

离子交换树脂软水 设计手册

(下)

图号：叁水 8001

交通部第三铁路设计院

天津 1973

目 录

第三篇 离子交换树脂 工艺

第一章 离子交换树脂	
一 种类及化学性能	3
二 物理性能	4
三 树脂类型的选择	6

第二章 离子交换树脂饮水的选型

一 影响选型的主要因素	7
二 水质对开车锅炉的影响	7
三 离子交换饮水的工艺类型及其特点	9
四 离子交换饮水的设备类型、运转方式及其特点	11

第三章 设计计算

第一节 固定床	
一 运行过程	17
二 设计计算	19
第二节 移动床	
一 交换塔	20
二 再生清洗塔(双塔式)	20
第三节 双塔连续移动床	21
第四节 重力式流动床	22
第五节 再生剂(液)用量	22
第六节 降二氯化碱塔	22

第四章 再生剂的制备和输送

第一节 再生剂的选择	25
------------	----

第二节 食盐溶液的制备	25
第三节 酸液的制备	29
第五章 实例	

第一节 固定床	33
第二节 双塔连续移动床	35
第六章 饮水所布置	

一 饮水所设备布置应考虑的主要因素	39
二 附图	

1. 饮水所总平面布置图	40
2. 移动床饮水所平面布置图	41
3. 移动床饮水所剖面图	42
4. 固定床氢钠并联平面布置图	43
5. 固定床氢钠并联剖面示意图	43
6. 固定床单钠型平面布置图	44
7. 固定床单钠型剖面示意图	44
8. 移动床氢钠并联工艺流程图	45
9. 移动床单钠型工艺流程图	46
10. 移动床单钠型工艺流程图	47
11. 固定床氢钠并联工艺流程图	48
12. 固定床单钠型工艺流程图	49
13. 固定床单钠型工艺流程图	50

第四篇 设备

第一章 阀门

一 阀门型号代表意义	53
二 分类	

1. 闸阀	54
2. 截止阀	59
3. 隔膜阀	62
4. 止回阀	65
5. 旋塞	66
6. 安全阀	69
7. 减压阀	70
8. 电磁阀	71
三、全国阀门生产厂名及其简称对照表	75

第二章 耐腐蚀泵类

§1, 非金属耐腐蚀泵

一、离心式塑料泵

1. 101、102 型塑料泵	6
2. 100、130、150 型塑料泵	10
3. FS 型塑料泵	16
4. 65 ₅ -25 型塑料泵	16
5. 3K-9 型石棉耐酸塑料泵	11
二、陶瓷耐腐蚀泵	
1. HTB ^{32/10} 耐酸陶瓷泵	19

三、环氧玻璃耐酸泵

1. FS 型	80
2. WS 型	80
四、环氧酚醛玻璃耐酸泵	82
五、玻璃泵	
BHX 型	83
六、石墨耐酸泵	84

§2, 金属耐腐蚀泵

一、F 型耐酸泵

一、FLA, FHA 型耐酸泵	85
二、FL, FG 型耐酸泵	87
三、BN 型离心式耐酸泵	90
四、PWF 型卧式离心耐酸污水泵	91
五、	92

第三章 风机及其附属设备

一、通风机	93
二、空气压缩机	101
三、除尘器	105
四、空气加热器	105

第四章 除二氯化碳塔

113

第五章 离子交换器

§1, 固定床离子交换器	115
§2, 705 型是浮树脂放水器	123
§3, 移动式离子交换设备	125
§4, 流动床离子交换设备	132

第六章 附属设备

一、食盐溶解过滤器	133
二、甲酸(盐)液罐	135
三、酸(盐)液计量箱	136
四、喷射器	137
五、浓缩槽	139

1. 普通碳钢制常压顶盖可拆计量槽系列	159
2. 普通碳钢制常压顶盖焊死计量槽系列	
受压卧式槽圆盖槽系列	162
3. 鞍式支座系列	165
4. Pgd. Pg 16 磁性浮子液面计系列	166
六. 树脂捕集器	180

第七章 仪表

§1. 压力测量仪表	
一. 弹簧式压力表	151
二. 多圈螺旋弹簧管压力计	152
三. 波纹管压力计	152
§2. 流量测量仪表	
一. 速度式流量计	153
旋翼式水表	154
水平螺旋式水表	155
旋翼式水表	155
二. 容积式流量计	
LC型槽圆齿轮流量计	157
三. 定压差式流量计	158
转子流量计	159
ZZB型玻璃转子流量计	160
四. 变压差式流量计	
1. 原理	161
2. 分类	161
（一）型变压差式流量计	

DLJ型单管式差压计	
C2-612 型钟型浮筒式差压计	
C F 浮子式差压计	165
CW 系列双波纹管式差压计	165
3. 仪表与节流装置的相对位置和导压管的安装	169
4. 差压产生器——节流装置	170

第八章 起重、运输设备

一. 手拉葫芦	173
二. 链头小车	174
三. 火车槽车	176
四. 载重汽车	177
五. 汽车槽车	178
六. 三轮汽车	178
七. 电瓶车	179
八. 手推车	179

第九章 部分设备的有关计算

§1. 喷射器	181
§2. 金属容器的设计与计算	
一. 金属容器设计的一般规定	
1. 容器设备的公称压力、试验压力和工作压力	185
2. 容器设备的公称直径	185
3. 容器设备的筒体壁厚	185
4. 公称容积	191
5. 槽圆形封头	191

5. 加强圈	199
二、设计计算	
1. 受内压操作的筒体壁厚计算	199
2. 受外压操作的筒体壁厚计算	200
3. 封头计算	201
§3. 塑料设备设计与计算	
一、硬聚氯乙烯的物理机械性能	203
二、设备设计计算	203
三、设备结构设计	205
四、设备制造、安装	209

解

三

里

工

芝

866000
111
111

第一章 离子交换树脂

离子交换树脂，是由固体的树脂本体和交换基团两大部份所组成。交换剂本体是高分子化合物和交换剂组成的高分子共聚体，而交换基团是由能起交换作用的阳（阴）离子和交换剂本体联结在一起的阳（阴）离子组成。如目前常用的磺酸型苯乙烯——二乙烯基强酸性阳离子交换树脂，它的本体是苯乙烯高分子聚合物和交换剂二乙烯基组成共聚体，它的交换基团是磺酸基（ SO_3H^+ ），其中 H^+ 是可以游离参与交换的阳离子，而 SO_3^- 是和本体联结在一起，不游离的阴离子，如果以R表示交换剂本体，则这种交换剂可以用 $\text{R}-\text{SO}_3\text{H}^+$ 表示。

一、种类及化学性能

目前常用的离子交换树脂种类及化学性能列述如下：

1、强酸性阳离子交换树脂 $\text{R}-\text{SO}_3\text{H}^+$ （磺酸型），它的本体最常见的是苯乙烯——二乙烯基的共聚体（又称苯乙烯型强酸性阳离子交换树脂）。目前国内产732*、强酸1*及强酸010属于此类，其性能如下：

(1)、该型树脂之交换基团在水中溶解度高，酸性强，对原水中阳离子都能进行吸附交换，其吸附强弱顺序为：



(2)、交换速度快，在静置状态当反应达到90%的饱和度时，只需要2分钟。如果原水水质不同，工作交换流速为10~60米。

(3)、原水pH值大小，对离子交换影响较小。

4、交换容量较弱酸性树脂小，全交换容量 $E_g = 16 \sim 2$ 毫克当量/毫升

(5)、由于吸附H能力弱，当用 HCl 、 H_2SO_4 再生时，效率低，

用较多。

2、弱酸性阳离子交换树脂 $\text{R}-\text{COO}^-\text{H}^+$ （羧酸型），国产724*、弱酸110等树脂属于此类，其功能如下：

(1)、该型树脂之交换基团在水中溶解度较低，酸性较弱（相当于有机酸），对原水中低价离子的离子吸附能力较差，但对高价阳离子较强。对阳离子吸附强弱顺序为：



(2)、交换速度慢，在静置状态当反应达到90%的饱和度时，则需要7天，因此交换流速低。

(3)、该型树脂对原水的pH值有严格要求，因pH小于6时，交换基团的离解度减小，从而降低交换容量，故适用于高硬度水处理。

(4)、化学稳定性和耐酸性都较强酸性树脂差。

(5)、交换容量大，全交换容量3.4~4.8毫克—当量/毫升

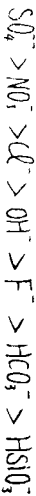
(6)、由于吸附H能力最强，当用 HCl 、 H_2SO_4 再生时效率高，用药少。

3、强碱性阴离子交换树脂 $\text{R}-\text{N}^+\text{X}^-$ （季胺型），目前常用苯乙烯型，国产711*、717*及强碱201等树脂都属于此类，其功能如下：

(1)、该型树脂之交换基团在水中溶解度高，碱性强，对原水中的阴离子都能吸附，一般吸附强弱顺序为：



当用 NaOH 再生时，生成 $\text{R}-\text{N}^+\text{OH}^-$ 型树脂，在水中吸附阴离子较强的顺序为：



(2)、交换速度快，在静置状态当反应达到90%的饱和度时，只需要2分钟。

(3)、原水pH值大小，对离子交换影响不大。

- (4)、交换容量小，全交换容量 $E_g = 1.0 \sim 1.4$ 毫克-当量/毫升
- (5)、由于吸附 OH^- 较弱，当用 $NaOH$ 再生时，比弱碱性树脂再生效率高，用药量多。

强碱性树脂又分 I、II 型两类，其功能如下：

I 型：

- (1)、碱性较强，能较彻底地除去原水中弱酸基团（如硅酸根），并且在阴离子交换树脂属 Na^+ 时，仍具备除硅能力。
- (2)、热稳定性和氧化稳定性较 II 型好，且在长期使用下，交换能力无大变动。

- (3)、当原水中 Cl^- 含量多时，则会降低交换容量。

- (4)、交换容量较 II 型小。

II 型：

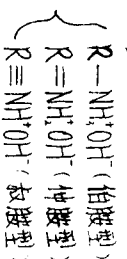
- (1)、碱性较弱，吸附原水中弱酸基团能力不如 I 型，当原水中 SiO_2 含量，大于阴离子总含量 25% 时，则不宜选用 II 型，而且当阴离子交换树脂属 Na^+ 时，吸附弱酸根的能力显著降低。

- (2)、耐热性能较差，不能在氧化条件下使用，且在长期使用中，交换能力逐渐减小。

- (3)、当原水中含 Cl^- 时，不影响交换能力。

- (4)、交换容量较 I 型大。

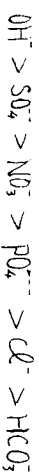
- 4、弱碱性阴离子交换树脂



目前常用苯乙腈型，国产 701[#]、704[#] 等树脂属于此类，其功能如下：

- (1)、该树脂之交换基团，在水中弱解能力较小，碱性亦弱，因此对原水中阴离子吸附能力较差，如对 HCO_3^- 的吸附能力就很小，

对 $HSiO_3^-$ 则不吸附，对其他阴离子吸附顺序为：



- (2)、交换速度慢，在静置状态下，当反应达到 90% 如继续度时，则需要 7 天。

- (3)、对原水 pH 值有严格要求，当 OH^- 浓度高时，会抑制树脂交换基团的溶解，从而降低交换作用。因此当采用 $R-NH_2OH^+$ （脂肪族）型树脂时，原水 pH 值应在 7 以下；采用 $R-NH_3^+OH^-$ （芳香族）型树脂时，原水 pH 值应在 4 以下。

- (4)、交换容量较强碱性树脂大，全交换容量 $E_g = 2.0 \sim 3.6$ 毫克-当量/毫升

- (5)、由于该型树脂之交换基团吸附 OH^- 能力很弱，因此当用 $NaOH$ 再生时，效率高，用药少。

二、物理性能

1、外观

- (1)、颜色：是一种透明或半透明的物质。有白、黄、黑及赤褐色等数种。树脂的颜色和它的性能关系不大。工厂生产的每一批树脂的颜色也略有差异，一般交联剂加入多的，或原料杂质多的，树脂颜色稍深，能扣者较未扣和者颜色深，被有机物污染者，颜色亦深。

- (2)、形状：多为球状。球状树脂具有制造简单、表面积大，有利于离子交换，且充填性好，流量容易均匀，水头损失少，损坏性小等优点。

2、粒度

产品样本中所列树脂粒度，係指树脂在出厂时所具备的交换基团型式下，在水中充分溶胀的颗粒直径。树脂愈小，表面积愈大，离子交换愈快，但水头损失随之增加，反洗清除所截流的悬浮杂质亦困难，

因此目前国内产树脂的颗粒一般为16~50目(即1.2~0.3毫米)。

3、含水率(%)

树脂交联孔网内,都含有一定量的水分。树脂交联度愈小,内部孔隙率则大,含水率亦高。一般含水率是指树脂在充分膨胀状态下测定的,一般为50%左右。

4、干真比重

在于燥状态下,树脂合成材料本身的比重。

$$\text{干真比重} = \frac{\text{干树脂的重量}}{\text{树脂颗粒本身所佔的体积}} \quad (\text{克/毫升})$$

此值一般在1.6左右,实用意义不大。

5、湿真比重

也称真比重,是指树脂在水中充分膨胀后,颗粒本身的比重。

$$\text{湿真比重} = \frac{\text{湿树脂的重量}}{\text{树脂颗粒本身所佔的体积}} \quad (\text{克/毫升})$$

树脂的湿真比重,对交换器反洗速度的大小、混合床再生前分层的干扰影响很大,此值一般为1.04~1.13,通常阳树脂比阴树脂湿真比重大,但都必须大于1。

6、视比重

也称堆密度,即容重,是指树脂在水中充分膨胀时,单位体积重量。

$$\text{视比重} = \frac{\text{湿树脂的重量}}{\text{树脂层所佔的体积}} \quad (\text{克/毫升})$$

此值一般为0.60~0.85,实际使用中,用此值来计算交换器一定体积树脂层,所需湿树脂重量。

7、溶胀性

干树脂在水中即膨胀,具膨胀程度以溶胀率(或膨胀系数)来表示。强酸性树脂为18~22,强碱性树脂为15~18。树脂中当交换基团中可交换的离子不同时,溶胀率也不一样,因此树脂在进行交换和再生时,其体积都会发生胀缩。经过十次的胀缩会促使树脂老化,所以树脂使用时应减少再生次数,延长使用寿命。

8、溶解性

离子交换树脂是一种不溶解物质,仅在一切有机、无机溶剂(除醛类)中,开始使用时,有微量溶解。

9、耐磨性

树脂的耐磨性,关系到使用寿命,交换容量大的,耐磨性差,反之亦然。一般每年磨损损耗为3~7%。

10、耐热性

各种树脂均具有一定的耐热性,但当温度小于或等于0°C时,会致使树脂破裂而缩短使用寿命,降低交换容量,当温度过高,则易使树脂交换基团分解,亦影响交换容量和使用寿命。

11、交换容量

一般以下列表示:

(1)、全交换容量(E_g):树脂交换基团中,所有可交换离子全部被交换的交换容量,也就是交换基团阳(阴)离子总数。

(2)、工作交换容量(E_w):指在动态工作状态下的交换容量。其值由于使用条件不同,所得数值也不同。影响因素计有:进水的离子浓度,树脂层的高度,交换流速,树脂的粒度等等。一般产品样

本中的数值，是在某特定条件下测得，因此使用时应按当地实际工作条件测定。

工作交换容量可作如下估算：

$$E_2 = E_1 \times \eta$$

η = 树脂再生程度% - (1 - 树脂饱和程度%)

式中： η —— 树脂的利用率或多再生度(%)

树脂再生程度一般为70%

树脂饱和程度一般为80%

一般强酸性树脂用NaCl再生时， η_{Na} 采用0.5，用HCl或 H_2SO_4

再生时， η_{HCl} 采用0.55

交换容量的计算单位表示如下：

重量表示法：单位重量于树脂之交换容量。

附毫克——当量/克(干树脂)，或克——当量/吨(干树脂)

容量表示法：单位体积的湿树脂之交换容量。

附毫克——当量/毫升(湿树脂)，或克——当量/米³(湿树脂)

重量表示法换算为容量表示法时，可用下式计算：

树脂全交换容量(容量单位) = 树脂全交换容量(重量单位)

$\times (1 - \text{含水率}\%) \times \text{树脂视比重}$

如上海732[#]强酸性阳离子交换树脂以重量单位表示之全交换容量为4.5毫克——当量/克，当换算为容量单位表示之全交换容量 = $4.5 \times (1 - \frac{50}{100}) \times 0.8 = 1.8$ 毫克——当量/毫升。

三、树脂类型的选择：

水处理中，当需去除水中阳离子时，采用酸性阳离子交换树脂，当需去除水中阴离子时，则用碱性阴离子交换树脂。至于酸(碱)性树脂又有多种型号，因此应根据原水中离子种类及含量，出主要

求：水处理工艺，应考虑树脂产量、供应情况、树脂价格等因素，选择交换容量大，再生容易，且强度大的树脂。然而此三者间又是矛盾着的，因此设计时应视具体情况，抓住主要矛盾，根据水处理中主要解决的问题，来选择树脂型号。

弱酸性(羧基型)阳离子交换树脂交换容量大，用盐酸或硫酸再生时，再生效率高，但交换速度慢，对水溶液的pH要求较严格。它的有效pH值范围为6以上，因而通常不能将中性盐分开，即与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等盐类不起反应，而仅与 $HClO_3$ 、 HNO_3 等反应，故一般适用于高硬度的水。如用氯化钠再生时，由于碳酸交换树脂对碱土阳离子亲和力太大，故再生效率非常低，否则需先以酸、再以氢氧化钠再生。同时由于价格高，产量少，目前在锅炉软水中很少采用；而多选用强酸性(磺基型)阳离子交换树脂。由于强酸性交换树脂的耐磨性强，故在移动床或混床工艺时更加适宜。

第二章 离子交换树脂软水的选型

一、影响选型的主要因素：

铁路软水类型的选择，应考虑水质、水量、建设投资、运营费用、管理条件、软水制的来源、线路等级以及未来的发展、机型的变化等因素经过综合比较后决定。

实践证明，选型不当，不但不能发挥软水设备应有的效果，甚至带来不良作用，恶化机车运转状态。因此，正确的选型极为重要。在设计中必须进行充分的研究和必要的比较，以使软水设备达到改善锅炉状态，提高牵引能力，节省燃料，延长煮检公里的目的。同时要尽可能降低软水设备的投资及运营费用，改善管理条件。

结合当前情况，我们认为在选型时应着重注意以下几点：

1. 水质：是影响选型的最主要的因素，应取得齐全、准确的水质分析资料，应对原水水质、软化后水质的变化以及水中各种成分对机车锅炉的影响进行综合评价。

2. 要着重降低运营费用：对于由硬度、酸碱度的原水直接进行离子交换软化，该酸硷等耗量很大，运营费用较高，因此在离子交换软化前进行适当的予处理，对降低运营费用有很大的意义。选型时予可忽略。

3. 要以整个文路的情况来研究软水布局：由于机车具有流动性的特点，供应机车锅炉用水的水柜是根据各段的不同耗水量在不同给水站上水，其水质变化较为复杂，当有必要研究机车水柜水质时，可按下式计算：

$$X_{\text{柜}} = \frac{a_1 X_1 + a_2 X_2 (1-a_1) + a_3 X_3 (1-a_1)(1-a_2) + \dots + a_n X_n (1-a_1)(1-a_2)\dots(1-a_{n-1})}{1-(1-a_1)(1-a_2)\dots(1-a_n)}$$

当文路上给水站数目超过三个时，上式分母可近似等于1，而取分子前四项即可满足要求，上式可简化为：

$$X_{\text{柜}} = a_1 X_1 + a_2 X_2 (1-a_1) + a_3 X_3 (1-a_1)(1-a_2) + a_4 X_4 (1-a_1)(1-a_2)(1-a_3)$$

式中：

$X_{\text{柜}}$ ——机车在某站上水后的水柜水质。

a_1, X_1 ——为统计算水柜水质之给水站的站水率及水源水质（经过处理时为处理后水质）。

$a_2, a_3, \dots, a_n$ 及 $X_2, X_3, \dots, X_n$ ——为该站上水前各给水站的站水率及上水水质（靠近该给水站的第一个给水站为 a_2, X_2 ，次为 a_3, X_3 ，照此类推）。

4. 炉内外处理相结合：离子交换软水消除了水中的硬度，但根据条用的工艺不同，软水中都有相当的含盐量，在使用软水的文路上还可能出一些新的矛盾，炉内处理不当应予以加强。运营的实践经验，炉内外处理密切配合，就能取得好效果。

二、水质对机车锅炉的影响：

1. 原水中所含杂质及各种离子对锅炉的影响。

原水塘湖所含杂质及各种离子进入锅炉，在高温高压作用下，形成复杂的物理化学过程，其对机车锅炉的不良影响见下表。

(1)、水垢：当水煮沸时，水中化合物 Al_2O_3 ， Fe_2O_3 ， $Mg(OH)_2$ ， CaO ， $CaCO_3$ ， $CaSO_4$ ， $CaSiO_3$ ， $MgSiO_3$ 等发生沉淀，并沉积于锅炉壁而形成锅垢。锅垢不易导热，浪费燃料，可大约地计算出每一毫米锅垢能增加热消耗达15~2%，而且易使炉壁过度灼热，以致引起严重事故。

锅垢有硬垢与软垢两种：

锅垢的总重量可用下式近似计算：

$$M = X_w + C + 36 Fe^{++} + 17 Al^{+++} + 20 Mg^{++} + 59 Ca^{++}$$

式中：

M ——锅垢总重量（毫克/升）

X_w ——水中悬浮物重量（毫克/升）

C ——胶体物质（ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ）的重量（毫克/升）

水中化学成份对锅炉的影响

化学成分	水垢	腐蚀	苛性脆化	汽水共腾
O_2		√		
CO_2		√		√
$Ca(HCO_3)_2$	√			√
$Mg(HCO_3)_2$	√			
$CaSO_4$	√			
$MgSO_4$		√		
$CaSiO_3$	√			
$MgSiO_3$	√			
$CaCl_2$		√		
$MgCl_2$		√		
$Ca(NO_3)_2$		√		
$Mg(NO_3)_2$		√		
Na_2CO_3			√	√
Na_2SO_4				√
$NaCl$				√
$NaNO_3$				√
$NaOH$			√	√
Fe_2O_3 及 Al_2O_3	√			√
悬浮物	√			√
油类		√		√
有机质		√		√
污水		√		√

其它为水中该离子的含量(毫克当量/升)。
上式计算结果,当:

$M < 125$ 时,为极少沉淀物的水;

$125 < M < 250$ 时,为沉淀物少的水;

$250 < M < 500$ 时,为沉淀物多的水;

$M > 500$ 时,为沉淀物很多的水。

硬垢重量可按下式求得:

$$M_h = SiO_2 + 20 Mg^{++} + 68 (Cl^- + SO_4^{--} - Na^+ - K^+)$$

式中:

M_h —— 硬垢的重量(毫克/升)

SiO_2 —— 硅酸的重量(毫克/升)

其它为水中该离子的含量(毫克当量/升)

如上式括号中为负值,则将该项略去。

上式计算结果当硬垢占锅炉总重量

小于 25% 时,为软沉淀物水;

25% ~ 50% 时,为中硬沉淀物水;

大于 50% 时,为硬沉淀物水。

(2), 腐蚀: 腐蚀作用乃是水中的氢离子置换铁,而使炉壁遭到破坏。氢离子可以是水中原有的,也可以由于锅炉内水温增高,弱酸性盐类经水解而生成的。此外,溶解于水中的气体,如氧、二氧化碳、硫化氢等也可成为腐蚀作用的因素。锰的盐类、硫化铁、有机物、脂肪及油类等,皆可作为腐蚀剂而加强这一作用的进行。水的腐蚀性可按腐蚀系数(K_K)作定量的测定:

$$\text{对酸性水: } K_K = H^+ + Al^{+++} + Fe^{++} + Mg^{++} - CO_3^{--} - HCO_3^-$$

$$\text{对碱性水: } K_K = Mg^{++} - HCO_3^-$$

按腐蚀系数(K_K)可将水分作:

$KK > 0$ —— 弱酸性水；

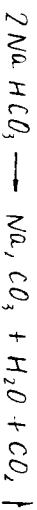
$KK < 0$ 但 $KK + 0.05Ca^{++} > 0$ —— 半弱酸性水；

$KK + 0.05Ca^{++} < 0$ —— 非弱酸性水。

式中 Ca^{++} 以毫克/升表示。

在评定腐蚀性作用时，测定氢离子浓度（PH 值）有着重要的意义。因为酸性水经常具有明显的腐蚀性性能。

(3). 苛性脆化。苛性脆化主要是由于 NaOH 溶液造成，在 10% NaOH 溶液中进行，只有在浓缩苛性钠溶液中，才会发生强烈的结晶间金属破坏。炉水中 NaOH 的产生是由于 Na_2CO_3 在一定的压力下分解而形成。



蒸汽机车 15 公斤/平方厘米蒸汽压时，分解 60%。

硫酸盐具有对苛性脆化的保护作用。氯化物则增大其脆弱性。对机车锅炉而言，一般在下列比值时，可不产生苛性脆化现象：

$$\frac{Na_2CO_3}{Na_2CO_3 + 碱度} < 0.55 \sim 0.6$$

(4). 汽水共腾（起泡）。主要是水中含盐量过大，特别是钠盐是引起汽水共腾的主要原因，通常以钠、钾盐的含量表示起泡系数。

$$f = 62 Na^+ + 70 K^+$$

如果 $f < 60$ 为不起泡的水；

$$f = 60 \sim 200 \text{ 为半起泡的水；}$$

$$f > 200 \text{ 为起泡的水。}$$

2. 离子交换树脂软水后，水质的变化及其对锅炉的影响：

阴型离子交换软水系统交换体（树脂）中钠离子置换水中形成硬度的钙、镁离子，消除硬度，原水经软水后，各种阴离子不变，含盐量增加（因钠的当量大于钙、镁的当量）。这种水在锅炉中由于 $NaHCO_3$ 加

热分解生成 NaOH 及 CO_2 产生汽水共腾及强烈腐蚀，因此 HCO_3 含量较高的原水不宜采用单钠型。

氢型离子交换软水系统以交换体（树脂）中氢离子置换原水中阳离子，消除硬度，同时可破坏原水中 HCO_3 而产生 CO_2 逸出，故水含盐量有所降低，但氢离子与原水中 SO_4 、 Cl 生成 H_2SO_4 、 HCl 。软水为酸性，不能直接供机车锅炉使用。现场实践中大都采用不足量还原，加原水或碱中和以及氢钠并联等工艺。

三、离子交换树脂软水的工艺类型及其特点

铁路常用的离子交换软水工艺类型及其特点列于右页表。有关的几点说明：

1. 氢钠并联或单氢加原水的水量分配比例按下式计算：

$$\delta_{Na} = \frac{Kp + a}{A_0 + Kp} \quad \delta_H = \frac{A_0 - a}{A_0 + Kp} \quad \text{或} \quad \delta_{Na} = 1 - \delta_{Na}$$

式中：

δ_{Na} —— 经钠交换的水量比例，氢型加原水时为原水比例。

δ_H —— 经氢交换的水量比例。

Kp —— 经氢交换出水的平均硬度，即原水强酸根之和，毫克当量/升。

毫克当量/升。

a —— 要求软水的碱度（一般控制在 0.5~1.0）毫克当量/升。

A_0 —— 原水碱度，毫克当量/升。

2. 当原水中钠离子含量超过阳离子总量的 50% 以上时，氢离子交换器在出现碱度以后，可作为钠离子交换器与另一个氢离子交换器并联使用，即所谓氢钠型或氢钠并联的无盐再生工艺。其优点是节约再生剂及提高了设备的利用率，缺点是管理操作较麻烦。在采用这种工艺时，应能满足下列条件：

(1). $A_0 > Kp$ 保证出水有一定碱度，当 $A_0 = Kp + 2a$ 时，可使

工艺类型及其特点

工艺类型	反 应 式	主要特点及软化后水质	适 用 条 件
单 钠 型	$\begin{aligned} &Ca(HCO_3)_2 \\ &Mg(HCO_3)_2 \\ &CaSO_4 + 2RNa \rightleftharpoons R_2Ca + Na_2SO_4 \\ &MgSO_4 \\ &CaCl_2 \\ &MgCl_2 \end{aligned}$	消除硬度，不能降低碱度，含盐量稍有增加。 流程较简单，设备较少，可一次扬水。 硬度 < 0.05 毫克当量/升 碱水 用原水 $S' = S_0 + 0.15Ca + 0.09Mg$ 毫克/升	原水碱度较低（最好低于 1 毫克当量/升） 蒸发残渣小于 300 毫克/升时
单 加 碱	$\begin{aligned} &Ca(HCO_3)_2 \\ &Mg(HCO_3)_2 \\ &CaSO_4 + 2RH \rightleftharpoons R_2Ca + H_2SO_4 \\ &MgSO_4 \\ &CaCl_2 \\ &MgCl_2 \end{aligned}$ 加碱中和	消除硬度，降低碱度，含盐量一般有所减少，设备需耐碱腐蚀，并需脱气，二次扬水，成本较高。 硬度 < 0.05 毫克当量/升，碱度一般控制在 0.5~1.0 毫克当量/升 $S' = S_0 - 2[H] - \frac{1}{2}HCO_3 + 0.05Cl + 0.04SO_4 + 4.0a$ (毫克/升) (4.0a: 指加NaOH中和，如加Na₂CO₃时为5.30a)	硫酸盐硬度较大，硫酸根、氯根含量较小（最好小于 0.5 毫克当量/升）
单 加 厚 水	$\begin{aligned} &H_2SO_4 + 2NaOH \rightleftharpoons Na_2SO_4 + 2H_2O \\ &HCl + NaOH \rightleftharpoons NaCl + H_2O \\ &H_2SO_4 + Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\text{加厚水中和}} CaSO_4 \\ &2HCl + Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{\text{加厚水中和}} MgCl_2 + 2H_2O + 2CO_2 \uparrow \end{aligned}$	与单加加碱不同的是碱被厚水代替，成本较低，设备减小，但残余硬度较高。 硬度 = 原水硬度 (1 - γ_m) 碱度一般控制在 0.5~1.0 毫克当量/升之间 $S' = S_0 - \gamma_m \times 2[H] - \frac{1}{2}HCO_3 + 3.0a$ 毫克/升	原水总硬度较低，而碱度较高，即有负硬度时
氢 钠 并 联	$\begin{aligned} &原水分别经H、Na交换后，相互混合 \\ &NaHCO_3 + HCl \rightleftharpoons NaCl + H_2O + CO_2 \uparrow \\ &2NaHCO_3 + H_2SO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + 2H_2O + CO_2 \uparrow \end{aligned}$	并联：消除硬度，碱度，减少含盐量，设备需防腐，并需脱气，二次扬水，设备较多，要求控制可靠，避免出酸泄水。 串联：对于原水质差，变化大的适应性较强，出水较稳定，易于保证出水水质，但设备较大。 硬度 < 0.05 毫克当量/升，碱度一般控制在 0.5~1.0 毫克当量/升，$S' = S_0 - \gamma_m \cdot 2[H] - \frac{1}{2}HCO_3 + 3.0a + (1 - \gamma_m) \times 0.15Ca + 0.09Mg$ (毫克/升)，式中2[H]为厚水阳离子含量（毫克/升）其余同下页。注：本栏软化后水质均指近似值。	原水含盐量较大，但硫酸根与氯根的总和不宜超过 5~4 毫克当量/升，硫酸盐硬度与总硬度之比不宜小于 0.5
氢 钠 串 联、单 加 厚 水 再 经 钠 交 换	原水部分经H交换后与原水混合经除气后，再经Na₂交换，反应式同上		原水含盐量较大，硫酸盐硬度与总硬度之比小于 0.5，原水水质有较大变化时

H、Na的水量相等，便于掌握。

(1)， $K+Na \cong Ca+Mg$ 从理论上讲， $K+Na=Ca+Mg$ 时，可使H交换器在出现硬度前（即转型前）的工作时间等于其出碱性水至硬度穿出的工作时间。这样的条件对管理最为方便，实际上只有 $K+Na$ 稍大于 $Ca+Mg$ 才能作到。当 $K+Na > Ca+Mg$ 时，转型后的处理水量可能超过前一段H型的处理水量，交换周期受H型控制，对于管理也较为有利。

3，当原水总硬度较高，特别是碳酸盐硬度很高的情况下，以石灰子处理时，处理后的水质：

$$H'_Z = 1 \text{ 毫克当量/升} \quad H'_Y = H_Y$$

$$H'_O = (H_Y + 1) \text{ 毫克当量/升}$$

$$A'_O = (A_O - H_Z + 1) \text{ 毫克当量/升}$$

阴离子：

$$SiO'_2 = 5 \text{ 毫克/升} \quad HCO'_3 = 61A_O \text{ 毫克/升}$$

其余不变

阳离子：

$$Mg' = 7 \text{ 毫克/升}$$

$$Ca' = Ca + 1.05Mg + 8.4 - 20H_Z \text{ 毫克/升}$$

其余不变

蒸发残渣：

$$S' = S_O - 20H_Z - \frac{1}{2}HCO_3 + 0.05Mg + 4.6 \text{ 毫克/升}$$

上列各式中代表符号：

$$H_O \text{ —— 原水总硬度 毫克当量/升}$$

$$H_Z \text{ —— 原水碳酸盐硬度 毫克当量/升}$$

$$H_Y \text{ —— 原水非碳酸盐硬度 毫克当量/升}$$

$$A_O \text{ —— 原水碱度 毫克当量/升}$$

$$S_O \text{ —— 原水蒸发残渣 毫克/升}$$

HCO_3, Ca, Mg, Cl, SO_4 —— 原水中该离子的含量毫克/升
各种符号右上角加一撇者表示处理后水质，如 H'_Z 为处理后碳酸盐硬度， Ca' 为处理后钙离子含量，单位同上。上表符号代表意义与此相同。

注：(1)，上列各式是考虑原水碱度是由 HCO_3 组成的（天然水的绝大多数属于这种情况）当原水含有OH碱度时可具体分析。

(2)，关于蒸发残渣的计算式：当石灰处理同时使用凝聚剂时，应考虑其对水质的影响。当原水 SiO_2 含量甚高时，该式右端应加列两项： $-SiO_2 + 5$ 。当原水有负硬度时，该式右端应加列一项： $+30.5(A_O - H_Z)$

四，离子交换软水的设备类型、运转方式及其特点：

1. 设备类型及其特点：

随着离子交换技术的不断发展，设备类型越来越多，就离子交换的方式来讲，有静态法和动态法两大类。

静态法：离子交换剂和水在同一容器中相对静止的状态下进行交换，由于离子交换反应的可逆性，静态法不能及时取走反应产物，所以交换效率极低，在生产中没有得到推广。

动态法：离子交换剂或水在流动状态下进行离子交换，一般都在管柱式圆形容器中进行。这种方法能及时把交换后的水与树脂分离，使交换得以彻底进行，因此比静态法优越得多，在生产中得到广泛的应用。按照离子交换剂层的设置还可以分为单床、多床、复床、混合床等数种。

下页表为动态法的设备类型及其特点。

2. 固定床各种运转方式比较：
见第13页表。

设备类型及其特点

设备类型	主 要 说 明	特 点
固定床	离子交换树脂装填于管柱式容器中，水流通过树脂层而实现离子交换，树脂则处于静止状态，同时树脂的再生和清洗都在同一容器中进行。	主要优点是设备少，管理方便，对水质变化的适应性强。但由于树脂层固定不动，下层树脂不能充分利用，因此树脂用量和再生剂耗量大。适用于中等水量，水质变化较大的给水站。
移动床	是一种半连续式水处理装置，基本原理是将树脂输送至不同装置中分别完成交换，再生及清洗等过程。移动床的设备可分为三塔式、双塔式、单塔式等数种。	树脂用量只有固定床的二分之一左右，能连续运转，交换流速高，产水量大，缺点是设备较多（特别是三塔式），投资较大，树脂易磨损，操作管理水平要求较高，对于水质变化的适应性较差。在生产实践中，移动床的设备已有了不少改进，适用于水源单一，水质变化不大而用水量较大的主要给水站。
流动床	是一种完全的连续式装置，在交换、再生等过程中，树脂处于流动状态。广州铁路局梧州水电段建有重力式流动床。抚顺发电厂、抚顺石油三厂建有压力式流动床。	重力式 为悬浮逆向交换和悬浮逆向再生，因此出水水质稳定，再生效率高，再生剂耗量少，设备结构简单，操作简便，自耗水低，缺点是交换流速低，设备建筑面积大，树脂磨损较多，并需二次扬水。
		压力式 主要优点是连续生产，交换流速高，装置小，因而投资、占地及材料消耗均较省，树脂利用率高，再生剂耗量少，操作简单，管理方便，其缺点是树脂磨损量较大。
双塔连续移动床	是在移动床和流动床的基础上发展起来的，为压力式移动床交换、流动再生。这种设备是范阳铁路局辽阳供水所将原三塔式移动床改建建成的。	其主要特点同移动床。改善了操作管理条件，再生剂耗量和自身水耗都有所降低。