

黑 龙 江 省 地 方 标 准

DB 23/T XXXX—2025

寒区悬臂浇筑桥梁冬季施工技术规范

联系单位：黑龙江省交通规划设计研究集团有限公司

联系人：徐兰钰

联系电话：18946056080

联系邮箱：xlywww@163.com

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025 年 4 月 1 日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

黑龙江省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 材料 2

5 配合比设计 4

6 施工 5

7 质量检验 8

附录 A（资料性） 混凝土热工计算..... 10

附录 B（资料性） 混凝土温度检测记录表..... 15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黑龙江省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：黑龙江省交通规划设计研究院集团有限公司、哈尔滨工业大学、黑龙江科技大学、黑龙江阿穆尔河大桥开发建设有限公司、黑龙江省龙建路桥第二工程有限公司、黑龙江省交投通达公路工程有限公司、龙建路桥股份有限公司、黑龙江省公路建设中心、中交一航局第三工程有限公司。

本文件主要起草人：矫震、张连振、孙勇、李昶、李绪森、曹罡、刘佳伟、彭彬、滕亮、李志涛、陈海洋、李晶垚、靳冰冰、李旭、徐兰钰、刘劲草、徐佯、朴志海、王艳、史梁、邢晋、朱洪志、张敬川、张占文、初文磊、孙丽丽、刘开来、于海波、赵健、董连成、姜封国、赵治、王海军、杨玉光、关文斌、陈春恒。

寒区悬臂浇筑桥梁冬季施工技术规范

1 范围

本文件适用于寒区悬臂浇筑预应力混凝土公路桥梁主梁的冬期施工，其他类型的桥梁主梁可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 27690 砂浆和混凝土用微硅粉
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG 3432 公路工程集料试验规程
- JT/T 523 公路工程水泥混凝土外加剂
- JGJ55 普通混凝土配合比设计规程
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 104 建筑工程冬期施工规程
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准第一册土建工程
- JTG F90 公路工程施工安全技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冬季施工

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℃即进入冬季施工，当室外日平均气温连续 5d 高于 5℃即解除冬期施工。

3.2

大体积混凝土

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。

3.3

胶凝材料

混凝土中水泥和活性矿物掺合料的总称。

3.4

蓄热养护法

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℃以前达到预期强度的施工方法。

3.5

蒸汽养护法

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。

3.6

暖棚养护法

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。

3.7

悬臂越冬工程

采用悬臂浇筑施工工艺的大跨度预应力混凝土桥梁，以悬臂T构形式度过施工冬休期的工程。

4 材料

4.1 一般规定

- 4.1.1 凡是用于冬季施工采用的混凝土原材料，技术指标应符合 JTG/T 3650 的相关要求。
- 4.1.2 混凝土用原材料进场后应存放于保温大棚内保温待用，各种材料分仓堆放，避免混料。
- 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。
- 4.1.4 材料在储存期间应采取有效保护措施，确保满足原材料满足技术要求。

4.2 粗集料

- 4.2.1 粗集料宜就地取材采用强度高、级配良好、孔隙率低、颗粒洁净、无碱活性的集料。
- 4.2.2 粗集料的技术指标除应满足 JTG/T 3650 的规定外，还应满足表 1 的规定。

表1 粗集料技术指标

项目	技术要求	试验方法
含泥量（%）	不应>1.0，宜<0.7	T 0310

表1 粗集料技术指标（续）

泥块含量（%）	≤0.2	T 0310
坚固性（%）	≤5	T 0314
压碎值（%）	≤12	T 0316
吸水率（%）	≤1.5	T 0308
针片状颗粒含量（%）	≤10	T 0311
连续级配松散堆积空隙率（%）	≤43	T 0309、T 0308

注：该表格中“试验方法”一栏中内容参照JTG 3432执行。

- 4.2.3 粗集料应采用连续两级配或连续多级配，粗集料的颗粒级配应符合表 2 中的规定。
- 4.2.4 粗集料最大粒径不得超过结构最小边尺寸的 1/4 和钢筋最小净距的 3/4，且不宜大于 26.5mm。

表2 粗集料级配范围

级配情况	公称粒径（mm）	累计筛余（按质量百分率计）							
		方孔筛筛孔边长尺寸（mm）							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	0~10	0	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—

注：该表格参考《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F3650）的相关规定

4.3 细集料

- 4.3.1 细集料宜就地取材选用质地坚硬、级配良好、吸水率低、颗粒洁净、有害杂质含量少、无碱活性的集料。
- 4.3.2 细集料技术指标除应满足 JTG/T 3650 的规定外，还应满足表 3 的规定。

表3 细集料技术指标

项目	技术要求	试验方法
含泥量（%）	≤2.0	T 0333
泥块含量（%）	≤1.0	T 0335
云母含量（%）	≤2.0	T 0337
坚固性（%）	≤8.0	T 0340
空隙率（%）	≤44	T 0331、T 0328

- 4.3.3 细集料宜选用细度模数为 2.9~2.6 的中砂，且颗粒级配应满足表 4 的规定。

表4 细集料级配累计筛余（%）范围

公称粒径(mm)	累计筛余（%）
5.000	10~0

表4 细集料级配累计筛余（%）范围（续）

2.500	25~0
1.250	50~10
0.630	70~41
0.315	92~70
0.160	100~90

4.4 水泥

- 4.4.1 水泥宜采用硅酸盐水泥，可采用普通硅酸盐水泥，其技术指标应符合 GB 175 的规定。
- 4.4.2 水泥的强度等级应不低于 42.5 级，水泥品种和强度等级应符合混凝土配合比设计要求。
- 4.4.3 水泥比表面积不宜超过 350m2/kg，C3A 含量不应大于 8%，Cl 含量不应大于 0.06%，碱含量不应大于 0.6%。
- 4.4.4 桥梁混凝土冬期施工时水泥品种的选用规定：
 - a) 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；
 - b) 当混凝土采用蒸汽养护时，宜选用矿渣硅酸盐水泥。
- 4.4.5 冬期施工时水泥用量和强度等级的选用规定：
 - a) 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；
 - b) 大体积混凝土的最小水泥用量，可根据实际情况确定；
 - c) 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。

4.5 矿物掺合料

- 4.5.1 悬臂梁冬季施工所用矿物掺合料宜为粉煤灰、矿粉、硅灰，掺合料应检验合格、材料均匀、来源稳定。
- 4.5.2 水泥、矿物掺合料与外加剂的适应性应通过试验确定。
- 4.5.3 粉煤灰的技术指标应满足 GB/T 1596 中 I 级粉煤灰的规定。
- 4.5.4 硅灰的技术指标应满足 GB/T 27690 中的规定。
- 4.5.5 矿渣粉的技术指标应满足 GB/T 18046 的规定。
- 4.5.6 不同种类掺合料同时掺用时，其合理掺量应通过试验确定。

4.6 外加剂

- 4.6.1 悬臂梁冬季施工所用外加剂宜为减水剂、引气剂、缓凝剂，其技术指标应满足 GB 8076 和 JT/T 523 的规定。
- 4.6.2 减水剂宜采用聚羧酸高性能减水剂，其技术指标应符合 GB 50119 中的规定。
- 4.6.3 引气剂的技术指标应满足 GB8076 中的规定。
- 4.6.4 缓凝剂的技术指标应满足 GB8076 中的规定。
- 4.6.5 当混合使用减水剂、引气剂、缓凝剂时，应测定之间的相容性并根据试验确定掺量。

4.7 水

- 4.7.1 应符合 JGJ 63 的规定

5 配合比设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 混凝土配合比设计应满足 JGJ55 的规定，混凝土拌合物应具有较高的流动性和较低的坍落度损失，混凝土应具有较高的早期强度和弹性模量，宜具有较低的收缩和徐变。
- 5.1.2 应根据工期要求，提前开展配合比设计试验，且配合比设计所用原材料应和施工中所用原材料保持相同。
- 5.1.3 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集料、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

- 5.2.1 混凝土配合比设计除应满足 JTG/T 3650 的规定外，还应满足下列规定：
 - a) 宜优先考虑掺加适量优质引气剂；
 - b) 每立方米混凝土中胶凝材料用量宜控制在 360kg~500kg 之间，水胶比不宜大于 0.36；
 - c) 混凝土拌合物坍落度宜控制在 180mm~200mm 之间，2h 坍落度的经时损失不宜大于 20mm；
 - d) 每立方米混凝土中矿物掺合料用量宜控制在 40%以内。
- 5.2.2 当混凝土的强度、抗冻性能、抗渗性能或气泡特征参数的试验结果不满足设计或施工要求时，应重新选择水胶比、胶凝材料用量或矿物掺合料用量，并进行配合比试验直至满足要求为止。
- 5.2.3 当混凝土原材料、施工环境温度发生较大变化时，应及时调整混凝土配合比。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 悬臂浇筑桥梁冬季施工应符合 JTG/T 3650 的规定。
- 6.1.2 当室外日平均气温连续 5d 稳定在 5℃以下或最低气温连续 5d 稳定在-3℃以下时，应采用相应的冬季施工措施。
- 6.1.3 悬臂浇筑桥梁冬季施工应预先制订生产供应的专项方案，加强冬季施工生产所用机械设备、配套设施、原材料供应和生产保障能力。
- 6.1.4 混凝土搅拌前应在混凝土拌合站搭设保温大棚，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。
- 6.1.5 悬臂浇筑桥梁在冬季施工前，应通过试配试验对拟使用的混凝土配合比进行验证。
- 6.1.6 悬臂梁施工时应对称施工，在停工过冬时桥梁合龙段两侧悬臂节段施工数量相同。
- 6.1.7 悬臂浇筑桥梁冬季施工的热工计算按照 JGJ/T 104 的规定执行。
- 6.1.8 悬臂浇筑桥梁冬季施工的安全保障措施应符合 JTG F90 的规定。

6.2 混凝土搅拌

- 6.2.1 混凝土入模温度不应低于 5℃，混凝土的出机温度应根据入模温度、环境温度和运输条件确定，混凝土出机温度不宜低于 15℃。
- 6.2.2 搅拌机在搅拌混凝土前宜用适量热水对搅拌机进行预热，并排空积水。
- 6.2.3 当采用热水搅拌不能满足混凝土入模温度要求时，应在搅拌站骨料仓底部设置骨料加热系统以提高骨料温度。热水温度和集料加热温度应通过热工计算确定，拌合用水最高加热温度不应超过 60℃，集料最高加热温度不应超过 40℃。
- 6.2.4 热水搅拌混凝土时，宜按集料、拌合水，胶凝材料，外加剂的顺序依次投料，搅拌时间宜比常温时延长 50%左右。

6.3 混凝土运输

- 6.3.1 应选用运输能力与混凝土搅拌机的搅拌能力相匹配的搅拌运输车，搅拌运输车罐体应采用保温套进行隔热保温，减少混凝土运输过程中的热量损失，确保混凝土降温速度不超过 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。
- 6.3.2 混凝土出机后、运输车出发前和混凝土到场后，应对其测温并记录，其温度应高于热工计算确定的最低温度。
- 6.3.3 采用泵送运输方式时宜使用长管，在输送混凝土前应对泵和泵管进行预热、润滑，并对泵送设备采取包裹棉毡等必要的保温措施。

6.4 主梁施工

- 6.4.1 主梁施工应采用暖棚法保证施工温度，暖棚宜根据梁段尺寸制作。
- 6.4.2 钢筋的制作和安装除应符合除应符合 JTG/T 3650 的规定外，还应符合下列规定：
 - a) 钢筋加工应在钢筋加工棚中进行，避免低温对钢筋强度及焊缝的影响；
 - b) 当环境温度低于 -20°C 时，不应进行钢筋加工作业；
 - c) 对于在负温条件下使用的钢筋，应加强管理和检验。在钢筋加工、运输、安装过程中应防止产生撞击、刻痕等缺陷；
 - d) 在环境温度低于 -5°C 的条件下进行焊接时，应调节钢筋焊接工艺参数，使焊缝和热影响区缓慢冷却。
 - e) 低温焊接的钢筋应有防淬火措施，环境温度低于 -10°C 时不宜进行钢筋的焊接工作；
 - f) 钢筋挤压接头、螺纹连接接头负温施工或使用，应经过负温试验验证。
- 6.4.3 主梁浇筑除应符合 JTG/T 3650 的规定外，还应符合下列规定：
 - a) 主梁浇筑宜选择白天气温较高的时间段，并避开寒潮、大风等不利天气；
 - b) 主梁浇筑前宜对模板、钢筋等部位进行热风预热，浇筑过程中应确保混凝土温度不低于 5°C ；
 - c) 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；
 - d) 主梁拉预应力筋时环境温度不应浇筑时，分层厚度不宜大于 300mm ，已浇筑层的温度应满足热工计算要求，且不应低于 2°C ；
 - e) 主梁浇筑时，结构内部和表面温差不应大于 15°C ，主梁外界与主梁表面温差不应大于 15°C ，模板表面与新浇混凝土温差不应大于 15°C ，新旧混凝土结合面温差不应大于 15°C ；
 - f) 悬臂节段浇筑时，应加热新旧混凝土结合面，使结合面表面温度超过 5°C ；
 - g) 在混凝土浇筑过程中，应制取同条件养生强度试件，作为模板拆除、预应力张拉的依据；
 - h) 主梁合龙段不宜进行冬季施工。
- 6.4.4 主梁混凝土振捣密实后，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。
- 6.4.5 主梁养护应采用暖棚法，除应符合 JTG/T 3650 的规定外，还应符合下列规定：
 - a) 应设专人监测混凝土及暖棚内温度，暖棚内各测点温度不应低于 5°C 。测温点应选择其有代表性位置进行布置，每昼夜测温不应少于 4 次；
 - b) 养护期间应监测暖棚内的相对湿度，混凝土不得有失水现象，当棚内湿度不足时，应及时采取增湿措施或在混凝土表面洒水养护；
 - c) 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起风引起混凝土受冻的措施；
 - d) 悬浇段暖棚宜安装到挂篮上且可随挂篮行走；
 - e) 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；

- f) 暖棚加热宜采用电燃油暖风机加热法、电暖风机加热法、蒸汽加热法、电热毯加热法、燃油暖风机加热法、燃气暖风机加热法等，不应采用明火加热或其他具有较高火灾风险的加热方法。热源的设置位置和数量应根据专项计算确定，不得使用明火进行加热。
- 6.4.6 拆模后的混凝土应及时覆盖保温材料，保温材料宜采用铝箔岩棉及彩钢阻燃泡沫板，以防混凝土表面温度骤降产生温差裂缝，降温速度不宜大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。
- 6.4.7 主梁预应力施工除应符合除应符合 JTG/T 3650 的规定外，还应符合下列规定：
- a) 在张拉前，应对张拉设备和预应力筋进行预热处理；
 - b) 张拉预应力筋时环境温度不应低于 -15°C ；
 - c) 张拉设备、仪表和液压工作系统油液应根据环境温度选用，宜选用低凝油，且应在使用时的环境温度条件下进行配套校验；
 - d) 孔道压浆应采用抗冻灌浆材料，在压浆料养生期内，灌浆材料不得受冻。当环境温度在 0°C 以下时，应采用电热毯或电伴热带对孔道位置进行加热，直到水泥浆强度达到设计强度的 75% 为止。

6.5 悬臂越冬

- 6.5.1 悬臂越冬前应进行结构分析，评估越冬期间结构变形，并考虑越冬期间结构徐变效应、越冬后施工节段收缩徐变龄期差对施工线形控制的影响，采取措施确保施工线形满足要求。
- 6.5.2 采用墩梁临时固结的结构，应充分考虑越冬期间所面临的各种荷载作用，进行临时结构安全性验算，确保安全。
- 6.5.3 悬臂越冬前应对未压浆的管道采用防水措施进行封闭。
- 6.5.4 悬臂越冬期间应定期测量结构线型及偏位情况，测量频率不低于 1 次/月。
- 6.5.5 悬臂越冬期间应做好防积雪措施，确保排水畅通，及时清理梁顶积雪。
- 6.5.6 悬臂越冬期间应尽量减少桥面临时荷载，采取措施确保挂篮锁定可靠，并对外露锚具、锚头进行必要的防护处理。

6.6 温度监测与控制

- 6.6.1 应定时测量大气环境温度、水泥、水、矿物掺合料、外加剂、粗细集料等原材料的温度、混凝土拌和机棚内温度、混凝土出机温度、浇筑温度、入模温度以及混凝土内部和表面温度等。
- 6.6.2 应配备足够数量的温度测量仪器。测量环境温度宜采用自动温度记录仪或最高最低温度计，测量原材料温度以及混凝土温度宜采用便携式建筑电子测温仪、玻璃液体温度计。测量混凝土表面的温度宜采用红外线测温仪或红外线热像仪。
- 6.6.3 温度的监测与控制应每天由专人记录并符合下列规定：
- a) 温度测量仪器在使用前应予以校准；
 - b) 记录室外环境温度；
 - c) 实时记录混凝土拌和温度、出机温度、入模温度；
 - d) 记录混凝土养护的初始温度和时间；
 - e) 记录混凝土内部和表面温度；
 - f) 记录混凝土内部最高温度；
 - g) 控制混凝土内部和表面最大温差小于 15°C 。
- 6.6.4 采用预埋测温点测温时，应先将电阻应变片（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。
- 6.6.5 采用预留测温孔测温时应符合下列规定：
- a) 主梁的测温孔应事先绘制布置图，并对测温孔进行编号；

- b) 主梁的测温孔宜设置于腹板顶部和顶底板处,各节段每处腹板不少于 2 处,顶底板每 60m² 不少于 1 处;
- c) 测温时,应将温度测量仪器的感应部位插入至测温孔内,并与外界温度隔绝。测温时间不少于 3min;
- d) 施工过程中的温度记录宜按附录 B 中表格格式进行。

6.7 施工安全

- 6.7.1 悬臂浇筑桥梁冬季施工应制定综合应急预案、专项应急预案、现场处置方案。
- 6.7.2 施工单位应建立健全安全事故隐患排查制度,对检查发现的安全事故隐患应定人员、定时间、定措施整改。
- 6.7.3 冬季施工前,应对设施设备进行全面检查,落实防雪、防冻、防滑、防火和防煤气中毒的安全防护措施。
- 6.7.4 施工现场的道路、工作平台、斜坡道、脚手板等均应采取防滑措施,并及时清除冰雪。
- 6.7.5 在负温下绑扎、起吊用的钢索与钢筋笼直接接触时,应采取防滑措施。
- 6.7.6 施工期应做好保温大棚的积雪清理工作。
- 6.7.7 悬臂浇筑桥梁冬季施工时,防火安全应符合下列规定:
 - a) 保温大棚内墙宜采用非易燃性材料,保温大棚内应设置足够的灭火器材;
 - b) 应设专人检查可燃物燃烧状况,采取切实可行措施防止一氧化碳中毒;
 - c) 暖棚内应有防火、防煤气中毒的安全防护措施;
 - d) 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;
 - e) 采用电加热法时,应对导线的绝缘性能进行测试。施工时派专人看护,作业区要设置安全防护围栏和“防触电”醒目标志,严防触电事故发生;
 - f) 易燃、易爆及配电区域应在醒目位置悬挂防火、防爆警示标志,并设置足够数量的灭火器材。

7 质量检验

7.1 一般规定

- 7.1.1 悬臂浇筑桥梁冬季施工,质量检验应符合 JTG/T 3650 和 JTG F80/1 的规定。
- 7.1.2 应建立质量保证体系,并根据施工工艺与进度计划,配备足量的质检仪器和人员。对施工各工艺环节的各项质量标准应做到及时检验,并根据检验结果对施工进行动态控制,保证各项质量指标合格、稳定。
- 7.1.3 测温应定时定点进行,所有温度测量的数据、试验检测数据、汇总表格等应如实记录和存档。

7.2 原材料、混凝土检验

- 7.2.1 原材料进场时,必须具有生产厂家出具的质量合格检验报告,并经过复检合格后方可使用。检验项目与批次应符合 GB50164 的规定。
- 7.2.2 原材料检验应包括以下内容:
 - a) 厂家、品牌、规格和数量等信息应正确无误;
 - b) 质量证明文件应齐全;
 - c) 包装方式和外观质量应符合合同要求。
- 7.2.3 混凝土拌和楼的计量器具应定期检验校正,频率为每月不少于 1 次,必要时随时抽检。每班称量前,应对称量设备进行零点校验。

- 7.2.4 应动态检验拌合料的坍落度,频率为每 4h 应在机口检测 1~2 次,每 8h 应在仓面检测 1~2 次。
- 7.2.5 应动态检验拌合料中的含气量,频率为每 4h 测 1 次。含气量指标的允许偏差为 $\pm 1\%$ 。
- 7.2.6 施工过程中,应留取足够数量的同条件养护试件以确定拆模强度及弹性模量,同时还应制取在标准条件下养护的混凝土强度评定试件。
- 7.2.7 混凝土浇筑时,应有专人在现场检查并对施工过程中出现的问题及处理方案进行详细记录。

7.3 温度控制检验

7.3.1 混凝土浇筑期间的温度检查应符合下列规定:

- a) 宜采用自动测温仪器记录外界气温,若采用人工测温,每天不少于 6 次;
- b) 水、外加剂及集料的测温频率应不少于每 1h 测 1 次,测点的深度不小于 10cm;
- c) 混凝土出机温度和浇筑温度的测温频率应不少于应每 2h 测 1 次,测量点的深度不小于 10cm。

7.3.2 混凝土养护期间的温度检查应符合下列规定:

- a) 宜采用自动测温仪器记录养护环境温度,若采用人工测温,每天不少于 6 次;
- b) 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;
- c) 升温 and 降温阶段混凝土测温频率应不少于每 1h 测 1 次,恒温阶段混凝土测温频率应不少于每 2h 测 1 次。

附录 A
(资料性)
混凝土热工计算

A.1 混凝土搅拌、运输、浇筑 温度计算

A.1.1 混凝土拌合物温度按式 (A.1) 计算。

$$T_0 = \frac{0.92(m_{ce}T_{ce} + m_sT_s + m_{sa}T_{sa} + m_gT_g) + 4.2T_w(m_w - \omega_{sa}m_{sa} - \omega_gm_g) + c_w(\omega_{sa}m_{sa}T_{sa} + \omega_gm_gT_g) - c_i(\omega_{sa}m_{sa} + \omega_gm_g)}{4.2m_w + 0.92(m_{ce} + m_s + m_{sa} + m_g)} \dots\dots\dots (A.1)$$

- T_0 ——混凝土拌合物温度 (°C);
- T_s ——掺合料的温度 (°C);
- T_{ca} ——水泥的温度 (°C);
- T_{sa} ——砂子的温度 (°C);
- T_g ——石子的温度 (°C);
- T_w ——水的温度 (°C);
- m_w ——拌和水用量 (kg);
- m_{ce} ——水泥用量 (kg);
- m_s ——掺合料用量 (kg);
- m_{sa} ——砂子用量 (kg);
- m_g ——石子用量 (kg);
- ω_{sa} ——砂子的含水率 (%);
- ω_g ——石子的含水率 (%);
- c_w ——水的比热容 [kJ/(kg·°C)];
- c_i ——冰的融解热 (kJ/kg);

当骨料温度大于 0°C时, $c_w = 4.19$, $c_i = 0$, 当骨料温度小于等于 0°C时, $c_w = 2.14$, $c_i = 335$ 。

A.1.2 混凝土拌合物出机温度按式 (A.2) 计算。

$$T_1 = T_0 - 0.16(T_0 - T_p) \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- T_1 ——混凝土拌合物出机温度 (°C);
- T_p ——拌和机棚内温度 (°C)

A.1.3 混凝土拌合物运输与输送至浇筑地点时的温度可按式 (A.3) 计算。

$$T_2 = T_1 - \Delta T_y - \Delta T_b \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

ΔT_y ——采用装卸式运输工具运输混凝土时的温度降低

ΔT_b ——采用泵管输送混凝土时的温度降低,可按式(A.4)、式(A.5)计算。

$$\Delta T_y = \alpha t_1 + 0.032n(T_1 - T_a) \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\Delta T_b = 4\omega \times \frac{3.6}{0.04 + d_b/\lambda_b} \times \Delta T_1 \times t_2 \times \frac{D_w}{c_c \cdot \rho_c \cdot D_l^2} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

T_2 ——混凝土拌合物运输与输送到浇筑地点时的温度(入模温度)($^{\circ}\text{C}$);

ΔT_y ——采用装卸式运输工具运输混凝土时的温度降低($^{\circ}\text{C}$);

ΔT_b ——采用泵管输送混凝土时的温度降低($^{\circ}\text{C}$);

ΔT_1 ——泵管内混凝土的温度与环境气温差($^{\circ}\text{C}$);

$$\Delta T_1 = T_1 - T_y - T_a \dots\dots\dots (A.6)$$

T_a ——室外环境温度($^{\circ}\text{C}$);

t_1 ——混凝土拌合物运输时间(h);

t_2 ——混凝土在泵管内输送时间(h);

n ——混凝土拌合物运转次数;

c_c ——混凝土的比热容[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)],素混凝土取1,钢筋混凝土取1.05;

ρ_c ——混凝土的质量密度(kg/m³);

λ_b ——泵管外保温材料导热系数[W/(m· $^{\circ}\text{C}$)];

d_b ——泵管外保温层厚度(m);

D_l ——混凝土泵管直径(m);

D_w ——混凝土管外围直径(包括外围保温材料)(m)

ω ——透风系数,可按表A.2取值;

α ——温度损失系数(h⁻¹);采用混凝土搅拌车时,取0.25。

A.1.4 考虑模板和钢筋的吸热影响,混凝土浇筑完成时的温度可按式(A.7)计算。

$$T_3 = \frac{c_c m_c T_2 + c_f m_f T_f + c_s m_s T_s}{c_c m_c + c_f m_f + c_s m_s} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

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

c_f ——模板材料的比热容[kJ/(kg· $^{\circ}\text{C}$)],钢模板的比热容取0.48,木模板的比热容取2.51;

c_s ——钢筋的比热容[kJ/(kg·°C)], 取 0.48;

m_c ——每立方米混凝土的重量 (kg);

m_f ——与每立方米混凝土相接触的模板重量 (kg);

m_s ——与每立方米混凝土相接触的钢筋重量 (kg);

T_f ——模板的温度 (°C), 可采用当时的环境温度;

T_s ——钢筋的温度 (°C), 可采用当时的环境温度

A.2 混凝土蓄热养生过程中的温度计算

A.2.1 混凝土蓄热养生开始到某一时刻的温度、平均温度可按式 (A.8)、(A.9) 计算。

$$T_4 = \eta e^{-\theta V_{ce} \cdot t_3} - \rho e^{V_{ce} \cdot t_3} + T_{m,a} \dots\dots\dots (A.8)$$

$$T_m = \frac{1}{V_{ce} t_3} (\varphi e^{-V_{ce} \cdot t_3} - \frac{\eta}{\theta} e^{-\theta V_{ce} \cdot t_3} + \frac{\eta}{\theta} - \varphi) + T_{m,a} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中:

θ 、 φ 、 η 为综合系数, 可按式 (A.10)、(A.11)、(A.12)、(A.13) 计算。

$$\theta = \frac{\omega \cdot K \cdot M_s}{V_{ce} \cdot c_c \cdot \rho_c} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$\varphi = \frac{V_{ce} \cdot Q_{ce} \cdot m_{ce,1}}{V_{ce} \cdot c_c \cdot \rho_c - \omega \cdot K \cdot M_s} \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\eta = T_3 - T_{m,a} + \varphi \dots\dots\dots (A.12)$$

$$K = \frac{3.6}{0.04 + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

T_4 ——混凝土蓄热养生开始到某一时刻的温度 (°C);

T_m ——混凝土蓄热养生开始到某一时刻的平均温度 (°C);

t_3 ——混凝土蓄热养生开始到某一时刻的时间 (h);

$T_{m,a}$ ——混凝土蓄热养生开始到某一时刻的平均气温 (°C), 可采用蓄热养生开始至 t_3 时气象预报的平均气温, 亦可按每时或每日平均气温计算;

M_s ——结构表面系数 (m⁻¹);

K ——结构围护层的传热系数[kJ/(m²·h·°C)], 按式 A.13 计算得到;

Q_{ce} ——水泥水化累积最终释热量 (kJ/kg);

V_{ce} ——水泥水化速度系数 (h⁻¹);

$m_{ce,1}$ ——每立方米混凝土水泥用量 (kg/m³);

d_i ——第 i 层围护层厚度 (m);

λ_i ——第 i 层围护层的导热系数[W/(m·℃)]。

A.2.2 水泥水化累积最终放热量 Q_{ce} 、水泥水化速度系数 V_{ce} 及透风系数取值可按表 A.1 和表 A.2 取用。

表 A.1 水泥水化累积最终放热量 Q_{ce} 、水泥水化速度系数 V_{ce}

水泥品种及强度等级	Q_{ce} (kJ/kg)	V_{ce} (h ⁻¹)
硅酸盐、普通硅酸盐水泥 52.5	400	0.018
硅酸盐、普通硅酸盐水泥 42.5	350	0.015
矿渣水泥、火山灰质、粉煤灰、复合硅酸盐水泥 42.5	310	0.013
矿渣水泥、火山灰质、粉煤灰、复合硅酸盐水泥 32.5	260	0.011

表 A.2 透风系数 ω

围护层种类	透风系数 ω		
	$V_w < 3\text{m/s}$	$3\text{m/s} \leq V_w \leq 5\text{m/s}$	$V_w > 5\text{m/s}$
围护层有易透风材料组成	2.0	2.5	3.0
易透风保温材料外包不易透风材料	1.5	1.8	2.0
围护层由不易透风材料组成	1.3	1.45	1.6

注：表 A.2 中， V_w 为风速。

表 A.3 常用材料的导热系数 λ 和比热容 c

材料名称	导热系数 λ / W/(m·℃)	比热容 c /[kJ/(kg·℃)]	材料名称	导热系数 λ / W/(m·℃)	比热容 c /[kJ/(kg·℃)]
混凝土	1.50	1.00	钢材	58	0.48
钢筋混凝土	1.74	1.05	木材	0.17	2.51
水泥砂浆	0.93	1.05	膨胀珍珠岩	0.04	0.84
砖砌体	0.81	0.88	矿棉	0.035	0.75
聚苯乙烯板	0.038	1.47	矿棉板	0.04	0.75
聚氨酯泡沫塑料	0.025	1.46	岩棉板	0.04	0.75
聚乙烯泡沫塑料	0.047	1.38	岩棉毡	0.04	0.75

表A.3 常用材料的导热系数λ和比热容c（续）

软木板	0.065	2.10	毛毡	0.06	1.88
石油沥青	0.27	1.68	沥青油毡	0.17	1.47
帆布	0.23	1.47	石棉水泥板	0.35	0.84
石子	1.16	0.84	炉渣	0.29	0.75
水	0.58	4.19	砂	0.87	0.84
冰	2.33	2.14	粘土	0.93	0.84
雪	0.23	2.14	粉煤灰	0.23	0.92

A.2.3 当需要计算混凝土蓄热冷却至 0℃的时间时，可根据本文件式（A.8）采用逐次逼近的方法进行计算，当蓄热养生条件满足 $\frac{\varphi}{T_{m,a}} \geq 1.5$ ，且 $K M_s \geq 50$ 时，也可按式（A.14）直接计算：

$$t_0 = \frac{1}{V_{ce}} \ln \frac{\varphi}{T_{m,a}}$$

.....（A.14）

式中：

t_0 ——混凝土蓄热养生冷却至 0℃的时间（h），混凝土冷却至 0℃的时间内，其平均温度可根据本文件中的式 A.2.2

取 $t_3 = t_0$ 进行计算。

附 录 B
(资料性)
混凝土温度检测记录表

冬期施工温度测量用表

B.1 冬期大气测温记录表

冬期施工大气测温记录见表 B.1。

表 B.1 冬期大气测温记录表

施工现场名称: 年份:

日期	大气温度 (°C)					气候情况 (阴晴风雨雪)
	7:30	14:00	21:00	最高温度	最低温度	

施工负责人: 测量人:

B.2 混凝土搅拌测温记录表

冬期施工混凝土测温记录见表 B.2。

表 B.2 混凝土搅拌测温记录表

分部工程名称: 部位: 配合比 (水泥: 砂: 石: 水: 外加剂掺 (%))

混凝土强度等级: 坍落度 (mm): 年份

测温时间		大气温度 (°C)	原材料温度 (°C)				出机温度 (°C)	入模温度 (°C)
月/日	时		水泥	砂	石	水		

施工负责人: 测量人:

B.3 冬期施工混凝土养生温度记录表

