

中华人民共和国建材行业标准

JC/T 60018—2023

现浇混凝土养护技术规范

Technical code for curing of cast-in-situ concrete

2023-07-28 发布

2024-02-01 实施



中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 前 言

根据工业和信息化部《关于印发 2016 年第四批行业标准制修订计划的通知》(工信厅科〔2016〕214 号)的要求,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考国家有关标准和国外先进经验,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规范。

本规范共分 6 章和 2 个附录,主要内容包括:总则、术语、基本规定、养护材料、养护工艺、养护监测与效果评价等。

本规范的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范由中国建筑材料联合会归口管理,由江苏苏博特新材料股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送江苏苏博特新材料股份有限公司(地址:江苏省南京市江宁区醴泉路 118 号,邮政编码:211103,邮箱:info@sobute.com)。

**主编单位:**江苏省建筑科学研究院有限公司  
江苏苏博特新材料股份有限公司  
东南大学  
江苏省交通工程建设局

**参编单位:**河海大学  
中铁四局集团第二工程有限公司  
中交第三航务工程局有限公司  
中铁十四局集团有限公司  
中交隧道工程局有限公司  
广西路桥工程集团有限公司  
广东湾区交通建设投资有限公司  
中国华西企业股份有限公司  
镇江苏博特新材料有限公司

**主要起草人:**刘加平 蒋振雄 田 倩 王育江 赵海涛 杨玉冬 王 峻 姚 婷 李 明  
李 华 徐 文 卞桂荣 徐兴居 廉云亮 张 雷 韩 玉 马必聪 李 威  
吴玲正 谢 勇 肖志勇 张 坚 谢 彪 张士山 王 瑞 王文彬 张守治  
陆安群 潘 利 杨 睿 汪 洋 储 阳 卢 存 周泽聪  
**主要审查人:**陈国庆 周丽玮 奚飞达 黄 靖 陆 明 李化建 张日红 王 玲 赵顺增  
李应权 杨思忠 蒋正武 张云升 蔡亚宁 郑云生



## 目 次

1 总 则.....	1
2 术 语.....	2
3 基本规定.....	3
4 养护材料.....	4
5 养护工艺.....	5
5.1 一般规定 .....	5
5.2 混凝土养护起止时间 .....	5
5.3 混凝土养护方法 .....	5
6 养护监测与效果评价 .....	7
6.1 一般规定 .....	7
6.2 监测与效果评价 .....	7
附录 A 混凝土水分蒸发速率估算方法 .....	8
附录 B 孔隙负压测试方法 .....	9
用词说明 .....	11
引用标准名录 .....	12
附：条文说明 .....	13



## Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	Basic requirement .....	3
4	Curing materials .....	4
5	Curing procedures .....	5
5.1	General requirement .....	5
5.2	Initial and termination time of curing .....	5
5.3	Curing methods .....	5
6	Curing monitoring and curing effectiveness .....	7
6.1	General requirement .....	7
6.2	Monitoring and assessing curing effectiveness .....	7
	Appendix A Estimation of water evaporation rate of concrete .....	8
	Appendix B Testing method for negative capillary pressure .....	9
	Explanation of wording in this code .....	11
	List of quoted standards .....	12
	Addition: Explanation of provisions .....	13

## 1 总 则

- 1.0.1 为规范建设工程中现浇混凝土的养护技术，保证工程质量，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于现浇混凝土结构所采取的外部养护技术。
- 1.0.3 现浇混凝土结构养护除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。



## 2 术 语

### 2.0.1 混凝土养护 curing of concrete

在新浇筑的水泥混凝土表面，在一定时间内保持一定的温度和湿度条件使其达到所需性能的工艺。

### 2.0.2 混凝土初期养护 initial curing of concrete

混凝土浇筑至初凝时间段的养护。

### 2.0.3 混凝土中期养护 intermediate curing of concrete

混凝土初凝至终凝时间段的养护。

### 2.0.4 混凝土后期养护 final curing of concrete

混凝土终凝后的养护。

### 2.0.5 里表温差 temperature difference of core and surface

混凝土浇筑体内最高温度与外表面内 50 mm 处的温度之差。

### 2.0.6 降温速率 descending speed of temperature

散热条件下，混凝土浇筑体内部温度达到温升峰值后，24 h 内断面加权平均温度下降值。

### 3 基本规定

**3.0.1** 现浇混凝土结构施工前，应根据结构类型及特点、混凝土性能需求、施工环境条件、混凝土材料组成，确定混凝土养护工艺，并做好各项准备工作。

**3.0.2** 现浇混凝土结构应在混凝土浇筑、振捣、收面、拆模前后等全过程采取混凝土养护措施。

**3.0.3** 下列情况宜制定现浇混凝土结构养护专项技术方案：

1 大体积混凝土；

2 冬期施工混凝土；

3 强度等级 C50 以下预计水分蒸发速率大于  $1.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  的混凝土、强度等级 C50 及以上预计水分蒸发速率大于  $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  的混凝土，以及其他高开裂风险的混凝土。水分蒸发速率估算方法见附录 A。

## 4 养护材料

- 4.0.1 混凝土养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。
- 4.0.2 混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂应符合现行行业标准《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》JG/T 477 的规定。
- 4.0.3 养护剂宜选用分散介质的乳液型成膜养护剂，符合现行行业标准《水泥混凝土养护剂》JC/T 901 的规定。
- 4.0.4 聚氯乙烯塑料薄膜应符合现行国家标准《软聚氯乙烯压延薄膜和片材》GB/T 3830 的规定，聚乙烯塑料薄膜应符合现行国家标准《农业用聚乙烯吹塑棚膜》GB/T 4455 的规定。
- 4.0.5 土工布宜选用无纺土工织物；短纤针刺非织造土工布应符合现行国家标准《土工合成材料 短纤针刺非织造土工布》GB/T 17638 的规定，长丝纺粘针刺非织造土工布应符合现行国家标准《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》GB/T 17639 的规定。
- 4.0.6 麻袋应符合现行国家标准《粮食包装 麻袋》GB/T 24904 的规定。
- 4.0.7 毛毡应符合现行行业标准《工业用毛毡》FZ/T 25001 的规定。
- 4.0.8 岩棉保温材料应符合现行国家标准《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T 11835 的规定。
- 4.0.9 混凝土节水保湿养护膜应符合现行行业标准《混凝土节水保湿养护膜》JG/T 188 的规定。
- 4.0.10 模塑聚苯乙烯泡沫塑料应符合现行国家标准《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)》GB/T 10801.1 的规定，挤塑聚苯乙烯泡沫塑料应符合现行国家标准《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》GB/T 10801.2 的规定。
- 4.0.11 本规范未列举的可用于现浇混凝土结构养护的材料，不应含有对人体、生物或环境有害的化学成分，且不应影响混凝土性能造成负面影响。

## 5 养护工艺

### 5.1 一般规定

5.1.1 应根据结构类型及特点、混凝土性能需求、施工环境条件及混凝土材料组成等因素，确定混凝土初期、中期和后期养护时间段。

5.1.2 应根据混凝土性能发展特点，选择合适的养护材料和养护方法。

### 5.2 混凝土养护起止时间

5.2.1 混凝土初期养护开始时间宜采取以下方法中的一种进行判断，当对结果有争议时，以仪器判定方法为准。

- 1 经验判断方法。肉眼观察到混凝土暴露面泌水光泽消失时作为初期养护起点；
- 2 仪器判断方法。表层孔隙负压达到 2.0kPa 时为初期养护起点。孔隙负压可按本规范附录 B 测试。

5.2.2 中期和后期养护开始时间宜采取以下方法中的一种进行判断，当对结果有争议时，以仪器判定方法为准。

- 1 经验判断方法。根据同条件养护混凝土的初凝、终凝时间和施工现场气候条件进行综合判断；
- 2 仪器判断方法。根据典型部位的混凝土构件内部孔隙负压值进行综合判断。混凝土构件内部孔隙负压达到 10.0kPa 为中期养护起点，达到 60.0kPa 为后期养护起点。孔隙负压可按本规范附录 B 测试。

5.2.3 混凝土的养护持续时间应符合下列规定：

- 1 采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土，且处于一般环境和无盐冻环境下时，养护持续时间不应少于 7 d；采用其他品种水泥时，养护持续时间应根据水泥性能确定；
- 2 掺加缓凝型外加剂、大掺量矿物掺合料配制的混凝土，养护持续时间不应少于 14 d；
- 3 处于氯化物环境、化学腐蚀环境和冻融环境的混凝土，养护持续时间不应少于 14 d；
- 4 抗渗混凝土、强度等级 C60 及以上的混凝土，养护持续时间不应少于 14 d；
- 5 后浇带混凝土的养护持续时间不应少于 14 d；
- 6 对于有温控要求的混凝土结构或构件，养护持续时间应满足相应的温控指标要求。

### 5.3 混凝土养护方法

5.3.1 初期养护不应采取洒水、蓄水等对混凝土表面性能有负面影响的方法，宜采取喷雾或喷涂水分蒸发抑制剂等养护方法，应符合下列规定：

- 1 采取喷雾养护时，雾滴粒径不宜超过 100 μm；
- 2 采取喷涂水分蒸发抑制剂等养护方法时，可根据混凝土水分蒸发情况，进行一次或多次喷涂养护；
- 3 当现场进行孔隙负压测试时，宜控制表层孔隙负压值不超过 2.0 kPa。

5.3.2 中期养护可以采取和初期养护相同的方法，也可采取养护剂进行养护。

5.3.3 后期养护应根据工程实际情况合理选取以下一种或多种养护方法：

- 1 带模养护；
- 2 表面喷淋、洒水、蓄水养护；
- 3 养护剂养护；
- 4 覆盖养护。

5.3.4 采用喷淋、洒水、蓄水等养护措施时，应符合下列规定：

- 1 养护水的温度与混凝土表面温度之差不应大于 15 ℃；

2 应保证混凝土表面始终处于湿润状态。

5.3.5 采取养护剂进行养护时，应符合下列规定：

1 喷洒高度宜控制在 0.10 m~0.30 m 之间；

2 喷洒应均匀，喷洒后的表面不应有颜色差异；

3 现场平均喷洒剂量宜在实验室测试剂量基础上，一级品再增加不小于 40%，合格品增加不小于 60%。

5.3.6 覆盖养护应符合下列规定：

1 混凝土裸露表面覆盖塑料薄膜后宜加盖麻袋、土工布等材料；

2 塑料薄膜应紧贴混凝土裸露表面，塑料薄膜内应保持有凝结水；

3 当仅采取覆盖塑料薄膜养护时，气温较低时宜选用透明或黑色的塑料薄膜，气温较高时宜选用白色塑料薄膜；

4 覆盖物应严密，覆盖物的层数应根据里表温差、降温速率等指标确定。

5.3.7 大风环境下进行混凝土养护时，作业面应采取防风措施。

5.3.8 当环境温度低于 5℃时，不得对混凝土表面进行洒水养护，可采用覆盖养护的方式，养护材料选择及覆盖厚度应参照现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 中热工计算确定。

5.3.9 大体积混凝土养护应满足以下要求：

1 应及时监测混凝土浇筑体的里表温差和降温速率，当实测结果不满足温控指标要求时，应及时调整保温养护措施；

2 混凝土保温材料可采用复合多层土工布、麻袋、岩棉保温材料等，保温覆盖层拆除应分层逐步进行，当混凝土表面温度与环境最大温差小于 20℃时，可全部拆除；

3 采取蓄水养护时，蓄水深度应根据现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 计算确定；

4 养护时间应根据里表温差、降温速率等指标要求确定，且不宜少于 14 d。

5.3.10 对于混凝土非模板覆盖的浇筑面，尤其是平面结构，养护应满足以下要求：

1 宜在混凝土浇筑前以及浇筑过程中对混凝土水分蒸发速率进行估算，确定养护工艺；

2 应在混凝土初期和中期养护过程中加强保湿养护，中期养护过程中，可采取边抹面边保湿养护的方法。

5.3.11 墙、柱等不易保水的结构，养护应满足以下要求：

1 早期可采用带模养护方式；拆模时间根据混凝土强度与温度发展情况确定，且拆模时混凝土表面温度与外界温度相差不应大于 20℃，拆模后应立即采取养护措施；

2 采用水进行养护时，宜采取喷淋养护；

3 采用覆盖养护时，应覆盖严密，并经常检查覆盖材料的完整情况；

4 长度超过现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距限制的墙体结构，混凝土里表温差和降温速率宜按照大体积混凝土有关规定进行控制。

5.3.12 对外观具有较高要求的混凝土养护应满足以下要求：

1 对同一视觉范围内的混凝土应采用相同的养护方式；

2 混凝土拆模后，应立即对新暴露的混凝土表面采取自动喷淋水雾、土工布覆盖喷淋洒水、覆贴节水保湿养护膜、严密包裹塑料薄膜等养护措施进行补水或保湿养护，不宜采用直接喷淋洒水、喷涂成膜类的养护剂方式养护，可采用非成膜类养护剂进行养护；

3 不应直接将草帘或草袋等有可能褪色或对混凝土表面造成污染的养护材料覆盖在混凝土表面；

4 当采用节水保湿养护膜或塑料薄膜养护时，养护完成后，应及时去除养护膜，避免覆盖时间过长导致局部保湿不均匀而产生色差。

## 6 养护监测与效果评价

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 混凝土养护监测与效果评价应从湿度、温度及养护时间三个方面进行。
- 6.1.2 应根据现场条件、环境温湿度、监测的部位等因素，选择合适的养护监测与效果评价方法。

### 6.2 监测与效果评价

- 6.2.1 混凝土保湿养护监测与效果评价应符合下列规定：
  - 1 混凝土初期、中期和后期养护过程中，采取目测观察法时，混凝土表面应处于湿润状态；
  - 2 混凝土初期和中期养护过程中，采取孔隙负压监测时，表层和内部孔隙负压差值不应大于 15.0kPa；
  - 3 混凝土后期养护过程中，采用湿度仪测试混凝土表面相对湿度时，混凝土表面相对湿度不应低于 90%。
- 6.2.2 大体积混凝土保温养护监测与效果评价应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 和《大体积混凝土温度测控技术规范》GB/T 51028 的规定。
- 6.2.3 非大体积混凝土保温养护监测与效果评价应符合下列规定：
  - 1 对混凝土结构或构件关键截面的中心温度、表层温度及环境气温进行监测，并及时采取有效措施控制混凝土里表温差以及升温、降温速率；
  - 2 宜选用具有自动采集、可实时在线查看数据的监测系统，采集频率不宜低于每小时 1 次，人工采集时，采集频率不宜低于每 2 小时 1 次；
  - 3 当混凝土结构或构件中心温度、里表温差及升温、降温速率连续 3 d 满足设计文件和施工方案要求时，可结束监测。



## 附录 A 混凝土水分蒸发速率估算方法

**A.0.1** 本方法适用于估算新拌混凝土表面水分蒸发速率。

**A.0.2** 测试所需设备应符合下列规定：

- 1 温度测量仪的测量范围不应小于 0℃~80℃，精度不应低于 0.1℃；
- 2 湿度测量仪的测量范围宜为 0%~100%，精度不应低于 1%；
- 3 风速测量仪的测量范围宜为 0 m/s~30 m/s，精度不应低于 10%。

**A.0.3** 混凝土水分蒸发速率按照 (A.0.3) 式进行估算：

$$E = 5[(T_b + 18)^{2.5} - r(T_a + 18)^{2.5}](V + 4) \times 10^{-6} \quad (\text{A.0.3})$$

式中：

$E$ ——水分蒸发速率，kg/(m<sup>2</sup>·h)；

$r$ ——混凝土水分蒸发面以上大气相对湿度，%；

$T_a$ ——混凝土水分蒸发面以上的大气温度，℃；

$T_b$ ——混凝土表面温度，℃；

$V$ ——混凝土水分蒸发面以上的水平风速，km/h。

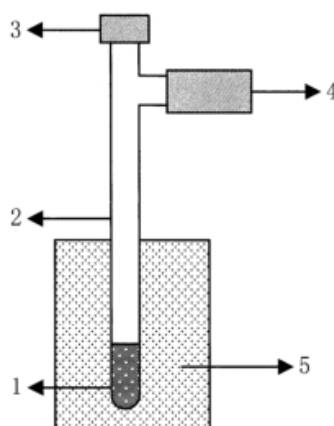
**A.0.4** 相对湿度宜在遮阴处并在混凝土蒸发表面上方 1.2m~1.8m 处测得；空气温度宜在遮阴处并在混凝土蒸发表面上方 1.2m~1.8m 处测得；风速宜在混凝土上方 0.5m 处测得。无试验数据时，可根据气象数据进行估算。

## 附录 B 孔隙负压测试方法

**B.0.1** 本方法适用于实验室及工程现场的水泥基材料(包括净浆、砂浆和混凝土)孔隙负压的测试。

**B.0.2** 孔隙负压测试装置应符合下列规定：

- 1 测试装置包括多孔陶瓷探头、塑料连接管、压力传感器和数据采集系统(图 B.0.2)；
- 2 多孔陶瓷探头进气负压值不低于 100.0 kPa；
- 3 压力传感器量程不低于 100.0 kPa，精度不低于 $\pm 1.0$  kPa，工作温度 0℃~50℃，最大反应时间 1.0 ms，零点漂移 $\pm 2.0$  mV；
- 4 塑料连接管与陶瓷探头之间、压力传感器与塑料连接管之间应紧密粘结，不应漏气；
- 5 推荐采用数字化的采集设备、有线或无线传输方式进行数据自动采集和传输；也可采取机械式负压式传感器人工读数的方法。



1—多孔陶瓷探头；2—塑料连接管；3—密封及排气端；4—压力传感器；5—被测试水泥基材料

图 B.0.2 孔隙负压测试装置

**B.0.3** 孔隙负压测试应按下列步骤进行：

1 在使用前 24 h，将多孔陶瓷探头完全浸入无气水中预饱和。无气水可以通过将普通自来水加热至沸腾，并继续加热 30 min 后冷却得到。

2 陶瓷探头持续浸入水中，使用针筒注射器从排气端开始抽气，在针筒负压的作用下，水分会透过探头进入塑料连接管，探头内的气体会逐渐溢出。使用针筒注射器反复抽气，直至没有气泡溢出，说明系统内的空气已经除净。然后将排气端密封，多孔陶瓷探头继续浸没入水中待用。

3 多孔陶瓷探头应按下列要求埋入水泥基材料内部，确保多孔陶瓷探头与水泥基材料接触紧密，并固定好塑料连接管，防止多孔陶瓷探头移位，读取初始值。宜符合下列规定：

- 1) 用于判断初期养护开始时间时，多孔陶瓷探头宜埋在距离混凝土暴露面 5 mm 处；
- 2) 用于判断中期、后期养护开始时间时，多孔陶瓷探头宜埋在混凝土浇筑体中心或距离混凝土暴露面 500 mm 以上；
- 3) 对于同一浇筑块，为反映出不同浇筑批次混凝土孔隙负压发展的差异，开始和结束批次混凝土宜进行孔隙负压测试，中间批次混凝土可根据具体需求确定。
- 4 数据自动采集时间间隔不宜超过 1 min；人工读数时数据读取时间间隔不宜超过 5 min。

**B.0.4** 测试数据减去初始值得到被测水泥基材料的孔隙负压，精确至 1.0 kPa。应以时间(从加水搅拌开始为零点)为横坐标，孔隙负压为纵坐标绘制孔隙负压发展曲线，根据曲线可以查得水泥基材料不同时间的孔隙负压值，也可以根据孔隙负压值查询对应的时间。

## 用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，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：  
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：  
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：  
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”。

## 引用标准名录

本规范引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规范；不注日期的，其最新版本适用于本规范。

- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 《大体积混凝土施工标准》GB 50496
- 《大体积混凝土温度测控技术规范》GB/T 51028
- 《软聚氯乙烯压延薄膜和片材》GB/T 3830
- 《农业用聚乙烯吹塑棚膜》GB/T 4455
- 《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)》GB/T 10801.1
- 《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》GB/T 10801.2
- 《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T 11835
- 《土工合成材料 短纤针刺非织造土工布》GB/T 17638
- 《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》GB/T 17639
- 《粮食包装 麻袋》GB/T 24904
- 《混凝土节水保湿养护膜》JG/T 188
- 《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》JG/T 477
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104
- 《工业用毛毡》FZ/T 25001
- 《水泥混凝土养护剂》JC/T 901

中华人民共和国建材行业标准

现浇混凝土养护技术规范

Technical code for curing of cast-in-situ concrete

JC/T 60018—2023

条文说明



## 制定说明

《现浇混凝土养护技术规范》JC/T 60018—2023，经工业和信息化部 2023 年 7 月 28 日以第 17 号公告批准、发布。

本规范制定过程中，编制组进行了混凝土养护技术现状与发展、工程实例的调查研究，总结了我国工程建设中现浇混凝土养护方面的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验取得了现浇混凝土养护的起止时间、养护方法等混凝土养护技术的关键参数。

为便于广大技术和管理人员在使用本规范时能正确理解和执行条款规定，《现浇混凝土养护技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规范正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。





## 目 次

1 总则 .....	19
2 术语 .....	20
3 基本规定 .....	21
4 养护材料 .....	22
5 养护工艺 .....	23
5.1 一般规定 .....	23
5.2 混凝土养护起止时间 .....	23
5.3 混凝土养护方法 .....	24
6 养护监测与效果评价 .....	26
6.1 一般规定 .....	26
6.2 监测与效果评价 .....	26
附录 A 混凝土水分蒸发速率估算方法 .....	27
附录 B 孔隙负压测试方法 .....	28



## 1 总 则

**1.0.1** 本规范给出了现浇混凝土结构施工过程中在结构表面采取的养护技术要求，是为了保障混凝土尤其是现代高性能混凝土早期性能的发展，提高混凝土抗裂性和耐久性，保证工程质量。本规范主要依据科学试验成果、工程实践经验，并结合国内外相关研究成果制定而成。

**1.0.2** 本规范适用于在现浇混凝土外部采取的保温保湿养护技术，如覆盖、洒水、喷涂养护剂等，不适用于聚合物混凝土、碱激发混凝土等对养护具有特殊要求的混凝土，再生骨料混凝土、碾压混凝土等现浇混凝土的养护可参照本规范进行。

## 2 术 语

**2.0.1** 对于混凝土养护,目前还没有一个明确的定义。美国混凝土协会(ACI)、美国材料实验协会(ASTM),以及一些学者如 Neville 等,均对养护进行了定义或描述。总结下来,定义主要包括以下几个要素:足够的水分/湿度,足够的温度,足够的时间,以及达到混凝土所需的力学、耐久性能。此外需要指出的是,本规范所定义的养护和水泥混凝土路面中常用养护概念有所不同。后者指为保证道路等正常使用而进行的经常性保养、维修,预防和修复灾害性损坏。

**2.0.2** 本规范将混凝土养护分为三个阶段。混凝土在浇筑至初凝这一阶段,内部微结构尚未形成,容易受到外部环境等因素影响,一般需要采取和凝结后不同的养护措施,本规范将这一阶段定义为初期养护,以示和水泥混凝土领域常用的“早期”一词相区别。

**2.0.3** 混凝土初凝后,可以开始抹面、表面拉毛等工序,当上述工序在混凝土终凝之前完成,则需要进行中期养护。此外,该阶段混凝土表面依然较为脆弱,相比于终凝后的养护,该阶段对养护材料选择要求相对较高。因此,将该阶段的养护单独定义。另外,需要指出的是,和初期养护类似,表面被模板覆盖的混凝土结构或构件,施工过程中一般不涉及中期养护。

**2.0.4** 混凝土终凝后,已经具有一定强度,可以采取覆盖、喷淋、蓄水等养护措施。该阶段的养护和初期与中期有很大差别,且由于该阶段养护也是养护三个阶段的最后一个阶段,因此将该阶段定义为后期养护。

**2.0.5** 该术语按照《大体积混凝土施工标准》GB 50496—2018。在实际工程中,表层温度的监测在满足距表面不超过 50 mm 要求的条件下,可将传感器固定在表层钢筋上进行监测。

**2.0.6** 该术语按照《大体积混凝土施工标准》GB 50496—2018。在本规范中该术语同样适用于非大体积类型混凝土。

### 3 基本规定

**3.0.2** 混凝土在浇筑、振捣、收面、拆模过程中，环境均会对混凝土中的水分及温度造成影响。养护需要考虑整个过程，而不仅仅是混凝土硬化后或拆模后进行。

**3.0.3** 条款 2 中的“冬期施工”，根据《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104—2011，指的是“根据当地多年气象资料统计，当室外日平均气温连续 5d 低于 5℃即进入冬期施工”。同时该标准也指出，进行冬期施工的工程项目，应编制冬期施工专项方案。因此，对于冬期施工也需要制定养护专项技术方案。条款 3 主要考虑到在高温、低湿、大风等条件下，混凝土表面水分快速蒸发，容易出现塑性开裂。通过混凝土表面水分蒸发速率估算，可以评估混凝土发生塑性开裂的风险。目前国际通用的混凝土临界水分蒸发速率为  $1.0\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。混凝土所允许的临界水分蒸发速率和混凝土原材料、配合比、环境条件等密切相关。在工程实践中，对于强度等级 C50 以下混凝土，混凝土临界水分蒸发速率可取  $1.0\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；强度等级 C50 及以上混凝土，由于其较为密实且早期泌水速率较低，混凝土所允许的临界水分蒸发速率进一步降低，根据试验研究和工程实践，临界水分蒸发速率可取  $0.5\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

## 4 养护材料

**4.0.11** 除本规范列举的养护材料外，具有维持混凝土温度或湿度的材料均可以用作混凝土养护材料。但用于混凝土养护的材料不能对施工人员、环境及生物造成危害，如不能含有甲醛等化学物质。除此之外，混凝土养护材料也不能危害混凝土的性能，如不能含有糖类、氯盐等影响水泥水化或腐蚀钢筋的化合物，也不能改变混凝土颜色等外观性能。

## 5 养护工艺

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 针对现浇混凝土结构，本规范给出了混凝土初期、中期和后期养护工艺。在实际工程中，由于结构类型、环境因素、材料性能的不同，混凝土养护应有所侧重。如大面积暴露结构，需要在做好后期养护的同时，加强初期和中期保湿养护；墙体混凝土更为侧重后期养护；大体积混凝土暴露面需要做好初期和中期养护，并在终凝后加强后期的保温养护。因此，需要结合具体工程，确定混凝土结构或构件所需的或重点需要关注的养护时间段。

**5.1.2** 混凝土在初凝前、终凝后，以及初凝至终凝过程中，性能有较大的差异。如初凝前，其表面强度可以忽略，凝结时表面强度依然较低。因此，混凝土初期、中期和后期养护，应根据混凝土性能发展特点，选择合适的养护材料和养护方法，一些可以用于后期养护的材料和方法，并不适合用于初期和中期养护。

### 5.2 混凝土养护起止时间

**5.2.1** 养护应在混凝土表面开始变干的时候开始，而一旦表面水的蒸发速度大于内部水向混凝土表面的迁移速度，混凝土表面就开始变干。而混凝土开始变干及需要养护的时间，不仅受环境影响，还受混凝土自身泌水性能的影响。美国混凝土协会提出可以通过观察混凝土表面的泌水光泽来确定变干时间。但肉眼观察也带有较大的经验性。因此在本规范中，还提出了基于孔隙负压的判定方法供选择。其原理为，一旦混凝土泌水速率小于表面水分蒸发速率时，泌水开始消失，表面开始变干，毛细孔弯液面开始形成，并产生负压。选择 2.0 kPa 则主要基于以下考虑：在 2.0 kPa 时开始进行养护，混凝土抗碳化性能最好，相比不养护和过早开始养护（孔隙负压为 0 时），试件碳化性能有显著提高；2.0 kPa 在仪器测试精度允许范围之内。此外，试验结果也表明，分别以 2.0 kPa、4.0 kPa、6.0 kPa 和 10.0 kPa 作为养护开始时间进行养护的试件，其表面渗透性差异较小。因此，以 2.0 kPa 作为养护开始时间，对塑性开裂及渗透性而言是相对保守的选择。

**5.2.2** 初凝和终凝时间是确定混凝土中期和后期养护的关键参数。目前混凝土凝结时间一般采用贯入阻力仪进行测试。实际操作过程中，需要将混凝土中粗集料筛除，以测试贯入阻力达到 3.5 MPa 和 28 MPa 的时间分别定义为初凝和终凝。需要指出的是，上述测试方法中，测试的试件和工程混凝土所处的条件存在较大的不同。实际工程中，可根据同条件养护的混凝土试件凝结时间、施工现场气候，并结合指压、指划等经验方法进行判断。在本规范中，提出了第 2 种基于孔隙负压的判定方法供选择。研究表明，贯入阻力和孔隙负压之间具有很好的一致性。采用孔隙负压的测试技术，只需要在同比条件下找到混凝土孔隙负压和凝结时间的对应关系，就可以通过测试孔隙负压来确定凝结时间。对不同配合比和养护温度下混凝土进行了测试，结果表明，在环境温度 2℃~46℃ 范围内，初凝时对应的孔隙负压大部分在 (10±5) kPa，终凝时对应的孔隙负压基本在 (60±5) kPa。因此，当缺乏试验数据时，可取孔隙负压达到 10.0 kPa 和 60.0 kPa 时分别作为初凝和终凝时间。此外，本规范中基于孔隙负压的凝结时间判定方法是以混凝土结构或构件内部作为测试对象，根据前期试验结果，该部位孔隙负压测试值受表层水分蒸发影响较小。

**5.2.3** 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666—2011 及《混凝土质量控制标准》GB 50164—2011 规定对于采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配制的混凝土，养护时间不得少于 7 d，对于掺加缓凝剂的混凝土以及大掺量矿物掺合料混凝土，养护时间不得少于 14 d；《大体积混凝土施工标准》GB 50496—2018 规定养护持续时间不宜少于 14 d；《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—



2009 规定养护期不得少于 14 d。对于一些具有温控要求的混凝土结构或构件，养护还需满足温控指标要求，可能需要更长的养护时间。此外，研究表明，由于掺加了矿物掺合料以及水胶比较低等因素影响，现代混凝土表层性能对养护更为敏感，从表层渗透性和耐久性角度，需要进行 7 d~14 d 的养护。本规范根据现行国家标准规范的有关要求，对混凝土养护持续时间做出 1-6 款规定。

### 5.3 混凝土养护方法

**5.3.1** 初凝前混凝土表面强度可以忽略，需要采取喷雾或喷水分蒸发抑制剂等相对温和的养护方法。采取喷雾养护时，雾滴粒径是较为重要的参数。雾滴粒径较大时，可以喷得更远，但容易造成混凝土表面水分富集，进而增大混凝土表面水胶比并影响耐久性。根据三峡、龙滩等水电工程研究结果，雾滴粒径一般控制在 100  $\mu\text{m}$  以下。当混凝土水分蒸发速率较快时，可能需要多次喷洒水分蒸发抑制剂以抑制表面的塑性开裂。此外，喷雾或喷水分蒸发抑制剂养护措施可以和混凝土表面孔隙负压测试有机结合，即当表面孔隙负压达到设计阈值时，即开始进行养护，当表面孔隙负压降低至 0 时停止养护。如此往复，将表层孔隙负压控制在设计阈值之内。试验结果表明，将表层孔隙负压控制在不超过 2.0 kPa，不仅可以有效抑制塑性开裂，还可以提升表层耐久性。

**5.3.2** 在中期养护过程中，混凝土表面强度较低，采取洒水、喷淋、蓄水等养护方式，容易对表面性能造成负面影响。因此，中期养护可以继续采取初期养护所采用的方法，或采取养护剂或覆盖薄膜养护措施。

**5.3.3** 合理选用模板并延长拆模时间、表面采取水养护、表面涂刷养护剂，以及采取塑料薄膜、土工布、麻袋、毛毡等覆盖养护是工程中通常采取的后期养护方法。其中，带模养护方面，应根据模板的类型、模板的保湿及保温性能，并结合监测结果，进行确定。此外，为了减少模板的约束，可以在混凝土达到一定强度后松开模板，并继续带模养护。

**5.3.4** 以水作为养护材料对混凝土进行养护是工程中最常采用的方法之一，本条对养护水和混凝土表面温度差值、混凝土表面湿润状态进行规定，主要为了避免混凝土表面突然温度变化、干湿循环等因素而造成开裂。

**5.3.5** 《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30—2014 中 11.4.3 条第 3 款规定养护剂喷洒高度宜控制在 0.10 m~0.30 m 之间，第 4 款规定养护剂的现场平均喷洒剂量宜在实验室测试剂量基础上，一等品再增加不小于 40%，合格品增加不小于 60%。本规范 5.3.5 条第 1 和 3 款参照了该标准，在具体表述方面将“一等品”改为了“一级品”，以和现行行业标准《水泥混凝土养护剂》JC/T 901—2002 的规定一致。

**5.3.9** 除冬期施工不应蓄水养护外，其他季节采用蓄水养护时，一方面蓄水水温和混凝土表面温差不应大于 15  $^{\circ}\text{C}$ ，另一方面更为重要的是蓄水应达到一定深度以降低大体积混凝土里表温差。蓄水深度可以根据现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496—2018 附录 C 进行计算确定。

**5.3.10** 暴露在环境中的大面积混凝土板式结构在浇筑过程中往往水分蒸发速率较快，在初凝前就容易出现塑性裂缝，因此在浇筑前和浇筑过程中需根据附录 A 方法对混凝土的水分蒸发速率进行估算，当水分蒸发速率过快而有发生塑性开裂的风险时，需要及时调整养护工艺。塑性裂缝是大面积暴露混凝土的主要裂缝形式，相较于其他早期带有模板的结构，大面积暴露板式混凝土结构更需格外注意初期和中期保湿养护以降低塑性裂缝的产生。但在该阶段由于混凝土强度不足，不能采取蓄水、喷淋、覆盖等养护方法以防对混凝土表面造成危害，可以采取多次喷雾养护或喷洒水分蒸发抑制剂的措施；在混凝土表面凝结前可进行二次抹面，使部分塑性裂缝闭合，同时减少表面起皮、结壳等现象对长期性能的影响。为防止抹面结束后继续长时间的干燥、暴晒等导致的进一步水分蒸发，宜适当缩短抹面结束与中期养护开始之间的时间差，以降低在该阶段的开裂风险。

**5.3.11** 带模养护可利用模板的封闭作用减少水分散失，同时在一定程度上降低混凝土里表温差与降温速率，提高混凝土的抗裂性；带模养护一段时间混凝土达到一定强度与温度后，可拆除模板后继续保

温保湿养护。喷淋与洒水作为湿养护方法，喷淋是在墙体上方设置喷淋管道，对整个墙面不间断洒水润湿，能起到很好的湿养护效果，洒水养护一般为人工定时的养护方式，需根据表面的润湿情况及时补水，防止干湿循环交替对表层混凝土性能的影响。墙、柱等立面结构表面覆盖物受外界环境的影响容易脱落、吹起，覆盖物应覆盖严密，并经常检查覆盖材料的完整情况，以实现混凝土湿度与温度的有效控制。根据大量工程实践与监测结果表明，对于长度超过现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 关于钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距限制的墙体结构，其收缩开裂特点符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496—2018 的规定，宜参照大体积混凝土进行温度控制，以降低混凝土开裂。

**5.3.12** 对外观具有较高要求的混凝土的养护较普通混凝土更为严格，需要避免由于养护对混凝土表面造成污染，形成色差，以保证混凝土外观一致性。为了避免出现流挂水印或混凝土表面色泽不均，不宜采用水管直接淋水养护。成膜类养护剂喷涂不均、后期老化等因素易造成混凝土外观质量不佳，对于外观要求较高的混凝土构件，可采取非成膜类的养护剂。采用自动喷雾养护时，养护水应喷洒成雾状，并确保混凝土面所有位置均能充分润湿，喷雾流量以不在混凝土表面有明水流挂为宜。混凝土模板拆除后，其表面养护的遮盖物不得直接用草垫或草包铺盖，以免造成永久性颜色污染。此外，为了保护混凝土的外观，在养护过程中，可以采取进行成品保护，如底部 2 m 以内的混凝土表面可采用塑料薄膜覆盖以防止飞溅物造成表面污染。

## 6 养护监测与效果评价

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 湿度、温度及养护时间是混凝土养护的三个要素，养护的监测可以从上述三个方面进行，但养护的监测除了上述参数的监测外，还可以通过测试表层混凝土的透气、透水、离子渗透性能和表面电阻率等来辅助评价养护效果。

**6.1.2** 养护的监测与效果评价方法较多，应结合环境温湿度条件，考虑需要监测的部位(如板、墙、柱等)，以及现场具备的设备条件等，选择适合的监测方法。

### 6.2 监测与效果评价

**6.2.1** 目测的方法，适用于混凝土初期、中期和后期养护。对于具有大暴露面积的结构且处于混凝土初期和中期养护阶段，可采取孔隙负压测试方法，测试距离暴露面和结构底部 5 mm 处的孔隙负压，当孔隙负压差值在 15 kPa 以内时，则表明混凝土内部孔隙负压分布相对较为均匀，表面保湿效果较好。在后期养护过程中，可以采用湿度仪测试混凝土表面的湿度，当湿度不低于 90% 时，可以较好地保证水泥的水化并抑制混凝土表面的收缩。

**6.2.3** 除了对中心温度、表层温度、环境温度进行监测外，可结合结构或构件的特点、施工需求对其他部位进行监测，为了保证养护效果达到施工方案要求，监测结果应具有时效性，以便及时采取措施。

## 附录 A 混凝土水分蒸发速率估算方法

**A.0.1** 混凝土水分蒸发速率参考了美国混凝土协会 ACI 308R Guide to external curing of concrete 中推荐的混凝土水分蒸发速率估算方法。

**A.0.4** 混凝土水分蒸发速率估算所需要的大气温度、相对湿度、风速等参数，可以通过试验获得；如果没有实测数据时，也可利用气象数据进行混凝土水分蒸发速率估算。

## 附录 B 孔隙负压测试方法

**B.0.2** 多孔陶瓷探头是仪器的感应部件，具有许多微小的孔隙，充水后就会在孔隙中形成一层水膜。由于孔隙中的水具有张力，这种张力能保证水在一定压力下自由通过陶瓷探头，但阻止空气通过，相当于透水不透气的半透膜。当充满水且密封的陶瓷探头插入新拌水泥基材料时，塑料连接管内的水分就通过陶瓷探头的水膜与水泥基材料内的水分连接，产生水力上的联系，达到最初的饱和平衡。当水泥基材料由于水分蒸发作用(干燥)或胶凝材料的水化作用(自干燥)开始消耗毛细孔中的水分时，水泥基材料内水分就由饱和态转入不饱和态，在此过程中出现弯液面并产生孔隙负压。因此水分便由水势高的塑料连接管通过陶瓷探头向水势低的水泥基材料内迁移，直到达到新的水势平衡。密封的塑料连接管内由于水分迁移产生的负压可由压力传感器测得，所显示的压力就是水泥基材料的孔隙负压。理论上孔隙负压测试仪器可以测试的最大孔隙负压为 100 kPa，但由于气蚀作用(即孔隙负压值接近大气压，液体很容易变为气体，进而使探头中吸力迅速降低)，试验中可测出的最大负压为 80.0 kPa~90.0 kPa，基于此规定压力传感器量程。压力传感器可采取数字自动采集、无线传输等方式以保障使用的便利性；同时，考虑数字采集需要现场布线，对某些工程应用不便，因此也可采取机械式负压计，在现场采取人工读数的方式获取数据。

**B.0.3** 气泡影响仪器测试精度，通过使用无气水，并通过负压力抽水等方式，减少探头内气体。一般情况下，距离暴露面越远，混凝土内部孔隙负压受外界环境的影响就越小，越能反映混凝土整体性能的变化，因此在判断中期、后期养护时间时，宜将多孔陶瓷探头埋于混凝土浇筑体的中心或者距离混凝土暴露面 500 mm 以上。对于同一浇筑块，先浇筑的混凝土孔隙负压发展(凝结)要早于后浇筑混凝土，因此，孔隙负压的测试点的布置宜按照混凝土浇筑时间划分，开始和结束批次混凝土宜进行孔隙负压测试，中间批次混凝土可根据具体需求确定。

**B.0.4** 当体系出现漏气情况，孔隙负压值会骤降；如果测得孔隙负压低于目标值(如判定初凝时间试验时，测得孔隙负压低于 10 kPa 就出现骤降)，则需要重新进行试验。