

连云港市某核算单元污水集中收集处理率影响因素分析

鲍子薇¹,刘 畅¹,张桂峰²,许天啸³,王 磊¹

(1.华设设计集团股份有限公司,江苏 南京 210000;2.连云港市市政公用事业发展中心,江苏 连云港 222000;
3.江苏省住房和城乡建设厅,江苏 南京 210000)

摘 要:以连云港市大浦污水处理厂为例,提出现状梳理、问题分析、解决方案、组织实施的工作思路。基于“源-网-厂-河”系统思维,由河道-污水处理厂-泵站-管网-排水户逐级溯源,对各污水收集系统进行分析,重点探究低效能片区形成的原因,精准施策,达到区域污水集中收集处理率明显提高,且污染物削减率大幅提升的目的。

关键词:污水系统;集中收集处理率;外水入侵;效能评估

中图分类号:X703;TU992.3

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)03-0222-05

0 引言

我国南方污水处理厂普遍存在进水浓度低的问题,既影响污水处理厂的运行效能,也影响城市水体水质持续改善^[1],为此,江苏省发布了一系列政策举措。2021年4月,江苏省生态环境厅与省住建厅印发了《关于实施城镇区域水污染平衡核算管理进一步提高污水收集处理率的意见》,在全国首次开展全省的城市水污染物平衡核算工作,评估城市污水实际收集处理率,指导地方政府精准查找污水收集处理设施能力缺口;2022年1月份,江苏省政府印发了全国首个全省“十四五”生态环境基础设施建设规划,明确提出,到2025年全省城市生活污水集中收集处理率力争达到70%以上。

为落实相关要求,全面提高城镇污水处理工作水平,连云港市全面分析城市污水收集和处理情况,针对存在的问题提出解决措施,以指导该市污水集中收集处理工作,打好污染防治攻坚战,深入推动源头治理,持续改善生态环境质量。

以连云港市海州区城区为例,科学分析污水收集处理率偏低的原因并探讨改进对策,为其他地区提供借鉴。

1 连云港市排水现状

1.1 连云港市概况

连云港市位于淮河流域沂沭泗水系的下游地

区,地形以低山丘陵和平原洼地为主;市区建成区面积120 km²,市区人口65万人;东盐河、西盐河、排淡河、烧香河等十余条河道在城市内部纵横交错。2021年连云港市主城区售水量126 14万t,污水排放量137 56万t,污水处理量134 16.72万t,污水处理率97.53%,现状供排水需求关系相对较为平衡。

1.2 排水系统现状

连云港主城区的排水体制为雨污分流与截流式合流制并存。其中分流制面积约249.41 km²,占比91%;部分老城区采用截流式合流制,主要分布于龙尾河、东盐河和西盐河周边,围合面积约24.61 km²,占比9%。主城区污水管网总长度约702 km,服务面积约274 km²,污水管网覆盖率2.56 km/km²,存在管网稀疏区域。

连云港市主城区已建成7座污水处理厂,如图1所示,规模合计约30.85万t/d,实际处理水量约30.58万t/d。建成分散处理设施7座,污水泵站58座,城市污水处理设施每天累计污泥产生量约200 t(含水率80%)。

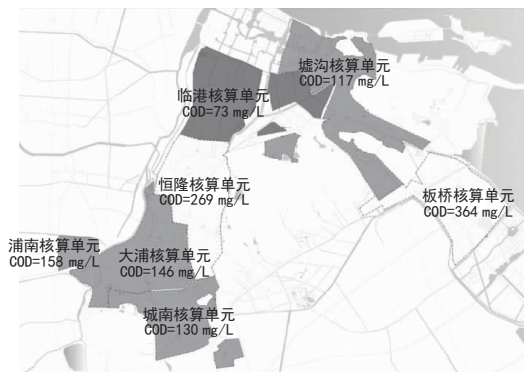


图1 污水处理系统范围与污水处理厂位置图

收稿日期:2023-04-21

作者简介:鲍子薇(1986—),男,本科,高级工程师,从事城市污水处理提质增效、城市内涝治理及海绵城市等方面工作。

2 污水集中收集率分析

2.1 生活污水集中收集率(以 BOD₅ 核算)

据统计,主城区人口 85.33 万人,每人每天 BOD 排放量 45 g, 每年排放的生活污染物 BOD 总量约 14 015.5 t。根据污水厂进水数据统计,BOD 年收集量约 5 445.1 t,因此,连云港主城区生活污水集中收集率约 39%。江苏省相关文件要求,2025 年苏北城市生活污水集中收集率达到 70%,距离目标差值约 31%。

2.2 生活污水集中收集处理率(以 COD_{cr} 核算)

经核算,2020 年主城区生活污水集中收集率(以高阶 COD_{cr} 核算)为 37%,距离目标值 70%差距约 33%,见表 1。

表 1 污水集中收集率 COD 核算表

计算参数	数值
MCOD 生活收集量 / 万 t	0.82
Q 生活污水集中收集低阶 / 万 t(260)	3 143.15
Q 生活污水集中收集高阶 / 万 t(350)	2 334.91
Q 生活用水 / 万 t	7 315.82
Q 生活污水产生 / 万 t	6 295.80
R 年 1 生活污水集中收集率低阶 /%(260)	49.92
R 月 1 低阶收集率月均值波动范围 /%	33.47~76.96
R 年 2 生活污水集中收集率高阶 /%(350)	37.09
R 月 2 高阶收集率月均值波动范围 /%	24.86~57.17

2.3 分析思路及方法

2.3.1 分析思路

基于“源-网-厂-河”系统思路,着重分析进水浓度低的区域,确定主要影响因素后,通过全过程水量水质监测进行定量分析;按照“城市污水处理厂服务范围-污水泵站服务范围-排水区块”的顺序,逐步缩小分析范围,逐级溯源,精准施策,分析思路流程如图 2 所示。

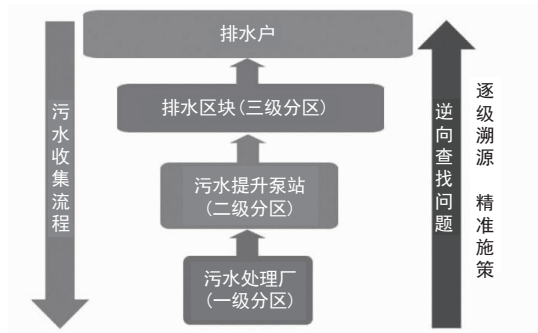


图 2 分析思路流程图

2.3.2 分析方法

(1)计算方法

基于物料平衡法计算外水侵入量,计算公式如式(1)、式(2)。

$$Q_{\text{生活污水}} + Q_{\text{工业污水}} + Q_{\text{外水}} = Q_{\text{进厂}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{生活污水}} \times C_{\text{生活污水}} + Q_{\text{工业污水}} \times C_{\text{工业污水}} + Q_{\text{外水}} \times C_{\text{外水}} = Q_{\text{进厂}} \times C_{\text{进厂}} \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{生活污水}}$ 为生活污水流量,t/d; $C_{\text{生活污水}}$ 为生活污水 COD 浓度,mg/L; $Q_{\text{工业污水}}$ 为工业污水流量,t/d; $C_{\text{工业污水}}$ 为工业污水 COD 浓度,mg/L; $Q_{\text{外水}}$ 为外水流量,t/d; $C_{\text{外水}}$ 为外水 COD 浓度,mg/L; $Q_{\text{进厂}}$ 为进厂总流量,t/d; $C_{\text{进厂}}$ 为进厂 COD 浓度,mg/L。

(2)参数选择

根据典型排水户排水水质调研,取生活污水标准 COD = 280 mg/L,外水水质根据现状水质检测指标取值,工业污水根据在线监测提供数值,无在线监测的厂,COD 值参考《连云港市城镇区域水污染物平衡核算工作报告》。雨季水质数据取 7 月~9 月,旱季水质数据取其余月份。

3 大浦污水处理厂核算单元分析

大浦污水处理厂承接海州地区的生活污水,服务面积约 45.6 km²,现状规模为 12 万 t/d,主要处理工艺为 A²/O+ 深度处理,出水水质执行一级 A 标准,尾水排放至大浦河。

3.1 污水处理厂(一级分区)效能分析

3.1.1 污水处理厂进水负荷

大浦污水处理厂 2018 年由 10 万 m³/d 扩建至 12 万 m³/d,此时进水负荷为 77.2%;2021 年进水负荷提高至 105.9%,已不能满足城市污水处理需求。大浦污水处理厂近年各月运行负荷变化如图 3 所示。

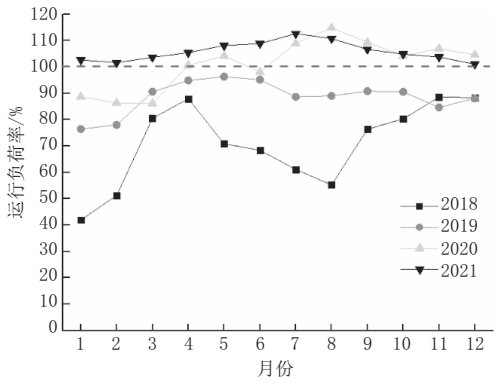


图 3 大浦污水处理厂近年各月运行负荷

3.1.2 污水处理厂进水水质

2018 年—2021 年,大浦污水处理厂进水水质变化见表 2,逐月 COD 浓度变化如图 4 所示。分析可知 COD 平均浓度在 137~152 mg/L 之间,BOD 浓度在

48.55~58.4 mg/L 之间,均低于考核要求。B/C 从 0.35 提升至 0.4,生活污水比例逐年上升。

表 2 大浦污水处理厂近年进水水质表

周期 /a	COD 浓度 / (mg·L ⁻¹)	BOD 浓度 / (mg·L ⁻¹)	氨氮浓度 / (mg·L ⁻¹)	B/C
2018	137.6	48.55	24.34	0.35
2019	152	52.4	23.5	0.34
2020	145	55.5	25.4	0.38
2021	146	58.4	25.9	0.4

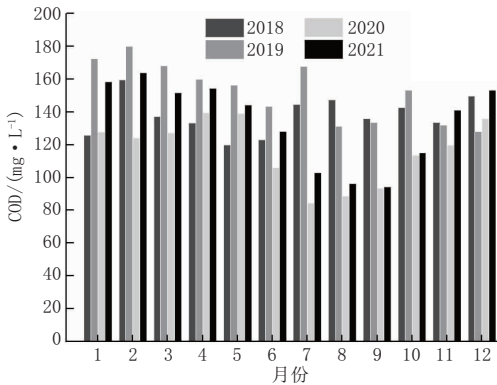


图 4 大浦污水处理厂近年逐月进水 COD 变化图

3.2 泵站(二级分区)效能分析

大浦污水处理厂核算单元内共有 14 座污水提升泵站,总规模合计 46.8 万 m³/d,泵站之间的拓扑关系如图 5 所示。

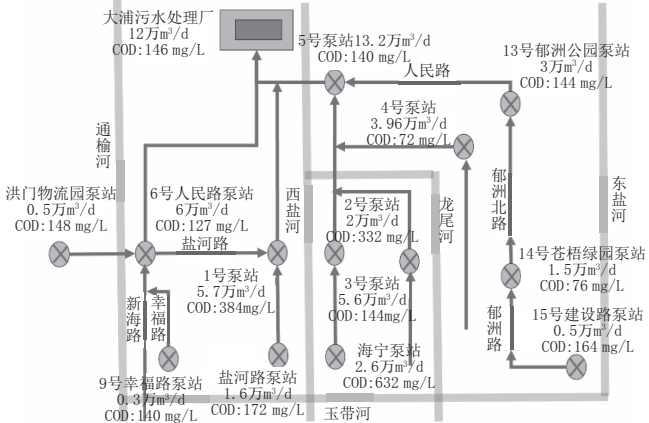


图 5 大浦核算单元泵站拓扑图

根据现场调研,集水池运行水位均高于设计最高水位,污水主管处于高水位运行状态。对各泵站的前池污水采样分析,基于物料平衡法进行量化评估,分析其收水范围存在的外水入侵情况。各泵站外水入侵量及入侵比例见表 3。

分析得到,除海州 1# 泵站、海州 2# 泵站、海宁路泵站水质(COD)浓度正常外,其余泵站进水水质均低于 200 mg/L。其中海州 4#、5# 泵站、人民路泵站、苍梧绿园泵站等的外水入侵比例高于 40%,下一

表 3 泵站外水侵入量计算表

编号	泵站名称	汇水面 积 /hm ² (万 m ³ ·d ⁻¹)	泵站规模 / (万 m ³ ·d ⁻¹)	COD 浓度 / (mg·L ⁻¹)	外水 侵入量 / (m ³ ·d ⁻¹)	外水侵 入比例 /%
1	海州 1# 泵站	307.4	5.7	384	0	0
2	海州 2# 泵站	172.30	2	332	0	0
3	海州 3# 泵站	264.59	5.6	144	23 614	41.43
4	海州 4# 泵站	189.42	4	72	26 957	67.14
5	海州 5# 泵站	176.93	13.2	140	56 571	42.86
6	人民路泵站	374.37	6	127	28 500	47.50
.....						
11	苍梧绿园泵站	195.03	1.5	76	9 857	65.71
12	建设路泵站	91.98	0.5	164	1 714	34.29
13	洪门泵站	222.24	0.5	148	2 000	40
14	浦发路泵站	350	0.3	155	772	25.74

步需优先重点对此区块进行管网排查和修复工作。

3.3 污水管网(三级分区)效能分析

3.3.1 污水管网建设情况

根据污水管网分布情况,将核算单元划分为 14 个二级分区,33 个三级分区,分区划分如图 6 所示。

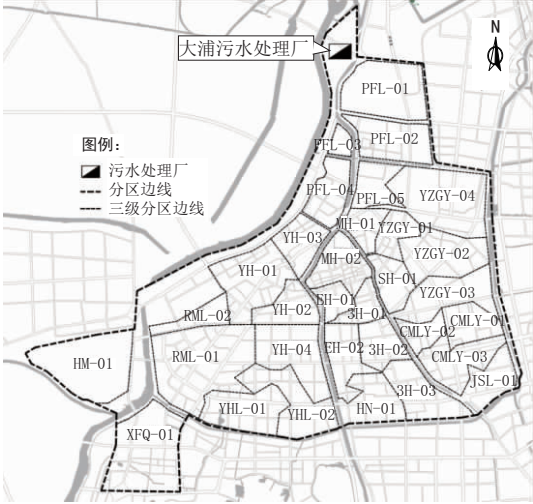


图 6 大浦污水处理厂二、三级分区图

结合管道普查资料及现场调研,大浦核算单元内合流制区域面积为 3.98 km²,占比 8%,分流制区域面积为 44.96 km²,占比 92%。范围内共建成污水管网 169.43 km,管网覆盖率 4.58 km/km²。存在部分管网稀疏区域,主要分布在蔷薇河东侧、凌州西路北侧和南侧,江化北路西侧等位置,管网稀疏区域面积共约 5.12 km²,污水管道缺口约 25 km。

3.3.2 污水管道检测分析

根据管道检测资料,大浦污水处理厂核算单元内共存在 509 处缺陷,包括变形、破裂、错口、起伏、支管暗接等结构性缺陷和沉积、障碍物、结垢等功能性缺陷;污水管网混错接 212 处,其中 4 处雨水接入污水管线。

核算单元内污水系统过河管道数量较多,共计11处,总长17.1 km。其中西盐河、龙尾河沿河截流管道分别长6.93 km、7.51 km,管径DN500-DN1200,管材为钢筋混凝土,存在明显的河水入侵风险。

3.3.3 三级分区效能分析

依据现有资料,先初步分析系统可能存在的问题,再根据污水系统组成及运行状况,梳理管线拓扑关系,重点分析进水浓度低的三级分区。针对大浦污水处理厂服务范围,本方案确定了26个关键节点并进行多次取样检测,其中一级分区监测点(泵站)2个,二级分区检测点(重要节点)24个。根据检测结果,制得分区低效能区域图如图7所示。

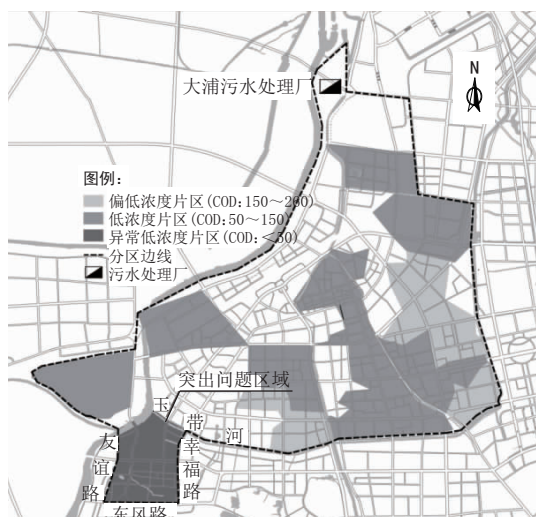


图7 大浦污水处理厂服务范围三级分区低效能图

从节点水质数据来看,核算单元内污水系统COD浓度整体偏低,大部分未达到260 mg/L。其中幸福路泵站01号分区COD浓度低于50 mg/L,污水收集效能极低。从图7可以看出,突出问题区域主要集中在友谊路以东,东风路以北,幸福路以西,玉带河以南收集范围,该范围内存在明显的河湖水、地下水、山泉水、雨水等外水侵入污水系统的情况,可能导致污水厂浓度偏低。同时,外水进入污水系统,使得污水厂水量负荷增加,可导致污水厂超负荷运行和上游管网漫溢问题。要彻底解决大浦污水处理厂效能低、浓度低的问题,需对污水管网系统和现有的合流制管网进行彻底的检查、修复和建设。

3.4 沿河管道与河道水质情况分析

3.4.1 合流制管道与河道水位关系

根据各河道的常水位(2.0 m)与汛期水位(2.4~3.24 m),以及河道两侧合流制管道的截流堰高度,可以得到在常水位下(晴天时),东盐河两侧的截流井不存在倒灌情况;龙尾河两侧的截流堰由于高

度较低,有12处倒灌、6处严重倒灌;西盐河两侧的截流堰有11处倒灌、5处严重倒灌。在规划30 a一遇排涝水位下(暴雨时3.24 m),各个河道两侧的截流堰均会发生倒灌情况。

3.4.2 管道水质与河道水质关系

通过检测沿河污水管道周边河道的水质,初步判断现状沿河管运行状况。根据排查结果可知,除凌州路桥处河道的 $COD_{Cr} > 40$ mg/L,其他监测点水质浓度均在较低范围。故凌州路桥附近河道和收集管网持续监测。

3.5 基于物料平衡的外水影响评估

根据物料平衡法进行计算,大浦污水处理厂平均约有 6.05×10^4 m³/d清水进入污水处理系统,占进水总量的55%。区域外水主要包括地下水、雨水、河水和山泉水4种类型。

(1) 地下水入渗

地下水主要通过管道和检查井的结构性缺陷进入污水管网^[2]。首先根据检测结果划定缺陷点所在范围,再结合地下水与污水管道的埋深分布情况分析地下水入侵高风险区域。采用夜间最小流量法估算地下水入渗量,在居民生活区下游污水管网节点安装水量监测设备,通过分析连续旱天夜间生活污水量,得到上游管网地下水入渗量^[3]。最终测算区域污水管网地下水入渗量1.78万t,地下水入渗占比13.8%。

(2) 雨水入侵

造成雨水入侵主要有两方面原因。第一,片区存在雨污分流改造不彻底现象,导致雨水系统与污水系统相通;第二,沿河截流箱涵的截流倍数较高,部分中后期雨水未能有效弃流,使雨水进入污水系统^[4]。区域旱季时,河水、山泉水、地下水等外水入侵量约为5.14万t/d,占比约43%;雨季时,外水入侵量约为7.20万t/d,占比约60%;最终计算出市区污水管网雨水入侵量2.06万t,雨水入侵占比16%。

(3) 河水入侵

造成河水入侵的原因有管道破损和河水倒灌^[5]。根据管网水质检测数据,位于幸福桥泵站片区的新海路-玉带河交叉口检测点,管道污水COD平均浓度为34 mg/L,与周边河道水质相近。排查分析得知有多条管道沿河或在河底敷设,存在管道与河道连通现象,导致河水进入污水管道降低COD浓度。海州5号泵站片区新浦中学北侧检测点的COD平均浓度为64 mg/L,排查分析得知该片区的东、西侧分

别紧邻龙尾河、西盐河,部分沿河管道与河道连通,导致河水进入污水管道降低 COD 浓度。经计算,区域污水管网河水入侵量 3.26 万 t,河水入侵占比 25.3%。

(4)山泉水入侵

现状城区存在多处雨污水通过水利沟渠排放。连云港市近些年虽然建设了部分截污工程,但是截流不彻底,将混有上游山泉水的水利沟渠截至污水主干管网系统,造成大量清水入侵^[6]。以锦屏山北侧片区为例,该区为海州老城区,城中村生活污水与山涧水汇入西门涧沟、甲子河、地质六队东侧涧沟、易居公馆北侧涧沟共 4 条沟渠。前两条排洪沟污水由海州泵站、甲子河泵站排至市政污水管道,影响污水水质浓度;后两条排洪沟污水直接进入玉带河,影响河水水质。最终计算出区域污水管网山泉水入侵量 0.26 万 t,山泉水入侵占比 0.2%。

3.6 排水户现状分析

方案对居住小区、公共建筑、“小散乱”、工业企业等排水户的现状进行分析,主要包括排水户内部雨污分流情况、排水出路及接管情况、水质水量、排水许可、预处理设施情况等。

3.6.1 地块雨污分流情况分析

服务范围内排水户总面积约 48.94 km²,合流制排水户面积 5.91 km²,占达标区总面积的 12.1%。目前,片区正在实施推进居民小区雨污分流改造工作,但尚未完全实现地块分流,仍存在雨污分流不彻底的情况。分流制区域以阳台和车库污水问题为主,也有部分小区存在污水管道私接,雨污水管混接错接等问题。

3.6.2 低效能排水户分析

本次对低浓度区域内的典型小区进行排查及水质检测。通过分析得知,影响污水浓度的主要原因包括:(1)排水户内仅有一套合流管道;(2)老旧小区管网出现破裂、渗漏等缺陷;(3)排水户内部部分雨污水管道混接;(4)化粪池等简易污水处理设施的初步处理影响了排出的污水浓度。

除此之外,大浦污水处理厂服务范围内现有 5 座垃圾中转站,废水排放量总计 16 t/d;施工降水和

基坑排水会通过错接混接点进入污水管网,或其本身含有的泥沙叠加源头错接混接和沿线商铺排污,也会影响片区污水收集处理系统的正常运行^[7]。

4 治理目标及工程措施

(1)治理目标

到 2025 年,连云港市(主城区)污水处理能力基本满足本地经济社会发展需要;进水 BOD 浓度高于 100 mg/L 的城市生活污水处理厂规模占比达 90%以上;建成“污水处理提质增效达标区”比例达到 60%。

(2)工程措施

包括管网混错接改造工程、管道清淤及修复工程、污水管网过河方案优化工程、精准截流工程、山涧水整治工程、智慧水务工程等,工程总投资约 37 亿元。

5 结 语

连云港市全面提升城市污水集中收集处理率,以污水处理厂进水浓度提升为导向,通过管网排查及重要节点水质水量分析,可知污水厂进厂浓度低的原因主要包括污水应收未收和外水侵入,分析外水侵入种类及原因,并结合物料平衡核算分析结果,定位重点问题区域。通过改造混错接管段、管道清淤修复、优化系统布局调整、精准节流等多项措施,提升污水收集率,实现污水厂进厂 COD 浓度达标的目标要求。

参考文献:

- [1] 刘文强,郁达伟,郑利兵,等.南昌某城市污水处理厂进水浓度低成因分析研究[J].环境科学学报,2022,42(9): 141-150.
- [2] 黄志心.福州市排水系统提质增效对策与思考[J].给水排水,2021,57(10): 45-51.
- [3] 陈小龙,李心梅,余黎,等.城镇排水管网分区监测诊断方法与应用[J].中国给水排水,2022,38(10): 40-45.
- [4] 杨浩铭,唐颖栋,魏俊,等.基于长历时监测的外水入侵诊断分析研究[J].给水排水,2021,57(S1): 218-221.
- [5] 张伟,潘芳,张海行,等.污水处理提质增效“一厂一策”方案的编制思考[J].中国给水排水,2023,39(2): 32-37.
- [6] 胡小凤,袁芳,石鹏远,等.福鼎市污水系统问题识别及提质增效策略[J].中国给水排水,2022,38(12): 61-67.
- [7] 孙永利.城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J].中国给水排水,2020,36(2): 1-6.

~~~~~  
(上接第 214 页)

- [6] 王庆祝.透水沥青路面在我国湿热多雨地区城市道路应用的可行性研究[J].中外公路,2005(6):27-29.
- [7] JTG E40—2007,公路土工试验规程[S].
- [8] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].

- [9] 刘文利.透水沥青路面设计研究[D].开封:河南大学,2018.
- [10] 李新贺,高明明.基于有限元法的透水沥青路面结构分析[J].华东公路,2014(2):59-61.
- [11] JTG D50—2017,公路沥青路面设计规范[S].