

低温环境下北方水利工程冬季施工保温技术研究

张松艳 刘 涛

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 南阳 473000

【摘要】：北方水利工程冬季施工同时受到低气温、昼夜温差、风速和结构散热条件影响，混凝土入仓后热量损失、土体冻结、管道接口脆化及临时供热不均都会造成质量风险。根据材料热平衡与水化反应特点，将施工区域划分为拌和运输、仓面浇筑、模板围护、养护测温及土石方和管线作业单元，分析各工序的失热路径，提出原材料预热、短链运输、保温模板、蓄热与主动供热组合、分层测温及异常降温处置方法。冬施保温应随结构尺寸、施工时段和天气变化调整，而不能用单一覆盖厚度处理全部部位。

【关键词】：低温环境；北方水利工程；冬季施工；保温技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.031

引言

水利工程施工面常沿河道、渠道和枢纽结构展开，作业点分散且临水迎风，冬季保温对封闭建筑现场更容易受到冷空气侵入。混凝土、水泥土、回填土和管道接口对低温的敏感阶段不同，若只在浇筑完成后铺设保温被，拌和水降温、运输等待、模板冷桥和早期冻胀等问题仍会发生。冬施技术要从气象预报、热源配置和材料准备开始，把入模温度、内部峰值、降温速率及表面温差作为连续控制对象，并为停电、大风和突降温预留替代热源和加厚围护条件。

1 北方水利工程冬季施工的低温作用特征

低温对水利施工的影响并非只取决于日最低气温，还受负温持续时间、风速、日照、结构表面积与体积之比以及基层蓄热条件影响。薄壁闸墩、渠道衬砌和外露管道散热快，基础大体积混凝土内部水化热较高，却可能在表面形成陡峭温度梯度。材料、浇筑和养护需要作为连续工序控制^[1]。施工前应按未来七日滚动预报划分稳定低温、昼夜冻融和寒潮突降三类工况，日班记录气温、风速、混凝土温度与围护状态。现场设置背阴、迎风和保温棚内三个环境测点，避免只用项目部附近气温代表全部作业面。不同结构分别核算热量损失，保温资源优先布置在薄壁、边角、施工缝和临风面。

2 冬季施工保温的主要技术难点

2.1 材料预热与运输过程温降

骨料含水在负温下结冰后会形成冻团，称量偏差和局部水胶比变化随之出现；拌和水过热还可能使水泥局部假凝。原材料预热应先处理骨料和用水，不直接明火烘烤水泥及外加剂。砂石料仓设置防风和排水，冻结料块不得进入计量仓。运输阶段的温降与罐体保温、装料量、道路等待和卸料速度有关，长距离运输即使出机温度较高，也可能在排队中失去有效热量。

水利工程冬季混凝土施工的难点集中在拌和、运输和早期养护衔接^[2]。每车记录出机、到场和入仓温度，连续两车温降异常时检查罐体覆盖、路线和等候点，不用单纯提高拌和温度补偿管理延误。

2.2 仓面散热、模板冷桥与不均匀养护

仓面敞开时间越长，冷风带走的显热越多；钢模板、拉杆、预埋件和旧混凝土界面导热较快，容易形成局部冷桥。薄层浇筑若间歇时间过长，上层混凝土覆盖前下层表面已明显降温，层间结合和水化连续性受影响。围护棚存在缝隙时，热风沿顶部逸出，底部冷空气持续补入，测温点靠近热源会给出偏高判断。保温布置应把模板外侧、边角、孔洞、止水周边和施工缝作为独立节点。暖棚供热设备与结构保持安全距离，热风经导流后均匀进入，不直吹混凝土表面。棚内温度监测点按上中下和迎背风布置，发现局部差异时先封堵漏风和调整气流，再增加热源。

2.3 土石方、基础和管线作业受冻

基坑底面、填筑料和管沟回填受冻后，融化会发生沉陷或强度下降。清基完成到下一工序间隔过长，原状土表层可能形成冻层；带冻块填料进入压实层后，表面压实度看似满足，春融时仍可能产生空隙。管材在低温下韧性下降，橡胶密封圈硬化，接口清洁和插接尺寸更难保证。土石方作业应按当日开挖、当日处理、当日覆盖组织，基础暴露后设置保温层和防水覆盖，降雪融水不得进入保温材料。回填料在料场和摊铺前分别检查冻块，已冻结的基层须清除或解冻复验。塑料管、止水和密封材料在保温库内存放，运至作业点后限时使用，禁止用明火直接加热接口。

3 混凝土冬季施工保温技术

3.1 原材料预热与配合比适配

冬施配合比应以满足设计性能和早期抗冻条件为边界,不为追求升温任意增加水泥用量。高抗冻早强混凝土可通过胶凝材料组合和适配外加剂改善低温早期性能^[3]。实际采用前仍需结合本工程材料试配。拌和水温、骨料温度、含水率和环境温度共同决定出机状态,现场依据试拌结果设定控制区间。防冻或早强外加剂核对品种、掺量、含碱和含氯限制,与其他外加剂做相容性试验;不同批次更换前复验。骨料加热均匀,蒸汽加热时避免局部过湿。投料次序先使热水与骨料换热,再加入胶凝材料,防止高温水直接接触水泥。每班首盘和气温明显变化后复核拌合物工作性及温度,调整以计量记录为依据。

3.2 短链运输、仓面预热与连续浇筑

运输车辆在装料前清除罐内冰雪,罐体加设可固定的保温套,出机后按预定路线直接到仓。现场把泵车就位、模板验收和钢筋清理前移,减少混凝土到场后的等待。泵管外包保温层,停泵间隔较长时按工艺处理管内余料,不让低温浆体滞留形成堵管。浇筑前清除模板、钢筋和结合面的冰霜,必要时对基层缓慢预热,但不得形成积水或局部烘烤。浇筑采用小分区连续推进,控制分层厚度与覆盖间隔;迎风面设置临时挡风,振捣完成随即覆盖暴露面。施工缝处旧混凝土温度和表面状态单独核验,接缝区域加密保温。班组交接记录剩余方量、覆盖完成度和热源状态,防止停班时留下未封闭仓面。

泵送、吊罐和溜槽三种入仓方式的暴露时间不同,施工组织不能共用一个温度补偿值。泵送前以适量同配比砂浆润管,润管料按规定处理,不进入主体结构;泵管转弯和水平末端是容易降温的位置,可设置可拆保温套便于检查。吊罐运输应缩短开盖时间,罐口冰霜清除后再接料。仓面人员按固定顺序完成布料、振捣、抹面和覆盖,避免多人反复掀开完成保温的区域。遇设备短时停,记录停机时刻和已浇边界,评估混凝土温度与层间间隔;超过设定条件时按施工缝处理,不用强行振捣连接已明显降温的表层。浇筑收仓后检查预埋测温线、覆盖搭接和边角压重,确认供热值班人员接管后,浇筑班组才能撤离。

3.3 保温模板、蓄热覆盖与暖棚供热

保温方式按结构散热条件组合选择。厚大结构可利用水化热配合保温模板和多层覆盖形成蓄热养护;薄壁、临风或负温持续时间长的结构需要暖棚、电热或热风补充。模板外侧保温层连续包覆,拼缝错开并防止受潮,拉杆和阴阳角增设局部保温。混凝土表面先铺不吸水隔离层,再铺保温被和防风层,覆盖边缘压实,避免冷风钻入。暖棚骨架满足风雪荷载,供热设备设防火隔离、通风和备用电源。热风不直接吹向新浇表面,

防止表层失水。水工混凝土冬施质量控制强调保温与温度观察相配合^[4]。保温层拆除按强度与内外温差决定,不能以计划日期代替实测条件。

蓄热养护的核心是控制热量释放而不是把结构长期密闭。早期温度上升过快时,先降低棚内供热并观察中心与表面差值,不立即大面积揭开覆盖;温度开始下降后,根据外界气温逐层减少保温,使结构缓慢接近环境。模板拆除前核对同条件试件或经批准的成熟度判断、结构表面温度和未来天气。拆模按背风面、局部试拆、迎风面顺序进行,裸露表面随拆随覆盖,螺杆孔和棱角处及时补护。暖棚停热采用分阶段降温,棚温与外界差异较大时保留围护一段时间。若拆模后发现表面结露,说明降温或通过快,需要减缓换气;出现局部温度陡降时恢复覆盖并检查冷桥。保温材料受潮后导热性能变化,重复使用前检查干燥、破损和接缝状况,不能只按层数判断保温能力。保温与测温布置见图1。

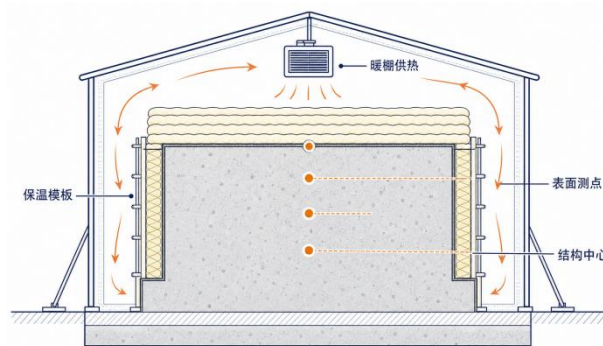


图1 冬季混凝土保温与测温布置

4 土石方和附属结构保温技术

4.1 基础防冻与填筑料温度管理

基础验收合格后立即覆盖,保温材料下铺防水层,四周延伸开挖边线外,防止边缘冻入。夜间停工或寒潮前增加厚度,并用压重固定;恢复施工时分区揭开,避免整个基础同时暴露。已受冻基础按冻结厚度清除或采取可验证的解冻措施,复验承载和含水状态后方可覆盖上层。填筑料在料场采取分区取料,表层冻结料先剥离,不与未冻料混合。摊铺面控制作业长度,运输、摊铺、碾压和检测连续衔接;每层完成后覆盖,次日开工前检查表面冻层。压实检测点避开明显热源或覆盖差异区,并增加迎风边缘点。冬季停工面设置排水坡,融雪水及时导走,避免白天入渗、夜间结冰。

4.2 管道、止水和金属结构安装保温

低温安装前核查管材允许施工温度和密封材料储存要求。橡胶圈、密封胶和止水材料提前移入保温库缓慢回温,不用热水骤烫或明火加热。管沟基底清除冰雪,垫层随铺随装,接口

完成后按规定检查插接尺寸、偏转角和密封状态。焊接作业设置防风棚,母材预热、层间温度和焊后保温按焊接工艺评定执行,测温点靠近焊口但避开直接火焰。闸门埋件和大型钢构件安装时关注不同部位温差造成的尺寸变化,测量基准与安装温度一并记录。水压试验后彻底排水,不能排净的低点采取防冻措施。回填前确认接口检验完成,分层回填并及时覆盖,不让裸露管段在夜间受冻。

5 温度监测与异常降温处置

5.1 测温布点与曲线判读

测温方案在浇筑前确定,测点覆盖结构中心、表面、边角、迎风面、施工缝和典型冷桥。传感器编号与平面位置对应,埋设后检查导线和读数;暖棚同时布置环境点。早期升温 and 峰值阶段加密记录,温度变化趋缓后再延长间隔。人工测温与自动采集定期比对,传感器异常不允许用相邻点代替而不说明。监测重点是最低温度、中心与表面差值、降温速率以及热源停启后的响应。发现局部降温过快,先检查覆盖破损、漏风、供电和传感器,再加铺保温或调整供热;不得把热风口直接对准冷点造成新的温差。突发停电时启动备用电源,无法恢复则封闭棚体、加厚覆盖并暂停拆模。所有异常和处置时间进入测温曲线,达到规定强度和温差条件后才逐步降温、拆棚。冬季混凝土质量控制还应核对温度记录与同条件试件状态^[5]。测温、试件与拆模记录应保持同一时间轴并由专人交接。

5.2 异常降温与寒潮处置

测温数据每天形成结构位置图与趋势曲线,值班人员不只抄录数值,还要标明覆盖调整、热源启停、开棚作业和天气变化。某测点突然跳变而相邻点稳定时,检查导线接触和传感器位置;多个迎风点同步下降时,优先查找围护破口;中心温度继续升高而表面温度下降,则需加强表面保温并控制内外差值。寒潮应急清单预先明确备用发电机、燃料、保温被、固定绳和夜班人员位置,预警发布后即完成试运行。大风造成棚布破损时先撤离危险区域、加固骨架,再封堵围护。降雪后及时清除棚顶积雪,防止结构变形压坏热风管和测温线路。异常结束后不立即恢复原监测间隔,至少经历一个完整昼夜温度周期,确认曲线重新稳定再转入常规养护。冬施保温控制流程见图2。

图2。



图2 水利工程冬季施工保温控制流程

5.3 临时供热与作业安全

冬施保温涉及临时用电、燃料、封闭空间和高处覆盖,质量措施必须同安全条件一起核查。供热设备设置专人值守,燃烧型设备保持通风并配置一氧化碳监测,电热系统检查漏电保护和线路载流能力。保温材料使用阻燃或符合现场防火要求的产品,远离焊接火花和排烟口。每日交班核对天气、热源、燃料、测温、覆盖和消防六项状态,夜间巡查重点查看棚体变形、积雪、漏风和电源报警。质量人员抽查入仓温度、覆盖节点及测温记录,安全人员同步检查热源距离和通道。寒潮、大风或暴雪超出设定工况时暂停易受影响工序,先加固围护和保障热源,不能以抢进度压缩养护时间。

5.4 专项检查与交接管理

冬施专项检查以作业单元为对象,将技术交底、材料温度、测温曲线、同条件试件、热源值守和消防记录相互核对。发现记录连续整点且数值变化异常平滑时,应回查自动采集文件和现场操作,防止事后补记掩盖供热中断。保温棚出入口设置开闭责任,材料运输后立即恢复围护;夜班人员进入棚内采用两人同行并保持通信。燃料补给、发电机切换和设备维修安排在不削弱结构保温的时段,备用设备每班短时试运。同类技术资料可用于复核保温、拆模和交接条件^[6]。项目据此安排下一作业单元并核对保温材料与热源。

6 结语

北方水利工程冬施保温应贯穿材料、运输、浇筑、围护、养护和拆除。混凝土按结构散热条件组合使用原料预热、覆盖蓄热和主动供热,土石方、管线与止水作业同步防冻。测温曲线用于调整热源、覆盖和拆模时机,并与气象、工序和试件记录相互核对。

参考文献:

- [1] 孙路文,范志坤,刘鹏,等.高寒地区水利工程冬季施工关键技术探究[J].价值工程,2026,45(12):96-98.
- [2] 徐盼盼,姜凤群,赵珂.水利工程冬季施工技术难点与应对措施[J].水上安全,2026,(1):175-177.
- [3] 何庆辉.高抗冻早强混凝土在水利工程冬季施工中的配制技术与性能研究[J].工程与建设,2026,40(2):358-360+364.
- [4] 皮进勇.高寒地区水工混凝土冬季施工关键技术及质量控制[J].水泥,2025,(9):149-151.
- [5] 周君丹.探究水利工程冬季混凝土施工的质量控制措施[J].科学技术创新,2024,(20):189-192.
- [6] 武鹏.建筑工程技术中混凝土冬季施工技术的研究[J].中国住宅设施,2023,(4):163-165.