

城市雨水入渗系统的设计

孟德良¹ 赵世明²

(1 山东建筑大学市政与环境工程学院, 济南 250014; 2 中国建筑设计研究院, 北京 100044)

摘要 在城市建设中随着城区不透水地面的逐年增多,雨水的径流量也在逐年增大。这不仅加重了城市排水系统的压力,破坏了城市生态,同时也白白浪费了宝贵的雨水资源。城市雨水资源化的主要措施包括:截留入渗、储存利用等。在参考德国技术规范和资料的基础上,介绍了城市雨水截留入渗的设施及设计要点。

关键词 雨水 入渗 径流量 生态保护

1 城市雨水资源化概况

城市雨水资源化的主要措施包括:截留入渗、储存利用等。雨水截留入渗的目的在于补充地下水,增加绿地土壤的含水率,有利于城市生态的保护,其次是削减雨水排出量,减轻城市排水系统的压力。而储存利用可降低城市需水量,对城市的可持续发展及节约资源意义重大。

众所周知,在相同条件下的一场降雨中,城区的最大径流量远大于农田及森林,而其后续最小径流量将小于农田与森林。联邦德国鲁尔区曾经对城区、闲置农田及森林在相同降雨条件下的最大及最小径流量进行过对比研究,结果最大径流量为:城区 $709 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, 闲置农田 $307 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, 森林 $202 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$; 最小径流量为:城区 $1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, 闲置农田 $2 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, 森林 $3 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。这种结果主要是因为城区过多的不透水地面降低了雨水截留量,增加了雨水的径流量。由此也清楚地表明对城市雨水进行截留入渗的必要性。雨水截留入渗的措施主要包括增加透水地面及绿地的面积,采取工程措施强化雨水的截留与入渗等。

通常情况下雨水的自然入渗不会对地下水水质产生不利影响,地下水会受到其上层土壤的持续保护。地下水顶部土壤的主要功能是:过滤、吸附、离子交换、沉淀及生化作用,这些作用主要发生在表层土壤中。而含水层中所发生的溶解、稀释作用也不容低估。这些反应过程会自动调节以适应外部条件的变化。但这种调节适应性是有限度的,如果水量

及水质负荷长时间超载,表层土壤会由于截留大量固体物而降低其渗透性能,而部分溶解物质也会进入地下水。因而对土壤自然特性的保护十分必要,尤其是保护土壤的过滤特性、缓冲特性及转化性能等。

雨水入渗工程必须考虑上述特点。下面将参考德国的技术规范和资料^[1,2],重点介绍雨水入渗设施及设计要求。

2 城市雨水入渗设施

常用城市雨水入渗设施有:地面入渗、洼地入渗、洼地-渗渠组合、渗渠-渗管组合、渗井、渗水池塘、洼地-渗沟-雨水排水系统等。

2.1 地面入渗

地面入渗是利用绿地、非铺砌地面、部分透水的台阶面、庭院及交通道路等渗水。地面入渗主要以自然入渗为主,适合雨水径流量不大、土壤透水性良好的场所。一般不将砌石、渗水沥青、透水混凝土地面等作为地面入渗来考虑,因在使用过程中不断积累的矿物质及有机物会显著降低其透水性。

2.2 洼地入渗

洼地入渗是利用天然或人工洼地蓄水入渗。通常在地面入渗所需要的面积不足,或土壤入渗性太小时采用洼地入渗措施。洼地的积水时间应尽可能短,因为长时间的积水会增加土壤表面的阻塞与淤积。一般最大积水深度不宜超过 30 cm 。进水应沿积水区多点进入,对于较长及具有坡度的积水区应将地面做成波形,将积水区分割成多个独立的区域。积水区的进水应尽量采用明渠,多点均匀分散进水。

洼地入渗系统如图 1 所示,一般用于渗透系数 $K_f \leq 5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 的土壤。

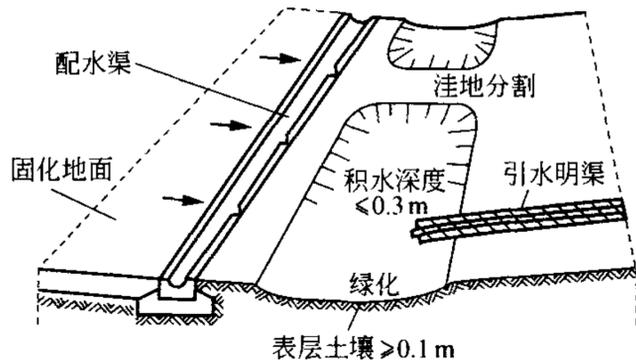


图 1 洼地入渗系统

2.3 洼地 - 渗渠组合

洼地 - 渗渠单元由洼地及下部的渗渠组成,见图 2。这种设施具有两部分独立的蓄水容积,即洼地蓄水容积与渗渠蓄水容积。其渗水速率受洼地及底部渗渠的双重影响。由于地面洼地及底部渗渠双重蓄水容积的叠加,增大了实际蓄水的容积,因而这种系统可用在 $K_f \geq 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 的土壤。与其他渗透设施相比这种系统具有更长的雨水滞留及渗透排空时间。渗水洼地的进水应尽可能利用明渠与来水相连,避免直接将水注入渗渠,以防止洼地中的植物受到损害。洼地中的积水深度应小于 30 cm。洼地表层至少有 10 cm 厚土壤,其透水性应保持在 $K_f \geq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$,以便使雨水尽可能快地渗透到下部的渗渠中去。

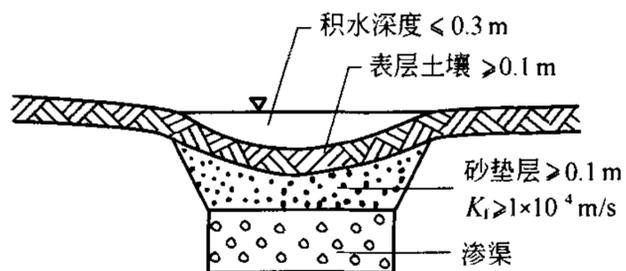


图 2 洼地 - 渗渠组合

当底部渗渠的渗透排空时间较长,不能满足洼地积水渗透排空要求时,应在洼地及渗渠之间增设泄流措施。工程上可采用简单的管内填石子或定型产品用于泄流排水。

2.4 渗渠 - 渗管组合

地面雨水直接入渗或通过渗管相连的雨水管道引入到地下渗渠中,见图 3。渗渠用石子或其他多孔材料填充,具有较大的蓄水空间。在渗渠内雨水被储存并向周围土壤渗透。渗管由穿孔管组成,被埋设在渗渠中。这种系统的蓄水能力取决于

渗渠及渗管的断面大小和长度,以及填充物孔隙的大小。对于进入渗渠及渗管的地面雨水应进行沉淀处理,在渗渠的末端应建冲洗井,以便对渗管进行定期冲洗。当采用洼地入渗所需要的面积不能满足要求时,一般可采用这种系统。

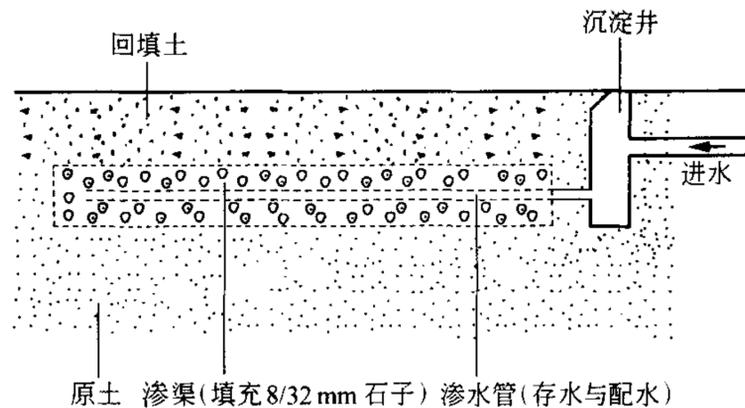


图 3 渗渠 - 渗管组合

2.5 渗井

渗井一般用混凝土建造,直径 $< 1 \text{ m}$,井深由地质条件决定,井底距地下水位的距离不能小于 1.5 m。渗井一般有两种形式。

形式 A 如图 4 所示。渗井由砂过滤层包裹,井壁周边开孔。雨水经砂层过滤后渗入地下,杂质大部分被砂滤层截留。

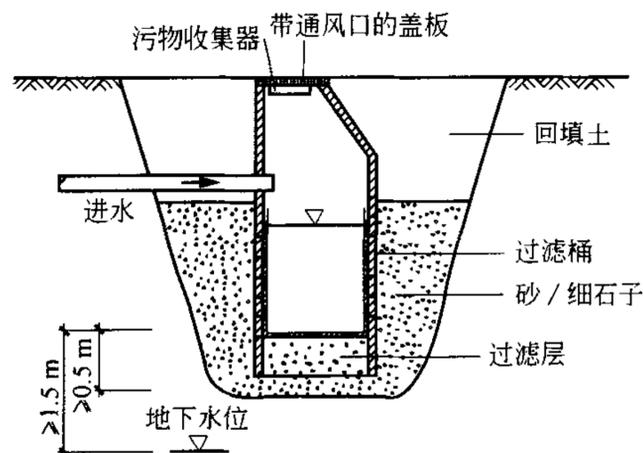


图 4 渗井 A

渗井 B 如图 5 所示,这种渗井在井内设过滤层,在过滤层以下的井壁上开孔,雨水只能通过井内过滤层后才能渗入地下,杂质大部分被井内滤层截留。滤层滤料可采用 0.25~4 mm 石英砂,应满足 $K_f \leq 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ 。与渗井 A 相比,渗井 B 中的滤料容易更换,更易长期保持良好的渗透性。

2.6 渗水池塘

当不透水地面的面积 A_0 与有效渗水面积 A_s 的比值大于 15 时可采用渗水池塘。渗水池塘应在较短时间内将雨水渗净。这就要求池底部的渗透性能

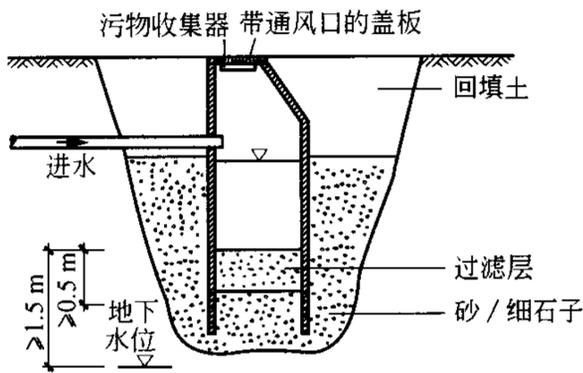


图5 渗水井 B

良好,一般要求 $K_f \geq 1 \times 10^{-5}$ m/s,当 K_f 太小时会延长其渗水时间与存水时间。在使用过程中需考虑池子的沉积问题。形成池子沉积的主要原因为雨水中携带可沉物质,这种沉积效应会影响池子的渗透性。在池子首端产生的沉积尤其严重。因而在池的进水段设置沉淀区是很有必要的,同时还应通过设置挡板的方法拦截水中的漂浮物。对于不设沉淀区的池塘在设计时应考虑 1.2 的安全系数,以应对由于沉积造成的池底透水性降低。

2.7 洼地 - 渗沟 - 雨水排水系统

当土壤的 $K_f < 1 \times 10^{-6}$ m/s 时,渗透速度过慢、渗透时间过长,洼地 - 渗沟组合储存的雨水在短小时内很难渗净,这就需要在地下增设排水管,用以排除多余的雨水,见图 6。考虑到这一系统本身对雨水的储存及入渗,雨水排水量有所削减,其排水管的尺寸可小于常规的雨水管。

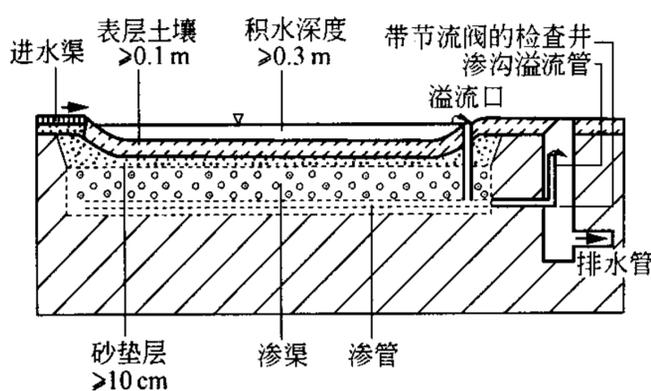


图6 洼地 - 渗渠 - 雨水排水系统

3 雨水入渗设施的设计

在设计、建造和运行雨水入渗设施时,应充分重视对土壤及水源的保护。通常采用的保护措施有:减少污染物质的产生;减少硬化面上的污染物质;入渗前对雨水进行处理;限制进入入渗设施的流量等。雨水中常常会含有氯化物、硫化物、硝酸盐、钠钾化合物、铵、钙化物、锰化物等,这些化合物的含量一般在 10 mg/L 以下。从交通设施上排出的雨水还含

有有机物以及浓度在 1 mg/L 以下的重金属等。雨水 pH 的大小将影响重金属的溶解度及含量。很多地区的降雨呈酸性,但由于水泥屋面、水泥管道、水泥地面等的缓冲作用,从这些地方排出的雨水往往呈弱酸性或中性。

可根据雨水的水质及对地下水的影响将雨水分为三级:水质良好的;水质一般的;水质较差的。水质良好的雨水可不经处理直接入渗。这类雨水来源于绿化屋面、农田、绿地、非金属屋面、平台等的雨水。水质一般的雨水需经适当的预处理或利用入渗系统的净化功能净化后才允许入渗。这类雨水来源于没做表面处理的金属屋面、居住区及厂区道路、庭院、工厂屋面等。对水质差的雨水应该直接排入下水道或经过严格的预处理后才允许入渗。这类雨水来源于工厂厂区及道路、仓库、大型车停车场等。

3.1 设计注意事项

(1) 从减少径流量的角度考虑,要求设计区域内封闭的不透水地面尽可能的少,并尽可能采用透水材料处理表面。

(2) 在规划设计时应考虑到雨水的入渗与利用措施,对于在设计范围内原来存在的低洼地应尽可能保留。

(3) 利用低洼地分散渗水,要求洼地渗水区的面积达到承接的不透水面积的 5%~20%,对于透水性差、很浅的洼地其值应达到不透水面积的 40% 以上。

(4) 土壤透水性很差时要考虑溢流措施。

(5) 入渗设施与地下室之间的最小间距应符合有关规定。

(6) 洼地渗水的最大积水深度不能超过 30 cm。

3.2 渗水区土壤的透水性

土壤的透水性与其孔隙大小及结构有关。各种土壤的透水系数如图 7 所示。雨水入渗系统一般适用于土壤的 K_f 在 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$ m/s。

当 $K_f > 1 \times 10^{-3}$ m/s 时雨水入渗速度太快,到达地下水前没有足够的停留时间。当 $K_f < 1 \times 10^{-6}$ m/s 时入渗速度太慢,在渗透区内会出现厌氧,这对于污染物的截留与转化是不利的。最高地下水位以上的渗水区厚度应至少保持在 1 m 以上,以保证有足够的净化效果。生物净化的效果与入渗水在

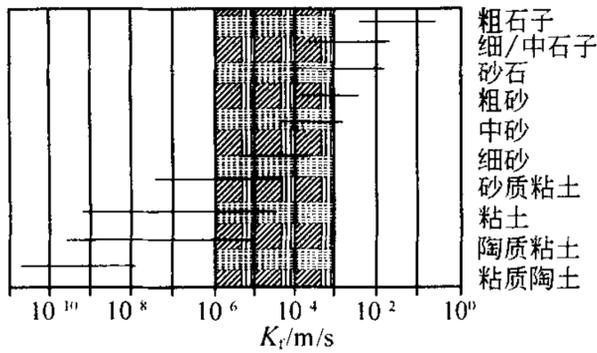


图7 不同土质的人渗系数

地下的停留时间有关,雨水通过地下水位以上的渗透区时停留时间长或入渗速度小,其净化效果会更明显。因此渗透区应尽可能大。水质良好的雨水含污染物较少,可采用渗透区厚度小于1 m的表面入渗或洼地入渗措施。应该注意的是渗透区厚度小于1 m时只能截留一些颗粒状物质,当渗透区厚度小于0.5 m时雨水会直接进入地下水。对于水质较差的雨水不能采用直接入渗。渗透区对雨水的净化效能主要体现在生化及物化过程,其最重要的过程为过滤与吸附。为了改善渗透区土壤的性质,可采取诸如更换土壤或在土壤中加入其他物质的措施。

3.3 雨水入渗设施距建筑物的间距

雨水入渗设施不应周围建筑物造成损坏,距建筑物基础应根据情况设定最小间距。雨水入渗设施不应建在建筑物回填土区域内,分散雨水入渗设施要求距建筑物基础的最小距离不小于建筑物基础深度的1.5倍(非防水基础),距建筑物基础回填区域的距离不小于0.5 m。

3.4 设计计算

以下介绍的设计计算适用范围是:汇水流域面积 $<200 \text{ hm}^2$,或汇流时间 $<15 \text{ min}$;设计重现期 $\leq 10 \text{ a}$;渗透速率 $q_s \geq 2 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$ 。

(1) 折合的不透水地面面积计算

$$A_u = \sum (A_i \psi_i) \quad (1)$$

式中 A_u ——折合的不透水地面面积, m^2 ;

A_i ——不同类型的面积, m^2 ;

ψ_i ——各面积类型所对应的径流系数,按表1选取。

(2) 进入渗透设施的流量计算

$$Q_{in} = 10^{-7} q_{T(n)} A_u \quad (2)$$

式中 Q_{in} ——进入渗透设施的流量, m^3/s ;

$q_{T(n)}$ ——降雨强度, $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$;

表1 推荐采用的径流系数

表面类型	表面处理形式	ψ
坡屋面	金属、玻璃、石板瓦、纤维混凝土	0.9~1
	砖、油毛毡	0.8~1
平屋面,坡度小于3°或5%	金属、玻璃、纤维混凝土	0.9~1
	油毛毡	0.9
	石子	0.7
绿化屋面,坡度小于15°或25%	种植层 $<10 \text{ cm}$	0.5
	种植层 $\geq 10 \text{ cm}$	0.3
路面、广场	沥青、无缝混凝土	0.9
	紧密缝隙的铺石路面	0.75
	固定石子铺面	0.6
	有缝隙的沥青	0.5
	有缝隙的沥青铺面、碎石草地	0.3
	叠层砌石不勾缝、渗水石	0.25
	草坪方格石	0.15
花园、草地及农田	平地	0~0.1
	坡地	0.1~0.3

T ——汇流时间, min ,对于没有蓄水作用的地面一般采用 $T=10 \text{ min}$,当集水地面很大时可适当延长到 15 min ;

n ——设计重现期, a 。

(3) 渗透速度计算

$$V_f = K_f I \quad (3)$$

$$I = (I_s + Z) / (I_s + Z/2) \quad (4)$$

式中 V_f ——渗透区域的渗透速度, m/s ;

K_f ——渗透区域的渗透系数, m/s ;

I ——水力坡度;

I_s ——池底到地下水面的距离, m ;

Z ——蓄水池的水深, m 。

(4) 渗透流量计算

当渗水设施的存水深度很小时,可采用 $I=1$,得:

$$Q_s = K_f A_s \quad (5)$$

式中 Q_s ——渗透流量, m^3/s ;

A_s ——渗透面积, m^2 。

(5) 渗透系统蓄水容积计算

$$V = 60(Q_{in} - Q_s) t f_2 \quad (6)$$

式中 V ——需要的存水容积, m^3 ;

Q_{in} ——在特定历时下的来水流量, m^3/s ;

Q_s ——在特定历时下的渗透流量, m^3/s ;

t ——降雨历时, min ;

f_2 ——安全系数,取 $1.1 \sim 1.2$ 。

低浓度剩余活性污泥涡凹气浮浓缩工艺研究

胡锋平¹ 黄晓东¹ 汪琳媛¹ 李伟民² 王涛² 邓荣森²

(1 华东交通大学土木建筑学院,南昌 330013; 2 重庆大学,重庆 400045)

摘要 采用 CAF-5 型涡凹气浮对低浓度剩余活性污泥浓缩进行了试验研究,结果表明:絮凝剂采用 FO4440SH,最佳投加量为 1 kg/tDS,表面活性剂采用 1227,最佳投加量 0.2 kg/tDS,最佳固体负荷为 230 kgMLSS/(m³·d),最佳水力负荷为 90 m³/(m²·d),出水 SS 为 200~250 mg/L,在浓缩过程中污泥中的磷不会释放。

关键词 涡凹气浮 污泥浓缩 絮凝剂 表面活性剂

Study on low concentration excess activated sludge thickening by cavitation air floatation (CAF)

Hu Feng-ping¹, Huang Xiao-dong¹, Wang Lin-yuan¹,

Li Wei-min², Wang Tao², Deng Rong-sen²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Cavitation air floatation facility CAF-5 was employed to thicken low concentration excess activated sludge. In experiments flocculant FO4440SH and surfactant 1227 were added with optimal dosage of 1 kg/tDs and 0.2 kg/tDS respectively and the solid and hydraulic loadings to the facility were controlled at 230 kgMLSS/(m³·d) and 90 m³/(m²·d) respectively. Finally effluent with residual SS of 200~250 mg/L was obtained. P in the sludge wouldn't release during the thickening process.

Keywords: Cavitation air floatation (CAF); Sludge thickening; Flocculant; Surfactant

CAF 涡凹气浮系统是为了去除工业和城市污水中的油脂、胶状物以及固体悬浮物而专门设计的系统。其工作原理是:污水流经涡凹曝气机涡轮,涡轮利用高速旋转产生的离心力,使涡轮轴心产生负压,吸入空气。由于曝气涡轮的特殊结构设计,空气

沿涡轮的四个气孔排出,并被涡轮叶片打碎,从而形成大量微小的气泡均匀地分布在水中。气浮槽底部不同部位的持续循环作用大大减少了固体沉淀的可能性。此系统中污水和循环水不需要通过任何强制的孔或喷嘴,不会产生堵塞,循环不需要任何设备。

对于分散渗水系统一般采用的重现期为 5 a,集中渗水系统的重现期一般取 10 a。地面渗水系统的排空时间在 1 a 重现期降雨条件下不能超过 24 h。

2 Dieter Londong. Das Wasser, die Emscher, die Genossenschaft und das Revier, Wasserwirtschaft, 1994, 84(9): 446~450

参考文献

1 ATV-DVWK-A138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, 2002

※通讯处:250014 济南市和平路 47 号

电话:(0531)86954865

E-mail:deliangm@yahoo.com.cn

收稿日期:2005-12-30