

低温环境下建筑混凝土施工的质量保障技术

杨正龙

新疆塔建三五九建工有限责任公司 新疆 阿拉尔 843300

摘要: 在建筑工程领域,低温环境对混凝土施工质量的影响显著,会延缓水泥水化反应,导致混凝土凝结时间延长、强度发展受阻,还可能因冻胀引发裂缝,严重威胁建筑结构安全。本文深入剖析低温环境下混凝土施工面临的这些难题,系统阐述涵盖原材料科学选用(如高水化热水泥、防冻剂等)、配合比精准优化(合理控制水胶比、砂率等)、施工过程全方位温控(拌合、运输、浇筑各环节控温)及针对性养护(蓄热法、暖棚法等)等环节的质量保障技术,旨在为提升低温环境下建筑混凝土施工质量提供科学、有效的技术支撑与实践指导,助力建筑工程在低温条件下安全、高效推进。

关键词: 低温环境;建筑混凝土;施工质量;保障技术

1 引言

在建筑施工过程中,混凝土作为应用最为广泛的建筑材料之一,其施工质量直接关乎整个建筑工程的质量与安全。然而,当施工处于低温环境时,混凝土内部的物理化学反应会受到显著影响,进而给施工质量控制带来诸多挑战。若不能妥善应对这些挑战,将可能导致混凝土出现强度不足、裂缝等质量问题,严重威胁建筑结构的稳定性与耐久性。因此,深入研究低温环境下建筑混凝土施工的质量保障技术具有极其重要的现实意义。

2 低温环境对建筑混凝土施工的影响

2.1 对混凝土凝结时间的影响

低温环境会显著延缓水泥的水化反应速度。水泥水化是混凝土凝结硬化的关键过程,在低温条件下,水分子活性降低,水泥颗粒与水的化学反应速率减缓,导致混凝土的初凝和终凝时间大幅延长。如当环境温度降至 5°C 以下时,与常温环境相比,混凝土的初凝时间可能会延长2-3倍,终凝时间延长更为明显。这不仅会延长施工周期,还可能因混凝土长时间处于未凝固状态,在受到外界扰动时,内部结构遭到破坏,进而影响混凝土的最终强度和耐久性^[1]。

2.2 对混凝土强度发展的影响

在低温环境下,水泥水化反应不完全,生成的水化产物数量减少,且晶体结构发育不完善。这使得混凝土内部的微观结构不够致密,孔隙率增大,从而严重影响混凝土强度的正常增长。研究表明,在 -5°C 的环境中养护的混凝土,其28天强度可能仅能达到常温养护下强度的60%-70%。而且,低温对混凝土早期强度的影响更为显著,早期强度增长缓慢会导致混凝土在较短时间内无法承受设计荷载,增加了施工过程中的安全风险^[2]。

2.3 对混凝土抗冻性能的影响

低温环境下,混凝土内部的水分会结冰膨胀。当混凝土抗冻性能不足时,冰晶的膨胀压力会使混凝土内部产生微裂缝。在多次冻融循环作用下,这些微裂缝会不断扩展、连通,最终导致混凝土结构的破坏。一般来说,水灰比越大,混凝土内部孔隙越多,水分含量越高,其抗冻性能就越差。在低温地区,如果混凝土抗冻性能不符合要求,经过一个冬季的冻融循环后,混凝土表面可能会出现剥落、掉皮等现象,严重影响混凝土的外观和使用寿命。

3 低温环境下建筑混凝土施工的质量保障技术

3.1 原材料的选用与处理

在低温环境下进行建筑混凝土施工,原材料的选用与处理是保障施工质量的基础环节。水泥应优先选用水化热较高的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,且强度等级不宜低于42.5级,以借助其水化过程释放的热量促进水化反应,弥补低温的不利影响。骨料方面,细骨料宜选级配良好的中、粗砂,含泥量不超3%、泥块含量不超1%;粗骨料应采用连续级配、坚固性好且含泥量低的碎石或卵石,最大粒径不超40mm,其中C50以下等级混凝土用粗骨料含泥量 $\leq 1.0\%$,C50及以上等级 $\leq 0.5\%$,泥块含量 $\leq 0.10\%$,针片状颗粒含量 $\leq 8\%$,坚固性 $\leq 5\%$,岩石抗压强度与混凝土强度等级之比 ≥ 1.5 ,良好级配的骨料能提升混凝土和易性与密实度,减少施工缺陷^[3]。外加剂的合理使用同样关键,需用减水剂降低水灰比,有抗冻要求时必须使用引气减水剂引入微小气泡缓解冰晶压力,且宜用防冻剂降低液相冰点,其掺量需依减水率、含气量及气温通过试验确定,平均气温低于 -5°C 时启用,起点掺量一般2.5%-3.0%,气温每降 5°C 可增加0.5%,

最高不超4.5%。此外,要对原材料加热保温,拌合用水可电加热或蒸汽加热,温度依热工计算确定且不超80℃以防水泥假凝,骨料可暖棚储存、覆盖保温,必要时加热,以此提高混凝土出机和入模温度。

3.2 混凝土配合比的优化设计

低温环境下混凝土配合比的优化设计需遵循特定原则并进行多方面调控。设计原则上,首先要满足混凝土耐久性和强度要求,依据工程结构环境及施工条件确定水胶比和胶凝材料用量,如中等及以下腐蚀性环境的灌注桩混凝土(导管法施工)水胶比 ≤ 0.38 ,胶凝材料用量400-470千克/立方米;强腐蚀性或矿化水冻融区环境的则水胶比 ≤ 0.38 ,胶凝材料用量450-480千克/立方米。同时,需考虑拌合、运输和浇筑过程的热量损失,适当提高出机和入模温度,并通过试验确定合理砂率与外加剂掺量以保证和易性、抗冻性等。水胶比控制方面,是影响强度和耐久性的关键,低温下应适当降低以减少游离水分、提高密实度和抗冻性,但也不宜过低以免和易性变差,普通混凝土水胶比通常控制在0.35-0.45之间。砂率确定上,为保证入仓后砂浆量和和易性,低温环境砂率需比常规设计偏大1%-2%,不过砂率过大易降低强度,故需经试验确定^[4]。配合比试配与调整环节,确定前必须试配,先依设计要求和原材料特性拟定方案试拌,检测坍落度、含气量、出机温度等指标,再据此调整,如坍落度不符可调整用水量或外加剂掺量,含气量不足可增加引气减水剂掺量,经多次试配调整直至性能达标。

3.3 混凝土施工过程中的温度控制

混凝土施工过程的温度控制需贯穿拌合、运输、浇筑全流程。拌合时,系统宜选避风、向阳处减少散热,严格把控原材料加热温度,搅拌时间较常温延长30-60秒以确保物料充分混合,同时对骨料仓闸阀、拌合主机等设备辅助加热。如某低温拌合站通过设备保温、辅助加热及将搅拌时间延长至120秒,保障了拌合质量与出机温度。运输中,需对设备强化保温,如罐车罐体加厚处理、外挂保温篷布“裹肚”、进出料口设保温盖,长距离或极寒运输可加装加热装置,还应优化路线缩短时间。某严寒项目通过全面保温罐车及优化路线,使混凝土1小时内温降不超5℃,满足入模温度要求。浇筑前,用暖风机、碘钨灯等预热模板和钢筋至5℃以上,保证入模温度不低于5℃;浇筑时分层进行,每层厚度300-500mm,振捣密实避免漏振、过振,大体积混凝土需预埋冷却水管控温防裂^[5]。

3.4 混凝土的养护与保温措施

混凝土的养护与保温需根据实际情况选用适宜方法

并合理确定养护时间。蓄热法养护是利用原材料加热及水泥水化热,通过覆盖保温材料让混凝土在一定时间内保持正温以促进水化反应,可选用棉被、毛毡、聚苯乙烯泡沫板等保温材料,覆盖层数需依据环境温度和混凝土温度计算确定,且在浇筑完成后要及时覆盖,确保混凝土表面温度缓慢降低。对于重要结构或大面积混凝土施工,可采用暖棚法养护,即在浇筑区域搭建暖棚,棚内设置火炉、暖风机、蒸汽发生器等加热设备,使温度保持在5℃以上,同时配备通风设备保证空气流通,防止有害气体积聚,并监测和控制棚内温湿度,及时调整设备运行参数。蒸汽养护作为高效方法适用于预制构件等,分为静停、升温、恒温、降温四个阶段,静停阶段一般2-6小时以保证混凝土初步凝结,升温阶段速度控制在10℃-20℃/h以防裂缝,恒温阶段温度50℃-80℃,时间依强度增长要求确定,降温阶段速度不超过15℃/h,且需严格控制各阶段温时以确保质量^[6]。养护时间的确定需考虑水泥品种、混凝土强度等级、环境温度等因素,普通硅酸盐水泥拌制的混凝土养护不少于7天,有抗渗要求或掺缓凝型外加剂的不少于14天;低温环境下需适当延长,0℃-5℃时可延长至10-14天,低于0℃时延长至14天以上,同时通过强度检测判断是否达到规定要求。

4 质量检测与监控

4.1 原材料质量检测

在施工过程中,要对水泥、骨料、外加剂等原材料进行定期抽样检测。水泥的检测项目包括强度、安定性、凝结时间等;骨料的检测项目有颗粒级配、含泥量、泥块含量、坚固性等;外加剂的检测项目涵盖减水率、含气量、凝结时间差、抗压强度比等。检测频率应符合相关标准和规范要求,对于不合格的原材料,严禁用于混凝土施工。如每进场500t水泥,应至少进行一次全项检测;对于骨料,每400立方米或600t为一批,进行一次常规检测。通过严格的原材料质量检测,从源头上保证混凝土的质量。

4.2 混凝土拌合物性能检测

在混凝土拌合过程中,要对混凝土拌合物的坍落度、含气量、出机温度等性能指标进行实时检测。坍落度应符合设计和施工要求,偏差不宜过大,一般允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$ 。含气量应根据混凝土抗冻等级要求进行控制,如抗冻等级为F300时,采用常温养护含气量为3.5%-6.0%,采用蒸养法养护时含气量为2%-3%。出机温度应根据环境温度和热工计算确定,确保混凝土在运输和浇筑过程中温度满足要求。每工作班至少检测2次坍落度、含气量和出机温度,发现问题及时调整配合比或施工工艺。

4.3 混凝土实体质量检测

在混凝土浇筑完成后,要对混凝土实体质量进行检测,包括强度检测、抗冻性能检测、抗渗性能检测等。强度检测可采用回弹法、超声回弹综合法、钻芯法等方法,按照相关标准和规范要求确定检测数量和部位。抗冻性能检测一般采用慢冻法或快冻法,通过一定次数的冻融循环后,检测混凝土的质量损失率和相对动弹模量,判断其抗冻性能是否符合设计要求。抗渗性能检测可采用渗水高度法或逐级加压法,检测混凝土的抗渗等级^[7]。如对于重要结构部位的混凝土,每500立方米应至少留置一组抗渗试件;对于混凝土强度检测,同一强度等级的同条件养护试件,其留置数量应根据混凝土工程量和重要性确定,不宜少于10组,且不应少于3组。

4.4 温度监测与控制

在混凝土施工全过程中,温度实时监测是保障质量的关键环节。对于大体积混凝土,需在内部不同深度、不同区域精准埋设热电偶、热敏电阻等测温元件,形成立体监测网络,持续追踪内部温度的动态变化,及时掌握温度梯度分布情况。同时,要同步监测环境温度、混凝土出机温度、入模温度等关键参数,建立完善的温度监测台账,记录每一时段温度数据。监测数据需及时分析处理,以此为依据灵活调整加热强度、保温措施及养护方式。例如,当发现混凝土内部温度与表面温度之差或表面温度与环境温度之差接近25℃时,需立即采取加强保温覆盖、调整养护环境温度等措施,严格将温差控制在25℃以内,防止因温差过大产生温度应力,避免混凝土出现裂缝等质量问题,确保混凝土结构的稳定性和耐久性。

5 结论

低温环境下建筑混凝土施工的质量保障需依托系统性技术措施,从原材料控制到全过程温控形成闭环管理。通过选用高水化热水泥、优化配合比并掺加防冻剂与引气剂,可奠定抗冻与强度基础;施工中对拌合料加热、运输保温及浇筑温控的协同操作,能有效减少热量损失;蓄热法、暖棚法等养护技术结合实时温度监测,可保障水泥水化充分进行。同时,原材料抽检、拌合物性能测试与实体强度检测的联动,为质量提供数据支撑。实践表明,只有将各环节技术措施精准落地,才能在低温条件下避免混凝土受冻、强度不足等问题,确保建筑结构的安全性与耐久性。

参考文献

- [1]郭昌盛,赵璐,陈雷,等.低温环境下不同养护方式对风电工程混凝土施工质量的影响研究[J].智能建筑与工程机械,2024,6(06):109-110+128.
- [2]张一礼.混凝土冬季低温环境下施工质量的保障措施分析[J].门窗,2018,(16):175-176.
- [3]李远东.建筑施工中混凝土浇筑过程的温控技术应用[J].门窗,2025,(12):40-42.
- [4]常少康,李笑,窦悦.复杂环境下建筑深基坑施工技术及其安全管理[J].散装水泥,2025,(02):152-154.
- [5]音俊峰.浅析复杂环境下大型建筑工程深基坑支护施工技术[J].中国设备工程,2025,(08):35-37.
- [6]徐钟鸣.恶劣环境下水泥混凝土路面施工技术研究[J].四川建材,2025,51(03):162-165+173.
- [7]陆旭,李学一.浅析低温环境中建筑工程混凝土施工技术[J].四川水泥,2023,(06):162-163+166.