

建筑情报资料

第 7836 号

1978 年 10 月

外反射隔热

——外表面浅色处理的应用

四川省建筑科学研究所



隔热不使屋盖的下表面温度降低，隔热降温可以减少或避免由于温度应力而产生的微裂纹，

提高混凝土的耐久性，与其它降温措施比较，它不增加屋盖荷重，且具有经济简便的特点。

国外也把涂料处理作为围护结构外隔热的有效形式。比如，英国对住宅建筑广泛采用浅色处理以反射太阳的辐射热，在建筑热工设计中，外表面刷白在实际工作中的隔热效果，美国在防水涂料的应用方面，也广泛采用浅色材料作为隔热的一项措施；

(一) 当年涂刷的隔热效果
日本也把涂料作为墙体外隔热的一种主要色调。

(二) 刷白一年后的隔热效果
我们在浅色处理作为轻型屋盖外隔热的一种形式，对(三) 涂白处理与其他处理方法的隔热效果比较，情况表明，浅色处理易于掌握，材料来源丰富，不受施工条件的限制，不影响车间的正常作业，是夏热冬

四、外反射隔热的处理方法
暖地区大气污染严重情况下一种很好的外隔热方法，就是石灰浆内，喷涂法水剂罩面也能满足两个夏天的要求。通过进一步试验和总结经验，提高其耐久性，使之能达到一般沥青涂层的

(二) 粘贴法
耐久能力，这种外隔热方法将给轻型屋盖和其它轻质高强的外围护结构在南方地区的推广与应用创造更为有利的条件。

(三) 抹压法

五 现 小 结 外表面浅色处理隔热中所做的一些工作汇报后，仅供参考，不足之处请指正。

二、外表面反射隔热机理

夏天，房屋的外围护结构主要从强烈的太阳辐射中得热。太阳光谱的最大辐射强度是在波长为 0.5μ 处，最大的辐射热发生在可见光部份，其余的则来自于不可见光辐射其波长为 3μ 左右(

一. 引言

外表面反射隔热不仅使屋盖的上下表面温度降低，隔热降温效果显著，而且可以减少或避免由于温度应力而产生的微裂纹，提高混凝土的耐久性，与其它降温措施比较，它不增加屋盖荷载，且具有经济和施工方便的特点。

国外也把浅色处理作为围护结构外隔热的有效形式。比如，英国对住宅建筑进行浅色处理以防御太阳的辐射热，在建筑热工设计中考虑了颜色的作用，降低了空调费用；美国在防水涂料的应用方面也在防水基料表面复盖浅色材料作为隔热的一项措施；日本也把浅色作为墙体外隔热的一种主要色调。

我们将外表面浅色处理作为轻型屋盖外隔热的一种形式，对其隔热效果、处理方法等问题，结合工程实践作了些探讨和试验。实际工程的观测与使用情况表明，浅色处理易于掌握，材料来源丰富，不受施工技术的限制，不影响车间的正常作业，是夏热冬暖地区大气污染不太严重的情况下一种很好的外隔热方法，就是石灰喷白，含矾防水剂罩面也能满足两个夏天的要求。通过进一步试验和总结经验，提高其耐久性，使之能达到一般沥青涂层的耐久能力，这种外隔热方法将给轻型屋盖和其它轻质高强的外围护结构在南方地区的发户与应用创造更为有利的条件。

现将我们在外表面浅色处理隔热中所做的一些工作汇报于后，仅供参考，不对之处请指正。

二. 外表面反射隔热机理

夏天，房屋的外围护结构主要从强烈的太阳辐射中得热。太阳光谱的最大辐射强度是在波长为 0.5μ 处，最大的辐射热发生在可见光部份，其余的则属于不可见光幅射直到波长为 3μ 左右（

见图——1)。

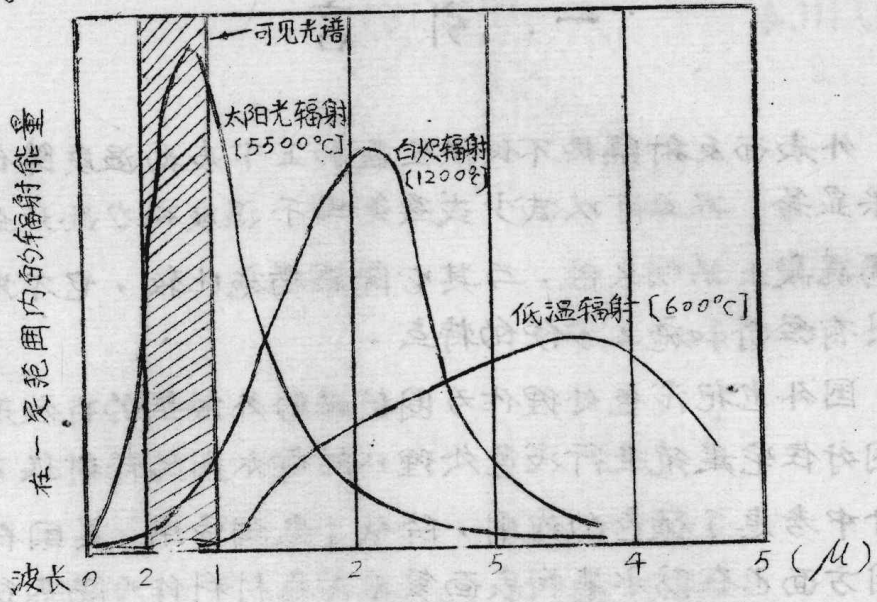
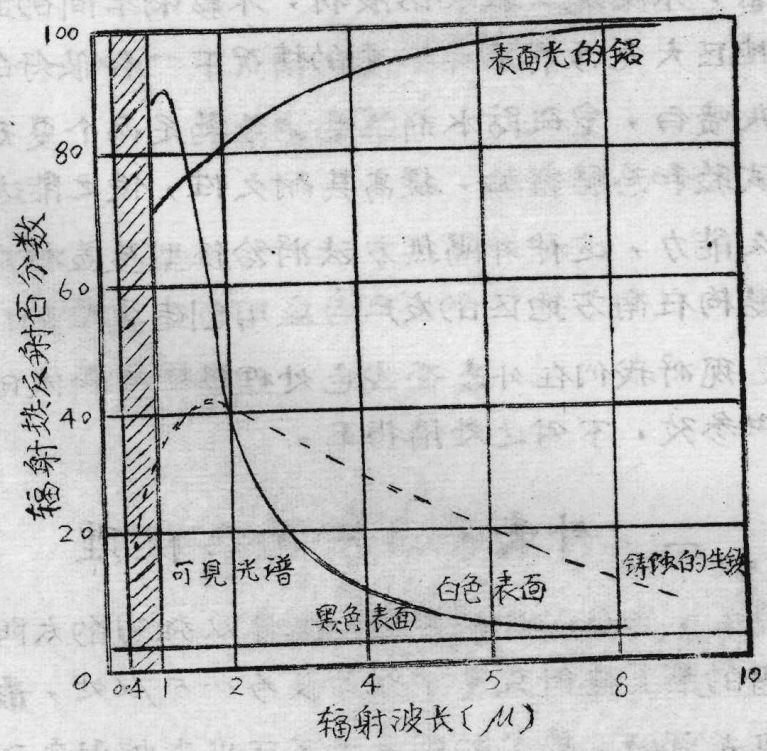


图 1 太阳能和其他辐射能的分布

不同的材料和颜色对太阳辐射的不同波长有不同的反射率(如图一2)，其中白色的反射能力和太阳光谱在一定范围内的辐射能量曲线是一致的，它对太阳辐射热反射的最大百分率正好在



图一2 在辐射入射波不同波长下,不同表面的反射率

太阳辐射的可见光谱范围内。从表——1 看出白色是最理想的表面反射颜色。

表——1

材料色泽	反射率 %	吸收率 %
石板 兰灰色	15	85
大理石 白色	56	44
砂 细白	59	41
油漆 浅灰	25	75
油漆 红色	26	74
油漆 淡绿	50	50
油漆 淡黄	65	35
油漆 白色	75	25
石灰刷白	80	20
抛光铝	74	26

在建筑热工计算中，一般常用综合温度来表征太阳辐射和室外气温等因素对围护结构外表面的热作用，其值用下式表示：

$$t_z = t_w + \frac{\rho_J - \alpha_{wf}(t_w - t_a)}{\alpha_w}$$

从公式看出，材料表面的太阳辐射吸收率（ ρ 值）对太阳当量温度 $\frac{\rho_J}{\alpha_w}$ 的影响很大，如恰当的选择和应用反射率较大，吸收率较小的表面材料和颜色，将能较大的降低作用在外表面上的综合温度，即降低外表面的热作用，从而减少进入室内的热量。

图——3 是不同颜色的涂料涂在样壁和屋面上，由于颜色差异所引起的综合温度和表面温度的变化，A 图中，其最大值白色比黑色低 25°C ；白色比兰色低 10°C ，B 图中白色比砼表面低 19°C 。

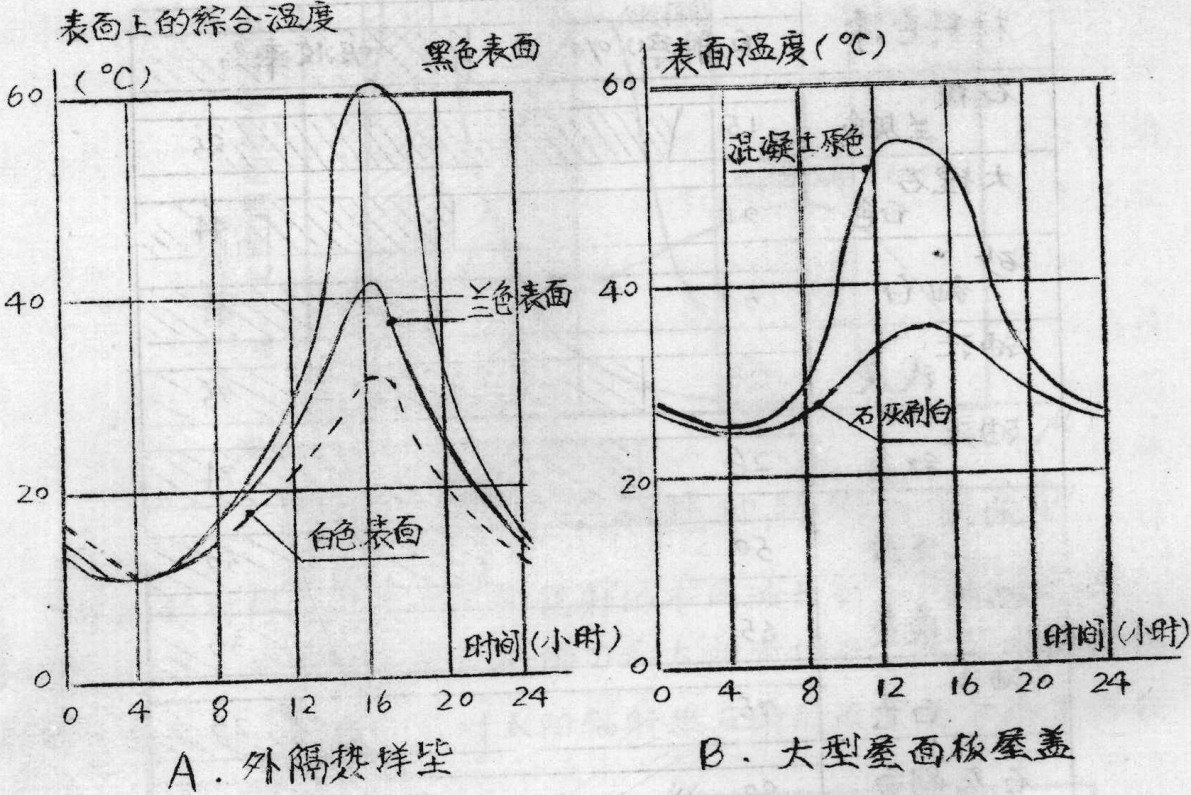


图 3—由于表面颜色不同引起的温度变化

表一2和图一4是在 1米^2 、3厘米厚的混凝土板外表面采取不同处理后的实测值，外表为石灰乳液刷白后，板的隔热质劣显著提高，G值比原混凝土表面提高2.5倍，比黑色表面提高3倍多。致使黑面所接受的辐射强度大幅度的减少，即 q_f 仅相当于原混凝土表面的 $1/6$ ，相当于黑色外表面的 $1/10$ 。根据现场观测，在这种情况下，车间内几乎没有热辐射感觉。

表—2 外表面不同处理的隔热效果

编 号	1	2	3	4
外表面颜色	沥青 (黑色)	混凝土 (灰色)	石灰乳液 (白色)	黑底白面 (白色)
$J_{max}(4\text{卡}/\text{米}^2\cdot\text{小时})$	729			
$J_P(4\text{卡}/\text{米}^2\cdot\text{小时})$	432(白天)			
$t_{w\cdot max}(^{\circ}\text{C})$	34.8			
$t_{w\cdot p}(^{\circ}\text{C})$	28.6			
$T_{w\cdot max}(^{\circ}\text{C})$	62.5	53.5	41.7	42.5
$T_{w\cdot p}(^{\circ}\text{C})$	36.0	31.5	27.5	27.9
T_w 高出 t_w 的时间 (小时)	8:30~20:30 12小时	8:30~20:30 12小时	10:00~19:00 9小时	10:00~19:00 9小时
$T_{n\cdot max}(^{\circ}\text{C})$	59.8	51.1	40.9	41.7
$T_{n\cdot p}(^{\circ}\text{C})$	34.4	31.2	27.7	27.9
$T_{w\cdot max}-T_{n\cdot max}(^{\circ}\text{C})$	2.7	2.4	0.8	0.8
箱内黑色最高温度($^{\circ}\text{C}$)	45.1	42.5	39.5	39.7
$q_{f.}(4\text{卡}/\text{米}^2\cdot\text{小时})$	64.96	36.16	5.50	7.90
隔热指标 G	7.2	9.7	24.4	24.4
黑面与板之间的 ψ	0.68			
说 明	1. 实测日期: 1978年8月19~20日; 2. q_f 为图-4 试验箱内板底向黑面的热辐射强度; 3. 板面处理: 3#、4#板的面层 石灰浆: 钛白: PVA: 3#粘剂 = 50:50:15:5, 3#板底层 3#粘剂: 蟹石粉: 石灰浆 = 50:30:20 4#板底层 沥青乳液: 膨土胶 = 6:4 另加12%的 天然胶乳。			

1×1米²、厚30钢筋混凝土板

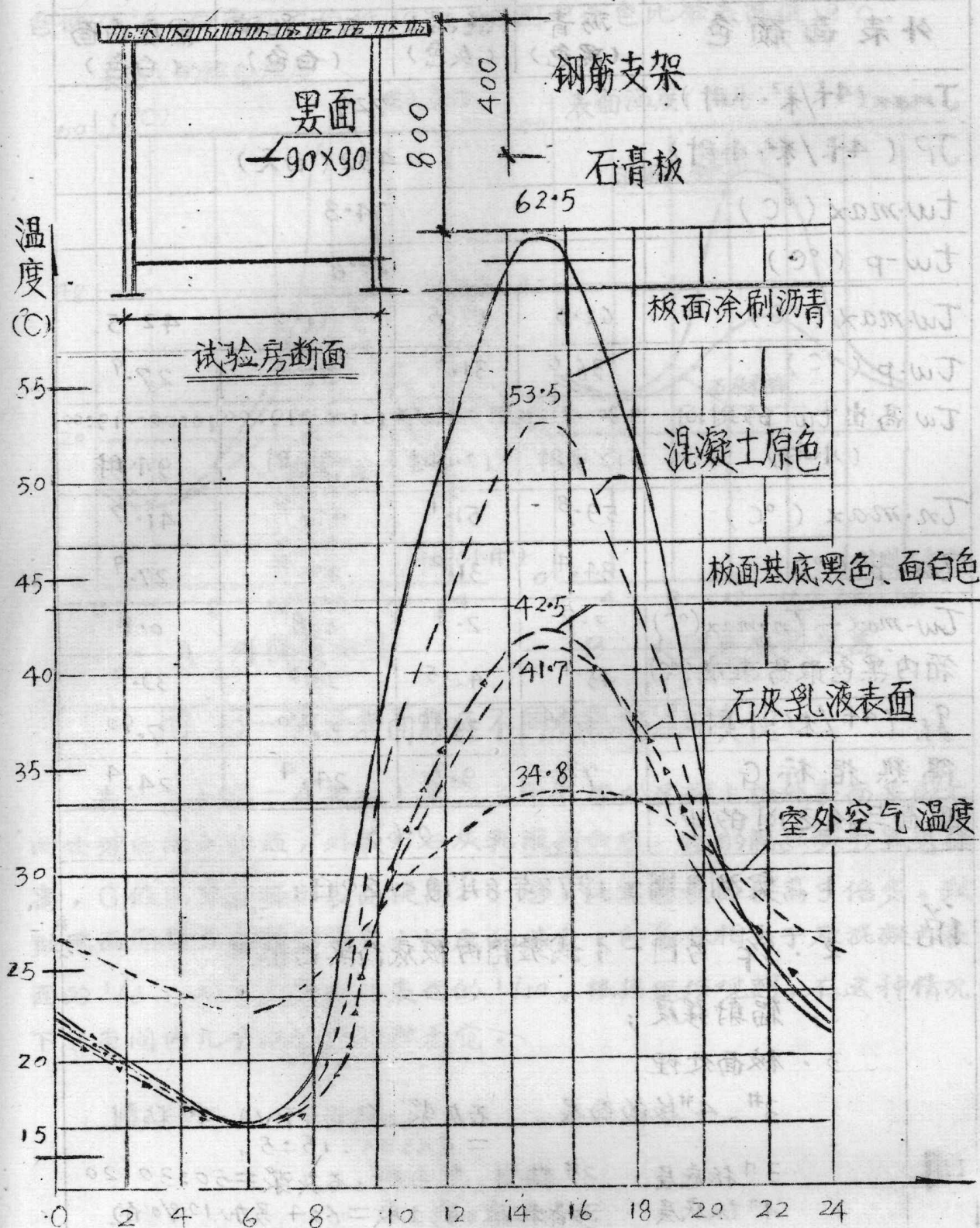


图 4 钢筋混凝土板外表面不同颜色处理的温度变化曲线

图一3，图一4还表明，太阳辐射强度越大时，浅色表面的优越性更为显著。并且由于石灰涂层的辐射系数大于混凝土的辐射系数（石灰涂层 $C=4.3$ ），混凝土 $C=3.8$ ）当日辐射减小、气温降低时，表面的辐射能力就大于一般混凝土表面，所以刷白后的外表面温度整个夜间也低于未刷白的混凝土表面温度。这种白天能有效地反射太阳辐射热，夜间又能较好地散热的优良特征，正是南方地区外围结构所需求的最好隔热方法。

但是，必须指出白色对长波辐射的反射能力很低（如图一2），它与其它黑色、红色一样能很好地吸收，比如雪对于热射线几乎是绝对黑体，其吸收系数 $A=0.985$ ，因此不能将白色用来作为反长波辐射热的措施。

三、外表面刷白在实际工程中的隔热效果

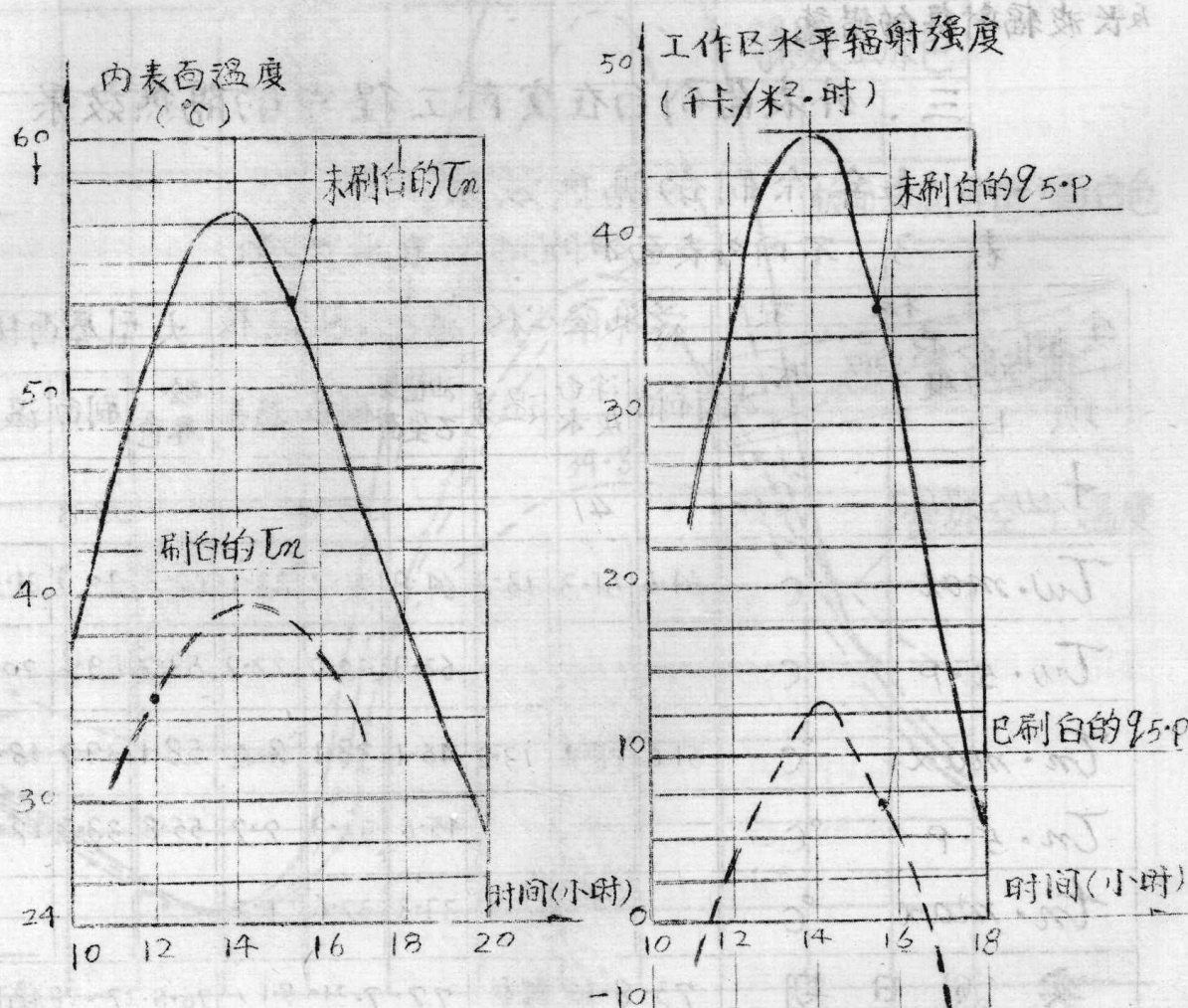
(一)、当年涂刷的隔热效果

表一3 不同外表面状况的温度实测值

实测温度 项目	板型 表面状况	六孔空心板			油毡防水空气板			大型屋面板		
		刷白	涂白灰水	温差	油毡面	刷白	温差	原色	刷白	温差
$t_{w \cdot max}$	°C		41			33.8			33.8	
$T_{w \cdot max}$	°C	64.5	51.3	13.2	64.8	41.7	23.1	62.3	40.9	21.4
$T_{w \cdot 5 \cdot p}$	°C				62.9	40.7	22.2	59.7	39.6	20.1
$T_n \cdot max$	°C	51.6	38.4	13.2	46.1	38.1	8.0	58.1	39.7	18.4
$T_n \cdot 5 \cdot p$	°C				45.6	31.9	13.7	55.8	38.3	17.5
$t_n \cdot max$	°C				33.3	37.6	4.3			
实测日期		73.8.16 汉中			77.7.31~8.1 邵阳			76.8.27~28 衡阳		

表一3是在不同结构形式屋盖的外表面进行^制白处理后屋盖和室内的温度实测值。可以看出屋面刷白前后外表面最高温差达 20°C ，虽然是空心板，内表面最高温差也在 8°C 以上。经验称，当车间尺寸不变时，使原来内表面温度 60°C 降低 10°C ，可使室内工作者从屋盖所得到的辐射热减少40%，若降低 20°C ，则基本上消除了工作者从屋盖获得的辐射热。

图一5是长沙某站仓库刷白二月后与同类型屋盖车间热状况的比较，刷白处理后隔热效果显著。该车间已两年刷白处理，工人反映很好，以前夏天高温时期，工人只能休息，现在即使在三伏天也能正常作业。



图一5 屋盖当年涂刷后与不刷的屋盖内表面温度和工作区水平辐射强度变化曲线

車 間 概 況

名 称	外表面狀況	跨 度 (米)	层 高 (米)	$t_{w,max}$	測定時間
南宁大板厂 钢筋車間	斜槽瓦 混凝土原狀	12.0	5.0	31.7 (°C)	77.9 11~12
外贸长沙畜运站 皮革仓库	斜槽瓦 石灰噴白、夏硯 防水、已涂二月	18.0	4.5	33.4 (°C)	77.9 1~2

(二) · 刷白一年后的隔热降温效果

衡阳汽配厂油咀油泵車間于76年6月刷白，77年8月进行实测，时隔一年另二个月。主要由于石灰涂层与光滑的混凝土表面粘結不好而脱落，使吸收率由原来的0.30提高到0.40，但仍低于混凝土原色的吸收率($\rho = 0.65$)，具有良好的外隔热效果。如图一6，最热5小时的平均温度比同地区同气候条件下要低11°C，工作区水平辐射强度要低18.7千卡/米²·小时。測定期间正是当地室外气温高峰时期，大于38°C，但是在該車間内仍然较好地作业。

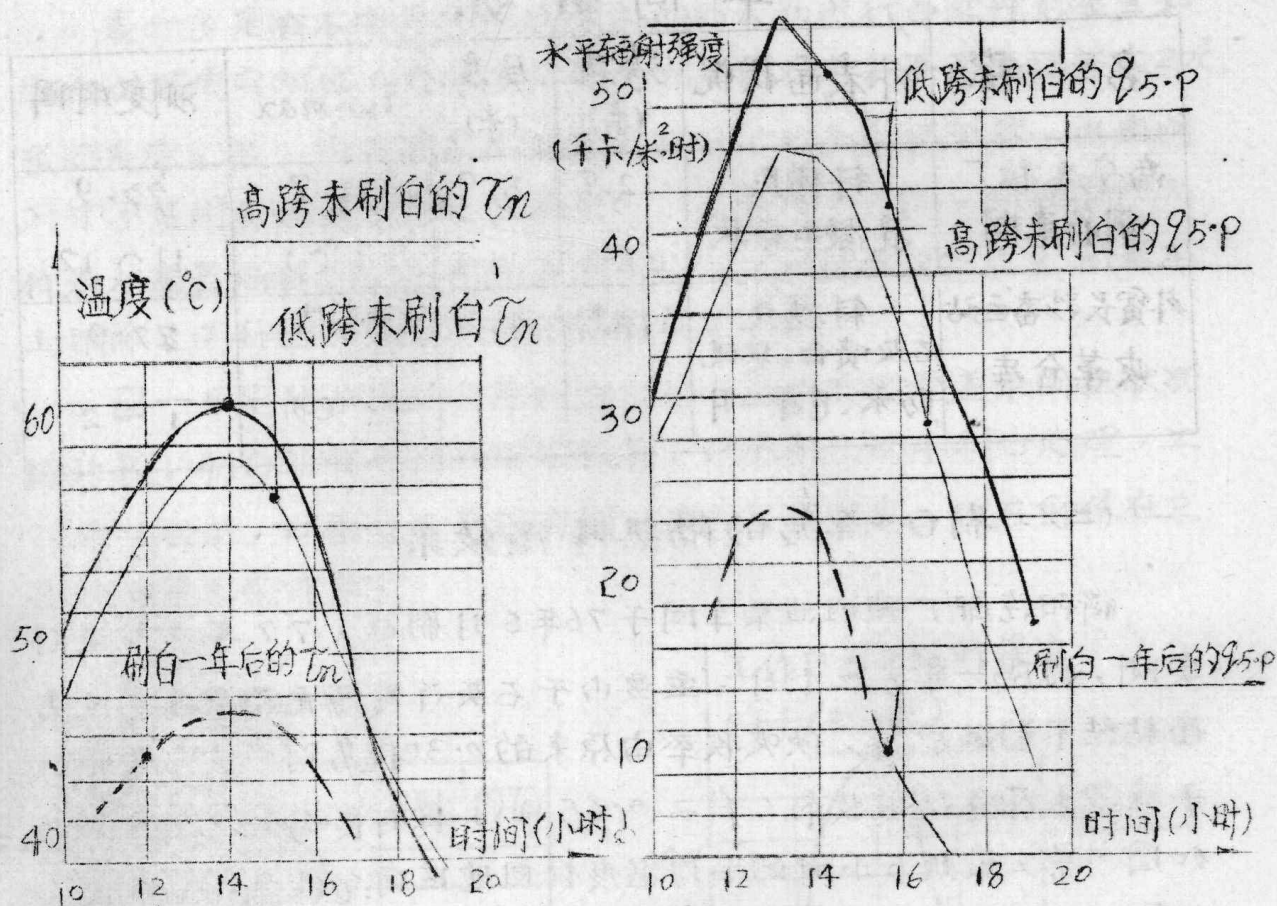


图-6 屋盖刷白一年后与不刷白的屋盖内表面温度
和工作区水平幅射强度的变化曲线

車 間 概 況

名 称	外表面状况	跨度 (米)		层高 (米)	
		高 跨	低 跨	高 跨	低 跨
衡阳拖拉机厂 铆焊车间	斜槽瓦 未刷白	15.0	15.0	8.5	6.3
衡阳汽车修配厂 油咀油泵车间	斜槽瓦 石灰喷白、皂矾防水	三个12米跨		6.5	三跨都有天窗
测定日期	1977.8.7~8.	室外最高气温		39.0 °C	

(三). 刷白处理与其它处理方法的隔热效果比较

表-4列出了屋盖外表面浅色处理与其它方法处理进行比较的内外表面温度状况。表中数据进一步说明，刷白处理后的热工性能大大地优越于其它颜色。防水涂料虽然起到了防水作用，但如能复盖刷白的面层或用白色防水涂料，不仅能起到良好的隔热效果，而且在减缓涂料的老化方面也是十分有利的。

表-4 屋盖外表面不同处理方法的温度状况

板型	大 孔 空 心 板				折 板 (西向)				
涂料种类	砼原表面	涂马牌焦油	涂热沥青	石灰刷白	砼原表面	涂苯烯焦油	玻璃布加塑料油膏	涂塑料油膏	刷白
颜色	浅灰	棕	黑	白	浅灰	油绿	黑灰	黑	白
$T_{w \max}$	64.5℃	73.7℃	76.6℃	51.3℃	58.1℃	67.2℃	60.6℃	72.4℃	39.6℃
$T_n \max$	51.6	56.7	57.7	38.4	52.3	68.4	56.3	62.7	34.6
与刷白温差 T_w	13.2	22.4	25.3	0	18.5	27.6	21.0	32.8	0
与刷白温差 T_n	13.2	18.3	18.7	0	17.7	23.8	21.7	28.1	0
$\frac{T_{w \max}}{T_n \max}$	1.57	1.80	1.87	1.25	1.72	1.99	1.79	2.14	1.17
$t_{w \max}$	41℃				33.8℃				
测定地区	陕西汉中				湖南衡阳				

四. 外反射隔热的处理方法

外反射隔热的处理方法可以分为三大类：

1. 喷涂法——将液态的反射层喷涂在外围护结构的表面上，然后再复盖保护层。

2. 粘贴法——将片状或颗粒状的反射材料用水泥浆、热沥青或其他方法干粘或湿粘在围护结构的表面上；

3. 抹压法——在构件成型时，将反射材料抹压在围护结构的外表面上，然后再复盖保护层。

(一). 喷涂法：

此法可分为三种：第一种是喷涂既能防水又能反射的防水涂料。有关单位正在研制中。第二种是将有反射作用和一定耐水性的浅色材料与能保持其耐久性和防水性能的保护剂分别喷涂在表面上，由于材料来源广，易于施工，易见效果，是目前试验和工程实践中运用较广的一种方法。第三种是将两种涂层聚合而成的浅色涂料，直接喷涂或抹压在围护结构的表面上。本文着重介绍第二种。

1. 分层喷涂法：

(1). 反射层材料

主要采用一般的无机浅色材料，如石灰、石膏和白水泥，适当添加一些固化剂或增白剂。各种材料配比与效果见表一5。

(2). 护面层材料

A. 皂矾防水剂

原材料——肥皂、明矾。

配制方法——〈A〉. 1斤水与1斤明矾在70°C左右液化后，加98斤水搅拌均匀而成明矾水液。5斤水加5斤肥皂在常温下搅拌均匀后加90斤水成皂液。然后将以上二种水液按1:1的比例混合而成皂矾防水剂。

表—5

序号	灰 材 料				水 灰 比	
1	材 料	石 灰 膏		刨花(美人焦)		
	配合比	与一般喷涂样浆的配合比一致				
2	材 料	白 水 泥		生石灰	1:2.5或1:3	
	配合比	1		4		
3	材 料	生石膏粉	生石灰	氯化钙 (工业)	硫酸铝	1:2:5 或 1:3
	配合比	0.5	20	5	1	
4	材 料	生 石 膏		明矾或硫酸铝		
	配合比	25		0.2		
5	材 料	无水或半水石膏		白云岩	水	拌成乳液
	配合比	100		5	42	
6	材 料	无水石膏		明矾	水	拌成乳液
	配合比	100		2	30~40	

: 以肥皂: 水 = 10:90 明矾: 水 = 2.2:97.8 的比例按上述方法制成肥皂液和明矾水液, 然后按 1:1 的比例混合而成皂矾防水剂。

可用喷射或排笔涂刷的方法, 最好喷涂 2~3 次, 第一次用劳较多, 2~3 次用劳较少。

用劳及经济分析: 见表—6

表——6

材 料	用 量	造价(元)	合计	建筑	单方
生石灰	300公斤	12.00	235.00 元	面积	造价
刨 花〔美人胶〕		3.00		1300	0.18元
工业用肥皂	90条	36.00		M ²	M ²
施工费用	包括高空补助	180.00			

实例：

湖南长沙外贸畜产站仓库，涂刷二日后的实测结果见图—5。

湖南衡阳湘运汽车配件厂油泵油咀车间，一年另二个月后的实测结果见图—6。

B. 甲基硅醇钠建筑防水剂

甲基硅醇钠建筑防水剂是一甲基三氯硅烷经过水解交键制成为无色透明液体，水溶液。固体含量30%，比重1.23，PH值13，喷涂后能起防水、防污染、防风化等作用，能提高涂层的耐久性。

由于甲基硅醇钠需与二氧化碳作用才形成憎水膜，应注意气候变化，雨天不能施工，如喷涂后24小时内遇雨，由于皮膜尚未形成，可能被冲掉，第二天用水滴试验其憎水性，以水挂流，浆不见湿为宜，如效果不佳，应再刷一遍。

同时因为它是一种强碱性制品，配制使用时要注意不接触衣物，皮肤和眼睛，喷涂时要注意风向。

性能及经济效益(见表—7)

表—7

防水剂种类	污染17次后 反射系数下 降率	污染30次 后反射系数 下降率	用量 kg/M ²	材料 造价	单方 造价
无	43	47			
含固量为30%的 甲基硅醇钠	13	20	40	2元/kg	0.08元/M ²
聚甲基乙氧 基硅氧烷	7	9	30	6.00元/kg	0.34元/M ²

实例及效果：

76年6月23日在省建科所试验房屋的屋面板上（构件防水），用如下两种配比的材料作反射层：

(1). 生石灰，半水石膏0.5，氯化钙5，硫酸铝1，

硫酸铝用沸水加速溶化，水灰比1:3，使用时浆体较稠，但涂刷方便，涂刷二度时每M²材料用量为0.26kg，4小时后用有机硅罩面，有机硅：水=1:9，每M²有机硅用量为30g。

(2). 生石灰粉2.5，硫酸铝0.2，水灰比1:3。

涂刷二度每M²用量为0.3kg，涂刷后仍以1:9的有机硅罩面。

涂刷一天后，就下了两个整天的大雨，连绵不断，涂层仍然完好。由于砼表面光滑，清洗得不够干净，涂层和砼的粘结能力很差，当年夏天后就慢慢的起壳脱落，未能显示出甲基硅醇的保护作用。

北京一些重要的纪念建筑物大多使用了甲基硅醇钠建筑防水剂，据国外有关资料介绍，有效期限为5~8年。

C. 其他如过氧乙炔涂料，聚醋酸乙炔水乳涂料，聚苯乙烯涂料等有机合成涂料，可根据货源和使用说明进行施工。其中以