

清華大學燃料綜合利用試驗電廠叢書

第 9 冊

鍋爐水處理的土化

電廠建設者集體編寫



水利電力出版社

內 容 提 要

本書根据建厂过程中的許多实验和六种設計方案的比較，提出了采用石灰-草灰(碱)处理系統，最为經濟，效果也好。書中对这种水处理系統的布置和水处理设备的構造以及施工方法等，均有詳細敘述。

本書供农村中小型火电厂水处理設備施工人員和运行人員閱讀。

清华大学燃料綜合利用試驗电厂叢書

第 9 册

鍋爐水处理的土化

电厂建設者集体編写

*

1619R340

水利电力出版社出版(北京西郊科學路二里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

国家統計局印刷厂排印

新华書店发行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * $\frac{1}{16}$ 印張 * 14千字

1958年11月北京第1版

1958年11月北京第1次印刷(0001—20,100册)

統一書号: 15143·1263 定价(第9类)0.10元

目 录

第一章	概述.....	2
第二章	石灰—草灰水处理系统.....	2
第三章	石灰—草灰水处理设备的土化.....	12
第四章	对石灰—草灰水处理的評價.....	20
附 录	碱度、硬度的測定.....	21

第一章 概 述

鍋爐給水的品質是否合格乃是發電廠安全和經濟運行的重要條件之一。鍋爐給水如果不經處理，必然會使爐管結垢、腐蝕，因而影響電廠的安全運行，在嚴重的情況下（例如水管爆破），甚至會造成設備事故和人身事故。所以，發電廠鍋爐用水一定要經過處理，去掉水中的懸浮雜物和硬度。

清華大學燃料綜合利用試驗電廠的水源是電廠東面一條小河的河水，建廠時對河水的品質曾根據目前廣泛採用的幾種水處理方法，如鈉離子交換法等六種方案，進行了技術上和經濟上的詳細比較，並做了多次實驗，最後決定採用石灰—草灰（鹼）處理系統。採用這種水處理系統，每個設備、管路和閥門都可能做到土化。因此，對於農村小型火電廠來說，採用這種水處理系統是最經濟的，也是切實可行的。在這本小冊子里，將對農村小型電廠水處理系統的選擇和建造提供一些參考資料。

第二章 石灰—草灰水處理系統

一、水中的雜質

天然水不管取自什麼水源，都含有各種溶解物（鹽類、氣體）和不溶物質（懸浮物）。

在土壤中，發生有機物的氧化過程，消耗氧氣，產生

二氧化碳，所以經過土壤層的地下水，常含有一定量的二氧化碳。水經過土壤層過濾后，即溶解它所遇到的礦物質。沉淀的岩石例如石灰石、白云石、粘土、石膏等，特別容易增加水中溶解物的濃度。

食鹽、硫酸鈉、氯化鈣等鹽類最易溶于地下水中，而鈣、鎂的碳酸鹽也常常出現于各種岩層中，所以水中或多或少含有重碳酸鹽。

水中含有硬度是因為水中溶有結垢物質——鈣、鎂等鹼土金屬的鹽類。暫時硬度的產生是由于水中含有鈣、鎂的重碳酸鹽，永久硬度的產生是由于水中含有鈣、鎂的氯化物、硫酸鹽、矽酸鹽等。總硬度為暫時硬度與永久硬度之和。

暫時硬度可用煮沸法去掉，而永久硬度則當水煮沸時，並不發生變化。

水中的鹼度是由水中含有的 OH' ， CO_3'' ， HCO_3' 引起的，大多數情況下水中 HCO_3' 鹼度和它的暫時硬度相同。

硬度和鹼度的單位都用德國度($^{\circ}\text{G}$)，即相當于在一公升水中包含有10毫克 CaO 的鈣、鎂離子。

二、水源和水質情況

清華大學燃料綜合利用試驗電廠附近有下面幾個水源：

(1) 河水 受附近化學試劑廠排污水及本校醫務所和學生宿舍排污水的影響，水質很不穩定，且因水中含有金屬雜質，硬度很難測出，鹼度則為 19°G (德國度)。

(2) 廟前井水 由于井淺，水量不足，且為民用水，總硬度為 20.8°G 。

(3) 廟后井水 很髒，水質差，總硬度為 34°G 。

(4) 泉水(深井水) 水質穩定, 水温随季节而产生的变化不大, 总硬度为 13.8°G 。

根据上面的分析来看, 河水的質量是不能滿足鍋爐給水的要求的, 最后还是决定在庙內西偏殿南打一35公尺深的井。新井的水質和泉水很相近, 全硬 $\sim 13.8^{\circ}\text{G}$, 暫硬 $\sim 12.8^{\circ}\text{G}$, 水質穩定。

三、系統概述

本系統被处理水的流动路綫是:

井水 $\rightarrow$ 生水泵 $\rightarrow$ 配水溢流水箱

{	被处理的生水
	草灰溶液箱 $\rightarrow$ 注葯器
	石灰溶液箱 $\rightarrow$ 石灰飽和器

$\rightarrow$ 加热混合池 $\rightarrow$ 沉淀池 $\rightarrow$ 軟水池 $\rightarrow$ 給水池 $\rightarrow$ 給水泵 $\rightarrow$ 鍋爐。

系統各設備的簡單說明:

井: 水源;

生水泵: 吸井水井打入溢流箱中;

配水溢流箱: 分水流到生水管和加葯水管中, 并控制此箱中的水位;

草灰溶液箱: 溶解草灰并使其达到飽和;

石灰飽和器: 使石灰溶液达到飽和, 維持濃度不变;

加热混合池: 生水和葯液混合并被蒸汽加热到 $80-90^{\circ}$ 以加快化学反应作用;

沉淀池: 沉淀下悬浮物, 除掉硬度;

軟水池, 給水池: 貯存軟化水以供鍋爐之用;

給水泵: 把軟化水打入鍋爐中。

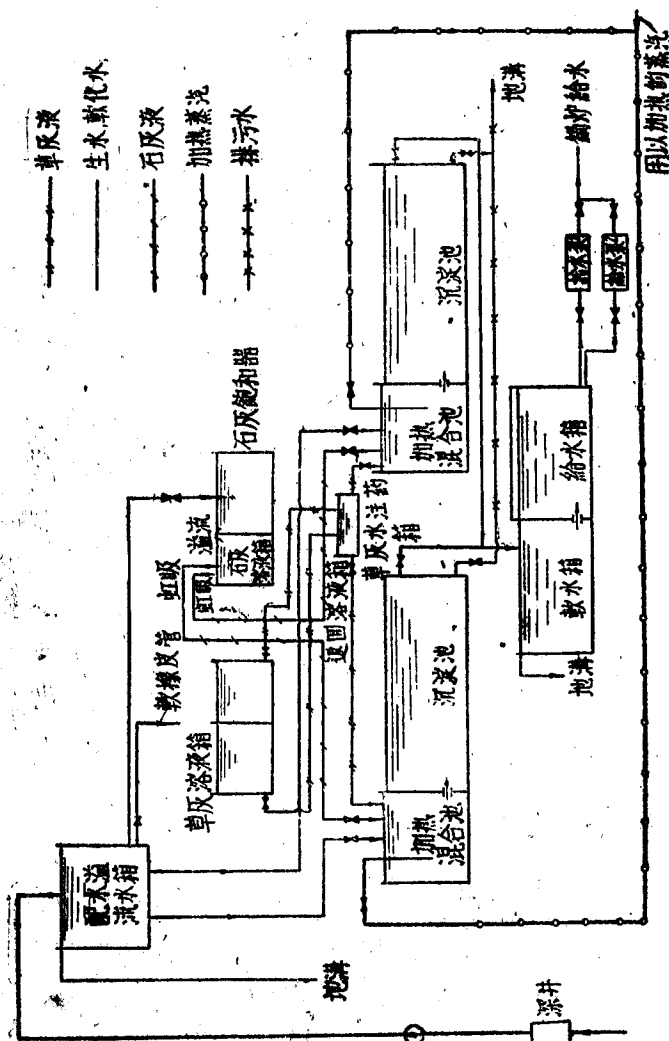
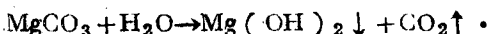
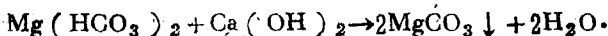
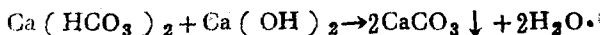


圖 1 石灰—草灰水處理系統圖

四、石灰—草灰处理的基本原理

加石灰 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 主要是除掉生水中的暂时硬度 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 使其变为难溶的 CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 而沉淀。



为了使软化进行的比较完全,水中应保持 $0.5 \sim 1.0^\circ\text{G}$ 的石灰。

除了水中永久硬度可加碱或草灰外,目前农村小型火电厂尤以加草灰为合适(因草灰来源方便、经济)。分析结果,草灰水含有 $\text{CO}_3^{''}$ 和 OH' 离子,而碱液也是含有 $\text{CO}_3^{''}$ 离子的,所以二者作用很相近,而草灰既便宜又好找,所以,农村小型火力电厂的补充水处理,还是用石灰—草灰的土办法处理比较好。

石灰—碱处理一般最好的效果(加热到 100°C) 是残余硬度可降到 0.8°G , 用石灰—草灰处理的结果也与此相近。

五、处理水量,石灰—草灰的加入量和加热用蒸汽量的计算

1. 补充水量(处理水量)的确定:

(1) 化工车间用汽 140 公斤/时; (2) 抽汽器用汽 360 公斤/时; (3) 厂内损失蒸汽占新蒸汽量的 3.5%, 约 600 公斤/时; (4) 汽动给水泵用汽 1000 公斤/时; (5) 抽烟气喷咀用汽 2000 公斤/时; (6) 锅炉排污量 500 公斤/时。

水处理总的生产量等于 $1.2 \times$ 各项损失的总和 (以上五項都是回收不了的) = 5.5 吨/时。1.2 为安全系数。

2. 处理水加热用蒸汽量計算:

因汽动給水泵乏汽的含油量和压力較低, 要用它时, 就要加除油器, 并提高汽动給水泵的背压, 这样就会降低汽动給水泵的出力。另外, 抽汽器的排汽也因背压低、汽量少而不能加以利用。本系統所采用的加热蒸汽是 4 大气压的汽机撤汽 (其饱和蒸汽的焓 (i'') 为 640 大卡/公斤)。

假設需用汽量为 X , 根据热平衡

$$X \cdot i'' = D_{gb} (t_{100} - t_{20}) \text{ . 式中 } D_{gb} \text{ 为补充水量。}$$

$$X \cdot 640 = 5.5 \times 1000 (100 - 20),$$

$$X = 690 \text{ 公斤/小时。}$$

即在补充水量 (D_{gb}) 为 5.5 吨/时的情况下, 要把水由 20°C 加热到 100°C , 需用 4 大气压蒸汽 690 公斤/时。

3. 石灰, 碱加入量的計算說明:

(1) 从理論上来分析, 石灰、碱的加入量为:

$$S_{cao} = S_{ca(\text{oh})_2} = (X_K + X_{Mg} + X_{\text{co}_2} + 0.35)$$

毫克当量/公升。

$$G_{cao} = \frac{S_{cao}}{K \times 10} \cdot 28 \text{ 公斤/吨一水。}$$

$$G_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{(X_{H} + 1)}{K \times 10^3} \times 53.$$

X_K —— 暂时硬度; X_{Mg} —— 鎂的硬度;

X_{co_2} —— 水平游离二氧化碳的含量;

0.35 —— 保証水全部軟化的石灰过剩量 (經驗数据);

K —— 工業用石灰或碱的純度;

$\text{Ж}_\text{в}$ ——永久硬度； 53—— Na_2CO_3 的当量数。

(2) 实际上应加入的石灰碱的数量：按照理論上的数量加入后，应調整一下，得出最合适的石灰、碱的加入量，以后的运行就可按照这个加入量加入石灰和碱。

六、石灰—草灰水处理实验的分析

1. 实验目的：为了更进一步土化，降低运行費用，我們决定用草灰来代替碱 (Na_2CO_3)。由于此种方法是一个新方法，所以，在采用之前曾作过多次的試驗。

2. 实验方法：首先根据每公升水中理論石灰的加入量，把石灰配制成飽和溶液，加入石灰后，应不断攪动，使石灰更好的溶解，而达到飽和。另外，称一公斤半稻草灰，放入布袋中，將布袋放在溶液池內，再放入一公斤生水，溶解2、3小时就可配成稻草灰的近飽和溶液。配好后，即可进行碱度測定。

应该說明，如稍微多加一些草灰，則加入同量的生水时，配出的溶液就更易达到飽和。这是因为有一定量过剩的稻草灰的緣故。应该指出，稻草灰溶液中，除含有碳酸外，还含有氫氧根 (OH')，如果配制不当，会使被处理水的碱度增加很多，这是应该極力避免的。

按照上面的作法多次測定結果是：

石灰水 $\text{OH}' = 130 \sim 140^\circ\text{G}$ 。

草灰水总碱度 $= \text{OH}' + \text{CO}_3'' = 120 \sim 140^\circ\text{G}$ 。

其中 CO_3'' 为 47°G 。

根据化验結果进行配药，配药时取250毫升生水試样，

則草灰液需加入 $V = 1 \times \frac{250}{47} = 5.32$ 毫升 (CO_3'' 无余

量)；石灰液需加入 $V' = 16.6 \times \frac{250}{136} = 30.5$ 毫升 (讓 OH' 过剩 4°G)。

計算結果是：永久硬度是 1°G ，暫時硬度為 $16.6^\circ\text{G} \sim 12.6^\circ\text{G}$ ，另加过剩 $\text{OH}' 4^\circ\text{G}$ 。

3. 實驗結果及分析：

實 驗 結 果 表

表 1

溫 度	草灰/石灰 質 量	1/5	1/4	1/4 (過濾)	1/3	1/2	条件： (1) 草灰水 118.8°G ； (2) 市， 士(過濾)，石 灰水 141°G ， OH' 过剩 5°G ； (3) 市， 士，石灰水分 別為 129°G ， 135°G ， OH' 过剩 3°G 。
室 溫	硬度	10.41°G		11.2	5.88	4.86	
	碱度	7.83°G		13.45	12.6	—	
50°C	硬度	4.21	5.9	6.82	—	—	
	碱度	6.72	5.7	14.5	—	—	
70°C	硬度	2.32	4.35	4.05	—	—	
	碱度	5.04	7.87	9.5	—	—	
100°C	硬度	0.847	0	0.82	1.23	1.31	
	碱度	5.32	12.87	9.51	10.6	9.5	

(1) 加熱溫度越高，殘余硬度越小，碱度也越小。

(2) 稻草灰同樣的溶解時間，若 OH' 过剩量不同，則水處理效果也不同。實驗證明，有一最有利的 OH' 过剩量。

(3) OH' 过剩量相同，則溶解時間越長，處理效果越好。

(4) 一般說來，加熱後冷卻一定時間，水質會更好些。

(5) 加熱後冷卻時間相同，則溫度較高效果較好。

(6) 石灰—草灰有一定的配比关系。

最后还应该说明，稻草燒的程度不同，草灰的質量也不同。所以，当采用石灰—草灰时，建議参考本实验重新作一下实验。

表 2

过水 剩OH'	停留 時間 質	半 小 时	一 小 时	二 小 时	三 小 时
3°G	硬度	7.49	7.37	6.82	6.0
	碱度	10.1	11.4	8.97	8.41
5°G	硬度	8.19	7.49	6.55	5.73
	碱度	8.43	7.78	7.21	10.12
6°G	硬度	8.66	6.84	6.28	5.3
	碱度	13.44	11.76	11.21	10.64
7°G	硬度	8.25	8.2	6.28	6.28
	碱度	13.44	14.76	11.77	7.13

表 3

溫 度	过水 剩OH' 質	4°G	6°G	8°G	12°G	15°G
100°C	硬度	2.79	2.16	2.28	3.3	4.57
	碱度	6.15	5.03	5.6	6.16	8.96
冷一小時后	硬度	2.58	2.03	2.28	2.28	3.53
	碱度	5.04	5.03	4.76	5.6	7.87

表 4

时 間	溫 度 水 質	室 溫	50°C	60°C	70°C	100°C
当 时	硬度	10.4	6.45	5.9	4.46	2.46
	碱度	16.25	7.27	8.95	14.57	4.48
停一小時后	硬度	5.46	4.36	4.10	2.8	1.1
	碱度	—	—	6.16	4.76	3.36

七、系統运行中的維護和調整

用石灰—草灰（碱）可处理暂时硬度和永久硬度成任何比例的水。石灰主要是除掉暂时硬度，草灰（碱）主要是除掉永久硬度；当加热到100°C时，石灰—碱处理的最小残余硬度为0.8°G，石灰—草灰处理系统的結果大致和它相同。

运行中应当注意的事項：

1. 利用实验中所确定的最有效的石灰—草灰配比加药；

2. 运行中应使石灰—草灰溶液都达到饱和，以維持濃度不变，这样就可以使处理后的水质不变。必須說明，石灰液达到饱和比較容易，但碱液要达到饱和却較难，可讓池內的水停留較長的时间，不断攪动，維持一定多余的加药量等方法来使它达到饱和。

3. 用草灰代替碱后，必須注意石灰—草灰不能同时加入水中，以免产生膠体；若产生膠体时，就要用明矾来破坏或過濾，这样既麻煩又不經濟，应当注意。

4. 运行时，在混合加热水池中，应維持水温在 80—90°C，以使化学反应加快；温度的控制可用調正加热蒸汽路上的閥門来达到。

5. 沉淀池应維持一定的清水層，为此，要定期进行排污。

第三章 石灰—草灰水处理设备的土化

一、设备的技术数据和所用的材料

本系统中各个水池皆用磚結構，其容量主要是根据处理水量和停留時間来决定的。表5是按生产量 5.5 吨/时計算的。

表 5

序号	名 称	單 位	計 算 公 式	結果	备 注
1	加热池				磚砌
	有效容积	立方公尺	$V' = 2 \times 1.6 \times 1.0 \times 1.6$ (長×寬×高)	5.12	二个水池 的容积
	加热時間	小时	$t' = V'/5.5$	0.933	
2	沉淀池				磚砌
	有效容积	立方公尺	$V' = 2 \times 5 \times 1.6 \times 1.6$	25.6	二个水池 的容积
	沉淀時間	小时	$t' = 25.6/5.5$	4.65	
3	石灰加药池 的有效容积	立方公尺	$V' = 1.2 \times 0.57 \times 0.68$	0.465	磚砌

續表 5

序号	名 称	單 位	計 算 公 式	結 果	備 注
4	石灰飽和池				磚砌
	有效容積	立方公尺	$V' = 1.2 \times 0.985 \times 1.26$	1.48	
	(原水硬度為 13.8°G , 設 Mg 硬 7°G , 余量 4°G , 按石灰/草灰 = 4/1 配葯)				
	所需處理水硬度	$^{\circ}\text{G}$	$H = 13.8 + 7 + 4$	25	
	石灰處理掉硬度		$25 \times \frac{4}{5}$	20	
	所需石灰加葯量	公斤/噸水	$G_{\text{cao}} = \frac{20 \times 10}{10^3}$	0.2	
	一小時石灰消耗量	公斤/小時	$G_{\text{cao}_q} = 5.5 \times 0.2$	1.10	
	石灰溶解度	公斤/公尺 ³	($t = 20^{\circ}\text{C}$)	1.6	
	石灰液消耗量	公尺 ³ /小時	$V[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 1.1/1.6$	0.625	
	石灰飽和時間	小時	$t = 1.48/0.69$	2.28	
5	草灰溶液池				磚砌
	容積	公尺 ³	$V = 0.78 \times 1.2 \times 0.43$	0.402	
	加葯量	公尺 ³ /時	$G_{\text{草灰}} = \frac{1}{2} V \text{Ca}(\text{OH})_2$	0.172	

續表 5

序 号	名 称	單 位	計 算 公 式	結 果	备 注
	工作周期	小时	$\tau = 0.402 / 0.172$	2.34	
6	軟水箱連通給水箱				磚砌
	給水箱容積	公尺 ³	$V = 17.6 \times \frac{20}{60}$ (按20分鐘流量算)	5.85	17.6 = 16 × 1.1 1.1为安 全系数
	水箱总有效容積	公尺 ³	$V_{总} = 3.0 \times 1.5 \times 0.6$	11.7	
	軟水箱有效容積	公尺 ³	$V_{软} = 11.7$	6.3	
	軟水停留時間	分鐘	$t = \frac{6.3}{4.5} \times 60$	84	

二、如何解決补充水源及取水方法

实际工程証明，在泉边把井打到一定深度后（70—90公尺），水即可从井口噴出，若接一鉄管豎在井口，則可把深井水引到3~5公尺的高处（清华大学西門外已有此例），这样就可以不用泵而直接把水引到加药池和混合加热池中。

应当說明，如果用河水作水源，水量夠，水質也較好，則可把河水直接引到水处理系統（需要水泵）。这样可以节约施工量和施工投資。假若河水、井水皆有，而且都可以作水源时，則要經過技术經濟比較，最后确定。在沒有可能采用自流井的地区，可先考虑用水車或木制水压机来代替水泵；至于采用何种型式的水压机或水車，可根

据当地具体条件,参考全国农具展览会样品进行制造。在处理水量小于10吨/时时,这种作法是完全可能的。这样做,不仅可以解决县、人民公社做水泵和电动机的困难,而且可以节省投资五、六倍。所以,在农村小容量电厂中,不能用自流井时,可考虑用手摇水压机或水车代替水泵的方案。

三、管路閥門的土化

我厂水处理系统中的生水管、加药管、溢流管、加热蒸汽管都是用金属管;软水管、洩水管是用缸瓦管;系统的6个閥門都用自来水閥門。总的說来,方法还是不够土化的,但我们认为有进一步土化的可能,提出来作为参考。

1.在南方盛产竹子的地区,可考虑用竹管代替钢管。接头可考虑用钢管弯头、橡皮管或帆布管。必须指出,竹管在烈日下会晒裂,可在竹管上紮上几根铁丝,或用其它方法解决。

2.用可调节的木夹、竹夹、铁丝夹来代替閥門,这样就要求安装夹子处的管子应当是软的(橡皮或帆布的),当然,这样调节的精确程度是较差的,但在缺少自来水閥門的情况下,而且是对水质的要求不太高时,还是可以考虑采用的。

3.只要场地许可,各种池子标高可做的不等,根据需要维持容量,改变池子的面积或高度,这样就可以利用各池水位的高低不同产生自流的方法来解决水流的问题,这也是省管路、省閥門的一个办法。

四、用磚代管鋼板作水池的方法

在目前我国鋼材还比較缺乏的情况下,用鋼板作的