

A. B. 赫魯多夫著

热水供应

中国工业出版社

本书系根据苏联国立建筑书籍出版社1957年出版的赫魯多夫 (А. В. Хлудов) 著“热水供应”修訂第四版譯出。书中介紹了設計热水供应系統所用的耗热量及耗水量的計算方法。列举各种热水供应系統, 以及各主要构件的結構和選擇方法。同时也闡述了首次发表的經著者所研究的循环水和水箱蓄水計算等有关理論問題。本书最后专用一章列举出各种最合理的热水供应系統的計算实例。

本书可作为从事卫生技术的研究、設計和施工管理工程技术人员参考, 也可供高等学校教师及学生参考。

А. В. Хлудов

ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

(Издание 4-е переработанное)

Госстройиздат

Москва 1957

* * *

热 水 · 供 应

李孟銘 赵廷元 宋宏光 譯

李孟銘 赵廷元 校

*

建筑工程部編輯部編輯 (北京西郊百万庄)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店經售

*

开本850×1168 $\frac{1}{32}$ · 印張15 $\frac{1}{8}$ · 插頁1 · 字数400,000

1963年9月北京第一版 · 1963年9月北京第一次印刷

印数0001—1,470 · 定价 (10-7) 2.55元

*

統一书号: 15165 · 2190 (建工-309)

目 录

第一章 水的净化概述	(1)
1.热水供应用水的水质要求	(1)
2.降低水硬度的软化处理方法	(8)
3.降低含氧量的水处理方法	(12)
第二章 热水供应系统的热源	(20)
1.利用烟气加热水	(20)
2.利用煤气加热水	(22)
3.利用蒸汽和热水加热水	(23)
4.利用电力加热水	(23)
5.利用废热	(27)
6.利用潮湿空气或低温烟气加热水	(30)
7.利用太阳能加热水	(33)
第三章 热水器和煮水器	(34)
1.最简单的临时加热水的装置	(34)
2.燃烧固体燃料的浴室温水速热器	(41)
3.局部煤气热水器	(44)
4.燃烧固体燃料或利用蒸汽加热的煮水器	(54)
5.燃烧煤气的煮水器	(60)
第四章 热水供应系统的图式	(65)
1.系统的分类	(65)
2.能量不大的局部热水供应系统	(66)
3.直流式系统	(72)
4.有几个热源的热热水供应系统	(75)
5.带有敞开式蓄水箱和箱内装有蛇形管的热热水供应系统	(77)
6.用新汽加热水的热热水供应系统	(80)
7.图式5~8容积的计算特点	(85)

8. 利用热水鍋炉的浴室热水供应系統	(86)
9. 現代化的联合浴室洗衣房的热水供应系統	(89)
10. 住宅用的热水供应系統 (帶有蓄水箱)	(92)
11. 由热管网供热的系統 (无蓄水箱)	(99)
12. 在櫥樓裝有敞開式蓄水箱的住宅热水供应系統	(101)
13. 帶有充水水泵和低位蓄水箱的系統	(105)
14. 工业企业淋浴裝置的热水供应系統	(117)
15. 直接配水的热水供应系統	(119)
16. 热水供应的用戶与热水管网的連接 (封閉式系統)	(126)
17. 关于选择住宅热水供应系統的若干意見	(134)
第五章 热水供应系統的零件	(136)
1. 敞開式热水蓄水箱	(136)
2. 水在敞開式水箱內加热	(142)
3. 密閉式大型預热器	(147)
4. 快速預热器	(158)
5. 管网	(168)
6. 配件	(170)
第六章 热水各种参数的測量和調节方法	(189)
1. 检测仪表	(189)
2. 流量的測量	(193)
3. 自动調节仪表	(197)
4. 热水溫度的調节	(203)
5. 加热器发热量的調节	(211)
第七章 热水供应耗热量的确定及耗水量	
和耗热量曲綫图	(212)
1. 热水供应系統計算图式	(212)
2. 計算耗热量及热水計算溫度选择說明	(214)
3. 耗水量和耗热量曲綫图的繪制	(219)
第八章 热水供应系統計算的某些理論問題	(244)
1. 确定蓄热箱容积和热发生器生产能力的图解法	(244)
2. 敞開式水箱中热水溫度随時間变化的确定	(260)
3. 热发生器发热量及热水蓄热箱容积的确定	(273)

4.对选择蓄水箱容积和发生器发热量有影响的因素	(283)
5.确定蓄水箱容积和热发生器生产能力的几种特殊情况	(284)
6.蓄水箱中水的冷却	(289)
7.热发生器的计算	(292)
8.在各种条件下工作的加热器终温和发热量的计算	(306)
9.混合水温度的“不均匀波动”现象	(312)
第九章 管道计算	(320)
1.连接热发生器和蓄热箱的循环水管道的计算	(320)
2.供给用户的热水管道的计算	(326)
3.在计算瞬间流量时配水栓同时使用系数的确定	(336)
4.循环水管道计算	(345)
5.水泵循环式热水供应系统的水力情况	(357)
6.重力式热水供应系统循环管网的计算	(364)
第十章 热水供应系统某些构件的计算	(375)
1.浮球龙头和阀门	(375)
2.溢水管	(379)
3.淋浴莲蓬头	(380)
第十一章 热水供应系统的计算例题	(383)
〔例题1〕设有56个座位的农村饮食店的热水供应	(383)
〔例题2〕铸造厂附设的117个莲蓬头的淋浴设备	(388)
〔例题3〕汽车库热水供应系统用的蓄水箱容积和 蛇形管发热量的计算	(406)
〔例题4〕诊疗所的热水供应(自然循环系统)	(411)
〔例题5〕30幢住宅的热水供应	(424)
〔例题6〕住宅区的中央热水供应	(431)
附 录	(447)
参考文献	(475)

第一章 水的净化概述

1. 热水供应用水的水质要求

水质对于热水供应系统具有特别重要的意义，它与上水道系统所用的水质，应该有所区别。上水道的水质应满足ГОСТ 6055-51的要求，在本书中不作研究。在本书中只叙述对热水供应系统的正常工作有着特别重要意义的水质。

大家都知道，所有上水道装置都要受到某种程度的腐蚀和被沉渣所堵塞。这种现象，在热水供应系统和装置中尤为严重。腐蚀对热水蓄水箱、加热器及管道的害处极大。此外，当冷水加热时分解出不溶解的硬度盐沉积在管壁上。这些沉渣使水管截面缩小。最后，含有大量硬度盐的水（硬水），不仅给热水供应系统带来了危害，而且也使洗衣和洗涤过程复杂化，因为水的硬度大时，普通可溶解的钾皂或钠皂要变成不溶解的钙皂；因而洗衣时就要浪费肥皂^①。

在洗衣水中，非常有害的成分为溶解于水中的碳酸氢铁 $[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2]$ 。这种盐遇到碱时，即变成氢氧化铁 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ 沉淀在衣服上，使其染成黄色锈斑。在每公升洗衣水中，允许含铁量为2毫克。

在热水供应系统中，盐的腐蚀和分解过程是非常复杂的，而且对它研究得还很少。目前我们认为，在热水供应系统中有无矿物沉渣，须看水中有无碳酸盐而定。

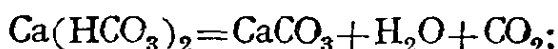
溶解于水中的氧是引起腐蚀的主要原因。水中的碳酸、游离氯、氯化盐（特别是氯化镁 MgCl_2 ）、硫化氢（ H_2S ）对热水供应系统的腐蚀比氧更厉害。例如，当 H_2S 含量为150毫克/公升

① 可以认为，在1立方米的水中每1度硬度要浪费掉120~150克左右的最上等肥皂。

时，小直径（1/2"和1"）的钢管在一年之内就被破坏了。因此，在这种情况下热水供应系统须用特别材料制造：水箱用木材制造，管子用陶瓷制造。酸性成分对金属作用很大，甚至浓度很小的碱（例如，化学净水中的碱）也能防止铁起氧化作用。

虽然钙和镁以各种不同化合物（碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐、氯化盐和硅酸盐等）的状态存在水中，但在热水供应系统中正由于有这些金属的碳酸盐，因而引起沉渣的沉淀。

在冷水中含有碳酸氢盐（重碳酸盐）状态的碳酸钙 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和碳酸镁 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 。甚至只要把冷水稍微加热，碳酸氢盐便开始变成中式盐（多价碳酸盐），并使水和二氧化碳按下列反应式进行分解：



多价碳酸盐，特别是 CaCO_3 的溶解度比碳酸氢盐小得多，它们从溶液中分解出来，大半以碳酸钙和碳酸镁所形成的硬渣状态沉淀于锅炉、热水器及管壁上。

水温在40°左右时，多价碳酸盐便开始分解，而在100°时几乎全部停止分解。

至于硫酸盐，则由于溶液温度大大地增高，溶解度降低，因而分解出石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）状态的钙盐。这种现象在温度为120~160°和压力大于5绝对大气压的蒸汽锅炉装置中表现得尤为明显。但易溶解的硫酸镁未从溶液中分解出来。

硫酸钙盐对蒸汽锅炉装置的损害程度颇大；热水供应系统的压力和温度较低，硫酸盐对它的影响则很小。因此，在水中含有碳酸盐是热水供应系统的主要危害。

水的硬度可分为总硬度，可除去的硬度（暂时硬度）和永久硬度。

总硬度相当于一般生水的硬度。暂时硬度是生水硬度的组成部分，在水煮沸后就消失了。它相当于水煮沸后分解出来的那部

分溶解于水中的碳酸氢盐的含量。

永久硬度是开水固有的硬度，亦即暂时硬度盐分解后的剩余硬度。它由可溶解于水中氧化物 CaO 和 MgO 的含量表示，但煮沸后又以不分解的状态存在水中，主要如硫酸盐，氧化盐及少量的碳酸盐，磷酸盐和硅酸盐等。

为了阐明硬度盐的关系，在图 1 内列有水的硬度盐关系图。

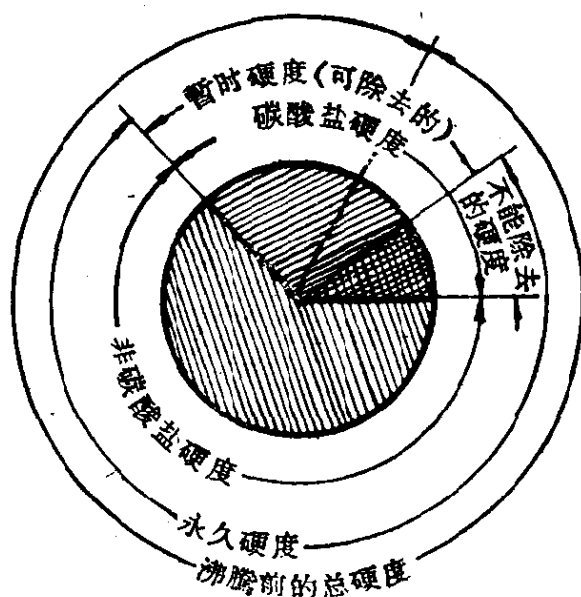


图 1 水的硬度盐关系图

因为氧化镁和氧化钙 (MgO 和 CaO) 的分子量不同，亦即氧化镁的分子量为 $24+16=40$ ，而氧化钙的分子量为 $40+16=56$ ，在水的软化反应过程中，1 克 MgO 比 1 克 CaO 多化合到 $\frac{56}{40}=1.4$ 倍的试剂。

所以，当确定水的硬度时，必须进行换算，求出该水的单位硬度的总值。这种换算是假定换算。根据 ГОСТ 6055-51 规定，以 1 公升水含有 1 毫克当量的 CaO 或 MgO 的硬度作为硬度单位；1 毫克当量/升相当于物质数量（毫克/升），物质数量则相当于物质分子量除以化合价。因此硬度单位为：

按 CaO ：

$$1 \text{ 毫克当量/升} = \frac{\mu_{\text{CaO}}}{2} = \frac{56}{2} = 28 \text{ 毫克/升};$$

按 MgO ：

$$1 \text{ 毫克当量/升} = \frac{\mu_{\text{MgO}}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ 毫克/升},$$

式中 μ —— 相应的分子量。

因而，如果 1 升水含有 65 毫克 CaO 和 35 毫克 MgO ，则水的总

硬度为:

$$\frac{65}{28} + \frac{35}{20} = 2.31 + 1.75 = 4.05 \text{ 毫克当量/升。}$$

过去, 在ГОСТ 6055-51未批准之前, 硬度的测定单位用度表示。每1度硬度是表示在1公升水中含有10毫克(1厘克)CaO或 $\frac{10}{1.4} = 7.15$ 毫克(0.715厘克)MgO。假设水中含有 a 厘克/升的CaO及 b 厘克/升的MgO, 则硬度值等于:

$$H^{\circ} = a + 1.4b。$$

因而 $H^{\circ} = 6.5 + 3.5 \times 1.4 = 11.4^{\circ}$ 。

若要把单位硬度按ГОСТ换算成硬度值, 必须将毫克当量/升乘以2.8, 即 $H^{\circ} = 4.05 \times 2.8 = 11.4^{\circ}$ 。

只要更详细地研究热水供应系统中的氧腐蚀现象, 就可以知道腐蚀对热水供应系统的危害是如何之大。

一般冷水中所饱和的氧气, 不得超出水表面大气压力和水温所允许的范围。当空气压力为760毫米水银柱时, 在 $t = +5^{\circ}\text{C}$, $+15^{\circ}\text{C}$, $+25^{\circ}\text{C}$ 和 $+70^{\circ}\text{C}$ 的水中 O_2 的最高含量分别为13, 10, 8和5克/立方米; 因此, 在一般冷水中含氧量常为9~13克/立方米。

腐蚀生成物是由氧化铁组成的。关于在热水供应系统中腐蚀如何反应这一问题, 至今尚未弄清楚, 还在争论中。大多数学者认为, 在腐蚀过程中, 主要产生 $x\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot y \cdot \text{H}_2\text{O}$ 式的氧化物, 即氢氧化铁。在这种氧化物中, 每1克氧需要2.62克铁。在热水供应系统供水过程, 如果在最初含氧量为10克/立方米的水中, 只反应25%的游离氧^①, 那么由于1立方米水腐蚀的结果, 将使铁消失去 $10 \times 2.62 \times 0.25 = 3.31$ 克。

在大型住宅(平均每昼夜用水量为150立方米)的热水供应

① 莫斯科动力管理局在做回水分析时, 发现热电站补水中含有2.5克/立方米的氧气全部消失了。

系統中，每天由于腐蝕而使金屬破壞竟達 $3.31 \times 150 = 495$ 克之多。每年損壞 $360 \times 0.495 = 177$ 公斤金屬，等于破壞直徑 $3/4$ " 的鋼管 110 米。

應該指出，最傷腦筋的並不是一般的金屬破壞，而是集中于個別地段或個別地點的局部強烈的腐蝕。這種有害的腐蝕過程常常使整個熱水供應系統突然損壞。

對於熱水供應系統中的腐蝕現象，還沒有進行過十分仔細的觀察和得出適當的結論。只可以指出，熱水的壓力愈大，溫度愈高，則腐蝕效應也愈高。特別是大型熱水器的蛇形管遭受破壞尤為厲害。熱水器本體受腐蝕則相當小。

熱水流速也會影響到與水接觸的蛇形管內表面受腐蝕；在大型熱水器中，水很少流動，氧氣泡長久與管表面接觸，因而在這些地方就產生《潰瘍》現象。

在開啟式水箱中，加熱蛇形管的壽命長得多，大概是因為氧氣透入大氣中的機會較多的緣故。

但是就做出快速熱水器的壽命較長這樣的結論也是不可能的。水的硬度對腐蝕強度是否有影響？有些人認為，硬水中的沉淀鹽渣膜可以保護金屬不受腐蝕，雖然硬水會使管子弄得非常髒污，可是在腐蝕方面的危險性實際上還是較小。另外有些人不承認這種見解是正確的，因為常常有這種情況，即當管壁上發生鹽沉淀時，管道同時也開始腐蝕。

上面這些說明的只是硬度鹽的分解和腐蝕現象的梗概。實際上腐蝕現象是非常複雜的，雖然有許多關於這方面的書籍，但是截至目前為止仍未能闡明問題。

在金屬防蝕性問題的書籍中，資料還不足。其實，金屬的結構和成分的均一性對於金屬穩定性的影響是很大的。僅此就可以說明，為什麼有些熱水供應系統能順利工作 17~18 年以上時間的許多事實，而另一些熱水供應系統、構造相同，直接布置在其附近，而且也用同樣水，但為什麼又很快地損壞了（3~4 年）。研究結果表明，在上述兩種情況中都沒有雜散電流。兩種系統管

子的金屬分析大体一样，并且証明鋼材的一般质量滿足 ГОСТ 要求。

但是，金屬性能不同的事实是很明显的。显然，这是因为在制管过程中在管壁內夹杂了非金屬杂质（例如炉渣）。利用管子磨光試片进行原形照相就可以发现这些非金屬杂质，其尺寸不很大，但是在某些管子截面上它們可以一层一层地剝下来。在起层处，一方面縮小了管壁金屬厚度，另一方面出現了金屬与杂质之間的电位差。所以在这些地方可能出现穿透点状腐蝕。

應該知道，經過很好地过滤不含有机杂质的水，它受氧的損害要比含有有机杂质的水大得多。从后一种情况看来，氧是喜于参与有机杂质氧化反应，所以《不伤損》管道的金屬。例如，1933年在新查坡洛什城建造的約供 3 万人使用的热水供应系統，原水是用只經氯化而未經過过滤的德聶泊尔河水，水的硬度为 $5 \sim 6^\circ$ ，平均含氧量約为 $7 \sim 8$ 毫克/升，有机沉渣量达 $200 \sim 250$ 毫克/升。热水在中央鍋炉房內加热，沿单独双管网路送往各用戶。系統运轉曾經特別緊張。1941年曾应本书作者請求，当着作者的面把干管拆开。当时在管內只发现有不大的腐蝕痕迹和易于从金屬表面去掉的厚为 $8 \sim 10$ 毫米的褐色《凝乳块》沉渣层。采暖管道中的腐蝕和沉渣，如果說不多的話，但也不算少了。

在这里必須談一下，热水供应系統的結構对于系統耐蝕性的影响。例如，假定由于上給式管子內靜水压力較低，水的流速不很大（这两种情况会使腐蝕加剧）可分解出氧气来，因此，下給式系統的寿命比上給式系統的寿命长。毫無疑問，这种假定也有些根据。在高层房屋內，当上水道引入管中压力不足时，上給式管子內的压力低于大气压力，此时在管道接合不严密处及排气閥处就要发生抽气現象，于是便常常使管子受到腐蝕。

但是下給式系統也同样严重地受氧腐蝕。因此可以証明，氧气潰瘍作用，主要是产生在管內靜水压降低、氧气分解的时候。在这里順便提一下，有一个 8 层楼房屋的热水供应系統，它所用的金屬质量非常低，在一年半內就发生过 300 次左右的腐蝕，其

中約有70%是发生在第4~6层楼，只有8%发生在第7~8层楼。这說明氧气的侵蝕性正是产生在水压降低、氧气分解的时候。在最高一层楼內，水中《侵蝕性》氧气已經不多，因为它已在下面楼层与金屬产生反应作用了。

从上述可以知道，热水供应系統的原水在許多場合下都要求預先处理（水的净化），水的净化方法有下面二种：

- 1) 消除或降低暂时硬度；
- 2) 清除水中的氧。

水的净化通常要使热水供应装置复杂化，增加造价和提高热水的价格。所以只能在絕對必要的情况下才采取水的净化措施（即当管内或热水器內盐沉淀得特別快和腐蝕严重的情况下）。

有时更合理的是采取定期更換管道各部件的办法，以及安装备用热水器，以便于經常清洗。为了便于更換管道，應該采用必要的管子衬垫，这样才不至于破坏建筑結構和打扰房屋內的居住者。

應該指出，人們洗澡用的水，其硬度不得高于4~6°，否則对洗澡人就有不良的影响（洗不掉肥皂）。一般說来，在系統中热水消耗量愈大，对补充的冷水进行处理就愈有根据。

但是在这方面很难清楚地說明，在什么样的热水供应系統範圍內，每小时用水量多少和用什么样的原水才應該采取預先净水的措施。例如，新查坡洛什城的热水供应系統，虽然每年热水消耗量很大（900,000立方米/年），可是就沒有必要采取任何的净水措施。

另外在莫斯科一幢高楼的热水供应系統中，每年热水消耗量只有54,000立方米（亦即只有上述热水消耗量的 $\frac{1}{16}$ ），但是管子腐蝕和沉渣的生成都很快，因此必須进行水的净化。

也有在热水供应量很小的情况下，需要对原水进行净化。在頓巴斯就有这种情况，因为那个地方水的硬度为60°，甚至高达80°。應該知道，热水供应系統利用硬度这样高的水，如不經過

处理，只要3~4个星期就要停止工作。

2. 降低水硬度的软化处理方法

消除水中的硬度，可将原水中所含的碳酸氢盐转化为多价碳酸盐，由于多价碳酸盐的溶解度较低，易从水中分解出来而沉淀于水的流速缓慢的沉淀池内。

最常用的水净化方法有石灰软化法、石灰-苏打软化法及苛性钠-苏打软化法。在所有情况下，软化水装置都由许多配剂、混合药剂及澄清软水用的水箱和水池组成。图2所示为类似的软

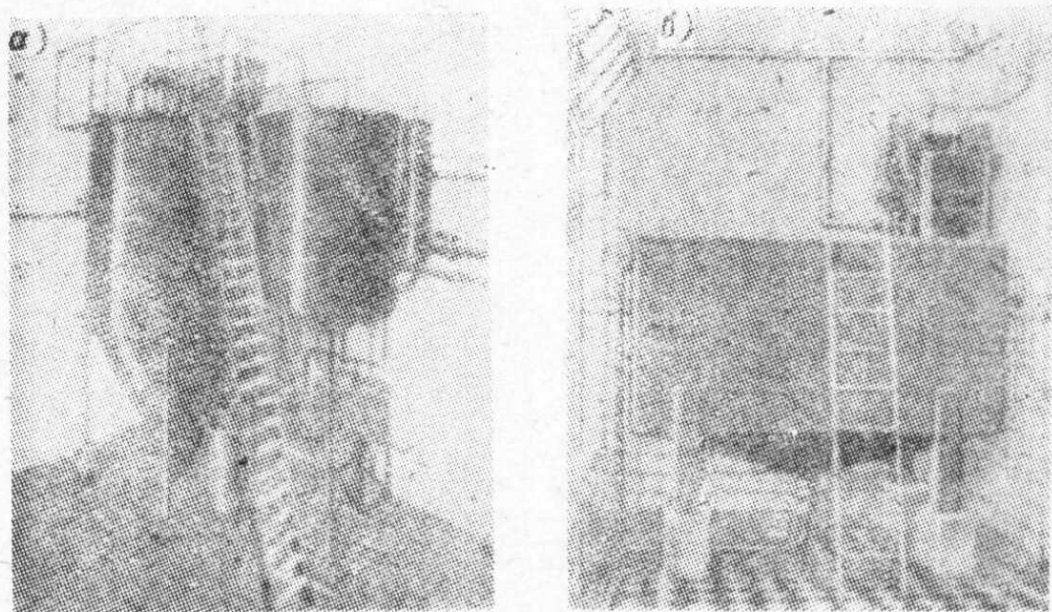


图2 石灰法软化水装置

a — 生产能力8立方米/小时；b — 生产能力3立方米/小时

化水装置，其中一台生产能力为3立方米/小时，另一台生产能力为8立方米/小时。这种装置在运转时要求经常注意检查。药剂配量要精确，送入水箱的药剂量随时都应该根据软化后的水分析进行调节。这样维护法只有当采用大型构筑物，在确有完整的化验人员编制时才有可能实现（例如火力发电厂）。据我们所知，过去只有热水供应而没有采用这种水处理的方法。

反之，也可以将全部碳酸盐（以后有沉淀危险的）转化为完

全溶解于水中的盐，或轉化为不变成硬沉渣，而只变成淤泥状态沉渣（泥渣）的盐。为此目的，在20年前曾經有人建議在水中加入磷酸三鈉（ Na_3PO_4 ），磷酸三鈉可預防蒸汽鍋炉中坚硬水垢沉淀，能促使它形成泥渣。这种方法过去在热水供应系統中也沒有采用过。在1954年，И. Э. 阿別里青萊和 Е. Ф. 佐洛托沃依曾經建議在水中加入六聚偏磷酸鈉溶液 $\text{Na}_2[\text{Na}_4(\text{PO}_3)_6]$ ，六聚偏磷酸鈉溶液不仅可以防止由水中分解出氫氧化鉄 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的褐色沉渣，降低鋼管壁的腐蝕，而且也可以預防管内沉淀碳酸鈣。这种方法的化学作用至今还没有彻底研究清楚，它曾經在莫斯科一家因「锈色」水毀坏了衣服的洗衣房中做过試驗，由于時間短，加入5~10克/立方米药剂的装置運轉結果并未能彻底判別出这种方法的效果。但是初步結果表明这种方法終究是有前途的。

最后，可以采用阳离子交換軟水法，亦即利用装有具备离子交換性能的填料过滤器把水中的总硬度盐滤出（见图3）。

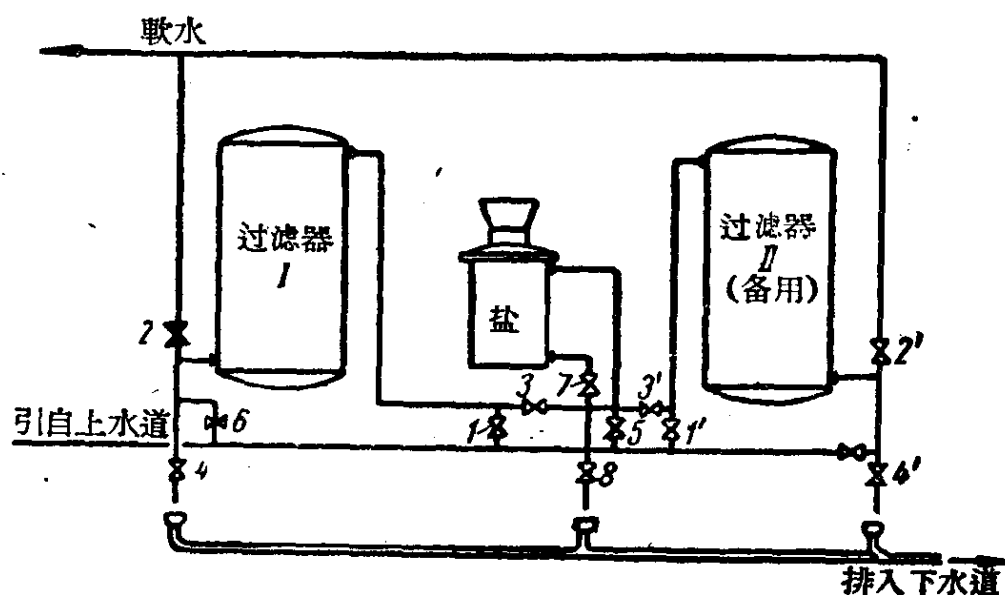


图 3. 阳离子交換軟水装置系統图

阳离子交換剂采用海綠石矿物、合成树脂、磺化煤（常用濃硫酸处理的褐煤）。現有二种阳离子交換軟水法，即鈉阳离子交換軟水法和氫阳离子交換軟水法。

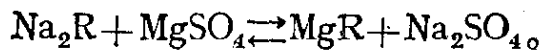
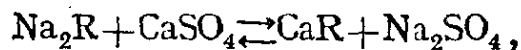
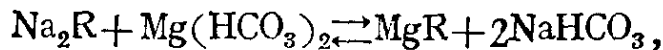
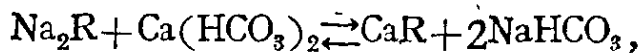
鈉阳离子交換軟水法是过滤器填料中所含的鈉被原水中决定

水硬度的碱土金属所取代。

当过滤器填料中的钙和镁开始过饱和及失去过滤能力时，可用食盐（NaCl）溶液冲洗。于是开始还原反应：被阳离子交换剂吸收的Ca和Mg分解入冲洗溶液中，随着溶液排入下水道，而Na则由食盐中分解出来进入阳离子交换剂内，还原阳离子交换剂的性能。全部还原（再生）过程可分为三个连续的工序：1）浊化，即用水由下至上通过过滤器，而后排入下水道。其目的是松动和冲洗过滤用的填料（此时打开閘閥 6、3 和 8；关闭其余的閘閥）；2）用 NaCl 溶液由上向下冲洗过滤器，使过滤用的填料还原成原来的性能。多余的溶液排入下水道（此时打开閘閥 5、7、3 和 4）；3）用净水由上向下冲洗过滤器，然后水排入下水道（打开閘閥 1 和 4；关闭其余閘閥）。其目的是冲洗掉填料中残余的 NaCl 溶液。

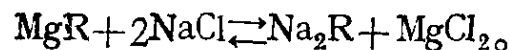
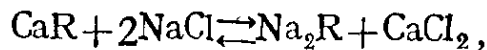
采用上述软水法时所发生的化学反应有如下式：

当软化水时：



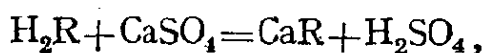
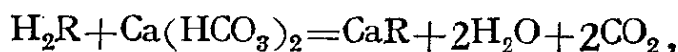
CaR 和 MgR 被过滤器挡住，而易溶解的 NaHCO₃ 和 Na₂SO₄ 则随着软水流走，因此在软水中碱度增大。

用食盐还原阳离子交换剂时：



当氢阳离子交换软水法时，阳离子交换剂不是用食盐来还原，而是用硫酸进行还原。在这种情况下，按下式软化水，而阳离子不传递给水。

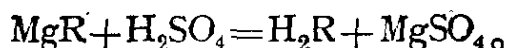
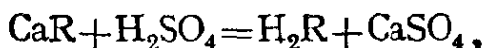
当软化水时：





在上述反应中所产生的碳酸、硫酸和盐酸使軟水略微酸化后，即由过滤器中排出。

还原阳离子交换剂时：



上述两种方法的特点是总硬度几乎全部被消除掉（它降低到 $0.05 \sim 0.1^\circ$ ）。离子交换法由于装置操作比前面三种方法简单（前面三种方法的净水器是由許多供混和药剂和澄清軟水用的配料箱和水池組合成的），所以目前在净化鍋炉水的实践中得到了越来越广泛的应用。离子交换法，是简单地使水由装有碎粒状的阳离子交换剂的过滤器中通过（压送过去）。

热水供应系統应采用鈉阳离子交换軟水法，因为在这种情况下水不起酸化作用，但利用氫阳离子交换軟水法时，水常常会起酸化作用（在軟化蒸汽鍋炉給水时，氫阳离子交换軟水法与鈉阳离子交换軟水法联合使用）。毫无疑问，在所有淨水方法中，热水供应系統最好應該采用鈉阳离子交换軟水法。过滤器的尺寸和台数，以及各设备的容积應該这样配合，即保証每昼夜还原次数不超过 $2 \sim 3$ 次。同时还必須設置备用过滤器。

計算时以阳离子交换剂容量——阳离子交换剂交换能力作根据，而离子交换能力的測量单位則以吨度/立方米表示^①。磺化煤的离子交换能力达 $800 \sim 1000$ 吨度/立方米。

热水供应系統中利用阳离子交换軟水法的缺点，不外是使部分生水越过过滤器通至旁通管来調节最終硬度，否則就无法調节，此外，这种方法的造价也特別高（軟化10吨度需要1.3公斤的食盐）。

过滤的原水应加以阳离子交换軟化。如果水未經过滤，則应在阳离子交换过滤器前还要另装石英砂过滤器。

① 吨度——是通过过滤器的水流量（吨）和水的硬度值的乘积。

鈉阳离子交換軟水裝置總系統見圖 3。圖 4 為 6~8 立方米/小時的同類裝置的外視圖，而圖 5 為 0.4~0.5 立方米/小時的小型裝置外視圖。最後選擇哪一種淨水方法可根據經濟要求確定。

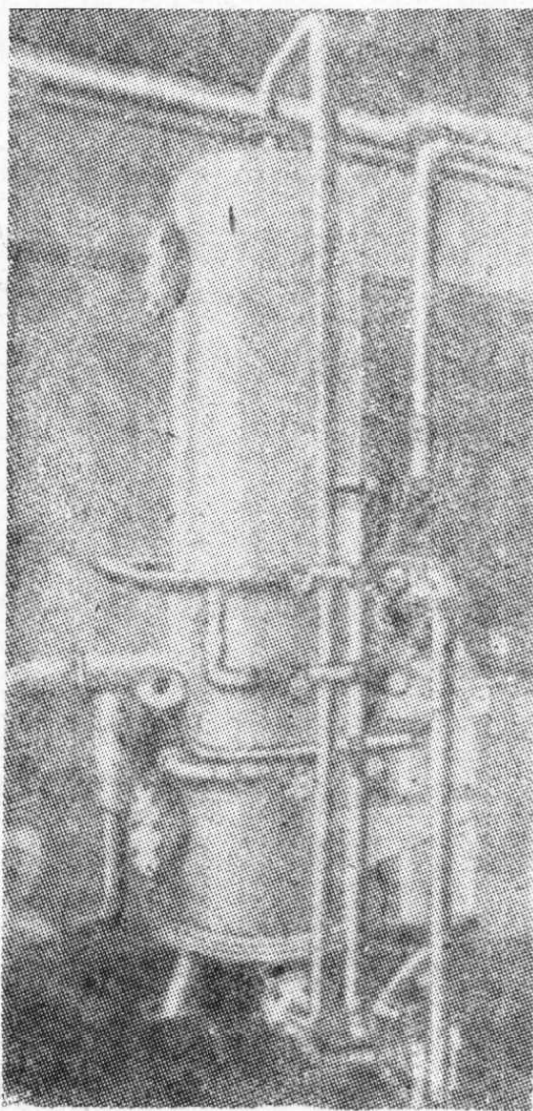


圖 4 6~8 立方米/小時的陽
離子交換軟水裝置

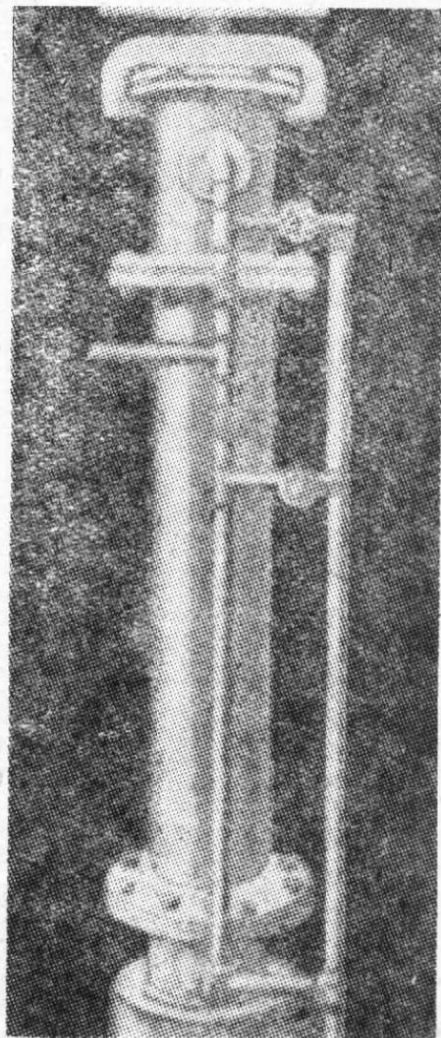


圖 5 0.4~0.5 立方米/小時
的陽離子交換軟水裝置

3. 降低含氧量的水處理方法

降低水中含氧量目前已有許多種方法。

利用亞硫酸化除氧。這種方法是在水中加入亞硫酸鈉 (Na_2SO_3) 溶液，此溶液按下面反應式回收熱水中的氧：

