

# 极寒环境下养护保温对混凝土温度和强度影响的研究

薛立兴

中电建铁路建设投资集团有限公司 北京 100070

**摘要:** 本文在以哈尔滨为代表的严寒地区,解决地铁工程的冬期施工问题将极大加快地铁施工进度,缩短建设工期,保证工程质量,起到改善城市交通环境、提高地区经济效益、促进地区经济建设的作用。本文通过对严寒地区不同保温措施下混凝土温度变化曲线和混凝土强度随时间发展规律的研究,提出经济有效的超低温环境下混凝土养护保温措施建议。

**关键词:** 养护;保温;温度;强度

Study on the influence of curing and insulation on concrete temperature and strength in extreme cold environment

Xue Lixing

Power China Railway Construction Investment Group Co., LTD. Beijing 100070

**abstract:** In this paper, the change curve of concrete temperature and the development law of concrete strength with time under different insulation measures in cold areas are studied, and the economical and effective concrete curing and insulation measures under ultra-low temperature environment are proposed.

**Key words:** maintenance; heat preservation; temperature; strength

本文在详细阐述混凝土早期冻害与冻融循环病害机理的基础上,对混凝土冬期施工措施进行了系统调研,通过对不同保温措施下混凝土温度变化曲线和混凝土强度随时间发展规律的研究,提出超低温环境下混凝土养护保温措施建议。

## 1 试件设计

设计制作三块 800mm 厚混凝土板,尺寸 1m × 1m,混凝土强度等级采用 C35,选用的配合比为:水:砂:石:水泥:外加剂=1:1.75:2.38:0.40:0.024,采用普通硅酸盐水泥 P.O.42.5。

每块混凝土板件预留 10 组 30 个 150mm × 150mm × 150mm 强度试块,与混凝土板同批浇筑。

## 2 保温方案

2.1 方案 A: 一层塑料布+电伴热带+一层棉毡+满铺袋装珍珠棉;

2.2 方案 B: 一层塑料布+二层棉毡+满铺袋装珍珠棉;

2.3 方案 C: 一层塑料布+一层棉毡+满铺袋装珍珠棉。

## 3 试验方案

3.1 试验环境温度采用水银温度计测量,量程-30℃~150℃,显示分辨率 0.2℃,测量精度 1℃。为保证环境温度测试结果的可靠性,温度计置于专门的百叶箱内,避免阳光直射,且保持空气流通;百叶箱距地面高度为 1.2m,以兼顾测量温度的代表性及读数的方便可靠性。

3.2 板件表面及内部温度采用 JMT-36C 型预埋式热敏电阻传感器进行测量,其原理是监测由温度的变化所引起的内部电阻的变化。电阻与温度间的换算公式如式(3-1)所示。

$$T=10000/(a+b\ln R+c\ln 2R)-273.2 \quad (3-1)$$

式中, a=31.32398, b=3.155718, c=3.155718, R 为 20kΩ 档位下的电阻示数。

## 3.3 温度测量

在每块 800mm 厚混凝土板件居中位置沿厚度方向均匀布置 6JMT-36C 型预埋式热敏电阻传感器,用于测量混凝土内部温度随时间变化曲线,并确定养护过程中混凝土温度沿厚度方向的变化规律。传感器间距 140mm。

将混凝土振捣完毕的时间定为养护初始时间,4d 内每隔 2h 测温记录一次,以后每隔 4h 测温记录一次,养护 7d 后 1d 记录一次,在混凝土浇筑 10d~14d 后,停止测温记录。每次测温须读取混凝土温度传感器读数及水银温度计读数,其中,混凝土内部温度通过测量各温度传感器电阻值 R,将其带入式(3-1)计算得到。测量均读取三次读值,记录值取三次读值的平均值。

## 3.4 强度测量

根据对试件进行标号,针对不同养护方案、养护时间,实测试件的抗压强度。混凝土强度试验按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081-2002)要求进行,加载试验装置为 200t 液压压力机,加载速率保持在每秒 0.5~0.8Mpa。

## 4 试验结果

### 4.1 不同养护措施下混凝土温度变化

该试验在哈尔滨 2 月下旬进行,混凝土浇筑初期温度较低,最低温度-20℃,日温差 15℃左右;养护后期天气回暖,温度逐渐上升,最高温度 15℃。整个试验过程中,日均气温-10℃~5℃。

三种养护方案下,混凝土试件内部沿厚度方向不同高度处在养护过程中的温度随时间变化,试验得知,在混凝土养护初期(测温 0h~40h),受混凝土水化热影响,三种养护方案下的试件在不同高度处的混凝土温度均有一定的提升;在测温 40h 左右(此时为混凝土终凝时间),各方案混凝土温度升至最高值(9~20℃);此后的 5d 内(测 40h~160h),混凝土温度降低幅度显著,降低幅度均在 10℃左右;之后直至试验结束,混凝土温度的变化主要受环境温度波动影响,但由于保温措施的存在,混凝土温度的波动比环境温度的波动相对滞后;养护 10d 后,受天气回暖影响,试件温度有所上升,但上升幅度较小,试验结束时(测温 620h)混凝土温度保持在 5℃左右。

三种方案中电伴热带保温效果最好,能持续为散失水化热的混凝土提供热量补充,保证水化反应的正常进行。但是由于电伴热带仅铺设在板件顶面,因此沿混凝土厚度方向保温效果从上至下逐渐减弱,养护温度依次降低。养护温度平均值在距混凝土上表面 50mm 位置处,为 15℃左右;在混凝土板件中部,降至 7~10℃左右;在距混凝土上表面 750mm 位置处,仅为 4℃左右。总体而言,电伴热带提供的热量能保证混凝土养护平均温度维持在入模温度左右。整个养护过程中,混凝土最高温度不超过 20℃,最低温度不低于 1℃,混凝土上、下表面温差不得超过 15℃,满足混凝土养护对温度的要求,在保证混凝土强度发展的同时不会引起温度裂缝。

与方案 A 相比,方案 B 与方案 C 由于没有电伴热带持续供热,致使养护过程中混凝土内部的温度始终低于方案 A 测量结果,最高温度仅为 9℃~13℃。而且,由于没有电伴热带造成的温差,方案 B 与方案 C 的混凝土试件内部不同高度处温差较小,在前 40h 内,受水化热影响,温差尚较大,但不超过 10℃;之后温差进一步缩小,最大温差不超过 3℃。

可见,在-20℃~2℃环境温度下,对于采用综合蓄热法养护的混

凝土厚板(厚 800mm),保温措施在 5d 后已基本失效;当采用电加热法养护时(方案 A),保温措施则可长期有效。

试验得知,养护方案 A 由于在混凝土顶面铺设电伴热带,混凝土板顶温度有较大幅度的提升,养护 24h 后,即从入模温度 7.5℃升至 19℃;沿板件厚度方向,温度呈非线性降低趋势,贴近板顶位置随板件厚度的降温幅度较小,板件截面中轴线以下温度降幅明显。方案 B 与方案 C 的混凝土板件受水化热影响,养护 24h 后温度较入模温度也有所提升,但是提升幅度不如电伴热带加温的方案 A 显著。此外,方案 B 与方案 C 的温度提升是由水化热引起的,因此混凝土温度沿板厚方向的分布规律呈抛物线形分布趋势,试件中轴线附近温度较高,试件表面温度较低。但该分布趋势并非严格沿板件中轴线对称,而是靠近板顶一侧温度略高于靠近板底一侧,温度最高值出现在距板顶 330mm 附近。这是由于方案 B 与方案 C 均为单边养护,只在混凝土顶面铺设了保温层,因此中轴线以下热量散失更为显著,温度偏低。比较方案 A、方案 B 与方案 C 在养护 24h 时的混凝土温度沿厚度方向分布情况还可以看出,保温效果越好的试件,沿厚度方向的温差越大。可见,对于混凝土厚板,当采用较强的保温措施时,需要特别注意混凝土沿厚度方向的温差,避免过大的温度应力导致混凝土开裂。

三种养护方案的混凝土温度均有所降低,由于水化热的存在,电伴热带的加温效果在板件中中性轴以下不是十分明显。但是,在养护 21d 后,方案 A 的试件温度全部明显高于方案 B 与方案 C,电伴热带的保温优势较为显著。

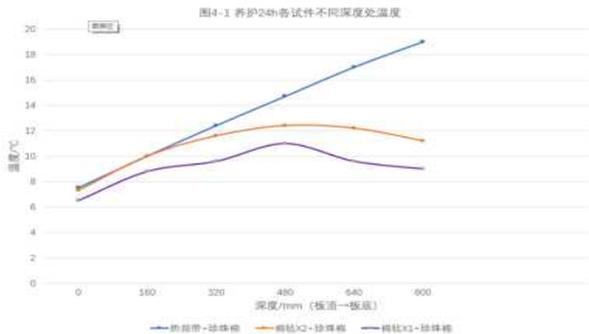


图 4-1 养护 24h 后各试件不同深度处温度

#### 4.2 不同养护措施下混凝土强度发展

地下结构用混凝土常有抗渗、抗冻与耐久性要求,受冻临界强度 ( $f_{c,lim}$ ) 不宜小于设计混凝土强度等级值的 70%。本次试验采用 C35 混凝土,其受冻临界强度值为 24.5MPa。试验得知,若不采用保温措施,混凝土强度会因混凝土早期受冻而无法发展,故冬期施工混凝土养护的保温措施对保证混凝土施工质量至关重要。

不同保温方案养护下,混凝土强度随时间发展实测曲线如图 4-2 所示,方案 A 的保温效果最好,养护期间混凝土内温度最高,因此混凝土强度也发展最快,满足 C35 的强度等级要求;当采用方案 B 养护时,虽然保温效果不及方案 A 的保温效果,但在养护 7d 后混凝土强度也达到了受冻临界强度要求,养护 28d 后,混凝土强度平均值为 41.8MPa,基本满足 C35 的强度等级要求;当采用方案 C,保温效果在三种方案中是最差的,混凝土温度也最低,因此混凝土强度发展最慢,养护 28d 时混凝土抗压强度平均值仅为 38MPa,未达到 C35 的混凝土强度等级要求。

不同保温方案的养护条件下混凝土强度随时间发展的预测曲线是基于混凝土温度实测结果,将预测曲线与实测结果进行对比,可以看出,采用该套计算方法预测所得不同保温措施下养护的混凝土强度随时间发展曲线与实测结果吻合较好。整个养护过程中,预测结果与实测结果最大偏差不超过 23%;混凝土 28d 强度的预测结果与实测结果偏差在 5%~13%之间,且预测结果普遍偏于安全,该

方法是合理可靠的。

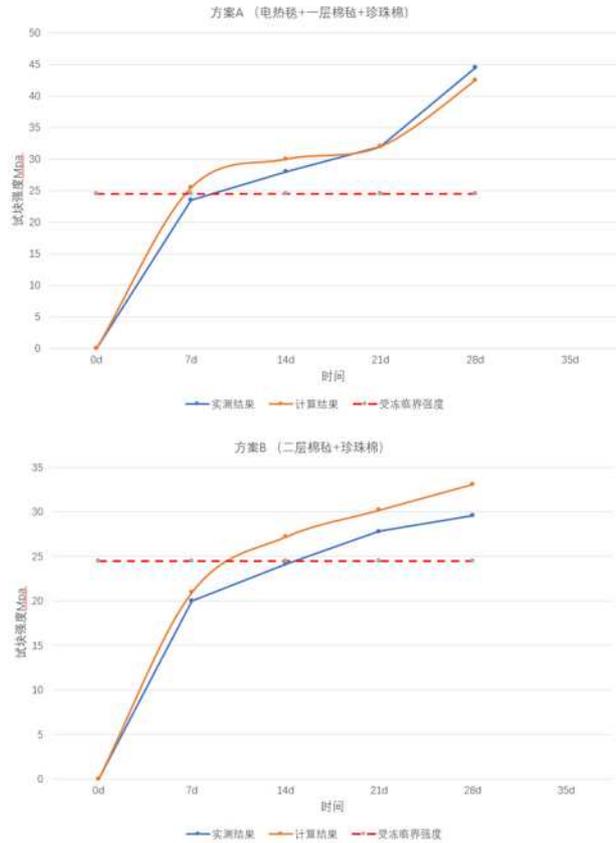


图 4-2 不同保温条件下混凝土强度发展曲线

试验结果表明,对于混凝土养护早期环境温度在  $-20^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$  范围内变化的情况,方案 A 与方案 B 的保温措施均可保证混凝土在养护 7d 后达到受冻临界强度要求,且持续保温养护 28d 后,混凝土强度均基本达到强度等级要求,但是,考虑到实际工程中的各种不确定性,保温条件未必能完全达到试验条件,因此仍推荐方案 A 的保温措施为  $-20^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$  环境温度下混凝土冬期施工的首选养护方案,即一层塑料布+电伴热带+一层棉毡+满铺袋装珍珠棉。采用该保温养护方案时,应特别注意控制混凝土板件内部的温差在规范允许范围内,以免因温差过大造成温度裂缝;且需注意控制逐步拆除保温措施的时间与步骤,以免因环境温度与混凝土温度差异过大而造成温度裂缝,电伴热带以加热 3~7d 为宜,保温措施完全拆除以 14d 为宜。

#### 5 小结

在日均  $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$  的低温环境下,一层塑料布+电伴热带+一层棉毡+满铺袋装珍珠棉的保温措施可以保证混凝土的养护质量,且较为经济合理。建议通电时间为 3d~7d,以保证混凝土强度;建议养护 14d 后再拆除保温措施,以避免温度裂缝。

将《规范》所推荐的成熟度法于欧洲规范 EuroCode2 中提供的标准养护条件下混凝土强度随时间发展预测公式相结合,可以有效预测在保温措施下及拆除保温措施后混凝土在不同温度下的强度随时间发展规律,是合理可靠的。

#### 参考文献:

- [1]任慧韬,刘丽霞,王珏.早期受冻对钢筋与混凝土黏结性能的影响[J].建筑材料学报,2010,13(9):796-801.
- [2]孙凤阁,早期受冻对混凝土抗冻耐久性的影响[J].建筑技术,1985,15(10):38.
- [3]倪祥根,早期受冻对混凝土性能的影响[J].土木工程学报,1959,6(1):50-62.