

ICS 93.010.01

CCS P 66

团 体 标 准

T/JSJTQX 27—2022

高速公路桥梁混凝土构件 冬期施工技术指南

Guide for winter construction technology of expressway bridge
component concrete

2022-04-15 发布

2022-05-01 实施

江苏省交通企业协会

发布

目 次

| | |
|--------------------------|----|
| 前 言 | IV |
| 引 言 | V |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 技术准备 | 2 |
| 4.1 一般要求 | 2 |
| 4.2 施工专项方案 | 3 |
| 4.3 施工方法选择条件 | 4 |
| 4.4 构件混凝土养生方法的选择 | 4 |
| 5 资源准备 | 7 |
| 5.1 水泥及砂石材料 | 7 |
| 5.2 外加剂 | 7 |
| 5.3 保温加热材料、仪器仪表及资料 | 7 |
| 6 生产准备 | 7 |
| 6.1 施工任务安排 | 7 |
| 6.2 现场准备 | 8 |
| 7 温度测量 | 8 |
| 7.1 一般要求 | 8 |
| 7.2 测温孔设置 | 8 |
| 7.3 测温项目及测温频率 | 9 |
| 8 混凝土的施工 | 9 |
| 8.1 混凝土的搅拌 | 9 |
| 8.2 混凝土运输 | 9 |
| 8.3 构件浇筑 | 10 |
| 9 模板拆除和混凝土养生 | 11 |
| 9.1 模板拆除 | 11 |
| 9.2 养生要求 | 11 |
| 10 钢筋与预应力工程 | 11 |
| 10.1 钢筋工程 | 11 |

| | | |
|------|--------------------|----|
| 10.2 | 预应力工程 | 12 |
| 11 | 质量检查与评价 | 12 |
| 11.1 | 一般要求 | 12 |
| 11.2 | 等效龄期与强度估算 | 13 |
| 11.3 | 构件受冻判断 | 13 |
| 12 | 质量缺陷处理 | 13 |
| 12.1 | 新拌混凝土缺陷 | 13 |
| 12.2 | 成型混凝土缺陷 | 13 |
| 附录 A | (规范性) 混凝土的热工计算方法 | 15 |
| 附录 B | (资料性) 冬期施工温度测量用表 | 20 |
| 附录 C | (规范性) 成熟度法混凝土强度估算 | 21 |
| 附录 D | (资料性) 支座垫石冬期施工养生装置 | 23 |
| | 参考文献 | 29 |
| | 条文说明 | 30 |
| 1 | 范围 | 31 |
| 2 | 规范性引用文件 | 31 |
| 3 | 术语和定义 | 31 |
| 4 | 施工技术准备 | 32 |
| 4.1 | 一般要求 | 32 |
| 4.2 | 施工专项方案 | 33 |
| 4.4 | 构件混凝土养生方法的选择 | 33 |
| 5 | 资源准备 | 35 |
| 5.1 | 水泥及砂石材料 | 35 |
| 5.3 | 保温加热材料、仪器仪表及资料 | 35 |
| 6 | 生产准备 | 35 |
| 6.1 | 施工任务安排 | 35 |
| 7 | 温度测量 | 36 |
| 7.2 | 测温孔设置 | 36 |
| 8 | 混凝土施工 | 36 |
| 8.1 | 混凝土搅拌 | 36 |
| 8.2 | 混凝土运输 | 37 |
| 8.3 | 构件浇筑 | 37 |
| 9 | 模板拆除和混凝土养生 | 39 |

| | | |
|------|-------------|----|
| 9.1 | 模板拆除 | 39 |
| 9.2 | 养生要求 | 40 |
| 10 | 钢筋与预应力工程 | 40 |
| 10.1 | 钢筋工程 | 40 |
| 10.2 | 预应力工程 | 40 |
| 11 | 质量检查与评价 | 41 |
| 11.2 | 等效龄期与强度估算 | 41 |
| 11.3 | 构件受冻判断 | 41 |
| 12 | 质量缺陷处理 | 43 |
| 12.2 | 成型混凝土缺陷 | 43 |
| 附录 C | 成熟度法混凝土强度估算 | 43 |

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本文件由江苏省交通企业协会提出并归口。

本文件起草单位:江苏省交通工程集团有限公司、常州交通建设管理有限公司、江苏兆信工程项目管理有限公司、江苏省交通技师学院、南京工业大学、苏交科集团检测认证有限公司、华设设计集团股份有限公司、南京交通建设管理集团有限公司、江苏森淼工程质量检测有限公司。

本文件主要起草人:陈光林、俞科峰、薛翔、薛华、孙明祥、李瑞民、陈中杰、汤勤、雷松、封明祥、王柳、赵飞、欧定福、程学文、李培培、陈先锋、顾曦辰、侯曙光、邢世玲、雍骅、李晓辉、唐光臣、张玮、顾冕、姜云、王磊、李岩、张占宇、陈彦之、刘新新、朱中文、王晖、曹妍、王芮文。

本文件由江苏省交通技师学院教授级高级讲师曹妍、研究员级高级工程师王芮文任主审。

引 言

冬期施工是江苏省高速公路质量控制活动中的重点内容之一。江苏省地处温带向亚热带过渡性的气候区域，1月份平均气温在 $-1^{\circ}\text{C}\sim 3.3^{\circ}\text{C}$ 之间，江苏北部1月份极端温度超过 -10°C 。由于混凝土在 4°C 以下时水化反应就会大幅度降低甚至停止，因此，在冬期混凝土施工时要符合《公路桥涵施工技术规范》中有关要求，按规范规定的条件组织施工。随着交通品质工程的开展，冬期施工中涌现的创新材料、新设备、新技术、新工艺以及新的管理理念不断增多，仅规范中规定相关的内容已经不能满足实际施工需要，同时，在冬期施工管理中技术问题也凸显，本文件的编制即是为了解决在新技术条件和品质工程要求下江苏省高速公路冬期施工中规范化和标准化的问题。

本文件通过研究调查，给出了冬期施工中技术准备、资源准备、生产准备以及混凝土浇筑与养生、冬期施工质量评价等经验做法、先进的理念和新的技术，如提出了采用电伴热带加热模板和进行养生的新技术、提出了判断冬期施工混凝土是否受冻的评判方法以及提出了用等效龄期和混凝土成熟度方法估算冬期施工混凝土强度的方法等。在文件的条文说明中，还给出了部分条款实施的依据、理论和建议。本文件是江苏省高速公路桥梁冬期施工的规范性文件，对施工标准化、规范化、提升工程管理水平和提高冬期施工中桥梁结构的质量具有重要意义。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到的本文件所给出的养生方法相关专利的使用，分别为《一种用于桥梁支座垫石冬期施工恒温保湿养生装置》（专利号 CN202120306015.6）和《一种节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置》（专利号 CN202120486804.2）。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：江苏省交通技师学院

地址：镇江市丹徒新城长香西大道 500 号

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

高速公路桥梁混凝土构件冬期施工技术指南

1 范围

本文件规定了高速公路桥梁混凝土构件冬期施工的技术准备、资源准备、生产准备、温度测量、混凝土的施工、模板的拆除和混凝土的养生、钢筋与预应力工程、质量检查与评定以及质量缺陷处理。

本文件适用于高速公路桥梁混凝土构件冬期施工，其他等级的公路与水运工程参照执行。

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。

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/T 3650 公路桥涵施工技术规范

TB 10426 铁路工程结构混凝土强度检测规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冬期施工 winter construction

在江苏地区每年进入冬季后对混凝土构件按冬期施工要求组织的施工工作，或者虽不满足冬期施工条件，但由于较低温度对混凝土强度增长产生影响，建设单位或者监理单位认为必须采取必要的养生措施，在这段时间内组织的混凝土施工。江苏地区宜在每年11月20日至次年的3月5日这段时间按冬期施工规则进行施工组织。

3.2

电伴热带模板加热法 electric tracing band template heating method

将电伴热带按其供热能效，以一定间距布设在结构模板外侧裸露面，通过温控器加温至恒温，从而使模板温度升高并保持恒定，以保证混凝土保持在正温条件下养生。

3.3

受冻临界强度 frozen critical strength

低温浇筑的混凝土在受冻之前必须达到的最低强度。

3.4

等效龄期 equivalent age

混凝土在养生期间温度不断变化，在这一段时间内，其养生的效果与在标准条件下养生达到相同效果时所需的时间。

3.5

表面系数 (M) surface coefficient

构件的冷却面面积（外露可散热的表面面积，F）与构件的体积（V）之比值。以 $M=F/V$ 表示。

3.6

正温养生工艺 positive temperature curing process

采用蓄热法、暖棚法或蒸汽法养生的构件，在养生期内保持混凝土构件始终处于正温的环境中。

3.7

负温养生工艺 negative temperature curing process

在混凝土中掺入防冻剂，使其在负温条件下能够不断硬化，在混凝土温度降到防冻剂规定的温度前达到受冻临界强度的养生方法。

3.8

混凝土养生期 curing period of concrete

混凝土浇筑完成后，在构件所处的养生温度和湿度条件下进行养生，逐日累计温度不少于 140°C 的持续时间，且不少于7d。

3.9

混凝土的成熟度 concrete maturity

混凝土在整个养生期间，某时段内养生温度和该时段持续时间的乘积。

3.10

综合蓄热法 comprehensive thermos method

掺早强剂或复合型早强剂的混凝土浇筑后，利用原材料加热及水泥水化放热，并采取适当保温措施延缓混凝土冷却，使混凝土温度降到 0°C 以前达到受冻临界强度的施工方法。

4 技术准备

4.1 一般要求

4.1.1 冬期施工技术准备应满足JTG/T 3650和JTG F80/1对混凝土构件施工及混凝土质量控制要求。

4.1.2 冬期施工技术措施应可靠完备，保证生产过程中人员与设备安全。

4.1.3 冬期施工专项方案应技术可靠，经济合理，减少能源消耗和环境污染破坏。对没有冬期施工专项方案，以及冬期施工准备工作不完善和不适合冬期施工的分项分部工程，不应在冬期组织施工。

4.1.4 施工方法和保温、加温措施应简单可靠，安全环保。

4.1.5 冬期施工中，宜采用统计技术对施工质量分析、判断和总结。

4.1.6 冬期施工技术管理应明确把技术创新作为质量管理的重要内容，应大力推广新工艺、新材料、新设备、新方法以及新理念。

4.1.7 宜将全面质量管理理念贯穿于冬期施工技术管理工作中，开展和推进 QC 活动，运用 PDCA 循环解决质量问题和预防质量事故。

4.2 施工专项方案

4.2.1 编制前应收集分析当地近5年冬期温度波动情况，据此推测本年度冬期温度变化趋势。

4.2.2 编制前应对拟开展冬期施工的分部分项工程全面调研，掌握基本情况，如具体桩号、所处位置地形情况、供水、供电情况、混凝土的运输、材料用量情况以及设计意图和要求等。

4.2.3 编制前应研读和熟悉冬期施工技术要求，调查冬期施工所需资源供应情况。

4.2.4 方案编制应遵循针对性、全面性、具体性、可行性以及安全、节能环保等基本原则。

4.2.5 应在每年11月15日前完成冬期施工专项方案的编制。

4.2.6 冬期施工方案应包含且不限于以下内容。

a) 冬期施工工程概况描述。应明确开展冬期施工的分部分项工程及其施工特点、工程数量和日计划安排；

b) 当地近5年冬期温度情况以及本年度温度变化趋势分析；

c) 冬期施工组织。要明确组织管理体系、质量保证体系和安全生产体系，且应明确各体系责任人及其工作职责；

d) 冬期施工准备工作情况。包括技术准备、物资资源和设备工具准备、现场准备等；

e) 选择施工方法并进行经济分析。应根据工程特点、工程所处位置、能源供应情况以及热工计算结果选择施工方法。方法确定后，需对投入的成本分析比选。施工方法选择需考虑新材料、新设备、新工艺、新方法和新理念的实施；

f) 热源设备、保温材料、外加剂以及砂、石、水泥和钢筋等供应计划；

g) 劳力供应计划；

h) 资金流向计划。宜使用S曲线图制订资金流向计划，并使用香蕉曲线（工程管理曲线）分析计划合理性；

i) 施工进度计划。宜使用甘特图或网络计划图，并宜与资金流向计划图整合；

j) 技术交底、培训工作；

k) 各分项工程混凝土施工主要技术控制指标及质量控制要点；

l) 冬期施工混凝土通病防治、隐患排查、事故处理和质量评价；

m) 安全生产与环境保护措施；

n) 各种图表准备。如现场平面布置图、运输线路图、临时用电图、供热设施布置图、各种用表等。

4.2.7 应按冬期施工技术方案给定的技术措施和方法组织施工，如遇特殊情况需要修改和补充，则应将修改后的方案作为附件附在原方案之后，不应将原方案内容删除而直接更换为新方案。

4.3 施工方法选择条件

4.3.1 拟定施工方法时，应考虑不同气温阶段持续时间、寒冷气温发生的大概时间及其可能持续的最长时间、最低极端气温发生和持续时间等。

4.3.2 在拟定施工方法时，应考虑施工现场环境特征，如现场避风条件、自然保温和防风情况以及是否存在土壤冻结等。

4.3.3 地面以下构件施工时，应考虑以下因素：

- a) 地基是否会受冻结冰；
- b) 钻孔灌注桩、接桩、台帽、承台等埋置于土基中混凝土防护措施；
- c) 浇筑混凝土前，冰雪清除以及浇筑混凝土后防护措施；
- d) 施工过程中防冻、防雨雪以及构件整体或局部防冻保温措施；
- e) 大体积混凝土、高性能混凝土、深埋钢筋混凝土构件养生方法。

4.3.4 地面以上构件施工时，应考虑以下因素：

a) 薄壁板式结构（如肋板式桥墩台、桥台背墙耳墙、桥面铺装、湿接缝）、混凝土方量较小构件（如接桩、接柱、铰接缝、伸缩缝、支座垫石、防撞挡块等零星构件）以及保温困难构件，应考虑模板材料、保温材料、外加剂以及养生方法；

- b) 独立构件现浇混凝土养生方法（如墩台身）以及高墩台等防风防寒困难构件；
- c) 整体现浇钢筋混凝土结构中混凝土保温、养生，如支架现浇、挂篮现浇、大体积构件；
- d) 预制场预制构件养生方法；
- e) 砌体结构应考虑工程性质、结构部位以及工作量因素；
- f) 防风避风条件以及风力预测。

4.3.5 热源设备和工具应可靠、稳定和节能环保，其数量应与工程量大小、施工计划等相适应。

4.3.6 应考虑冬期施工中各种资源供应。如水泥、砂石料、外加剂、粉煤灰以及保温材料等。

4.3.7 拟定施工方法时，应考虑结构工程在施工过程中自身安全措施，如强度、稳定性和刚度应满足施工安全要求，所有方法都应有安全技术措施，并应做好施工现场内防火、防触电等安全预案。

4.4 构件混凝土养生方法的选择

4.4.1 应根据工程特点、现场施工条件、工程部位、表面系数和质量要求选择施工方法。应保证混凝土预估等效龄期不应超过60d，也不应少于14d，且应保证在混凝土达到受冻临界强度前不受冻。

4.4.2 江苏地区冬期施工混凝土养生宜采用正温养生工艺。

4.4.3 预制场内预制构件养生应采用暖棚和电热蒸汽养生法，不宜采用大型锅炉设备蒸汽加热法养生，不应采用蓄热法和正负温综合养生法。

4.4.4 地面以下基础与下部构造，宜采用蓄热法养生，并应保证混凝土温度在浇筑后头7d不低于10℃。如蓄热法不能满足上述养生要求，可采用电热毯、电伴热带模板加热辅助升温。

4.4.5 地面以上墩台等下部结构，当日均气温不低于5℃时，可采用蓄热法养生，并应保证混凝土温度

在浇筑后头7d不低于10℃。当日均气温低于5℃时，应采用电热毯、电伴热带对模板进行辅助升温，辅助升温的温度应确保在养生期内不低于10℃，不宜单纯采用蓄热法养生。

4.4.6 上部结构整体现浇（如支架现浇箱梁、挂篮现浇箱梁等）应采用电伴热带模板加热、箱内电蒸汽加热、混凝土外露面电热毯加热（或蓄热）三者结合方法养生。应确保养生期内混凝土任何部位温度不低于10℃。

4.4.7 支座垫石、防震挡块等单体混凝土数量少的构件，以及上部结构中铰接缝、湿接缝、混凝土桥面铺装（调平层）等重要部位和其它薄壁构件，在0℃以下气温下施工时，应采用电伴热带（电热毯）恒温养生方法，也可采用电伴热带（电热毯）、小暖棚结合方法养生，在养生期内混凝土温度不应低于10℃。要求如下：

a) 支座垫石和防震挡块应采用电伴热带加热钢模板方法养生。浇筑完成后，应在不拆除模板情况下整体覆盖并形成保温保湿小暖棚。支座垫石和防震挡块养生，也可以按《一种用于桥梁支座垫石冬期施工恒温保湿养生装置》（专利号CN202120306015.6）和《一种节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置》（专利号CN202120486804.2）给出的装置养生，制作及使用方法见附录D；

b) 铰接缝和伸缩缝施工完成后，如果温度达不到要求，应先覆盖一层塑料薄膜，然后再铺设电热毯，上方覆盖土工布、草帘、麻袋等，必要时，可用土覆盖；

c) 湿接缝在承重模板施工前，应在模板外侧布设电伴热带，浇筑完成后，上部裸露面用塑料薄膜、电热毯和土工布覆盖；

d) 桥面铺装（调平层）浇筑完成后，表面应采用塑料薄膜、电热毯、土工布等覆盖；

e) 薄壁构件在浇筑过程中，应有避风防风措施，浇筑完成后，立即用塑料薄膜覆盖，再使用电热毯加热，土工布覆盖保温。

4.4.8 采用各种养生方法的混凝土在搅拌前是否对原材料加热，以及选择热源供应功率等，均需通过热工计算取得。对原材料进行加热时，应优先考虑对拌和水进行加热，不应对水泥进行加热。

4.4.9 几种常用养生方法的特点和适用条件见表1。

表 1 各种养生方法的特点及适用条件

| 养生方法 | 养生方法特点 | 适用条件或注意事项 | 适合部位 |
|------|--|--|---|
| 蓄热法 | 1、原材料需加热；如果经热工计算混凝土的搅拌温度、出机温度、运输至现场后的入模温度、浇筑完成后水化开始前温度等能够达到要求，原材料可不进行加热。 2、混凝土表面先用塑料薄膜覆盖，上铺高效保温材料蓄热，以防止水分或热量散失； 3、混凝土温度降至0℃前，需要达到早期允许受冻临界强度值； 4、混凝土强度增长慢，费用低。 | 1、室外最低温度不低于-3℃； 2、构件的表面系数M不大于5m ⁻¹ ； 3、采用蓄热法的覆盖方式宜为：塑料薄膜+无纺土工布（其厚度和层数应根据实际情况确定）+覆盖物（土等，其厚度按实际情况确定）。 | 1、大体积混凝土； 2、钻孔灌注桩； 3、反开挖后浇筑的承台、接桩、接柱等； 4、低洼或者避风处热量不宜散失的部位。 |
| 综合蓄热 | 1、原材料需加热；如果经热工计算混凝土的搅拌温度、 | 1、混凝土构件表面系数为5≤M | 1、承台、板式结 |

| 养生方法 | 养生方法特点 | 适用条件或注意事项 | 适合部位 |
|--------------|---|---|--|
| 法 | <p>出机温度、运输至现场后的入模温度、浇筑完成后水化开始前温度等能够达到要求，原材料可不进行加热。</p> <p>2、混凝土表面先用塑料薄膜覆盖，上铺高效保温材料蓄热，以防止水分或热量散失；</p> <p>3、混凝土中掺加早强剂或者防冻剂；</p> <p>4、混凝土内部温度降低到外加剂设计温度前，要达到早期允许受冻临界强度值；</p> <p>5、混凝土早期强度增长较好，费用低。</p> | <p>≤15；</p> <p>2、混凝土养生期间平均气温不 低于-8℃；</p> <p>3、采用综合蓄热法的覆盖方式 宜为：塑料薄膜+无纺土工布 (其厚度和层数应根据实际情 况确定)+覆盖物(土等，其厚 度按实际情况确定)。</p> | <p>构；</p> <p>2、桥面铺装、湿 接缝等。</p> |
| 负温养生 法 | <p>1、原材料是否需要加热应视气温条件；</p> <p>2、混凝土掺加防冻剂，也可以适当保温养生，防止失 水；</p> <p>3、混凝土内部温度降低到防冻剂规定的设计温度前要 达到早期允许受冻临界强度值；</p> <p>4、混凝土强度增长缓慢，但费用低，方法简单。</p> | <p>1、自然气温不低于-10℃；</p> <p>2、适用于不易保温的结构、野 外裸露结构，高空结构，且对 混凝土强度增长无特别要求；</p> <p>3、防冻剂选用需要试验验证。</p> | <p>1、桥面铺装；</p> <p>2、铰接缝、湿接 缝；</p> <p>3、防撞墙；</p> <p>4、高桥墩。</p> |
| 蒸汽加热 法 | <p>棚罩电蒸汽加热：使用锅炉产生蒸汽，并通过专用管 道在棚罩内通蒸汽养生混凝土，以使混凝土快速达到 强度；其通常的温度可达50℃以上。</p> | <p>适用于预制场快速模板周转和 快速提升混凝土强度。</p> | <p>预制梁板等预制 构件。</p> |
| 电蒸汽养 生 | <p>采用电蒸汽发生器产生的蒸汽对构件进行温度提升和 维持。</p> | <p>1、适用于预制场；</p> <p>2、当采用电蒸汽发生器养生 时，应按T/JSTERA 18—2020的 方法进行。</p> | <p>预制梁板等预制 构件。</p> |
| 电热毯构 件升温法 | <p>在模板或混凝土裸露面覆盖电热毯，通电升温和恒温。</p> | <p>适用于小构件、平面构件。</p> | <p>1、墩台柱；</p> <p>2、支座垫石；</p> <p>3、桥面铺装；</p> <p>4、湿接缝、铰接 缝、伸缩缝。</p> |
| 电伴热带 加热模板 | <p>在钢模板外侧按一定的间距布设电伴热带，通过温控 装置调控温度，达到加热模板，传递温度的作用。</p> | <p>1、适用于钢模板或野外大构 件；</p> <p>2、用电伴热带养生法，模板的 温度应控制在15℃-25℃之间， 并应保证混凝土构件各部分的 温度梯度不超过2℃/10cm。电 伴热带的控制器应具有温度控 制、时间控制、异常报警、安 全锁定等功能。</p> | <p>1、支架现浇；</p> <p>2、挂篮现浇；</p> <p>3、高墩台。</p> |

4.4.10 冬期施工宜采用电蒸汽发生器、小型热水锅炉、电伴热带、电热管等作为热源供应装置，不宜采用大型锅炉以及明火燃烧设备。

5 资源准备

5.1 水泥及砂石材料

5.1.1 当采用蓄热法、综合蓄热法、暖棚法养生时，应优先选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，可以选择矿渣硅酸盐水泥；当采用蒸汽加热法进行养生时，应优先选择矿渣硅酸盐水泥，可以采用普通硅酸盐水泥。

5.1.2 测量水泥凝结时间应模拟实际室外环境温度进行。

5.1.3 应做好水泥材料保温工作，水泥使用时温度应保持在 5℃ 以上。

5.1.4 砂石材料储存应防风、防雪，不应有冰块、雪团等，使用时温度不应低于 5℃。

5.1.5 应根据总体施工计划编排材料供应计划，砂石材料和水泥要供应充足，保证施工连续。

5.1.6 在掺有外加剂的混凝土中，应检查骨料中活性二氧化硅成份。

5.2 外加剂

5.2.1 冬期施工时，选择外加剂应注意以下问题：

- a) 外加剂对混凝土后期强度影响；
- b) 外加剂对混凝土耐久性的影响，要考虑碱集料反应；
- c) 外加剂化学成分对金属锈蚀作用，以及外加剂对金属长期阻锈效果；
- d) 外加剂在使用前，应首先了解生产单位提供的技术资料及说明。了解外加剂化学成分和含量，尤其是氯离子和硫酸根含量；
- e) 外加剂在使用过程中要求达到规定的溶解度、浓度、分散均匀性。

5.2.2 外加剂掺量应根据产品质量、外界条件、混凝土原材料变化调整。

5.2.3 施工单位对每一批次外加剂应进行检测，监理应同时抽检或见证取样。

5.2.4 外加剂不宜长时间存放，应根据工程计划有序进场，外加剂进场后应加强质量检查。

5.2.5 在进入低温施工前，试验室应验证原混凝土配合比，应重新验证外加剂各项参数以及与水泥的匹配程度。

5.3 保温加热材料、仪器仪表及资料

5.3.1 冬期施工所需要保温材料宜在冬期施工前 7 日内进场，并应根据工作量情况予以补充。

5.3.2 应配备足够数量的温湿度测量仪器，如高低温温度计、温湿度计、红外测温计、电子感应仪等。

5.3.3 应配备外加剂浓度测量比重计。

5.3.4 准备相关规范、规程和各种记录表格。

6 生产准备

6.1 施工任务安排

6.1.1 冬期施工生产准备应围绕着总体实施性施工组织设计和下年度工作目标进行。应确定进入冬期

施工工作面，明确劳力供应量，明确设备使用计划，确定流水作业方向。

6.1.2 对冬期停工和越冬部位采取保护措施，掌握施工所需物资供应情况。

6.1.3 进入冬期施工的分部分项工程，其作业面大致比例分配宜为：基础及下部构造作业面占45%，上部预制和现浇作业面占35%，其他附属或次要项目占20%。

6.2 现场准备

6.2.1 冬期施工项目进入正式开工前，应做好现场排水系统规划，清理和整理施工现场。

6.2.2 现场施工安全操作范围内，不应有积雪，堆放积雪处不应有机电设备。

6.2.3 要保证运输道路畅通，做好消防工作。

6.2.4 材料堆放场应做好排水除雪工作，设置大棚，各种材料分仓堆放，避免混料。

6.2.5 应搭设混凝土搅拌机棚，水泥罐、外加剂储存桶等应有保温措施。

7 温度测量

7.1 一般要求

7.1.1 应定时测量大气环境温度、水泥、水、砂石材料等原材料温度、混凝土拌和机棚内温度、混凝土出机温度、入模温度、混凝土入模后初始温度以及养生温度等，根据需要量测模板和接触面温度以及混凝土表面温度等。

7.1.2 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，温度测量仪器在使用前应予以校准。

7.2 测温孔设置

7.2.1 环境温度、暖棚内温度、原材料温度以及新拌混凝土温度采集点应根据具体情况确定。

7.2.2 混凝土构件测温孔应事先绘制布置图，且应对测温孔编号。

7.2.3 蓄热养生构件，其测温孔应设置于散热较快部位；采用加热法养生时，应在距离热源不同部位分别设置；大体积混凝土结构应在表面及内部分别设置。

7.2.4 预制梁板测温孔应留置于梁板顶板和底板（如底板设置不便，可只设置在顶板），用适当直径PVC管或钢管垂直插入留置，每片梁板应留至少3处。测温孔深度为板厚的 $1/3\sim 1/2$ 。

7.2.5 现浇上部结构测温孔应视模板设置情况，放置于腹板顶部（分两次浇筑时）、顶板处，每孔每腹板不少于2处，或每 60m^2 不少于1处。

7.2.6 桥面铺装（调平层）测温孔应按每 100m^2 不少于1处布设。

7.2.7 铰接缝、湿接缝、防撞墙、伸缩缝等测温孔每跨每道不少于2处布设，测温孔深度为构件厚度的 $1/3\sim 1/2$ 。

7.2.8 每个独立养生支座垫石和防震挡块应设置1处，相同地点和环境条件下养生多个支座垫石和防震挡块，宜选择有代表性构件设置1处以上测温孔。

7.2.9 桥墩（柱）顶部和底部各设置1处，测温孔深度不小于100mm，且应迎风设置。

7.2.10 桥台应在侧面迎风处每 30m² 设置 1 处，测温孔深度不小于 100mm。

7.3 测温项目及测温频率

7.3.1 应按表 2 给定的测温项目及频率进行温度测量。

表 2 测温项目及频率

| 测温项目 | 测温次数 | 测温时间 |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| 大气温度 | 距离地面 1.5m 处的温度，每昼夜 3 次 | 7:30/14:00/21:00 |
| 工作环境温度 | 施工现场、拌和机棚等，每天 2 次 | 上下午各 1 次 |
| 原材料温度、混凝土出机温度、入模温度 | 每天 2 次 | 上下午各 1 次 |
| 混凝土蓄热养生温度 | 每昼夜 4 次 | 混凝土浇筑完成 1h 测第 1 次，以后每隔 6h 测 1 次 |
| 蒸汽养生 | | 升降阶段每 1h 测 1 次；恒温阶段每 2h 测 1 次 |
| 电伴热带、电热毯恒温养生 | | 升温阶段每 1h 测 1 次；恒温阶段每 6h 测 1 次 |

7.3.2 测温时，应将温度计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。

7.3.3 施工过程中的温度记录宜按附录 B 中表格格式进行。

8 混凝土的施工

8.1 混凝土的搅拌

8.1.1 应事先修建冬期施工混凝土搅拌用水储池。拌和用水加热宜采用电热管。

8.1.2 拌和用水加热温度应通过热工计算确定，最高加热温度以混凝土温度不超过 40℃ 为宜。

8.1.3 投料前，应用热水或蒸汽冲洗搅拌机，以保证搅拌机缸内温度不低于 5℃。

8.1.4 材料投放到拌和机顺序宜为：先投入骨料和加热水，待搅拌一段时间后、温度降到 40℃ 左右时，再加入水泥继续搅拌至规定时间，以防止水泥假凝。

8.1.5 拌合物拌和时间应根据试验确定，最短搅拌时间不应低于 150s。掺加外加剂的混凝土，其拌和时间应比平时增加 50%。

8.1.6 拌和好的混凝土，应抽查和易性和拌和温度，发现与试验结果不符时，应查明原因。

8.1.7 混凝土拌合物出机温度不应低于 10℃。

8.2 混凝土运输

8.2.1 混凝土在运输、浇筑过程中温度和覆盖的保温材料，应通过热工计算后确定。不符合要求时，应采取措施调整。热工计算方法按 JTG/T 3650 或附录 A 进行。

8.2.2 混凝土拌合物出机后，应及时运送到浇筑地点，在运输过程中，应注意防止混凝土热量散失、表面冻结、混凝土离析、水泥砂浆流失以及坍落度变化等。运输车应进行覆盖保温，运输车在装料前，

应采用热水或蒸汽对搅拌缸进行加热。

8.2.3 在运输过程中，混凝土温度不应降低过快，从出机至浇筑前，混凝土每小时温度降低不宜超过 $5^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。否则宜加热拌和。

8.3 构件浇筑

8.3.1 混凝土浇筑前，应检查模板保温加热系统是否完好，防风、防冻设施是否到位，应特别注意模板棱角处保温和加温；当风力超过5级时，不应进行混凝土浇筑。

8.3.2 浇筑前应对模板、脚手架、防滑防落等安全设施进行全面检查。

8.3.3 浇筑前宜对模板、钢筋以及工作缝等部位用热风预热，且需保持这些部位与混凝土的结合面温度在 5°C 以上。

8.3.4 接柱、接桩、墩柱等混凝土浇筑前，应在上一次浇筑混凝土水平面上涂抹一层20mm热砂浆；现浇上部结构、湿接缝、铰接缝等竖直工作缝上应涂抹一层5mm厚热水泥净浆。水泥砂浆和水泥净浆强度均不低于构件本身强度。

8.3.5 混凝土分层浇筑厚度不应大于300mm，且不应大于振动棒长度的1.25倍。

8.3.6 分层浇筑混凝土温度在上层混凝土浇筑覆盖前，温度不应降至热工计算数值以下，也不应低于 5°C 。

8.3.7 桥面铺装混凝土、铰接缝混凝土、桥面连续湿接缝、分两次浇筑梁体、结构两次浇筑垂直面等重要部位，在混凝土浇筑前，其结合面温度应保证在 5°C 以上。结合面加热宜采用电热蒸汽发生器、持续热风设备，不应使用热水加热。

8.3.8 保证任何构件浇筑混凝土时入模温度不应低于 5°C 。现浇上部构件以及湿接缝、铰接缝、桥面铺装等，混凝土入模温度不宜小于 10°C ；地面以下桩基、接桩、承台等表面系数较小构件，可适当降低，但不应低于 5°C ；容易散热部位（如无挡风设施的野外墩台、盖梁、支座垫石等）入模温度不宜低于 8°C 。

8.3.9 浇筑现浇上部结构、挂篮施工上部结构时，当环境温度低于 -10°C ，应进行温度应力核算。温度应力核算方法宜按本文件条文说明中9.1.3条给出的公式进行。

8.3.10 冬期施工混凝土应连续，不宜设置施工缝，如必须设置，应按图纸给出的位置设置施工缝，如图纸未明确施工缝位置，应在应力核算后确定施工缝设置位置并经监理工程师审批。

8.3.11 混凝土浇筑完成，开始养生时的温度，采用蓄热养生时，不应低于 10°C ，采用蒸汽、暖棚法养生的构件，不应低于 5°C ，细薄结构不应低于 8°C 。

8.3.12 现浇上部结构和挂篮施工上部结构以及大体积混凝土浇筑时，结构内部和表面温差应不大于 15°C ，结构外界温度与浇筑混凝土表面温度不应大于 15°C ，钢模板表面温度与新浇混凝土温差应不大于 15°C ，在已完工结构上继续施工前，原结构表面和浇筑的混凝土温差应不大于 15°C 。

8.3.13 已浇筑完成混凝土表面应覆盖塑料薄膜，防止水分散失。

8.3.14 混凝土浇筑过程中应按JTG F80/1要求制取混凝土强度试件，在标准条件下养生28d，作为混

凝土强度评定依据。

8.3.15 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、预应力张拉依据。

8.3.16 在混凝土浇筑过程中，应制取同条件养生强度试件，作为混凝土低温养生过程中是否受冻评定依据，具体评判方法按本文件第 11 章有关规定实施。

9 模板拆除和混凝土养生

9.1 模板拆除

9.1.1 侧模板以及不承受力的模板拆除，应在混凝土达到 5Mpa 且达到混凝土受冻临界强度后进行，承重模板拆除应在混凝土强度达到 100% 时进行。

9.1.2 模板拆除前，应通过温度观测结果推算混凝土成熟度，或通过同条件试件判断混凝土强度。

9.1.3 模板及模板保温层拆除时，构件中心与表面或构件表面与环境温差不应超过 15℃；当采用外部热源加热养生混凝土，当养生完成后环境温度仍在 0℃ 以下时，应待混凝土冷却至 5℃ 以下后，才可拆除模板。

9.1.4 桥面铺装、支座垫石、湿接缝、铰接缝、伸缩缝混凝土等表面系数较大构件，在模板拆除后或浇筑完成后裸露面，应使用不透水材料围护以防止水分散失。

9.1.5 拆除模板时对混凝土造成损伤部位，对于水平面，可采用自流平砂浆进行修补，对于侧面以及仰面，可采用高强灌浆料配结构胶修补。

9.2 养生要求

9.2.1 选择养生方法应结合不同构件以及现场情况，按本文件中第 4 章有关规定执行。

9.2.2 养生过程中应有专人测量温度、湿度，并检查覆盖物完好情况。

9.2.3 养生期间，应计算混凝土成熟度、估算强度。成熟度计算和强度估算方法参照本文件第 11.2 条和附录 C。

9.2.4 养生完成后，应采取措施使构件表面缓慢降温至环境温度。降温过程宜不少于 8h。

10 钢筋与预应力工程

10.1 钢筋工程

10.1.1 钢筋加工应避风防风，宜搭设钢筋加工棚；室外焊接，风力超过 4 级时，应采取挡风措施，风力超过 5 级时，不应在室外实施焊接作业。

10.1.2 采用电弧焊接时，应根据钢筋级别、直径、接头形式和焊接位置，选择适宜的焊接工艺和焊接参数。在环境温度低于 -5℃ 条件下进行钢筋电弧焊接，即为钢筋低温焊接，此时应调节钢筋焊接工艺参数，使焊缝和热影响区缓慢冷却。宜采用多层控温施焊工艺，与常温焊接相比，宜增大焊接电流，降低焊接速度。应防止焊接后冷却速度过快，同时也应防止接头过热。

10.1.3 低温下焊接钢筋应有防淬火措施，焊接的钢筋温度不应过快降低；焊条在使用前，应在 300℃

温度下烘干 2h, 然后放置在 80~100℃烘箱中随用随取; 焊接时, 环境温度低于-10℃时, 不宜进行钢筋连接焊接工作。

10.1.4 负温条件下使用的钢筋, 应加强管理和检验。钢筋加工、运输、安装过程中应防止产生撞击、刻痕等缺陷, 特别使用 HRB500 钢筋及其他高强度钢筋时尤为注意。

10.1.5 应加强冬期施工钢筋连接质量外观和力学性能的检查检测。

10.1.6 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。

10.2 预应力工程

10.2.1 应加强对锚夹具的保管和保护, 对缺乏使用经验的特殊结构构造, 或易使预应力钢筋产生刻痕或咬伤的锚夹具, 应进行构造、构件和锚夹具负温性能试验。

10.2.2 先张法预应力筋放张应以混凝土同条件试件强度达到 90%为判断标准, 且弹性模量应达到设计要求, 不宜以经验龄期控制。

10.2.3 张拉预应力筋时环境温度不应低于-10℃。

10.2.4 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, 且应在使用环境温度条件下进行配套校验。

10.2.5 预应力筋张拉前, 油泵应断续多次开停后再正式张拉。

10.2.6 孔道压浆应在温度较高时进行, 并加强构件防风保温工作。确保在孔道压浆时及压浆完成后 48h 内环境温度和混凝土温度不低于 5℃, 要确保压浆料养生期内不受冻。环境温度低于 5℃时, 应对孔道位置进行覆盖; 当环境温度在 0℃以下时, 应采用电热毯或电伴热带对孔道位置加热, 直到水泥浆强度达到设计强度的 75%为止。

11 质量检查与评价

11.1 一般要求

11.1.1 构件冬期施工过程中, 应检查和控制原材料质量、配合比、混凝土工作性等。

11.1.2 混凝土浇筑过程中, 应留取足够数量混凝土强度试件以确定拆模强度、混凝土强度以及弹性模量等之用, 同时还应制取标准条件下养生混凝土强度评定试件。

11.1.3 混凝土养生过程中, 应量测温度, 并检查覆盖物、供热系统完好性。

11.1.4 混凝土模板拆除后, 应检查混凝土表面是否有破损、裂缝、受冻等情况, 并做好记录, 冬期后统一维修。

11.1.5 在每年 3 月 1 日后, 应组织冬期施工构件质量检查工作, 主要项目有: 外观冻胀或破损情况、裂缝、气孔、漏浆、漏振等外观质量, 保护层厚度、碳化深度、混凝土回弹强度、几何尺寸以及内业资料等。

11.1.6 冬期施工解除后, 应对冬期施工方案措施执行情况、实施效果情况、创新情况以及积累的各项经验总结, 形成文件予以保存。

11.2 等效龄期与强度估算

11.2.1 应加强对采用蓄热法或负温养生的冬期施工结构混凝土测温工作,并以此作为混凝土等效龄期和成熟度计算依据。

11.2.2 冬期施工混凝土构件在蓄热法或负温养生条件下,应采用成熟度法估算强度。成熟度法强度估算方法参考按附录 C。

11.2.3 混凝土等效龄期应按养生方法和结构情况,取日均养生温度逐日相加达到 $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时所对应的龄期(相当于标准条件下养生 28d,当温度为 4°C 以下时龄期不计入),此龄期最短为 14d,最长不宜大于 60d。

11.3 构件受冻判断

11.3.1 对于用蓄热法和负温养生的混凝土构件,以及加热升温不稳定的养生构件,应进行构件受冻情况判断。

11.3.2 混凝土浇筑过程中,除应按 JTG F80/1 要求制取标准养生试件外,还应制取同等数量同条件试件与构件同条件养生 14d 后,再移到标准条件下养生 21d。在该条件下养生 35d 混凝土试件抗压强度(记为 $f_{14d'+21d}$),与标准养生条件下养生 28d 混凝土试件抗压强度(记为 f_{28d})相比较。

a) 受冻判定。若 $f_{14d'+21d} \geq f_{28d}$,则说明混凝土未受冻;若 $f_{14d'+21d} < f_{28d}$,则说明混凝土曾受冻。

b) 合格判定。若 $f_{14d'+21d} \geq f_{28d} \geq f_b$ (f_b 为混凝土设计强度),此时将 f_{28d} 作为混凝土强度质量的代表值,按 JTG F80/1 进行合格性评定;若 $f_{14d'+21d} < f_{28d}$,则不论 f_{28d} 是否大于 f_b ,均应视为质量缺陷;若 $0.8 f_{28d} \leq f_{14d'+21d} < f_{28d}$,应在构件总龄期达 60d 时进行钻芯强度和碳化深度试验,若 60d 钻芯强度未达到设计强度 f_b ,或者碳化深度大于 10mm,应做废弃处理;若 $f_{14d'+21d} < 0.8 f_{28d}$,则判定构件不合格。

12 质量缺陷处理

12.1 新拌混凝土缺陷

12.1.1 新拌混凝土在运送至现场入模之前,不应出现假凝现象。

12.1.2 运输至现场混凝土温度不满足入模要求时,应加热满足要求后再进行浇筑。

12.1.3 由于缺乏养生措施,在混凝土终凝前遭受冻害的混凝土应予以凿除。

12.2 成型混凝土缺陷

12.2.1 混凝土终凝后尚未达到受冻临界强度之前混凝土受冻,应予以凿除处理。

12.2.2 无法判断混凝土受冻时是否达到了受冻临界强度,宜通过敲击声音、强度回弹检测、碳化深度检测以及外观表现等综合分析试验确定受冻影响深度。如果受冻影响平均深度不大于构件几何尺寸允许值,可通过表面硅烷浸渍封闭、碳纤维布加固等方式处理,如果超过构件几何尺寸允许值,则应敲除或

者采用其它有效的加固措施进行加固。

12.2.3 表面局部破损应采用高强灌浆料等材料修补，对于表面裂缝，视情况予以表面封闭或者灌缝处理。

12.2.4 不满足 11.3.2 要求的混凝土构件，应在构件龄期不超过 60d 内再进行强度、碳化深度及外观检测，若强度未达到设计要求或碳化深度 60d 内超过 6mm，或外观有明显冻胀剥落，应将构件予以凿除。

12.2.5 对于等效龄期超过 60d 的构件，应在交工验收前通过外观检查、超声回弹强度测定、保护层厚度检查以及碳化深度检测等进行耐久性判断。

附 录 A
(规范性)
混凝土的热工计算方法

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。

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

..... (A.1)

式中:

T_0 ——混凝土拌合物温度 (°C);

T_s ——掺合料的温度 (°C);

T_{ce} ——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。

$$T_1 = T_0 - 0.16(T_0 - T_p) \quad \text{..... (A.2)}$$

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。

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

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。

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

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

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) (°C)；

ΔT_y ——采用装卸式运输工具运输混凝土时的温度降低 (°C)；

ΔT_b ——采用泵管输送混凝土时的温度降低 (°C)；

ΔT_1 ——泵管内混凝土的温度与环境气温差 (°C)；

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

T_a ——室外环境温度 (°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·°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·°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)

w ——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。

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

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（℃）；

c_f ——模板材料的比热容[kJ/(kg·℃)]，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·℃)]，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（℃），可采用当时的环境温度；

T_s ——钢筋的温度（℃），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。

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

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

式中：

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

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

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

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

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

式中：

T_4 ——混凝土蓄热养生开始到某一时刻的温度（℃）；

T_m ——混凝土蓄热养生开始到某一时刻的平均温度（℃）；

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 [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]，按式 A.13 计算得到；

Q_{ce} ——水泥水化累积最终释放量 (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/m^3)；

d_i ——第 i 层围护层厚度 (m)；

λ_i ——第 i 层围护层的导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]。

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} 表

| 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 w

| 围护层种类 | 透风系数 w | | |
|-----------------|---------------------|---|---------------------|
| | $V_w < 3\text{m/s}$ | $3\text{m/s} \leq V_w \leq 5\text{m/s}$ | $V_w > 5\text{m/s}$ |
| 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 / $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ | 比热容 c / [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$] | 材料名称 | 导热系数 λ / $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ | 比热容 c / [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$] |
|---------|--|---|-------|--|---|
| 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 |
| 软木板 | 0.065 | 2.10 | 毛毡 | 0.06 | 1.88 |

表 A.3 常用材料的导热系数 λ 和比热容 c (续)

| 材料名称 | 导热系数 λ / W/(m·°C) | 比热容 c / [kJ/(kg·°C)] | 材料名称 | 导热系数 λ / W/(m·°C) | 比热容 c / [kJ/(kg·°C)] |
|------|------------------------------|---------------------------|-------|------------------------------|---------------------------|
| 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°C 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 $KM_s \geq 50$ 时,也可按式 (A.14) 直接计算:

$$t_0 = \frac{1}{V_{ce}} \ln \frac{\varphi}{T_{m,a}} \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

t_0 ——混凝土蓄热养生冷却至 0°C 的时间 (h),混凝土冷却至 0°C 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)
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 | 平均温度 | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

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:外加剂掺量 (%))

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

冬期施工混凝土养生测温记录见表 B.3。

表 B.3 冬期施工混凝土养生温度记录表

分部工程名称:

构件名称和编号

养生方法:

年份:

| 测温时间 | | 大气温度 (°C) | 测温孔编号 | | | | | 平均温度 (°C) | 间隔天数 | 成熟度 (M) | |
|------|---|-----------|-------|---|---|---|---|-----------|------|---------|----|
| 月/日 | 时 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | 本次 | 累计 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

施工负责人:

测量人:

附 录 C
(规范性)
成熟度法混凝土强度估算

C.1 等效龄期的计算

C.1.1 当混凝土的强度在标准强度的 20~60%之间时，按式 (C.1)、(C.2) 进行等效龄期的计算。

$$D_e = \sum m_t \cdot a_t \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

D_e ——等效龄期 (h)；

m_t ——温度为 t 的等效系数；可按 C.2 计算

$$m_t = 0.273 + 0.0224t + 0.000706t^2 \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中，

a_t ——温度为 t 的持续时间 (h)，为现场混凝土养生连续测温的实测数据。

C.1.2 也可以按实际生产配合比配置混凝土试件，通过拟合回归的方法自行推导等效系数的计算公式。

C.2 回归成熟度-强度曲线方程

C.2.1 应采用与构件混凝土原材料和配合比相同的混凝土，制作不少于 5 组混凝土立方体标准试件，并在标准条件下养生，测试 1d、2d、3d、7d、28d 的强度值。采用各龄期强度数据回归拟合成如式 (C.3) 曲线方程形式，回归得到参数 a、b。

$$f = a \times e^{-\frac{b}{D}} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

f ——混凝土立方体抗压强度 (Mpa)；

D ——养生天数 (d, $D = \frac{D_e}{24}$)

C.2.2 将 D 代入到公式 (C.3) 得到根据等效龄期估算的混凝土强度。

C.2.3 可以根据该种混凝土在 20℃ 条件下的龄期-强度关系估算达到的强度。

C.2.4 当采用蓄热法或综合蓄热法养生时，也可按如下步骤确定混凝土强度：

a) 用标准养生试件各龄期的成熟度与强度数据，经回归分析拟合成公式 (C.4) 的成熟度—强度曲线方程。

$$f = a \times e^{-\frac{b}{M}} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

M——混凝土养生的成熟度 (℃·h)。

b) 根据现场混凝土测温结果，按公式 (C.5) 计算混凝土的成熟度。

$$M = \sum (T + 15) \times a_i \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

T ——在时间段 a_i 内混凝土评价温度 (°C)

c) 将成熟度 M 代入公式 (C.4) 中，可计算出现场混凝土强度 f 。

d) 将混凝土强度 f 乘以综合蓄热法调整系数 0.8，即为混凝土的实际强度。

附 录 D
(资料性)
支座垫石冬期施工养生装置

D.1 支座垫石冬期施工恒温保湿养生装置

D.1.1 养生装置的组成如下所述：

a) 桥梁支座垫石冬期施工恒温保湿养生装置是在钢模板结构外壁活动连接有加热组件，加热组件由模板加热结构和垫石顶面加热结构活动连接而成。

b) 模板加热结构中的塑形封板安装在垫石模板的外表面，塑形封板为双层软质塑料板材结构，在双层软质塑料板材之间环绕铺设有小水管和第二电伴热带。

c) 垫石顶面加热结构包括顶面塑形封板，设置于垫石模板的开口内，顶面塑形封板为双层软质塑料板材结构，双层软质塑料板材之间铺设第一电伴热带，顶面塑形封板上开设有若干透水孔。

d) 顶面塑形封板偏向垫石模板开口的一面粘附有蓄水土工布。

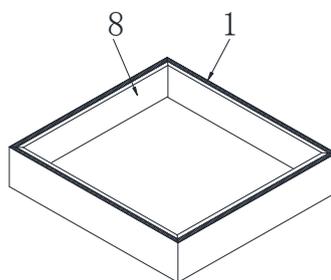
e) 模板加热组件外活动套设有供恒温保湿的软玻璃罩，软玻璃罩外侧设置有防冻自粘式保温棉、温度控制器和自动给水控制器。

f) 塑形封板和顶面塑形封板均为密封的双层耐高温软质塑料板结构，耐高温软质塑料板的单层厚度为2mm，第一电伴热带和第二电伴热带均为宽度12mm的工业级电伴热带，小水管为医用塑料管结构，其内径为3mm，小水管和第二电伴热带为平行并列密贴布设。

g) 透水孔均不与第一电伴热带相接触，第一电伴热带位于顶面塑形封板内的一端套设有防水阻燃热缩管，另一端与第二电伴热带分别通过专用公接头和专用母接头相互连接。

h) 小水管的两端均位于双层板材之外，且一端连接于外水源，第二电伴热带两端均位于塑形封板之外，且均连接有专用母接头。

D.1.2 装置构成见图 D.1~图 D.5。

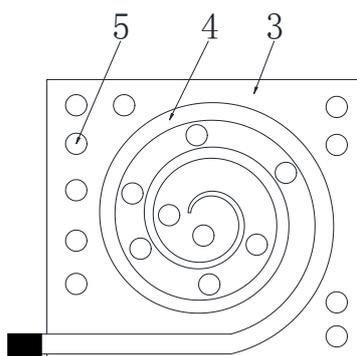


标引序号说明：

1——塑形封板；

8——垫石模板。

图 D.1 垫石模板和模板加热结构的立体结构示意图



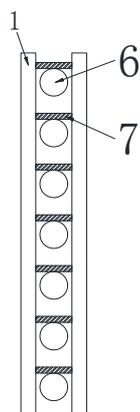
标引序号说明：

3——顶面塑形封板；

4——第一电伴热带；

5——透水孔；

图 D. 2 垫石顶面加热结构的平面结构示意图

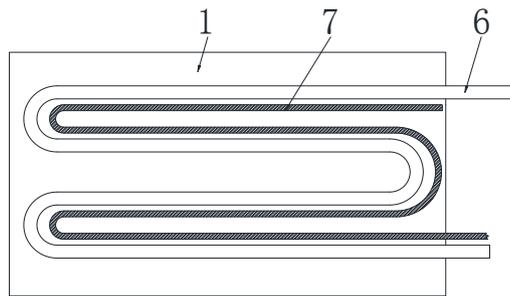


标引序号说明：

6——小水管；

7——第二电伴热带；

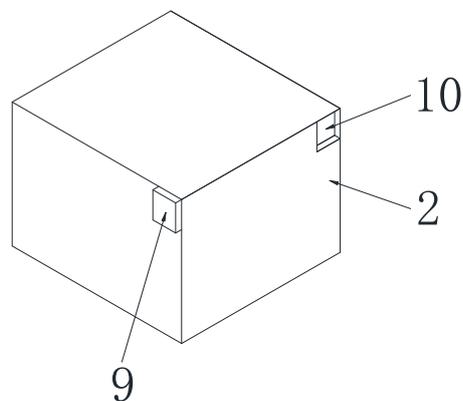
图 D. 3 模板加热结构的剖视结构示意图



标引序号说明：

- 1——塑形封板；
- 6——小水管；
- 7——第二电伴热带；

图 D.4 模板加热结构的立面示意图



标引序号说明：

- 2——软玻璃罩；
- 9——温度控制器；
- 10——自动给水控制器。

图 D.5 软玻璃罩示意图

D.2 节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置的制作方法

D.2.1 装置的组成如下所述：

a) 节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置包括罩在支座垫石上的保温罩以及设在保温罩上的加热供水装置和回水装置。保温罩为双层结构，该双层结构间留有空隙，空隙内均布有用于支座垫石保温的水热毯，水热毯是由并行环绕在空隙内的热水管和常温水管组成。热水管和常温水管均设有进水口和出水口；加热供水装置通过出水管连接热水管的进水口，回水装置通过进水管连接热水管的出水口，加热供水装置与回水装置之间通过回水管连通形成热水循环；常温水管的进水口与常温水供水端相连，常温水管的出水口位于支座垫石顶面处。

b) 加热供水装置包括热水瓶和瓶盖，瓶盖上开设有若干安装孔，瓶盖上通过安装孔安装有水位传

感器、出水接管、加热电极片和第一回水接管，第一回水管位于储水瓶内的管端设有负压气阀。

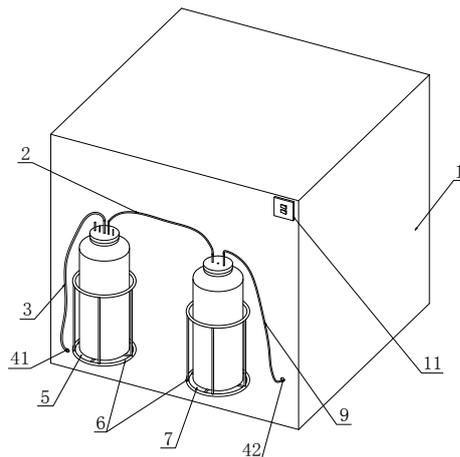
c) 回水装置包括回水瓶和瓶盖，瓶盖上开设有空气流通孔和若干安装孔，瓶盖上通过安装孔安装有第二回水接管和进水接管。

d) 加热供水装置以及回水装置均是通过托架悬挂在保温罩外侧的。

e) 保温罩为无底的长方体结构，保温罩外侧粘贴自粘式保温材料。

f) 节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置在双层结构的保温罩间并行环绕布设热水管和常温水管形成水热毯，水热毯内热水管中的热水是用于加热保温罩内空气的，常温水管内的常温水通过与其并行的热水管中热水的热量将其温度升高，然后将加热的水排放到支座垫石顶面，以利于支座垫石的保温保湿；同时加热供水装置内的热水进行加热时，容器内空气压力增大，从而使热水从加热供水装置中压入到热水管内，热水从密闭的加热供水装置中流入到水热毯，再通过绕设的热水管，返回到回水装置中；而当加热供水装置中的温度达到一定温度时，停止加热，此时加热供水装置内的压力减小形成负压，负压将回水装置中的水吸入到加热供水装置中，实现热水的循环利用，节约能源。

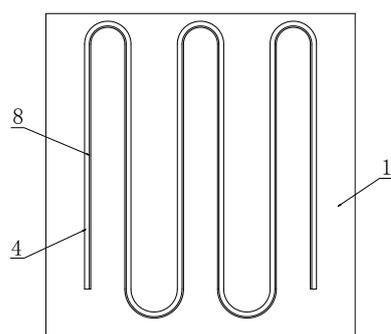
D.2.2 装置构成见图 D.6~图 D.9。



标引序号说明：

- 1——保温罩；
- 2——回水管；
- 3——出水管；
- 4——热水管；
- 41——热水管的进水口；
- 42——热水管的出水口；
- 5——加热供水装置；
- 6——托架；
- 7——回水装置；
- 9——进水管。

图 D.6 节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置的结构示意图



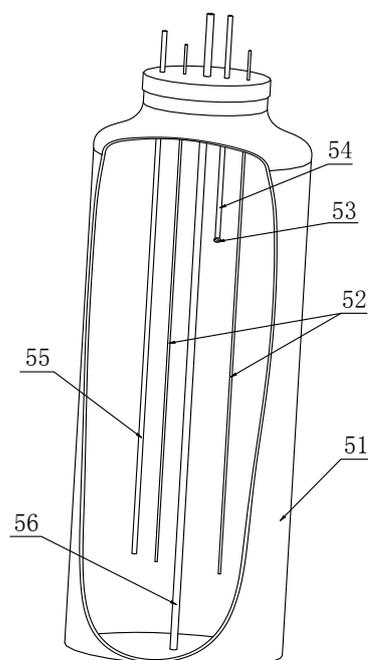
标引序号说明:

1——保温罩;

4——热水管;

8——常温水管。

图 D. 7 热水管和常温水管的结构示意图



标引序号说明:

5——加热供水装置;

51——热水瓶;

52——加热电极片;

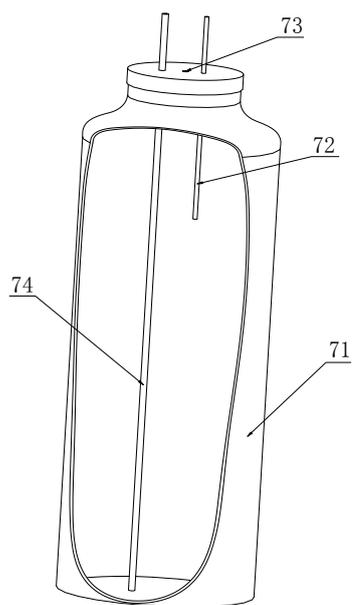
53——负压气阀;

54——第一回水接管;

55——水位传感器;

56——出水接管;

图 D. 8 加热供水装置的结构示意图



标引序号说明：

7——回水装置；

71——回水瓶；

72——进水接管；

73——空气流通孔；

74——第二回水接管。

图 D.9 回水装置的结构示意图

参 考 文 献

- [1] 项玉璞,曹继文. 建筑施工技术系列手册-冬期施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 黄斗才. 建筑工程冬期施工实用手册[M]. 北京:水利电力出版社, 1993.
- [3] 像翥行. 冬季施工混凝土施工工艺学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1993.
- [4] 中华人民共和国交通部. 公路工程国内招标文件范本[M]. 北京:人民交通出版社, 2003
- [5] 朱卫中,姚吉元,项玉璞,王公山. 建筑工程禁忌系列手册—冬期施工禁忌手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.
- [6] 中华人民共和国行业标准. 公路桥涵施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2000.
- [7] 付士雪. 冬期施工混凝土温度优化计算及强度预测[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2019.
- [8] 邱亚. 成熟度法预测冬期施工混凝土的强度[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2016.
- [9] 郝臣君. 寒冷地区冬季混凝土施工质量控制研究[D]. 西安:西安科技大学, 2012.
- [10] 杨德嵩. 低纬度季风气候混凝土冬期施工技术研究与应用[J]. 施工技术, 2020(06):402-404
- [11] 江苏省交通技师学院. 一种用于桥梁支座垫石冬期施工恒温保湿养生装置[P]. 中国: CN202120306015. 6, 20211102.
- [12] 江苏省交通技师学院. 一种节能型支座垫石混凝土冬期施工水热恒温养生装置[P]. 中国: CN202120486804. 2, 20211026.

高速公路桥梁混凝土构件冬期施工技术指南

条文说明

1 范围

条文中明确了本文件的适用范围，是适用于高速公路桥梁构件混凝土冬期施工，其他等级的公路与水运工程可以参照执行。

对于公路小型结构物、路基路面工程混凝土结构的冬期施工，也可以按本文件中的条款进行质量控制。

2 规范性引用文件

本文件引用的标准文件更新时，以更新后的文件为准。本文件条文说明对条款内容说明中给出的文献和标准，不属于规范性引用文件，不随文献或标准的更新而变化。

3 术语和定义

3.1

冬期施工

在江苏地区每年进入冬季后对混凝土构件按冬期施工要求组织的施工工作，或者虽不满足冬期施工条件，但由于较低温度对混凝土强度增长产生影响，建设单位或者监理单位认为必须采取必要的养生措施，在这段时间内组织的混凝土施工。江苏地区宜在每年11月20日至次年的3月5日这段时间按冬期施工规则进行施工组织。

冬期施工的起讫日期一般为从环境平均气温连续5d稳定低于5℃开始，至第二年年初环境平均气温连续5d稳定高于5℃时结束；或者当冬季气温第一天进入0℃开始，至第二年年初第一天进入10℃结束。但是，由于江苏地区满足这两个条件的时段较短，而低温施工又确实对混凝土强度增长不利，为保证工程质量，促进技术进步，既要保证低温施工准备适时进行，又要避免资源的浪费，因此规定了在江苏地区宜在每年11月20日至次年的3月5日这段时间按冬期施工进行施工组织。这是组织冬期施工的基础。

在《建设工程冬期施工手册》（黄斗才，水利电力出版社，1993）中研究结果表明，江苏南京冬期施工时间为每年12月8日至次年2月28日；连云港冬期施工时间为每年11月27日至次年3月11日；徐州冬期施工时间为每年11月26日至次年3月2日；上海冬期施工时间为每年12月24日至次年2月23日，综合分析，确定每年11月20日至次年的3月5日这段时间按冬期施工进行施工组织是合理的。

3.3

受冻临界强度

低温浇筑的混凝土在受冻之前必须达到的最低强度。

混凝土在凝结过程中如受到负温侵袭，水泥的水化作用受到阻碍，其中游离水分开始结冰，体积增大9%，有使混凝土冻裂而严重影响混凝土质量的危险。混凝土初期受冻后再置于常温下养生，其强度虽仍能增长，但已不能恢复到未遭冻害的水平；而且遭冻愈早，后期强度的恢复就愈困难。为了探索新浇

混凝土在受冻前达到多大强度才能基本上避免冻害，各国都做过大量试验。中国现行规范规定，这一临界强度值一般认为为28天正常养生强度的40%，并不小于5Mpa。

JGJ/T 104规定，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30%；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、复合硅酸盐水泥配制的混凝土时，不应低于设计混凝土强度等级值的40%。考虑到公路桥梁施工的气温、湿度等环境条件较差，JTG/T 3650将此抗冻临界强度各提高10%，分别为40%和50%。且当施工需要提高混凝土强度等级时，应按提高后的强度等级确定抗冻临界强度。

掺防冻剂的混凝土，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。

对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%。

任何情况下，混凝土受冻前的强度不得低于5.0Mpa。

3.8

混凝土养生期

混凝土浇筑完成后，在构件所处的养生温度和湿度条件下进行养生，逐日累计温度不少于140℃的持续时间，且不少于7d。

通常情况下的混凝土养生期为7d，其意义是标准温度（20±2℃）和标准湿度（95%）以上的条件下养生7d。而在温度低于20℃时混凝土要达到同样的效果，其逐日累加温度应达到140℃以上。这里实际上规定了两个养生条件，一个是不少于7d，一个是累计温度不少于140℃。

3.10

综合蓄热法

掺早强剂或复合型早强剂的混凝土浇筑后，利用原材料加热及水泥水化放热，并采取适当保温措施延缓混凝土冷却，使混凝土温度降到0℃以前达到受冻临界强度的施工方法。

该方法一般适用于不太寒冷的地区（室外平均气温-15℃以上），厚大结构（表面系数不大于5）和地下结构等。综合蓄热法具有施工简单，不需外加热源，节能，施工费用低等特点。因此，在混凝土冬期施工时应优先考虑采用。只有当确定该方法不能满足要求时，才考虑使用其他方法。

综合蓄热法养生的三个基本要素是混凝土的入模温度、围护层的总传热系数和水泥水化热值。应通过热工计算调整以上三个要素，使混凝土冷却到0℃时，强度能达到临界强度的要求。

4 施工技术准备

4.1 一般要求

4.1.6 冬期施工技术管理应明确把技术创新作为质量管理的重要内容，应大力推广新工艺、新材料、新设备、新方法以及新理念。

4.1.7 宜将全面质量管理理念贯穿于冬期施工技术管理工作中，开展和推进QC活动，运用PDCA循环解

决质量问题和预防质量事故。

本条款的规定主要考虑混凝土冬期及低温施工是公路桥梁施工技术创新的关键环节,施工单位应尽量采用有利于提高质量、保证安全、缩短工期、节能环保的新材料、新设备、新工艺、新方法和新理念。鼓励微改造、微创新、微提升,倡导小发明、小创造、小革新、小设计、小建议,对关键部位、关键材料、关键工艺、新型设备以及尚不明晰技术理论等进行立项研究。采用节约水泥并加快混凝土早期增长强度的技术措施。施工单位宜进行有针对性的科研课题研究、专利的研制以及开展QC活动,有利于进行质量改进、促进科学管理和技术进步。

4.2 施工专项方案

4.2.6 本节4.2.6中, i)对施工计划有明确要求。“宜使用甘特图或网络计划图,并宜与资金流向计划图进行整合”。

工程管理曲线由两条S曲线组成,即由以各项工作的最早开始时间安排进度而绘制的S型曲线(称为ES曲线)和以各项工作的最迟开始时间安排进度而绘制的S型曲线(称为LS曲线)组成,当未计算ES和LS曲线时,可以使用图4-1所示的香蕉曲线作为控制基准。其判别的原则是,将ES曲线和LS曲线围成的封闭图形作为最理想的计划状态,当所编制的计划S曲线在封闭图形范围内时,认为计划是合理的,否则,计划不合理;当实际进度S曲线靠近计划S曲线且在封闭图形范围内时,认为进度与计划基本重合;当实际进场S曲线在时间百分比为30%和70%时,工作量百分比未达到16%和59%,则判定为进度严重滞后,此时如果赶工,会投入大量资源;当实际进场S曲线在时间百分比为30%和70%时,工作量百分比超过35%和84%,则判定为投入资源剩余,施工组织不合理。

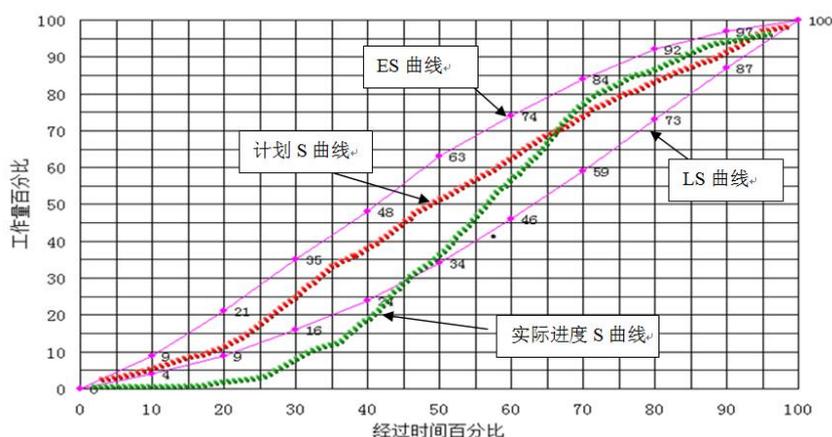


图4-1 进度管理曲线

4.4 构件混凝土养生方法的选择

4.4.1 应根据工程特点、现场施工条件、工程部位、表面系数和质量要求选择施工方法。应保证混凝土预估等效龄期不应超过60d,也不应少于14d,且应保证在混凝土达到受冻临界强度前不受冻。

混凝土强度在增长过程中,需要注意养生期间的累加温度,分别是140℃(保湿养生,强度增长的重要期)、600℃(强度达到设计强度的标准累计温度)以及1200℃(强度是否增长缓慢或者强度增长长期

间是否受冻的判定累计温度)。等效龄期最多60d和最少14d的规定来源于TB10426-2004《铁路工程结构混凝土强度检测规程》中8.3.2条,主要考虑,等效龄期14d,强度增长过快,后期强度增长缓慢,而等效龄期超过60d,强度增长缓慢,养生温度持续走低,对混凝土耐久性有影响。新版TB10426-2019《铁路工程结构混凝土强度检测规程》删除了等效龄期不大于60d和120d的规定,主要考虑了在严寒地区冬期时间较长,这一规定有其不合理性,因此,取消了时间上的规定,但是保留了以1200℃的累计温度进行控制。而在江苏地区,冬期施工时间较短,温度也相对北方也为高,如果等效龄期到60d还未达到设计强度,最可能的因素就是本身混凝土质量问题或者在低温情况下受冻引起,因此,本文件保留了60d的等效龄期峰值规定。

4.4.2 江苏地区冬期施工混凝土养生宜采用正温养生工艺。

对于湿接缝、桥面铺装等难以保温的薄板结构如果需要采用负温养生工艺,需经试验后,由总监批准执行。因混凝土的负温养生工艺是将混凝土完全置于环境之中,环境条件对混凝土强度增长以及变化是否有特殊影响需要进行试验验证。如果气候条件和养生措施等原因需要采用负温养生工艺,应经试验后,由总监批准执行。主要的试验项目有:昼夜间温度变化对混凝土的影响、混凝土负温养生下的力学性能、耐久性能、抗冻临界强度等。

4.4.3 预制场内预制构件养生应采用暖棚和电热蒸汽养生法,不宜采用大型锅炉设备蒸汽加热法养生,不应采用蓄热法和正负温综合养生法。

因蒸汽加热法养生对混凝土早期强度增长有利,而后期强度增长缓慢,有研究表明,早期通过高温养生的混凝土,容易造成后期强度增长明显降低或停止增长,且对混凝土的耐久性不利,因此不支持以高温的方式缩短养生时间的方法对混凝土进行养生。如果采用蒸汽加热养生的方法,可保持温度在30℃左右。如采用正负温综合养生,需进行相关试验后由总监批准执行。

4.4.4 地面以下基础与下部构造,宜采用蓄热法养生,并应保证混凝土温度在浇筑后头7d不低于10℃。如蓄热法不能满足上述养生要求,可采用电热毯、电伴热带模板加热辅助升温。

对于“保证混凝土温度在浇筑后的头7d不低于10℃”的规定,源于《公路工程国内招标文件范本》(2003年版),主要考虑混凝土强度偏低对于强度增长不利,有研究表明,当混凝土温度在0℃时,就水化反应基本停止,在-4℃时,完全停止,在4℃时,非常缓慢,因此,水泥混凝土强度增长成熟度计算时,将5℃作为强度增长的温度分界线,有文献甚至强调,混凝土养生成熟度温度的累计计算,当温度低于5℃时,该日温度不计入累计,高于5℃时,按实际均温进行累加。

4.4.6 上部结构整体现浇(如支架现浇箱梁、挂篮现浇箱梁等)应采用电伴热带模板加热、箱内电蒸汽加热、混凝土外露面电热毯加热(或蓄热)三者结合的方法养生。应确保养生期内混凝土任何部位温度不低于10℃。

只加热或保温外侧模板在一定程度上确实能保证整个结构温度的提升,但是,由于整体现浇的箱梁在外侧模板被加热后,混凝土紧贴外侧模板的部分温度要比其它部位要高,形成较大的温度梯度,容易形成裂缝,因此,为保证整个混凝土的温度均匀性、减小因温度梯度形成的混凝土拉应力,规定了本条

款。

4.4.10 冬期施工宜采用电蒸汽发生器、小型热水锅炉、电伴热带、安全煤球炉、电热管等作为热源供应装置，不宜采用大型锅炉以及明火燃烧设备。

电伴热带是近年桥梁冬期施工中常用的热源材料。使用电伴热带时，应以温控器来控制温度。

考虑使用安全和防火等，不宜采用明火燃烧设备进行混凝土的升温养生。

大型锅炉在安全性、经济性等方面均存在不足，采用大型锅炉高温蒸养对混凝土后期强度增长不利，影响耐久性。

5 资源准备

5.1 水泥及砂石材料

5.1.1 当采用蓄热法、综合蓄热法、暖棚法养生时，应优先选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，可以选择矿渣硅酸盐水泥；当采用蒸汽加热法进行养生时，应优先选择矿渣硅酸盐水泥，可以采用普通硅酸盐水泥。

水泥的水化反应速度随着温度的降低而减慢，为适应这种情况并及早获得抵抗早期受冻的强度，应该选择活性高、水化热大的水泥品种。而采用蒸汽湿热养生的混凝土则恰恰相反，希望水泥的水化热发生较迟、水化热量较小的水泥品种，因为这样会减轻由于急速湿热高温给混凝土带来的损害，宏观表现为后期强度损失小。

5.1.3 应做好水泥材料保温工作，水泥使用时温度应保持在 5℃ 以上。

本条款及 5.1.4 条款规定了原材料在使用前温度不应低于 5℃，主要考虑在温度较低的环境中，没有必要对材料进行加热的情况下，保证混凝土拌和温度和出机温度应保证原材料的初始温度不低于 5℃。

5.1.6 在掺有外加剂的混凝土中，应检查骨料中活性二氧化硅成份。

由于目前江苏地区混凝土用碎石来源较多，可能有存在二氧化硅成份的火成岩、沉积岩和变质岩，这些带有二氧化硅的岩石会与外加剂中的碱性成份发生碱骨料反应而导致混凝土破坏。

5.3 保温加热材料、仪器仪表及资料

5.3.2 应配备足够数量的温湿度测量仪器，如高低温温度计、温湿度计、红外测温计、电子感应仪等。

高低温温度计可以记录最高最低温度，并容易计算出每天的平均温度，因此是测量稳定环境温度的合适仪器；电子感应仪是适用于建筑工程测量温度的仪器，对混凝土结构的温度测量较适用。

6 生产准备

6.1 施工任务安排

6.1.3 进入冬期施工的分部分项工程，其作业面大致比例分配宜为：基础及下部构造作业面占45%，上

部预制和现浇作业面占35%，其他附属或次要项目占20%。

合理的施工组织是确保工期和保证质量的重要前提，考虑到公路桥梁冬期施工的特点和对质量、工艺、工期、劳力、材料供应、设备投入和成本的要求，在进行大量研究的基础上以统计技术得出了本条款规定的合理作业面分配布局数据。

7 温度测量

7.2 测温孔设置

构件测温孔的布设是进行冬期施工混凝土强度、成熟度以及等效龄期推算的基础，本章对桥梁构件测温孔布设的要求为最低要求，施工时，应根据构件尺寸、养生条件、环境温度、施工方法、风力风速等情况进行调整。

8 混凝土施工

8.1 混凝土搅拌

8.1.2 拌和用水加热温度应通过热工计算确定，最高加热温度以混凝土温度不超过 40℃为宜。

从材料的热学特征来看，水的热容量比砂石料要大很多，水的比热容约为砂石料的 5 倍，有研究表明，将 1000g 水提高 1℃ 获得的热量，相当于使 1000g 砂石料提高 5℃ 的热量，因此，将水加热是最经济有效的方式。一般情况下，在气温不低于 -8℃ 时，为减少加热工作量，只加热拌和水就可以满足拌合物的温度要求。

江苏地区一月份平均温度不太低，因此只考虑加热水，但是当日平均气温低于 -5℃ 时，应考虑加热砂。从经济性考虑，一般情况下不建议加热碎石。

本条款未对水加热的最高温度加以限制，JGJ/T 104 及 JTG/T 3650 中规定拌和水加热的最高温度为 60℃，但也有文献研究表明，当混合料中的温度高于 40℃ 后，水泥将会出现假凝趋势，因此，为了保险起见，规定了最高加热温度应以混凝土的温度不超过 40℃ 为宜。

8.1.4 材料投放到拌和机顺序宜为：先投入骨料和加热水，待搅拌一段时间后、温度降到 40℃ 左右时，再加入水泥继续搅拌至规定时间，以防止水泥假凝。

当水的温度不大于 60℃ 时，投料顺序按如下方式：投入粗骨料、细骨料，搅拌 15s 左右，再加入水和外加剂，搅拌 30s，待水温降至 40℃ 时，投入水泥、粉煤灰和矿粉，搅拌 120s；当水温大于 60℃ 时，投料顺序按如下方式：投入粗骨料、细骨料，搅拌 15s 左右，再加入水，搅拌 30s，待水温降至 40℃ 时，投入外加剂、水泥、粉煤灰和矿粉，搅拌 120s。

8.1.5 拌合物拌和时间应根据试验确定，最短搅拌时间不应低于 150s。掺外加剂的混凝土，其拌和时间应比平时增加 50%。

JGJ/T 104 中给出了混凝土的搅拌时间如表 8.1 所示。且在 JGJ/T 104、JTG/T 3650 以及相关的研究文献都提出，为了确保混凝土搅拌的均匀性和温度分配的充分均匀性，在冬期施工时，混凝土的搅拌

时间，均应比表 8.1 的搅拌规定时间适当延长，并且，JTG/T 3650 以及公路工程招标文件范本都明确给出了延长时间为 50%。但是考虑到江苏地区整体温度分配情况、目前拌和机性能以及实际施工中控制效果，规定了最低搅拌时间为 150s。

混凝土中掺入的外加剂应确保能均匀分布，特别在冬期气温较低的情况下，外加剂的均匀性难以保证，因此规定了以延长搅拌时间的方式保证外加剂均匀分布。

表 8.1 混凝土在常温下搅拌最短时间

| 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 |

8.1.7 混凝土拌合物出机温度不应低于 10℃。

本条款引用了 JTG/T 3650 的相关规定。冬期混凝土施工的每一个环节都可能会影响混凝土的施工质量，出机温度、入模温度以及开始养生时的温度均为控制的要点，查阅相关文献，并结合《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041-2000)中相关规定，确定了混凝土出机温度最低 10℃的规定。

8.2 混凝土运输

8.2.3 在运输过程中，混凝土温度不应降低过快，从出机至浇筑前，混凝土每小时温度降低不宜超过 5~6℃。否则宜加热拌和。

混凝土运输过程中是热损失的关键阶段。混凝土浇筑时的入模温度除了与拌合物的出机温度有关外，主要取决于运输过程中的蓄热程度。因此，运输速度要快，运输距离要短，倒运次数要少，保温效果要好，或利用运送车的废气进行加热。

拌合物出机运输到浇筑地点，温度会逐渐降低。经热工计算可计算出运输中混凝土温度降低值。

混凝土拌合物与拌和机的环境温度差影响着混凝土拌合物的热量损失。见表 8.2。

表 8.2 混凝土拌和、运输、浇筑时的温度降低值

| 拌合物温度与环境温差 (℃) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 拌合物的温度降低值 (℃) | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.5 | - | - | - |
| 一次转运的温度降低值 (℃) | 0.52 | 0.65 | 0.75 | 0.90 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 |
| 浇筑时温度降低值 (℃) | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 |

从表 8.2 中温度降低值可以看出，温差越大，降低值越大。因此在拌制混凝土时，一是要提高棚内温度；二是要根据气温条件加热原材料。当气温较低时，应在对拌和机和水泥罐等进行保温或预热。

8.3 构件浇筑

8.3.3 浇筑前宜对模板、钢筋以及工作缝等部位用热风预热，且需保持这些部位与混凝土的结合面温度在 5℃ 以上。

建筑规范 JGJ/T 104 和相关的研究给出这些部位的温度应大于 2℃，考虑到桥梁为野外构件，将此温度提升至 5℃。

8.3.4 接柱、接桩、墩柱等混凝土浇筑前，应在上一次浇筑混凝土水平面上涂抹一层 20mm 热砂浆；现浇上部结构、湿接缝、铰接缝等竖直工作缝上应涂抹一层 5mm 厚热水泥净浆。水泥砂浆和水泥净浆强度均不低于构件本身强度。

为保证新旧混凝土的粘结，对于施工缝的处理，在《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041-2000) 中有明确规定，在近两次规范的更新中，对此要求进行了删除，但是有文献表明，对混凝土施工缝采用水泥砂浆和水泥净浆进行处理后，更有利于新旧混凝土的结合，因此，本文件做了要求。

8.3.7 桥面铺装混凝土、铰接缝混凝土、桥面连续湿接缝、分两次浇筑梁体、结构两次浇筑垂直面等重要部位，在混凝土浇筑前，其结合面温度应保证在 5℃ 以上。结合面加热宜采用电热蒸汽发生器、持续热风设备，不应使用热水加热。

混凝土结合面的温度为 5℃，引用了《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041-2000) 的相关要求。主要考虑结合面混凝土如果温度过低，在遇到温度较高的混凝土时，接触部位新浇混凝土热量急剧损失，温度迅速下降，对粘结部位的强度增长不利。对结合面进行加热时，应采用蒸汽设备或热风设备进行，不应使用热水，因温度较低的结合面遇到热水时，会迅速吸收热水的热量而使热水冰冻甚至结冰。

8.3.8 保证任何构件浇筑混凝土时入模温度不应低于 5℃。现浇上部构件以及湿接缝、铰接缝、桥面铺装等，混凝土入模温度不宜小于 10℃；地面以下桩基、接桩、承台等表面系数较小构件，可适当降低，但不应低于 5℃；容易散热部位（如无挡风设施的野外墩台、盖梁、支座垫石等）入模温度不宜低于 8℃。

本条款参考《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041-2000) 和 JTG/T 3650 的规定，入模温度应不低于 5℃。考虑细薄等容易散热的重要部位，并结合相关文献以及多年江苏各施工单位热工计算的结果。

混凝土入模温度与自然温度、保温材料及条件、结构表面系数和混凝土强度要求等因素有关，一般由热工计算来确定。在浇筑混凝土过程中，如模板、钢筋未经预热，则考虑模板和钢筋的吸热影响，混凝土成型完了时温度由附录 A 给定的方法进行计算。

对要求高、发展快、养生时间短的，入模温度要高，一般在 15~20℃。如表面系数小，工期不急，只要求具有免遭受冻害的强度，则入模温度可以低一些。但一般不应低于 5℃，采用掺加防冻剂的混凝土也不能低于设计冰点加 5℃，这个温度主要保证通过保温覆盖不致使混凝土温度降低至冰点。提高和控制混凝土的入模温度是低温施工的主要措施之一。

8.3.9 浇筑现浇上部结构、挂篮施工上部结构时，当环境温度低于 -10℃，应进行温度应力核算。温度应力核算方法宜按本文件条文说明中 9.1.3 条给出的公式进行。

环境温度低可能导致混凝土表面产生巨大拉应力，此规定是为了了解构件在低温状态下应力情况。

8.3.10 冬期施工混凝土应连续，不宜设置施工缝，如必须设置，应按图纸给出的位置设置施工缝，如图纸未明确施工缝位置，应在应力核算后确定施工缝设置位置并经监理工程师审批。

冬期施工的构件如果设置施工缝，应保证施工缝所在位置在施工时受外界环境影响最小，在施工完成后，在温度变化下产生的应力较小，在外部荷载以及自重的作用下应力较小。

8.3.12 现浇上部结构和挂篮施工上部结构以及大体积混凝土浇筑时，结构内部和表面温差应不大于 15°C ，结构外界温度与浇筑混凝土表面温度不应大于 15°C ，钢模板表面温度与新浇混凝土温差应不大于 15°C ，在已完工结构上继续施工前，原结构表面和浇筑的混凝土温差应不大于 15°C 。

JTG/T 3650-2020 中 25.2.11 中要求混凝土表面温度与环境温度之差 20°C 时，仍需要对混凝土进行覆盖，以防止裂缝。有研究表明，在混凝土温度梯度产生超过 10°C ，就有较大应力存在，因此本文件规定的温度为 15°C 。

9 模板拆除和混凝土养生

9.1 模板拆除

9.1.1 侧模板以及不承受力的模板拆除，应在混凝土达到 5Mpa 且达到混凝土受冻临界强度后进行，承重模板拆除应在混凝土强度达到100%时进行。

对于侧模板以及不承受力的模板拆除时，通常情况下规定混凝土强度应大于 5Mpa ，在冬期施工时，侧模板还起到了保温作用，一旦拆除会影响强度。因此，做了需达到混凝土受冻临界强度的规定。

考虑到冬期施工的特殊性，在一般情况下，承重模板的拆除应在混凝土强度达到100%时进行，对于集中预制的构件，由于保温条件较好，可适当放宽。

9.1.2 模板拆除前，应通过温度观测结果推算混凝土成熟度，或通过同条件试件判断混凝土强度。

成熟度计算是混凝土理论强度推算结果，同条件试件强度为实际强度，拆除模板前，可以通过计算成熟度判断理论强度，也可以通过同条件试件强度了解实际强度。

9.1.3 模板及模板保温层拆除时，构件中心与表面或构件表面与环境温差不应超过 15°C ；当采用外部热源加热养生混凝土，当养生完成后环境温度仍在 0°C 以下时，应待混凝土冷却至 5°C 以下后，才可拆除模板。

JTG/T 3650 中规定，模板及模板保温层拆除时，构件中心与表面或构件表面与环境温差不应超过 20°C 。参阅相关文献，对此表述说法不一，有文献指出，在温度差超过 10°C 的表面，就有混凝土表面砂浆应力达到峰值，因此规定了此温度为 15°C 。

当构件保温层和模板拆除后，混凝土本身温度若高于环境气温，则温度差将在构件中产生温度梯度。构件的表面系数较小或者风速较大时，温度梯度相应增加。由温度梯度而造成的变形将产生温度应力。混凝土的强度在达到设计强度的30%前，由于混凝土本身的热粘弹性，温度应力较小，而混凝土强度较高时，当温度应力超过了混凝土的抗拉极限强度，混凝土便开裂。

混凝土的温度应力由式（1）计算得出。

$$\sigma_t = (t_c - t_s)E\alpha\beta \frac{1}{1-\mu} \dots\dots\dots (1)$$

式中，

σ_t ——温度应力 (Mpa)；

t_c ——混凝土中心温度 (°C)；

t_s ——混凝土表面温度 (°C)；

E ——混凝土弹性模量 (Mpa)；

α ——混凝土线膨胀系数 (1/°C)，一般取 $(10\sim 14) \times 10^{-6}$ ；

β ——构件断面内的温度分布特征系数，取 0.5~1.2；

μ ——横向弹性变形系数 (泊松比，取 0.2)。

9.1.4 桥面铺装、支座垫石、湿接缝、铰接缝、伸缩缝混凝土等表面系数较大构件，在模板拆除后或浇筑完成后裸露面，应使用不透水材料围护以防止水分散失。

表面系数较大的构件，保温层和模板拆除后，在温度梯度与风的共同作用下，由于水分的迁移和蒸发，有可能造成脱水而使混凝土的硬化过程停滞。因此在厚度小于 100mm 的构件，在拆除模板和保温层后，在裸露表面应使用塑料薄膜等不透水材料围护，以防止水分蒸发。

9.2 养生要求

9.2.4 养生完成后，应采取使构件表面缓慢降温至环境温度。宜不少于 8h。

养生完成后，混凝土内部温度可能较高，如果骤然降低，会在表面产生拉应力，从而出现裂缝。

10 钢筋与预应力工程

10.1 钢筋工程

10.1.4 负温条件下使用的钢筋，应加强管理和检验。钢筋加工、运输、安装过程中应防止产生撞击、刻痕等缺陷，特别使用 HRB500 钢筋及其他高强度钢筋时尤为注意。

碳素钢及合金钢都以具有体心立方晶格的铁素体为基础，这种金属中的原子，随着温度降低，热运动减弱，反映在力学性能方面为强度增高，塑性及韧性降低，脆性增加，这即为金属的冷脆性或冷脆倾向。在我省高速公路桥梁建设中，钢筋骨架移运、安装过程中的撞击脆断现象也常有发生。

10.1.6 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。

钢筋挤压接头和螺纹接头在负温下使用时，极易产生脆裂，因此，应进行负温试验验证。

10.2 预应力工程

10.2.1 应加强对锚夹具的保管和保护，对缺乏使用经验的特殊结构构造，或易使预应力钢筋产生刻痕或咬伤的锚夹具，应进行构造、构件和锚夹具负温性能试验。

本条款及 10.1.6 条款均来自于《建筑施工系列手册-冬期施工手册》(项玉璞，曹继文，中国建筑

工业出版社, 2005:125)。

锚夹具对钢绞线产生咬伤或刻痕, 说明锚夹具的硬度大, 可能会存在脆性大的情况, 负温状态下, 更容易使锚夹具的脆性加大, 因此, 需要了解其负温性能。

钢筋的机械连接接头在负温下容易产生脆断, 因此, 必须进行负温性能试验。

10.2.3 张拉预应力筋时环境温度不应低于 -10°C 。

JTG/T 3650-2000 中第 25.2.4 条规定, 张拉气温不得低于 -15°C , 考虑安全, 本文件规定了 -10°C 。

11 质量检查与评价

11.2 等效龄期与强度估算

11.2.3 混凝土等效龄期应按养生方法和结构情况, 取日均养生温度逐日相加达到 $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时所对应的龄期 (相当于标准条件下养生 28d, 当温度为 4°C 以下时龄期不计入), 此龄期最短为 14d, 最长不宜大于 60d。

本条款的解释见本文件条文说明 4.4.1 条。有文献建议当温度低于 0°C 时, 该日不进行温度累加, 也有文献规定, 当温度低于 4°C 时, 该日不进行温度累加, 其理由是水泥在 4°C 时, 水化反应已经非常微弱, 强度增长几乎停止。本文件采用 4°C , 是基于保守考虑。

11.3 构件受冻判断

11.3.2 混凝土浇筑过程中, 除应按 JTG F80/1 要求制取标准养生试件外, 还应制取同等数量同条件试件与构件同条件养生 14d 后, 再移到标准条件下养生 21d。在该条件下养生 35d 混凝土试件抗压强度 (记为 $f_{14d'+21d}$), 与标准养生条件下养生 28d 混凝土试件抗压强度 (记为 f_{28d}) 相比较。

a) 受冻判定。若 $f_{14d'+21d} \geq f_{28d}$, 则说明混凝土未受冻; 若 $f_{14d'+21d} < f_{28d}$, 则说明混凝土曾受冻。

b) 合格判定。若 $f_{14d'+21d} \geq f_{28d} \geq f_b$ (f_b 为混凝土设计强度), 此时将 f_{28d} 作为混凝土强度质量的代表值, 按 JTG F80/1 进行合格性评定; 若 $f_{14d'+21d} < f_{28d}$, 则不论 f_{28d} 是否大于 f_b , 均应视为质量缺陷; 若 $0.8f_{28d} \leq f_{14d'+21d} < f_{28d}$, 应在构件总龄期达 60d 时进行钻芯强度和碳化深度试验, 若 60d 钻芯强度未达到设计强度 f_b , 或者碳化深度大于 10mm, 应做废弃处理; 若 $f_{14d'+21d} < 0.8f_{28d}$, 则判定构件不合格。

本条款中的判断方法是依据《混凝土冬季施工工艺学》(项翥行. 中国建筑工业出版社, 1993.) 研究结论, 并经课题组在镇溧高速公路、常州西绕城高速公路、常溧高速公路和溧高高速公路等多条高速公路冬期施工中验证, 方法科学可靠。

根据混凝土强度增长特征, 在 7d 内增长最快, 因此, 规定构件混凝土的保温保湿养生期为 7 天 (成熟度为 $140^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$), 混凝土冬期施工等效龄期理论, 成熟度达到 $140^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的情况下, 如果混凝土没有受冻, 则表明混凝土强度达到了标准条件下的 7d 强度, 为了证明现场构件的强度是否达到了标准条件

下的强度值，必须验证同条件试件达到标准条件下同样成熟度时其强度是否也达到标准强度。即需要达到 $560^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 640^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的成熟度。因此，同条件养生时间的成熟度应该为 $(140+420)^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

对于冬期施工的混凝土而言，对质量的最大威胁是冻害。冻害不仅会使混凝土的力学性能大幅降低，而且使耐久性能严重削弱。虽然在桥梁混凝土构件设计时，只提出了混凝土强度的要求，并不在设计文件中提及耐久性的要求，这并不意味着耐久性不重要，而是因为混凝土在常温下施工养生时，只要遵循着规范规程的技术要求，耐久性足可保障。但是在冬期施工中，混凝土可能遭受冻害。受冻的混凝土即使恢复正温养生，其最终的力学性能和耐久性均有损失，因此，对冬期施工的混凝土，不仅仅要检验它的实际达到的抗压强度，而且还要检查它是否遭受冻害。

因此，冬期施工的混凝土评价需考虑两个方面。一是冬期施工的构件与常温施工的构件相比，结构的安全性不应该降低。二是混凝土的耐久性和适应性也必须满足预定的功能要求。

本条款中的对冬期施工混凝土合格性评定应按以下方法进行。

1) 按相关要求的检测频率的 2 倍数量在施工现场制取混凝土抗压试件。其中一半组数的试件制作完成后置于 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的标准养生室养生 28d，试压得到抗压强度值为 f_{28d} ；

2) 另外一半组数的试件与构件在相同的养生条件下养生至 14d 后转入 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的标准养生室继续养生 21d，至总龄期 35d 时取出试压，得到抗压强度值为 $f_{14d'+21d}$ ；

3) 若 $f_{14d'+21d} \geq f_{28d} \geq f_b$ ，则可判定混凝土未受冻害且满足设计要求。此时将 f_{28d} 作为混凝土强度质量的代表值，按 JTG F80/1 进行合格性评定；

4) 若 $f_{14d'+21d} < f_{28d}$ ，则不论 f_{28d} 是否大于 f_b ，均应视为质量缺陷；若 $0.8f_{28d} \leq f_{14d'+21d} < f_{28d}$ ，应在构件总龄期达 60d 时进行钻芯强度和碳化深度试验，若 60d 钻芯强度未达到设计强度 f_b ，或者碳化深度大于 10mm，应做废弃处理；若 $f_{14d'+21d} < 0.8f_{28d}$ ，则判定构件不合格。

5) 与混凝土构件同条件养生的试件应用塑料薄膜覆盖。在露天放置的试件应避免阳光直射。以负温养生的混凝土工程，不论构件是否用保温材料覆盖，其同条件养生试件都必须用保温材料覆盖。

6) 当设计对混凝土质量有抗渗、抗冻融等要求时，还必须增加试件数量以满足试验需要。且这些试件均应与构件在相同条件下养生，如构件采用负温养生，试件必须用保温材料覆盖。试件成型后至 14d 时转入 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的标准养生室继续养生 21d，至总龄期 35d 时取出按规程进行相关试验。然后将试验结果与设计要求相对照，进行合格性评定。

在常温下施工时，对混凝土强度质量合格性评定是将试件在标准条件下养生至 28d 的试验结果作为评定值的。但是这个评定值，只代表新拌的混凝土在标准条件下养生的强度增长情况，而在冬期施工时，在这样一个试验结果中没有包含混凝土是否遭受冻害的信息，不能代表工程的实际质量，因此，必须要加做另一组同条件试件。同条件试件的养生必须满足两个条件。一是在现场存放的时间不宜过短，否则无法反映混凝土在硬化初期是否遭受寒流袭击的影响。二是同条件试件的整个养生历程与常温施工时标

准养生试件的养生历程相比，混凝土的硬化程度应大体相当。

根据对此方法的研究表明，同条件试件的养生以在实际现场养生条件下 14d 再转至标准条件下养生 21d 为宜。如果同条件试件的标准养生时间过长，势必将以龄期上的优势即长期强度来掩盖受冻后的强度损失，在技术上是合理的。

文献给出的结论，若 $f_{14d'+21d} \geq f_{28d}$ ，则混凝土的耐久性能完全可以达到常温施工的水平。因此，当混凝土强度达到这个要求时，并且在设计上对混凝土无特殊要求的情况下，表征耐久性的各项性能指标如抗渗、粘结、弹性模量等均可不必再进行专门验证。

12 质量缺陷处理

12.2 成型混凝土缺陷

12.2.1 混凝土终凝后尚未达到受冻临界强度之前混凝土受冻，应予以凿除处理。

根据 JTG/T 3650 要求，冬期施工期间，采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配置的混凝土，在其抗压强度达到设计强度的 40% 以前；采用矿渣硅酸盐水泥配置的混凝土，在其抗压强度达到设计强度的 50% 以前，均不得受冻。

12.2.2 当无法判断混凝土受冻时是否达到了受冻临界强度，宜通过敲击声音、回弹强度、碳化深度以及外观表现等综合分析试验确定受冻影响深度。如果受冻影响平均深度不大于构件几何尺寸允许值，可通过表面硅烷浸渍封闭、碳纤维布加固等方式处理，如果超过构件几何尺寸允许值，则应敲除或者采用其它有效的加固措施进行加固。

构件的几何尺寸是构件承受荷载的基本保证，因此在评定标准中规定几何尺寸的合格率必须为 100%（属于重要参数）。

附录 C 成熟度法混凝土强度估算

C.1 等效龄期的计算

C.1.2 也可以按实际生产配合比配置混凝土试件，通过拟合回归的方法自行推导等效系数的计算公式。

在推算等效龄期时，需要首先计算等效系数。等效系数的推算，在北方地区一般按式 C.2 进行，但是这是基于北方地区混凝土在冬期施工中一般加入防冻剂的情况，但是在江苏地区，混凝土中是不加防冻剂的，因此利用这一公式计算结果将有偏差。在要求较高的情况下，建议采用下列方法进行等效系数的公式推导。

a) 等效系数试验用试件

制取 1 组混凝土抗压强度试件，编号为 F 组，制作完成后，立即放入标准养生室养生 28d。

制取 6 组混凝土抗压强度试件，试件编号为 I 组：组内编号为 I-1~I-6；

制取 6 组混凝土抗压强度试件，试件编号为 II：组内编号为 II-1~II-6；

以此类推，编号为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ。

试块制作完成后，立即将试件放入表 C.1 中所示的恒温室内，并按表 C.1 方法及养生期进行抗压强度试验。

表 C.1 等效系数试验方案

| 温 度 (°C) | 在下列龄期 (d) 时的进行抗压强度试验 | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 13 | 17 |
| 20 | I-1 | I-2 | I-3 | I-4 | I-5 | I-6 | | | | | | |
| 15 | II-1 | II-2 | II-3 | II-4 | II-5 | II-6 | | | | | | |
| 10 | | III-1 | | III-2 | III-3 | | III-4 | | III-5 | | III-6 | |
| 5 | | | IV-1 | | | IV-2 | IV-3 | | IV-4 | | IV-5 | IV-6 |
| 0 | | | V-1 | V-2 | | V-3 | | V-4 | | V-5 | V-6 | |
| -5 | | | | | | VI-1 | VI-2 | | VI-3 | VI-4 | VI-5 | VI-6 |

b) 按恒温下龄期-强度公式计算系数 a 、 b 以及相关系数 r 。

将恒温下龄期-强度公式 $f = \frac{D-D_0}{a+b(D-D_0)}$ 转换为 $\frac{D-D_0}{f} = a+b(D-D_0)$ ，令 $y = \frac{D-D_0}{f}$ ， $x = D-D_0$ 。

采用表 C.1 中的试验数据，通过直线方程 $y = a + bx$ 的回归分析获得系数 a 、 b 、相关系数 r 。其中， D_0 采用逼近法用计算机算出。

F 组试件在标准养生条件下养生 28d，其强度为 f_{F28} 。

将公式 $f = \frac{D-D_0}{a+b(D-D_0)}$ 变换为 $D = \frac{af - bfD_0 + D_0}{1-bf}$ ，得到某一恒温 $w^\circ\text{C}$ 下养生试件分别达到标准条件下

强度 f_{F28} 的 20%、30%、40%、50% 和 60% 时的龄期 $D_{w^\circ\text{C}}$ ，则 $D_{20^\circ\text{C}}/D_{w^\circ\text{C}}$ 即为等效系数 m 。

将计算数据填入表 C.2。

表 C.2 各温度条件下的等效系数表

| 温度 (°C) | 达到下列标准强度百分率/%时的等效系数 m | | | | | 平均值 |
|---------|-------------------------|----|----|----|----|-----|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| 20 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |

表 C.2 各温度条件下的等效系数表 (续)

| 温度 (°C) | 达到下列标准强度百分率/%时的等效系数 m | | | | | 平均值 |
|---------|-------------------------|----|----|----|----|-----|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| 5 | | | | | | |
| 0 | | | | | | |
| -5 | | | | | | |

按表 C.2 中平均值回归进行分析，得到等效系数 m 的回归公式。