

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.011

真空排水技术在老城区雨污分流工程中的应用

严巾堪^{1,2}, 刘晓龙^{1,2}, 王天聪^{1,2}, 曹会涛^{1,2}

(1. 山东中车华腾环保科技有限公司, 山东 济南 250022; 2. 中国中车污水处理与真空排水
技术研发中心, 山东 济南 250022)

摘 要: 雨污分流是提升老城区环境的有效措施之一,但老城区一般地下管线复杂,采用传统重力排水技术施工改造难度较大。潍坊滨海老城区雨污分流改造项目采用真空排水技术进行污水收集,相比重力排水技术,在管网施工与维护中均体现出了明显优势。介绍了系统雨污分流改造方法及污水量、真空泵站、收集箱、真空管道及电气系统的设计关键点,可为类似工程提供借鉴。

关键词: 真空排水; 雨污分流; 老城区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0051-05

Application of Vacuum Drainage Technology in Rainwater and Sewage Diversion Project in Old Urban Area

YAN Jin-kan^{1,2}, LIU Xiao-long^{1,2}, WANG Tian-cong^{1,2}, CAO Hui-tao^{1,2}

(1. Shandong CRCC Huateng Environment Co. Ltd., Jinan 250022, China; 2. CRCC Sewage Treatment Technology and Vacuum Drainage Technology R & D Center, Jinan 250022, China)

Abstract: Rainwater and sewage diversion is one of the effective measures to improve the environment of the old urban area. However, the distribution of the underground pipelines are complex in the old urban area. It is difficult to reconstruct the pipelines by using the traditional gravity drainage technology. In Weifang Binhai old urban area, the vacuum drainage technology is used for sewage collection in rainwater and sewage diversion reconstruction project. It shows obvious advantages in pipe network construction and maintenance comparing with gravity drainage technology. The transformation method of rainwater and sewage diversion, and the design key points of sewage volume, vacuum pumping station, collection box, vacuum pipeline and electrical system were introduced, which can provide reference for similar projects.

Key words: vacuum drainage; rainwater and sewage diversion; old urban area

在过去的百余年间,传统城市生活污水排水系统在提高人们的生活质量以及用水状况方面作出了极大的贡献^[1],但由于历史原因,目前我国很多城市的排水系统已经很难适应现代城市的卫生需求与水环境保护的需求。受地表道路、建筑物以及地形、地质等条件的限制,这些城市存在大量的重力排水管道施工的盲区,依靠传统的重力排水技术,城市污水收集率只能达到 70% ~ 80% 的上限^[2]。2013 年 4 月《国务院办公厅关于做好城市排水防涝设施建

设工作的通知》(国办发〔2013〕23 号)提出要加快推进雨污分流管网的改造与建设,随后全国各地掀起了雨污分流管网改造的高潮。

在山东省潍坊市滨海老城区雨污分流改造工程中,部分区域采用了室外真空排水技术对生活污水进行单独收集排放,项目取得了良好的示范效果。

1 工程背景

潍坊滨海老城区工程所在地区地势平坦,区域内大部分为居住生活用地,原采用雨污合流制排污

方式,地下管线复杂。区域内大部分雨污水通过重力管道统一汇集到楼前化粪池,然后从化粪池进入污水市政管网(见图1)。在雨水充沛的季节,雨污水会溢出,对环境影响非常大。另外小区内重力管道淤积严重,平时污水流通不畅;大雨时淤泥冲出,会给污水厂带来很大压力。随着近年来环境要求日益提高、环保督察愈加严厉,合流管网改造势在必行。

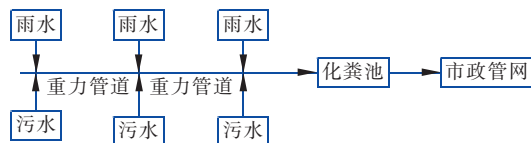


图1 原雨污合流示意

Fig. 1 Schematic diagram of original rainwater and sewage confluence

2 工程方案

雨污分流改造有两项核心工作,其一是将生活污水与雨水进行分类收集,其二是将生活污水与雨水进行分流。

2.1 雨污收集

该工程中雨水采用重力排水技术进行收集,生活污水采用室外真空排水技术进行收集。

室外真空排水技术起源于19世纪欧洲,经过不断改良发展,目前已经在欧洲、美国、日本等发达地区得到了大范围运用。20世纪90年代以后,该技术被引入国内^[3],并得到了小规模的应用。近年随着社会经济的发展,室外排水技术得到了更好的推广,如在常熟宝岩社区^[2]、苏州吴中区^[4]、北京市房山区^[5]等地都取得了较好的工程效果。该工程地处平原地带,地势开阔,但地下管线复杂,采用重力排污施工难度较大,而室外真空排水系统排污管径小、埋深浅、铺设灵活,可适当提升,施工更加便利快捷,同时也减小了施工对居民生活的影响。其次污水在管道中流速高,也避免了后续管道清淤的难题。另外室外真空排水系统是一个密闭的系统,避免了污水外渗或地下水内渗的可能。结合工程造价综合考虑,该工程优先采用了室外真空排水系统。

室外真空排水系统是利用负压管道中的负压梯度将用户处排放的污水逐步输送、收集至真空中心集中处理及排放的污水收集系统。它利用真空设备使真空排污管道内产生一定真空度,通过空气压差逐级输送污水至真空泵站。系统主要由收集箱、真

空管道和真空泵站等部件组成,如图2所示。

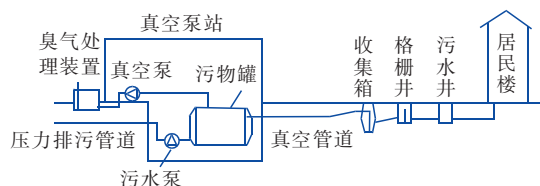


图2 室外真空排水系统示意

Fig. 2 Schematic diagram of outdoor vacuum drainage system

该工程需要收集排放相邻三个小区、大约1000户居民的生活污水。考虑三个小区最大距离不超过2 km,故仅设置1套室外真空排水系统。系统平面示意如图3所示,污水首先经收集箱进入小区内真空排污支管,再分别汇入主干道大沂路上的两根DN250真空干管,最后经真空泵站排出。真空泵站位于三个小区西北角,大沂路以西。

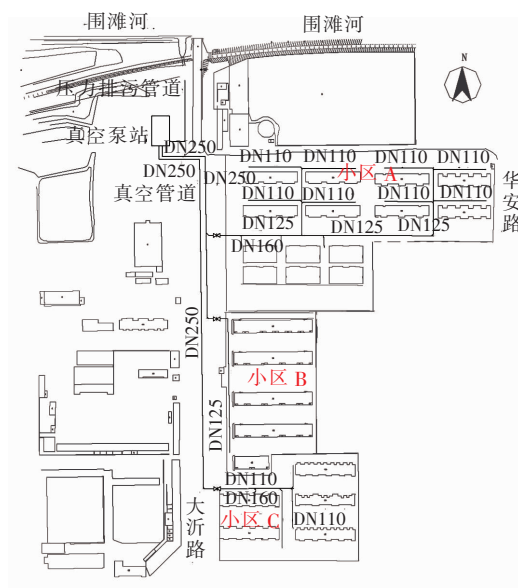


图3 工程排水系统平面示意

Fig. 3 Plane diagram of drainage system

2.2 雨污分流

雨污分流工作需要从源头抓起,小区内雨污分流有两种模式:模式一在化粪池后端进行污水截流后真空收集,新建雨水管道,如图4所示;模式二是在每个单元污水立管排水口处截污进行真空收集,原污水管道改为雨水管道,如图5所示。采用分流模式一,收集箱集中安放,较适合小区内部管线复杂、施工不便的场合,同时也减少了工程量;采用分流模式二,收集箱分散布置,污水可快速排空,减少了管路淤积的可能。该工程结合实际环境,两种分

流方式均有所应用,但无论采用哪种分流模式,对现有重力管网的清淤工作都是必不可少的。

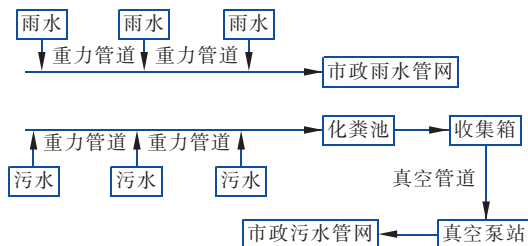


图4 小区内雨污分流模式一

Fig. 4 Rainwater and sewage diversion mode 1 in the community

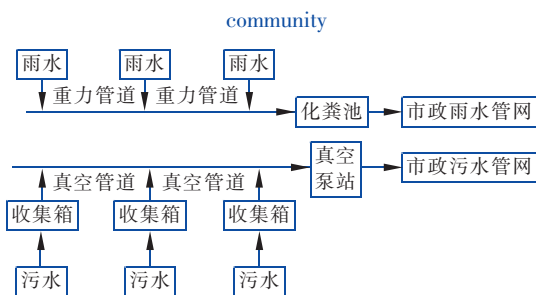


图5 小区内雨污分流模式二

Fig. 5 Rainwater and sewage diversion mode 2 in the community

3 室外真空排水系统设计

室外真空排水系统的设计包含污水量、真空泵站、收集箱、真空管道、电气系统等设计工作。

3.1 污水量设计

系统需要收集的污水量计算至关重要,这将影响到设备的选型,会对工程成本产生很大的影响。污水量的计算和系统服务人口、当地用水指标等相关,可按照现行国家标准《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016 年版)、《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)、《室外给水设计规范》(GB 50013—2018)有关规定进行计算。该工程按 150 L/(人·d) 用水量计算,系统生活污水量为 600 m³/d。

3.2 真空泵站设计

真空泵站是系统的核心,起到产生系统必需的真空能量、收集并排出污物的作用。真空泵站主要由真空泵、污水泵、污水罐、控制柜、臭气处理装置等组成,设备的选型计算方法详见文献^[6],根据污水量 600 m³/d 进行设计计算。要求真空泵站的流量和工程合理匹配,能保证在峰值流量下,管路末端最

不利点也能完全实现污水的真空收集。真空泵、污水泵应选择工作效率较高的泵,并设置一定的冗余备用,同时综合考虑设备的投资、运行及维护费用。该泵站选用了爪式真空泵,其比水环泵和油环泵效率高 20%~30%,单泵名义抽速 300 m³/h,3 用 1 备;污水泵选用无堵塞干式离心泵,相比同等规格复合泵,具有更好的污物通过能力,单泵流量为 19 m³/h,3 用 1 备。真空泵站排出的气体经臭气处理装置处理后进行排放,臭气处理装置采用生物除臭方式,半埋地式结构,顶部设置雨棚,以防止大量雨水进入。

真空泵站一般选择设置在真空服务范围内的地势最低且对周边环境(噪声、气味)影响较小的位置,可采用地下式或半地下式布置方式。该工程地处开阔地带,真空泵站远离居住区建设,故采用了半地下式布置,可便于设备的运维,同时降低了对周边环境的影响。

3.3 收集箱设计

收集箱是系统的终端设备,用于暂时收纳污水,同时起到隔断真空与大气的的作用,是系统可靠性的关键保障。收集箱由箱体、真空阀等主要部件组成。

收集箱箱体可采用土建结构或复合材料成套设备,该工程箱体采用 FRP 玻璃钢材料制成,可便于整体安装。收集箱的容积设计,在工作容积之外,还需有适当的缓冲容积,以保证在停电、故障等情况下设备的可用性,为维护人员赢得一定的维护时间,缓冲容积一般不小于服务用户总日平均污水流量的 25%^[2]。

收集箱真空阀有气控和电控两种型式,目前两种控制方式在国内均有应用。气控型收集箱无需外接电源,避免了分散供电的设计问题,在防爆等特殊环境中使用更具优势。电控型开闭更加自主,可控性高,但在实际应用中防水处理是不得不考虑的。该工程中采用了国际先进的气控真空阀,在液位到达设定液位后自动开启阀门,无需外接动力电源。通过性高,同时有着良好的防水性,可在 3 m 深水下防水超过 72 h。

对于单个收集箱所能服务的人口数量选择,除和真空阀通过能力有关外,还需结合收集箱的容积大小、工作容积、真空阀寿命等综合考虑,同时也要避免真空阀的频繁启动,以提高收集箱的经济工作时间^[7],达到更好的节能效果,提高产品寿命。该

工程中每个收集箱平均服务 15 户居民,每天启动约 200 次。

3.4 真空管道设计

真空管道的设计直接影响到系统排污的效果。首先需根据设计管段长度及服务人口,选择合适的管径;再根据等高线地形图,设计管路的标高及提升;最后再通过水力计算对设计管路进行校核,要求系统中最大水力静压差到末端不宜超过 5 m。真空管道一般呈锯齿型布置,提升弯之间距离不应小于 6 m、大于 100 m^[8]。当需要向上提升时,单次提升高度不宜过大,可参考表 1 执行。

表 1 提升高度与管径

Tab. 1 Lifting height and pipe diameter

管径/mm	110	160	200	250
单次建议提升高度/m	0.3	0.3	0.5	0.6

真空管道材质宜选择符合国标要求的硬聚氯乙烯(PVC-U)管材或用高密度聚乙烯(HDPE)管材,公称压力 ≥ 1.0 MPa 管件宜采用 45°弯头和 135°斜三通,避免使用 90°弯头和正三通。

该工程真空管道采用高密度聚乙烯(HDPE)管,材料为 PE100,压力等级 PN16,通过电热熔连接。主管道管径 110~250 mm,累计提升高度 2.8 m,其中由东向西穿过大沂路后进入真空泵站前提升了 2.4 m,此处距离真空泵站不超过 30 m,通过连续 4 次提升完成,每次提升高度 0.6 m,提升间距平均为 7.5 m。

3.5 电气系统设计

系统的电气设计主要包含供配电、泵站控制、监控系统设计。

供配电设计:系统真空设备采用 AC380 V、功率 50 kW 电源供电,考虑到断电带来的影响及影响范围,该工程供电按照二级负荷设计。

泵站控制设计:真空泵站采用 PLC 自动控制,具备手动、自动控制模式。控制柜面板上有指示灯、触摸屏,可显示正常运行、系统故障等内容。可实现真空泵、污水泵等设备的自动运行,具备电机短路、过载保护等功能,无人值守自动化运行。

监控系统设计:监控系统是基于“物联网+”的网络监控,共分为四部分,一是对真空泵站的监控,二是对收集箱的监控,三是对于管路的监控,四是对能耗的监控。泵站监控系统能实时监测到真空泵站真空度、污水罐液位、真空泵污水泵运行状态及设备

报警信息。收集箱监控系统能监测到每个收集箱真空阀开启状态、打开次数、液位报警信息。管路监控系统可监测到真空支管最末端真空度情况。能耗监控系统可监测到系统耗电、排污量情况。监控系统收集到的信息最终传到远程监控平台及运维人员手持终端,可便于设备运维管理及系统优化。

4 设备运维

室外真空排水系统能自动自主运行,无需专人看守。当系统断电后再次得电时,系统可自动恢复运行。通过监控系统能查询系统运行状态和故障信息。做好维护,可使系统工作更顺畅,使用寿命增长,生命周期平均成本降低。系统主要维护工作如下:

① 对系统中真空泵、污水泵等部件定期进行保养。

② 系统中收集箱的可靠性至关重要,当监控到收集箱故障时应及时处理,尤其是真空阀长时间打不开的情况,可能导致真空泵站系统长时间运转直至自我保护停机。

③ 系统定期进行密闭性检查,当系统中有泄漏导致真空泵站频繁启停时,不仅损坏设备,也浪费能源。

④ 该工程真空泵站、真空收集箱、真空管路运行及故障状态都可以通过监控系统在手机 APP 上及时查到,该 APP 还具有故障推送功能,可及时提示运维人员对设备进行检查。

5 运行效果

潍坊滨海老城区雨污分流工程真空排水系统建设于 2019 年 6 月完工,已经成功运行超过 12 个月,是室外真空排水技术在老城区雨污分流工程中的典型示范。

统计数据显示,系统平均排污耗电量约 0.36 kW·h/m³,远低于预期值。相比其他已建工程,本项目对于物联网监控技术运用更加成熟,且更便于管理人员的运维。

6 结语

我国部分地区污水收集难度很大,室外真空排水技术还需要进一步开展系列化、装备化、智能化的研究,同时结合其他排水技术综合运用,为用户提供更好的污水收集解决方案,以期在真空源分离、老城区雨污分流改造、人文自然地区保护、地下管廊排渗等场景中得到更好的推广应用。

参考文献:

- [1] 郝晓地,宋虹苇.生态卫生——可持续、分散式污水处理新概念[J].给水排水,2005,31(6):42-45.
HAO Xiaodi, SONG Hongwei. Ecological sanitation: a new concept of sustainable and decentralized wastewater treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2005, 31(6): 42-45 (in Chinese).
- [2] 李旻,缪锋,杨文元,等.常熟宝岩社区真空排导工程设计研究[J].中国给水排水,2014,30(14):57-61.
LI Min, MIAO Feng, YANG Wenyuan, et al. Case study on vacuum drainage engineering design of Baoyan community in Changshu City [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(14): 57-61 (in Chinese).
- [3] 杨维娟,戴镇生.新兴的真空式和压力式下水道[J].给水排水,1996,22(6):52-55.
YANG Weijuan, DAI Zhensheng. Developing vacuum and pressure sewers [J]. Water & Wastewater Engineering, 1996, 22(6): 52-55 (in Chinese).
- [4] 陈嫣,邹伟国,王磊磊.室外污水负压抽吸技术在水乡城镇的应用[J].给水排水,2013,39(4):98-102.
CHEN Yan, ZOU Weiguo, WANG Leilei. Application of outdoor sewage negative pressure suction system in water town [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(4): 98-102 (in Chinese).
- [5] 张建明,王雷,刘兴哲,等.室外负压排水技术在北方山区农村污水收集处理工程中的应用[J].给水排水,2018,44(6):24-28.
ZHANG Jianming, WANG Lei, LIU Xingzhe, et al. Application of outdoor negative pressure drainage technology in rural sewage collection and treatment engineering in northern mountainous area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(6): 24-28 (in Chinese).
- [6] 周敬宣,李旻.真空排水系统的原理与设计[M].武汉:华中科技大学出版社,2013.
ZHOU Jingxuan, LI Min. Principle and Design of Vacuum Drainage System [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2013 (in Chinese).
- [7] 严巾堪,李旻,王天聪,等.一种真空收集装置的节能设计分析[J].真空,2017,54(3):18-20.
YAN Jinkan, LI Min, WANG Tiancong, et al. Energy saving design and analysis of a vacuum collecting device [J]. Vacuum, 2017, 54(3): 18-20 (in Chinese).
- [8] 中国工程建设标准化协会建筑给排水专业委员会.室外真空排水系统工程技术规程:CECS 316:2012[S].北京:中国计划出版社,2012.
Committee of Water Supply and Drainage for Building, CECS. Technical Specification for Outdoor Vacuum Sewage System Engineering: CECS 316: 2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012 (in Chinese).

作者简介:严巾堪(1987-),男,四川绵阳人,本科,工程师,山东中车华腾环保科技有限公司研发中心主任助理,主要从事真空排污及污水处理研究,曾获中国中车科学技术奖二等奖、三等奖各1次。

E-mail: yanjinkan1987@163.com

收稿日期:2020-03-01

修回日期:2020-03-19

(编辑:孔红春)

贯彻《中华人民共和国防洪法》,
依法防御水旱灾害