

中国公路建设行业协会

中路建协函〔2024〕26号

关于征求协会标准 《土含水率智能微波法试验规程》、《公路桥涵 混凝土冬期施工技术规程》（征求意见稿）意 见的函

各有关单位：

根据中国公路建设行业协会标准编制任务安排，龙建路桥股份有限公司主编的《土含水率智能微波法试验规程》、《公路桥涵混凝土冬期施工技术规程》协会标准已完成征求意见稿，现请你单位组织研究并提出修改意见，并于2024年6月13日前反馈至标准主编单位。

编制组联系人：初文磊，联系电话：18243188700，传真：0451-82281861，电子邮箱：1824318800@163.com

邮寄地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区嵩山路109号

- 附件：1. 征求意见反馈表
2. 《土含水率智能微波法试验规程》(征求意见稿)
3. 《公路桥涵混凝土冬期施工技术规程》(征求意见稿)



附件 1:

征求意见反馈表

标准名称:

填表人姓名		职务或职称		填表日期	
单位名称	(公 章)				
通讯地址					
电 话			E-mail		

意见反馈:

序号	条款编号	修改建议	修改理由或依据

说明: 修改建议请按照标准文本顺序依次排列, 页面不够可增加附页。

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA xxx-202x

土含水率智能微波法 试验规程

Operation specification of intelligent
microwave soil moisture tester

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国公路建设行业协会 发布

中国公路建设行业协会标准

土含水率智能微波法试验规程

Operation specification of intelligent microwave soil moisture tester

T/CHCA xxx-202x

主编单位：龙建路桥股份有限公司

批准部门：中国公路建设行业协会

实施日期： 年 月 日

人民交通出版社股份有限公司

前言

根据中路建协技发〔2023〕107号关于下达《装配式公路钢桥桥墩》等32项协会标准的编制通知的要求，由龙建路桥股份有限公司作为主编单位，承担《土含水率智能微波法试验规程》的编制工作。

本规程在编制过程中，编制组广泛调研了国内外智能微波法土含水率检测的研究现状及发展趋势，并参考有关国际、国内、行业和团体的先进标准，依托国内外典型的工程项目，全面对比智能微波法与烘干法、酒精燃烧法测定土含水率的精确性，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规程主要技术内容包括：1总则；2术语；3基本规定；4仪器设备；5试验；6数据分析及附录。

本规程的管理权和解释权归中国公路建设行业协会，日常管理和解释由龙建路桥股份有限公司负责，请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理组，联系人：初文磊（地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区嵩山路109号，邮编：150009；电话：0451-82281420；电子邮箱：ljlqkjfz@163.com）以便修订时参考。

主 编 单 位：龙建路桥股份有限公司

参 编 单 位：东北林业大学

黑龙江省龙建路桥第二工程有限公司

黑龙江省龙建路桥第四工程有限公司

黑龙江省龙建路桥第六工程有限公司

主 编：王艳

主要编写人员：初文磊、朴志海、王立峰、唐国富、马丽芙、郑立君、宫菲菲、付新新、王文会、李天鸿、高铭智、李宇明

主 审：

参与审查人员：

目录

1	总则	1
2	术语	1
3	基本规定	2
4	仪器设备	2
4.1	仪器设备	3
4.2	测定仪技术参数	4
4.3	工作环境	3
5	试验	3
5.1	一般规定	3
5.2	仪器准备	4
5.3	试样制取	4
5.4	试验步骤	4
6	数据分析	5
6.1	含水率计算	5
6.2	精度及允许差	5
6.3	试验报告	6
附录 A	土的含水率比对试验	7

1 总则

1.0.1 为适应快速检测公路工程土含水率的测定需要,规范智能微波法检测土含水率操作程序,保证检测数据的准确性和有效性,提高试验检测质量,加快施工进度,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于细集料(含有可溶性、膨胀性及崩解性的集料除外)、0.075mm圆孔筛下的黏质土、粉质土等细粒土(有机质土除外)和冻土、盐渍土等特殊土的含水率快速测定。

1.0.3 土含水率智能微波法试验除应符合本规程的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

1.0.4 用于本规程试验的仪器应经国家有关检测机构认定合格并符合本规程要求。

2 术语

2.0.1 土的含水率 moisture content

土中水的质量与土颗粒质量的比值,以百分率表示。

2.0.2 细集料 fine aggregate

在沥青混合料中,细集料是指粒径小于 2.36mm 的天然砂、人工砂(包括机制砂)及石屑;在水泥混凝土、粒料材料,无机结合料稳定类材料等中,细集料是指粒径小于 4.75mm 的天然砂、人工砂。

条文说明:

定义参考《公路工程集料试验规程》JTG 3432 中术语细集料。

2.0.3 细粒土 fine grained soil

试样中细粒组土粒质量大于或等于总质量 50%的土称细粒土。

条文说明:

定义参考《公路土工试验规程》JTG 3430 中细粒土定义,细粒土包括粉质土、黏质土和有机质土。

2.0.4 冻土 frozen soil

冻土是指零摄氏度以下,并含有冰的各种岩石和土壤。

2.0.5 盐渍土 saline soil

地表以下 1.0m 范围内的土层,当其易溶盐的平均含量大于 0.3%且具有融沉、盐胀等特性时,应判定为盐渍土。

条文说明:

定义参考《公路工程地质勘察规范》JTG_C20 中盐渍土定义。

2.0.6 土含水率智能微波测定仪(简称测定仪)

利用微波法确定土含水率的仪器。

3 基本规定

3.0.1 测定仪结构应由多位称重系统、排湿系统、智能互动式触摸屏显、打印输出系统、逻辑计算系统、远程数据共享系统和数据集成管理控制系统等组成。

3.0.2 测定仪应具有双仓,可实现两组样品同时测定。

3.0.3 测定仪的称重范围应满足《公路土工试验规程》JTG E40 和《公路工程集料试验规程》JTG E42 相关规定,可通过更换称量盘调整称重范围。

3.0.4 测定结果应通过打印输出系统直接输出,计算系统自动计算土的含水率。

3.0.5 测定仪辐射应在人体允许范围内,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871 相关国家标准要求。

3.0.6 测定仪应设有高热保护报警装置和电路保护装置。

3.0.7 试验人员在试验中应遵守安全操作及环境保护的规定。

4 仪器设备

4.1 仪器设备

4.1.1 测定仪。

4.1.2 称量盘。

4.1.3 其它:浅盘、毛刷等。

4.2 测定仪技术参数

4.2.1 称重范围:50g-3000g,可通过更换称量盘调节

4.2.2 样品质量:参考《公路土工试验规程》JTG E40 和《公路工程集料试验规程》JTG E42 相关规定

4.2.3 含水率测定范围:0%-40%

4.2.4 含水率值分辨率：0.01%

4.2.5 准确度：±0.1%

4.2.6 功率范围：20-100%

4.2.7 检测范围：细集料、细粒土及特殊土

4.2.8 检测能力：5-15min/检测批；

4.2.9 操作模式：七寸液晶触摸屏

4.2.10 屏幕分辨率：800X480

4.2.11 显示参数：含水率值(%), 干土重(g), 湿土重(g), 设定功率(%), 运行时间(S), 日期时间显示(年月日 00:00)

4.2.12 电源及功耗：电源 220 V 50 Hz, 交流 AC220 或直流 DC24、DC12。

4.3 工作环境

4.3.1 工作环境温度应控制在 8-20℃。

4.3.2 室外现场测定时应避开雨雪、大风天气。

5 试验

5.1 一般规定

5.1.1 现场测试过程应严格按照《公路路基路面现场测试规程》JTG3450 中路基路面现场测试方法进行。

5.1.2 测定样品在称量盘中堆积应平整、均匀, 布满称盘底面, 利于水分完全蒸发。

5.1.3 在测定过程中, 避免震动, 严禁敲击或直接振动工作台面。

5.1.4 测定前, 在取、放称量盘时宜采用托架, 用手进行取、放称量盘应佩带保护措施, 轻取、轻放。

5.1.5 测定完成后, 需立刻取下称量盘应采用托架, 以免烫手, 托架在放入仪器中不应碰到称重支架与称量盘。

5.1.6 测定后应待称量盘完全冷却后, 再放入下一个试样。

5.1.7 测定仪微波加热时, 测试人员应与测定仪保持 1m 以上的距离。

5.1.8 输入信息时应确认同一批试样里不可有完全相同的编号(全空格除外)。

5.2 仪器准备

5.2.1 室内测定仪应放置在具有足够尺寸的放置平台上，靠近电源及被测物位置，测定仪后侧板应有足够的散热空间。

5.2.2 室外测定仪应放置在平坦的地面上，锁定万向轮，确认与仪器相匹配的移动电源良好，接入移动电源。

5.2.3 测定仪放置后，把相关的配件放入设备的既定位置。

5.2.4 测定仪的用电路及插座应满足相应功率要求。

5.2.5 试验前应按如下步骤准备：

1 接通电源，启动仪器；

2 检查各触屏按键开关；

3 检查仪器水平放置稳定情况；

4 将空称量盘擦拭干燥，并将称量盘放置在传力杆探头上，核对显示屏上称量盘重是否与出厂设置一致。

5.2.6 仪器通电应空运转 10min，检查无异常后方可进行含水量测定。

5.3 试样制取

5.3.1 土样的采集、保管、运输等应严格按照《公路土工试验规程》JTG 3430规定进行。

5.3.2 取具有代表性试样，细粒土不小于 50g，砂类土不小于 100g，细集料不小于 300g。

5.4 试验步骤

5.4.1 土含水率检测应按如下步骤操作：

1 进入“系统设置”，对测试内容及测试方法进行选择，若参数同上次测试一样时，可跳过此步骤。

2 将试样放置在烘干装置内的多位称量盘上，测重数值通过线路传导并存储在电路集成装置中，同步通过线路在显示装置上显示。按照称盘 1、2 分别点击试样质量确认键。

3 通过参数设置进行选择, 运行时间、功率、稳定时间, 点击屏幕上开始测试按键, 仪器自动测试, 试样自动烘干。

4 当试样被烘干失水质量恒定后, 屏幕双曲线显示不再变化, 运行时间到自动停止, 进入恢复时间, 仪器自动读取样品干质量数值, 通过电路集成装置逻辑计算出含水率, 含水率值被锁定显示在液晶屏幕上。

5 恢复时间内进行参数修正, 待检测结束时, 蜂鸣器发出提示声, 显示检测结果。

6 打印输出屏显数据。

5.4.2 继续测试应将测定仪门打开, 将称量盘与已测试样同时拿出, 倒掉已测试样, 将称量盘处理干净, 重新放置传力杆探头上, 屏幕校核, 重新装入试样。

5.4.3 所有试验检测完成后, 应关闭仪器, 断开电源。

条文说明:

若试验结果误差较大, 可参考附录 A 土的含水率比对试验进行验证。

6 数据分析

6.1 含水率计算

6.1.1 智能微波法土的含水率 w : 直显打印。

6.1.2 以同时测定两组样品测定结果的算术平均值为测定值。

6.2 精度及允许差

6.2.1 本试验应取一次测定两个试样的算术平均值, 允许平行差值应符合表 6.2.2 的规定, 否则应重做试验。

6.2.2 含水率测定的允许平行差值应符合下表:

表 6.2.2 含水率测定允许平行差值

含水率 w (%)	允许平行差值 (%)
$w \leq 5.0$	≤ 0.3
$5.0 < w \leq 40.0$	≤ 1
$w > 40.0$	≤ 2

6.3 试验报告

6.3.1 试验报告应包括以下主要内容：

- 1 工程名称；
- 2 土的状态、分类和产地；
- 3 仪器设备的名称、型号及编号；
- 4 报告日期；
- 5 试验日期；
- 6 试验结果；
- 7 依据标准。

6.3.2 试验报告应由检测人员、校核人员和审核人员签字确认。

附录 A 土的含水率比对试验

(资料性)

A.1 目的和适用范围

本比对试验用于比对 0.075mm 圆孔筛下的黏质土、粉质土和冻土等土类的含水率。并在此基础上评价各种比对试验方法的满意度。

A.2 比对试验方法

本比对试验采用土的含水率传统试验方法烘干法，快速试验方法酒精燃烧法以及智能微波法共三种方法。

A.3 比对试验手段和条件

本比对试验可采用重复性试验，也可采用复现性试验。在试验报告中应注明采用的具体手段和条件。

A.4 仪器设备

A.4.1 烘箱：鼓风式，温度可控制在 0~300℃ 之间。

A.4.2 智能微波测定仪：该测定仪性能要求如下。

1 称重范围：0-300g

2 样品质量：5-100g

3 含水率测定范围：0%-40%

4 含水率值分辨率：0.01%

5 准确度：±0.1%

6 功率范围：20-100%

7 检测范围：0.075mm 圆孔筛下细粒土

8 检测能力：5-15min/检测批；

9 操作模式：七寸液晶触摸屏

10 屏幕分辨率：800X480

11 显示参数：含水率值(%), 干土重(g), 湿土重(g) 设定功率(%), 运行时间(S), 修正数据(%), 日期时间显示(年月日 00:00)

12 电源及功耗：电源 220 V 50 Hz, 交流 AC220, 也可以是直流 DC24 或者 DC1

A.4.3 天平：称量 200g, 感量 0.01g, 称量 5000g, 感量 1g。

A.4.4 其他：干燥器、称量盒、滴管、调土刀等。

A. 4. 5 比对试验材料和溶剂：黏质土、粉质土和冻土等，95%酒精。

A. 5 比对试验步骤

A. 5. 1 取有代表性的土样，黏质土、粉质土、冻土不少于 400g，放于平整不吸水的台面上，充分拌合均匀，用四分法分割成四等份，取其中的 3 份备用。

A. 5. 2 对于黏质土、粉质土、冻土称取不少于 50g。以上各种土类分别取大致相等的 3 份，放入称量盒内，立即盖好盒盖，称取质量。

A. 5. 3 烘干法检测土样含水率

A. 5. 3. 1 揭开盒盖，将试样和盒放入烘箱内，在温度 105~110℃恒温下烘干。烘干时间对于细粒土（黏质土、粉质土等）不得少于 8h。

A. 5. 3. 2 将烘干后的试样和盒取出，放入干燥器内冷却（一般为 0.5~1h）。冷却后盖好盒盖，称取质量，准确至 0.01g。

注：（1）一般土样烘干 16~24h 就足够。但是，有些土或试样过多或试样很潮湿，可能需要烘更长的时间。烘干的时间也与烘箱内试样的总质量、烘箱尺寸及通风系统的效率有关。

（2）如铝盒的盖密闭，而且试样在称量前放置时间较短，可以不放在干燥器中冷却。

A. 5. 3. 3 结果整理

按下式计算土的含水率，精确至 0.1%。

$$w = (m_2 - m_3) / (m_3 - m_1) \times 100\%$$

式中：w——土的含水率(%)；

m_1 ——盒质量(g)；

m_2 ——未烘干的试样与盒总质量(g)；

m_3 ——烘干后的试样与盒总质量(g)。

A. 5. 4 酒精燃烧法检测土样含水率

A. 5. 4. 1 称取空盒的质量，准确值 0.01g。

A. 5. 4. 2 按 A. 5. 2 取代表性试样，放入称量盒内，称取盒与湿土的总质量，准确值 0.01g。

A. 5. 4. 3 用滴管将酒精注入放有试样的称量盒中，直至盒中出现自由液面为止。为使酒精在试样中充分混合均匀，可将盒底在桌面上轻轻敲击。

A. 5. 4. 4 点燃盒中酒精，燃至火焰熄灭。

A. 5. 4. 5 火焰熄灭并冷却数分钟，再次用滴管滴入酒精，不得用瓶直接往盒中倒酒精，以防发生意外。如此再燃烧两次。

A. 5. 4. 6 待第三次火焰熄灭后，盖好盒盖，称取干土和盒的质量，准确值 0.01g。

A. 5. 4. 7 结果整理

同 A. 5. 3. 3

A. 5. 5 智能微波法检测土样含水率

A. 5. 5. 1 按 A. 5. 2 取代表性试样,放入称量盒内,称取盒与湿土的总质量,准确值 0.01g。

A. 5. 5. 2 进入“系统设置”,对测试内容及测试方法进行选择,若参数同上次测试一样时,可跳过此步骤。

A. 5. 5. 3 将试样放置在烘干装置内的多位称量盘上,测重数值通过线路传导并存储在电路集成装置中,同步通过线路在显示装置上显示。按照称盘 1、2 分别点击试样质量确认键。

A. 5. 5. 4 通过参数设置进行选择,运行时间、功率、稳定时间,点击屏幕上开始测试按键,仪器自动测试,试样自动烘干。

A. 5. 5. 5 当试样被烘干失水质量恒定后,屏幕双曲线显示不再变化,运行时间到自动停止,进入恢复时间,仪器自动读取样品干质量数值,通过电路集成装置逻辑计算出含水率,含水率值被锁定显示在液晶屏幕上。

A. 5. 5. 6 恢复时间内进行参数修正,待检测结束时,蜂鸣器发出提示声,显示检测结果。

A. 5. 5. 7 打印输出屏显数据。

A. 5. 5. 8 结果整理

智能微波法土的含水率 w : 直显打印。

A. 6 比对试验精度及允许差

A. 6. 1 本比对试验必须进行两次平行测定,如果两次测定结果的允许平行差值符合表 A-1 含水率测定允许平行差值要求,则该次土含水率测定结果取两次测定值的算数平均值,否则应重做试验。

表 A-1 含水率测定允许平行差值

含水率 w (%)	允许平行差值 (%)
$w \leq 5.0$	≤ 0.3
$5.0 < w \leq 40.0$	≤ 1
$w > 40.0$	≤ 2
对层状和网状构造的冻土	< 3

A. 7 比对试验评价依据

A. 7. 1 计算平均值和标准差

对土样依次选用烘干法、酒精燃烧法和智能微波法进行含水率比对试验，对满足 A. 6. 1 要求精度和允许差的结果按以下两式计算平均值和标准差。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{-----(1)}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{-----(2)}$$

式中：

\bar{x} —— 样本平均值 g；

s —— 样本标准差 g；

n —— 样本个数；

x_i —— 第 i 个样本数。

A. 7. 2 可疑数据的处理

对于按烘干法、酒精燃烧法和智能微波法分别测定土的含水率，依次与标准差作对比，当其测定值大于或等于标准差的 3 倍时，该测定值视为可疑值。此时应全面检查产生可疑值的原因，并暂时停止使用该仪器和该方法检测土的含水率，直至排除原因，恢复正常。

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA XXXX-XXXX

公路桥涵混凝土工程 冬期施工技术规范

Technical specification for winter construction of
highway bridge and culvert concrete engineering

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中国公路建设行业协会发布

中国公路建设行业协会标准

公路桥涵混凝土工程冬期施工技术规范

Technical specification for winter construction of
highwaybridge and culvert concrete engineering

T/CHCA xxxx-xxxx

主编单位：龙建路桥股份有限公司
批准部门：中国公路建设行业协会
实施日期：xxxx年xx月xx日

Xxxx出版社

前 言

根据中国公路建设行业协会关于下达《装配式公路钢桥桥墩》等32项协会标准的编制通知（中路建协技发〔2023〕号）的要求，由龙建路桥股份有限公司作为主编单位，承担对《公路桥涵混凝土冬期施工技术规程》的编制工作。

本规程编制的指导思想：在编制过程中贯彻执行国家和交通运输部有关技术政策；在总结桥涵混凝土工程施工实践经验并借鉴国外先进技术标准的基础上，吸纳技术成熟、工艺先进、经济合理、安全环保、节能减排的“四新”技术；更好地体现“安全、耐久、环保、节能减排、可持续发展”的桥涵混凝土工程建设理念，使规程真正起到保证工程施工质量和安全、提高施工技术水平的作用。

本规程的编制原则：注重条文的技术先进性、合理性和可操作性，强调对施工关键工序和关键过程的控制；借鉴国外先进技术标准和成果；与相关的而标准、规范、规程协调配套。

本规程的主要技术内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 材料选择；5 配合比设计；6 施工；7 质量检测；8 施工安全。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理组，联系人：初文磊（地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区嵩山路109号，龙建路桥股份有限公司，邮编：150009；电话：0451-82281420，传真：0451-82281861；电子邮箱：ljlqkjfz@163.com），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：龙建路桥股份有限公司

参 编 单 位：东北林业大学

黑龙江省铁投预制构建有限公司

黑龙江省龙建路桥第一工程有限公司

黑龙江省龙建路桥第三工程有限公司

黑龙江省龙建路桥第五工程有限公司

主 编：朴志海

主要参编人员：王艳、初文磊、王立峰、李志辉、孙明刚、陈兴盛、赵海权、池波、王心智、姜紫毅、庄坤、王永前、张伟健、李满、姚瑞珊、张广伟、高彦宝、王文会、吴迪、宫菲菲、王普夷、王玉杰、张静波、孙运慧、付新新、孟盈、孙佳煜、高铭智、王旭、李爽、朱彩丽、杨宝权、刘铭东、李宇明、刘彦程

主 审：

参与审查人员：

目录

1 总则	5
2 术语	6
3 基本规定	9
4 材料选择	10
4.1 一般规定	10
4.2 粗、细集料	10
4.3 水泥	10
4.4 矿物掺合料	11
4.5 外加剂	11
4.6 混凝土用水	12
5 配合比设计	13
5.1 一般规定	13
5.2 配合比设计原则	13
6 施工	14
6.1 一般规定	14
6.2 混凝土搅拌	14
6.3 混凝土运输	14
6.4 混凝土浇筑	15
6.5 混凝土的养护	16
6.6 大体积混凝土的养护	19
6.7 薄壁混凝土的养护	19
6.8 混凝土测温和控温	20
6.9 混凝土拆模	21
7 质量检测	22
7.1 一般规定	22
7.2 原材料、新拌混凝土检测项目及参数	22
7.3 混凝土养护过程温度检测频率	22
7.4 混凝土测温要求	22
7.5 混凝土试件制作、养护及检测	23
8 施工安全	25
8.1 一般规定	25
8.2 防火安全规定	25
8.3 施工现场安全规定	26
附录A 水泥水化热测定方法	27
附录B 混凝土冬期施工热工计算	36
本规程用词说明	40
引用标准名录	41

1 总则

1.0.1 为满足公路桥涵混凝土冬期施工的需要，保障工程质量和施工安全，特制订本规程。

1.0.2 本规程适用于各级公路新建、改建、扩建桥涵混凝土的冬期施工。

1.0.3 对于特大型、特殊结构公路桥涵混凝土冬期施工，除应符合本规程的规定外，尚应就本规程未涉及的内容制定专项技术方案，必要时组织专家论证。

条文说明：

“特大型”是指规模远超出一般桥涵工程，条文中所指的特大型、特殊结构的桥涵混凝土冬期施工，其施工的某些特殊要求可能不被本规程的条文所包含，因此遇此情况时，需要在本规程的基础上制定更详细、更接近实际的专用标准或专用技术条款指导施工。

1.0.4 公路桥涵混凝土冬期施工应符合设计文件的规定，在保证质量、耐久、安全等基本要求前提下，最大限度地节约资源与减少对环境负面影响，实现绿色施工。

条文说明：

“安全”在此有两方面含义：一是在施工期间需要保证混凝土结构的安全和作业的安全；二是桥涵工程交付运营后，正常使用状态下混凝土结构本身能在规定的寿命期内安全使用。

“耐久”是指桥涵混凝土工程结构需要满足设计规定的使用年限。

“环保”是指桥涵混凝土工程结构施工时，需要符合环境保护法等法律法规的要求。

“节能减排”是指混凝土冬期施工时节约能源和减少环境有害物排放。

“绿色施工”是指在混凝土冬期施工中，在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源与减少对环境负面影响的施工活动。

1.0.5 公路桥涵混凝土冬期施工宜推行标准化、工厂化和智慧化施工，并积极推广使用可靠的新技术、新工艺、新材料和新设备。

1.0.6 公路桥涵混凝土冬期施工除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业和地方有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 冬期施工 winter construction

根据当地多年气象资料统计，当室外日平均气温连续 5d 稳定低于 5℃ 即进入冬期施工，当室外日平均气温连续 5d 高于 5℃ 即解除冬期施工。

条文说明：

日平均气温是一个气象学概念，指一天 24h 的平均气温，气象学上通常用一天 2:00、8:00、14:00、20:00 四个时刻气温的平均值作为一天的平均气温。

混凝土浇筑完成后，随着水泥的凝结硬化，混凝土释放出大量的水化热，期间伴随着强度的不断增长和体积的变化，前者是建设的目的，后者应尽量减少。混凝土强度的增长需要一定的正温度和时间作保证。

在秋末初冬和冬末初春季节，夜间气温往往低至 0℃ 以下，如不对新浇筑的混凝土采取适当的保温养护措施，这对混凝土的强度增长、体积稳定性和耐久性是及其不利的。在这一时间段内，日平均气温可能大于 5℃，但最低气温也可能低于 0℃。各级建设方应趋利避害，对浇筑后的混凝土加强养护。各级工程建设方应根据当地环境、施工条件和自身的施工工艺要求，权衡利弊根据环境气温的变化（特别应注意 24h 内最低气温），选择适当、经济的养护条件和方法。

2.0.2 矿物掺合料 mineral admixture

在配制混凝土时加入的能改善新拌混凝土和硬化混凝土性能的无机矿物细粉。

2.0.3 大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小尺寸不小于 1m 的大体量混凝土，或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土。

2.0.4 薄壁混凝土 thin walled concrete

指壁厚小于等于 50mm 的混凝土。

2.0.5 受（抗）冻临界强度 frozen critical strength

新拌混凝土受冻后再恢复正温养护，强度可继续增长，并达到设计强度等级 95% 以上所需的初始强度。

2.0.6 胶凝材料 binder

混凝土中水泥和活性矿物掺合料的总称。

2.0.7 相容性 compatibility

使用相同减水剂或水泥时，由于两者质量变化而引起水泥净浆流动性、经时损失的变化程度以及为获得相同流动性而导致减水剂掺量的变化程度。

2.0.8 混凝土结构表面系数 surface coefficient of concrete structure

混凝土结构物冷却面积 (m^2) 与该结构物体积 (m^3) 的比值。

2.0.9 蓄热养护法 heat storage curing method

混凝土浇筑后，利用原材料加热产生的热量和水泥水化反应放出的热量，通过适当保温延迟混凝土冷却时间，使混凝土冷却到 $0^{\circ}C$ 以前达到预期强度的施工方法。

2.0.10 综合蓄热养护法 comprehensive heat storage maintenance method

掺早强剂或早强型减水剂的混凝土浇筑后，利用原材料加热及水泥水化放热产生的热量，通过适当保温，延迟混凝土冷却时间，使混凝土温度降到 $0^{\circ}C$ 或设计规定温度前达到预期要求强度的施工方法。

2.0.11 蒸汽养护法 steam curing method

蒸汽养护又称湿热养护，是以水蒸汽为热介质，使混凝土加速硬化的养护方法。

2.0.12 暖棚养护法 greenhouse maintenance method

将被养护的混凝土构件或结构置于搭设的棚中，内部设置散热器、排管、电热器或火炉等加热棚内空气，使混凝土处于正温环境下养护的方法。

2.0.13 负温养护法 negative temperature curing method

在混凝土中掺入防冻剂，使其在负温环境下能够不断硬化，在混凝土温度降到防冻剂规定温度前达到受冻临界强度的施工方法。

2.0.14 电极加热法 electrode heating method

使用钢筋作电极，利用电流通过混凝土时所产生的热量来加热养护混凝土。

2.0.15 电热毯加热法 electric blanket heating method

混凝土浇筑后，在其表面或模板外覆以柔性电热毯，通电加热对其养护。

2.0.16 工频涡流加热法 power frequency eddy current heating method

利用安装在钢模外侧的钢管，内穿导线线圈，通以交流电后产生涡流电加热钢模板，从而对混凝土进行加热养护。

2.0.17 线圈电磁感应加热法 coil electromagnetic induction heating method

利用缠绕在构件模板外侧的绝缘导线线圈，通以交流电后，在钢模板和混凝土内的钢筋中产生电磁感应，对混凝土进行加热养护。

2.0.18 红外线加热法 infrared heating method

红外线是一种电磁波，红外线加热就是利用新拌制混凝土有较好的吸收红外线能力，使混凝土不断获得热量实施养护。

3 基本规定

3.0.1 公路桥涵混凝土冬期施工除参考本规程外，尚应满足业主与监理的要求。

3.0.2 本规程涵盖的条文尚未明确者，应参考设计文件、招标文件要求。

3.0.3 公路桥涵混凝土冬期施工应遵守国家建设工程质量方面的法律法规，建立健全质量保证体系，明确质量责任。

3.0.4 公路桥涵混凝土冬期施工应根据实际情况采取切实可行的技术措施，确保混凝土工程满足技术要求。

3.0.5 公路桥涵混凝土冬期施工应遵守国家建设工程安全方面的法律法规，建立健全安全生产管理体系及应急预案，明确安全责任，严格执行安全操作规程，保障施工人员的职业健康和施工安全。

4 材料选择

4.1 一般规定

4.1.1 凡是用于冬期施工的混凝土原材料，其技术性能均应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650）中的相关要求。

4.1.2 混凝土用原材料应于施工前组织进场，并存放于保温大棚内保温待用，其品质与温度应满足冬期施工配合比与热工要求。

4.1.3 混凝土冬期施工时，除了可以加热拌合用水与粗细集料外，不得直接加热水泥、矿物掺合料和外加剂。须加热的原材料，应经过热工计算、实际试拌混凝土并实测出机温度后综合确定加热温度。

4.2 粗、细集料

4.2.1 混凝土冬期施工应选用强度高、孔隙率小的粗、细集料。

4.2.2 粗、细集料应洁净，不得混有泥土、冰雪和冻块。

4.2.3 当混凝土出机温度低于10℃时，应考虑对粗、细集料进行加热，但加热温度不得超过表4.1的规定。

表4.1 粗、细集料最高加热温度（℃）

项 目	粗、细集料
42.5 以下的普通水泥、矿渣水泥	60
42.5、42.5R 及以上的普通水泥、矿渣水泥	40

条文说明：

粗、细集料加热温度只是最高限值，实际施工时对其进行加热操作起来比较困难，不容易加热到这样的温度，而且受热也不易均匀。而加热混凝土拌和用水相对容易，实际施工时常常将拌和用水加热到较高温度（见表4.2），粗、细集料一般加热到10-20℃。

4.3 水泥

4.3.1 桥涵混凝土冬期施工采用的水泥应符合现行《通用硅酸盐水泥》（GB175）的规定，水泥的品种和强度等级应通过混凝土配合比试验选定。

4.3.2 桥涵混凝土冬期施工除了检测水泥的常规参数外，宜增加检测水泥的水化热参数。除大体积混凝土应选择水化热小的水泥外，非大体积混凝土宜选择水化热较大的水泥。

4.3.3 桥涵混凝土冬期施工时水泥品种的选用规定:

- 1 当混凝土采用暖棚加热养护时,应优先选用活性高、水化热大的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;
- 2 当混凝土采用蒸汽养护时,宜选用矿渣硅酸盐水泥;
- 3 当混凝土养护温度大于30℃时,不得采用高铝水泥拌制混凝土。

4.3.4 冬期施工时水泥用量和强度等级的选用规定:

- 1 每立方米混凝土中的水泥用量不宜少于300kg, (大体积混凝土不受此规定限制) 强度等级不宜低于42.5;
- 2 大体积混凝土的最小水泥用量,可根据实际情况确定;
- 3 对于强度等级不大于C15的混凝土,水泥强度等级和最小水泥用量可不受上述规定限制。

4.4 矿物掺合料

4.4.1 矿物掺和料的技术要求应分别符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T1596)、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T18046)和《砂浆和混凝土用硅灰》(GB/T27690)的相关规定。

条文说明:

2006年交通部以交公便字[2006]02号文颁布了《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》,该指南对公路混凝土工程中最常用的10类19种外加剂和4类掺合料,从主要品种、使用范围、性能指标、施工注意事项、检测要求到质量监控等各个环节均有较详细的规定。在公路工程混凝土工程中使用矿物掺合料(包括外加剂)时,通常按该指南的内容进行应用。

4.4.2 冬期施工时应优先选用品质优良的矿物掺合料,掺加量比正常温度施工时酌情减少。

4.5 外加剂

4.5.1 冬期施工时常用的外加剂包括减水剂、引气剂、缓凝剂、防冻剂、膨胀剂等,其技术性能应满足《混凝土外加剂》(GB8076)和《公路工程水泥混凝土外加剂》(JT/T523)的相关要求。

4.5.2 公路工程混凝土工程冬期应使用减水率高、与水泥、矿物掺合料之间相容性良好的减水剂。

条文说明：

外加剂与胶凝材料特别是与水泥之间的相容性问题是外加剂应用过程一个不容回避的重大问题。两者相容性不好时，不但影响混凝土的工作性，降低施工效率，而且影响混凝土的外观和内在品质。

不同品种的外加剂有其各自的特性，故需要根据使用要求、工程材料和施工条件等因素，通过试验确定其品种及适宜的掺量，筛选出二者相容性较好的组合。

4.5.3 采用非加热法养护混凝土时，外加剂的选用规定：

1 所选用的外加剂应含有引气组分或掺入引气剂，含气量宜控制在3.0～5.0%；

2 在满足混凝土坍落度经时损失前提下，宜选用凝结时间短、早期强度较高的高效引气减水剂，其掺量应满足设计及规范要求；

3 外加剂中复合的保坍、缓凝组分和剂量应经试验室试验后正确掺用。

4.5.4 采用蒸汽养护混凝土时，外加剂的选用规定：

1 严禁使用含缓凝成分的减水剂；

2 不宜掺加早强剂。

4.6 混凝土用水

4.6.1 混凝土冬期施工用水的检测试验方法应符合现行《混凝土用水标准》（JGJ 63）的相关规定。

4.6.2 混凝土冬期施工时，在搅拌混凝土前，宜采用两个储水箱蓄水，以方便循环加热拌和混凝土，使拌和用水温度满足冬期施工连续搅拌供应混凝土的要求。

4.6.3 为满足冬期施工混凝土质量要求，应对混凝土拌合用水进行加热，其加热温度见表4.2。

表4.2 拌合用水最高加热温度（℃）

项 目	拌合用水
42.5 以下的普通水泥、矿渣水泥	80
42.5、42.5R 及以上的普通水泥、矿渣水泥	60

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土配合比应优先选用品质较好的原材料，宜按高一个强度等级选配原材料。

5.1.2 混凝土冬期施工进行配合比设计时，应比常温施工更加关注耐久性问题，在与养护方式不发生冲突前提下，宜考虑掺加适量优质引气剂。

5.1.3 混凝土配合比设计应充分考虑冬期施工环境温度低的特点，重点考虑单位水泥用量和水胶比问题。其中单位最小水泥用量可参考本规程第4.3.4条第1款的规定，水胶比不宜大于0.5。

5.1.4 在确定混凝土配合比时，应根据混凝土绝热温升、温控施工方案的要求，提出制备混凝土时对粗细骨料、拌合用水及混凝土入模温度控制的技术措施。

5.2 配合比设计原则

5.2.1 冬期施工混凝土配合比除应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）第6.8节的规定外，尚应满足下列规定：

- 1 非加热法养护的混凝土可加入适量的引气剂，以改善其黏聚性、保水性，提高抗冻融循环能力；
- 2 在满足工作性前提下，应选择较低水胶比，宜选择较小的坍落度；
- 3 在养护条件较差条件下，应减少矿物掺合料的掺量；
- 4 负温养护的混凝土，应掺加适应不同负温条件的防冻剂。

5.2.2 除涵底等非受力素混凝土外，其他受力钢筋混凝土不应掺加氯盐类防冻剂。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 在搅拌混凝土前，应在混凝土拌合站搭设保温大棚，并做好拌合站机电设备的维护和保养工作。

条文说明：

混凝土拌合站与各种原材料应统一考虑搭设一体化保温大棚，以方便搅拌混凝土时的配料，提高保温效果。

6.1.2 混凝土拌合站保温大棚内宜准备两台搅拌机，保持良好的工作状态，并应试运行待用。

6.1.3 拌合站搅拌混凝土时，应严格按照施工配合比计量配料。

6.1.4 冬期施工混凝土的搅拌应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》（GB50164）和《混凝土结构工程施工规范》（GB50666）的相关规定。

6.1.5 混凝土冬期施工养护应针对不同环境和条件，采用不同的养护方法。

6.2 混凝土搅拌

6.2.1 搅拌混凝土前宜用热水或蒸汽预热搅拌机及混凝土运输设备。

6.2.2 混凝土冬期施工时，投料顺序宜为骨料、水，稍加搅拌，再加入水泥和矿物掺合料，最后加入外加剂，混凝土的搅拌时间宜比常温时延长50%左右。

6.2.3 对于自搅拌和运输距离较短的冬期施工混凝土，出机温度不宜低于10℃，入模混凝土温度不低于5℃。

6.3 混凝土运输

6.3.1 预拌混凝土或需远距离运输的混凝土，混凝土拌合物的出机温度可根据运输距离经热工计算确定，也可以结合混凝土运输到浇筑现场测定入模温度后综合确定，但不宜低于15℃。

6.3.2 在混凝土出机后和运输车出发前，应对其测温并记录，其温度应满足热工计算的要求。

6.3.3 当采用泵送运输方式时，在输送混凝土前，应采用热水、水泥浆或水泥砂浆对泵和泵管进行预热、润滑，并应对泵送设备采取包裹棉毡等必要的保温措施。

6.3.4 冬期施工采用运输车运输的混凝土，应采取必要的保温措施减少混凝土的热量损失，同时应保证混凝土的和易性。

6.3.5 冬期施工采用输送泵运输的混凝土，输送泵管宜使用长管，减少使用弯管，减少管夹子数量。

6.3.6 冬期施工的混凝土在运输过程中，应保证混凝土降温速度不超过 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

6.4 混凝土浇筑

6.4.1 浇筑混凝土前，应清除地基、模板和钢筋上的冰雪和污垢，并用保温材料覆盖保温。

6.4.2 浇筑混凝土时，宜选择在白天气温较高时段进行浇筑，并应加强振捣环节质量控制。

6.4.3 混凝土浇筑入模前应进行测温，其温度应满足热工计算的要求。

6.4.4 混凝土分层浇筑时，分层厚度不应小于400mm，也不宜大于500mm，在被上一层混凝土覆盖前，已浇筑层的温度应满足热工计算要求，且不得低于 2°C 。

条文说明：

因冬期施工环境温度低，如果混凝土浇筑层厚度太小，散热过快，不利于混凝土强度增长；同时考虑到公路桥涵混凝土施工传统使用的振捣棒规格，在此对浇筑层最大厚度也做了相关规定，过厚的分层，不利于振捣密实，影响混凝土品质，因此，本规程同时规定了浇筑层厚度的上下限。

本规程规定了混凝土入模最低温度不得小于 5°C ，考虑到混凝土从入模到振捣完成需要一定时间，振捣完成后混凝土温度会下降，故做此规定。

6.4.5 采用加热法养护现浇混凝土时，应根据加热产生的温度应力对结构的影响采取措施，并应合理安排混凝土浇筑顺序与施工缝留置位置。

6.4.6 当冬期进行接缝混凝土施工时，应加热新旧混凝土结合面，使接缝表面温度超过 5°C 。浇筑结束后，立即用棉苫布等保温材料覆盖混凝土表面，使混凝土继续保持正温，直至新浇筑混凝土达到受冻临界强度为止。

6.4.7 冬期施工的混凝土，其受冻临界强度的相关规定：

1 当采用蓄热法、暖棚法、加热法施工时，采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥配制的混凝土，不应低于设计混凝土强度等级值的40%；采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥及火山灰硅酸盐水泥配制的混凝土，不应低于设计混凝土强度等级值的50%；

2 当室外最低气温不低于 -15°C 时,采用综合蓄热法、负温养护法施工的混凝土受冻临界强度不应低于 4.0MPa ;当室外最低气温不低于 -30°C 时,采用负温养护法施工的混凝土受冻临界强度不应低于 5.0MPa ;

3 强度等级等于或高于C50的混凝土,不宜低于设计强度等级的40%;

4 对有抗冻耐久性要求的混凝土,不宜低于设计强度等级的80%;

5 对有抗渗耐久性要求的混凝土,不宜低于设计强度等级的60%。

条文说明:

本条各款对冬期施工的混凝土受冻临界强度做出了详细规定,该规定均比《混凝土结构工程施工规范》(GB50666)的原规定标准提高了10%。其原因主要考虑到公路工程混凝土的施工特点,混凝土结构物处于野外,点多、面广,混凝土强度达到受冻临界强度脱离正温养护条件后,其面临的自然环境比处于同一地域的、位于城市的其他混凝土建筑物更加恶劣,为满足混凝土后期强度增长并考虑耐久性需要,特做此规定。

6.5 混凝土的养护

6.5.1 混凝土振捣密实后,在终凝以前应采用机械或人工方法将混凝土表面抹压密实,并及时覆盖不吸湿保温材料进行保湿保温养护。

6.5.2 混凝土冬期施工常见养护方法及适用范围,见表6.1。

表6.1 混凝土常见养护方法及适用范围

养护方法	适用范围
蓄热养护法	室外最低温度 $\leq -15^{\circ}\text{C}$ 时的地下工程,混凝土构件表面系数 $\geq 5\text{m}^{-1}$ 的结构。
综合蓄热养护法	不太寒冷的地区(室外平均气温 -15°C 以上),厚大结构(混凝土构件表面系数不大于 $(5\text{m}^{-1}\sim 15\text{m}^{-1})$)和地下混凝土构件等。
暖棚养护法	地下结构工程、基础工程、工期紧迫的砌体结构、混凝土预制和现浇构件比较集中的工程。棚内温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 。
蒸汽养护法	混凝土预制梁、板、下部基础、现浇梁、柱等结构。
加热养护法	不宜采用蓄热法、综合蓄热法、负温法等养护方法养护的混凝土构件。
负温养护法	表面系数大于 15m^{-1} 或不易加热保温,且对强度增长要求不高的一般混凝土构件,宜用于初冬、早春季节全天平均气温介于 $0\sim -8^{\circ}\text{C}$ 、最低气温大于 -15°C 的环境下的混凝土构件养护。

6.5.3 蓄热法养护的相关要求:

1 采用蓄热法施工养护的混凝土,强度增长较慢,宜选用强度等级较高、水化热较大的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或快硬硅酸盐水泥;

2 应选用导热系数小、价廉耐用的保温材料。保温层敷设后要注意防潮和防止透风，对于构件的边棱、端部和凸角应特别加强保温；

3 对于新浇混凝土与已硬化混凝土连接处，为避免热量的传导损失，必要时应采取局部加热措施。

6.5.4 综合蓄热法养护的相关要求：

1 采用综合蓄热法施工养护的混凝土，宜选用强度等级较高、水化热较大的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或快硬硅酸盐水泥；

2 可掺加早强剂或早强型引气减水剂；

3 凝土浇筑后应采用塑料布或其他防水材料对裸露表面覆盖并保温，对边角部位的保温层厚度应增大到表面部位的2~3倍，混凝土在养护期间应防风防水；

4 模板宜采用整装整拆方案，当混凝土强度达到2.5MPa后，可使侧模轻轻脱离混凝土后，再合上继续养护到脱模；

5 起始养护温度应满足热工计算的要求，且不得低于5℃。

6.5.5 暖棚法养护的相关要求：

1 当采用暖棚法施工时，棚内各测点温度不得低于5℃，并应设专人检测混凝土及棚内温度。暖棚内测温点应选择具有代表性位置进行布置，在离地面500mm高度处必须设置测温点，每昼夜测温不应少于4次；

2 养护期间应定时定点测量棚内温度和湿度，棚内温度不得低于5℃，混凝土不得有失水现象，当棚内湿度不足时，应向混凝土表面及模板洒水增湿养护；

3 暖棚的出入口应设专人管理，并应采取防止棚内温度下降或引起迎风口处混凝土受冻的措施；

4 采用暖棚加热法养护混凝土时，暖棚应密封坚固、不透风，保温效果良好。

6.5.6 蒸汽养护法养护的相关要求：

1 混凝土的蒸汽养护分静停期、升温期、恒温期、降温期四个阶段；

2 在混凝土静停期间，应保持暖棚内温度不低于5℃，混凝土终凝后方可打开蒸汽阀门开始升温；

3 混凝土在升温阶段，当混凝土表面系数 $\geq 6\text{m}^{-1}$ 时，升温速度不大于 $15^\circ\text{C}/\text{h}$ ；表面系数 $< 6\text{m}^{-1}$ 时，升温速度不大于 $10^\circ\text{C}/\text{h}$ 。升温期每30min测量一次温度，根据温度的变化情况采取增大和减小阀门放汽量调节升温速度；

4 混凝土在恒温期间，温度宜控制在45℃以下，恒温养护时间根据构件脱模强度要求、通过试压同条件养生混凝土试件确定；

5 混凝土恒温期间应通过埋设在混凝土内的温度传感器监测混凝土内部温度，一般要求不得超过60℃，当混凝土温度过高时，采取向蒸养棚停止供汽的方法降低棚内温度，但应保证混凝土内外温度差不大于25℃；

6 混凝土降温阶段，当混凝土表面系数 $\geq 6\text{m}^2$ 时，降温速度不大于10℃/h；表面系数 $< 6\text{m}^2$ 时，降温速度不大于5℃/h；

7 棚内各部位的温度应宜保持一致，温差不宜大于5℃；

8 采用普通水泥配制的混凝土，蒸汽的温度不得超过80℃；采用矿渣水泥配制的混凝土，蒸汽的温度可提高到85℃。

6.5.7 加热法养护的相关要求：

1 加热法是混凝土冬期施工一种通用养护方法，常用的方法主要包括：炭火炉加热法、煤炉（焦炭）加热法、电燃油暖风机加热法、电暖风机加热法、燃油暖风机加热法、燃气暖风机加热法、电加热法、电极加热法、蒸汽加热法、电热毯加热法、工频涡流加热法、线圈电磁感应加热法、红外线加热法等；

2 拟加热的混凝土结构物在浇筑前应搭建暖棚，根据结构物体积、暖棚空间大小、混凝土强度等要求选择适当的加热方法，配置满足混凝土强度增长要求的加热器数量。

条文说明：

电加热法就是利用电能对混凝土进行加热养护。包括电极加热法、电热毯加热法、工频涡流加热法、线圈感应加热法和红外线加热法等。

6.5.8 负温养护法养护的相关要求：

1 负温养护法施工的混凝土，应掺加防冻剂，并应以浇筑后5d内的预计日最低气温来选用防冻剂，起始养护温度不应低于5℃；

2 负温养护法施工的混凝土，当混凝土内部温度降到防冻剂规定温度之前，混凝土的抗压强度应符合表6.2规定；

表6.2 负温养护法混凝土的抗压强度规定

当室外最低气温不低于-10℃时	不得小于3.5MPa
当室外最低气温不低于-15℃时	不得小于4.0MPa
当室外最低气温不低于-30℃时	不得小于5.0MPa

3 混凝土浇筑后，对裸露表面应采取防风、保湿、保温措施，对边、棱角及易受冻部位应加强保温。负温养护的混凝土严禁洒水，外露表面应采用塑料薄膜及保温材料双层覆盖养护。养护温度不得低于抗冻剂规定的温度，当达不到规定温度时，应采取加热保温措施。

4 拆模后混凝土的表面温度与环境温度差大于 15°C 时，仍应对混凝土表面采取覆盖保温措施。

6.5.9 钻孔灌注桩在冬期施工时，混凝土中不得掺加防冻剂，灌注时混凝土拌合物的温度不得低于 5°C 。对已凿除桩头预留混凝土的桩顶部位，应采取覆盖保温养护。

6.6 大体积混凝土养护

6.6.1 大体积混凝土的养护应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》(GB50164)和《混凝土结构工程施工规范》(GB50666)的相关规定。

6.6.2 大体积混凝土冬期施工养护应针对不同环境和条件，采用暖棚法、蒸汽养护法、加热法等不同的养护方法。

6.6.3 大体积混凝土冬期施工常见养护方法和适用范围：

1 暖棚养护法适用范围：适用于下部结构工程、基础工程、混凝土预制和现浇构件比较集中的大体积混凝土工程，具体养护要求应符合本规程6.5.5相关规定。

2 蒸汽养护法适用范围：适用于大体积混凝土下部基础、大体积墩柱与盖梁等，具体养护要求应符合本规程6.5.6相关规定。

3 加热养护法适用范围：适用于不宜采用蓄热法、综合蓄热法、负温法等养护方法养护的大体积混凝土冬期施工工程，具体养护要求应符合本规程6.5.7相关规定。

6.6.4 大体积混凝土的养护应符合下列要求：

1 控制混凝土内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ；

2 混凝土初凝后，宜在混凝土表面覆盖一层或多层保温材料；

3 当混凝土采用内部通水降温措施时，采取可靠措施保证水温与周围混凝土的温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 。

6.7 薄壁混凝土养护

6.7.1 薄壁混凝土浇筑完成后应在模板外围包裹防寒保温材料，以保证混凝土表面温度不低于 5°C 。

6.7.2 薄壁混凝土应选择白天温度较高时段拆除模板。

6.7.3 拆除模板时薄壁混凝土的抗压强度不宜低于10MPa，拆除模板时不应磕碰掉边角处的混凝土。

6.7.4 拆除模板后应立即用防寒保温材料将薄壁混凝土结构严密覆盖保温继续养护，直至混凝土强度不低于设计强度的85%时，方可停止保温养护。

条文说明：

薄壁混凝土在进行冬期施工时，因环境温度低、强度发展慢，混凝土壁薄散热快，所以在配合比设计时应选择硅酸盐水泥或水化热较大的普通硅酸盐水泥，选择使用高效减水剂，以降低混凝土水胶比，同时不宜掺加矿物掺合料。在满足工作性前提下，宜选择较小的坍落度。

6.8 混凝土测温和控温

6.8.1 混凝土的测温对象应包括：大气环境温度，水泥、矿物掺合料、外加剂、水、粗细集料等原材料的温度，混凝土出机温度、浇筑温度、入模温度，混凝土内部和表面温度等。

6.8.2 混凝土的测温范围应包括：混凝土入模后初始温度，整个养护阶段混凝土不同部位温度。

6.8.3 测温和控温每天由专人记录，数据应符合下列要求：

- 1 记录室外环境温度；
- 2 实时记录混凝土拌和温度、出机温度、入模温度；
- 3 记录混凝土养护的初始温度和时间；
- 4 记录混凝土内部和表面温度；
- 5 记录混凝土内部最高温度；
- 6 控制混凝土内部和表面最大温差小于20℃。

6.8.4 测温方法的选择：根据控温工作需要，可以选择下列方法中的一种或多种组合联合测温。

1 预埋测温点时，先将电阻应变片（或热电偶）固定在钢筋上，再将钢筋固定在预定位置，利用嵌入在混凝土中的温度感应器来测量混凝土的温度。

2 利用红外线测温仪或红外线热像仪来测量混凝土表面的温度。

3 在预埋于混凝土中PVC管中灌入清水（也可以灌入其他导热效率高的液体），用玻璃温度计人工测定混凝土内部实时温度。

6.9 混凝土拆模

6.9.1 浇筑混凝土的同时应预留足够的试块，进行同条件养护，用于确定混凝土拆模强度和临界强度，以此决定拆模时间和结束养护时间。

6.9.2 拆模后的混凝土应及时覆盖保温材料，以防混凝土表面温度骤降产生温差裂缝。

条文说明：

理论和实践均表明，混凝土构造物内外温差大于 20°C 时，极易产生温差裂缝。混凝土冬期施工时，应特别重视对混凝土表面进行保温养护，避免内外温差大于 20°C 。

6.9.3 对于用蓄热法或其他加热法养护混凝土的模板和保温层，应在混凝土表面冷却到 5°C 后方可拆除。

条文说明：

未冷却的混凝土有较高的脆性，所以结构在冷却前不得遭受冲击或动力荷载的作用。

6.9.4 混凝土表面温度与外界环境温差大于 20°C 时，拆模后的混凝土表面，应立即覆盖保温，使其缓慢冷却。

7 质量检测

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土桥涵冬期施工，除按常温施工要求进行质量检测外，尚应结合冬期施工特点，增加适应该季节混凝土质量控制的检测参数和项目。

7.1.2 混凝土桥涵冬期施工，质量检测应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T3650）关于混凝土冬期施工的相关规定。

7.1.3 混凝土桥涵冬期施工，应采取切实可行的技术措施，以确保不因采用蒸汽加热等各种养护措施而影响混凝土的实体及外观质量。

7.1.4 对混凝土测温时，应定时定点进行，并应留存完整的记录。

7.2 原材料、新拌混凝土检测项目及参数

7.2.1 外加剂的质量和掺量。检测频率应为1次/批，每批不大于50t，检测依据参见《混凝土外加剂》（GB 8076）。

7.2.2 集料和拌合用水加入搅拌机时的温度、混凝土出机及浇筑时的温度，每一工作班至少检测3次，并留存记录。

7.2.3 混凝土构筑物温度降至0℃时同条件养生试件的强度（负温养护的混凝土则为温度低于外加剂规定温度时的强度）。

7.3 混凝土养护过程温度检测频率

7.3.1 混凝土浇筑后在养护过程中应连续检测温度，直至混凝土强度达到受冻临界强度或设计规定的强度为止。不同的养护方法可采用不同的温度检测频率。

7.3.2 采用蓄热法养护混凝土时，养护期间每昼夜至少检测温度4次。

7.3.3 负温养护的混凝土，强度达到抗冻临界强度之前，至少每隔2h检测温度1次。此后至少每昼夜检测1次。

7.3.4 采用加热法保养混凝土时，升、降温期间至少每1h检测温度1次，恒温时期至少每2h检测温度1次。

7.3.5 采用综合蓄热法养护的混凝土，每昼夜至少检测温度4次。

7.3.6 室外空气温度及混凝土构件周围环境温度，每昼夜至少检测4次。

7.4 混凝土测温要求

7.4.1 混凝土冬期施工测温方法主要包括人工和热电偶测温，施工方应根据实际情况选择适宜的方法。

7.4.2 在进行混凝土冬期施工组织设计期间应对测温进行专题设计，编制好测温方案，对所有测温孔、点均应编号，并绘制测点布置图，温度检测结果应留存正式记录。

7.4.3 拟定的测温孔、点应设置在有代表性的构造部位和温度变化大、易冷却部位，测温孔的深度一般为10~15cm，或结构物厚度的1/2。

7.4.4 检测温度时，应将温度计与外界气温做稳定间隔，宜在测温孔口四周用保温材料封堵，温度计在测温孔内应留置3min以上，方可读数。

条文说明：

读取混凝土温度时，应使视线和温度计的水银柱极点保持在同一水平高度上，以防止产生视差。读数时，应快速准确，勿使头、手或灯头凑近温度计下端；找到温度计水银柱极点后，先读小数，后读大数，记录数据后另一测温人员应复验一次，避免误读。

7.4.5 测温人员在测温的同时应检查覆盖保温状况，并应确认构造物的浇筑日期、要求温度、保养限时等。若发现混凝土温度有过高或过低现象，应立刻通知相关人员，实时采取有效应对措施，预防出现质量事故。

7.5 混凝土试件制作、养护及检测

7.5.1 混凝土施工过程中，应在浇筑地点随机取样制作试件，每次取样应至少同时制作6组试件，作为标准养护试件和同条件养护试件。

条文说明：

在浇筑地点制取的6组试件用途如下：将其中的2组试件进行标准养护，在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 标准条件下养护至28d试压，得到标准养护28天抗压强度。

其中的2组试件与构件在同条件下养护，在混凝土温度降至 0°C 时（负温混凝土为温度降至防冻剂规定温度以下时）试压，用以检查混凝土能否达到抗冻临界强度。

另2组试件与构筑物在同条件下养护至14d，此后转入 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 标准条件下继续养护21d，在总龄期为35d时试压，此时测得的强度如果大于等于28天标准养护条件下测得的抗压强度，则可证明该混凝土未遭冻害，可以将在28天标准养护条件下测得的抗压强度作为强度评定的依据。

7.5.2 对采用蒸汽加热养护的混凝土结构，除应制取标准试件外，应同时制取与混凝土结构同条件蒸养后，再在标准条件下养护到 28d 的试件，用以检查经过蒸养后 28d 的混凝土强度。

8 施工安全

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土冬期施工应严格遵守《公路工程施工安全技术规范》（JTJ F90）。

8.1.2 混凝土冬期施工应制定综合应急预案、专项应急预案、现场处置方案。

8.1.3 混凝土冬期施工应重点加强防火、防煤气中毒安全管控，设专职安全员负责现场安全巡回检查。

8.1.4 混凝土冬期施工应以人为本，制定切实安全措施，预防作业人员出现摔伤、冻伤等意外伤害事故。

8.1.5 施工期遇到刮风下雪天，应及时组织加固保温大棚，并清理大棚上的积雪。

8.2 防火安全规定

8.2.1 保温大棚内设置足够的灭火器，并配备高压水枪和多级泵一套。

8.2.2 采用加热法养护混凝土防火安全的相关要求：

1 采用炭火炉加热法和煤炉（焦炭）加热法时应设专人检查可燃物燃烧状况，采取切实可行措施预防一氧化碳中毒；

2 保温大棚内墙宜采用非易燃性材料，且暖棚内应有防火、防煤气中毒的安全防护措施。

3 采用电加热法时，应对导线的绝缘性能作认真、细致的测试。在实施电加热法期间，应派专人监督看护，作业区外围要设置安全防护围栏和“防触电”醒目标志，严防漏电、触电事故发生。

8.2.3 电焊作业前应检查周围及下方有无易燃物，并采取可靠预防火灾措施，下班前，必须检查现场火种是否完全熄灭，确认无误后方可离开现场。

8.2.4 施工现场应加强防火工作，严禁使用明火加热养护混凝土，应设专人负责巡回检查加热设施，及时清除加热设施周围易燃物。

8.2.5 施工现场使用的氧气瓶与乙炔瓶之间距离至少应距离5m以上，两气瓶与明火距离至少大于10m，以防发生爆炸事故。

8.2.6 易燃、易爆及配电区域防火安全应符合下列要求：

1 在醒目位置悬挂防火、防爆标志牌和警告牌；

2 设置足够数量的干粉灭火器和防火砂箱等常用灭火器材；

- 3 设置足够数量的铁锹、铁钩及板斧等常用灭火工具。

8.3 施工现场安全规定

8.3.1 混凝土冬期施工时，严禁大风降温天气强行组织施工作业。

8.3.2 冬期高空混凝土浇筑施工时，各种安全防护设施必须由专职安全员检查合格后方可使用。

8.3.3 冬期施工防滑防摔伤应符合下列要求：

- 1 现场降雪过后应及时清扫作业面，清除施工道路、作业区积雪和结冰；
- 2 根据现场实际情况，在有冰雪施工路面上撒布防滑砂、锯末或除冰盐防滑。

8.3.4 冬期施工防止冻伤的相关要求：

1 冬期室外施工应穿好紧身保暖衣裤、脚穿防滑防冻鞋、佩戴防寒帽和手套上班作业；

2 对工程量较小的混凝土工程，应安排在白天或中午气温较高时段浇筑施工；

3 对工程量较大、无法避开夜间施工的混凝土工程，应安排作业人员倒班施工；白天气温较高时段每班连续工作不宜超过6h，夜间气温较低时段每班连续工作不宜超过4h。

附录 A 水泥水化热测定方法

溶解热法（基准法）

（规范性附录）

A.1 方法原理

本方法是依据热化学盖斯定律，化学反应的热效应只与体系的初态和终态有关而与反应的途径无关提出的。它是在热量计周围温度一定的条件下，用未水化的水泥与水化一定龄期的水泥分别在一定浓度的标准酸溶液中溶解，测得溶解热之差，作为该水泥在该龄期内所放出的水化热。

A.2 材料、试剂及配制

A.2.1 水泥试样应通过 0.9mm 的方孔筛，并充分混合均匀。

A.2.2 氧化锌（ZnO）

用于标定热量计热容量，使用前应预先进行如下处理，将氧化锌放入坩埚内，在（900~950）℃下灼烧 1h 取出，置于干燥器中冷却后，用玛瑙研钵研磨至全部通过 0.15mm 方孔筛，贮存备用。在进行热容量标定前，应将上述制取的氧化锌约 50g 在（900~950）℃下灼烧 5min，然后在干燥器中冷却至室温。

A.2.3 氢氟酸（HF）

浓度为 40%（质量分数）或密度（1.15~1.18）g/cm³。

A.2.4 硝酸（HNO₃）

一次应配制大量浓度为（2.00±0.02）mol/L 的硝酸溶液。配制时量取浓度为 65%~68%（质量分数）或密度为 1.39g/cm³~1.41g/cm³（20℃）的浓硝酸 138mL，加蒸馏水稀释至 1L。

硝酸溶液的标定：用移液管吸取 25mL 上述已配制好的硝酸溶液，移入 250mL 的容量瓶中，用蒸馏水稀释至标线，然后摇匀。接着用已知浓度（约 0.2mol/L）的氢氧化钠标准溶液标定容量瓶中硝酸溶液的浓度，该浓度乘以 10 即为上述已配制好的硝酸溶液的浓度。

A.2.5 标准中所用试剂应用分析纯。用于标定的试剂应为基准试剂。所用水应符合 GB/T6682 中规定的三级水要求。

A.3 仪器设备

A. 3. 1 溶解热测定仪

由恒温水槽、内筒、广口保温瓶、贝克曼差示温度计或量热温度计、搅拌装置等主要部件组成。另配一个曲颈玻璃加料漏斗和一个直颈加酸漏斗。有单筒和双筒两种，双筒如图 1 所示。

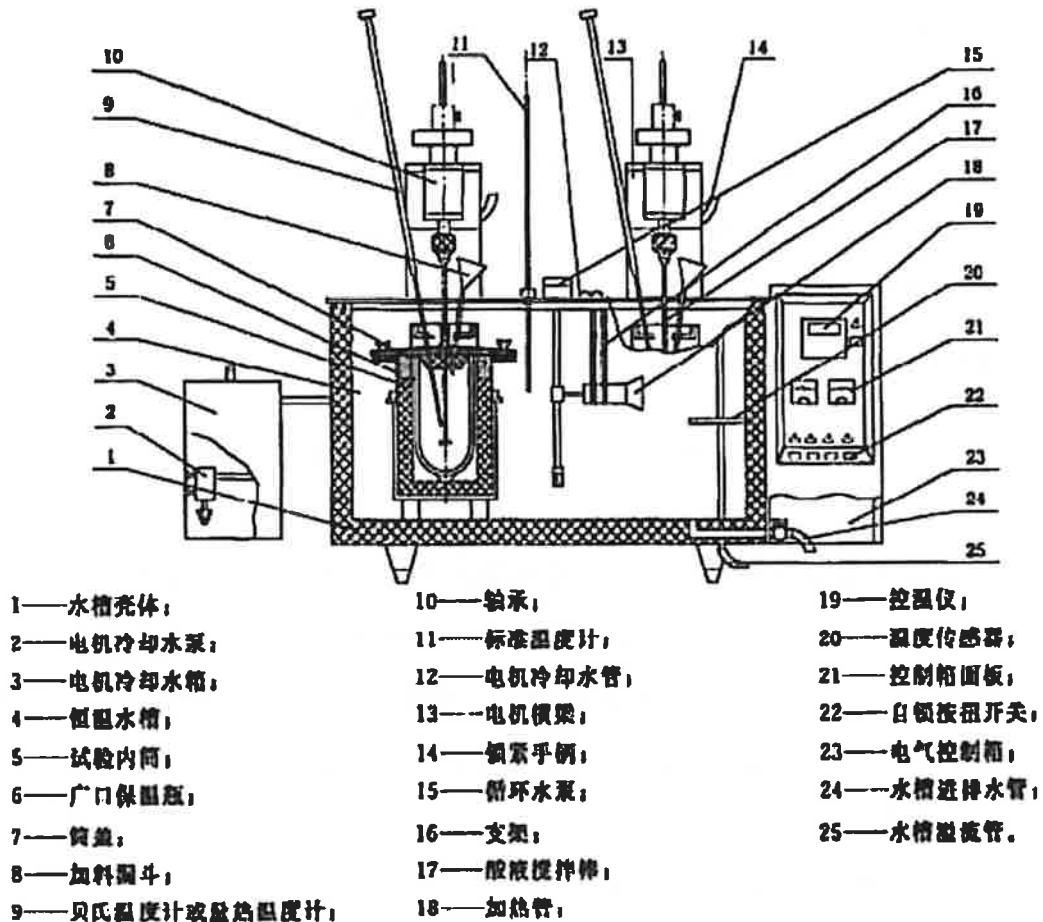


图 1 溶解热测定仪

A. 3. 1. 1 恒温水槽

水槽内外壳之间装有隔热层，内壳横断面为椭圆形的金属筒，横断面长轴 750mm，短轴 450mm，深 310mm，容积约 75L。并装有控制水位的溢流管。溢流管高度距底部约 270mm，水槽上装有二个用于搅拌保温瓶中酸液的搅拌器，水槽内装有二个放置试验内筒的筒座，进排水管、加热管与循环水泵等部件。

A. 3. 1. 2 内筒

筒口为带法兰的不锈钢圆筒，内径 150mm，深 210mm，筒内衬有软木层或泡沫塑料，筒口上镶嵌有胶圈以防漏水，盖上有三个孔，中孔安装酸液搅拌棒，两侧的孔分别安装加料漏斗和贝克曼差示温度计或量热温度计。

A. 3. 1. 3 广口保温瓶

配有耐酸塑料筒，容积约为 600mL，当盛满比室温高约 5℃ 的水、静置 30min 时，其冷却速率不得大于 0.001℃/min。

A. 3. 1. 4 贝克曼差示温度计（以下简称贝氏温度计）

分度值为 0.01℃，最大差示温度为 5.2℃，插入酸液部分须涂以石蜡或其他耐氢氟酸的材料。试验前应用量热温度计将贝氏温度计零点调整到约 14.500℃。

A. 3. 1. 5 量热温度计

分度值为 0.01℃，量程（14~20）℃，插入酸液部分须涂以石蜡或其他耐氢氟酸的材料。

A. 3. 1. 6 搅拌装置

酸液搅拌棒直径 A（6.0~6.5）mm，总长约 280mm，下端装有两片略带轴向推进作用的叶片，插入酸液部分必须用耐氢氟酸的材料制成。水槽搅拌装置使用循环水泵。

A. 3. 1. 7 曲颈玻璃加料漏斗

漏斗口与漏斗管的中轴线夹角约为 30°，口径约为 70mm，深 100mm，漏斗管外径 7.5mm，长 95mm，供装试样用。加料漏斗配有胶塞。

A. 3. 1. 8 直颈加酸漏斗

由耐酸塑料制成，上口直径约 70mm，管长 120mm，外径 7.5mm。

A. 3. 2 天平

量程不小于 200g，分度值为 0.001g 和量程不小于 600g，分度值为 0.1g 天平各一台。

A. 3. 3 高温炉

使用温度（900~950）℃，并带有恒温控制装置。

A. 3. 4 试验筛

0.15mm 和 0.60mm 方孔筛各一个。

A. 3. 5 铂金坩埚或瓷坩埚

容量约 30mL。瓷坩埚使用前应编号灼烧至恒重。

A. 3. 6 研钵

钢或铜材料研钵、玛瑙研钵各 1 个。

A. 3. 7 低温箱

用于降低硝酸溶液温度。

A. 3.8 水泥水化试样瓶

由不与水泥作用的材料制成，具有水密性，容积约 15mL。

A. 3.9 其他

磨口称量瓶、分度值为 0.1°C 的温度计。放大镜、时钟、秒表、干燥器、容量瓶、吸液管、石蜡、量杯、量筒等。

A. 4 试验室条件

A. 4.1 试验室温度应保持在 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不低于 50%。室内应备有通风设备。

A. 4.2 试验期间恒温水槽内的水温应保持在 $(20 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 。

A. 4.3 恒温水槽用水为纯净的饮用水。

A. 5 试验步骤

A. 5.1 热量计热容量的标定

A. 5.1.1 贝氏温度计或量热温度计、保温瓶及塑料内衬、搅拌棒等应编号配套使用。使用贝氏温度计试验前应用量热温度计检查贝氏温度计零点。如果使用量热温度计，不需调整零点，可直接测定。

A. 5.1.2 在标定热量计热容量的前 24h 应将保温瓶放入内筒中，酸液搅拌棒放入保温瓶内，盖紧内筒盖，再将内筒放入恒温水槽内。调整酸液搅拌棒悬臂梁使夹头对准内筒中心孔，并将酸液搅拌棒夹紧。

在恒温水槽内加水使水面高出试验内筒盖（由溢流管控制高度），打开循环水泵等，使恒温水槽内的水温调整并保持到 $(20 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ ，然后关闭循环水泵备用。

A. 5.1.3 试验前打开循环水泵，观察恒温水槽温度使其保持在 $(20 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ ，从安放贝氏温度计孔插入直颈加酸漏斗，用 500mL 耐酸的塑料杯称取 $(13.5 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 的 $(2.00 \pm 0.02) \text{ mol/L}$ 硝酸溶液约 410g，量取 8mL 40% 氢氟酸加入耐酸塑料量杯内，再加入少量剩余的硝酸溶液，使两种混合溶液总质量达 $(425 \pm 0.1) \text{ g}$ ，用直颈加酸漏斗加入到保温瓶内，然后取出加酸漏斗，插入贝氏温度计或量热温度计，中途不应拔出避免温度散失。

A. 5.1.4 开启保温瓶中的酸液搅拌棒，连续搅拌 20min 后，在贝氏温度计或量热温度计上读出酸液温度，此后每隔 5min 读一次酸液温度，直至连续 15min，每 5min

上升的温度差值相等时（或三次温度差值在 0.002°C 内）为止。记录最后一次酸液温度，此温度值即为初测读数 θ_0 ，初测期结束。

A. 5. 1. 5 初测期结束后，立即将事先称量好的 (7 ± 0.001) g 氧化锌通过加料漏斗徐徐地加入保温瓶酸液中（酸液搅拌棒继续搅拌），加料过程须在 2min 内完成，漏斗和毛刷上均不得残留试样，加料完毕盖上胶塞，避免试验中温度散失。

A. 5. 1. 6 从读出初测读数 θ_0 起分别测读 20min、40min、60min、80min、90min、120min 时贝氏温度计或量热温度计的读数，这一过程为溶解期。

A. 5. 1. 7 热量计在各时间内的热容量按式（A-1）计算，计算结果保留至 $0.1\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ：

$$C = \frac{G_0 [1072.0 + 0.4(30 - t_a) + 0.5(t - t_a)]}{R_0} \text{-----} (A-1)$$

式中：

c ——热量计热容量，单位为焦耳每摄氏度（ $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ）；

G_0 ——氧化锌重量，单位为克（g）；

t ——氧化锌加入热量计的室温，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

t_a ——溶解期第一次测读数 θ_a 加贝氏温度计 0°C 时相应的摄氏温度（如使用量热温度计时， t_a 的数值等于 θ_a 的读数）单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

R_0 ——经校正的温度上升值，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

1072.0——氧化锌在 30°C 时溶解热，单位为焦耳每克（ J/g ）；

0.4——溶解热负温比热容，单位为焦耳每克摄氏度 [$\text{J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$]；

0.5——氧化锌比热容，单位为焦耳每克摄氏度 [$\text{J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$]。

R_0 值按式（A-2）计算，计算结果保留至 0.001°C ：

$$R_0 = (\theta_a - \theta_0) - \frac{a}{b-a} (\theta_b - \theta_a) \text{-----} (A-2)$$

式中：

θ_0 ——初测期结束时（即开始加氧化锌时）的贝氏温度计或量热温度计读数，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

θ_a ——溶解期第一次测读的贝氏温度计或量热温度计的读数，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

θ_b ——溶解期结束时测读的贝氏温度计或量热温度计的读数，单位为摄氏度（℃）；

a、b——分别为测读 θ_a 或 θ_b 时距离测初读数 θ_0 时所经过的时间，单位为分（min）。

A.5.1.8 为了保证试验结果的精度，热量计热容量对应 θ_a 、 θ_b 的测读时间 a、b 应分别与不同品种水泥所需要的溶解期测读时间对应，不同品种水泥的具体溶解期测读时间按表 1 规定。

表 1 各品种水泥测读温度的时间

单位：min

水泥品种	距初测期温度 θ_0 的相隔时间	
	a	b
硅酸盐水泥 中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥	20	40
矿渣硅酸盐水泥 低热矿渣硅酸盐水泥	40	60
火山灰硅酸盐水泥	60	90
粉煤灰硅酸盐水泥	80	120

注：在普通水泥、矿渣水泥、低热矿渣水泥中掺有大于 10%（质量分数）火山灰质或粉煤灰时，可按火山灰质水泥或粉煤灰水泥规定的测读期。

A.5.1.9 热量计热容量应平行标定两次，以两次标定值的平均值作为标定结果。如果两次标定值相差大于 5.0J/℃时，应重新标定。

A.5.1.10 在下列情况下，热容量应重新标定：

- 重新调整贝氏温度计时；
- 当温度计保温瓶搅拌棒更换或重新涂覆耐酸涂料时；
- 当新配制的酸液与标定热量计热容量的酸液浓度变化大于 $\pm 0.02\text{mol/L}$ 时；
- 对试验结果有疑问时。

A.5.2 未水化水泥溶解热的测定

A.5.2.1 按 A.5.1.1~A.5.1.4 进行准备工作和初测期试验，并记录初测温度 θ_0' 。

A.5.2.2 读出初测温度 θ_0' 后，立即将预先称好的四份（ 3 ± 0.001 ）g 未水化水泥试样中的一份在 2rmin 内通过加料漏斗徐徐加入酸液中，漏斗、称量瓶及毛刷上均不

得残留试样，加料完毕盖上胶塞。然后按表 1 规定的各品种水泥测读温度的时间，准时读记贝氏温度计读数 θ_a' 和 θ_b' 。第二份试样重复第一份的操作。

A. 5. 2. 3 将余下两份试样置于 (900~950) °C 下灼烧 90min，灼烧后立即将盛有试样的坩埚置于干燥器内冷却至室温，并快速称量。灼烧质量 G_1 以二份试样灼烧后的质量平均值确定，如二份试样的灼烧质量相差大于 0.003g 时，应重新补做。

A. 5. 2. 4 未水化水泥的溶解热按式 (A-3) 计算，计算结果保留至 0.1J/g:

$$q_1 = \frac{R_1 C}{G_1} - 0.8(T' - t_a') \text{-----} (A-3)$$

式中:

q_1 ——未水化水泥试样的溶解热，单位为焦耳每克 (J/g)；

C ——对应测读时间的热量计热容量，单位为焦耳每摄氏度 (J/°C)；

G_1 ——未水化水泥试样灼烧后的质量，单位为克 (g)；

T' ——未水化水泥试样装入热量计时的室温，单位为摄氏度 (°C)；

t_a' ——未水化水泥试样溶解期第一次测读数 θ_a' 加贝氏温度计 0°C 时相应的摄氏温度 (如使用量热温度计时， t_a' 的数值等于 θ_a' 的读数)，单位为摄氏度 (°C)；

R_1 ——经校正的温度上升值，单位为摄氏度 (°C)；

0.8——未水化水泥试样的比热容，单位为焦耳每克摄氏度 [J/(g·°C)]。

R_1 值按式 (A-4) 计算，计算结果保留至 0.001°C:

$$R_1 = (\theta_a' - \theta_0') - \frac{a'}{b' - a'} (\theta_b' - \theta_a') \text{-----} (A-4)$$

式中:

θ_0' 、 θ_a' 、 θ_b' ——分别为未水化水泥试样初测期结束时的贝氏温度计读数、溶解期第一次和第二次测读时的贝氏温度计读数，单位为摄氏度 (°C)；

a' 、 b' ——分别为未水化水泥试样溶解期第一次测读时 θ_a' 与第二次测读时 θ_b' 距初读数 θ_0' 的时间，单位为分 (min)。

A. 5. 2. 5 未水化水泥试样的溶解热以两次测定值的平均值作为测定结果，如两次测定值相差大于 10.0J/g 时，应进行第三次试验，其结果与前试验中一次结果相差小于 10.0J/g 时，取其平均值作为测定结果，否则应重做试验。

A. 5. 3 部分水化水泥溶解热的测定

A. 5. 3. 1 在测定未水化水泥试样溶解热的同时，制备部分水化水泥试样。测定两个龄期水化热时，称100g水泥加40mL蒸馏水，充分搅拌3min后，取近似相等的浆体两份或多份，分别装入符合A. 3. 8要求的试样瓶中，置于 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的水中养护至规定龄期。

A. 5. 3. 2 按 A. 5. 1. 1~A. 5. 1. 4 进行准备工作和初测期试验，并记录初测温度 θ_0'' 。

A. 5. 3. 3 从养护水中取出一份达到试验龄期的试样瓶，取出水化水泥试样，迅速用金属研钵将水泥试样捣碎并用玛瑙研钵研磨至全部通过0.60mm方孔筛，混合均匀装入磨口称量瓶中，并称出 $4.200\text{g} \pm 0.050\text{g}$ （精确至0.001g）试样四份，然后存放在湿度大于50%的密闭容器中，称好的样品应在20min内进行试验。两份供作溶解热测定，另两份进行灼烧。从开始捣碎至装入称量瓶中的全部时间应不大于10min。

A. 5. 3. 4 读出初测期结束时的温度 θ_0'' 后，立即将称量好的一份试样在2min内通过加料漏斗徐徐加入酸液中，漏斗、称量瓶及毛刷上均不得残留试样，加料完毕盖上胶塞，然后按表1规定不同水泥品种的测读时间，准时读记贝氏温度计或量热温度计读数 θ_a'' 和 θ_b'' 。第二份试样重复第一份的操作。

A. 5. 3. 5 余下两份试样进行灼烧，灼烧质量 G_2 按A. 5. 2. 3进行。

A. 5. 3. 6 经水化某一龄期后水泥的溶解热按式(A-5)计算，计算结果保留至0.1J/g:

$$q_2 = \frac{R_2 \cdot C}{G_2} - 1.7(T'' - t_a'') + 1.3(t_a'' - t_a') - \text{-----} - (A-5)$$

式中:

Q_2 ——经水化某一龄期后水化水泥试样的溶解热，单位为焦耳每克(J/g)；

C ——对应测读时间的热量计热容量，单位为焦耳每摄氏度(J/°C)；

G_2 ——某一龄期水化水泥试样灼烧后的质量，单位为克(g)；

T'' ——水化水泥试样装入热量计时的室温，单位为摄氏度(°C)；

T_a'' ——水化水泥试样溶解期第一次测读数 θ_a'' 加贝氏温度计0°C时相应的摄氏温度，单位为摄氏度(°C)；

T_b'' ——未水化水泥试样溶解期第一次测读数 θ_b'' 加贝氏温度计0°C时相应的摄氏温度，单位为摄氏度(°C)；

R_2 ——经校正的温度上升值，单位为摄氏度（℃）；

1.7——水化水泥试样的比热容，单位为焦耳每克摄氏度[J/（g·℃）]；

1.3——温度校正比热容，单位为焦耳每克摄氏度[J/（g·℃）]。

R_2 值按式（A-6）计算，计算结果保留至0.001℃：

$$R_2 = (\theta'_a - \theta'_b) - \frac{a''}{b'' - a''} (\theta''_b - \theta''_a) \text{-----} \text{(A-6)}$$

式中：

θ''_0 、 θ''_a 、 θ''_b 、 a'' 、 b'' 与前述相同，但在这里是代表水化水泥试样。

A.5.3.7 部分水化水泥试样的溶解热测定结果按A.5.2.5的规定进行。

A.5.3.8 每次试验结束后，将保温瓶中的耐酸塑料筒取出，倒出筒内废液，用清水将保温瓶内筒、贝氏温度计或量热温度计、搅拌棒冲洗干净，并用干净纱布擦干，供下次试验用。涂蜡部分如有损伤，松裂或脱落应重新处理。

A.5.3.9 部分水化水泥试样溶解热测定应在规定龄期的±2h内进行，以试样加入酸液时间为准。

A.5.4 水泥水化热结果计算

水泥在某一水化龄期前放出的水化热按式（A-7）计算，计算结果保留至1J/g：

$$q = q_1 - q_2 + 0.4(20 - t'_a) \text{-----} \text{(A-7)}$$

式中：

Q ——水泥试样在某一水化龄期放出的水化热，单位为焦耳每克（J/g）；

q_1 ——未水化水泥试样的溶解热，单位为焦耳每克（J/g）；

q_2 ——水化水泥试样在某一水化龄期的溶解热，单位为焦耳每克（J/g）；

t'_a ——未水化水泥试样溶解期第一次测读数 θ'_0 加贝氏温度计0℃时相应的摄氏温度，单位为摄氏度（℃）；

0.4——溶解热的负温比热容，单位为焦耳每克摄氏度[J/（g·℃）]。

附录B 混凝土冬期施工热工计算

(资料性附录)

B.0.1 混凝土拌和物的温度按式 (B-1) 计算:

$$T_0 = \frac{[0.9(W_c T_c + W_s T_s) + 4.2T_w(W_s - P_g \cdot W_g) + c_1(P_s \cdot W_s \cdot T_s + P_g W_g T_g) - c_2(P_s \cdot w_s + P_g W_s)]}{\div [4.2W_w + 0.9(W_c + W_s + W_g)]} \quad (\text{B-1})$$

式中:

 T_0 ——混凝土拌和物的温度 (°C); W_w 、 W_c 、 W_s 、 T_g ——水、水泥、砂、石的用量 (kg); T_w 、 T_c 、 T_s 、 T_g ——水、水泥、砂、石的温度 (°C); P_s 、 P_g ——砂、石的含水率 (%); c_1 、 c_2 ——水的比热容 (kJ/kg·K) 及溶解热 (kJ/kg)。当骨料温度 > 0°C 时, $c_1 = 4.2$, $c_2 = 0$;当骨料温度 ≤ 0°C 时, $c_1 = 2.1$, $c_2 = 335$ 。

B.0.2 混凝土拌和物的出机温度按式 (B-2) 计算

$$T_1 = T_0 - 0.16(T_0 - T_b) \quad (\text{B-2})$$

式中:

 T_1 ——混凝土拌和物的出机温度 (°C); T_0 ——搅拌机棚内温度 (°C)。

B.0.3 混凝土拌和物经运输至成型完成时的温度按式 (B-3) 计算

$$T_2 = T_1 - (at + 0.032n) \cdot (T_1 - T_a) \quad (\text{B-3})$$

式中:

 T_2 ——混凝土拌合物经运输至成型完成时的温度 (°C); t ——混凝土自运输至浇筑成型完成的时间 (h); n ——混凝土转运次数; T_a ——运输时的环境气温 (°C);

a ——温度损失系数 (h_m^{-1})，当用混凝土搅拌运输车时， $a=0.25$ ；当用开敞式大型自卸汽车时， $a=0.20$ ；当用开敞式小型自卸汽车时， $a=0.30$ ；当用封闭式自卸汽车时， $a=0.10$ ；当用手推车时， $a=0.50$ 。

B.0.4 考虑模板和钢筋吸热影响，混凝土成型完成时的温度按式 (B-4) 计算：

$$T_3 = (c_c W_c T_2 + c_l W_l T_f) / (c_c W_c + c_l W_l + c_g W_g) \quad (\text{B-4})$$

式中：

T_3 ——考虑模板和钢筋吸热影响，混凝土成型完成时的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

C_c 、 C_l 、 C_g ——混凝土、模板材料、钢筋的比热容 ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)；

W_c ——每立方米混凝土的质量 (kg)；

W_l 、 W_g ——与每立方米混凝土相接触的模板、钢筋的质量 (kg)；

T_f 、 T_g ——模板、钢筋的温度，未预热者可采用当时环境气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

B.0.5 混凝土蓄热养护过程中的温度计算公式：

(1) 混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的温度按式 (B-5) 计算：

$$T = \eta e^{-\theta vt} - \varphi e^{-vt} + T_m \quad (\text{B-5})$$

(2) 混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的平均温度按式 (B-6) 计算：

$$T = \frac{1}{vt} \left[\varphi e^{-vt} - \left(\frac{\eta}{\theta} \right) e^{-\theta vt} + \left(\frac{\eta}{\theta} \right) - \varphi \right] + T_m \quad (\text{B-6})$$

其中，综合参数 θ 、 φ 、 η 如下：

$$\theta = \frac{(wK\varphi)}{vc_c\rho_c}$$

$$\varphi = \frac{(vc_cW_c)}{(vc_c\rho_c - wK\varphi)}$$

$$\eta = T_s - T_m + \varphi$$

式中：

T_s ——混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

T_m ——混凝土蓄热养护开始至任一时刻 t 的平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

t ——混凝土蓄热养护开始至任一时刻的时间 (h)；

- ρ_c ——混凝土质量密度 (kg/m^3) ;
- W_c ——每立方米混凝土水泥用量 (kg/m^3) ;
- C_c ——水泥累计最终放热量 (kJ/kg) ;
- v ——水泥水化速度系数 (h^{-1}) ;
- ω ——透风系数;
- φ ——结构表面系数 (m^{-1}) ;
- K ——围护层的总传热系数 ($kJ/m^2 \cdot h \cdot K$) ;
- e ——自然对数之底, 可取 $e=2.72$ 。

注:

1. 结构表面系数值可按下式计算:

$$\varphi = \frac{Ac(\text{混凝土结构表面积})}{Vc(\text{混凝土结构总体积})}$$

2. 平均气温 T_m 的取法, 可采用蓄热养护开始至 t 时气象预报的平均气温, 若遇大风雪及寒潮降临, 可按每时或每日平均气温计算。

3. 围护层的总传热系数 k 值可按下式计算:

$$K = \frac{3.6}{0.04 + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}}$$

式中:

- d_i ——第 i 围护层的厚度 (m) ;
- k_i ——第 i 围护层的导热系数 ($W/m \cdot K$) 。

4. 水泥累积最终放热量 c_c 、水泥水化速度系数 v 及透风系数 ω 按附表 B. 0. 5-1 和附表 B. 0. 5-2 取值。

附表 B. 0. 5-1 水泥累积最终放热量 c_c 和水泥水化速度系数 v

水泥品种及强度等级	C_c (kJ/kg)	$v(h^{-1})$
42.5 硅酸盐水泥	400	0.013
42.5 普通硅酸盐水泥	360	
32.5 普通硅酸盐水泥	330	
32.5 矿渣、火山灰、粉煤灰硅酸盐水泥	240	

附表 B.0.5-2 透风系数 ω

保温层的种类	透风系数 ω		
	小风	中风	大风
保温层由容易透风材料组成	2.0	2.5	3.0
在容易透风材料外面包以不易透风材料	1.5	1.8	2.0
保温层由不易透风材料组成	1.3	1.45	1.6

注： $v_w < 3m/s$ ，小风； $3 \leq v_w \leq 5m/s$ ，中风； $v_w > 5m/s$ ，大风。

(3) 当施工需要计算混凝土蓄热养护冷却至 0°C 的时间时，可根据公式 (B-5) 采用逐次逼近的方法进行计算，如果实际采取的蓄热养护条件满足 $\varphi/T_0 \geq 1.5$ ，且 $K\varphi \geq 50$ 时，也可按式 (B-7) 直接计算：

$$t_0 = \frac{1}{V} \ln \left(\frac{\varphi}{T_m} \right) \quad (\text{B-7})$$

式中：

t_0 ——混凝土蓄热养护冷却至 0°C 的时间 (h)。

混凝土蓄热养护开始冷却至 0°C ，时间 t_0 内的平均温度可根据公式 (B-6) 取 $t = t_0$ 进行计算。

本规程用词说明

1. 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2. 条文中指明应按其他标准执行的写法为：“应符合……的规定”，或“应按……执行”。

引用标准名录

本规程引用下列文件，使用本规程时应注意使用以下文件的现行有效版本。

- 《通用硅酸盐水泥》 GB175
- 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 《大体积混凝土施工标准》 GB50496
- 《混凝土结构工程施工规范》 GB50666
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T1596
- 《水泥水化热测定方法》 GB/T12959
- 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T18046
- 《混凝土膨胀剂》 GB/T23439
- 《混凝土膨胀剂》 GB/T23439/XG1
- 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T27690
- 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 《公路工程水泥混凝土外加剂》 JT/T523
- 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》 JTG/T3310
- 《公路桥涵施工技术规范》 JTG/T3650
- 《建筑工程冬期施工规程》 JGJ/T104

