

生物池分段进水的探讨

陈晨

扬州洁源环境股份有限公司，江苏 扬州 225002

DOI: 10.61369/SSSD.2025190032

摘 要： 本文聚焦扬州北山污水处理厂生物池分段进水技术。阐述其在污水处理工艺中占据重要地位，通过优化微生物环境、合理分配碳源，实现脱氮除磷的协同作用，与传统进水方式原理不同。在设备运行管理方面，强调设备选型适配、参数调控、日常维护及节能措施。生物池分段进水技术经实践应用，成效显著，对污水处理厂高效、节能运行意义重大，未来应用前景广阔。

关 键 词： 生物池；分段进水；工艺原理；设备管理

Discussion on Step Feed Process in Biological Reactors

Chen Chen

Yangzhou Jieyuan Environment Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225002

Abstract： This paper focuses on the step feed process in biological reactors of Yangzhou Beishan Wastewater Treatment Plant. It elaborates that this technology plays a crucial role in the wastewater treatment process. By optimizing the microbial environment and rationally distributing carbon sources, it achieves the synergistic effect of nitrogen and phosphorus removal, which differs in principle from traditional feeding methods. In terms of equipment operation and management, the paper emphasizes equipment selection adaptation, parameter regulation, daily maintenance, and energy-saving measures. Through practical application, the step feed process in biological reactors has achieved remarkable results, which is of great significance for the efficient and energy-saving operation of wastewater treatment plants and boasts broad application prospects in the future.

Keywords： biological reactor; step feed process; process principle; equipment management

引言

在污水处理厂的复杂工艺体系中，生物池作为核心处理单元，其运行效果直接决定了污水最终的净化程度。生物池分段进水技术近年来备受瞩目，它打破传统单一进水模式，依据污水水质特性与处理需求，将进水合理分配至生物池的不同阶段^[1]。这一创新举措，对污水处理厂的整体运行意义深远。不仅能显著提升处理效率，使污水中各类污染物得到更充分降解，还能有效降低能耗与药剂使用量，助力污水处理厂实现降本增效。在环保标准日益严苛的当下，生物池分段进水技术为污水处理厂迈向绿色、高效运营提供了有力支撑^[2]。

一、生物池分段进水工艺原理

（一）分段进水对微生物环境的优化机制

微生物在污水处理中扮演关键角色，而分段进水为其营造了更适宜的生存环境。传统单一进水易使微生物面临营养物质冲击，难以稳定发挥功效^[3]。分段进水时，污水逐步流入生物池不同区域，各区域微生物可依据进水水质特点逐步适应、定向进化。前段进水为易降解有机物降解菌提供充足“食物”，使其快速繁殖，高效分解污水中大分子污染物；后段进水则侧重于为对环境变化更敏感的微生物提供稳定、相对低负荷的环境，让它们得以在适宜条件下对残留污染物进行深度处理，优化微生物群落结构，全面提升污水处理效能^[4]。

（二）不同进水段的碳源分配原理

碳源是微生物生长代谢的关键能量来源，在生物池分段进水

中，合理分配碳源至关重要。在进水初期，污水中碳源丰富，将大部分碳源引入前段生物池，可满足异养菌快速生长与繁殖需求，促使其大量消耗易降解有机物，为后续处理减轻负担。随着处理进程推进，污水中碳源逐渐减少，中后段进水碳源分配相应调整，重点保障反硝化菌进行反硝化脱氮所需碳源。因为反硝化过程需消耗一定碳源作为电子供体，精准调控此阶段碳源，可使反硝化反应高效进行，避免因碳源不足导致脱氮不彻底，又防止碳源过多引发微生物过度增殖、影响处理水质。

（三）分段进水对脱氮除磷的协同作用原理

脱氮与除磷是污水处理的两大核心目标，分段进水能巧妙实现二者协同。在生物池前段，大量有机物被降解，微生物利用碳源生长同时，将污水中氨氮转化为硝态氮，完成氨化与硝化过程。随后，在中后段进水区域，反硝化菌利用前段产生的硝态氮以及中后段进水中适量碳源进行反硝化反应，将硝态氮还原为氮气排出，实

现脱氮。而聚磷菌在好氧、厌氧交替环境下工作，分段进水创造的多阶段环境正好满足其需求。厌氧段，聚磷菌分解体内聚磷酸盐获取能量，吸收污水中碳源储存为 PHA；好氧段，利用储存的 PHA 分解产生能量过量摄取污水中磷，通过排放剩余污泥达到除磷目的，两段工艺相互配合，提升脱氮除磷综合效果。

（四）与传统进水方式的原理对比分析

传统进水方式将污水集中一次性注入生物池，微生物面临水质、水量冲击大的问题。污水进入瞬间，高浓度污染物使微生物处于应激状态，难以稳定发挥降解功能，处理效率受限。且因碳源集中供给，易出现前期微生物过度消耗碳源，后期反硝化脱氮碳源不足的情况，导致脱氮效果不佳。相比之下，分段进水以逐步、有序的方式引入污水，微生物能分阶段、针对性适应不同水质条件，始终保持较高活性。通过科学分配碳源，满足各阶段微生物对营养物质的差异化需求，使生物池各区域功能得以充分发挥。在脱氮除磷方面，分段进水创造的复杂环境更契合微生物脱氮除磷的协同反应机制，相比传统方式，极大提升了污水处理的全面性与高效性，是一种更具优势的创新工艺。

二、生物池分段进水的设备运行管理

（一）分段进水设备的选型与适配性

在生物池分段进水系统中，设备选型关乎整体工艺的成败。首先要依据污水水质特性，如污染物浓度、成分等选择合适的进水分配设备。对于水质波动大的污水，宜选用具备灵活调节功能的智能分配器，可根据实时水质调整各段进水量。同时，要考虑生物池的规模与结构，大型生物池需匹配流量大、耐用性强的设备，确保进水均匀且稳定。以提升泵为例，需依据提升高度、流量需求，选择扬程和功率适配的型号，避免出现动力不足或能源浪费现象。此外，设备材质也要适配污水腐蚀性，如采用耐腐蚀的不锈钢或工程塑料材质，延长设备使用寿命，保障与生物池分段进水工艺的高度适配。

（二）设备运行参数的调控要点

设备运行参数的精准调控是实现高效分段进水处理的关键。进水量作为核心参数，需根据生物池各段微生物的负荷及处理效果动态调整。例如，当发现前段微生物对有机物降解能力有余，可适当增加进水量；若后段反硝化效果欠佳，可微调中后段进水量，为反硝化菌提供适宜碳源与硝态氮比例。水力停留时间也不容忽视，不同处理阶段有不同的最佳停留时长，通过调节阀门控制水流速度，确保污水在各段生物池内停留时间满足微生物反应需求。溶解氧浓度同样重要，在好氧段，通过调节曝气设备功率，维持合适溶解氧水平，满足微生物有氧呼吸与硝化反应；厌氧段则严格控制溶解氧，避免干扰聚磷菌厌氧释磷过程，全方位保障设备运行参数契合工艺要求。

（三）设备日常维护与故障应对策略

设备的日常维护是保障长期稳定运行的基础。定期对进水分配设备进行清洁，清除附着的杂质、污垢，防止堵塞影响进水均匀性。检查设备各连接部位，确保螺栓紧固、管道无泄漏。对于

提升泵、曝气设备等关键设备，要按时更换润滑油、易损零部件，监测电机运行温度与电流，预防故障发生。一旦出现故障，需迅速响应。若进水分配设备故障，导致某段进水量异常，应立即切换至备用设备，并对故障设备进行排查维修，分析故障原因，如因杂质堵塞可清理疏通，因部件损坏则及时更换。曝气设备故障时，若溶解氧下降，可通过应急增氧措施维持微生物生存，同时抢修曝气设备，确保生物池处理功能尽快恢复正常。

（四）基于分段进水的设备节能措施

节能是污水处理厂可持续发展的重要目标，分段进水设备运行中有诸多节能潜力可挖。在设备选型阶段，优先选用高效节能型设备，如节能型提升泵，其优化的叶轮设计可降低能耗。运行过程中，根据污水水质、水量变化，采用变频技术调节设备运行频率。当污水量减少时，降低提升泵、曝气设备等的运行频率，减少能源消耗。合理调整生物池各段运行时间，在低负荷时段，可适当缩短部分设备运行时长。例如，在夜间污水量较小时，减少曝气时长，通过精准控制设备运行，在不影响处理效果前提下，实现节能降耗，降低污水处理厂运营成本，推动绿色污水处理进程。

（五）基于分段进水的生产运行操作要点

1. 水量控制

进水量少时且进水浓度正常时，进水泵房液位控制在4—5.0米。（进水浓度正常是指：进水浓度 \leq 北山厂进水浓度设计值）。

2. 进水量大且进水浓度正常时，进水泵房液位控制不超过8.0米；进水流量瞬时值 $>3500\text{m}^3/\text{h}$ 时，应调整格栅（粗、中、超细）运行时间，增加格栅运行频次，保证过水。

3. 进水氨氮值 $\leq 26\text{mg/l}$ 的前提下，进水流量瞬时值最高不超过 $4350\text{m}^3/\text{h}$ ，在进水流量达到进水氨氮值对应的处理水量的前提下，进水泵房液位上升至8.0米时，通知管网公司控制送水。（进水浓度正常是指：进水浓度 \leq 北山厂进水浓度设计值）。

4. 进水量大且进水浓度异常时（进水在线仪显示值 $\text{COD} \geq 500\text{mg/l}$ 、氨氮 $\geq 45\text{mg/l}$ 、 $\text{TN} \geq 50\text{mg/l}$ 、 $6 \geq \text{PH} \geq 9$ ），通知管网公司控制送水。

5. 处理水量的计算按照北山设计规模与设计进水氨氮值为基数进行计算，计算结果见“进水氨氮值与处理水量对照表”，并按照该表控制处理水量；进水水量按照进水氨氮异常时的最高值进行控制，待生物池气量达最高点并开始下降时，按此时的氨氮值恢复处理水量，并告知管网公司恢复正常进水。

进水氨氮值与处理水量对照表

进水氨氮值（mg/l）	处理水量（ m^3 ）
≤ 26	4350
≤ 28	4166
≤ 29	4000
≤ 30	3833
≤ 32	3666
≤ 33	3500
≤ 35	3333
≤ 37	3166
≤ 39	3000
≤ 41	2833
≤ 44	2666
≤ 47	2500
≤ 50	2333

≤54	2166
≤58	2000

(六) 基于分段进水的碳源投加

碳源投加方案				
TN 控制值执行 GB18918-2002(A) 标准]				
正常投加	碳源投加量确定条件	生物池碳源投加量(半组)(L/h)	内回流泵运行台次	说明
硝氮上升	符合下列条件之一： ① 生物池2#硝氮 ≥ 13mg/l 时 I 进水氨氮 ≥ 24mg/l ② 正常投加时生物池2#硝氮 ≥ 13.5mg/l	400	2台	①达不到增加碳源投加量条件时保持现投加量至生物池2#硝氮 ≤ 12.5mg/l 时停止投加碳源； ②缺氧段末端1#硝氮 ≤ 3mg/l，内回流泵开3台。
硝氮下降	生物池2#硝氮 ≤ 12.5mg/l	0	2台	
应急投加	碳源投加量确定条件	生物池碳源投加量(半组)(L/h)	内回流泵运行台次	说明
硝氮上升	符合下列条件之一： ① 进水氨氮 ≥ 30mg/l； ② 进水 TN ≥ 35mg/l	400	2台	①达不到增加碳源投加量条件时保持现投加量至生物池2#硝氮 ≤ 12mg/l 时停止投加碳源； ②缺氧段末端1#硝氮 ≤ 3mg/l，内回流泵开3台。
	符合下列条件之一： ① 进水氨氮 ≥ 40mg/l； ② 进水 TN ≥ 45mg/l； ③ 应急投加时进水氨氮(TN)值未到碳源投加量增加至500L/h(半组)，但生物池2#硝氮 ≥ 13.5mg/l	500	2台	①生物池2#硝氮下降时按照本方案应急投加部分规定的硝氮下降时投加量进行投加； ②缺氧段末端1#硝氮 ≤ 3mg/l，内回流泵开3台。
硝氮下降	缺氧段末端1#硝氮 ≤ 1.5mg/l	200(250)	3台	即：应急投加时，碳源加至缺氧段末端1#硝氮 ≤ 1.5mg/l 时投加量减半。
	缺氧段末端1#硝氮 ≥ 3mg/l	400(500)	3台	即：应急投加时，碳源减半后缺氧段末端1#硝氮升至 ≥ 3mg/l 时投加量恢复至进水氨氮(TN)对应投加量。内回流泵仍开3台。
	生物池2#硝氮 ≤ 12.5mg/l 同时进水氨氮降至 ≤ 28mg/l	0	2台	

1. 碳源的正常投加：

(1) 进水无冲击而生物池好氧段末端硝氮值高时的碳源投加为碳源的正常投加。

投加碳源需先控制好生物池末端 DO。碳源投加泵开启后需到

生物池确认出药是否正常，以及出药量是否正常。

(2) 按照厂部制定的碳源投加方案投加碳源。

2.PAC、PAM 投加

(1) 每天巡视时关注高密度沉淀池 PAM 制配装置、PAC 投加点出药口、搅拌器、刮泥机、高密回流、排泥泵、絮凝、混凝搅拌器是否正常，是否有异响，按照出水 TP 值及时调整 PAC 投加量，高密排泥每次应排至回流为清水，每天轮流气冲高密斜板，气冲高密斜板时出现泥浆较多时应报告厂部，并增加高密排泥时间。

(2) 当进水 TP 较高，按照出水 TP 达标投加 PAC，当进水 TP 较低，TP 达标时，需投加的 PAC 量较少时，PAC 投加量应满足高密出水清澈无浑浊现象。

(七) 基于分段进水的生物池污泥控制措施。

在分段进水正常运行过程中，各运行单体可能会出现一些问题，如不及时处置，会造成处理效果降低、污泥流失等情况，从而影响出水水质，对工艺运行中可能出现的问题进行分析并提出相应的控制措施。

三、结语

生物池分段进水凭借独特工艺原理，优化微生物环境、精准分配碳源，显著提升脱氮除磷协同效果，相较传统进水优势尽显。在设备运行管理方面，合理选型适配、精细调控参数、严格日常维护与高效故障应对，以及实施节能措施，全方位保障系统稳定、高效且节能运行。这一技术在污水处理厂实际应用中，切实提高处理效率、降低运营成本，为污水处理行业的绿色发展注入强大动力。未来，随着技术持续创新与完善，生物池分段进水有望在更广泛场景应用，进一步推动污水处理工艺迈向智能化、高效化、低碳化新征程。

参考文献

[1] 黄梦博. 主流分段进水两级 A/O+ 侧流生物膜强化生物除磷工艺性能优化研究 [D]. 西安理工大学, 2024.

[2] 王拓. 分段进水多级 AO 应用于高出水标准市政污水处理厂工程及运行分析 [J]. 城市道桥与防洪, 2024, (03): 120-122+16-17.

[3] 权国卿, 王舜和, 宋杰. 分段进水多级 AO 工艺设计方法探讨及优化 [J]. 给水排水, 2023, 59(09): 43-49.

[4] 李一龙, 包宇, 邸文正, 等. 高排放标准下分段进水多级 AO+MBR 工艺的设计 [J]. 中国给水排水, 2022, 38(04): 76-81.