

DB 23

DB 23/T XXXX—2024

黑 龙 江 省 地 方 标 准

高寒地区公路工程 大体积混凝土冬期施工技术规范

联系单位：龙建路桥股份有限公司

联系人：初文磊

联系电话：18243188700

联系邮箱：18243188700@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。

目次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 原材料.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 粗、细集料.....	4
4.3 水泥.....	4
4.4 矿物掺合料.....	5
4.5 外加剂.....	5
4.6 混凝土用水.....	6
5 配合比设计.....	7
5.1 一般规定.....	7
5.2 配合比设计原则.....	7
6 施工.....	8
6.1 一般规定.....	8
6.2 施工准备.....	8
6.3 配合比控制.....	9
6.4 混凝土搅拌.....	9
6.5 混凝土运输.....	10
6.6 混凝土浇筑.....	11
6.7 混凝土养生.....	12
6.8 大体积混凝土保温、测温和控温.....	14
6.9 混凝土拆模.....	17
6.10 特殊气候条件下大体积混凝土施工.....	18
7 质量检测.....	18
7.1 一般规定.....	18

7.2 混凝土试件制作、养生及检测.....	18
8 安全规定.....	19
8.1 一般规定.....	19
8.2 防火安全.....	19
8.3 用电安全.....	19
8.4 其他.....	20

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部分可能涉及专利，本文件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。

本文件由黑龙江省交通运输厅归口。

本文件起草单位：龙建路桥股份有限公司

东北林业大学

黑龙江工程学院

黑龙江省交通规划设计研究院集团有限公司

本文件主要起草人：朴志海、李绪森、王艳、张占文、石桂梅、初文磊、李天鸿、张伟健、李 满、范井全、陈兴盛、于广涛、王得成、张世明、刘永生、丛 赫、计伟帅、石振武、刘劲草、矫震、刘亚男、李齐利、万照龙、姜紫毅、吴 迪、王普夷、张静波、高彦宝、张广伟、庄 坤、姚瑞珊、王文会、杨宝权、孙辉宇

高寒地区公路工程大体积混凝土冬期施工技术规范

1 范围

本文规定了高寒地区公路工程大体积混凝土冬期施工技术中的术语和定义、混凝土原材料、配合比设计、施工过程控制、质量控制和安全规定。

本文件适用于高寒地区公路工程大体积混凝土冬期施工。其他地区的大体积混凝土冬期施工可参考使用。

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/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 9142 建筑施工机械与设备 混凝土搅拌机
- GB/T 12959 水泥水化热测定方法
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 23439 混凝土膨胀剂
- GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB 50496 大体积混凝土施工标准
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- JGJ55 普通混凝土配合比设计规范
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 104 建筑工程冬期施工规程
- JT/T 523 公路工程水泥混凝土外加剂
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 高寒地区

日最低气温低于 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，连续天数大于10 d的地区。

3.2 大体积混凝土

混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于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 冬期施工

根据当地多年气象资料统计，当室外日平均气温连续5 d稳定低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后进行的施工。

3.4 胶凝材料

混凝土中水泥和活性矿物掺合料的总称。

3.5 矿物掺合料

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。

3.6 相容性

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肥大量的变化程度。

3.7 混凝土绝热温升

假定混凝土处于绝热状态条件下，水泥水化硬化过程中混凝土内部某一时刻的温升值。

3.8 里表温差

混凝土浇筑体内最高温度与外表层温度之差。

3.9 受冻临界强度

新拌混凝土受冻后再恢复正温养生，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。

3.10 蓄热养生法

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以前达到预期强度的养生方法。

3.11 综合蓄热养生法

掺早强剂或早强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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或设计规定温度前达到预期要求强度的养生方法。

3.12 蒸汽养生法

蒸汽养生又称湿热养生，是以水蒸汽为热介质，使混凝土加速硬化养生的方法。

3.13 暖棚养生法

将被养生的混凝土构件或结构置于搭设的暖棚中，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生的方法。

3.14 加热养生法

通过采用适当加热措施，提高环境和混凝土温度，以促进混凝土强度发展的养生方法。

3.15 电极加热法

使用钢筋用电极，利用电流通过混凝土时所产生的热量来加热混凝土，以促进混凝土强度发展的养生方法。

3.16 电热毯加热法

混凝土浇筑后，在其表面，或模板外覆以柔性电热毯，对其通电加热养生，以促进混凝土强度发展的养生方法。

3.17 工频涡流加热法

利用安装在钢模外侧的钢管，其内穿导线线圈，通以交流电后产生涡流电加热钢模板，对混凝土进行加热养生，以促进混凝土强度发展的养生方法。

3.18 线圈电磁感应加热法

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生，以促进混凝土强度发展的养生方法。

3.19 红外线加热法

利用红外线产生的热辐射加热新拌混凝土，使其不断获得热量的养生方法。

4 原材料

4.1 一般规定

- 4.1.1 混凝土用原材料，其技术性能应符合 JTG/T 3650 《公路桥涵施工技术规范》要求。
- 4.1.2 原材料料场应搭设保温大棚，搭设前应经过结构验算，确保强度、刚度和稳定性满足安全生产要求；大棚围挡物宜选用无毒、耐水和耐火的保温材料。
- 4.1.3 混凝土用原材料宜至少提前 10d 组织进入施工现场，并存放于保温大棚内保温待用。
- 4.1.4 当混凝土用原材料温度不能满足热工计算要求时，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。需加热的原材料，应事先经过热工计算后，按照计算的温度试拌混凝土，并实测其出机温度后综合确定其加热温度。热工计算可参考 JGJ/T 104 《建筑工程冬期施工规程》。

4.2 粗、细集料

- 4.2.1 粗、细集料控制的参数技术要求除应符合本规范 4.1 规定外，尚应符合下列规定：
- 细集料宜采用中砂，细度模数宜大于 2.3，含泥量不应大于 3%；
 - 粗集料粒径范围宜为 5.0 mm~31.5 mm，级配连续，含泥量不应大于 1%；
 - 不得使用含有碱活性的粗、细集料；
 - 当采用非泵送施工时，粗集料的粒径可适当增大。
- 4.2.2 粗、细集料应洁净，不得混有泥土、冰雪、冻块及其它杂质。粗细集料的技术要求不得低于正常温度施工的标准，应加强对针片含量、压碎值、密度、孔隙率、含泥量和含水率等参数的控制。
- 4.2.3 当混凝土出机温度低于 10 ℃，应考虑对粗、细集料进行加热，但加热温度应符合表 1 的规定。

表 1 粗、细集料最高加热温度

项 目	加热温度 (℃)
配合比采用 42.5 以下的普通水泥、矿渣水泥时	60
配合比采用 42.5、42.5R 及以上的普通水泥、矿渣水泥时	40

4.3 水泥

- 4.3.1 水泥品种的选择应根据工程环境特点和养生方案，并通过混凝土配合比试验确定，其特性不应影响混凝土的工作性能、强度和耐久性产生不利影响。
- 4.3.2 当混凝土采用暖棚养生法养生时，宜优先选用普通硅酸盐水泥；当采用蒸汽养生时，宜优先选用矿渣硅酸盐水泥；当养生温度大于 30 ℃时，不得采用高铝水泥拌制混凝土。

4.3.3 水泥用量和强度等级的选用应符合以下规定：

- a) 一般大体积混凝土水泥用量不宜少于300 kg，强度等级不宜低于42.5；
- b) 大体量大体积混凝土的最小水泥用量，可根据试验结果确定；
- c) 对于强度等级不大于C30的大体积混凝土，水泥强度等级和最小水泥用量可不受此规定限制。

4.3.4 大体积混凝土应选用水化热较低的通用硅酸盐水泥，并应符合以下规定：

- a) 强度等级42.5水泥，3 d水化热不宜大于250 kJ/kg，7 d水化热不宜大于280 kJ/kg；
- b) 强度等级52.5水泥，3 d水化热不宜大于280 kJ/kg，7d水化热不宜大于300 kJ/kg。

4.3.5 除检测水泥常规参数外，宜增加检测水泥水化热参数。水泥水化热检测方法可参考 GB/T 12959 《水泥水化热测定方法》。

4.4 矿物掺合料

4.4.1 矿物掺合料应保证其产品质量稳定，来料均匀，应由生产单位专门加工，进行产品检测并出具产品合格证书。

4.4.2 混凝土中应优先选用品质优良的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰等矿物掺合料，掺入量应在使用前通过试验确定。

4.4.3 矿物掺合料在运输与储存中，应有明显标识，严禁与水泥等其他粉状材料混杂。

4.5 外加剂

4.5.1 大体积混凝土常用的外加剂包括：减水剂、引气剂、缓凝剂、膨胀剂等，其技术性能应满足 GB 8076 《混凝土外加剂》、GB 50119 《混凝土外加剂应用技术规范》和 JT/T 523 《公路工程水泥混凝土外加剂》的相关要求。

4.5.2 公路工程使用的外加剂，应经过具备相关资质的检测机构检测并附有检测合格证明的产品说明书，外加剂使用前应按现行 GB 8076 《混凝土外加剂》的规定进行复验，复验结果满足要求后方可用于工程中。

4.5.3 应使用减水率高、与水泥、矿物掺合料、集料之间相容性良好的外加剂。

4.5.4 在混凝土中掺入外加剂时，除应符合以上规定外，尚应符合下列规定：

- a) 外加剂的品种、掺量应根据材料试验确定；
- b) 宜提供外加剂对硬化混凝土收缩等性能的影响系数；
- c) 在钢筋混凝土和预应力混凝土中，均不得掺用氯化钠、氯化钙等氯盐；
- d) 宜优先采用聚羧酸系减水剂；
- e) 各种外加剂中的氯离子总含量宜不大于混凝土中胶凝材料总质量的0.02%，硫酸盐含量宜不大于减水剂干重的15%；

- f) 从各种组成材料引入的氯离子总含量（折合氯盐含量）应不超过表2 规定的限值；
- g) 对耐久性要求较高或寒冷地区的大体积混凝土，宜采用引气剂或引气减水剂；
- h) 掺入引气剂的混凝土，其含气量应按不同环境类别和作用等级确定。

表2 混凝土中游离氯离子含量最大限值（%）

环境类别与作用等级	钢筋混凝土	预应力混凝土
II、III、IV	0.10	0.06
I-B、I-C、V、VI	0.20	
I-A、VII	0.30	

注：1. 表中氯离子含量以胶凝材料质量百分数计。

2. 环境类别和作用等级应符合现行JTG/T 3310《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》的规定。

4.5.5 采用非加热法养生混凝土时，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%。在满足混凝土坍落度经时损失条件下，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。其中的保坍、缓凝成分应经试验室试验后正确掺用。

4.5.6 掺入膨胀剂的混凝土宜采取有效的持续保湿保温养生措施，宜适当延长养生时间。

4.6 混凝土用水

4.6.1 符合国家标准的饮用水可直接作为混凝土的拌合及养生用水；当采用其他水源或对水质有疑问时，应对水质进行检测。水的品质应符合表3的规定。

本条款的主要依据为JGJ63《混凝土用水标准》的相关规定。

表3 混凝土用水的品质指标

项目	拌制用水			养生用水
	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土	
PH值	≥5.0	≥4.5	≥4.5	≥4.5
不溶物（mg/L）	≤2000	≤2000	≤5000	—
可溶物（mg/L）	≤2000	≤5000	≤10000	—
氯化物（以 Cl^- 计，mg/L）	≤500	≤1000	≤3500	≤3500
硫酸盐（以 SO_4^{2-} 计，mg/L）	≤600	≤2000	≤2700	≤2700
碱含量（mg/L）	≤1500	≤1500	≤1500	≤1500

注：1. 对设计使用年限为100年的结构混凝土，氯离子含量不得超过500 mg/L；对使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土，氯离子含量不得超过350 mg/L。

2. 碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658 \text{K}_2\text{O}$ 计算值表示。采用非碱活性集料时，可不检测碱含量。

4.6.2 混凝土拌合用水除应符合以上规定外，尚应符合下列规定：

- a) 水中不应有漂浮明显的油脂和泡沫，且不应有明显的颜色和异味；

b) 严禁采用海水用于结构混凝土的拌制和养生。

4.6.3 混凝土拌合用水宜采用两个以上储水箱蓄水，循环加热混凝土拌合用水，满足连续搅拌混凝土用水量及温度要求。其加热温度见表 4。

表 4 拌合用水最高加热温度

项目	加热温度 (°C)
配合比采用 42.5 以下的普通水泥、矿渣水泥时	80
配合比采用 42.5、42.5R 及以上的普通水泥、矿渣水泥时	60

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 大体积混凝土冬期施工时，配合比所需各种原材料应满足本规范第 4 章要求。

5.1.2 混凝土配合比设计宜按高一个强度等级选择原材料。

5.1.3 配合比设计时应充分考虑耐久性问题，在与养生方式不发生冲突前提下，宜考虑掺加适量优质引气剂。

5.1.4 宜将混凝土 60 d 或 90 d 抗压强度作为强度验收和配合比设计依据。

5.2 配合比设计原则

5.2.1 在确定混凝土配合比时，应根据混凝土绝热温升、温控方案的要求，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。

5.2.2 大体积混凝土配合比设计，除应符合现行行业标准 JGJ 55 《普通混凝土配合比设计规程》的有关规定外，尚应符合下列规定：

a) 应采取选择低水化热水泥、降低单方水泥用量、大掺量掺加矿物掺合料、掺加缓凝型减水剂等综合措施，降低混凝土绝热温升值；

b) 选择适当砂率，降低混凝土水胶比，砂率宜为 38%~45%，水胶比不宜大于 0.43；

c) 在满足和易性和泵送需要前提下，混凝土拌合物的坍落度宜取较小值；

d) 拌合水用量不宜大于 160 kg/m³；

e) 粉煤灰掺量不宜大于胶凝材料用量的 50%，矿渣粉掺量不宜大于胶凝材料用量的 40%；粉煤灰和矿渣粉掺量总和不宜大于胶凝材料用量的 50%；

f) 采用非加热法养生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；

h) 不得在钢筋混凝土结构中掺用含有氯盐的防冻剂。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 大体积混凝土冬期施工应符合 GB 50496 《大体积混凝土施工标准》、GB 50164 《混凝土质量控制标准》和 GB 50666 《混凝土结构工程施工规范》的相关规定。

6.1.2 混凝土出机温度应经热工计算确定，充分考虑运输途中的温度损失，确保混凝土入模温度控制在 5~10℃ 之间。热工计算可参考 JGJ/T 104 《建筑工程冬期施工规程》。

6.1.3 大体积混凝土冬期施工准备阶段，应按施工工序合理搭设保温大棚对混凝土搅拌设备、运输设备、桥涵上下部等混凝土浇筑部位进行有效保温，对大棚的要求应符合 4.1.2 的规定。

6.1.4 大体积混凝土置于岩石类地基上时，宜在混凝土垫层上设置滑动层。

6.1.5 大体积混凝土施工前，应对混凝土结构物的温度、温度应力及收缩应力进行计算，并确定混凝土结构物的温升峰值，里表温差及降温速率的控制指标，制定相应的温控技术措施。

6.1.6 大体积混凝土施工前，应做好施工准备，并应与当地气象台、站联系，掌握近期气象情况。在冬期施工时，尚应符合有关混凝土冬期施工规定。

6.1.7 大体积混凝土施工应采取节能、节材、节水、节地和环境保护措施，并应符合 GB/T 50905 《建筑工程绿色施工规范》的有关规定。

6.1.8 对浇筑完成的大体积混凝土，应采取切实可行的技术保障措施，做好表层保温和内部降温工作，确保混凝土里表温差小于 25℃。

6.1.9 大体积混凝土冬期施工必须保留真实、完整、准确的原始记录和检测报告。

6.2 施工准备

6.2.1 正式施工前应充分重视施工组织设计工作，该工作应包括下列内容：

a) 大体积混凝土结构物温度应力和收缩应力计算，可参考 GB 50496 《大体积混凝土施工标准》确定；

b) 施工阶段主要抗裂构造措施和温度控制指标的确定，保温覆盖层的厚度，可参考 GB 50496 《大体积混凝土施工标准》；

c) 选择适宜的原材料、优化配合比设计，确定混凝土制备与运输计划；

d) 主要施工设备和现场总平面布置；

e) 测温控温方案；

f) 浇筑顺序和施工进度计划；

g) 保温和保湿养生方法；

h) 应急预案和应急保障措施；

- i) 特殊部位和极端气候条件下的施工措施。
- 6.2.2 大体积混凝土冬期施工前应进行图纸会审，并应提出施工阶段的综合抗裂措施，制定关键部位的施工作业指导书。
- 6.2.3 大体积混凝土冬期施工应在混凝土的模板和支架、钢筋工程、预埋管件等工作完成并经监理验收合格的基础上进行。
- 6.2.4 施工现场设施应按施工总平面布置图的要求按时完成，场区内道路应坚实平坦、并应采取运输车辆防滑措施。
- 6.2.5 施工现场供水、供电应满足混凝土连续施工需要，应准备备用水源和备用电源。
- 6.2.6 大体积混凝土搅拌、运输能力应满足混凝土连续施工需要，不宜低于单位时间所需量的 1.2 倍。
- 6.2.7 大体积混凝土施工所需配套仪器设备，在浇筑混凝土前应进行检修和试运转，其性能和数量应满足大体积混凝土连续浇筑需要。
- 6.2.8 混凝土测温控温及监控设备的标定调试应正常，保温材料应齐备，并应派专人负责测温作业管理。
- 6.2.9 大体积混凝土冬期施工前，应进行专业培训，并应逐级进行技术交底，同时应建立岗位责任制和交接班制度。

6.3 配合比控制

- 6.3.1 配合比是保证大体积混凝土冬期施工质量的重要基础，拌合站搅拌混凝土时，必须严格按照设计好的配合比计量配料。
- 6.3.2 原材料计量应符合 GB 50164 《混凝土质量控制标准》和 GB 50666 《混凝土结构工程施工规范》的相关规定。
- 6.3.3 原材料宜采用自动计量方式计量，并应严格按照施工配合比进行计量。混凝土原材料计量允许偏差应符合表 5 的规定。

表 5 混凝土原材料计量允许偏差

原材料品种	允许偏差 (%)
粗、细骨料	±3
水泥等胶凝材料	±2
外加剂	±1
拌合用水	±1

6.4 混凝土搅拌

- 6.4.1 混凝土搅拌机应符合 GB/T 9142 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌机》的相关规定，宜选用大容量的搅拌机。
- 6.4.2 当环境气温低于 0℃时，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。
- 6.4.3 混凝土搅拌站应严格按照工地试验室签发的施工配合比通知单搅拌混凝土，不得擅自改变施工配合比。
- 6.4.4 搅拌混凝土投料顺序为集料、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。
- 6.4.5 混凝土出机温度不宜低于 10℃，以保证入模混凝土温度不低于 5℃，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，但不宜低于 10℃。热工计算可参考 JGJ/T 104 《建筑工程冬期施工规程》。
- 6.4.6 大体积混凝土冬期施工时，坍落度允许偏差应符合表 6 的规定。

表 6 坍落度允许偏差

坍落度范围 (mm)	允许偏差 (mm)
100 ~ 150	±10
160 ~ 200	±20
≥200	±30

6.5 混凝土运输

- 6.5.1 混凝土从搅拌、运输直至到浇筑现场，不得出现泌水、离析和分层现象。
- 6.5.2 采用运输车运输的混凝土，当坍落度损失较大无法满足施工需要时，应向运输车内加入适量的与原配合比相同的外加剂，并快速旋转运输车体均匀搅拌混凝土，直至达到要求的工作性能后为止。外加剂的加入量应经计算确定。
- 6.5.3 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。当采用泵送运输时，应依次采用热水、水泥浆或水泥砂浆对泵体和泵管进行预热、润滑，并应对泵送设备采取包裹棉毡等必要的保温措施。
- 6.5.4 混凝土在运输过程中，应保证混凝土降温速度不超过 5℃/h，以确保混凝土的入模温度不低于 5℃。
- 6.5.5 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，以减少管夹数量。
- 6.5.6 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。热工计算可参考 JGJ/T 104 《建筑工程冬期施工规程》。

6.6 混凝土浇筑

6.6.1 混凝土浇筑时的自由倾落高度应符合表 7 的规定，当不能满足该规定时，应采用串筒、溜管、溜槽等装置辅助输送混凝土。

表 7 混凝土倾落高度限值

粗集料最大粒径 (mm)	混凝土倾落高度限值 (m)
>25	≤3
≤25	≤6

注：1. 当有可靠措施能保证混凝土不产生离析时，混凝土倾落高度可不受本表限制。

6.6.2 浇筑混凝土前，应清除地基、模板和钢筋上的杂物和污垢，并应进行覆盖保温。

6.6.3 混凝土一次浇筑量较少时，宜选择在白天气温较高时段进行浇筑，并适当增加振捣时间。

6.6.4 浇筑混凝土时，应在平面内均匀布料，不得用振捣棒撬料；振捣混凝土时，应保证混凝土均匀、密实，应避免欠振、漏振和过振。

6.6.5 在大体积混凝土浇筑过程中，应采取措施防止受力钢筋、定位筋、预埋件等移位和变形，并及时清除混凝土表面泌水。

6.6.6 采用加热法养生现浇混凝土时，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。

6.6.7 大体积混凝土浇筑应符合下列规定：

a) 混凝土宜采用泵送方式和二次振捣工艺；

b) 混凝土分层浇筑时，混凝土浇筑层厚度应根据所用振捣器作用深度及混凝土的和易性确定，整体连续浇筑时宜为 300 ~500 mm，振捣时应避免过振和漏振。在被上一层混凝土覆盖前，已浇筑层的混凝土温度应满足热工计算要求，且不得低于 2 ℃；热工计算可参考 JGJ/T 104 《建筑工程冬期施工规程》。

c) 整体分层连续浇筑或推移式连续浇筑，应缩短间歇时间，并应在前层混凝土初凝之前将下层混凝土浇筑完毕。层间浇筑间歇时间不应大于混凝土初凝时间。混凝土初凝时间应通过施工准备阶段试验确定。当层间浇筑间歇时间超过混凝土初凝时间时，层面应按施工缝处理；

d) 混凝土的浇筑应连续、有序，宜减少施工缝。

6.6.8 当采取分层间歇浇筑混凝土时，水平施工缝的处理应符合下列规定：

a) 在已硬化的混凝土表面，应清除表面的浮浆、松动的石子及软弱混凝土层；

b) 在上层混凝土浇筑前，应采用清水冲洗混凝土表面的污物，并应充分润湿，但不得有积水；

c) 新浇筑混凝土应振捣密实，并应与先期浇筑的混凝土紧密结合。

6.6.9 当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℃。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。

6.6.10 混凝土受冻临界强度应符合下列规定：

a) 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%；

b) 当室外最低气温不低于-15℃时，宜采用综合蓄热法施工的混凝土受冻临界强度不应低于 5.0 MPa；

c) 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%；

d) 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%；

e) 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%。

6.6.11 混凝土振捣密实后，在终凝以前，应采用机械或人工方法多次将混凝土表面抹压密实，并及时覆盖保湿保温材料养生；在混凝土抗压强度达到 1.2 MPa 以前，不得直接在混凝土上行走和踩踏。

6.7 混凝土养生

6.7.1 混凝土的养生应符合 GB 50164 《混凝土质量控制标准》和 GB 50666 《混凝土结构工程施工规范》的相关规定。

6.7.2 大体积混凝土冬期施工养生应针对不同环境和条件，采用不同的养生方法。各种养生方法都具有各自特点及适用条件，施工单位应结合施工期环境、施工条件等因素，具体情况具体分析，采用合理适用的养生方法。

6.7.3 终凝后的混凝土顶面应覆盖一层防水材料和一层或多层保温材料对混凝土裸露外表面进行有效保温养生，确保混凝土在整个养生过程中里表温差不超过 25℃。

6.7.4 大体积混凝土冬期施工常见养生方法及适用范围见表 8。

表 8 混凝土常见养生方法及适用范围

养生方法	适用范围
蓄热养生法	室外最低温度 ≥ -15 ℃时的地下工程，混凝土构件表面系数 ≤ 5 m ⁻¹ 的结构。
综合蓄热养生法	不太寒冷的地区（室外平均气温 -15 ℃以上），厚大结构（混凝土构件表面系数不大于 $(5$ m ⁻¹ ~ 15 m ⁻¹ ）和地下混凝土构件等。
暖棚养生法	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 ≥ 5 ℃。

蒸汽养生法	混凝土预制梁、板、下部基础、现浇梁、柱等结构。
加热养生法	不宜采用蓄热法、综合蓄热法等方法养生的混凝土构件。

6.7.5 蓄热养生法养生混凝土应符合下列规定：

- a) 采用蓄热法施工养生的混凝土，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；
- b) 应选用导热系数小、坚固耐用的保温材料。保温层敷设后要注意防潮和防止透风，对于构件的边棱、端部和凸角应加强保温；
- c) 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

6.7.6 综合蓄热养生法养生混凝土应符合下列规定：

- a) 宜选用强度等级较高的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或快硬硅酸盐水泥；
- b) 可掺加早强剂或早强型引气减水剂；
- c) 混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保湿；外层覆盖保温材料保温，对边角部位的保温层厚度应增大到表面部位的2~3倍，混凝土在养生期间应防风防水；
- d) 模板宜采用整装整拆方案，当混凝土强度达到2.5 MPa后，可使侧模轻轻脱离混凝土后，再合上继续养生到受冻临界强度；
- e) 起始养生温度应满足热工计算的要求，且不得低于5℃。热工计算可参考JGJ/T 104《建筑工程冬期施工规程》。

6.7.7 暖棚养生法养生混凝土应符合下列规定：

- a) 当采用暖棚法养生时，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，在距地面高500 mm处必须设置测温点，每昼夜测温不应少于4次；
- b) 养生期间应测量棚内湿度，混凝土不得有失水现象，否则应及时增湿或在混凝土表面洒水养生；
- 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引起迎风口处混凝土受冻的措施；
- d) 在混凝土养生期间应将烟或燃烧气体排出棚外，并应采取防止烟气中毒和防火措施。

6.7.8 蒸汽养生法养生混凝土应符合下列规定：

- a) 混凝土的蒸汽养生分静停期、升温期、恒温期、降温期四个阶段；
- b) 在混凝土静停期间，应保持暖棚内温度 $>5\text{℃}$ ，混凝土终凝后方可打开蒸汽阀门开始升温；
- c) 在混凝土升温期间，当混凝土表面系数 $\geq 6\text{ m}^{-1}$ 时，升温速度 $\leq 15\text{℃/h}$ ；表面系数 $< 6\text{ m}^{-1}$ 时，升温速度 $\leq 10\text{℃/h}$ 。升温期每30 min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。

d) 混凝土在恒温期内，温度宜控制在45℃以下，恒温养生时间根据构件脱模强度要求、混凝土配合比情况以及环境条件等通过验确定。

e) 混凝土在恒温期内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，应提高棚内环境温度，以保证混凝土里表温差 ≤ 25 ℃。

f) 混凝土降温阶段，当混凝土表面系数 $\geq 6 \text{ m}^{-1}$ 时，降温速度 ≤ 10 ℃/h；表面系数 $< 6 \text{ m}^{-1}$ 时，降温速度 ≤ 5 ℃/h。

g) 蒸养棚内各部位的温度应尽量一致，温差不宜大于5℃。

h) 采用普通水泥配制的混凝土，蒸汽的温度不应超过80℃；采用矿渣水泥配制的混凝土，蒸汽的温度可控制在85~95℃范围内。

6.7.9 加热养生法养生混凝土的种类及规定：

a) 加热养生法是混凝土冬期施工一种通用养生方法。拟加热的混凝土结构物在浇筑前应搭建保温大棚，根据结构物体积、棚内空间大小、混凝土强度等要求选择适当的加热方法，配置足够数量的加热器具；

b) 常用的加热方法主要包括：蒸汽加热法、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、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；

c) 采用蒸汽加热法养生混凝土时，应符合本规范6.7.8的规定；

d) 采用炭火炉加热法和煤炉（焦炭）加热法养生混凝土时，应注意用火安全、煤气中毒问题、热空气在保温大棚内均匀分布问题、混凝土表面局部干燥、时干时湿等问题；

e) 采用电燃油暖风机加热法、电暖风机加热法等与电有关的加热方法养生混凝土时，应注意用电安全，混凝土表面不应出现局部干燥、时干时湿等现象。

6.7.10 混凝土冬期施工保湿养生持续时间不宜少于14d，每天应定时检查混凝土表面覆盖层的完整情况，并保持混凝土表面持续湿润。

6.7.11 在混凝土养生过程中，当混凝土表面温度与环境最大温差 < 25 ℃时，可逐步拆除保温覆盖层。

6.8 大体积混凝土保温、测温和控温

6.8.1 在高寒地区进行大体积混凝土冬期施工应充分重视对钢筋、模板、浇筑后混凝土和拆模后混凝土的保温工作。

6.8.2 钢筋焊接和绑扎前，模板支立前应搭设保温大棚对欲浇筑混凝土结构物进行保温。混凝土浇筑后对模板、混凝土表面覆盖，拆模后对混凝土裸露面覆盖，覆盖材料应符合本规范4.1.2的规定；养生

方法应符合本规范 6.7 的规定。

6.8.3 在进行大体积混凝土冬期施工组织设计期间应对测温工作进行专项设计，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。

6.8.4 大体积混凝土施工温控指标应符合下列规定：

- a) 混凝土构造物在入模温度基础上的最大温升值不宜大于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 混凝土构造物里表温差（不含混凝土收缩当量温度）不宜大于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 混凝土构造物降温速率不宜大于 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ；
- d) 拆除保温覆盖层时混凝土浇筑体表面与大气温差不应大于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

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

6.8.6 温度测试元件的选择应符合下列规定：

- a) 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下，测温误差不应大于 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 温度测试范围应为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 应变测试元件测试分辨率不应大于 $5\text{ }\mu\epsilon$ ；
- d) 应变测试范围应满足 $-1000\text{ }\mu\epsilon\sim 1000\text{ }\mu\epsilon$ 要求；
- e) 测试元件绝缘电阻应大于 $500\text{ M}\Omega$ 。

6.8.7 温度测试元件的安装及保护，应符合下列规定：

- a) 测试元件安装前，应在水下 1 m 处经过浸泡 24 h 不损坏；
- b) 测试元件应固定牢固，并应与结构钢筋及固定架金属体隔离；
- c) 测试元件引出线宜集中布置，沿走线方向予以标识并加以保护；
- d) 测试元件周围应采取保护措施，混凝土下料和振捣时，不得直接冲击和触及温度测试元件及其引出线。

6.8.8 大体积混凝土构造物温度监测点的布置，应反映混凝土浇筑体内最高温升、里表温差、降温速率及环境温度，可采用下列布置方式：

- a) 监测区可选择混凝土构造物平面对称轴线的半条轴线，监测区内测试点应按平面分层布置；
- b) 监测区内，监测点的位置与数量可根据混凝土构造物内温度场的分布情况及温控的规定确定；
- c) 在每条测试轴线上，监测点位不宜少于 4 处，应根据结构的平面尺寸布置；
- d) 沿混凝土浇构造物厚度方向，应至少布置表层、底层和中心温度监测点，监测点间距不宜大于 500 mm ；
- e) 保温养生效果及环境温度监测点数量应根据具体需要确定；
- f) 混凝土构造物表层温度，宜为混凝土构造物表面以内 50 mm 处的温度；

- g) 混凝土构造物底层温度，宜为混凝土构造物底面以上 50 mm 处的温度。
- 6.8.9 根据施工工艺、现场条件和控温需要，可选择下列方法中的一种或多种组合联合测温：
- a) 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；
 - b) 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；
 - c) 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。
- 6.8.10 混凝土测温和记录工作由专人完成，测温对象和范围应包括：
- a) 大气环境温度；
 - b) 水泥、矿物掺合料、外加剂、拌合用水、粗细集料等原材料的温度；
 - c) 混凝土出机温度、入模温度、拆模温度，整个养生阶段混凝土不同部位温度。
- 6.8.11 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，测温孔的深度宜为 100~150 mm，或结构物厚度的 1/2。
- 6.8.12 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 3 min 以上，方可读数。
- 6.8.13 混凝土养生过程中应连续测温，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。不同的养生方法可采用不同的温度检测频率，测温工作应符合下列规定：
- a) 采用蓄热法养生混凝土时，养生期间每昼夜至少检测温度 4 次；
 - b) 采用加热法保养混凝土时，升温和降温期间至少每 1 h 检测温度 1 次，恒温时期至少每 2 h 检测温度 1 次；
 - c) 采用综合蓄热法养生的混凝土，每昼夜至少检测温度 4 次；
 - d) 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。
- 6.8.14 测试过程中宜描绘各点温度变化曲线和断面温度分布曲线。
- 6.8.15 测温人员在测温的同时应检查覆盖保温状况，并应确认混凝土的浇筑时间、控制温度、保温时限等信息。测温过程若发现混凝土温度出现异常情况，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。
- 6.8.16 温控措施可根据下列原则或方法，结合监测数据实时调控：
- a) 控制混凝土出机温度，调控入模温度在合适区间；
 - b) 升温阶段可适当散热，降低温升峰值，当升温速率减缓时，应及时增加保温措施，避免表面温度快速下降；

c) 在降温阶段，根据温度监测结果调整保温层厚度，但应避免表面温度快速下降；

d) 在采用暖棚法养生的混凝土工程中，当降温速率过慢时，可通过调整供热强度或局部掀开暖棚覆盖物以调整保温棚内温度，但应注意暖棚内与外界通风处附近混凝土里表温差不应超过 25 ℃。

6.8.17 混凝土构造物的应变测试宜根据工程需要进行。

6.9 混凝土拆模

6.9.1 混凝土模板的拆除应符合 GB 50666 《混凝土结构工程施工规范》的相关规定。

6.9.2 浇筑混凝土的同时，应预留足够的试块进行同条件养生，用于确定混凝土拆模强度和受冻临界温度，以此决定拆模时间和结束养生时间。

6.9.3 模板拆除时，可以采取先支后拆、后支先拆的原则，先拆除非承重模板、后拆除承重模板，并应按照从上到下的顺序进行拆除。

6.9.4 对于用蓄热法或其他加热法养生混凝土的模板和保温层，应在混凝土表面冷却到 5 ℃并达到受冻临界强度后方可拆除。

6.9.5 拆模后的混凝土应及时覆盖保温材料，使其缓慢冷却，避免里表温差大于 25 ℃，以防混凝土表面温度骤降产生温差裂缝。

6.9.6 未搭设保温大棚的混凝土结构物，在拆除模板前，除应符合本规范 6.9.4 规定外，还应关注天气变化，应选择风力较小气温较高时段拆模，拆模时应对混凝土结构物进行临时围挡，随时对裸露的混凝土表面进行覆盖保温，避免混凝土表面快速降温，导致里表温差大于 25 ℃，产生温差裂缝后果。

6.9.7 当混凝土强度大于 2.5MPa，能确保在拆除模板时，其表面及棱角混凝土不易受损时，方可拆除侧模。

6.9.8 对于后张预应力混凝土结构构件，侧模宜在预应力张拉前拆除；底模支架不应在结构构件建立预应力前拆除。

6.9.9 当混凝土强度达到设计要求时，方可拆除底模及支架；当设计无具体要求时，同条件养生试件的混凝土抗压强度应符合表 9 的规定。

表 9 底模拆除时混凝土的强度 (MPa)

构件类型	构件跨度 (m)	达到设计混凝土强度等级的百分率 (%)
板	≤2	≥50
	>2且≤8	≥75
	>8	≥100
梁、拱、壳	≤8	≥75
	>8	≥100

悬臂结构	≥ 100
------	------------

6.9.10 不得随意抛扔拆除的模板及支架杆件，应分散堆放在指定地点，并应及时清运。

6.9.11 模板拆除后应将其表面清理干净，对变形和损伤部位应及时进行修复。

6.10 特殊气候条件下大体积混凝土施工

6.10.1 大体积混凝土冬期施工遇大风和降雪天气时，必须采取可靠的措施以保证混凝土浇筑质量。

6.10.2 大风天气浇筑混凝土时，在作业面应采取挡风措施，增加混凝土表面的抹压次数，应及时覆盖塑料薄膜和其他保温材料。

6.10.3 降雪天不宜露天浇筑混凝土，需施工时，应采取覆盖措施以保证混凝土质量。对已浇筑还未硬化的混凝土应立即覆盖，严禁积雪融水直接冲刷新浇筑的混凝土。

6.10.4 浇筑大体积混凝土突遇降温时，应采取可靠的措施以保证新浇筑的混凝土构造物处于正常水化硬化环境中，并保证其里表温差小于 25℃。

7 质量检测

7.1 一般规定

7.1.1 桥涵大体积混凝土冬期施工，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 桥涵大体积混凝土冬期施工，质量检测应符合 JTG/T 3650 《公路桥涵施工技术规范》关于混凝土冬期施工的相关规定。

7.1.3 桥涵大体积混凝土冬期施工，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生措施而影响混凝土的实体及外观质量。

7.1.4 应定时定点对大体积混凝土进行测温，并应留存完整的测温记录。

7.2 混凝土试件制作、养生及检测

7.2.1 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，作为标准养生试件和同条件养生试件。

7.2.2 对采用蒸汽加热养生的混凝土结构，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，再在标准条件下养生到规定龄期（28 d 或 60 d）的试件，用以检查确定经过蒸养后，标准养生到 28 d 或 60 d 的混凝土强度。

7.2.3 混凝土浇筑现场取样应符合下列规定：

- a) 当一次连续浇筑 $\leq 1000 \text{ m}^3$ 同配合比的大体积混凝土时，混凝土强度试件现场取样不应少于 10

组或每个工作班 ≥ 6 组；

b) 当一次连续浇筑 $1000\text{ m}^3 \sim 5000\text{ m}^3$ 同配合比的大体积混凝土时，对超出 1000 m^3 的混凝土，每增加 500 m^3 取样不应少于一组，增加不足 500 m^3 时取样一组；

c) 当一次连续浇筑 $>5000\text{ m}^3$ 同配合比的大体积混凝土时，对超出 5000 m^3 的混凝土，每增加 1000 m^3 取样不应少于一组，增加不足 1000 m^3 时取样一组；
的相关规定；

d) 应根据大体积混凝土冬期施工质量控制要求预留足够数量的同条件养生试样。

8 安全规定

8.1 一般规定

8.1.1 大体积混凝土冬期施工应严格遵守 JTG F 90 《公路工程施工安全技术规范》。

8.1.2 大体积混凝土冬期施工前，应制定综合应急预案、专项应急预案、现场处置方案。

8.1.3 大体积混凝土冬期施工过程中，容易发生安全事故，参建各方应加强安全防范工作。

8.1.4 大体积混凝土冬期施工应重点加强防火、防煤气中毒、防滑及防冻伤等安全管控工作，并应设置专职安全员负责现场巡回安全检查。

8.1.5 混凝土冬期施工安全管控应坚持以人为本、预防为主，制定切实安全措施，预防作业人员出现各种类型安全事故。

8.1.6 风雪天气施工时，应及时组织施工作业人员加固保温大棚，并及时清理大棚上的积雪。

8.2 防火安全

8.2.1 保温大棚内应设置足够的灭火器，并配备足够数量的高压水枪和多级泵等灭火工器具。

8.2.2 采用加热法养生混凝土防火安全应符合下列规定：

a) 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，采取适当措施预防一氧化碳中毒；

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

8.2.3 施工现场应加强防火工作，严禁使用明火加热养生混凝土，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。

8.2.4 施工现场使用的氧气瓶与乙炔瓶的间距应保持在 5 m 以上，两气瓶与明火距离应大于 10 m ，以防发生爆炸事故。

8.3 用电安全

8.3.1 采用电加热法时，应预先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。

8.3.2 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。

8.4 其他

8.4.1 大体积混凝土冬期施工时，严禁大风降温天气强行组织施工作业。

8.4.2 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。

8.4.3 施工防滑防摔应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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。

8.4.4 施工防止冻伤应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 对工程量较大、无法避开夜间施工的大体积混凝土工程，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 6 h，夜间气温较低时段每班连续工作不宜超过 4 h。