



手 [19]、 [20]、  
和 [2] 中单  
质汞的 [21-22]、  
物 [23-24]  
的 [2,18,20]、  
主要  
来源、  
烟 [2]、  
以

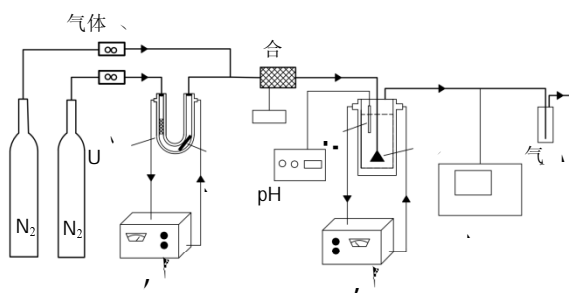
### 1 材料与方

#### 1.1

汞( )、 ( )、 ( )、  
( )、 ( )、 ( )、 ( )、  
( )

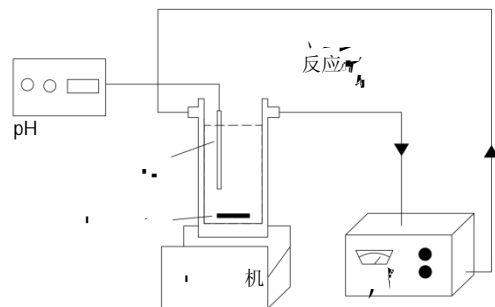
U 0\_ 浴锅 磁力搅拌器.

#### 1.2



1 !"#%&  
Fig.1 System schematic of experimental device

汞 验装置如图 所示,该装置主要由气源、  
汞 器、混 加 器(玻璃填 、加 和 控仪  
组 )、 器(双层中空玻璃 质)、 浴装置  
组 .<sub>2</sub>(纯 0. ) 载气 转 流  
汞 器中汞渗透管( 美国挥 的 汞 另 路平衡气( <sub>2</sub>), 混  
加 器.混 匀 加 至预 器  
中,经砂芯 匀 布气 吸收 ,吸收后  
的尾气 锰 吸收 后 排.



2 '()\* #!\$%&  
Fig.2 Schematic diagram of complexation reaction experimental system

汞 放置于干燥器 以上, 物质  
使 于烘箱中 0℃烘干至 重使 . 制储 ,  
从储 中定 取 加 双层玻璃 瓶中  
, 测定,  
浴锅控制, 磁力搅拌 , 搅拌  
匀, 样品由 U 0\_ 测定.

### 2 结果与讨论

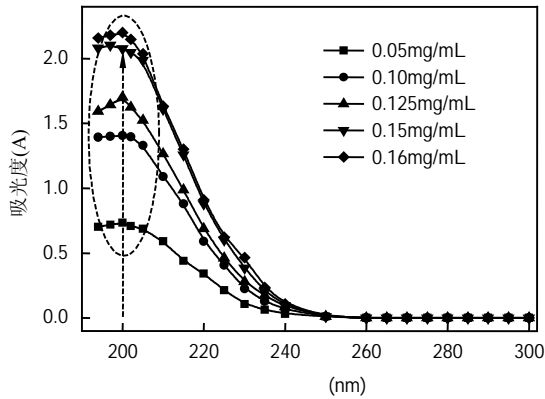
#### 2.1 汞 及 物 谱 析

烟气单质汞 中逐渐积累  
物 <sub>2</sub><sup>+</sup> 物.移取  
/ 储 置 0.0, 0.0,  
0.0, 0.0, 0.0 / 待测 , 00 0 波  
范围 U 0\_ 型\_ 别  
谱扫描.

由图 知, <sub>2</sub><sup>+</sup> 谱扫描 波  
00 吸收峰, 吸收峰随着 <sub>2</sub><sup>+</sup>  
浓 的增加 升 . <sub>2</sub><sup>+</sup> 浓 从0.0 /  
增加至 0.0 / ,吸 从 0.0 升 至  
.0 . <sub>2</sub><sup>+</sup> 见 吸收波 00 .  
确定 <sub>2</sub><sup>+</sup> 浓 吸 的 ,

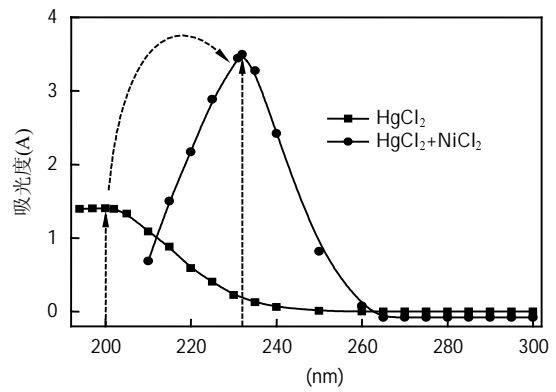
波 移 物 吸 .0 .

波 移 物 吸 .0 .



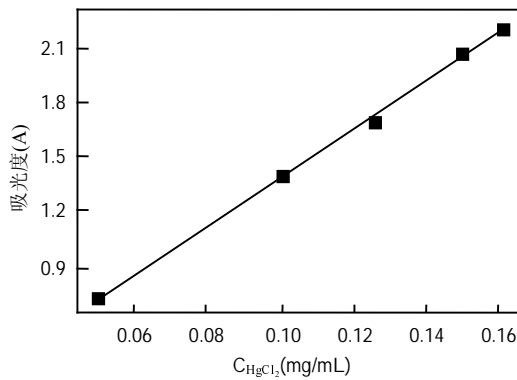
3 HgCl<sub>2</sub> =>?@AABCD

Fig.3 HgCl<sub>2</sub> ultraviolet visible spectrum scan



5 '(J=>?@ABCD

Fig.5 UV-Vis absorption spectra of complex

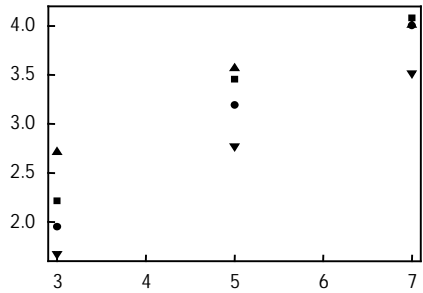


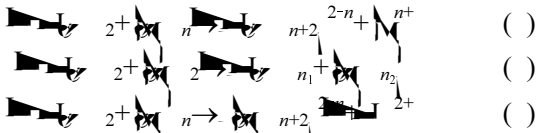
4 E75FGHI

Fig.4 Mercury chloride standard curve

2.2 物的 中 !  
 2<sup>+</sup>和 2<sup>+</sup>, 验 2<sup>+</sup> 中 ! 的  
 物, 的 物 , !  
 2<sup>+</sup> 物的 . 见的 物  
 2<sup>+</sup>和 2<sup>+</sup>, 别 0.0 /  
 2<sup>+</sup>, 浓 置 0.0 / +  
 / ,0.0 / + / ,0.0 / + / ,  
 - 见 , 谱扫描, 如图 .

2 浓 ,y 2 浓 x 的吸 ),  
 0. ,  
 吸收 烟气单质汞  
 2, 中 - 2  
 物. , 2 中加 2(使 中  
 C<sub>HgCl<sub>2</sub></sub> 0.0 / 、 C<sub>NiCl<sub>2</sub></sub> 0 / ),  
 的 2及 2 000 0 的  
 波 范围, 谱扫描.  
 由图 2 2 的 物  
 - 见 波 吸收峰,  
 2 吸收峰波 2<sup>+</sup> 和 -  
 物的 力,  
 2<sup>+</sup> 2<sup>+</sup> 2<sup>-n</sup> ( )  
 增大 浓 , 平衡 2<sup>+</sup> 2<sup>-n</sup>  
 移 , 物 2<sup>+</sup> 2<sup>-n</sup> 的 . 及  
 , 的 , 吸收





中  $n$  示 物  $n+2$  和  $n_1$  示 物  $n_2$  和  $n+2$  示 物  $n$  的 物.

( ) 主要是 物  $n$  物, 定  $n+2$  浓, 增加 物 于平衡. ( ) 和  $n$  ( ) 要  $n+2$  的 定  $n+2$  浓, 增加  $n$  的浓, 的 物 至 . 验上, 定  $n+2$  浓, 增加  $n+2$  和  $n+2$  浓 物  $n+2$  浓, 物 定.  $n+2$  和  $n+2$  的 物最大吸, 别 . . . 和 . . . 定

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l = \lg \frac{I_0}{I_t} \quad (4)$$

中  $I_0$  透  $c$  物质浓  $l$  层  $\epsilon$  吸 . 吸 物质的浓, 由 以确定

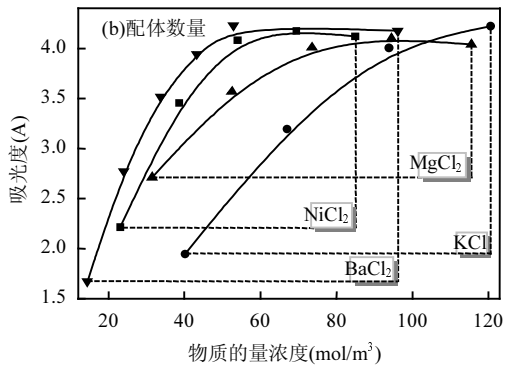
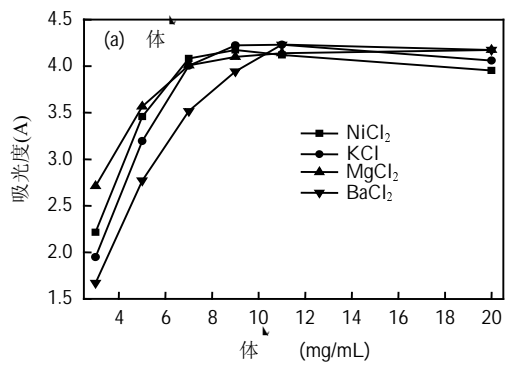
( ) 和 ( ) 中, 烟气单质汞的  $M^{2+}$ ,  $M^+$ ,  $M^{2+}$  和  $M^{2+}$  的 主要 中的 浓 .

2.3 浓 的

中  $n+2$  的 浓  $0.0$  / , 浓 , , , 和  $0$  / 的 , 如图 (1) 所示.

浓 于 的 , 物 随 浓 的增加先升 , 后 于平衡  $n+2$  的 物, 浓 / 吸 随 浓 的增 增大 / 吸 随 浓 的增 增大大于 / 吸 随 浓

的增 增大. 浓 于 / , 的 物 吸收峰, 另 浓 / , 物吸 随 的增 上升浓 / 以后, 吸 随

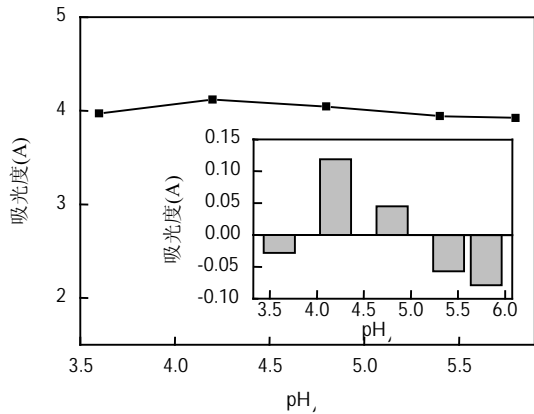


7 NOTU J4QVTUP'()\*QRS

Fig.7 Effect of concentration and molar concentration of ligand on complexation

由图 (b) 见, 物质的浓 物 从  $n+2$  以 ! 物 从  $n+2$  . 另 验中 以  $n+2$  和  $n+4$  , 见扫描 峰 峰 , 中  $n+2$  物,  $0.0$  (  $0.0$  % )  $0.0$  .

以吸收烟气汞中  
 物吸、析见图  
 图,最和  
 波、%、别  
 和0.2、物  
 谱扫描中峰,峰的主要  
 是中的制  
 中、



8 pH WP'()\*QRS

Fig.8 Effect of pH on complexation

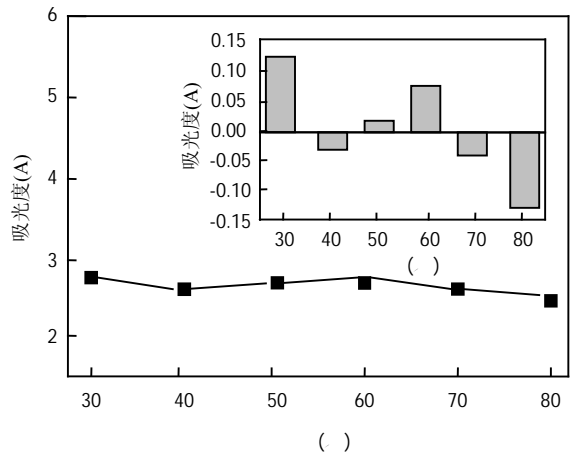
[2] 和  
 中的  
 中的  
 中的  
 中要  
 的  
 吸收  
 积  
 随  
 的

2.5

烟气中,是重要的  
 烟气经  
 后吸收 烟气  
 °C. 0  
 0°C  
 从图知,别 0, 0, 0, 0,  
 0 和 0°C, 物吸 别 . . .  
 . . . 0 和 . . .  
 析如上 图,吸  
 最 别  
 和 重 组  
 中 以

烟气汞中

0 0°C

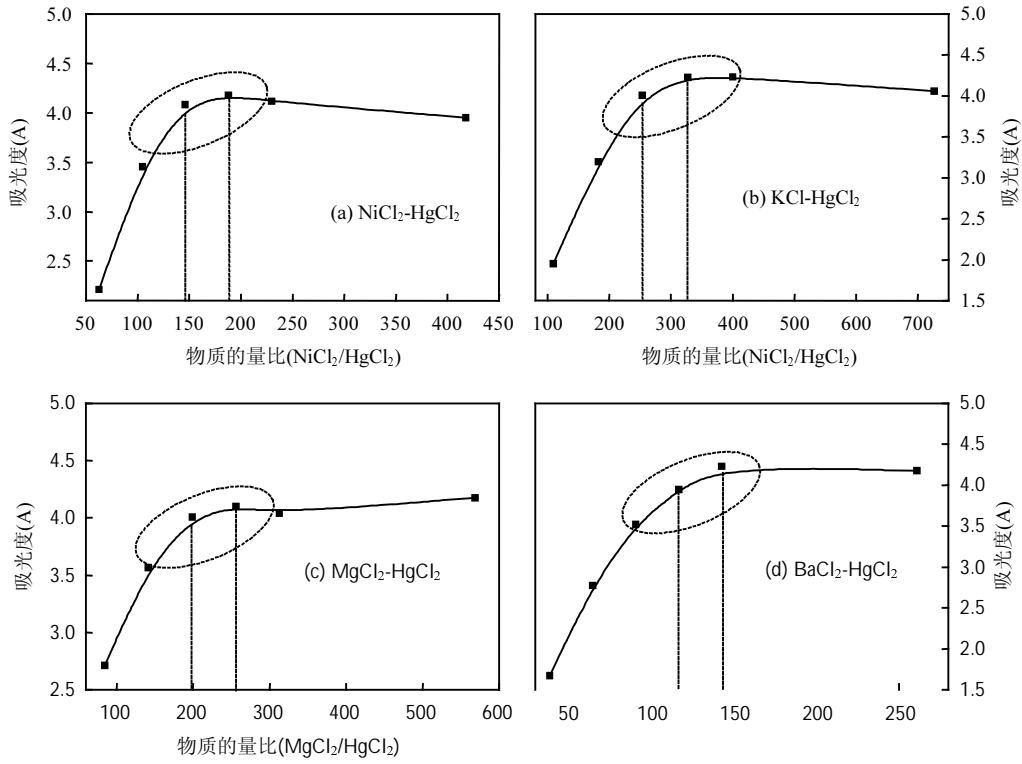


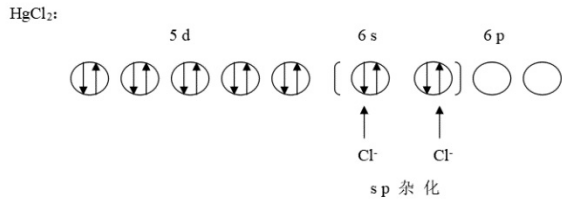
9 )XUP'()\*QRS

Fig.9 Effect of reaction temperature on complexation

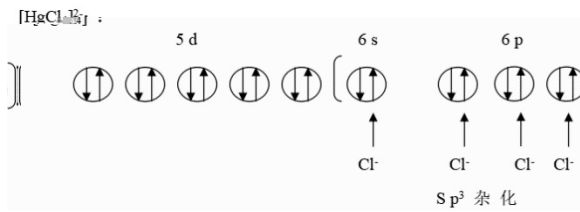
2.6 物质的

物质的 是 中  
 的重要 , 要 ,  
 控制 物的 , 优  
 烟气汞 和 布  
 从图 0 知,随着 物质的 的  
 增大, 物吸 逐 升 , 增大物质的 ,  
 物吸 于平 . 增加  
 物 , ,  
 ,以物质的 ,  
 ,  
 00, ,  
 物, 于上 制 / , 物  
 随 浓  
 烟气 制  
 和物质的 ,使 最 . 最大  
 吸 物质的  
 从图 知, 2、 2 和 2  
 的 物最大吸  
 (. 0 0.0 ) , 物  
 物质的 浓 和物质的 最  
 . / 3 和 , 三是  
 . / 3 和 ,最后 2 0 / 3 和  
 析,如  
 图 所示.

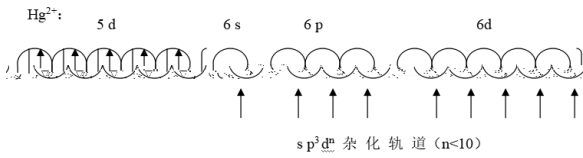




HgCl<sub>2</sub> 是以 价 的 ，和 z 、  
 、 ，空 型 型 229pm 229pm  
 ， 中 ，主要以  
 中 加 物，随着 的增加，汞 和  
 以 逐 物，<sup>2</sup>、<sup>3</sup>  
 和 的 物。

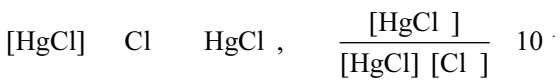
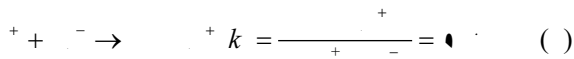


Hg<sup>2+</sup> 的 ，大于 ，上  
 Hg<sup>2+</sup> 的 ，至是 汞  
 0 于 ，定，  
 的 型 物，和 的 层空  
 的 型 物。



上 3、3 2、3 3  
 的 物，的 的 型  
 物 汞 的 和空 的  
 使 定，至  
 ，汞 层  
 定 ，所以 空 的  
 型 物。

物的 平衡 [21-22]，  
 HgCl<sub>2</sub> 的汞逐 如





### 3 结论

3.1  2 00

 2 ,  2  2  2  2 ,  
 ,  2 ,  
 ,  
  2  2  2

 2  
3.2  2 ,

 2  
·% , 0°C 0°C ,  
·%

 2 , ,  
( . 0 0.0 ) .

3.3  2 ,



- control options for coal-fired power plants [J]. Fuel Processing Technology, 2003,82(2/3):89-165.
- [20] 阮长超,胡 辉,黄 浩,等.氯酸盐系列湿式氧化  $Hg^0$  的影响因子实验研究 [J]. 环境工程, 2017,37(11):76-81.  
Ruan C C, Hu H, Huang H, et al. Research on the impact factors in wet oxidation of  $Hg^0$  by chlorate series [J]. Environmental Engineering, 2017,37(11):76-81.
- [21] 大连理工大学化学研究所. 无机化学 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2006:618-630.  
Department of Inorganic Chemistry, Dalian University of Technology, Inorganic Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006:618-630.
- [22] 孙 伟, 化学 [M]. 化学工业出版社, 2005:236-240.  
Sun W Y, Coordination Chemistry [M]. Chemical Industry Press, 2005:236-240.
- [23] 张 志, 王 静, 沈 琳. 氯离子对湿法烟气脱硫工 的影响 [J]. 工 安 与 环 境, 2009,11(35):28-29.  
Zhang Z W, Jing W J, Shen L F. Effect of Chloride Ion Concentration on wet Limestone Gypsum Desulfurization Technology [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2009,11(35):28-29.
- [24] 立 余亮, 许 立, 等. 氯、 氟离子对烟气中汞 态和 的影响 [J]. 电 力 工 程 技 术, 2014,10(43):16-19.  
Yin L B, Yu L Y, Xu Q S, et al. Effect of Chlorine and Fluorine Elements on Mercury Species and its Distribution in Flue Gas [J]. Thermal Power Generation, 2014,10(43):16-19.
- [25] Sheng-Yu Liu, Li-chao Nengzi, Bin Qu, et al. Simultaneous removal of elemental mercury in aqueous by oxidation [J]. Environment Engineering Science, 2010,27(4):323-327.
- [26] 王 立, 许 立, 等. 过硫酸钾对 WFGD 系 中气态汞的氧化除性能的影响 [J]. 中 国 大 学 学 报, 2016,4(45):794-798.  
Wang L P, Xu R W, Tian L J, et al. Effect of  $K_2S_2O_8$  on oxidation and removal of gaseous mercury in wet flue gas desulfurization [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2016,4(45):794-798.
- [27] 赵 立, 齐 明. 氧化法 除燃煤烟气中  $Hg^0$  技术的研究 [J]. 化工环 境, 2018,3(38):256-260.  
Zhao Y, Qi M. Review on removal of elemental mercury from coal combustion flue gas by oxidation progress [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2018,3(38):256-260.
- [28] 傅 立, 赵 立, 姚 立, 等. 燃煤烟气脱汞技术研究 [J]. 电 力 工 程 技 术, 2017,46(6):1-5.  
Fu K L, Zhao T W, Yao M Y, et al. Mercury removal technology for coal-fired flue gas: research progress [J]. Thermal Power Generation, 2017,46(6):1-5.

作者简介: 能子礼超(1988-), 男, 安徽人, 工程 师, 硕 士 学 位, 大 气 污 染 控 制 与 化 学 工 程 研 究 所 研 究 员, 40 余 篇 论 文 发 表 于 中 外 各 类 刊 物。

## 《中国环境科学》再次获评“RCCSE 中国权威学术期刊(A+)”,位列学科榜首

《中国环境科学》在武汉大学中国科学评价研究中心发布的第四届中国学术期刊评价中获评“RCCSE 中国权威学术期刊(A+)”。中国学术期刊评价按照各期刊的期刊学术质量和影响力指标综合得分排名,将排序期刊分为 A+、A、A-、B+、B、C 6 个等级,评价的 6201 种中文学术期刊中有 316 种学术期刊获评权威期刊(A+),A+为得分排名前 5%的期刊。此次获得“RCCSE 中国权威学术期刊(A+)”称号的环境类期刊有 3 种,《中国环境科学》在环境科学技术与资源科学技术学科内荣登榜首。