选用，如表 1.2 所示。

表 1.2 不同下垫面雨量径流系数

下垫面类型	雨量径流系数	流量径流系数
硬屋面，未铺石子的平屋面，沥青屋面	0.8~0.9	0.85~0.95
铺石子的平屋面	0.6~0.7	0.8
绿化屋面（覆土厚度 $\geq 300\text{mm}$ ）	0.3~0.4	0.4
混凝土和沥青广场、路面	0.8~0.9	0.85~0.95
块石等铺砌路面	0.5~0.6	0.7
干砌石、石及碎石路面	0.4	0.5
非铺砌路面	0.3	0.4
透水铺装路面	0.15~0.3	0.4
绿地	0.1~0.2	0.25
水面	1.0	1.0
地下建筑覆土绿地（覆土厚度 $\geq 500\text{mm}$ ）	0.1~0.2	0.25
地下建筑覆土绿地（覆土厚度 $< 500\text{mm}$ ）	0.3~0.4	0.4

2 控制指标计算

在实际工程设计中，低影响开发控制目标和指标是由规划阶段确定的，作为项目开发的约束条件，在项目实施中予以落实。《重庆地标》中也给出了地块年径流总量控制率取值表，用于无专项规划区低影响开发设计时采用。由于雨水径流污染和资源化利用控制目标一般可通过径流总量控制实现，本文仅探讨年径流总量控制率作为规划控制目标的情况。

当前低影响开发设计常用的计算方法主要是模型法和试算法。目前模型法应用最广的是 SWMM 模型，一款由美国环境保护局（EPA）开发的动态降水—径流模拟模型，该模型基于产汇流原理，模型计算更贴近实际情况^[5]。试算法中常用的用于设施规模计算的方法为容积法，该方法通过雨

量径流系数简化了模型法中的下渗模型和蒸发模型等参数，以设施有效调蓄容积等于雨量容积控制目标的水量平衡为基本原理，经反复试算调整，最终确定 LID 设施类型及规模。在目前多数设计院无自己模型团队的情况下，容积法不失为一种可操作性较强的用于确定 LID 设施规模的方法。

在进行讨论采用容积法进行设施规模计算（总调蓄容积）之前，有以下几点问题需要注意：

（1）计算遵循总调蓄容积=LID 设施蓄水容积+下渗量的原则，此处忽略了降雨历时内的蒸发量。

（2）对于生物滞留带、渗透塘及渗渠等顶部和结构内部有蓄水容积的渗透性设施，其渗透量计入总调蓄容积，此类设施雨量径流系数按水面设施取 1.0。但对仅以原位下渗为主，而顶部没有蓄水空间的透水铺装、绿色屋面等渗透设施，仅以参与综合雨量径流系数计算的方式确定其规模，其结构内部空隙体积不计入总调蓄容积，设施渗透量也不再另行计算。

（3）调节池、调节塘等调节设施主要功能是用来削减峰值流量和延长出流时间，不减少雨水外排总量，因此不参与总调蓄容积计算^[6]，而对于同时具备蓄水容积的多功能调蓄设施，仅将蓄水容积计入总调蓄容积。

（4）转输型植草沟、初期雨水弃流、植被缓冲带、渗管（渠）、人工土壤渗滤等设施属于转输和截污净化技术，对径流总量控制的作用较小，其调蓄容积不计入总调蓄容积。

（5）本文中设施规模计算仅讨论计算分区内只设置一种顶部和结构内部有蓄水容积的渗透性设施的情况，如有两种，假设其有效蓄水高度和渗透系数相同。这种情况一般可适用于多数小区和市政道路的 LID 设计。对于计算分区内有多重类型效蓄水高度和渗透系数不同的 LID 设施的情况，涉及多元方程求最优化解，此次暂不讨论。

2.1 容积法计算公式

LID 设施规模计算主要设计以下公式：

$$V=H\psi_z F \quad (1)$$

$$V_s=V-W_p \quad (2)$$

$$V_s=A_s h_e \quad (3)$$

$$W_p=KJA_s t_s \quad (4)$$

$$\psi_z = \frac{\sum F_i \psi_i}{F} \quad (5)$$

式中：V——设计调蓄容积，m³；

V_s——LID 设施空池蓄水容积，m³；

W_p——渗透量，m³；

K——渗透系数，m/s；

J——水力坡降，通常取 1；

A_s——LID 设施的有效渗透面积，m²；

h_e——LID 设施的有效蓄水深度，m

t_s——渗透历时，通常取 2h；

ψ_i——不同类型下垫面的雨量径流系数；

ψ_z——综合雨量径流系数；

F——汇水面积，m²；

H——设计降雨量，mm

LID 设施规模设计主要是求出设施面积，即 A_s，对以上

（1）—（5）公式进行推导得出：

$$A_s = \frac{H\psi_z F}{(h_e + KJt_s)} \quad (6)$$

上述公式中综合雨量径流系数 ψ_z 受 LID 设施有效渗透面积 A_s 的直接影响，需采用迭代法进行试算求解。

2.2 计算步骤

①根据专项规划确定的控制目标（此处仅讨论年径流总量控制率），查表 1 可得到设计降雨量 H。对于无海绵城市专项规划的区域，重庆市地区项目可按《重庆地标》表 4.2.1 执行。

②假定 A_s=0，根据表 2 及公式（5）计算出综合雨量径流系数 ψ_{z1}，根据公式（6）算出 A_{s1}，计算 ΔA_{s1}=A_{s1}-A_s，如差值较大，则继续下一步计算，此处可以设定误差精度制为 0.5m²。

③以 A_{s1} 为已知值，根据表 2 及公式（5）计算出综合雨量径流系数 ψ_{z2}，

带入公式（6）算出 A_{s2}，计算 ΔA_{s2}=A_{s2}-A_{s1}；

.....

（n）重复以上过程，直到 ΔA_{si}=A_{si}-A_{s(i-1)} < 0.5m²，结束计算；

最后根据各地编制深度要求计算出 LID 设施的各主要参

数,同时复核试算结果。在实际工程中,考虑到容积法参数简化及设施在运行过程中因堵塞造成的渗透设施渗透系数下降等问题,计算出的LID设施规模建议考虑1.1的安全系数。

上述过程涉及LID设施位置和面积的确定,该过程需要总图及景观专业参与,与给排水专业人员共同商讨,初步确定可以设置LID设施的位置及面积,经准确计算后,最终确定LID设施规模。

3 案例分析

以重庆市巴南某市政道路(横一路)LID设计为例,横一路为城市次干路,双向四车道,标准路幅宽度26m=5m人行道+8m车行道+8m车行道+5m人行道,道路总长487.16m。根据巴南区海绵城市专项规划,年径流总量控制率不应小于75%,由表1可查到对应的设计降雨量H为19.1mm。

本工程拟将传统设置的绿化带设计为生物滞留带(有效深度0.15m),人行道均设计为透水铺装,以满足控制目标要求。

根据2.2节计算步骤进行设施面积试算,先假定 $A_s=0$,计算结果 A_{s1} 为1111.5 m^2 ,将结果作为已知值,第二步计算后的 A_{s2} 为1197.2 m^2 ,误差值85.2 m^2 ,到第四步计算时, A_{s4} 为1204 m^2 ,误差值0.3 m^2 ,满足精度要求。故而求得满足径流总量控制率的设施规模为1204 m^2 。具体计算过程见表3.1。

表3.1 生物滞留带面积试算表

步骤	下垫面类型	分项面积	总面积(m^2)	雨量径流系数	综合雨量径流系数 ψ_z	A_s 计算值(m^2)	误差值 $A_{si}-A_s(i-1)$ (m^2)
第一步	车行道	11335	16094	0.85	0.67	1111.5	1111.5
	透水铺装	4759		0.25			
	生物滞留带	0		1			
第二步	车行道	11335	16094	0.85	0.72	1197.2	85.2
	透水铺装	3647		0.25			
	生物滞留带	1112		1			
第三步	车行道	11335	16094	0.85	0.73	1203.8	5.8
	透水铺装	3561		0.25			
	生物滞留带	1198		1			
第四步	车行道	11335	16094	0.85	0.73	1204.3	0.3
	透水铺装	3555		0.25			
	生物滞留带	1204		1			

道路专业综合考虑交叉口、车行道展宽、公交岗等因素,提出可以设置生物滞留带的路段总长度为650m。则生物滞留带理论设计宽度应该为 $1204/650=1.85m$,为安全起见,设计宽度取值2.0m。

根据生物滞留带最终设计取值计算生物滞留带各主要技术参数如下表3.2~3.3所示。最终确定道路断面为:人行道宽度3m,生物滞留带宽度2m,除道路交叉口除设置道路雨水口外,其余位置道路雨水均通过路缘石雨水豁口收集,人行道向生物滞留带按2%坡度找坡。生物滞留带和人行道透水铺装LID设计横断面图如图3.1所示。

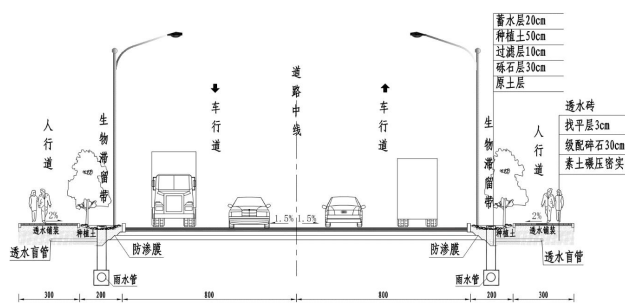


图3.1 生物滞留带和人行道透水铺装LID设计横断面图

表 3.2 下垫面分析表

下垫面类型	分项面积	总面积	雨量径流系数	流量径流系数	综合雨量径流系数 ψ_z	综合流量径流系数
车行道	11335	16094	0.85	0.9	0.73	0.74
透水铺装	3459		0.25	0.4		
生物滞留带	1300		1	0.25		

表 3.3 径流总量控制分析表

生物滞留带面积 A_s (m^2)	1300
有效水深 h_e (m)	0.15
渗透系数 K (m/s)	0.000005
渗透量 W_s (m^3)	46.8
空池蓄水量 V_k (m^3)	195.0

设施总调蓄容积 V (m^3)	241.8
设计降雨量 (mm)	20.5
年径流总量控制率	76.8%

由计算结果可知,该道路低影响开发设计可使年径流总量控制率达到 76.8%,略大于规划控制值 75%,设施规模经济合理。

4 结论与建议

(1) 设计人员应加深对低影响开发雨水系统相关指标的理解,应用容积法计算时,正确区分哪些 LID 设施参与总调蓄容积计算,哪些设施通过参与综合雨量径流系数计算的方式确定规模。

(2) 本文提出的 LID 设施面积试算方法可用于常规小区和道路的 LID 设施规模计算,快速方便,准确性较高,可供其他技术人员参考。但高阶设计以及基础资料完备的大区域低影响开发雨水系统设计中,建议采用模型法。

(3) 海绵城市设计不是单一专业的事情,需要多专业协调,共同参与,只有这样才能真正实现低影响开发设计。

参考文献:

- [1] Wang H, Mei C, Liu J H, et al. A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. Sci China Tech Sci, 2018, 61, <https://doi.org/10.1007/s11431-017-9170-5>.
- [2] 住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南--低影响开发雨水系统构建(试行)[R].北京:住房和城乡建设部,2014.
- [3] DBJ50-T-292-2018,低影响开发雨水系统设计标准[S].重庆市市政设计研究院,2018.
- [4] 任心欣,汤伟真.海绵城市年径流总量控制率等指标应用初探[J].中国给水排水,2015,31(13):105-109.
- [5] 刘绪为,李成江,徐洁,等.海绵城市年径流总量控制率计算方法及应用探讨[J].中国给水排水,2017,33(5):130-133.
- [6] 王文亮,李俊奇,车伍,等.海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J].中国给水排水,2015,31(8):18-23.