

ICP-OES 研究平板太阳能集热器闷晒水质中的重金属元素

杨鲁伟¹, 李明^{2*}, 高文峰², 刘刚¹, 王云峰², 王伟¹, 李坤¹

1. 云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650500

2. 云南师范大学太阳能研究所, 云南 昆明 650500

摘要 平板太阳能集热器为人们的日常生活提供热水, 微量的重金属元素和杂质会随着热水从集热器内部流出, 对环境产生潜在影响, 同时也威胁人们的身体健康。因此, 有必要对平板太阳能集热器闷晒的水质样品进行检测分析。为了提高集热器水质样品检测结果的可信度, 集热器在闷晒时所使用的水均为超纯水, 且在闷晒前利用超纯水对集热器进行冲洗, 以降低管道内的杂质对结果的影响。所测试的平板太阳能集热器的管道材料均为 TP₂ 磷脱氧铜。检测的标准溶液包含 As, Ca, Cu, Mg, Ni 和 Zn 等 21 种重金属元素, 浓度梯度分别为 0.2, 0.4, 0.8 和 1.6 mg · L⁻¹。以铝基底蓝膜、黑铬和阳极氧化三种涂层的平板太阳能集热器闷晒后的水质样品为研究对象, 采用 ICP-OES(inductively coupled plasma optical emission spectrometry)法定量分析水质样品中重金属元素的含量, 并通过信噪比确定了各重金属元素的最好分析谱线。标准溶液中部分重金属元素的最好分析谱线分别为(nm): As(188.979), Ca(317.933), Zn(206.200), V(290.880), Cu(327.393), Ni(231.604), Sb(206.836), Pb(220.353)。结果表明, ICP-OES 可以同时准确分析多种重金属元素的含量, 水质样品中重金属元素的含量越高, 则元素谱线的振幅越大。平板太阳能集热器闷晒的水质样品中不含有 Be, Co, Cd, Cr, Fe, Li, Mn, Mo, Se, Sr, Tl 和 Ti 等 12 种重金属元素, 但含有 As, Ni, Cu, Ca, Mg, V, Pb, Zn 和 Sb 等 9 种重金属元素。水质样品中重金属元素含量的变化规律是随着平板太阳能集热器闷晒时间的增加而增大, 增大至峰值后又随着集热器闷晒时间的增加而减小, 且逐渐减小至较低含量。得出了重金属元素随闷晒时间的变化规律, 给出了不同种类重金属元素的超标量和超标的闷晒时间。以城市供水水质标准(CJ/T 206—2005)对相关重金属元素的限值作为参考, 水质样品中 Cu, Ni, Zn 元素的含量均未超过该标准中的限值。但是, 平板太阳能集热器水质样品中 As, Pb 和 Sb 重金属元素的含量在闷晒了 8 d 后均出现了不同程度的超标, As, Pb 和 Sb 的最大超标量分别为 0.007, 0.006 和 0.004 mg · L⁻¹。其中, 蓝膜集热器水质样品中 As 元素的超标量最高, 黑铬集热器水质样品中 Pb 的超标量最高, 阳极氧化集热器水质样品中 As 的超标量最高。检测结果对厂家和用户都具有一定的参考意义, 说明了集热器管道材料的制备工艺有待进一步提高, 以减少重金属元素的析出量。也为后续对平板太阳能集热器的研究和国家标准的制定提供一定的参考。

关键词 ICP-OES; 重金属元素; 平板太阳能集热器; 定量分析

中图分类号: O661.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)06-1947-06

引言

目前, 平板太阳能集热器在国内外建筑热环境一体化方面得到了广泛应用, 国内外的专家学者对于集热器的研究主要集中在如何提高集热器热效率和涂层的耐久可靠性等方面^[1-4], 而对于集热器闷晒后水质样品中重金属元素的研究

却几乎是空白。集热器铜管所含的重金属元素种类较多, 包括铜, 铅, 锌, 镍等元素, 当重金属元素在人体血液中超过一定含量时, 会影响身体健康。例如, 长期接触高含量的重金属元素极易导致器官癌变^[5]。血液中的铅含量过高会出现贫血和高血压等症状, 且可能致癌。国内专家学者利用 ICP-OES 和 ICP-MS(inductively coupled plasma mass spectrometry)等仪器分别检测分析了土壤、河水和细颗粒物

收稿日期: 2018-04-10, 修订日期: 2018-08-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51466017), 国家科技支撑计划项目(2015BAA02B00)资助

作者简介: 杨鲁伟, 1993 年生, 云南师范大学物理与电子信息学院硕士研究生 e-mail: ynnuylw@163.com

* 通讯联系人 e-mail: lmllldy@126.com

(PM_{2.5})等常见物质中的重金属元素种类和含量^[6-10],揭示了重金属污染对人的潜在危害。ICP-OES具有灵敏度高、稳定性好和可同时测定多种元素等特点,可用于各种复杂样品的检测分析^[11-15],如应用 ICP-OES 对黑巧克力多种元素的定量分析和研究^[16]。我国的平板太阳能集热器国家标准规定了不应溶解出有碍人体健康的物质^[17],并没有给出相关重金属元素的量化指标。因此,有必要利用 ICP-OES 对集热器闷晒的水质进行检测分析,研究闷晒时间与重金属含量超标之间的关系,定量分析水质中重金属元素的种类和含量。

选用了常见的三种铝基底蓝膜、黑铬和阳极氧化涂层的集热器进行一定时间的闷晒,利用 ICP-OES 对集热器闷晒的水质样品进行分析,以期为后续对集热器的研究和国家标准的制定提供数据参考。

1 实验部分

1.1 仪器及参数

检测仪器为 Optima 8300 型电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 Perkin Elmer 公司),表 1 列出了该仪器时的基本参数。

表 1 仪器工作参数

Table 1 Operation parameters of instrument

参数	条件
蠕动泵进样量/(mL·min ⁻¹)	1.5
辅助气流量/(L·min ⁻¹)	0.2
等离子气流量/(L·min ⁻¹)	15
射频功率/kW	1.3
雾化器流量/(L·min ⁻¹)	0.8
延迟时间/s	45
观测方式	径向观测
重复次数	3

1.2 试剂及样品

取适量硝酸和超纯水配成浓度为 5% 的硝酸清洗液,硝酸为优级纯,超纯水电阻率为 18.25 MΩ·cm。标准溶液包含 Co, Cd, Cr, Mg, Ni, Ti, Zn 和 V 等 21 种重金属元素,其浓度梯度分别为 0.2, 0.4, 0.8 和 1.6 mg·L⁻¹,检测样品前先对空白样品和标准溶液进行检测标定。仪器所用的氩气纯度为 99.999%

实验用的三种集热器为同一厂家的产品,除吸热涂层不同,其余部件完全相同。铜管的材质均为 TP₂ 磷脱氧铜,且均为新拆封的集热器。为提高检测结果的可信度,对集热器进行闷晒前,先用超纯水对管道进行重复冲洗,以降低管道内杂质对结果的影响。三种集热器均以 30° 倾角放置在云南师范大学国家质检中心的室外,闷晒时间为 2017 年 11 月 9 日到 12 月 5 日,每隔 2~3 d 分别量取三种集热器的水质样品存放,总计量取 11 组水质样品。

2 结果与讨论

2.1 元素分析谱线的选择

在 ICP-OES 谱线库中,每种化学元素对应多条灵敏线。根据谱线库所提供的各元素默认波长和信噪比等相关参数,最终确定了各元素的最佳分析谱线(nm): Cd(228.802), Cr(267.716), Co(228.616), Be(313.107), As(188.979), Ca(317.933), Zn(206.200), Fe(238.204), Ni(231.604), Sb(206.836), Pb(220.353), Mo(202.031), Li(670.784), Mn(257.610), Mg(285.213), Se(196.026), Sr(407.771), Tl(190.801), V(290.880), Cu(327.393), Ti(334.940)。

2.2 重金属元素含量的参考标准

目前,我国国家标准针对集热器闷晒水质样品中重金属元素的含量并没有给出明确指标,故以城市供水水质标准(CJ/T 206—2005)^[18]作为参考标准,该标准对相关的重金属元素含量有严格的规定。表 2 列出了该标准中相关重金属元素的限定值。

表 2 城市供水水质标准

Table 2 Water quality standards for urban water supply

元素	限定值/(mg·L ⁻¹)	元素	限定值/(mg·L ⁻¹)
As	0.01	Ni	0.02
Pb	0.01	Cu	1.0
Sb	0.005	Zn	1.0

2.3 水质样品检测结果

在对平板太阳能集热器闷晒的水质样品进行检测前,要先对空白样品和 4 个浓度梯度的标准溶液分别进行检测标定。一定浓度梯度下标准溶液中部分重金属元素的检测结果如表 3 所示,以该表数据说明检测仪器的准确性。

表 3 部分标准溶液的检测结果

Table 3 The test results for standard solution

元素	标准浓度 1/ (mg·L ⁻¹)	标准浓度 2/ (mg·L ⁻¹)	标准浓度 3/ (mg·L ⁻¹)	标准浓度 4/ (mg·L ⁻¹)
As	0.2	0.4	0.8	1.6
Ca	0.2	0.4	0.8	1.6
Cu	0.2	0.4	0.8	1.6
Cr	0.2	0.4	0.8	1.6
Mg	0.2	0.4	0.8	1.6
Ni	0.2	0.4	0.8	1.6
Mn	0.2	0.4	0.8	1.6
Pb	0.2	0.4	0.8	1.6
Sb	0.2	0.4	0.8	1.6
Ti	0.2	0.4	0.8	1.6
V	0.2	0.4	0.8	1.6
Zn	0.2	0.4	0.8	1.6

利用 ICP-OES 对集热器闷晒后的水质样品进行检测分析,得出了水质样品中重金属元素的含量。对检测结果进行

归纳整理, 将 As, Ni, Sb, Pb 和 V 归纳为低浓度的重金属元素, 这是由于这 5 种重金属元素在水质样品中的含量均不超过 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。将 Ca, Cu, Mg 和 Zn 归纳为高浓度的重金属元素, 这是由于以上重金属元素在三种集热器水质样品中的含量绝大多数均大于 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 却又不超过 $0.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

蓝膜集热器闷晒水质样品的检测结果和重金属元素含量的变化趋势如图 1 和图 2 所示。

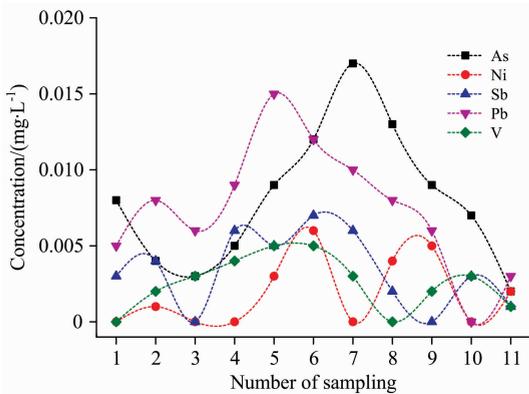


图 1 蓝膜集热器低浓度重金属元素的含量

Fig. 1 The content of low concentration heavy metal elements of blue-film coating collector

由图 1 可知, As 和 Sb 两种重金属元素的含量波动幅度较大, 且 As 出现三次超标, Pb 出现两次超标。其中, As 的最大超标量为 $0.007 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 15 d 出现首次超标; Sb 的最大超标量为 $0.002 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 8 d 出现首次超标; Pb 的最大超标量为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 10 d 出现首次超标。Ni 没有出现超标, 其最高含量为 $0.006 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。以上低浓度的重金属元素在第 5~7 次检测分别出现了最高浓度, 说明了这几种重金属元素的含量会随

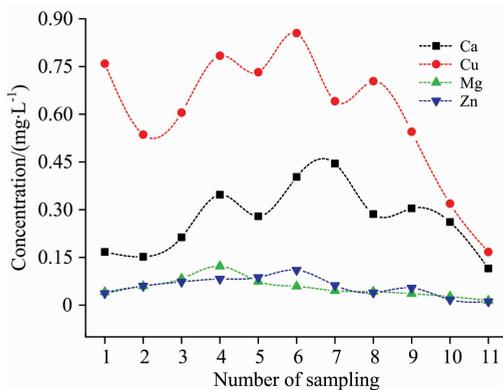


图 2 蓝膜集热器高浓度重金属元素的含量

Fig. 2 The content of high concentration heavy metal elements of blue-film coating collector

着平板太阳能集热器闷晒时间的增加而增大, 增大至一定量到达峰值后又随着闷晒时间的增加而减小。同时, 最后的检测结果也说明了这 5 种重金属元素的含量呈明显下降趋势, 且含量较低。

由图 2 可知, Cu 的含量波动幅度较大, 初次检测时的含

量也较高, Zn 的含量波动幅度较小, 两者都没有出现超标。在闷晒时间约为 12 d, Cu 出现了最高浓度 $0.855 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最后两次检测结果 Cu 的含量出现了大幅度的下降, 这是由于最后两次量取水样时为阴天或多云天气, 集热器达到的温度不高, 蒸发的水分较少, 导致了这一现象出现。Cu 和 Zn 在第 6 次检测分别出现了最高浓度, 说明了这两种重金属元素的含量也是随着平板太阳能集热器闷晒时间的增加而增大, 到达峰值后又随着闷晒时间的增加而减小。检测结果表明这 4 种重金属元素的含量均呈明显下降趋势, 且含量较低。

黑铬集热器闷晒水质样品中重金属元素含量的变化趋势如图 3 和图 4 所示, 并对该集热器水质样品的检测结果进行分析。

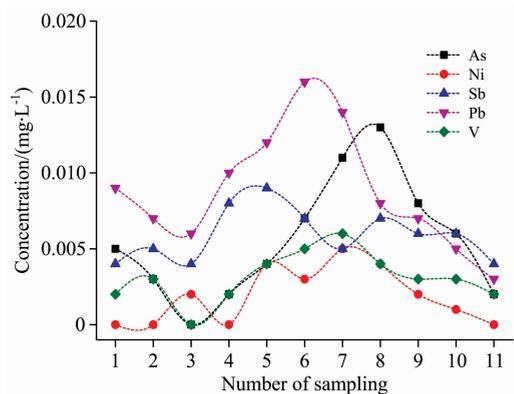


图 3 黑铬集热器低浓度重金属元素的含量

Fig. 3 The content of low concentration heavy metal elements of black chromium coating collector

由图 3 可知, As 出现了两次超标, Pb 出现了三次超标, Sb 出现了六次超标。其中, As 的最大超标量为 $0.003 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 18 d 出现首次超标; Sb 的最大超标量为 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 8 d 出现首次超标; Pb 的最大超标量为 $0.006 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 10 天出现首次超标。Ni 没有出现超标, 其最高含量为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

根据图 4 可知, Cu 的波动幅度较大, Zn 的波动幅度较小。在闷晒时间约为 12 d, Cu 的最高浓度为 $0.738 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,

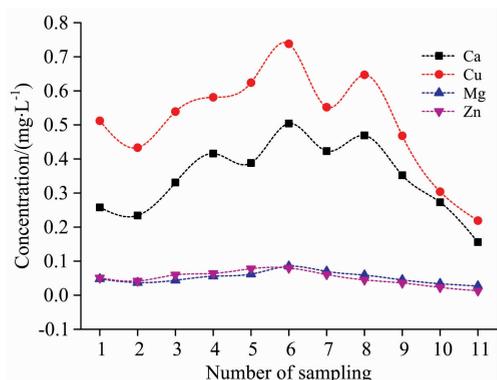


图 4 黑铬集热器高浓度重金属元素的含量

Fig. 4 The content of high concentration heavy metal elements of black chromium coating collector

最后两次检测结果 Cu 的含量出现降低,也是由于天气原因。对于黑铬集热器, Cu 和 Zn 在第 6 次检测分别达到了最高浓度,且其水质样品中重金属元素含量的变化趋势与蓝膜集热器的变化趋势基本相同。

阳极氧化集热器闷晒后水质样品中重金属元素的检测结果如图 5 和图 6 所示,下面对该集热器水质样品的检测结果进行对比分析。

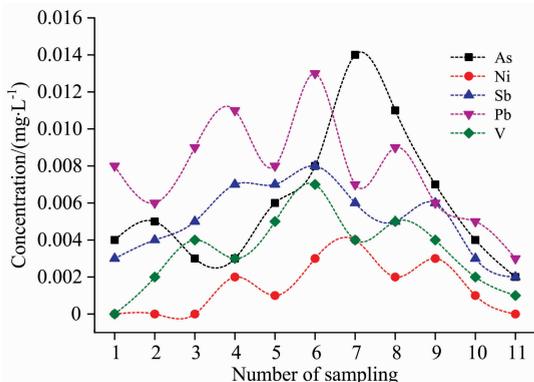


图 5 阳极氧化集热器低浓度重金属元素的含量

Fig. 5 The content of low concentration heavy metal elements of anode oxidizing coating collector

由图 5 可知, As 和 Pb 出现了两次超标, Sb 出现了五次超标。其中, As 的最大超标量为 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 闷晒了大约 18 d 出现首次超标; Sb 和 Pb 的最大超标量均为 $0.003 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 都是闷晒大约 8 d 出现首次超标。Ni 没有出现超标, 其最高含量为 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

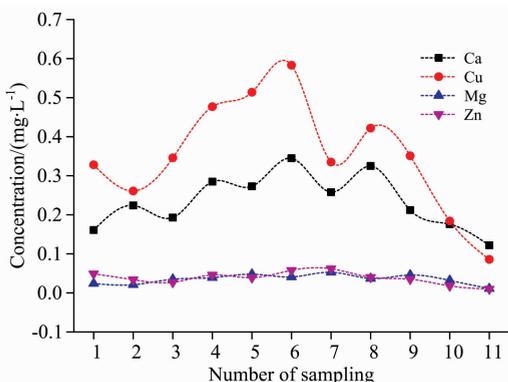


图 6 阳极氧化集热器高浓度重金属元素的含量

Fig. 6 The content of high concentration heavy metal elements of anode oxidizing coating collector

根据图 6 可知, Cu 的波动幅度较大, 在闷晒时间约为 12 d, Cu 出现了最高浓度 $0.583 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最后两次检测结果 Cu 的含量出现降低, 也是由于天气原因。对于阳极氧化集热器, Cu 和 Zn 在第 6~7 次检测分别达到了最高浓度, 且其水质样品重金属元素含量的变化趋势与蓝膜集热器的变化趋势基本相同。

2.4 水质样品检测结果的分析

针对三种集热器闷晒水质样品中重金属元素随时间的变

化曲线, 表 4 对比了超标重金属元素的最大超标量。

表 4 水质样品中重金属元素的超标量

Table 4 The superscale of heavy metal elements in water samples

集热器	蓝膜	黑铬	阳极氧化
超标元素	最大超标量 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	最大超标量 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	最大超标量 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
As	0.007	0.003	0.004
Sb	0.002	0.004	0.003
Pb	0.005	0.006	0.003

由表 4 可知, 三种集热器水质样品中重金属元素的超标量各不相同, 且超标量较低。蓝膜水质样品中 As 的超标量最高, 黑铬样品中 Pb 的超标量最高, 阳极氧化样品中 As 的超标量最高。水质样品中超标重金属元素的种类和含量可能与集热器闷晒时管道温度的高低有关。

综合图 1—图 6 可知, 三种集热器水质样品的检测结果基本相同, ICP-OES 没有检测出 Be, Co, Cd, Cr, Ti 等 12 种元素。之所以在水质样品中检测到了一定含量的重金属元素, 这是由于集热器的吸热板在一般情况下可以达到几十或一百摄氏度以上, 吸热板受热后将热量传递到铜管, 管道内的金属原子获得能量后通过扩散溶解于超纯水中。总结得出水质样品中重金属元素的含量变化趋势基本相同, 虽然会有不同程度地波动, 但是都是随着集热器闷晒时间的增加而增大, 到达峰值后又随着闷晒时间的增加而减小。所以即使后续再次量取集热器闷晒的水质样品进行检测分析, 各重金属元素的含量也应该是在某个区间波动且含量不高, 不会出现较大误差。

三种集热器闷晒的水质样品都出现了 Cu 和 Ca 的含量波动幅度较大, 一方面是由于每一天的天气状况不同, 在晴天条件下, 集热器能够接收到更多的太阳辐射能, 管道达到的温度较高, 蒸发的超纯水水分过多, 导致了水质样品中的重金属元素含量较高。另一方面是由于一般的重金属元素都会随着温度的升高, 其在水中的溶解度增大, 溶解在水中的含量越多, 其浓度也就越高。水质样品中也含有一定量的 Ca 和 Mg, 这是由于在集热器出厂后要要进行以自来水为工质的耐压测试, 测试后在管道内形成了少量的水垢, 最终导致这一结果。同时, 样品中也检测出了微量的 V, 这可能是由于 V 是管道成分中含有的少量杂质。

3 结论

利用 ICP-OES 分析测定蓝膜、黑铬和阳极氧化三种铝基底平板太阳能集热器闷晒后的水质样品, 得出了 As, Ca, Be, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mg, Mo, Ni, Sb, Pb, Se, Sr, Tl, Ti, Zn 和 V 等 21 种重金属元素的最佳分析谱线和含量。ICP-OES 可以同时准确检测多种重金属元素的含量, 集热器水质样品中含有 As, Ni, Cu 等 9 种重金属元素, 且这些重金属元素含量的变化规律是随着平板太阳能集热器

闷晒时间的增加而增大,增大至峰值后又随着闷晒时间的增加而减小。通过对集热器的闷晒水质样品进行检测分析,得出了重金属元素含量随时间的变化规律,给出了不同重金属元素的超标量和超标的闷晒时间。检测结果对厂家和用户都

具有一定的参考意义,也说明了我国的平板太阳能集热器管道制备工艺有待进一步改进,应尽量减少重金属元素的析出量。

References

- [1] Krishna Murari Pandey, Rajesh Chaurasiya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 67: 641.
- [2] Chen G, Doroshenko A, Koltun P, et al. *Solar Energy*, 2015, 115: 577.
- [3] Bhowmik H, Amin R. *Energy Reports*, 2017, 3: 119.
- [4] Kong Weiqiang, Bengt Peters, Fan Jianhua, et al. *Renewable Energy*, 2015, 75: 448.
- [5] Agusa T, Trang P T K, Lan V M, et al. *Sci. Total Environ.*, 2014, 488-489: 562.
- [6] Goncalves D A, de Souza I D, Rosa A C G, et al. *Microchemical Journal*, 2019, 146: 381.
- [7] Runge J, Heringer O A, Ribeiro J S, et al. *Food Chemistry*, 2019, 271: 419.
- [8] Xu X, Zhang Y, Ding Z, et al. *Atmospheric Environment*, 2012, 57(9): 146.
- [9] TIAN Meng-jing, MA Xiao-ling, JIA Jia, et al(田梦靖, 马小玲, 贾佳, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2017, 37(5), 1628.
- [10] Fang W, Yang Y, Xu Z. *Environment Sci. & Tech.*, 2013, 47(21): 12469.
- [11] Souza S O, Costa S S L, Brum B C T, et al. *Food Chemistry*, 2019, 273: 57.
- [12] Mrmosanin J M, Pavlovic A N, Krstic J N, et al. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2018, 67: 163.
- [13] Anekthtrakun P, Imyim A. *Microchemical Journal*, 2019, 145: 470.
- [14] Herwig N, Stephan K, Panne U. et al. *Food Chem.*, 2011, 124(3): 1223.
- [15] Thangavel S, Dash K, Dhavile S M, et al. *Talanta*, 2015, 131: 505.
- [16] Thiago L Marques, Joaquim A Nobrega. *Microchemical Journal*, 2017, 134: 27.
- [17] National Standards of the People's Republic of China(中华人民共和国国家标准). *Flat Plate Solar Collectors(平板型太阳能集热器)*. GB/T 6424—2007.
- [18] National Standards of the People's Republic of China(中华人民共和国国家标准). *Water Quality Standards for Urban Water Supply(城市供水水质标准)*, CJ/T 206—2005.

Determination of Heavy Metal Elements in Stagnation Water of Flat-Plate Solar Collectors With ICP-OES

YANG Lu-wei¹, LI Ming^{2*}, GAO Wen-feng², LIU Gang¹, WANG Yun-feng², WANG Wei¹, LI Kun¹

1. School of Physics and Electronic Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

2. Solar Energy Research Institute, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

Abstract The flat-plate solar collectors (FPSCs) provide hot water for people's daily life, and the minute heavy metals and impurities come out from inside collectors with hot water. Heavy metals have a potential impact on the environment, meanwhile, it also threatens people's health. So it is necessary to detect the stagnant water samples of FPSCs. To improve the reliability of the test results of FPSC water samples, the ultra pure water was used for the stagnation of the FPSC. The ultra pure water was used to wash the FPSCs before stagnation to reduce the effect of pipe impurities on the results. The pipes materials of FPSC were made of TP₂ phosphorous deoxy copper. The standard solution contains 21 kinds of heavy metal elements, such as As, Ca, Cu, Mg, Ni, Zn and so on. The concentration gradients of the standard solution were 0.2, 0.4, 0.8 and 1.6 mg · L⁻¹, respectively. The blank sample and standard solution should be analyzed before testing the water sample. The water samples of different aluminum substrate FPSC (the blue-film coating, the black chromium coating and the anode oxidizing coating) were analyzed, and the content of heavy metal elements in water samples were also detected by ICP-OES method. Moreover, the best analytical spectrum of the 21 heavy metal elements were ensured by relevant parameters. The best analytical spectrum of partial heavy metal elements of the standardsolution were respectively (nm): As (188.979), Ca (317.933), Zn (206.200), V (290.880), Cu(327.393), Ni(231.604), Sb(206.836), Pb(220.353). It was shown that ICP-OES can simultaneously detect the content of various heavy metal elements in water samples accurately. The higher content of heavy metal elements in water

samples, the greater the amplitude of the spectrum. There were not 12 heavy metal elements (Be, Co, Cd, Cr, Fe, Li, Mn, Mo, Se, Sr, Tl, Ti) in the water samples of three kinds of FPSCs, but 9 heavy metal elements (As, Ni, Cu, Ca, Mg, V, Pb, Zn, Sb) were detected in the same experiments. The changeable rule of heavy metal content in water samples showed that the heavy metal content increases with the FPSCs stagnation time, the heavy metal content increases to the peak value and then decreases with the FPSCs stagnation time, and then it decreases to the lower content gradually. The changeable rule of heavy metal content with the stagnation time was obtained with the analysis of the stagnant water samples of the FPSCs, and the superscalar and the excessive stagnation time of different heavy metal elements were also given too. The limit value of water quality standards for urban water supply (CJ/T 206—2005) for heavy metal elements was taken as reference, so these heavy metals elements (Cu, Ni, Zn) of water samples of three kinds of FPSCs were not more than that of the limit of the national standard. However, the contents of As, Pb and Sb in water samples of three kinds of FPSCs exceeded the limit of the standard after 8 days stagnation. The maximum superscalar of As, Pb and Sb elements were 0.007, 0.006 and 0.004 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. And the superscalar of the As elements was the highest in the water samples of the blue-film coating collector and the anode oxidizing coating collector, and the superscalar of the Pb elements was the highest in the water samples of the black chromium coating collector. The detection results had certain reference significance to the manufacturers and the customers, and the technology of FPSC's pipes should be further improved to reduce the precipitation of heavy metals. The research results can also provide some references for the research of the FPSC and the establishment of national standards.

Keywords ICP-OES; Heavy metal element; Flat-plate solar collector; Quantitative analysis

(Received Apr. 10, 2018; accepted Aug. 30, 2018)

* Corresponding author

敬告读者——《光谱学与光谱分析》已全文上网

从 2008 年第 7 期开始在《光谱学与光谱分析》网站(www.gpxygpx.com)“在线期刊”栏内发布《光谱学与光谱分析》期刊全文,读者可方便地免费下载摘要和 PDF 全文,欢迎浏览、检索本刊当期的全部内容;并陆续刊出自 2004 年以后出版的各期摘要和 PDF 全文内容。2009 年起《光谱学与光谱分析》每期出版日期改为每月 1 日。

《光谱学与光谱分析》期刊社