

冬期施工人员 技术手册

余宗明 刘秉浩 编著

冶金工业出版社



冬期施工人员技术手册

余宗明 刘秉浩

冶金工业出版社

(京) 新登字 036 号

图书在版编目 (CIP) 数据

冬期施工人员技术手册 / 余宗明, 刘秉浩 编著

北京: 冶金工业出版社, 1994.10

ISBN 7-5024-1563-7

I. 冬… II. ①余… ②刘… III. 严寒气候施工-建筑工程-手册 IV. TU742-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 09305 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

河北省阜城县印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1994 年 9 月第 1 版, 1994 年 9 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 6.5 印张; 170 千字; 1 插页; 200 页; 1-5,000 册

8.00 元

前 言

1988年出版的《冬期施工手册》一书全面总结了改革开放以来我国冬期施工技术的经验，为反映我国冬期施工技术成果作出了积极的贡献，对我国冬期施工技术的研究和发展提供了丰富的资料。近几年来我国冬期施工技术在理论上取得了显著的进展。为了反映这些最新成果，尽快地将这些成果转化为实用技术，我们以《冬期施工手册》为基础，对已出版的和未发表的一些成果进行系统汇集和精炼，编写了这本《冬期施工人员技术手册》，为新颁布的《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92)中有关冬期施工的规定提供参考。

本书主要反映了以下最新研究成果。

1.冻土深度公式：本书提供了以气象统计数据为基础的冻土深度公式，代替了没有实际数据支持的经验公式。

2.砌筑工程冻结法强度验算公式：本书将解冻深度简化为计算系数，可以免除大量查表工作，并据此提出了解冻期间砌体强度验算的完整方法。

3.蓄热法热工计算：本书提供了最简便的拌合物计算温度公式和吴震东公式的最简化形式，及其相应的水泥水化热及其速度指数的数据及温度降到零度的时间计算公式。

4.混凝土早期强度推算：本书提出了以三次幂方程表示的强度—龄期法。

5.本书提供了电感应加热法的发热量实用计算公式。

6.本书提供了系统可用的冬季施工经济分析方法，使分析方法达到统一的可比性。

7.提供了已经正式批准颁布的《混凝土防冻剂》(JC 475—92)标准。

本书希望能用最少的篇幅说明问题，使读者能达到举一反三、灵活运用最新成果的目的，使其成为冬期施工工作人员易于

阅读和掌握的一本实用工具书。

本书引用了近十几年来在《建筑技术》、《低温建筑材料》和《施工技术》等杂志上发表过的高水平论文，以及全国冬期施工网年会提供的数据，作者仅向这些作者和编辑部以及全国冬期施工网表示深切的感谢。

由于作者水平所限，本书可能存在很多缺点和谬误，愿与读者共同探讨，希求把我国冬期施工技术提高到一个新水平。

作 者

1994.4

目 录

第一章 绪论	1
一、简史	1
二、冬期施工基本理论	2
第二章 土方工程	7
一、概述	7
二、土壤冻结深度公式	7
三、冻土的开挖	12
四、土方回填	17
第三章 砌筑工程	18
一、概述	18
二、冻结法	18
三、掺氯盐砂浆法	28
四、非氯盐砂浆外加剂	30
五、砌筑工程冬期施工的技术要点	30
第四章 混凝土工程冬期施工基本原理	32
一、概述	32
二、混凝土的硬化机理	32
三、混凝土低温早期 ($<3d$) 强度或负温强度的推算	35
四、外加剂的应用原理	42
第五章 混凝土拌合物的制备、运输及浇注	48
一、概述	48
二、原材料的加热	48
三、混凝土搅拌、运输及浇注的热工计算	53
四、加热料斗耗热量及配管计算	55
第六章 蓄热法及掺氯盐混凝土	57
一、概述	57
二、蓄热法及其热工计算	57

三、掺氯盐混凝土	68
第七章 钢筋混凝土工程	73
一、概述	73
二、负温混凝土施工方法	73
三、硫铝酸盐水泥混凝土	79
四、综合蓄热法	83
五、电热法	93
六、蒸汽加热法	115
七、暖棚法	120
第八章 体系结构冬期施工方法	122
一、概述	122
二、内浇外挂体系	122
三、全现浇结构体系	124
四、滑模体系	126
五、砖混结构	127
六、大板式结构	128
第九章 装修及装饰工程	130
一、概述	130
二、内装修工程施工	131
三、外装修工程施工	137
第十章 防水工程	139
一、概述	139
二、防水工程的施工特点	139
三、冬期施工方法	140
第十一章 冬期施工方案及现场工作	143
一、冬期施工方案的编制	143
二、冬期施工方法的优选及经济分析	151
三、冬期施工经济分析实例	154
四、冬期施工现场工作	156
附录一、我国三北地区主要城市冬期施工迄止日期	159

附录二、中国季节冻土标准冻深线图	插页
附录三、各种材料的比热及导热系数	165
附录四、部分法定与非法定计量单位换算表	170
附录五、中华人民共和国建材行业标准《混凝土防冻剂》 JC 475—92。	171
附录六、混凝土早期强度百分率推算值	185
附录七、水泥砂浆强度龄期关系表	191
附录八、散热器热工计算参考资料	192
附录九、锅炉选型参考资料	195
附录十、远红外线管状加热元件参考资料	196
附录十一、常用电焊机技术参数	198
参考书目	199

第一章 绪 论

一、简史

冬期施工技术在我国发展的 40 多年中，大致经历了三个阶段。

第一阶段：50 年代，学习苏联经验，掌握冬期施工技术的基本原理和实用技术阶段。这一阶段主要是引用苏联技术在我国北方地区的大规模工业建设中推广应用。1954 年召开的第一届全国冬期施工经验总结交流大会上的资料充分反映了 50 年代的冬期施工技术水平。其中主体是混凝土冬期施工技术，蓄热法、蒸汽养护法、电加热法等都得到广泛应用。加氯盐混凝土及砂浆可以说发展到比较成熟的地步。早期的冻结法砌砖逐步为加盐砂浆所取代。“冷作抹灰”亦有一定应用。后因基本建设缩减，冬期施工技术水平趋于停滞状态。

第二阶段：从 60 年代延续到 70 年代，为孕育阶段。此时掺氯盐混凝土在钢筋混凝土工程中的应用受到限制。开始探索和寻找无锈蚀作用的冬期施工外加剂与早强剂。随着减水剂（如亚硫酸盐纸浆废液等）的应用，以亚硝酸钠和硫酸钠防冻剂为主体的复合防冻剂开始在施工中应用。

第三阶段：从 70 年代末到 90 年代初，我国的冬期施工技术有了较大发展。复合防冻剂的出现并广泛得到应用，高效保温材料的应用，促进了综合蓄热法的发展。各种新型钢筋混凝土结构体系及现浇混凝土结构的应用，使冬施技术取得了重要发展。如综合蓄热法大模板、电热模、远红外线大模以及电热法梁柱接头施工技术、滑模体系的冬期施工技术等。同时防冻剂的采用逐步成熟，除负温防冻剂外，早强型防冻剂、硫酸钠型、亚硝酸钠型、尿素型防冻剂等也得到广泛应用，并形成了我国防冻剂的规范及标准。适于冬期施工的硫铝酸盐水泥及早强水泥也得到了广

泛应用。近几年，工频涡流法及电感应加热法也开始进行试点应用。

在理论方面，1981年湖南大学教授吴震东发表了“非大体积混凝土蓄热法计算”，使计算理论提高到一个新高度，同时开展了强度推算理论的研究，如成熟度、成熟度计和成熟度巡回测定仪等的研究。

配合新型建材的应用，在防水冬期施工技术上开始采用了烘烤法技术。内装修工程的冬期施工由临时暖气转向电气取暖措施，使内装修冬期施工技术的应用范围更加广泛。

二、冬期施工基本理论

冬期施工技术的实用性很强，因而其施工工艺和施工方法很重要。但是作为冬期施工技术的核心，混凝土强度与养护温度有直接关系，因而在很多地方脱离不了热工计算。混凝土与水泥的基本物理、化学性能是防冻剂研究的基础，同时也要涉及到各种化学物质的作用问题，因而冬期施工技术的理论形成了本身固有的一套系统。完整系统地掌握其内容，才能在实践中加以正确应用。

（一）混凝土硬化机理

混凝土是由水泥、水、砂、石四种材料组成的，其根本作用要求是混凝土的强度。混凝土的强度主要依靠水泥和水的化合形成水泥石，而将四种材料胶结为整体材料。水泥和水的化合条件是正温。当温度低于 0°C 时，这种化合作用急剧减慢甚至停止。而且水结冰后体积膨胀，还会破坏水泥石的结构，而使水泥石强度降低。因而在我国《混凝土结构工程施工及验收规范》(GBJ 50204—92)中规定：冬期浇筑的混凝土，在受冻前，混凝土的抗压强度不得低于下列规定：硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的混凝土为设计强度标准值的30%；矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土为设计强度标准值的40%，但不大于C10的混凝土不得小于5MPa。

上述数值的规定，在冬期施工中称之为“临界强度”。根据大量试验数据证明，低于临界强度的混凝土遭受冻害后，转入常温其最终强度不能达到混凝土标准养护强度值。

对不同龄期混凝土受冻转入常温后，最终能达到标养强度的百分比的试验研究，提出了四种受冻模式：

(1) 初龄受冻 即新拌混凝土浇筑后立即遭受负温冻结。此种模式，水泥来不及水化即停止作用，因而处于“休眠”状态，转入正温度，强度可以重新发展到与未受冻混凝土基本相同。但这种说法仅仅是理论上的，实际上当混凝土足够密实，冻结温度较低时，由于冰晶冻胀作用有可能破坏混凝土的结构。

(2) 幼龄受冻 新拌混凝土中的水泥初凝后在水化胶凝期间受冻。这种模式冻结温度偏高 ($0\sim-5^{\circ}\text{C}$)，冻结缓慢，混凝土中的水分在冻结过程中有转移。这种情况可使后期强度损失达 $20\sim40\%$ 。

(3) 成龄受冻 此时由于大多数自由水已与水泥化合进入凝聚——结晶阶段，自由水的数量少，结晶水造成的膨胀压力低于混凝土水泥石结构的强度。因而混凝土受冻后其强度几乎没有损失或损失低于 5% 。

(4) 老龄受冻 即混凝土强度已达标养 28 天强度以后受冻，此时对其后期强度丝毫没有影响。实际上这种情况相当于混凝土抗冻性试验。

(二) 防冻剂的作用机理

1. 基本目标

基于混凝土的硬化机理，人们企图寻找一些化学外加剂掺入混凝土中，以使混凝土不受冻害。为此有两种方法：一是降低水的冰点，使其不冻结，以免体积膨胀的破坏作用，并保持自由水液相，使水与水泥可以继续缓慢水化，其最终强度不受损失；二是发挥低温早强作用，此种外加剂能在低温条件下加速水泥与水的化合，使受冻前的自由水尽量减少，在早期达到较高强度，以增加其抵抗冻害的能力。

2. 氯盐防冻剂

最早使用的防冻外加剂是氯盐（氯化钠和氯化钙）。氯盐具有强烈降低溶液冰点的作用：其中氯化钠溶液的冰点为 -21.2°C ，氯化钙溶液的冰点可达 -55.6°C 。此外氯化钙与水泥作用具有早强性能，氯化钙与水泥中的 C_3A 发生化学反应，生成难溶的高氯型和低氯型氯铝酸钙，前者体积膨胀较大，会损害混凝土的体积稳定性，产生内应力以致开裂。单独使用时多产生高氯型，因而掺量不宜超过 2%。氯化钠的活性反应能力不如氯化钙强，残留在液相中的数量多，因而降低冰点的作用比氯化钙强，因此常采用二者的复合型。

氯盐外加剂由于对钢筋有锈蚀作用，因而在钢筋混凝土结构中的应用受到限制，而在砌筑工程中却有广泛的应用价值。

3. 无锈蚀防冻剂及混凝土防冻剂

70 年代以来，研制的防冻外加剂，着重在用于钢筋混凝土中的外加剂。对于无锈蚀防冻外加剂的研究，虽然只增加了无锈蚀的要求，但却大大加大了研制难度，因而其发展几乎徘徊了 20 年，才逐步取得进展。为了取得最合理的数据，除了进行锈蚀性检验外，最主要的条件是混凝土在受冻后转入常温后的最终强度是否能达到混凝土原设计强度。但试验条件影响因素却很多，如预养温度与时间；受冻温度和时间；转入常温后的时间；不同品种水泥、混凝土标号、水灰比条件的适用性等。若这些条件不能统一化，则所得结果差异将会很大，而且也将大大影响外加剂应用的可靠性。经过多年的研究，制定了《混凝土防冻剂》标准，将前三个因素予以统一。其中以标养混凝土（不掺防冻剂）的 28 天强度为基准，以负温混凝土的强度与之比较，受冻时间确定为 7 天，受冻温度按防冻剂的技术条件分为 -5°C 、 -10°C 、 -15°C 三个等级，转正温养护 56 天抗压强度比必须达 100%。

防冻外加剂的加入主要在于改善混凝土幼龄受冻的条件。防冻外加剂主要有防冻、减水、早强、阻锈以及加气等成分作用。

(1) 防冻 以氯盐、 NaNO_3 、尿素（氨水）、 K_2CO_3 等成分为主的防冻剂可以大大降低溶液的冰点，消除了自由水结冰膨胀的破坏作用，并维持水的液相，使水与水泥的化合能在低于 0°C 的条件下缓慢进行。

(2) 减水 在早期配制防冻混凝土中用以降低含水量，改善其抗冻性能。作为防冻剂成品来说，由于不能改变混凝土的配合比，因而它起到分散剂的作用，使水分不会发生聚集，改善水泥及水结合的条件，减少了结冰及冰晶膨胀的破坏作用。属于减水剂的有木质素磺酸钙类、UNF 高效减水剂、蜜糖类减水剂等。

(3) 早强 早强剂的作用主要是在低温条件下能加速水泥的水化作用。属于这一类的有 Na_2SO_4 、三乙醇胺、 CaCl_2 、 K_2CO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ 等。

(4) 阻锈 它的作用在于抵消防冻剂中少量氯盐的锈蚀作用，属于阻锈剂的有亚硝酸钠。

防冻剂的类型根据其使用条件可分为：

(1) 负温硬化混凝土的负温外加剂，达到负温养护的要求。

(2) 低温硬化混凝土的早强型外加剂，早期进行正低温养护，达到一定强度后转入负温养护，主要用于综合蓄热法。

(三) 蓄热法计算公式

蓄热法是冬期混凝土施工的重要方法，其原理主要是利用对原材料的加热提高混凝土拌合物温度以及水泥的水化热，在加强保温条件下，延长混凝土降到 0°C 的时间，以期达到混凝土成龄受冻条件。蓄热法技术的核心是对混凝土温度的热工计算，按照使其降到 0°C 时的时间确定混凝土强度。这部分的热工计算是蓄热法技术发展的重要组成部分。

蓄热法计算公式，最早由原苏联的斯克拉姆达耶夫创立，他按照传热学的原理，确立了一个与水泥水化热及室外气温有关的代数式，用以计算混凝土降到 0°C 的时间。由于该公式忽略了水泥发热及温度变化的连续性，计算结果与实测有较大出入。

在斯氏公式的基础上，湖南大学吴震东教授以传热学为基

础，确立了蓄热法计算的微分方程式，因而使蓄热法计算大大提高了一步，其计算结果与实测数据极为接近。

近年来，在简化斯氏公式，考虑室外气温周期性变化的吴震东公式，以及斯氏公式中的水泥水化速度指数的研究上又取得了一定进展。

(四) 混凝土早期强度的推算

随着对钢筋混凝土工程施工速度提出的要求愈来愈高，加快模板及保温材料的周转已成为降低成本的重要措施。在很多情况下，要求混凝土在1~3天之内进行脱模，因而就要推算混凝土在此期限内是否达到拆模强度或临界强度，而钢筋混凝土规范所给的强度曲线表一般是以三天为起始，因而三天以内的强度推算就无法进行。而且不论是蓄热法还是加热法，很多都是在低于 $+10^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行的。因而在这方面的研究就有以下一些重要课题。

1. 直接绘制强度-龄期曲线

按照不同温度绘制强度-龄期曲线，以供使用者应用。这种办法要对不同水泥品种绘制曲线，但由于早期强度低，试验结果的离散性大，只能转化为公式计算法，找出适合于混凝土强度发展规律的函数曲线，也就是强度与龄期的关系式。以后期强度值确定其早期强度值。

2. 度时积法 (成熟度法)

利用养护期的累积温度与时间的乘积值来推算强度。大量试验证明成熟度值与强度之间的关系为一曲线。不如第一种方法来直接。但该法可作为粗估强度的一种办法。

(五) 临界强度的研究

研究临界强度值是混凝土冬期施工技术中重要的课题之一。由于目前各国规范规定极不一致，看法也大相径庭。我国最近研究结果确定：对不加防冻剂的混凝土维持原施工规范数值；对掺防冻剂混凝土， -15°C 以内为4MPa， $-15\sim-30^{\circ}\text{C}$ 为5MPa。

第二章 土方工程

一、概述

土方工程中，主要的工作是挖掘和回填。在建筑工程中挖掘工程量一般较回填工程量人得多。在冬期施工条件下，土壤中的水分冻结，冻结的水体与土壤颗粒形成一个具有很高的强度的整体，开挖起来极为困难。开挖冻土所消耗的能量要比常温挖土大10倍以上，工作效率也很低。因此冻土开挖技术已成为冬期施工要研究的技术问题。这方面的研究已取得一定进展，但这些成果仍然是费用高、效率低。比较明智的方法是如何避免挖冻土或少挖冻土。最简单的办法是在安排计划时躲开冬期。但由于各种因素，仍需进行冬期挖土。在这种情况下，如能在冬季到来之前对土壤采取保温措施，保护土壤不受冻结或减少冻结深度，将会大大减少开挖冻土的工程量。解决土壤防冻问题，首先要掌握土壤冻结规律，其中重点是掌握在各种保温条件下冻结深度与冻结时间和环境温度的关系。针对这种关系可采用松土保温法，覆雪保温法和覆盖材料保温法。

除采取保温措施外，冬期土方工程的回填土施工中，填土中的冻块造成密实度不够，给工程造成隐患和返工，也应引起足够的重视。

二、土壤冻结深度公式

(一) 土壤的冻结及其规律

土壤是由天然颗粒组成的物质，且有大量孔隙，在自然条件下包含有大量水分，当气温低于零度时，水分就结冰变成冰水混和物。土壤的冻结，主要受气温的影响，随着气温的下降和时间的延续，冻土的深度逐步加大。因而可以说冻结深度是冻结时间和外界气温（负温绝对值）的函数。但其数值间的关系较为复

杂，主要原因是在自然条件下气温的变化只有总趋势——逐步下降，而不易求得精确值；其次延续的时间并非在恒温下进行，而是随气温的下降同时进行；此外还与土壤的种类及含水量有关。因此只能依据气象统计资料，概括为粗略的土壤冻结深度公式：

$$H_0 = k_1 \cdot |t| \cdot k_2 \cdot z \quad (2-1)$$

式中 H_0 ——无覆盖条件下冻土深度 (cm)；

k_1 ——与冻结温度有关的温度系数 (cm/°C)；

t ——冻结期最后一天的日最低气温 (°C)；

k_2 ——与冻结时间有关的时间系数 (1/d)；

z ——冻结延续时间 (d)。

(二) k_1 、 k_2 值的求取

由于式 2-1 是一个概略气象统计公式，所以 k_1 、 k_2 可利用气象统计资料中的土壤冻结温度与冻结时间予以分析确定。根据我国三北地区几个主要城市的有关资料，其 k_1 、 k_2 值如表 2-1 所示。

温度系数 k_1 、时间系数 k_2 计算

表 2-1

地 区 名 称	年平均最低 温度 t_0 (°C)	冬期施工 期 z_0 (d)	冻结深度 H_0 (cm)	温度系数 $k_1 < H_0 /$ $ t_0 $	时间系数 $k_2 = \frac{z}{z_0}$	$k = k_1 \cdot k_2$
哈尔滨	-24	185	190	1.92	1/92.5	0.0856
齐齐哈尔	-20	158	220	11.00	1/79	0.1392
长春	-18	227	165	9.17	1/113.5	0.1163
沈阳	-18	158	120	6.67	1/79	0.0844
大连	-8	136	80	10.00	1/68	0.1471
北京	-10	130	70	7.00	1/65	0.1077
天津	-9	128	70	7.78	1/64	0.1216
石家庄	-8	119	50	6.25	1/59.5	0.1050
太原	-12	142	80	6.27	1/71	0.0939
大同	-17	169	140	6.24	1/64.5	0.1278
呼和浩特	-19	135	160	8.42	1/67.5	0.1247
银川	-14	153	100	7.14	1/76.5	0.09333
兰州	-12	135	147	12.25	1/67.5	0.1815
乌鲁木齐	-19	180	120	6.23	1/90	0.0702

注：表中冻结深度、冬期施工期、年平均最低气温均摘自《冬期施工手册》。

表 2-1 中, 最后一栏 $k = k_1 \cdot k_2$, 是两个系数的综合值, 可称之为冻土深度系数。上述 k 值 (除个别偏差较大者外) 具有一定的规律性: 华北地区比较一致, 其变化范围为 0.09~0.12; 气温较低 ($-18 \sim -24^\circ\text{C}$) 的地区为 0.08 左右。

(三) 无覆盖层时的冻土深度公式

无覆盖层条件下的冻土深度公式为:

$$H_0 = k \cdot |t| \cdot z \quad (2-2)$$

在高于或等于 -15°C 时, k 值取 0.09~0.12; 低于 -15°C 时, k 值取 0.08~0.10。

(四) 有覆盖层时的冻土深度公式

将松土保温、雪层覆盖及材料覆盖三种视为有覆盖层的条件。覆盖层起到了隔热作用, 使覆盖层下土表面的温度高于室外气温, 有如替代了一部分冻土深度。此时, 冻土深度公式可表达为:

$$H = H_0 - \alpha h \quad (2-3)$$

式中 H ——有覆盖层冻土深度 (cm);

h ——覆盖层厚度 (cm);

α ——覆盖层当量系数。

α 值与覆盖材料导热系数有关, 可按表 2-2 取值。

不同覆盖材料的当量系数 α

表 2-2

覆盖材料名称	导热系数 λ (W/m·K)	当量系数, α
锯末	0.093	16.67
稻草	0.047	32.98
干炉渣	0.18	8.61
湿炉渣	0.29	5.34
松土	0.71	2.18
密实土	1.55	1.00
混凝土	1.51	1.03
松雪	0.23	0.74

注: 表中未列出的材料, 其 α 值可按其导热系数进行折算。