

河南省环保产业协会团体标准

城镇污水处理厂污水深度脱氮与资源化技 术指南

编 制 说 明

二〇二二 年 十 一 月

目 录

1	编制背景	1
1.1	任务来源	1
1.2	工作过程	1
2	城镇污水深度脱氮与资源化的技术现状及问题识别	2
2.1	污水深度脱氮与资源化的现状	2
2.2	国内外相关研究进展和实践现状	11
2.3	面临的问题	18
3	标准制定的必要性	19
4	标准制定的总体思路	20
4.1	标准定位	20
4.2	指导思想	21
4.3	基本原则	21
4.4	编制依据	22
4.5	技术路线	23
5	标准主要技术内容	25
5.1	适用范围	25
5.2	规范性引用文件	25
5.3	术语和定义	25
5.4	总体要求	27
5.5	技术指标	27
5.7	技术路线	28

5.6	城镇污水不同用途的深度脱氮技术.....	29
5.7	其他.....	34
6	标准实施的可行性.....	35
6.1	技术可行性.....	35
6.2	经济可行性.....	37
7	标准与相关文件的衔接.....	38
8	标准实施效益.....	39
9	标准实施建议.....	40
10	附录.....	40

1 编制背景

1.1 任务来源

国家发改委等 10 部门联合印发的《关于推进污水资源化利用的指导意见》中指出加快推动城镇生活污水资源化利用。水利部等部门印发《典型地区再生水利用配置试点方案》指出加强再生水利用配置管理，制（修）订相关标准，在满足再生水水质要求条件下，扩大再生水用于河湖湿地生态补水、景观环境用水的规模。《区域再生水循环利用试点实施方案》中拓宽再生水利用渠道中明确指出再生水应纳入到供水体系；鼓励工业园区、用水大户等利用再生水，严控新水取用量；鼓励将再生水用于河湖生态补水。我省“十四五”规划中指出合理开发利用水资源，保障河湖生态用水；加强再生水等非常规水循环利用，推进污水处理厂尾水的再生利用。因此，亟需制定城镇污水处理厂污水深度脱氮与资源化技术指南的标准。经河南省环境保护产业协会的批准，由知和环保科技有限公司和郑州大学环境技术咨询工程有限公司承担该标准的编制工作。

1.2 工作过程

根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》以及《河南省标准化管理办法》（河南省人民政府令第 202 号）等相关要求，本标准制定过程主要分为以下几个阶段：

第一阶段：标准立项阶段

针对污水资源化工作的需求，及实际工作中发现的问题，提出了《城镇污水处理厂污水深度脱氮与资源化技术指南》立项申请书，2022 年 3 月 14 日河南省环境保护产业协会发布了《关于同意<城镇污水处理厂污水深度脱氮与资源化技术指南>等团体标准立项的批复》（豫环协[2022]15 号）。

第二阶段：标准立项阶段

2022 年 3 月，成立标准编制组，开展前期资料收集工作及标准的制定工作。标准编制组开始搜集查询国内外污水深度脱氮及资源化相关标准、技术规范、政

策文件和文献资料。随后开始调研深度脱氮技术的实际应用情况，并对工程案例进行现场考察、调研。确定深度脱氮与资源化的应用场景、技术参数等内容，经过多次技术研讨并不断修改完善，编制形成了《城镇污水处理厂污水深度脱氮与资源化技术指南》及编制说明（征求意见稿）。

第三阶段：征求意见

第四阶段：标准论证阶段

第五阶段：标准审查阶段

2 城镇污水深度脱氮与资源化的技术现状及问题识别

2.1 城镇污水深度脱氮与资源化的现状

2.1.1 我国水体中氮的污染现状

水安全是涉及国家长治久安的大事。党的十八大以来，党中央、国务院高度重视水安全工作，习近平总书记明确提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，把水安全上升为国家战略，作出一系列重大决策部署，为系统解决我国新老水问题、保障国家水安全提供了根本遵循和行动指南。李克强总理强调，要围绕防洪减灾、水资源优化配置、水生态保护修复等，抓紧推进重大水利工程建设，统筹加强中小型水利设施建设，提高水安全保障能力。

2.1.1.1 我国污水及含氮污染物的排放量

随着国家城镇化建设的加快，水污染物排放强度大，污水的排放量日益增加，已超过水体的环境容量。尽管“十三五”期间我们的水体环境已经得到了改善，“十四五”期间我们仍需继续努力改善水环境、水生态、水安全。根据我国住建部的《城市建设统计年鉴》数据显示，2011-2020 年我国污水排放量逐年增长，2020 年我国城市污水排放量为 571 亿吨，县城污水排放量为 103 亿吨，村镇污水排放量为 216 亿吨，合计 890 亿吨，其中城市污水的排放量占比高达 64%。《2020 年中国生态环境统计年报》显示，全国废水中氨氮排放量为 98.4 万吨，其中，工业源废水中氨氮排放量为 2.1 万吨，农业源氨氮排放量为 25.4 万吨，生活源污水中氨氮排放量为 70.7 万吨，集中式污染治理设施废水（含渗滤液）中氨氮

排放量为 0.2 万吨。全国废水中总氮排放量为 322.3 万吨。其中，工业源（含非重点）总氮排放量为 11.4 万吨，占全国总氮排放量的 3.5%；农业源总氮排放量为 158.9 万吨，占全国总氮排放量的 49.3%；生活源总氮排放量为 151.6 万吨，占全国总氮排放量的 47.0%；集中式污染治理设施废水（含渗滤液）中总氮排放量为 0.4 万吨，占全国总氮排放量的 0.1%。无论是氨氮还是总氮污染物在城镇生活污水排放量中均占比较高。TN 尤其是其中占比较高的硝态氮已成为决定受纳水体水质的关键指标。

2.1.1.2 城镇污水氮类污染物处理能力

根据住房和城乡建设部发布的《2020 年城乡建设统计年鉴》，截至 2020 年底，我国城市及县城污水处理厂共 4326 座，较“十二五”末新增 783 座。其中，城市污水处理厂 2618 座，5 年累计新增 674 座。污水处理厂处理能力 19267 万 m^3/d 。大多数污水处理厂执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）中的一级 A 排放标准，其中 COD、氨氮、TN 排放限值分别为 50 mg/L、5 mg/L 和 15 mg/L。

2016 年国务院印发的《“十三五”节能减排综合工作方案的通知》（国发〔2016〕74 号）中强调了强化主要污染物减排，“在沿海地级及以上城市实施总氮排放总量控制，对重点行业的重点重金属排放实施总量控制。”国家层面开始将总氮纳入流域、区域污染物排放总量控制约束性指标体系。2022 年国务院印发的《“十四五”节能减排综合工作方案的通知》（国发〔2021〕33 号）再次强调了实施重点区域污染物减排工程，推进挥发性有机物和氮氧化物协同减排。在现行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）和《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的基础上，北京、天津、江苏、浙江、湖南、云南昆明等陆续发布地方城镇污水污染物提标排放的相关标准。早在 2012 年，北京市就已发布了《城镇污水处理厂水污染物排放标准》（DB11/ 890-2012）将 COD、氨氮、TN 排放限值提标至 20 mg/L、1 mg/L、10 mg/L；昆明市 2020 年发布的《城镇污水处理厂污染物排放限值》（DB5301/T 43-2020）A 级标准中要求 COD、氨氮、TN 排放限值提标至 20 mg/L、1 mg/L、5 mg/L。各地的标准中对总氮的要求越来越严，随之城镇污水处理厂需要对 TN 进行深度处理，降低 TN 的浓度，实现污染

物减排。

表 1 国家及地方水污染物排放标准

地区	标准	COD	氨氮	总氮	总磷
国家标准 GB18918—2002	一级 A	50	5（8）	15	0.5
	一级 B	60	8（15）	20	1
地表水环境质量标准 GB3838-2002	Ⅲ类	20	1.0	1.0	0.2（湖库 0.05）
	Ⅳ类	30	1.5	1.5	0.3（湖库 0.1）
	V 类	40	2	2	0.4
河南省黄河流域标准 DB41/2087-2021	一级	40	3.0（5.0）	12	0.4
北京市 DB11/890-2012	A 类标准	20	1.0（1.5）	10	0.2
上海市 DB31/199-2018	一级标准	50	1.5（3）	10	0.3
天津市 DB12/599-2015	A 类标准	30	1.5（3.0）	10	0.3
浙江省 DB33/2169-2018	新建	30	1.5（3）	10	0.3
江苏省 征求意见稿	一级	30	1.5（3.0）	10	0.5
湖南 DB43 T/1546-2018	一级	30	1.5（3）	10	0.3
昆明市 DB5301/T43-2020	A 级	20	1.0（1.5）	5	0.05

2.1.1.3 水环境中氮污染导致的河湖富营养化

含氮物质大量排放会引起藻类的过度繁殖，导致水体富营养化，甚至形成黑

臭水体。我国氮磷污染负荷居高不下，多数水体总氮、总磷等水生态环境核心指标劣于 IV 类标准，由氮磷导致的我国湖库连年大面积蓝藻水华，严重威胁区域城镇饮用水安全。我国的江河湖库水域普遍受到不同程度的污染，除少数水系支流和部分内陆河流外，水污染总体上呈加重趋势，V 类水质以下的占 58%。

湖泊普遍受到磷、氮和有机污染，富营养化、耗氧有机物污染问题严重。《湖（库）富营养化防治技术政策》中指出防治湖（库）富营养化，应采取综合性措施，减排与增容相结合。核算水环境承载能力，实施氮、磷总量控制，进行污染源综合治理。针对污染负荷重、处于富营养化、水生态系统破坏严重的湖（库），通过控源减排，逐步恢复湖（库）生态功能。采取集中处理方式。完善雨污分流系统，鼓励城镇生活污水采用脱氮除磷工艺，城镇污水处理厂尾水深度处理。

随着对河湖环境的日益重视，持续改善河湖水体环境、生态环境等。国家各地强化污染物减排的技术标准建设。2016 年四川省发布《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016），该标准将总氮排放限值提标至 10mg/L；2018 年河北省发布《大清河流域水污染物排放标准》（DB13/2795-2018）将核心控制区总氮排放限值也提标至 10mg/L。河湖流域的污染物标准的修订直接影响了城镇污水处理厂出水污染物的浓度，不仅仅需要满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》还需要满足排入的流域水污染物排放标准。因此，部分城镇污水处理厂将需要进行提标改造，进行污水的深度处理，尤其的 TN 的深度脱除。

此外，我国地下水总量占总水量的 30%，北方地区多数城市地下水在城市供水比例大于 50%；2019 年，全国 10168 个国家级地下水点位中，IV-V 类比例占 86.2%；地下水三氮污染严重，危及水生态和饮用水安。

2.1.2 我省水体中氮污染现状

2.1.2.1 我省的含氮污水物排放及治理情况

根据《2020 年中国生态环境统计年报》和《2020 年城乡建设统计年鉴》显示，2020 年我省城市污水排放量为 19.48 亿 m^3 ，全国排名第 11，县城污水排放量为 8.31 亿 m^3 ，全国排名第 2。在全国氨氮废水排放量中河南排名第 8，氨氮总排放量为近 5 万 m^3 ，其中生活源氨氮排放量是我省最大的排放量，将近 4 万 m^3 ，占比接近 80%。在全国总氮废水排放量中河南排名第 7，污水中总氮排放量

为 17.5 万吨。我省总氮的排放量主要集中在生活源和工业源。其中，生活源总氮排放量为 8 万吨，占我省总氮排放量的 47.0%。总之，我省的污水排放量和氨氮及总氮的排放量在全国比较靠前。氨氮与总氮污染物的排放主要来源与生活污水，因此，我们需要进一步加强生活污水中含氮污染物的减排。

我省污水处理厂共计 611 座，其中城市污水处理厂 110 座，县城污水处理厂 125 座，村镇污水处理厂 376 座。我省大多数城市污水处理厂执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）中的一级 A 排放标准，其中 COD、氨氮、TN 排放限值分别为 50 mg/L、5 mg/L 和 15 mg/L。然而县城及村镇的污水处理厂的个数占比较大，它们的治污设施相对落后，治污能力相对较弱。因此，我省的水污染治理仍需继续加强。

2.1.2.2 我省的流域水环境情况

污水处理厂尾水排入河流进一步会对河湖流域产生影响。以黄河流域为例，黄河流域主要污染物排放来源是生活源。而生活源废水中氨氮和 TN 排放量占比较高。此外，蟒河、金堤河等支流水质潜在威胁着干流水质安全，跨省断面水质稳定达标压力仍较大，水功能区仍不能全部达标，超标因子涉及氨氮、总磷、化学需氧量、总氮等。因此，提升水污染治理水平，减少水污染物排放，改善流域水环境质量是我省“十四五”水生态保护的新要求。

2019 年 9 月 18 日，习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展会议上强调要“上下游、干支流、左右岸统筹谋划，共同抓好大保护，协同推进大治理，着力加强生态保护治理、保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展”。随后在 2021 年，我省发布了《河南省黄河流域水污染物排放标准》（DB41/2087-2021），分将 COD、氨氮、TN 的排放限值提标至 40 mg/L、3 mg/L、12 mg/L。倒逼企业和污水处理厂进行提标改造，减少污染物的排放，保护黄河流域生态环境及高质量发展。然而我省其他流域的水污染物排放标准中含氮污染物的排放限制对城镇污水处理厂的排水没有要求。我省流域的水生态环境还有断面不能稳定达标，部分支流、部分河段仍存在水体污染严重的现象。河流呈现高污径比，水生态系统超出自身承载能力，河流生态功能降低。

为贯彻《国务院关于淮河生态经济带发展规划的批复》精神，我省制定出台了《河南省贯彻落实淮河生态经济带发展规划实施方案》，方案中指出要加强生

态环境修复。认真贯彻执行我省城水环境质量生态补偿机制。关于“推动黄河流域生态保护和高质量发展的提案”，指出聚焦生态保护、污染防治、水资源高效利用、高质量发展等领域，协调推进我省黄河流域生态廊道建设、生态环境保护等专项规划编制工作。

2.1.2.3 我省河湖水体的富营养化情况

河、湖、库等水体的富营养化程度或黑臭水体的严重程度与排入水体中的氮、磷和耗氧有机物的浓度有关。然而，在这些指标中对水体中的含氮污染物更关注的是氨氮，忽略了 TN 的影响。较高浓度的总氮也会加速水体的富营养化和黑臭程度。《河南省“十四五”水安全保障和水生态环境保护规划》中明确指出我省部分河流，如金堤河、蟒河、二道河、唐河、白河、惠济河、沱河、小蒋河、卫河、共产主义渠、汤河等河流水质亟待提升；一些城市污水处理厂进水情况明显异常，污水处理厂不能持续稳定达标，城区黑臭水体治理成效需持续巩固提升；一些河流生态流量匮乏，水体自净能力下降；水库富营养化状况无明显好转，白沙水库为轻度富营养，宿鸭湖水库为中度富营养。因此，需要深入打好污染防治攻坚战，全面提升水安全保障水平，持续改善水生态环境质量，减氮降碳协同增效。

2.1.3 城镇生活污水资源化利用现状

2.1.3.1 水资源总量

根据 2021 年《中国水资源公报》显示，全国水资源总量为 29638.2 亿 m^3 ，其中，地表水资源量为 28310.5 亿 m^3 ，地下水资源量为 8195.7 亿 m^3 ，地下水与地表水资源不重复量为 1327.7 亿 m^3 。根据我省 2020 年水资源公报数据显示，全省水资源总量为 408.59 亿 m^3 ，占全国的 0.5%。

2.1.3.2 用水总量

2021 年全国供水总量和用水总量均为 5920.2 亿 m^3 ，较 2020 年增加 107.3 亿 m^3 。其中，地表水源供水量为 4928.1 亿 m^3 ，地下水源供水量为 853.8 亿 m^3 ，其他水源供水量为 138.3 亿 m^3 ；生活用水量为 909.4 亿 m^3 ，工业用水量为 1049.6 亿 m^3 ，农业用水量为 3644.3 亿 m^3 ，人工生态环境补水量为 316.9 亿 m^3 。全国耗水总量为 3164.7 亿 m^3 。全国人均综合用水量为 419 m^3 ，

人均生活用水量为 176L/d。黄河流域水资源利用率高达 80%，远超一般流域 40% 生态警戒线。

2020 年我省供水总量和用水总量均为 237.14 亿 m^3 ，占全国的 4%，其中地下水供水量为 105.77，占全省供水量的 44.6%。生态环境用水量为 34.98 亿 m^3 ，占全省供水量的 14.8%。此外，省人均综合用水量为 239 m^3 ，人均生活用水量为 158 L/d，均低于全国水平。我省属于北方典型的缺水城市。

此外，我国地下水总量占总水量的 14.42%，北方地区多数城市地下水在城市供水比例大于 40%；华北地区地下水严重超采。2019 年，全国 10168 个国家级地下水点位中，IV-V 类水质比例占 86.2%；地下水三氮污染严重，危及水生态和饮用水安。

2.1.3.3 污水再生利用情况

根据《2020 年城乡建设统计年鉴》数据分析，全国城市再生水的生产能力为 6095.2 万 m^3/d ，市政再生水的利用量为 135.38 亿 m^3 ；全国县城再生水的生产能力为 811 万 m^3/d ，市政再生水的利用量为 12.32 亿 m^3 。其中河南省城市再生水的生产能力为 337.3 万 m^3/d ，全国排名第 6；市政再生水的利用量为 7.2 亿 m^3 ，占全国的 5.3%；河南省县城再生水的生产能力为 46.3 万 m^3/d ，全国排名第 4；市政再生水的利用量为 1.04 亿 m^3 ，占全国的 8.4%。

《河南省 2021 年大气、水、土壤污染防治攻坚战及农业农村污染治理攻坚战实施方案》中强调积极开展污水资源化利用。“十四五”期间，我省将大力推进污水资源化利用。要求到 2025 年，郑州市中心城区再生水利用率达到 55%，流域内市级缺水城市再生水利用率力争达到 30%。

2.1.3.4 再生水利用需求

2021 年国家发改委等联合印发的《“十四五”节水型社会建设规划》强调要“坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产，把水资源作为最大的刚性约束”。国家发改委等 10 部门联合印发的《关于推进污水资源化利用的指导意见》中指出加快推动城镇生活污水资源化利用。水利部等部门印发《典型地区再生水利用配置试点方案》指出加强再生水利用配置管理，制（修）订相关标准，在满足再生水水质要求条件下，扩大再生水用于河湖湿地生态补水、景观环境用水的规模。

《区域再生水循环利用试点实施方案》中拓宽再生水利用渠道中明确指出鼓励将再生水用于河湖生态补水，缓解区域水资源供需矛盾。

《河南省节水条例》第三十四条中显示，“火力发电、钢铁、纺织、造纸、石化和化工等高耗水企业有条件使用再生水的，应当优先使用再生水。城乡绿化、环境卫生、道路清扫等市政用水，观赏性景观、生态湿地等生态用水，建筑施工等生产用水有条件使用再生水的，应当优先使用再生水。鼓励新建宾馆、饭店、公寓、住宅小区、大型文化体育设施、机关单位办公用房等建设独立于自来水管、水箱的再生水收集、处理、循环利用设施。”

根据《城市污水再生利用分类（GB/T 18918-2002）》，再生水利用类别可分为农、林、牧、渔业用水、城市杂用水、工业用水、环境用水、补充水源水五大类，其中城市再用水包括城市绿化、冲厕、道路清扫、车辆冲洗、消防 6 大类，但随着社会经济发展和再生水利用途径的拓展，再生水冷热能利用范围不断扩大，对不同用水途径的再生水需求分别进行预测。具体用水途径和用户特征如下图所示。

表 2 再生水回用类别和对应用户特征

利用类别	用户特征	对应水质标准	备注
农、林、牧、渔业用水	农田灌溉、造林育苗、畜牧养殖、水产养殖	需水量大，随季节波动，存在土壤和作物污染风险	《城市污水再生利用 农田灌溉水质》（GB 20922-2007） 审慎使用
城市杂用水	城市绿化	需水量大，水质要求低，使用风险小，能充分替代新鲜水	《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》（GB/T 25499-2010） 优先使用
	冲厕	办公楼、教学楼等公建冲厕可行性较强，住宅冲厕使用安全风险较大	《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020） 示范使用
	道路清扫	需水量大，水质要求低，使用风险小，能充分替代新鲜水	《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020） 优先使用
	车辆冲洗	公共车辆冲洗需水量较大，属于公益性用水，可结合停	示范使用

		车场定点设置；私家车辆冲洗属于市场行为，用户位置不确定，但价格敏感度高		
	建筑施工	需水量大，用户分布不确定，可在再生水管网覆盖范围内使用		有条件使用
	冷热能利用	需水量大，水质要求低，使用风险小		优先使用
	消防	安全保障系数较高，使用再生水经济性差，可靠性低		不使用
工业用水	冷却用水、洗涤用水、锅炉用水、工艺用水、产品用水	水电、集中供热等类型企业冷却循环水利用可行性较强，需水量大，用水集中，对价格敏感	《城市污水再生利用 工业用水水质》（GB/T 19923-2005）	优先使用
河湖生态补水	娱乐性景观环境用水 观赏性景观环境用水 湿地环境用水	需水量大，用水存在季节性波动，对水质要求较高	《城市污水再生利用 景观环境用水水质》（GB/T 18921-2019）	优先使用
补充水源水	生态补水	需水量大，用水波动小，技术要求高	《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）	审慎使用

2.1.3.5 生态流量的保障情况

我省水资源严重短缺且开发利用程度高，生态用水不足。郑州市人均多年平均水资源量仅有 130 m³，占全国人均水资源量的 1/16，全省的 1/3。全市的水资源基本保障了生产生活用水需求，但亏欠了生态环境用水，2019 年郑州市河湖生态补水用水量仅占全市用水总量的 17.05%，生态用水不足导致现状流量补给受限的汜水河、双泊河、枯河等部分河段断流、干涸情况突出。同时，一些河流生态流量严重不足，双泊河新郑站维持河道基本自净能力的目标生态需水量满足率仅为 49.17%，满足程度为劣。伊洛河黑石关站 7~10 月维持土著鱼类、植被需水的敏感期生态需水满足程度为劣，满足率仅有 32.5%。

“十四五”期间，我省将保障生态流量目标作为硬约束，突出生态用水重要性，提升生态用水量占比。着力优化颍河、清水河、汾河、好阳河、沱河、浍河、

永安沟等河流生态用水配置，减少断流时段、断流河长，按照分级管理原则各级人民政府努力实现恢复“有水”。到 2025 年，生态流量管理措施全面落实，黄河、淮河干流及主要支流生态流量保障程度显著提升，海河被挤占的河湖生态用水逐步得到退还，长江流域主要河流生态流量得到较好保障。

我国和我省是资源型缺水 and 水质型缺水问题并存，迫切需要开拓新的水源。通过稳步拓展再生水的用途是提高再生水利用效益的一种方法。城市污水再生水水量稳定、水质可控、就近可得，可成为稳定可靠的第二水源。应根据区域经济社会发展需求，促进城市污水处理厂从“治污单功能”向“治污供水双功能”转变，升级为再生水厂，成为城镇供水生命线的重要组成部分。此外，河湖水环境治理缺少清洁补充水源，难以从根本上解决水生态损害、水环境污染问题。推进区域再生水循环利用、梯级利用，将达到相应水质要求的再生水就近回补自然水体或回灌地下水，补给生态环境，持续改善河湖水环境。然而，在现有的技术对污水处理很难达到湖、库等生态补水的要求。

因此统筹“水环境”、“水资源”和“水生态”的综合治理，对城镇污水处理厂的污水进行深度脱氮，减少含氮污染物的排放，改善水体环境质量，防止水体富营养化；其出水达到生态补水的要求，缓解水资源供需矛盾；扩宽污水资源化利用途径，提高再生水回用率，促使高耗水等工业使用再生水，实现优水优用，节约用水；最终实现良好的水生态环境，保障我国和我省的水安全。

2.2 国内外相关研究进展和实践现状

2.2.1 国内外深度脱氮技术研究进展

污水中含氮污染物的形式主要有氨氮、亚硝态氮、硝态氮、有机氮等。用于脱氮的方法有物理法、化学法、生物法等。而物理法主要包括离子交换法、吹脱法、膜分离法等。其中，离子交换法和膜分离法仅仅是将污染物进行了转移或浓缩，并没有实现污染物的形态转化，同时，存在着树脂再生困难和浓盐水排放等问题。化学法如化学催化法多采用贵金属作为催化剂，成本较高，同时催化剂易失活，反应条件苛刻，不适用于如此大规模的氮素去除。实际的污水处理中往往采用生物法进行脱氮。微生物利用自身代谢的功能去除污染物，实现水体的净化。

因此生物法具有高效率、低成本、环境友好等优点，且实现了污染物的形态转化，可以将含氮物质换华为氮气。因此生物脱氮技术依然关注的重点和研究的热点。

国内外现有的脱氮技术：根据传统的生物脱氮理论开发的生物脱氮工艺有巴茨（Barth）开创的三级活性污泥法、缺氧-好氧活性污泥法脱氮系统（A/O 法脱氮工艺）、厌氧-缺氧-好氧活性污泥法脱氮系统（A²/O 法脱氮工艺）、氧化沟工艺、序批式反应器（SBR）和生物转盘脱氮工艺等。脱氮原理是将有机氮转化为氨氮，然后通过硝化菌的作用将氨氮转化为硝态氮，随后在反硝化菌的代谢下将硝态氮转化为氮气。中间反应过程中会产生 NO、N₂O 等气体。此外，反硝化过程中还需要额外添加碳源，实际工程中往往会过量投加碳源实现较高的脱氮效率。然而这些温室气体的排放、过量碳源的投加不利于实现“碳达峰、碳中和”的双碳目标。



图 1 传统的脱氮原理

A/O 工艺是一种前置反硝化工艺，1973 年由 Barnard 改进，是目前国内外普遍采用的脱氮工艺，具有较好的代表性。其工艺路线图如图 1 所示：

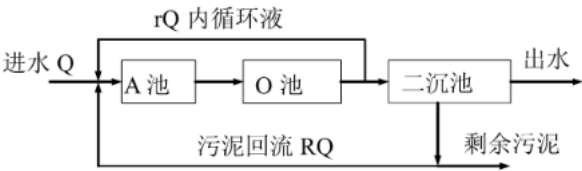


图 2 A/O 工艺流程图

A/O 工艺将前段缺氧段和后段好氧段串联在一起，在缺氧段反硝化菌通过反硝化作用将硝酸盐氮还原为分子态氮，既可利用进水中的有机碳为碳源，又可降低硝化时的有机负荷。反硝化产生的碱度还可节约后段硝化反应的加碱用量。在好氧段，硝化菌通过硝化作用将氨氮氧化为硝酸盐氮，通过回流控制返回至 A 池。因此，如果要提高脱氮效率，必须加大内循环比，因而加大了运行费用。另外，内循环液来自曝气池，含有一定的溶解氧（DO），使 A 段难以保持理想的缺氧状态，影响反硝化效果，脱氮率很难达到 90%。

SBR 法作为一种较早的污水处理工艺，随着自动化技术的提高加上自身的

许多独到之处而愈发受到重视。它将曝气池和沉淀池合二为一，分批进行生化反应，基本周期为进水、反应、沉淀、排水和闲置组成，通过间歇曝气在时间上实现缺氧和好氧的组合，以达到脱氮的目的。但是 SBR 法在同一空间中有多个操作单元，控制较为复杂；为了保证溢流率，对滗水器的设备制造要求高，同时 SBR 池溢流率低（低于 40%），设施的土建投资大；SBR 池无单独泥水分离系统，反应器沉淀时容易因反硝化产气造成污泥上浮；而且 SBR 池在处理低碳负荷废水时，容易造成丝状污泥膨胀，这些都对脱氮效果有重大影响。

工艺发展至今，为了进一步提高脱氮效果和节约能耗，演变出新的或改进的脱氮工艺。这些工艺的脱氮原理并没有改变，而是结合实际的运行情况和需求，对工艺进行优化和调整。如倒置 A²/O 工艺，具有明显的节能和提高运行效果等优点，一定程度上减少运行费用，在我国一些大、中型城镇污水处理厂的建设和改造工程中得到较广泛的应用。UCT 和改良的 UCT 工艺，解决硝酸盐对厌氧区影响的问题，但是相应的增加了池体的容积，加大占地面积。

表 3 改良的脱氮除磷工艺性能特点

脱氮工艺	优点	缺点
倒置 A ² /O	同时脱氮除磷	
	厌氧区无硝酸盐干扰；	厌氧释磷得不到优质易降解碳源；
	无混合液回流，流程简洁，节能；	无混合液回流时 TN 去除效果不高
	反硝化过程同时去除有机物；	
UCT	污泥沉降性好	
	减少进入厌氧区的硝酸盐量；	操作较为复杂；
	可适用于有机物浓度偏低的污水；	需增加附加回流系统
改良 Bardenpho	脱氮效果好	
	脱氮效果优秀；	池体分隔较多
	污泥沉降性好	池体容积较大

随着对生物脱氮技术的研究，研发出一些新的脱氮技术，例如厌氧氨氧化工艺、短程硝化反硝化、全程自养脱氮工艺、短程硝化与厌氧氨氧化工艺、短程反硝化厌氧氨氧化等新技术和工艺。从 SHARON 工艺到 ANAMMOX 工艺因为微生物群落的复杂性和不确定性，工艺在实际运行中的不稳定、反应条件严格、反应器启动速度慢等原因，在我国的研究和应用基本都以小试中试为主，鲜见大规模应用。这些脱氮技术在实现较高脱氮效率的基础上，进一步节能，同时减少碳源的投加，或者避免 N_xO 温室气体的产生，一定程度上提高污水处理过程中的“碳达峰、碳中和”的双碳水平。

短程硝化反硝化工艺(SHARON 工艺): 正常硝化是 NH_3 生成亚硝酸根 NO_2^- ，进而生成硝酸根 NO_3^- 。硝酸根在缺氧条件下，生产亚硝酸根，再进一步生产 N_2 ，称为反硝化。短程硝化是指 NH_3 生成亚硝酸根，不再生产硝酸根；而由亚硝酸根直接生成 N_2 ，称为短程反硝化。相比较传统脱氮工艺，该技术缩短反应路径，直接省去亚硝态氮先氧化为硝态氮再还原为亚硝态氮，从而实现节能。然而该工艺不可避免还会产生 NO 、 N_2O 等温室气体，不利于双碳目标的实现。

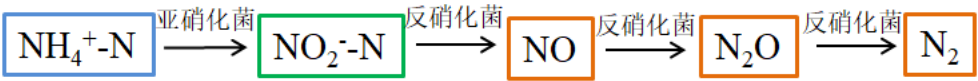


图 3 短程硝化与反硝化脱氮原理

厌氧氨氧化工艺 (ANAMMOX 工艺): 厌氧氨氧化 Anammox 是在无氧条件下，以氨为电子供体、亚硝酸为电子受体，产生氮气和硝酸的生物反应。Anammox 包括两个过程：一是分解（产能）代谢，即以氨为电子供体，亚硝酸盐为电子受体，两者以 1:1 的比例反应生成氮气，并把产生的能量以 ATP 的形式储存起来；二是合成代谢，即以亚硝酸盐为电子受体提供还原力，利用碳源二氧化碳以及分解代谢产生的 ATP 合成细胞物质，并在这一过程中产生硝酸盐。厌氧氨氧化菌 (Anaerobic ammonia oxidation bacteria, AnAOB, 我们俗称红菌) 是厌氧氨氧化的实施者。该技术同时实现节能，减碳，利用自养微生物的代谢功能实现高效脱氮，然而该工艺伴随着硝态氮的产生。

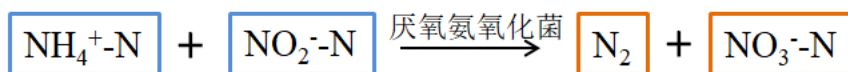


图 4 厌氧氨氧化工艺脱氮原理

SHARON-ANAMMOX 工艺：目前主流的厌氧氨氧化工艺多与短程工艺结合，例如短程硝化+厌氧氨氧化或者短程反硝化+厌氧氨氧化。短程硝化+厌氧氨氧化：“第一个过程是部分亚硝化(Partial Nitritation)，在这个过程中只有大约 55% 的氨氮需要转化为亚硝酸盐氮；第二个过程是厌氧氨氧化(Anammox)，氨氮在厌氧条件下，被亚硝酸盐氮作为电子受体，氧化成氮气。该技术的难点在于溶解氧的控制，硝化反应是在有氧条件下进行，而厌氧氨氧化是在无氧条件，如何在工程中推广应用，还有关键技术需要攻关。

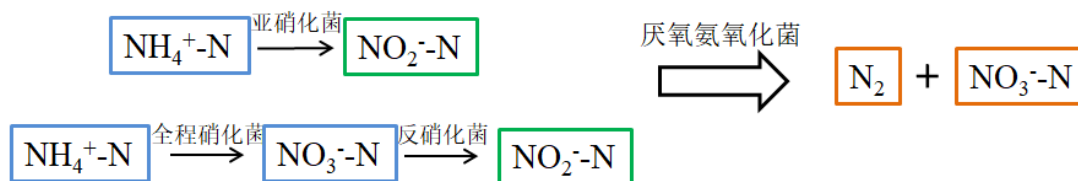


图 5 短程+厌氧氨氧化工艺脱氮原理

对于深度脱氮技术中，实际工程更倾向于应用反硝化深床滤池如美国水纯环集团公司和赛莱默公司分别研发了 Denite 反硝化深床滤池和 Leopold elimi-NITE 反硝化深床滤池，DN-BAF， ZHDN 深度脱氮技术，活性自持深度脱氮技术等。这些技术的研究已比较成熟，在国内均具有工程案例。这些深床反硝化滤池均可实现污水的深度脱氮处理，可将 TN 降低至更低，满足污水处理厂的提标改造，实现污染物的减排。

反硝化深床滤池：全球知名水技术公司赛莱默 Xylem 开发的 Leopold elimi-NITE®反硝化深床滤池，美国水环纯 STS 水务集团开发的 Tetra-Denite 反硝化深床滤池一样均具有脱氮、除磷、去除悬浮物等多种功能。反硝化深床滤池主要应用异养反硝化原理脱氮，受技术限制，仅能将总氮降至 5mg/L 左右，且有着异养反硝化特有的较高的生物增殖速度，所以反洗频率高。

自活性深度脱氮技术：中持水务开发的自活性脱氮技术，采用了硫自养脱氮的原理，开发了硫基填料，该技术采用自主研发的硫基复合活性生物载体作为填料，其本身能够作为电子供体驱动微生物的反硝化脱氮过程，因此在接种通水后，其自身即能表现出反硝化活性（自活自持），无需外源投加药剂（碳源）。复合活性生物载体主要由单质硫、二价铁矿等天然矿物复合构成，其脱氮机制如下：（1）硫自养反硝化微生物利用硫磺作为电子供体进行反硝化脱氮；（2）铁自养微生物利用二价铁矿中的 Fe(II) 作为电子供体进行脱氮；（3）硫自养反硝化过程产酸促进 Fe(II) 从矿石相向溶液相的溶出，同时质子被消耗实现酸碱自维持。产生的溶解态 Fe(II) 被远离滤料界面的铁自养反硝化微生物利用进行脱氮，整体上形成多相反硝化热区，脱氮效率高。但反应器运行过程中填料堵塞问题并未得到有效解决。

ZHDN 深度脱氮技术：该项技术由耐寡营养的高效菌剂、活性填料、柔性电子传感器、流态模拟反馈系统和总氮精细化控制系统等要素共同组成，培养出底物亲和力强，耐受寡营养条件的反硝化菌；设计特异性填料，具有适宜的密度，适宜的表面特性，较高的催化活性，比较大的表面积，为反硝化菌提供适宜栖息的环境；结合流体力学，实现反应器内水体流态的精细化控制，避免反应器内出现短流和死区，实现高效脱氮。

混合营养深度脱氮技术：该技术通过异养反硝化和硫自养反硝化协同作用，利用异养耗 H^+ 和硫自养产 H^+ 的反应特征，建立了清洁高效的混合营养脱氮路径，减少外部碳源投加量，节省药剂成本。该技术的脱氮效率高、占地面积小、运行费用低，出水总氮可降至 2.5 mg/L 以下。混合营养深度脱氮技术经过查新和成果鉴定，创新性强，工程应用效果显著，达到国际先进水平。

2.2.2. 城镇污水处理厂深度脱氮技术实践现状

河南省郑州市五龙口污水处理厂于 2011 年建设，该厂具有一期、二期工程，其设计规模均为 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ，均采用改良型氧化沟（前置反硝化+厌氧池+氧化沟）。一期工程的实际运行过程中进水 COD 约 208.55 mg/L ，氨氮约 39.45 mg/L ，总氮为 42.67 mg/L ；出水 COD 约 45.25 mg/L ，氨氮约 0.53 mg/L ，总氮约 13.75 mg/L ，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准。二期

工程的实际运行过程中进水 COD 约 166.15 mg/L，氨氮约 34.28 mg/L 总氮为 36.57mg/L；出水 COD 约 40.00 mg/L，氨氮约 0.42mg/L，总氮约 14.31 mg/L，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准。

二期工程的尾水进行深度脱氮处理，在二沉池后设置 ZHDN 深度脱氮反应器，设计处理日水量为 3 万 m³。进水为二沉池出水指标，出水可将 TN 降低至 1.5 mg/L。

山西金象煤化工有限责任公司水汽车间污水处理量为 3600 m³/d，进水总氮为 120mg/L，采用 ZHDN 深度脱氮技术进行提标改造后，污水站终端排水总氮指标≤10 mg/L。

郑州市陈三桥污水处理厂位于京珠高速公路以东、贾鲁河以南、贾鲁支河以北区域。陈三桥污水处理厂二期工程，日处理量 20 万 m³/d，原处理工艺为“改良型 UCT 工艺”，使用 ZHDN 深度脱氮技术进行提标改造，对二沉池出水进行强制反硝化处理实现深度脱氮系统出水 TN≤4 mg/L。

合肥某一大型污水处理厂位于合肥经开区南部，总设计处理规模为 30 万 m³/d，一期和二期工程设计处理规模为 20 万 m³/d，2019 年 5 月提标改造完成投入运行。三期设计处理规模为 20 万 m³/d，2016 年 1 月建成投入运行。一期和二期均采用倒伞表面曝气氧化沟+高效沉淀池+Denite 反硝化深床滤池工艺。三期工程采用倒伞表面曝气氧化沟+斜板沉淀池+Leopold elimi-NITE 反硝化深床滤池（赛莱默公司）工艺。一期、二期和三期工程进水经过氧化沟处理后出水均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准。一期和二期工程的二沉池出水经过 Denite 反硝化深床滤池对 TN 进行深度处理，而三期工程的二沉池出水经过 Leopold elimi-NITE 反硝化深床滤池进行深度脱氮处理，其出水 TN 均可降低至 5 mg/L 以下。

宁晋经济开发区污水处理厂规模控制面积 12.59 平方公里，建成区面积 5.4 平方公里，辖 12 个行政村，建设规模为 4 万 m³/d。采用了活性自持深度脱氮技术对原有异养反硝化滤池进行改造，化解了碳源穿透风险，更好地适应了出水 COD≤30mg/L 的新排放标准。该技术使用之后出水总氮浓度稳定低于 10mg/L。

浙江东阳污水处理厂的总设计规模为 14 万 m³/d，出水达到 GB18918-2002

一级 A 标准，实际出水总氮平均浓度 13mg/L。采用活性自持深度脱氮技术进行提标改造，该技术的处理量为 1.4 万 m³/d，出水总氮平均浓度 6.9 mg/L。

山东金诚重油化工有限公司是以石油炼化为主的现代化企业集团，每日污水量超过 10000 m³，厂区污水原采用“隔油+气浮+生化”为主的工艺，但工艺处理能力有限，难以应对扩大生产导致的污水扩容和水质提标需求。2018 年起，采用混合营养脱氮技术建成了处理规模 9000 m³/d 的一期深度脱氮工程。该工程进水 COD<3000 mg/L，TN<100 mg/L；根据业主的需求，经过脱氮装置处理后，COD<40 mg/L，TN<10 mg/L，达到《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015）（污染物排放限值分别为，COD<60 mg/L，TN<40 mg/L），运行稳定后出水达到 TN<5 mg/L。

2.3 面临的问题

2.3.1 节水现状不适应资源型缺水的客观要求，亟待提高污水资源化利用。

我国和我省的供水总量和用水总量在逐年增加。大多数北方地区地下水占城市供水比例大于 40%，我省属于典型的缺水城市，省人均综合用水量为 239 m³，人均生活用水量为 158 L/d，均低于全国水平。此外，我省黄河流域仍有 6 个县（市、区）万元 GDP 用水量超标，有 8 个县（市、区）万元工业增加值用水量超标。因此，亟待提高污水的资源化利用。

2.3.2 生态用水不足导致现状流量补给受限的河湖出现干涸断流。

2020 年我省供水总量和用水总量均为 237.14 亿 m³，生态环境用水量为 34.98 亿 m³，占全省供水量的 14.8%。作为典型的缺水城市，水资源基本保障了生产生活用水需求，但亏欠了生态环境用水，生态用水不足导致现状流量补给受限的汜水河、双泊河、枯河等部分河段断流、干涸情况突出。文岩渠、天然渠、天然文岩渠、西柳青河、黄庄河流量较小，个别年份接近断流。因此，我们要实现“有河有水、有水由鱼”，需要加强河流生态用水配置，实现生态补水，保障河湖生态流量。

2.3.3 水体富营养化，流域的水生态环境仍需持续改善。

“十三五”期间，通过加强对流域的水环境治理，水体环境具有明显的改善。

在生活污水排放中，含氮污染物的排放量仍然较大。我水体富营养化和黑臭水体的主要因素之一是氮源过剩。因此，在“十四五”期间，仍需统筹“保好水、治差水”，推动流域内集中式污水处理厂、工业企业等涉水污染源及时改造升级水污染防治设施，提升治污水平等，加强流域水生态环境保护。

2.3.4 城镇污水处理厂有待引进深度脱氮技术，实现减氮降碳协同增效。

多数城镇污水处理厂采用传统的生物脱氮技术对污水进行处理，通过硝化反硝化实现氮的脱除。治污水平一般。针对高要求的水污染排放标准，污水处理厂需要提质增效，TN 的去除是重点也是难点。其次在传统的脱氮过程中需要额外添加碳源从而实现反硝化除氮，同时还回释放 N_2O 等温室气体，不利于污水厂的“碳达峰、碳中和”双碳目标的实现。因此，需要引进先进的脱氮技术，实现减氮降碳协同增效。

2.3.5 缺乏水生态标准，深化“三水”统筹管理

水环境、水资源与水生态，是一个有机联系的整体。水资源包括水量和水质两方面。我国和我省均是资源型缺水 and 水质型缺水。水质的好坏直接影响水环境和水资源。生态流量的不足与污染物的胁迫进一步会影响水生态。因此需要加强对流域水生态、水环境、水资源的监测预警管理。我国生态环境保护标准体系已基本健全，但缺乏水生态标准。因此需要制定“三水”统筹的水生态环境标准体系，统筹建立水环境、水生态和水资源监测评价体系。

3 标准制定的必要性

3.1、对深入打好水污染防治攻坚战具有重要意义

目前，我省水污染防治攻坚已进入深水区，亟待解决的水生态环境问题也愈发棘手、复杂。“十四五”时期，我省将全面提升城镇污染治理能力，坚持污染减排，要求出水排入封闭式水域的污水处理厂要进一步优化脱氮工艺。因此该标准的制定，通过脱氮技术的选择降低排入水体中 TN 浓度，对打好水污染防治攻坚战具有重要意义。

3.2、提高再生水利用率，构建节水型社会具有现实意义

我国缺水形势严峻，生活和生态用水需求日益增加，供需矛盾突出，河湖水

环境治理缺少清洁补充水源，综合利用效益有待提高，再生水工业利用和区域循环利用、梯级利用有待加强。“十四五”时期，国家和我省都在加强推动城镇生活污水的资源化利用。促进污水处理厂从“治污单功能”向“治污供水双功能”转变。因此该标准的制定，合理确定城市再生水利用方向，依据再生水回用途径细化深度脱氮技术，对提高污水回用率，构建节水型社会具有现实意义。

3.3、是推进含氮污染物的减排，改善水生态环境质量的必然要求

目前城镇污水处理厂采用传统的生物脱氮技术，最终使出水 $TN < 15 \text{ mg/L}$ 。随着经济的发展，我国和我省的污水排放量日益增加，已远远超过水体的环境容量和承载力。河湖库出现一定程度的富营养化。“十四五”时期，我国和我省统筹“保好水、治差水”，大力开展城镇污水处理提质增效、开展富营养化水体和黑臭水体的综合治理。因此，通过该标准的制订，在现有的技术基础上融合、优化深度脱氮技术，是推进含氮污染物的减排，改善水生态环境质量的必然要求。

3.4、拓宽污水资源化途径，填补生态补水的技术空白

我国和省是资源型缺水 and 水质型缺水问题并存，迫切需要开拓新的水源。污水再生水水量稳定、水质可控、就近可得，可成为稳定可靠的第二水源。将污水中 TN 浓度降低至 1.5 mg/L 以下，满足地表水环境质量标准 IV 类水的限值，从而达到河湖生态补水的要求。然而传统脱氮技术的脱氮水平还达不到使出水直接用于生态补水。因此，该标准提供了一种深度脱氮技术，可使出水总氮浓度达到地表水环境质量标准 IV 类水的限值，拓宽污水资源化途径，填补生态补水的技术空白。

4 标准制定的总体思路

4.1 标准定位

水体中每增加 1 mg/L 的氮素最多将可能引入 15 mg/L 的 COD。对城镇污水处理厂的污水进行深度脱氮，降低出水总氮的浓度，较好的水质排入河湖流域等环境中，改善流域水生态环境质量，实现“保好水、治差水”，助推流域生态保护和高质量发展。其次，对城镇污水进行深度脱氮，进一步提高生活污水的回用

率，降低污染物浓度，为未来污水大规模再生利用提供保障；将总氮降低至 1.5 mg/L 以下，可使处理后出水可直接排入湖、库作为补充水源，减少黄河调水量，实现污水资源化利用，进一步拓宽污水回用的途径。

4.2 指导思想

深入贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，贯彻落实党的十九大、十九届二中、三中、四中全会和二十大精神，习近平总书记明确提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，把水安全上升为国家战略。坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产，把水资源作为最大的刚性约束。以污水资源化为导向，以水环境质量达标为核心，以水环境安全保障为底线，以最佳实用技术为保障，以经济可承受为根本，关注污水处理厂污水排入的重点污染区域、重点支流、功能水体和重点保护区域等以及污水回用的分类，根据流域水生态环境质量现状、社会经济发展水平、产业结构特征、用于河湖湿地生态补水、高耗水工业用水的再生水规模、环境管理和再生水利用配置管理需求等，制定城镇污水处理厂污水深度脱氮与资源化的技术指南。以标准引领水污染治理，倒逼经济发展方式转变、产业结构调整和优化升级，提升行业绿色发展水平，促进水环境质量改善和水资源节约利用，支撑流域生态保护和高质量发展。

4.3 基本原则

4.3.1 科学制定、经济技术可达原则

本着标准制定要始终体现科学性、指导性、污染防治技术的可行性，将经济技术可达作为技术指南确定的重要依据，依据国家环境保护的有关方针、政策和法规，通过企业调研、专家咨询、认真研究，确保在污水排入流域的限值、污水回用的标准以及回用途径等基础上，通过进水水质参数要求、出水指标、占地面积、去除负荷等筛选污水深度脱氮技术，最终科学制定技术的适用性，确保技术指南的可实施可执行。

4.3.2 分区考虑、分类实施的原则

城镇污水处理厂的污水处理后可以直接排入河湖流域，也可以进行回用。城市生活污水进行回用的类型不同，如：农、林、牧、渔业用水、城市杂用水、工业用水、环境用水和补充水源。不同类型的再生利用水的水质要求也有差异。环境用水要求总氮降低至 10mg/L 以下；补充地表水源水（河流、湖泊）要求总氮降低至 1.5 mg/L。此外，流域水污染物排放标准不同，对排入的生活污水中总氮浓度要求也有差异。因此应分区考虑，根据回用类型、流域的区域等进行分类，在不同类别下选择适用的深度脱氮技术。同时根据待处理水质的差异，选择合适的技术或工艺组合。做到结合实际环境管理要求和行业发展需求，促进行业先进污染控制技术的推广和应用，倒逼落后企业提升污染治理水平。

4.3.3 先进实用与可操作性原则。

技术指南的主要内容应既代表了当前的先进的技术水平，又应以大量的工程实践为基础，突出技术要求的针对性和科学合理性，以便于使用。

4.4 编制依据

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015.1.1)；
- (2) 《中华人民共和国水污染防治法》(2018.1.1)；
- (3) 《“十四五”节能减排综合工作方案的通知》(国发〔2021〕33号)
- (4) 《关于推进污水资源化利用的指导意见》(发改环资〔2021〕13号)
- (5) 《河南省水污染防治条例》(2019.10.1)；
- (6) 《国家环境保护标准制修订工作管理办法》(国环规科技[2017]1号)；
- (7) 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》(GB/T 1.1-2019)；
- (8) 《环境保护标准编制出版技术指南》(HJ565-2010)；
- (9) 《“十四五”节水型社会建设规划》(2021.10)
- (10) 《水污染防治行动计划》(国发〔2015〕17号)；
- (11) 《区域再生水循环利用试点实施方案》(环办水体〔2021〕28号)；

(12) 《典型地区再生水利用配置试点方案》(2021.12.20)

(13) 《河南省地方标准管理办法》(2019.10.1)。

4.5 技术路线

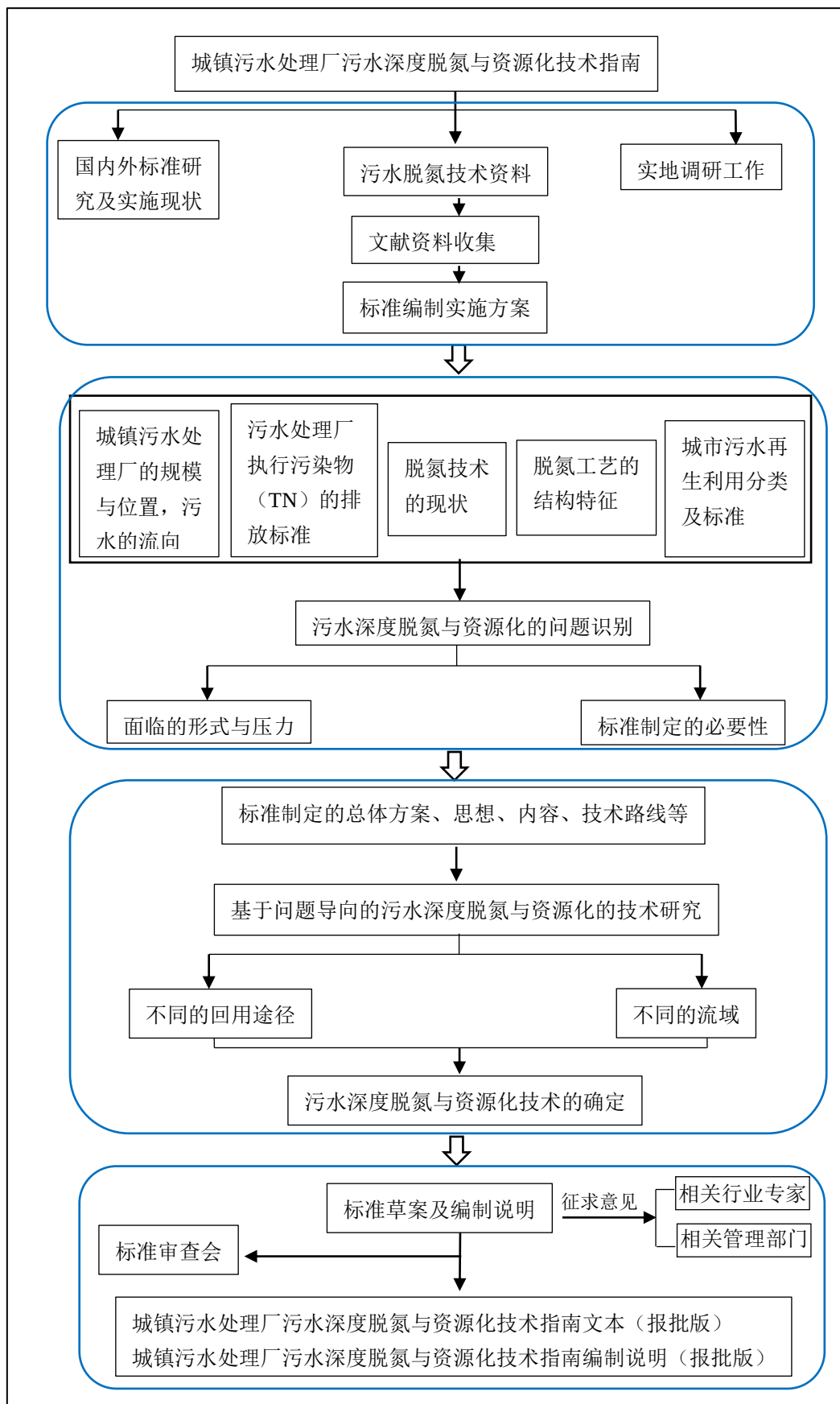


图 6 技术路线图

5 标准主要技术内容

5.1 适用范围

本标准根据城镇污水的去向，规定了城镇污水不同用途的深度脱氮技术，包括城市污水再生利用（工业、城市杂用、景观环境、绿地灌溉、生态补水）和排放到河湖流域的深度脱氮技术。

本标准适用于城镇污水处理厂进行深度脱氮、总氮提标改造、资源化利用的工作。

5.2 规范性引用文件

HJ 346水质 硝酸盐氮的测定 紫外分光光度法
HJ 535 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法
HJ 576厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范
HJ 577 序批式活性污泥法污水处理工程技术规范
HJ 578 氧化沟活性污泥法污水处理工程技术规范
HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解分光光度法
HJ 2014 生物滤池法污水处理工程技术规范
GB 3838 地表水环境质量标准
GB 11891 水质 凯氏氮的测定 硒催化矿化法
GB 11901 水质 悬浮物的测定 重量法
GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准
GB/T 9923 城市污水再生利用 工业用水水质
GB/T 11894水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
GB/T 18919 城市污水再生利用 分类
GB/T 18920 城市污水再生利用 城市杂用水水质
GB/T 18921 城市污水再生利用 景观环境用水水质
GB/T 19772 城市污水再生利用 地下水回灌水质
GB/T 25499 城市污水再生利用 绿地灌溉水质
GB/T 37528-2019 脱氮生物滤池通用技术规范
DB 41/2087河南省黄河流域水污染物排放标准

5.3 术语和定义

5.3.1 深度脱氮

指对城镇污水处理厂尾水中硝态氮的脱除。

5.3.2 预处理单元

指为使进水满足生化反应单元的进水设置的处理措施,包含预处理单元及前处理单元。如格栅装置、絮凝装置、气浮装置、沉砂池、初沉池、水解酸化池、中和池、混凝沉淀池等。

5.3.3 重点流域

是指流域水污染物排放标准中总氮提标至12 mg/L的重点流域,如河南省黄河流域、江苏省太湖流域、安徽省巢河流域、广东省沙河与岐江河流域等。

5.3.4 环境敏感区

是指依法设立的各级各类自然、文化保护地,以及对建设项目的某类污染因子或者生态影响因子特别敏感的区域。

5.3.5 容积负荷

指深度脱氮装置在单位时间内单位滤料层容积反硝化的硝态氮量。

5.3.6 构筑物占地面积

指深度脱氮装置使用的土地水平投影面积。

5.3.7 反硝化深床滤池

指 Leopold elimi-NITE®反硝化深床滤池与 Tetra Denite 反硝化深床滤池。

5.3.8 活性自持深度脱氮

指以硫基复合活性生物载体为填料,通过自身提供电子(自活自持)驱动微生物进行反硝化脱氮,该过程中无需外源投加药剂(碳源)。

5.3.9 ZHDN 深度脱氮

是指由耐寡营养的反硝化菌剂、活性填料、柔性电子传感器、流态模拟反馈系统和总氮精细化控制系统等要素共同组成高效脱氮装置。

5.3.10 混合营养深度脱氮

是指通过异养反硝化和硫自养反硝化协同作用,利用异养耗 H^+ 和硫自养产 H^+ 的反应特征,建立了清洁高效的混合营养脱氮路径,减少外部碳源投加量是一种深度脱氮装置。

5.4 总体要求

- 5.4.1 反硝化生物滤池的技术要点参考（GB/T 37528-2019）中的相关内容。
- 5.4.2 深度脱氮装置的总体布置应根据地形、气象、地质条件、运行和环境安全等因素选择，并符合 GB 50014-2006 中第 1 章的规定。
- 5.4.3 深度脱氮技术应用于具有深度脱氮需求的城镇污水处理工程。
- 5.4.4 深度脱氮装置位于二沉池后端。
- 5.4.5 针对再生水用于城市杂用、地下水回灌、绿地灌溉等时，深度脱氮装置的进水要求满足 GB 18918-2002 一级 B 的水质指标。
- 5.4.6 针对其他再生水回用或污水排放场景，深度脱氮装置的进水要求满足 GB 18918-2002 一级 A 的水质指标。
- 5.4.7 进入深度脱氮装置的污水，悬浮物（SS）宜控制在 $\leq 60\text{mg/L}$ ，如超过次限定值，应将大颗粒固体物等污染物进行拦截、阻隔等预处理。
- 5.4.8 深度脱氮装置进水的 pH 值宜为 6.5-9.6，水温宜为 15°C-30°C。
- 5.4.9 深度脱氮装置进水的溶解氧含量 $\leq 2\text{mg/L}$ 。

5.5 技术指标

5.5.1 总氮的单位容积去除负荷

单位滤料容积单位时间内去除总氮的量，计算公式如下：

$$\text{RLV} = \frac{Q \times (C_i - C_e)}{V}$$

式中：

RLV ——总氮的单位容积去除负荷， $\text{kg}/(\text{m}^3 \text{ d})$

Q ——评价周期内平均日处理量， m^3/d

V ——处理单元填料堆积的有效容积， m^3

C_i ——总氮的进水浓度， kg/m^3

C_e ——总氮的出水浓度， kg/m^3

5.5.2 滤料总体积，可按式计算

$$V = \frac{Q \times (S_0 - S_e)}{1000L_v}$$

式中：

V——滤料总体积（堆积体积）， m^3

Q——滤池的设计流量， m^3/d

S_0 ——滤池污染物进水浓度， mg/L

S_e ——滤池污染物出水浓度， mg/L

L_v ——滤池污染物容积负荷， $(kg/(m^3 d))$

5.5.3 滤池的总截面积，可按式计算

$$A_n = \frac{V}{H_1}$$

式中：

A_n ——滤池的总截面积， m^2

V——滤料总体积（堆积体积）， m^3

H_1 ——滤料层高度， m

5.5.4 虑速

$$\mu = \frac{Q}{A_n}$$

式中：

μ ——虑速， m/h

Q——滤池的设计流量， m^3/d

A_n ——滤池的总截面积， m^2

5.6 技术路线

在进行深度脱氮时，城镇污水处理厂可采工艺流程如图 1 所示。

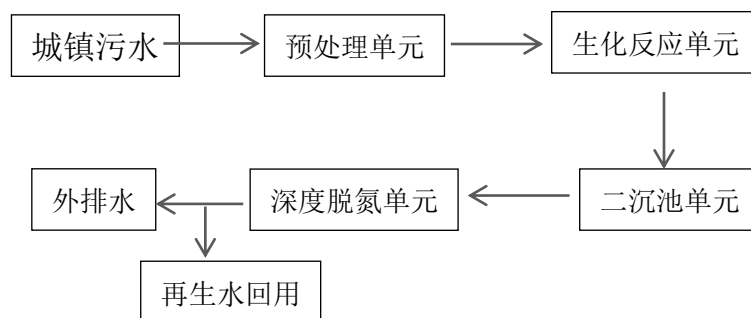


图 7 工艺流程图

5.6.1 生化反应单元采用的是活性污泥法技术, 包括但不限于: 厌氧-好氧(AO)或多级厌氧-好氧(AO)技术、厌氧-缺氧-好氧(AAO)技术、氧化沟技术、序批式活性污泥技术(SBR)等

5.6.2 深度脱氮单元采用的技术包含脱氮生物滤池、反硝化曝气生物滤池(DN-BAF)、反硝化深床滤池、活性自持深度脱氮技术、ZHDN 深度脱氮技术、混合营养脱氮技术。

5.7 城镇污水不同用途的深度脱氮技术

5.7.1 技术路线

在进行深度脱氮时, 城镇污水处理厂可采工艺流程如图 1 所示

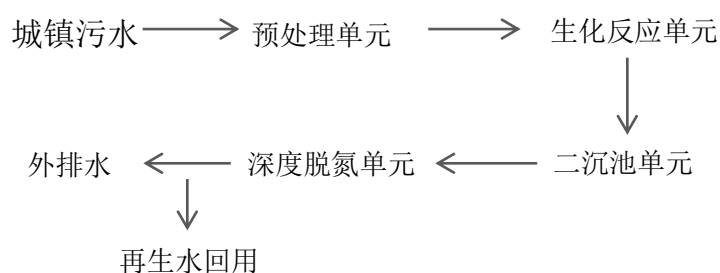


图7 工艺流程图

生化反应单元采用的是活性污泥法技术, 包括但不限于: 厌氧-好氧(AO)或多级厌氧-好氧(AO)技术、厌氧-缺氧-好氧(AAO)技术、氧化沟技术、序批式活性污泥技术(SBR)等。

深度脱氮单元采用的技术包含反硝化生物滤池、反硝化深床滤池、活性自持

深度脱氮技术、ZHDN 深度脱氮技术、混合营养脱氮技术。

5.7.2 城镇污水再生利用于城市杂用、地下水回灌、绿地灌溉等的深度脱氮技术

5.7.2.1 城市再生水回用标准

根据 GB/T 18920 城市污水再生利用城市杂用水水质、GB/T 19772 城市污水再生利用地下水回灌水质、GB/T 25499 城市污水再生利用绿地灌溉水质等标准，对回用水中总氮或硝酸盐没有明确要求或要求小于 15 mg/L。因此，对于达到国标一级 B 的城镇污水处理厂排水进行再生水回用时需要进行深度脱氮。

5.7.2.2 进出水水质指标

进水水质为二沉池出水，总氮满足 GB 18918-2002 一级 B 的水质标准，进水总氮小于 20 mg/L。

出水总氮满足 GB 18918-2002 一级 A 的水质标准，出水总氮浓度小于 15 mg/L。

5.7.2.3 不同技术的技术参数对比

分别罗列了该应用场景下深度脱氮技术的容积负荷、水力停留时间、滤速和构筑物占地面积等技术参数，其中构筑物占地面积以日处理10万m³污水的规模进行计算，如表1所示。

表4 城镇污水再生利用于城市杂用、地下水回灌、绿地灌溉等的深度脱氮技术参数

技术名称	容积负荷 (kg/(m ³ .d))	水力停留时间 (min)	滤速 (m/h)	构筑物占地面积 (m ²)
反硝化深床滤池	0.6-3.0	15-25	8-12	450-670
反硝化生物滤池	0.5-3.0	15-20	10-15	360-550
活性自持深度脱氮技术	0.4-0.8	≥15	5-10	550-1100
混合营养脱氮技术	0.5-3	15-25	8-15	360-680
ZHDN 深度脱氮反应器	0.8-3.5	10-20	12-20	270-450

5.7.3 城镇污水排入到重点流域的深度脱氮技术

5.7.3.1 重点流域污染物排放标准

为了加强重点流域的生态环境的改善，缓解富营养化程度。部分地方对河流域污染物排放标准进行修订，如河南省黄河、江苏省太湖、安徽省巢湖等，降低污染物的排放限值。DB41/2087-2021、DB23/1072-2018、DB34/2710-2016、《广东省岐江河流域水污染物排放标准（送审稿）》和《广东省沙河流域水污染物排放标准（送审稿）》等中总氮提标至 12 mg/L 以下。要求辖域内的城镇污水厂执行该标准。

5.7.3.2 进出水水质：

进水水质为二沉池出水，总氮满足 GB 18918-2002 一级 A 的水质标准，进水总氮小于 15 mg/L。

出水总氮满足《河南省黄河流域污染物排放标准》中总氮的限值，出水总氮浓度小于 12 mg/L。

5.7.3.3 技术参数对比

分别罗列了该应用场景下深度脱氮技术的容积负荷、水力停留时间、滤速和构筑物占地面积等技术参数，其中构筑物占地面积以日处理10万m³污水的规模进行计算，如表2所示。

表5 城镇污水排入到重点流域的深度脱氮技术参数

技术名称	容积负荷 (kg/(m ³ .d))	水力停留时间 (min)	滤速 (m/h)	构筑物占地面积 (m ²)
反硝化深床滤池	0.5-2.5	20-30	8-10	550-680
反硝化生物滤池	0.5-2.5	16-25	8-14	390-680
活性自持深度脱氮技术	0.3-0.8	≥20	5-8	680-1800
混合营养脱氮技术	0.5-2.5	15-30	8-15	360-680
ZHDN 深度脱氮反应器	0.8-3	10-20	8-15	360-680

5.7.4 城镇污水排入到要求严格的流域、再生利用于景观用水的深度脱氮技术

5.7.4.1 标准要求

一些重点流域要求污水中总氮浓度低于 10 mg/L，例如《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311-2016)将总氮排放限值提标至 10 mg/L;《大清河流域水污染物排放标准》(DB13/2795-2018)将核心控制区总氮排放限值提标至 10 mg/L。

根据城市再生水回用的分类及标准，城市再生水的景观环境用水（湖泊、水景）要求总氮浓度低于 10 mg/L。

5.7.4.2 进出水水质

进水水质为二沉池出水，总氮满足 GB 18918-2002 一级 A 的水质标准，进水总氮小于 15 mg/L。

出水总氮满足对总氮要求更严格的流域的污染物排放标准，出水中总氮浓度小于 10 mg/L。

5.7.4.3 技术参数

分别罗列了该应用场景下深度脱氮技术的容积负荷、水力停留时间、滤速和构筑物占地面积等技术参数，其中构筑物占地面积以日处理10万m³污水的规模进行计算，如表3所示。

表6 城镇污水排入到要求严格的流域、再生水用于景观用水的深度脱氮技术参数

技术名称	容积负荷 (kg/(m ³ .d))	水力停留时间 (min)	滤速 (m/h)	构筑物占地面积 (m ²)
反硝化深床滤池	0.5-2.5	20-30	8-10	540-680
反硝化生物滤池	0.5-2.5	16-25	8-14	390-680
活性自持深度脱氮技术	0.3-0.8	≥20	5-8	680-1100
混合营养脱氮技术	0.5-2.5	15-30	6-12	450-900
ZHDN 深度脱氮反应器	0.8-2.5	10-25	8-15	360-680

5.7.5 城市污水排入到生态环境敏感区、再生利用于工业用水的深度脱氮技术

5.7.5.1 污染物排放要求

对于需要采取特别保护的环境敏感区域的污水排放情况，尽管污水在排入水体过程中具有一定的自净能力，但是对于静态水体或具有特定功能的地表水体，其排入的污水中总氮宜低于5 mg/L。

城市再生水利用的工业用水水质中对总氮没有明确要求，但是再生水进行工业回用后，外排水需要达到相关的标准。因此结合工业企业的实际情况及废水处理水平，其回用水水质中总氮的浓度宜低于5 mg/L。

昆明市针对城市污水处理厂中的污染物提出了“分区分级”的执行要求，DB5301/T43-2020 A 级中将总氮提标至 5 mg/L。

5.7.5.2 进出水水质

进水水质为二沉池出水，总氮满足 GB 18918-2002 一级 A 的水质标准，进水总氮小于 15 mg/L，凯氏氮≤3 mg/L。

出水总氮满足对业主的特定需求，要求出水中总氮浓度小于 5 mg/L。

5.7.5.3 技术参数

分别罗列了该应用场景下深度脱氮技术的容积负荷、水力停留时间、滤速和占地面积等技术参数，其中构筑物占地面积以日处理10万m³污水的规模进行计算，如表4所示。

表7 城市污水排入到生态环境敏感区的深度脱氮技术参数

技术名称	容积负荷 (kg/(m ³ .d))	水力停留时间 (min)	滤速 (m/h)	构筑物占地面积 (m ²)
反硝化深床滤池	0.3-1.5	20-40	5-10	540-1100
活性自持深度脱氮技术	0.3-0.8	≥25	3-8	680-1800
混合营养脱氮技术	0.3-1.5	18-35	6-10	540-900
ZHDN 深度脱氮反应器	0.8-2	15-25	8-12	450-680

5.7.6 城镇污水再生利用于河湖库生态补水的深度脱氮技术

5.7.6.1 标准要求

地表水环境质量标准(GB 3838-2002) IV 类水的水质要求总氮(以湖库计)浓度 $\leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。城市污水再生水水量稳定、水质可控、就近可得,可成为稳定可靠的第二水源,保障河湖库的生态流量。

5.7.5.2 进出水水质:

进水水质为二沉池出水,总氮满足 GB 18918-2002 一级 A 的水质标准,进水总氮小于 15 mg/L ,凯氏氮 $\leq 0.75 \text{ mg/L}$ 。

出水总氮满足河湖生态补水的需求,出水中总氮浓度小于 1.5 mg/L 。

5.7.6.3 技术参数

分别罗列了该应用场景下深度脱氮技术的容积负荷、水力停留时间、滤速和占地面积和反冲洗水量等技术参数,其中构筑物占地面积以日处理 10万m^3 污水的规模进行计算,如表5所示。

表8 城镇污水再生利用于河湖库生态补水的深度脱氮技术参数

技术名称	容积负荷 ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$)	水力停留时间 (min)	滤速 (m/h)	构筑物占地面积 (m^2)
ZHDN深度脱氮技术	0.8~1.5	20~32	8~12	450-680

5.8、其他

5.8.1 生化反应单元的辅助工程、电气自动化、设备材料,工程验收等内容参考相关技术规范

5.8.2 深度脱氮单元的仪表、自动化控制、安全等内容参考脱氮生物滤池通用技术规范中的内容。

5.8.3 深度脱氮单元的供电系统等内容参考《生物滤池法污水处理工程技术规范》中的相关内容。

5.8.4 检测项目

表 9 相关水质指标检测方法

序号	检测项目	标准名称	标准编号
1	氨氮	水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法	HJ 535
2	凯氏氮	水质 凯氏氮的测定 硒催化矿化法	GB 11891
3	硝态氮	水质 硝酸盐氮的测定 紫外分光光度法	HJ/T 346
4	总氮	水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解分光光度法	HJ 636

6 标准实施的可行性

6.1 技术可行性

城镇污水处理厂目前多数采用 A/A/O（改良 A/A/O）、氧化沟或改良氧化沟工艺进行污水处理，出水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）中的一级 A 排放标准或一级 B 排放标准。根据城市污水再生利用标准，满足国标一级 A 排放标准的城镇污水可以进行绿地灌溉、工业用水、城市杂用水等回用。这些技术研究已经比较成熟，设计、运行、管理等方面积累了丰富的理论及实践经验，同时也发布了相关技术规范、指南，如《厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范》、《氧化沟活性污泥法污水处理工程技术规范》、《生物滤池法污水处理工程技术规范》、《脱氮生物滤池通用技术规范》等，都为污水回用提供了技术支撑。

在城镇污水排入到标准更严格（严于 GB 18918—2002）中的一级 A 排放标准）的河湖流域、进行景观环境用水（湖泊）、生态补水等再利用时，要求总氮的浓度更低。现有的 A/A/O、氧化沟技术等常规生化处理技术难以达到污水标准。因此，无论是为了改善河湖流域的水环境、水生态、水资源，还是提高污水的再生利用率，拓宽污水资源化途径，实现节水，都需要对城镇污水进行深度脱氮。

目前比较先进的深度脱氮技术有反硝化生物滤池、反硝化深床滤池、ZHDN 深度脱氮技术、自持活性深度脱氮技术混合营养深度脱氮技术等，这些技术都具有工程化应用案例。因此，本标准的实施具备较为成熟可靠的技术可供借鉴，工程化应用实现了足够工程经验的积累，从技术上完全可行。

ZHDN 深度脱氮技术

李海松等人在《环境科学》期刊中发表论文中提到郑州市五龙口污水处理厂应用 ZHDN 深度脱氮技术后，出水总氮低于 1.5 mg/L。在运行稳定后检测的数值指标如图 1 所示。

样本名	$\rho(\text{COD})$ /mg·L ⁻¹	$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ /mg·L ⁻¹	$\rho(\text{TN})$ /mg·L ⁻¹	$\rho(\text{NO}_3^--\text{N})$ /mg·L ⁻¹	pH 值	COD 去除率 /%	NH ₄ ⁺ -N去除率 /%	TN 去除率 /%	NO ₃ ⁻ -N去除率 /%	MLSS /mg·L ⁻¹
WLK_OD1	48.36	0.42	14.31	14.01	7.14	75.39	98.85	63.51	— ¹⁾	5 732
WLK_OD2	38.31	0.36	15.96	15.45	7.37	78.35	98.86	60.79	—	5 854
WLK_OD3	36.36	0.30	16.72	16.36	7.42	80.25	99.31	63.01	—	5 741
WLK_OD4	29.59	0.35	20.37	20.10	7.21	86.91	99.26	65.65	—	6 215
WLK_AD1	32.63	0.32	1.2	0.17	7.80	—	—	91.61	98.80	3 938
WLK_AD2	32.63	0.32	1.2	0.17	7.80	—	—	91.61	98.80	3 938
WLK_AD3	32.63	0.32	1.2	0.17	7.80	—	—	91.61	98.80	3 716
WLK_AD4	32.63	0.32	1.2	0.17	7.80	—	—	91.61	98.80	3 716
WLK_AD5	35.26	0.38	1.4	0.20	7.84	—	—	91.23	98.69	3 352
WLK_AD6	35.26	0.38	1.4	0.20	7.84	—	—	91.23	98.69	3 352
WLK_AD7	35.26	0.38	1.4	0.20	7.84	—	—	91.23	98.69	3 514
WLK_AD8	35.26	0.38	1.4	0.20	7.84	—	—	91.23	98.69	3 514

图 5 ZNDN 深度脱氮技术（WLK_AD）在郑州市五龙口污水处理厂的应用

混合营养深度脱氮技术

通过异养反硝化和硫自养反硝化的协同作用，利用异养耗 H⁺和硫自养产 H⁺的反应特征，建立了清洁高效的混合营养脱氮路径，减少外部碳源投加量。该技术也具有工程应用案例。如：河南心连心化学工业集团股份有限公司四分公司采用混合营养深度脱氮技术对浓水进行脱氮处理，装置进水 TN 高于 40 mg/L，实际出水 TN 低于 2 mg/L，低于合同中的限值。

反硝化深床滤池

丁骏等人在《净水技术》期刊上发表的合肥某污水处理厂分别应用 Teral/Denite 反硝化深床滤池技术（一期、二期工程）和 Leopold elimi-NITE®反硝化深床滤池技术（三期工程）后的脱氮效果。下图展示了 2019 年 10 月到 2022 年 3 月该技术的运行结果。

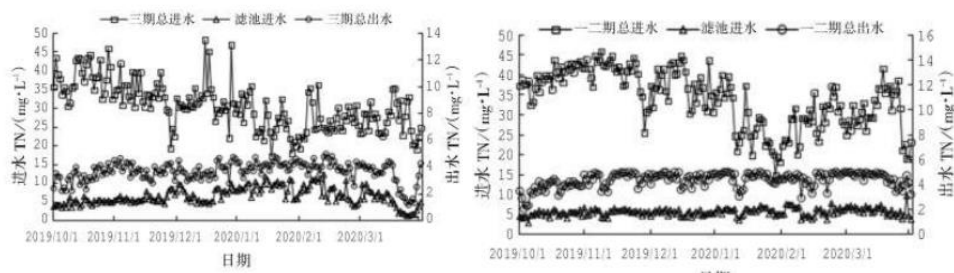


图 7 反硝化深床滤池技术应用的脱氮效果

自持活性深度脱氮技术

自持活性脱氮技术采用了硫自养脱氮的原理，开发了硫基填料，该技术采用自主研发的硫基复合活性生物载体作为填料，其本身能够作为电子供体驱动微生物的反硝化脱氮过程，因此在接种通水后，其自身即能表现出反硝化活性（自活自持），无需外源投加药剂（碳源）。复合活性生物载体主要由单质硫、二价铁矿等天然矿物复合构成，其脱氮机制如下：（1）硫自养反硝化微生物利用硫磺作为电子供体进行反硝化脱氮；（2）铁自养微生物利用二价铁矿中的 Fe(II) 作为电子供体进行脱氮；（3）硫自养反硝化过程产酸促进 Fe(II) 从矿石相向溶液相的溶出，同时质子被消耗实现酸碱自维持。产生的溶解态 Fe(II) 被远离滤料界面的铁自养反硝化微生物利用进行脱氮，整体上形成多相反硝化热区，脱氮效率高。但反应器运行过程中填料堵塞问题并未得到有效解决。

6.2 经济可行性

常规的城镇污水处理厂其处理规模多为 $1\text{--}10\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。针对执行污水深度脱氮提标出水总氮的情况，污水处理厂的改造费用为 500-5000 万元。在不同的应用场景下，当污水回用于景观或排入到重点流域等，总氮的去除量达到 5 mg/L ，污水深度脱氮的年运行费用为 30-300 万；当污水排入到生态敏感区等，总氮的去除量在 10 mg/L ，污水深度脱氮的年运行费用为 65-650 万；当污水作为生态补水进行资源化利用时，总氮的去除量达到 13.5 mg/L ，污水深度脱氮的年运行费用为 90-900 万。

此外，污水作为再生水回用时，实现节约水资源，缓解水源短缺的问题，促进区域的经济发展。

7 标准与相关文件的衔接

在 2002 年，我国出台了《城镇污水处理厂污染物排放标准》，规定了各种污染物指标的排放限制。为了促进我国污水治理工程技术的规范化，提升我国环境工程技术标准化及管理水平，建立了我国环境工程技术规范标准体系。如《厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范》、《氧化沟活性污泥法污水处理工程技术规范》、《生物滤池法污水处理工程技术规范》、《序批式活性污泥法污水处理工程技术规范》等。通过相应的技术处理，满足国标（GB 18918-2002）一级 B 和一级 A 的排放标准。

随着国家城镇化建设的加快，水污染物排放强度大，污水的排放量日益增加，已超过水体的环境容量，水环境污染严重，弱化水环境承载力。湖泊萎缩、湿地退化等生态空间、水生态服务功能和价值下降。地方发布了各流域污染物排放标准，随后为了改善流域的水生态环境，对部分流域污染物排放标准进行修订如《黄河流域污染物排放标准》、四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》、《大清河流域水污染物排放标准》等，降低了污染物的排放限值。在降低各种污染物指标的中，总氮是在进一步深度处理过程中难以被降低的污染物之一，也是防止水体富营养化，需要控制排放量的污染物。2019 年国家发布的《脱氮生物滤池通用技术规范》可以将总氮降低至 5mg/L 以下。

我国和我省是资源型缺水和水质型缺水问题，国家发布了《关于推进污水资源化利用的指导意见》，《水利部关于实施黄河流域深度节水控水行动的意见》《区域再生水循环利用试点实施方案》，《典型地区再生水利用配置试点方案》等多项政策。要求污水资源化、加大再生水的利用。

根据《城市污水再生利用政策》、《城市污水处理及污染防治技术政策》等相关政策与指导文件，以及国家的发布的《城市污水再生利用 分类》、《城市污水再生利用 城市杂用水水质》、《城市污水再生利用 景观环境用水水质》、《城市污水再生利用 地下水回灌水质》、《城市污水再生利用 工业用水水质》、《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》，将城市污水处理厂的再生水作为第二水源。然而对不同再生水分类的回用标准，目前传统的脱氮技术很难将总氮去除到回用的标准。

高效、科研机构、以及企业等单位研发的新型深度脱氮技术为总氮达到地表 IV 类提供技术支撑，而且这些技术已经进行工程化应用，并实现将城镇污水处理厂的尾水进行生态补水。

8 标准实施效益

再生水与雨水和海水相比，污水量大且稳、就地可取、水质可控，可成为“城镇第二水源”，其再生利用经济可行，是解决缺水和水污染问题的双赢途径。再生水利用涉及生产生活和生态环境用水等各个方面，具有显著的资源效益、环境效益和社会效益，对实现可持续发展目标具有重要保障作用。

资源效益。再生水的水源靠近主要的人口中心，其水量基本不受天气、气候等因素的影响，且水质变化幅度小。再生水经过适当的深度处理和科学的运行管理保障，是量大质稳的可靠水资源。将再生水纳入到水资源配置体系，再生水可以作为替代水源减少对新鲜水资源的开采和取用，增加可利用水资源的量，缓解区域水资源供需矛盾。同时，再生水中的有机物、氮磷等营养盐可为植物、农作物等提供营养补给，促进作物增产。污水进行深度处理达到地表 IV 类或 III 类水质要求后可以对河湖库等进行生态补水，从而拓宽污水资源化利用的途径，满足生态用水量的需求。

环境效益。再生水深度处理过程相比于城镇污水处理厂污水达标排放处理过程，可进一步强化无机离子、氮磷等营养元素、微量有毒有害污染物、一般溶解性有机污染物等污染物的去除。因此，相比于污水达标排放，再生水的利用可以有效地减少进入环境水体的污染物质。此外，城镇污水处理厂处理出水还可以直接排放进入环境水体，通过对尾水进行深度处理后，控制氮、磷、好氧有机物的排放量，缓解水体的富营养化程度，改善水体环境。再生水通过生态补水的方式进入河道打造适宜的环境，逐步恢复河道生态系统，提升水体自净能力和生物多样性。

社会效益。城镇污水经过深度脱处理后，再生水资源的开发利用过程中可在相关规划、设计、建设、运营、管理和评价等领域提供和扩大就业机会，促进产业链的形成。此外，再生水用于郑州市城市杂用和景观环境利用等用途，对改善郑州市城市生态环境，增加郑州市城市美学效果，提高公众生活品质有重要意义。将再生水补入河湖库、湿地，使城市实现“有河有水，有水有鱼，可亲可憩”，满足市民傍晚休闲、漫步的需求，切实提升周边百姓的幸福感。

9 标准实施建议

（1）加强日常监督管理力度。要进一步加大对城镇污水处理厂的日常监督管理力度，确保各类污染源处理设施正常运行，满足污水回用的标准。

（2）加强标准的宣贯。为了保证标准的顺利实施，标准发布后，要加强标准的宣贯力度，可通过培训会、报纸、网络、微信等途径，宣传标准的内容和作用，使标准深入到每个污水处理厂和公众。

（3）跟踪标准实施的效果。标准实施过程中，对于污水的不同回用类型、执行不同河流的污染物排放标准以及排入重点流域或重污染流域，跟踪技术的实际应用情况。

（4）及时进行标准评估。标准实施过程中，要及时对标准进行评估，发现标准实施过程中存在的问题，为标准的修订奠定基础。

（5）适时对标准进行修订。结合社会经济和再生水利用发展到一定水平时，适时对标准进行修订。

10、附录

附件 A 深度脱氮技术的工程应用情况

表 A 深度脱氮技术的工程应用案例

序号	项目名称	深度脱氮技术	处理水量 (m ³ /d)	出水总氮浓度 (mg/L)
1	郑州市陈三桥污水处理厂二期提标改造工程	ZHDN 深度脱氮技术	200000	≤1.5
2	中原环保股份有限公司脱氮工程项目	ZHDN 深度脱氮技术	30000	≤1.5
3	临颖县第二污水处理厂一期、二期提标改造项目深度脱氮项目	ZHDN 深度脱氮技术	30000	≤5
4	山东金诚重油化工有限公司污水处理场新建项目	ZHDN 深度脱氮技术	30000	≤1.5
5	安阳盈德气体有限公司污水处理站总氮 EPC 改造工程项目	ZHDN 深度脱氮技术	2880	≤10
6	晋煤天源中水装置深度脱氮项目	ZHDN 深度脱氮技术	1800	≤10
7	卫辉市豫北化工有限公司终端水深度治理工程	ZHDN 深度脱氮技术	1920	≤15
8	河南心连心化肥工业集团股份有限公司采用清洁生产技术进行绿色制造项目浓水深度处理装置	ZHDN 深度脱氮技术	12000	≤5
9	山东金诚重油化工有限公司污水处理场改造项目	ZHDN 深度脱氮技术	12000	≤10
10	山西金象煤化工有限责任公司污水总氮治理改造项目	混合营养深度脱氮技术	3600	≤5
11	安阳中盈化肥有限公司污水处理站总氮总磷 EPC 改造工程项目	混合营养深度脱氮技术	1200	≤10
12	嵩县洁绿污水处理厂	混合营养深度脱氮技术	30000	≤10
13	登封市新区污水处理厂深度脱氮项目	混合营养深度脱氮技术	20000	≤15
14	山东金诚重油化工有限公司污水处理改造项目（一期）	混合营养深度脱氮技术	9000	≤10
15	河南心连心化肥有限公司绿色制造项目浓水深度除氮装置	混合营养深度脱氮技术	2400	≤5
16	合肥市经开区污水处理厂三期工程	反硝化深床滤池	200000	<5
17	靖江市城市污水处理厂	反硝化深床滤池	40000	<5
18	合肥市小仓房污水处理厂一期、二期工程	反硝化深床滤池	100000	<5
19	江苏扬州六圩污水处理厂	反硝化深床滤池	50000	<15
20	河北廊坊香河县三强污水厂	反硝化深床滤池	20000	<15

序号	项目名称	深度脱氮技术	处理水量 (m ³ /d)	出水总氮浓度 (mg/L)
21	山西潞城污水处理再生水工程	反硝化深床滤池	20000	<3
22	无锡芦村污水处理厂四期	反硝化深床滤池	50000	<5
23	无锡惠山污水处理厂三期	反硝化深床滤池	2.50000	<5
24	济宁金乡污水处理厂	反硝化深床滤池	30000	<15
25	天津张贵庄污水处理厂一期	反硝化深床滤池	200000	<15
26	天津泰达-威立雅污水处理厂	反硝化深床滤池	100000	<15
27	宁晋经济开发区污水处理厂	自持活性深度脱 氮技术	40000	<10
28	东阳市污水处理厂	自持活性深度脱 氮技术	20000	<10
29	宜兴市污水资源概念厂	自持活性深度脱 氮技术	20000	<3