

# 含钼废水处理及饮用水应急处理技术及工艺

林朋飞, 张晓健, 陈超, 汪隽

(清华大学 环境学院, 饮用水安全研究所, 北京 100084)

**摘要:** 在弱酸性条件下氢氧化铁沉淀物对钼酸根离子具有吸附作用, 本文研究弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺对含钼废水及水源钼污染的饮用水应急处理效果。通过调节原水 pH 值, 研究 pH 对铁盐除钼效果的影响。在最适 pH 条件下, 通过投加不同混凝剂, 研究铁盐对钼的去除规律, 探讨去除原理。结果显示在弱酸性条件下, 铁盐混凝沉淀法除钼是表面电化学吸附过程, 符合 Langmuir 吸附等温线方程。pH 是重要工艺参数, 最佳 pH 范围为 4~4.5。弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺可以与水厂常规处理工艺结合, 有效应对原水微量钼超标问题, 保障供水安全。采用该工艺处理高浓度含钼废水时, 在最适 pH 条件下, 投加适当铁盐混凝剂, 一级混凝沉淀出水可以满足废水排放标准要求, 但难以满足地表水水环境质量要求。为满足地表水水环境质量标准, 可采用二级混凝沉淀串联处理。该工艺除钼所需构筑物简单, 药剂投量有限。

**关键词:** 废水处理; 钼; 铁盐混凝; 饮用水安全

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-0054(2014)05-0613-06

## Treatment of molybdenum-containing wastewater and drinking water

LIN Pengfei, ZHANG Xiaojian, CHEN Chao, WANG Jun

(Division of Drinking Water Safety, School of Environment,  
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Weak acidic iron coagulation sedimentation and filtration were used to treat molybdenum containing wastewater and drinking water. The solution pH was adjusted to study the influence of pH on molybdenum removal. The rule of iron coagulant to remove molybdenum use various pH and iron concentrations to study the removal efficiency. The results show that the molybdenum removal mechanism is a surface electrochemical adsorption process that could be fit by a Langmuir adsorption isotherm. The solution pH controls the process and the optimum pH ranges from 4.0 to 4.5. This process, which can be combined with conventional water plant treatments, can protect drinking water safety when the raw water contains trace molybdenum pollution. The molybdenum concentration of the effluent water will exceed the standards using only process for high concentration wastewater. Thus, secondary treatment is needed because there is equilibrium between the

adsorption capacity and the effluent concentration. This process can be conducted in a simple treatment structure with limited coagulant dosage.

**Key words:** wastewater treatments; molybdenum; iron coagulation; drinking water safety

钼是人体及动植物必需的微量元素。在人体内起着传递电子的作用<sup>[1]</sup>; 在植物体内参与氮代谢和光合作用<sup>[2]</sup>。摄入过量的钼会对人体健康造成损害, 使体内能量代谢过程出现障碍, 引发肾结石、尿道结石、龋齿、关节痛、肾脏受损、生长发育迟缓及皮肤病等健康隐患<sup>[1, 3-4]</sup>。

鉴于钼的健康风险, 中国《生活饮用水卫生标准》<sup>[5]</sup>和《地表水环境质量标准》<sup>[6]</sup>集中式生活饮用水地表水源地特定项目中钼的质量浓度限值都为 0.07 mg/L, 该标准限值与世界卫生组织《饮用水水质准则》<sup>[7]</sup>中规定的质量浓度一致。中国现行污水排放国标中目前尚无对钼的控制指标, 辽宁省地方标准对直接排放废水钼的质量浓度限值为 1.5 mg/L, 对排入污水处理厂钼的质量浓度限值为 3 mg/L<sup>[8]</sup>。

钼的最外层电子结构为  $4d^5 5s^1$ , 存在多种价态, 其中以正六价为主。在天然水体中, 钼主要以钼酸根( $MoO_4^{2-}$ )形式存在, 钼酸盐种类繁多, 包括钼酸钠、钼酸铁、钼酸钙、钼酸铵等<sup>[9]</sup>。钼及其相关化合物广泛应用于冶金、化工、电子、农业等领域, 是重要的化工原料<sup>[10]</sup>。

中国钼资源十分丰富, 储量约占世界钼总储量的 25%<sup>[11]</sup>。在钼矿开采、冶炼以及含钼产品生产与

收稿日期: 2013-08-14

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项  
(2008ZX07420-005)

作者简介: 林朋飞(1986—), 男(汉), 福建, 博士研究生。

通信作者: 张晓健, 教授, E-mail: zhangxj@mail.tsinghua.edu.cn

应用过程中会产生含钼废水。目前含钼废水的主要处理方法包括:化学沉淀、吸附、离子交换、萃取、膜分离等<sup>[12-17]</sup>。这些方法存在成本高、处理效果差等问题。

含钼废水的未达标排放会造成水体污染,特别是含钼废水的事故排放,可能造成水源突发污染,威胁供水安全<sup>[18]</sup>。中国四川省什邡市曾发生过因钼铜建设项目引发的公众群体事件。因此亟需研究价廉、处理效果好的含钼废水的处理技术与工艺和针对水源钼超标的自来水厂应急除钼技术与工艺。

本文研究弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺对钼的去除效果,分析该工艺的除钼机理,确定工艺参数。提出该工艺用于水源钼污染的饮用水应急处理和含钼废水处理的工艺流程,研究结果可以解决含钼废水和水源钼污染难以处理的困境。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验用水

低浓度含钼废水处理研究中,采用自来水投加钼酸钠( $\geq 98\%$ , Sigma-Aldrich)的方式配制所需钼浓度的原水。其中配水用自来水的主要水质参数如下:碱度为 138 mg/L, pH 为 7.86。

含钼废水处理技术研究中,采用某钼矿流出矿区的河水,其废水中钼的质量浓度为 19.93 mg/L,经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后溶解态钼的质量浓度为 19.61 mg/L。可知:该试验水样含有高浓度的钼,相比于地表水环境质量标准限值 0.07 mg/L,超标 283 倍,且水中钼以溶解态为主。废水的其他水质指标如下:碱度为 126 mg/L, pH 为 7.36。

### 1.2 混凝沉淀过滤工艺

试验过程采用六联混凝试验搅拌机(ZR4-6, 深圳中润)模拟混凝沉淀过程,分别采用氯化铁( $\geq 98\%$ , Sigma)和  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ( $\geq 99.99\%$ , Sigma)作为混凝剂。混凝沉淀工艺控制参数如下:快速混合:200 rad/mim, 1 min;慢速混合:60 rad/mim、45 rad/mim、30 rad/mim 各 5 min;沉淀:30 min。沉淀出水采用 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜(PTFE, Millipore)过滤。对比沉淀出水和过滤出水钼浓度,可以分析悬浮态和溶解态钼的含量。

试验采用 0.1 mol/L HCl (37%, Sigma)和 0.1 mol/L NaOH ( $\geq 98\%$ , Sigma)调节水样 pH 值。由于混凝过程也会降低 pH 值,所有水样 pH 数据均为混凝处理后的水样的 pH 值。

## 1.3 钼的检测

自然界中钼有 7 种稳定同位素,其自然丰度在 10%~25% 之间。采用电感耦合等离子-质谱(ICP-MS, XSERIES 2, Thermo Scientific)同时测定不同同位素钼的浓度,各同位素的组分浓度之和即为钼的实际浓度。

## 1.4 其他水质指标检测

试验采用 pH 计(PHSJ-3F, 雷磁)检测混凝前后溶液的 pH 值。采用浊度仪(2100AN, Hach)测定处理出水的浊度。

## 2 结果与讨论

钼在天然水体中常以钼酸根形式存在。本文研究弱酸性条件下铁盐混凝沉淀过滤工艺对钼的去除效果和工艺条件。

### 2.1 不同混凝剂和 pH 值除钼效果

钼的饮用水标准限值为 0.07 mg/L, 实验采用 5 倍标准限值质量浓度,即 0.35 mg/L 作为初始质量浓度,分别研究在铁盐和铝盐混凝剂经混凝沉淀过滤后在不同处理出水 pH 条件下,对钼的去除效果,所得结果如图 1 所示。

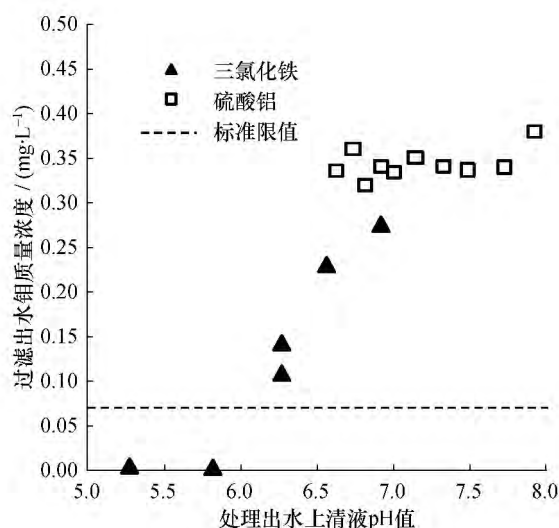


图1 不同混凝剂和 pH 除钼效果  
(钼初始质量浓度: 0.35 mg/L; 混凝剂质量浓度: 5 mg/L)

由图 1 可知:

1) 原水超标 5 倍(0.35 mg/L), 当 pH 在 6.5~8.0 之间, 铝盐混凝剂对钼无明显去除效果, 铁盐混凝剂在较低 pH 条件对钼有明显去除效果, 随着出水 pH 的降低, 铁盐混凝沉淀法对钼的去除效果提高。

2) 在弱酸性条件下, 铁盐混凝剂可以有效除

钼,在超标 5 倍条件下,经过处理,处理出水满足标准要求;但在中性及碱性条件下,铁盐混凝剂对钼的去除效果有限,难以达标。

2.2 pH 对除钼效果影响

由上述研究结果可知,在弱酸性条件下铁盐混凝沉淀法可以除钼。因此,进一步研究处理 pH 值对铁盐混凝沉淀法除钼效果影响。

试验采用某矿区河水,调节至不同初始 pH,投加 30 mg/L 混凝剂,研究不同出水 pH 对铁盐混凝沉淀法除钼效果影响,结果如图 2 所示。

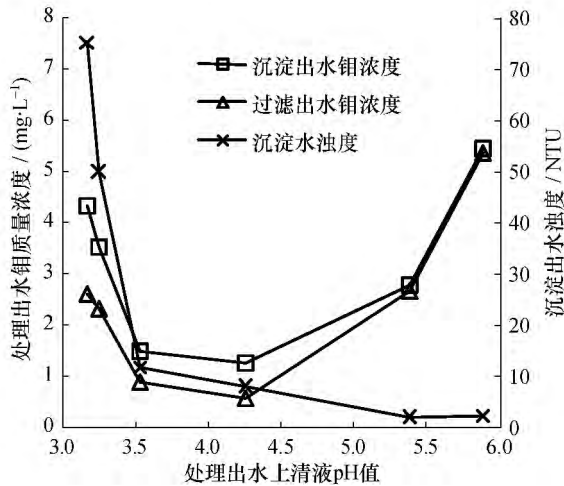


图 2 不同 pH 对铁盐混凝剂除钼效果的影响 (钼初始质量浓度: 19.93 mg/L; 混凝剂质量浓度: 30 mg/L)

由图 2 结果可知:

- 1) 弱酸性铁盐混凝沉淀法除钼的有效 pH 范围为 3.5~5 之间,其中最佳 pH 范围为 4~4.5。
- 2) 当 pH 大于 5 时,铁盐混凝沉淀法对钼的处理效果随着 pH 的增大缓慢下降。此时混凝效果良好,出水浊度很低。在此条件下,水中的钼主要以钼酸根存在<sup>[19]</sup>。在较低 pH 值下,氢氧化铁矾花表面的正电性较强,因此对负电性的钼酸根的电吸附能力强,除钼效果好。
- 3) 在 pH 小于 3.5 的条件下,铁盐混凝剂对钼的处理效果随着 pH 的降低急剧下降,处理出水钼的浓度和浊度升高。原因是在此 pH 条件下,铁盐混凝剂的混凝沉淀效果很差,且钼酸和钼酸氢根的比例增加,负电性降低,不利于与氢氧化铁矾花的电吸附,因此除钼的效果很差。
- 4) 对比沉淀出水钼的浓度和过滤出水钼的浓度,可以发现 pH 小于 4.5 时,沉淀出水的钼浓度高于过滤出水钼浓度,说明有一部分钼以悬浮胶体形

式存在于溶液中,这主要受混凝沉淀效果影响,部分悬浮含钼细小颗粒无法完全沉淀去除。

2.3 工艺除钼原理研究

弱酸性铁盐混凝沉淀法除钼主要是表面电化学吸附过程,可以研究吸附容量和平衡浓度的关系。

试验采用某矿区河水,初始钼质量浓度为 19.93 mg/L,通过调节 pH 值,投加不同浓度混凝剂,可以计算在不同出水钼浓度条件下的单位混凝剂吸附钼的容量,结果如表 1 所示。

表 1 钼吸附量同平衡浓度关系

| 组序 | pH   | $C_{Fe}$           | $C_{e-Mo}$         | $q_{e-Mo}^*$        |
|----|------|--------------------|--------------------|---------------------|
|    |      | mg·L <sup>-1</sup> | mg·L <sup>-1</sup> | mg·mg <sup>-1</sup> |
| 1  | 4.86 | 5                  | 14.67              | 1.05                |
| 2  | 4.12 | 10                 | 9.23               | 1.07                |
| 3  | 3.43 | 20                 | 4.53               | 0.77                |
| 4  | 3.26 | 25                 | 3.60               | 0.65                |
| 5  | 3.17 | 30                 | 3.15               | 0.56                |
| 6  | 3.03 | 40                 | 3.15               | 0.42                |
| 7  | 4.25 | 30                 | 0.574              | 0.65                |

注:  $q_{e-Mo}$  为单位质量铁盐混凝剂对钼的吸附容量

由表 1 可知:

- 1) 随着混凝剂投加量的增加,处理出水钼的浓度逐渐降低。
  - 2) 虽然初始 pH 相似,但因铁盐在混凝过程中发生水解形成  $Fe(OH)_3$  矾花,因此处理出水 pH 不同。混凝剂投加量越高出水 pH 值越低。
- 根据 pH 对混凝的影响,在 pH 为 3.5~5 之间时,为弱酸性铁盐除钼有效 pH 范围。因投加铁盐混凝剂浓度较高,表 1 中组 3 至组 6 出水 pH 值低于 3.5,处理效果还受混凝效果影响。因此选用组 1、组 2 和组 7 的处理出水数据进行吸附性质分析。

由上述试验结果,根据 Langmuir 吸附等温线方程:

$$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e}$$

其中:  $q_e$  表示平衡吸附量,即单位质量铁盐混凝剂上吸附钼的质量,单位为 mg/mg;  $b$  为常数,单位为 L/mg;  $C_e$  为平衡质量浓度,单位为 mg/L。可以拟合  $C_e/q_e$  和  $C_e$  的关系,可以得到图 3。由拟合结果可知:除因出水 pH 太小影响混凝结果,导致吸附效果较差外,其他数据符合 Langmuir 吸附等温线方程。

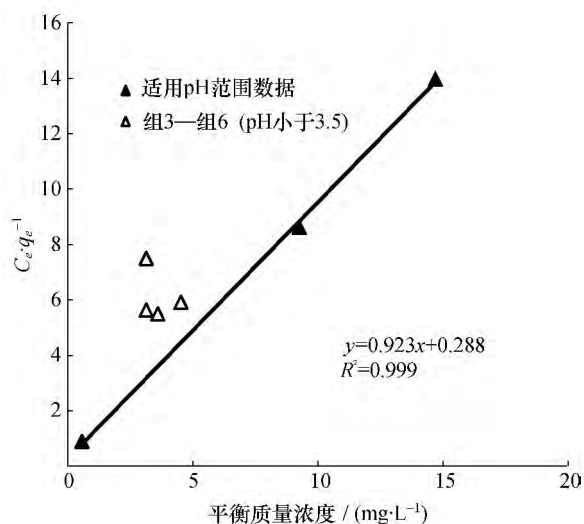


图3 铁盐混凝除铅吸附等温线

根据图3拟合结果可知,弱酸性条件下铁盐混凝沉淀法除铅其等温线结果符合 Langmuir 吸附等温线方程。每毫克铁盐混凝剂最大吸附量为 1.08 mg, 常数  $b$  为 3.2 L/mg。即弱酸性铁盐混凝沉淀法除铅符合单层吸附,在适用 pH 范围内,即 pH 在 4.5~5 之间,吸附等温线方程为:

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} = \frac{3.47 \cdot C_e}{1 + 3.2 \cdot C_e}$$

由于弱酸性铁盐混凝沉淀法除铅是表面化学吸附过程,存在吸附平衡。在原水水质条件下,投加 30 mg/L 铁盐混凝剂,在最适 pH 条件下,处理出水可以达到废水排放标准,即平衡质量浓度为: 1.5 mg/L 时,吸附容量为 0.897 mg/mg, 此时吸附容量较大。若达到地表水环境质量标准,即平衡质量浓度为: 0.07 mg/L 时,吸附容量为 0.198 mg/mg, 此时吸附容量很小,混凝剂利用率很低。可以计算在原水水质条件下,处理出水满足标准限值要求时,一次混凝,需混凝剂 100.3 mg/L; 二次混凝,需混凝剂 39.9 mg/L, 采用二次混凝沉淀工艺,可节约混凝剂投加量达 60%。因此,对于高浓度含铅废水的处理,如要达到地表水环境质量标准的情况,应采用二级混凝沉淀工艺,即一级混凝+一级沉淀+二级混凝+二级沉淀+过滤。

## 2.4 二级弱酸性铁盐混凝沉淀法除铅效果

针对高浓度含铅废水,为保证处理出水满足地表水环境质量标准,宜采用二级处理以提高药剂的使用效率。

在表1的组1至组6一级处理的基础上,加碱调节 pH 值至弱酸性,进一步研究在铁盐混凝剂投加量为 15 mg/L 时,对溶液中残余铅的去除效果,结果如图4所示,处理出水 pH 为 3.2~3.5。

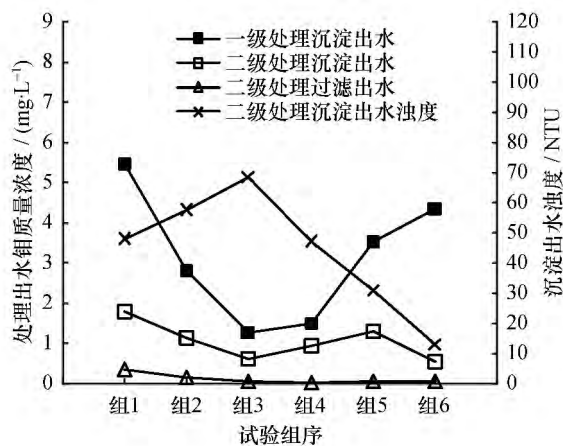


图4 二级铁盐混凝沉淀过滤工艺除铅效果

根据图4结果可知:

1) 采用二级铁盐混凝沉淀过滤工艺处理,可以在一级处理的基础上,进一步降低出水中铅浓度,处理后过滤出水铅的质量浓度可小于 0.07 mg/L, 满足地表水环境质量标准的限值要求。

2) 因试验时加碱量不足,处理出水 pH 在 3.5 附近,此时混凝效果较差,部分铅存在于悬浮态细颗粒中,无法沉淀去除,出水浊度较高,沉淀出水中铅的浓度明显高于过滤出水铅的浓度。实际应用中应控制二级混凝沉淀的出水 pH 值在 4.5 左右。

## 3 工艺应用

### 3.1 饮用水应急除铅净水工艺流程

针对水源突发性铅污染问题,可以在水厂常规处理工艺基础上,通过简单改造采用弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺应急除铅。工艺流程图如图5所示。

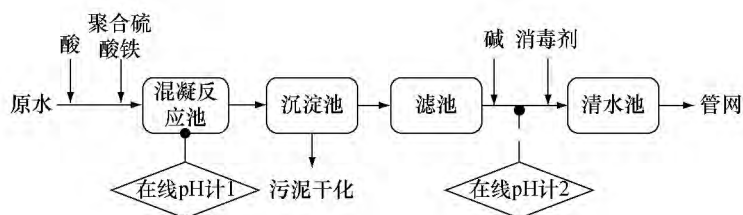


图5 弱酸性铁盐混凝沉淀法除铅水厂工艺流程图

由图 5 可知,采用弱酸性铁盐混凝沉淀法除钼,仅需在水厂原有常规处理工艺基础上做如下变化即可,简单且易于操作。

1) 采用铁盐混凝剂,并且保证混凝剂的投加量;

2) 在混凝反应池前加酸,控制进水 pH,使反应池出水 pH 在 4.5 左右,即在线 pH 计 1 处控制 pH 为 4.5 左右;

3) 在滤池出水投加碱,调节 pH 至 7.5 左右,即

在线 pH 计 2 处 pH 为 7.5 左右。

此工艺如长期运行,需考虑设备防腐问题。

### 3.2 含钼废水处理工艺流程

根据弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺除钼的基本原理和相关试验结果,针对高浓度含钼废水,如处理后满足废水排放标准可采用一级弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺处理;如需达到地表水环境质量标准,建议采用二级混凝沉淀。处理工艺流程如图 6 所示。

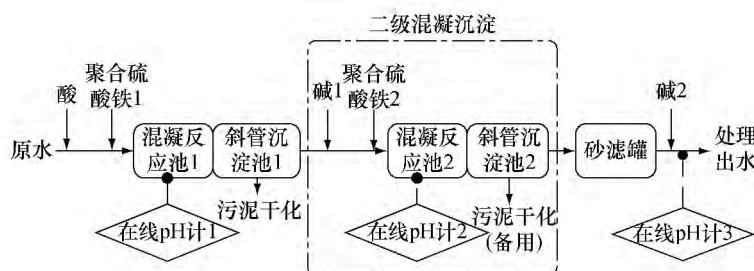


图 6 二级弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺处理含钼废水流程图

工艺流程描述如下:

1) 一级混凝沉淀过程:原水经加酸后,投加聚合硫酸铁,进入一级混凝反应池反应,控制反应池 pH 在 4.5 左右,混凝反应后进入一级沉淀池沉淀。一级沉淀池的沉淀污泥经浓缩、干化后外运处置。

2) 二级混凝沉淀过程:一级沉淀出水加碱控制反应池 pH 在 4.5 左右,投加聚合硫酸铁,进行二级混凝沉淀。

3) 进行砂滤,滤后水加碱回调 pH 至 7.5 后排放。

因处理设备是在酸性条件下运行,需考虑设备防腐问题。

## 4 结 论

通过研究弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺对钼的去除效果及工艺条件可以得到如下主要结论:

1) 弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺除钼是表面电化学吸附过程,在最适 pH 条件下,即 pH 为 4.0~4.5 时,处理结果符合 Langmuir 吸附等温线方程。

2) pH 是重要工艺参数,最佳 pH 范围为 4~4.5。当 pH 大于 5 时,铁盐混凝沉淀法对钼的处理效果随着 pH 的增大缓慢下降,此时主要受表面电荷影响;当 pH 小于 3.5 时,铁盐混凝剂对钼的处理效果随着 pH 的降低急剧下降,此时主要受混凝效果影响。

3) 针对水源突发性钼污染的应急供水,可以采用弱酸性铁盐沉淀过滤工艺,保障供水安全。该工艺可以直接结合水厂常规处理工艺操作,简单易行。

4) 针对高浓度含钼废水,如出水仅要求满足废水排放标准,可采用一级弱酸性铁盐混凝沉淀过滤工艺。如出水需满足地表水环境质量标准,应增加二级混凝沉淀,以提高处理效果和混凝剂的利用效率。

## 参考文献 (References)

- [1] 邱岭,殷立忠.微量元素钼与人体健康[J].微量元素与健康研究,2008,25(5):64-66.  
QIU Ling, YIN Lizhong. Molybdenum and human health [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2008, 25(5): 64-66. (in Chinese)
- [2] 白保障.钼在植物体中的生理作用[J].吉林农业大学学报,1987,9(3):6-13.  
BAI Baozhang. The physiological role of Molybdenum in plants [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jilinensis, 1987, 9(3): 6-13. (in Chinese)
- [3] 张录强.钼(Mo)的生理及其生物学效应[J].生物学通报,1999,34(11):24-26.  
ZHANG Luqiang. The biological and physiological effects of Molybdenum (Mo) [J]. Bulletin of Biology, 1999, 34(11): 24-26. (in Chinese)
- [4] 秦钰慧,凌波,张晓健.饮用水卫生与处理技术[M].北京:化学工业出版社,2002.  
QIN Yuhui, LIN Bo, ZHANG Xiaojian. Health and Treatment Technology for Drinking Water [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002. (in Chinese)

- [5] GB5749-2006. 生活饮用水卫生标准 [S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2006.  
GB5749-2006. Standards for Drinking Water Quality [S]. Beijing: Ministry of Health of the People's Republic of China, 2006.
- [6] GB3838-2002. 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2002.  
GB3838-2002. Environmental Quality Standards for Surface Water [S]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2002.
- [7] World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality [M]. 4<sup>th</sup> ed. Geneva, Switzerland: World Health Organization Press, 2011.
- [8] DB 21/1627-2008. 辽宁省污水综合排放标准 [S]. 沈阳: 辽宁省环境保护局, 2008.  
DB 21/1627-2008. Integrated Wastewater Discharge Standards of Liaoning Province [S]. Shenyang: Department of Environmental Protection of Liaoning Province, 2008.
- [9] 阎建伟, 张文钰. 钼化学导论 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.  
YAN Jianwei, ZHANG Wenzheng. Introduction of Molybdenum Chemicals [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [10] 向铁根, 杨伯华. 钼冶金 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2009.  
XIANG Tiegeng, YANG Bohua. Molybdenum Metallurgy [M]. Changsha: Central South University Press, 2009. (in Chinese)
- [11] 许洁瑜, 杨刘晓, 王俊龙. 中国钼资源利用与可持续发展战略研究 [J]. 中国钼业, 2005, 29(4): 3-9.  
XU Jieyu, YANG Liuxiao, WANG Junlong. Study on the utilization of china Molybdenum resources and sustainable development [J]. China Molybdenum Industry, 2005, 29(4): 3-9. (in Chinese)
- [12] Lian J J, Xu S G, Zhang Y M, et al. Molybdenum(VI) removal by using constructed wetlands with different filter media and plants [J]. Water Science and Technology, 2013, 67(8): 1859-1866.
- [13] Panayotova M, Panayotov V. An electrochemical method for decreasing the concentration of sulfate and molybdenum ions in industrial wastewater [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2004, 39(1): 173-183.
- [14] 苏维. 高纯二硫化钼生产中重金属离子废水处理 [J]. 有色金属加工, 2008, 37(4): 58-60.  
SU Wei. Treatment of heavy metal ions wastewater from production of MoS<sub>2</sub> [J]. Nonferrous Metals Processing, 2008, 37(4): 58-60. (in Chinese)
- [15] 张舞剑, 李姣. 镍钼矿冶炼废水的处理 [J]. 湖南有色金属, 2010, 26(5): 42-45.  
ZHANG Wujian, LI Jiao. Treatment of smelting industrial wastewater of Nickel-Molybdenum minerals [J]. Hunan Nonferrous Metals, 2010, 26(5): 42-45. (in Chinese)
- [16] 唐丽霞, 周新文, 唐军利, 等. 纳滤膜处理含钼酸性废水的试验研究 [J]. 中国钼业, 2009, 33(3): 27-29.  
TANG Lixia, ZHOU Xinwen, TANG Junli, et al. Study of nanofiltration on acid water containing Molybdenum [J]. China Molybdenum Industry, 2009, 33(3): 27-29. (in Chinese)
- [17] 袁致涛, 赵利勤, 韩跃新, 等. 混凝法处理朝阳新华钼矿尾矿水的研究 [J]. 矿冶, 2007, 16(2): 57-61.  
YUAN Zhitao, ZHAO Liqin, HAN Yuexin, et al. Study on tailing water treatment of chaoyang xinhua molybdenum mine with coagulation [J]. Mining & Metallurgy, 2007, 16(2): 57-61. (in Chinese)
- [18] ZHANG Xiaojian, CHEN Chao, LIN Pengfei, et al. Emergency drinking water treatment during source water pollution accidents in China: Origin analysis, framework and technologies [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 45(1): 161-167.
- [19] XU Nan, Braida W, Christodoulatos C, et al. A review of Molybdenum adsorption in soils/bed sediments: Speciation, mechanism, and model applications [J]. Soil & Sediment Contamination, 2013, 22(8): 912-929.