

-20 以内砼综合蓄热法冬施技术研究

王锡英 郭佩玲

(辽宁省建筑科学研究所)

[摘要]：介绍寒冷地区砼成熟度及临界强度的计算，以及综合蓄热法的不同养护条件的模拟试验结果，结合工程实践证明，寒冷地区砼综合蓄热法冬施是可行的。

[关键字]：

[中图分类号]：TU111

在辽宁地区，冬期大多在-20 的气温环境下，能否采用综合蓄热法进行砼冬期施工，是摆在我们面前的难题，为此辽宁省建委和省冬施网要求我们对这个课题进行攻关，以期在砼冬期施工中取得更大的技术经济和社会效益。

一、关于砼成熟度及临界强度

众所周知，当砼原材料及配制工艺确定时，砼强度与养护温度和养护时间密切相关。因此，可以用养护温度与时间来推算砼的强度，即绍尔公式： $M = t_0(T - T_0) \sqrt{t}$ 。通过国内外大量试验证明，对于不掺外加剂的砼在-10 时强度停止发展，而掺加防冻外加剂的砼，因防冻外加剂具有减水、早强和降低冰点的功能，使砼早期强度迅速发展，且大大减少了可冻水，相应地降低了砼液相的冰点，改变冰晶形态为微晶，减小了砼受冻时的冻胀应力，从而降低砼受冻时的临界强度。在-15 以下强度停止发展，因此绍尔公式为 $M = t_0(T + 15) \sqrt{t}$ 。我所从 1985 年起主持省内有关科研、施工单位对掺各种砼防冻剂的成熟度进行了研究，研究结果基本一致，认为掺防冻剂砼成熟度公式采用 $M = t_0(T + 15) \sqrt{t}$ 是合适的，成熟度 M 与砼相对强度之间的关系为

$Y = A + B \lg M$ 式中：Y-砼成熟度为 M 时的相对强度(%)，

$Y = R / R_{\text{标}} \times 100\%$ ；

R-砼成熟度为 M 时的抗压强度(MPa)，

$R = R_{\text{标}}(A + B \lg M)$ ；

R 标-掺砼防冻剂时，标准养护 28d 抗压强度(MPa)，在没有试验数据时，R 标可取砼的设

计标号(MPa)；

A、B—经验系数，取决于水泥品种及用量、水灰比、防冻剂品种及掺量。

通过大量的试验，对于掺加 LD 型砼防冻剂时，用矿渣硅酸盐水泥配制 C20 时， $R=R$ 标 (-190+68lgM)；配制 C30 时为 $R=R$ 标 (-194+69lgM)；相关系数均可达 90%以上，可以直接应用。

另外，关于砼的抗冻临界强度省内研究表明，掺防冻剂的砼当强度达到 3~3.5MPa 时就可满足砼不受冻害。达到 3.5MPa 时砼的成熟度值 $M=750 \sim 1000 \cdot h$ ，我们认为取 950~1000 $\cdot h$ 更安全可靠，在实际工程中可以用成熟度来控制冬施砼的质量。

二、综合蓄热法模拟试验

为了探求砼结构表面系数在 14 以下，环境温度最低值在-20 以内综合蓄热法的一些基本数据，如砼原材料的加热温度，拌合物出罐温度，入模温度及砼结构内部温度由入模时的温度降低到 0 的时间，降到 0 时砼所达到的成熟度及实际强度，1989~1990 年冬期试验采用了本溪市房建公司《钢筋砼工程冬期施工技术规定》中 C23 配合比，进行模拟试验。配合比见表 1。

C23 砼配合比				表 1	
425 号矿渣 水 泥	中砂	卵石 (5~20mm)	水	LD 防冻剂	坍落度 (cm)
328	636	1269	167	23	2~4

试验时最高气温-6，最低气温-18，砂、石、水泥均存放在 5 的室内，试验要求砼拌合物温度为 15，采用水加热到 71，机拌后人工再翻拌 5min，实测拌合物温度达 15。

试验成型 10cm×10cm×10cm 的钢模小试件和一个模拟墙体。模拟墙体用 4cm 厚松木板(内贴塑料薄膜)做模板，墙体厚 20cm，长、高各 1m，墙体的表面系数为 14。成型时砼拌合物入模温度为 15，成型后每隔 2h 测其内部温度和环境温度。由于小试件的表面系数为 60，远远大于墙体的表面系数，为使试件与墙体最初阶段有较为一致的成熟度，成型后的小试件在 5 的室内存放 1d 后移到墙体旁，以取得同条件养护。

试验温度见图 1，从图 1 可见，墙体砼内部温度降低到 0 经历了 55h，此时砼的成熟度值为 1144 $\cdot h$ 。小试件养护 3d 的成熟度为 960 $\cdot h$ ，实测强度为 3.2MPa。这就是说墙体砼当温度降低到 0 时，其成熟度值比试件 3d 的成熟度高 19%，强度也提高



图 1

19%，达到 3.8MPa。

试验 28d 的环境温度示于图 2。墙体和小试件在不同龄期下砼的成熟度及按成熟度公式计算的强度和实测值结果列于表 2。不掺防冻剂基准砼标准养护 28d 强度为 26.0MPa，掺 LD 防冻剂砼标准养护 28d 强度为 36.8MPa。

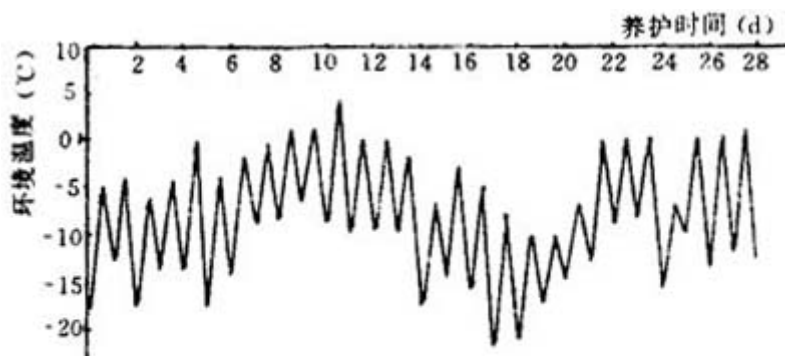


图 2

小试件、墙体的成熟度及强度实测结果								表 2
龄 期(d)		-3	-7	-14	-28	+28	-7+28	-7+56
小试件	成熟度(℃·h)	960	2065	3985	6853	23520	30378	53893
	计算强度(MPa)	3.3	9.2	14.3	18.4		29.9	34.3
	实测强度(MPa)	3.2	7.3	15.2	19.8	36.8	33.0	39.1
墙 体	成熟度(℃·h)	1413	2481	5121	8709			
	计算强度(MPa)	6.3	10.6	16.2	20.3			
	实测强度(MPa)				21.8			

从表 2 可见：(1)小试件强度按成熟度公式计算结果与实测值很接近，用成熟度公式来预测砼强度还是较为可靠的。(2)在相同的养护龄期下，保温好的、表面系数较小的(14)墙体与

没有保温的表面系数大的(60)小试件比较,成熟度值高,因而砼强度也较高。图 3 为抗压强度与成熟度关系。为了验证本次试验结果,我们于 1991 年 12 月 25 日进行了第二次重复试验。在试验中除用 4cm 原木模板外,又采用普通钢模板作对比试验。试验期间正值 1991~1992 年冬期最严寒的一段时间,试验结果可代表辽宁省内冬期施工中遇到的情况。

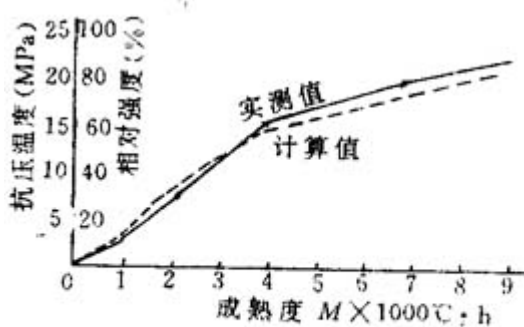


图 3

试验采用的砼配合比同 1990~1991 年冬期使用的,只是采用人工拌合,以使试验做到最不利的条件。从图 4 所示试验期内的环境温度可看出,试验期内环境温度在砼浇筑后的前 4d,平均最高为 12℃,最低为 -21℃,28d 养护期内,日平均温度在 -7~-17℃ 之间。图 5 为砼浇筑后环境平均温度和砼内部温度变化情况。10cm×10cm×10cm 小试件钢模中砼温度从入模时的 15℃ 降到 0℃ 时,仅经历 4h,1m×1m×0.2m 的普通钢模板中的墙体砼经 7h 降到 0℃,而 1m×1m×0.2m 的木模板(4cm 厚木模板)中的砼经 21h 才降到 0℃。这就说明,砼入模温度为 15℃ 时,降到 0℃ 的时间是不同的,表面系数大的在很短的时间内就降低到 0℃,表面系数小的降低到 0℃ 需要的时间就较长;相同的表面系数则保温好的木模板比不保温的钢模板要长很多。这就是说,不同表面系数,不同保温条件下,在降低到 0℃ 时,达到的成熟度值相差很大,因而砼强度增长相差也很大。图 5 还显示出表面系数大,用保温性差的钢模的砼温度在较短的时间内就与环境温度持平,而保温好的木模板、表面系数在 14 以内的砼内部温度与环境温度接近的时间达 80~90h,即砼温度达到环境温度以前,已经获得成熟度 900℃·h 左右,此时砼的相对强度达到 15.8%,已达到或超过抗冻临界强度,这对保证工程质量十分有利。这从图 6 的相对强度与成熟度关系中可看出,10cm 立方体小试件相对强度与成熟度的关系与成熟度经验公式相同,表面系数为 14 的不保温钢模板中砼在相同成熟度下相对强度高于表面系数为 60 的 10cm 立方体小试件;相同表面系数、相同养护时间内保温较好的木模板比没有保温的钢模板中的砼成熟度高,因而获得的相对强度也较高。

三、综合蓄热法在辽宁冬期施工中应用

辽宁省一些施工单位学习国内先进技术,结合辽宁的特点创造了较完整的冬施方法。如

沈阳市三

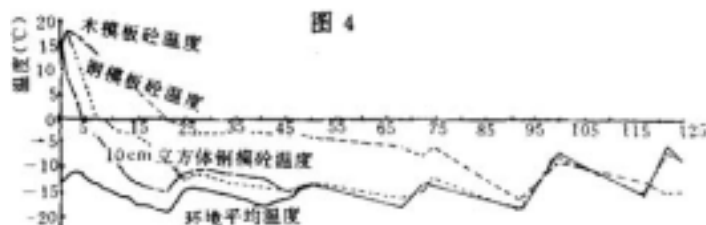
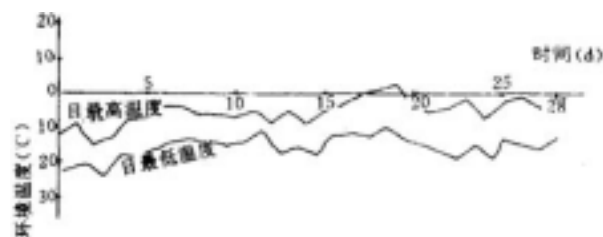


图 5

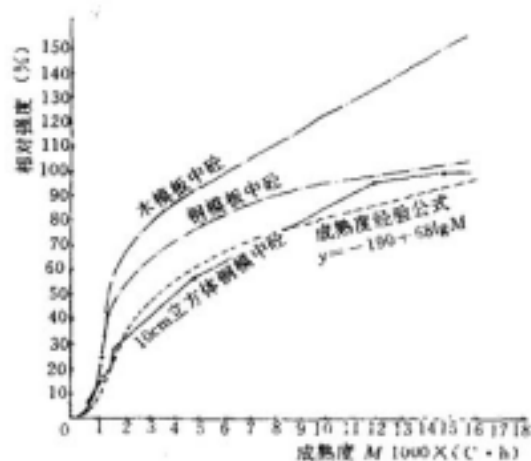


图 6

建公司在 1986 ~ 1987 年冬期，用 425 号矿渣硅酸盐水泥掺加 NC 早强剂进行综合蓄热法施工，在表面系数为 9 的砼大梁冬施中，采用提高拌合物入模温度和模板保温的措施，将砼入模温度提高到 24℃，木模板加两层草袋覆盖保温，新浇砼梁在最低环境温度 -15℃ 时，历经 60h 砼内部温度才降至 0℃；当龄期 15d 时，砼已达到 30.5MPa 的强度。在浇筑砼墙体(表面系数为 2.4)，墙体外侧钢模板外用一层草袋保温，内侧设置成暖棚状，暖棚内平均温度为 0 ~ -7℃，砼入模温度 23℃，历经 152 ~ 172h，墙体砼降到 0℃，养护 15d 后拆模，砼达到设计强度 95% 以上。

抚顺石化公司综合办公楼地下人防工程砼框架、底板、壁板、顶板在抚顺最冷的季节浇灌，掺加 LD 型砼防冻剂，水和砂子加热，提高入模温度，适当保温覆盖，c23 防水砼强度和抗渗(B8)均满足了设计要求。

沈阳市和平区建筑公司一队 1990 ~ 1991 年冬期施工沈阳第二柴油机厂新建厂房框架结构中，掺用 LD 型防冻剂在 -20℃ 环境中，柱用钢模板，梁用木模板，砼入模温度 15 ~ 17℃，柱养护 3d 后拆模，用塑料布封闭砼，其自然负温下 28d 基本达到设计强度。

还有许多单位如鞍钢三冶、东电、沈铁等都进行过综合蓄热法施工，取得较好的技术经济效益，在此基础上形成了一整套适合辽宁气候特点、即 -20℃ 条件下综合蓄热法施工技术措施。

四、结语

通过几年来对砼成熟度和临界强度的系统研究，以及我省综合蓄热法成功经验和试验验证，我们认为：

1. 在辽宁 -20℃ 条件下采用综合蓄热法进行砼冬期施工是可行的，但必须有相应的技术措

施配合，如掺加早强型防冻剂、原材料(水和砂子)加热，尽可能提高砼拌合物的入模温度，一般不应低于 15℃，采用保温较好的模板，砼表面覆盖，使砼尽快达到抗冻临界强度。

2. 在 -20℃ 条件下采用综合蓄热法施工的砼，抗冻临界强度按 3.5MPa(成熟度值为 950℃·h)控制是安全的，相对强度可按 $Y = -190 + 68 \lg M$ 推算。

3. 表面系数在 14 以内的砼结构，在 -20℃ 条件下采用综合蓄热法施工，工程质量可以得到保证。

注：参加研究工作的还有吴丽华、赵海南