

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization (CECS)

高原高寒地区公路工程混凝土技术规程

Technical Standards for Highway Concrete in
Extremely Cold and High-Altitude Plateau Areas

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会公路分会 发布

Issued by China Committee of Highway Engineering Standardization (CECS G)

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization (CECS)

高原高寒地区公路工程混凝土技术规程

Technical Standards for Highway Concrete in Extremely Cold
and High-Altitude Plateau Areas

T/CECS GXXXX:2020

主编单位：清华大学

发布机构：中国工程建设标准化协会公路分会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

XX 出版社

2020 北京

前言

根据中国工程建设标准化协会公路分会“中建标公路[2019]84号”文《关于2019年第一批中国工程建设标准化协会标准（公路工程）（CECS G）制修订项目编制工作的通知》的要求，清华大学承担《高原高寒地区公路工程混凝土技术规程》的制定工作。

编写组在总结高原高寒地区混凝土工程设计及施工技术和相关科研成果的基础上，以完善和提高高原高寒地区公路工程混凝土设计及施工技术为核心，完成了本规程的编写工作。

本规程分为7章，主要内容包括总则、术语与符号、基本规定、原材料、配合比设计、混凝土施工、质量检验及附录。

本规程是基于通用的工程建设理论及原则编制，仅适用于通用情况，对于某些特定专项应用条件，若其实用性及有效性未经资深专业人员验证，则不宜采用或参照本标准中相关条文。标准使用过程中产生的一切后果，其责任概由标准使用方承担，中国工程建设标准化协会公路分会不负任何法律责任。

请有关单位在使用过程中，将发现的问题和意见，函告本标准日常管理部门，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或清华大学土木工程系（地址：北京海淀区清华大学建筑材料研究所；邮编100084；电话：010-62771646；传真：010-62785836；电子邮箱：yawei@tsinghua.edu.cn），以便修订时参考。

主编单位：清华大学

参编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

北京新桥技术发展有限公司

中交一公局集团有限公司

中铁大桥局集团有限公司

主编：魏亚

主要参编人员：杨敏、刘亚林、郭为强、姚晓飞、路凯冀、明轩昂、陈雷、梁思明、闫闯、来猛刚、李超、戴青峰、刘水滔、杨学、董军、阳涛

主审：赵尚传

参与审查人员：付智、谢永江、徐岳、李国新、陈湘青、封基良

征求意见稿

目录

1 总则	7
2 术语与符号.....	8
2.1 术语.....	8
2.2 符号	9
3 基本规定	10
4 原材料	12
4.1 水泥	12
4.2 粗集料.....	12
4.3 细集料.....	14
4.4 矿物掺合料.....	15
4.5 外加剂	15
4.6 水	16
5 配合比设计.....	17
5.1 一般规定	17
5.2 环境类别及作用等级.....	18
5.3 冻融环境.....	20
5.4 盐渍土环境.....	24
5.5 冻土环境	28
6 混凝土施工	30
6.1 一般规定	30
6.2 施工准备.....	31
6.3 拌制	32
6.4 运输	33
6.5 浇筑	33
6.6 振捣	36
6.7 养生	36
6.8 拆模	40
7 质量检验	42
7.1 一般规定	42
7.2 原材料质量检验	42

7.3 拌合料质量检验	42
7.4 温度控制检验	43
7.5 硬化混凝土质量检验.....	43
附录 A.....	46

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为促进和规范高原高寒地区公路工程混凝土的生产与应用,做到技术先进、安全耐久、经济适用,确保工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于高原高寒地区公路工程混凝土的材料选择、配合比设计、制备与运输及验收。

1.0.3 高原高寒地区公路工程混凝土应考虑结构、原材料、生产及工程服役环境进行耐久性设计。

1.0.4 高原高寒地区公路工程混凝土设计和施工除应符合本规程的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 高原高寒地区 extremely cold and high-altitude plateau

海拔高且气候特别寒冷的高原地区，本规程主要指青藏高原地区。

2.1.2 抗冻耐久性指数 frost resistance durability factor

采用标准试验方法、经规定次数快速冻融循环后混凝土的动弹性模量与初始动弹性模量的比值。

2.1.3 引气 air entrainment

混凝土拌合时用表面活性剂在混凝土中形成均匀、稳定、球形封闭微气泡的工艺措施。

2.1.4 气泡间距系数 bubble spacing factor

是衡量引气混凝土中引入气泡间距的参数，用于施工过程中水泥混凝土的抗冻性评价。

2.1.5 盐渍土 saline soil

不同程度盐碱化土的总称。在公路工程中，盐渍土指地表下 1.0m 内易溶盐含量平均值大于 0.3% 的土。

2.1.6 附加防腐蚀措施 additional corrosion prevention measures

在改善混凝土密实性和增加保护层厚度等常规手段提高混凝土结构耐久性的基础上所采取的防腐蚀措施，如使用环氧涂层钢筋、钢筋阻锈剂、混凝土表面涂层、混凝土防腐面层和阴极保护等。

2.1.7 饱水度 degree of saturation

混凝土内部孔隙的充水程度，为混凝土孔隙中水的总体积与孔的总体积的比值。混凝土的抗冻性能与其饱水度紧密相关。本规程将饱水度定性地分为中度饱水和重度饱水，作为冻融环境下划分环境作用等级的依据之一。

2.1.8 冻土 frozen soil

冻土是指零摄氏度以下，并含有冰的各种岩石和土壤。一般可分为季节冻土（半月至数月）以及多年冻土（又称永久冻土，指的是持续二年或二年以上的冻

结不融的土层)。

2.1.9 受冻临界强度 critical strength in frost resistance

混凝土在受冻以前必须达到的最低强度。

2.1.10 蓄热法 thermos method

混凝土浇筑后,利用原材料加热以及水泥水化放热,并采取适当保温措施延缓混凝土冷却,在混凝土降到 0℃ 以前达到受冻临界强度的施工方法。

2.1.11 暖棚法 tent heating method

将混凝土构件或结构置于搭设的棚中,内部设置散热器、排管、电热器或火炉等加热棚内空气,使混凝土处于正温环境下养护的施工方法。

2.1.12 负温养护法 curing method at subzero temperature

在混凝土中掺入防冻剂,使其在负温条件下能够不断硬化,在混凝土温度降低到防冻剂规定温度前达到受冻临界强度的施工方法。

2.2 符号

DF ——混凝土抗冻耐久性指数;

E_0 ——经历冻融循环之前混凝土的初始动弹性模量;

E_1 ——经历冻融循环之后混凝土的动弹性模量;

D_{RCM} ——用外加电场加速离子迁移的标准试验方法测得的氯离子扩散系数;

ΔT ——日温差;

KS ——混凝土抗压强度耐蚀系数下降到不低于 75% 时的最大干湿循环次数。

3 基本规定

3.0.1 高原高寒地区公路工程混凝土必须满足设计要求的强度等级和耐久性，在设计使用年限内必须满足结构承载和正常使用功能要求。

3.0.2 高原高寒地区公路工程混凝土结构耐久性的设计使用年限不应低于现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50135)的规定。高原高寒地区公路工程混凝土结构的设计基准期宜按表 3.0.2 的分级选取。

表 3.0.2 公路工程混凝土结构的设计基准期

级别	名称	举例	设计基准期	耐久性指标
一	重要基础设施工程	特大型桥涵、隧道，立交桥枢纽，二级及以上公路的桥涵、隧道等	100 年	抗冻性能 抗氯盐性能 抗硫酸盐性能
二	一般基础设施工程	二级以下公路的桥涵及隧道	50 年	

注：公路工程的混凝土挡墙、防撞护栏等结构物的设计基准期，原则上宜与主体结构相同。

3.0.3 高原高寒地区公路工程混凝土应针对混凝土结构所处的环境和预定的功能，选用适当的水泥、集料、外加剂及水胶比。

3.0.4 混凝土抗冻设计应遵循技术、经济和安全耐久的原则，并应充分调查公路工程所在地区的气候条件、水文地质条件及抗冻性材料资源等要素。应充分收集和调查当地既有工程的冻害资料和相应的冻害防治经验。当采用抗冻新技术、新材料、新工艺时，必须经过试验验证。

条文说明

混凝土抗冻设计应遵循技术、经济和安全耐久原则，重点放在安全耐久方面。这是因为公路受冻破坏远比疲劳破坏快得多，因此，抗冻设计的经济造价应以抗冻使用年限为基础进行比选。

3.0.5 有抗冰冻、抗盐冻要求的公路工程混凝土，应掺入适量的引气剂，并达到本标准规定的含气量。

3.0.6 遭受恶劣冰冻环境的素混凝土构件，宜在混凝土中适当添加纤维等材料，以提高抗开裂性能。

3.0.7 高原高寒地区公路工程混凝土结构设计，应根据混凝土力学性能指标要求，及混凝土结构的抗冻耐久性需求，进行原材料的选取、性能指标的检评。

3.0.8 高原高寒地区公路工程混凝土应避免早期受冻，须采用合适的施工方法进行保温、保湿养生。

征求意见稿

4 原材料

4.1 水泥

4.1.1 应根据公路工程混凝土结构物的性能和特点、结构物所处的环境及施工条件，选择合适的水泥品种。优先选用硅酸盐类水泥，不宜使用火山灰质硅酸盐水泥，不得使用铝酸盐水泥或复合硅酸盐水泥；大体积混凝土宜采用硅酸二钙(C_2S)相对较高的水泥。

4.1.2 强度等级应不低于 42.5 级，并与混凝土设计强度等级相适应。

4.1.3 技术指标除应符合现行《通用硅酸盐水泥》(GB175)的相关规定外，尚应符合下列规定：1) 比表面积不宜超过 $350\text{ m}^2/\text{kg}$ ，2) 铝酸三钙(C_3A)含量不宜超过 8%。

条文说明

水泥中铝酸三钙(C_3A)水化速度快，虽然能提高混凝土早期强度，但是其水化热大、收缩变形大，易导致混凝土水化热过大，增加开裂风险，因此需要限制水泥中 C_3A 的含量；硅酸二钙(C_2S)的后期强度较好，其水化热较小，因此对于大体积混凝土，宜适当提高水泥中 C_2S 的含量，来改善混凝土的体积稳定性和抗裂性。

4.2.4 浇筑大体积混凝土或与冻土层有接触的混凝土时，宜选用低热水泥。

4.2 粗集料

4.2.1 粗集料宜就地取材选用质地坚硬、级配良好、粒径合格、吸水率低、颗粒洁净、有害杂质含量少、无碱活性的集料。

4.2.2 粗集料的技术指标除应满足现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的相关规定外，还应满足表 4.2.2 的要求，该表中的试验方法参照《公路工程集料试验规程》(JTG E42)中的规定执行。

表 4.2.2 粗集料技术要求

项目	无盐环境	有盐环境	试验方法
含泥量 (%)	≤ 1.0	≤ 0.5	T 0310

泥块含量 (%)	≤0.2	≤0.0	T 0310
坚固性 (%)	≤8	≤5	T 0314
压碎值 (%)	≤25	≤18	T 0316
吸水率 (%)	≤1.5	≤1.0	T 0308
针片状颗粒含量 (%)	≤10		T 0311
空隙率 (%)	≤45		T 0309、T0308

4.2.3 粗集料应采用连续两级配或连续多级配，不宜采用单粒级或间断级配，粗集料的颗粒级配应符合表 4.2.3 中的规定。粗集料最大粒径应按混凝土结构情况及施工方法选取，但最大粒径不得超过结构最小边尺寸的 1/4 和钢筋最小净距的 3/4，且不宜大于 37.5mm。

表 4.2.3 粗集料级配范围

级配情况	公称粒径 (mm)	累计筛余 (按质量百分率计)							
		方孔筛筛孔边长尺寸 (mm)							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	0~10	0	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0
	5~40	—	95~100	70~90	—	30~65	—	—	0~5

注：该表格参考了《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50) 的相关规定。

条文说明

良好的集料级配可以提高混凝土的和易性、密实度和强度，还有利于减少混凝土温度裂缝。

4.2.4 对于石灰岩碎石，当用于氯盐冻融环境时，石灰石粉的含量应小于 0.5%。

4.3 细集料

4.3.1 细集料宜就地取材选用质地坚硬、级配良好、粒径合格、吸水率低、颗粒洁净、有害杂质含量少、无碱活性的集料。

4.3.2 细集料技术指标除应满足现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的相关规定外，还应满足表 4.3.2 的要求，该表中的试验方法参照《公路工程集料试验规程》（JTG E42）中的规定执行。

表 4.3.2 细集料技术要求

项目		无盐环境	有盐环境	试验方法
含泥量（%）		≤2.0	≤1.0	T 0333
机制砂石粉含量（%）	≥1.4	≤3.0	≤1.0	T 0333、T0349
	<1.4	≤5.0	≤3.0	
泥块含量（%）		≤1.0	≤0.5	T 0335
云母含量（%）		≤2.0	≤1.0	T 0337
坚固性（%）		≤8		T 0340
吸水率（%）		≤1.5	≤1.0	T 0330
空隙率（%）		≤44		T 0331、T0328

4.3.3 细集料的颗粒级配应处于表 4.3.3 中的任意级配区以内。对于高性能、高强度、泵送混凝土，宜选用细度模数为 2.9~2.6 的中砂，且 2.36mm 筛孔的累计筛余不得大于 15%，300 μm 筛孔的累计筛余量宜在 85~92%范围内。

表 4.3.3 细集料的分区及级配范围

方孔筛筛孔边长尺寸	累计筛余（%）		
	级配区		
	I 区	II 区	III 区
4.75mm	10~0	10~0	10~0
2.36mm	35~5	25~0	15~0
1.18mm	65~35	50~10	25~0
600μm	85~71	70~41	40~16

300 μm	95~80	92~70	85~55
150 μm	100~90	100~90	100~90

注：1. 该表参考《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的相关规定。

2. 表中除 4.75mm 和 600 μm 筛孔外，其余各筛孔累计筛余允许超出界限，但其超出量不得大于 5%。

3. 人工砂中 150 μm 筛孔的累计筛余：I 区可以放宽到 100%~85%，II 区可以放宽到 100%~80%，III 区可以放宽到 100%~75%。

4. I 区砂宜提高砂率以配制低流动性混凝土；II 区砂宜有限选用配制不同强度等级的混凝土；III 区砂宜适当降低砂率以保证混凝土的强度。

4.3.4 对于石灰岩机制砂，当用于氯盐冻融环境和硫酸盐环境时，石灰石粉含量应小于 1%。

4.4 矿物掺合料

4.4.1 水泥混凝土中不宜在使用普通硅酸盐水泥后额外掺加矿物掺合料，如使用，应选用符合要求的硅灰、I 级或 II 级低钙粉煤灰、粒化高炉矿渣等，且掺量应符合配合比设计章节中对矿物掺合料用量的限制。

4.4.2 粉煤灰的烧失量不宜大于 5%，需水量比不宜大于 105%，其他技术指标应符合现行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596）的相关规定。

4.4.3 矿渣的比表面积宜为 350~450 m^2/kg ，需水量比不宜大于 100%，烧失量不应大于 3%，氯离子含量不应大于 0.02%，其他技术指标应符合现行《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）的相关规定。

4.4.4 对于氯盐冻融环境或硫酸盐环境，活性矿物掺合料中不得含有石灰石粉。

4.5 外加剂

4.5.1 水泥混凝土中掺加的引气剂或引气减水剂应符合现行《公路工程混凝土外加剂》（JT/T 523）的相关规定。

4.5.2 引气剂应选用三萜皂苷类、松香热聚物类或改性松香皂类引气剂，不得使用烷基苯磺酸盐类、木质素磺酸盐类等及其它不符合使用质量要求的引气剂。

4.5.3 不宜使用无机盐类早强剂、防冻剂。不得使用含有碱金属或氯盐的外加剂。

4.5.4 各种外加剂中氯离子总含量不宜大于混凝土中胶凝材料总量的 0.02%，硫酸钠含量不宜大于减水剂干重的 15%。

4.5.5 选用外加剂时，应进行外加剂与胶凝材料的相容性、和易性、强度、耐久性等试验确定外加剂的种类和掺量。

条文说明

三萜皂苷类、松香热聚物类或改性松香皂类引气剂引入的气泡尺寸小、拌和物含气量稳定，对抗冻性的改善明显优于化学合成的引气剂。

部分聚羧酸盐类减水剂引入的气泡尺寸大，不能提高混凝土的抗冻性，要求使用消泡剂来去除聚羧酸盐类减水剂引入的大气泡。

外加剂与水泥适应性的好坏，集料、矿物掺合料的某些成分，不同外加剂间的相互作用，将直接影响外加剂在水泥混凝土中的作用效果。同时，施工季节也会影响外加剂的效果。因此，需要对拟用的各种原材料进行外加剂相容性试验。该部分主要参考《季节性冻土地区公路设计与施工技术规范》（JTG/T D31-06-2017）的相关要求。

4.5.6 为保证高原高寒地区公路工程混凝土在冬季施工时能在负温下硬化，并在规定时间内达到足够的强度，在采取相应保温措施的同时，在混凝土拌和时掺加适量防冻剂、早强剂等辅助措施，并经试验验证后方可使用。防冻剂的技术指标应符合现行《混凝土防冻剂》（JC475-2004）的相关规定。

4.5.7 抗冻水泥混凝土冬季施工掺用早强剂、防冻剂等其他外加剂前，必须要经试验证明对混凝土强度及抗冻性有利无害后才可使用。

4.6 水

4.6.1 混凝土搅拌用水应符合现行《混凝土用水标准》（JGJ63-2006）的相关规定，不得使用含有超量 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 的水搅拌混凝土。

4.6.2 混凝土用水应清洁，不应采用污水或 pH 小于 5 的酸性水。混凝土用水不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质、油脂、糖类及游离酸类等。

4.6.3 养护用水与混凝土的温差应小于 15°C ，高温季节拌合用水的温度应低于 30°C 。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 高原高寒地区公路工程混凝土配合比在满足力学性能要求的基础上，尚应根据结构的设计基准期、服役环境类别及作用等级进行分类设计。当同一结构中的不同构件和同一构件中的不同部位所处的局部环境有异时，应予以区别对待。

条文说明

混凝土服役寿命与实际环境密切相关，不同的服役环境及作用等级对混凝土的力学性能和耐久性具有不同的劣化作用。当同一结构中的不同构件和同一构件中的不同部位受环境作用差异较大时，例如，由于大桥或长桥的不同桥段所处位置和局部环境特点的不同，其环境类别与作用等级可能存在明显差异，应分区进行配合比设计。

5.1.2 当结构及其构件在服役过程中可能受到多种、复杂环境类别共同作用时，配合比设计应分别满足每种环境类别单独作用下的要求，并将满足每种作用环境类别下最不利条件的规定作为配合比设计基本要求。

条文说明

多种环境因素的耦合作用，可能加剧劣化作用。但目前尚无明确的耦合作用下的劣化定量研究成果。因此，本规范将满足每种环境类别下最不利条件的规定作为配合比设计的基本要求。

5.1.3 混凝土可单独或复配掺用适量的粉煤灰、矿渣。为了便于控制胶凝材料中掺合料的品种与掺量，一般应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

5.1.4 若选用已含有矿物掺合料的水泥，应掌握其中掺合料的品种和掺量情况，应将其中原有矿物掺合料与配制混凝土时加入的矿物掺合料一起计算掺合料占胶凝材料总量的百分比。

条文说明

根据现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175, 普通硅酸盐水泥 (P·O) 中掺入的粒化高炉矿渣、粉煤灰、火山灰质混合材料三种组分的合计质量分数 (%) 要求为 5~20, 粉煤灰硅酸盐水泥 (P·F) 中掺入的粉煤灰质量分数 (%) 要求为 20~40, 矿渣硅酸盐水泥 (P·S·A) 中掺入的粒化高炉矿渣质量分数 (%) 要求为 20~50。但实测结果表明, 部分水泥厂生产的水泥中混合材的实际掺量往往超过了规定值, 已不具备混凝土中再加掺合料的条件, 否则将严重降低混凝土早期强度、抗裂性、耐磨性等性能。因此, 必须充分了解所用水泥中的掺合料品种和掺量情况, 以实测值来确定混凝土中掺合料的品种与掺量。

5.1.5 对处于严重腐蚀环境下的混凝土结构, 应设计可靠的防腐蚀附加措施。

5.1.6 混凝土配合比设计包括目标配合比设计和施工配合比设计两个阶段。目标配合比设计应确定混凝土的水泥用量、集料用量、水胶比、外加剂掺量。施工配合比设计应根据拌和楼 (机) 试拌情况, 对试拌配合比进行性能检验和调整, 直至符合目标配合比要求。

5.1.7 目标配合比的设计应按下列程序进行:

(1) 掌握配合比设计的基本条件。确定结构和构件的设计使用年限, 划分工程结构和构件的环境类别及作用等级, 选定符合质量标准的原材料, 拟定配合比的控制性参数。

(2) 进行目标配合比设计。根据掌握的配合比设计基本条件, 确定水泥用量、水胶比、含气量设计值, 选择集料级配类型及砂率, 计算各材料用量。掺加引气剂时, 应在计算时按体积比例在集料及水中去掉含气体积。

(3) 按拟定的目标配合比进行试验室试拌, 实测各项性能指标。检验混凝土的工作性、强度、硬化混凝土含气量及气泡间距系数、抗冻性及抗侵蚀性等指标。

(4) 根据试验结果调整配合比设计。

5.2 环境类别及作用等级

5.2.1 高原高寒地区公路工程混凝土配合比设计, 应重点考虑冻融环境和盐渍土

环境，按表 5.2.1 的规定进行确定。

表 5.2.1 环境类别

环境类别		劣化机理	
名称	符号		
冻融环境	I	反复冻融导致混凝土损伤	
盐渍土环境	氯盐环境	II	氯盐对钢筋混凝土结构中钢筋的锈蚀
	盐结晶环境	III	硫酸盐在混凝土孔隙中结晶膨胀导致混凝土损伤
	化学腐蚀环境	IV	硫酸盐与水泥基发生化学反应导致混凝土损伤

5.2.2 环境作用等级的确定宜根据表 5.2.2 的规定，选取适宜因素，对混凝土结构构件所处的环境状况和数据开展调研。

表 5.2.2 环境调研的内容

环境类别		调研内容	
名称	符号		
冻融环境	I	最冷月平均气温、日温差、饱水度、雨雪和雨淋程度	
盐渍土环境	氯盐环境	II	盐渍土体、水体中氯离子浓度
	盐结晶环境	III	硫酸根离子浓度（含量）、有无干湿交替作用、日温差
	化学腐蚀环境	IV	盐渍土体、水体中硫酸根离子浓度（含量）

5.2.3 环境对混凝土结构构件的作用程度应采用环境作用等级表达，并按表 5.2.3 的规定进行划分。

表 5.2.3 环境作用等级划分

环境类别		环境作用等级					
名称	符号	A 轻微	B 轻度	C 中度	D 严重	E 非常严重	F 极端严重
冻融环境	I	—	—	I-C	I-D	I-E	I-F
盐渍土环境	氯盐环境	II	—	—	II-C	II-D	II-E
	盐结晶环境	III	—	—	—	III-D	III-E

	化学腐蚀环境	IV	—	—	IV-C	IV-D	IV-E	IV-F
--	--------	----	---	---	------	------	------	------

5.3 冻融环境

5.3.1 冻融环境下混凝土配合比设计，应控制混凝土遭受长期冻融循环作用引起的损伤。

5.3.2 长期与水直接接触并可能发生反复冻融循环的混凝土结构及构件，应考虑冻融环境的作用。冻融环境下混凝土结构的环境作用等级划分应按表 5.3.2 的要求执行。

表 5.3.2 冻融环境作用等级

环境类别	作用等级	环境条件	结构构件示例
一般冻融环境	C	微冻地区，混凝土中度饱水	受雨淋构件的竖向表面
	D	微冻地区，混凝土高度饱水	水位变动区的构件，频繁淋雨的构件水平表面
		严寒地区和寒冷地区，混凝土中度饱水	受雨淋构件的竖向表面
	E	严寒地区和寒冷地区，混凝土高度饱水	水位变动区的构件，频繁淋雨的构件水平表面
盐冻环境（氯盐）		混凝土中度饱水	受除冰盐溅射的构件竖向表面
	F	混凝土高度饱水	直接接触除冰盐的构件水平表面

注：1. 冻融环境按当地最冷月平均气温划分为严寒地区、寒冷地区和微冻地区，其最冷月的平均气温 T 分别为： $T \leq -8^{\circ}\text{C}$ ， $-8^{\circ}\text{C} < T < -3^{\circ}\text{C}$ 和 $-3^{\circ}\text{C} \leq T \leq 2.5^{\circ}\text{C}$ ；

2. 中度饱水指冰冻前偶受水或受潮，混凝土内部饱水程度不高；高度饱水指冰冻前长期或频繁接触水或湿润，混凝土内部高度水饱和；

3. 当设有防寒保暖层时，应根据设计的混凝土构件表面温度，取用对应的冻融环境；

4. 直接接触积雪的混凝土柱底部，宜适当提高环境作用等级，并宜增加表面防护措施。

5.3.3 冻融环境下混凝土最低强度等级应满足表 5.3.3 的要求。（参考《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310-2019）

表 5.3.3 冻融环境下混凝土最低强度等级（100 年）

冻融环境 作用等级	桥涵结构				隧道结构
	预应力混凝土	钢筋混凝土		素混凝土	
		上部结构	下部结构		

		梁、板、塔	桥墩、涵洞	承台、基础		
C	C45	C40	C35	C30	C30	C40
D	C45	C40	C35	C30	C30	C45
E	C50	C45	C40	C35	C35	C50
F	C50	C45	C40	C35	C35	C50

注：设计使用年限为 50 年的桥涵、隧道结构和构件，其混凝土最低强度等级可在表 5.3.3 的规定上降低一个等级（5MPa）。但预应力混凝土应不低于 C45、钢筋混凝土应不低于 C30。

5.3.4 冻融环境下混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量应满足表 5.3.4 的要求。

表 5.3.4 冻融环境下混凝土的最大水胶比和最小胶凝材料用量（100 年）

冻融环境 作用等级	桥涵结构										隧道结构	
	预应力混凝土		钢筋混凝土						素混凝土			
			上部结构		下部结构							
					梁、板、塔		桥墩、涵洞					
	最大水胶比和最小胶凝材料用量（kg/m³）											
C	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.50	300	0.50	300	0.40	340
D	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.50	300	0.50	300	0.36	360
E	0.32	380	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.45	320	0.32	380
F	0.32	380	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.45	320	0.32	380

注：设计使用年限为 50 年的桥涵、隧道结构和构件，其混凝土的最大水胶比和最小胶凝材料用量可在表 5.3.4 的规定上降低一个环境作用等级进行取值。当环境作用等级为 C 时，不再降低作用等级进行取值。

5.3.5 由于水泥混凝土路面主要考虑弯拉强度，因此路面水泥混凝土的最低弯拉强度与最大水胶比还应满足表 5.3.5 的要求。

表 5.3.5 路面水泥混凝土的最低弯拉强度与最大水胶比

高速公路、一级公路			二级公路及以下		
最低弯拉强度 (MPa)	最大水胶比		最低弯拉强度 (MPa)	最大水胶比	
	一般冻融环境	盐冻环境		一般冻融环境	盐冻环境
5.0	0.42	0.40	4.5	0.44	0.42

5.3.6 冻融环境下混凝土中的矿物掺合料用量应满足表 5.3.6 的规定。

表 5.3.6 冻融环境下混凝土中矿物掺合料用量范围

环境类别	水胶比	粉煤灰（%）	磨细矿渣（%）
------	-----	--------	---------

冻融环境	≤ 0.40	≤ 30	≤ 40
	> 0.40	≤ 20	≤ 30

注：1. 矿物掺合料的用量应将水泥中的原有矿物掺合料含量与配制混凝土时额外加入的矿物掺合料用量一并计为胶凝材料总量的百分比。

2. 本表规定的掺量是指单掺一种矿物掺合料时的掺量范围。

5.3.7 混凝土的抗冻耐久性指数不应小于表 5.3.7 的规定。（参考《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310-2019）

表 5.3.7 混凝土抗冻耐久性指数（%）

使用年限级别	100 年			50 年（30 年）		
环境条件	高度饱水	中度饱水	含盐环境	高度饱水	中度饱水	含盐环境
微冻地区	60	60	70	50	45	60
寒冷地区	70	60	80	60	50	70
严寒地区	80	70	85	70	60	80

注：1. 抗冻耐久性指数（DF）为混凝土试件经 300 次快速冻融循环后混凝土的动弹性模量 E_1 与其初始值 E_0 的比值， $DF = E_1/E_0$ ；如在达到 300 次循环之前 E_1 已降至初始值的 60% 或试件重量损失已达到 5%，以此时的循环次数 N 计算 DF 值，并取 $DF = (N/300) \times 0.6$ ；

2. 混凝土的抗冻耐久性应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）规定的快冻法进行检验。

5.3.8 冻融环境下，当混凝土水胶比大于 0.3 时，应掺入引气剂或引气型减水剂，并使在浇筑现场测定的含气量和硬化水泥混凝土的气泡间距系数满足表 5.3.8 的要求。针对高原地区气压低的情况，进行引气混凝土配合比设计时，可将表中的含气量增加 1.0%~2.0% 作为含气量设计值，以保证得到的现场拌合混凝土含气量满足表中要求。（部分参考了《季节性冻土地区公路设计与施工技术规范》（JTG/TD31-2017）

表 5.3.8 引气混凝土的含气量与气泡间距系数

项目	抗冻耐久性指数（%）	强度等级				弯拉强度（MPa）		
		C30	C40	C50	$\geq C60$	4.0	4.5	5.0
设计含气量（%）	50	5.0	4.5	4.0	3.0	5.0	5.0	4.5
	60	5.5	5.0	4.0	3.0	5.5	5.5	5.0
	70	6.0	5.0	4.5	3.5	—	6.0	5.0

	80	—	5.5	4.5	3.5	—	6.5	5.5
气泡间距系数 (μm)	50	≤ 280	≤ 300	≤ 330	≤ 350	≤ 280	≤ 290	≤ 300
	60	≤ 260	≤ 280	≤ 310	≤ 330	—	≤ 250	≤ 260
	70	—	≤ 230	≤ 260	≤ 290	—	≤ 220	≤ 230
	80	—	≤ 210	≤ 240	≤ 270	—	—	—

注：1. 表中含气量对应粗集料最大粒径为 19mm 或 26.5mm 时的数值。当粗集料最大粒径为 9.5mm 或 16mm 时，含气量应按表中数值增加 0.5%；当粗集料最大粒径为 31.5mm 时，含气量可较表中数值减小 0.5%。

2. 表中含气量指现场入模前测得的水泥混凝土拌和物的含气量，含气量偏差应控制在 -0.5%~+1.0% 内。含气量的检测按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）中 T 0526-2005 进行。

3. 气泡间距系数按现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）中附录 B 规定的方法测试。

条文说明

由于在硬化混凝土含气量相同的条件下，高原低气压引气混凝土的气孔结构要劣于平原常压引气混凝土，因此在配合比设计时须对高原地区的混凝土进行含气量修正，将表 5.3.8 中的含气量增加 1.0%~2.0% 得到新拌混凝土含气量设计值。

气泡间距系数与水泥混凝土的抗冻性密切相关，用于施工过程中水泥混凝土的抗冻性质量或实体工程抗冻性评价。

与现行的其他规范规定的含气量、气泡间距系数相比较，表中规定的含气量有所降低，而气泡间距系数有所增大。一方面是表中的含气量由出机口测定值改为浇筑现场测定值；另一方面是因为研究表明，强度较高的混凝土在较低含气量及较高气泡间距下即可获得良好的抗冻性。

5.3.9 引气混凝土含气量调整应符合下列规定：

- （1）引气混凝土拌和物含气量的调整宜通过改变引气剂掺量来进行。
- （2）引气混凝土拌和物含气量低于要求时，允许在原拌和物的基础上增加引气剂掺量来调整拌和物含气量。在调整一次后，拌和物含气量仍不能满足要求时，应该将该拌和物废弃，重新配料并再次调整引气剂掺量，直至拌和物含气量满足

要求。

(3) 引气混凝土拌和物含气量高于要求时, 应将该拌和物废弃, 重新配料并适当减少引气剂掺量, 直至拌和物含气量满足要求。

5.3.10 采用快冻法检验引气混凝土的抗冻性。检验方法依照现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) T0565 的规定进行, 并符合下列规定:

(1) 应在和易性、拌和物含气量、强度指标等合格的基础上进行抗冻性检验。进行抗冻性检验时, 拌和物含气量应在设计值的基础上增加、减少 0.5~1.0 个百分点, 试配 3 组混凝土。

(2) 当抗冻性不满足要求时, 应采取增加拌和物含气量、减小水胶比等措施, 直至抗冻性满足要求。选择满足强度指标和抗冻性要求, 且经济合理的配合比作为设计配合比。

5.4 盐渍土环境

5.4.1 应考虑高海拔盐渍土地区中常见的氯盐、硫酸盐介质对混凝土的腐蚀破坏。对于氯盐介质, 应控制盐渍土体中及盐湖水体中的氯盐对钢筋混凝土结构中钢筋的锈蚀。对于硫酸盐介质, 应控制混凝土在近地面区域及在干湿循环作用下, 因水中或土中硫酸盐与水泥水化产物发生化学反应或因硫酸盐结晶后体积膨胀而导致混凝土发生的膨胀破坏。

5.4.2 盐渍土环境下混凝土结构的环境作用等级应按下列原则确定:

(1) 当盐渍土中氯盐和硫酸盐介质对应的环境作用等级不同时, 应取其中最高的环境作用等级;

(2) 当有两种及以上环境作用等级相同且共同作用将加重对混凝土破坏时, 其环境作用等级宜再提高一级。

5.4.3 对于盐渍土地区的混凝土结构, 埋入土中的混凝土应按化学腐蚀环境考虑; 露出地表的毛细吸附区内的混凝土应按盐结晶环境考虑。

5.4.4 对于一面接触含盐环境水(或土)而另一面临空且处于大气干燥或多风环境中的薄壁混凝土结构(如隧道衬砌), 接触含盐环境水(或土)的混凝土按遭受化学侵蚀环境作用考虑, 临空面的混凝土按遭受盐类结晶破坏环境作用考虑。

5.4.5 氯盐环境下混凝土结构的环境作用等级划分，应根据环境资料和既有工程调查资料，参照表 5.4.5 的规定执行。

表 5.4.5 氯盐环境的作用等级

环境作用等级	环境条件
II-C	接触较低浓度氯离子水体（ Cl^- 浓度：100mg/L~500mg/L），且有干湿交替
	接触较低含量氯离子的盐渍土体（ Cl^- 含量：150mg/kg~750mg/kg）
II-D	接触较高浓度氯离子水体（ Cl^- 浓度：500mg/L~5000mg/L），且有干湿交替
	接触较高含量氯离子的盐渍土体（ Cl^- 含量：750mg/kg~7500mg/kg）
II-E	接触高浓度氯离子水体（ Cl^- 浓度 >5000mg/L），且有干湿交替
	接触高含量氯离子的盐渍土体（ Cl^- 含量 >7500mg/kg）

注：水体中氯离子的浓度测定方法按现行标准《铁路工程水质分析规程》(TB10104)的相关规定执行，土体中氯离子含量测定方法按现行标准《铁路工程岩土化学分析规程》(TB10103)的相关规定执行。

5.4.6 处于盐渍土地区的混凝土结构，其距离地表或水面约 1m 区内的毛细吸附区，或一面接触高浓度硫酸盐的环境水或环境土而另一面临空的薄壁混凝土结构，多遭受盐结晶破坏。盐结晶破坏程度与环境水和土中的硫酸盐浓度、环境温度及混凝土表面干湿交替程度有关。硫酸盐结晶环境下混凝土结构的作用等级划分应按表 5.4.6 的规定执行。

表 5.4.6 硫酸盐结晶环境的作用等级

环境作用等级	环境条件	
	水体中 SO_4^{2-} 浓度 (mg/L)	土体中 SO_4^{2-} 浓度 (水溶值) (mg/kg)
III-D	$\Delta T \leq 10^\circ\text{C}$ ，有干湿交替作用的盐土环境	
	200~2000	300~3000
III-E	$\Delta T \leq 10^\circ\text{C}$ ，有干湿交替作用的盐土环境	
	2000~4000	3000~6000
III-F	$\Delta T > 10^\circ\text{C}$ ，干湿交替作用频繁的高含盐量盐土环境	
	4000~10000	6000~15000

注：1.表中 ΔT 为日温差；

2.水体中硫酸根离子的浓度测定方法按现行标准《铁路工程水质分析规程》（TB10104）的相关规定执行，土体中硫酸根离子含量测定方法按现行标准《铁路工程岩土化学分析规程》（TB10103）的相关规定执行；

3.当混凝土处于极高硫酸盐含量的地区（环境水体中 SO_4^{2-} 浓度 >10000 mg/L，或环境土体中 SO_4^{2-} 含量>15000mg/kg），其配合比设计应通过专门的试验和研究确定；

5.4.7 处于盐渍土地区的混凝土结构，对于埋入土体中或与地下水、地表水接触的混凝土应按化学侵蚀环境考虑。硫酸盐化学侵蚀环境下混凝土结构的环境作用等级划分应按表 5.4.7 的规定执行。

表 5.4.7 硫酸盐化学侵蚀环境的作用等级

环境作用等级	环境条件	
	水体中 SO_4^{2-} 浓度 (mg/L)	土体中 SO_4^{2-} 浓度 (水融值) (mg/kg)
IV-C	200~500	300~750
IV-D	500~2000	750~3000
IV-E	2000~5000	3000~7500
IV-F	——	

注：1.水体中硫酸根离子的浓度测定方法按现行标准《铁路工程水质分析规程》（TB10104）的相关规定执行，土体中硫酸根离子含量测定方法按现行标准《铁路工程岩土化学分析规程》（TB10103）的相关规定执行；

- 2.在高水压条件下应提高相应环境作用等级；
- 3.当混凝土结构构件处于弱透水土体中时，土中硫酸根的作用等级可按相应的等级降低一级。

5.4.8 盐渍土环境下混凝土最低强度等级应满足表 5.4.8 的要求。

表 5.4.8 盐渍土环境下混凝土最低强度等级（100 年）

环境 作用等级	桥涵结构					隧道结构
	预应力混凝土	钢筋混凝土			素混凝土	
		上部结构	下部结构			
		梁、板、塔	桥墩、涵洞	承台、基础		
C	C45	C40	C35	C30	C35	C40
D	C45	C40	C35	C30	C35	C45
E	C50	C45	C40	C35	C35	C50
F	C50	C45	C40	C35	C35	C50

注：设计使用年限为 50 年的桥涵、隧道结构和构件，其混凝土最低强度等级可在表 5.4.8 的规定上降低一个等级（5MPa），但预应力混凝土应不低于 C45、钢筋混凝土应不低于 C30。

5.4.9 盐渍土环境下混凝土的最大水胶比和最小胶凝材料用量应满足表 5.4.9 的要求。

表 5.4.9 盐渍土环境下混凝土的最大水胶比和最小胶凝材料用量（100 年）

环境作用等级	桥涵结构			隧道结构
	预应力混	钢筋混凝土	素混凝土	

	凝土		上部结构		下部结构							
			梁、板、塔	桥墩、涵洞	承台、基础							
	最大水胶比和最小胶凝材料用量（kg/m³）											
C	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.50	300	0.50	300	0.40	340
D	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.50	300	0.50	300	0.36	360
E	0.32	380	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.45	320	0.32	380
F	0.32	380	0.36	360	0.40	340	0.45	320	0.45	320	0.32	380

注：设计使用年限为 50 年的桥涵、隧道结构和构件，其混凝土的最大水胶比和最小胶凝材料用量可在表 5.4.9 的规定上降低一个环境作用等级进行取值。当环境作用等级为 C 时，不再降低作用等级进行取值。

5.4.10 盐渍土环境下混凝土中的矿物掺合料用量应满足表 5.4.10 的规定。

表 5.4.10 盐渍土环境下混凝土中矿物掺合料用量范围

环境类别	水胶比	粉煤灰 (%)	磨细矿渣 (%)
盐渍土环境	≤ 0.40	≤ 30	≤ 40
	> 0.40	≤ 20	≤ 30

1. 矿物掺合料的用量应将水泥中的原有矿物掺合料含量与配制混凝土时额外加入的矿物掺合料用量一并计为胶凝材料总量的百分比。

2. 本表规定的掺量是指单掺一种矿物掺合料时的掺量范围。**5.4.11** 混凝土的抗氯离子渗透性能用电通量法和氯离子扩散系数法表征，应满足表 5.4.11 的规定。（参考《公路机制砂高性能混凝土技术规程》）

表 5.4.11 混凝土抗氯离子渗透性能

指标	环境作用等级	设计使用年限	
		100 年	50 年 (30 年)
氯离子扩散系数 D_{RCM} ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	II-C	≤ 8	≤ 10
	II-D	≤ 5	≤ 7
	II-E	≤ 4	≤ 5
电通量值 (库伦)	II-C	≤ 1200	≤ 1500
	II-D	≤ 800	≤ 1000
	II-E	≤ 800	≤ 800

注：1. 混凝土的氯离子扩散系数和电通量应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T50082）规定的方法进行检验；

2. 表中规定的氯离子扩散系数 D_{RCM} 对应的混凝土试样龄期为 28d；电通量值对应的混凝土试样龄期为 56d。

5.4.12 混凝土的抗硫酸盐冻融循环性能应按表 5.4.12 中的规定执行。

表 5.4.12 混凝土抗硫酸盐结晶侵蚀性能

环境作用等级	抗硫酸盐结晶破坏等级	
	100 年	50 年（30 年）
IV-C	$\geq KS\ 90$	$\geq KS\ 60$
IV-D	$\geq KS\ 120$	$\geq KS\ 90$
IV-E	$\geq KS\ 150$	$\geq KS\ 120$

注：1.混凝土抗硫酸盐结晶破坏等级以混凝土试件在硫酸盐侵蚀环境中抗压强度耐蚀系数达到 75%时能经受的最大干湿循环次数来确定，并以符号 KS 来表示；

2.混凝土抗压强度耐蚀系数，为受硫酸盐侵蚀的一组混凝土试件在若干次干湿循环后的抗压强度测试值与同龄期标准养护条件下另一组试件的抗压强度测试值之间的比值。

3.混凝土抗硫酸盐结晶干湿循环次数应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T50082）规定的方法进行检验。

5.5 冻土环境

5.5.1 对于接触冻土环境的混凝土，应在满足冻融环境和盐渍土环境下的混凝土配合比设计要求的基础上，进行本节的设计。

5.5.2 配制对冻土层有直接影响的混凝土，应使用低水化热水泥，减少水泥用量。在矿物掺合料用量综合满足冻融环境表 5.3.6 和表盐渍土环境表 5.4.10 最大限值的前提下，增加一定数量的矿物掺合料。

条文说明

混凝土中减少水泥用量，掺入矿物掺合料，可有效降低水化热，以减少对周围冻土的热扰动。

5.5.3 当混凝土构件处在不适于加热保温养护的冻土环境下，应采用“负温混凝土”和“低温早强型混凝土”，且应以浇筑后 5d 内的预计日最低气温来选用防冻剂。

条文说明

“负温混凝土”是指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

混凝土温度降低到防冻剂规定温度前达到受冻临界强度。“低温早强型混凝土”是指在采用早强型水泥或加入早强剂配制混凝土。

5.5.4 混凝土设计中宜掺加具有减水、早强、防冻、引气、保塑等功能的高效多功能复合型外加剂。可在满足工作性要求的前提下，最大限度地降低混凝土的水灰比和单方水泥用量，降低混凝土的水化热温升。

5.5.5 对冻土层有直接影响的混凝土，必须考虑混凝土在硬化过程中释放热量对冻土的影响。可根据不同冻土地段、不同环境条件进行配合比设计，并经过试验论证。

征求意见稿

6 混凝土施工

6.1 一般规定

6.1.1 高原高寒地区对冬季的混凝土公路工程施工措施进行具体要求。当日平均气温连续 5d 稳定在 5°C 以下或最低气温连续 5d 稳定在 -3°C 以下时，应采用相应的冬季施工措施。（参考《水工混凝土施工规范》(SL677-2014) 对冬季施工的定义)

条文说明

根据国内外的规范标准，大多数都以平均气温低于 5°C 为冬季混凝土施工的气温标准，这是由于日平均气温降低到 5°C 以下时，混凝土强度增长明显减缓；最低气温 -3°C 以下时，混凝土早期易受冻。

6.1.2 冬季施工，应编制专项施工措施计划和可靠的技术措施，至少包括冬季施工起止日期，施工环境及各环节的热工计算，保温材料的调查和确定。混凝土工程冬季施工部分常用温度控制方法可参见附录 A，更多温度控制措施可参照现行《建筑工程冬期施工》JGJ/T104。

6.1.3 混凝土早期允许的受冻临界强度应满足下列要求：

(1) 采用蓄热法、暖棚法、加热法等施工的普通混凝土，采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制时，其受冻临界强度不应小于设计混凝土强度等级的 30%；采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥时，不应为小于设计混凝土强度等级的 40%。

(2) 当环境最低气温不低于 -15°C 时不应低于 4MPa ；当环境最低气温不低于 -30°C 时不应低于 5MPa 。

(3) 对强度等级等于或高于 C50 的混凝土，不宜低于设计混凝土强度等级的 30%。

(4) 对有抗渗要求的混凝土，不宜低于设计混凝土强度等级的 50%。

(5) 对有抗冻耐久性要求的混凝土，不宜低于设计混凝土强度等级的 70%。

条文说明

普通混凝土受冻临界强度是冬季施工中浇筑的混凝土在受冻以前必须达到的最低强度；又或者混凝土在若干龄期遭受冻结，恢复正温养护后混凝土强度可以继续增长，且相较于正常养护的混凝土没有造成强度的损失（或损失较小）所需要的最低强度值。

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护，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。

6.1.4 施工期采用的加热、保温、防冻材料（包括早强剂、防冻剂），应事先准备好，并应有防火措施。

6.1.5 混凝土运输、浇筑过程中的温度和覆盖的保温材料，按照现行规范《建筑工程冬期施工》（JGJ/T104）附录 A 进行热工计算。当不符合要求时，应采取措施进行调整。

6.1.6 混凝土施工过程中遭遇阵雨大雪天气时，应立即停止混凝土拌合及浇筑工作，并使用防雨棚、塑料布等覆盖尚未硬化的水泥混凝土表面。

6.1.7 混凝土施工过程中遭遇 6 级及以上的强风天气时，应停止施工；遭遇持续 4~5 级大风时，应加强混凝土拌合站集料的覆盖。

6.2 施工准备

6.2.1 混凝土的入模温度有一定的限制，应对原材料的加热、输送、储存和混凝土的拌和、运输、浇筑设备设施根据气候条件通过热工计算，采取适宜的保温措施。

6.2.2 拌制混凝土所采用的骨料在进入冬季前宜筛洗完毕。成批料堆应有足够的储备和堆高。骨料不得含有冰、雪、冻块及其它易冻裂物质，并用篷布或彩条布等覆盖以防雨、雪浸润。

6.2.3 在存放骨料的储物仓进行保温处理，可在仓内设置电暖风机进行预热处理，或采用蒸汽排管法加热骨料，确保骨料的温度达到指定标准且不同部位加热均匀，

骨料的最高加热温度不应大于 40℃。

6.3 拌制

6.3.1 搅拌混凝土前，应测定粗集料、细集料的含水率，根据含水率变化调整施工配合比。

6.3.2 采用电子计量系统计量原材料时，应按照施工配合比要求进行准确称量，每盘称量最大允许偏差应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 原材料最大允许偏差

原材料	胶凝材料	化学外加剂	粗集料	细集料	水
最大允许偏差（%）	±1	±1	±2	±2	±2

6.3.3 混凝土拌和前，使用热水或蒸汽冲洗拌和机，并将积水或冰水排除，使拌和机处于 0℃ 以上。对拌和楼重要部位可采用相应加温手段，确保设备的正常运行。拌制混凝土的最短时间应按表 6.3.3 采用（参考《建筑工程冬期施工》JGJ/T104-2011）。

表 6.3.3 拌制混凝土的最短时间(s)

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

6.3.4 化学外加剂宜采用液体外加剂，并应从混凝土用水量中扣除溶液中的水量；当采用粉剂时，应适当延长搅拌时间，延长时间不应少于 30s。

6.3.5 冬季施工时为提高混凝土出机温度，宜采用加热水的方法。拌和用热水温度一般不能超过 60℃，如果水温在 60℃ 以上时，应改变下料顺序，先将集料与

热水拌和，然后再加入水泥、掺合料和外加剂搅拌，以避免水泥在高温下的假凝现象。水泥不得与 60℃ 以上热水直接接触。水泥、外加剂及掺合料不得直接加热，可在使用前运入暖棚进行预热。

6.3.6 水加热宜采用蒸汽加热、电加热、汽水热交换罐或其他加热方法。水箱或水池容积及水温应能满足连续施工的要求。

6.3.7 配制与加入防冻剂，应设专人负责并做好记录，应严格按照剂量要求掺入。使用液体外加剂时应随时测定溶液温度，并根据温度变化用比重计测定溶液的浓度。当发现浓度有变化时，应加强搅拌直至浓度保持均匀位置。

6.4 运输

6.4.1 应选用运输能力与混凝土搅拌机的搅拌能力相匹配的搅拌运输车，长距离运送混凝土时，不得采用机动翻斗车、手推车等工具。采用混凝土泵输送混凝土时，应符合现行《混凝土泵送施工技术规程》（JGJ/T 10）的有关规定。

6.4.2 混凝土运输过程中应尽量减少倒运次数，以减少混凝土的温度损失、含气量损失和避免混凝土受冻，应对混凝土运输车进行包裹保温。

6.4.3 在工作停顿或结束时，立即用热水将混凝土搅拌车冲洗干净，恢复运输时，先用热水冲刷混凝土搅拌车及搅拌罐内壁。

6.4.4 自卸汽车运输抗冻水泥混凝土应保持含气量均匀一致，运输车辆严密不漏浆，运输中应用篷布遮盖。

6.4.5 混凝土运输允许的延续时间，当混凝土出口料温度大于 15℃ 时，为 30min，10~14℃ 为 45min，小于 10℃ 时为 75min。

6.4.6 当采用搅拌运输车运输混凝土时，在搅拌运输车到达浇筑现场时，应使搅拌罐高速旋转 20~30s，再将混凝土拌和物卸出。当混凝土拌和物出料困难，可适当加入减水剂，且应对加减水剂的情况做好记录，并使搅拌罐高速旋转 90s 后，将混凝土拌和物卸出。混凝土运输过程中，严禁向混凝土拌和物中加水。

6.5 浇筑

6.5.1 浇筑混凝土前和浇筑过程中，及时清除钢筋、模板和浇筑设施上附着的冰雪和冻块。

6.5.2 新浇筑混凝土与邻接的已硬化混凝土或岩土之间在浇筑时的温差不得大于 15℃。

6.5.3 对将要浇筑混凝土的基础面或搭接面层，需要进行预热、清洗、保温处理。可搭建暖棚或使用保温毯等使基层面或老混凝土表层温度在 5℃ 以上。浇筑面顶面保温至气温骤降结束或上层混凝土开始浇筑前。

6.5.4 抗冻水泥混凝土应该连续浇筑，各层之间浇筑时间间隔不宜超过 20min；当含气量大于等于 5%时，从拌和到浇筑完成不宜超过 15min，含气量低于 5%时，不宜超过 20min。

6.5.5 冬季施工时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，基土不得遭冻。如果在非冻胀性土地基上浇筑混凝土时，混凝土在受冻前的抗压强度应符合 6.1.3 中受冻临界强度要求。

6.5.6 在相对湿度较小、风速较大的环境下浇筑混凝土时，应采取适当挡风措施，并避免浇筑有较大暴露面积的构件。

6.5.7 浇筑低温度下养护且不与冻土层直接接触的混凝土结构时，冬季混凝土入模浇筑温度限值、混凝土出机温度限值、混凝土保温结束后 24h 内允许的最大降温值应满足表 6.5.7-1 至表 6.5.7-3 的要求。（该表参考美国混凝土协会 ACI306R-16）

表 6.5.7-1 冬季施工混凝土入模浇筑温度限值

构件最小尺寸			
<300mm	300~900mm	900~1800mm	>1800mm
13~24℃	10~21℃	7~18℃	5~16℃

表 6.5.7-2 冬季施工混凝土出机温度限值

编号	空气温度	构件最小尺寸			
		<300mm	300~900mm	900~1800mm	>1800mm
1	>-1℃	16~25℃	13~22℃	10~19℃	7~16℃
2	-18℃~-1℃	18~27℃	16~25℃	13~22℃	10~19℃
3	<-18℃	21~30℃	18~27℃	16~25℃	13~22℃

表 6.5.7-3 冬季施工混凝土保温结束后 24h 内允许的最大降温值

构件最小尺寸			
<300mm	300~900mm	900~1800mm	>1800mm
28℃	22℃	17℃	11℃

条文说明：

浇筑温度过大时反而会引起速凝，增加温度收缩变形。因此表 7.5.5-2 中既给出了最低温度限制，也给出了最高温度限制。

6.5.8 浇筑对冻土层有直接影响的混凝土结构时，混凝土的入模温度应控制在 2~5℃。

条文说明：

浇筑与冻土层有直接接触的混凝土时，如进行明挖基础、浇筑灌注桩以及承台等基础混凝土施工时，入模温度和水泥水化热放出的热量是影响冻土地温场和桩基础等周围地基土回冻过程的主要因素，为了减少地基受到的水泥水化热而产生的热影响，因此也需要限制混凝土的入模温度。

6.5.9 大体积混凝土分层浇筑时，已浇筑的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℃。

6.5.10 若当日平均气温低于-10℃时，应停止混凝土的浇筑；若瞬时气温低于-10℃时，可以错开时段进行浇筑。

7.5.11 浇筑预应力混凝土构件的湿接缝时，宜采用热混凝土或热水泥砂浆，并应适当降低水胶比。浇筑完成后应加热或连续保温养护，直至该处混凝土或水泥砂浆抗压强度达到设计强度的 75%。

7.5.12 浇筑过程中要时常检查入仓混凝土的浇筑质量。如遇发生冻胀现象的混凝土必须及时凿除且清出，该区域混凝土应重新浇筑以保证混凝土强度。

6.6 振捣

6.6.1 混凝土的振捣应按事先规定的工艺路线和方式进行，每点的振捣时间不宜超过 30s，以表面呈平坦泛浆为准，避免过振。

6.6.2 当采用插入式振动棒振捣混凝土时，宜采用垂直点振方式振捣，插入间距不应大于棒的振动作用半径的一倍。连续多层浇筑时，插入式振动棒应插入下层混凝土拌和物约 5cm。振捣应保证将混凝土振捣密实，不得漏振，也不得过振。

6.6.3 混凝土振捣时间以混凝土表面开始泛浆为度，应避免捣固过度，造成含气量损失过量。

6.7 养生

6.7.1 冬季混凝土施工或昼夜温差较大时应采取保温养护的措施，直至混凝土的强度达到临界抗冻强度，其受冻临界强度应符合 6.1.3 的规定。

条文说明

青藏高原高寒地区混凝土产生裂缝的原因主要有：（1）冬季温度下降，混凝土内部温度变化较缓慢，表面温度变化比较强烈，出现拉应力，进而出现裂缝；（2）在其它季节主要表现在昼夜温差上面，青藏地区日气温变化较强烈，严重时可达 20℃的温差，混凝土表面由于温度变化所引起的变形大于混凝土内部的温度变化引起的变形，进而混凝土表面出现拉应力，出现裂缝。因此保温养护对混凝土的质量具有重要意义。

6.7.2 混凝土带模期间暴露面宜采取覆盖、浇水、喷淋洒水等措施进行保湿养生。当气温低于 5℃时，不得向混凝土表面洒水。

6.7.3 冬季混凝土应加强早期养生，及时覆盖或喷洒养生剂。采用的养生剂及其工艺应符合现行《水泥混凝土养护剂》(JC901-2017) 的规定。混凝土泌水应待水分挥发后，再喷洒养护剂。养护剂洒布应均匀满布不露空白；养护剂应与混凝土中所掺外加剂的相容性良好。

条文说明

混凝土的养生方式可根据实际情况进行选择，但需保证混凝土处于有利于硬化的温

度环境中。

6.7.4 冬季混凝土浇筑后，当日平均气温在 $0^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$ 时采用蓄热法进行保温；当日平均气温在 $-5^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 时采用暖棚法进行保温。

条文说明

蓄热法保温养护是指混凝土浇筑时所用模板均采用保温模板，浇筑完成后，在其表面采用草帘、薄膜等保温材料覆盖，使混凝土缓慢冷却，从而减少水泥水化热的流失，使混凝土在受冻前达到设计要求的受冻临界强度。

暖棚法保温养护是指在混凝土结构周围用保温材料搭设暖棚，在棚内增设碘钨灯，或用废旧油桶燃烧煤炭等作为热源，使混凝土的浇筑和养护均处于 0°C 以上。暖棚法适用于地下结构工程和混凝土量比较集中的结构工程。

6.7.5 当混凝土构件处在不适于加热保温养护的环境下，应采用负温养护法，且应以浇筑后 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°C 。混凝土内部温度降到防冻剂规定的温度之前，混凝土的强度应达到抗冻临界强度要求。并应严格控制混凝土的养护温度不低于混凝土外加剂规定的最低温度。

条文说明

负温养护法在混凝土中掺入防冻剂，使其在负温条件下能够不断硬化。当混凝土构件处在不适于加热保温养护的环境下，如灌注桩混凝土在冻土中负温环境下养生，大幅度降低了混凝土的强度，因此需要采用负温养护法。

6.7.6 模板的外部需要进行保温处理，外挂保温卷材时，将保温卷材用木条等压紧。采用保温被和塑料膜同时覆盖浇筑完成的工程顶部，应采用钢筋条等压住固定防止被风吹起。

6.7.7 混凝土保温模板应严密，保温层应搭接到位，尤其在接头处，应搭接牢固。有空洞或迎风面的部位，应增设挡风保温措施。不宜使用吸潮的保温材料。

6.7.8 混凝土表面保温材料及其厚度，应根据不同部位、结构要求，结合混凝土内

外温差和气候条件，经计算、试验确定。保温时间和保温后的等效放热系数应符合设计要求。对边、棱角部位的保温厚度应增大到表面保温厚度的 2~3 倍。混凝土在养护期间应防风防失水。

6.7.9 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，新浇筑混凝土表面宜铺一层塑料薄膜。

6.7.10 整体架构如为加热养护时，浇筑程序和施工缝位置的设置，应采取能防止发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。

6.7.11 当气温较低、结构表面积系数较大，蓄热法不能适应强度增长速度要求时，可根据具体情况，选用蒸汽加热、暖棚加热或电加热等方法。引气混凝土采用加热养护时，温度与湿度应满足表 6.7.11 的要求。

表 6.7.11 引气混凝土暖棚加热养护的温度与湿度要求

温度				相对湿度
终凝前		终凝后		>80%
升温速度	最高温度	升温速度	最高温度	
≤10℃/h	20℃	≤15℃/h	50	

条文说明

引气混凝土内部含有大量气体，终凝前暖棚加热养护或蒸汽养护时，如升温速度快、温度高，可能导致混凝土产生严重开裂。

6.7.12 混凝土用加热法养护必须经过试验验证，并制定养护制度，控制含气量损失或提高拌和时的含气量。

6.7.13 冬季施工混凝土的保温养护期时间宜满足下表 6.7.13 中的最小限制。且当新浇筑的混凝土与流动的地表水或地下水相接触时，保温养护使混凝土获得 50% 以上的设计强度为止，且保温养护时间不得小于 7d。当环境水具有侵蚀作用时，保温养护使混凝土获得 75% 以上的设计强度为止，且保温养护时间不得小于 10d。

（该表格参考美国混凝土协会 ACI306R-2016）

表 6.7.13 冬季施工混凝土的保温养护时长要求

编号	状态	保持表 7.5.4 中温度限值的最小保温养护时间 (d)	
		无早强剂	早强型
1	养护期不承受荷载,服役后不经受冻融循环作用,如基础、地下结构	4	3
2	养护期无荷载,服役后经受冻融循环作用,如桥墩、大坝	5	4
3	养护期承受部分荷载,服役后经受冻融循环作用	7	5
4	养护期需要支撑措施来承受施工荷载,如钢筋混凝土桥面板	现场测试或成熟度法计算混凝土强度确定	

6.7.14 当新浇筑的混凝土与流动的地表水或地下水相接触时,应采取临时防护措施,直至混凝土达到 50% 以上的设计强度为止。当环境水有侵蚀作用时,临时防护措施应延续到混凝土达到 75% 以上的设计强度且龄期 28d 以上。

6.7.15 当混凝土养护过程中构件处在强烈的太阳紫外线照射时,应在阳光照射面设遮阳棚或采用遮阳布及时包裹在结构物表面。

条文说明

混凝土在水泥未水化完全时,强烈的太阳紫外线照射会引起水分过度蒸发及模板内壁混凝土表面引起麻面、开裂,因此需在阳光照射面采取设遮措施。

6.7.16 冻土地区浇筑混凝土可采用保温模板进行浇筑施工,同步采用全封闭保温养生措施,如用保温模板浇筑大体积混凝土必须增设散热管。

条文说明

冻土地区浇筑混凝土使用保温模板一定程度上阻断了水化热传递至冻土层,与冻土层交接的桩基、墩柱处外包钢护筒(钢护筒内灌沥青,一般钢护筒直径比桩柱大 10cm)防冻,如用保温模板浇筑的大体积混凝土必须增设散热管,以免混凝土内部龟裂。

6.7.17 当遭遇持续 4~5 级大风天气时,混凝土表面应采取防裂措施,可尽快喷洒

足量养护剂，或覆盖节水保湿养生材料等保湿养护。被大风吹起的的养生膜材应及时覆盖。

6.7.18 隧道混凝土施工时，应提高施工环境温度，洞门可采取篷布密封、洞内加设炉火加温、延长模板养护时间，混凝土未达到抗冻临界强度以上前不得拆模。

6.8 拆模

6.8.1 冬季混凝土拆模应在白天和天气温稳定时进行，避免在夜间或气温骤降时拆模。承重结构一般不提前拆模，确保混凝土强度高于允许受冻临界强度。承重模板的拆除时间应经计算确定。

6.8.2 模板和保温层在混凝土达到要求强度并冷却到 5℃后方可拆除。拆模时混凝土温度与环境温度差大于 15℃时，拆模后的混凝土表面应及时覆盖保温，使其慢慢冷却。当环境温度低于 0℃时，拆模后应根据表 6.5.7-3 中对混凝土保护保温期结束后 24h 内允许的最大降温值限制，进一步采取有效的保温保湿养护措施 10d 以上。如不影响下道工序施工，则可不拆除模板，直至冬季结束。混凝土侧面未达到受冻临界强度需要拆模时，搭设暖棚，在暖棚内进行拆模。

条文说明

混凝土拆模后，混凝土表面易出现冰冻裂缝或内外温差引起的温度裂缝。混凝土浇筑初期由于水化热的散发，内部温度高于表面温度，表面引起相当大的拉应力，此时拆除模板，表面温度骤降，必然引起温度梯度，再加上混凝土干缩，容易产生表面裂缝。但如果在拆除模板后及时采取保温措施，对于防止混凝土表面产生过大的拉应力具有显著效果。

6.8.3 拆模后混凝土的保温措施可同时采用帆布或塑料布等材料覆盖混凝土表面，或在混凝土表面喷洒混凝土养护液继续进行养护，直至混凝土达到设计要求。

6.8.4 拆模时需采用现场检测或根据成熟度法验证混凝土强度是否满足要求，成熟度法可参照现行《建筑工程冬期施工》（JGJ/T104）附录 B 成熟度法规定的方法计算。

6.8.5 在拆模过程中，水中或水位变动区混凝土结构（桩基础、墩台）外包钢护筒模板不需要拆除，钢护筒内可灌沥青。

条文说明

水中或水位变动区的混凝土结构易受冻融循环破坏，导致严重剥蚀、露筋等破坏，因此可增加额外防冻保护措施。

6.8.6 埋入冻土的桩基础护筒不拆除，安装为永久护筒。

条文说明

护筒埋入冻土上限以下一定深度，成桩后不拆除护筒，在地基与桩基之间形成滑动层，减少外表面的亲水程度，从而降低冻土冻胀对桩的上拔力。

征求意见稿

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1 高原高寒地区公路工程混凝土施工应建立健全的质量保证体系，对施工全过程进行质量控制与检验。

7.1.2 为保证混凝土工程质量达到设计要求，应严格把控施工过程中各主要工序、环节，确保混凝土原材料、拌合料、实体结构构件的质量品质。

7.1.3 应根据施工工艺与进度计划，配备足量的质检仪器设备和人员。对施工各工艺环节的各项质量标准应做到及时检验，并根据检验结果对施工进行动态控制，保证各项质量指标合格、稳定。

7.1.4 在混凝土施工过程中应采取有效措施，严防出现质量缺陷。发现质量缺陷时，应加大检测频率，必要时应停工整顿，查找原因，提出处置对策，恢复到良好质量状态后再继续施工。

7.2 原材料质量检验

7.2.1 对于高原高寒地区的重要公路工程与基础设施，应增加原材料的验收批次和检验项目，其检验方法和检验结果应符合相应现行标准的规定。

条文说明

原材料是影响混凝土性能的重要因素，对原材料的来源、质量的监控必须严格执行，以保证混凝土在生产与使用过程中的质量。

7.2.2 原材料进场时，必须具有生产厂家出具的质量合格检验报告，并经过复检合格后方可使用。检验项目与批次应符合现行《预拌混凝土》（GB/T 14902-2012）的规定。

7.2.3 各种原材料应分类存放，并具有明确的标志，标明材料名称、品种、生产厂家和生产（或进场）日期。

7.3 拌合料质量检验

7.3.1 混凝土拌和楼的计量器具应定期检验校正，频率为每月不少于 1 次，必要

时随时抽检。每班称量前，应对称量设备进行零点校验。

7.3.2 应动态检验拌合料的坍落度，频率为每 4h 应在机口检测 1~2 次，每 8h 应在仓面检测 1~2 次。当遇上高温、雨雪天气应加密检测，发现异常时应及时处理。

7.3.3 应动态检验拌合料中的含气量，频率为每 4h 一次。含气量指标的允许偏差为 $\pm 1\%$ 。

7.3.4 混凝土浇筑时，应有专人在现场检查并对施工过程中出现的问题及其处理方案进行详细记录。

7.4 温度控制检验

7.4.1 应检查并详细记录混凝土从出机、入模到拆除保温层或保温模板期间的温度数据。

7.4.2 应严格把控混凝土的加热养护方式和养护时间，将检查结果记录在混凝土工程的施工记录和温度检查中。

7.4.3 混凝土浇筑期间的温度检查应符合下列规定：（1）宜采用自动测温仪器记录外界气温。若采用人工测温，每 1d 至少测量 6 次。（2）应每 1h 至少测量 1 次水、外加剂及集料温度，测量点的深度不小于 10cm。（3）应每 2h 至少测量 1 次混凝土出机口温度和浇筑温度，测量点的深度不小于 10cm。（4）气温骤降期间，应增加温度测量频率。

7.4.4 混凝土养护期间的温度检查应符合下列规定：（1）采用蓄热法或综合蓄热法时，在达到受冻临界强度之前应每隔 4h~6h 测量一次；（2）采用负温养护法时，在达到受冻临界强度之前应每隔 2h 测量一次；（3）采用加热法时，升温 and 降温阶段应每隔 1h 测量一次，恒温阶段每隔 2h 测量一次；（4）混凝土在达到受冻临界强度后，可停止测温。

7.5 硬化混凝土质量检验

7.5.1 高原高寒地区公路工程混凝土施工质量检验应符合现行《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）以及国家现行有关标准规定外，尚应符合本标准对外观检验、强度检验和抗冻性能检验的规定。

7.5.2 混凝土外观检验应调查和记录是否出现裂缝、断板、表皮剥落、松散破坏等

劣化现象，边角是否脱落，施工缝处有无受冻痕。对于不合格处，应及时返修。

条文说明

混凝土冻害的初期征兆为产生细微裂缝，包括在混凝土表面出现地图状的纹样裂缝，结构物上的接缝，以及沿着构造裂缝出现的 D 裂缝等。

冻害的常见形态为剥落脱皮，开始于混凝土表面的水泥浆、砂浆的剥落。喷洒除冰盐和交通荷载作用会移去疏松表层，加速剥落，导致混凝土力学性能和耐磨性能的劣化。

7.5.3 混凝土表面不得有积水现象，也不得出现过厚、强度过低的砂浆表层。

7.5.4 路面抗滑表面宜用粗布拉毛或压槽，抗滑构造表面砂浆应清扫干净，不得有积水、结冰现象。

7.5.5 在混凝土施工过程中，应留置两组试块。一组用于检验混凝土的抗冻临界强度。基于现场实测的温度数据，在实验室内进行同温度匹配养护，目的是判断混凝土在受冻以前是否能达到要求的临界强度值，如果达不到，应延长养护期，加强养护措施。另一组用于检验混凝土标准小梁弯拉强度。

7.5.6 检测混凝土抗冻临界强度是否满足设计要求时，除按 7.5.5 的规定成型试件检测外，还可采取无损检测手段或用成熟度法检查混凝土早期强度。成熟度法可参照现行《建筑工程冬期施工》（JGJ/T104）附录 B 成熟度法规定的方法计算。

条文说明

早龄期混凝土在硬化初期，因冻结而产生的冰压会破坏混凝土内部结构，之后无论怎样养护，都很难恢复到混凝土本应达到的强度，因此需要严格保证受冻临界强度。

7.5.7 应检验标准小梁弯拉强度与路面钻芯劈裂强度换算弯拉强度，标准小梁试件的养生时间为 28d，路面钻芯劈裂时间宜控制在 28~56d 以内，不掺粉煤灰宜用 28d，掺粉煤灰宜用 28~56d。弯拉强度测试应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）的规定，合格评判应符合下列要求：

（1）当标准小梁与钻芯平均弯拉强度合格值、最小值和统计变异系数均符合规定者，通过弯拉强度评定。

(2) 当局部路面标准小梁弯拉强度不足时, 应每公里每车道加密钻取 3 个以上芯样, 实测劈裂强度, 重新换算弯拉强度, 钻芯统计弯拉强度满足要求者, 通过弯拉强度评定。

(3) 标准小梁与钻芯均不满足要求者, 应返工重铺弯拉强度不符合要求的局部面板。

7.5.8 应通过钻芯法检测硬化混凝土中的最大气泡间距系数, 判断混凝土中引入气泡的充足程度。气泡分布应均匀一致, 气泡间距系数应符合表 5.3.8 的规定。气泡间距系数按现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 中附录 B 规定的方法测试。

条文说明

混凝土中引入均匀、封闭的微小气泡, 可以有效地改善混凝土耐久性能。但如果引入气泡均匀性差、尺寸大, 对混凝土性能反而有不利影响。由于引气剂效果受到施工过程中诸多因素的影响, 因此要求钻芯实测混凝土的气泡间距系数, 检验气泡的尺寸和均匀性, 确保混凝土良好的长期抗冻性能。

7.5.9 应钻芯检验混凝土的抗冻性和抗盐冻性, 检测方法、检测频率和合格标准应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 的规定。

附录 A

表 A-1 混凝土工程寒季施工部分常用温度控制方法

施工方法		施工方法的特点	适用条件
养护期间不加热的 方法	蓄热法	1. 原材料加热； 2. 混凝土表面用塑料薄膜覆盖后，上铺高效保温材料进行保温蓄热，防止水分或热量散失； 3. 混凝土温度降低到 0℃ 以前要达到受冻临界强度值； 4. 混凝土强度增长较慢，费用较低。	1. 环境最低温度不低于 -15℃； 2. 地下结构； 3. 大体积混凝土结构。
	综合蓄热法	1. 原材料加热； 2. 混凝土中掺早强剂或早强型防冻剂； 3. 混凝土表面用塑料薄膜覆盖后，上铺高效保温材料进行保温蓄热，防止水分或热量散失； 4. 混凝土内温度降低到防冻剂设计温度前要达到早期允许受冻临界强度值； 5. 混凝土早期强度增长较好，费用较低。	混凝土养护期间平均气温不低于 -12℃。
	负温养护法 (防冻外加剂法)	1. 原材料加热视气温条件； 2. 混凝土掺加防冻剂，亦可适当保温防护，防止失水； 3. 混凝土内温度降低到防冻剂的设计温度前要达到早期允许受冻临界强度值； 4. 混凝土强度增长慢，但费用低，方法简便。	1. 自然气温不低于 -25℃； 2. 适用于不易保温的结构，野外裸露结构，且对混凝土强度增长无特别要求的构件； 3. 防冻剂的品种及掺量选定根据气温与结构实际状况选用。
养	蒸汽加热养	罩棚法	适用于 -20 以内气温

护 期 间 加 热 的 方 法	护法	1. 构件用帆布或其它罩子做棚罩，罩内通蒸汽养护混凝土； 2. 设施灵活，施工简便，费用少，但蒸汽量消耗大，温度不宜均匀。	
	蒸汽套法	1. 在构件模板外面做一密闭保温外套，往空腔内分段送蒸汽养护混凝土； 2. 温度能适当控制，加热效果取决于保温构造； 3. 设施复杂，费用较高。	适用于各种温度脚尖的现浇构件。
	暖棚法	1. 在结构周围增设暖棚，设热源使棚内保持正温； 2. 封闭已施工完的外部维护结构，室内设热源使室内保持正温来养护混凝土； 3. 原材料是否要加热视气温条件而定； 4. 施工费用高。	1. 适用于各种气温条件； 2. 适用于工程比较集中的结构； 3. 适用于地下结构； 4. 适用于有外围维护结构的工程。
	电加热法	电热毯法 1. 以工业用电热毯覆盖混凝土构件表面，通电加热养护混凝土； 2. 方法简单，加热均匀，效果好； 3. 电热毯可重复利用，经济效果好。	1. 适用于各种温度条件； 2. 适用于板类结构，也可适用单梁、柱等结构。