山 东 省 工 程 建 设 标 准

DB37/T **—** **—**

混凝土工程防冻技术规程

Technical Specification for Frost Resistance of Concrete Engineering

（征求意见稿）

202*-**-** 发布 202*-**-** 实施

山 东 省 住 房 和 城 乡 建 设 厅

联合发布

山 东 省 市 场 监 督 管 理 局

山东省工程建设标准

混凝土工程防冻技术规程

Technical Specification for Frost Resistance of Concrete Engineering

DB37/T **—202*

住房和城乡建设部备案号：**J**—****

主编单位：山东城市建设职业学院

中建八局第二建设有限公司

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：202*年*月 *日

202*年 济南

前　言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于印发 2025 年山东省工程建设标准编制计划（第一批）的通知》(鲁建标字〔2025〕3 号)的要求，编制组经调查研究，认真总结工程应用实践经验，参考国内有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、性能要求、制备、浇筑、测温、养护及拆模、质量检验和验收、附录。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东城市建设职业学院负责具体技术内容的解释。各相关单位在实施过程中，注意积累资料和数据，总结经验，如发现需要修改和补充之处，请及时将问题和建议反馈给山东城市建设职业学院（地址：济南市旅游路东首 4657 号，邮政编码：250103，联系电话：13964195893，E-mail：1306855329@qq.com）以便修订时参考。

主编单位：山东城市建设职业学院

中建八局第二建设有限公司

参编单位：

主要起草人员：

主要审查人员：

目　次

Contents

1 总 则

1.0.1 为规范混凝土工程防冻施工，保证冬期施工混凝土工程质量，做到绿色环保、技术先进、安全适用、经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑工程冬期防冻施工混凝土的性能要求、制备、浇筑、测温、养护及拆模、质量检验和验收。

1.0.3 混凝土工程防冻施工除应符合本规程外，尚应符合国家和山东省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 冬期施工 Winter construction

在室外日平均气温连续 5d 稳定低于 5℃的环境下进行的建设工程施工。

2.1.2 混凝土工程防冻技术 Concrete Frost Protection Technology

冬期施工时，为保障混凝土工程质量、避免其受冻破坏，并满足混凝土工程设计要求及施工要求所采取的技术措施。

2.1.3 冬期施工温度等级 Temperature level for winter construction

冬期施工环境所处的不同气温范围。

2.1.4 受冻临界强度 Critical Strength Against Freezing Damage

冬期施工，新浇筑的混凝土在受冻以前必须达到的最低强度值。

2.1.5 防冻混凝土综合法 Comprehensive Method for Frost-Resistant Concrete

采用防冻混凝土，并在制备、浇筑、养护过程中采取适当的加热措施及保温措施，使混凝土温度降到规定的冬期施工温度等级以前达到受冻临界强度，并在规定龄期满足混凝土工程设计要求的防冻技术方法。

2.1.6 蓄热保温综合法 Integrated Thermos-Incubation Method

利用混凝土水化放热，并在混凝土制备、浇筑、养护过程中采取适当的加热及有效的保温措施，使混凝土温度降到 0℃以前达到受冻临界强度，并在规定龄期满足混凝土工程设计要求的防冻技术方法。

2.1.7 加热保温综合法 Integrated Heated Curing Method

在混凝土制备、浇筑、养护过程中采取有效的加热及保温措施，使混凝土温度降到 0℃以前达到受冻临界强度，并在规定龄期满足混凝土工程设计要求的防冻技术方法。

2.1.8 防冻性能 resistance to frost

在低温环境下，混凝土可保持一定的水化放热并凝固，防止发生受冻破坏现象，在转正温环境后强度可随龄期增长最终满足设计要求的性能。

2.1.9 防冻混凝土 Winter construction antifreeze concrete

在低温环境下不发生受冻破坏，具有一定防冻性能的混凝土。

2.1.10 早强混凝土 High-Early-Strength Concrete

相对于其他混凝土，早期水化速率快、水化放热高，在更短的时间就能达到相应强度的混凝土。

2.1.11 低热缓凝混凝土 Low-Heat Set-Retarding Concrete

相对于其他混凝土，早期水化反应缓慢，早期水化放热低，混凝土凝结时间延长的混凝土。

2.1.12 低温综合养护龄期 Low temperature comprehensive maintenance age

混凝土成型后，在冬期施工温度等级规定的温度下养护一定龄期与继续标准养护一定龄期的总和。

2.1.13 防冻指数 Antifreeze Index

表征混凝土防冻性能量化指标。

2.1.14 表面系数 Surface Coefficient

建筑工程结构中混凝土构件的散热表面积与其体积的比值。

2.1.15 混凝土拆模强度 Concrete Formwork Removal Strength

混凝土在浇筑后，达到可以安全拆除其模板（模具）且保证完整外观时所必须满足的最低抗压强度。

2.2 符号

f_7 —防冻混凝土试件标准养护 7d 龄期的抗压强度；

f_{28} —防冻混凝土试件标准养护 28d 龄期的抗压强度；

f_{-7} —防冻混凝土试件低温综合养护 7d 龄期的抗压强度；

f_{-7+56} —防冻混凝土试件低温综合养护 63d 龄期的抗压强度；

R_{-7} —防冻混凝土低温综合养护 7d 龄期的防冻指数；

R_{-7+56} —防冻混凝土低温综合养护 63d 龄期的防冻指数。

3 基本规定

3.0.1 冬期混凝土工程防冻技术方法类型及适用范围，宜按表 3.0.1 的规定执行 。

表 3.0.1　冬期混凝土工程防冻技术方法类型及适用范围

施工部位 \ 防冻技术方法类型		防冻混凝土综合法	加热保温综合法	蓄热保温综合法
现浇地下围护结构混凝土工程		--	--	√
		咬合桩	--	√（III-HN）
现浇地下桩基混凝土工程		--	--	√
现浇地下混凝土工程	大体积	--	--	√（III-HN）
	非大体积	√（Ⅰ-FD）	√	√（Ⅰ-FD、Ⅱ-ZQ）
现浇地上混凝土工程		√（Ⅰ-FD）	√	√（Ⅱ-ZQ）
表面系数大于 5m^{-1} 的混凝土结构		--	√	√（Ⅰ-FD、Ⅱ-ZQ）
不易加热、保温养护，且对强度增长要求不高的一般混凝土结构工程		√（Ⅰ-FD）	--	--

注：1）--为不宜选用，√为宜用；

2）Ⅰ-FD 为选用防冻混凝土，Ⅱ-ZQ 为选用早强混凝土，III-HN 为选用低热缓凝混凝土。

3.0.2 应建立混凝土工程防冻技术控制流程，控制流程应符合附录 D 相关规定。冬期混凝土工程防冻施工所采用的混凝土，宜采用预拌混凝土，并应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定。混凝土制备和施工前应编制冬期施工专项方案、试验验证和技术交底。

3.0.3 防冻混凝土综合法应选用防冻混凝土，防冻混凝土的防冻性能应按照冬期施工温度等级进行评定，冬期施工温度等级应符合表 3.0.3 规定。

表 3.0.3　冬期施工温度等级

项目 \ 技术规定	冬期施工温度等级			
	低温 4 级 (DⅣ)	低温 3 级 (DIII)	低温 2 级 (DⅡ)	低温 1 级 (DⅠ)
适用的温度范围（℃）	-20～-15	-15～-10	-10～-5	-5～5

3.0.4 根据当地多年气象资料统计，当室外日平均气温连续 5 日稳定低于 5℃时，应采取冬期施工措施；当室外日平均气温连续 5 日稳定高于 5℃时，可解除冬期施工措施。混凝土工程防冻施工应符合现行行业《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 和现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

4 性能要求

4.1 拌合物性能

4.1.1 混凝土拌合物应易于搅拌、运输、浇捣成型，具有良好的粘聚性、保水性和匀质性，适宜的凝结时间，满足施工技术要求。

4.1.2 混凝土拌合物性能要求应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2　　混凝土拌合物性能要求

<table>
<tr><th rowspan="2">技术要求
性能指标</th><th colspan="4">冬期施工温度等级</th><th rowspan="2">试验方法</th></tr>
<tr><th>低温 4 级
(DⅣ)</th><th>低温 3 级
(DⅢ)</th><th>低温 2 级
(DⅡ)</th><th>低温 1 级
(DⅠ)</th></tr>
<tr><td>泌水率（%）</td><td colspan="2">≤3</td><td colspan="2">≤5</td><td>《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080</td></tr>
<tr><td>含气量（%）</td><td colspan="2">≥2.0%</td><td colspan="2">≥1.5%</td><td>《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080</td></tr>
<tr><td>低温终凝时间（min）</td><td colspan="2">≤1440</td><td colspan="2">≤1200</td><td>本规程附录 A</td></tr>
<tr><td>低温 60min 坍落度经时损失值（mm）</td><td colspan="4">≤30</td><td>本规程附录 A</td></tr>
<tr><td>粘聚性指标值</td><td colspan="4">≥60</td><td>本规程附录 B</td></tr>
</table>

注：低温终凝时间技术要求对大体积混凝土不作要求。

4.1.3 混凝土拌合物中氯离子含量和碱总含量应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定和设计要求；混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应按现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322规定的混凝土拌合物氯离子含量快速测定方法进行测定。

4.1.4 除本规程的规定外，混凝土拌合物性能试验应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定。

4.2 力学性能

4.2.1 混凝土的力学性能应满足设计和施工的要求。

4.2.2 混凝土的力学性能试验应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定。

4.3 防冻性能

4.3.1 防冻混凝土综合法应选用防冻混凝土，防冻混凝土防冻指数应符合表 4.3.1 的规定。加热保温综合法、蓄热保温综合法采用的混凝土，其防冻性能不作要求。

表 4.3.1　混凝土防冻性能技术要求

技术要求 / 项目		冬期施工温度等级				试验方法
		低温 4 级（DⅣ）	低温 3 级（DⅢ）	低温 2 级（DⅡ）	低温 1 级（DⅠ）	
防冻指数（%）	D_{-7}	≥20		≥30	≥40	本规程附录 C
	D_{-7+56}	≥95		≥100		

4.3.2 防冻混凝土防冻指数对应的低温综合养护龄期，应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2　低温综合养护龄期

技术规定 / 项目			冬期施工温度等级							
			低温 4 级（DⅣ）		低温 3 级（DⅢ）		低温 2 级（DⅡ）		低温 1 级（DⅠ）	
防冻指数	养护阶段	养护龄期（d）	养护环境要求		养护环境要求		养护环境要求		养护环境要求	
			温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）
R_{-7}	预养护	0.25	20±5	>50	20±5	>50	20±5	>50	20±5	>50
	低温养护	7	-15±1	--	-10±1	--	-5±1	--	0±1	--
	低温综合养护龄期（d）		7		7		7		7	
防冻指数	养护阶段	养护龄期（d）	养护环境要求		养护环境要求		养护环境要求		养护环境要求	
			温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）	温度（℃）	相对湿度（%）
R_{-7+56}	预养护	0.25	20±5	>50	20±5	>50	20±5	>50	20±5	>50
	低温养护	7	-15±1	--	-10±1	--	-5±1	--	0±1	--
	标准养护	56	20±2	≥95	20±2	≥95	20±2	≥95	20±2	≥95
	低温综合养护龄期（d）		63		63		63		63	

4.4 长期性能和耐久性能

4.4.1 混凝土的长期性能和耐久性能必须满足设计要求。

4.4.2 混凝土长期性能和耐久性能试验应符合现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

5 制备

5.1 原材料

5.1.1 水泥应符合下列规定：

1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

2 选用水泥，应符合以下规定：

1）采用加热保温综合法施工，水泥不宜选用早强型及快硬型水泥；

2）采用蓄热保温综合法施工，宜采用早强混凝土，宜选用早强型水泥，大体积混凝土工程宜采用低热水泥；

3）采用防冻混凝土综合法施工，应采用防冻混凝土，宜选用早强型水泥、硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥，不宜采用低热水泥；冬期施工温度等级为低温 3 级(DⅢ)、低温 4 级(DⅣ)时，不应选用复合硅酸盐水泥。

3 水泥应与外加剂进行相容性试验，并满足施工技术要求。

5.1.2 矿物掺合料应符合下列规定：

1 掺加粉煤灰时，宜选用Ⅰ级或Ⅱ级 F 类粉煤灰，烧失量不宜大于 5%，需水量比不宜大于 100%；粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定。

2 掺加粒化高炉矿渣粉时，规格等级不宜低于 S95 级，流动度比不宜小于 100%；粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定。

3 当掺加硅灰时，硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的规定。

4 其他矿物掺合料应符合相应国家和山东省现行有关标准的规定，通过试验进行验证，混凝土性能满足工程应用要求后再使用。

5.1.3 骨料应符合下列规定：

1 粗骨料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。粗骨料宜采用连续粒级，也可用多个不同单粒级组合成满足要求的连续粒级；粗骨料吸水率不宜大于 2%。

2 细骨料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。细骨料采用人工砂时，应符合现行行业标准《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241 的规定，且压碎值指标不宜大于 20%。细骨料不宜采用特细砂；细骨料吸水率不宜大于 3%。

3 所用骨料应清洁，不得含有冰、雪、冻块及其他易冻裂物质。

5.1.4 外加剂应符合下列规定：

1 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

2 选用外加剂，应符合以下规定：

1）采用加热保温综合法施工，混凝土不宜选用早强型外加剂；

2）采用蓄热保温综合法施工，宜采用早强混凝土，宜掺入早强剂或早强型复合外加剂，并应具有减水、引气作用；

3）采用防冻混凝土综合法施工，应采用防冻混凝土，应掺入防冻剂或防冻型复合外加剂，并应具有减水、引气作用。掺用氨盐类防冻剂时，氨盐掺量不得大于水泥质量的 1.0%，不得在公建、人居环境建筑结构使用氨盐类防冻剂；亚硝酸钠防冻剂或亚硝酸钠与碳酸锂复合防冻剂，可用于冬期施工的硫铝酸盐水泥混凝土；含硝酸盐等有毒性成分的防冻剂不得用于涉及饮水、灌溉的混凝土工程。

3 在下列情况下，不得在钢筋混凝土结构中掺用氯盐：

1）排出大量蒸汽的车间、浴池、游泳馆、洗衣房和经常处于空气相对湿度大于 80%的房间以及有顶盖的钢筋混凝土蓄水池等在高湿度空气环境中使用的结构；

2）处于水位升降部位的结构；

3）露天结构或经常受雨、水淋的结构；

4）有镀锌钢材或铝铁相接触部位的结构，以及有外露钢筋、预埋件而无防护措施的结构；

5）与含有酸、碱或硫酸盐等侵蚀介质相接触的结构；

6）使用过程中经常处于环境温度为 60℃以上的结构；

7）使用冷拉钢筋或冷拔低碳钢丝的结构；

8）薄壁结构，中级和重级工作制吊车梁、屋架、落锤或锻锤基础结构；

9）电解车间和直接靠近直流电源的结构；

10）直接靠近高压电源的结构；

11）预应力混凝土结构。

4 防冻剂的品种、掺量应以混凝土浇筑后 5d 内的预计日最低气温选用，在日最低气温为-5℃~-10℃、-10℃~-15℃、-15℃~-20℃时，应分别选用规定温度为-5℃、-10℃、-15℃的防冻剂。采用混凝土防冻剂，应符合现行行业标准《混凝土防冻剂》JC/T 475 的规定；采用混凝土防冻泵送剂，应符合现行行业标准《混凝土防冻泵送剂》JG/T 377 的规定；采用其他品种外加剂，应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。

5 外加剂应经试验确定其最佳掺量，所选用的外加剂应与其他混凝土材料有良好的相容性，并满足施工技术要求；防冻剂与其他外加剂同时使用时，应经试验确定，并应满足设计和施工要求。

6 液态外加剂应储存在密闭容器内，并应采取保温防冻措施。

7 当采用的外加剂有沉淀等异常现象时，应经搅拌均匀、检验合格后方可使用；当采用的外加剂出现颜色、气味变化时，应进行试验验证，检验合格后方可使用。

5.1.5 混凝土拌合用水和养护用水均应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

5.1.6 其他材料应符合下列规定：

1 当设计要求掺加纤维时，应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 及其他现行相关标准规定；合成纤维应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定。

2 其他材料应符合国家、行业现行相关标准的规定。

5.2 配合比

5.2.1 冬期混凝土工程防冻施工配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定并满足设计、施工技术要求，具有其他特殊性能要求和用途时，尚应符合现行相关标准的规定。

5.2.2 应结合工程实际及冬期施工技术方案，按照本规程第 3.0.1 条规定的防冻技术方法类型，确定与之相适应的混凝土品种；采用加热保温综合法及蓄热保温综合法施工的混凝土配合比设计可不考虑防冻性能；采用防冻混凝土综合法施工的混凝土配合比设计应符合本规程第 5.2.2 条相关规定。

5.2.3 冬期施工混凝土配合比，应根据施工期间环境气温、原材料、养护方法、混凝土性能要求等经试验确定，并宜选择较小的水胶比和坍落度。混凝土的水胶比、最小水泥用量应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定，可溶性氯离子含量和碱含量应符合设计要求及相关现行标准的规定。采用非加热养护方法时，混凝土中宜掺入引气剂、引气型减水剂或含有引气组分的外加剂，混凝土含气量宜控制为 3.0%～5.0%。

5.2.4 混凝土配合比试配时应采用工程实际使用的原材料，保持水胶比不变，通过调整配合比使混凝土拌合物性能满足本规程第 4.1 节的规定，确定试拌配合比。

5.2.5 设计配合比应在生产和施工前进行验证试验，应以调整后的配合比作为施工配合比，首次生产时应进行开盘鉴定；生产过程中，应及时检测粗、细骨料的含水率，并应根据其变化情况及时调整施工配合比。应依据气温的变化，检查防冻剂掺量是否符合配合比与防冻剂说明书的规定，并应根据需要调整配合比。

5.2.6 在生产和施工前，应进行混凝土热工计算，热工计算应按行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 附录 A 有关规定进行，热工计算的混凝土出机温度不宜低于 10℃，入模温度不应低于 5℃。

5.2.7 采用防冻混凝土综合法施工，选用防冻混凝土时，确定为设计配合比的标准养护 28d 抗压强度不应低于配制强度，其防冻性能应符合本规程第 4.3 节相关规定。

5.2.8 确定为设计配合比的水胶比不应大于 0.55，最小胶凝材料用量应符合表 5.2.8 的规定。

表 5.2.8　防冻混凝土水胶比及相应的最小胶凝材料用量（kg/m^3）

<table>
<tr><td rowspan="2">水胶比</td><td colspan="4">最小胶凝材料用量</td></tr>
<tr><td>素混凝土</td><td>钢筋混凝土</td><td>预应力混凝土</td><td>泵送混凝土</td></tr>
<tr><td>≤0.55 且>0.50</td><td>280</td><td>300</td><td>300</td><td rowspan="3">300</td></tr>
<tr><td>≤0.50 且>0.45</td><td colspan="3">320</td></tr>
<tr><td>≤0.45</td><td colspan="3">330</td></tr>
</table>

5.2.9 矿物掺合料掺量应通过试验确定，采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，矿物掺合料最大掺量宜符合表 5.2.9 的规定，对基础大体积混凝土，粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和复合掺合料的最大掺量可增加 5%。采用掺量大于 30%的 C 类粉煤灰的混凝土应以实际使用的水泥和粉煤灰掺量进行安定性检验。

表 5.2.9　防冻混凝土矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量（%）			
		钢筋混凝土		预应力混凝土	
		采用硅酸盐水泥	采用普通硅酸盐水泥	采用硅酸盐水泥	采用普通硅酸盐水泥
粉煤灰	≤0.40	40	30	30	25
	>0.40	35	25	20	15
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	60	50	50	40
	>0.40	50	40	40	30
石灰石粉	≤0.40	25	15	20	10
	>0.40	20	10	15	5
钢渣粉	--	2	15	20	10
硅灰	--	10	10	10	10
复合掺合料	≤0.40	60	50	50	40
	>0.40	50	40	40	30

注：1 采用其他通用硅酸盐水泥时，宜将水泥混合材掺量 20%以上的混合材量计入矿物掺合料；

2 复合掺合料各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量；

3 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

5.3 原材料管理

5.3.1 各种原材料应分仓储存，并有明确的标识；材料进场时，应提供质量证明文件，质量证明文件应包括型式检验报告、出厂检验报告与合格证，外加剂还应提供使用说明书。原材料进场需检验合格后方可入库贮存。

5.3.2 水泥应按品种、强度等级、生产厂家分别标识和储存；应防止受潮及污染，不应使用结块的水泥；水泥出厂超过 3 个月应进行复检，合格方可使用。

5.3.3 骨料堆场应为能排水的硬质地面，并应有防尘和遮雨设施；不同品种、规格的骨料应分别储存，避免混杂或污染；用于冬期施工混凝土的粗、细骨料中，不得含有冰、雪冻块及其他易冻裂物质。

5.3.4 外加剂管理应符合下列规定：

1 进场后应采用工程实际使用的原材料和配合比，按照现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 进行试验，满足要求方可使用。

2 外加剂的送检样品应与工程大批量进货一致，并应按不同的供货单位、品种和牌号进行标识，单独存放。

3 外加剂应按品种和生产厂家分别标识和储存，粉状外加剂应防止受潮结块，如有结块，应进行检验，合格者应经粉碎至全部通过 600μm 方孔筛筛孔后方可使用。

4 液态外加剂应储存在密闭容器内，并应采取防冻措施，如有沉淀异常现象，应经检验合格后方可使用。液体防冻剂使用前应搅拌均匀，由防冻剂溶液带入的水分应从混凝土拌合水中扣除。

5.3.5 矿物掺合料应按品种、规格等级和产地分别标识和储存，不应与水泥等其他粉状料混合，并应防潮、防雨、防冰雪。

5.4 加热及测温措施

5.4.1 除大体积混凝土外，冬期施工混凝土应提高混凝土拌合物出机温度，宜采用加热拌合水的方法。当加热拌合水仍不能满足要求时，可对骨料进行加热，水泥不得直接加热，袋装水泥使用前宜运入暖棚内存放，散装水泥进场时应对进场水泥进行测温。水、骨料加热的最高温度应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1　拌合水和骨料加热最高温度

水泥强度等级	拌合水温度（℃）	骨料温度（℃）
<42.5	80	60
⩾42.5	60	40

5.4.2 拌合水加热宜采用环保型的蒸汽加热、电加热、汽水热交换罐或其他加热方法，加热功率和热流量应与储水容器容积及所要求的水温相匹配，储水容器容积及水温应能满足连续混凝土搅拌施工的要求。

5.4.3 除大体积混凝土外，冬期施工混凝土用砂、石骨料加热应在开盘前进行；应对骨料配料仓及传送装置采取防风保温围挡措施，必要时应对骨料配料仓采取加热取暖措施，加热应均匀；蒸汽法加热骨料时，应加大对骨料含水率测试频率，并应将由骨料带入的水分从混凝土拌合水中扣除，应采取措施去除湿气在运转设备上的冻块。

5.4.4 环境气温低于 0℃时，应用保温材料对液体输送管路进行保温，气动开关装置、皮带输送装置、称重装置、搅拌机等设备运行环境场所应采取加热取暖措施。

5.4.5 混凝土开盘前及生产过程中应进行温度监测，测温项目与频次应符合表 5.4.5 的规定。

表 5.4.5　测温项目与频次

测温项目	频次
室外气温	测量最高、最低气温
环境温度	每昼夜不少于 4 次

搅拌机棚温	每一工作班不少于 4 次
拌合水、水泥、矿物掺合料、砂、石及外加剂溶液温度	每一工作班不少于 4 次
混凝土出机、浇筑	每一工作班不少于 4 次

5.5 计量

5.5.1 原材料计量宜采用电子计量设备，其精度应满足现行国家标准《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171 的有关规定；计量设备应定期校验，涉及合同结算的计量设备应具有法定计量部门签发的有效检定证书；混凝土生产单位每月应对计量设备自检一次；每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。

5.5.2 混凝土原材料计量允许偏差应符合表 5.5.2 规定，原材料计量偏差应每班检查 1 次。

表 5.5.2 各种原材料计量的允许偏差

原材料种类	粉状材料	粗、细骨料	拌合用水	外加剂
累计计量允许偏差（按质量计%）	±1	±2	±1	±1
每盘计量允许偏差（按质量计%）	±2	±3	±1	±1

5.6 搅拌

5.6.1 混凝土搅拌机应符合现行国家标准《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌机》GB/T 9142 的规定。混凝土搅拌宜采用强制式搅拌机。

5.6.2 原材料投料方式应满足混凝土搅拌技术及混凝土拌合物质量的要求。搅拌应保证预拌混凝土拌合物质量均匀；同一盘混凝土搅拌匀质性应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

5.6.3 混凝土搅拌时宜先投入骨料、胶凝材料、粉体外加剂，预拌后再投入拌合水与液体外加剂。胶凝材料、引气剂或含引气组分外加剂不得与 60℃以上热水直接接触。搅拌时间应比常温搅拌时间延长 30s～60s，混凝土搅拌的最短时间应符合表 5.6.3 的规定，混凝土搅拌时间应每班检查 2 次。

表 5.6.3 混凝土搅拌的最短时间

混凝土坍落度（mm）	搅拌机容积（L）	混凝土搅拌最短时间（s）
≤80	<250	90
	250~500	135
	>500	180
>80	<250	90
	250~500	90
	>500	135

注：1 采用自落式搅拌机时，应较上表搅拌时间延长 30s～60s；

2 采用预拌混凝土时，应较常温下预拌混凝土搅拌时间延长 15s～30s；

3 当制备特制品或掺用引气剂、膨胀剂和粉状外加剂的混凝土时，应延长搅拌时间。

5.6.4 混凝土拌合物的出机温度不宜低于 10℃，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距离经热工计算确定，但不宜低于 15℃。

5.7 运输

5.7.1 混凝土搅拌运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408的规定，搅拌运输车搅拌罐应有保温或隔热措施，混凝土在运输、浇筑过程中的温度和覆盖的保温材料，应按行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011附录A进行热工计算后确定，运送至浇筑地点时混凝土温度不应低于5℃且不宜低于10℃，不符合要求时，应采取措施进行调整。

5.7.2 搅拌运输车装料前，搅拌罐内应无积水或积浆；应定期清理搅拌罐内和罐口的混凝土残渣及冻块，防止落入搅拌罐内；在运输过程中，应控制混凝土拌合物均匀并不产生分层离析。

5.7.3 搅拌运输车装料后，严禁向搅拌罐内的混凝土拌合物中加水。

5.7.4 当卸料前需在混凝土拌合物中掺入外加剂时，应在外加剂掺入后采用快档旋转搅拌；外加剂掺量和搅拌时间应有经试验确定的预案。

5.7.5 混凝土拌合物从搅拌机卸出至施工现场接收的时间间隔不宜大于 90min，超过 90min，应采取措施。

5.7.6 混凝土的运输应保证混凝土的连续泵送施工，并应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ／T10的有关规定。

6 浇筑

6.1 准备工作

6.1.1 浇筑前，应编制详细的专项冬期施工方案，方案应包括浇筑顺序、人员分工、设备准备、温度控制措施、应急方案、热工计算、测温方法等内容。其中应急方案应包括突发寒流特殊气候应对措施、设备故障应急方案、停电应急措施、混凝土供应中断处理方案。当混凝土未达到受冻临界强度而气温骤降至 0℃以下时，应按冬期施工的要求采取应急防护措施；工程越冬期间，应采取维护保温措施。

6.1.2 基础、路面工程施工，应对地基进行勘察，冬期不得在强冻胀性地基土上浇筑混凝土；在弱冻胀性地基土上浇筑混凝土时，应采取预防措施使基土不得受冻；在非冻胀性地基土上浇筑混凝土时，混凝土受冻临界强度应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的有关规定，并符合本规程第 6.2.9 条规定。

6.1.3 浇筑前，施工缝前层混凝土的强度不得小于受冻临界强度，施工缝处的水泥砂浆、松动石子或松散混凝土必须凿除干净，并用水冲洗干净，但不得有积水，防止结冰，宜采用热风机吹干表面。必要时应采用蒸汽加热或电热毯对老混凝土进行预热，温度达到 5℃以上方可浇筑新混凝土。

6.1.4 浇筑前，应对施工机械、保温设备、温度监测仪器等进行检查和调试，保持正常运行；应备足器具配件及保温材料，未配备齐全不应开始混凝土浇筑作业。混凝土在浇筑过程中的温度和覆盖的保温材料，应按行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011附录A进行热工计算后确定，且入模温度不应低于5℃。当不符合要求时，应采取措施进行调整。

6.1.5 浇筑前，混凝土输送机具的处理应符合下列规定：

1 混凝土输送机具应进行保温或具有加热装置。

2 采用泵送施工，应检查和清理混凝土泵料斗、泵管接缝处及泵管内部结冻块及水泥渣块，应对混凝土运输、输送机具及泵管应采取保温措施，并应采用与施工混凝土同配比砂浆进行预热；当采用泵送工艺浇筑时，应采用水泥浆或水泥砂浆对泵和泵管进行润滑、预热。

3 采用吊斗施工，吊斗等工具应包裹保温材料，清理干净吊斗泄料口。

6.1.6 浇筑前，应清除地基、模板和钢筋上的冰雪和污垢，并应进行覆盖保温。去除冰雪禁止使用融雪剂，不宜使用温水直接冲刷模板和钢筋，宜采用热风机清理。

6.1.7 浇筑前，应对模板、钢筋、型钢进行测温，低于 5°C时应采取加热升温措施，但不得采用明火加热；型钢混凝土组合结构，宜采用电加热法对型钢进行预热，预热温度宜大于混凝土入模温度，预热方法可按现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 相关规定进行。

6.1.8 浇筑前，应做好防风保护措施及减少对流措施，迎风面应设置挡风设施形成不透风的围护层。

6.2 浇筑施工

6.2.1 冬期浇筑混凝土时，应符合下列规定：

1 应根据施工要求、施工工艺、施工条件和环境情况，选用相适应的防冻技术方法。冬期施工温度等级为低温 3 级（DIII）、低温 4 级（DIV）时，采用蓄热保温综合法或防冻混凝土综合法施工时，宜提高一个强度等级浇筑。

2 应密切注意天气预报，混凝土浇筑应安排在寒流前后气温较高的时间进行，宜安排在白天气温较高时进行，不宜在夜间低温时段施工。

3 应避免在寒流袭击、气温骤降期间浇筑，环境温度低于-20℃时，不应进行混凝土浇筑作业，对已浇筑部位应加强保温措施。

4 环境温度低于-10℃时，不宜浇筑薄壁结构及屋面板、车库顶板、地下室外墙等防水要求高的结构。

6.2.2 混凝土入模温度，应符合下列规定：

1 混凝土拌合物入模温度不应低于 5℃，当不符合要求时，应采取相应措施；大体积混凝土的入模温度可根据实际情况适当降低。

2 薄壁结构或特殊重要工程，入模温度不宜低于 10℃，应加快浇筑速度，减少热量损失。

3 大体积混凝土分层浇筑时，已浇筑层的混凝土在未被上一层混凝土覆盖前，温度不宜低于 5℃，不应低于 2℃。

6.2.3 混凝土运输、输送入模的过程，应保证连续浇筑，并应符合下列规定：

1 当因混凝土供应不及时、施工工艺或客观原因暂停、暂缓浇筑时，间歇时间应以不出现冷缝、不发生表面结冻为原则。

2 混凝土从运输到输送入模的延续时间不宜超过 150min，从运输到输送入模及其间歇的时间不应超过 240min。掺早强型减水剂、早强剂的混凝土以及有特殊要求的混凝土，应根据设计及施工要求，通过试验确定允许时间。

3 采用泵送施工，当混凝土供应不及时或需暂停浇筑时，宜采取间歇泵送方式，放慢泵送速度；间歇期混凝土泵料斗应保持搅拌，间歇泵送可采用每隔 4min～5min 进行两个行程反泵，再进行两个行程正泵的泵送方式。

4 泵送过程中，应对排查泵送压力保持监测，当出现异常增压时，应及时排查泵送机具及泵管接缝处是否出现结冻块，必要时应对泵送机具采取加热保温措施，消除冻块。

6.2.4 混凝土分层浇筑时，分层厚度不应小于 400mm。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℃。混凝土浇筑施工，应避免混凝土表面出现大量泌水；对出现的泌水，应进行引流处理。采用加热方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。

6.2.5 采用泵送施工时，泵送完毕后应及时将混凝土泵和输送管清洗干净；对于拆除的浇筑面泵管，宜采用热风机吹干泵管内部；混凝土泵和输送管内不得存有积水，防止形成冻块。

6.2.6 混凝土浇筑后，应随时观测混凝土入模后温度，在达到受冻临界强度前应采取保温养护措施。模板外和混凝土表面覆盖的保温层，不应采用潮湿状态的材料，也不应将保温材料直接铺盖在潮湿的混凝土表面，新浇混凝土表面应铺一层塑料薄膜。

6.2.7 混凝土强度达到受冻临界强度前，不得在其上踩踏、堆放物料、安装模板及支架。

6.2.8 冬期施工混凝土强度试件的留置，按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 规定的批次，每批次应增加不少于 2 组的同条件养护试件，且不宜少于 4 组，其中不少于 1 组用于检测受冻临界强度。同条件养护试块必须放在施工现场并与实体结构采取同样的养护措施。梁、板混凝土拆除底模前必须进行同条件试块的试压，强度符合要求后方可拆模。采用防冻混凝土综合法施工时，同条件养护试件应在解冻后进行试验。

6.2.9 混凝土受冻临界强度应符合表 6.2.9 的规定，混凝土受冻临界强度应根据同条件试件确定。

表 6.2.9　冬期施工混凝土受冻临界强度要求

序号	防冻技术类型	受冻临界强度
1	采用加热保温综合法、蓄热保温综合法等施工的普通混凝土，采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥配制时	不应小于设计混凝土强度等级值的 30%
2	采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥时	不应小于设计混凝土强度等级值的 40%
3	室外最低气温不低于-15℃，采用蓄热保温综合法、防冻混凝土综合法，采用防冻混凝土	不应小于 4.0MPa
4	室外最低气温不低于-30℃，采用负温养护法施工，采用防冻混凝土	不应小于 5.0MPa
5	强度等级不低于 C50 的混凝土	不宜小于设计混凝土强度等级值的 30%
6	有抗渗要求的混凝土	不宜小于设计混凝土强度等级值的 50%;
7	有抗冻耐久性要求的混凝土	不宜小于设计混凝土强度等级值的 70%
8	采用暖棚法施工，混凝土掺入早强剂时	可按综合蓄热法受冻临界强度取值
9	施工需要提高混凝土强度等级	应按提高后的强度等级确定受冻临界强度

7 测温、养护及拆模

7.1 测温

7.1.1 混凝土冬期施工期间，应按国家现行有关标准的规定对混凝土拌合水温度、外加剂温度、骨料温度、混凝土出机温度、浇筑温度、入模温度，以及养护期间混凝土内部、拆模温度和大气温度进行测量。

7.1.2 测温应符合下列规定：

1 应根据施工方案，检查室外气温、施工环境温度、搅拌机棚温度、混凝土原材料温度、混凝土出机温度、混凝土浇筑温度、混凝土拆模时温度；大体积混凝土，还应检查混凝土内部温度。

2 应检查混凝土养护温度，从养护起始、养护中、解除加热或保温养护时的温度。

3 原材料、搅拌、运输过程中的温度检查及混凝土质量检查应由混凝土生产单位进行，并应将记录资料提供给施工单位。

7.1.3 施工期间的测温项目与频次应符合表 7.1.3 的规定。

表 7.1.3　施工期间的测温项目与频次

测温项目	频次
室外气温	测量最高、最低气温
施工环境温度	每昼夜不少于 4 次
搅拌机棚温度	每一工作班不少于 4 次
混凝土原材料温度	每一工作班不少于 4 次
混凝土出机、浇筑、入模温度	每一工作班不少于 4 次
养护温度	每一工作班不少于 4 次
混凝土拆模时温度	拆模时测量 1 次
混凝土内部温度	应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的相关规定。

7.1.4 浇筑后，混凝土养护期间的温度测量，应符合下列规定：

1 应对起始养护、养护期间、解除养护时的养护温度和混凝土温度进行测量。

2 宜使用采集智能化测温仪进行实时测温，发现温度异常变化时，应及时采取加强保温措施。

3 采用蓄热保温综合法施工，在达到受冻临界强度之前应每隔 4h～6h 测量一次。

4 采用防冻混凝土综合法施工，在达到受冻临界强度之前应每 2h 测量一次。

5 采用加热保温综合法施工，升温和降温阶段应每隔 1h 测量一次，恒温阶段每隔 2h 测量一次。

6 混凝土在达到受冻临界强度后，可停止测温。

7 大体积混凝土养护期间的温度测量应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的相关规定。

8 当混凝土内部温度与大气平均温差小于 20℃时，应增加测温频率，密切关注降温速率。

7.1.5 测温点布置应符合下列规定：

1 测温孔应编号，并应绘制测温孔布置图，现场应设置明显标识。

2 测温时，测温元件应采取措施与外界气温隔离；测温元件测量位置应处于结构表面下 20mm 处，留置在测温孔内的时间不应少于 3min。

3 采用非加热法养护时，测温孔应设置在易于散热的部位；采用加热法养护时，测温孔应分别设置在离热源不同的位置。

4 测温点布置应具有代表性，测温孔应布置在最容易冷却的部位和最有代表性的部位，测温点位置应符合下列规定：

1）梁、板应布置在跨中和两端。

2）柱应布置在柱顶和柱脚。

3）墙应布置在墙体和靠近模板的位置。

4）结构边缘和角部应增设测温孔。

5）对于梁、板、墙等结构，测温孔深度应为 50mm～100mm，或板厚/墙厚的一半；对于柱，应为柱中心位置。

7.1.6 温度差控制指标，应符合下列规定：

1 混凝土养护期间的冷却速率不宜超过 5℃/h，应采取避免降温过快产生温度应力裂缝的措施。

2 大体积混凝土，其内部中心温度与表面温度的差值不应大于 25℃，避免表面开裂。

3 拆模或解除保温时，混凝土表面温度与大气温度之差不应超过 20℃，超过此值应延迟拆模或继续保温。

7.2 养护

7.2.1 应根据施工要求、施工工艺、施工条件、结构部位和施工环境情况选用相适应的防冻技术方法及养护方式。

7.2.2 采用加热保温综合法，养护措施应符合下列规定：

1 根据工程特点、结构体量和场地情况，选择相适应的加热方法。

2 采用蒸汽养护法、电加热养护法、暖棚法时，可按现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的有关规定执行；暖棚法养护不得采用明火加热；暖棚法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，否则应及时采取增湿措施或在混凝土表面洒水养护。

3 采用加热养护的整体结构，浇筑程序和施工缝位置的设置，应采取能防止产生较大温度应力的措施。当加热温度超过 45℃时，应进行温度应力核算。

4 测温应按本规程第 7.1 节规定进行。

7.2.3 采用蓄热保温综合法，养护措施应符合下列规定：

1 对竖向结构及结构立面，应搭建防风围挡，遇强对流天气，应进一步加强围挡防风措施。

2 混凝土浇筑完成后，应对水平结构的裸露表面采取防风、保湿、保温措施，严禁将其直接暴露在寒冷空气中；混凝土浇筑后应采用塑料布等防水材料对裸露表面覆盖并保温，对边、棱角部位的保温层厚度应增大到面部位的 2 倍～3 倍，混凝土在养护期间应防风、防失水，保温材料应保持干燥并采取措施防止受潮，遇降雪，应及时在雪后清除保温材料表面积雪；拆除清理保温材料前，严禁烟火，并配备消防器材。

3 日均气温低于 5℃时，混凝土在养护期间应防风、防失水，但不宜采用浇水自然养护方法。

4 测温应按本规程第 7.1 节规定进行，起始养护温度不宜低于混凝土入模温度且不应低于 5℃，蓄热养护不宜少于 6h，6h 后养护温度不宜低于 10℃，宜采用覆盖多层保温材料的方式，必要时可采取辅助加热，可通过逐层增加保温材料及混凝土水化放热方式控制蓄热养护温度。

7.2.4 采用防冻混凝土综合法，应符合下列规定：

1 防冻混凝土应以浇筑后 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℃，保温养护时间不宜少于 6h，养护 6h 后温度不宜低于 10℃，宜采用覆盖多层保温材料的方式，利用混凝土水化放热并通过逐层增加保温材料方式控制养护温度。

2 对竖向结构及结构立面，应搭建围挡防风，遇强对流天气，应进一步加强围挡防风措施。

3 混凝土浇筑后，应根据需要采取必要的防风、保湿、保温措施，对边、棱角及易受冻部位应加强保温，宜采用塑料布等防水材料对裸露表面覆盖，并加盖保温材料；在混凝土养护和越冬期间，不得直接对负温混凝土表面浇水养护。

4 混凝土内部温度降到要求的冬期施工温度等级规定温度之前，混凝土抗压强度应达到受冻临界强度。

5 测温应按本规程第 7.1 节规定进行。

7.2.5 采用蓄热保温综合法或防冻混凝土综合法施工，针对不同结构部位，养护要求应符合下列规定：

1 基础底板、顶板及其他水平结构，混凝土浇筑完找平抹面后，应立即用塑料薄膜及保温材料覆盖。

2 侧墙及其他立面结构应进行带模养护，冬期施工温度等级为低温 3 级（DIII）、低温 4 级（DIV）时，不宜少于 7d，外墙及侧墙结构防水混凝土带模养护时间不得少于 3 天。在拆除侧模的同时，拆模后宜立即喷涂混凝土养护剂或覆盖保湿保温养护材料；养护剂选用应保证低温环境的有效性，养护剂喷涂应均匀、覆盖完全。

3 大体积混凝土浇筑完成后，养护措施除应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的相关规定外，应及时采取保温措施，并进行温度监控，遇大幅降温应对表面采取加热措施，控制混凝土

内部与表层的温差；宜采用覆盖多层保温材料的方式，可通过逐层剥离方式控制混凝土降温速度及混凝土表层与大气的温差。

4 混凝土灌注桩浇筑完成后，地基土冻深及裸露的上部自由端应及时覆盖保温。

5 独立基础、条形基础等基础浇筑完成后，应及时进行保温养护，宜采取措施尽快回填。

6 柱子等竖向结构采用金属类模板施工时，模板外侧应粘贴铺盖保温材料，并密封缝隙；拆除模板后，宜采用塑料薄膜及阻燃材料包裹养护。

7.2.6 混凝土强度未达到受冻临界强度和施工技术要求时，应继续进行养护。在混凝土达到受冻临界强度后并冷却到 5℃后方可解除保温养护，混凝土应逐步冷却降温，严禁一次性撤掉所有保温层，宜逐步或逐层拆除保温层；混凝土强度达到设计强度等级的 50%时，方可撤除所有养护措施。当混凝土表面温度与环境温度之差大于 20℃时，拆模后的混凝土表面应立即进行保温覆盖。

7.3 拆模

7.3.1 应制定冬期施工专项混凝土拆模技术措施，拆模时间应符合下列规定：

1 模板拆除时间应以拆模时混凝土强度达到本规程第 7.3.2 条要求为准，混凝土拆模强度以同条件养护试件强度为准。

2 当混凝土强度能保证其表面及棱角不受损伤且不低于 5MPa 时，方可拆除侧模；对于异形结构，应制定专项拆模施工措施。

3 较其他季节施工，采用蓄热保温综合法及防冻混凝土综合法，应延长拆模时间。

4 突遇降温时，应停止拆模。

5 冬期施工温度等级为低温 3 级（DⅢ）、低温 4 级（DⅣ）时，拆模时间不宜短于 7d。

6 达到拆模强度后，模板和保温层应在混凝土冷却到 5℃方可完全拆除，或在混凝土表面温度与外界温度相差不大于 20℃时拆模。

7 对墙、板等薄壁结构构件，宜推迟拆模，拆模时间不宜短于 7d。

7.3.2 模板拆除施工，除应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 相关规定外，混凝土拆模强度尚应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 模板拆除时混凝土强度要求

<table>
<tr><td colspan="2">构件类型</td><td>构件跨度（m）</td><td>模板拆除时混凝土强度（MPa）</td></tr>
<tr><td colspan="2">竖向结构（柱、墙等）</td><td>--</td><td>≥5.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">构件类型</td><td>构件跨度（m）</td><td>模板拆除时混凝土强度达到设计混凝土强度等级值的百分率（%）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">水平结构</td><td rowspan="3">板</td><td>≤2</td><td>≥50</td></tr>
<tr><td>>2，≤8</td><td>≥75</td></tr>
<tr><td>>8</td><td>≥100</td></tr>
<tr><td>梁、拱、壳</td><td>≤8</td><td>≥75</td></tr>
</table>

		＞8	≥100
	悬臂构件		≥100

7.3.3 拆模应符合下列规定：

1 拆模后应立即检查混凝土外观质量，如有冻害、裂缝、酥松等问题，应暂停施工，查明原因并处理。

2 对于墙体、柱等竖向结构，拆除侧模后发现混凝土强度尚未达到受冻临界强度或拆模强度要求且外界气温很低时，应立即进行保温养护，宜将保温材料进行包裹覆盖养护或将模板重新贴合继续带模养护。

3 对于梁、板等水平结构，拆除底模应严格依据同条件试块强度报告；强度未达到要求前，严禁拆除底模及支撑；拆模后，仍需继续监测混凝土强度发展情况，必要时仍需覆盖保温，直至达到设计强度。

4 对于大跨度结构、悬挑结构与预应力结构，应进行严格的拆模计算和论证，拆模时应遵循“先支后拆，后支先拆”的原则，平稳卸载。

8 质量检验和验收

8.1 质量管理检查

8.1.1 冬期混凝土工程防冻施工质量管理检查，除应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关验收规定进行检查外，还应对混凝土制备、施工全过程措施进行检查核实。

8.1.2 质量管理检查应包含下列内容：

1 按照本规程第 4 章、第 5 章相关规定，混凝土设计配合比及施工配合比，原材料掺量及检测、验收及管理措施，生产制备过程中必要的加热、保温措施，混凝土出场检验。

2 按照本规程第 6 章、第 7 章相关规定，施工浇筑前准备工作、浇筑措施、养护及拆模措施。应检查拆模后混凝土表面是否受冻、粘连、收缩裂缝，边角是否脱落，施工缝处有无受冻痕迹。应检查同条件养护试块的养护条件是否与结构实体相一致。按行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 附录 B 成熟度法推定混凝土强度时，应检查测温记录与计算公式要求是否相符。

3 按照本规程第 7.1 节相关规定，冬期混凝土工程配制、施工全过程的温度测量控制工作。

8.2 质量检验

8.2.1 原材料质量检验应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

8.2.2 混凝土配合比设计及开盘鉴定时应按照本规程第 5 章的规定进行检验，其他项目的检验根据设计要求或由供需双方协商确定。

8.2.3 混凝土性能检验批次应按现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的相关规定执行。防冻混凝土的防冻性能出厂检验，同一配合比，不应少于一次。

8.2.4 混凝土拌合物性能检验应符合本规程第 4.1 节的规定。

8.2.5 混凝土力学性能检验应符合本规程第 4.2 节的规定。

8.2.6 混凝土防冻性能检验应符合本规程第 4.3 节的规定。

8.2.7 混凝土的长期性能和耐久性能检验应符合本规程第 4.4 节的规定。

8.3 检验评定

8.3.1 混凝土原材料的质量应符合本规程第 5 章的规定。

8.3.2 混凝土性能应符合本规程第 4 章的规定。

8.3.3 混凝土强度应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定进行检验评定。

8.3.4 混凝土耐久性能应按现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定进行检验评定。

8.3.5 冬期施工高强混凝土、大体积混凝土宜采用 60d 龄期验收。

8.4 质量验收

8.4.1 冬期施工混凝土工程质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的相关规定。

8.4.2 冬期施工结构实体混凝土强度应按不同强度等级分别检验，检验宜采用同条件养护试件方法；同条件养护混凝土试件强度检验时的等效养护龄期可取日平均温度逐日累计达到600℃·d时所对应的龄期，且不应小于14d。日平均温度为0℃及以下的龄期不计入。

附录A　混凝土拌合物低温终凝时间、低温60min坍落度经时损失值试验方法

A.0.1 本方法宜用于防冻混凝土拌合物低温终凝时间、低温60min坍落度经时损失值试验方法。

A.0.2 试验仪器应符合下列规定：

1 混凝土坍落度仪，应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248和现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080的相关规定；捣棒应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248的规定。

2 钢直尺或钢卷尺，量程不应小于800mm，分度值不应大于1mm。

3 底板应采用平面尺寸不小于1500mm×1500mm、厚度不小于3mm的钢板，其最大挠度不应大于3mm。

4 容积桶，塑料桶或不被水泥浆腐蚀的刚性不透水的桶，并配有盖子，容积不应低于30L。

5 贯入阻力仪应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080的相关规定；

6 砂浆试样筒应为上口内径160mm，下口内径150mm，净高150mm刚性不透水的金属圆筒，并配有盖子。

7 试验筛应为筛孔公称直径为5.00mm的方孔，并应符合现行国家标准《试验筛 技术要求和检验 第2部分：金属穿孔板试验筛》GB/T6003.2的规定。

8 振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T 245的规定。

9 低温试验箱，容积不应低于700L，温度控制范围为-30℃~20℃，分度值不应大于1℃，应能保证在3h～4h内均匀地降至规定试验温度。

10 计时器，分度值不应大于1min。

A.0.3 防冻混凝土拌合物低温终凝时间试验应符合下列规定：

1 混凝土拌合物取样应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080的相关规定，对混凝土拌合物进行取样，并拌合均匀，取样数量不应少于15L。

2 混凝土拌合物的凝结时间试验，除试验温度外，应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080的相关规定进行。

3 砂浆试样制备完毕装入试样筒中，接着置于要求的低温试验箱中待测，低温试验箱的试验温度应按照要求的冬期施工温度等级规定试验温度确定，冬期施工温度等级规定试验温度应按本规程第3.0.4条确定，进行贯入阻力试测时，将砂浆试样取出，试验环境温度应始终保持20℃±2℃，除在吸取泌水或进行贯入试验外，试样筒应始终加盖。现场同条件测试时，试验环境应与现场一致。

A.0.4 防冻混凝土拌合物低温60min坍落度经时损失值试验应符合下列规定：

1 混凝土拌合物取样应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的相关规定，对混凝土拌合物取样，并拌合均匀，取样数量不应少于 15L。

2 防冻混凝土拌合物上低温 60min 坍落度经时损失值，除试验温度外，应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的相关规定进行。

3 防冻混凝土拌合物检测完初始坍落度值后，应立即将全部混凝土拌合物试样装入容积桶内，应用桶盖或塑料薄膜密封，然后将装有试样的容积桶置于要求的低温试验箱中静置，低温试验箱的试验温度应按照要求的冬期施工温度等级规定试验温度确定，冬期施工温度等级规定试验温度应按本规程第 3.0.4 条确定。

4 自搅拌加水开始计时，静置 60min 后应将桶内混凝土拌合物试样全部倒入搅拌机内，搅拌 20s，进行坍落度试验，得出低温 60min 坍落度值，搅拌及坍落度试验环境温度应保持 20℃±2℃，计算初始坍落度值与低温 60min 坍落度值的差值，可得到低温 60min 混凝土坍落度经时损失试验结果。

附录B　混凝土拌合物粘聚性试验和评价方法

B.0.1 本方法宜用于混凝土拌合物粘聚性的检测和评价。

B.0.2 试验仪器应符合下列规定：

1 混凝土坍落度仪，应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248 和国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2016 的相关规定；

2 钢直尺或钢卷尺，量程不应小于 800mm，分度值不应大于 1mm；

3 底板应采用平面尺寸不小于 1500mm×1500mm、厚度不小于 3mm 的钢板，其最大挠度不应大于 3mm。

B.0.3 混凝土拌合物粘聚性试验应按下列步骤进行：

1 混凝土拌合物取样后 5min 内对混凝土拌合物试样进行坍落度和扩展度检测，测定出水泥混凝土拌合物试样的坍落度实测值 T_i 和扩展度实测值 K_i，单位均为 mm，精确至 1mm。坍落度和扩展度检测应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定；

2 将扩展度实测值 K_i 代入公式 B.0.3-1 计算，经计算得到该扩展度实测值 K_i 对应的混凝土拌合物粘聚性 3 个等级对应的坍落度界限值 T_j；

$$T_j = H - \frac{12 \cdot V}{\left(1 + \lambda_i + \lambda_i^{2}\right) K_i^{2} \cdot \pi} \qquad \text{(B.0.3-1)}$$

式中：T_j —扩展度实测值 K_i 所对应的混凝土拌合物各个粘聚性等级相应的坍落度界限值，单位 mm，精确至 1mm；

H —坍落度筒的高度，单位为 mm，精确至 1mm；

V — 坍落度筒的体积，单位为 mm^3，精确至 $1mm^3$；

K_i — 扩展度实测值，单位 mm，精确至 1mm；

π — 圆周率；

λ_i —混凝土拌合物粘聚性系数，精确至 0.01，将水泥混凝土拌合物粘聚性分为 3 个等级，所对应的 λ_i 应按表 B.0.3-1 的规定执行。

表 B.0.3-1　混凝土拌合物粘聚性等级划分及对应的粘聚性系数 λ_i

混凝土拌合物粘聚性等级	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类
混凝土拌合物粘聚性系数 λ_i	$\lambda_i=\lambda_1$	$\lambda_i=\lambda_2$	$\lambda_i=\lambda_3$
	λ_1 取 0.5	λ_2 取 0.2	λ_3 取 0.01

各粘聚性等级对应的坍落度界限值计算公式，见公式 B 0.3-2、B.0.3-3 和 B.0.3-4，亦可按表 B.0.3-2 取值。

$$T_1 = 300 - \frac{12000000}{K_i^{2}} \qquad \text{(B.0.3-2)}$$

$$T_2 = 300 - \frac{16935484}{K_i^{2}} \qquad \text{(B.0.3-3)}$$

$$T_3 = 300 - \frac{20790021}{K_i^{2}} \qquad \text{(B.0.3-4)}$$

式中：T_I —当混凝土拌合物粘聚性等级为Ⅰ类时，扩展度实测值 K_i 所对应的坍落度界限值，单位 mm，精确至 1mm；

T_2 —当混凝土拌合物粘聚性等级为Ⅱ类时，扩展度实测值 K_i 所对应的坍落度界限值，单位 mm，精确至 1mm；

T_3 —当混凝土拌合物粘聚性等级为Ⅲ类时，扩展度实测值 K_i 所对应的坍落度界限值，单位 mm，精确至 1mm。

3 混凝土拌合物粘聚性指标值 ϕ_i 应按公式 B.0.3-5 计算。

$$\phi_i = 60 + \frac{40 \cdot (T_i - T_3)}{(T_1 - T_3)} \quad \text{(B.0.3-5)}$$

式中：ϕ_i — 混凝土拌合物粘聚性指标值，单位为分，精确至 0.1 分。

表 B.0.3-2　混凝土拌合物粘聚性等级对应的坍落值最小限值

扩展度	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类	T_1- T_3	扩展度	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类	T_1- T_3
K_i（mm）	T_3（mm）	T_2（mm）	T_1（mm）	（mm）	K_i（mm）	T_3（mm）	T_2（mm）	T_1（mm）	（mm）
400	170	194	225	55	488	213	229	250	37
402	171	195	226	55	490	213	229	250	37
404	173	196	226	53	492	214	230	250	36
406	174	197	227	53	494	215	231	251	36
408	175	198	228	53	496	216	231	251	35
410	176	199	229	53	498	216	232	252	36
412	177	200	229	52	500	217	232	252	35
414	179	201	230	51	502	217	233	252	35
416	180	202	231	51	504	218	233	253	35
418	181	203	231	50	506	219	234	253	34
420	182	204	232	50	508	219	234	253	34
422	183	205	233	50	510	220	235	254	34
424	184	206	233	49	512	221	235	254	33
426	185	207	234	49	514	221	236	255	34
428	186	208	234	48	516	222	236	255	33
430	187	208	235	48	518	222	237	255	33
432	189	209	236	47	520	223	237	256	33
434	190	210	236	46	522	224	238	256	32
436	191	211	237	46	524	224	238	256	32
438	192	212	237	45	526	225	239	257	32
440	193	213	238	45	528	225	239	257	32
442	193	213	239	46	530	226	240	257	31
444	194	214	239	45	532	226	240	258	32
446	195	215	240	45	534	227	241	258	31
448	196	216	240	44	536	228	241	258	30
450	197	216	241	44	538	228	242	259	31
452	198	217	241	43	540	229	242	259	30
454	199	218	242	43	542	229	242	259	30
456	200	219	242	42	544	230	243	259	29
458	201	219	243	42	546	230	243	260	30
460	202	220	243	41	548	231	244	260	29
462	203	221	244	41	550	231	244	260	29
464	204	221	244	40	552	232	244	261	29
466	204	222	245	41	554	232	245	261	29
468	205	223	245	40	556	233	245	261	28
470	206	223	246	40	558	233	246	261	28
472	207	224	246	39	560	234	246	262	28
474	208	225	247	39	562	234	246	262	28
476	208	225	247	39	564	235	247	262	27
478	209	226	247	38	566	235	247	263	28
480	210	226	248	38	568	236	248	263	27
482	211	227	248	37	570	236	248	263	27
484	211	228	249	38	572	236	248	263	27
486	212	228	249	37	574	237	249	264	27

续表 B.0.3-2　混凝土拌合物粘聚性等级对应的坍落值最小限值

扩展度 K_i（mm）	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类	T_1- T_3（mm）	扩展度 K_i（mm）	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类	T_1- T_3（mm）
	T_3（mm）	T_2（mm）	T_1（mm）			T_3（mm）	T_2（mm）	T_1（mm）	
576	237	249	264	27	664	253	262	273	20
578	238	249	264	26	666	253	262	273	20
580	238	250	264	26	668	253	262	273	20
582	239	250	265	26	670	254	262	273	19
584	239	250	265	26	672	254	262	273	19
586	239	251	265	26	674	254	263	274	20
588	240	251	265	25	676	255	263	274	19
590	240	251	266	26	678	255	263	274	19
592	241	252	266	25	680	255	263	274	19
594	241	252	266	25	682	255	264	274	19
596	241	252	266	25	684	256	264	274	18
598	242	253	266	24	686	256	264	275	19
600	242	253	267	25	688	256	264	275	19
602	243	253	267	24	690	256	264	275	19
604	243	254	267	24	692	257	265	275	18
606	243	254	267	24	694	257	265	275	18
608	244	254	268	24	696	257	265	275	18
610	244	254	268	24	698	257	265	275	18
612	244	255	268	24	700	258	265	276	18
614	245	255	268	23	702	258	266	276	18
616	245	255	268	23	704	258	266	276	18
618	246	256	269	23	706	258	266	276	18
620	246	256	269	23	708	259	266	276	17
622	246	256	269	23	710	259	266	276	17
624	247	257	269	22	712	259	267	276	17
626	247	257	269	22	714	259	267	276	17
628	247	257	270	23	716	259	267	277	18
630	248	257	270	22	718	260	267	277	17
632	248	258	270	22	720	260	267	277	17
634	248	258	270	22	722	260	267	277	17
636	249	258	270	21	724	260	268	277	17
638	249	258	271	22	726	261	268	277	16
640	249	259	271	22	728	261	268	277	16
642	250	259	271	21	730	261	268	277	16
644	250	259	271	21	732	261	268	278	17
646	250	259	271	21	734	261	269	278	17
648	250	260	271	21	736	262	269	278	16
650	251	260	272	21	738	262	269	278	16
652	251	260	272	21	740	262	269	278	16
654	251	260	272	21	742	262	269	278	16
656	252	261	272	20	744	262	269	278	16
658	252	261	272	20	746	263	270	278	15
660	252	261	272	20	748	263	270	279	16
662	253	261	273	20	750	263	270	279	16

B.0.4 混凝土拌合物粘聚性定量评价应按表 B.0.4 的规定执行。

表 B.0.4　混凝土拌合物粘聚性指标评价表

混凝土拌合物粘聚性等级		Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类
混凝土拌合物粘聚性技术要求		优	良	合格
	基准法	$\Phi_i \geqslant 90$	$\Phi_i \geqslant 75$ 且 $\Phi_i < 90$	$\Phi_i \geqslant 60$ 且 $\Phi_i < 75$
	快速法	$T_i \geqslant T_2$		$T_i \geqslant T_3$ 且 $T_i < T_2$
备注	当快速法与基准法评价的结论不一致时，以基准法为准。			

附录C 防冻混凝土防冻性能试验方法

C.0.1 本方法宜用于防冻混凝土防冻性能试验方法。

C.0.2 试验仪器应符合下列规定：

1 试模应符合现行行业标准《混凝土试模》JG/T 237 的有关规定，当混凝土强度等级不低于 C60 时，宜采用铸铁或铸钢试模成型，应定期对试模进行核查，核查周期不宜超过 3 个月。

2 振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T 245 的有关规定，振动频率应为 50Hz±2Hz，空载时振动台面中心点的垂直振幅应为 0.5mm±0.02mm。

3 捣棒应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248 的有关规定，直径应为 16mm±0.2mm，长度应为 600mm±5mm，端部应呈半球形。

4 橡皮锤或木槌的锤头质量宜为 0.25kg~0.50kg。

5 混凝土标准养护室，应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的相关规定。

6 压力试验机，应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的相关规定。

7 低温试验箱，容积不应低于 700L，温度控制范围为-30℃~20℃，分度值不应大于 1℃，应能保证在 3h～4h 内均匀地降至规定试验温度。

C.0.3 防冻混凝土防冻性能试验应符合下列规定：

1 防冻混凝土取样应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的相关规定。

2 防冻混凝土试件成型应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的相关规定进行，试件成型环境温度与试验环境温度应保持 20℃±2℃，相对湿度不小于 50%；每次成型数量为 5 组，成型后，应在 20℃±2℃环境温度下预养 6h 后。

3 防冻混凝土试件，2 组移入标准养护室养护 7d、28d，进行抗压强度试验；另 3 组移入低温试验箱内进行低温养护，用塑料布覆盖试件，低温试验箱试验温度应按照要求的冬期施工温度等级规定试验温度确定，冬期施工温度等级规定试验温度应按本规程第 3.0.4 条确定，在低温试验箱养护 7d 后放置在 20℃±2℃环境温度下解冻，待完全结冻后进行脱模，脱模时试件不能受损坏，脱模后一组立即进行抗压强度试验，另 2 组转入标准养护室中分别标准养护至 28d 龄期和 56d 龄期，再进行抗压强度试验，防冻混凝土试件标准养护应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的相关规定进行。

4 混凝土抗压强度试验应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的相关规定进行。

5 防冻混凝土低温综合养护 7d 龄期的防冻指数 R_{-7} 应按公式 B.0.3-1 计算：

$$R_{-7}=(f_{-7}/f_{7})\times 100\% \tag{B.0.3-1}$$

式中：R_{-7} —防冻混凝土低温综合养护 7d 龄期的防冻指数，单位为%，精确至 1%；

f_{-7} —防冻混凝土试件低温综合养护 7d 龄期的抗压强度，单位为 MPa，精确至 0.1MPa；

f_{7} —防冻混凝土试件标准养护 7d 抗压强度，单位为 MPa，精确至 0.1MPa。

6 防冻混凝土低温综合养护 63d 龄期的防冻指数 R_{-7+56} 应按公式 B.0.3-2 计算：

$$R_{-7+56}=(f_{-7+56}/f_{28})\times 100\% \tag{B.0.3-2}$$

式中：R_{-7+56} —防冻混凝土低温综合养护 63d 龄期的防冻指数，单位为%，精确至 1%；

f_{28} —防冻混凝土试件标准养护 28d 抗压强度；

f_{-7+56} —防冻混凝土试件 63d 低温综合养护龄期抗压强度，单位为 MPa，精确至 0.1MPa。

附录 D　混凝土工程防冻技术控制流程

D.0.1 混凝土工程防冻技术控制流程应涵盖技术控制实施的全过程。

D.0.2 混凝土工程防冻技术控制流程，可按图 D.0.2 的规定实施。

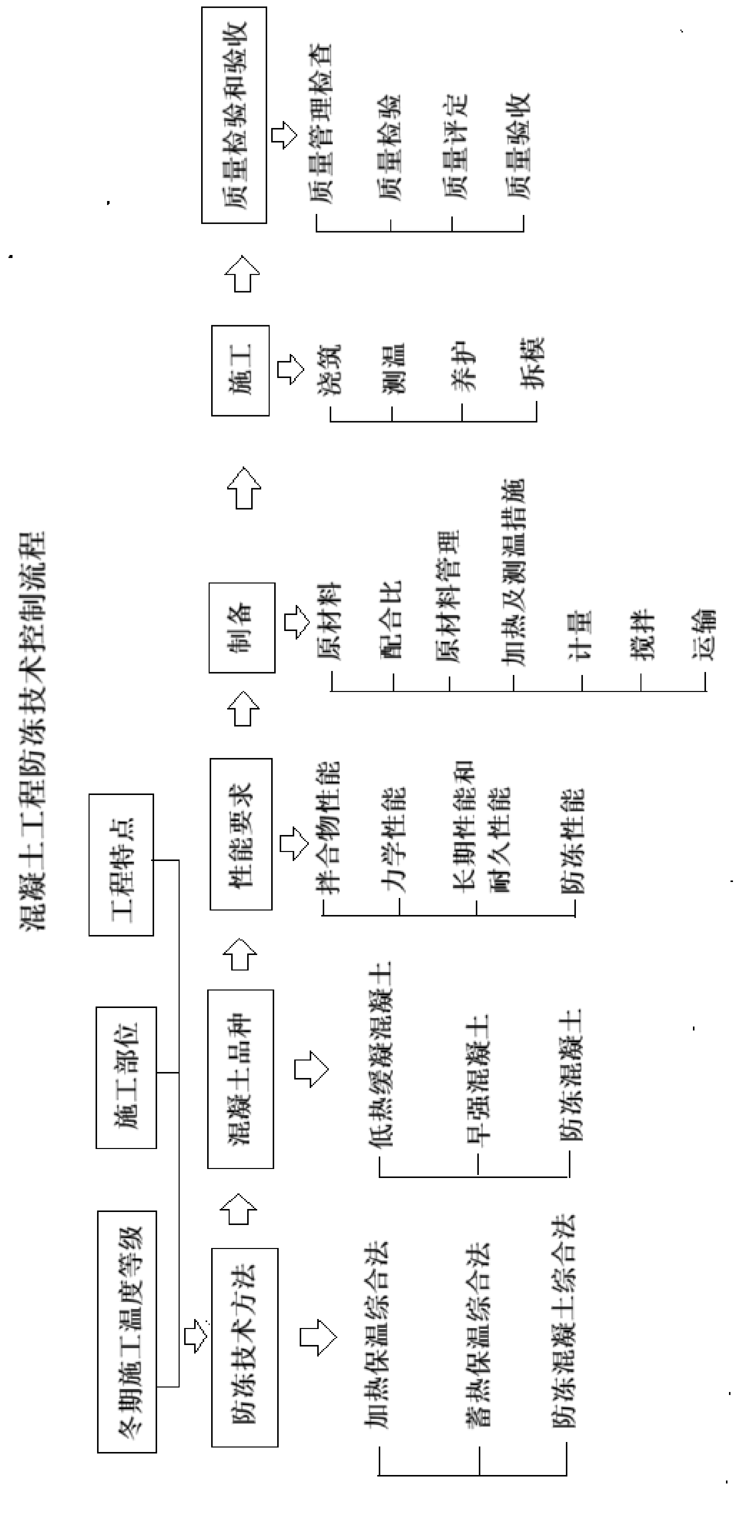


图 D.0.2 混凝土工程防冻技术控制流程

本规程用词说明

1 为方便在执行本规程条文时区别对待，对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，采用“可”。

2 本规程条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1. 《通用硅酸盐水泥》GB 175
2. 《混凝土外加剂》GB 8076
3. 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
4. 《混凝土质量控制标准》GB 50164
5. 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
6. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
7. 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌机》GB/T 9142
8. 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171
9. 《水泥水化热测定方法》GB/T 12959
10. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
11. 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120
12. 《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408
13. 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
14. 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
15. 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
16. 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
17. 《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
18. 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
19. 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
20. 《混凝土用水标准》JGJ 63
21. 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10
22. 《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104
23. 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
24. 《人工砂混凝土应用技术规程》JGJ/T 241
25. 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322
26. 《混凝土试模》JG/T 237
27. 《混凝土试验用振动台》JG/T 245
28. 《混凝土坍落度仪》JG/T 248

山东省工程建设标准

混凝土工程防冻技术规程

Technical Regulations for Antifreezing Concrete Engineering

DB37/T **—202*

条文说明

目　次

1 总 则

1.0.2 本工程适用于民用、工业建筑等建筑工程，市政、交通、水利等工程的冬期施工混凝土防冻施工应执行相关国家及行业标准。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 冬期施工定义，参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 第 1.0.3 条及国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.1.1 条相关规定。

2.1.4 冬期施工时，达到此强度后，即使混凝土遭受冻结，其最终的力学性能、耐久性和密实性也不会受到不可恢复的损害，所必需达到的最低强度，即为受冻临界强度，表现为混凝土在低温环境遭受冻结前具备抵抗冰胀应力的能力。混凝土未达到临界强度就受冻，容易产生的问题：新浇筑的混凝土中含有大量的自由水。自由水在混凝土强度很低时就结冰，会发生以下物理变化：1）体积膨胀：水结冰后体积会增大约 9%；2）产生内应力，体积膨胀会在混凝土内部孔隙和毛细孔中产生巨大的结晶压力；3）破坏微观结构，此时混凝土的水化反应尚未充分进行，水泥石结构与骨料之间的粘结力非常弱，无法抵抗这种冰胀应力，导致混凝土内部微观结构产生裂纹，水泥石与骨料间的粘结被破坏，形成永久性的、不可恢复的损伤，即使后期温度回升，冰融化，混凝土可以继续水化硬化，但其内部的微裂纹已经存在，这将导致混凝土的最终强度大幅降低（严重时强度损失为 20%～50%）、抗渗性变差、耐久性严重下降。当混凝土强度达到受冻临界强度时，会达到以下效果：1）水泥已经进行了足够的水化反应，形成了具有一定强度的水泥石骨架；2）内部孔隙水减少，一部分水已经参与水化反应，自由水的总量减少了；3）抵抗冰胀应力的能力增强，此时混凝土自身已经具备了足够的强度，能够抵抗水结冰产生的膨胀力，从而避免内部结构被破坏；4）残留水存在于更细的毛细孔中，冰点更低，不易结冰。因此，即使混凝土此时受冻，其内部结构也不会被破坏，待温度回升解冻后，混凝土可以像正常一样继续水化和增长强度，其最终的各项性能不会受到显著影响，从而满足设计要求。

2.1.5 防冻混凝土综合法最重要技术措施是采用防冻混凝土，适当加热及保温措施作为辅助手段。适当加热措施体现在制备过程对原材料、生产设备及生产场所的加热，适当的保温措施体现在运输、泵送管路、养护方面，从而达到较好的防冻效果。

2.1.6 蓄热保温综合法主要是利用混凝土水化放热，可不采用防冻混凝土，适当加热及有效的保温措施作为主要手段。适当加热措施体现在制备过程对原材料、生产设备及生产场所的加热，有效的保温措施体现在对运输、泵送管路、养护方面做到充分有效，适当加热措施还体现在模板、钢筋及泵送设备温度过低，可进行必要加热，使混凝土早期水化和养生期处于正温，确保混凝土温度降到 0℃以前达到受冻临界强度，从而达到较好的防冻效果。

2.1.7 加热保温综合法，不必采用防冻混凝土，有效的加热及保温措施作为主要手段，可采用电加热法、电热毯法、工频涡流法、线圈感应加热法、暖棚法等，可参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T

104-2011 的有关规定。对混凝土制备、浇筑、养护过程中采取有效的加热及保温措施，使混凝土早期水化和养生期处于正温，确保混凝土温度降到 0℃以前达到受冻临界强度，从而达到较好的防冻效果。

2.1.8 混凝土防冻性能机理表现为：一方面，混凝土可在负温环境下保持一定的水化放热并凝固；另一方面，混凝土的液相冰点低，可在负温环境下不会发生冻胀现象；第三方面，在负温转正温环境后，强度可随龄期保持增长。

2.1.9 受冻破坏是指在低温环境下，因冰胀应力导致的混凝土的性能和结构受到损害的现象。

2.1.10 可通过在混凝土中掺加早强剂、选用快硬型胶凝材料，增加水泥用量、降低水胶比等措施方法，可实现早期水化速率快、水化放热多，在更短的时间就能达到相应强度的效果的，视为早强混凝土。

2.1.11 可通过在混凝土中掺加缓凝剂、选用低热缓凝性胶凝材料、减少水泥用量等措施方法，可实现早期水化反应缓慢，早期水化放热低，凝结时间延长的效果，视为低热缓凝混凝土。

2.1.13 防冻指数为混凝土成型后，按规定的低温综合养护龄期抗压强度值与标准养护抗压强度值的百分比，作为混凝土防冻性能的特征技术指标。

2. 2 符号

防冻混凝土低温综合养护 7d 龄期的防冻指数 R_{-7} 为同一样品制作的混凝土试件低温综合养护 7d 抗压强度与标准养护 7d 的抗压强度的比值。

防冻混凝土 63d 低温综合养护龄期抗压强度比 R_{-7+56} 为同一样品制作的低温综合养护 63d 抗压强度与标准养护 28d 的抗压强度的比值。

低温综合养护 7d 龄期为经预养 6h、按指定的低温养护 7d 的综合龄期。

低温综合养护 63d 龄期为经预养 6h、按指定的低温养护 7d 转标准养护 56d 的综合龄期。不同的冬期施工温度等级所规定的低温养护温度不同。

3 基本规定

3.0.1 现浇围护结构、现浇桩基均为地下结构，地层温度通常为正温且较为稳定，考虑到整体受外界气温环境影响较小，只需对暴露面采取保温措施防止其受冻，因此，防冻技术方法可不采用防冻混凝土综合法、加热保温综合法，围护桩采用咬合桩，考虑到需达到咬合工艺要求，浇筑应选用缓凝型混凝土。现浇地下混凝土工程基础部位，包括基础筏板、基础承台、独立柱基、条形基础等，当为大体积时，考虑到水化放热及温升，需要降低早期水化温升，因此不应采用防冻混凝土综合法和加热保温综合法，不应采用防冻、早强混凝土，应选用缓凝混凝土，只需对暴露面采取保温措施，防止因内外温差过大导致的温差裂缝。现浇地下、地上混凝土结构，例如墙、柱、梁、板、梯等，考虑到整体受外界气温环境影响较大，可根据结构类型、结构体量、施工现场、环境温度及成本造价等情况，选择适宜的混凝土工程防冻技术方法类型，比如：对碱含量限制要求较高的混凝土工程，考虑到掺加防冻剂会导致碱含量较高，不宜选用防冻混凝土综合法。在建筑工程结构中，表面系数是指混凝土构件的散热表面积与其体积的比值；通过表面系数可以评估混凝土构件内部水化热散发的快慢及受外界温度湿度影响的程度，表面系数越大，意味着构件表面积相对越大、体积相对越小（薄板、薄壁结构），这种形状有利于散热，混凝土内部积聚的热量可以较快地通过表面散发出去，但也容易受到外界环境的影响，特别是冬期施工阶段，环境温度较低，屋面、楼板、地面、地面垫层等表面系数大的混凝土结构更容易受冻，导致强度不达标，甚至出现裂缝、疏松等缺陷。参照行业标准《 建筑工程冬期施工规程》（JGJ/T 104-2011）中规定的“6.3.1 当室外最低温度不低于-15℃时，地面以下的工程，或表面系数不大于 $5m^{-1}$ 的结构，宜采用蓄热法养护。对结构易受冻的部位，应加强保温措施。6.3.2 当室外最低气温不低于-15℃时，对于表面系数为 $5m^{-1}$～$15m^{-1}$ 的结构，宜采用综合蓄热法养护，围护层散热系数宜控制在 50kJ/（$m^3 \cdot h \cdot K$）～200kJ/（$m^3 \cdot h \cdot K$）之间”。对环境温度过低的严寒环境或者对施工进度要求较高且体量不大的混凝土工程，可采用加热保温综合法，提高混凝土早期强度，及早拆模，从而满足施工进度要求；对低温环境，施工造价控制较为严格、不需额外加快施工进度，可采用防冻混凝土综合法，应选用具有一定防冻性能的防冻混凝土，综合蓄热法可选用早强混凝土。

3.0.3 结合山东省多年气候情况及相关冬期施工经验，环境气温低于-15℃，应停止混凝土施工，冬期施工温度等级分为 4 个等级，采取与之相适应的防冻措施。

4 混凝土性能要求

4.1 拌合物性能

4.1.2 现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 规定的凝结时间、坍落度试验是在标准环境下（温度在 20℃±2℃）进行，与实际负温环境不相匹配，并存在较大的差距，标准环境下混凝土凝结时间测定的合格，在实际低温施工环境下凝结时间往往会延长，以至于不能满足施工技术要求，坍落度作为施工和易性的重要技术指标，受环境温度、湿度影响较大，标准环境下测定的与低温环境测定的混凝土坍落度相差较大，导致试验不具有指导性，不利于冬期施工混凝土质量控制。为此，本规程将静置的环境调整为冬期施工温度等级规定试验温度，更贴近于冬期施工实际情况，指导性更强。

4.3 防冻性能

4.3.1～4.3.2 现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的配合比设计要求的抗压强度均为标准养护条件测定，与冬期施工实际负温环境不相匹配，并存在较大的差距，标准养护下强度达到设计要求，但在实际冬期负温环境下强度并不一定能达到设计及技术施工要求，因此，需要在配合比设计时，采用低温养护和标准养护相结合的养护方法，与冬期施工实际的低温环境更接近，以此试验得到的抗压强度及低温综合养护龄期抗压强度能较好地反应该设计配合比的防冻性能，从而保证冬期混凝土的施工质量。防冻混凝土应可实现浇筑后在未达到受冻临界强度以前不发生受冻破坏，并在规定的低温综合养护龄期满足设计强度等级及施工技术要求，不同的低温等级所规定的低温留置期对早期混凝土强度影响不同，温度越低，相应的早期强度越低，早期强度与后期强度存在一定的相关性。按照实践经验，列举一些不同强度等级、不同配合比、不同低温综合养护龄期的防冻混凝土抗压强度比，见图 1～图 3。经分析可知：

1.不同受冻温度下，混凝土样本低温综合养护龄期抗压强度比的分布数量和几率并不相同，呈现为受冻温度越低，相对抗压强度比越低区间的分布数量和几率越大，反之，则越小，因此，施工温度等级越高（受冻温度越低），相应混凝土防冻性能指标（低温综养龄期防冻指数）要求可相应适当放宽。经统计分析，施工温度等级为低温 1 级（DI）（0℃）时 D_{-7} 低于 20%时，D_{-7+56} 大概率低于 100%；施工温度等级为低温 2 级（DII）（-5℃）时 D_{-7} 低于 30%时，D_{-7+56} 大概率低于 100%；施工温度等级为低温 4 级（DIV）（-10℃）和低温 3 级（DIII）（-5℃）时 D_{-7} 低于 20%时，D_{-7+56} 大概率低于 95%，为此，低温综合养护 63d 龄期防冻指数在不同受冻温度的技术要求，可确定为：施工温度等级为低温 1 级（DI）（0℃）时 D_{-7} 不低于 40%，施工温度等级为低温 2 级（DII）（-5℃）时 D_{-7} 不低于 30%，施工温度等级为低温 4 级（DIV）（-10℃）和低温 3 级（DIII）（-5℃）时 D_{-7} 不低于 20%；施工温度等级为低温 1 级（DI）（0℃）和低温 2 级（DII）（-5℃）时 D_{-7+56} 不低于 100%，施工温度等级为低温 4 级（DIV）（-10℃）和低温 3 级（DIII）

（-15℃）时 D_{-7+56} 不低于 95%。

2. 结合前期工程试验分析，低温综合养护 35d 龄期抗压强度比与低温综合养护 63d 龄期抗压强度比的相关性较差，也就是说，低温综合养护 35d 龄期抗压强度比高的，其低温综合养护 63d 龄期抗压强度比不见得会高，低温综合养护 35d 龄期抗压强度比低的，其低温综合养护 63d 龄期抗压强度比不见得会低，如都列为防冻性能指标，可能会出现一个达标，另一个不一定会达标的问题，因此，混凝土防冻性能指标以成熟度相对高的低温综合养护 63d 龄期抗压强度比为准，考虑到，工程施工进度因素，要求缩短防冻混凝土配合比设计周期，也可将低温综合养护 35d 龄期抗压强度比的技术要求适当提高，确定为不低于 95%，但仍以温综合养护 63d 龄期抗压强度比为准。

3.结合实践经验及现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 中 6.1.1 条关于受冻临界强度的规定，规定防冻混凝土设计配合比的低温 7d 养护龄期抗压强度值最低限值不应低于 4.5MPa，参照现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 中 6.7.8 条的相关要求，混凝土受冻临界强度不应小于 5.0MPa。冬期施工温度等级越高，环境温度越低，相应的低温下混凝土强度应越低，相反，冬期施工温度等级越低，环境温度越高，试验温度越高，相应的低温下混凝土强度应越高。因此，防冻混凝土设计配合比低温 7d 养护龄期防冻指数（抗压强度比）越高，抵抗早期受冻能力越好，达到受冻临界强度，防冻混凝土设计配合比 63d 低温综合养护龄期防冻指数越高（抗压强度比），相应的其防冻性能越好。

4. 预养 0.3h 相对于预养 6h，低温综合养护龄期的混凝土抗压强度越低，预养时间越短，特别在凝固期受冻，冻胀会破坏早期水化产物结构产生裂缝等缺陷，对强度增涨影响较大。随着受冻温度的提高，随着防冻剂掺量增加，低温综合养护龄期抗压强度比大多数情况下会相应提高，但在 0℃温度时，反而降低，可能是由于水在 0℃~4℃之间体积变化最大，受冻温度在 0℃±1℃左右波动，导致混凝土处于反复冻融状态，对水化产物的结构破坏相对较大的缘故。

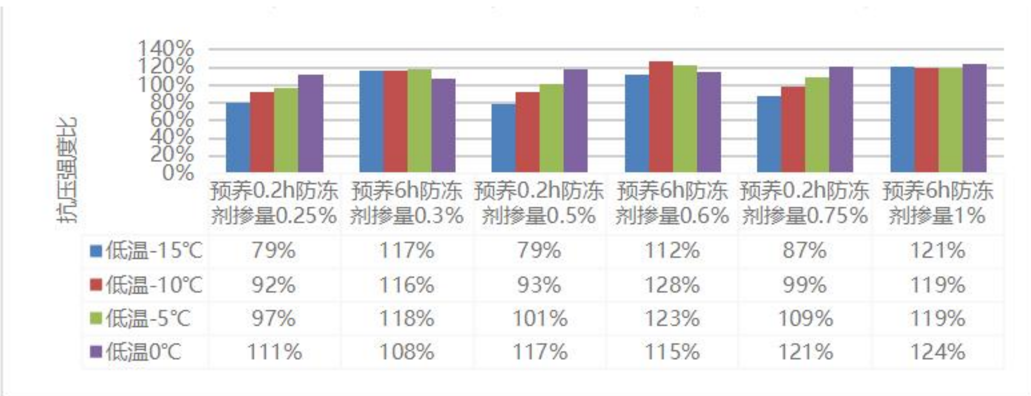
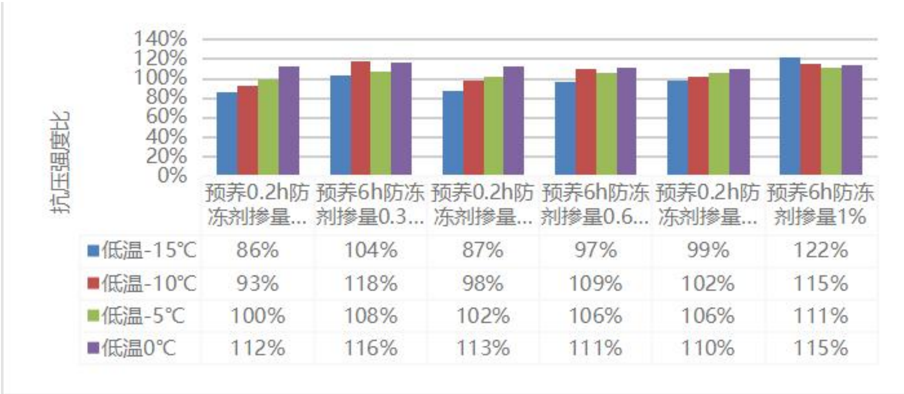
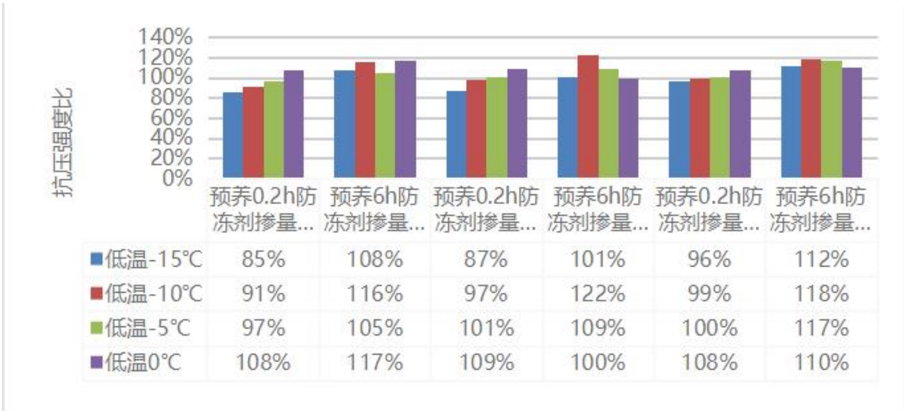


图 1 不同预养时间、试验温度、防冻剂掺量的 C20 抗压强度比



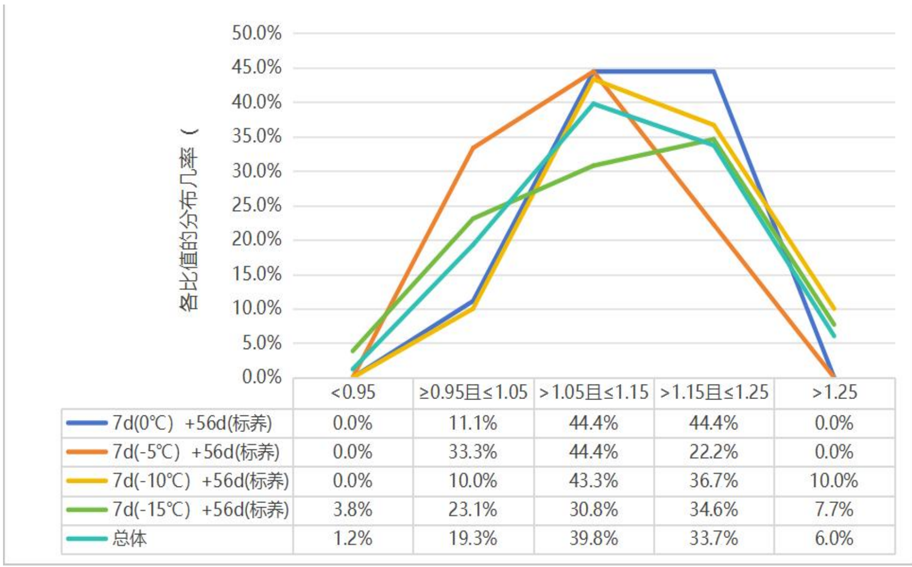
	预养0.2h防冻剂掺量...	预养6h防冻剂掺量0.3...	预养0.2h防冻剂掺量...	预养6h防冻剂掺量0.6...	预养0.2h防冻剂掺量...	预养6h防冻剂掺量1%
低温-15℃	86%	104%	87%	97%	99%	122%
低温-10℃	93%	118%	98%	109%	102%	115%
低温-5℃	100%	108%	102%	106%	106%	111%
低温0℃	112%	116%	113%	111%	110%	115%

图 2 不同预养时间、试验温度、防冻剂掺量的 C30 抗压强度比



	预养0.2h防冻剂掺量...	预养6h防冻剂掺量...	预养0.2h防冻剂掺量...	预养6h防冻剂掺量...	预养0.2h防冻剂掺量...	预养6h防冻剂掺量...
低温-15℃	85%	108%	87%	101%	96%	112%
低温-10℃	91%	116%	97%	122%	99%	118%
低温-5℃	97%	105%	101%	109%	100%	117%
低温0℃	108%	117%	109%	100%	108%	110%

图 3 不同预养时间、试验温度、防冻剂掺量的 C40 抗压强度比



	<0.95	≥0.95且≤1.05	>1.05且≤1.15	>1.15且≤1.25	>1.25
7d(0℃) +56d(标养)	0.0%	11.1%	44.4%	44.4%	0.0%
7d(-5℃) +56d(标养)	0.0%	33.3%	44.4%	22.2%	0.0%
7d(-10℃) +56d(标养)	0.0%	10.0%	43.3%	36.7%	10.0%
7d(-15℃) +56d(标养)	3.8%	23.1%	30.8%	34.6%	7.7%
总体	1.2%	19.3%	39.8%	33.7%	6.0%

图 4 混凝土样本中综合养护 63d(冻前预养 6h）与标样 28d 抗压强度不同比值的分布几率

5 混凝土制备

5.1 原材料

5.1.1 2 采用加热保温综合法施工，水泥选用早强型及快硬型水泥，加热升温易导致早期水化过快，引发早期裂缝，甚至后期强度倒缩现象；对于非大体积结构，冬期施工混凝土采用低热水泥，由于其水化放热量少，水化较缓慢，相对更容易受到低温环境的影响，导致早期强度增长缓慢甚至停止，受冻害。

5.1.2 1～3 Ⅲ级以上的粉煤灰的玻化微珠含量较低，不利于改善混凝土的和易性；当采用 C 类粉煤灰的游离氧化钙和三氧化硫含量往往不稳定，易造成安定性不良。掺加粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等矿物掺合料有助于改善混凝土拌合物的和易性，但吸水率大的矿物掺合料，由于其湿胀较大，一方面，会一定程度上增大拌合用水量，损害与减水剂的适应性，造成混凝土坍落度损失加大，另一方面，会一定程度上加大混凝土的塑性收缩，导致增大有害孔的数量。

4 其他矿物掺合料，比如：超细粉、磨细钢渣粉、磨细石灰石粉等，应符合相应现行国家和山东省有关标准的规定，通过试验进行验证，混凝土性能满足工程应用要求后再使用。

5.1.3 1 防冻混凝土，吸水率大的粗骨料，会增加低温环境下孔隙中自由水冻胀的几率，此外，吸水率大的粗骨料，特别采用吸水率大于 2%的花岗岩材质的粗骨料时，混凝土坍落度泵送损失会明显增大。

2 防冻混凝土，吸水率大的细骨料，特别是当吸水率大于 3%时，混凝土坍落度泵送损失会明显增大，吸水率大的粗骨料，会增加低温环境下孔隙中自由水冻胀的几率；采用特细砂与粗骨料搭配，骨料的总体孔隙率较大，不利于改善混凝土的和易性和可泵性；细骨料的压碎值指标与吸水率存在一定的相关性，压碎值指标越大的，往往吸水率也较高。不同材质的细骨料的压碎值指标、吸水率试验数据统计，见表 1。

表 1　不同材质的细骨料的压碎值指标、吸水率试验数据统计

砂子材质	软质岩机制砂（类似麻刚沙）	砂岩质天然砂	花岗岩质机制砂	石灰石质机制砂
压碎值指标（%）	33.6	18.8	15.4	12.5
吸水率（%）	4.5	2.3	3.6	1.8

山东省地区，天然砂多为砂岩材质，鲁中地区机制砂通常为石灰石质，胶东半岛机制砂多采用花岗岩质，吸水量相应较大，软质机制砂（类似麻刚沙）已禁止使用于建筑工程混凝土结构，因此，本规程规定：压碎值指标不宜大于 20%，是符合山东省地区实际情况的。

5.1.4 5 不排除混凝土外加剂与某种其他混凝土材料存在发生不相容的问题，导致其使用性能下降，影响混凝土质量，比如：偏碱性外加剂与脱硫脱硝粉煤灰会发生反应，释放气体，影响混凝土性能，因此，所选用的外加剂应与其他混凝土材料有良好的相容性，方可使用。不排除防冻剂与其他外加剂同时使用时存在不相容现象，比如发生化学反应等现象，导致性能下降问题，严重时会损害混凝土质量，比如：硫代硫酸钠和硝酸盐、亚硝酸盐都可作为防冻成分使用，但硫代硫酸钠可以作为强还原剂，能够将其他物质中的氧原子或氧化态离子还原为较低的氧化态，它可以将硝酸盐还原为亚硝酸盐，将亚硝酸盐还原为氨。

7 某些外加剂随着时间会发生一些变化，比如：含硫酸钠等无机盐的防冻剂在低温环境容易产生结晶沉淀；含纤维素、糖类成分的外加剂时间长了易发生变质、变色，甚至发臭，因此，发现问题时，应进行试验验证，检验合格后方可使用。

5.1.5 混凝土养护用水与拌合用水可以为不同水源，但应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定，行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63-2006 规定：混凝土养护用水可不检验不溶物和可溶物，其他检验项目应符合行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63-2006 第 3.0.1 条和 第 3.0.2 条的规定；混凝土养护用水可不检验水泥凝结时间和水泥胶砂强度。

5.2 混凝土配合比

5.2.2 采用加热保温综合法及蓄热保温综合法施工，属于正温养护，通过加热、保温一定龄期，解除养护时混凝土强度已达到受冻临界强度，即使此时受冻，其内部结构也不会被破坏，待温度回升解冻后，混凝土可以像正常一样继续水化和增长强度，其最终的各项性能不会受到显著影响，因此，配合比设计可不考虑防冻性能，但采用早强混凝土时，设计配合比的标准养护 3d 抗压强度通常不应低于设计抗压强度标准值的 70%。

5.2.3 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.4 条，冬期施工混凝土配合比，应根据施工期间环境气温、原材料、养护方法、混凝土性能要求等经试验确定，并宜选择较小的水胶比和坍落度；参照第 10.2.3 条，采用非加热养护方法时，混凝土中宜掺入引气剂、引气型减水剂或含有引气组分的外加剂，混凝土含气量宜控制为 3.0%～5.0%。

5.2.5 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.17 条，应依据气温的变化，检查防冻剂掺量是否符合配合比与防冻剂说明书的规定，并应根据需要调整配合比，防冻剂掺量与适用低温范围有一定的对应关系，可由厂家给出推荐用量，也可通过低温试验确定。

5.2.6 混凝土自身的水化放热反应产生的热量有助于混凝土在低温环境下强度的形成和增长，有助于防冻性能，为此，冬期防冻混凝土在生产和施工前应进行混凝土热工计算，热工计算按照行业标准《建筑工程

冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 的附录 A 有关规定进行，热工计算的防冻混凝土出机温度和入模温度如不满足要求，可通过采取调整水胶比、矿物掺合料掺量、外加剂品种及掺量，对骨料、生产搅拌环境进行加温等技术及工艺措施，使之满足要求。热工计算前，宜按照防冻混凝土设计配合比的胶凝材料、水及外加剂质量比例进行水化热试验，测定该设计配合比混合胶材的水化热，水化热试验按照现行国家标准《水泥水化热测定方法》GB/T 12959 的规定进行。

5.2.7 本规程第 4.3 节是针对防冻混凝土防冻性能的技术要求，当防冻混凝土设计配合比不符合本规程第 4.3 节规定时，可通过采取调整水胶比、矿物掺合料掺量、防冻剂品种及掺量等技术措施不断改进直至满足要求。

5.2.8 防冻混凝土水胶比及相应的最小胶凝材料用量的规定参考了行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 6.1.3 条和行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011 中 3.0.4 条的有关规定，增加冬期施工防冻泵送混凝土最小胶凝材料用量，参考了行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011 中 7.4.2 条的有关规定。

5.2.9 防冻混凝土矿物掺合料最大掺量的规定参考了行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011 中 3.0.5 条的有关规定，考虑冬期施工特点，环境温度较低，相应的要求具有较高的早强强度，增加防冻能力，因此，在其基础上，降低了掺合料最大掺量。增加了石灰石粉最大掺量，参考了行业标准《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318-2014 中 5.0.2 条的有关规定、国家标准《石灰石粉混凝土》GB/T 30190-2013 中 4.3.2 条的有关规定，考虑到石灰石粉的活性较低，结合冬期施工特点和经验，石灰石粉掺量越大（包括机制砂中的石灰石粉含量过高），对混凝土实体表面回弹强度影响较大，碳化深度也较高，因此，为了保证冬期施工混凝土质量，本规程相对于行标和国标降低了石灰石的最大掺量，更为严格和有保障的考虑。行业标准《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318-2014 中 5.0.2 条、国家标准《石灰石粉混凝土》GB/T 30190-2013 中 4.3.2 条，均将石灰石粉用量计入胶凝材料用量，考虑到机制砂中石粉含量较高，因此，采用机制砂时，本规程规定：宜将机制砂中 7%以上的石粉量计入矿物掺合料。考虑到建筑工程主体以 C30 以上强度等级为主，基于行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52-2006 中 3.1.5 条表 3.1.5 对亚甲蓝 MB 值<1.4 时，C30~C55，要求石粉含量≤7.0%，亚甲蓝 MB 值≥1.4 时石粉性质以泥粉为主，C30~C55，要求石粉含量≤3.0%，考虑到过多的石粉含量对水化反应、防冻能力、混凝土强度及表观质量可能造成的不良影响，为此，本规程规定：甲蓝 MB 值<1.4 时宜将机制砂中 7%以上的石粉量计入矿物掺合料；甲蓝 MB 值≥1.4 时，机制砂中 7%以上的石粉量不应计入矿物掺合料，应计为泥粉，按照相关现行国家及行业标准要求，不得用于 C25 以上混凝土。

5.3 原材料管理

5.3.3 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.2 条，用于冬期施工混凝土的粗、细骨料中，不得含有冰、雪冻块及其他易冻裂物质。

5.3.4 参照国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 第 6.2.6 条，外加剂的送检样品应与工程大批量进货一致，并应按不同的供货单位、品种和牌号进行标识，单独存放；粉状外加剂应防止受潮结块，如有结块，应进行检验，合格者应经粉碎至全部通过 600um 孔后方可使用；液态外加剂应储存在密闭容器内并应防晒和防冻，如有沉淀等异常现象，应经检验合格后方可使用。外加剂如含有硫酸钠类无机盐在低温下会发生结晶，严重会堵塞管道，影响外加剂性能，可在外加剂罐外面包裹一层保温材料，必要时也可在罐内设置循环泵、暖气管道。

5.4 加热及测温措施

5.4.1 参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 6.2.1 条的相关规定。 冬期施工，水泥温度太高，可能会导致石膏脱水，游离氧化钙含量过高，水泥温度太低，不利于提高混凝土出机温度及防冻性能。为防止含水的骨料在低温下发生冻结或者消除骨料中的冻块，可对骨料进行加热。冬期施工生产混凝土，加热拌合水用于提高混凝土入模温度，但拌合水温度高于 60℃，易造成水泥假凝或促凝。

5.4.2 出于环保减碳考虑，拌合水加热不宜采用排放型的燃煤、燃油锅炉；加热功率和热流量，应保证所配置的水箱容积的水量达到要求温度所需要的时间，必要时可进行热工计算确定；应根据混凝土搅拌设备的生产能力，确定每单位时间所需要的达到要求温度的热水量，此次，确定储水容器容积及加热设备的功率和热流量，从而保证储水容器容积及水温应能满足连续混凝土搅拌施工的要求。

5.4.3 砂、石料仓可采用保温加热料斗，也可采用封闭暖棚，采用保温加热料斗时，宜各配备两个，交替加热使用。每个料斗容积可根据机械可装高度和侧壁厚度等要求进行设计，每一个斗的容量不宜小于 $3.5m^3$。参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.6 条， 蒸汽法加热骨料时，应加大对骨料含水率测试频率，并应将由骨料带入的水分从混凝土拌合水中扣除。

5.4.4 搅拌站环境场所未设置加热取暖设施，低温环境下容易导致电磁阀烧坏，气动开关装置气缸内水份结冰会导致开关无法打开，开不到位或关不到位，导致出现计量延迟、溢料、胀称等问题；皮带输送装置斜皮带在低温下会变硬、骨料中的水份也会在皮带形成一层冰，导致骨料输送过程中出现打滑现象，导致在斜皮带底部出现积料现象；搅拌机在低温下，也会出现开关不灵、不到位、泄料开关口结冰团导致开关关闭不到位等问题，因此，严寒天气，应提前做好冬期混凝土生产施工预案和采取有效措施，比如：在设备运行环境场所添设暖气，检查空压机运行情况清除空压机水份，在气动开关缸体及阀门附近设置烤灯加热设备，及时清理搅拌机泄料开关口结冰团。

5.4.5 测温项目与频次参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 第 6.9.2 条相关规定。

5.6 搅拌

5.6.3 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.6 条第 4 款，混凝土搅拌时应先投入骨料与拌合水，预拌后再投入胶凝材料与外加剂。胶凝材料、引气剂或含引气组分外加剂不得与 60℃以上热水直接接触。考虑到混凝土搅拌机泄料阀门存在一定间隙，如果混凝土搅拌时应先投入骨料与拌合水混合搅拌，水会从阀门间隙流失，导致配料不准确，为此，本规程对投料搅拌顺序相关规定做了改动，先投入骨料、胶凝材料混合，预拌后再投入拌合水与液体外加剂，通常外加剂计量完毕后投入水称中混合，一同投入搅拌机与骨料、胶凝材料混合，一方面，避免水剂的流失，另一方面，液体外加剂与水混合，有利于提高外加剂的分散效果，有助于其性能的发挥。参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.6 条第 3 款，混凝土搅拌前应对搅拌机械进行保温或采用蒸汽进行加温，搅拌时间应比常温搅拌时间延长 30s～60s。冬期施工混凝土搅拌时间参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 6.2.1 条的相关规定。

5.6.4 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.7 条。

5.7 运输

5.7.1 参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 6.2.6 条的相关规定，运输过程中混凝土搅拌运输车罐体保温材料，应通过热工计算得出，并经过实际验证。

5.7.2 混凝土搅拌站环搅拌运输车装料及清理料斗时，在低温环境下，容易结冰团，在运输或泄料时，不排除冰团会混入混凝土中影响混凝土质量，为此，应定期清理搅拌罐内和管口的混凝土残渣及冻块，防止落入搅拌罐内。

5.7.5 参照国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 第 6.5.6 条“从搅拌机卸料至工程浇筑地点卸料时间不宜大于 90min”。遇运距远、运送时间长的情况，应采取有效措施，例如；调整配合比及外加剂品种、用量，考虑到长时间在低温环境可能会导致混凝土入模温度过低，可通过加强搅拌运输车罐体保温等措施。

6 浇筑

6.1 准备工作

6.1.1 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.1.1 条，考虑山东地区，冬季气温波动大，寒潮来袭速度快，对已经开展混凝土浇筑施工质量会产生不良影响，因此，应对气温骤降的应急防护措施，对于冬期施工是必要控制手段。混凝土浇筑施工，突发寒流特殊气候应对措施、可参照表 2。

表 2　特殊气候条件下混凝土浇筑施工控制措施要求

气候条件	控制措施	技术要求
雪天气（中雪及以下）	防雪措施	1、对竖向结构搭设防雪围挡，围挡内设置热风幕机（风速<2m/s），温度维持在 5℃以上； 2、板面等横向，铺设防水塑料布，防止雪进入模板内部。
	清理表面	对已尽覆盖积雪的模板，安排专人实时清理模板、钢筋表面的浮雪。
	保温措施	立即停止浇筑，清除积雪并对已浇筑混凝土覆盖塑料布、双层岩棉毡及电热毯加热。
	施工缝处理	混凝土表面温度回升至 5℃以上且雪停后，按施工缝要求处理结合面。
低温大风天气（风力＜5 级）	防风措施	1、对竖向结构，搭设防风围挡屏障。 2、板面等横向，铺设防水塑料布及保温材料并压牢固，减少对流导致的热量损失。
	保温措施	浇筑后先铺塑料薄膜（30min 内完成），再覆盖岩棉毡。
	坍落度调整	为提高浇筑速度，缩短浇筑时间，减少热量损失，建议适当提高混凝土拌合物的坍落度，比常温施工提高 20mm～30mm。

6.1.2 参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 第 6.2.9 条，考虑在强冻胀性和弱冻胀性地基土上浇筑混凝土，地基土融化会产生下沉，故规定不得在强冻胀性地基土上浇筑混凝土，在弱冻胀性地基土上浇筑混凝土时，基土不得受冻。

6.1.3 浇筑前，施工缝前层混凝土的强度小于受冻临界强度、施工缝处的水泥砂浆、松动石子或松散混凝土、积水结冰，都会影响施工缝处混凝土的结合力；老混凝土温度过低，与新浇筑混凝土温差过大、会导致新浇筑混凝土热量损失，二者温度收缩不一致易引裂缝等问题。参照国家标准《混凝土结构工程施工规

范》GB 50666-2011 第 8.3.10 条，施工缝或后浇带处浇筑混凝土，应符合下列规定：结合面应为粗糙面，并应清除浮浆、松动石子、软弱混凝土层，结合面处应洒水湿润，但不得有积水。

6.1.4 参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 6.2.6 条的相关规定，混凝土在运输、浇筑过程中的温度和覆盖的保温材料，应按本规程附录 A 进行热工计算后确定，且入模温度不应低于 5℃。并经过实际验证，当不符合要求时，应采取措施进行调整。

6.1.5 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.8 条，混凝土运输、输送机具及泵管应采取保温措施。当采用泵送工艺浇筑时，应采用水泥浆或水泥砂浆对泵和泵管进行润滑、预热。

6.1.6 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.9 条，混凝土浇筑前，应清除地基、模板和钢筋上的冰雪和污垢，并应进行覆盖保温。考虑融雪剂通常含氯盐类成分，会对钢筋产生锈蚀作用，因此，禁止使用融雪剂。使用温水直接冲刷模板和钢筋，在低温下会冰膜形成，宜采用热风机清理。

6.1.7 考虑到混凝土入模温度不应低于 5℃时，浇筑前模板、钢筋、型钢低于 5℃时，会进一步降低混凝土入模温度，因此，应采取加热升温措施，考虑到保温材料及木制模板多为易燃物质，为避免失火，因此，规定不得采用明火加热。参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 第 6.1.10 条，型钢混凝土组合结构，浇筑混凝土前应对型钢进行预热，预热温度宜大于混凝土入模温度，预热方法可按行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 第 6.5 节相关规定进行。

6.1.8 冬期施工，挡风设施形成不透风的围护层，减少对流，降低浇筑的混凝土热量损失。

6.2 浇筑

6.2.1 冬期施工温度等级为低温 3 级（DIII）、低温 4 级（DIV）时，施工环境温度较低为-10℃、-15℃，为严寒气候，施工时，应考虑混凝土低温受冻后强度会有一定的损失，因此，为保证混凝土工程质量，在严寒气候施工，宜提高一个强度等级浇筑。

6.2.2 **1** 参照国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 第 6.4.4 条，当冬期施工时，混凝土拌合物入模温度不应低于 5℃，并应有保温措施。参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.7 条，入模温度不应低于 5℃，大体积混凝土的入模温度可根据实际情况适当降低。**2** 薄壁结构或特殊重要工程，易受环境影响，热量容易散失，因此，应适当提高入模温度，不宜低于 10℃，应加快浇筑速度，减少热量损失。3 参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中“6.2.10 大体积混凝土分层浇筑时，已浇筑层的混凝土在未被上一层混凝土覆盖前，温度不应低于 2℃。采用加热法养护混凝土时，养护前的混凝土温度也不得低于 2℃。”考虑山东气候条件情况，结合施工实践，增加“温度不宜低于 5℃，”有助于避免混凝土入模后表面受冻情况。

6.2.3 **1** 冬期施工，混凝土浇筑间歇时间过长，会出现冷缝，负温下混凝土表面出现结冻，导致接茬处出现疏松、强度等冻害问题；当施工环境气温低于-10℃，泵送机具气缸、阀门及泵管接缝处易出现结冰现象，导致堵泵。**2** 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 8.3.4 条，表 8.3.4-1、表 8.3.4-2 中参加外加剂的相关规定。掺早强型减水剂、早强剂的混凝土以及有特殊要求的混凝土，应根据设计及施工要求，通过试验确定允许时间。**3** 参照行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10-2011 第 5.3.12 条，当混凝土供应不及时，宜采取间歇泵送方式，放慢泵送速度。间歇泵送可采用每隔 4min～5min 进行两个行程反泵，再进行两个行程正泵的泵送方式。

6.2.4 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.10 条，混凝土分层浇筑时，分层厚度不应小于 400mm。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℃。分层浇筑混凝土时，特别是浇筑工作面较大时，会造成新拌混凝土热量损失加速，降低了混凝土的早期蓄热。因此规定分层浇筑时，适当加大分层厚度，分层厚度不应小于 400mm；同时，应加快浇筑速度，防止下层混凝土在覆盖前受冻。冬期施工，混凝土表面出现大量泌水，不及时进行引流处理，表面泌水层在负温下易发生冻结，导致表面发生冻害。参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.11 条，采用加热方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。混凝土结构加热养护的升温、降温阶段会在内部形成一定的温度应力，为防止温度应力对结构的影响，应在混凝土浇筑前合理安排浇筑顺序或者留置施工缝，预防温度应力造成混凝土开裂。

6.2.6 浇筑混凝土后及早进行找平收面，及早进入保温养护，减少热量损失和外界环境的影响。参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 6.1.8 条的相关规定，模板外和混凝土表面覆盖的保温层，不应采用潮湿状态的材料，也不应将保温材料直接铺盖在潮湿的混凝土表面，新浇混凝土表面应铺一层塑料薄膜。保温材料受潮后，其导热系数显著增大，其原因是孔隙中有了水分后，附加了水蒸气的扩散热量和毛细孔中液态水所传导的热量。在一般情况下，水的导热系数是 0.58W/(m·K)，冰的导热系数是 2.33W/(m·K)，都远大于空气的导热系数 0.29W/(m·K)。因此，保温材料不应采用潮湿状态的材料。

6.2.7 参考国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 8.5.8 条，混凝土强度达到 1.2MPa 前，不得在其上踩踏、堆放物料、安装模板及支架。考虑冬期施工，环境温度低，混凝土强度达到 1.2MPa 时，强度较低，达不到受冻临界强度，容易受冻害，因此，本规程调整为：混凝土强度达到受冻临界强度前，不得在其上踩踏、堆放物料、安装模板及支架。

6.2.8 参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.9.7 条及国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.19 条的相关规定，每批次尚应增加不少于 2 组的同条件养护试件，是

最低数量，其中不少于 1 组用于检测受冻临界强度及拆模强度，考虑到第 1 次压，可能出现达不到受冻临界强度及拆模强度，为此，通常每批次应留置 4 组同条件试件为宜。

6.2.9 混凝土受冻临界强度，参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.1.1 条及国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.12 条的相关规定。

7 测温、养护及拆模

7.1 测温

7.1.1 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.18 条相关规定。

7.1.2 参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.9.1 条相关规定，增加了搅拌机棚温度、混凝土拆模时温度以及混凝土内部温度（大体积混凝土）、养护温度项目。

7.1.3 测温频次参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.9.2 条相关规定。

7.1.4 混凝土养护期间的温度测量，参照行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.9.3 条相关规定。智能化测温仪系统可实现温度实时测量并实时上传至系统云平台，便于统计分析，提高测温效率，减少人力，避免测量时意外风险。

7.1.5 测温点布置，参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.9.4 条相关规定。测温点布置位置应具有代表性，以测温孔应布置在最容易冷却的部位及均匀分布为原则。

7.1.6 混凝土养护期间的冷却速率不宜超过 5℃/h，避免降温过快产生温度应力裂缝的措施，例如：宜采用覆盖多层保温材料及辅助加热的方式，利用通过逐层增减保温材料方式控制。参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.16 条，混凝土强度未达到受冻临界强度和设计要求时，应继续进行养护。当混凝土表面温度与环境温度之差大于 20℃时，拆模后的混凝土表面应立即进行保温覆盖。

7.2 养护

7.2.2 **2** 暖棚法参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.2.2 条相关规定。考虑防火减碳因素，暖棚法养护不得采用明火加热。3 加热养护的整体结构，参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.1.9 条相关规定。

7.2.3 **1** 采用蓄热保温综合法，对竖向结构及结构立面，应搭建防风围挡，减少对流造成热量损失，达到蓄热保温养护效果的重要措施。**2** 参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.3.4 条，混凝土浇筑后应采用塑料布等防水材料对裸露表面覆盖并保温。对边、棱角部位的保温层厚度应增大到面部位的 2 倍～3 倍。混凝土在养护期间应防风、防失水，保温材料受潮，导热系数增加，保温失效，保温材料结冰还会导致混凝土表面受冻，保温材料多为易燃品，因此，严禁烟火，并配备消防器材。**4** 考虑到混凝土入模温度且不应低于 5℃，当起始养护温度低于 5℃，会导致入模后混凝土温度继续降低，不利于混凝土强度增涨，甚至发生冻害；结合多年实践经验，蓄热养护时间 6h 以上且养护温度达到 10℃，强度可保持持续增涨，尽快达到抗冻临界强度；采用覆盖多层保温材料的方式，必要时可采取电热毯、烤灯、加热板等辅助加热，同时配合逐层增加保温材料及混凝土水化放热方式，来控制蓄热养护温度，提高蓄热

养护效果。蓄热保温综合法养护的重要原则为：1）逐步解除，不要一次性撤掉所有保温层，可以先揭开一个角，或减少一层，让混凝土有一个适应外界环境的过程，避免温差冲击。2）看天行事，解除保温后，若遇气温骤降或寒潮（如大风、雨雪天气），应及时重新进行覆盖，防止混凝土后期受冻，虽然此时受冻危害不如早期大，但仍会影响强度发展。蓄热保温养护的成功关键在于“快覆盖、勤测温、看强度、慢解除”，一切决策都必须以同条件试块的强度数据和实测温度作为科学依据。

7.2.4 **1** 采用防冻混凝土综合法，参考了行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中第 6.7 条负温养护法的相关规定，但本规程规定的防冻混凝土综合法并不等同于负温养护法，不仅限于掺加防冻剂，而是通过配合比设计、防冻剂、生产、施工工艺综合性的控制方法，早期的保温养护也至关重要，考虑到混凝土入模温度不得低于 5℃，当起始养护温度低于 5℃，会进一步降低混凝土入模后的温度，结合多年实践经验，保温养护时间 6h 以上且养护温度达到 10℃，与蓄热保温养护的区别在于可不用进行辅助加热，一方面，掺加防冻剂能降低水的冰点，使混凝土在负温下不致冻结，仍能保持水分进行水化反应，并在一定时间内获得强度；另一方面，混凝土水化放热，可保持一定的蓄热效果，强度可保持持续增涨，尽快达到抗冻临界强度，确保降到冬期施工温度等级规定温度时，混凝土不会发生冻害。3 保温养护，参考国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.14 条相关规定，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。在混凝土养护和越冬期间不得直接对负温混凝土表面浇水养护。

7.2.5 **2** 冬期施工期间，工民建工程模板通常采用木制模板，侧墙及其他立面结构应进行带模养护是最简单易行的方法，模板如采用金属模板，应在模板外表面粘贴铺盖保温材料；外墙及侧墙结构防水混凝土对密实度要求较高且不得出现贯穿性裂缝，因此，冬期施工时应保证足够的带模养护时间，按照往年施工经验，带模超过 3d，基本能达到抗冻临界强度，但遇严寒天气，冬期施工温度等级为低温 3 级（DIII）、低温 4 级（DIV）时，温度低于-10℃，属于严寒气候，为防止受冻害，因此，应延长拆模时间，不宜少于 7d。养护剂选用应保证低温环境的有效性，有的养护剂，比如有的含硅酸钠类的养护剂在低温下会发生冻结结晶等现象，导致养护效果失效。**6** 柱子等竖向结构采用金属类模板施工时，如钢模板、铝模板导热率高，一方面混凝土热量容易通过模板导热散失，另一方面，外界的低温容易通过模板传递给混凝土，第三方面，接触模板的混凝土表面受外界低温影响温度更低，导致混凝土表内温度差较大，容易引发温差裂缝。

7.2.6 参考行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104-2011 中 第 6.9.6 条，模板和保温层在混凝土达到要求强度并冷却到 5°C后方可拆除。拆模时混凝土表面与环境温差大于 20°C时，混凝土表面应及时覆盖，缓慢冷却。参照国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 第 6.4.4 条，混凝土受冻前的强度不得低于 5MPa；模板和保温层应在混凝土冷却到 5℃方可拆除，或在混凝土表面温度与外界温度相差不大于 20℃时拆模，拆模后的混凝土亦应及时覆盖，使其缓慢冷却；混凝土强度达到设计强度等级的 50%时，方可撤除养护措施。参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.16 条相关规定，10.2.16 混凝土强度未达到受冻临界强度和设计要求时，应继续进行养护。当混凝土表面温度与环境温度之差大于

20℃时，拆模后的混凝土表面应立即进行保温覆盖。对于冬期施工的混凝土，同样应注意避免混凝土内外温差过大，有效控制混凝土温度应力的不利影响。混凝土强度不低于 5MPa 即具有了一定的非冻融循环大气条件下的抗冻能力，这个强度也称抗冻临界强度。混凝土强度达到受冻临界强度后，虽然可解除保温养护，但有可能未达到拆模强度等施工技术要求时，可采取覆盖保水膜、涂刷养护剂等其他养护措施，减少混凝土的水份蒸发，使之强度持续增涨，直至满足要求，但是当遇突发降温寒流时，应继续对混凝土进行保温养护。

7.3 拆模

7.3.1 应制定冬期施工专项混凝土拆模技术措施，**2** 冬期施工，混凝土边角、棱角及异形结构易受外界低温影响，强度相对其他部位增涨较慢，因此，为了保证拆模质量，拆模时的强度较之常规拆模提高至 5MPa 时；对于异形结构，支模、拆模有别于常规做法，为此，应制定专项拆模施工措施。**4** 突遇降温时，如果拆模，会增加受冻和温差过大的风险。7 参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 10.2.15 条，对墙、板等薄壁结构构件，宜推迟拆模。本规程，结合往年实践经验，给出具体拆模时间建议，拆模时间控制在不少于 7d，相对比较保险。

7.3.2 模板拆除及拆模强度相关规定，参照国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 第 4.5 节的相关规定。

7.3.3 模板注意事项，对于墙体、柱等竖向结构，拆除侧模后发现混凝土强度尚未达到受冻临界强度或拆模强度要求且外界气温很低时，应立即进行保温养护，将模板重新贴合继续带模养护，相对快捷、简单易行，成本和用工比较低。

8 质量检验和验收

8.1 质量管理检查

8.1.2 规定了冬期混凝土防冻施工质量控制的关键项目。除了国家有关标准规定的常规项目外，强调了原材料，特别是减水剂、防冻剂的质量及掺量以及温度，以及主要的施工控制措施的落实情况，这几项内容是冬施的成败关键，所以本条把质量管理检查项目内容提了出来，有利于提高混凝土质量的控制。

8.2 质量检验

8.2.2 针对冬期气温环境特点，与其他混凝土不同，混凝土防冻性能及低温环境下的拌合物性能，是配合比设计及开盘鉴定必须考察的技术指标。

8.2.3 防冻混凝土的防冻性能的检验批次，开盘鉴定及出场检测，同一配合比，不少于一次，当配合比进行较大的调整时，比如防冻剂的掺量做了较大调整，应进行防冻性能检测。

附录 A　混凝土拌合物低温终凝时间、低温 60min 坍落度经时损失值试验方法

A.0.3 、A.0.4 本规程将静置的环境调整为冬期施工温度等级规定试验温度，更贴近于冬期施工实际情况，指导性更强。

附 录 B

混凝土拌合物粘聚性试验和评价方法

本方法用于混凝土拌合物粘聚性的检测和评价。

现有的水泥混凝土拌合物粘聚性检测和评价方法具体为：水泥混凝土拌合物装入坍落度筒，垂直提起坍落度筒后，水泥混凝土拌合物坍落至停止状态，如有较多的稀浆从底部析出，锥体部分的混凝土也因失浆而骨料外露，则表明此混凝土拌合物的保水性能不好，粘聚性差；如果发现粗骨料在中央集堆或边缘有水泥浆析出，表示此混凝土拌合物抗离析性不好，粘聚性差；如坍落度筒提起后无稀浆或仅有少量稀浆自底部析出，则表示此混凝土拌合物保水性良好，粘聚性好。这种方法是通过感官观察的主观判断方式，缺乏相应的检测数据，不属于定量检测评价方法，而且因人的感官观察和经验不同，评价判断的结论差异较大，因此，有必要制定混凝土拌合物粘聚性试验和定量评价方法。

试验和评价原理如下：混凝土拌合物粘聚性系数λ_i用于表现水泥混凝土拌合物坍落、扩展流动性征和堆积形态，将混凝土拌合物坍落、扩展的堆积形态模型化为圆台体，见图5；λ_i为圆台体上台圆直径与下台圆直径的比值，当λ_i取0.01时，混凝土拌合物坍落、扩展的堆积形态近似于圆锥体，定为粘聚性合格状态，等级定为Ⅲ类；当λ_i取0.5时，混凝土拌合物坍落、扩展的堆积形态为保持与坍落度筒相同上下口直径比的圆台体，为接近粘聚性最为优良的极限状态，等级定为Ⅰ类；当λ_i取0.2时，混凝土拌合物坍落、扩展的堆积形态为圆台体，定为粘聚性良状态，等级定为Ⅱ类。

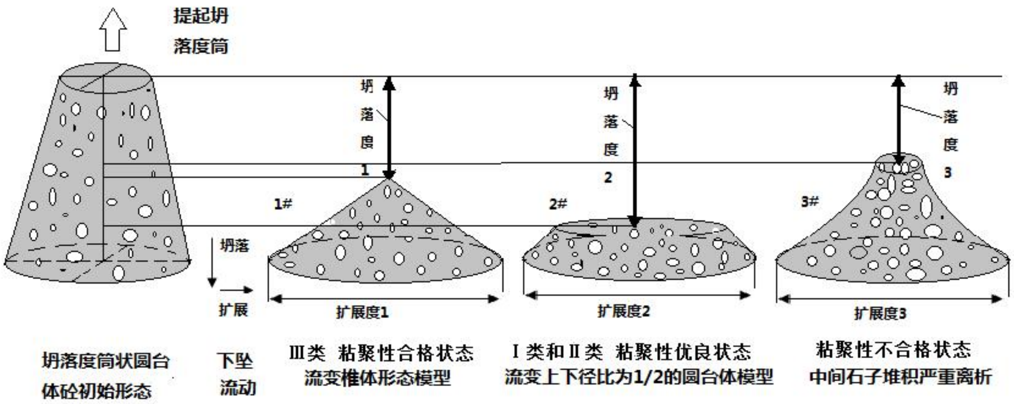


图5 混凝土粘聚性等级评价示意图

当坍落度筒尺寸为（高H为300mm，上口直径d为100mm，下口直径D为200mm，体积V为5495000mm^3）的圆台筒体、圆周率π取3.14时，扩展度实测值K_i所对应的混凝土拌合物各个粘聚性等级相应的坍落度界限值T_j可按公式计算，也可按表查找取值，简化计算过程。

（T_i-T_3）值越大，混凝土拌合物粘聚性指标值Φ_i越大，相应的该混凝土拌合物的粘聚性越好。

附录 C　防冻混凝土的防冻性能试验方法

C.0.3 本规程采用综合养护龄期，将低温养护环境调整为冬期施工温度等级规定试验温度，更贴近于冬期施工实际情况，指导性更强。