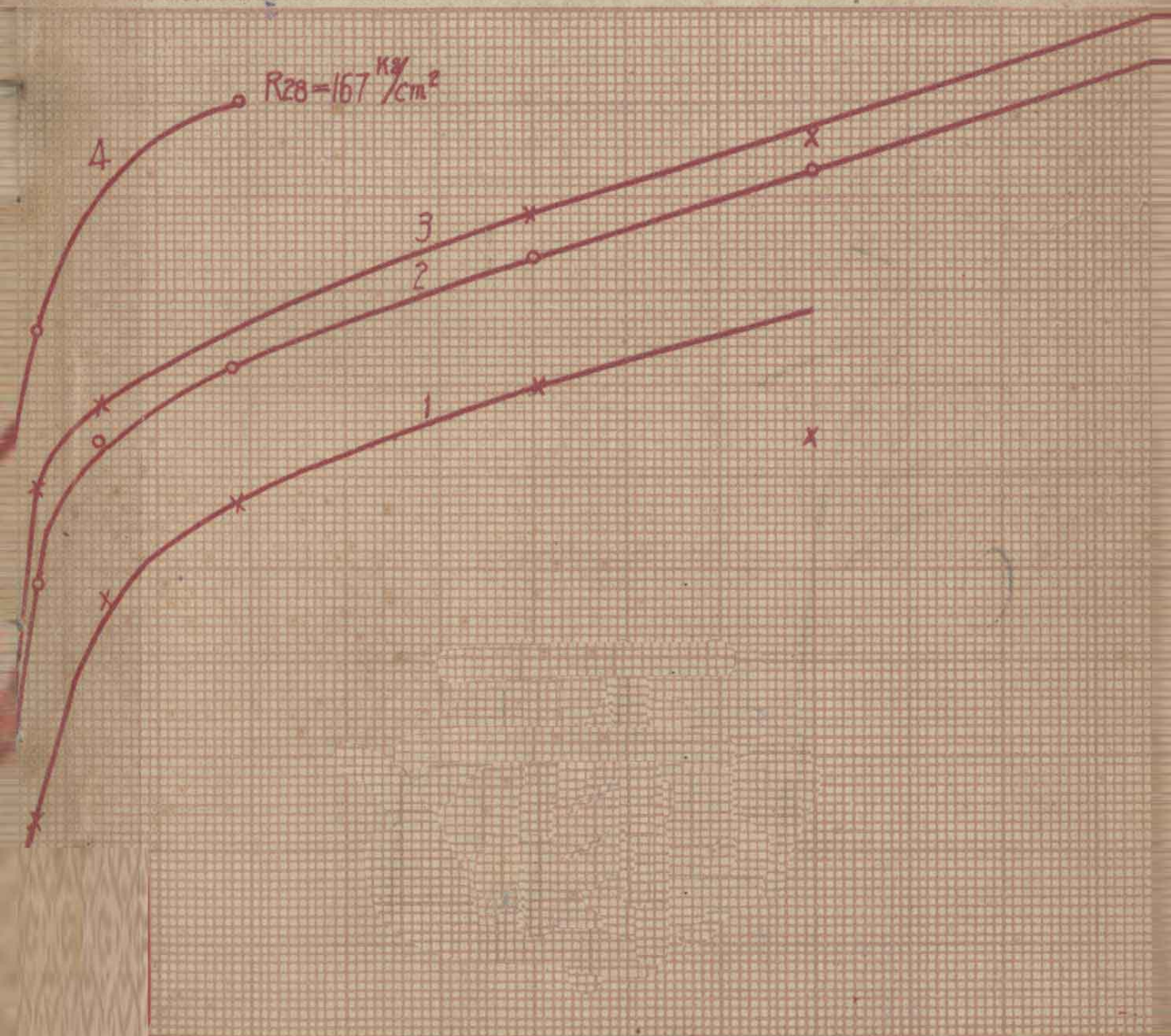


冬季施工的有效方法

——低温早强混凝土的研究和应用——



建筑工程出版社

冬季施工的有效方法

(低溫早强混凝土的研究和应用)

建筑工程部建筑科学研究院

建筑材料室混凝土組 編著

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內 容 提 要

采用低溫早强混凝土是混凝土和鋼筋混凝土冬季施工的一种新的有效方法。本書分章介紹了低溫早强混凝土的特性和初步使用經驗，最后还介紹了“低溫早强混凝土应用規程（草案）”。

本書可供建筑工作者、科学研究人員和建筑院校师生参考。

冬季施工的有效方法

（低溫早强混凝土的研究和应用）

建筑工程部建筑科学研究院
建筑材料室混凝土組 編著

1959年12月第1版

1959年12月第1次印刷

2,075册

787×1092 $\frac{1}{32}$ • 25千字 • 印張 $3\frac{1}{2}$ • 插頁1 • 定价(9)0.39元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华書店发行 • 書号: 1805

建筑工程出版社出版（北京市西郊百万庄）

（北京市書刊出版业营业許可証出字第052号）

前 言

我国东北、西北很多地区，都有較長的寒冷季节，象哈尔滨、長春一带有5到6个月，沈阳、太原、包头、兰州等有4到5个月，北京、西安、郑州等地也有3到4个月处于冬季施工时间。因此解放后，我們在苏联專家无私的帮助下，一貫重視并采用了很多先进方法进行混凝土冬季施工。一般都保证了工程質量，作到了全年施工，加快了建設速度。1954年还举行了一次“全国第一屆冬季施工經驗交流大会”。

大家知道，冷混凝土是苏联的先进經驗，1955年和1956年先后制訂了使用規程，并陸續发表了很多研究成果和使用經驗方面的文章。我国建筑工作者积极学习和进行試用后，感觉到冷混凝土确有施工簡便、增价較少等优点，但同时也知道了它有硬化緩慢拆模很晚，可能发生氯鋁酸盐性腐蝕，并有锈蝕鋼筋的危險等缺点，因此，妨碍了在我国大量推广使用。过去常用的暖棚法、电热法和蒸汽加热法等，又有施工繁杂和增价太多等缺点。因此，寻求一种更为有效的混凝土冬季施工方法，是一項非常迫切的任务。

近年来，一些單位已在这方面进行試驗研究工作。特别是在1958年冬，首都的重点工程約有22万立方米混凝土要进行冬季施工。工程如此巨大，一时不可能筹集大量的鍋爐、管道、燃料和电力，而时间又非常紧迫，因此，要求混凝土能够早强借以加快施工速度，同时还要求不能锈蝕鋼筋。为此，本院，北京市建筑工程局施工技术研究所，北京市第一、第四、第五建筑公司，和軍委直屬建筑公司等試驗室，

合作配合进行了大量試驗，提出了“低溫早强混凝土試驗研究初步总结”和“首都重点工程混凝土及鋼筋混凝土工程冬季施工措施提要草案”。由于党的正确领导和全体职工的忘我劳动，絕大部分工地采用了低溫早强混凝土，胜利地完成了如此浩大的混凝土工程，并保证了質量。

本書系根据国内外一些試驗研究成果和首都重点工程的施工經驗編写而成。全書共分四章和一附件，前三章闡述了有关低溫早强混凝土的理論和施工方法，即从分析冷混凝土的缺点进而研究出克服的办法，第四章主要介紹首都重点工程使用低溫早强混凝土的經驗，最后还附有低溫早强混凝土試用規程（草案），可供施工部門参考。同时还有几个附录和参考文献。

本書因受到編写时间和編写人員水平的限制，內容尚不够全面（如在平均气温 -10°C 以下的情况下沒有大量試驗研究），經驗尚不够成熟（如仅在北京地区使用），并偏重于理論說明（如第三章的氯鋁酸盐性腐蝕問題），因此，难免存有不妥或錯誤之处，热誠希望大家提出指正，最好是根据当地气温作些研究試用。願我国广大建筑工作者都能很快熟悉这种方法并加以应用，使低溫早强混凝土能多、快、好、省地为冬季施工服务，并在加快我国社会主义建設中起一定作用。

目 录

第一章 低溫早强混凝土的强度的增長 (1)

第一节 負溫度对不同混凝土的冻害影响 (1)

1. 負溫度对普通混凝土的危害 (1)

2. 冷混凝土的防冻原理 (3)

3. 低溫早强混凝土的防冻理論 (5)

第二节 正溫度早期养护对掺盐混凝土硬化的影响 (8)

1. 加速硬化的探索試驗 (8)

2. 混凝土两种硬化条件的对比試驗 (10)

3. 正溫养护時間的影响試驗 (12)

第三节 低溫早强混凝土的强度增長規律 (14)

1. 强度增進率 (15)

2. 防冻剂的种类和掺量 (16)

3. 硬化条件 (23)

4. 水泥的品种和标号 (23)

5. 水灰比 (24)

6. 加水量 (24)

第二章 防止鋼筋在低溫早强混凝土中的銹蝕 (25)

第一节 电化腐蝕理論簡介 (25)

1. 微电池作用 (26)

2. 鋼筋的电化腐蝕 (28)

第二节 影响鋼筋腐蝕的因素 (29)

1. 氫离子濃度的影响 (29)

2. 溶液中盐濃度的影响 (30)

3. 腐蝕的活化剂 (31)

4. 腐蝕的阻化剂 (32)

第三节 几种阻化剂对鋼筋防銹效应的比較

試驗 (33)

1. 阻化剂的种类 (33)

2. 試驗方法 (33)

3. 試驗結果 (33)

4. 本节結論 (35)

第四节 对亞硝酸鈉的进一步認識 (36)

1. 亞硝酸鈉作为腐蝕阻化剂的作用机理 (36)

2. 亞硝酸鈉的濃度对铁的腐蝕速度的影响 (36)

3. 亞硝酸鈉的保护性能和电解液的 pH 值的关系 (38)

4. 本节結論 (39)

第五节 低溫早强混凝土中鋼筋的防銹試驗 (39)

1. 鋼筋銹蝕快速試驗法 (39)

2. 試驗說明 (42)

3. 試驗結果 (42)

4. 本节結論 (44)

第三章 氯鋁酸盐性腐蝕問題 (44)

第一节 一般概念 (44)

1. 含水氯鋁酸盐化合物的形成和腐蝕 (44)

2. 掺氯化鈉的作用 (46)

3. 避免腐蝕的条件	(48)
第二节 避免腐蝕的进一步試驗	(51)
1. 試驗說明	(51)
2. 試驗結果	(52)
3. 本节結論	(53)
第四章 低溫早强混凝土的应用	(60)
第一节 首都重点工程鋼筋混凝土結構的应用 簡况	(60)
第二节 首都重点工程应用低溫早强混凝土的 經驗	(61)
1. 原材料的加热問題	(61)
2. 不同結構的保溫方法	(61)
3. 不同結構的混凝土溫度变化情况	(63)
4. 混凝土試块强度发展情况	(70)
5. 混凝土强度的測定問題	(71)
6. 关于拆模問題	(72)
7. 鋼筋的散热問題	(73)
8. 亞硝酸鈉的使用問題	(74)
9. 施工技术管理問題	(74)
第五节 今后的意見	(75)
附录一 低溫早强混凝土試用規程(草案)	(76)
一、总則	(76)
(一) 定义和說明	(76)
(二) 应用范围	(76)
(三) 材料	(77)

二、防冻剂的成分和掺量的选择..... (78)

(一) 各种防冻剂的适用范围..... (78)

(二) 混凝土的温度..... (80)

(三) 防冻剂的适宜成分和掺量的选用..... (80)

三、混凝土配合比设计..... (85)

四、混凝土拌和物的拌制..... (86)

五、运输和灌注..... (89)

六、养护和拆模..... (90)

七、施工指导和质量检查..... (92)

八、安全技术和劳动保护..... (95)

附录二 有关数据及举例..... (96)

参考文献..... (106)

第一章 低溫早強混凝土的強度的增長

所謂低溫早強混凝土，就是采用少量防凍劑和短期正溫養護，而能够在負溫中早強的混凝土。

低溫早強混凝土是在冷混凝土的基礎上發展起來的。它和一般冷混凝土的區別，主要是在工藝上采用了熱拌合物來維持硬化初期的正溫度。據我們研究發現，采用這種低溫早強混凝土可以克服冷混凝土所固有的缺點而相應地表現了它的優點，為冬季施工提供了一種新的有效方法。

本章先研究它的防凍和早強問題。為了便于較深入系統地討論，需要知道負溫度對普通混凝土的危害、冷混凝土的作用原理等基礎知識，然後才能進一步研討低溫早強混凝土問題。

第一節 負溫度對不同混凝土的凍害影響

1. 負溫度對普通混凝土的危害

混凝土拌合物在攪拌和成型以後，硬化溫度對其硬化速度影響極大。當在正溫條件時，根據蘇聯魯克揚諾夫教授的資料(1)*，列於表1-1。

在不同正溫度下，混凝土的相對硬化速度系數 表 1-1

硬化溫度(°C)	80°	60°	40°	20°	15°	10°	5°	0°
硬化速度系數	6.667	4.540	2.500	1.250	1.000	0.714	0.500	0.345

* ()內數字為參考文獻編號。以下同。

可見硬化溫度降低，混凝土的相對硬化速度也隨之降低。而當溫度降低到 0°C 以下時，不摻防凍劑的水泥混凝土就發生冰凍現象，水泥的水化作用也暫時中止。

在新澆灌的砂漿和混凝土中的水可分為兩部分，即吸附在組成材料顆粒表面和毛細管中的物理結合水，以及充滿在組成材料空隙之間的游离水。與水泥顆粒起水化作用的水則主要取之于前者，稱之為水化水。若砂漿或混凝土已開始硬化則生成化學結合水（如矽酸三鈣水化時生成含水矽酸二鈣和氫氧化鈣）。當混凝土受凍結冰時，主要關係到的是游离水和物理結合水。

據觀察得知，當溫度降低到 $-1\sim-1.5^{\circ}\text{C}$ 時，游离水就開始結冰；當溫度接近 -4°C 時，水化水也開始結冰；而當溫度低於 -4°C 時，則由於水的大量（約 $2/3$ ）結冰而產生了嚴重的“脫水”，水泥熟料不能和水的結晶體（即冰）發生化學反應，混凝土的硬化也就完全停止發展（1）（2）。

普通混凝土在成型後或終凝前遭受負溫時，水泥的水化作用不單停止，而且在集料表面、鋼筋表面以及與模板接觸處都會生成顆粒較大的冰凌。這些冰凌產生的不良後果，一方面是減弱了水泥石對集料和鋼筋的粘結而降低了強度，一方面是冰凌融化後會形成空隙，引起混凝土密實度的減小和耐久性降低；同時在拆模時還容易損壞模板和混凝土構件的邊角等處。

用淡水拌制的普通混凝土在早期受凍後，最主要的危害却是凍脹破壞。眾所周知，當水變成冰時，因比重變小為 0.92 ，體積增大約 9% 。由於水變冰的體積增大而產生的凍脹應力，常常大於水泥石的初期強度，致使混凝土發生不同程度的凍脹破壞而降低標號。根據一些資料（3）得到這樣的

概約数字：新澆灌的混凝土立即遭受冰冻后，虽仍經28天标准养护，比不受冻者标号損失达30~40%；成型4小时后受冻者，标号損失約15%；成型8小时后受冻者，标号損失約5%；成型24小时以后遭受冻害并繼續标准养护27天者，則其强度方可接近不受冻的試块标号。可見，早期遭受冰冻的混凝土若不較快地恢复正溫养护，一般的将降低設計标号，严重的則在解冻后混凝土将发生开裂和松散等破坏現象。

所以在現行的混凝土和鋼筋混凝土施工技术规范中規定，当室外晝夜平均气温低于 $+5^{\circ}\text{C}$ 或晝夜最低溫度低于 -3°C 时，必須采用冬季施工方法。这些方法可以归納为两类。第一类包括蓄热法，蒸汽加热法和电热法等几种。它們的实质就是造成一种人为的正溫环境，保証混凝土能够正常硬化甚至加快硬化。这类方法的缺点是施工較繁和增价較多。与此相反的是第二类方法，即在拌制混凝土时外掺某些防冻剂，使水維持液相，保証混凝土在負溫环境中也能繼續硬化。

上述的第二类方法即所謂冷混凝土。这是苏联的先进經驗。几年来由于我国施工人員和研究工作者积极学习采用已取得不少成就，但限于冷混凝土存在着硬化慢、鋼筋可能銹蝕和氯鋁酸盐性腐蝕等缺点，严重地妨碍了冷混凝土的大量推广使用。本書的前三章将分別討論这些缺点的本質和克服这些缺点的办法。

2. 冷混凝土的防冻原理

冷混凝土中防冻剂的作用原理，主要就是降低混凝土液相的冰点，使水泥能够繼續进行水化作用并增長强度。因此，我們土建工作者对此应有較深入了解的必要。

大家知道，冰和 0°C 的水可以永远共同存在。因为冰和

水同样可以蒸发，在 0°C 时两者的蒸汽压都为4.6毫米，正好相等，故液相（純水）和固相（冰）不发生轉移問題。 0°C 是純水的冰点。

如果把冰投入任何一种 0°C 的溶液中，就发现冰很快融解了，为什么呢？原来两者的蒸汽压不相等了。因为在溶液中有一部分表面被不蒸发的溶質分子占据，在相同時間內离开溶液表面而蒸发的水分子数，要比純水蒸发的分子数为少，即蒸汽压比4.6 mm（ 0°C 时冰的蒸汽压）小，故冰融解了，蒸汽压也随溫度降低而减小。只有在冰的溫度低于 0°C 即在它們的蒸汽压开始相等时，冰才能和溶液共同存在。換句話說，溶液要在 0°C 以下才能够結冰。

从上述理由可知，在純水中放入任何一种能溶解的固体物質时，都能使溶液的蒸汽压下降，也就是能使水溶液的冰点降低到 0°C 以下。

我們从物理学中还不知道，溶液的冰点下降度数仅和物質的溶解的質点（分子数或离子数）的多少成正比，而与物質的性質无关。

如放入水中为蔗糖、氧化氢等非电解質，由实验測出，每1克分子的冰点下降为一常数，即下降 1.86°C 。写成公式如下：

$$\Delta T = 1.86^{\circ}\text{C} \times C, \text{ 或 } \Delta T = 1.86^{\circ}\text{C} \times \frac{m}{M}$$

式中： ΔT ——溶液的冰点下降度数；

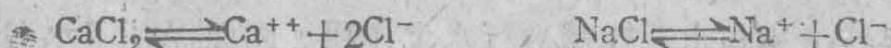
C ——1000克溶剂中溶質的克分子数；

m ——溶質的質量；

M ——溶質的分子量。

若在水中放入酸、盐和硷等电解質，則它們將在水中离

解。如一个 CaCl_2 “分子”可离解为3个离子，



1个 NaCl_2 “分子”可离解为2个离子，都比非电解质1个分子占据的面积大。因而非电解质溶液的冰点下降公式用于电解质溶液时，应改写为：

$$\Delta T = 1.86^\circ\text{C} \cdot \frac{m}{M} \cdot i$$

上式中 i 为校正系数，随不同电解质和不同离解度而异。不过 i 总是大于1。因此当掺用量相等而分子量又相近时，采用电解质降低冰点要比非电解质的效益大得多。

在电解质中，酸（盐酸等）和碱（碳酸钾等）的降低冰点的效果很好，但因价贵一般都不采用。关于盐类有人也作过不少试验，但到目前为止大家用得最多的还是 CaCl_2 和 NaCl 两种。因为除了他们具有较好防冻效果外，前者还能起促凝作用，后者价廉易得。故在冷混凝土中和我们研究的低温早强混凝土中都推荐采用。

不过还应该考虑的就是 NaCl 的分子量比 CaCl_2 约小一半，虽然在相同的浓度（为4%），前者比后者的防冻效果好，（见下式计算。 NaCl 的防冻效果约为 CaCl_2 的1.26倍），同时两者对混凝土的强度影响相差不多（见第二节）因此我们主张在 -5°C 以上时采用 NaCl 作防冻剂。

$$\frac{\Delta T_{\text{Na}}}{\Delta T_{\text{Ca}}} = \frac{1.86 \times \frac{M}{58.45} \times 2}{1.86 \times \frac{M}{110.99} \times 3} = \frac{110.99}{58.45} \times \frac{2}{3} = 1.26$$

3. 低温早强混凝土的防冻理论

前面已经谈过的冷混凝土，它所以能够在严寒中继续硬

化，是因为外渗的电解质起着降低冰点的作用，使水不致结冰而保持液相与水泥继续进行水化作用。因而保证了水泥石强度不断增长。

但要指出，在硬化中混凝土的盐的浓度，绝不是个常数关系，特别是在低温早强混凝土中盐的浓度变化更大。

我们作过不同龄期盐的浓度变化的测定试验。

两组掺10%NaCl水泥纯浆试块，用 $2 \times 2 \times 2$ cm铁模成型后，一组立即在 -5°C 养护（即代表冷混凝土），一组先正温（ 20°C ）养护一天后，再移入 -15°C 养护（即代表低温早强混凝土）。

试验方法是在不同龄期把试件破型磨细后以烘干法测定其游离水，同时并另称取磨细试样用蒸馏水洗涤后，以 AgNO_3 来滴定Cl离子，计算出游离NaCl。最后根据游离水和游离NaCl，计算出欲求得的盐的百分浓度。

这次试验得到的各龄期的氯盐浓度和相应的冰点的变化，如表1-2。

硬化中盐的浓度变化及其相应冰点 表 1-2

混凝土种类	养护条件	测定项目	龄 期					
			0天	1天	5天	7天	14天	28天
冷混凝土	始终在 -5°C 中硬化	浓度	10%			13.5%	13.2%	14.5%
		相应冰点	-6°C			-8.5°C	-8.2°C	-9°C
低温早强混凝土	先正温（ 20°C ）养护一天，后在 -15°C 中硬化	浓度	10%	1.6-7%	25.4%			30.8%
		相应冰点	-6°C	-10.8°C	-19°C			-21°C

可见早期正温处理后，大大增加了浓度，降低了冰点。为低温早强混凝土的防冻问题提供了理论数据；构成了掺少量

盐类而能作到远远低于冰点的混凝土的防冻理论基础。

● 濃度增大的原因，可能是水和水泥的化学反应速度，比盐和水作用的速度来得大的緣故。

我們还作了一个試驗，发现低掺量 1% NaCl（相应冰点为 -0.5°C ）的水泥純浆試块，正溫（标准）养护 12 小时后，NaCl 濃度增大为 14.1%（相应冰点为 -8.5°C ）；正溫（标准）养护 36 小时后，NaCl 濃度則增大为 26.8%（相应冰点为 -18°C ）。这就为我們制訂“低溫早强混凝土的防冻剂选择参考表”即附录一表 2 提供了理論数据。

还应该說明的是，如果混凝土中防冻剂掺量过小或寒流突然襲来使混凝土遭受冻结时。这时，低溫早强混凝土（冷混凝土同样）并不象普通混凝土一样，一下子就冻结住，而是在硬化溫度降低到初始濃度的相应冰点，当部分水变成冰析出时，却引起了盐的濃度的增大，溶液冰点也随之降低。只有当硬化溫度繼續降低到新的冰点时，才又有部分水結冰析出，但濃度也跟着变大，冰点再行降低了。如此繼續，一直要到混凝土的硬化溫度下降到最低共熔溫度，液相中的全部盐类与水才一起結晶析出。氯化鈉溶液的最低共熔溫度为 -21.2°C ，氯化鈣溶液为 -55°C 。

前面虽已闡明混凝土内部結冰时体积要膨脹，但由于盐溶液的濃度增大而濃縮，因此一脹一縮相互抵消，在一定負溫度範圍內总体积不变，这也是掺防冻剂混凝土不致冻坏的原因之一。

大家知道，冷混凝土也具有上述性能，这是它的优点，但硬化慢却是重大缺点。下面将研究改进办法，即探求快硬早强措施。

第二节 正温度早期养护对掺盐混凝土硬化的影响

1. 加速硬化的探索试验

我們和北京市第二公司試驗室共同合作下，采用了錦西水泥厂400号頁岩水泥，福建省平潭标准砂。水灰比为0.4，灰砂比为1:1.5的 $2 \times 2 \times 2$ cm試块。第一批試块为冷拌，拌合物温度为 $0 \pm 2^\circ\text{C}$ ；第二批試块为热拌，拌合物温度为 $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

第一批試块（编号为甲—1、2、3、4、5），在 -5°C 成型，成型后立即放入木箱中进行硬化，硬化12小时后变更一种温度。試驗数据见表1-3。

第二批試件（编号为甲—6、7、8、9、10），在 $+10^\circ\text{C}$ 成型，成型后在 $+10^\circ\text{C}$ 早期养护4小时，然后放入木盒中进行硬化，硬化12小时后变更另一种温度。試驗数据见表1-4。

試驗結果，龄初期在正温中硬化的試件强度为 R' ，立即遭受負温作用的試件强度为 R ，則各龄期的强度对比，大致是：

$$R'_3 \doteq 10 R_3$$

$$R'_7 \doteq 3 R_7$$

$$R'_{10} \doteq 3 R_{10}$$

$$R'_{28} \doteq 2 R_{28}$$

$$R_{\pm 28} \doteq 2 R_{\mp 28}$$

从上对比可知：采用热拌合物并对試件正温养护，哪怕是維持只有几小时的极短时间的正温度，都可以大大加快硬化速度，特别是早期强度。从而为“低温早强混凝土”指示出一个方向。