

《水利水电施工》

丛书

刘玉山

大体积混凝土 冬季施工

水利电力出版社



大 体 积 混 凝 土 冬 季 施 工

刘 玉 山

水 利 电 力 出 版 社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书根据已建工程施工的经验与资料,对混凝土冬季施工的各个环节与相应的施工方法做了较系统的介绍,其主要内容:混凝土冬季施工的基础资料;冬季施工的准备工作的;冬季施工的供热系统;冬季施工的混凝土生产;蓄热法施工;暖棚法施工;掺外加剂法施工;蒸气法施工;电热法施工。

ZH52/07

《水利水电施工》丛书
大体积混凝土冬季施工

刘玉山

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6.25印张 137千字
1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数0001—3520册

ISBN 7-120-01804-3/TV·647

定价4.50元

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书，包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员 史梦熊

副主任委员 董其林

委 员 (以姓氏笔划为序)

丁联臻	王万治	史梦熊	田 园
李文治	酃凤山	杨启声	张宏全
张林祥	沈坤卿	陈祖安	陈春槐
汪景琦	郑连第	郭之章	赵珂经
茹 智	陶芳轩	谈国良	徐曾衍
蒋元驹	曹述互	曹松润	董其林
颜振元			

前 言

混凝土是水利水电工程建设中不可缺少的一种建筑材料。据不完全统计每年用于水利水电工程的混凝土约在500万 m^3 左右。混凝土对温度的要求严格，在负温下施工，若不采取措施，将造成冻害，导致混凝土强度及耐久性遭受损失。由于水利水电工程大都需跨年度施工，也就不可避免地遇到冬季负温条件下的施工技术问题。

水利水电工程混凝土的特点是体积大，因此，它既怕混凝土早期受冻，又怕混凝土内部水化热产生过高的温度而造成温差大导致混凝土裂缝。所以，在冬季施工的前期和后期，都要加强混凝土的保温与防护措施。

混凝土冬季施工的任务，就是防止在负温条件下混凝土的早期受冻和冻害引起的裂缝与低强，采取保温、加热、掺外加剂等施工措施，使混凝土达到允许受冻临界强度以前水泥仍能水化，强度继续增长，用以保证混凝土质量，在此基础上优化冬季施工技术组织设计，因地制宜地利用本地保温材料等措施，以提高施工效率，降低冬季施工经费。

我国水利水电工程的混凝土较大规模的冬季施工，始于1949年丰满水电站恢复与改建工程，随后在东北的拉古哨、桓仁，以及西北的青铜峡、刘家峡、八盘峡等水电站工程建设中也都采用了冬季施工。70~80年代，白山水电站施工中，在最低气温为 $-35^{\circ}C$ 的条件下，年冬季混凝土浇筑量达到了9.9万 m^3 ，占年混凝土浇筑量的33%，取得了满意的成果。

建国40多年来，我国水利水电工程建设中混凝土冬季施工，目前已基本上做到在北纬45度以内可以全年施工。混凝土冬季施工技术取得了较大的发展。

本书根据已建工程施工的经验与资料，对混凝土冬季施工的各个环节与相应的施工方法，做了较系统的介绍，以供设计施工参考。

本书得到刘春煦同志帮助，刘长德同志提供照片资料。承葛文辉、张继华同志给予审核，并在文字上进行了修改，由蒋元驹同志进行了复审，在此特表谢意。

由于水平有限，错误之处，请读者批评指正。

编 者

1992年9月

目 录

序

前 言

第一章 水电工程冬季施工基础资料	1
第一节 水电工程的混凝土冬季施工	1
第二节 水电工程冬季施工期的气温标准	2
第三节 冬季施工混凝土的冻害及分类	6
第四节 允许早期受冻的临界强度和混凝土成熟度	14
第二章 冬季施工的准备工作的	32
第一节 冬季施工措施的编制	32
第二节 冬季施工混凝土养护方法的选择	34
第三节 冬季施工的温度观测	36
第四节 冬季施工混凝土质量控制要求	40
第三章 冬季施工供热系统	44
第一节 施工供热	44
第二节 热负荷计算	57
第三节 锅炉选型计算	62
第四章 冬季施工的混凝土生产	67
第一节 原材料及水灰比选择	67
第二节 骨料的储运	74
第三节 原材料加热方法	77
第四节 混凝土的拌和与运输	92
第五节 混凝土生产中的温度计算	98
第六节 混凝土浇筑	103
第五章 蓄热法施工	107
第一节 蓄热法的特点和适用范围	107
第二节 蓄热法施工措施	107

第三节	保温模板的热工计算	110
第六章	暖棚法施工	118
第一节	暖棚法的特点和适用范围	118
第二节	暖棚的结构型式	118
第三节	装配式暖棚施工	122
第四节	暖棚热工计算	126
第五节	暖棚散热器选择	129
第七章	掺外加剂法施工	135
第一节	早强防冻剂法	137
第二节	冷混凝土法	148
第八章	蒸气法施工	156
第一节	蒸气法的特点和适用范围	156
第二节	蒸气法各阶段时间的确定	160
第三节	蒸气法的分类	163
第四节	蒸气法工程实例	166
第九章	电热法施工	175
第一节	电热法的特点和适用范围	175
第二节	电极的型式、设置和电热制度	177
第三节	加热时间和耗电量的计算	181
第四节	电热法施工与工程实例	186
	参考文献	192

第一章 水电工程冬季施工基础资料

第一节 水电工程的混凝土冬季施工

混凝土是水电工程最常用的建筑材料。它是由砾石（碎石）、砂、水泥和水按一定比例经拌和、养护而成的人工石材。混凝土的强度，靠水泥与水进行水化作用后硬化时产生。混凝土的强度增长取决于养护温度的高低。温度高，强度增长快；温度低，强度增长慢。

当日平均气温降到 5°C 以下，或最低气温降到 0°C 和 0°C 以下时，混凝土用常温方法施工难以达到预期的目的，因而必须采用特殊的技术措施进行施工方能满足要求，即称为混凝土的冬季施工。混凝土工程要尽量避免在冬期施工。因为常温季节施工，从原材料搅拌、运输到浇筑养护整个过程都有一套较标准的程序，这是影响混凝土工程施工的主要因素——温度变化较小之故。冬季施工，由于气温低，且经常处于负温，常温施工的一套标准程序及要求就不适应了，因此无论在施工方案选择，原材料制备以及养护方法等，都需要有别于常温施工的一些特殊措施。这些措施导致工程费用相应增大。从经济角度考虑避免冬季混凝土施工为宜，但由于大中型水电工程的以下施工特点，考虑进行混凝土冬季施工还是有必要的。

(1) 大中型水电工程施工期都较长，一般 $3\sim 5$ 年。终年都要浇筑混凝土，为缩短工期，早见效益，这是考虑混凝土冬季施工的主要原因。

(2) 水电工程都是拦江筑坝，施工期间越是在枯水期越有利，而冬季正是枯水最佳季节。

(3) 我国北方冬季施工期4~6个月，如果水电工程不考虑混凝土冬季施工，现有的拌和、运输设备照样需要安排人员进行维护，而大批施工人员“窝工”不创造产值。这在管理和施工安排上也是不合理的。

毋庸讳言，混凝土冬季施工费用将会提高，但要根据目前对混凝土材料的认识与实践情况使冬季施工期定的合理，采取的冬季施工措施得当，既保证施工期的混凝土质量又能使施工费用不至浪费。

第二节 水电工程冬季施工期的气温标准

制定合理的冬季施工期，要靠当地的历史气温资料来确定。水电工程多座落在山区，气温变幅较大，不宜直接采用平原的冬季施工期限，需要根据工程所在地区的气象资料经过统计分析确定冬季施工期的起、止日期，这项工作十分重要，因为冬季施工期定的长，设备容量、保温材料和费用都将增加；若确定得短，混凝土质量将得不到保证。

在确定工程的冬季施工期限时，应先收集该地区的气象资料，如缺少气象资料，可到气象部门了解或用相邻地区的资料分析。一般有10年的气象资料即可满足要求，因为自然气候虽属多变性，但对大气候来说，还是有一定的规律性。《水工混凝土施工规范》(SDJ-207-82)中，对冬季施工期的气温标准有以下明确的规定：

(1) 寒冷地区的日平均气温稳定在 5°C 以下或最低气温稳定在 -3°C 以下时；

(2) 温和地区的日平均气温稳定在 3°C 以下时。

规定中“气温稳定在…”的含义是指连续5天测定温度达到要求气温标准称为“稳定”。这是根据气象部门的术语引进的，气象部门对我国的气象研究认为在气温逐渐降低的季节里，当连续5天稳定低于某一温度时，气温再回升机遇较少。本规定实质即认为这时已进入了冬期。采用气象部门术语的好处是，我国气象部门可以为各地区提供这方面的资料，对于施工单位很方便。

连续5天稳定要求温度概念的具体理解见图1-1^①。

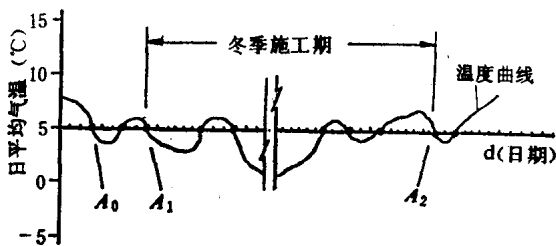


图 1-1 寒冷地区冬季施工期示意图

A_1 —起始日期； A_2 —终止日期

从图1-1中看出，当气温随着时间（ d ）的连续降温时，降低到 A_0 日，即日平均气温低于 5°C ，但经3天后，气温又回升，连续几天，气温又下降，当降低到 A_1 日时，气温又降到 5°C 以下，经连续5天气温未高出 5°C ，以后又可能回到 5°C 以上，但随之又降低，这时我们即取第一次出现的连续5天稳定 5°C 以下的初日 A_1 （日）做为冬季施工的起始日期。同样，当气温回升时，要取第一个连续5天稳定高于

^① 杨崇永等编著《建筑工程施工及验收规范讲座(4)钢筋混凝土工程》，中国建筑工业出版社，1988年。

5℃的末日 A_2 (日)做为冬季施工终了日期。 A_1 和 A_2 之间日期即为寒冷地区混凝土冬季施工期。

借助气象部门统计资料很易于查出低于或高于要求温度的初日和末日,应用起来还是很方便的。

规范中对寒冷地区和温和地区的划分可参见表1-1。

表 1-1 寒冷地区、温和地区参考表 单位: °C

分区	划分标准	年较差	年平均气温	最冷月平均温度	最热月平均温度	典型地区
	区别					
温和地区	温和区	19~25	15~19	3~8	24~30	贵州、四川、桂北、闽北、浙江、江西、湖南、湖北、陕南、皖南
	温冷区	25~30	12.5~15	-3~3	24~30	江苏、河南、皖中北、鲁中、关中、山西、冀南
寒冷地区	寒冷区	30~35	8~12.5	-10~-3	<24	河北、山东、山西、陕西、甘肃、宁夏、新疆等部分地区
	严寒区	35~42	2~8	-25~-10	<24	冀北、晋北、陕北、宁夏、甘北、新疆、内蒙、黑龙江、吉林、辽宁

水工施工规范中规定的不同地区的气温标准,是根据气象规律决定的。因为我国幅员辽阔,各地区温差变幅不同,在北方寒冷地区,日变幅温差大(10~16℃),连续5天的日平均气温稳定于5℃时,最低气温已低于-3℃,所以列两

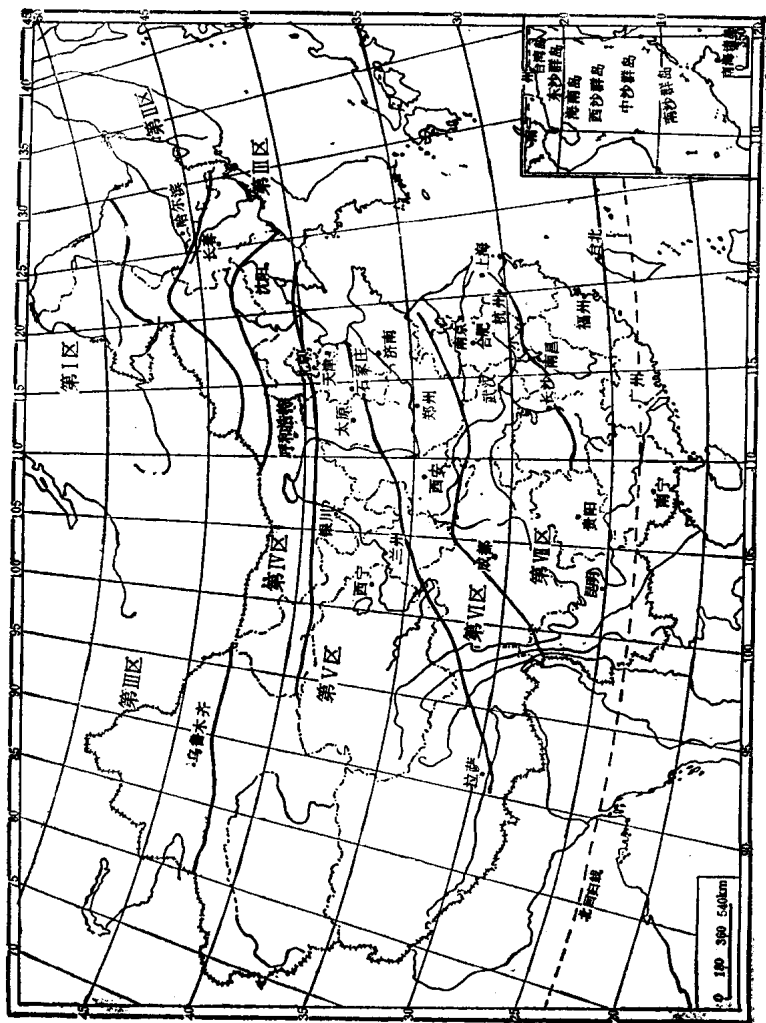


图 1-2 全国各地冬季施工期划分

项标准只达到其中一个标准即可。对于中部温和地区，日变幅温差较小，规范中只列出一个控制指标，稳定低于日平均气温 3℃ 做为冬期施工的开始时间。

根据各地区水电工程的冬季施工期资料绘制成图 1-2。

只要掌握所在地区冬季施工期最冷月平均气温，从气象资料中获得，一般为 1 月气温，就可从表 1-2 中查出需要的参考日期及天数。

表 1-2 我国各地水电工程冬季施工起、止
时间及施工天数参考表

地 区		冬季施工中最 冷月平均温度 (℃)	施工天数	起止日期 (月.日)
寒冷地区	I	低于-20	230	9.20~5.10
	II	-15~-20	190	10.10~4.20
	III	-10~-15	180	10.15~4.15
	IV	-5~-10	150	11.1~4.1
	V	0~-5	130	11.10~3.20
温和地区	VI	3~0	90	12.1~3.1
	VII	5以内	50	1.1~2.20

第三节 冬季施工混凝土的冻害及分类

一、混凝土冻害的分类

混凝土冬季施工要采取措施防止冻害。根据混凝土工程的不同阶段，混凝土受冻可分三种情况。

(一) 新鲜混凝土受冻

新浇筑混凝土在终凝之前遭受冻结。这种受冻只要

解除冻结，重新振捣密实，加强养护，后期混凝土性能不会受到损害。

(二) 混凝土的早期受冻

浇筑的混凝土终凝后，在养护期即开始增长强度时受冻。这种早期冻害对混凝土物理、力学性能危害最大。虽经解冻，保温养护后混凝土的物理、力学性能降低，达不到设计要求，影响工程使用。

(三) 混凝土的冻害

已硬化了的混凝土，在结构使用期间受冬冻春融影响，常年累月的自然气温作用，使混凝土的耐久性达不到要求而使结构遭到损害。

二、混凝土的冻害机理

混凝土受冻害的主要因素是温度降低到 0°C 以下，使混凝土中的液相水变成冰，水结冰后体积膨胀 9% ，从而使混凝土内部结构遭到破坏。

混凝土拌和物中的水分，约 20% 用于与水泥化合， 80% 的水经振捣密实后要蒸发掉，大量的水分蒸发使混凝土结构内部形成许多大小不同的孔隙通道。这些孔隙在混凝土从形成强度到使用的不同阶段，根据充水程度不同，受到负温冲击产生的冻害效果也不一样。

冻害的过程归纳如下几个步骤：

(1) 当温度降低到 0°C 以下时，混凝土内毛细孔中的自由水开始结冰，体积膨胀。

(2) 结构构件的冻结由表面逐渐向内部发展，表面部位水冻结后，由于结冰而膨胀，将内部未冻结的部分水沿毛细孔通道压向内部。

(3) 随着冻结的发展，结冰体积越来越大，使内部未

冻水压力越来越高，当内部压力增高到超过混凝土的抗拉强度时，就会把毛细孔胀破，产生微裂纹。

(4) 内部未冻水随着压力增大，流入发生裂纹的裂隙内，这时毛细孔内部的静水压降低，破坏有所缓和。以后，冻结再继续向深层发展，水压力又继续增大，达到一定程度时，裂纹继续扩展，又产生新的裂纹。原有裂纹增大，新的裂纹不断增多，使混凝土内部发生破坏●。

上面介绍的冻害步骤，适用于混凝土各个阶段，如混凝土在初凝阶段（振捣平仓后约4h之内）混凝土尚未开始硬化，孔隙结构没有形成，不会有大的破坏作用。如在终凝之后，混凝土获得临界强度之前，这时混凝土内部孔隙结构已基本形成，包裹水泥浆开始硬化。因冻害使开始硬化的混凝土受到损害，后果是严重的。如在混凝土达到使用硬化之后，反复的冻害，将使混凝土耐久性降低。

三、混凝土早期冻害对其性能影响

在混凝土冬季施工中，特别注意避免发生早期冻害，这是因为混凝土早期受冻后，物理和力学性能都会受到影响，从而影响结构的使用。

(一) 早期受冻对抗压强度的影响

混凝土浇筑后，遭受早期受冻，对抗压强度影响较大。这种早期受冻是指混凝土遭受冻害已成为事实，而不能在终凝前缓解冻块，重新振捣密实，再硬化养护。混凝土早期冻害强度试验结果见表1-3。

从强度试验结果可得出：

● 项玉璞主编，《冬期施工手册》。