

实验室废水的絮凝-活性炭吸附处理

赵 丽,王成端,赵 诚

西南科技大学环境与资源学院,四川绵阳 621010

[摘要] 通过对处理前后废水中重金属、硫化物、挥发酚、苯胺等污染物测定,研究了二级絮凝-活性炭吸附法对实验室废水的处理效果。结果显示:硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)与聚合氯化铝(PAC)结合的二级絮凝方法能有效地降低污水中的重金属和硫化物等其他污染物,二级使用聚合氯化铝(PAC)对一级絮凝中去除效果不好的 Cr^{6+} 的去除效果显著,去除率达到 90%。而活性炭对挥发酚、硫化物和银的去除效果最佳,去除率分别达到 98%,70%和 95.4%,全部达到国家要求的排放标准,改善了污水的浊度,并有效地降低了色度。在絮凝温度、搅拌、曝气及污水 pH 值调节范围一定的情况下,各种污染物的去除效果理想,多种污染物的去除率都在 90%以上。实验表明:两级絮凝-活性炭法处理实验室废水效果显著,可有效地去除水中的有毒有害物质,降低实验室废水对环境的危害,是快速、低成本、工艺简单的处理实验室废水的有效途径。

[关键词] 实验室废水;絮凝;活性炭

[中图分类号] X703.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7875(2007)-08-0034-06

Treatment of Laboratory Wastewater with Flocculating and Adsorbing of Activated Carbon

ZHAO Li, WANG Chengduan, ZHAO Cheng

College of Environmental and Resources Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China

Abstract: A two-stage coagulation and adsorption process with charcoal absorbent was used to process laboratory wastewater, where heavy metal, sulfide, volatile phenols, aniline and degree of turbidity were analyzed. The results show that the two-stage coagulation by using copperas and PAC as flocculants to treat the wastewater can effectively reduce the content of heavy metal and sulfide. When PAC was used as the flocculant at the second stage of coagulation, the clearance of Cr^{6+} was better than that at the first stage of coagulation, reaching up to 90%. Moreover, the charcoal absorbent wiped off the volatile phenols, sulfide and silver best, with clearance being 98%, 70% and 95.4%, respectively. All of the pollutants' concentrations can meet the national standard, and the turbidity of the sewage and the chroma are improved effectively. With the temperature, stir, aeration and pH in an adjusted range, the clearance of all contaminations can reach a value above 90%. Therefore the method of two-stage coagulation and adsorption of activated carbon is effective in processing laboratory wastewater, removing poisonous and deleterious matter from wastewater, and reducing the harm of the laboratory wastewater to the environment, with rapidity, low-cost and easiness.

Key Words: laboratory wastewater; flocculation; activated carbon

CLC Number: X703.1

Document Code: A

Article ID: 1000-7875(2007)-08-0034-06

0 概述

近年来,我国的科技飞速发展,科研单位和高等院校进行的科研实验更深入、更广泛。实验室废水有其自身的特殊性质,例如周期不定、量少、性质复杂,除含有

洗涤剂及常用溶剂等有机物外,还有较多的酸碱,有毒、有害的有机物(三致物、酚和环境激素类物质等)及重金属,而且含有许多新生物物质^[1]。这些废水大部分不加处理或稍加处理就直接排放了,对环境造成了极严重的污

收稿日期:2007-01-29

基金项目:四川省教育厅重点科研项目(2003A106)

作者简介:赵 丽,女,四川绵阳市西南科技大学环境与资源学院,硕士研究生,研究方向为水处理与污染控制;

E-mail: chenglilovers@126.com

王成端(通讯作者),男,四川绵阳市西南科技大学环境与资源学院,教授,研究方向为水处理与污染控制;

E-mail: wcd@swust.edu.cn

染^[2-4]。不同的废水、污染物组成不同,处理方法和程度也不相同,故处理这类废水有一定的难度。目前,国内外还未见报道成熟的能将此类废水综合处理达到排放标准的工艺和方法。国家环保总局下令,2005 年 1 月 1 日起各类实验室废水被纳入环境部门的监管范围,所以实验室废水综合治理方法的研究已成为众多高校研究的热点。宣晓梅等^[5]的粉煤灰吸附高浓度有机实验室废水研究表明,经过粉煤灰吸附处理后去除了实验室废液中大部分的 COD,去除率可达 59.90%,废水中未能被粉煤灰吸附的物质将在后续处理中得以去除。

本文主张采用絮凝沉淀加活性炭吸附的常规工艺处理实验室废水,暂不考虑 COD 和 BOD₅ 的影响;主要目的是处理有毒、有害物质,考虑絮凝对实验室废水处理效果的影响^[6],以及研究絮凝与活性炭处理相结合的处理效果,降低出水的毒性和有害性,使出水可以直接排放,与生活污水一起进入污水处理厂进行后续处理,以寻求一种可行的实验室废水综合治理工艺。

1 废水性质

1.1 实验材料

由于各个实验室的实验内容不同,实验时间也不在同一时期。根据前期实验室废水调查报告,实验室的废水多集中于 9-10 月,本实验室主要对这两个月内几个实验室的废水进行收集和检测分析,确定包括有机和无机实验产生废水的主要污染成分,检测这一时期的废水综合水质。废水水质见表 1。

表 1 原水水质指标
Table 1 Wastewater quality

项 目	数 值
pH	6.37
浊度(FTU)	74
六价铬/(mg·L ⁻¹)	0.194 3
苯胺/(mg·L ⁻¹)	0.118 8
锌/(mg·L ⁻¹)	0.339 2
汞/(mg·L ⁻¹)	0.021 3
SS/(mg·L ⁻¹)	460
电导率/(ms·cm ⁻¹)	5.4
硫化物/(mg·L ⁻¹)	0.141 1
挥发酚/(mg·L ⁻¹)	0.484
铜/(mg·L ⁻¹)	0.214 6
铁/(mg·L ⁻¹)	1.282 9

1.2 实验分析方法

SS:采用比重法(GB 11901-89)。

汞:采用冷原子吸收光度法(GB 7468-87)。

锌:采用原子分光光度法(GB 7475-87)。

铜:采用原子分光光度法(GB 7475-87)。

pH 值:采用玻璃电极法(GB 6980-86)。

六价铬:采用二苯碳酰二肼分光光度法(GB 7467-87)。

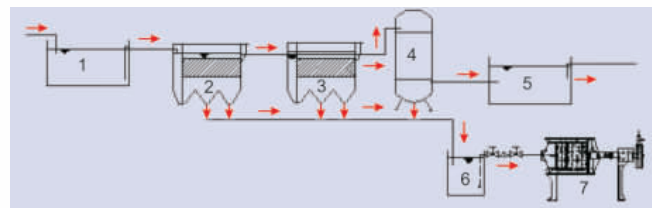
硫化物:采用亚甲基兰分光光度法(GB/T 16486-1996)。

挥发酚:采用蒸馏后 4-氨基安替比林分光光度法(GB 7490-87)。

苯胺:采用 N-(1-萘基)乙二胺偶氮分光光度法(GB 11889-89)。

2 实验处理工艺和主要技术参数

根据前期对本校实验室废水量的调查知道,现在实验室废水的排放量为 2 800 m³/a,考虑到学校招生规模和实践教学质量的稳步提高,以及其他污水混入等情况,本工艺确定废水综合治理工程的年处理规模为 4 500 m³/d,主要的工艺流程见图 1,根据废水的处理量设计的各构筑物分述如下。



1—废水池 (wastewater disposal basin); 2—斜管沉淀池 1 (inclined tube basin 1); 3—斜管沉淀池 2 (inclined tube basin 2); 4—高级精滤器 (advanced precision filter apparatus); 5—清水池 (clean water basin); 6—污泥收集池 (sludge concentrated tank); 7—板框压滤机 (press filter)

图 1 实验的工艺流程图

Fig. 1 Process chart of experiment

1) 废水池

收集各实验室的废水。根据废水性质分为生命科学、化学实验室和环境实验室 3 个废水池,分类收集废水。3 个废水池为钢混结构,并且具备防腐防渗的功能。

2) 沉淀斜管池

本工艺采用两级絮凝处理,一级采用硫酸亚铁作为絮凝剂;二级絮凝投加 PAC。两级絮凝都各自设置 1 个斜管沉淀池,规格为 32 m×1.5 m×2.4 m×0.5 m,并且各配有 1 套投药装置。其中,加药装置为一体化溶解加药装置,体积为 0.65 m×0.65 m×1 m,投药能力为 0.5~10 kg/h,装置上装有自动的电磁阀,搅拌器的泵的流量 $Q=3$ m³/h,功率 $N=0.55$ kW,扬程 $H=14$ m。

3) 高级精滤器

高级精滤器中填装的是吸附用的颗粒活性炭,采用降流式,规格为 $\phi 0.6$ m×3.4 m。

4) 清水池

储存处理后出水。

5) 污泥收集池

收集储存二沉池的污泥,上清液回流至调节池,底部污泥由污泥泵送至板框压滤机处压滤处理后,对此类污泥进行固化处理。设置 1 台耐腐蚀污泥泵,流量 $Q=3 \text{ m}^3/\text{h}$,功率 $N=1 \text{ kW}$,扬程 $H=12.5 \text{ m}$ 。

6) 板框压滤机

增强聚丙烯厢式压滤机 XMYJ5/630-UB,处理污泥沉淀池中排出的污泥。

3 絮凝剂和活性炭参数确定

3.1 絮凝剂的选择及投加量确定

由于铝盐和铁盐容易制得,价格比较经济,所以作为絮凝剂有其通用性,得到广泛的应用,是一种传统的絮凝剂^[7]。铁盐的沉淀区域较铝盐的更广泛,铁盐比铝盐具有更强的水解、聚合及沉淀的能力,而且无机高分子絮凝剂比原有传统药剂具有适应性强、无毒,并可成倍提高效能且相对价廉等优点。所以,结合烧杯试验的结果,本工艺中一级絮凝剂采用硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、二级絮凝采用聚合氯化铝(PAC)作为絮凝剂。

不同的絮凝剂的使用量、原水的 pH 值对絮凝效果有很大的影响^[8]。在设备运行前期,我们取 1 000 mL 废水进行烧杯实验,分别确定了一级絮凝在 pH=9 时,浓度为 100 mg/L 的硫酸亚铁的投加量为 0.105 mL;二级絮凝在浓度为 50 mg/L 的 PAC 且投加量为 3.5 mL 时,水中的重金属、苯胺、硫化物和挥发酚的去除率最高,剩余浊度最小,这为后续的设备运行提供了理论依据。污水中主要成分的去除效果见图 2、图 3。

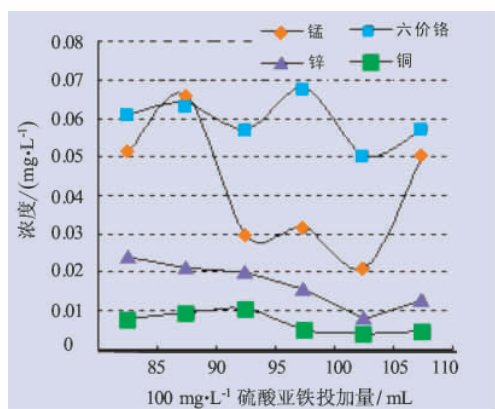


图 2 一级絮凝不同的絮凝剂投加量对重金属的去除效果

Fig. 2 Effect of adding quantity of different flocculating agents on removal of the heavy metal in the primary step flocculating

3.2 活性炭的选择

活性炭吸附处理工艺应用于水处理实践已有许多年历史。活性炭的微孔结构很发达,吸附性能优良,是使用最广泛、较为经济的吸附剂。活性炭不仅对有机物、无

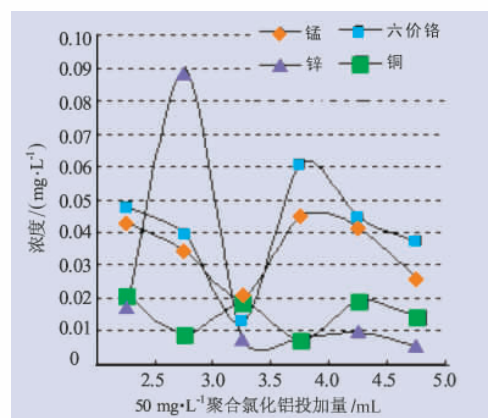


图 3 二级絮凝不同的絮凝剂投加量对重金属的去除效果

Fig. 3 Effect of adding quantity of different flocculating agents on removal of the heavy metal in the secondary step flocculating

机物及离子型和非离子型物质都具有一定的吸附能力,而且活性炭表面还能起催化作用,因此被广泛应用于捕集有机溶剂、脱除气体、排除毒性物、溶液脱色、污水及循环水的净化等试验和生产领域。马青兰等的活性炭净化废水处理研究中表明^[9],活性炭处理效果良好,在 5~10 min 内,吸附处理洗餐具水,可使其变成无色透明、无可见悬浮物的水。

比表面积的大小反映了活性炭孔隙结构的丰富程度,同时也是衡量其吸附性能的一个重要参数。对苯、碘的吸附量随着比表面积大小而呈比例增减^[10]。因此也可以说,活性炭比表面积愈大,潜在的吸附容量也愈大。所以在选择活性炭时,也应该考虑到被吸附物质的大小等因素。

本文按照煤质颗粒活性炭实验方法的国家标准 (GB/T 7702.1-1997~7702.22-1997)测定了 3 种活性炭 C₁、C₂ 和 C₃ 的物理性质,在实验中选择确定了使用颗粒活性炭,3 种活性炭的物理性质见表 2。

表 2 活性炭性质
Table 2 Properties of charcoal absorbent

	C ₁	C ₂	C ₃
含水率/%	19.163	25.168	13.870
pH	4.23	4.73	8.79
碘吸附值/(mg·g ⁻¹)	1 052.009	1 593.309	1 870.882
苯酚吸附值/(mg·g ⁻¹)	152.330	106.887	163.266
比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	652.431	333.344	1 014.945
粒度/μm	10~70	10~80	—
硫化物/%	0.15	0.1	0.1
重金属/%	0.1	0.005	0.005
氯化物/%	0.1	0.025	0.02
铁盐/%	0.1	0.02	0.02
产地	上海	重庆	重庆

从表2可知,综合各类活性炭自身的物理性质,选取含水率较低、碘吸附值和苯酚吸附值高、比表面积大的颗粒活性炭C₃作为活性炭种类为最佳处理。

4 运行调试及处理效果

4.1 运行条件

在前期烧杯试验的基础上,笔者确定了一期的运行工作条件。由于实验室废水的pH值在5.5左右变化,水质基本呈酸性,需要投加NaOH调节废水的pH值在8.5~11.8,一级絮凝满足硫酸亚铁的最佳絮凝pH范围为8~11^[11],投加的NaOH浓度为12 g/L。

一级絮凝使用的硫酸亚铁配成浓度为100 mg/L的溶液,投药使用电磁阀自动投,其流量为0.5 mL/min,在投加的过程中采用鼓风机进行连续曝气、搅拌。

在二级絮凝沉淀池中,将PAC配成浓度为50 mg/L的溶液,投药使用电磁阀自动投,其流量为9 mL/min,连续搅拌。

活性炭吸附罐采用重力降流式立地容器,水由罐顶进入,罐底流出,水利负荷控制在2.0~3.3 L/m²·s,接触时间为20 min,根据水利负荷及水流速度等确定炭床的高度为2.3 m。

4.2 运行处理效果

此套设备连续运行了2个月,对废水中的硫化物、挥发酚、苯胺及一些重金属的检测中,其污水中有害物质的去除效果见图4~图7。

从图4~图7可以看出,当pH<9.25时,各种污染物的浓度基本上都在降低,在pH=9.25时污染物浓度最低;当pH>9.25时,污染物的浓度有所升高,但基本上趋于平衡。由于二级絮凝中选择的絮凝剂所要求的pH值范围为5~9^[12],所以当一级絮凝沉淀池中的pH=9.25时絮凝对原水中的污染物的去除效果最佳。一级出水后到达二级絮凝沉淀池中的污水,在pH<7.54时硫化物和各种重金属的浓度开始降低;当pH降低到7.54~7.82之间时,污染物浓度最低;pH值在7.82~8.62之间时挥发

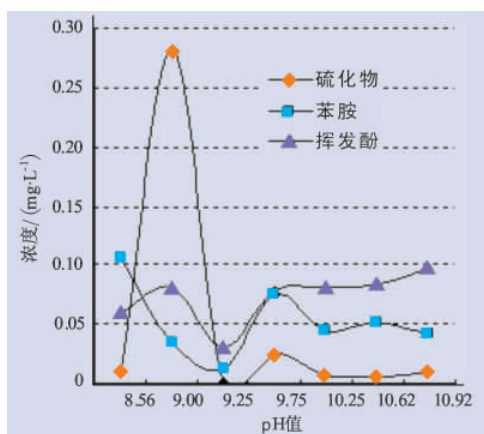


图4 一级絮凝中硫化物、苯胺和挥发酚的去除效果

Fig. 4 Effect of removing sulfide, aniline and volatilization from primary flocculate

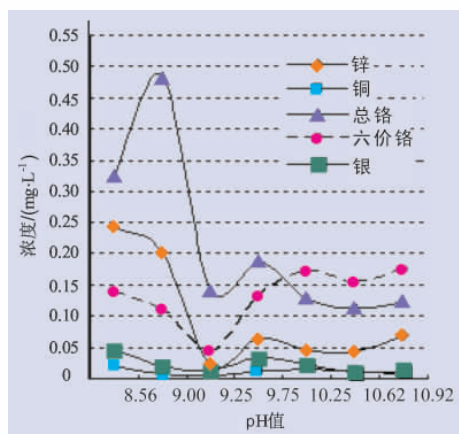


图5 一级絮凝中对重金属的去除效果

Fig. 5 Effect of removing the heavy metal from primary flocculate

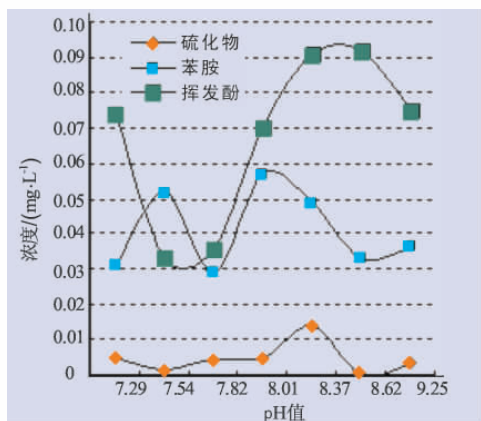


图6 二级絮凝中硫化物、苯胺和挥发酚的去除效果

Fig. 6 Effect of removing sulfide, aniline and volatilization from secondary flocculate

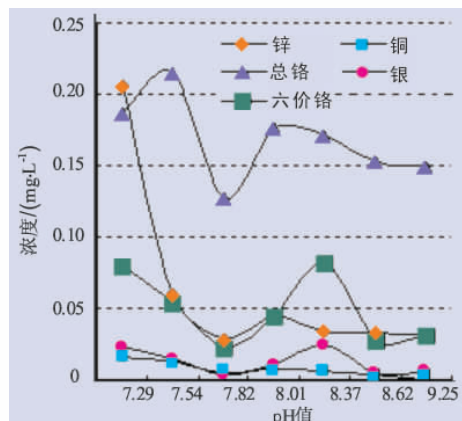


图7 二级絮凝中对重金属的去除效果

Fig. 7 Effect of removing the heavy metal from secondary flocculate

酚、苯胺和重金属的浓度增大;pH>8.62时,虽然各种污染物的浓度也较低,但还需考虑到二级絮凝后水的pH值过高会影响活性炭的吸附能力,所以当一级出水的

pH值在7.54~7.82时各种主要去除处理的效果比较理想。结合活性炭吸附后的处理效果见表3。

表3 污水中各成分的去除率
Table 3 Clearance of different components in sewage

项目/(mg·L ⁻¹)	原水	絮凝 I	去除率 a/%	絮凝 II	去除率 b/%	活性炭	去除率 c/%	排放标准 ^[13] /(mg·L ⁻¹)
铜	0.214 59	0.005 27	97.5	0.003 82	98.2	0.001 64	99.2	≤0.01
六价铬	0.194 3	0.042 9	77.9	0.012 3	93.7	0.009 4	95.2	≤0.1
锌	0.339 15	0.008 02	97.6	0.005 43	98.4	0.002 97	99.1	≤0.05
苯胺	0.118 8	0.059	50.3	0.002 91	97.6	0.000 1	99.9	≤0.002
硫化物	0.141 1	0.074 8	47.0	0.046 7	70	0.000 9	93.6	≤1.0
挥发酚	0.484	0.125 6	74.0	0.097	80.0	0.029 2	94.0	≤0.1
总铬	0.090 78	0.050 54	44.3	0.012 75	90.0	0.007 86	91.3	≤1.5
银	0.021 27	0.010 24	51.9	0.005 87	72.4	0.000 27	98.7	—

注: a 为一级絮凝出水对原水中污染物的去除率; b 为二级絮凝出水对原水中有机物的去除率; c 为活性炭出水对原水中污染物的去除率。

从表3可以看出,一级絮凝对铜和锌的去除率最高,对挥发酚和六价铬的去除效果一般,而对苯胺、硫化物、总铬和银的去除效果不理想,这就需要进行二级絮凝。二级絮凝后,除硫化物、挥发酚和银的去除效果一般外,其余所有物质的去除率都超过了90%,去除效果很理想。PAC对苯胺和总铬的去除效果很好,一级絮凝出水后的去除率分别为95%和74.7%。污水进入活性炭吸附罐后,出水中的所有污染物的去除率都在90%以上,去除效果理想。从活性炭出水去除率和二级絮凝去除率比较来看,活性炭对铜、锌和铬的去除率较低,基本上无去除效果;而对硫化物、挥发酚和银^[14]的去除效果比较好,去除率分别达到98%,70%和95.4%,全部达到国家要求的排放标准。

另外,此套工艺流程对水中的浊度去除率较高,可以明显改善污水的混浊情况,使出水水质较好;活性炭出水后,因投加硫酸亚铁和PAC造成的水中黄色现象明显减轻。

5 结论

1) 两级絮凝中采用硫酸亚铁和聚合氯化铝两种絮凝剂,能够有效去除实验室废水中的重金属、硫化物、挥发酚和苯胺等污染物质,降低了废水的浊度。

2) 使用颗粒活性炭吸附两级絮凝后的出水,可以去除污水中剩余的、两级絮凝后还未达到最佳排放浓度的硫化物、挥发酚和银离子,极大地改善了废水的澄清度。

3) 实验采用的两级絮凝-活性炭吸附处理排放小、性质复杂、污染范围广、处理难度大的各种实验室废水,处理效果较好,使污水中各项污染物的浓度都达到排放标准,降低了实验室废水对环境的危害,是一种高效、低成本、工艺简单、具有推广应用价值的实验室废水

综合治理方法。

参考文献 (References)

- [1] 李铁龙, 金朝晖. 实验室废水处理初探 [J]. 环境卫生工程, 2004, 12(2): 73-76.
LI Tielong, JIN Zhaohui. Primary study of laboratory waste water treatment [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2004, 12(2): 73-76.
- [2] 蔡成翔, 沈文闻, 凌绍明. 高校化学实验废水的处理 [J]. 广西民族学院学报(自然科学版), 2001, 7(4): 269-273.
CAI Chengxiang, SHEN Wenwen, LING Shaoming. Waste water treatment in college chemical experiments [J]. Journal of Guangxi University for Nationalities (Natural Science Edition), 2001, 7(4): 269-273.
- [3] 刘晓燕. 化学实验室常见废液的处理 [J]. 绵阳师范高等专科学校学报, 2000, 19(2): 46-49.
LIU Xiaoyan. The treatment of common waste liquid in chemistry lab [J]. Journal of Mianyang Teachers College, 2000, 19(2): 46-49.
- [4] 陈梅艳, 王卫. 实验室“三废”的处理方法 [J]. 干旱环境监测, 2002, 9(16): 190-192.
CHEN Meiyang, WANG Wei. The method of treating the three wastes in lab [J]. Arid Environmental Monitoring, 2002, 9(16): 190-192.
- [5] 宣晓梅, 金朝晖, 孙雁, 等. 粉煤灰吸附高浓度有机实验室废水 [J]. 城市环境与城市生态, 2005, 18(3): 7-8.
XUAN Xiaomei, JIN Zhaohui, SUN Yan, et al. Adsorption on laboratory organic waste water by fly ash [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2005, 18(3): 7-8.
- [6] GOLOB V, VINDER A, SIMONIC M. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents [J]. Dyes and Pigments, 2005, 67: 93-97.
- [7] 常青. 水处理絮凝学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 64.
CHANG Qing. Study of flocculation in water treatment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 64.
- [8] RUBIO J, SOUZA M L, SMITH R W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique [J]. Minerals Engi-

- neering, 2002(15): 139-155.
- [9] 马青兰, 王增长, 李敏敏, 等. 活性炭净化废水研究 [J]. 新型炭材料, 2002, 17(1): 59-60.
- MA Qinglan, WANG Zengzhang, LI Minmin, *et al.* Study of activated carbon applied to water treatment [J]. New Carbon Materials, 2002, 17(1): 59-60.
- [10] 井出哲夫, 等. 水处理工程理论与应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986: 318-319.
- IDE Tetuo, *et al.* Theory and application of water treatment engineering [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1986: 318-319.
- [11] 陆柱, 蔡兰坤, 陈中兴, 等. 水处理药剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 16.
- LU Zhu, CAI Lankun, CHEN Zhongxing, *et al.* Medicaments of water treatment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001: 16.
- [12] 张光华. 水处理化学品[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 121.

- ZHANG Guanghua. Chemical medicine of water treatment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 121.
- [13] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- State Environmental Protection Administration of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 3838-2002 Environmental quality standards for surface water[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [14] 贾金平, 谢少艾, 陈虹锦. 电镀废水处理技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 191-192.
- JIA Jinping, XIE Shao'ai, CHEN Hongjin. Disposal technique of plating sewage treatment and engineering example [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 191-192.
- (责任编辑 岳臣)

·科技智力游戏·

轻松一刻——填空补白

本游戏供读者读刊闲暇之余自娱自乐, 并得到一些小知识。读者可根据下面“横”行、“纵”列的文字提示, 分别填上相应的文字。答案见下期。

纵:

- 著名女歌手, 代表作有《同一首歌》、《渴望》、《思念》等。
- 对教师和有学识长者的尊称。
- 美国的一个州, 其州府为檀香山, 全州由火山岛组成一个新月形岛链, 是美国太平洋海空军基地。
- 中唐诗人刘禹锡《竹枝词》中的一名句, 下句为“道是无晴却有晴”。
- 西安的旧称, 列中国四大古都之首。
- 杂技的一种, 运用口部发音技巧来模仿各种声音。
- 各种可燃气体的特称, 如煤气、沼气等。许多煤矿坑道爆炸事故都是由于该种气体浓度过高而引发的。
- 中国体操运动员, 曾于 2004 年雅典奥运会上获得女子个人全能比赛铜牌。
- 物理学历史上的一个名词, 曾被假定为电磁波的传播媒质, 并被认为是一种具有绝对连续性、高度弹性的、极其稀薄的物质。
- 20 世纪 90 年代初期, 人们对随身携带的电话机的俗称。
- 德国首都, 位于欧洲的心脏, 是东西方的交汇点。
- 调整平等民事主体的自然人、法人、其他组织之间的财产关系和人身关系的法律规范的总称。
- 将毛油经过精炼加工而制成的精制食品油的统称, 因特别适用于西餐“色拉”凉拌菜而又被称为“凉拌油”。
- 中国现代生物学家、教育家, 中国实验胚胎学研究创始人之一, 曾任全国政协副主席、中国科学院副院长、山东大学副校长。

15. 一种文学体裁, 包括杂文、随笔、特写等, 如朱自清先生的《背影》。

16. 太阳系中离太阳第七远的行星, 它由英国天文学家威廉·赫歇尔于 1781 年 3 月 13 日发现, 是现代发现的第一颗行星。

17. 城市名, 享有“泉城”美誉, 尤以趵突泉、黑虎泉、五龙潭、珍珠泉 4 大名泉久负盛名。

横:

- 由李有源作词歌颂毛泽东的一首歌。
- 柬埔寨首都, 是一座以王宫和波列莫罗科特佛塔为中心的文化古城。
- 古代罗马人所用文字。
- 瑞士城市名, 联合国欧洲总部和国际红十字会总部所在地。
- 沥青的通称。
- 原苏联领导人, 曾领导苏联人民取得第二次世界大战抗击德国法西斯的胜利。
- 中国民间对清官的誉称。
- 波多黎各一家天文台, 科学家通过分析从此处观测到距地球 6 300 光年的蟹状星云中央的脉冲星发出的信号, 发现一些宇宙天体可能拥有 3 个磁极而不是先前认为的只有南极和北极 2 个磁极。
- 由梁冠华主演的一部电视连续剧中的主人公, 该剧以轻松幽默的形式反映了北京大杂院里那些平民老百姓的普通生活。
- 已成名但尚未成年的电影演员的常用称谓。
- 中国影视明星, 在电影《西洋镜》中担任主角, 并获第 13 届东京电影节最佳男演员提名。
- 19 世纪英国著名科学家, 发现电磁感应现象, 预言了发电机的诞生, 也是苯的发现者。
- 中国现任教育部部长。

十四、清代著名思想家魏源在其《海国图志》著作中的一句名言, 意在向西方先进的东西, 以应对外敌的侵略。

		-4				13		15
	二					三		
		四		7	五 11			
1			六	10			七	16
八								
			九 8		12		十 14	
	十一 3				十二			
			6				十三	17
十四 2		5		9				

上期答案

						红	梅	赞
						楼		美
	四			南	柯	一	梦	诗
	喜	气	洋	洋				
	丸			理			安	拉
游	子	吟		工		推		斐
				大	卫	科	波	菲
			太	学		助		
			师			澜		
			椅					

(供稿 李向荣 责任编辑 赵佳)