

# 低温环境混凝土浇筑全程防冻关键技术优化与工程实践

蔡美华 沈维云

湖北兴发化工集团股份有限公司 湖北 宜昌 443311

**【摘要】**：针对低温环境工业厂房混凝土浇筑冻害风险高、工期保障难的问题，优化全程防冻技术方案，核心利用生产车间富余低压蒸汽，搭配防冻剂添加、保温毯覆盖等措施，形成协同防冻工艺。本文以零下三度到零下四度工况为重点，结合工程实践验证，该技术可高效解决梁板积雪清理、混凝土水化缓慢等问题，保障强度达标且缓解工期滞后，富余蒸汽利用兼具经济性与环保性，适配工业厂房施工需求，为同类低温施工提供实用参考。

**【关键词】**：低温环境；混凝土浇筑；富余蒸汽养护；防冻技术；工程实践

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.071

低温环境下水泥水化反应速率随温度降低明显放缓，环境温度接近0摄氏度时，混凝土内部游离水易出现结冰现象，可能导致结构孔隙率增大、强度增长受阻，甚至产生裂缝等冻害问题，影响结构安全性与耐久性<sup>[1]</sup>。工业厂房混凝土梁板结构受力复杂、荷载要求较高，对浇筑质量与早期强度发展标准更为严格，且施工具有构件跨度大、梁板分布密集、工序衔接紧凑等特点，低温天气下的防冻施工难度远高于普通民用建筑<sup>[2]</sup>，同时，工业项目多配套生产车间，运行过程中产生的富余低压蒸汽若未合理利用易造成能源浪费，将其引入混凝土防冻施工环节，既可降低防冻成本，又能实现能源资源化利用<sup>[3]</sup>。基于此，本文优化工业厂房混凝土浇筑全程防冻关键技术，重点突出生产车间富余蒸汽的应用，构建适配工业场景的防冻技术体系，并结合具体工程案例验证其可行性。

## 1 低温环境工业厂房混凝土浇筑防冻技术难点

工业厂房混凝土施工受结构特性与施工场景影响，在低温环境下，防冻施工面临多重技术难点，易对施工质量与工期推进产生不利影响：其一，低温环境下混凝土入模温度易不达标，且浇筑后热量散失快，水泥水化反应不充分，早期抗冻临界强度难以按期达到，后续拆模与工序衔接易受影响，叠加低温降雪天气，待浇筑构件表面易积雪，清理不彻底会进一步拉低模板温度，增加混凝土空鼓、结合不密实的质量隐患<sup>[4]</sup>；其二，工业厂房施工区域开阔，通风性强，传统生火加温方式热量损耗大，难以持续维持混凝土水化所需温度，尤其是梁板底部等隐蔽部位，温度管控难度大，易成为冻害高发区域；其三，工业厂房对混凝土结构耐久性、承载力要求严苛，低温环境虽未达到极端低温，但混凝土仍存在冻害风险，单纯添加防冻剂或单一保温措施，无法实现全程有效防护，易留下后期结构安全隐患<sup>[5]</sup>；其四，工业项目富余蒸汽利用需解决管道架设、压力管控、安全防护等问题，蒸汽输送过程中易出现泄漏、局部温度过高损伤混凝土等情况，需制定规范的操作流程，兼顾实用性与安全性<sup>[6]</sup>。此外，低温环境下混凝土冰点有所降低但未完

全消除冻害风险，工业厂房常用的C30及以上强度等级混凝土，需在浇筑后7天内达到设计强度的70%左右，低温环境下若养护措施不到位，强度发展易滞后，进一步加剧工期压力。综上，低温环境工业厂房混凝土浇筑防冻需统筹解决积雪清理、入模控温、强度保障、工期把控、能源利用等核心问题，技术方案需兼顾实用性、高效性与经济性。

## 2 低温环境混凝土浇筑全过程防冻关键技术优化

结合低温工况、工业厂房施工特点及能源利用需求，优化形成源头控温过程防护后期养护全程防冻技术体系，核心为生产车间富余低压蒸汽的资源化利用，配套防冻剂精准添加、保温毯覆盖等辅助措施，提升防冻效果与施工效率，助力缓解工期滞后问题。

### 2.1 混凝土原材料调控与防冻剂适配添加

混凝土原材料温度直接影响出机与入模温度，为减少低温骨料对混凝土温度的负面影响，需提前对接商混站优化原材料预处理工艺。骨料石子、沙子优先存放于封闭料仓，若温度低于5摄氏度，可利用车间富余蒸汽对料仓适度预热，避免骨料低温拉低混凝土整体温度；搅拌用水采用加热方式调控，水温控制在40至80摄氏度，搅拌时先将热水与骨料混合降温，再加入水泥、外加剂搅拌，防止热水直接接触水泥引发假凝，保障混凝土和易性。

结合当前持续低温环境，建议施工单位对接商混站，合理选用非氯盐类防冻剂，规避氯盐对厂房梁板钢筋的锈蚀风险，保障结构耐久性。根据混凝土配合比与低温工况，防冻剂掺量控制在水泥用量的4%至5%，该掺量可有效降低混凝土冰点，适配项目低温施工需求，且不易对混凝土后期强度发展产生不良影响。施工前商混站需开展配合比试验，验证防冻剂适配性，确保混凝土出机温度不低于10摄氏度、入模温度不低于5摄氏度，从源头降低冻害发生概率。

## 2.2 待浇筑区域梁板积雪蒸汽预融处理

针对低温降雪后待浇筑梁板底部积雪堆积、人工清理效率低的问题,创新采用生产车间富余低压蒸汽进行积雪预融,兼顾效率与经济性<sup>[3]</sup>。建议施工单位对接厂区配套生产车间,明确富余低压蒸汽参数压力控制在70kPa以内,符合低压蒸汽使用安全标准,架设耐压夹布橡胶管将蒸汽引至待浇筑区域。蒸汽管道沿梁板底部均匀布置,喷口间距控制在500mm左右,喷射方向与梁板表面呈45°角,确保蒸汽均匀覆盖积雪区域,加速积雪融化,减少人工清理工作量。

蒸汽预融过程中需做好双重管控,一是蒸汽使用安全,橡胶管接口做好密封处理,避免蒸汽泄漏引发人员烫伤,施工区域设置警示标识,安排专人巡查管道运行状态,与生产车间专人对接,实时把控蒸汽供应量与压力稳定性;二是模板含水率管控,积雪融化后及时清理模板表面积水,必要时铺设防水薄膜,避免混凝土浇筑后因模板含水率过高出现空鼓、离析等质量问题。该方式利用车间富余蒸汽,无需额外投入能源成本,可有效提升积雪清理效率,为混凝土浇筑争取宝贵时间。

## 2.3 混凝土浇筑过程温控与防护措施

混凝土浇筑阶段需严控热量散失,保障浇筑质量与入模温度稳定。浇筑前通过架设的橡胶管,向模板内侧通入低压蒸汽适度预热,使模板温度升至5摄氏度以上,降低混凝土与模板间的热量传导损失;浇筑采用分层连续作业方式,每层浇筑厚度控制在300mm以内,缩短浇筑间隔时间,避免表层混凝土因暴露时间过长受冻,保障混凝土浇筑连续性。

混凝土浇筑完成后,及时对表层进行抹平压实处理,随即覆盖塑料薄膜保湿,防止表层水分过快蒸发出现干裂,外层加盖阻燃保温毯,边缘用沙袋压实密封,减少冷空气渗入。针对工业厂房大跨度梁板结构,在保温毯外侧增设防风彩条布,降低风力对保温效果的影响,尽量维持混凝土表层温度不低于0摄氏度,为水泥水化反应提供基础温度条件,保障早期强度稳步发展。

## 2.4 浇筑后富余蒸汽恒温养护技术应用

混凝土初凝后通常为浇筑后4至6小时,启动蒸汽养护工序,延续使用生产车间富余低压蒸汽,搭配保温毯覆盖形成双重保温养护体系,加速混凝土强度发展,缩短养护周期,缓解工期滞后压力。蒸汽养护严格划分升温、恒温、降温三个阶段,控制温度变化速率,避免温差过大引发混凝土裂缝。

升温阶段每小时升温速率不超过10摄氏度,通过调节蒸汽阀门开度控制通入量,采用红外测温仪实时监测混凝土表面温度,同时在梁板中心埋设热电偶监测内部温度,确保内外温差不得超过25摄氏度,防止温度骤升导致结构开裂;恒温阶段

养护温度控制在20至25摄氏度,相对湿度保持在95%以上,养护时间不少于48小时,该阶段为水泥水化关键期,适宜湿度可促进混凝土强度快速增长,助力达到抗冻临界强度;降温阶段每小时降温速率不超过5摄氏度,逐步关闭蒸汽阀门,缓慢通风降温,待混凝土内部温度与环境温度差值不超过15摄氏度时,再拆除保温毯与蒸汽管道,避免温度骤降导致表层收缩开裂。

蒸汽养护期间,建立双重管控机制,一是与生产车间保持专人对接,实时监控蒸汽压力与供应量,确保参数稳定满足养护需求;二是安排专人定期检查蒸汽管道密封性与保温覆盖完整性,及时处理管道泄漏、保温毯移位等问题;三是按规范制作同条件养护试件,每台班不少于1组,定期检测强度发展情况,确认达标后再进入下道工序。

## 3 工程实践案例分析

### 3.1 工程概况

本次工程案例依托磷酸铁二期项目湿区工业厂房混凝土施工,项目地处湖北西部,2026年1月19日遭遇天降大雪,环境温度降至零下三度到零下四度,正值湿区C区、D区混凝土浇筑关键阶段。项目工业厂房梁板结构跨度大、荷载要求高,混凝土强度等级为C35,对早期抗冻临界强度要求严格,需浇筑后7天内达到设计强度的70%以上。彼时项目工期已出现滞后,持续低温降雪天气给施工带来双重压力,其中C区已完成混凝土浇筑,初期仅采取保温毯覆盖、生火加温等常规防冻措施,存在热量散失快、局部温度维持难度大等问题;D区待浇筑混凝土梁板底部留存积雪,厚度达3至5cm,人工清理难度大、效率低,若不及时处置,将进一步延误工期,且易引发混凝土浇筑质量隐患。

### 3.2 防冻技术实施过程

针对项目实际困境,结合优化后的全程防冻技术制定专项施工方案,推进各项措施落地实施。一是对接商混站落实原材料温控与防冻剂添加,明确混凝土出机温度不低于10摄氏度、入模温度不低于5摄氏度,防冻剂选用非氯盐类型,掺量按水泥用量4.5%配比,提前完成配合比试验,保障混凝土适配低温工况;二是协调湖北兴友新能源科技有限公司,对接其生产车间富余低压蒸汽资源,快速架设耐压夹布橡胶管,将蒸汽引至C区、D区,D区优先用蒸汽对梁板底部积雪预融,24小时内完成积雪清理与模板积水处置,满足浇筑条件,C区则替换原有生火加温方式,增设蒸汽管道开展辅助养护<sup>[3]</sup>;三是混凝土浇筑阶段严格落实分层连续作业、模板预热等措施,浇筑后及时覆膜、盖毯、增设防风层,做好过程保温;四是混凝土初凝后启动蒸汽恒温养护,严格按升温、恒温、降温阶段参数管控,全程安排专人监测温度与管道运行状态,落实蒸汽使用安全防

护措施,未出现蒸汽泄漏、人员安全等问题。

### 3.3 应用效果分析

通过优化防冻技术的落地应用,项目混凝土施工质量与工期推进均得到有效保障。D区梁板底部积雪清理效率较人工方式大幅提升,提前3天具备浇筑条件,有效弥补工期滞后进度;C区通过蒸汽辅助养护,混凝土表层温度维持稳定,避免了局部冻害风险。同条件养护试件检测结果显示,C区、D区混凝土浇筑后7天强度均达到设计强度的75%以上,满足抗冻临界强度要求,混凝土结构密实度、外观质量均符合工业厂房施工标准,未出现裂缝、空鼓等质量问题。

从经济性与环保性来看,利用车间富余低压蒸汽开展积雪预融与养护作业,无需额外购置加热设备与燃料,降低了防冻施工成本约30%;同时减少了传统生火加温带来的能源消耗与

污染物排放,契合工业项目绿色施工理念<sup>[6]</sup>。综上,该优化防冻技术在本项目低温环境工业厂房混凝土施工中适用性良好,既保障了施工质量,又助力缓解工期压力,具备实际推广价值。

## 4 结语

聚焦低温环境工业厂房混凝土浇筑防冻难题,优化形成以生产车间富余低压蒸汽利用为核心的全程防冻技术体系,多环节协同解决积雪清理难、冻害风险高、工期滞后等突出问题,工程实践证实其在质量保障、施工效率提升与成本控制上表现突出,富余蒸汽资源化利用也为工业低温施工提供了经济环保新思路。未来,可进一步优化蒸汽管道布设与温控参数,结合智能测温、自动控压设备提升养护精细化水平,同时积累不同低温工况、不同厂房结构的应用数据,完善技术细节与操作规范,推动该技术在更多工业项目中落地,全面提升低温环境混凝土浇筑施工的质量与综合效益。

## 参考文献:

- [1] 王鹏,李刚,张涛.工业厂房大体积混凝土低温施工防冻技术研究[J].混凝土,2022(5):156-159.
- [2] 刘建明,赵丽,陈明.低压蒸汽养护在混凝土低温防冻施工中的应用实践[J].施工技术,2023,52(11):89-92.
- [3] 张慧,吴涛,马军.工业项目富余蒸汽资源化利用在混凝土养护中的应用[J].建筑技术开发,2021,48(18):76-77.
- [4] 陈明华,李丽,王强.低温环境下混凝土防冻剂适配性及施工工艺优化[J].新型建筑材料,2024(2):123-126.
- [5] 赵磊,孙晓波,周扬.工业厂房梁板结构低温混凝土浇筑全程温控技术[J].建筑工程技术与设计,2023(7):102-104.
- [6] 黄勇,吴佳明,刘杰.富余低压蒸汽在低温混凝土施工中的节能应用研究[J].节能,2022,41(9):88-90.