低温低浊水深度处理技术研究进展

单萍莉
徐州市铜山区自来水有限公司，江苏 徐州 221000

[摘要]寒冷地区的水体处理面临独特的复杂性，低温环境下水中的微生物活动陷入减缓，絮凝剂效果减弱，化学反应速率下降，在这种情况下，水体中可能存在大量的悬浮颗粒和溶解性物质加大了水质处理的难度。随着科技的发展，一系列先进的水质处理技术应运而生，为解决低温低浊水处理的难题提供了新思路。

[关键词]低温低浊水；深度处理技术；发展方向
DOI：10.33142/hst.v6i10.10539　　中图分类号：X703　　文献标识码：A

Research Progress on Deep Treatment Technology for Low-temperature and Low Turbidity Water

SHAN Pingli
Xuzhou Tongshan District Water Supply Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract: The treatment of water bodies in cold regions faces unique complexity. In low-temperature environments, microbial activity in water slows down, flocculant effects weaken, and chemical reaction rates decrease. In this case, there may be a large number of suspended particles and soluble substances in the water, which increases the difficulty of water treatment. With the development of technology, a series of advanced water quality treatment technologies have emerged, providing new ideas for solving the problem of low-temperature and low turbidity water treatment.

Keywords: low-temperature and low turbidity water; deep treatment technology; development direction

引言

随着气候变化对全球各地的影响日益显著，寒冷地区的低温水体处理面临着前所未有的挑战。低温环境下传统水质处理技术的效能受到严重制约，絮凝剂水解、微生物活动和化学反应速率等方面面临不同程度的降低。为了有效解决这一问题，科技创新在低温低浊水处理中扮演了至关重要的角色。

1 低温低浊水难处理的原因

1.1 低温下絮凝剂水解效果的影响

在低温环境下絮凝剂的水解效果受到显著的影响，从而使低温低浊水的处理变得更为困难。低温条件下絮凝剂的水解速率明显减缓，主要是由于低温抑制了水解反应的速度。絮凝剂的水解过程通常需要一定的温度来提高反应速率，但低温环境下这种加速效果减弱。水解是絮凝剂发挥作用的关键步骤之一，通过水解絮凝剂能够释放出活性成分进而形成絮体，使悬浮在水中的微小颗粒聚集成大颗粒，便于后续的沉降和过滤，低温下水解速率的减缓导致絮凝剂释放活性成分的效率下降，使得絮体的形成受到阻碍。

1.2 微生物活动减缓

在低温环境下微生物活动明显减缓，成为低温低浊水处理的一项挑战，微生物在水处理中扮演着关键角色，包括降解有机物和促进絮凝沉淀等功能，在低温条件下，微生物的代谢活动受到抑制导致在水体中的功能受限。微生物的活性受温度影响，低温会显著降低它们的代谢速率和生长速度，这种减缓可能降低微生物对有机废物的降解效率，影响水体的自净能力。同时，微生物在絮凝过程中也扮演着重要角色，它们可以在絮凝剂的作用下促使颗粒聚集形成絮体。然而，由于低温导致微生物活动的减缓，絮体的形成速率和效率降低，使得絮凝过程受到阻碍。为了应对微生物活动减缓的问题，需要寻找或设计适应低温环境的微生物，或者采用其他替代性的水处理技术，以确保在低温条件下依然能够有效地完成水质处理过程。

1.3 低温下化学反应速率降低

低温环境下化学反应速率的显著降低是低温低浊水处理面临的另一项挑战。化学反应速率通常受温度的影响，而低温环境会导致反应速率的减缓，限制了水处理过程中关键反应的进行。在水处理中许多关键的化学反应涉及絮凝剂的水解、氧化还原过程以及其他与颗粒去除相关的反应，这些反应通常需要一定的温度来提高反应速率，增加反应的动力学，低温环境下反应物分子的热运动受到抑制，导致化学反应速率减缓。反应速率的降低可能直接影响絮凝剂的活性，影响絮体的形成速度和效率。此外，其他水处理过程中的化学反应，例如氧化还原反应，也可能受到低温的制约，影响处理系统对有机和无机污染物的去除效果。

1.4 低温对絮体形成的影响

低温环境对絮体形成产生显著的影响，这是低温低浊水处理中一个重要的考虑因素，絮体的形成是絮凝过程中的关键步骤，它决定了悬浮在水中的微小颗粒是否能够有效地聚集成大颗粒，便于后续的沉淀和过滤去除。低温条件下絮体的形成受到阻碍的主要原因之一是絮凝剂的水

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

解效果减弱，由于低温抑制了絮凝剂的水解速率，导致释放到水中的活性成分较少，限制了絮体的有效形成。絮凝剂通常通过释放带电物质或产生吸附作用，促使颗粒之间发生吸引力，形成絮体，低温下这一过程受到抑制，使得絮体的形成速度和效率显著降低。

1.5 对颗粒间碰撞效果的影响

低温环境对颗粒间碰撞效果产生显著影响，这是在低温低浊水处理中成为一个重要的考虑因素，颗粒之间的碰撞是絮凝过程中的关键步骤，直接影响絮体的形成和后续的沉淀和过滤效果[1]。在低温条件下，颗粒的热运动减缓，使得颗粒之间的碰撞频率和能量明显降低，这种降低的碰撞效果直接影响絮凝过程中颗粒之间的聚集速度和碰撞概率，使得絮体的形成受到阻碍。特别是对于小颗粒而言受到流体的阻尼效应更为显著，在低温环境中更难以发生有效碰撞。为了弥补低温环境对颗粒间碰撞效果的影响，需要采用一些增强絮凝过程的技术。

1.6 对化学药剂性能的影响

低温环境对化学药剂性能产生显著影响，直接影响了低温低浊水处理的有效性，化学药剂在水处理中常用于絮凝、氧化还原以及其他处理步骤，其性能受温度的影响较为敏感。低温条件下降低了絮凝剂的活性影响了絮凝过程，絮凝剂的溶解度和反应速率随温度的下降而减缓，降低了絮凝剂释放活性成分的效率，使絮凝剂在低温环境中难以迅速而有效地形成絮体，从而影响整个水处理系统的絮凝效果。在低温环境下，氧化还原反应的速率减缓，影响了对有机和无机污染物的有效去除，这是因为氧化还原反应通常需要一定的温度来提高反应速率，而低温环境会减缓这些反应的进行。

2 低温低浊水深度处理技术研究进展

2.1 溶气气浮（DAF）

溶气气浮（Dissolved Air Flotation，简称 DAF）是一种常用于水处理的物理化学过程，主要用于去除悬浮颗粒、胶体和油脂等污染物，尤其在低温低浊水处理中具有显著的优势。该过程的核心在于在水中溶解空气，然后通过释放气体形成微小气泡，这些微小气泡在水中悬浮，并通过浮力将悬浮的颗粒、胶体或油脂粒子附着在气泡表面，形成浮性颗粒。浮性颗粒随后上浮到水表面形成浮渣，从而实现固液分离。在低温环境下，DAF 相对于传统絮凝沉淀技术具有一些优势。首先，由于气泡的引入，DAF 在颗粒的捕集和升浮方面具有较高的效率，有助于克服低温环境下颗粒间碰撞效果降低的问题。其次，DAF 在处理高浊度水质时仍然能够保持较好的处理效果，适用于一些低温地区水源中浊度较高的情况。

2.2 深度处理技术

深度处理技术是一种在低温低浊水处理中被广泛应用的高级水质处理方法，通过采用多层次、多阶段的水质处理步骤，有效地去除水中微小颗粒、溶解性有机物、微生物和其他难降解的污染物，以提高水质的处理效果。深度处理技术的核心特点包括多阶段的处理过程，每个阶段都专注于去除特定类型的污染物。典型的深度处理技术包括多级絮凝、多级过滤、高级氧化、膜分离等。这些阶段的组合形成了一个综合性的水质处理系统，能够在低温条件下综合考虑不同污染物的去除需求。在低温环境下，深度处理技术具有多重优势，多阶段的处理过程可以适应低温环境中不同类型污染物的特性，提高了处理系统的适应性，通过膜分离等高效技术，深度处理技术能够更彻底地去除微小颗粒和溶解性有机物，从而改善水质。此外，深度处理技术还可以结合先进的监测和控制系统，实现对水质处理过程的精确掌控。

2.3 膜分离技术

膜分离技术是一种先进而高效的水质处理方法，在低温低浊水处理中发挥着重要的作用，该技术基于半透膜的原理，通过不同孔径的膜将水中的污染物分离，实现对悬浮物、溶解性有机物、细菌等的高效去除。首先膜的微孔结构能够有效地拦截微小颗粒，包括在低温环境中颗粒间碰撞效果减弱的情况下。其次膜分离对溶解性有机物的去除效果显著，有助于提高水质的透明度和净化度。此外，膜分离还能有效地截留细菌、病毒等微生物，提高水处理系统对微生物的抑制和去除效果。膜分离技术包括微滤、超滤、纳滤和反渗透等多个不同类型，具体应用根据水质特性和处理需求选择，通过膜分离技术可以实现对水质的精确控制和高效净化，适用于低温地区的水源处理和各种工业用水场景。

2.4 臭氧-生物活性炭技术

臭氧-生物活性炭技术是一种高效的水质处理方法，尤其在低温低浊水处理中表现出显著的优势，该技术将臭氧气体与生物活性炭结合使用，协同去除水中的有机污染物、色度、异味、微生物等问题。首先，臭氧（O_3）作为一种强氧化剂，能够快速降解有机污染物，提高水中的氧化还原电位，进而促进溶解性有机物的氧化还原反应[2]。在低温环境下，臭氧-生物活性炭技术相对于传统氧化还原技术表现更为出色，因为臭氧在较低温度下仍然具有较高的反应活性。其次，生物活性炭的引入通过吸附和化学吸附等机制能够有效地去除水中的异味、色度和微量的有机物，生物活性炭的大比表面和孔隙结构为吸附提供了充分的场所，有助于进一步提升水质的净化效果。

2.5 先进氧化技术

先进氧化技术是一组高效的水质处理方法，通过产生具有强氧化作用的活性氧物种，如羟基自由基（•OH）等，来迅速降解和去除水中的有机和无机污染物，在低温低浊水处理中，先进氧化技术展现出独特的优越性。这些技术包括光催化、臭氧氧化、过氧化氢氧化等。光催化技术利

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

用紫外光、可见光或其他光源激发催化剂，促使催化剂与氧分子生成具有强氧化能力的活性氧物种，从而实现对污染物的降解，臭氧氧化和过氧化氢氧化则通过引入臭氧或过氧化氢，产生高度活性的氧物种，进而实现对水中有机物的氧化降解。在低温条件下，先进氧化技术具有明显的优势。相比传统的氧化还原技术，先进氧化技术在低温环境下依然能够维持较高的活性。此外，这些技术对颗粒和溶解性有机物均有较好的去除效果，适用于各种水质处理场景。

2.6 生物活性滤料

生物活性滤料是一种水质处理技术，利用生物膜在滤料表面形成和发展，通过微生物的附着和生长来去除水中的溶解性有机物和氮、磷等营养物质。在低温低浊水处理中，生物活性滤料显示出出色的性能，为水质净化提供了一种环保而可持续的方法。技术的核心在于滤料表面生物膜的形成，这些生物膜由细菌、真菌、藻类等微生物组成。微生物通过吸附、吸收和降解机制，有效地去除水中的有机物和养分，生物活性滤料的优势之一是能够处理高浊度水质，因为滤料表面的生物膜可以捕获和降解颗粒物。在低温环境下，生物活性滤料仍能保持较高的生物活性。相比于一些传统的生物处理方法，生物活性滤料对低温环境的适应性更强，微生物在滤料表面的附着和生长速率相对较快，保持了较高的处理效率。

2.7 改进的絮凝剂和絮凝技术

改进的絮凝剂和絮凝技术是针对低温低浊水处理的一项关键发展，旨在提高絮凝效果和适应性，通过优化絮凝剂的性质、改良絮凝剂的配方，或引入新型絮凝技术，以应对低温环境下絮凝效果降低的问题。首先，改进的絮凝剂通常包括具有高效絮凝性能的新型聚合物、无机絮凝剂和复合絮凝剂，这些絮凝剂能够在低温环境下更快速地水解，释放出更多的絮凝活性成分，从而提高絮凝效果。其次，絮凝剂的改进还包括提高絮体的稳定性，使其更抵抗低温环境对絮体形成的不利影响。在技术层面，改进的絮凝技术包括高效絮凝设备的设计、絮凝反应条件的优化以及絮凝过程的自动控制。例如通过改良絮凝设备的结构，可以增加絮体的形成和聚集效率，优化絮凝反应条件，如 pH 值和絮凝剂投加速率，有助于在低温环境下提高絮凝效果。自动控制系统能够实时监测水质状况，并根据实际情况调整絮凝过程的参数，保障处理系统的稳定性和高效性。

2.8 藻类修复技术

藻类修复技术是一种利用藻类对水体中营养盐、有机物等进行吸收和转化，以改善水体水质的生态修复方法。在低温低浊水处理中，藻类修复技术展现出了独特的优势，为水体提供了生物学、环保友好的治理途径。首先，藻类对水体中的氮、磷等营养盐具有显著的吸收能力，这些养分是水体中藻类生长的关键要素，通过引入适当种类的藻类，可以有效地减少水体中的营养盐含量，防止过度富营养化现象，尤其在低温环境下一些耐寒藻类仍然具有较高的生长活力，适用于寒冷气候的水域修复。其次，藻类通过光合作用释放氧气，有助于提高水体的溶解氧含量，改善水体的氧气状况，对于低温环境下水体的生态平衡和鱼类等水生生物的生存繁衍至关重要。在实际应用中，藻类修复技术可以通过引入藻类种子或培养好的藻类群落，结合水体的特性和治理需求，进行有针对性地修复。同时，可结合其他水质治理技术，如絮凝、氧化技术等，形成多层次、多措并举的综合治理体系。

3 结语

在低温低浊水处理技术研究进展的过程中，我们深入探讨了多个方面的关键问题和创新技术。低温环境对水质处理带来的挑战，如絮凝剂水解效果的降低、微生物活动减缓、化学反应速率下降等都在一定程度上制约了传统水处理方法的效果，在不断发展的科技和工程领域中，各种先进技术的引入使得低温低浊水处理变得更为高效、可行。从溶气气浮（DAF）到深度处理技术、膜分离技术，再到臭氧-生物活性炭技术、先进氧化技术、生物活性滤料、改进的絮凝剂和絮凝技术以及藻类修复技术，这些技术的不断创新和应用使得低温低浊水处理在实际应用中变得更为灵活、可靠。在未来的研究和实践中，需要进一步深化这些技术的理论基础，提高其在复杂水体中的适应性和稳定性，以推动低温低浊水处理技术的不断发展。这些努力将有助于确保水资源的可持续利用，提高水体生态环境质量，满足人们对清洁水源的迫切需求。

[参考文献]

[1]胡光楠，赵玉华.低温低浊水处理技术[J].辽宁化工，2016，45(11)：1430-1432.
[2]李杨，段小睿，员建等.低温低浊微污染水处理技术研究进展[J].中国建设信息(水工业市场)，2010(5)：51-55.

作者简介：单萍莉（1986.8—），毕业院校：常州工程职业技术学院，所学专业：化工工艺与计算机集散控制，当前就职单位：徐州市铜山区自来水有限公司，职务：检测中心质量负责人，职称级别：中级。

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.