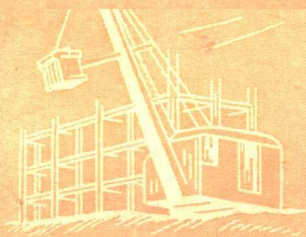


冷天混凝土施工法

吳中偉 著



科學技術出版社

10 • Kb 04 • 25 K • P.74 • ¥ 3,700

版權所有 不准翻印

責任編輯：陳元直

校對：婁翔

1951年2月發排(北大) 1951年3月付印(北大)

一九五一年三月初版

北京造 0001—5000 冊

科學技術出版社出版 北京燈市口甲45號

三聯、中華、商務、開明、聯營

聯合組織

中國圖書發行公司總發行

出版者的話

嚴寒對於製混凝土，一向是嚴重的威脅。作者研究了蘇聯和美國的經驗，認為這些困難都是可以克服的；並且冷天施工，還有許多優點，值得大力提倡。

本書詳盡討論了施工方法，吸取了蘇聯先進經驗，最後並敘述作者在美國親身參加的美國拉斯大壩在 -20°C 施工的實例，作者深信祇要照着適當方法去做，冷天混凝土施工是有絕對把握的。

本書對於嚴冬地區的建設工程和國防工程，有極大的參考價值。

引 言

新中國成立後，經濟建設大力推行，混凝土建築，到處皆是；爲了爭取時間，冷天施工，便成爲亟待解決的問題。1950年初，在「科學技術通訊」第1年第4期發表「冷天如何做混凝土」一篇短文後，一年來爲各地工程普遍採用，並經幾處工程書刊轉載。那篇短文是根據在美加邊境參加嚴冬施工的具體經驗寫成的。根據一年來瞭解實施的結果，有些地方是不太切合我國情況。譬如搭暖棚保溫，美國加拿大都用油布或木板，我國改用蘆蓆或高粱稭，風吹枝落，容易引起火災，必須晝夜有人看守。鐵道兵團搶修京漢線六大橋橋墩時，就發現這個缺點。同時，又有機會吸取了些蘇聯的經驗，如蘇聯專家教我們的暖炕法，在保溫養護上是勝過暖棚法的；從雜誌上，讀到在歐洲尤其蘇聯盛行的電熱法，也是值得我們注意去試驗和學習的。

自從1950年9月美帝加緊侵朝以後，建設工作的重點從經濟移到國防方面，時間因素，更顯得重要。在嚴寒的國防線上，冰雪寒冷對於做混凝土工事給我們不少困難。三個月來，每天在公餘編寫這本小冊子；希望能爲國防線上施工的同志們具體解決些問題，以作爲響應科聯、科普的號召貢獻全力到國防建設中的一種實際行動。

著者於華北窯業公司研究所

目 次

一 溫度對混凝土的影響.....	1
二 冷天做混凝土工程的好處和施工法則.....	5
三 冷天混凝土拌製方法.....	7
1 原料加熱法— 2 使用防凍劑法— 3 採用早強水泥法	
四 冷天混凝土養護方法.....	18
1 覆蓋法— 2 積水法— 3 暖棚法— 4 暖瓶法— 5 電熱法	
五 冷天混凝土的拆模問題.....	31
1 試驗方法— 2 拆模時間	
六 冷天混凝土施工的注意點.....	38
七 冷天混凝土施工的實例.....	41

一 溫度對混凝土的影響

混凝土是用水泥、水、砂、石子四種材料做成。隨着時間的進展，逐漸凝結硬化，成為堅強耐久的建築物。混凝土的凝固作用，是靠水泥和水的化學作用，這作用在學術上的名稱，叫做水化作用。水化作用的進行，和四周溫度有密切關係；溫度愈低，作用愈慢，混凝土強度的發展也就愈慢，因此建築物在短期內不會堅固，不能拆模使用，如果混凝土內部的水分，凍結成冰，那麼水化作用非但無法進行，並且因為結冰時體積膨脹的緣故，發生破壞作用，使混凝土結構鬆散，永遠不會產生較高的強度。所以在冷天低溫的環境下，混凝土工程是有

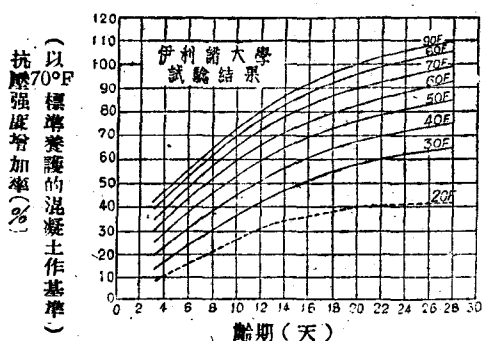


圖 1 養護溫度對於混凝土強度的影響

很多困難必須克服的。圖 1 說明溫度對於強度發展的關係，更說明了低溫情形下強度增進是何等遲緩。圖 2 的照片是混凝土澆好後三小時，尚未完全凝固，祇受了輕微的冰凍（ -3°C ），一星期後，仍能用手捏碎。

這種初期受凍損壞的混凝土，再也不會堅硬，必須拆去重做。

過去因為傳統的習慣，認為冷天做混凝土工程是一種浪費或是一種冒險；也有因為沒有經驗或未曾深入研究，非但認為冷天不宜做混凝土工程，甚至有人認為冷天是不能做混凝土工程的。

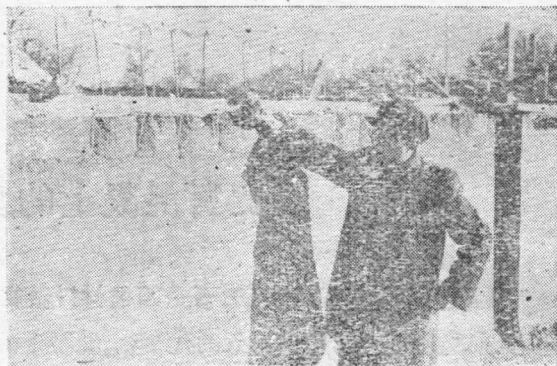


圖 2 受凍混凝土鬆碎情形

因此一到初冬，天未嚴寒，就相率停工。如以 5°C 為開始停工的溫度，那麼我國大部分地區，全年都要有三個月以上的停工時間，華北地區在四個月以上，東北及西北地區要有五六個月之久，幾佔全年時間的一半。據朱炳海所著‘氣象學’一書所載我國各地冬季的月數統計表如下：

表 1 各地冬季的長短

地 區	南方 諸省	雲貴 高原	長江 上游	長江 中游	長江 下游	北方 諸省	西北 草原	新疆	東北 南部	東北 北部
冬季月數	0	2-3	2.5-3	3.5	3.5-4.5	5-6	5.5-6.5	5-5	6-7	8

又據竺可楨所著‘氣象學’，我國大城市全年及分月平均溫度如表2。

冷天低溫在混凝土工程中所引起的困難，分析起來有下列五點：

1. 混凝土原料在未及使用時，便已凍結，因此不能直接拿來拌製混凝土。

2. 新拌混凝土未及入模，便已凍結，因此不能繼續澆搗，必須用

表 2 我國各地平均溫度

平均氣溫(°C)		全	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
地	名	年	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月
哈爾濱	爾濱	3.3	-18.7	-14.8	-4.4	5.7	15.3	18.9	22.3	20.8	14.4	4.5	-5.0	-16.0
牛莊	莊	8.6	-8.9	-8.2	-0.2	8.6	15.9	21.5	24.3	24.4	18.5	11.9	1.5	-5.8
北平	北平	11.7	-4.7	-1.7	5.0	13.7	19.9	24.5	26.0	24.7	19.8	12.5	3.6	-2.6
上海	海	15.0	3.1	4.0	7.8	13.5	18.6	23.0	26.9	26.8	22.7	17.4	11.0	5.6
杭州	州	16.0	5.1	3.6	8.2	14.6	20.4	24.4	28.1	27.6	23.7	18.0	11.2	6.8
南京	京	15.2	3.0	4.0	8.2	14.1	19.9	24.1	27.3	27.2	22.5	17.3	10.5	4.7
漢口	口	16.6	3.8	4.5	9.6	16.2	21.7	25.7	28.6	28.5	24.4	18.2	12.1	6.5
鄭州	鄭	16.6	6.6	7.2	11.8	17.0	21.3	24.3	26.2	25.4	21.3	17.3	12.2	8.1
昆明	明	16.5	9.0	10.4	15.1	18.9	21.2	21.5	22.6	21.1	19.3	17.5	12.6	8.8
香港	港	22.0	15.4	14.2	17.2	21.3	24.9	27.0	27.6	27.3	26.8	24.5	20.6	17.0
青島	島	12.3	-0.4	0	4.4	9.9	15.5	20.0	23.4	24.8	21.5	16.2	8.5	2.3
太原	原	10.2	-6.2	-5.0	2.6	11.8	18.5	23.6	26.6	23.4	17.4	10.5	3.8	-5.2
漢中	中	13.0	-2.7	0.8	8.6	14.9	17.6	22.2	26.5	22.1	16.5	11.6	6.1	-0.6
鄧善	善	13.3	-10.5	-2.9	7.4	19.0	24.1	29.6	32.5	29.6	23.2	13.0	0.5	-9.2
疏勒	勒	12.4	-5.8	-0.1	8.4	17.3	19.2	24.2	27.5	25.7	19.2	12.3	3.5	-2.7

微熱化凍(拌畢四小時以內,但必然影響強度。)或拋棄。

3. 澆好的混凝土,因低溫凝固很慢,必須延長養護和拆模時間,增加施工手續和費用。

4. 澆好不久的混凝土,如經凍結,發生鬆碎現象,必須拆除重做。

5. 混凝土強度增進情形不易試驗,何時拆模使用,沒有把握。

不過這五點困難,都是有辦法克服的。現在時代進步了,每個人都應當趕快打破主觀,放棄經驗主義,深入鑽研問題,糾正一切錯誤觀點。我們應向米邱林學習,“不能等待自然界的恩施,要去攫取自然界的恩施。”解放以前,那些牛步化的建設工作,祇是替帝國主義資本主義附庸統治作點綴,甚或是他們壓榨人民的工具,不必也不應

替他們爭取時間。可是現在不同了，爲了建設大家的新中國，我們不應浪費一時一刻的時光；在保家衛國的國防建設工作中，我們尤不應放過一分一秒。帝國主義的侵略兇獸，是不會等待我們的。所以，冷天混凝土工程是有它的必要性，這也是大家很容易認識到的。

二 冷天做混凝土工程的好處和施工法則

冷天做混凝土工程，除了上面所說爭取經濟建設和國防建設的時間因此有它的必要性之外，還有下面五點重要的好處：

1. 提前建築物完成日期，增加建築物使用時間，因此增加了建築物的收益。

2. 繼續不停的施工，可以減省許多不必要的開支，如停工的費用、遣散費、復工時的招工費、機件設備的租金、停工期內的折舊費和保管費等；繼續工作對於工人情緒也有鼓勵作用。

3. 冷天農閒，勞動力易得，工價較低。

4. 冷天河流水枯，對於水利工程、橋樑工程等的施工，有莫大的便利。

5. 大體積建築物中，混凝土散熱很慢，必須人工冷卻。冷天散熱較快，可減省人工冷卻的費用。

冷天做混凝土工程，在事前必須有充分準備。根據當地以往氣象紀載或居民經驗，澆混凝土後是否會有氣溫下降到 5°C 以下或養護期內下降到冰點以下的情形，常可預測。如決定不因天冷停工，那

應對於施工方法、設備、和必要的人員都應預先準備就緒。針對冷天低溫在混凝土工程中所引起的五點困難，冷天混凝土施工必須要遵守下列五項法則：

1. 保持原料——水泥、水、粒料（砂和石子）——本身的溫度，非但確無水屑凍塊存在，並且能做出適當溫度的混凝土。

2. 保持新拌混凝土的溫度，不致在運輸澆搗過程中凍結。

3. 保持周圍溫度，非但確在水點以上，並應適合於水化作用之進行。

4. 或採用有效方法，促進凝固速度，迅速渡過需要保護的危險時期，及早得到足夠的堅固程度。

5. 用試驗方法或根據經驗判斷，來掌握拆模和開始使用的時間。

關於冷天混凝土施工的具體方法，可分拌製方法、養護方法、拆模問題等三部分。

三 冷天混凝土拌製方法

有“原料加熱法”、“使用防凍劑法”、和“採用早強水泥法”等三種，可按環境選用一種或二種同時使用。

1 原料加熱法

拌製工作開始以前，將水或粒料加熱。除了天氣特別冷，或粒料中夾雜很多冰屑凍塊必須加熱消融以外，最常用的方法，是單單將水加熱。一、因水的加熱設備簡單，水溫也容易控制，不致太高（一般規定不得高過 60°C 即 140°F ）。二、因水的熱容量比粒料熱容量大得多，1 公斤水升高 1°C 所吸收的熱量，比 1 公斤粒料升高 1°C 所吸收的熱量多出四倍左右，所以提高水溫的方法最為有效。

1. 溫度計算：新拌的混凝土，希望有 $10^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ （約 $50^{\circ}\text{F}\sim 90^{\circ}\text{F}$ ）的溫度。冷天拌製混凝土，應當常用溫度計測定新拌混凝土的溫度，並且用加熱原料的方法來提高它和調整它。量得各種原料的溫度和比熱，可以用下列公式預先估算出混凝土的大概溫度；如溫度太低，也可用同式預先算出應當提高原料溫度的度數，才能做出某種溫度的混凝土。

$$\text{混凝土溫度 } T = \frac{S(T_1W_1 + T_2W_2) + T_3W_3 + T_4W_4}{S(W_1 + W_2) + W_3 + W_4}$$

式中符號說明如次：

水泥……………重量 W_1 溫度 T_1 (攝氏華氏均可)

面乾飽和粒料…重量 W_2 溫度 T_2

粒料表面水分…重量 W_3 溫度 T_3

拌和水……………重量 W_4 溫度 T_4

乾粒料和水泥之比熱 $S = 0.20$

在採用加熱原料法之前，先規定新混凝土所希望的溫度，再運用上面公式，算出一種或幾種原料需要加熱到什麼溫度。不過這公式算出的僅是約值，如原料溫度量得太不準，就會有相當差錯，應該在實際拌和時再加校正它。現在舉例說明：

1) 欲得 60°F 的混凝土：

原料配合比(重量比)水泥：砂：石子：水(包括粒料表面水分)
1：2.5：4.5：0.6

粒料表面含水率 1%

代入公式 $W_1=1$, $W_2=2.5+4.5=7.0$,

$W_3 = 0.01(2.5+4.5)=0.07$, $W_4=0.6-0.07=0.53$.

量得水泥溫度…………… $T_1 = 40^\circ\text{F}$

粒料溫度…………… $T_2 = 36^\circ\text{F}$

表面水分溫度與粒料同…… $T_3 = 36^\circ\text{F}$

如祇將拌和水加熱，欲使 $T = 60^\circ\text{F}$ ，從下式可求得 T_4 之值。

$$60 = \frac{0.20(1 \times 40 + 7 \times 36) + 0.07 \times 36 + 0.53T_4}{0.20(1+7) + 0.07 + 0.53}$$

移項 $T_4 = \frac{60 \times 2.2 - (58.4 + 2.52)}{0.53} = 134^\circ\text{F}$

就是拌和水應加熱到 134°F 左右。

2) 如希望將上例的混凝土溫度提高到 70°F , 那麼拌和水須加熱到 $T_4 = \frac{70 \times 2.2 - 60.92}{0.53} = 175^{\circ}\text{F}$ 。這樣的高溫, 已經超過規定的限度 (140°F), 有使水泥發生假凝 (遇熱水立即凝結) 的危險, 所以必須同時將粒料加熱。現在就將水溫規定在最高限 $T_4 = 140^{\circ}\text{F}$, 用上式求得粒料需要達到的溫度 T_2 (T_3 與 T_2 相等)。

$$70 = \frac{0.20(1 \times 40 + 7 \times T_2) + 0.07T_2 + 140 \times 0.53}{0.20(1 + 7) + 0.07 + 0.53}$$

$$\text{移項, } T_2 = \frac{70 \times 0.22 - (8 + 74.2)}{1.47} = 48.8^{\circ}\text{F}$$

就是拌和水加熱到 140°F , 粒料加熱到 49°F , 才可以做出 70°F 的混凝土。

2. 水的加熱: 最常用的提高水溫的方法, 便是用鍋煮, 規模較大的, 可以利用舊鍋爐煮水, 再用石棉保溫的水管輸送到拌和處應用; 電力充足地區, 可利用電熱煮水, 裝置與使用最便利 (圖5)。水溫應注意調節, 不許超過 60°C



圖 5 電熱器煮水, 通到拌和機使用

(140°F), 以免和水泥相遇, 引起假凝現象, 影響混凝土的性能和增加

施工上的困難。倘使發現水温已超過 60°C ，或因粒料溫度很低，但又不準備加熱粒料，希望用水溫來提高粒料溫度；那麼可先將粒料和熱水加入拌和機，轉動數匝，再加入水泥，也可避免水泥接觸高溫發生假凝的缺點。

3. 粒料的加熱：因為加熱粒料不如煮水來得簡便，除非粒料中雜有冰雪凍塊，或者如上面所舉例子，單靠提高水温不足以達到需要的混凝土溫度，才採用加熱粒料這辦法。最簡單的是在粒料堆四周，架火烘熱；小工程用料少的，可在使用前十餘小時將粒料移入水點以上的房屋或棚內，使凍塊消融，然後取用；適用在較大工程而設備最簡單的加熱方法，是取空油桶去底或用拱形或方形鐵板，下面生火，將粒料鏟在上面鋪烘，稍熱即鏟堆一旁，三人工作，可配合一架中型拌和機的運行（圖 4）。如有熱水管或蒸汽管的設備，可將管子通入



圖 4 烘炒粒料

粒料堆中，使之迅速解凍，並能提高溫度。最有效而最迅速的方法是用蒸汽噴射，非但加熱均勻徹底，並且不致減少粒料內部所含的水分（圖 5 圖 6）。燃火加熱粒料時，注意火鏟

不可燒灼粒料，免得粒料本身因不耐高溫而部分分解或開裂，粒料加溫後應注意遮蓋保溫或立即使用。

4. 混凝土的溫度：冷天新拌好的混凝土應達到規定的溫度，水或粒料預行加熱的目的便是做出適當溫度的混凝土。凡氣溫愈低、斷面愈小、鋼筋愈密、運距愈長的，溫度就要愈高。根據許多冷天施工的實例，小體積工程常規定混凝土的溫度在 $10^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ($50^{\circ}\text{F} \sim 80^{\circ}\text{F}$)，大體積混凝土的溫度可稍低，在 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}\text{C}$ ($40^{\circ} \sim$



圖 5 蒸汽噴射石子堆

60°F) 之間。在任何情形下，混凝土溫度不應超過 30°C (90°F)，因為溫度太高，除了燃料不經濟以外，還會發生很多壞影響，如加快

凝結、減少沉落度、增高需水量、表面有熱汽蒸騰增加工作的困難等，又因初時溫度太高，散熱後每發生很大的體積變化，引起過分的收縮而產生裂紋。所以冷天拌製混凝土時，應經常用溫度計來量混凝土的溫度和作必要的調整。

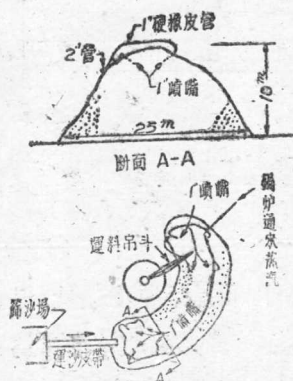


圖 6 蒸汽通入砂堆內部

2 使用防凍劑法

防凍劑實際上就是快硬劑，功用在于加速水化作用，縮短混凝土凝固所需的時間，提早發生化合熱量。因為縮短凝結時間和增加混凝土的早期強度，就可以減少養護時間和

養護手續，而提早發熱，也可以減輕凍結的危險和保溫設備的負擔。常用來做防凍劑的有食鹽、氯化鈣和碳酸鈉三種，其中食鹽最易取得，但食鹽祇能使水泥提前凝結，非但沒有早硬的功用，並且損害混凝土的強度的發展；據 Abrams 試驗，加 2% 食鹽減低混凝土二十八天強度達 15%。我國過去很多用食鹽來做防凍劑的，因結果不好，反失去對冷天做混凝土工程的信心。碳酸鈉快硬作用最好，市上也容易購得，但因作用太快，不易控制。所以最適用的防凍劑要推氯化鈣，氯化鈣的作用分述如下：

1. 快硬作用：適量的氯化鈣能增進混凝土各期抗壓強度，早期一天至三天尤其顯著，各國對於氯化鈣快硬試驗的記錄很多，圖 7 是美國公路研究所 1943 年的試驗結果。

1950 年初華北密業公司研究所用久大公司氯化鈣作

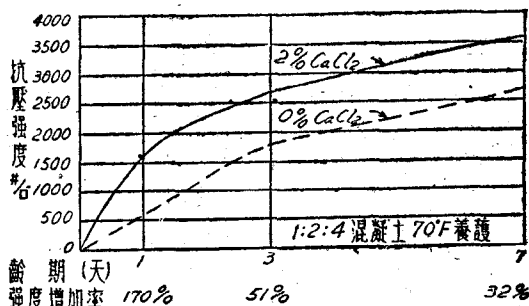


圖 7 氯化鈣增進混凝土早期強度

防凍劑，試得快硬作用如表 3。

2. 提早發熱作用：氯化鈣加速水化作用，因此提早發生熱量，但不增加熱量的總額，也不提高最高溫度的數值。許多試驗的結果認為適量氯化鈣可將發熱時間提前 50%。圖 8 是美國標準局的試驗結果。

3. 防凍效能：因為氯化鈣有快硬和提早發熱二種作用，所以在混凝土中表現出顯著的防凍效能，這也是氯化鈣被普遍用作防凍劑