

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.019

基于清污分流的丘陵地区城镇污水提质增效方法与实践

刘云帆, 栗玉鸿, 孔 烨, 郭紫波, 周 霞
(中规院<北京>规划设计有限公司, 北京 100044)

摘 要: 当前我国许多城镇污水处理系统仍然面临着污水收集处理效能低下的问题,如何实现污水系统提质增效已经成为行业研究的焦点。以长江流域典型丘陵城市的实际案例为基础,着重探讨排水系统效能低下的根本原因和解决方案。提出要在做实系统排查的基础上,精准识别外水汇入点,定量评估外来水入流入渗情况,根据问题特征及道路管网改造条件“对症下药”。以清污分流为突破口,先重点,后全面,制定缓急有序的改造方案,可为山地丘陵城市实现污水系统提质增效提供指导和参考。

关键词: 丘陵地区; 排水系统; 提质增效; 清污分流

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0107-08

Methods and Practices of Quality and Efficiency Improvement of Municipal Wastewater Treatment in Hilly Areas Based on Water-sewage Diversion

LIU Yun-fan, LI Yu-hong, KONG Ye, GUO Zi-bo, ZHOU Xia
(CAUPD Planning and Design Co. Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: At present, many municipal wastewater treatment systems in China are still facing the problem of low efficiency in collection and treatment process. How to improve the quality and efficiency of sewage system has become a research focus. Based on the case study of typical hilly cities in the Yangtze River basin, the root causes and solutions of low efficiency of drainage system are discussed. It is pointed out that the point of extraneous inflow should be accurately identified and its infiltration should be quantitatively evaluated on the basis of thoroughly systematical investigation. Then appropriate strategies should be made according to the features of the problem and conditions of road network reconstruction. Therefore, with water-sewage diversion as a breakthrough, the urgent and orderly reconstruction plan should be conducted in the sequence of focus first and then overall, which can provide guidance and reference for improving quality and efficiency of sewage system in hilly cities.

Key words: hilly area; drainage system; quality and efficiency improvement; water-sewage diversion

根据2019年全国3 953座城镇污水处理厂的调查数据,67%的污水厂进水 $BOD_5 < 100 \text{ mg/L}$,目

前我国城镇污水收集处理系统普遍存在效能低下的问题,导致污染物未及时有效收集、城市地表水长期

黑臭^[1-3]。

2015年国务院发布《水污染防治行动计划》，提出到2020年长江等七大重点流域水质优良比例达到70%以上，地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在10%以内。到2030年，全国七大重点流域水质优良比例总体达到75%以上，城市建成区黑臭水体总体得到消除。2018年6月16日中共中央、国务院发布《关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》中明确要求“实施城镇污水处理提质增效三年行动，加快补齐城镇污水收集和处理设施短板”，污水提质增效工作已被提升至国家战略层面。

“清污不分”是导致我国污水收集处理系统效能低下的重要原因，对于长江流域丘陵城市而言，由于地形坡度大、降雨集中且汇流时间短、山溪泉水流量丰沛等原因，市政管网更易受到外来水冲击^[4]。外来水通过挤占排水管道容量，导致污水在雨季及旱季均大量溢流，严重影响河流水质，同时，污水处理厂的进水有机物浓度被大幅稀释，严重降低处理效能^[5]。

在新形势下，如何实现城市排水系统从“规模增长”向“质量提升”转变、切实提升排水系统效能，已成为行业研究热点。竹溪县是长江流域典型的丘陵地区城市，“清污不分”导致的污水系统效能低下问题较为突出。以竹溪县排水系统为研究对象，制定出以清污分流改造为核心的县城污水提质增效的措施，以期为其他山地丘陵城市开展污水提质增效工作提供参考经验。

1 工程概况

1.1 工程背景

竹溪县是汉江最大支流堵河的源头，南水北调中线工程水源区之一，位于丹江口水库上游，地形以山地丘陵为主，山地气候特色显著。竹溪河位于竹溪县北侧，流域面积659 km²，河流长度69.3 km。竹溪县多年平均降雨量1 058 mm，多集中在夏季，降雨可达全年总降水量的85%。

竹溪县为保障南水北调工程供水安全，近年来对高污染工业企业进行了关停并转和治理，并开展了河道清淤、污水处理厂提标改造、沿河截污、管网扩容改造等大量控污、治污工程实践，取得了一定的效果。尽管如此，城区污水厂前仍发生明显旱天溢流。通过简单新增控污设施已难以有效应对入河污

染物的控制要求，迫切需要全面摸查排水系统，找准问题，对症下药。

1.2 排水系统现状

竹溪县中心城区现有1座生活污水处理厂，处理规模为3×10⁴ m³/d，服务人口9.7万人。

近年平均进水水质见图1，出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。

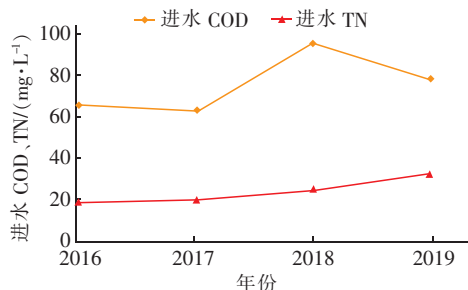


图1 污水处理厂年均进水水质

Fig. 1 Annual average inflow water quality of sewage treatment plant

竹溪县现状城区面积约4 km²，排水系统以合流制为主，虽然在近年开展了大量雨污分流改造工作，但由于缺乏系统性，存在严重的上分下不分，或下分上不分的问题，加之城区内排水管网系统维护管理不足，造成目前混错接严重，大部分雨水管线末端均接入截污干管，实际排水体制仍是合流混流为主，占86%，分流占14%，相对较低。

竹溪县中心城区现状排水体制分区见图2。



图2 竹溪县中心城区现状排水体制分区

Fig. 2 Division of current drainage system in the central district of Zhuxi County

2 现状污水处理系统评估分析

2.1 处理能力满足需求

根据《城镇居民生活污染物产生、排放系数》，确定竹溪县城人口生活污水排放量为180 L/(人·d)，以规划城镇生活污水收集率为100%计

算,平均污水产生量为 $1.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。目前竹溪河流域全部集中供水水源的供水规模为 $3.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,管网的漏损率按 20% 考虑,产污系数依照 0.75 计算,根据供水规模反推污水排放量为 $1.86 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,与直接计算的结果相近。

目前,竹溪县污水厂处理能力达到 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行一级 A 标准,现有规模可以满足旱天城镇居民生活污水排放处理需求。

现状竹溪河截污主干管网规模大都在 $D600 \sim 1\,200 \text{ mm}$ 之间,坡度平均为 0.16%,管材以 HDPE 塑料波纹管为主,经测算,排水能力为 $297 \sim 1\,060 \text{ L/s}$,即 $25\,660 \sim 91\,600 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

由分析可知,现有两岸截污管道能力亦可满足城镇居民生活污水旱天排放处理需求。总体来看,竹溪流域的水体污染,与厂网规模不足的关系并不明显。

2.2 实际运行效能

查阅竹溪县污水厂运行日志可知,竹溪县近 4 年的污水处理厂平均进水 COD 仅为 75.36 mg/L ,TP 仅为 1.0 mg/L ,见表 1。而 2017 年全国污水处理厂进水浓度以 COD 计,约为 260 mg/L 。相比之下,德国全国污水厂平均进水 COD 为 547 mg/L ,TP 为 7.3 mg/L ^[6]。可见,竹溪县污水处理厂污染物负荷远低于德国平均水平和国内平均水平,根据现场调研情况,污水厂前溢流水质接近河道水质。

表 1 竹溪县污水厂 2016 年—2019 年进水污染物浓度

Tab.1 Influent pollutant concentration of sewage treatment plant in Zhuxi County in 2016–2019 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

年份	COD	BOD ₅	TN	TP
2016	65.75	30.42	19.25	1.56
2017	62.33	27.64	19.67	0.84
2018	95.42	30.25	24.17	0.80
2019	77.95	24.33	32.33	0.79

参照竹溪县生活污水厂运行年报表,依照三部委联合发布的《城镇污水处理提质增效三年行动方案》中的实际污水处理效率计算方法,对竹溪县城生活污水集中收集率进行测算,结果显示当前城镇生活污水实际收集率 $< 40\%$ 。可见,竹溪污水处理厂虽然处理能力满足理论需求,但实际运行效能却仍然处于较低水平^[7]。

2.3 旱天外来水影响显著

竹溪流域地貌以低山丘陵为主,地下水富集,雨

季过后较长时间,地下含水层持续由出露山间泉眼排泄地下涌水。在管网普查时发现,旱季在城区周边常见山泉水经地表径流汇入城区市政管网。竹溪县城管网以合流为主,自然汇水通道多被城市道路覆盖。清水无通道可走,进入污水管网,造成管网水力负荷过大^[8]。

此外,竹溪河城区段为实现较好的景观效果,采用橡胶坝拦河蓄水,沿河截污干管全年多浸没于水下。由于管网密闭性不佳,加之河水水位过高,导致污水与河水互通。经管网探测发现,截污干管在旱季仍保持满负荷运行,收集水量远超污水厂设计规模,大量未经处理的污水在污水处理厂前的管网溢流口溢流。

竹溪县污水处理厂处理规模约 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,以污水厂进水浓度计算每日污染物处理量,反向推算污染处理效能,从而估测污水系统外来水量及污水溢流量。

经理论测算可知,竹溪县城镇排水管网中外来水量超过 $6.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。由此可知,即使在旱天,截污管线内水量仍远超污水厂处理规模和管网容纳能力。

综上可知,由于外水倒灌进入排水管网,挤占管网空间,真正的污水被顶托入河,严重制约了污水厂实际处理效能^[9]。由此可见,解决管网渗漏与混错接,阻绝外来水进入污水系统,才是提质增效的根本任务。

3 精确识别,确定管网问题

3.1 排查山泉水接入点

经径流汇水分析可知,竹溪河城区段流域汇水总面积 239 km^2 ,旱天大部分山间涌水经由彭峪沟、灌沟、大峪沟等山洪沟排入竹溪河,这部分产水区面积约占城区段流域面积的 85%。由于城区周边部分山洪沟已被城市填埋覆盖,未能及时排出的山泉涌水通过城市市政管网被沿河截流,该部分汇流面积约为 25.1 km^2 。

通过对现状污水管网进行实地普查,借助管道潜望镜(QV)、管道机器人(CCTV)等设备对排水管网运行情况进行探测,识别流量较大的主要外来水入渗点 14 个(见表 2)。通过现场监测,统计旱天山泉水汇入市政管网流量共计 $0.230 \text{ m}^3/\text{s}$,考虑到普查中可能存在尚未发现的渗入点,估算旱天山泉水总汇流量约在 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。

表2 外来水汇入点统计

Tab.2 Statistic of incoming points of external water

清水来源	监测平均流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	COD/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	SS/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
山泉水	0.014	25	55
山泉水	0.030	22	37
农田排灌,山泉水	0.015	41	78
纱帽山水库排水	0.030	19	31
农田排灌,山泉水	0.008	45	89
山泉水	0.011	23	46
山泉水	0.007	14	32
农田排灌	0.010	51	44
农田排灌,山泉水	0.007	21	65
农田排灌	0.011	34	71
农田排灌,山泉水	0.013	24	59
农田排灌,山泉水	0.006	44	35
农田排灌	0.022	67	88
山泉水	0.048	33	49

3.2 识别严重渗漏管段

受建设时期、技术水平和经济条件的制约,城区污水收集设施沉降淤积破损较多。采用 QV、CCTV 和声呐等对漏损截污干管进行系统检测,发现沿河有 3.7 km 截污干管存在不同程度漏损,由于截污管

常年淹没于竹溪河常水位以下,造成大量河水由破损点进入截污干管,由外来水总量扣减山泉水汇入量,估测河水入渗量约 $3.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

对竹溪县污水处理厂 2016 年 1 月—2019 年 6 月的进水浓度监测数据进行分析后发现,该厂进水量、水质大部分时间保持稳定。在 2017 年底,竹溪县对竹溪河南侧跃进桥—三堰桥之间的截污干管进行更换扩容,施工期间由于塌坝放水,河道水位下降,污水厂进水量大幅减少,污染物浓度也有一定程度提升。但 2018 年 4 月后,随着河道再次蓄水,污水厂进水量再次超过处理规模,进水 BOD_5 浓度也同时下降(见图 3)。

分析这一现象,一方面是河道水位上涨后,截污管再次淹没,造成未修复管段发生河水入渗,稀释进厂污水浓度;另一方面,在未能有效减少河水入渗和山泉水汇入的情况下,单纯增大截污干管规模,造成截流的山泉水、入渗河水水量增加,污水厂进水浓度进一步下降^[10-12]。

由此可见,盲目增大管网规模并不能解决旱季溢流污染问题,在此之前,必须对外来水汇入点进行准确识别与修复^[13]。

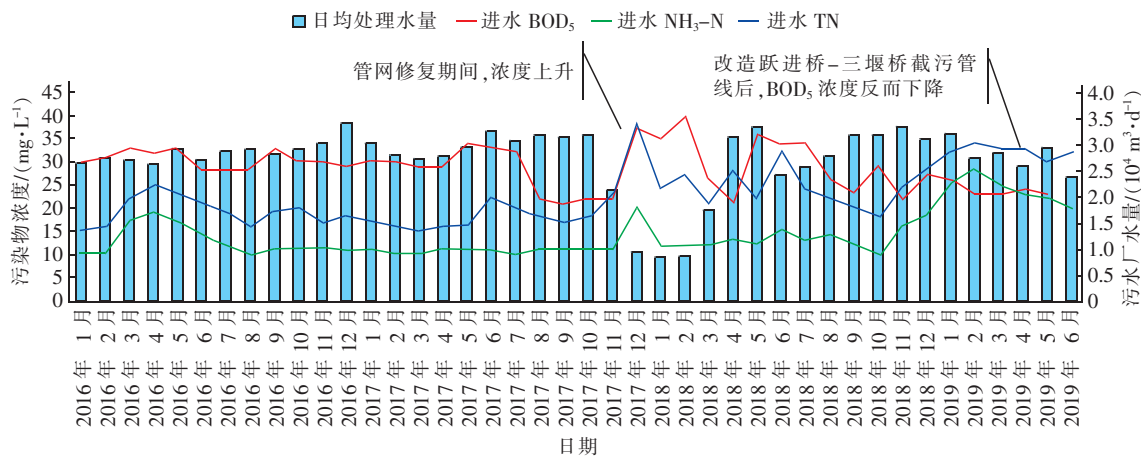


图3 竹溪河截污干管修复前、后水量和水质变化

Fig.3 Change of water quantity and quality in Zhuxi River before and after rehabilitation of sewage interception of main pipe

3.3 摸排混错接位置

竹溪县现状管网存在大量的雨污水混错接,导致雨污分流效果较差,雨水管线内混杂大量污水,无法满足直排要求,只能在下游接入截污干管,完全失去了分流排水体制的优势,同时增大了沿河截污管水力负荷,造成厂前溢流严重。

管网普查混错接点分布情况见图 4。

根据管网普查结果:

① 现状市政雨污管道混错接点共计 168 处,其中 137 处为雨水错接污水,30 处为污水错接雨水,1 处为管线异常混接;

② 小区公建内部及出户管接入道路处也存在雨污混错接的情况;

③ 35 处小区等合流制管道接入市政雨水管道。

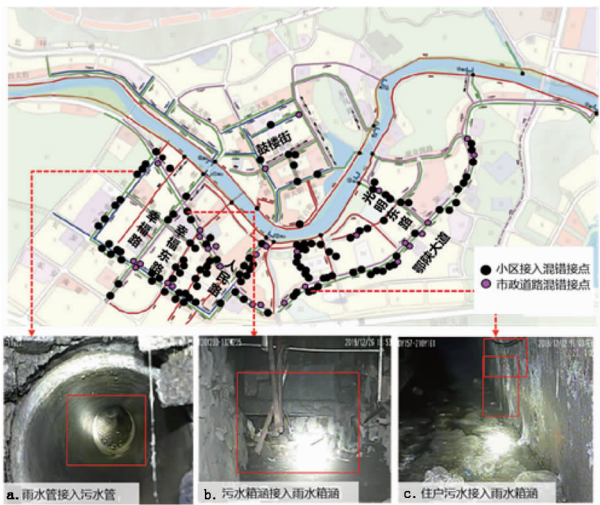


图 4 管网普查混错接点分布

Fig. 4 Distribution of mixed and wrong connection points in general survey of pipe network

4 系统解决方案

竹溪县城人口全年污染物产生量以 COD 计, 共计 2 299 t/a, 以污水实际收集处理率 40% 计, 全年由城镇生活污水溢流污染直接贡献的 COD 排放量约为 1 379 t/a, 由污水达标排放造成的 COD 排放量约为 547 t/a。

通过分析竹溪县多年降水资料可知, 该地区年均 2 mm 以上降水 66.1 次, 折算合流制管网溢流时长不超过 124 d。即, 若对排水系统进行有效的清污分流改造, 可减少 100% 的旱季溢流污染及部分雨天 CSO 溢流污染, 从而使全年 COD 排放量削减 1 001 t 以上。

综合考虑治理成本和可行性, 在不进行全面雨污分流改造的前提下, 治理重点应放在解决旱天溢流污染问题。近期 (2020 年—2023 年) 应开展的重点工作: ①基于管网全面普查成果, 通过分流旱天山泉、降低河道水位、修复主干管渗漏点等工作, 减少旱天管网水量, 把建城区以外的山溪泉水, 以及建城区的内沟河水等与市政污水收集系统分离开来。②对分流地区污水收集管网进行混错接改造和修补工程, 形成密闭的城市污水收集系统, 雨水可通过就地散排、边沟边渠等形式就近排入自然河道, 使局部分流管线充分发挥功能。③对重点地区, 尤其是雨水汇流主通道、上游清水排出通道进行雨污分流改造。通过近期以清污分流为核心的系列改造项目, 实现打通旱天清水出路。最终保证旱天不溢流, 争取雨

天少溢流, 从而大幅削减入河污染物排放量。

污水提质增效远期 (2023 年—2025 年) 主要对策包括进行彻底的雨污分流改造及加强源头滞蓄能力。对机关事业单位、学校等较大规模的独立区域, 开展红线内排水管网的雨污分流整改; 对住宅小区等其他红线内的排水管网进行错混接整改和雨污分流改造。

同时, 积极探索推进厂网一体工作, 提高管网维护水平, 杜绝管网混错接, 阻截清污混流, 解决生活污水管网外来水, 提升污水厂进水污染物负荷, 以污水提质增效促进污染控制 (见图 5)。

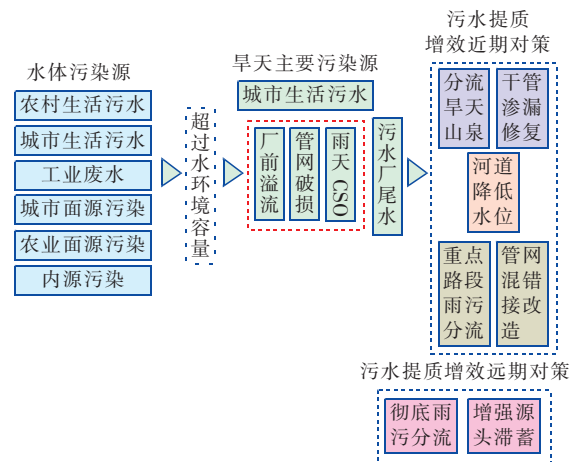


图 5 污水提质增效示意

Fig. 5 Schematic diagram of wastewater quality and efficiency improvement

4.1 因地制宜, 建设清水通道

对管网普查中发现的 14 个主要外来水汇入点进行改造, 新建清水导流通道。同时根据现场道路条件、现有管涵布置情况等因素分别制定分流方案。彻底打通外来山溪泉水自汇入点至河流排口的完整排放通道。清水通道建设思路见图 6。

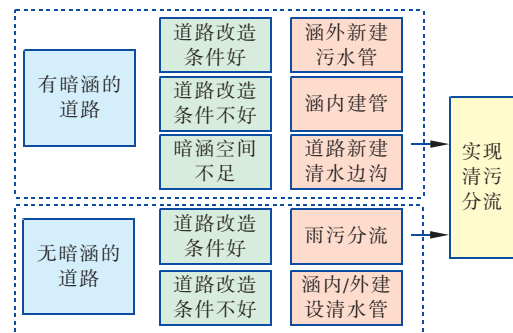


图 6 清水通道建设思路

Fig. 6 Thoughts on construction of clean water channel

规划清水排泄通道应基于地表高程、现状道路及管线特点。县城现状排水系统中存在较多由山洪沟加盖板后形成的合流排水暗涵,清水通道建设应充分利用现有暗涵,通过在暗涵旁新建污水管线,适当改造后作为清水通道和雨水通道,结合末端排口改造,实现快速排除旱天清水,并在雨天泄流山洪的作用。若道路建设条件受限,暗涵两侧难以建设,可以考虑涵内建设污水管线。无暗涵的道路选择重要汇流通道开展雨污分流建设。利用雨水管线作为清水通道。改造条件不好的路段,无法进行雨污分流改造,可单独建设清水管线,或建设路面清水边沟^[14-15]。竹溪清水通道示意图7。



图7 竹溪清水通道示意

Fig. 7 Schematic diagram of the drainage system of Zhuxi

4.2 降低河道水位,修复渗漏管道,阻断河水进管

根据管网普查成果,竹溪县管网渗漏缺陷占总结构缺陷的13.67%。地下水、河水会通过管道结构性缺陷处渗入管网,解决河水由截污管破损处倒灌最有效的方法就是降低河道水体水位,将排口暴露出来^[16-17]。结合现状竹溪河水面与周围条件,改造竹溪河河槽断面为复式断面,适当降低河道水位,在入河排水口设置防倒灌设施,防止河水进入污水管网。旱季流量小,水体在主河槽中,降雨排洪时,水位可上升至河滩地(见图8)。

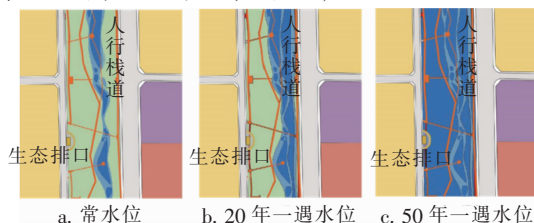


图8 河槽断面改造示意

Fig. 8 Schematic diagram of channel cross-section reconstruction

考虑沉水植物的适宜生长条件,设计河道平均水深0.7~1.0 m。

解决外水入渗需对管网进行修复,近期优先对竹溪河南北岸渗漏严重截污管段进行改造修复,提高污水厂进水污染物浓度。同时,加强对管道的日常检查维护,通过人工或机器进行检测,及时发现破损管道并修复。结合河道构建水生生态系统,实现真正的“水清岸绿,鱼翔浅底”。

4.3 缓急有序,逐步推进混错接与雨污分流改造

按照缓急有序的原则开展市政道路及小区的混错接及雨污分流改造工作,通过合理设置排水体制,逐步改造提升雨污分流比例,减少合流制溢流量与频次。规划近期(2020年—2023年)对县城内全部市政道路进行雨污水混错接点改造,对幸福西路等2.4 km主要清水通道进行雨污分流改造,初步实现旱天清污分流。规划中期(2023年—2025年)逐步开展鄂陕大道等12条主要市政道路周边小区的混错接点改造。规划远期(2025年—2030年)实现县城范围内市政道路及小区雨污水全分流,彻底消除城区生活污水溢流污染问题。推进海绵城市建设,实现源头滞蓄,提高山溪泉水及雨水收集利用能力。

小区内开展雨污分流改造时,由于原有合流收集系统与化粪池、建筑污水出户管的连接相对较为复杂,因此小区内雨污分流改造若是将原有合流管线保留为雨水管,则污水和雨水两套收集系统均会产生工程量,开挖范围较大,综合考虑,小区源头的雨污分流改造建议优先采用“将合流管保留为污水管、新建雨水收集系统”的改造方式。市政道路开展雨污分流改造时,考虑到雨水管规格一般比污水管大,优先采用“将合流管保留为雨水管、新建污水收集系统”的改造方式。

5 结语

① 针对竹溪县的案例研究表明,地下水资源丰富的山地丘陵地区城镇,山溪、泉水对城市市政管网水力负荷冲击较大,严重挤占管网空间,造成污水外溢,进厂污水浓度过低,据估测,竹溪城区山溪泉水及地下水管段入渗量约为 $660 \text{ m}^3/(\text{km} \cdot \text{d})$ 。

② 沿河截污管如果长期浸泡在河道水体水面以下,易因河流冲刷增加管道损坏的可能,同时,高水位也增加了及时发现破损管段的难度。据估测,竹溪县城沿岸每日倒灌进入截污干管的河水可达 $3.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远超过污水处理规模。

③ 根据竹溪县实际需求,制定了竹溪县城近期提质增效“三步走”改造方案,通过全面普查,修复渗漏,阻截外水,改造混错接,打通清水排泄通道,降低河流水位等措施,实现消除旱天溢流,减少25%以上雨天溢流。全年可使生活污水 COD 排放量削减约50%,而改造成本仅为全面雨污分流改造的1/4。

参考文献:

- [1] 解铭. 老城区雨污分流改造的设计与思考——以咸阳市中心城区为例[J]. 给水排水,2020,46(2):49-52.
XIE Ming. Design and thinking of the renovation of rain and sewage separation system in old urban area; a case study reconstruction in central urban district of Xianyang [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(2): 49-52 (in Chinese).
- [2] 唐建国. 雨水排水口出流污染辨析和削减之道[J]. 给水排水,2020,46(2):1-5.
TANG Jianguo. Identification and reduction of pollutants from the stormwater outlet [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(2): 1-5 (in Chinese).
- [3] 唐建国,王家卓,马洪涛. 完善城市排水系统,巩固和提升黑臭水体整治成效[J]. 给水排水,2018,44(1):1-7.
TANG Jianguo, WANG Jiazhao, MA Hongtao. Optimize the urban drainage system to consolidate and enhance the effectiveness of the treatment of black and odorous water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(1): 1-7 (in Chinese).
- [4] 吴薇,朱晓娟,赵江. 丘陵地区排水防涝系统研究[J]. 市政技术,2015(2):132-135.
WU Wei, ZHU Xiaojuan, ZHAO Jiang. Research on flood drainage system in hilly area [J]. Municipal Engineering Technology, 2015(2): 132-135 (in Chinese).
- [5] 戴永康,罗锋,温巧贤. 东莞市城镇污水处理提质增效潜力分析[J]. 中国给水排水,2020,36(4):1-5.
DAI Yongkang, LUO Feng, WEN Qiaoxian. Potential analysis of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment in Dongguan [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 1-5 (in Chinese).
- [6] 唐建国,曹飞,全洪福,等. 德国排水管道状况介绍[J]. 给水排水,2003,29(5):4-9.
TANG Jianguo, CAO Fei, QUAN Hongfu, et al. Brief on German sewage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(5): 4-9 (in Chinese).
- [7] 赵明,吴捷,张黎明. 城市黑臭水体整治技术运用及分析——以镇江市跃进河水环境整治工作设计为例[J]. 工程技术研究,2020,5(9):263-264.
ZHAO Ming, WU Jie, ZHANG Liming. Application and analysis of urban black and odorous water treatment—taking the design of Yuejin River environment renovation project in Zhenjiang City as an example [J]. Engineering and Technological Research, 2020, 5(9): 263-264 (in Chinese).
- [8] 吴雪洁,陈晓群,周念来,等. 竹溪河新城段水生态保护与修复措施探讨[J]. 资源节约与环保,2019(5):5-6.
WU Xuejie, CHEN Xiaoqun, ZHOU Nianlai, et al. Discussion on water ecological protection and restoration measures in Xincheng section of Zhuxi River [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2019(5): 5-6 (in Chinese).
- [9] 徐一剑,孔彦鸿,李昂臻,等. 商丘市黑臭水体综合整治规划探索[J]. 给水排水,2020,46(4):99-105.
XU Yijian, KONG Yanhong, LI Angzhen, et al. Black and odorous water treatment planning of Shangqiu City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(4): 99-105 (in Chinese).
- [10] 郑雄伟,王霞,康瑛,等. 丘陵地区城市排水防涝标准及泵站规模探讨[J]. 给水排水,2016,42(11):21-24.
ZHENG Xiongwei, WANG Xia, KANG Ying, et al. Discussion on the standard of urban drainage and waterlogging prevention and the scale of pumping stations in hilly areas [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(11): 21-24 (in Chinese).
- [11] MEDINA R, PHAM C, PLUMLEE M H, et al. Distributed temperature sensing to measure infiltration rates across a groundwater recharge basin [J]. Ground Water, 2020. DOI:10.1111/gwat.13007.
- [12] BUDD E, BABCOCK R W, SPIRANDELLI D, et al. Sensitivity analysis of a groundwater infiltration model and sea-level rise applications for coastal sewers [J]. Water, 2020, 12(3):923. DOI:10.3390/w12030923.
- [13] 罗惠云,张玲,刘淑琳. 南方某市市政污水管道水质检测与原因分析[J]. 给水排水,2016,42(6):119-124.

(下转第119页)