

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.08.013

宜兴市低洼圩区、丘陵地区农村生活污水管网设计

方施施, 张立明, 成进棋

(中亿丰建设集团股份有限公司, 江苏 苏州 215131)

摘要: 宜兴市农村污水管网项目共涉及18个乡镇、街道,其中村庄503个、道路108条,充分结合该地区南高北低、河网密布的地形特征,针对其村庄规划布局分散、排水设施不完善、污水变化系数大等难题,秉持“能集中则集中、宜分散则分散”的原则进行“一村一策”方案设计。设计师驻场实地勘察定线,采取纳管、相对集中、分散处理等多种治理模式,减少了污水直排自然受纳水体的水量,降低了环境风险;发明了一种适应现场条件的新型沿河架管方式,解决了施工不便的难题;同时创新性地应用了一种新型消能防坠板,优化了传统消能井,有效解决了下游管道溢水问题。

关键词: 农村污水; 治理模式; 沿河架管; 管道消能

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)08-0083-06

Design of Rural Domestic Sewage Network in Low-lying Polder and Hilly Areas of Yixing City

FANG Shi-shi, ZHANG Li-ming, CHENG Jin-qi

(Zhongyifeng Construction Group Co. Ltd., Suzhou 215131, China)

Abstract: The rural sewage network project of Yixing City involves 18 towns and streets, including 503 villages and 108 roads. Based on the topographic features of high south and low north and dense river network in this area, the “one village, one policy” scheme was designed according to the principle of “centralization if possible, decentralization if desirable”, so as to solve the problems such as scattered village planning and layout, lack of drainage facilities and large variation coefficient of sewage. The designers stationed on-site to survey and determine the pipeline route, and a variety of treatment models such as sewage collecting into the municipal network, relatively centralized treatment and decentralized treatment were adopted to reduce the sewage volume directly discharging into the natural receiving waters and environmental risks. A new erection method of pipe along the river adapted to the site conditions was invented to solve the problem of inconvenient construction. In addition, a new energy dissipation plate was innovatively applied to optimize the traditional energy dissipation well and effectively solve the downstream pipeline overflow problem.

Key words: rural sewage; treatment mode; erection of pipe along the river; pipe energy dissipation

1 研究背景

长期以来,由于乡村排水系统不完善、污水任意排放而导致环境卫生差的问题,已成为阻碍乡村振兴的难题之一。探索有效的农村污水治理路径,

采取经济合理的技术措施,切实提高农村生活污水收集率是解决这一难题的关键。

宜兴市位于江苏南部、太湖西岸,乡镇企业稠密,经济活跃,人口密集,拥有48 km太湖岸线,年均

入湖水量占西太湖近2/3,受沿岸经济活动影响,大量富营养物汇入湖泊,导致近年来太湖频繁暴发蓝藻水华^[1]。

环太湖周边农村是太湖污染的重要来源,因此,针对宜兴农村特点对其生活污水开展有效治理,除了可以提升农村环境质量外,对修复西太湖生态环境也有重要意义。

截至2017年,宜兴共有12座污水处理厂,城区和集镇生活污水集中处理率分别达到96%和86%^[2],但是,农村地区污水治理仍相对落后,在城区污水得到有效集中处理的背景下,农村治污对于太湖水质保障变得尤为重要。

近年来,宜兴加快了农村污水治理的脚步,分批次全面开展农村污水治理及城乡污水管网工程,涉及1350个村庄,推进太湖及其保护区、主要入湖河流周边以及水源地保护区范围内的污水治理全覆盖,逐步实现农村生活污水处理覆盖率达到80%。其中宜兴市农村污水治理及城乡污水管网工程(第二批)共涉及宜兴市18个乡镇、街道,其中村庄503个、道路108条,工程内容包括新建污水管网、污水集中处理设施和污水提升泵站等,主要工程量为新建市政污水管网约200 km(其中DN150~DN300污水支管80 km;DN400以上污水干管120 km)。

2 设计重难点分析

2.1 宜兴农村污水的特点

宜兴市农村污水包括村庄农户生活污水、工业企业生活污水及畜禽养殖废水。

① 水量特点

宜兴农村人口居住分散,生活污水量比较小;生活污水的排放量早、晚时段较大,夜间排放量最小甚至断流,水量变化明显,即污水排放方式呈不连续状态;排水高峰时段集中在早、中、晚的三个时间段内,日变化系数一般在3.0~5.0之间,在某些影响因素变化较大的情形下甚至可能达到10.0以上;由于农村外出务工人员较多,节假日返乡后会导致污水量成倍上升。

② 水质特点

农村人口密度小,污水来源分布广泛而分散,且农村污水浓度低、变化大;大部分农村生活污水基本不含重金属和有毒有害物质,含一定的氮、磷,

水质波动大,可生化性好, BOD_5/COD 值在0.5以上;不同季节呈现的水质不同,冬季污水的COD含量要高于其他季节。

③ 排放体制特征

农村生活污水一般呈粗放型排放,很多村庄尚无完善的污水排放系统,污水沿道路边沟或路面排放至水体。有排水系统或管道的地区,除小部分经济条件较好的村镇实行雨污分流制外,大部分地区采用合流制排水系统。部分污水收集管网和处理设施健全的地区,实际运行中仍然存在雨污混接的情况。

2.2 设计难点

① 地形复杂

宜兴地势南高北低,西南部为低山丘陵,东部为太湖滨区,北部和西部分别为平原区和低洼圩区,低山平均高程在150~240 m(黄海高程,下同)之间,丘陵高程在50 m左右。农房大多依山临水而建,低山丘陵地区地势坡度大,污水流速快,管道下游易溢水;河网密集地区农房紧挨河堤,出水口直接接入河道。若在河中埋管或设立混凝土支墩,施工较为困难,且施工过程存在影响民居结构安全的风险。

② 村庄布局凌乱

由于历史和地理的原因,宜兴地区自然村落普遍布局分散,导致生活污水排放分散,增加了集中收集的难度。村庄内部由于缺少统一的规划和要求,建筑布局凌乱,导致部分新建的污水管网距离房屋较近,实施难度大。大部分村庄内未建设污水管网,污水直排自然水体的现象普遍。

③ 协调工作难度大

由于各种历史原因,加之环保意识不足,工程实施过程中村民配合度普遍不高,协调难度较大。项目勘察定线过程中需要与各方充分协调,避免阻挠与纠纷。

3 设计思路与措施

3.1 总体设计思路

针对农村污水的水质和水量特点,结合宜兴地区地形和村落布局现状,考虑采用纳管、相对集中和分散3种污水治理模式^[3],这三种模式的特点与适用范围见表1。

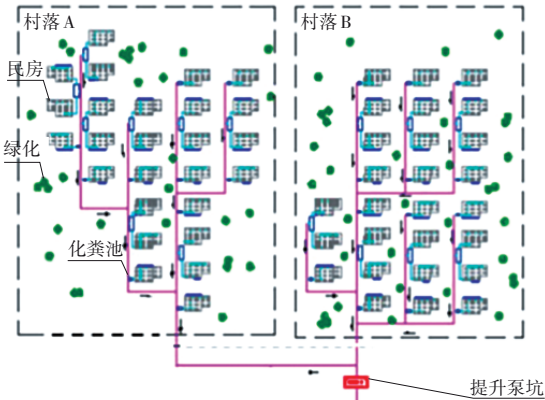
三种模式示意图1。

表 1 农村生活污水治理模式分类

Tab.1 Classification of rural domestic sewage treatment modes

治理模式	特点	适用范围	配套要求
纳管	污水经管网收集后直接就近排入城镇污水处理厂,抗污水冲击负荷能力强,处理效果较好	适用于靠近城镇污水管网且相应城镇污水处理厂尚有余量,地形条件有利于生活污水依靠重力流汇集、聚集程度很高的集居点或地理位置相邻的几个自然村	配套收集管网、提升泵站
相对集中	污水收集后排入布置在村落中的污水处理设施,具备一定抗污水冲击负荷能力和出水保证率	适用于聚集程度相对较高,但受较大河道、沟壑和山地阻隔等地形条件限制,以片区为单位的收集系统,一般污水量为 2~20 m ³ /d,服务人口 20~200 人左右	配套收集管网、一体化污水处理设施
分散	装置规模较小,出水保证率较低	适用于较为偏僻的单户或相邻农户的污水收集,一般污水量不大于 2 m ³ /d,服务人口 6~20 人左右	配套入户收集管道、污水处理设施

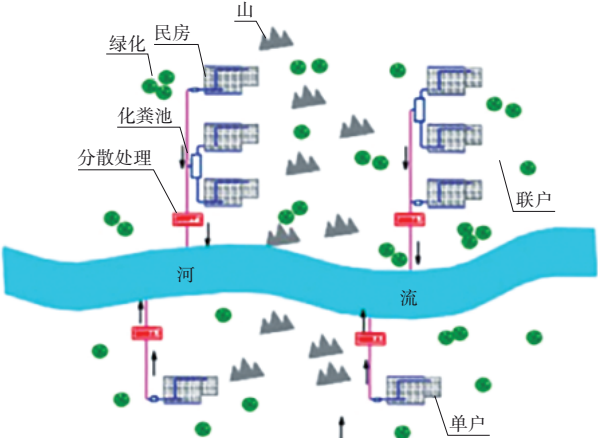
根据“能集中则集中、宜分散则分散”的原则进行“一村一策”方案设计,有条件地区优先采用纳管模式,接入城市污水管网或通过泵站提升至就近市政接口,最终进入城镇污水处理厂;对于不具备接管条件、居住相对集中且排放要求较高的村庄,采取相对集中处理的模式,设计出水指标最低达到江苏省地方标准《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB 32/T 3462—2018)一级 B 标准;对居住相对分散或管网建设难度较大的村庄,采用分散处理模式。



a. 纳管模式



b. 相对集中治理模式



c. 分散治理模式

图 1 各污水治理模式示意

Fig.1 Schematic diagram of each sewage treatment mode

3.2 针对性措施

3.2.1 驻场定线

针对农村地区村庄布局凌乱、协调难度大的问题,设计师驻场勘察定线,逐一明确管线走向、处理设备与提升泵选址,合理布置管线走向,力求顺畅、简洁,合理选择管径,降低管道埋深,以求尽可能地优化工程投资。

3.2.2 沿河架管

沿河架管通常采用墙上支架、河中混凝土支墩和河底开挖埋管 3 种方式。墙上支架造价较低,但是容易破坏住宅结构,当地沿河而建的老旧农房居多,墙上支架难以适用;河中支墩需修筑围堰,围堰施工工期长、投资高、需要较大作业空间,且易破坏水体环境;河底开挖需排水作业,有引起房屋沉降的风险。从安全性、适用性、经济性等维度综合考虑,这 3 种传统沿河架管方式均并不适用于本项目。为降低安全环境风险,并达到方便施工、避免扰民、便于后期维护的要求,本次采用钢管混凝土桩作为

支墩(专利号:202010681353.8)的架管方案。

钢管桩沿河架管示意图2,钢管桩剖面图见图3。

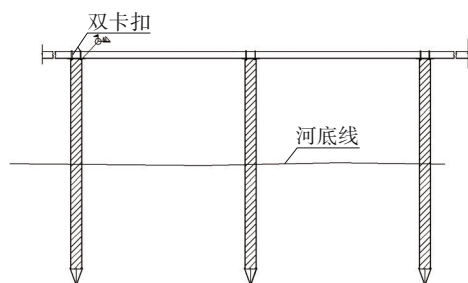


图2 钢管桩沿河架管示意

Fig.2 Schematic diagram of erection pipe along the river using steel pipe pile

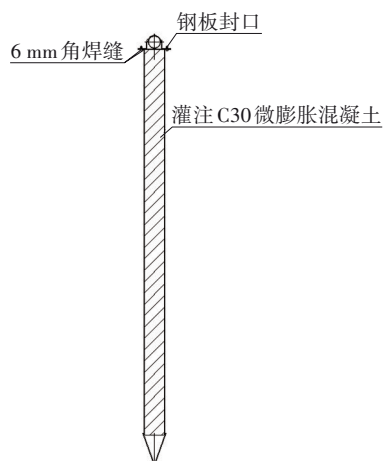


图3 钢管桩剖面

Fig.3 Section of steel pipe pile

经过理论验证,该架管方案的刚度和抗倾覆性较大,其稳定性及容许变形均满足相应现行国家规范要求。施工时采购成品钢管、管夹,工厂化生产钢管桩成品,运送到现场后,在小船上进行压管作业,将钢管压入河底至设计标高,灌注微膨胀混凝土,然后桩顶焊接封口钢板、架设管道。由于桩身较细,桩尖为锥形,所需压桩力很小(小于100 kN),故压桩设备可小型化,如果河道狭窄,可在河岸上用小型卷扬机或挖机压桩。该发明适应现场条件,有效解决了现场施工难题,已在宜兴、兴化、吴江等同类项目中广泛应用。

3.2.3 管道消能

丘陵地区地势坡度大,污水流速快,管道下游易溢水,而传统消能井(见图4)占地较大,现场施工条件无法满足,通过在污水井防坠网中间增加消能挡板(专利申请号:202121827629.5),使上游高速

污水进入后,经挡水板减速消能(见图5),同时辅以设置沿途跌水井、增大下游主管道管径等措施,有效解决了下游管道溢水问题。

沿途跌水井落底示意图6。

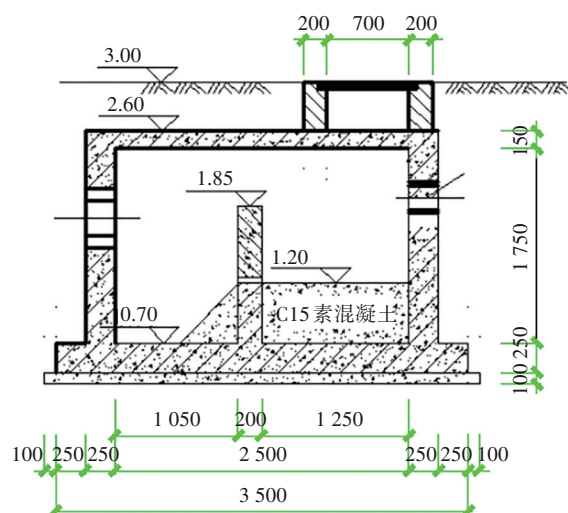


图4 传统消能井剖面

Fig.4 Profile of conventional energy dissipation well

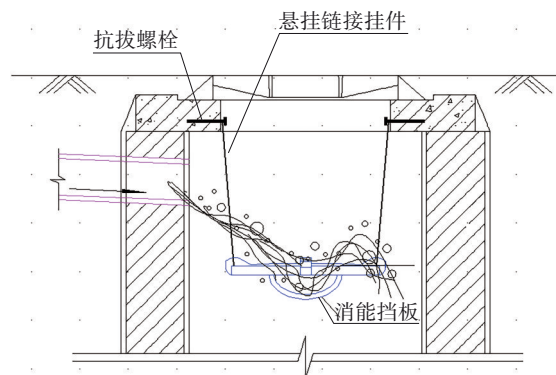


图5 消能防坠板示意

Fig.5 Schematic diagram of energy dissipating fall protection plate

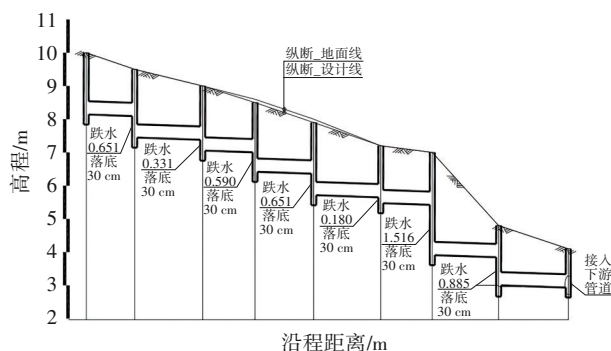


图6 跌水井落底示意

Fig.6 Schematic diagram of the drop bottom of the drop well

消能防坠板设计原理:

① 当管道上游水流流速较大时,污水进入井内首先被消能板减速消能,有效地减小水流速度。

② 当管道上游水流流速较小时,污水沿着管壁进入井内,消能板不影响管道运行。

③ 当管道上游水流流速大时,污水不停地对消能板进行冲刷,因此不会引起堵塞。

④ 悬挂件总长度可根据上游水管高度进行调节。

3.2.4 山坡段沟槽回填

宜兴西南部丘陵地区山区山洪频发,常规设计管道沟槽采用中粗砂回填,透水性较差,抗山洪冲击能力不足,现场调查发现多处依山而建的管道沟槽被山洪冲刷严重,现状HDPE排水管多处裸露在外,接口开裂导致渗漏的风险较高。

该项目针对性地采用孔隙率高、透水性好的瓜子片(粒径5~10 mm碎石片)回填替代常规中粗砂回填,沟槽抗冲刷性能显著提高,采用强度更高的PE管替代常规HDPE排水管,使管道接口渗漏风险显著降低。

4 实例

以宜兴市屺亭街道前亭村某自然村为例,该村位于沪宜高速西北侧,整体地势平坦,村落沿宜兴河支流而建,三面临水,村落分为南北两个部分,中间地带为大片农田,相距200多米。该村共计29户,人口102人,设计污水规模 $7\text{ m}^3/\text{d}$,均为居民生活排水,无工业废水与养殖废水排入,污水可生化性好。

4.1 设计参数

按照《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016年版),污水管道设计流量 $Q=K_z\times$ 日平均污水量(系统日平均污水量小于 5 L/s ,且水量随不同季节、不同时间段变化非常大,故 K_z 按照规范取最大值2.3,部分户数较少的村庄可根据实测情况进一步放大总变化系数);污水管采用圆管非满流形式,管道流速 $V=1/n(R^{2/3}\times i^{1/2})$,粗糙系数 n 取0.01,由于部分系统流量较小,而市政排水管最小管径为DN300,考虑到设计流速过小容易产生淤积,故最小设计流速为 0.6 m/s (在设计充满度下);管顶最小覆土深度:人行道下不小于 0.6 m ,车行道下不小于 0.7 m ,农田下不小于 1 m ,为提高管网整体经济性,当局部管道埋深无法满足最小埋深时采取浅埋加

固措施^[4]。

处理后出水标准:采用纳管处理的村庄,污水经排水管网送至城镇污水处理厂进行处理,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准;采用相对集中模式的村庄污水经收集后排至一体化处理设施,设计出水水质指标达到江苏省地方标准《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB 32/T 3462—2018)的一级B标准。

4.2 设计方案

该村2 km范围内无城镇污水管网,且村内被河流阻隔,因此不具备纳管条件,但该村聚集程度相对较高,宜以片区为单位收集污水,故采用相对集中治理模式。

针对该村人口较少、居住分散、污水量少、水量变化系数大、污水浓度低、污水可生化性好的特点,设计于每户就近设置一个 0.6 m^3 二格化粪池,在调节出水水量的同时进行污水初步处理;并根据村庄聚集分区的特征,将排水系统一分为二,分别排入 $5\text{ m}^3/\text{d}$ 和 $2\text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理设施,污水处理设施前设置污水调节池,进一步调节水量、均匀水质;成品污水处理设施采用FBR发酵槽,污水经多级多段生化处理后进入沉淀池进行泥水分离,上清液达标外排,剩余污泥定期抽吸外运处置。

设计师驻场勘察定线,根据现场实际条件完善设计方案。设计污水重力流管径DN160~300,每户预留 $\text{de}160$ UPVC实壁管,胶水粘接接口, DN225污水管采用HDPE双壁波纹管,环刚度须达到 8 kN/m^2 以上,采用氯丁橡胶圈接口。道路下的管道基础采用满沟槽回填中粗砂至管外顶以上 20 cm ;绿化带及农田下采用 120° 中粗砂基础,其上用素土回填压实。

该村部分农房紧邻河道而建,每户出水口位于农房北侧,直接排入狭窄河道。由于河道狭窄,不满足围堰施工条件,且部分农房年久失修,存在安全风险,不适宜墙体支架架管,综合考虑采用新型钢管桩架管形式。将新建污水管架设于打入河床岩层内的钢管桩上部,架管部分采用 $D219\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ 钢管,总长度 69 m 。

与围堰施工相比,该方法大大缩短了施工周期,且降低施工成本20%。钢管桩架管现场作业照片如图7所示。



图7 钢管桩架管作业照片

Fig.7 Photos of erection pipe operation using steel pipe pile

4.3 工程效果

通过该工程实施,宜兴市屺亭街道前亭村某自然村29户居民生活污水实现了100%集中处理,出水水质达标,完成竣工验收。经过一年多的系统运行以及良好的维护,有效地解决了该村污水散排的历史难题,村容村貌得到了进一步提升。

5 结论

结合宜兴市农村污水管网设计实例,针对当地地形和污水特点,提出了针对性的设计方案和施工措施,并通过设计创新较好地解决了管网施工和维护管理的难题,有效提高了污水收集率,减少了污水直排自然收纳水体的水量,且在兴化、吴江等地同类项目中得到推广应用。

参考文献:

- [1] 陈军,权文婷,孙记红.太湖氮磷浓度与水质因子的关系[J].中国环境监测,2011,27(3):79-83.
CHEN Jun, QUAN Wenting, SUN Jihong. Relationship between nitrogen, phosphorus concentration and water

quality factors[J]. Environmental Monitoring in China, 2011, 27(3):79-83(in Chinese).

- [2] 马薇.无锡宜兴生态保护引领产业转型[N].新华日报,2018-11-14.

MA Wei. Wuxi Yixing City ecological protection leads industrial transformation [N]. Xinhua Daily, 2018-11-14(in Chinese).

- [3] 李鹏峰,孙永利,隋克俭,等.我国农村污水处理现状问题分析及治理模式探讨[J].给水排水,2021,47(12):65-71.

LI Pengfeng, SUN Yongli, SUI Kejian, *et al.* Analysis on the present situation and discussion on its treatment mode of rural sewage treatment in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47 (12): 65-71 (in Chinese).

- [4] 住房和城乡建设部.室外排水设计规范:GB 50014—2006[S].2016年版.北京:中国计划出版社,2016.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014-2006 [S]. 2016 ed. Beijing: China Planning Press, 2016(in Chinese).

作者简介:方施施(1987—),女,浙江桐庐人,大学学历,工学、管理学双学士学位,高级工程师,注册给排水工程师,中亿丰建设集团股份有限公司环保给排水所副所长,主要从事市政给排水设计工作,主持或参与设计的多个项目获省市级设计奖项,曾参编2010年武汉大学出版社出版的《工程估价》。

E-mail:shi.shi.fang@163.com

收稿日期:2022-02-24

修回日期:2022-04-08

(编辑:孔红春)