

1100523

建筑工程研究报告

第8204号

鉴定资料

利用太阳能养护 混凝土构件的应用技术

许景松

福建省建筑科学研究所

一九八二年十月

前 言

混凝土构件在生产过程中,养护这个环节占周期最长,为了加快生产进度,缩短养护周期是重要关键。通常采取的手段有:蒸气养护,红外线养护及电热法等等。但这些方法都要耗费大量的能量,并相应提高了混凝土构件的生产成本。

能源不足,是一个国际性的问题,是人类面临四大问题(能源、粮食、人口、环境)之一。我国的能源,从储量来看,资源是丰富的,但我国人口多,平均起来并不富裕,而且能源利用率低,浪费大。因此,今后我国国民经济发展中所需的能源,主要应靠节能和提高能源利用率来解决,节能既是目前的当务之计,也是长期的技术方针。

太阳能是一种取之不尽,用之不竭,既无公害,又无污染的巨大自然能源,当前世界能源日益紧张,污染越为严重,因此世界各国都把如何收集和利用太阳能,用之于工农业生产,以及人民生活方面,作为一个重要的科研课题,并已在房屋采暖、热水、金属切割、发电等方面取得了一定的成果。近年来,我国也在多方面开展了对太阳能的研究和应用。

我国地处北纬 $4^{\circ}\sim 52^{\circ}31'$,东经 $73^{\circ}\sim 135^{\circ}10'$,幅员辽阔,拥有异常丰富的太阳能资源。据有关部门统计,我国一年内所获得的太阳能在1亿瓩小时左右,这相当于1.2万亿吨标准煤所具有的能量。我国太阳能的年总辐射值变化在 $80\sim 240$ 千卡/ cm^2 的范围内。其中青藏高原,河西走廊,内蒙高原西部是我国的高值区,年总辐射值均在 160 千卡/ cm^2 以上。四川盆地,秦巴山地,贵州及湘鄂西部是低值区,年总辐射值在 100 千卡/ cm^2 以下。我省的太阳能年总辐射值约在 $100\sim 129$ 千卡/ cm^2 范围内,对全国来说算是中等偏下,这是由于我省全年阴雨天气较多的缘故。

在晴朗的天气,阳光明媚,有太阳能可被利用,这是易为人们所理解与接受,而在阴雨天气里,是否仍有太阳能可被利用?其效果如何呢?这是大家所关心,也是我们在这次实验中探索的问题。

太阳能的总能量是由两部分组成的:即直射辐射与散射辐射。所谓直射辐射,即太阳的光束直接到达地面上的辐射能量,散射辐射即太阳光通过天空的云层散射作用辐射到地面上的能量。

因此,在晴朗和干燥的气候条件下,直射辐射一般占总能量的90%以上,在多云或阴雨天气,直射辐射部分比重下降,散射辐射部分比重增加,后者甚至占可利用能量的一半,但总辐射量往往少于晴天的总辐射量,附表1列出1960—1976年间福州市逐月日辐射量的变化情况,从表中可以看出,在福州市2—5月的阴雨季节里,其散射辐射量是超过当时的直射辐射量,因此在阴雨天仍然是有太阳能可利用,但因其总辐射能一般都比晴天少,故其效果也就差一些了。

我省各地区的其它气象资料:如历年的日照时数,日照百分率,平均温度等分别见附表2~7。从这些气象资料分析,我省各地区的年平均气温在 19.3°C 以上,日照时数亦在2000小时/年左右,尤其是厦门、晋江、漳州、龙岩等地的日照时数均在2000小时以上,利用太阳能的条件就更好了。

近年来,我国已有一些省市开展了利用太阳能养护混凝土的工作,并取得了可喜的成效。如云南、山东、北京、河北、陕西等省市均有不少好经验,值得我们学习与推广应用。

本项目协作单位:

省第二建筑公司福州工程处预制厂

福州市鼓楼区第三建筑公司预制厂

参加试验研究人员:

省建筑科学研究所: 刘锡安 卢进先等

省第二建筑公司: 杨益铨等

福州市鼓楼三建公司: 林 光等

目 录

前 言

一、太阳能养护形式的分类、优缺点，与适应我省的一些 养护方式	(1)
二、利用太阳能养护混凝土空心板的试验情况	(4)
1. 温度变化规律	(4)
2. 湿度变化规律	(8)
3. 强度变化规律	(9)
4. 混凝土的质量	(15)
5. 裂纹的发生及其防止办法	(15)
三、太阳能养护机理的探讨	(16)
1. 水泥水化的原理	(16)
2. 混凝土在硬化过程中的一些特征	(17)
3. 养护机理的探讨	(19)
四、经济效果	(21)
五、太阳能养护混凝土构件操作要点	(21)
六、附表	(23)
七、主要参考文献	(26)

一、太阳能养护形式的分类、优缺点， 与适应我省的一些养护方式

1. 目前国内太阳能养护形式可分二类：

(1) 采用太阳能养护罩形式，有：

① 木质保温侧帮，罩顶用透明塑料薄膜的箱式太阳能养护罩。图1为云南省八建公司预制厂所采用的。

我在学习云南省经验之后，曾在1980年底采用过如图2的养护罩。

② 玻璃钢太阳能养护罩：如山东省济南市预制构件厂等单位所用，见图3。

太阳能养护罩之一

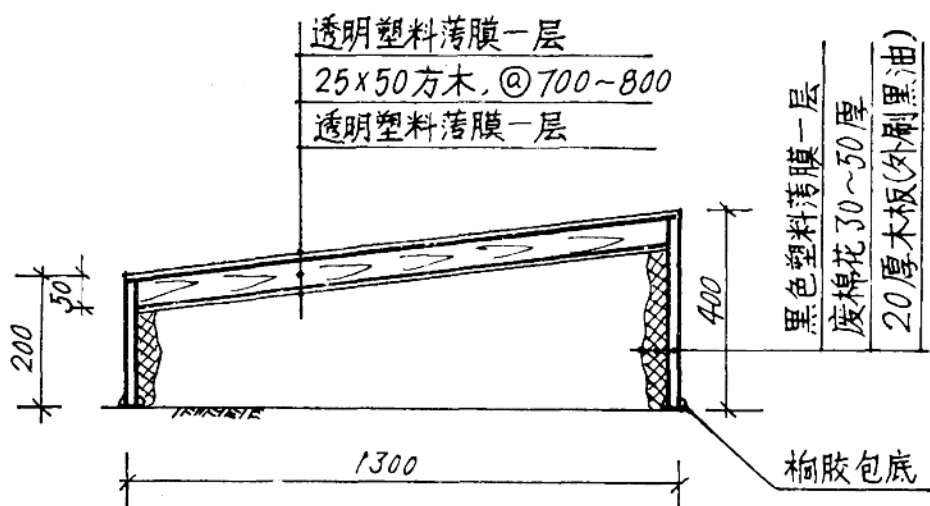


图 1 (单位: 毫米)

太阳能养护罩之二

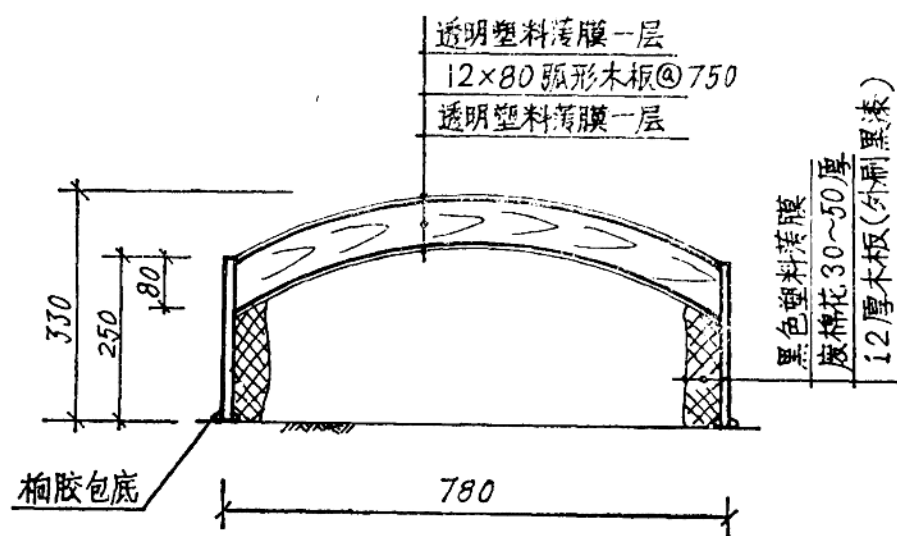


图 2 (单位: 毫米)

太阳能养护罩之三

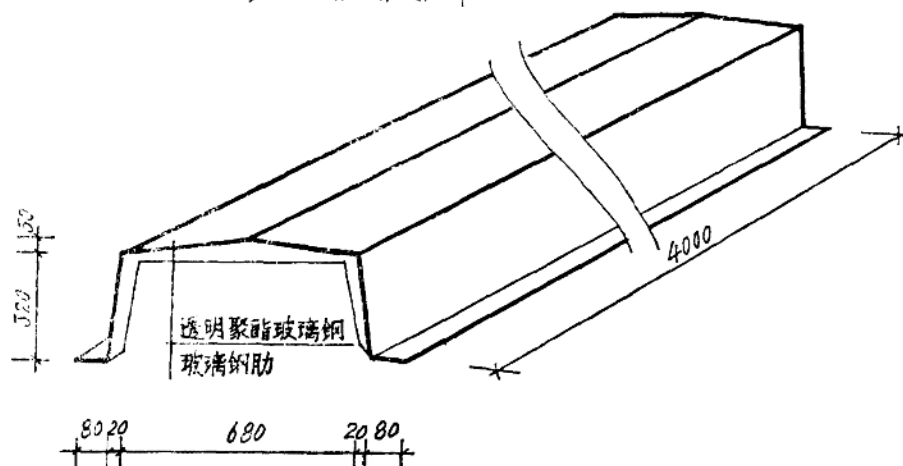


图 3 (单位: 毫米)

此外,有些单位还采用过带反射盖(用铝板或用镀铝涤纶等)的太阳能养护罩,但因比较笨重,使用不便,一般只停留在试验阶段,未在生产上正式用过。

(2)采用直接覆盖式:即直接在预制构件上覆盖吸热材料等,这种方法简便,投资少,采用的单位也较多,目前常用的有下列几种形式:

①在构件上盖一层黑色塑料薄膜。

②在构件上盖一层透明塑料薄膜。

③在构件上盖一层黑色塑料薄膜,再盖上一层气垫薄膜(气泡朝下)。

④在构件上盖一层黑色塑料薄膜,再盖上一层气被薄膜。

以上黑色及透明塑料薄膜,其厚度应选0.12~0.14mm为宜。各种塑料薄膜都应采用掺有防老化的。

除以上二大类之外,还有个别单位曾建立了太阳能养护窖,但太阳能毕竟是比较分散密度较小的能源,而且是周期性,间断式的供能形式,建立窖式,投资很大,又不能连续生产,是否合算?值得商榷。

2. 各种不同养护方式优缺点的对比:

(1)太阳能养护罩(我所曾在1980年冬至1981年秋作过木质保温罩的试验)。实践证明:不管是采用木质或玻璃钢的养护罩,都能收集到较多的太阳能,使罩内获得较高的温度,并使混凝土的强度发展较快。按我省气候条件,一般说来,在夏季只需1~1.5天,在冬季只需2~3天,其强度即可达到 R_{28} 的70%,效果是良好的,但其缺点是(这些缺点是相对于直接覆盖式而言的):操作不便,劳动强度大,养护费用高,尤其是一次投资很大。按我们初步计算,各种养护方式覆盖面积的造价为:

①玻璃钢罩:40~45元/ m^2 (按山东省资料)

②木质罩:8.0~8.5元/ m^2 (按云南省

资料)

③只盖黑塑料薄膜:1.0元/ m^2

④盖黑塑料薄膜加一层气垫薄膜:
2.0元/ m^2

从覆盖材料的造价看,养护罩高于直接覆盖式4~40倍,从一次投资看,建设一条宽80公分、长100米的玻璃钢罩需3500~4000元,如连续生产需建立10~15条生产线即要投资50000元以上。木质太阳能养护罩的投资虽然比玻璃钢罩低廉些,但至少也要花10000元以上,而盖黑塑料薄膜或黑塑料薄膜上加气垫薄膜的投资比上述二种情况均少得多,一般只需2000~3000元左右。

(2)直接覆盖式:(我所自1980年底开始采用在混凝土构件上只盖一层黑塑料薄膜的试验,1981~1982年又作了在黑塑料薄膜上加盖气垫薄膜或气被薄膜的试验),从试验中可看出,采用直接覆盖式虽不能获得象太阳能罩那样高的温度,但仍能收到良好的效果:混凝土构件经此种方式养护后,在晴朗的天气,夏季一般只需2天;冬季大约3~4天,其强度即可达到 R_{28} 的70%,可以剪筋外运。如遇到阴雨天气,则要延长1~2天左右,但仍比自然养护快。这种养护方法的优点是:操作简便,劳动强度低,投资省,经济效果好,较受工人欢迎。尤其是一些中小型的预制厂或是集体企业的单位更适宜采用。

3. 适应我省气候条件的一些养护方法:

我省地处东南沿海,四季气候暖和,即使在冬季,全省各地的月平均气温仍在零上10度以上,一般说来除个别山区在较短时间内需注意冬季防冻之外,绝大部分地区均不存在冬季防冻问题。因此在选择太阳能的养护方法时,应结合我省的气候特点,以及工程任务的紧缓程度加以考虑。才能收到预期的效果。

根据我所近二年来的试验情况,我们认

为：在我省各地，尤其是沿海一些地区：如厦门、漳州、泉州、莆田与福州等地。不论是冬季与夏季，都不必采用罩式养护（除非是任务过紧或场地过于狭窄）。而应以直接覆盖式的养护方式为主。即：

（1）在冬季：应选择以黑塑料薄膜上加盖一层气垫薄膜的养护方法为宜，因这种养护方法操作简便，劳动强度小，养护费用低廉，而气垫薄膜有一定的保温效果，完全可以适用我省冬季使用（关于使用效果详见第三部分：试验的情况）。我所目前所用的气垫薄膜是泉州第三塑料厂生产的，因其面幅只有50公分宽，现场使用时宽度不够，需采

用热粘合加宽到所需宽度，使用起来比较麻烦些，天津第二塑料厂生产的宽幅气垫薄膜，使用效果也不错。

至于在黑塑料薄膜上加盖透明气被薄膜，也可作为我省冬季养护混凝土构件的一种形式，但因气被需要充气设备，同时比较不易保管，一旦刺破、漏气，修补比较麻烦，故不推荐。

（2）在春夏秋三季（自每年的三月底至十二月初），由于气温已开始回升，采用太阳能养护时应以只盖一层黑塑料薄膜为宜。而自四月底至九月底，由于气温较高，还应注意防止板面裂缝发生，并采取相应的有效措施。

二、利用太阳能养护混凝土空心板的试验情况

我所自1980年12月开始，在本所试验室，福州市鼓楼区第三建筑工程公司预制厂以及省二建福州工程处的预制厂工地作了二年的太阳能养护空心板的试验，曾采用过：

①木侧帮保温的太阳能养护罩，②只盖一层黑塑料薄膜，③一层黑塑料薄膜加一层透明气垫薄膜及④一层黑塑料薄膜加一层气被薄膜等不同养护形式。先后生产了2300多立方米的孔板，工业多孔板及平板。养护质量良好，现将试验情况分述如下：

1. 温度变化规律：

太阳能养护与自然养护有着相类似的地方，即构件的养护温度是成周期性变化的：一天一循环，且受外界因素（如太阳出没、阴雨、风速等等）影响较大，另外砼构件自身产生的水化热也会在某阶段内起到一些作用。一般说来，在冬季，构件升温是从上午8:00开始，8:00~14:00是升温时间，峰值出现在12:00~14:00之间，自15:00以后开始

降温，15:00至翌日的7:00是降温时间，最低值一般出现在早晨6:00前后，在夏季由于日出时间提前，日落时间推迟，升降温时间与冬季略有不同，一般说来，升温是从上午7:00开始，7:00~14:00是升温时间，峰值仍出现在12:00~15:00之间，自16:00以后开始降温，16:00至翌日的6:00是降温时间，最低值一般出现在上午5:00左右。

因此，可以把一天内的温度变化定为一个循环，并分为四个阶段，即：

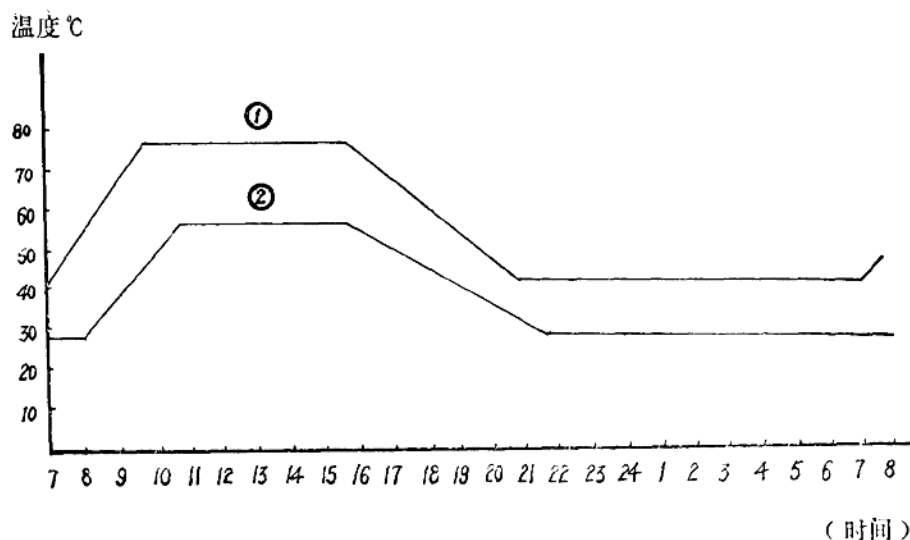
（1）升温（冬季为8:00~11:00，夏季为7:00~10:00）。

（2）高恒温（冬季为11:00~16:00，夏季为10:00~16:00）。

（3）降温（冬季为16:00~22:00，夏季为16:00~21:00）。

（4）低恒温（冬季为22:00~8:00，夏季为21:00~7:00）。

如图四：



图四

①为夏季罩内温度变化规律。

②为冬季罩内温度变化规律。

不同的养护形式，在不同的季节里，其养护温度变化大约如下（见表1）：

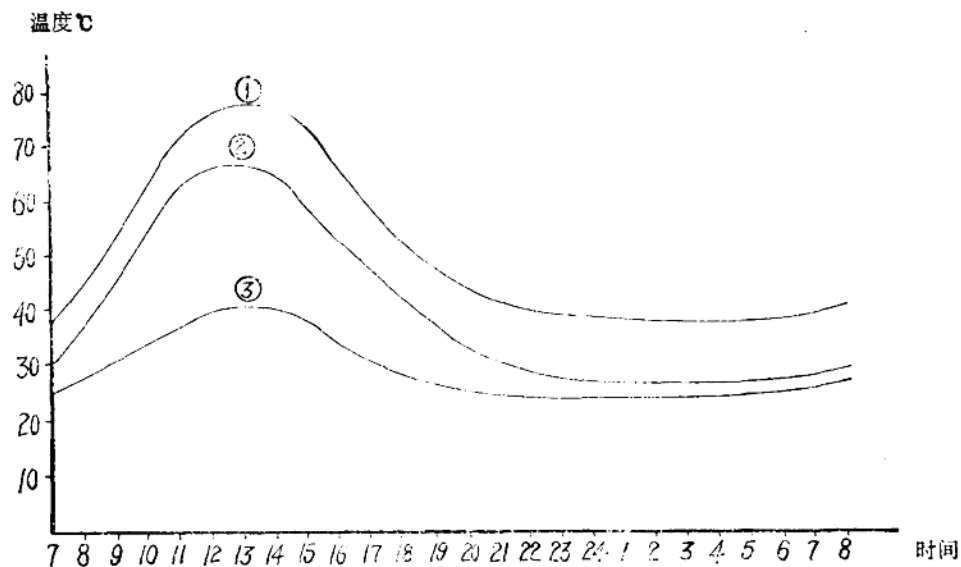
表1

养护形式 \ 温度	夏 季		冬 季	
	最高	最低	最高	最低
太阳能养护罩	75℃	35℃	55℃	20℃
黑塑料加气垫膜	70℃	30℃	50℃	15℃
黑塑料加气被膜	80℃	30℃	50℃	15℃
黑色塑料薄膜	65℃	25℃	45℃	10℃

构件内部的温度变化情况是：在升温期间，砼构件上表面先接触到由黑塑料薄膜传来的热能，构件上表面温度首先上升，然后再传到构件内部，由于砼的导热能力较低，故构件表面的升温速度往往大于砼的内部，从而产生温度梯度。我们用热电偶测到砼构件表里温差大约如下：在升温期间，构件表面温度始终大于内部温度，以中午前后时为最大值，表里温差可达5°~15℃。下午降

温时，构件表面温度随太阳辐射强度的减弱而降低，再加上风速的影响，降温的速度较内部快，大约在下午5:00前后，将出现砼构件表里温度第一次平衡。自下午5:00以后，由于构件表面温度损失仍比内部快，以及水化热的作用，将出现砼构件内部温度高于表面的情况，故自下午5:00以后，其温度传导方向是由里及表，但这时表里的温差较小，大约只有2~3℃左右，直到第二天早晨7:00前后，板面又开始升温，又有第二次的表里温度平衡，故太阳能养护时，其温度变化是有自己的规律与特点（与蒸养不同），从外部升降温的规律看是每天一循环。从砼内部温度传导方面看：每天的7:00~17:00是由表及里，而自17:00~翌日的7:00则由里及表。而蒸养自升温开始一直到构件达到强度时其温度的传递方向始终都是由表及里的。

图五~图八分别表示不同养护形式在不同季节的构件温度变化曲线。



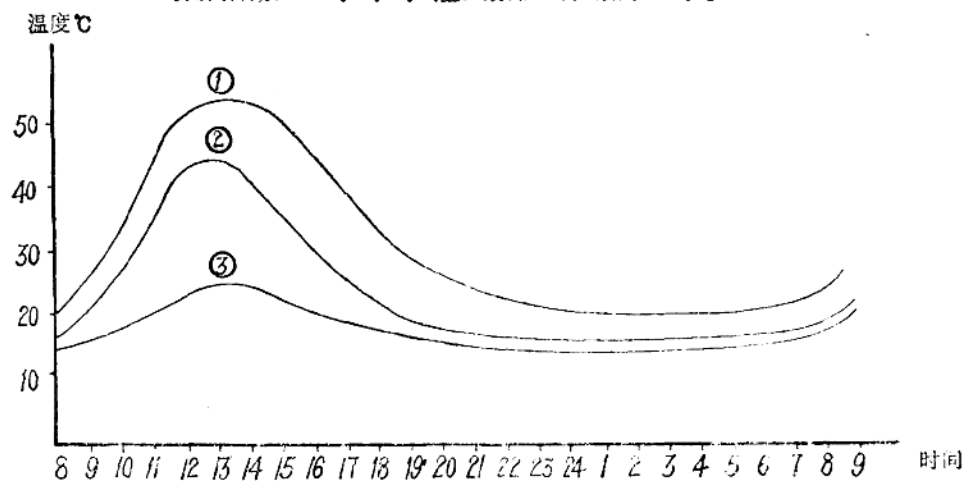
图五 砼构件在夏季不同条件养护下的温度变化曲线

说明：1. ①表示太阳能养护罩内砼构件的温度变化曲线

②表示黑塑料薄膜内砼构件的温度变化曲线

③表示自然养护时砼构件的温度变化曲线

2. 测试日期：1981. 7. 11. 气温：最低24℃，最高35℃。多云



图六 砼构件在冬季不同养护条件下的温度变化曲线

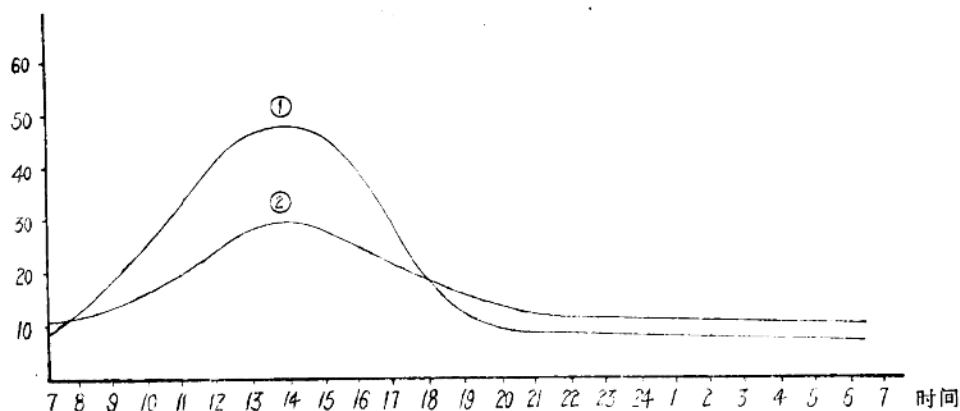
说明：1. ①表示太阳能养护罩内砼构件的温度变化曲线

②表示黑塑料薄膜内砼构件的温度变化曲线

③表示自然养护时砼构件的温度变化曲线

2. 测试日期：1981年. 2. 12. 气温：最低10℃，最高23℃，少云

温度℃



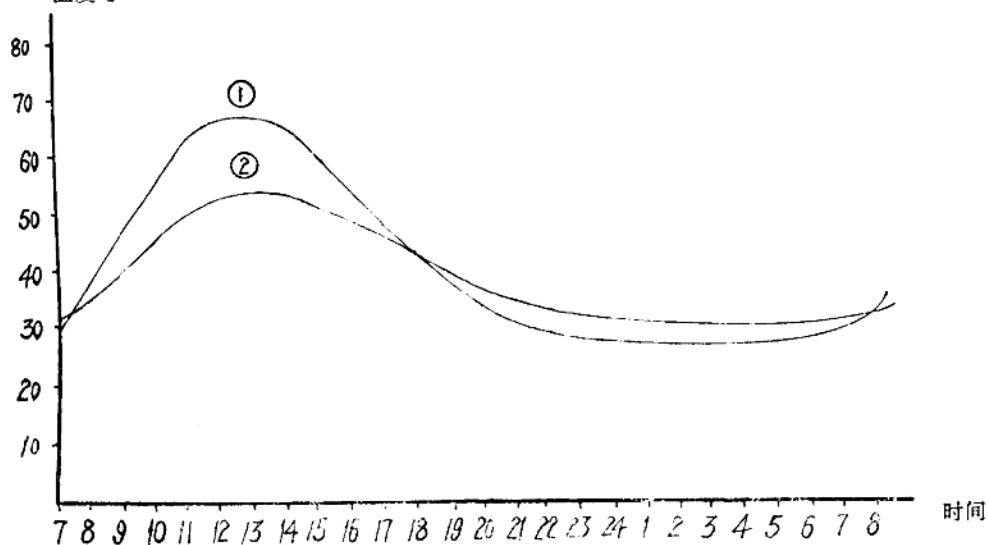
图七 采用黑色塑料薄膜加气垫薄膜养护的砼构件表里温度曲线

说明: 1. ①表示构件表面温度

②表示构件内部温度

2. 测试日期: 1982. 1. 9, 天气情况: 多云到阴, 气温: 最低 5℃, 最高 19℃

温度℃



图八 采用黑色塑料薄膜养护的砼构件表里温度曲线

说明: 1. ①表示构件表面温度

②表示构件内部温度

2. 测试日期: 1981. 7. 11, 气温 24~35℃, 多云

2. 湿度变化规律:

混凝土在养护过程中需要有足够的湿度,才能保证水泥的水化,保证混凝土强度不断地增长,避免由于早期大量失水产生干缩裂缝等质量问题。因此国家规定混凝土的标准养护的条件为:温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$,相对湿度为90%以上。

所谓相对湿度(也称饱和度),它是反映湿空气中所含水汽分量接近饱和的程度。相对湿度越小,空气越干燥,吸水能力亦越强。当相对湿度为零时,则为干空气;相对湿度为100%时,则为饱和空气。

每立方米湿空气中所含水蒸气的重量,称为空气的绝对湿度,因不同的温度,其饱和状态所含的水蒸气重量值是不同的,所以不能用绝对湿度来说明空气的干湿程度。例如当气温为 18°C 时,这时如空气中水汽含量为 $0.0153\text{公斤}/\text{m}^3$,该空气就是饱和了,但对 30°C 的气温来说,这个含湿量还是比较干燥的,因为 30°C 的饱和空气含湿量是 $0.0301\text{公斤}/\text{m}^3$,因此,实践中经常采用的是相对湿度的概念。

混凝土构件四周覆盖着不透水、气的塑料薄膜,养护过程中也不再从外界补充水分。构件养护时湿度的取得主要是从混凝土硬化过程中游离水的蒸发。由于这部分水量是有限的,为使混凝土在养护过程中有足够的湿度,应将覆盖的黑塑料薄膜尽量贴紧构件表面,使空间体积尽量缩小,并在四周用砂袋压牢,在接头处盖严。这样,构件基本上是处在四周覆盖着塑料薄膜的密闭状态环境中,而混凝土中游离水的蒸发,绝大部分均集中在构件成型后6~8小时以内,超过8小时以后,蒸发基本上停止。因此,可以认为这样的养护形式是处在近似等湿变温过程,当然随着温度的变化,还会引起覆盖物下介质相对湿度的变化。

要测试黑塑料薄膜下混凝土表面的相对

湿度,用温度湿度计或毛发湿度计是无法完成的,而且上述仪器一般只适用于温度不大于 45°C 的条件,用太阳能养护的混凝土温度可高达 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$,也已超出这些仪器的使用范围。因此,我们是采用热电偶干湿球温度计来测相对湿度的。

用干湿球温度计来测量大气中的相对湿度,这是气象部门常用的方法,因湿球温度计的读数,实际上反映了湿球纱布中水的温度。假设开始水温 and 空气温度一样,那么湿球和干球温度计的读数一样,可是在相对湿度小于100%的空气中,湿球纱布上的水就有可能蒸发,而水分蒸发又需要吸收汽化潜热,这个热量来源只可能是湿球纱布上的水,水失去一部分热量,温度就会下降,从而使湿球的温度下降,造成了干球与湿球的温差。

湿球纱布上的水的蒸发速度,取决于环境的相对湿度、气压、风速等等。因此,在一定条件下,干湿球的温差可以反映出空气中相对湿度的数值,一般计算相对湿度的公式为:

$$r = \frac{100e}{E} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{式中 } e = E' - AP(t - t') \dots\dots\dots ②$$

r: 相对湿度

e: 绝对湿度

t: 干球温度($^{\circ}\text{C}$)

t': 湿球温度($^{\circ}\text{C}$)

P: 气压(毫米水银柱)

E: 干球温度t时饱和水汽压力(毫米水银柱)

E': 湿球温度t'时饱和水汽压力(毫米水银柱)

A: 为湿度系数

A的经验公式很多,它是一个与风速有关的经验系数。清华大学编印的“空气调节基础”一书介绍了比较可靠的经验公式为:

$$A = 0.00001 \left(65 + \frac{6.75}{V} \right) \dots\dots\dots ③$$

式中V为所测的环境中的风速（单位：米/秒），从③式中可知，当V小时，A即大，并将影响②式使e值小。从而使①式中的相对湿度r值小。

覆盖在黑塑料薄膜下的环境基本上是属于封闭状态，空气是几乎不流动的，但由于热辐射的影响和薄膜外界的气流，仍会从薄膜的接缝处以及贴地处侵入，并在空心板的孔道中串通流动，会导致薄膜下环境中的气流有限微弱的流动。我所在1982年7月用热球式测头QDF型热电风速仪，对薄膜下的气流流速进行测试，结果是：当外界完全无风时，薄膜下的气流仍有3厘米/秒的流速；当外界有微风时，薄膜内的风速亦随增大，其波动幅度约在10~30厘米/秒之间。我们在计算时取环境风速为5厘米/秒，取P为1000毫巴（相当于760毫米水银柱），这时A值为0.002。

环境中的风速只取5厘米/秒，估计会低于所测的平均风速，并使计算的相对湿度值偏低些，但考虑到可能还有一些其他因素的影响未计入，我们认为取这样的值是比较适宜的。

表2列出我所在工地测出的逐时相对湿度：

从计算结果可以看出：采用塑料薄膜覆盖养护的混凝土的相对湿度，在整个养护周期均大于80%，是完全能满足混凝土养护工艺的要求。我们在试验过程中，曾多次抽查塑料薄膜下混凝土表面的湿度，发现构件表

面均有许多凝结水，证实了在养护过程中其相对湿度是足够的。当然，塑料薄膜覆盖时应注意搭接好，四周要用砂袋压牢，凡有破洞处均应裁剪掉或修补好，已老化的塑料薄膜应定期更换。

3. 强度变化规律：

温度对于一般化学反应的加速作用，早已由阿累尼乌斯所证明，同样随着温度的升高，水泥的水化反应也得以加速。据克拉夫钦科的实验证明：80℃蒸养与20℃时相比，水化反应加速了5倍，100℃则比20℃时加速了9倍。这时，水化过程的总规律并未发生根本变化，只是各水化期的延续时间随温度的升高而缩短。

因此，在满足湿度要求的条件下，通过加热方法（常用有蒸养、热拌热模、电热、红外线养护等方法）来提高砼的早期强度是一个有效的途径。但也不是说砼的养护温度越高越好。而是有一个适当的范围，即对于某一种水泥，在一定热养温度下，有一定的强度顶点，也就是说有一定的最高热养温度和热养时间。从而达到其最高强度。违反了这一个规律，强度不但不会继续增加，反而会下降。某些试验资料还指出，砼表面的最佳养护温度宜在70~90℃之间，其养护时间只需8~12小时，即可达到其强度顶点。

采用黑塑料薄膜加气垫薄膜的养护方法，夏季的最高温度可达到70℃左右，这对砼的养护已是很理想的温度。在冬季，最高的养护温度虽然只能达到50℃左右，但比自然养护，仍会起到一定的积极作用。

表 2 太阳能养护空心板逐时相对湿度记录表

测试日期	项目	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
1982.7.20~7.22	干球温度 (°C)	41	46.5	51.5	56	56.5	56	54	52	48	45	41	39	37	35.5	35	34	33.5	33	32.5	32	31.5	31.5	32.5	35
	湿球温度 (°C)	38	43	48	52.5	54	54.5	53	51	48	45	41	38.5	37	35.5	35	34	33.5	33	32.5	32	31.5	31.5	32.5	35
	相对湿度 %	77.4	76.7	78.7	80.2	85.7	91.2	93.9	93.7	100	100	100	95.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	干球温度 (°C)	39	43	50	54	56.5	57	55	52	48	45	42.5	40.5	39	37	36	35.5	35	34.5	34	33.5	33	32.5	33	34
1982.7.20~7.22	湿球温度 (°C)	38	41	47	51	53.5	54.5	51	53.5	48	45	42.5	40.5	39	37	36	35.5	35	34.5	34	33.5	33	32.5	33	34
	相对湿度 %	91.7	85.3	81.1	82.3	83.0	85.6	91.1	93.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	干球温度 (°C)	41	42.5	50	55	58	56.5	55	48	45	41	38.5	36	35	34	33.5	32.5	32	31.5	31	30.5	30	31.5	33.5	
	湿球温度 (°C)	39	40	48	53	56	55	53.5	47	44.5	40.5	38	35.5	34.5	33.5	33	32	31.5	31	30.5	30	29.5	29.5	30	33
1982.7.20~7.22	相对湿度 %	84.7	81.6	87.2	88.2	83.7	91.3	91.1	93.3	94.6	96.1	95.9	93.0	95.5	95.4	95.2	95.1	95.0	94.9	94.9	94.7	94.7	94.7	94.7	94.1
	干球温度 (°C)	38	42	48	52.5	53	54	53	49	45	40.5	38	35	34	33	32.5	31.5	31	30.5	30	29.8	29.8	31.5	34	
	湿球温度 (°C)	38	42	48	51	51	52	51	48	44	39.5	37	34.5	33.5	32.5	32	31	30.5	30	29.8	29.8	29.5	30	32.5	
	相对湿度 %	100	100	100	90.7	87.9	88.0	87.9	93.4	92.9	92.1	91.7	95.5	95.4	92.5	95.2	95.0	95.0	94.8	94.7	94.7	94.7	94.7	94.7	94.2

表3是综合二年来的试验情况，福州地区在不同季度，经不同的养护方法，混凝土构件达到 R_{28} 的70%强度所需的养护天数。

表3 混凝土构件在不同季度，不同养护方法，达到 R_{28} 的70%强度时所需养护天数

季度 气候条件 达到 R_{28} 70%强度 的天数		冬 季			夏 季		春 秋 季	
		晴，少云 气温13℃~ 23℃左右	多云或阴， 有时有小雨 气温8~ 16℃	阴雨天气 气温4~10℃	晴，少云	多云，或雷 雨天	晴，少云	多云或 阴雨天气
养护条件								
黑加	塑料薄膜	3	4	6	—	—	2	3
黑塑	料薄膜	4	5	8	1.5~2天	2~3天	3	4
自然	养护	5	7	10	3	4~5	5	6

注：表内气温值系指最低与最高气温。

从混凝土的强度发展情况来看，采用太阳能养护的，在相同的令期与自然养护相比会提高30~40%，从而相应缩短30~40%的养护周期。

表4~表6分别列出在不同养护条件与不同气候条件下采用太阳能养护的混凝土强度。

表 4

混凝土在不同养护条件下不同龄期强度发展情况

类 别	强 度 (%)	养 护 条 件	龄 期								备 注
			1天	2天	3天	7天	28天	3个月	半 年	1年	
抗 压	300*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)	46.5%	69.7%	79%			146.9%	154.5%		
	45组	太 阳 能 养 护 (盖一层透明塑料)	42.6%	62.4%	76.4%		120%	134.8%	144.7%		
		自 然 养 护			50%	99%					
	72组	200*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)	51.1%	66.8%	76%			161.5%	140%	
27组		自 然 养 护			56.9%	82.2%	122.3%				
抗 拉	300*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)	66%	72.3%	70%			117.3%	136%		
	27组	自 然 养 护			63.2%	78.7%	96.4%				
		200*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)	37%	57.5%	84.6%			148.8%	123%	
	54组	27组	自 然 养 护			58.5%	89.5%	114.1%			
抗 折	300*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)			65.1%						以自然养护 28天的强度 为100%
	6组	自 然 养 护					100%				
	200*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)			73%						
		6组	自 然 养 护					100%			
握 裹 强 度	300*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)			22 kg/cm ²		36 kg/cm ²				成型时预埋 钢筋有点动
	φ4	自 然 养 护									
	300*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)			70.6 kg/cm ²		99.6 kg/cm ²				
	φ12	自 然 养 护									
24组	200*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)			24.3 kg/cm ²		58.6 kg/cm ²				
	φ4	自 然 养 护									
	200*	太 阳 能 养 护 (盖一层黑塑料)			54.6 kg/cm ²		63.7 kg/cm ²				
	φ12	自 然 养 护									

说明: (1) 共162组, 其中300*90组, 200*72组

(2) 成型日期: 自1981.8.26~1981.10.6

(3) 配合比: 300*: 1: 0.455: 1.44: 3.52, 水泥用量375kg/M³, 425号普通硅酸盐水泥。200*: 1: 0.552: 1.784: 4.61, 水泥用量301kg/M³, 425号普通硅酸盐水泥。

表 5

混凝土构件采用黑塑料薄膜加气垫薄膜养护时强度发展情况

年份	强 度 成 型 日 期	养 护 令 期							天 气 情 况
		2 天	3 天	4 天	5 天	7 天	14 天	28 天	
一九八二年	1.6		163/54.5	235/77	265/88			310/103	晴 气温7~19℃
	2.19		194/64.8	217/72.4	245/81.5				阴到多云, 有小雨 气温8~19℃
	2.24		233/78		308/102		345/115		阴到多云, 有小雨 气温6~18℃
	2.26		147/49	153/52	197/66				阴, 有小雨 气温6~17℃
	3.2		195/65			269/89			多云, 有阵雨 气温8~21℃
	3.5		197/65.5	208/69	254/85				多云到阴, 有阵雨 气温9~24℃
	3.11			249/83	300/100				阴到多云 气温12~22℃
	3.13			279/93	327/109				多云到少云 气温13~26℃
	3.23		200/67	209/70					多云到阴, 有小雨 气温16~26℃
	3.25		183/61	254/85					阴, 有小雨 气温9~16℃
	3.31	153/51		199.8/67.7				295/98.8	多云, 有阵雨 气温15~26℃
	4.1	192/64		229.5/76.5					多云, 有小雨 气温14~26℃
年	4.2			210/70					多云, 有阵雨 气温15~26℃
	4.12		199/66.2	232/77.4					多云, 有小雨 气温12~26℃
	4.15			231/77			293/97.5		多云 气温15~22℃

注: 强度栏里分子表示构件的强度 (kg/cm^2), 分母表示该强度相当于设计标号 (300^{*}) 的 %。