

# 煤粉工业锅炉给水硬度试验测量方法

李殿新<sup>1,2,3</sup>, 贾东亮<sup>1,2,3</sup>, 罗伟<sup>1,2,3</sup>

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 节能工程技术研究分院, 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013; 3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

**摘要:**为了在准确测量给水硬度的前提下节约试剂,以煤粉工业锅炉的给水为对象,首先取样给水 100 mL,研究了氨缓溶液和铬黑 T 指示剂的用量对给水硬度测量结果的影响;然后分别取样给水 100、50、25 mL,对比了取样体积和试剂用量对给水硬度测量结果的影响。结果表明:氨缓溶液和铬黑 T 指示剂的用量对给水硬度测量结果没有影响;给水取样 50 mL 时,测量得到的硬度值与取样 100 mL 时基本相同,但给水取样 25 mL 时测量误差较大。因此,从节约试剂的角度出发,测量给水硬度时建议取样给水 50 mL、使用 1 mL 氨缓溶液和 1 滴铬黑 T 指示剂。

**关键词:**煤粉工业锅炉;给水硬度;软化水;指示剂

中图分类号:TK224 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2016)05-0085-04

## Experimental method of feedwater hardness for industrial pulverized coal boiler

LI Dianxin<sup>1,2,3</sup>, JIA Dongliang<sup>1,2,3</sup>, LUO Wei<sup>1,2,3</sup>

(1. Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of High Efficient Mining and Clean Utilization of Coal Resources, Beijing 100013, China; 3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to use small amount of  $\text{NH}_3\text{NH}_4\text{Cl}$  buffer solution and chrome black T to test the feedwater hardness of industrial pulverized coal boiler accurately, the influence of reagent dosage and sampling volume on feedwater hardness was investigated. The results showed that, when the sampling volume were 100, 50, 25 mL, the reagent dosage had no effects on the test results, while the sampling volume had great influence. When the sampling volume were 50, 100 mL, the hardness was the same, 25 mL sampling volume led to a larger error. So from the point of economical use of  $\text{NH}_3\text{NH}_4\text{Cl}$  buffer solution and chrome black T, 50 mL feedwater, 1 mL  $\text{NH}_3\text{NH}_4\text{Cl}$  buffer solution and one drop of chrome black T was the best usage.

**Key words:** industrial pulverized coal boiler; feedwater hardness; softened water; indicator

## 0 引 言

煤粉工业锅炉的给水是指通过给水泵输送到锅炉内部的水<sup>[1]</sup>。一般来说,工业锅炉用水中含有较多的钙、镁离子,因此锅炉给水硬度较高<sup>[2]</sup>。给水在锅炉内部加热后不断蒸发,导致水中钙、镁离子的浓度越来越高,当超过钙、镁离子的溶解度时,这些离子从水中分离出来附着在管壁上导致锅炉结垢<sup>[3]</sup>。水垢不仅会腐蚀锅炉设备<sup>[4]</sup>,还会降低锅炉

的热效率<sup>[5]</sup>。为了减少钙、镁离子的量,给水在进入锅炉前要进行软化处理<sup>[6]</sup>,降低给水硬度,给水硬度也成为评价锅炉水质的重要指标之一。给水硬度通常采用试剂进行滴定测量<sup>[7]</sup>,测量原理是:在给水管中滴入适量的氨性缓冲溶液和铬黑 T 指示剂,铬黑 T 指示剂与镁离子配位并使溶液呈现紫红色;之后在溶液中滴定乙二胺四乙酸二钠盐(EDTA)标准溶液,EDTA 标准溶液首先与游离的钙离子配位,然后与镁离子配位,最后夺取与铬黑 T 配位

收稿日期:2016-05-29;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2016.05.016

基金项目:煤炭科学技术研究院科技发展基金资助项目(2014JC02)

作者简介:李殿新(1988—),男,山东聊城人,助理研究员,博士,研究方向为煤炭洁净燃烧。E-mail:liidianxin11@tsinghua.org.cn

引用格式:李殿新,贾东亮,罗伟.煤粉工业锅炉给水硬度试验测量方法[J].洁净煤技术,2016,22(5):85-88,11.

LI Dianxin, JIA Dongliang, LUO Wei. Experimental method of feedwater hardness for industrial pulverized coal boiler[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(5): 85-88, 11.

的镁离子,使铬黑 T 指示剂游离出来,此时溶液的颜色由紫红色变为蓝色,从而根据 EDTA 标准溶液的用量计算出给水硬度<sup>[8]</sup>。目前测量给水硬度时,不同文献中的给水取样体积和试剂用量并不统一。韩冬敏<sup>[9]</sup>测量时取样给水 100 mL,加入 3 mL 氨缓溶液和 5~6 滴铬黑 T 指示剂;乔晓平<sup>[10]</sup>测量时取样给水 50 mL,加入 4 mL 氨缓溶液和 3 滴铬黑 T 指示剂;金中华等<sup>[11]</sup>测量时取样给水 50 mL,加入 4 mL 氨缓溶液,但没有介绍铬黑 T 指示剂的用量。目前还没有文献研究过试剂用量和取样体积对给水硬度测量结果的影响。针对目前研究存在的不足,本文以神华神东某锅炉房为对象,通过改变试剂用量和给水取样体积,研究了这 2 个因素对给水硬度测量结果的影响,对于准确测量给水的硬度、节约试剂具有指导意义。

## 1 测量方法及存在的问题

该锅炉房的给水路线如图 1 所示。生水从工业水池中抽入至多介质过滤器,经过滤后进入软水器;该锅炉房共有 4 台软水器,1、2、3 号软水器是第一级软化系统,4 号软化器是第二级软化系统;给水经软化后进入软水箱,然后被抽入至除氧器中进行热力除氧;最后经过省煤器加热后进入锅炉。

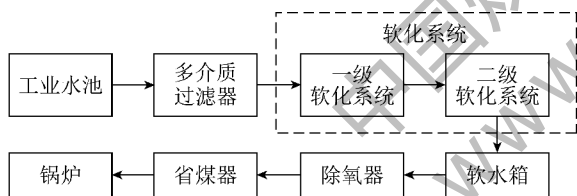


图1 锅炉房的给水路线

Fig. 1 Feedwater route of the boiler-house

为了保证给水硬度合格,该锅炉房通常测量软水器软化后给水的硬度,其中,1、2、3 号软水器出水的硬度不应超过 0.1 mmol/L,4 号软水器出水的硬度不应超过 0.03 mmol/L。该锅炉房的给水硬度测量步骤如下:

- 1) 使用给水水样清洗取样容器 3 次,取给水 400 mL;
- 2) 将水样冷却至 25 ℃,使用给水清洗化验用的量筒、锥形瓶 3 次;
- 3) 使用量筒取 100 mL 给水,倒入锥形瓶中,在锥形瓶中滴入 3~5 mL 氨-氯化铵缓冲溶液(氨缓溶液);
- 4) 在锥形瓶中滴入 3~5 滴铬黑 T 指示剂,使

用 EDTA 标准溶液滴定该溶液,直至溶液变为蓝色;

5) 记录本次滴定前后的滴定管刻度值,计算滴定消耗的 EDTA 标准溶液量  $V$ ,每消耗 1 mL 的 EDTA 标准溶液对应 0.1 mmol/L 的硬度。

6) 记录化验数据、处理废液、清洗容器,完成化验。

其中,氨缓溶液的 pH=10,铬黑 T 指示剂的浓度为 0.5%,EDTA 标准溶液的浓度  $c=0.01$  mol/L,给水硬度的计算方法为

$$YD = \frac{cV}{V_s} \times 10^3 \quad (1)$$

式中, $YD$  为给水的硬度,mmol/L; $V_s$  为给水的取样体积,mL。

该锅炉房使用的滴管指示剂约 1 mL,每滴指示剂约 0.067 mL,分析以上测量步骤和计算方法可知,目前的测量方法存在 2 个问题:① 测量给水硬度时,需要滴入 3~5 mL 氨缓溶液和 3~5 滴铬黑 T 指示剂,氨缓溶液和铬黑 T 指示剂(以下统称为试剂)用量不同是否会影响给水硬度的测量结果;② 由式(1)可知,在使用 EDTA 标准溶液的前提下,给水硬度由取样给水的体积和 EDTA 标准溶液的用量计算得到,该锅炉房取样给水的体积一般为 100 mL,为了节省 EDTA 标准溶液,是否能减少给水的取样体积。

针对以上 2 个问题,开展的工作分别是:① 试剂用量对给水硬度测量结果的影响;② 给水取样体积对给水硬度测量结果的影响。

## 2 试剂用量对给水硬度测量结果的影响

### 2.1 试验测量

取样给水的体积为 100 mL,研究氨缓溶液和铬黑 T 指示剂用量对给水硬度测量结果的影响。按照规定,该锅炉房每隔 2 h 做一次水质化验。共取样给水 10 组,根据氨缓溶液和铬黑 T 试剂用量不同每组水样测量 5 次进行对比,试验结果见表 1。其中,滴定 EDTA 标准溶液的滴定管每格刻度为 0.1 mL。由表 1 可知,氨缓溶液和铬黑 T 指示剂用量不同对给水硬度测量结果影响很小。除去溶液变色的判断时机和 EDTA 标准溶液的读数误差因素之外,可以认为试剂用量不同对给水硬度测量结果没有影响。因此,按照锅炉房现在的给水硬度测量方法,建议使用 3 mL 氨缓溶液和 3 滴铬黑 T 指示剂,从而节省试剂用量。

表1 试剂用量对给水硬度测量值的影响

Table 1 Influence of indicator consumption amounts on feedwater hardness results

氨缓/ mL	铬黑 T/ 滴	给水硬度/(mmol·L <sup>-1</sup> )										求和
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	5	0.030	0.050	0.025	0.110	0.070	0.080	0.075	0.070	0.090	0.070	0.670
5	3	0.025	0.045	0.030	0.095	0.075	0.075	0.070	0.070	0.100	0.080	0.665
4	4	0.030	0.045	0.030	0.110	0.070	0.070	0.070	0.075	0.085	0.080	0.665
3	5	0.025	0.050	0.025	0.105	0.075	0.075	0.075	0.070	0.100	0.075	0.675
3	3	0.030	0.040	0.030	0.100	0.070	0.080	0.080	0.065	0.095	0.080	0.670

表1的前3组水样是4号软水器的出水,后7组水样是其他3台软水器的出水。由试验结果可知,第2、4组给水硬度超出了规定。为了降低给水的硬度,需要反洗软水器<sup>[12-13]</sup>。

## 2.2 原因分析

由第2.1节可知,改变氨缓溶液和铬黑T指示剂的用量对给水硬度测量结果没有影响,原因是:在给定的水样中滴入氨缓溶液后,水样仍然无色,氨缓溶液的作用是稳定给水水样的pH值基本不变<sup>[14-15]</sup>,滴入3~5 mL氨缓溶液对水样的pH值稳定影响不大。在给定的水样中滴入铬黑T指示剂后,铬黑T指示剂首先与镁离子配位,此时溶液呈现紫红色,铬黑T指示剂的用量不同会影响指示剂与镁离子配位的量,从而导致溶液紫红色的深浅不同;在100 mL给水水样中分别滴入5、3、1滴铬黑T指示剂后,溶液的颜色对比如图2所示。同理,当使用EDTA标准溶液滴定溶液时,EDTA标准溶液首先与钙离子配位,然后与镁离子配位,使铬黑T指示剂游离出来,此时溶液的颜色变为蓝色,铬黑T指示剂的用量不同会影响溶液蓝色的深浅不同,但对给水硬度测量结果没有影响。图2中的3份水样滴定至蓝色后对比如图3所示。

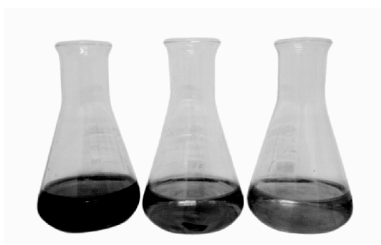


图2 紫红色深浅对比

Fig. 2 Comparison of the purple-red colors

根据以上分析可知,从节约试剂的角度出发,测量给水硬度时可以使用较少的试剂。但由图2和图3可知,当使用的试剂太少时,溶液变色不容易判

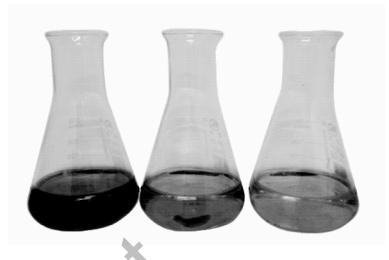


图3 蓝色深浅对比

Fig. 3 Comparison of the blue colors

断,会导致给水硬度测量误差较大。

## 3 给水取样体积对给水硬度测量结果影响

给水取样100 mL,使用4 mL氨缓溶液和4滴铬黑T指示剂作为基准,设计了表2的试验。

由表2可知,当给水的取样体积为50 mL时,无论试剂用量多少,给水硬度的测量结果与给水取样体积为100 mL时基本相同,这说明1 mL氨缓溶液和1滴铬黑T指示剂足以用于测量给水硬度。但是,当给水取样体积为25 mL时,给水硬度的测量结果明显大于给水取样体积为100 mL时的测量结果,原因可能是给水取样体积太少导致测量误差较大。

## 4 测量方法建议

综合以上试验结果可知,测量给水硬度时,取样给水50 mL、使用1 mL氨缓溶液和1滴铬黑T指示剂既可以准确测量给水硬度,又节约了试剂。为了对比给水取样体积和试剂用量不同对溶液颜色的影响,设计了以下3组试验:第1组取样给水50 mL、使用1 mL氨缓溶液和1滴铬黑T指示剂,第2组取样给水100 mL、使用1 mL氨缓溶液和1滴铬黑T指示剂,第3组取样给水100 mL、使用3 mL氨缓溶液和3滴铬黑T指示剂,溶液的颜色对比如图4所示。

表2 取样体积对给水硬度测值的影响

Table 2 Influence of sampling volume on feedwater hardness results

取样/ mL	氨缓/ mL	铬黑 T/滴	给水硬度/(mmol·L <sup>-1</sup> )										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	求和
100	4	4	0.045	0.030	0.035	0.105	0.090	0.105	0.080	0.120	0.085	0.095	0.790
50	4	4	0.050	0.040	0.035	0.110	0.080	0.100	0.085	0.125	0.080	0.090	0.795
50	2	2	0.050	0.035	0.040	0.100	0.085	0.100	0.090	0.110	0.085	0.090	0.785
50	1	1	0.045	0.040	0.035	0.110	0.090	0.110	0.080	0.120	0.080	0.080	0.790
25	4	4	0.060	0.045	0.060	0.125	0.105	0.140	0.105	0.145	0.105	0.105	0.995
25	2	2	0.045	0.060	0.045	0.140	0.120	0.140	0.100	0.160	0.100	0.100	1.010
25	1	1	0.060	0.055	0.050	0.120	0.100	0.105	0.105	0.160	0.120	0.095	0.970

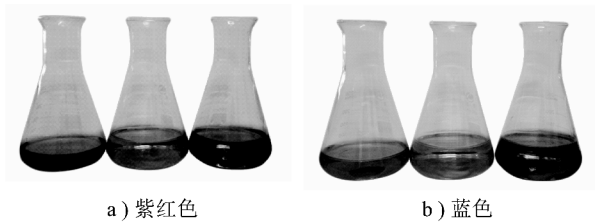


图4 溶液颜色对比

Fig. 4 Comparison of the solution colors

由图4可知,第1组溶液的颜色较深,变色容易判断。因此,测量给水硬度时,建议取样给水50 mL、使用1 mL氨缓溶液和1滴铬黑T指示剂。

需要注意的是,由公式(1)可知,计算给水硬度的方法是:当取样给水100 mL时,将消耗的EDTA标准溶液体积除以10,就可以得到给水硬度。但是,当取样给水50 mL时,需要将消耗的EDTA标准溶液体积除以5,得到的才是给水硬度。

## 5 结 论

1)氨缓溶液的用量对给水水样的pH值影响不大,铬黑T指示剂的用量会影响溶液的颜色深浅,但2种试剂的用量对给水硬度测量结果没有影响。

2)给水取样50 mL时,测量得到的硬度值与取样100 mL时基本相同;但给水取样25 mL时,会由于取样体积较少导致测量的硬度值明显偏高。

3)从节约试剂的角度出发,测量给水硬度时建议取样给水50 mL、使用1 mL氨缓溶液和1滴铬黑T指示剂。

### 参考文献(References):

[1] 王春晶. 中小燃煤工业锅炉节能减排途径及情景分析[J]. 洁净煤技术,2016,22(1):109-113,117.

Wang Chunjing. Energy - saving way analysis of small -

medium coal-fired industrial boilers[J]. Clean Coal Technology, 2016,22(1):109-113,117.

[2] 何海军,李小炯. 煤粉工业锅炉的运行特点与经济分析[J]. 洁净煤技术,2013,19(4):77-80.

He Haijun, Li Xiaojiong. Operation characteristics and economic benefits analysis of pulverized coal industrial boiler[J]. Clean Coal Technology, 2013,19(4):77-80.

[3] 杜跃义. 热水锅炉结垢、结渣的原因及对策[J]. 煤炭技术, 2009,28(4):188-189.

Du Yueyi. Hot water boiler scaling, slagging reason and countermeasure[J]. Coal Technology, 2009,28(4):188-189.

[4] 崔莉,高洪芹. 锅炉盐酸化学清洗工艺及技术[J]. 煤炭技术,2009,28(5):159-160.

Cui Li, Gao Hongqin. Boiler hydrochloric acid chemical cleaning craft and technology[J]. Coal Technology, 2009,28(5):159-160.

[5] 王旋. 煤粉工业锅炉节能增效技术改造研究[J]. 洁净煤技术,2016,22(1):82-85.

Wang Xuan. Technical innovation research on energy saving and efficiency improvement of industrial pulverized coal boiler[J]. Clean Coal Technology, 2016,22(1):82-85.

[6] 李红艳,李亚新,李尚明. 水的硬度对氢离子交换树脂软化处理水的影响[J]. 太原理工大学学报,2010,41(1):56-60.

Li Hongyan, Li Yaxin, Li Shangming. Effect of water hardness on softened water by hydrogen ion exchange resin[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2010,41(1):56-60.

[7] 任妍冰,刘云,王学建. 离子色谱法测定水中总硬度[J]. 环境监测管理与技术,2015,27(4):58-60.

Ren Yanbing, Liu Yun, Wang Xuejian. Determination of the total hardness in water by ion chromatography[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2015,27(4):58-60.

[8] GB/T 6909—2008, 锅炉用水和冷却水分析方法硬度的测定[S].

[9] 韩冬敏. 锅炉用水中微量硬度的测定方法研究[J]. 化工科技, 2009,17(2):42-44.

Han Dongmin. Study on determination method of the trace hardness in feed water used for the boiler[J]. Science & Technology in Chemical Industry, 2009,17(2):42-44. (下转第11页)

3) 烧结温度为 1 100 ℃ 时, 煤气化残渣基多孔陶瓷的综合性能最优, 孔隙率为 49.2%, 平均孔径为 5.96 μm, 0.01 MPa 压力下平均 N<sub>2</sub> 通量达到 2 452.6 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。虽然其平均 N<sub>2</sub> 通量略有下降, 但其抗弯强度达到 8.96 MPa。

#### 参考文献 (References):

[1] 韦亚南, 杨修春, 孙海阔. 有序多孔材料的研究进展[J]. 材料导报, 2006, 20(S2): 10-13.  
Wei Ya'nan, Yang Xiuchun, Sun Haikuo. Recent progress on ordered porous materials[J]. Materials Review, 2006, 20(S2): 10-13.

[2] Colombo P. Ceramic foams: fabrication, properties and applications [J]. Key Engineering Materials, 2002(3): 1913-1918.

[3] Bernardo E, Andreola F, Barbieri L, et al. The un-reinforced glass-ceramic, compared with traditional nepheline glass-ceramics[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2005, 88(7): 1886-1891.

[4] 屈利娟. 流化床煤气化技术的研究进展[J]. 煤炭转化, 2007, 30(2): 81-85.  
Qu Lijuan. Progress of research in the fluidized bed coal gasification technology[J]. Coal Conversion, 2007, 30(2): 81-85.

[5] 刘洪刚, 刘春萌, 杨 帅, 等. 神华宁煤煤化工基地粉煤灰的资源化利用[J]. 当代化工, 2014, 43(10): 1955-1958.  
Liu Honggang, Liu Chunmeng, Yang Shuai, et al. Resource utilization of fly ash from ningdong coal-chemical industrial base of SNCC coal chemical industry Company [J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(10): 1955-1958.

[6] 尹洪峰, 汤 云, 任 耘, 等. Texaco 气化炉渣基本特性与应用研究[J]. 煤炭转化, 2009, 32(4): 30-33.  
Yin Hongfeng, Tang Yun, Ren Yun, et al. Study on the characteristic and application gasification slag from Texaco gasifier[J]. Coal Conversion, 2009, 32(4): 30-33.

[7] 许建良, 代正华, 李巧红, 等. 气流床气化炉内颗粒停留时间分布[J]. 化工学报, 2008, 59(1): 53-57.  
Xu Jianliang, Dai Zhenghua, Li Qiaohong, et al. Particle residence time distributions in entrained-flow gasifier[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2008, 59(1): 53-57.

[8] Wagner N J, Matjie R H, Slaghuis J H, et al. Characterization of unburned carbon present in coarse gasification ash [J]. Fuel, 2008, 87(6): 683-691.

[9] Matjie R H, Van Alphen C. Mineralogical feature of size and density fractions in sasol coal gasification ash, South Afraca and potential by-products[J]. Fuel, 2008, 87(8/9): 1439-1445.

[10] Wu Tao, Gong Mei, Lester E D, et al. Characterization of residual carbon from entrained-bed coal water slurry gasifiers [J]. Fuel, 2007, 86(7/8): 972-982.

[11] 高旭霞, 郭晓镭, 龚 欣. 气流床气化渣的特征[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2009, 35(5): 677-683.  
Gao Xuxia, Guo Xiaolei, Gong Xin. Characterization of slag from

entrained-flow coal gasificaion [J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2009, 35(5): 677-683.

[12] Acosta A, Iglesias I, Aineto M, et al. Utilization of IGCC slag and clay steriles in soft mud bricks (by pressing) for use in building bricks manufacturing [J]. Waste Management, 2002, 22(8): 887-891.

[13] 尹洪峰, 汤 云, 任 耘, 等. 气化渣合成 Ca-α-Sialon-SiC 复相陶瓷[J]. 硅酸盐学报, 2011, 39(2): 233-238.  
Yin Hongfeng, Tang Yun, Ren Yun, et al. Synthesis of Ca-α-Sialon-SiC Multiphase ceramics using gasification slag [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2011, 39(2): 233-238.

[14] 赵永彬, 吴 辉, 蔡晓亮, 等. 煤气化残渣的基本特性研究 [J]. 洁净煤技术, 2015, 21(3): 110-113.  
Zhao Yongbin, Wu Hui, Cai Xiaoliang, et al. Basic characteristics of coal gasification residual [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 110-113.

[15] 任祥军, 张学斌, 刘杏芹, 等. 粉煤灰基多孔陶瓷膜的制备研究 [J]. 材料科学与工程学报, 2006, 24(4): 484-488.  
Ren Xiangjun, Zhang Xuebin, Liu Xingqin, et al. Preparation of porous ceramic membranes from fly ash [J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2006, 24(4): 484-488.

(上接第 88 页)

[10] 乔晓平. EDTA 滴定法测定水质总硬度的改进实验 [J]. 四川环境, 2014, 33(6): 99-101.  
Qiao Xiaoping. Improved experiment on determining total hardness of water quality by EDTA titration method [J]. Sichuan Environment, 2014, 33(6): 99-101.

[11] 金中华, 刘海洋. EDTA 滴定法测定水中总硬度的几点体会 [J]. 内蒙古环境保护, 2000, 12(1): 20-21.  
Jin Zhonghua, Liu Haiyang. Some ideas on determination of general hardness in water with EDTA titration [J]. Inner Mongolia Environmental Protection, 2000, 12(1): 20-21.

[12] 吴清收, 杨 硕, 梁 辉, 等. 全自动软水器控制系统设计 [J]. 自动化技术与应用, 2011, 30(2): 78-81.  
Wu Qingshou, Yang Shuo, Liang Hui, et al. Design of control system for automatic water softener [J]. Techniques of Automation and Applications, 2011, 30(2): 78-81.

[13] Luo Fan, Dong Bin, Xie Jiakai, et al. Scaling tendency of boiler feedwater without desilicization treatment [J]. Desalination, 2012, 302(17): 50-54.

[14] Bill Heins, Xie Xiao, Yan Dengchao. New technology for heavy oil exploitation wastewater reused as boiler feedwater [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 113-117.

[15] 李 霞. EDTA 络合滴定石灰石中钙镁含量的实验分析 [J]. 盐业与化工, 2014, 43(10): 10-12.  
Li Xia. Experimental analysis of calcium and magnesium content in limestone by EDTA compleximetry [J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2014, 43(10): 10-12.