

# 污水处理厂污水处理节能技术分析

李松华 黄海滨

杭州中储环保科技有限公司 浙江 杭州 311100

**摘要：**本文聚焦于污水处理厂污水处理节能技术，深入剖析其重要性，从污水处理各环节的能耗现状出发，详细阐述生物处理、污泥处理、提升泵站等关键环节的节能技术，包括生物膜法、厌氧消化、智能控制等具体技术手段。同时探讨节能技术在应用中面临的挑战，如初期投资成本高、技术适配性等问题，并提出相应的解决策略。旨在为污水处理厂节能降耗提供全面的理论支持和实践指导，推动污水处理行业向绿色、可持续方向发展。

**关键词：**污水处理厂；污水处理；节能技术；可持续发展

## 1 引言

城市化与工业快速发展使污水排放量递增，污水处理厂作为城市水环境治理关键设施，肩负净化污水、保护水资源重任。但污水处理能耗高，集中在生物、污泥处理及污水提升等环节，既增加成本，又给能源供应与环境带来压力。所以，研究应用污水处理节能技术意义重大，既能降低处理厂运行成本、提升经济效益，又可减少能耗与温室气体排放，助力实现环境保护和可持续发展目标。

## 2 污水处理厂能耗现状分析

### 2.1 污水处理各环节能耗分布

污水处理过程一般包括预处理、生物处理、深度处理和污泥处理等环节，每个环节的能耗情况有所不同。预处理环节主要包括格栅、沉砂池等，用于去除污水中的大颗粒杂质和砂粒，该环节能耗相对较低，主要消耗在格栅机的运行和沉砂池的搅拌上。生物处理环节是污水处理的核心，通过微生物的代谢作用去除污水中的有机物和氮、磷等营养物质，此环节能耗较高，尤其是曝气过程，需要消耗大量的电能来为微生物提供氧气。深度处理环节通常采用过滤、消毒等技术进一步净化污水，以满足更高的水质标准，其能耗主要取决于所采用的处理工艺和设备。污泥处理环节包括污泥浓缩、脱水、消化等过程，目的是减少污泥体积、稳定污泥性质并实现资源化利用，该环节能耗也较大，特别是污泥脱水设备和消化池的搅拌、加热等。

### 2.2 能耗影响因素

污水处理厂的能耗受到多种因素的影响，主要包括污水水质、处理规模、处理工艺和设备性能等。污水水质方面，污水中有机物浓度、氮磷含量等指标的高低会影响生物处理过程中微生物的代谢活性和耗氧量，从而影响曝气能耗。一般来说，有机物浓度越高，所需的曝气

量越大，能耗也就越高。处理规模越大，污水处理厂的设备功率和运行时间相对较长，总能耗也会相应增加<sup>[1]</sup>。但单位污水处理量的能耗可能会随着规模的扩大而降低，存在一定的规模效应。处理工艺的选择对能耗有决定性影响，不同的生物处理工艺，如活性污泥法、生物膜法等，其曝气方式、污泥回流比等参数不同，能耗差异较大。设备性能方面，高效节能的设备可以降低能源消耗，例如新型的曝气设备、水泵等，其能效比传统设备更高，能够在保证处理效果的前提下减少能耗。

## 3 污水处理节能技术

### 3.1 生物处理节能技术

#### 3.1.1 生物膜法

生物膜法是一种与活性污泥法并列的污水生物处理技术，它是使污水连续流经固体填料，在填料上就能够形成污泥状的生物膜，生物膜上繁殖着大量的微生物，能够吸附和降解污水中的有机污染物，起到净化污水的作用。与活性污泥法相比，生物膜法具有以下节能优势。首先，生物膜法中的微生物附着在填料上生长，不需要像活性污泥法那样进行污泥回流，从而节省了污泥回流泵的能耗。其次，生物膜法对氧的利用效率较高，在生物膜的表层，好氧微生物进行好氧代谢，将有机物氧化分解为二氧化碳和水；在生物膜的内层，存在缺氧或厌氧环境，可进行反硝化等反应，实现脱氮效果。这种分层结构使得氧的传递和利用更加充分，减少了曝气量，降低了曝气能耗。常见的生物膜法工艺有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化法等。例如，生物接触氧化法是在池内设置填料，污水浸没全部填料并与填料上的生物膜广泛接触，在微生物新陈代谢作用下去除污水中的污染物，该工艺具有处理效率高、能耗低、管理方便等优点，广泛应用于中小型污水处理厂。

#### 3.1.2 优化曝气控制

曝气是生物处理过程中能耗最大的环节，优化曝气控制是降低生物处理能耗的关键。传统的曝气控制方式往往是根据经验或固定的曝气时间进行操作，容易导致曝气量不足或过量。不足的曝气量会影响微生物的代谢活动，降低处理效果；过量的曝气量则会造成能源浪费，增加运行成本。因此，采用智能化的曝气控制系统，根据污水水质、水量以及微生物的实际需氧量来精确控制曝气量，是实现节能的有效途径。目前，常用的曝气控制方法有溶解氧（DO）控制、氧化还原电位（ORP）控制和氨氮（NH<sub>3</sub>-N）控制等。DO控制是通过实时监测生物处理池中的溶解氧浓度，将其控制在适宜的范围内，以保证微生物的正常代谢。当溶解氧浓度低于设定值时，增加曝气量；当溶解氧浓度高于设定值时，减少曝气量。ORP控制是根据氧化还原电位的变化来反映污水中氧化还原状态，从而间接控制曝气量。氨氮控制则是通过监测污水中的氨氮浓度，根据氨氮的去除情况来调整曝气量，实现硝化反应的精确控制。

### 3.1.3 短程硝化-反硝化技术

传统的生物脱氮工艺包括硝化和反硝化两个过程，硝化过程是在好氧条件下，将氨氮氧化为亚硝酸盐氮，再进一步氧化为硝酸盐氮；反硝化过程是在缺氧条件下，将硝酸盐氮还原为氮气，从而实现脱氮目的。然而，传统的硝化过程需要将氨氮完全氧化为硝酸盐氮，需要消耗大量的氧气和碱度，能耗较高。短程硝化-反硝化技术则是将硝化过程控制在亚硝酸盐氮阶段，然后直接进行反硝化反应，将亚硝酸盐氮还原为氮气<sup>[2]</sup>。与传统的全程硝化-反硝化技术相比，短程硝化-反硝化技术可以节省约25%的曝气能耗，因为将氨氮氧化为亚硝酸盐氮所需的氧气量比氧化为硝酸盐氮少。同时，反硝化阶段所需的碳源也相应减少，降低了运行成本。实现短程硝化-反硝化的关键在于控制硝化反应的条件，抑制硝酸盐菌的生长，促进亚硝酸盐菌的活性。常用的控制方法有控制温度、溶解氧浓度、pH值和游离氨浓度等。

## 3.2 污泥处理节能技术

### 3.2.1 厌氧消化技术

厌氧消化是污泥处理中常用的方法之一，它是在无氧条件下，利用厌氧微生物将污泥中的有机物分解转化为甲烷和二氧化碳等气体，同时实现污泥的稳定化和减量化。厌氧消化过程不仅能够减少污泥体积，降低后续处理成本，还能产生沼气，沼气是一种可再生能源，可用于发电、供热等，实现能源的回收利用，具有显著的节能效果。为了提高厌氧消化的效率，可以采用高温厌氧消化、两相厌氧消化等改进工艺。高温厌氧消化是

在50-55°C的温度条件下进行，相比中温厌氧消化（30-35°C），高温厌氧消化能够更快地分解有机物，提高产气率，同时对病原体和寄生虫卵的杀灭效果更好。两相厌氧消化则是将产酸阶段和产甲烷阶段分开，为不同阶段的微生物提供适宜的生长环境，从而提高整个厌氧消化过程的稳定性和效率。

### 3.2.2 污泥低温干化技术

污泥含水率较高，通常在95%以上，直接处理和处置成本较高。因此，需要对污泥进行脱水处理，降低其含水率。传统的污泥脱水方法有自然干化、机械脱水等，但这些方法脱水效果有限，且能耗较高。污泥低温干化技术是一种新型的污泥脱水技术，它是在较低的温度（一般为40-80°C）下，通过热风循环将污泥中的水分蒸发，使污泥含水率降低至10%-50%。与传统的热干化技术相比，低温干化技术具有能耗低、运行成本低、对环境影响小等优点。在低温干化过程中，由于温度较低，不会产生二噁英等有害物质，同时可以利用污水处理厂自身的余热，如厌氧消化产生的沼气热、污水余热等，进一步降低能源消耗。

## 3.3 提升泵站节能技术

### 3.3.1 优化水泵选型

提升泵站是污水处理厂中用于提升污水的重要设备，其能耗占污水处理厂总能耗的较大比例。优化水泵选型是降低提升泵站能耗的关键。在选择水泵时，应根据污水处理厂的实际流量和扬程要求，选择合适的水泵型号和数量。避免选择过大或过小的水泵，过大水泵在低效率区运行，会造成能源浪费；过小水泵则无法满足处理需求，影响污水处理厂的正常运行。同时，应优先选择高效节能的水泵，如变频调速水泵。变频调速水泵可以根据污水流量的变化自动调整水泵的转速，使水泵始终在高效区运行，从而降低能耗。

### 3.3.2 合理调度水泵运行

除了优化水泵选型外，合理调度水泵运行也是节能的重要措施。通过对污水流量的实时监测和分析，制定科学合理的水泵运行方案，根据不同时段的流量变化调整水泵的运行台数和运行时间，避免水泵频繁启停和长时间低负荷运行<sup>[3]</sup>。例如，在污水流量较小的时段，可以减少运行水泵的数量，降低单台水泵的流量和扬程，从而降低能耗。同时，采用水泵的轮换运行方式，可以均衡水泵的使用时间，延长水泵的使用寿命，降低设备维护成本。

## 3.4 其他节能技术

### 3.4.1 太阳能利用技术

太阳能是一种清洁、可再生的能源，在污水处理厂中可以利用太阳能进行照明、供热等。例如，在污水处理厂的厂区道路、建筑物周围等安装太阳能路灯，利用太阳能电池板将太阳能转化为电能，为路灯供电，无需消耗传统电能，降低了运行成本。此外，还可以利用太阳能集热器收集太阳能，为污水处理厂的办公区域、生活区域提供热水，满足日常用水需求。对于一些小型的污水处理设施，如农村污水处理站，太阳能还可以用于驱动污水处理设备，实现污水处理过程的能源自给。

#### 3.4.2 智能控制系统

智能控制系统是污水处理厂节能的重要手段之一，它通过传感器、控制器和执行器等设备，对污水处理厂的各个工艺环节进行实时监测和自动控制，实现设备的优化运行和能源的合理分配。智能控制系统可以根据污水水质、水量的变化，自动调整设备的运行参数，如曝气量、水泵转速、污泥回流比等，使设备始终在最佳工况下运行，提高能源利用效率。同时，智能控制系统还可以对设备的运行状态进行实时监测和故障诊断，及时发现设备故障并进行预警，减少设备停机时间，降低维修成本<sup>[4]</sup>。例如，通过安装在水质监测点的传感器实时监测污水的COD、BOD、氨氮等指标，将数据传输至智能控制系统，系统根据预设的控制策略自动调整曝气设备的运行参数，实现曝气的精确控制，降低能耗。

### 4 污水处理节能技术应用面临的挑战及解决策略

#### 4.1 面临的挑战

污水处理厂节能技术应用面临诸多挑战。一是初期投资成本高，高效节能设备、智能控制系统等建设需大量资金，小型及农村污水处理厂资金有限，难以承担，限制了技术推广。二是技术适配性问题，不同污水处理厂水质、规模和工艺有别，部分节能技术研发未充分考虑实际情况，应用时出现不匹配、处理效果差等问题。三是运营管理难度增加，节能技术使运营管理复杂化，如智能控制系统需专业人员操作维护，人员素质不足会影响技术优势发挥和设备运行。

#### 4.2 解决策略

##### 4.2.1 多渠道筹集资金

为了解决初期投资成本高的问题，污水处理厂可以通过多种渠道筹集资金。一方面，积极争取政府的财政补贴和政策支持，政府可以通过设立节能专项资金、给予税收优惠等方式，鼓励污水处理厂采用节能技术。另

一方面，与金融机构合作，争取低息贷款或融资租赁等方式，缓解资金压力。此外，还可以引入社会资本，通过PPP（公私合营）等模式，共同投资建设和运营污水处理厂，实现风险共担、利益共享。

#### 4.2.2 加强技术研发与定制化服务

科研机构和企业应加强对节能技术的研发力度，针对不同类型污水处理厂的特点和需求，开发具有针对性的节能技术和设备。同时，提供定制化的服务，根据污水处理厂的实际情况进行技术设计和方案优化，确保节能技术能够与现有系统良好适配，提高节能效果。例如，设备制造商可以根据污水处理厂的水质、水量和处理工艺要求，定制生产适合的水泵、曝气设备等，提高设备的运行效率和节能性能。

#### 4.2.3 加强人员培训与管理

污水处理厂应加强对运营管理者的培训，提高其专业知识和技能水平。培训内容可以包括节能技术的原理、操作方法、设备维护等方面，使运营管理人能够熟练掌握节能技术的运行和管理要点。同时，建立健全的运营管理制度，加强对节能技术运行情况的监测和评估，及时发现问题并进行调整和优化，确保节能技术的稳定运行和节能效果的持续发挥。

#### 结语

污水处理厂节能技术对降成本、减能耗、护环境意义重大。本文分析了各环节能耗现状，介绍了生物、污泥处理及提升泵站等关键环节节能技术，还有其他节能手段。同时指出节能技术应用面临初期投资高、适配性差、管理难度增加等挑战，并给出解决策略。未来，科技与节能意识进步将推动技术完善，为行业可持续发展助力。厂方应积极采用技术、加强管理，各方也应加强合作，推动行业绿色低碳发展。

#### 参考文献

- [1]苏德志.城市污水处理厂能耗特征与节能策略分析[J].资源节约与环保,2025,(05):9-12.
- [2]王皓.论污水处理厂运营中成本管理与节能降耗[J].中国市场,2025,(13):102-105.
- [3]许德华,刘庆,吴勇,等.某污水处理厂节能改造方案的分析与研究[J].科技视界,2025,15(12):43-45.
- [4]费聿超.污水处理中技术创新与节能降耗[J].清洗世界,2025,41(01):81-83.