

再生水净化处理基础研究

□ 国家城市给水排水工程技术研究中心 郑兴灿

在城市污水的再生利用中,不同用水途径有不同的水质要求,而水质要求的不同往往意味着处理工艺选择及复杂程度的不同。因此,有必要明确再生水生产的功能性要求和卫生学要求,并根据水质要求、再生处理工艺和用水管理进行再生水基本等级的划分。

功能性要求

在城市污水作为水源的再生水生产系统中,二级生物处理或二级强化生物处理是再生水净化处理的基础性

污染物标准值分为一级标准、二级标准、三级标准;一级标准分为A标准和B标准。

三级标准实际上是过渡性标准,主要针对经济欠发达地区非重点流域和非水源保护区的建制镇的污水处理。达到三级标准的处理出水,由于氧化不彻底,仍然残留较高浓度的有机污染物和无机污染物,通常达不到再生水或进一步生产再生水的功能要求,在再生水生产中一般不予单独考虑。

达到一级标准或二级标准的净

除污水中的氮磷营养物,过滤技术为核心的三级处理对残余悬浮固体、胶体物质和病原体有较好的进一步去除功效,但去除氮磷营养物的能力有限或缺乏经济性。因此,在城市污水再生处理中应充分发挥二级生物处理的有机物氧化功能与二级强化处理的氮磷营养物去除作用,尽量避免在后续的三级处理中设置氮磷去除设施及有机物氧化设施的需求。

由于城市污水生物处理和三级处理工艺对无机盐及某些特殊污染物的去除能力很低,如果某种用途



再生水的应用

组成部分,需要同时满足两方面的功能要求,其一是城镇污水处理厂污染物排放标准GB 18918—2002规定的基本水质要求,其二是再生水生产对水质净化程度和水量变化特征的要求。两者要求不一致时,需要进行综合优化,以形成具有高度运行灵活性和可靠性特征的综合技术方案,必要时所有工艺单元均以标准高者为目标进行设计和运行管理。

在GB 18918-2002中,根据城镇污水处理厂排入地表水域环境功能和保护目标,以及污水处理厂的处理工艺,将基本控制项目的常规

化处理水,得到了很好的氧化处理,污染物得到较彻底的氧化及去除,根据不同用水途径,可以直接作为再生水或进一步净化处理之后作为再生水。二级标准对总氮没有提出要求,对总磷和氨氮的处理要求也较低,因此,一般不用于氮磷去除要求较高的再生水的生产。一级标准对污水的氮磷去除有明确的规定和较高的要求,适合氮磷去除要求较高的再生水的生产。

二级生物处理能够经济高效地去除污水中的悬浮固体和有机污染物;二级强化生物处理能够经济有效地去

的再生水对无机盐或某些成份有较高的处理要求,或原污水中这些物质的含量偏高,则需要额外增加特定的高级处理措施,如反渗透、活性炭吸附、离子交换、臭氧氧化等。

卫生学要求

不管是未经处理的污水,还是经过二级生物处理的污水,均含有大量的病原微生物,主要包括:寄生虫,例如肠道线虫、蛔虫、绦虫;细菌,例如引起霍乱、伤寒和痢疾的细菌;原生动物,例如贾第鞭毛虫、隐孢子虫;病毒,例如肠道病毒。

表 1

基本处理单元与水质指标		基本等级类别				
		A级	B级	C级	D级	E级
水质指标	粪大肠菌群 (个/L)	<1	<3	<100	<1000	<10000
	浊度 (NTU)	<0.1	<0.5	<5	—	—
	SS (mg/L)	—	—	<5	<10	<30
	BOD ₅ (mg/L)	<0.1	<0.5	<10	<10	<30
	pH	—	—	—	—	—
再生水	水质指标	水质指标：无令人不愉快的嗅和味				
	水质指标	水质指标：水质参数及标准值按再生水用途或水质要求确定				
	生物处理	一级生物处理	二级生物处理	—	—	—
	物化处理	混凝沉淀	混凝沉淀	—	—	—
	过滤处理	微滤膜	超滤膜	超滤膜	—	—
消毒	消毒处理	紫外线	臭氧	二氧化氯	—	—
	消毒处理	—	—	—	—	—
	消毒处理	—	—	—	—	—
	消毒处理	—	—	—	—	—
	消毒处理	—	—	—	—	—

细菌在污水中大量存在。具有致病性的细菌称致病菌或病原菌。在城市污水管理中,通常将细菌作为病原体污染的指示生物以及评价污水处理和消毒效果的指示生物。然而,由于细菌对消毒处理的敏感性较高,且引起感染所需的剂量较高,因此,消毒处理出水中细菌引起的健康风险通常较低。

城市污水三级处理的典型工艺流程为化学混凝(沉淀)过滤,一般能够去除约 40% 的 BOD 和 70% 的 SS, 以及部分重金属、磷和痕量物质。但再生水生产过程中三级处理的最主要目的是增强病原体的去除能力,同时起到去除其他有机或无机组分的作用,其中过滤是核心工艺。必要时可投加混凝剂和聚合物以增强过滤的功效。

有实验研究表明,通过化学混凝(沉淀)过滤处理工艺,能去除2个数量级(99%)的脊髓灰质炎病毒。Noss等人的研究表明,如不加混凝剂,二级出水通过砂滤池或双层滤池过滤,并不能显著降低肠道病毒含量。石灰作为混凝剂,pH值达到11~12时会发生病毒和其他病原体的灭活。在混凝、沉淀和过滤过程中,隐孢子虫、贾第鞭毛虫和其他寄生虫可得到较高程度的去除,用膜法可获得很高的去除率,随浊度和颗粒数的降低而相应降低。反渗透处理能够有效去除大多数病毒和所有较大的微生物。

由于污水中的病毒和寄生虫对消毒处理的敏感性低于细菌,且通常附着在悬浮固体和胶体物质上,对消毒处理产生明显的抵抗或屏蔽作用,因此,最现实可行的办法是尽

量降低净化处理水的浊度。这就意味着,过滤处理的主要目的不仅仅是去除附着这些病原体的悬浮固体和胶体物质,还在于强化和保证后续消毒工艺的处理效果,并控制消毒副产物的产生量。基于这一考虑,美国、澳大利亚等国家的再生水生产中提出了较严格的浊度降低要求,而且要求对每个滤池的过滤全过程进行有效监测与控制,例如要求处理水进入消毒工艺之前的浊度小于 2 NTU, 二级处理出水浊度高于 10 NTU时要求投加混凝剂以强化过滤效果。

根据再生水的基本水质目标、基本处理工艺和基本用水途径,以卫生健康与安全为考虑重点,结合相关国家标准及国外经验,本研究提出了再生水的基本等级类别及划分方法建议(见表1)。划分的主要依据为:再生水的基本工艺流程及其净化处理能力,尤其是病原体去除效果;确保净化处理工艺运行性能的水质参数(如浊度、BOD、SS、pH、粪大肠菌群)以及工艺性能的监测与控制要求;再生水的主要用途。不同类型用水对象对再生水的具体水质要求或标准可通过再生水基本类别+特定水质参数的方式确定,其中特定水质参数目标通过二级生物处理或二级强化生物处理、



等级类别及划分

再生水的净化处理要求及相应的水质目标,在很大程度上取决于再生水的水源特征、用水途径及用水方式。就卫生健康与安全风险来说,接触风险越高,则处理要求也越高,这反映了特定用水途径及其用水方式所存在的潜在风险。因此,再生水除了达到规定的处理要求外,用水场所的良好管理也是保障公共卫生健康、环境质量和相关产品质量的重要环节。

三级处理(混凝过滤)和高级处理的功能设计及组合来实现。

对于氮磷营养物的去除,尽量在生物处理工段解决,特殊污染物的控制尽量在再生水水源选取时加以解决。

基于技术可行性及经济合理性方面的考虑,对病毒和寄生虫的控制,目前建立其确定性定量水质要求的时机尚不成熟,因此,主要通过工艺控制措施(例如不同程度的过滤处理)与消毒技术的密切配合来保障。CST