

基于减量化的活性污泥处理新工艺探索

徐华华 朱琦 陈佳申 邱剑波
宁波市城市排水有限公司 浙江 宁波 315040

摘要：随着城市化进程的加快和工业化的不断推进，污水处理量日益增加，产生的剩余污泥量也随之剧增。传统活性污泥处理工艺在有效去除污水中有机污染物的同时，也产生了大量的剩余污泥，其处理与处置成本高昂，且可能对环境造成二次污染。因此，探索基于减量化的活性污泥处理新型工艺具有重要意义。本文综述了当前污泥减量化的主要技术途径，并重点探讨了几种新型活性污泥处理工艺，旨在为污水处理领域的污泥减量化提供理论参考和实践指导。

关键词：活性污泥；减量化；新工艺

引言

活性污泥法是目前应用最广泛的污水生物处理工艺之一，它通过活性污泥中的微生物降解污水中的有机污染物，达到净化水质的目的。然而，该工艺在产生大量剩余污泥的同时，也面临着污泥处理与处置成本高、环境风险大等问题。因此，如何实现污泥的减量化，成为污水处理领域亟待解决的关键问题。

1 污泥减量化的重要性及主要技术途径

1.1 重要性

污泥减量化作为污水处理领域的一个核心研究方向，其重要性不言而喻。随着城市化进程的加快和工业生产的不断发展，污水排放量急剧增加，随之而来的污泥处理问题也日益凸显。污泥减量化不仅关乎污水处理的经济性、环保性，更与资源的可持续利用紧密相连。其重要性主要体现在以下几个方面：

1.1.1 降低处理成本

污泥处理与处置是污水处理过程中的重要环节，也是成本较高的部分之一。污泥的产生量直接影响到后续处理工艺的选择和运行成本。通过污泥减量化技术，可以有效减少污泥的产量，从而降低运输、储存、处理等环节的费用。这不仅减轻了污水处理厂的经济负担，也为其长期稳定运行提供了有力保障。在传统污泥处理过程中，污泥的运输和处置往往需要大量的人力、物力和财力投入。而污泥减量化技术的应用，可以显著减少这些环节的成本支出。例如，通过优化工艺运行条件，提高污泥的稳定性和脱水性能，可以降低污泥的运输成本和处置难度。同时，减少污泥的产生量也意味着减少了处理过程中所需的化学药剂和能源消耗，进一步降低了处理成本。

1.1.2 减轻环境压力

污泥中含有大量的有机物、重金属和病原微生物等有害物质，如果处理不当，很容易对土壤、水体和空气造成污染。污泥减量化技术的应用，可以有效减少污泥的排放，从而减轻对环境的压力。通过改变微生物的代谢途径或优化工艺运行条件，可以使更多的有害物质在污水处理过程中得到去除或转化，降低污泥对环境的潜在风险^[1]。此外，污泥减量化还有助于减少温室气体排放。污泥在处理过程中会产生大量的甲烷等温室气体，这些气体对全球气候变化具有重要影响。通过污泥减量化技术，可以减少污泥的产生量，从而降低温室气体的排放量，为应对全球气候变化做出贡献。

1.1.3 提高资源利用率

污泥中不仅含有有害物质，还富含大量的有机物质和能量。通过污泥减量化技术，可以将这些有机物质转化为生物量或能源，提高资源的利用率。例如，通过解偶联代谢技术，可以改变微生物的代谢途径，使其将更多的有机物质转化为生物量而不是污泥。同时，利用微生物捕食技术，可以通过捕食作用减少污泥中的有机物质含量，进一步提高资源的利用率。此外，污泥中的有机物质还可以作为能源物质进行回收利用。通过厌氧消化等技术，可以将污泥中的有机物质转化为沼气等可再生能源，为污水处理厂的运行提供能源支持。这不仅可以降低污水处理厂的能源消耗，还可以提高其经济效益和环保性能。

1.2 主要技术途径

污泥减量化的主要技术途径包括解偶联代谢、隐性生长、内源代谢、微生物捕食以及工艺优化等。这些技术通过改变微生物的代谢途径、优化工艺运行条件等方式，实现污泥产量的减少。解偶联代谢是一种通过改变微生物的代谢途径来减少污泥产量的技术。通过投加解

偶联剂,可以打破微生物生长与底物消耗之间的耦合关系,使微生物在消耗底物的同时不产生或少产生污泥。隐性生长则是通过优化工艺运行条件,促进微生物的隐性生长,使其将更多的有机物质转化为生物量而不是污泥。这种技术可以通过调节溶解氧、温度、pH值等参数来实现。内源代谢是指微生物在缺乏外源底物的情况下,利用自身储存的物质进行代谢的过程。通过促进微生物的内源代谢,可以减少污泥的产生量。这可以通过延长污泥停留时间、降低进水有机物浓度等方式来实现。微生物捕食是一种利用原生动物、后生动物等微生物捕食污泥中的细菌等微生物,从而减少污泥产量的技术。这种技术可以通过投加捕食者、优化捕食者生长条件等方式来实现。工艺优化则是通过对污水处理工艺进行优化设计,提高污泥的稳定性和脱水性能,减少污泥的产生量。这可以通过改进曝气方式、优化沉淀池设计、采用高效脱水设备等方式来实现。

2 新型活性污泥处理工艺探索

随着城市化进程的加速和工业生产的不断发展,污水处理问题日益凸显,对高效、环保的污水处理技术的需求也日益迫切。新型活性污泥处理工艺作为污水处理领域的研究热点,为污泥减量化和资源化利用提供了更多可能。

2.1 好氧-沉淀-厌氧工艺(SA工艺)

SA工艺是在常规活性污泥法的基础上,通过巧妙地设置污泥回流过程中的一个厌氧段,实现了微生物在好氧和厌氧环境中的交替作用。在好氧阶段,微生物充分利用氧气分解有机物,并合成新的细胞物质,同时释放出能量。这是污水处理过程中的主要生物降解阶段,也是污泥产生的主要来源。而在厌氧阶段,微生物则利用在好氧阶段合成的ATP(腺苷三磷酸)来维持其生命活动,但此时并不进行新的细胞合成,而是通过内源呼吸分解自身细胞内的有机物^[2]。这种好氧与厌氧的交替作用,打破了传统活性污泥法中微生物持续合成新细胞的模式,从而显著降低了污泥的产量。研究表明,与传统活性污泥工艺相比,SA工艺的污泥产率可以降低20%~65%。此外,该工艺还能有效改善污泥的沉降性能,提高除磷效果。这是因为厌氧段的存在使得聚磷菌能够在厌氧条件下释放磷,并在好氧条件下过量摄取磷,从而实现磷的有效去除。在实际应用中,SA工艺已经取得了一些成功的案例。例如,某城市污水处理厂采用SA工艺对污水进行处理,结果显示污泥产量明显降低,出水水质稳定达标,且除磷效果优异。然而,SA工艺也并非完美无缺。由于其水力停留时间较长,需要设

置厌氧段,这无疑增加了基建费用和占地面积。同时,厌氧段的运行管理也相对复杂,需要严格控制厌氧条件,防止好氧微生物的侵入和干扰。

2.2 LSP工艺

LSP工艺是一种全新的生化工艺,它通过增加污泥在反应器中的停留时间、增设填料以及降低污泥负荷等手段,实现了污泥的减量化。该工艺采用大容积的反应器和高密度的填料,为污泥提供了充足的附着和生长空间。污泥在反应器中长时间停留,并附着在填料上生长,形成了稳定的生物膜。在LSP工艺中,由于污泥负荷较低,微生物处于内源性呼吸阶段,开始分解自身细胞内的有机物以维持生命活动。这一过程不仅减少了污泥的产生量,还提高了污水的处理效率。同时,生物膜的形成也增强了微生物对有机物的吸附和降解能力,使得出水水质更加清澈。据相关研究表明,LSP工艺能实现80%~90%的污泥减量效果。这对于污泥减量化和资源化利用具有重要意义,可以大大减少污泥的处理和处置成本。然而,LSP工艺的投资成本较高,对运行管理的要求也相对较高。在实际应用中,需要确保反应器的稳定运行,防止生物膜的脱落和堵塞等问题。同时,还需要加强对填料的选择和维护,以确保其长期稳定的性能。此外,LSP工艺对进水水质也有一定的要求,需要严格控制进水中的有毒有害物质和悬浮物含量,以防止对生物膜的破坏和影响处理效果。

2.3 MBR工艺与内源呼吸技术结合

MBR工艺(膜生物反应器)是一种将活性污泥法与膜分离技术相结合的新型水处理技术。通过膜的高效分离作用,MBR工艺实现了污泥停留时间和水力停留时间的分离,提高了固液分离效率。这使得出水水质更加清澈透明,满足了高标准的水质要求。同时,膜的高效截留作用也使得反应器内的微生物浓度得以保持较高水平,从而提高了污水的处理效率。将MBR工艺与内源呼吸技术结合使用,可以进一步降低污泥的产量。通过降低F/M比(食微比),即减少进入反应器的有机物量与生物量的比值,可以促使微生物进入内源性呼吸阶段,分解自身细胞内的有机物以维持生命活动。这一过程不仅减少了污泥的产生量,还提高了污水的处理效率和出水水质。研究表明,这种结合方式能实现剩余污泥产生量的显著减少,甚至达到零污泥排放的效果^[3]。然而,MBR工艺的投资成本较高,且膜污染问题仍是一个亟待解决的难题。膜污染会导致膜通量的下降和处理效率的降低,需要定期进行清洗和更换。这不仅增加了运行成本,也影响了MBR工艺的长期稳定运行。此外,MBR

工艺对运行管理的要求也相对较高,需要严格控制反应器的运行条件和膜的清洗周期,以确保其长期稳定的性能。在实际应用中,MBR工艺与内源呼吸技术的结合已经取得了一些成功的案例。例如,某工业废水处理厂采用这种结合方式对废水进行处理,结果显示污泥产量明显降低,出水水质稳定达标,且处理效率得到了显著提高。然而,由于MBR工艺的投资成本较高和膜污染问题的存在,其在实际应用中的推广和应用仍受到一定的限制。

3 未来发展方向

随着环保意识的增强和污水处理技术的不断进步,活性污泥处理工艺的未来发展方向将更加注重技术优化与创新、资源化利用与循环经济以及智能化与自动化技术的应用。

3.1 技术优化与创新

未来,基于减量化的活性污泥处理新型工艺将继续成为研究的热点。为了提高污泥减量效率和出水水质,我们需要不断优化和创新现有工艺。一方面,可以开发更高效的解耦联剂。解耦联剂能够打破微生物合成新细胞与分解有机物之间的耦合关系,使微生物在分解有机物的同时不合成或少量合成新细胞,从而实现污泥的减量。因此,研发具有更高效率和更低毒性的解耦联剂将成为未来的研究方向。另一方面,改进细胞溶解技术也是提高污泥减量效率的重要手段。细胞溶解技术能够通过物理、化学或生物方法破坏微生物细胞,释放细胞内的有机物,使其更容易被其他微生物分解利用。未来,我们可以探索更加高效、环保的细胞溶解技术,如利用超声波、高压均质等物理方法,或者开发具有特异性的生物酶制剂,以提高污泥的减量效果。

3.2 资源化利用与循环经济

污泥中富含有机物和多种营养元素,是一种具有潜在价值的资源。未来,我们应加强污泥中有机物的资源化利用研究,推动污泥处理与处置向循环经济方向发展。一方面,可以将污泥转化为生物气。通过厌氧消化等技术,将污泥中的有机物转化为甲烷等可燃气体,作为能源加以利用。这不仅可以减少污泥的处理成本,还能实现能源的回收和利用^[4]。另一方面,污泥还可以转化为肥料等有用物质。通过堆肥化等技术,将污泥中的有

机和营养元素转化为植物可吸收的形态,作为肥料施用于农田或园林。这不仅可以实现污泥的减量化和无害化处理,还能提高土壤的肥力和作物的产量。

3.3 智能化与自动化

随着智能化和自动化技术的不断发展,未来应探索将其应用于污泥处理领域。通过智能监控和自动控制系统,我们可以实现污泥处理过程的精准调控和高效运行。例如,可以安装在线监测设备,实时监测污泥处理过程中的各项指标,如pH值、溶解氧浓度、污泥浓度等,并根据监测结果自动调整处理工艺的参数,以确保处理效果的稳定和优化。此外,还可以利用大数据和人工智能技术,对污泥处理过程中的数据进行深度挖掘和分析,发现潜在的规律和问题,为工艺的优化和改进提供科学依据。同时,通过远程监控和操作,我们可以实现污泥处理设施的无人值守和智能化管理,降低运行成本和提高管理效率。

结语

基于减量化的活性污泥处理新型工艺在污水处理领域具有广阔的应用前景。通过解耦联代谢、隐性生长、内源代谢和微生物捕食等技术手段,以及SA工艺、LSP工艺和MBR工艺与内源呼吸技术结合等新型工艺的探索与实践,可以有效降低剩余污泥的产生量,减轻污泥处理与处置的压力。未来,应进一步加强污泥减量化技术的研究与开发,推动其在污水处理领域的广泛应用,为环境保护和可持续发展做出贡献。同时,也应关注新型工艺的经济性和可行性,确保其在实际工程中的有效实施和运行。

参考文献

- [1]罗智,邓阳,陈杭烽,等.活性污泥原位消化减量工艺的原理及应用[J].电镀与精饰,2023,45(09):74-77.
- [2]詹咏,王慧,韦婷婷,等.Mn²⁺强化臭氧调理对生物处理工艺的污泥原位减量效果[J].化工进展,2023,42(06):3253-3260.
- [3]马国成.一体式城市污水高效脱氮耦合污泥减量工艺性能与机理[D].青岛大学,2023.
- [4]李义勇,王广华,王宝娥,等.微生物菌剂在污泥减量中的应用研究进展[J].中国给水排水,2023,39(10):38-46.