

地下水中硝酸盐的去除

刘玲花 王志石 王占生

【提要】 本文介绍了一种通过脱氮硫杆菌进行自养反硝化来去除地下水中硝酸盐的饮用水深度处理方法。中文对其试验原理、流程和方法作了简要说明,并对去除效果的影响因素进行了分析。结果表明,硝酸盐负荷小于 $876\text{gNO}_3^-/\text{N}/(\text{m}^3\text{滤料}\cdot\text{d})$ 时,去除率接近100%。

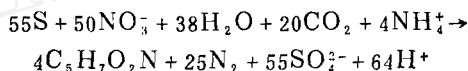
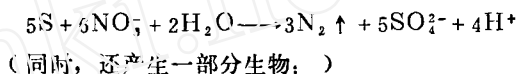
一、硝酸盐的危害性及地下水去除硝酸盐的现状

近年来,由于农业活动及排污物的影响,许多国家的地下水中,都出现了硝酸盐含量增加的趋势。我们知道,硝酸盐本身并无害,但人体摄入过量的硝酸盐后,在微生物的作用下,硝酸盐被还原为亚硝酸盐,容易引起高铁血红蛋白症,这种病对婴儿危害尤其大,严重时会导致死亡。另外,亚硝酸盐与仲胺反应,产生一种致癌物。为此,世界卫生组织(WHO)规定饮用水中硝酸盐氮不能超过 11.3mg/L ,我国规定的硝酸盐氮标准为 20mg/L 。

去除地下水中硝酸盐的方法很多,但只有离子交换法和生物脱氮法可用于大规模生产饮用水。而这两种方法,都各有缺点。离子交换法是一个物理化学过程,利用阴离子交换树脂中的氯化物或重碳酸盐与硝酸根离子交换,去除水中的硝酸盐,但需要高浓度盐或酸进行再生,从而产生含有高浓度的硝酸盐、硫酸盐废水,后处理困难。此外,对于硫酸盐含量高的水,树脂将先交换硫酸盐,然后才交换硝酸盐,因而树脂利用率低,运行成本高。生物脱氮法包括异养菌脱氮法和自养菌脱氮法。异养法需向水体中投加甲醇、乙醇、醋酸等有机碳源作为反硝化菌的食料,又使水体污染,需进行复杂的后处理来去除过量的有机物。利用脱氮硫杆菌进行的自养反硝化可以克服上述缺点,而且硫磺、石灰石都是较便宜的矿石,所以此种方法既经济又实用。

二、实验原理和流程

脱氮硫杆菌是一种兼性厌氧菌,在无氧及存在硫的情况下,利用硝酸盐作为电子受体进行呼吸,将硝酸盐还原为氮气。而硫被氧化为硫酸盐,反应如下:



从以上方程式可以看出,反硝化过程中产生了 H^+ ,导致pH降低,而pH接近中性时,细菌的活性最佳,因此需进行中和反应以维持中性环境。此外,由于反硝化过程需无机碳,在滤池中加入石灰石,既提供了细菌生长所需的无机碳源,又维持了最佳pH范围。

根据以上原理,我们设立了两个相同的硫/石灰石滤柱,其简图如下:

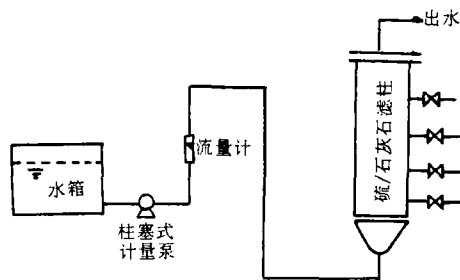


图1 试验流程简图

滤柱直径9 cm,滤料高度1.75m。

硫磺、石灰石粒径2~5 mm。硫磺、石灰石体积比1:1。

两个滤柱中一个投加 Na_3PO_4 ,另一个不投加 Na_3PO_4 作比较。

与离子交换法和异养反硝化法相比,硫/石灰石生物过滤法有如下优点:

1. 选择性去除硝酸盐,将硝酸盐还原为氮气,因而不象离子交换法那样会产生高浓度盐废液。

2. 基质为硫, 与其它基质如甲醇、乙醇、醋酸相比, 无需去除多余基质的额外步骤。

3. 采用硫磺、石灰石作为滤料, 经济实用。

其缺点为在去除硝酸盐的过程中产生硫酸盐。

三、实验方法

将河泥或土壤接种于脱氮硫杆菌的培养基中, 在28°C下培养。培养基成份如下(g/L): $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 5$; $\text{K}_2\text{HPO}_4 = 2$; $\text{KNO}_3 = 2$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0.01$; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0.5$; $\text{NH}_4\text{Cl} = 0.5$; pH = 7~7.6。经过一段时间的富集培养后, 得到大量的脱氮硫杆菌。将富集到的脱氮硫杆菌接种于硫/石灰石滤柱中, 在滤柱中驯化培养, 使脱氮硫杆菌逐渐附着在滤料表面。进水初期, 停留时间很长, 随着反硝化速率的增加, 逐渐降低停留时间。在某一滤速下, 反应达到稳定后, 从取样口取样检测硝酸盐、亚硝酸盐、硫酸盐、pH、碱度、溶解氧、硬度等。

我们判断稳定的方法是, 在滤柱中间某一位置取样测定硝酸盐, 当硝酸盐浓度为某一常数时, 就认为已达到了稳定状态。

四、实验结果及讨论

两个硫/石灰石滤池的启动都很快, 停留时间为16小时, 进水五天后, 去除率已为100%, 达到了完全反硝化。

经过实验对比发现, 向滤柱中投加0.2mg/L的磷酸盐是必需的, 未投加 Na_3PO_4 的滤柱, 承受硝酸盐负荷的能力很低, 而且运行周期短。这是因为细菌细胞的生长需要微量的磷酸盐, 缺少磷酸盐时, 细胞合成速率大大降低, 因而滤料上不能形成足够数量的生物, 影响反硝化速率。

图2是硝酸盐、亚硝酸盐和硫酸盐沿滤柱高度的分布曲线。硝酸盐浓度沿水流方向逐渐降低; 亚硝酸盐首先随滤料高度的增加而增加, 达到某一峰值后, 逐渐降低; 硫酸盐浓度随填料高度的增加而增加。

图3是本试验条件下硝酸盐负荷对反硝化率的影响, 当水温22°C, 硝酸盐负荷为876g NO_3^- -N/(m³滤料·天)时, 去除率仍为100%, 但随着负荷的增加, 反硝化率渐渐降低, 当水温为12°C时, 降低趋势比22°C时更明显。

五、结论与建议

1. 硫/石灰石生物过滤法能有效地去除地下水中的硝酸盐, 此过程中, 硫是电子供体, 石灰石提

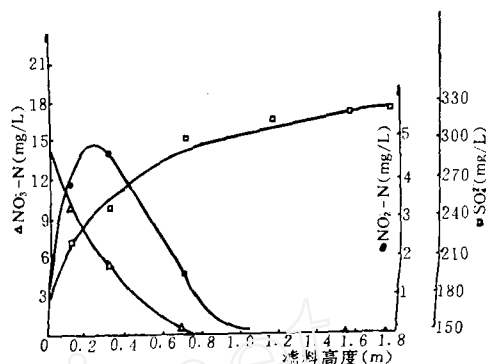


图2 滤柱内各组分沿滤料高度的变化曲线
流量3.8L/h

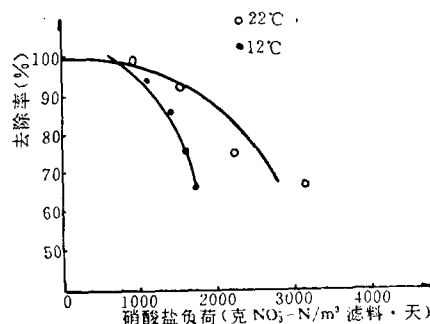


图3 硝酸盐负荷对硝酸盐去除率的影响

供碱度, 二者同时又是生物载体。

2. 采用上流式过滤, 便于氮气逸出, 实验过程中未发现堵塞现象。

3. 不向滤池中投加 Na_3PO_4 时, 滤池运行周期短, 承受硝酸盐负荷能力低; 而当投加0.2mg/L PO_4^{3-} 时, 运行周期明显加长, 超过了100天。

4. 采用自养菌进行反硝化, 不需添加有机物。硫磺、石灰石损耗少, 因而硫/石灰石过滤法是一种经济、简单的处理工艺。

5. 硫/石灰石过滤法最大的缺点是产生硫酸盐, 因此法适用于硫酸盐低的地下水的硝酸盐的去除。但若原水中硫酸盐浓度较高, 经过完全反硝化后, 被处理水中硫酸盐浓度超过饮用水指标时, 可采取将一部分原水进行处理, 然后再与未处理部分水混合的方法, 以使水厂出水中硝酸盐与硫酸盐指标都符合国家饮用水水质标准。

⊖ 作者通讯处: 100084清华大学环境工程系

CONTENTS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE DIRECT FILTRATION OF LAKE WATER CONTAINING ALGAE IN A RADIAL FLOW FILTER

..... Li Jingming *et al.* (5)

Abstract. This paper describes an experimental investigation on the direct filtering of Wuhan's East Lake water containing algae in a radial flow filter with uniform-sized media. The experimental result shows that, under the circumstances of inflow turbidity < 30 degrees, algae content < 40 million/L and filtering velocity < 8 m/h, the effluent turbidity is below 2 degrees, and the filtering period is more than 14h, which is a good outcome compared with that of upward flow double layer filters.

COMPUTER PROGRAM FOR THE HYDRAULIC BALANCE OF NETWORKS WITH MULTIPLE WATER SOURCES..... Wang Yongtong (9)

Abstract. This paper presents the computer program for the hydraulic balance of networks with multiple water sources. The new flow adjusting formula, which boasts a rapid convergent tendency in the calculating procedures, comes from the study and improvement of the Hardy-Cross algorithm. With the new formula, calculations of the false loops can be successfully turned into those of the true ones. At the end of the paper, a typical example is given to show the application of the program.

ANALYSIS ON THE FACTORS AFFECTING THE SETTLING EFFICIENCY OF LATERAL FLOW INCLINED PLANES WITH FINS..... Chen Bin (15)

Abstract. Through the field tests, the author analysed how the settling efficiency of lateral flow inclined planes with fins would be influenced by inflow distribution uniformity, flocculation conditions and number of the fins.

REMOVAL OF NITRATES FROM THE GROUND WATER

..... Liu Linghua *et al.* (19)

Abstract. This paper presents the removal of nitrates from the ground water through the autotrophic denitrification by denitrifying thiobacillus. The experimental principle and process of the advanced water treatment for potable water are outlined, and the factors influencing the removal efficiency are analysed. The results show that, the removal rate is close to 100% when nitrate load is below 876g NO₃-N/(m²·d).

THE DESIGN AND PRACTICE OF THE PUMPING WITH A SUCKING LINE OF 170 METERS LONG..... Xiao Changhua (21)

Abstract. The sucking lines of pumps are usually designed in a range from about several meters to tens meters long. This paper introduces a successful case of design and practice with the sucking line up to 170 meters by using the pump of high lift head according to local conditions and whatever is available. The hydraulic calculations of the pipeline, the type selection of the pump and its suction equipment are presented. The check of the flowrate and lift head of the pump, the installation and testing of the whole equipments are also described in the article.