

## 一种软化加药量的直观算法

高占平 蔡诚 董俊  
中电环保股份有限公司

DOI:10.32629/eep.v3i2.648

**[摘要]** 在中水和原水项目经常与遇到软化加药量计算的问题,目前关于加药量计算没有一个统一、直观、简便的计算方式,本文通过实践,在加药量计算过程中,按照反应原理并结合化学反应方程式,总结出一套用于软化加药量的直观算法,以便于相关的设计、运行人员参考。

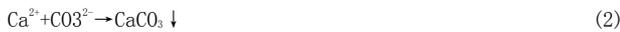
**[关键词]** 中水; 原水; 水质软化; 加药量计算

## 前言

水质软化法是电厂中水和原水项目中常见的预处理工艺<sup>[1]</sup>。其中,石灰作为一种廉价、来源广泛的软化药剂,在大量的实际运行项目中得以运用<sup>[2-5]</sup>。但是,水质软化作为一种传统工艺缺乏一种统一、直观、简便的计算方式。目前,国内典型的计算方法是上世纪80年代借鉴美国的水处理计算书籍<sup>[6]</sup>,其通过毫克当量进行转化计算<sup>[7]</sup>。本加药量直观算法结合化学反应原理,按照反应过程,计算每步加药种类和加药量,同时对加药反应过程中引入的其他粒子也做出详细统计。

## 1 加药反应原理、过程及加药种类

水质软化法加药的原理主要是通过投加石灰,将镁离子转化成氢氧化镁沉淀,钙离子转化成碳酸钙沉淀加以去除,如果原水中主要为永久硬度(表现在水质参数表中就是HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度低),部分钙离子就需要投加碳酸钠药剂才能转化为碳酸钙沉淀。主要反应化学方程式(或离子方程式)按照反应先后顺序如下<sup>[8]</sup>:



反应式(1)通过投加石灰去除所有碳酸盐钙离子硬度;

反应式(2),若经过前两步反应,水质中还剩余部分钙离子永久硬度,则需要投加碳酸钠药剂去除钙离子永久硬度。

反应式(3)通过投加石灰,可去除镁离子,将镁离子硬度转换成同等物质的量浓度的钙离子硬度(反应需要的氢氧根由氢氧化钙提供,引入的钙离子物质的量浓度与原水中镁离子浓度相同,离子反应方程式中没有体现)。

通过以上反应原理介绍,若钙镁离子物质的量浓度和小于等于碳酸氢根物质的量浓度的0.5倍,则只需投加石灰即可满足除硬度要求,否则需要投加碳酸钠去除永久硬度。

## 2 计算实例

结合一具体项目的水量和水质,具体思路和算法说明如下:

## 2.1 确定水质水量

本案例项目处理水量为860m<sup>3</sup>/h,进水主要水质如下表所示:

序号	项目	单位	进水水质	备注
1	pH	/	6	
2	钙	mg/L	100	
3	镁	mg/L	161.73	
4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	348.4	
5	Na <sup>+</sup>	mg/L	702	
6	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	1060	

注:本水质表仅列出与加药除硬度相关离子浓度;出水各离子浓度为经验数据,实际按照钙镁离子全部去除计算加药量。

## 2.2 确定加药种类

通过反应原理介绍,比较钙镁离子物质的量浓度和与碳酸氢根物质的量浓度的0.5倍的大小关系:

$$\text{钙镁离子物质的量浓度} = 100/40 + 161.73/24 = 9.24 \text{ mmol/L}$$

$$\text{碳酸氢根物质的量浓度的} 0.5 \text{倍} = 0.5 \times 348.4/61 = 2.86 \text{ mmol/L}$$

$$\text{钙镁离子物质的量浓度} > \text{碳酸氢根物质的量浓度的} 0.5 \text{倍}$$

则石灰和碳酸钠都需要投加

## 2.3 确定加药量

按照反应顺序,加药量计算如下:

(1) 投加石灰去除镁离子(石灰以熟石灰Ca(OH)<sub>2</sub>计,余同)

Mg <sup>2+</sup>	+Ca(OH) <sub>2</sub>	→	Mg(OH) <sub>2</sub>	+Ca <sup>2+</sup>
24	74		58	40
161.73mg/L	498.7mg/L		390.8mg/L	269.6mg/L

式中各数据说明如下:

第一行数据为各物质的分子量

镁离子浓度161.73mg/L为进水水质

$$\text{去除镁离子石灰加药量} = 74 \times 161.73/24 = 498.7 \text{ mg/L}$$

$$\text{去除镁离子氢氧化镁沉淀量} = 58 \times 161.73/24 = 390.8 \text{ mg/L}$$

$$\text{去除镁离子引入的钙离子量} = 40 \times 161.73/24 = 269.6 \text{ mg/L}$$

(2) 投加石灰去除碳酸氢根

2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+Ca(OH) <sub>2</sub>	+Ca <sup>2+</sup>	→	2CaCO <sub>3</sub>	+2H <sub>2</sub> O
122	74	40		200	36
348.4mg/L	211.3mg/L	114.2mg/L		571.1mg/L	102.8mg/L

式中各数据说明如下:

第一行数据为各物质的分子量

碳酸氢根浓度348.4mg/L为进水水质

$$\text{去除碳酸氢根石灰加药量} = 74 \times 348.4/122 = 211.3 \text{ mg/L}$$

$$\text{去除碳酸氢根时去除的钙离子浓度} = 40 \times 348.4/122 = 114.2 \text{ mg/L}$$

$$\text{去除碳酸氢根碳酸钙沉淀量} = 200 \times 348.4/122 = 571.1 \text{ mg/L}$$

(3) 投加石灰调节pH

进水pH=6

投加石灰反应pH=10.5(非最终产水pH)

$$\text{氢氧根投加量} = 10^{10.5-14} + 10^6 = 0.000317 \text{ mol/L} = 0.317 \text{ mmol/L}$$

$$\text{调节pH石灰投加量} = 0.5 \times 74 \times 0.32 = 11.7 \text{ mg/L}$$

$$\text{调节pH引入的钙离子量} = 11.7 \times 40/74 = 6.3 \text{ mg/L}$$

(4) 投加碳酸钠去除永久钙离子硬度

Ca <sup>2+</sup>	+Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	→	CaCO <sub>3</sub>	+2Na <sup>+</sup>
40	106		100	46
261.9mg/L	694.0mg/L		654.8mg/L	301.2mg/L

式中各数据说明如下：

第一行数据为各物质的分子量

钙离子浓度=进水钙离子浓度+去除镁离子引入的钙离子量-除碳酸氢根时  
去除的钙离子浓度+调节pH引入的钙离子量=100+269.6-114.2+6.3=261.9mg/L

去除永久钙离子硬度碳酸钠投加量=106×261.9/40=694.0mg/L

去除永久钙离子硬度碳酸钙沉淀量=100×261.9/40=654.8mg/L

去除永久钙离子硬度引入的钠离子量=46×261.9/40=301.2mg/L

(5) 投加硫酸调节出水pH

投加石灰反应pH=10.5

出水pH=7

氢离子投加量= $10^{10.5-7}$ -0.00032mol/L=0.316mmol/L

硫酸投加量=0.5×98×0.317=15.5mg/L

调节pH引入的硫酸根量=15.5×96/98=15.2mg/L

(6) 沉淀量计算

反应生成的总沉淀量包括去除镁离子生成的氢氧化镁、去除碳酸氢根  
生成的碳酸钙和去除永久钙离子硬度生成的碳酸钙三部分。

沉淀量=390.8+571.1+654.8=1616.7mg/L

(7) 加药量汇总

石灰加药量=去除镁离子石灰加药量+去除碳酸氢根石灰加药量+调节pH  
石灰投加量=498.7+211.3+11.7=721.7mg/L(721.7mg/L×860m<sup>3</sup>/h=621kg/h)

碳酸钠加药量=694.0mg/L(694.0mg/L×860m<sup>3</sup>/h=597kg/h)

硫酸加药量=15.5mg/L(15.5mg/L×860m<sup>3</sup>/h=13.3kg/h)

(8) 出水水质

序号	项目	单位	出水水质	备注
1	pH	/	7	
2	钙	mg/L	20	
3	镁	mg/L	12	
4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	30	
5	Na <sup>+</sup>	mg/L	103.2	加药引入 301.2mg/L
6	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	1075.2	加药引入 15.2mg/L

注：本水质表仅列出与加药除硬度相关离子浓度；出水各离子浓度为  
经验数据，实际按照钙镁离子全部去除计算加药量。

### 3 结论

该计算方法不仅适用于工程中主流的机械加速澄清池或高效澄清池  
反应主体<sup>[9]</sup>，也适用于“湿法”或“干法”计量系统<sup>[10]</sup>。通过以上步骤，可  
以直观计算软化加药的加药量。并依此来设计相应的加药系统；可供工程  
设计和运营人员参考选用。

#### [参考文献]

[1]李锐,何世德,张占梅,等.城市中水在电厂循环冷却水系统的应用与  
展望[J].环境科学与管理,2008,33(3):152-155.

[2]乔庆云.石灰软化地下水处理工程应用研究[J].扬州大学学报:自然  
科学版,2003,(4):74-77.

[3]沈继军,潘浩,李玉刚.石灰软化法处理循环冷却水[J].东北电力技  
术,2004,(06):31-34.

[4]尹连庆,关新玉.石灰软化法处理循环冷却水系统排污水[J].工业用  
水与废水,2005,(04):37-40.

[5]杨运平,李锐,刘秀娟,等.火电厂石灰软化水质混凝澄清工艺对比分  
析[J].环境工程,2014,(S1):192-194.

[6]J M,Jr H,张连魁,等.水的化学沉淀及软化工艺计算例题[J].化工给  
排水设计,1982,(1):93-101.

[7]沈明亮.石灰软化法的典型计算[J].化肥设计,1980,(02):118-119.

[8]李春华.石灰软化工艺中若干问题的探讨[J].水处理技  
术,1993,(5):297-301.

[9]张彬.城市中水在电厂循环冷却水系统中的应用[J].科技创新与应  
用,2012,(21):23.

[10]陈垒.石灰软化处理系统石灰计量工艺选择对比分析[J].工业水  
处理,2017,39(04):115-116.

#### 作者简介：

高占平(1978--),男,宁夏吴忠人,汉族,大学本科,工程师,研究方  
向：为污水生物处理、中水回用等。拥有专利技术10项,主要参与国  
家“十二五”、“十三五”科技重大专项、江苏省科技成果转化、南京  
市科技发展计划项目等10余项。