

寒冷地区龄期及温度对混凝土强度影响的研究

张国栋

(上海同济检测技术有限公司, 上海市 200441)

摘要: 重点探讨混凝土在冬季建筑温度条件下,其强度与温度、龄期等因素之间的相互关系。通过对自然环境条件、龄期设定以及抗压性能指标的评估和检验。在低温条件下,设计不同养护方式和养护时间,重点模拟冬季低温自然养护等不利养护条件,尽可能真实的反映出工程现场实际养护情况,通过对自然环境温度和同种养护条件下混凝土试件内部温度的观测,对其进行室内不同养护方式和龄期的抗压强度试验,得到周期内的混凝土抗压强度值。在确定的低温条件下,得出养护龄期对混凝土抗压强度的影响以及试件内外部温度的变化规律。

关键词: 原材料;配合比;温度;强度;龄期

中图分类号: TU528

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0252-05

0 引言

混凝土的抗压能力是一个用来衡量其特性的关键指标。随着年龄的增加,混凝土的强度会逐渐提升,这是因为水泥中的矿物质在特定的环境下,在一定时间内持续发生水化反应的结果。水泥的水解过程会在时间流逝的过程中逐步加深,更多的水泥凝结剂被添加到微小的气泡内,从而增加了空气与水的比例,进而提高了混凝土的强度^[1]。通常来说,混凝土强度的上升主要取决于原料的选择和施工技术的运用,只有通过原料高标准的挑选并使用先进的技术手段,才能够使混凝土的性能得到保障^[2]。

据研究显示,混凝土的性能受到低温的影响主要表现为其结构被破坏的过程。为保证搅拌过程中具有良好的流动性,使用的拌合水通常会多于水泥的水化需求,这部分过剩的水分便会在混凝土中留下作为自由水分,并在其中互相连接形成微小通道。当混凝土遭受浸湿且达到饱和状态后开始冷冻,这些微小通道内的水分会被冻结成冰块,体积会增大约9%,会引发由冰晶压迫而产生的应力,如果这个应力超出了混凝土的抗拉能力,则其内部可能会生成一些微小的裂缝,经过数次的冻循环,这种裂纹就会不停的向深处扩展,混凝土的整体强度从表及里也会慢慢的降低,进而发生剥蚀破坏,最终导致混凝土结构的破坏。由此可见受高黄土高原冬季低温的

影响,混凝土养护时间的长短是导致混凝土结构在正常使用环境状态下失效的最主要原因之一。随着时间的推移,人们对于混凝土结构在现场养护期间如何提升其自身特性的关注度逐渐上升,这一领域已经成为众多国内外的专家和学者的重点研究对象。他们主要聚焦于探讨混凝土中的钢筋腐蚀及碳化现象,同时还深入分析了混凝土强度的增长速度与年龄之间的关系,以及混凝土强度随温度变化的情况。此外,还有一些关于常规水泥混凝土的标准养护条件下的强度发展情况的研究成果,这些结果表明混凝土的强度大约与其常用的对数龄期呈线性比例关系。然而,针对更精细化的研究,例如冬季低温养护周期、混凝土内部外部的环境差异等方面的则相对较少。

基于维护年龄和混凝土内部外部的环境差别作为研究的出发点,我们选择使用相同类型的原料品质标准、矿物质混合物的添加方式以及合适的比例来制造混凝土样本。同时观察并记录了其内外的温度变化情况,并对各个阶段的混凝土抗压能力进行了实验检测。这对于判断低温条件下施工设施的保养时间有着重要的参考价值。

1 工程概况

项目所在地属于西北部,月平均气温最低为 -7.3°C ,日温差超过 10°C ,是一个寒冷的区域,地面以上的环境是冻融环境,水体中的 cl^{-} 含量已经达到了防止腐蚀的标准^[3]。根据《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019)中的环境分

收稿日期: 2024-10-07

作者简介: 张国栋(1988—),男,本科,主要从事试验检测工作。

类,项目所用的混凝土主要分为两类,桩基为Ⅳ-C 环境类别,其他混凝土为Ⅱ-D 环境类别。按此项目要求对原材料及混凝土配合比进行合理的配置,并在试验设计时,尽可能的反应现场实际条件。

基于上述考虑,设计要求 C50 微膨胀混凝土在 28 d 抗压强度达到设计强度的 100%,且在冬季施工

中,进行蒸汽养生,养护龄期不少于 7 d。

2 试验设计

2.1 试验原材料

(1)水泥:硅酸盐水泥(P·II42.5),主要的性能参数如表 1 所示。

表 1 水泥基本性能指标

水泥	密度 / (g·cm ⁻³)	比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	初凝时间 / min	终凝时间 / min	标准稠度 用水量 /%	28 d 胶砂抗压强度 / MPa	28 d 胶砂抗压强度 / MPa
P·II 52.5	3.18	332	151	206	27.2	8.5	59.3

(2)粉煤灰:F 类Ⅰ级粉煤灰,主要指标见表 2。

表 2 F 类Ⅱ级粉煤灰基本性能指标

烧失量 /%	细度 /%	含水量 /%	需水比 /%
2.45	5.8	0.2	92

(3)矿粉:S95 级高炉矿渣粉,主要指标见表 3。

表 3 S95 级粒化高炉矿渣基本性能指标

密度 / (g·cm ⁻³)	比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	含水量 /%	需水比 /%
2.84	439	0	96

(4)细集料:细集料(水洗砂),主要指标见表 4。

表 4 细集料基本性能指标

表观密度 / (kg·m ⁻³)	堆积密度 / (kg·m ⁻³)	空隙率 / %	含泥量 / %	泥块含量 / %	级配 分区
2 642	1 481	43.9	1.8	0.1	Ⅱ区 中砂

(5)粗集料:碎石为五级配,分别为 4.75~9.5 mm, 9.5~16 mm, 16~19 mm, 19~26.5 mm, 26.5~31.5 mm, 基本性能指标见表 5。

表 5 粗集料基本性能指标

表观密度 / (kg·m ⁻³)	堆积密 / (kg·m ⁻³)	振实空隙 率 /%	吸水 率 /%	压碎 值 /%	针片状颗 粒含量 /%	含泥 量 /%
2 778	1 588	39.5	0.12	9.9	4.6	0.1

(6)水:饮用水。

(7)减水剂:TJXC-B 聚羧酸高性能减水剂,其减水率达到 29 %,并且其掺入量为 1.3%。

(8)膨胀剂:HEA 膨胀剂,掺量为 6.0%。

2.2 试验用混凝土配合比

依据《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019)的规定,对每一立方米混凝土中的胶凝物质最大与最高使用量进行了约束,在确保其强度的同时,减小硅酸盐水泥的使用量。为了达到混凝土施工作业的需求,我们尽可能地调整混凝土的流动性,通过反复实验,我们对添加混合物如粉煤灰和研磨矿渣等,进行各种配比后,选取出具有最佳性能及最强度的混凝土配合比^[1]。依靠本项目图纸设计特点,最终确定的配合比见表 6。

表 6 试验所用配比信息

强度等级	配合比 / (kg·m ⁻³)							
	水泥	矿渣	粉煤灰	细集料	粗集料	水	减水剂	膨胀剂
C50	358	72	48	720	1 079	153	6.21	28.68

2.3 试验方法及数据分析

2.3.1 试验方法

(1)试件的尺寸

试件采用立方体试件,尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm。

(2)试件的制做、养护

试件的制作按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019)第五条和附录 A 的要求。

对于测试样本的标准保存,首先样品制备完成之后需要放置于恒温环境(20 ± 5)℃且空气湿度超

过 50%的环境下停留至少 1~2 d 的时间,在此过程中需防止其遭受震荡及撞击的影响。待样品稳定下来并被编码标识后,将其从模板中取出,如果发现存在严重的质量问题,则应该按照废弃物来处置。一旦从模板中移除,就必须立刻送入温度维持在 20℃ ± 2℃并且湿度达到 95%以上标准的保藏室里进行保养,或者选择在温度同样是 20℃ ± 2℃且无水流过的氢氧化钙饱和溶液中进行保管。同时,保藏室中的所有样本都应当以每隔 10 ~ 20 mm 的距离摆放在支撑板上,确保它们的表面积始终处于湿气状态,但是不

能用水分直接喷洒到样本之上。

(3)实验流程

在达到规定的测试年龄阶段时,需要立即从保温环境中提取样本并对其大小和形态进行检测,确保符合本章程中第三部分三节的要求。样品被移除后必须迅速执行相关测试。在开始试验之前,务必用布料清洁样品表面的污渍,同时将其置于压力设备下的支撑板或者衬垫之上,保证样品的中心点能准确地落在压力设备下方的中心位置。然后开启压力设备,使样品表面能够平稳且均衡地与上方和下方的支撑板或金属衬垫接触。整个过程应该持续稳定并且匀速施力,施力的速度为每秒钟 0.3~1 MPa 之间。如果立方体的抗压能力低于 30 MPa,那么施力的速度建议设定在 0.3~0.5 MPa/s 之间;若立方体的抗压力量位于 30~60 MPa 范围内,则施力的速度可以设置在 0.5~0.8 MPa/s 之间;而对于那些超过 60 MPa 3 抗压能力,施力的速度推荐设在 0.8~1 MPa/s 之间^[4-5]。

(4)试验结果计算

按照下述方法进行混凝土立方体的抗压强度计算:

$$f_{cc} = F/A$$
 (1)

式中: f_{cc} 为混凝土立方体抗压强度,MPa; F 为试样破坏荷载,N; A 为试件承压面积,mm²。

2.3.2 试验方案

(1)按表 6 所选配合比制作 29 组抗压强度试件,其中标养 7 组(带温度计 1 组);1 d 后试件出库进行室外养生 7 组(带温度计 1 组);5 d 后试件出库进行室外养生 6 组(带温度计 1 组);10 d 后试件出库进行室外养生 5 组(带温度计 1 组);21 d 后试件出库进行室外养生 4 组(带温度计 1 组)。

(2)所成型试件为标准尺寸:150 mm×150 mm×150 mm,总计 29 组,其中 5 组在混凝土中心 7 cm 处,预埋温度计,用于内部温度观测。

(3)试件放置:试件成型后标养 1 d,进行分组,使其满足文中规定的放置要求。

(4)试件龄期:标养 3 d、7 d、14 d、28 d、42 d、56 d;1 d 出库试件有 3 d、7 d、14 d、28 d、42 d、56 d;5 d 后出库试件有 7 d、14 d、28 d、42 d、56 d;10 出库试件有 14 d、28 d、42 d、56 d;21 d 出库试件有 28 d、42 d、56 d。试验龄期达到后进行不带温度计试件抗压强度试验。总计试验周期 56 d。

2.3.2 不同龄期试件温度与环境温度的分析

(1)对成型的混凝土试件,1 d 后试件出库进行室

外养生 7 组(带温度计 1 组);5 d 后试件出库进行室外养生 6 组(带温度计 1 组);10 d 后试件出库进行室外养生 5 组(带温度计 1 组);21 d 后试件出库进行室外养生 4 组(带温度计 1 组);标养 7 组(带温度计 1 组)进行室外温度和预埋混凝土温度具体监测。结果见表 7 及图 1。

表 7 室外环境温度与试件温度监测记录表

记录日期	室外温度 /℃	室外试件 /℃				
		1 d 出库	5 d 出库	10 d 出库	14 d 出库	标准养护
成型	-2	9	10	9	10	10
第 1 天	-5	-6	22	21	21	21
第 2 天	-6	-5	20	20	20	21
第 3 天	-7	-5	20	20	20	20
第 4 天	-7	-4	20	20	20	20
第 5 天	-9	-5	20	21	21	20
第 6 天	-9	-7	-7	20	20	20
第 7 天	-7	-4	-4	20	20	21
第 8 天	-8	-6	-6	21	21	20
第 9 天	-8	-2	-2	20	20	20
第 10 天	-4	-5	-6	20	20	20
第 11 天	-6	-3	-4	-5	20	20
第 12 天	-6	-1	-2	-2	20	21
第 13 天	-6	-3	-3	-2	20	20
第 14 天	-10	-8	-7	-8	20	20
第 15 天	-12	-7	-7	-7	-7	20
第 16 天	-12	-4	-3	-3	-3	20
第 17 天	-11	-6	-6	-5	-5	20
第 18 天	-7	-4	-2	-4	-2	20
第 19 天	-8	-6	-6	-6	-6	20
第 20 天	-7	-4	-4	-3	-4	20
第 21 天	-11	-7	-7	-7	-7	20
第 22 天	-12	-6	-6	-5	-7	20
第 23 天	-14	-11	-10	-11	-12	21
第 24 天	-14	-11	-10	-11	-11	20
第 25 天	-11	-7	-7	-7	-8	20
第 26 天	-11	-9	-9	-8	-9	20
第 27 天	-10	-8	-8	-8	-8	20
第 28 天	-17	-13	-13	-13	-11	20
第 29 天	-16	-14	-13	-14	-13	20
第 30 天	-15	-12	-13	-12	-12	21
第 31 天	-12	-13	-14	-14	-14	20
第 32 天	-8	-10	-9	-10	-10	20
第 33 天	-6	-4	-5	-6	-6	20
第 34 天	-10	-9	-8	-7	-8	20
第 35 天	-13	-10	-9	-11	-11	21
第 36 天	-12	-10	-10	-9	-9	21
第 37 天	-14	-12	-11	-11	-10	21
第 38 天	-16	-14	-13	-12	-15	20

表 7 (续)

记录日期	室外温度 /℃	室外试件 /℃				
		1 d 出库	5 d 出库	10 d 出库	14 d 出库	标准养护
第 39 天	-14	-11	-10	-12	-12	20
第 40 天	-10	-6	-8	-7	-8	20
第 41 天	-11	-9	-10	-10	-8	20
第 42 天	-13	-12	-10	-10	-9	20
第 43 天	-12	-8	-9	-9	-9	20
第 44 天	-15	-12	-11	-13	-13	21
第 45 天	-14	-11	-12	-12	-11	20
第 46 天	-13	-11	-12	-11	-12	20
第 47 天	-11	-10	-9	-9	-10	20
第 48 天	-14	-13	-12	-11	-11	20
第 49 天	-16	-12	-11	-12	-12	21
第 50 天	-14	-12	-11	-13	-13	20
第 51 天	-12	-10	-9	-9	-9	20
第 52 天	-13	-11	-11	-12	-10	20
第 53 天	-15	-13	-12	-12	-12	20
第 54 天	-14	-12	-12	-12	-11	20
第 55 天	-14	-13	-12	-13	-11	20
第 56 天	-13	-11	-10	-10	-11	20

(2)数据分析:从观测到的温度数据及分析图表可知出库至室外的混凝土试件内部温度在正常观测时,各组试件温度变化与室外环境温度观测数据变化趋势基本一致,随环境温度高低变化。其次,凝土试件内部温度总体上高于环境温度,且同天温度数据相差不大。

2.3.3 不同龄期标准养护与室外试件抗压强度的分析

(1)使用相同的原料和配比制作了 29 组混凝土立方体试件,其中 24 组是针对不同的试验时期对混凝土强度指标进行测试的。详细的实验数据见表 8 和图 2。

表 8 不同龄期标准养护与室外试件抗压强度检测结果

龄期 /d	标养试件抗压强度 /MPa	室外试件抗压强度 /MPa			
		1 d 出库	5 d 出库	10 d 出库	14 d 出库
3	30.4	14.6	/	/	/
7	43.5	20.8	39.5	/	/
14	49.2	23.7	42.1	46.4	48.7
28	53.4	24.1	48.5	51.2	52.3
42	56.6	26.8	51.7	56.3	55.9
56	64.2	27.1	55.4	59.4	61.3

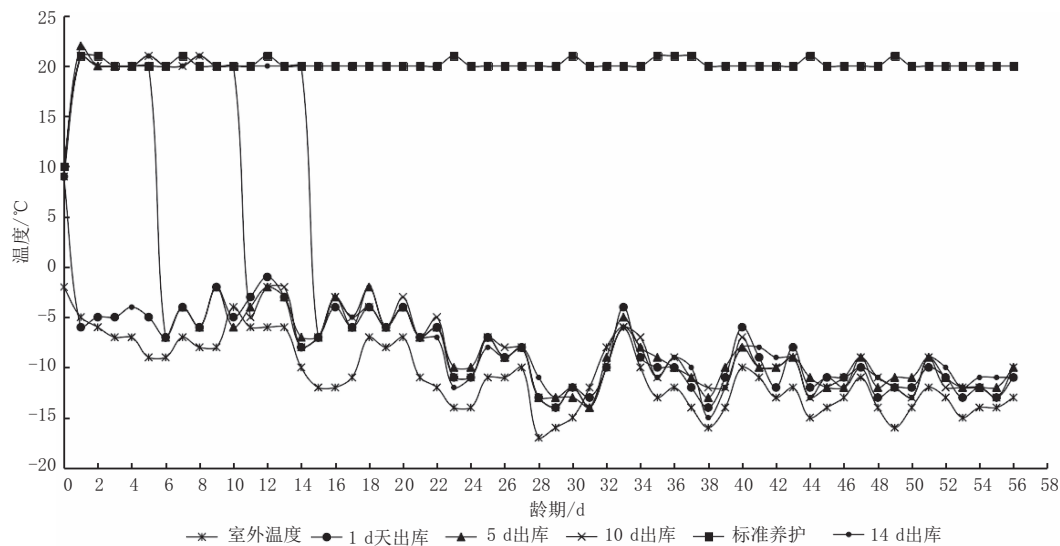


图 1 室外环境温度与试件温度监测分析图

(2)根据试验数据可得出,对于标准养护时间,混凝土强度随龄期的增长而增加,7 d 时强度增加 13.1 MPa,而在 14 d、28 d、42 d、56 d 时分别增加 5.7 MPa、4.2 MPa、3.2 MPa、7.6 MPa,说明 7 d 之前强度上升最快,之后增长缓慢,28 d 时已达到设计强度。对于 1 d 出库、5 d 出库的混凝土试件,强度增长缓慢,1 d 出库试件强度基本维持不变,说明内部已遭受破坏。5 d 出库的混凝土试件强度增长也不明显,在长龄期(56 d)时达到设计强度,为 111%。10 d、14 d 出库的混凝土试件在标准养护 10 d、14 d 后,强度增

长明显,28 d 达到设计强度的 102%、105%。

3 结 论

分析结果后,可得到 4 点结论。

(1)在标准养护条件下试件强度持续增长,7 d 强度上升较快,之后增长缓慢。

(2)早期受冻试件初始强度不高,增长不明显,在遭受破坏后强度下降。试件在养护一定时间后,初始强度及最终强度能到达要求。

(3)试件内部温度略高于环境温度,且随环境温

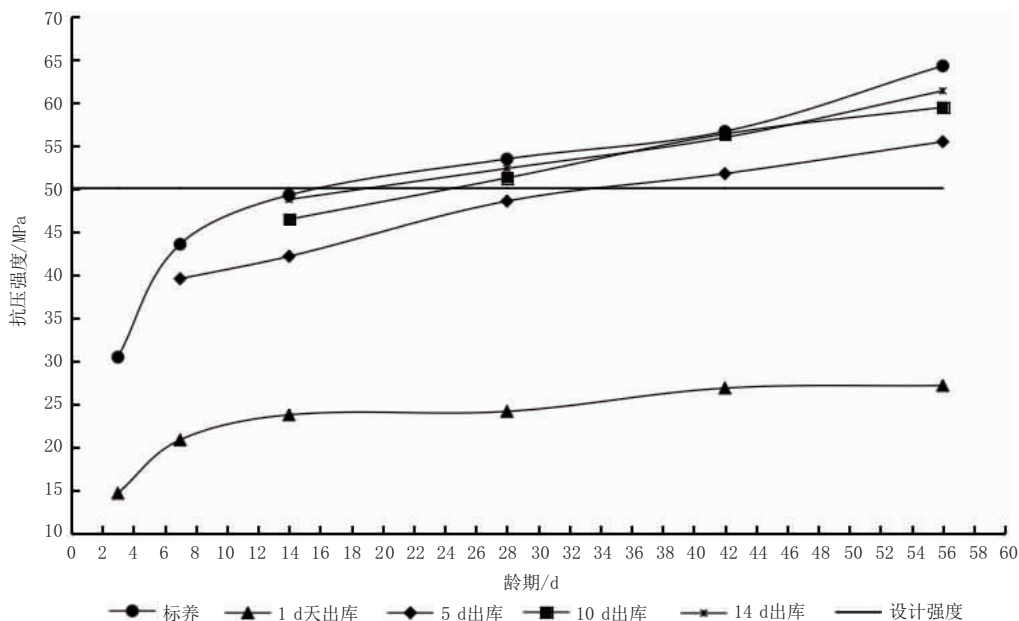


图2 不同龄期标准养护与室外试件抗压强度检测结果对比图

度变化,趋势一致。

(4)1 d 出库的混凝土试件,已遭受破坏,其强度已达不到设计强度;5 d 出库的混凝土试件虽经过5 d 标准养护,但使其达到设计强度需较长龄期;10 d、14 d 出库的混凝土试件在标准养护10 d、14 d 后,28 d 龄期时可达到设计强度。

综上所述,在混凝土施工中,注意以上4点是有意义的,在低温条件下,混凝土自身温度保持不良,向外界传递热量迅速。因此,对混凝土采取合理的养护龄期及方式是有必要的,对提高和保证混凝土强

度具有明显的优势,可避免混凝土在低温下迅速遭到破坏,保证混凝土结构质量。

参考文献:

- [1] 吴志寰.早强剂对混凝土强度和弹性模量的影响[J].铁道建筑,2005(5):93-94.
- [2] 张举鹏.原材料质量控制及配合比优化对混凝土结构耐久性影响的试验研究[J].工程质量,2022,40(4):12-15.
- [3] 石明涛.翘曲位移函数为悬链线的波形钢腹板连续梁剪力滞效应研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.
- [4] 江银娣.普通混凝土力学性能检测[J].黑龙江科技信息,2012(7):249-249.
- [5] GB/T 50081—2019,普通混凝土力学性能试验方法标准[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com