

基于海绵城市理念的柳州市主城区土壤及地下水情况研究

□ 蒋学晨阳 董国前

[摘要] 本文针对我国海绵城市建设在具体实践过程中存在的缺乏针对性和缺乏设计资料的问题,采用土工试验和利用已有的岩土工程勘察资料的方法,对柳州市主城区按照排水分区进行土壤和地下水情况的研究。研究发现,柳州主城区部分区域地下水埋深较浅,提出选用渗透设施时应考虑地下水对渗透设施的影响,选用大型渗透系统。此外,柳州主城区范围内的土壤渗透性较差,提出采用渗透为主的海绵设施时,采用更换优质土壤和施用土壤改良剂等方式改善土壤渗透性,以使用渗透性低影响开发设施,实现雨水控制的目标。

[关键词] 海绵城市;土壤分布;土壤渗透性;渗透设施

1 研究背景

1.1 城市化进程背景:城市化进程带来的洪涝灾害问题

城市化是指人类生活方式及生产活动随着社会生产力的持续发展由农村向城市转移,城市间区域不断扩大的过程,城市化是人类社会发展的必然趋势^[1]。随着我国社会经济迅速发展,城市数量和规模急剧增加,城市化趋势日益显著。由于城市建设改变了下垫面的形式,带来了热岛效应加剧、硬化路面增加、雨水下渗量减少、地下水位下降、水质恶化等一系列环境问题。近年来最显著的问题就是城市内涝频发。早期城市排水管网建设缺少统一规划,存在管网排水能力有限、管道破损、缺少维护等问题,再加上城市硬化地面面积及占比不断增加导致下垫面径流系数增大的影响因素,致使地面雨水无法有效下渗而形成径流,又因大部分雨水汇入城市雨水管网,超过了雨水管网的排水能力,径流雨水不能及时排出,从而引发城市内涝^[2]。

1.2 海绵城市:新时代的雨洪管理理念

在我国快速城镇化的大背景下,为建立完善的城市生态系统、规划合理的城市雨水控制利用体系,我国提出了“海绵城市”理念。该理念的首次提出是在2012低碳城市与区域发展科技论坛^[3]。根据习近平总书记2013年在中央城镇化工作会议上的讲话,我们首先需要考虑城市的排水系统应首先利用自然力量排水,建设自然存积、自然渗透、自然净化的海绵城市^[4]。住房城乡建设部于2014年10月印发了详尽概述海绵城市

的概念理论和实践技术措施的《海绵城市建设技术指南(试行)》^[5]。2014年末至2015年初,我国选择16个城市作为第一批海绵试点城市开展海绵城市建设。2017年3月5日,李克强总理在第十二届全国人民代表大会第五次会议的政府工作报告中明确了海绵城市的发展方向,我国所有城市对这项“里子工程”引起重视^[6],至此,我国由上至下开始重视和反思城市化形成的水环境问题,并由政府带头进行解决城市雨洪问题的探索和实践。

2 研究意义

2.1 海绵城市的建设应因地制宜

目前,我国海绵城市建设如火如荼,但许多城市没有成熟的方法来实现海绵城市建设的日常标准,低影响开发技术还处于探索阶段,需要相互借鉴。为此,政府有关部门和社会团体多次组织培训班和经验交流会,并派出技术人员进行实地调查、研究和实践。我国地域辽阔,不同地域的气候、地理、土壤、植被、城市土地规划和基础设施的建设情况存在很大差异,这些因素都是在海绵城市建设中必须要考虑的关键因素。但在实践中,存在着一些地区生搬硬套、盲目照搬进行建设的现象,并出现不合理的设计,造成极大的浪费。气候因素和土壤因素会对海绵城市的建设产生较大的区别。土壤虽然具有明显的地带性分布特点,但由于海绵城市建设中的土壤受人为影响形成复杂的水平分布和垂直结构,各地的入渗和径流特征有较大差异^[7]。因此,在进行海绵城市建设时,应对当地的土壤构成、土壤渗透特征、

[作者简介] 蒋学晨阳,柳州市建筑设计科学研究院有限公司。

董国前,柳州市建筑设计科学研究院有限公司,给排水副主任工程师,高级工程师。

地下水位分布进行实地察验和充分调研。

2.2 柳州市缺乏土壤渗透特征、地下水水位的数据

广西已出台的《广西壮族自治区海绵城市规划设计导则》《低影响开发雨水控制及利用工程设计规范》，对海绵城市规划设计的方法以及海绵城市设计施工提供了规范性指导依据，并列举广西地区不同土质的土壤渗透系数参考资料。但由于各地土壤性质、分布不一，柳州市的地质垂直构成、地下水位以及土壤渗透性能没有具体资料，设计人员难以对海绵城市建设设施进行准确的评价，阻碍了海绵设施的选用及设计。因此，设计人员因地制宜进行低影响开发设计时，拥有详尽的地质勘测资料、土壤地质特征的实测资料等是十分必要的。

3 研究方法

3.1 柳州的区位特征

柳州市地处桂中北部，属中亚热带季风气候，影响柳州市的大气环流主要是季风环流，夏半年盛行偏南风，高温、高湿、多雨，冬半年盛行偏北风，寒冷、干燥、少雨。当地具有夏长冬短、雨热同季的气候特点，光、温、水气候资源丰富，但地区差异较大，北部各县具有较明显的山地气候特征。年总降雨量1345mm～1940mm，地区分布和季节变化较大。雨季一般始于4月下旬，终于9月上旬，期间降水量占全年降水量的70%以上。多年平均蒸发量1600mm～1700mm，自南向北渐减，南部超过1700mm，大于降雨量，为半湿半干状态，而北部的降水量多超过蒸发量，气候湿润。柳州中心城区北、西、东三面环山，形成一个向南开口的簸箕形盆地。区内有低山丘陵、河流阶地、岩溶盆地、孤峰平原、峰林谷地及峰丛洼地等地貌类型，岩溶地貌面积约占全区的59.3%，中心城区形成河流阶地地貌和岩溶地貌迭加天然盆地^[6]。柳州市地貌成因类型主要包括侵蚀堆积，溶蚀、侵蚀—溶蚀堆积及构造溶蚀—剥蚀等类型^[9]。

3.2 排水分区的划分

根据水系的分割、排水现状、规划的区位和竖向标高，将柳州市主城区分成6大排水分区：河北及白沙排水分区、河西排水区、鸡喇排水区、阳和排水区、响水河排水区、河东排水区。

3.3 土壤渗透性能调查方法

项目依据《土工试验方法标准》（GB/T 50123—2019）进行土工试验，依据所划分的排水分区，在各个分区进行均匀取样，取样点位见图1。经土工试验后，可得各排水分区之土壤渗透性能。各分区土壤排水渗透性能汇总表1。

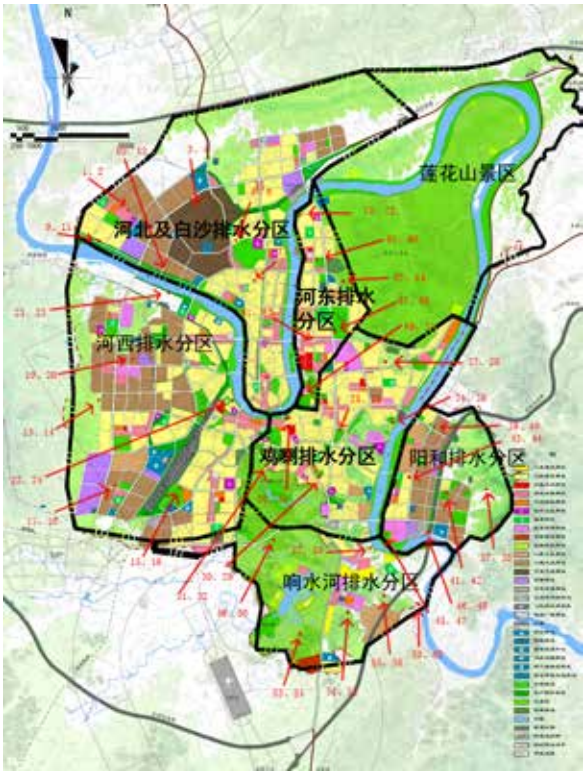


图1 土工试验取样点位

3.4 土壤垂直分布和地下水水位的调查

3.4.1 调查方法

项目设计前期对建设场地的勘察是必不可少的，考虑到经济高效的因素，本研究采用查阅已有建筑设计岩土工程勘察报告的研究方法。

3.4.2 调查点位的选取

在各排水分区中，随机收集选取约20个已有勘测钻探资料的具有代表性的点位，尽可能在范围上涵盖整个排水分区，在类型上涵盖各种规划用地类型，以期达到其反映所在排水分区的土质构成和地下水水位的目标。排水分区和所选取的地勘钻探资料点位见图2。

3.4.3 指标选取

本研究主要目的是提供土壤和地下水资料，以便设计人员在柳州主城区进行海绵城市建设时选用低影响开发设施，故选取土层垂直分布构成以及地下水水位作为考察指标。土层构成情况及地下水水位的数据按排水分区总结见表2。

4 结果分析与讨论

4.1 地下水水位对选用渗透型LID措施的影响

广西地方标准《低影响开发雨水控制及利用工程设

表1 柳州市主城区土壤渗透特征							
土工试验成果汇总表							
工程名称：柳州市主城区土壤渗透特征研究				报告编号：TG21—196			
委托单位：柳州市建筑设计科学研究院有限公司				试验单位：广西荣泰建筑设计有限责任公司柳州检测中心			
试验依据：GB/T 50123—2019				地址：柳州市城中区静兰小区（静兰路东一巷19号）			
送样日期：2021年4月8日—2021年6月7日				电话：××××××			
试验日期：2021年4月8日—2021年6月7日				报告日期：2021年6月16日			
取样位置	野外 取样 编号	野外试样编号	取样顶深 （m）	取样长度 （m）	孔隙比 （e）	孔隙率 （n）	垂直渗透 系数k ₂₀ （m/s）
河北及 白沙排水 分区	1	河北硬塑状红黏土1	1.30	0.20	1.03	0.51	4.25×10 ⁻⁸
	2	河北硬塑状红黏土2	1.00	0.20	0.95	0.49	3.57×10 ⁻⁹
	3	河北可塑状红黏土1	7.20	0.20	1.13	0.53	5.38×10 ⁻⁸
	4	河北可塑状红黏土2	6.90	0.20	1.22	0.55	8.91×10 ⁻¹⁰
	5	河北次生红黏土1	2.60	0.20	0.88	0.47	6.12×10 ⁻⁹
	6	河北次生红黏土2	3.10	0.20	0.89	0.47	3.84×10 ⁻⁸
	7	河北一般性黏土1	2.80	0.20	0.82	0.45	2.91×10 ⁻⁷
	8	河北一般性黏土2	3.00	0.20	0.79	0.44	5.08×10 ⁻⁷
	9	河北硬塑状粉质黏土1	1.90	0.20	0.71	0.42	3.32×10 ⁻⁶
	10	河北硬塑状粉质黏土2	2.30	0.20	0.71	0.42	7.51×10 ⁻⁷
	11	河北可塑状粉质黏土1	4.80	0.20	0.81	0.45	6.74×10 ⁻⁶
	12	河北可塑状粉质黏土2	5.20	0.20	0.84	0.46	3.37×10 ⁻⁶
河西排水 分区	13	河西硬塑状红黏土1	1.30	0.20	1.09	0.52	9.05×10 ⁻⁹
	14	河西硬塑状红黏土2	1.50	0.20	1.05	0.51	6.14×10 ⁻⁸
	15	河西可塑状红黏土1	5.80	0.20	1.21	0.55	5.62×10 ⁻⁸
	16	河西可塑状红黏土2	7.10	0.20	1.25	0.56	3.87×10 ⁻⁹
	17	河西次生红黏土1	2.60	0.20	0.88	0.47	4.11×10 ⁻⁸
	18	河西次生红黏土2	2.30	0.20	0.87	0.47	6.07×10 ⁻⁸
	19	河西一般性黏土1	1.80	0.20	0.79	0.44	8.23×10 ⁻⁸
	20	河西一般性黏土2	1.60	0.20	0.83	0.45	1.56×10 ⁻⁷
	21	河西硬塑状粉质黏土1	2.10	0.20	0.75	0.43	7.19×10 ⁻⁷
	22	河西硬塑状粉质黏土2	1.90	0.20	0.72	0.42	3.65×10 ⁻⁶
	23	河西可塑状粉质黏土1	4.30	0.20	0.87	0.46	2.72×10 ⁻⁶
	24	河西可塑状粉质黏土2	4.60	0.20	0.84	0.46	4.01×10 ⁻⁷
鸡喇排水 分区	25	鸡喇硬塑状红黏土1	1.90	0.20	1.09	0.52	6.86×10 ⁻⁸
	26	鸡喇硬塑状红黏土2	2.00	0.20	1.07	0.52	3.97×10 ⁻¹⁰
	27	鸡喇可塑状红黏土1	6.80	0.20	1.26	0.56	6.02×10 ⁻⁹
	28	鸡喇可塑状红黏土2	7.10	0.20	1.21	0.55	1.53×10 ⁻⁸
	29	鸡喇次生红黏土1	2.60	0.20	0.85	0.46	7.12×10 ⁻⁸
	30	鸡喇次生红黏土2	2.30	0.20	0.88	0.47	4.55×10 ⁻⁹
	31	鸡喇一般性黏土1	1.70	0.20	0.82	0.45	3.98×10 ⁻⁷
	32	鸡喇一般性黏土2	1.90	0.20	0.79	0.44	8.43×10 ⁻⁸
	33	鸡喇硬塑状粉质黏土1	1.40	0.20	0.72	0.42	2.70×10 ⁻⁷
	34	鸡喇硬塑状粉质黏土2	1.30	0.20	0.78	0.44	6.16×10 ⁻⁷
	35	鸡喇可塑状粉质黏土1	3.80	0.20	0.87	0.46	3.09×10 ⁻⁶
	36	鸡喇可塑状粉质黏土2	4.10	0.20	0.90	0.47	5.47×10 ⁻⁷

续表

阳和排水分区	37	阳和硬塑状红黏土1	1.80	0.20	1.13	0.53	8.09×10^{-8}
	38	阳和硬塑状红黏土2	2.20	0.20	1.17	0.54	6.96×10^{-9}
	39	阳和可塑状红黏土1	7.10	0.20	1.17	0.54	4.82×10^{-8}
	40	阳和可塑状红黏土2	7.80	0.20	1.31	0.57	7.15×10^{-9}
	41	阳和次生红黏土1	1.70	0.20	0.87	0.46	6.04×10^{-8}
	42	阳和次生红黏土2	1.90	0.20	0.87	0.47	5.36×10^{-9}
	43	阳和一般性黏土1	1.40	0.20	0.80	0.45	1.21×10^{-8}
	44	阳和一般性黏土2	1.60	0.20	0.77	0.44	4.83×10^{-8}
	45	阳和硬塑状粉质黏土1	1.90	0.20	0.66	0.40	7.35×10^{-6}
	46	阳和硬塑状粉质黏土2	1.20	0.20	0.74	0.42	2.91×10^{-7}
	47	阳和可塑状粉质黏土1	3.70	0.20	0.81	0.45	3.35×10^{-6}
	48	阳和可塑状粉质黏土2	3.80	0.20	0.88	0.47	4.16×10^{-6}
响水河排水分区	49	响水河硬塑状红黏土1	1.50	0.20	1.11	0.53	7.09×10^{-10}
	50	响水河硬塑状红黏土2	1.70	0.20	1.07	0.52	6.26×10^{-9}
	51	响水河可塑状红黏土1	8.40	0.20	1.26	0.56	5.22×10^{-8}
	52	响水河可塑状红黏土2	9.50	0.20	1.25	0.56	9.68×10^{-9}
	53	响水河次生红黏土1	2.80	0.20	0.89	0.47	6.67×10^{-8}
	54	响水河次生红黏土2	3.00	0.20	0.86	0.46	4.52×10^{-9}
	55	响水河一般性黏土1	1.70	0.20	0.75	0.43	3.17×10^{-8}
	56	响水河一般性黏土2	1.80	0.20	0.77	0.43	5.76×10^{-7}
	57	响水河硬塑状粉质黏土1	1.60	0.20	0.71	0.42	2.03×10^{-6}
	58	响水河硬塑状粉质黏土2	2.00	0.20	0.71	0.42	1.69×10^{-6}
	59	响水河可塑状粉质黏土1	4.80	0.20	0.85	0.46	3.76×10^{-7}
	60	响水河可塑状粉质黏土2	5.10	0.20	0.77	0.43	2.50×10^{-6}
河东排水分区	61	河东硬塑状红黏土1	2.40	0.20	1.14	0.53	6.87×10^{-10}
	62	河东硬塑状红黏土2	2.70	0.20	1.16	0.54	3.05×10^{-8}
	63	河东可塑状红黏土1	9.10	0.20	1.24	0.55	5.33×10^{-8}
	64	河东可塑状红黏土2	9.40	0.20	1.30	0.57	6.29×10^{-9}
	65	河东次生红黏土1	2.50	0.20	0.89	0.47	7.02×10^{-10}
	66	河东次生红黏土2	2.30	0.20	0.83	0.45	2.41×10^{-8}
	67	河东一般性黏土1	1.90	0.20	0.78	0.44	5.27×10^{-7}
	68	河东一般性黏土2	2.00	0.20	0.84	0.46	3.78×10^{-7}
	69	河东硬塑状粉质黏土1	1.50	0.20	0.67	0.40	2.59×10^{-6}
	70	河东硬塑状粉质黏土2	1.80	0.20	0.74	0.43	6.07×10^{-7}
	71	河东可塑状粉质黏土1	5.20	0.20	0.87	0.47	7.63×10^{-7}
	72	河东可塑状粉质黏土2	5.40	0.20	0.81	0.45	3.94×10^{-6}

计规范》（DBJ/T 45—013—2019）规定渗透面距地下水位的 高差应大于1m，渗透面从最低处计。过浅的地下水埋深会导致渗透系统无法拥有足够的蓄水容积，也难以防止被污染的雨水污染地下水。

柳州主城区部分区域潜水埋深较浅。从表3数据可

知，以岩溶地貌为主要地质特点的柳州，地下水中的潜水多由岩溶水、岩溶裂隙水构成，其中河西排水分区、阳和排水分区以及河东排水分区3个分区的潜水最浅处理深为1.80m、2.50m、3m，已接近规范限值。因此，在河西排水分区、阳和排水分区以及河东排水分区进行海

表2 柳州市主城区典型土层垂直分布和地下水位

排水分区	土层分布	地下水水位
河北及白沙排水分区	河北及白沙排水分区土壤典型垂直分布（自上而下）为：1.杂填土，由黏性土夹碎石、砖块等杂质等组成；2.黏土；3.硬塑状红黏土；4.可塑状红黏土；5.粉质黏土；6.风化灰质白云岩。	地下水分布情况：普遍分布有上层滞水水位深度2m～10m，水位受降雨影响出现一定的变幅。钻探深度下发现有岩溶水、岩溶-孔隙水、岩溶裂隙水，水位埋深在6m～12m。
河西排水分区	河西排水分区土壤典型垂直分布（自上而下）为：1.杂填土，由碎石及黏性土组成；2.素填土或耕土，由黏土组成；3.黏土；4.硬塑状粉质黏土；5.硬塑状次生红黏土；6.稍密状圆砾；7.硬塑状红黏土；8.可塑状红黏土；9.粉质黏土；10.微风化砂岩；11.风化灰质白云岩。	地下水分布情况：普遍分布有上层滞水水位深度1m～20m，水位受降雨影响出现一定的变幅。钻探深度下发现有碎屑岩裂隙水、岩溶裂隙溶洞潜水、碳酸盐岩裂隙溶洞水、岩溶裂隙水、孔隙水与岩溶裂隙溶洞水，水位埋深在1.80m～11.70m。
鸡喇排水分区	鸡喇排水分区土壤典型垂直分布（自上而下）为：1.杂填土，由黏性土、碎石、砖块组成；2.素填土或耕土，由黏土组成；3.硬塑状黏土；4.硬塑状次生红黏土，5.硬塑状红黏土；6.可塑状红黏土；7.粉质黏土；8.风化灰质白云岩。	地下水分布情况：普遍分布有上层滞水水位深度2m～8m，水位受降雨影响出现一定的变幅。钻探深度下发现有岩溶溶洞裂隙水、岩溶裂隙水、为承压水，水位埋深在4.90m～24.50m。
阳和排水分区	阳和排水分区土壤典型垂直分布（自上而下）为：1.杂填土，由黏性土混碎石、碎砖块、碎瓷砖及碎混凝土块等建筑垃圾组成；2.素填土或耕土，由黏土组成；3.硬塑状粉质黏土；4.硬塑状黏土；5.硬塑状红黏土；6.可塑状红黏土；7.微风化石灰岩。	地下水分布情况：普遍分布有上层滞水水位深度2.50m～8m，水位受降雨影响出现一定的变幅。钻探深度下发现有岩溶水及空隙裂隙水，水位埋深在2.50m～20m。
响水河排水分区	响水河排水分区土壤典型垂直分布（自上而下）为：1.杂填土，由黏性土夹杂碎石、碎砖等组成；2.耕土，由黏土组成；3.硬塑状黏土；4.硬塑状粉质黏土；5.矿渣、淤泥质土；6.硬塑状红黏土；7.可塑状红黏土；8.微风化白云灰质岩。	地下水分布情况：普遍分布有上层滞水水位深度4m～5.50m。钻探深度下发现有岩溶水及空隙裂隙水，稳定水位埋深在5.50m～8.40m。
河东排水分区	河东排水分区土壤典型垂直分布（自上而下）为：1.杂填土，由碎混凝土砖块、灰渣及生活垃圾及黏性土组成；2.素填土或耕土，由黏土组成；3.硬塑状红黏土；4.可塑状红黏土；5.粉质黏土；6.卵石；7.风化灰质白云岩。	地下水分布情况：普遍分布有上层滞水水位深度1m～10m，水位受降雨影响出现一定的变幅。钻探深度下发现有岩溶水及岩溶裂隙水、孔隙裂隙水，水位埋深在3m～36.60m。



图2 柳州市主城区排水分区和钻探资料选取分布

绵城市建设时，应着重考虑地下水对渗透设施的影响，在选用大型渗透系统，尤其是大型的、深型的渗透设施，如渗透塘、渗水坑等时，应对建设场地地下水水位进行严格调查，若埋深不足1m不应选用。

4.2 土壤渗透性能对选用渗透型LID措施的影响

柳州市主城区松散土层主要是岩溶平原上广泛分布的溶余堆积的黏性土，其次是河流冲积的黏土与砾砂。总结表1数据，可得本次研究中，柳州市主城区总体的几种土壤的渗透系数和孔隙率的浮动范围，如表3。

表3 柳州土壤渗透系数及土壤孔隙率

土壤层	土壤渗透系数k ₂₀ (m/s)	土壤孔隙率 (n)
次生红黏土	$7.02\times10^{-10}\sim7.12\times10^{-8}$	0.45～0.47
可塑状粉质黏土	$2.50\times10^{-7}\sim6.74\times10^{-6}$	0.43～0.47
可塑状红黏土	$8.91\times10^{-10}\sim5.62\times10^{-8}$	0.53～0.57
一般性黏土	$1.21\times10^{-8}\sim5.76\times10^{-7}$	0.43～0.46
硬塑状红黏土	$3.97\times10^{-10}\sim8.09\times10^{-8}$	0.49～0.54
硬塑状粉质黏土	$2.70\times10^{-7}\sim7.35\times10^{-6}$	0.40～0.44

排空时间是渗透设施的设计和运行维护过程中的一个重要参数,其取值会影响到设施的用地面积、设施运行维护频率、蚊蝇滋生和径流控制效果等多个方面。确定蓄水深度后,排空时间通常被用来计算渗透设施的表面积,其和入渗系统的土壤渗透系数密切相关。为控制排空时间,生物滞留设施的种植层渗透系数宜为 $12.50\text{mm/h}\sim 25\text{mm/h}$ ^[10]。此外,广西地方标准《低影响开发雨水控制及利用工程设计规范》(DBJ/T45—013—2019)规定,渗透设施日渗透能力不小于其汇水面2年一遇日降雨量,渗透时间不超过24h,入渗井、入渗池的渗透时间不超过72h;雨水入渗系统的土壤渗透系数应在 $1\times 10^{-6}\text{m/s}\sim 1\times 10^{-3}\text{m/s}$,并且土壤中的黏土含量应小于25%,粉砂含量应小于40%。综合表3数据,可知,柳州的地下土壤以黏土为主,其土壤渗透系数偏低,若需要在建设场地进行渗透系统的设置,应采用一定的技术措施。下面列举两种应对建设场地土壤低渗透性的技术措施。

4.2.1 更换优质土壤

针对建设场地内支持生物滞留设施中植物生长的土壤有机质缺乏的问题,可以采用更换优质土壤的方法进行应对。回填土选用质疏松、结构良好的土壤,可以改善土壤的渗透性并有利于植物生长^[11]。

4.2.2 采用土壤改良剂

土壤改良剂的使用能有效改善土壤的渗透性。柳州市主城区土壤以黏性土为主,在黏性土中掺入渗透性良好的砂土可构成砂质壤土,可有效提高土壤的渗透性。将蛭石、石灰、珍珠岩等天然矿物质或秸秆、纤维素等水溶高分子物质按一定比例混合,可进一步提高土壤的渗透能力^[12]。此外,研究表明,PAM土壤改良剂通过促使土壤大团聚体数量增加,提升大土壤表面粗糙度,降低土壤容重,进而增大土壤渗透系数^[13]。

5 结语

柳州主城区部分地区地下水水位较高,在此类地

区应严格明确地下水埋深后选用渗透型设施,尤其是大型、深型、渗透型海绵。柳州主城区内的土壤渗透系数偏低,较低的土壤渗透系数会导致渗透设施排空时间的不可控,在应对低渗透性能土壤带来的负面作用时,可采用换土、施用土壤改良剂等方式改善土壤渗透性,以使用渗透型低影响开发设施,实现雨水控制的目标。

[参考文献]

- [1]刘炫好.城镇化发展对住房消费需求的影响研究[D].广州:暨南大学,2013.
- [2]张强.低影响开发对沔西新城地下水水位水质影响的研究[D].西安:西安科技大学,2020.
- [3]车生泉,谢长坤,陈丹,等.海绵城市理论与技术发展沿革及构建途径[J].中国园林,2015,31(6):11-15.
- [4]钱明辉,钱朝琼,桂石见.略论统一战线在美丽云南建设中的独特优势和作用[J].云南社会主义学院学报,2014(4):5-7.
- [5]张缘舒.城市不再“看海”海绵城市成为“香饽饽”[J].智能建筑与智慧城市,2016(5):32-35.
- [6]徐慧博,雷茵茹,崔丽娟.极简主义与简约园林建设的探讨——以结合中国传统思想的简约园林为例[J].现代园艺,2018(13):97-99.
- [7]文海涛,吴福,卢志文,等.广西柳州市岩溶塌陷成因类型与时空分布特征[J].矿产与地质,2019,33(4):753-758.
- [8]卢志文,梁健.柳州市岩溶塌陷现状特征及防治对策探析[J].城市建设理论研究(电子版),2013(28):1-4.
- [9]张毅川.海绵城市导向下绿地典型下垫面的雨水特征及优化——以新乡市为例[D].武汉:武汉大学,2017.
- [10]梁小光,魏忠庆,上官海东,等.海绵城市建设中生物滞留设施排空时间研究[J].给水排水,2018,54(11):26-30.
- [11]冉杨涛.海绵城市建设中绿地土壤渗透性能的改良[J].西南给排水,2017,39(2):7-11.
- [12]谢瑶.重庆市海绵城市建设技术模式研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [13]Busscher W J,Novak J M,Caesar-Tonthat T C.Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand[J].Soil&Tillage Research,2007,93(1):171-178.