

地下土壤渗滤法净化生活污水研究进展^①

孔刚 许昭怡* 李华伟 王勇 陈泽智 罗兴章 郑正

(污染控制与资源化研究国家重点实验室 南京大学环境工程系 南京 210093)

摘要 水资源供需的矛盾和分散型生活污水造成的环境污染均迫切需求开发高效、低耗、简便并能有效脱N除P的原位污水处理技术。地下土壤渗滤法就是该类技术中的一种。本文对地下土壤渗滤系统的工艺类型及其应用进展作了综述,分析了其净化机理及影响工艺性能的因素,讨论了存在的问题,最后对其应用前景作了展望。

关键词 地下土壤渗滤系统; 原位处理; 生活污水

中图分类号 X703.1

长期以来,由于经济、环境意识等方面的原因,生活污水的治理主要集中在城市人口密集且污水收集管网能够收集的地区。但在人口不太密集的旅游点、疗养院、别墅、较独立的社区、某些乡镇企业及农村等有着分散的独立生活污水源的地区,其处理通常只是简单的、临时性的,有的甚至根本不处理就直接排入水体,这对环境造成了严重的污染,影响了人体的健康与经济的发展。因此,开发低成本、有效的小规模原位污水处理技术一直是各国环保界关注的热点。目前开发的小规模污水原位处理技术十分广泛,从简单的化粪池到复杂的生物脱N工艺,从自然水塘到钢筋混凝土结构等等^[1]。地下土壤渗滤法就是其中的一种。

地下土壤渗滤法是一种集自然生态净化与人工工艺于一体的小规模原位污水净化技术。它源自古老的污灌,继承并发展了污灌技术简便、可资源化的优点,对其存在的不足(如处理能力和处理效率低、易堵塞、对周围环境造成危害^[2,3]等)则通过工程技术手段加以改进。该技术具有简便、基建投资低(为传统二级处理系统的1/3~1/2)、能耗少(一般不需运行费用或费用低)、净化效率高、去除N、P有效和再生水可回用等特点。作为解决水污染和污水回用问题的一种有效的手段,它尤其适用于农村和城市独立社区的生活污水的处理。

1 地下土壤渗滤法介绍

1.1 定义

地下土壤渗滤法就是将污水投配到土壤亚表面具有一定构造的渗滤沟中,污水在渗滤沟内通过毛细浸润作用经具有良好扩散性能的特殊土壤缓慢地向周围土壤浸润、渗透和扩散,污染物则通过土壤、微生物及植物组成的稳定生态系统的良好净化作用得以降解。地下土壤渗滤处理法是一种浅型的土地处理技术^[4]。

1.2 工艺类型

地下土壤渗滤工艺类型多种多样,主要分为3种基本的类型。

1.2.1 标准的地下土壤渗滤沟工艺 该工艺采用标准构造的土壤渗滤沟(图1),有单管和多管之分,一般间歇运行,美国和俄罗斯多采用此种工艺。该工艺中,布水管距地表以下30cm左右,四周铺满砾石,砾石层底部宽常为50~70cm,其下铺有

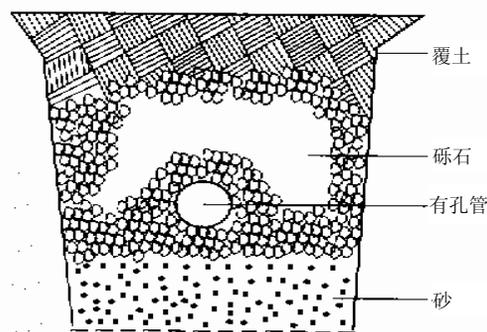


图1 标准构造的土壤渗滤沟

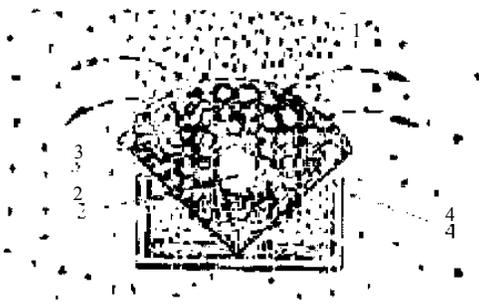
Fig. 1 Typical structure of soil infiltration trench

^①国家863重大专项子课题《农村生活污水处理技术及其工程示范》(TK-2-2)资助。

* 通讯作者

20 cm的砂层。污水经预处理去处悬浮物后流入布水管,缓慢通过布水管周围的砾石和砂层,在土壤毛管作用下向附近土层扩散,污水中的污染物被过滤、吸附和降解。标准地下土壤渗滤沟工艺的处理过程与慢速渗滤处理工艺非常类似。水力负荷是保证地下土壤渗滤沟正常运行的重要因素,常通过土柱试验测得土壤渗滤速率与水力负荷的相关关系,以此确定适宜的渗滤沟水力负荷。

1.2.2 地下土壤毛管渗滤沟工艺 在该工艺中采用的渗滤沟为毛管浸润型,是由日本学者新见正开发的,分普通型(图2)和强化型(图3)两种。该工艺与标准地下土壤渗滤沟工艺所不同的是布水管下方有一由防水材料(如聚乙烯薄膜或合成树脂膜)制成的不透水槽,其作用是防止污水直接下渗入土壤,避免污染地下水。强化型毛管渗滤沟的构造在普通型的基础上另增有毛管强化垫层,它高出进水管向两侧铺展外垂,由于这种设计,污水在沟中的毛管浸润作用面积要比普通型的毛管浸润作用面积大为扩大,布水也更均匀,因而净化效果更好。



1. 透气性土壤; 2. 穿孔管; 3. 砾石; 4. 不透水膜

图 2 普通型毛管浸润土壤渗滤沟

Fig. 2 Typical profile of subsurface capillary infiltration trench

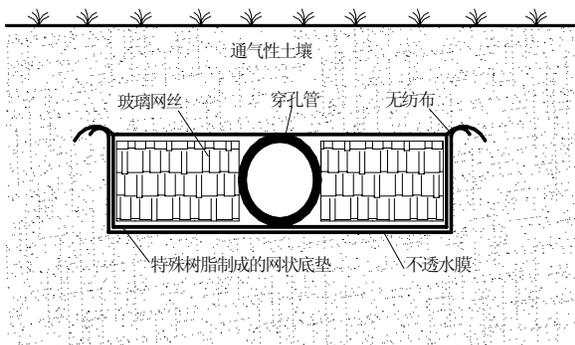


图 3 强化型毛管浸润土壤渗滤沟

Fig. 3 Profile of subsurface reinforced capillary infiltration trench

土壤的毛管浸润作用是地下土壤毛管渗滤沟的主要特征。经常保持土壤的毛管浸润状态,使土壤颗粒间保持一定的空隙,防止堵塞,并维持其通气状态,这是地下土壤毛管渗滤沟正常运行的必要条件。该工艺的水力负荷通常为 $30 \sim 40 \text{ L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。

1.2.3 复合工艺 单纯的地下土壤渗滤沟存在水力负荷偏低,占地较大,总N去除率不高等不足。为克服这些缺点,各国相继开发了多种复合工艺,如土壤式沉淀池-厌氧消化-沉淀-土壤渗滤-一体化构筑物、接触曝气-毛管渗滤土壤净化复合式处理系统、土壤式污泥浓缩池等。这类复合工艺的特点是在保留渗滤沟天然净化功能的基础上,将人工净化和天然净化巧妙地揉和在一起。复合工艺中不同的工艺形式之间互补不足,从而提高了净化效率,又不占地。目前最常见的复合工艺型式是接触曝气-毛管渗滤土壤净化复合处理工艺,该工艺维护管理简便,费用低廉, BOD_5 和SS的去除率可达 $85\% \sim 98\%$,总P去除率达 90% ,总N去除率约 40% ^[4]。

1.3 研究进展

美国、俄罗斯、日本、澳大利亚、以色列和西欧等国长期以来一直十分重视地下土壤渗滤系统的研究和应用^[5~8],许多技术及工程问题已得到解决。美国农村及零星分散建造的家庭住宅有 36% 采用了地下土壤渗滤沟系统。俄罗斯近20年来集中科研力量对地下土壤渗滤沟工艺进行科技攻关,已在工艺流程、净化方法、构筑设施等方面做到了定型化和系列化,并编制了相应的技术规范。日本对地下土壤渗滤系统的研究应用十分独到,开发出地下土壤毛管渗滤沟工艺,该工艺利用土壤-植物生态系统的综合功能净化污水,能取得优于二级处理甚至达到三级处理的效果。瑞典、芬兰、挪威和丹麦等国,约有150多万散居住户应用了地下土壤渗滤法处置生活污水^[7]。澳大利亚、以色列两国在充分利用地下土壤渗滤法有效处理生活污水的同时还极力强调污水的资源化^[8]。

近年来,地下土壤渗滤法在我国已日益受到重视。中科院沈阳应用生态所“八五”、“九五”期间论证了在我国北方寒冷地区利用地下土壤渗滤法处理生活污水是可行的,并研究了其出水作为中水回用的可行性^[9]。1992年北京市环境保护科学研究院应用地下土壤毛管渗滤法处理某试验场的生活污水,对污水净化效果和绿地利用作了研究^[10]。清华大学在2000年国家科技部重大专项中,首先在农村地区

推广应用地下土壤渗滤系统,取得了良好效果^[11]。

2 地下土壤渗滤处理法的净化机理

在地下土壤渗滤处理系统中,大多数污染物的去除主要发生在地表下30~50 cm处具有良好结构的土层中,该层土壤由于处于非饱和带,土壤颗粒间保持有一定的空隙,通气性良好,其内生长着大量的细菌、真菌、霉菌、酵母、原生动物、后生动物甚至蚯蚓及植物等^[4, 12]。污水中的污染物被土壤吸附,在土壤微生物的作用下被降解,土壤中的原生动物及后生动物又以微生物为食,植物的根系则吸收污水矿化而产生的N、P以供其生长所需的营养,植物的根系能为土壤微生物提供养分,土壤微生物反过来也促进了植物根系的发育,从而促进了植物的生长^[13]。因此土壤渗滤沟实质上是一个土壤-微生物-植物生态系统,污染物就是在该生态系统复杂而又相互联系和制约的作用下被去除的。其净化过程十分复杂,综合了物理、化学和生物等多种机理。

地下土壤渗滤系统去除悬浮物十分有效,主要去除机理为过滤。

地下土壤渗滤系统去除有机污染物(BOD₅)极为有效,其净化机制包括过滤、吸附及生物降解。通过交替进行灌水和休灌,保持表层土壤好氧状态,有利于有机污染物的去除。

地下土壤渗滤系统中,P的去除机理包括作物吸收、土壤微生物的生物同化和土壤化学固P。渗滤沟中,P绝大部分是通过土壤化学固P作用而被去除的。土壤固P与土壤所含的Al、Fe和Ca等物质的数量以及土壤的pH值和氧化还原状态(Eh)等有关。土壤中Al、Fe和Ca等矿物质含量多,在还原条件和较高的pH情况下有利于土壤固P^[14]。

地下土壤渗滤系统中,N的脱除机理包括作物吸收和微生物脱N。微生物脱N分为3个相互关联的过程。①氨化过程,即在微生物作用下将污水中的有机N转化为NH₄⁺-N;②硝化过程,即将氨化过程产生的氨转化为NO₃⁻-N;③反硝化过程,即将NO₃⁻-N转化为氮气(N₂)或氧化亚氮(N₂O)。植物同化吸收利用N是地下土壤渗滤系统脱N的一个很重要途径。NO₃⁻-N是植物吸收利用土壤中N的主要形式,不同植物、同一植物不同器官吸收利用NO₃⁻-N的量均有不同^[15]。

污水中的病原体(包括细菌和病毒)在地下土壤渗滤系统中主要通过吸附、过滤、干燥、太阳辐

射和生物吞噬等作用而被去除。

随着地下土壤渗滤系统日益受到各国的重视,对地下土壤渗滤处理系统净化过程中涉及的污染物迁移转化途径、降解动力学、营养元素的有效利用等方面的研究显得日益重要。另外通过研究土壤微生物与植物的协同促进作用^[13],研究利用植物修复技术^[16]来强化渗滤沟的净化效果也十分有意义。目前已有许多学者正从事其中某些领域的研究。Kool等^[17]研究了地下非饱和流状态下污染物的迁移转化模型。在细菌在土壤中的运移方面,李桂花等^[18]在室内条件下研究了大肠杆菌在饱和砂土中的运移和吸附过程,通过对其穿透曲线进行模拟分析,确定了大肠杆菌的运移、吸附、滞留参数,为进一步研究细菌在土壤中运移提供了依据和方法上的指导。在污染物降解动力学方面,Li等^[19]研究了水稻土中有机N矿化的模型,认为有机N在土壤中矿化遵照一级降解模式。

3 影响地下土壤渗滤法工艺性能的重要因素

影响地下土壤渗滤法工艺性能的因素较多,有土壤介质、工艺类型、废水特性、运行方式等。废水中污染物的组成对渗滤沟总N的去除影响较大,C/N高则总N去除好;悬浮物和有机物含量高会造成渗滤沟的堵塞。一般而言,渗滤沟间歇运行要比连续运行的净化效果要好,不同的间歇运行方式其效果也大不相同,因此要取得一个较满意的净化效果,须对地下土壤渗滤系统的运行方式进行优化。

3.1 土壤介质

土壤是决定地下土壤渗滤沟净化效果好坏的关键因素。不同的土壤其物理、化学和生物性质各不相同,而土壤的结构、渗透性、酸碱度、氧化还原电位、有机质、微生物种群和土层厚度等直接决定着地下土壤渗滤系统的净化效果。良好的土壤结构、适当的土壤孔隙率、渗透性和通气性,以及维持较高的土壤有机质含量能为微生物及植物提供适宜的生长环境,这些都对净化效果有利。

关于土壤理化性能与渗滤沟净化效果方面的研究有许多。张建等^[20]研究了土壤Eh对地下土壤渗滤系统总N去除率的影响。Van Cuyk等^[21]研究发现,土壤不同深度其土壤含水量、Eh、颗粒的表面积等均不同,保持一定厚度的土壤层对地下土壤渗滤系统的净化效果是非常必要的。不同的土壤其固P能力是不同的^[22],通过改良土壤可增加其对P的吸附

能力。Johansson等^[23]研究表明在原土中适当掺和富含Fe、Al的物质不仅可以增强除P的效果，还能增加系统吸附P的容量。Stevil等^[24]研究认为土壤粒径、土粒比表面积等对病菌的去除效率影响较大，而土壤的pH、离子交换能力等对其去除影响则不大。在土壤有机质方面，Adelman等^[25]研究发现高C/N的土壤有利于提高总N的去除率。

3.2 工艺类型

工艺类型对地下土壤渗滤系统性能的影响很大，主要因为渗滤沟中的微生物种类和数量取决于系统的工艺形式。一个典型的地下土壤渗滤沟工艺包括预处理系统、收集输送系统、土壤渗滤沟、监测系统 4 个主要组成部分（图 4）。常规的预处理系统是化粪池、简易沉淀池，主要是为去除污水中的悬浮物，以防渗滤沟被堵塞，此外还可去除少量有机物，并转化N的形态。随着各国对出水水质的要求越来越严，地下土壤渗滤工艺对预处理系统的要求也越来越高，预处理系统不仅作为地下土壤渗滤系统的前期预处理，而且承担一定的污染物去除，更多的是和地下土壤渗滤系统互补不足，共同完成污染物的降解。目前，可与地下渗滤沟搭配的预处理工艺类型有许多，见表 1 所示。

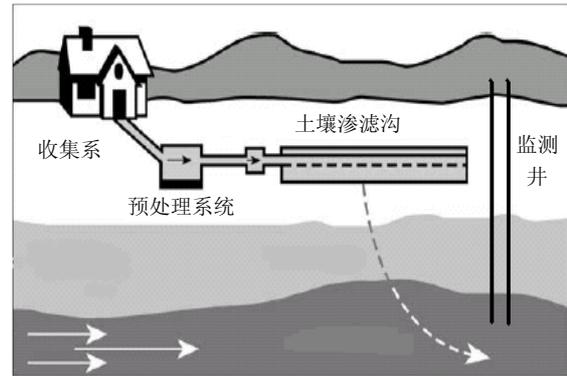


图 4 典型地下土壤渗滤沟工艺示意

Fig. 4 Typical subsurface soils infiltration system

地下土壤渗滤处理系统对悬浮物、有机物、氨氮、总P和大肠杆菌的去除率均较高，一般可达70%~90%，但总N的去除率一般只有20%~40%^[7, 21, 26]。改进地下土壤渗滤系统的工艺型式有助于提高总N的去除率。Itayama等^[27]对二级土壤渗滤沟工艺进行研究发现，厌氧滤池作为预处理系统，整个系统总N去除率在80%以上，有机物、总P的去除率在90%以上。董泽琴等^[28]采用日本目前最新的厌氧-好氧地下土壤渗滤沟工艺处理生活废水，总N去除率达到60%左右。

表 1 地下土壤渗滤系统的预处理类型^[4]

Table 1 Types of pretreatments of the subsurface soils infiltration system

处理污水类型	预处理类型	去除污染物种类
生活杂排水*	腐化池；沉淀池；简易过滤池	有机物、P
生活杂排水	水解酸化池；厌氧滤池；生物接触曝气池	有机物、P
净化水；生活废水	生物接触氧化池；活性污泥曝气池；生物转盘	有机物、P
粪尿净化水；生活废水	厌氧滤池+生物接触氧化池	有机物、P
粪尿净化水；生活废水	厌氧滤池+好氧滤池	有机物、N、P
粪尿净化水；生活废水	厌氧与好氧活性污泥法；序批式活性污泥法	有机物、N、P

*生活杂排水指无粪尿废水在内的生活污水，生活废水既包括生活杂排水又包括粪尿废水。

4 地下土壤渗滤法存在的问题

地下土壤渗滤法是一种已被广泛接受并应用于实际的废水处理工艺，随着专业人员对该工艺的不断关注，其存在的一些问题也被不断地认识。

4.1 土壤堵塞

土壤堵塞是土地处理系统经常遇到的问题，地下渗滤处理系统也存在。土壤堵塞的表现是土壤渗透性能下降^[29]，局部易形成短流，出水水质变差。土壤堵塞不但影响渗滤沟的净化效果，严重者会导

致系统运行停止。当然，设计、运行合理的地下渗滤处理系统能有效地避免土壤堵塞的发生，良好的地下土壤渗滤处理系统能稳定运行20年以上^[7]。

地下渗滤处理系统中的堵塞按形成机理可分为物理、化学和生物堵塞3种。土壤物理堵塞一般是悬浮颗粒物在土粒间隙中沉积而造成的，物理堵塞取决于污水中悬浮物的含量及土壤颗粒的大小。由于渗滤沟系统无反冲洗设施，故物理堵塞一般无法恢复。化学堵塞则是由化学反应形成的难溶物在土粒间隙中沉积造成的，化学堵塞一般也无法恢复。

土壤生物堵塞主要由土壤微生物及微生物代谢产物在土壤间隙中积聚到一定程度而引起的。引起生物堵塞的微生物代谢产物主要是多聚糖类物质, 由于该物质的降解周期较长, 需23~50天, 故而能在土壤间隙中大量聚集造成堵塞^[30]。污水中有机物含量是影响土壤生物堵塞的重要因素。Balks等^[31]用高C/N的生活污水灌溉土壤, 发现土壤中的微生物过量生长, 多聚糖类的胞外代谢产物大量积聚, 极易造成土壤堵塞。土壤生物堵塞是由微生物引起的, 故可以加以防止。通常加入生物或化学抑制剂来防止渗滤沟中的生物堵塞, 尤其是生物抑制剂不仅能有效防止生物堵塞, 而且还不影响微生物的净化过程^[32]。

4.2 对环境的影响

地下土壤渗滤系统对周围环境的影响是另一值得关注的问题。地下土壤渗滤沟由于其布水系统处于地下, 故不会带来恶臭、蚊虫滋生等污染。地下土壤渗滤系统不种植供人食用的作物, 故不必担心发生食物中毒影响人体健康的问题。通常渗滤沟植物的种植与绿化相结合, 以便美化环境。

地下土壤渗滤系统在一般情况下不会造成地下水污染。细菌、病菌等污染物极易被土壤吸附而被去除。Stevik等^[33]研究发现污水中的病菌85%~99%被土壤吸附, 病菌数量随土壤深度增加而降低, 渗透土层30 cm以下几乎检测不出病菌。宋伟民等^[34]在地下土壤渗滤处理的安全卫生范围方面作了研究, 他们认为土壤渗滤系统对大肠杆菌的处理是有效的, 其浅层地下水污染的卫生防护在10 m以外是安全的。地下土壤渗滤系统 NO_3^- -N沥滤会造成地下水污染。为确保安全, 不因 NO_3^- -N沥滤对地下水造成污染, 通常在设计时把N的去除率和负荷率作为系统的限制设计参数。通过加入硝化抑制剂(如双氰胺)也是一种减少 NO_3^- -N对地下水污染的方法^[35], 但该物质使用受气候条件的限制很大。

地下土壤渗滤系统在运行过程中会产生甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)等温室气体, 已为人们所关注。孔海南等^[26]研究了地下土壤渗滤处理过程中温室气体的排放量。封克等^[36]研究了pH值对土壤中 NO_3^- -N转化为 N_2O 的影响, 发现在土壤酸性条件下, 产生的 N_2O 占总还原气体($\text{N}_2\text{O} + \text{N}_2$)的比例较高, 在近中性的条件下 N_2O 产生速率的绝对值最大。如何更有效地减少地下土壤渗滤系统温室气体的排放量还有待继续深入地研究。

5 前景展望

地下土壤渗滤系统作为土地处理系统的一种有效型式, 以其高效、节能、简便、适应性强、对周围环境影响小、污水可回收利用等优点, 具有广阔的应用前景。尤其是在水资源供需矛盾日益紧张、生活污水对环境污染日趋严重的广大农村、水资源缺乏地区及中小城镇, 该技术更具有明显的优势。但地下土壤渗滤法仍然是一种正在发展的方法, 其在许多基础研究方面(如污染物降解途径、有效提高脱N除P的技术措施及如何提高土地利用等)尚存在不足, 仍需进行深入的探索。

参考文献

- 1 Markus Boller. Small wastewater treatment plants—A challenge to wastewater engineers. *Water Science and Technology*, 1997, 35:1~12
- 2 张乃明, 陈建军, 常晓冰. 污灌区土壤重金属累积影响因素研究. *土壤*, 2002, 34 (2): 90~93
- 3 Ramirez-Fuentes E, Lucho-Constantino C, Escamilla-Silva E, Dendooven L. Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, 2002, 85: 179~187
- 4 高拯民, 李宪法. 城市污水土地处理利用设计手册. 北京: 中国标准出版社, 1991, 251~273
- 5 Scandura JE, Sobsey MD. Viral and bacterial contamination of groundwater from on-site sewage treatment systems. *Water Science and Technology*, 1997, 35 (11/12): 141~146
- 6 James A, Lagro Jr. Designing without nature: unsewered residential development in rural Wisconsin. *Landscape and Urban Planning*, 1996, 35: 1~9
- 7 Pell M, Nyberg F. Infiltration of wastewater in a newly started pilot sand filter system: I. Reduction of organic matter and phosphorus. *J. Environ. Qual.*, 1989, 18: 452~457
- 8 Ouazzani N, Bousselhaj K, Abbas Y. Reuse of wastewater treatment by infiltration percolation. *Water Science and Technology*, 1996, 33 (10/11): 401~408
- 9 Sun TH, He YW, Ou ZQ, Li PJ, Chang SJ, Qi B, Ma XJ, Qi ES, Zhang HR, Ren LP, Yang GF. Treatment of domestic wastewater by an underground capillary seepage system. *Ecological Engineering*, 1998, 11: 111~119

- 10 杨丽萍, 田宁宁, 褚富春. 土壤毛细管渗滤污水净化绿地利用研究. 城市环境与城市生态, 1999, 12 (3): 4 ~ 7
- 11 张建, 黄霞, 刘超翔, 施汉昌, 胡洪营, 钱易. 地下渗滤处理村镇生活污水的中试. 环境科学, 2002, 23 (6): 57 ~ 61
- 12 Nuutinen V, Pöyhönen S, Ketoja E, Pitkänen J. Abundance of the earthworm *Lumbricus terrestris* in relation to subsurface drainage pattern on a sandy clay field. J. Soil Biol., 2001, 37: 301 ~ 304
- 13 吴建峰, 林先贵. 土壤微生物在促进植物生长方面的作用. 土壤, 2003, 35 (1): 18 ~ 21
- 14 高超, 张桃林, 吴蔚东. 氧化还原条件对土壤磷素固定与释放的影响. 土壤学报, 2002, 39 (4): 542 ~ 549
- 15 Wang ZH, Li SX. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. Pedosphere, 2003, 13 (4): 309 ~ 316
- 16 刘世亮, 骆永明, 丁克强, 曹志洪. 土壤中有机污染物的植物修复研究进展. 土壤, 2003, 35 (3): 187 ~ 192
- 17 Kool JB, Huyakorn PS, Sudicky EA, Saleem ZA. A composite modeling approach for subsurface transport of degrading contaminants from land-disposal sites. Journal of Contaminant Hydrology, 1994, 17: 69 ~ 90
- 18 李桂花, 李保国. 大肠杆菌在饱和砂土中的运移及其模拟. 土壤学报, 2003, 40 (3): 783 ~ 786
- 19 Li HL, Han Y, Cai ZC. Modeling nitrogen mineralization in paddy soils of Shanghai region. Pedosphere, 2003, 13 (4): 331 ~ 336
- 20 张建, 黄霞, 魏杰, 胡洪营, 施汉昌. 地下渗滤污水处理系统的氮磷去除机理. 中国环境科学, 2002, 22 (5): 438 ~ 441
- 21 Van Cuyk S, Siegrist R, Logan A, Masson S, Fischer E, Figueroa L. Hydraulic and purification behaviors and their interaction during wastewater treatment in soil infiltration systems. Wat. Res., 2001, 35 (4): 953 ~ 964
- 22 李寿田, 周健民, 王火焰, 陈小琴, 杜昌文. 不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究. 土壤学报, 2003, 40 (6): 908 ~ 914
- 23 Johansson L, Gustafsson JP. Phosphate removal from wastewater using blast furnace slags and opoka-mechanisms. Wat. Res., 2000, 34 (1): 259 ~ 265
- 24 Stevil TK, Ausland G, Hanssen JF, Jenssen PD. The influence of physical and chemical factors on the transport of *E. coli* through biological filters purification. Wat. Res., 1999, 33 (18): 701 ~ 3706
- 25 Adelman DD, Tabidian MA. The potential impact of soil carbon content on ground water nitrate contamination. Water Science and Technology, 1996, 33 (4/5): 227 ~ 232
- 26 Kong HN, Kimochi Y, Mizuochi M, Inamori R, Inamori Y. Study of the characteristics of CH₄ and N₂O emission and methods of controlling their emission in the soil-trench wastewater treatment process. The Science of the Total Environment, 2002, 290: 59 ~ 67
- 27 Itayama T, Saitou T, Mizuochi M, Norio I, Inamori Y. Development of the distributed and separated domestic wastewater treatment system. Proceeding of International symposium on Sustainable Sanitation, Nanjing, China, 2003, 61 ~ 66
- 28 董泽琴. 土壤地下渗滤净化沟污水除磷脱氮工艺及影响因素初探. 贵州环保科技, 2002, 8 (3): 18 ~ 21
- 29 Magesan GN, Williamson JC, Yeates GW, Lloyd-Jones ARh. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. Bioresource Technology, 2000, 71: 21 ~ 27
- 30 Baveye P, Vandevivere P. Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials. Critical Rev. Environ. Sci. Tech., 1998, 28: 123 ~ 191
- 31 Balks MR, McLay CDA, Harfoot CG. Determination of the progression in soil microbial response, and changes in soil permeability, following application of meat processing effluent to soil. Appl. Soil Ecol., 1997, 6: 109 ~ 116
- 32 Johansen C, Falholt P, Gram L. Enzymatic removal and disinfection of bacterial biofilms. Appl. Environ. Microb., 1997, 63: 3724 ~ 3728
- 33 Stevik TK, Ausland G, Deinboll P, Robert L. Siegrist. Removal of *E. coli* bacteria during intermittent filtration of wastewater effluent as affected by dosing rate and media type. Wat. Res., 1999, 33 (9): 2088 ~ 2098
- 34 宋伟民, 卢纯惠, 李锦梅. 土壤渗滤处理三格化粪池粪液的可行性论证. 上海环境科学, 1997, 16 (3): 36 ~ 37
- 35 Prasad R, Power JF. Nitrification inhibitors for agriculture, health and the environment, Adv. Agron., 1995, 54: 233 ~ 281
- 36 封克, 王子波, 王小治, 张素玲, 汪晓丽. 土壤pH对硝酸根还原过程中N₂O产生的影响. 土壤学报, 2004, 41 (1): 81 ~ 86

SUBSURFACE SOIL INFILTRATION SYSTEMS FOR SEWAGE TREATMENT

KONG Gang XU Zhao-yi LI Hua-wei WANG Yong CHEN Ze-zhi LUO Xing-zhang ZHENG Zheng

(*State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Department of Environmental Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract The gap between demand and supply of water and the risk of environment pollution associated with inadequate decentralized treatment and disposal of sewage have stimulated attempts to develop in-situ sewage treatment systems, highly efficient in performance with respect to not only SS, organics and bacteria, but also nutrients, low in energy consumption, and easy in operation and maintenance. The subsurface soil infiltration system introduced in this paper may offer a solution to the problem. This paper described the process of the subsurface soil infiltration system, analyzed the mechanisms for sewage purification and the effects of various factors on treatment, discussed a number of problems related to soil clogging and pathogenic and Nitrate-N contamination of the groundwater. The prospect of the technology was expected as a conclusion.

Key words Subsurface soil infiltration systems, In-situ treatment, Sewage