

吹脱技术净化石油污染地下水实验

金彪¹, 李广贺², 张旭² (1. 上海市政工程设计研究院, 上海 200092, E-mail: jbiao@263.net; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 利用现场动态实验对影响吹脱塔除污染的因素进行了实验研究, 确定最佳气水比为 5: 1、淋水密度为 $10.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 在最佳运行状况下, 吹脱法对地下水中油类物质的去除率可达 50% 左右, 还能去除水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、高锰酸钾指数等污染物质, 是一种非常有效的预处理方法。同时采用色-质联机方法, 分析了吹脱单元进出水中有机物质组分的变化, 并探讨了去除油类有机物质的机理。

关键词: 吹脱; 油类物质; 净化; 地下水

中图分类号: X523, X741 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2000)04-0102-04

Air Stripping Technique of Purifying Groundwater Polluted by Petroleum Hydrocarbon

Jin Biao¹, Li Guanghe², Zhang Xu² (1. Water & Waster Water Dept of Shanghai Municipal Engineering Design Institute, Shanghai 200092, China E-mail: jbiao@263.net; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The tests on factors which influencing air stripping tower to remove pollutants were carried out. According to field situation optimum air to water ratio is 5: 1 and liquid loading rate is $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. The experimental results also show that air stripping not only can remove more than 50% total oil in the groundwater, but also can remove pollutants such as amino nitrogen, potassium permanganate index in the groundwater. Air stripping is an effective preliminary method at the oil treatment. The varieties of the organic was analyzed in the influent and effluent of the air stripping tower by using GS/MS, and the removal mechanism of petroleum pollutants is discussed.

Keywords: air stripping; petroleum hydrocarbon; purification; groundwater

吹脱是使水作为不连续相与空气接触, 利用水中组分的实际浓度与平衡浓度之间的差异, 使水中挥发性组分如挥发性低碳油类物质及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等转移至气相而去除, 而溶解氧含量升高。吹脱早期应用于去除水中溶解的 CO_2 、 H_2S 、 NH_3 等气体。从 70 年代中期开始, 这项技术被应用于含低浓度挥发性有机物的污水处理。空气吹脱是一种比较便宜的地下水净化技术^[1], 美国环境保护协会(US.EPA)指定其为去除挥发性有机污染物最可行的技术(BAT)^[2]。本研究在现场动态实验的基础上, 对影响吹脱的因素及吹脱机理进行了探讨。

1 实验方法

实验采用现场动态运行, 实验用水为山东省淄博市壕皋 3[#] 井地下水, 其中油含量为数至数 10 mg/L , 其中大多数为石油裂解产物或带有各种官能团的烃类衍生物, 如芳香烃、烷烃、烯烃和多种酚、酸、醛、酮、酯等, 另有部分毒性较强的组分, 如萘、苯等, 难以分解和去除。此外, 水中还含有其他污染物质, 如 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等, 这部分水由于油类等污染物质浓度高, 既不能

基金项目: 山东省科委重点项目(鲁科计字(1997)217 号)
作者简介: 金彪(1972~), 男, 工学硕士, 助理工程师
收稿日期: 1999-10-13

饮用,也不适于工业用水,严重威胁到淄博市大武水源地的正常使用.

吹脱塔采用填料塔形式,使水流从上部通过填充了滤料的圆柱向下流动,而在底部充气,使空气向上运动,形成水-气逆流,可提高水-气作用效率,并使水中的挥发性污染物质转移到气相,达到去除目的,实验流程如图 1. 吹脱塔直径为 200mm,总高度为 1650mm,塔内填料为拉西环,装填高度 1150mm,填料具有较大的孔隙体积和比表面积. 实验规模为 80~480L/h,实验中通过调节 2 个流量计来确定气水比和淋水密度的大小.

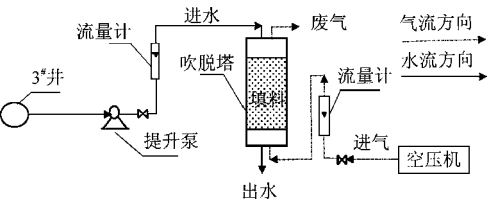


图 1 实验流程

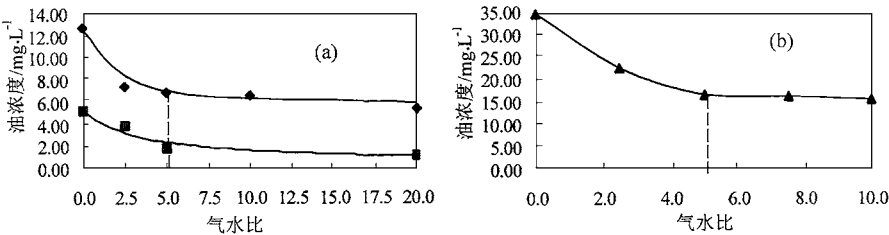


图 2 不同气水比时油浓度变化

从图 2(a) 及 (b) 可以看出,吹脱可有效降低出水中油含量,随着气水比的增加,吹脱出水中油含量逐渐降低. 但 3 种不同油含量(5.15, 12.70, 34.20mg/L)的油浓度变化曲线都表明,当气水比< 5: 1 时,进出水油浓度变化比较显著;当气水比> 5: 1 时,随气水比的增加油浓度变化曲线趋于平缓. 表明喉皋-西夏地下水的石油类污染物质中,易挥发组分所占的比例是一定的,能通过吹脱方法去除的有机物大约在 50%~60% 之间,受进水油类浓度的变化影响不大,当气水比取 5: 1 时,就可去除石油类有

2 试验结果与分析

气水比和淋水密度是吹脱单元的关键技术参数,它们的选取不仅影响吹脱的效果,而且直接关系着净水系统的投资及运行费用. 因此,确定合理的运行参数,对在保证一定处理效果的前提下尽量节省投资、减少运行费是非常重要的.

2.1 最佳参数

2.1.1 最佳气水比

气水比加大,去除水中挥发性有机物、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及增氧的效果也增强,但同时增加了投资和运行费用. 为了考察气水比对除油效果的影响,取不同的气水比条件进行吹脱试验,试验结果见图 2.

(1) 对油去除的影响 气水比加大,去除水中挥发性有机物、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及增氧的效果也增强,但同时增加了投资和运行费用. 为了考察气水比对降油效果的影响,取不同的气水比条件进行吹脱试验,试验结果见图 2.

合物中绝大部分的挥发性组分.

(2) 对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除的影响 吹脱时,非离子氨(NH_3)从液相进入气相,从而使水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度降低. 不同气水比条件下 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除效果如图 3. 从图 3 可以看出,在一定范围内,气水比越大, $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除率越高. 气水比为 2.5: 1 时, $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除率为 25% 左右,说明地下水含有相当一部分的挥发性氮,能通过吹脱作用去掉.

(3) 对溶解氧的增补效果 将 3 种不同气水比时吹脱塔的进出水中平均溶解氧值列于表

1.

从表 1 可知, 吹脱单元最佳气水比为 5: 1, 即对油和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 有较好的去除效果, 又能提供足够的溶解氧, 为后续处理单元提供有利条件.

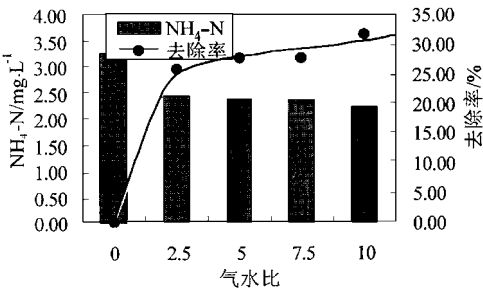


图 3 不同气水比条件下吹脱对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除
表 1 不同气水比时进出水溶解氧值/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

气水比							
2.5: 1		5: 1		7.5: 1		10: 1	
进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
0.5	7.8	0.4	8.3	0.5	8.5	0.2	8.5

2.1.2 淋水密度

淋水密度的变化影响气、液接触面积和接触时间, 淋水密度减小可以增加气、液接触面积和接触时间, 提高污染物质的去除率; 但同时使吹脱装置的表面积增加, 从而增加投资费用.

在确定的最佳气水比(5: 1)条件下, 取不同淋水密度时, 吹脱出水中油浓度变化见图 4.

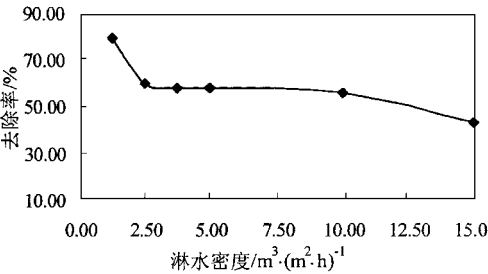


图 4 不同淋水密度时吹脱除油效果

试验结果表明, 当淋水密度为 $1.25\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 油去除率较高, 为 78.6%; 当淋水密度增加至 $2.5\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 以上, 除油率下降, 在淋

水密度小于 $10\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 去除率下降幅度基本不大, 其平均去除率为 57.4%, 说明淋水密度为 $2.5 \sim 10.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 去除率几乎不受影响, 而将淋水密度进一步增加到 $15.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 油的去除率降至 42.4%. 由此可见, 当淋水密度达到 $15.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 气水比为 5: 1 的条件下不能有效地去除地下水中的挥发性组分. 而且若要将油的去除率维持在 78% 左右, 则吹脱塔的表面积需增加 4 ~ 8 倍, 大大增加基建投资.

综合考虑各方面因素的影响, 取 $10.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 作为吹脱单元的最佳淋水密度.

2.2 结果分析

2.2.1 除油效果

当气水比为 5: 1、淋水密度为 $10.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 吹脱塔进出水油浓度及去除率变化见图 5.

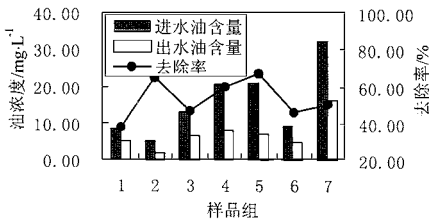


图 5 吹脱塔除油效果

结果表明, 吹脱能有效去除地下水中的油类污染物, 油平均浓度由进水的 15.53mg/L 减少到 7.14mg/L , 平均去除率为 53.0%.

2.2.2 $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除效果

在吹脱单元最佳运行条件下, 吹脱塔进出水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度及去除效果如图 6.

结果表明, $\text{NH}_4\text{-N}$ 平均浓度由进水的 3.06mg/L 减少到 2.32mg/L , 平均去除率为 23.6%. 吹脱作用能够使水中的平衡反应 $\text{NH}_4 \cdot \text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 向右移动, 使非离子氨(NH_3)从液相进入气相, 从而使水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度降低而去除.

2.2.3 高锰酸钾指数去除效果

图 7 为在最佳运行条件下, 吹脱塔进出水高锰酸钾指数及去除率的变化.

从图 7 看出, 吹脱对高锰酸钾指数的去除率较低, 平均浓度由进水的 10.26mg/L 减少到 8.60mg/L, 平均去除率仅为 16.0%, 说明在吹脱掉的石油类污染物中, 绝大部分是不可被高锰酸钾氧化的有机物质.

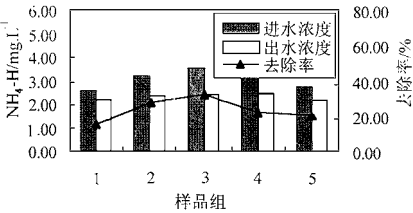


图 6 吹脱塔除 $\text{NH}_4\text{-N}$ 效果

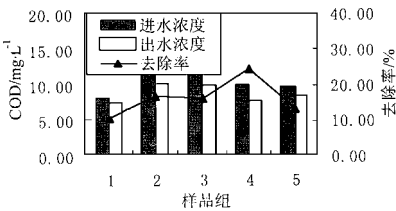


图 7 吹脱塔除高锰酸钾指数效果

2.3 吹脱机理

为了解用吹脱技术处理后进出水中有机物成分变化, 对吹脱单元的进出水样进行了色-质联机分析.

结果表明, 响应时间短, 碳原子数较小的物质比较容易被吹脱, 而碳原子数较大的物质去除效果不太明显. 经吹脱处理后原水中的一些物质在出水谱图中(图略)没有响应, 已经通过吹脱被完全去除; 而且绝大部分有机物质的响应值都有大量的减小, 以响应值 7.0×10^6 为参照值对比吹脱单元进出水有机污染物去除效果, 吹脱前响应值大于该值的响应峰有 17 个, 而经处理后出水中只有 4 个, 减少了 76.5%, 而且其它响应值小于这个数值的物质, 经吹脱

处理也有一定的去除.

色-质联机分析还表明, 吹脱前地下水中有有机物有 40 种, 吹脱后只有 28 种, 有 30% 左右的污染物质被完全去除, 其他组分都有不同程度的减少, 而且吹脱前后地下水中有毒组分也有一定程度的减少. 吹脱对苯系物的去除效果比较明显, 稠环芳烃类、酯、醛、酮类、烷烃类物质的相对含量都有一定的增加, 而苯系物质的相对含量由进水的 62.7% 减少到 45.7%, 而且还有 8 种苯系物被完全去除, 其他物质的响应值都有大的降低.

3 结论

(1) 实验表明, 吹脱作为一种预处理方法去除水中的挥发性物质, 去除率较高. 对含挥发性油类的地下水, 油的浓度由进水的 15.5mg/L 减少到 7.1mg/L, 平均去除率为 53.0%;

(2) 在实验条件下, 确定吹脱运行的最佳条件为气水比 5: 1、淋水密度 $10.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

(3) 吹脱能增加水中的溶解氧, 溶解氧值从 0.4mg/L 增至 8.3mg/L, 为后续的生物处理提供充足的溶解氧;

(4) 吹脱对其他污染物质也有较好的去除效果, $\text{NH}_4\text{-N}$ 的平均去除率为 23.6%、高锰酸钾指数平均去除率为 16.0%;

(5) 经吹脱处理后, 有机物种类由 40 种减少到 28 种, 有 30% 的污染物质被完全去除, 其他组分都有不同程度的减少.

参考文献:

1 Edward Bouwer et al. Coping with Groundwater Contamination. J. Water Poll. Coll. Fed., 1988, 60(8): 1415 ~ 1427.

2 Evan K Nyer. Groundwater Treatment Technology. Second Edition. New York: 1992, 100~ 150.

3 国家环保局编. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 372~ 374.