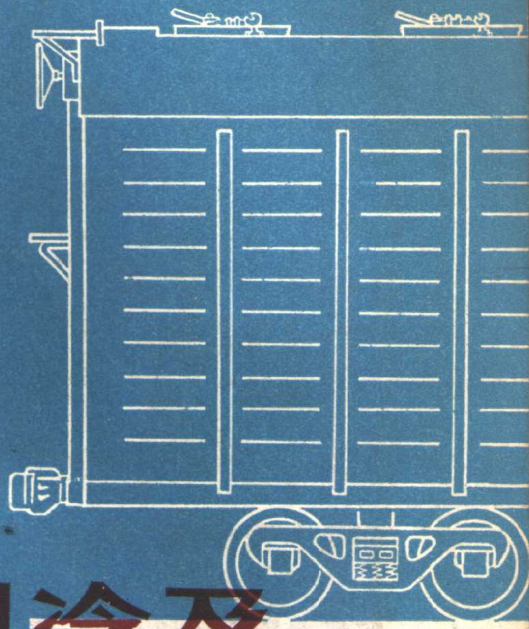




# 冰盐制冷及 冰保车的运用

人民铁道出版社

# 冰盐制冷及冰保车的运用

上海铁路分局杨浦站冷藏组

人 民 铁 道 出 版 社

1979年·北京

## 内 容 提 要

本书介绍了冰盐制冷原理、热的计算及冰保车的运用方法。重点是在总结经验的基础上针对当前冰保车运用方面存在的问题，提出了一些新的措施，对改善冰保车的运用有一定的指导意义。

本书可供铁路、交通、商业、食品等部门有关易腐货物贮运方面的工作人员参考。

### 冰盐制冷及冰保车的运用

上海铁路分局杨浦站冷藏组

人民铁道出版社出版

责任编辑 马又波

封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$  印张：5.25 字数：118 千

1979年4月第1版 1979年4月第1次印刷

印数：0001—7,000 册

统一书号：15043·3083 定价：0.43 元

# 前 言

铁路冷藏运输对我国实现四个现代化，特别是支援农、副、渔、牧业发展和满足人民对易腐食品的需要方面，起着十分重要的作用。为进一步搞好铁路冷藏运输工作，我们编写了这本《冰盐制冷及冰保车的运用》。

本书是在总结生产实践经验的基础上，阐述了冰盐制冷原理、冰保车的运用方法、加冰加盐新工艺、保温车热计算方法和怎样保持保温车的车内温度等实际问题，既介绍了具体的工艺方法，也对生产中的问题进行了理论分析。本书是由上海铁路分局杨浦车站冷藏组集体讨论、邹京生同志执笔的。在编写过程中曾得到北方交大运输系有关同志的帮助和指导。初稿完成后又经铁道科学研究院运输所冷藏组同志审阅。对上述单位和同志们谨致谢意。

由于我们水平有限，书中难免有不少错误和缺点，欢迎读者指正。

上海铁路分局杨浦车站

1978年9月

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 一、冰盐制冷原理.....             | 1  |
| (一) 冰的性质.....             | 1  |
| (二) 盐的成分和性质.....          | 2  |
| (三) 冰盐冷却原理.....           | 4  |
| (四) 冰盐混合物的融化温度.....       | 8  |
| (五) 冰盐混合物的融化热.....        | 12 |
| (六) 盐水溶液中的冷能.....         | 19 |
| 二、端式冰箱保温车的运用方法.....       | 22 |
| (一) 端式冰箱保温车的冷却方法.....     | 22 |
| (二) 端式冰箱保温车的冰盐混合方法.....   | 26 |
| (三) 端式冰箱保温车的冰盐允许融化量.....  | 30 |
| (四) 端式冰箱保温车的中途补冰.....     | 32 |
| (五) 端式冰箱保温车在运用中存在的问题..... | 38 |
| 三、顶式冰箱保温车的运用方法.....       | 42 |
| (一) 顶式冰箱保温车的冷却方法.....     | 42 |
| (二) 顶式冰箱保温车的冰盐混合方法.....   | 44 |
| (三) 顶式冰箱保温车的冰盐允许融化量.....  | 46 |
| (四) 顶式冰箱保温车的中途补冰.....     | 51 |
| (五) 顶式冰箱保温车在运用中存在的问题..... | 53 |
| 四、快速冷却与慢速冷却的加冰掺盐方法.....   | 58 |
| (一) 快速冷却加冰掺盐方法.....       | 58 |
| (二) 慢速冷却加冰掺盐方法.....       | 64 |
| 五、保温车热计算方法在生产实践中的运用.....  | 71 |
| (一) 热计算的目的是和计算方程式.....    | 71 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| (二) 怎样计算冰内掺盐量 .....                       | 77  |
| (三) 怎样计算冰盐的消耗量 .....                      | 88  |
| (四) 怎样计算保温车的冷却时间 .....                    | 106 |
| (五) 怎样计算保温车装载娇嫩水果及叶菜的<br>数量 .....         | 110 |
| (六) 在怎样的条件下蔬菜水果可以先冷藏后<br>保温运送 .....       | 115 |
| (七) 在怎样的外温条件下冻结货物<br>可以保温运送 .....         | 121 |
| 六、怎样保持保温车的车内温度 .....                      | 127 |
| (一) 易腐货物在保温车内的运送温度 .....                  | 127 |
| (二) 影响车内温度变化的因素 .....                     | 139 |
| (三) 外界温度的变化对车内温度的影响 .....                 | 140 |
| (四) 车体传热系数的变化对车内温度的影响 .....               | 143 |
| (五) 冰箱受热面积的变化对车内温度的影响 .....               | 149 |
| (六) 冰箱表面温度的变化对车内温度的影响 .....               | 153 |
| (七) 什么是数值 $\beta$ ，它对车内温度有怎样的<br>影响 ..... | 155 |
| 附表 1 我国冰盐制冷保温车主要技术参数表 .....               | 159 |
| 附表 2 各地区月平均气温表 .....                      | 160 |
| 附表 3 易腐货物的主要物理性质表 .....                   | 161 |
| 附表 4 国际单位制(SI)与工程单位制(MKS)<br>的换算表 .....   | 162 |

## 一、冰盐制冷原理

### (一) 冰 的 性 质

冰是最早使用的冷源。利用冰制冷，在我国已有三千多年的历史。

铁路保温车使用的冰，有天然冰和人造冰。天然冰是冬季在低温地区天然冻结，而人造冰是在制冰厂用机器制造的。

冰的比重与其温度及冰内有否空气泡的存在有关。实际取比重 $\gamma = 0.917$ 公斤/公升。由于冰的密度比水小，因此水冻成冰时，冰的体积要增大，一般比水大约增加 9%。冰的融点等于水的冰点，在一个大气压下为  $0^{\circ}\text{C}$ 。

冰的融化热，根据很多研究者所得到的数据是  $79.20 \sim 80.18$  大卡/公斤。实际运用时取 80 大卡/公斤。由于一公斤的冰在融化时可以吸收其周围介质 80 大卡的热量，所以我们把冰用在保温车内制冷降温。

冰的比热与其温度有关，一般当冰的温度为  $0 \sim -20^{\circ}\text{C}$  时，它的平均比热可取  $C = 0.5$  大卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

冰的导热系数与其温度有关，当冰的温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时，它的导热系数  $\lambda = 1.92$  大卡/米 $\cdot$ 时 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。一般从  $0 \sim -20^{\circ}\text{C}$  的平均导热系数  $\lambda = 2$  大卡/米 $\cdot$ 时 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

冰的抗压强度与其温度有关，当冰的温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时，它的抗压强度  $\rho = 15$  公斤/厘米<sup>2</sup>，当温度降低至  $-10^{\circ}\text{C}$  时， $\rho = 30$  公斤/厘米<sup>2</sup>。由于冰的抗压强度与温度有这样的关系，所以我们在实际运用中应把冰储存在  $-5 \sim -10^{\circ}\text{C}$  的冰库内。温度低于  $0^{\circ}\text{C}$  的冰块在搬运(或滑运)作业时，因它的抗压

强度比  $0^{\circ}\text{C}$  的冰大，在作业过程中就不易碰碎而影响加冰作业的正常进行。

由于冰与钢的摩擦系数比冰与混凝土的摩擦系数小，所以在一些加冰所的加冰场所采用钢板地面代替混凝土地面，这样在拉动冰块时就比较轻快。

从空气到冰表面的给热系数 ( $\alpha$ ) 与空气循环的强度和温度差有关。这种关系列于表 1。

表 1

| 空气循环强度                   | 在下列温度差 ( $\Delta t$ ) 时的给热系数 ( $\alpha$ )<br>大卡/米 <sup>2</sup> ·时· $^{\circ}\text{C}$ |     |     |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
|                          | 5                                                                                     | 10  | 15  |
| 自然循环                     | 3.5                                                                                   | 6.0 | 8.0 |
| 强制循环 ( $\omega = 2$ 米/秒) | 10                                                                                    | 15  | 20  |

从表 1 的资料说明，当空气进行强制循环，如循环速度每秒为 2 米时，从空气到冰表面的给热系数比空气自然循环要大一倍以上。

从水到冰表面的给热系数为 100 大卡/米<sup>2</sup>·时· $^{\circ}\text{C}$ 。随着水流速度的增快给热系数也增大。

## (二) 盐的成分和性质

保温车使用的工业盐与我们日常生活中的食盐是一样的。化学名称为氯化钠 ( $\text{NaCl}$ )。

纯粹食盐结晶为氯离子与钠离子所构成。属于有规则的立方体或八面体 (图 1)。食盐

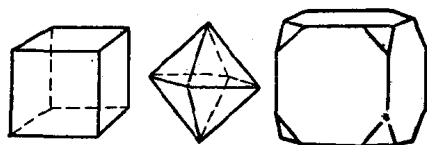


图 1 食盐的晶体



的晶体为无色透明状或半透明状，如同水晶一样。但一般的食盐因含有杂质，不但不透明，还带有一种红褐色，改变了原有的真实性。

保温车使用的工业盐与经过再制加工的食盐（俗称精盐），氯化钠的含量是不相同的。一般的工业用盐，氯化钠的含量为84~90%。只有经过盐水洗涤的工业盐，其氯化钠含量可以达到93%以上。工业用盐的其他成分包括水，可溶性杂质和不溶性杂质。在可溶性杂质中包括氯化镁和其他氯化物，一般含量为2.5~5.4%。不溶性杂质为泥砂，一般含量为0.5%左右。

可溶性杂质可以起到制冷的作用，而不溶性杂质却起到阻碍制冷的作用。因此，保温车使用的盐应该是杂质少（特别是泥砂杂质少），水分少，氯化钠成分高的盐。

可溶性杂质虽然可以起到制冷的作用，但是也有不利的影响。以氯化镁来说，这种氯化物很喜欢水，它经常吸收空气中的水分，而且它也很容易溶于水。正是由于这种可溶性杂质的存在，使本来不会吸收水分的食盐容易变潮。食盐变潮，水分含量增加，对制冷效果就有影响。

纯粹食盐在生产时，由于杂质及液温等条件影响使晶体成为种种不同的形状，并在内部还存有不规则的孔隙和阶层，其中含有空气和水分等杂质。

纯粹食盐的溶解热为20.5大卡/公斤。

食盐溶解于水后，其物理性质是随着溶液中盐的含量等因素而改变。

氯化钠溶液的物理性质列于表2。

氯化钠溶液的物理性质

表 2

| 溶液中盐的含量<br>$\frac{\text{NaCl}}{100 \text{ NaCl} + \text{H}_2\text{O}}$ | 15℃时的<br>容 重<br>$\gamma$ 公斤/<br>立方米 | 冻 结<br>温 度<br>℃ | 0℃时的<br>热 容<br>C 大 卡<br>公斤℃ | 0℃时的粘度<br>$\eta \cdot 10^4$ 公斤·秒<br>平方米 | 0℃时的导热<br>性<br>$\lambda$ 大 卡<br>米·℃·小时 |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1                                                                      | 2                                   | 3               | 4                           | 5                                       | 6                                      |
| 0.1                                                                    | 1000                                | 0               | 1.001                       | 1.80                                    | 0.500                                  |
| 0.5                                                                    | 1010                                | -0.9            | 0.973                       | 1.82                                    | 0.497                                  |
| 2.9                                                                    | 1020                                | -1.8            | 0.956                       | 1.84                                    | 0.495                                  |
| 4.3                                                                    | 1030                                | -2.6            | 0.941                       | 1.86                                    | 0.493                                  |
| 5.6                                                                    | 1040                                | -3.5            | 0.927                       | 1.88                                    | 0.491                                  |
| 7.0                                                                    | 1050                                | -4.4            | 0.914                       | 1.91                                    | 0.489                                  |
| 8.3                                                                    | 1060                                | -5.4            | 0.901                       | 1.95                                    | 0.487                                  |
| 9.4                                                                    | 1070                                | -6.4            | 0.889                       | 2.00                                    | 0.485                                  |
| 11.0                                                                   | 1080                                | -7.5            | 0.878                       | 2.06                                    | 0.482                                  |
| 12.3                                                                   | 1090                                | -8.6            | 0.867                       | 2.12                                    | 0.480                                  |
| 13.6                                                                   | 1100                                | -9.8            | 0.857                       | 2.19                                    | 0.478                                  |
| 14.9                                                                   | 1110                                | -11.0           | 0.844                       | 2.28                                    | 0.476                                  |
| 16.2                                                                   | 1126                                | -12.2           | 0.839                       | 2.38                                    | 0.474                                  |
| 17.5                                                                   | 1130                                | -13.6           | 0.830                       | 2.48                                    | 0.472                                  |
| 18.8                                                                   | 1140                                | -15.1           | 0.822                       | 2.61                                    | 0.470                                  |
| 20.0                                                                   | 1150                                | -16.6           | 0.814                       | 2.74                                    | 0.468                                  |
| 21.2                                                                   | 1160                                | -18.2           | 0.806                       | 2.88                                    | 0.466                                  |
| 22.4                                                                   | 1170                                | -20.0           | 0.798                       | 3.00                                    | 0.465                                  |
| 23.1                                                                   | 1175                                | -21.2           | 0.794                       | 3.10                                    | 0.464                                  |
| 23.7                                                                   | 1180                                | -17.2           | 0.791                       | 3.20                                    | 0.463                                  |
| 24.9                                                                   | 1190                                | -9.5            | 0.784                       | 3.36                                    | 0.461                                  |
| 26.1                                                                   | 1200                                | -1.7            | 0.778                       | 3.54                                    | 0.459                                  |
| 26.3                                                                   | 1203                                | 0               | 0.776                       | 3.57                                    | 0.459                                  |

### (三) 冰盐冷却原理

#### 1. 冰内为什么要掺盐

由于冰的融化温度为  $0^\circ\text{C}$ ，因此其周围被冷却介质的温度就高于冰的熔点。所以，用冰作冷源的保温车只能运送

温度高于  $0^{\circ}\text{C}$  的部分蔬菜、水果以及鲜蛋等易腐货物。为了运送温度为  $0^{\circ}\text{C}$  及低于  $0^{\circ}\text{C}$  的易腐货物，如鲜鱼虾类及冻结货物，必须使用冰盐混合物，也就是在冰内掺入一定量的食盐，使冰盐混合物的融化温度降低，保温车内就能获得  $0^{\circ}\text{C}$  及低于  $0^{\circ}\text{C}$  的温度。

## 2. 冰盐混合物的融化温度比冰低，融化热也比冰少

冰的融化温度为  $0^{\circ}\text{C}$ 。 $0^{\circ}\text{C}$  的冰融化为  $0^{\circ}\text{C}$  的水，融化热为 80 大卡/公斤。把盐加入冰内，形成冰盐混合物。根据试验测得在冰内掺盐为冰重的 30% 时，可使混合物的融化温度降低到  $-21.2^{\circ}\text{C}$ ，而融化热只有 46 大卡/公斤。

冰盐混合物的融化温度比冰低，其融化热也比冰少的原因可以从食盐溶液冰点的降低规律来解释。这种规律如图 2 所示。

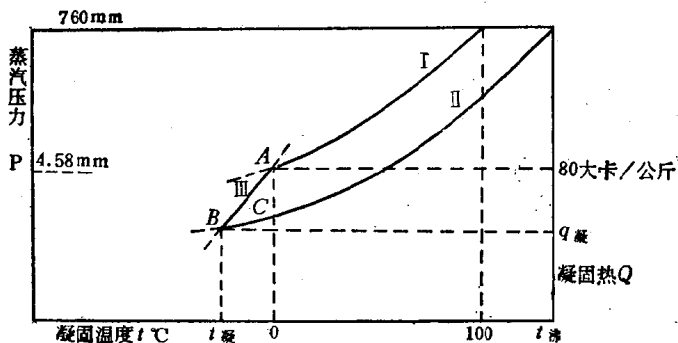


图 2 食盐溶液与水的蒸汽压力、凝固温度和凝固热的关系

- I = 水的蒸汽压曲线
- II = 溶液的蒸汽压曲线
- III = 冰的蒸汽压曲线

我们知道，在一定的压强与温度下物态可以相互转化，叫做物态变化。

纯水在温度降到  $0^{\circ}\text{C}$  时，开始结冰，结冰时的凝固热

为80大卡/公斤。当温度升到 $100^{\circ}\text{C}$ 时开始沸腾，从各项蒸汽压力的关系来分析，水在 $0^{\circ}\text{C}$ 时，其液相（水）和固相（冰）的蒸汽压力相等，都等于4.58毫米水银柱；而在 $100^{\circ}\text{C}$ 时，其液相的蒸汽压力和大气压力也相等，都等于760毫米水银柱。从图2表明，当温度在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下时，水的液相蒸汽压力大于固相，因此，液相就向固相转化水结成冰；相反，当温度在 $0^{\circ}\text{C}$ 以上时，由于固相的蒸汽压力大于液相，因此，固相就向液相转化，冰就融化成水。当温度正好保持在 $0^{\circ}\text{C}$ 时，由于固相和液相的蒸汽压力相等，所以两相可以保持平衡（动的平衡），不发生转化。

前人把纯水结冰的温度定为 $0^{\circ}\text{C}$ ，而从很多试验表明，在纯水内溶解某些盐类时，冰点就低于 $0^{\circ}\text{C}$ 。对食盐来说也是如此。这种现象可以从图2相系的规则来解释。由于同一重量溶液内水分子的数量相对减少，而代以食盐分子，所以液相的蒸汽压力也就有相当地降低。这时要在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的某一温度下液相与固相的蒸汽压力才会相等；同样，必须在较 $100^{\circ}\text{C}$ 以上的温度时，液相的蒸汽压力才能达到760毫米水银柱。

由图2可以看出，在温度为 $0^{\circ}\text{C}$ 时，水的蒸汽压力曲线I和冰的蒸汽压力曲线III相交，交点A的蒸汽压力为4.58毫米水银柱，而这时的凝固热为80大卡/公斤。但溶液的蒸汽压力曲线II（更正确地说，是溶液中水的蒸汽压曲线）在水的下方，因此，曲线II与曲线III相交点就不是A点，而是在低于A点的B点上，所以凝固点（ $t_{\text{凝}}$ ）就低于 $0^{\circ}\text{C}$ 。对溶液的凝固热来说，也正是由于曲线II的溶液中能量大的水分子减少，而代以能量小的食盐分子，因此，同重量的溶液，曲线II的能量首先就比曲线I要少。此外，曲线II由于不能在A点与曲线III相交。当曲线I与曲线II在相同的初温

条件下，曲线Ⅱ在凝固时，就增加了一个从C点至B点的过程，因此，在一定量的能量条件下，从C点至B点的盐水冷却过程中，要消耗其中一部分冷能。所以，盐水在低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的B点凝固时，凝固热就不是80大卡/公斤，而在小于80大卡/公斤的 $q$ 凝点上。

食盐水溶液要在低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的温度下才会凝固，其凝固热也在低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的温度下而减少的原理就是这样。对冰和食盐的混合物来说，其融点降低和融化热减少的原因也和盐水溶液一样，都是由于溶液的蒸汽压力降低所致，只不过是进行的过程相反而已。食盐水溶液的凝固过程是由液相向固相转化，而冰盐混合物的融化则是由固相向液相转化。只要食盐在溶液内和在混合物内的百分数相同，转化的开始点（即 $t_{\text{凝}}$ 和 $t_{\text{融}}$ ）也是相同的。

### 3. 冰与盐混合后是怎样产生冷却作用的

在介质温度高于冰的融点时，在冰上加盐，由于冰的表面有水，盐即吸收水分子。当介质温度高于混合物的融点，而低于冰的融点冰表面是没有水，这时，在冰上加盐，盐即吸收冰升华过程中的水分子。因此，在生产实践中，由于介质温度的不同，冰与盐的混合产生的冷却反应速度也不相同，后者要比前者稍缓一些。当盐吸收水分子而形成盐水溶液与冰造成两相接触，由于液相的蒸汽压力下降，使冰点降低，又因周围介质温度高于混合物的融点，固相（冰）的蒸汽压力就大于液相（溶液中的水），所以冰就在低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的融点融化，融化热也随着融点的降低而减少。

冰的融化和盐的溶解使混合物中的盐水溶液随着融化量的增加而增多，在此过程，冰就被一层盐水薄膜所包封，此后，冰和盐的相互作用就透过盐水薄膜而进行。

### 4. 冰盐制冷要通过制冷系统才能发挥冷却效能

冰盐制冷的效能是相当大的，但是，它与机器制冷一样都必须通过某种形式的制冷系统才能对其周围介质产生有效的冷却作用。现有的冰保车的冷却系统就是端式冰箱和顶式冰箱。但是，目前的这些冷却系统由于存在很多缺点，不能充分发挥冰盐制冷的冷却效能。

冰盐制冷是借冰的融化和盐的溶解的作用，这种冷却作用乃是冰盐混合物的物理反应。只有在温度和溶液中的盐的浓度相当于低融冰盐结晶点（即温度为 $-21.2^{\circ}\text{C}$ ，浓度为23.1%）才能趋于平衡。所以，我们在给冰箱内加入冰盐后，即便是盐的百分数少于30%，反应的开始阶段，它总是达到低融结晶点，而后随着融化程度的增大，其浓度逐渐降低。当混合物中的盐获得充分溶解后，这时，在端式冰箱内混合物乃是一团如同蜂窝状的冰堆；而顶式冰箱内混合物却是一种浸泡在盐水上层的冰块。正是由于这种制冷系统的缘故，冰盐混合物就不能在现有的冰箱式冷却器内充分发挥它的制冷效能。

要使冰盐制冷达到良好的效能，在研制和设计新型冰保车时，应使冰盐混合物及其制冷系统具备这样的条件：首先是冰盐混合物或传递冷能的盐水溶液以及制冷系统的冷却器受热面在规定工况的制冷过程中应保持稳定的温度；其次，制冷系统的冷却器必须具有较大的受热面积，并在单位时间内冷却器吸收其周围介质的热量应由系统内的冰盐混合物融化时的融化热所抵消。

#### （四）冰盐混合物的融化温度

##### 1. 融化温度是随冰内含盐量的增加而降低

冰盐混合物融化温度的降低程度是根据冰内含盐量而定，这一关系和食盐水溶液凝固点降低的规律基本是一致的。

食盐水溶液凝固点降低的规律可以用图3来说明。在溶液中盐的浓度达到结晶状态以前，盐的含量愈大，溶液的凝固点愈低。图3表明，当盐溶液中的盐为水重的10%时，凝

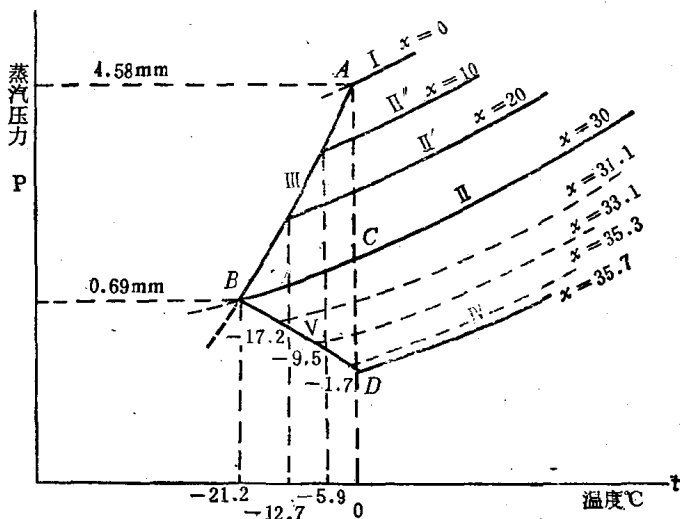


图3 盐水溶液凝固点曲线图

- I、水的蒸汽压曲线
- II、溶液的蒸汽压曲线
- III、冰的蒸汽压曲线
- IV、超饱和和溶液曲线
- V、析出结晶盐曲线
- $x$ 、溶液中的含盐百分数

固点为 $-5.9^{\circ}\text{C}$ ，盐量增加至20%时，凝固点为 $-12.7^{\circ}\text{C}$ ，当盐量为30%时凝固点为 $-21.2^{\circ}\text{C}$ 。这时的蒸汽压力为0.69毫米水银柱，这时盐水溶液的状态即称为结晶状态，这时的凝固点（ $-21.2^{\circ}\text{C}$ ）是食盐水溶液的最低凝固点。当盐量为水重的百分数超过结晶状态的数值时，则溶液的凝固点不但不继续降低，反而会逐渐升高。例如当盐的百分数增加到35.7%时，其溶液曲线IV的凝固点就回到 $0^{\circ}\text{C}$ 。但是，这

时的所谓凝固点 (D) 实质上是盐在水中达到饱和溶解度的温度。因此,从图 3 表明,曲线 IV 是不可能与曲线 III 相交的,而凝固为低融混合冰。它必须在溶液的温度降低到饱和溶解度的温度时,首先从超过结晶状态的溶液中析出结晶盐。随着盐的析出,剩下在溶液内的盐百分数就减少,相对地就使水分子增加,曲线 IV 就向上移动。这时,达到饱和溶解度的温度也就随之降低。以曲线 IV 而言,盐量减少到 35.3%,达到饱和溶解度的温度就降低到  $-1.7^{\circ}\text{C}$ ;再降温,再析出一部分盐。当盐量减少到 33.1%,其温度就降低到  $-9.5^{\circ}\text{C}$ 。再降温,再析出一部分盐。当盐量减少到 31.1%,其温度就降低到  $-17.2^{\circ}\text{C}$ ;一直到溶液中的含盐量为 30% 时,凝固点就降低到  $-21.2^{\circ}\text{C}$ 。这时,曲线 IV 就重合于曲线 II,与曲线 III 相交。当溶液放出凝固热以后就结成均匀的固体,即低融混合冰。

冰盐混合物融化温度的降低规律在盐的百分数不超过结晶状态以前与盐水溶液的凝固点降低规律是一致的,也是随着盐的百分数的加大而降低。降低的度数也和盐水溶液的度数相等。但是,与盐水溶液不同之点则是盐量在达到饱和状态后,盐的浓度继续加大,混合物的熔点仍旧保持在  $-21.2^{\circ}\text{C}$ 。融化温度保持不变的原因可以从盐水溶液凝固规律中知道,是由于盐本来就是固体。因此,它不存在结晶盐析出的过程,超过饱和状态的那一部分盐也就不再溶解。所以,我们给冰内掺盐最多为冰重的 30%。

## 2. 融化温度的计算

冰盐混合物融化温度的计算仍要根据图 3 的原理,先从盐水溶液凝固温度的计算来说明。

设:溶液中的含盐百分数从 0 ~ 30 以  $x$  表示。以每掺盐为 1% 的降温系数用  $\theta$  表示,则  $\theta$  与  $x$  的数学关系其乘积应



为溶液的凝固温度  $t_{\text{凝}}$ ,

$$t_{\text{凝}} = \theta x \quad (1)$$

取出  $\theta$  时,

$$\theta = \frac{t_{\text{凝}}}{x} \quad (2)$$

在图 3 中, 曲线 I 溶液中没有盐,  $x = 0$ , 而  $t_{\text{凝}}$  A 点为  $0^{\circ}\text{C}$ ; 曲线 II 溶液中盐为水重的 30%,  $x = 30$ , 而  $t_{\text{凝}}$  B 点为  $-21.2^{\circ}\text{C}$ 。因此, 曲线 II 的  $t_{\text{凝}}$  和  $x$  之差, 即  $\Delta t_{\text{凝}}$  和  $\Delta x$  分别为:

$$\Delta t_{\text{凝}} = -21.2 - 0 = -21.2$$

$$\Delta x = 30 - 0 = 30$$

则曲线 I 与曲线 II 之间的  $\theta$  平均值, 根据 (2) 式

$$\theta = \frac{-21.2}{30} = -0.707^{\circ}\text{C}$$

根据对冰盐混合物的精确试验所获得混合物融化温度 ( $t_{\text{融}}$ ) 进行分析, 发现冰内掺盐百分数  $x$  为:

$$1 \sim 17\%, \quad \theta = -0.644^{\circ}\text{C};$$

$$18 \sim 22\%, \quad \theta = -0.687^{\circ}\text{C};$$

$$23 \sim 30\%, \quad \theta = -0.707^{\circ}\text{C}。$$

为了能获得较为精确的数值, 对冰盐混合物的降温系数  $\theta$  可分别取上列的数据。

根据相系的原理, 盐水溶液在凝固时的凝固温度与形成低融混合冰在融化时的融化温度  $t_{\text{融}}$  是彼此相等的。所以, 也可以将公式 (1) 写成:

$$t_{\text{融}} = \theta x \quad (3)$$

〔例 1〕冰内掺盐为冰重的 10%, 则  $x = 10$ ,

$$\theta = -0.644$$

根据公式 (3)