

养心殿区体顺堂苫背层复原研究

王 丛

(故宫博物院, 北京, 100009)

摘要 养心殿后殿东耳房名为体顺堂, 其屋顶苫背层做法与故宫中常见灰背做法差别较大。通过查阅档案记载和现场调查分析, 推测该苫背层做法应为清代中晚期实物遗存, 具有较高价值。体顺堂苫背层做法在故宫建筑中鲜有发现, 且尚未发现记录其材料做法的文献, 因而其具体材料配比和工艺做法不为人知。对苫背层的科学检测结果也不能完全揭示苫背层材料配比和工艺做法。因此尝试在现有资料的基础上, 对苫背层不同材料配比的实际动手操作、对比观察和性能比较, 以传统做法为基础, 选择恰当的材料, 复原该种苫背层工艺做法。

关键词 苫背层 灰背 麻刀泥背 油灰护板灰

1 勘察发现

养心殿后殿东耳房名为体顺堂, 经勘察发现其苫背层做法与故宫建筑常见的苫背层做法差别较大。

局部揭露体顺堂后坡苫背层, 发现望板上有白色物质, 经检测为石灰与桐油类等物质的混合物, 其中无机成分为 CaCO_3 、 SiO_2 和少量未知物, 判断其为油灰护板灰。油灰护板灰之上有麻刀泥背两层, 望板与下层麻刀泥背之间发现少量碎纸片。两层麻刀泥背之间满铺三麻布, 麻刀泥背总厚度45mm。麻刀泥背之上为灰背两层, 总厚度30mm, 下层为月白麻刀灰背, 上层为青灰背, 两层灰背之间满铺三麻布。三麻布是一种线经、纬线比较稀疏的麻布, 经检测该三麻布中含有桐油类物质, 灰背之上素白灰瓦。如图1、图3所示。

2 时代与价值

嘉庆二十三年(1818年)八月初十日档案记载:“恭查养心殿后殿东西顺山房头停望板上原估糊高丽纸条二层, 满糊高丽纸一层, 今拟满糊加添一层。”养心殿后殿东西顺山房即为养心殿后殿东、西耳房, 也就是体顺堂和燕喜堂。从该条档案可知嘉庆二十三年体顺堂、燕喜堂的屋面望板上曾糊高丽纸。高丽纸因韧性强、拉力大, 多用作古建室内裱糊的底纸使用。在头停与望板上糊高丽纸条、满糊高丽纸目的是为起到屋面防潮、防水, 保护望板的作用。这是宫廷苫背做法中的油衫纸

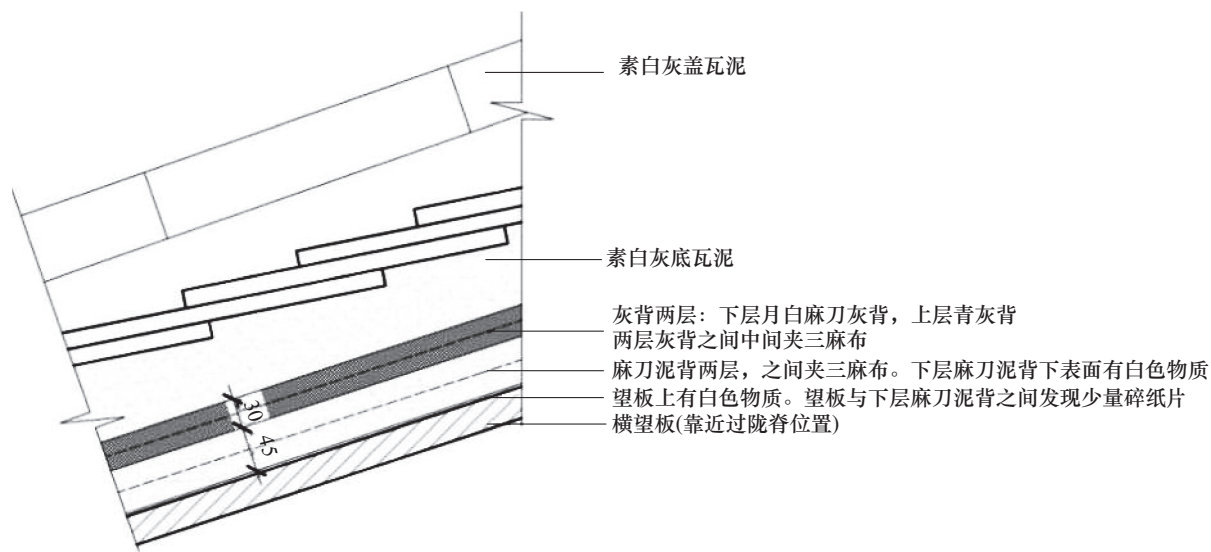


图1 体顺堂后坡（靠近过陇脊位置）揭露位置苫背层做法示意图

做法^[1]。在体顺堂后坡揭露位置的望板上发现的少量碎纸片（图2），应为糊高丽纸的纸张遗存，这种油衫纸做法应为嘉庆二十三年体顺堂的苫背做法。

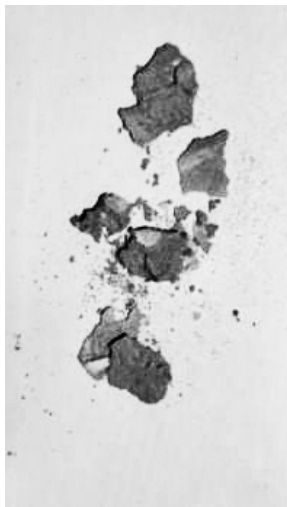


图2 体顺堂望板上碎纸片



图3 体顺堂后坡2层灰背之间三麻布

实验中发现，在望板上糊高丽纸条（不满糊高丽纸）后抹油灰护板灰后，观察发现这种做法十分不耐久，而满糊高丽纸又与体顺堂现状不符，因此可判断体顺堂揭露发现的苫背层做法晚于油衫纸做法，时代应晚于嘉庆时期。由于档案资料不足，目前尚不能确定具体时代，推测其为清代中晚期做法。

3 实验步骤

由于体顺堂苫背层做法在故宫建筑灰背中鲜有发现，几经咨询，均不能得知其具体材料配比和做法，且尚未发现记录其材料和做法的文献。因苫背层制作时间久远，苫背层中一些成分虽然能被

科技检测检出，但不能确定其准确含量和来源，检测结果不能完全揭示苦背层材料及工艺做法。

鉴于该种苦背层做法的价值，尝试在现有资料的基础上，通过对苦背层不同材料配比的实际动手操作、对比观察和性能检测，以传统做法为基础，选择恰当的材料做法，复原该种苦背层的工艺做法。

实验分为材料筛选阶段、苦背层每层之间结合情况模拟实验阶段和大面积苦背模拟实验三个阶段。

第一阶段，材料筛选阶段。根据被测试材料性能，制作不同类型300mm×300mm木质材料筛选板，将被筛选材料附着于材料筛选板上，通过观察材料性能，筛选出每层苦背层的合理材料配比。

第二阶段，苦背层每层之间结合情况模拟实验，即实验板一。做2m×1m望板基层，坡度模仿体顺堂廊步，在望板上做苦背层，苦背层逐层错开，每层都留出可观察区域，观察苦背层每层之间结合情况。

第三阶段，大面积苦背模拟实验，即实验板二。做3.5m×2.9m望板基层，坡度模仿体顺堂廊步，以第一阶段、第二阶段筛选出来的材料配比做大面积苦背层，并完瓦。通过模拟建筑实际情况，进一步筛选、验证苦背层材料配比和工艺步骤。

4 实验过程

经过前期现场勘查和研究分析，初步确定体顺堂苦背层做法由下至上依次为：油灰勾抹望板板缝、望板上刷油满浆、望板上局部糊高丽纸、抹油灰护板灰、苦麻刀泥背、麻刀泥背上铺三麻布、苦第二层麻刀泥背、苦月白灰背、月白灰背上铺三麻布、苦青灰背。

原计划步骤为先勾抹板缝再刷油满浆，但实验过程中发现先刷油满浆能够起到清洁板缝的作用，从而使油灰勾缝更牢固，因此调整操作步骤为先刷油满浆后勾抹板缝，之后步骤不变。

4.1 材料筛选板

每个步骤分别制作材料筛选板，进行材料筛选。

B 刷油满浆*

(1) 实验记录

面粉与石灰水混合搅拌，加入生桐油或灰油搅拌均匀，制成油满。取适量油满缓慢加入石灰水，搅拌均匀，直至稀稠适当时停止，制成油满浆。按表1中配比制作油满浆四种，将其分别刷在材料筛选板上，晾晒，并观察记录，详见表1。

(2) 筛选结果

刷油满浆，油作中称之为汁浆，其作用为清洁望板。

根据材料筛选板B1、B2、B3实验情况，B1与B2效果基本相同，能起到清洁、滋润木望板而起到渐变剂作用。B3干燥后起干粉，不宜使用。

* 由于调整了步骤，筛选板编号沿用了原编号，因此起始编号为B，之后为A、C、D、E、F、G、H、I、J。

表1 刷油满浆记录表

	第一种配比B1	第二种配比B2	第三种配比B3
实验配比	净油满C1： 生石灰水：面粉：生桐油＝ 1：0.8：1.5 油满浆B1：以C1加入约3倍重量石灰水制成	净油满C2： 生石灰水：面粉：灰油＝ 1：0.625：1 油满浆B2：以C2加入约1.7倍重量石灰水制成B2油满浆（加入石灰水的量并不固定，1.5～3倍）	净油满C3： 石灰水：面粉：灰油＝1：0.75：1.5 油满浆B3：以C3加入约8倍重量石灰水制成B2油满浆（加入石灰水的量并不固定，7～9倍） ^{〔5〕}
干燥时间	约2.5天	约2天	约2天
干燥后表面状态	最好	尚可	起粉，不宜使用
是否好操作	是	是	是
价格	较低	较高	较高

B1使用生桐油，B2使用灰油，就干燥时间和价格而言，B1干燥时间稍长，但价格便宜，效果最好；B2干燥时间稍短，但价格贵。选择采用B1配比，即：

生石灰水：面粉：生桐油＝1：0.8（范围0.75～1.2）：1.5制成净油满C1，再以净油满C1加入石灰水约3倍制成油满浆B1。

A 用油灰勾抹板缝

（1）实验记录

1）勾抹宽缝：以五条60mm宽的20mm厚的木条拼成一块板，制成材料筛选板木基层部分，板缝宽5mm左右。勾缝前先刷同种油满浆。

将面粉、泼灰混合均匀，加入生桐油或灰油搅拌均匀，分别制成表2中四种配比的油灰，静置一会儿，再将油灰用抹子均匀勾抹在材料筛选板板缝中，每种配比勾抹一条板缝，晾晒并观察记录。详见表2、图4。

表2 油灰勾抹板缝记录表（板缝5mm左右）

	加生桐油的油灰		加灰油的油灰	
	A1-1	A1-2	A2-1	A2-2
实验配比	泼灰：面粉：生桐油＝ 1：1：1	泼灰：面粉：生桐油＝ 1.5：1.5：1	泼灰：面粉：灰油＝ 1：1：1	泼灰：面粉：灰油＝ 1.5：1.5：1
干燥时间	约2天	约7天	约7天	约5天
结实度	几乎全部下陷脱落	牢固、完好	局部下陷脱落	牢固、完好

2）勾抹细缝：五条60mm宽的20mm厚的木条，木条边裁成柳叶缝，拼接成一块板，板缝1mm左右，模拟细缝制成材料筛选板。用表3中四种配比油灰勾抹板缝，油灰制作步骤与“勾抹宽缝”时相同，每种配比勾抹一系列纵向板缝，如图5。

（2）筛选结果

根据宽缝、窄缝两块筛选板的勾缝实验，发现在勾缝效果上均为泼灰：面粉：油（生桐油或灰油）＝1.5：1.5：1的油灰明显好于泼灰：面粉：油（生桐油或灰油）＝1：1：1的油灰。

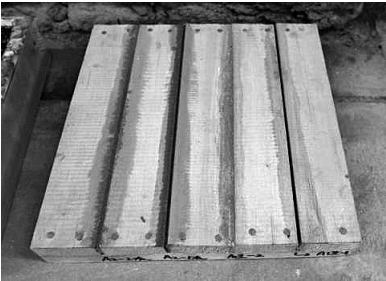


图4 勾缝干燥后（一）

表3 油灰勾抹板缝记录表（板缝1mm左右）

	加生桐油的油灰		加灰油的油灰	
	2A1	2A2	2A3	2A4
实验配比	泼灰：面粉：生桐油＝ 1：1：1	泼灰：面粉：生桐油＝ 1.5：1.5：1	泼灰：面粉：灰油＝ 1：1：1	泼灰：面粉：灰油＝ 1.5：1.5：1
干燥时间	约3天	约4天	约3天	约3天
结实度	局部下陷脱落	基本严密，局部油灰下渗	油灰下渗过半	基本严密，局部油灰下渗

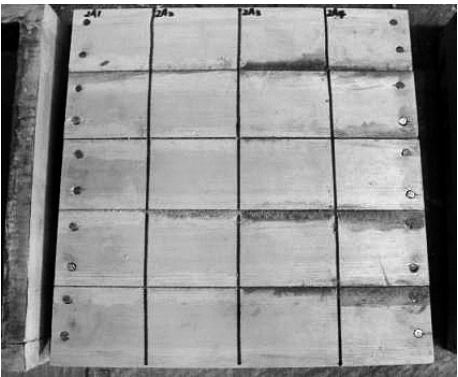


图5 勾缝干燥后（二）

由于油灰中添加生桐油或灰油均能达到类似效果，且干燥时间差别不大。考虑到灰油价格明显高于生桐油，因此选择添加生桐油。选择配比为：泼灰：面粉：生桐油＝1.5：1.5：1（板缝窄时、环境温度低时适当增加桐油含量）（*在后续的实验中发现，环境温度降低时需要增加油的量）。

C 板缝处用净油满糊高丽纸

（1）实验记录

材料筛选板为底面300mm×300mm，四边高50mm，底面中央开直径20mm圆孔的木盒，如图6。实验筛选板先刷同种油满浆，干燥后再用表4中不同配比油满糊高丽纸。

C1～C3油满调制：面粉与石灰水混合搅拌，加入生桐油或灰油搅拌均匀，制成油满。

C4油满调制：猪血（已经加入石灰水的成品血料）中加入生石灰水制成血料。取C1净油满加入血料搅拌均匀制成。

将油满均匀刷在木盒内侧，将高丽纸毛面向下小心粘在木盒内壁，用干刷帚刷将空气赶出，使高丽纸贴实。再在高丽纸上均匀刷净油满，糊第二层高丽纸，用干刷帚刷小心地将空气赶出，使高丽纸贴实。晾干后做闭水试验，如图7，观察记录见表4。

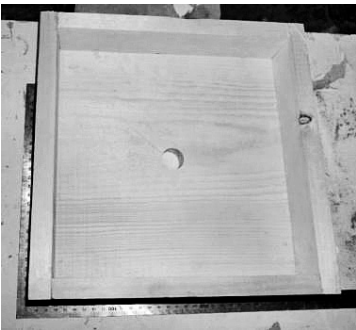


图6 材料筛选板（糊纸前）



图7 闭水试验

表4 油满糊高丽纸记录表

	第一种配比C1	第二种配比C2	第三种配比C3	第四种配比C4
实验配比	生石灰水：面粉：生桐油＝ 1：0.8：1.5 ^[1]	生石灰水：面粉：灰油＝ 1：0.625：1 ^[1]	石灰水：面粉：灰油＝ 1：0.75：1.5 ^[2]	生石灰水：成品血料：净 油满C1＝1：2：10.5

续表				
	第一种配比C1	第二种配比C2	第三种配比C3	第四种配比C4
干燥时间	约8天	约7天	约10天	约5天
结实度	牢固	牢固	牢固	牢固
价格	较低	较高	较高	较低
闭水试验	闭水试验19日无渗水	闭水试验19日无渗水	闭水试验19日无渗水	闭水试验19日无渗水

(2) 筛选结果

由闭水实验结果可知C1~C4四种油满糊高丽纸均成功，且防水效果相仿。C4为加入血料的油满，干燥速度最快，但由于之前的检测结果中没有发现血料的痕迹，且在闭水实验开始之后，C4很快出现了颜色变深的情况，推测与加入血料有关，因此不选择油满C4。C2、C3为用灰油调制的净油满，干燥速度与用生桐油调制的净油满C1差别不大。由于生桐油价格比灰油要低，因此选择C1净油满，即：生石灰水：面粉：生桐油=1：0.8（范围0.75~1.2）：1.5。

D 抹油灰护板灰

(1) 实验记录

材料筛选板为底面300mm×300mm三条木条拼合而成，四边高50mm的木盒，如图8。

在涂抹油灰护板灰之前，先将所有材料筛选板木盒内表面刷同种油满浆，以同种油灰勾抹板缝，分别制作D1~D29不同配比的油灰29种，见表5。

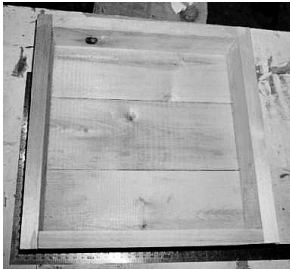


图8 材料筛选板
(抹油灰护板灰前)

表5 油灰护板灰记录表

编号	配比是否能用	实验配比			干燥时间	干燥后开裂情况	闭水实验（蓄水后，底面开始渗水时间）
D1	√	生石灰粉：灰油：江米浆A=100：37.3：1.3	米浆A		约4天	基本不裂（只有1小缝）	5小时49分钟后
D2	√	生石灰粉：生桐油：江米浆A=100：28：1.3	米浆A		约5天	不裂	4小时9分钟后
D3	×	生石灰粉：生桐油：江米浆A=100：18.7：26.7（失败）	米浆A	与D2比，减油，加江米浆	—	—	—
D4	√	泼灰：灰油：江米浆A=100：37.5：1.4	米浆A		约7天	不裂	3天后仍未底面渗水
D5	√	泼灰：生桐油：江米浆A=100：33：1.35	米浆A		约8天	有少量裂纹	4小时5分钟后
D6	×	生石灰粉：油灰：水=100：37：50（失败）	—	与D1比没减油，没加江米浆，加的水	—	—	—
D7	×	生石灰粉：生桐油：水=100：18.5：30（失败）	—	与D2比减油，加水，没加江米浆	—	—	—

续表							
编号	配比是否能用	实验配比			干燥时间	干燥后开裂情况	闭水实验（蓄水后，底面开始渗水时间）
D8	×	泼灰：灰油：江米浆A：水＝100：25：10.1：3.75（失败）	米浆A	与D4比，减油，加江米浆，加水	—	—	—
D9	√	泼灰：生桐油：江米浆A：水＝100：22：18.55：19.1	米浆A	与D5比，减油，加江米浆，加水	约1天	重度裂	加水同时即漏
D10	√	泼灰：生桐油：水＝100：22：15.55	—	与D5比减油，没加江米浆，加水	约1天	重度裂	约2天
D11	√	泼灰：灰油：江米浆B（无白矾）＝100：37.5：1.4	米浆B	与D4比，江米浆中没加白矾，其余完全一样	约3天	不裂	5小时19分钟后
D12	√	泼灰：生桐油：江米浆B（无白矾）＝100：33：1.4	米浆B	与D5比，江米浆中没加白矾，其余完全一样	约4天	重度裂	1小时28分钟后
D13	√	生石灰粉：生桐油：＝100：28.9	—		约7天	不裂	3天后未渗水
D14	√	泼灰：生桐油＝100：33	—		约6天	重度裂	小于等于22小时37分
D15	×	（现泼）泼灰：生桐油：江米浆C（无白矾）＝100：13.25：20.3（失败）	米浆C		—	—	—
D16	√	（现泼）泼灰：生桐油：江米浆C（无白矾）＝100：20.3：13.3	米浆C		约1天	重度裂	1天1小时53分钟后
D17	√	（现泼）泼灰：生桐油：江米浆D＝100：20.3：13.3	米浆D		约2天	中重度裂	22小时36分钟
D18	√	生石灰粉：灰油＝100：37.3	—	厚度为2mm	18天	不裂	3天后仍未底面渗水
D19	√	生石灰粉：生桐油＝100：28.9	—	类似D13厚度厚些为2mm	22天	基本不裂，起皱，仅有极少裂缝	3天后仍未底面渗水
D20	√	生石灰粉：生桐油：江米浆E＝100：28：1.3	米浆E	类似D2厚度厚些，为2mm	24天	严重起皮，掉皮	3天后仍未底面渗水
D21	√	生石灰粉：灰油：江米浆E＝100：37.3：1.3	米浆E	类似D1厚度厚些，为2mm	22天	不裂	8分钟后
D22	√	生石灰粉：生桐油＝100：35.1	—	类似D13、D19厚度薄些	12天	不裂	加水同时滴水。12分钟后盒内水漏完
D23	√	生石灰粉：生桐油：江米浆E＝100：35.3：1.3	米浆E	类似D2、D20厚度薄些	12天	不裂	加水同时滴水。15分钟后盒内水漏完
D24	√	生石灰粉：生桐油：江米浆E＝100：37：4	米浆E	比D23加江米浆E多两倍	11天	基本不裂（仅边缘有一条裂缝）	加水同时滴水。1分钟后盒内水漏完
D25	√	生石灰粉：生桐油＝100：43.4	—		11天	底面板缝处两条裂纹	4小时21分
D26	√	生石灰粉：灰油＝100：70	—		12天	不裂	5小时49分
D27	√	细泼灰：生桐油＝100：73.2	—		25天	不裂	1小时21分
D28	√	细泼灰：灰油＝100：108	—		23天	不裂	不漏
D29	√	泼灰：灰油＝100：60	—		4天	不裂	加水同时即漏

实验时油灰制作步骤为：灰（生石灰粉、成品泼灰、现泼制泼灰、新型细泼灰四种灰中的一种）过细筛，加入桐油（生桐油或者灰油），边加边搅拌，直至浓稠适合使用为止。其中一些配比需要加江米浆或水的，仍以搅拌均匀适合使用为准，搅拌过程中可再补加油、江米浆、水调整，记录最终调整后所使用的具体材料配比。

实验分三次前后熬制了五种江米浆，分别以江米浆A～江米浆E加以区分，熬制的江米浆分为加白矾和不加白矾两种，其中江米浆A、江米浆D、江米浆E加白矾；江米浆B、江米浆C中不加白矾。

本实验中，江米浆熬制过程为：称重江米加适量水，大火加热，开锅后小火加热，熬制过程中不断搅拌，防止糊锅，直至江米粒开花，江米浆浓稠适当时停止加热，将熬制好的江米浆用笊篱将米粒过滤出去。此时，不加白矾的江米浆熬制完成。需要加白矾的江米浆，将白矾放入熬制好江米浆中搅拌均匀即可。本次实验中，江米浆A中加入白矾与江米的重量比为64：100（《中国古建筑瓦石营法》中记录青灰背赶压材料中白矾与江米浆的重量比为25：100，白灰背赶压、屋面苫盘踩、红土浆、包金土浆材料中白矾与江米浆的重量比均为67：100；《太和殿纪事》中瓦材料中白矾与江米浆的重量比为64：100；养心殿清代维修档案中没有发现有关瓦顶使用江米浆的记录，但涉及地面、墙面的材料中白矾与江米浆的重量比多为60：100至64：100之间。综合以上配比，此次选择白矾与江米浆的重量比为64：100熬制江米浆）。江米浆D、江米浆E中加入白矾与江米的重量比为2.4：100。

将制作成功的油灰分别抹满材料筛选板的内表面，进行晾晒，观察记录干燥时间、开裂程度、闭水试验情况，详细配比和材料性能记录见表5、图9。



图9 D组闭水实验（部分材料筛选板）

（2）油灰护板灰筛选结果

1）对于灰。

用四种灰分别制作的油灰护板灰，从油灰护板灰干燥后开裂程度上来看，生石灰粉、新型细泼灰优于成品泼灰和现场泼制的泼灰。

推测古代使用的是块灰泼制而成的泼灰。实验中发现，用如今的块灰泼成的泼灰或者成品泼灰制作而成的油灰护板灰普遍出现开裂情况。而以生石灰粉制成的油灰护板灰在使用效果上明显优于上述二者，但直接使用生石灰粉制作油灰，出现慢性灰的可能性大。新型细泼灰粒径能达到500目以上，与传统的泼灰主要成分相同，为氢氧化钙。用这种新型细泼灰制作的油灰护板灰干燥后不开

裂，且有一定防水效果。但是由于其粒径很小，加入的油的数量比较大，施工时比较黏工具，但可以操作。

2) 对于桐油（指生桐油或灰油）。

从干燥时间上看，其他材料和配比以及油灰护板灰厚度相同的前提下，一般使用灰油比使用生桐油的油灰护板灰干燥时间稍短，但相差不多。

使用灰油的油灰护板灰比使用生桐油的干燥后更不易开裂。但在颜色上，使用灰油的油灰护板灰为黑褐色。而体顺堂上发现的油灰护板灰呈白色，更接近生桐油制成的油灰护板灰的颜色。

3) 对于江米浆。

在油灰护板灰的实验中，在加江米浆的配比中，几乎所有调制好可以使用的油灰护板灰加入江米浆的量都非常小。江米浆一旦加入太多，油灰变硬或不挂木板，均无法使用。其他条件相同，油灰护板灰中加入的江米浆量越少，干燥后越不易开裂、不易表面起皮。材料、环境相同的情况下，不加江米浆的配比效果更好。目前检测中也并未检出江米浆成分，原因可能为原配比中没有江米浆，也可能是因为年代久远，有机物分解不能测出，因此倾向选择不加江米浆的配比。

4) 对于水。

加入水后一部分油灰无法使用，另一部分油灰虽然能使用，但干燥后均开裂严重，因此不应加水。

5) 其他。

油灰护板灰防水性能受材料配比、环境温度、手工操作水平的综合影响。制作和使用油灰应考虑环境温度，温度低时加入的生桐油或灰油的数量需要增加，但受环境温度低的影响其防水性能会降低。此外，油灰护板灰厚度不宜太厚，太厚会增加干燥后开裂、起皮的可能，应为1mm厚，薄薄一层覆盖望板即可。

综上所述，得到初步结论如下：

生石灰粉+生桐油、新型细泼灰+生桐油、生石灰粉+灰油、新型细泼灰+灰油实验效果均不错，但考虑到灰油配置的油灰护板灰颜色上与体顺堂发现的护板灰差异较大，且熬制灰油加工复杂，也不符合环保要求，成品灰油成本较高，因此此次不选择使用灰油，选用：

第一种，生石灰粉（过200目筛）：生桐油=100：28.9~43.4。

第二种，新型细泼灰（过100目筛）：生桐油=100：73.2。

应注意油灰中不能加水。计划下一步实验大面积涂抹上述两种油灰护板灰，观察其开裂情况，视具体情况进一步选择。

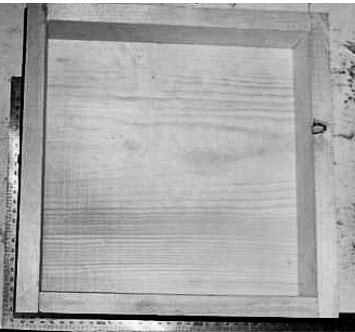


图10 材料筛选板（木基层）

E 第一层麻刀泥背

（1）实验记录

制作底面300mm×300mm，四边高50mm木盒作为麻刀泥背材料筛选板木基层，见图10。分别以表6中不同配比麻刀泥分别苦在材料筛选板上，晾晒过程中多次拍背，并观察记录。

（2）浸水实验

将完全干燥后的E1~E6分别浸入盛水的盆中并观察，浸水等待48小时后再次观察其有无变化，测量称重计算其吸水率，详见表7。

表6 第一层麻刀泥背记录表

	第一种配比E1	第二种配比E2	第三种配比E3	第四种配比E4	第五种配比E5	第六种配比E6
实验配比	(4:6) 掺灰泥： 麻刀=100:3	(4:6) 掺灰 泥：麻刀= 100:2	(3:7) 掺灰 泥：麻刀= 100:3	(3:7) 掺灰 泥：麻刀= 100:2	(4:6) 掺灰泥，无 麻刀	(3:7) 掺灰 泥，无麻刀
干燥时间	28天	29天	30天	27天	27天	27天
干燥后的 开裂程度	无开裂	无开裂	无开裂	无开裂	有开裂，上表面裂纹 较小，下表面裂纹较 大，未整体断开	有开裂，上表 面无裂纹，下 表面裂纹较大

表7 浸水实验记录表

编号	浸水观察	浸水48小时后有 无变形	吸水率
E1 (4:6) 掺灰泥：麻刀=100:3	将E1放入水中有细小气泡产生，浸泡48小时后依然坚硬牢固如初	无变形	22.93%
E2 (4:6) 掺灰泥：麻刀=100:2	将E2放入水中产生大量小气泡，浸泡48小时后依然坚硬牢固如初	无变形	22.46%
E3 (3:7) 掺灰泥：麻刀=100:3	将E3放入水中产生大量小气泡，浸泡48小时后依然坚硬牢固如初	无变形	21.48%
E4 (3:7) 掺灰泥：麻刀=100:2	将E4放入水中产生大量小气泡，浸泡48小时后依然坚硬牢固如初	无变形	23.44%
E5 (4:6) 掺灰泥，无麻刀	将E5放入水中产生大量小气泡（注：E5在入水之前已经出现一个较大裂纹），浸泡48小时后出现较多较长裂缝，且出现起皮现象。出水时，易碎，产生碎块	变形，出现较多 裂缝碎块	—
E6 (3:7) 掺灰泥，无麻刀	将E6放入水中产生大量小气泡（注：E6在入水之前已经出现两个裂缝），浸泡48小时后出现较多裂缝，且出现起皮现象。出水时，易碎，产生碎块	变形，出现较多 裂缝碎块，较E5 碎裂更为严重	—

（3）筛选结果

从开裂情况来看，掺有麻刀的麻刀泥背E1～E4均无开裂，说明麻刀在泥背中起到防止泥背干燥过程中出现开裂的作用。

E1～E4强度均非常高，在浸水实验后强度仍然很高。通过浸水实验结果可知，E1～E4的吸水率的大小与加入麻刀和泼灰的比例并无明确关系，手工操作因素对麻刀泥背的质量影响更为明显，麻刀有无搅匀，局部是否出现较大空隙是影响吸水率的关键，进而是影响抗冻性能的关键。

古人认为灰好，而且灰多不易长草，宫殿建筑中用灰比例大，推测使用麻刀泥为4:6的可能性大。麻刀泥中加入的麻刀越多越不易搅均匀，是否能搅匀是影响麻刀泥背质量的关键，所以麻刀不宜过多，因此选（4:6）掺灰泥：麻刀=100:2的麻刀泥E2。

F 麻刀泥背上铺三麻布

（1）实验记录

材料筛选板木基层部分同“E：第一层麻刀泥背”。以素黄土加适量水搅拌均匀为材料，在材料筛选板上苫泥背，分别以表8中的材料配比在泥背上铺三麻布，将三麻布拍入泥背，晾晒筛选

板，晾晒过程中进行多次拍背，并观察记录。

（2）筛选结果

三麻布主要是起到防止泥背开裂的作用。材料筛选板泥背基层上分别拍三分之二张三麻布，使用苧麻三麻布的F1在没有覆盖三麻布的区域出现了裂纹，裂纹延伸到覆盖三麻布的区域得到了有效的控制，没有继续开裂。使用黄麻三麻布的F2在三麻布覆盖区域未开裂，只在黄麻三麻布的边缘出现了纵向开裂，见表8、图11。说明苧麻三麻布和黄麻三麻布均有防止泥背开裂的效果。

表8 泥背铺三麻布记录表

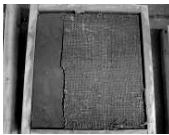
	半铺三麻布		满铺三麻布	
	F1	F2	F1-1	F2-1
实验配比	泥背上三分之二面积拍苧麻三麻布	泥背上三分之二面积拍黄麻三麻布	泥背上满拍苧麻三麻布	泥背上满拍黄麻三麻布
效果描述				
	干燥后四边收缩，泥背有横向裂纹	干燥后四边收缩，泥背有纵向裂纹	干燥后四边收缩，泥背中间有一处凹陷，疑似裂缝	干燥后四边收缩，泥背表面平整



图11 干燥后的F1和F2（背面）

在泥背上铺整张三麻布，使用整张苧麻三麻布的F1-1干燥后在中间有一处凹陷，应是下方出现小裂缝，裂缝没有继续发展。使用整张黄麻三麻布的F2-1干燥后没有出现任何裂缝。

以上说明黄麻三麻布和苧麻三麻布都有很好地防止泥背开裂的作用，并且实验结果说明在一定程度上黄麻三麻布防止泥背开裂效果比苧麻三麻布更好。黄麻三麻布在价格上远远低于苧麻三麻布，并且防裂效果优于苧麻三麻布，因此选用黄麻三麻布。

G 第二层麻刀泥背

材料配比与E相同，略。

H 月白麻刀灰背

（1）实验记录

材料筛选板木基层部分同“E：第一层麻刀泥”。分别以表9中的材料配比在材料筛选板上苦

月白麻刀灰背。筛选板进行晾晒，晾晒过程中进行多次轧背，并观察记录。

表9 月白麻刀灰背记录表

	第一种配比H1	第二种配比H2	第三种配比H3
实验配比	泼灰：麻刀：青灰=100：5：20	泼灰：麻刀：青灰=100：4：20	泼灰：麻刀：青灰=100：3：20
干燥时间	38天	25天	49天
干燥以后的开裂程度	无开裂	无开裂	无开裂

月白麻刀灰背完全干燥后，尺寸较之前略有收缩，H1、H2、H3分别缩小0.6%、1%、1.39%。

（2）筛选结果

月白麻刀灰背H1、H2、H3干燥后均无开裂，干燥后尺寸收缩比例H1最小，说明一定范围内掺入灰背的麻刀越多，灰背干燥后的收缩比例越小，起到减小灰背开裂的作用。而100：5的比例正是官式建筑灰背传统做法常用比例，因此选用泼灰：麻刀=100：5的H1月白麻刀灰背。

I 月白灰背上铺三麻布

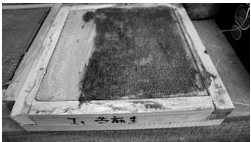
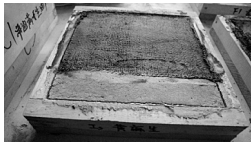
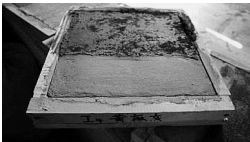
（1）实验记录

材料筛选板木基层同“E：第一层麻刀泥”。在材料筛选板上苫纯月白灰背（无麻刀），并在其上分别拍黄麻、苧麻三麻布刷不同配比的油浆，详见表10。筛选板晾晒过程中多次拍背，并观察记录。油浆配比为：

油浆A，0.3L青浆与0.01L生桐油混合搅拌均匀，比例约为100：3。

油浆B，0.3L青浆与0.01L灰油混合搅拌均匀，比例约为100：3。

表10 月白灰背上铺三麻布记录表

	第一种配比I1	第二种配比I2	第三种配比I3	第四种配比I4
实验配比	拍苧麻三麻布，刷油浆A	拍苧麻三麻布，刷油浆B	拍黄麻三麻布，刷油浆A	拍黄麻三麻布，刷油浆B
效果描述				
	灰背未出现开裂。三麻布均匀服帖，效果良好	灰背未出现开裂。三麻布表面起油皮	灰背未出现开裂。三麻布均匀服帖，效果良好	灰背未出现开裂。三麻布表面起油皮

（2）筛选结果

灰油调制的油浆B刷于三麻布上，干燥后出现起油皮的现象，不如生桐油调制的油浆A刷在三麻布上服帖平整。另外，参考之前“麻刀泥上铺三麻布”的筛选结果，选择黄麻三麻布，其上刷生桐油调制的油浆A。

J 青灰背

（1）实验记录

材料筛选板木基层同“E：第一层麻刀泥”。

分别以表11中的材料配比在材料筛选板上苫青灰背，筛选板晾晒过程中三浆三轧，并观察记录。

表11 青灰背记录表			
	J1	J2	J3
实验配比	同H1 泼灰：麻刀：青灰＝ 100：5：20	同H2 泼灰：麻刀：青灰＝ 100：4：20	同H3 泼灰：麻刀：青灰＝ 100：3：20
干燥时间	50天	23天	33天
干燥以后的开裂程度	无开裂	无开裂	无开裂

青灰背完全干燥后，J1、J2、J3尺寸分别收缩0.42%、0.8%、0.83%。

（2）筛选结果

青灰背J1、J2、J3干燥后均无开裂，干燥后尺寸收缩比例J1最小，说明一定范围内掺入灰背的麻刀越多起青灰背开裂的可能越小。而100：5的比例正是官式建筑灰背传统做法常用比例，因此选用泼灰：麻刀＝100：5的青灰背配比J1。

4.2 实验板一

制作望板长2m、宽1m的实验板一，按照刷油满浆、油灰勾抹板缝、板缝处用油满糊高丽纸条、抹油灰护板灰、苫麻刀泥背上铺三麻布、苫第二层麻刀泥背、苫月白麻刀灰背上铺三麻布、苫青灰背的步骤逐层操作，见图12。在上述实验操作的过程中有几项发现。

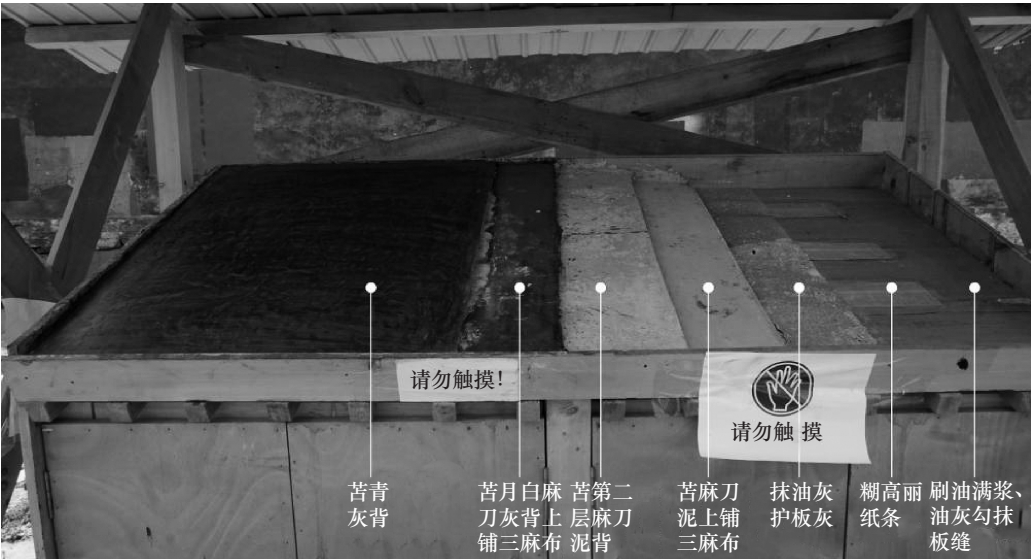


图12 实验板一

1）板缝处用油满糊高丽纸条后，继续进行后续步骤直至第二层麻刀泥背苫完之后，油灰护板灰层与高丽纸条衔接部位出现明显的空鼓和局部裂缝，见图13。

在之前的实验中，曾在木质材料筛选板上直接抹油灰护板灰D22（生石灰粉：生桐油＝100：35.1），干燥后未发生开裂情况。也曾曾在材料筛选板上满糊高丽纸，再在其上抹油灰护板灰D22，同样也没有出现开裂。而在实验板一的实验过程中，两层麻刀泥背苫完之后，油灰护板灰在高丽纸条部位出现空鼓和局部裂缝，应为油灰护板灰以下的高丽纸条与木望板材质不同，当环境温

湿度变化时材料的收缩率不同，进而影响油灰护板灰，使其在高丽纸条与木望板连接边缘产生空鼓、裂缝。

嘉庆二十三年档案《中一路工程处为养心殿后殿续添高丽纸张等项事》中提到养心殿后殿东西顺山房（即体顺堂和燕喜堂）糊高丽纸条和满糊高丽纸的情况。此次现场勘查时揭露点范围有限，并未发现大面积糊纸，仅发现体顺堂后坡靠近过陇脊位置有高丽纸碎片。根据勘察和实验结果，确定满糊高丽纸与苫油灰护板灰不是同一时期的苫背层做法。否则若仅局部糊纸会产生目前这种情况，即油灰护板灰在高丽纸条边缘出现空鼓和局部裂缝。判断望板上糊高丽纸的时期在前，苫油灰护板灰的时期在后，勘察时发现的高丽纸碎片为较前一个时期苫背层遗留的残片。因此，望板上糊高丽纸（或高丽纸条）和抹油灰护板灰不应同时使用，即此次复原的苫背层做法不应包括糊高丽纸层做法。

2）实验板一抹油灰护板灰时还未找到新型细泼灰，因此做生石灰粉加灰油、生石灰粉加生桐油两种材料配比的对比试验。

配比为生石灰粉：灰油=100：40.8的油灰护板灰抹在实验板一上半部区域。在抹的过程中，高丽纸条局部被粘起来，是油灰黏性较强导致。

配比为生石灰粉：生桐油=100：（28.9~43.4）的油灰护板灰抹在实验板一下半部区域。没有出现高丽纸条被粘起来的情况，说明生桐油没有灰油黏稠，不易粘连下方的高丽纸，更便于操作。



图13 油灰护板灰与高丽纸条连接位置局部开裂

4.3 实验板二

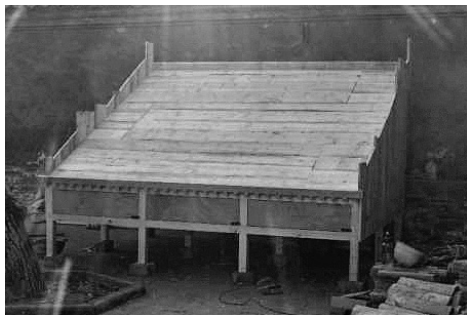


图14 实验板二木基层

制作望板长3.5m，宽2.9m的实验板二，如下图14。按照刷油满浆、油灰勾抹板缝、抹油灰护板灰、苫第一层麻刀泥背上铺三麻布、苫第二层麻刀泥背、苫月白麻刀灰背上铺三麻布、苫青灰背的步骤逐层做好苫背。苫背完成之后，用素白灰瓦六样黄琉璃瓦。

在上述步骤中有如下发现：

1）制作勾抹板缝的油灰时，应将泼灰过30目筛，这样调制好的油灰更易操作。

2）抹油灰护板灰时，将实验板二分左、右两个区域分别实验两种配比的油灰护板灰。

一种为材料筛选板得出的比例D27，新型细泼灰（过100目筛）：生桐油=100：73.2（实际调制时，以调制的油灰好用为原则，比例况略作调整，新型细泼灰：生桐油=100：76.4）。将制作好的油灰护板灰抹在实验板二左侧区域。另一种为生石灰粉（过200目筛）：生桐油=100：（28.9~43.4）制作油灰护板灰。将制作好的油灰护板灰抹在实验板二右侧区域，见图15。

实验发现两种护板灰均没有出现开裂，新型细泼灰调制的油灰护板灰干燥时间较短。实验板二后续灰背各个步骤和瓦制作完成并干燥46日后，曾揭露瓦面到油灰护板灰层，发现两种油灰护板灰均保存完好，见图16。

两种配比的油灰护板灰实验效果差别不大，由于生石灰粉加桐油制成的油灰护板灰产生慢性



图15 抹油灰护板灰
(左: 新型细泼灰; 右: 生石灰粉)



图16 局部揭露至油灰护板灰层

灰概率要大于新型泼灰，且新型泼灰制作的油灰护板灰干燥速度稍快，因此选用性能好的细泼灰过100目左右细筛，加入适量的生桐油调制成油灰。

3) 实验了图17所示的两种三麻布搭接方式。第一种，麻刀泥背抹斜茬，后一幅三麻布直接与上一幅三麻布边缘搭接，搭接宽度150mm；第二种，前一幅三麻布边缘与麻刀泥背一起抹斜茬150mm，后续的麻刀泥背压住斜茬，并在其上铺三麻布，前后两幅三麻布边沿不直接搭接。实验发现搭接方式二中麻布与麻刀泥背结合更好。

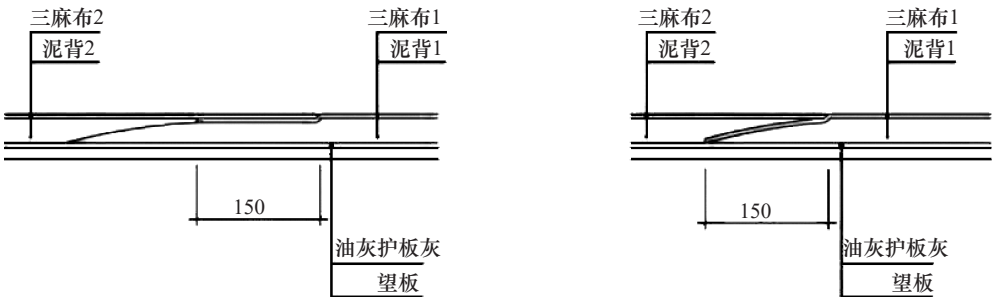


图17 三麻布的两种搭接方式(左: 搭接方式一; 右: 搭接方式二)

4) 三麻布加入生桐油方法的试验中，发现浸过生桐油的三麻布与麻刀泥背黏接不牢固，且三麻布浸生桐油后有自燃起火的风险，这种方法不可行。改为将三麻布浸水，沥除多余水分，将湿润的三麻布拍入麻刀泥背中。铺完三麻布后要拍实，揉搓三麻布表面出浆，避免交接位置出现裂缝，干燥过程中多次拍背。拍背时在三麻布上刷含有生桐油的油浆，测试三种配比。

油浆1为4: 6桃花浆: 生桐油=100: 40(体积比)。

油浆2为4: 6桃花浆: 生桐油=100: 30(体积比)。

油浆3为4: 6桃花浆: 生桐油=100: 10(体积比)。

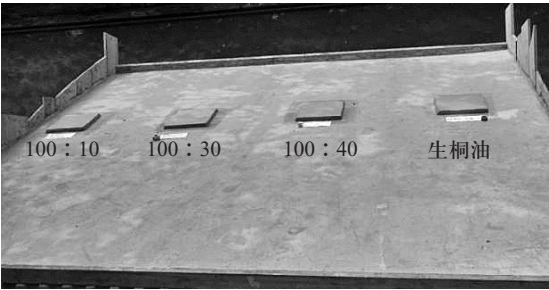


图18 苦麻刀泥试块

刷过油浆1的三麻布，用手触摸时开始粘手，说明不能再增加生桐油的含量，否则在泥背干燥过程中拍背、轧背时，三麻布会黏工具，影响拍背、轧背效果。

在实验板二局部刷三种配比油浆及生桐油，并在相应位置上苦麻刀泥试块，见图18。

待四个试块完全干燥后，拖拽麻刀泥块，记录麻刀泥块脱落时弹簧秤读数进行比较，见表12，发

现三麻布表面刷油浆1，即（4：6）桃花浆：生桐油＝100：40的试块的防滑效果最好。

表12 麻刀泥块脱落时弹簧秤读数

油浆中生桐油浓度比例	100：10	100：30	100：40	生桐油
弹簧秤读数/kg	3	8	16	13

5）将三麻布宽度方向两端各减去10mm宽硬边，裁剪边缘后的三麻布更易与泥背、灰背结合，使泥背、灰背与三麻布边缘交接位置不易开裂。

6）苫月白麻刀灰背其上铺三麻布时，对比将三麻布分别充分浸水和浸油浆b的效果差别。油浆b为青浆加生桐油，制成体积比为100：3油浆。实验板二左边铺浸水拧去多余水后的三麻布，右边铺油浆b浸泡后拧去多于油浆的三麻布。

铺完三麻布的月白灰背干燥过程中，刷油浆b并赶轧，刷油浆b一至四次不等。再在三麻布层上制作24个青灰背试块，每种情况各3个试块。试块干燥过程中，刷青浆赶轧数次。试块干燥后，用电子秤拖拽试块，记录下试块刚刚移动瞬间电子秤读数。实验发现浸油浆的三麻布比浸过水的抓接力更强，更防滑，而赶轧时刷油浆次数多少对防滑效果影响不明显。

7）所有苫背层共需要大约47天完成，每个苫背层完成后可进行下一步操作的时间见表13。

表13 每个苫背层完成后可进行下一步操作的时间

操作步骤	刷油满浆	油灰勾抹板缝	抹油灰护板灰	苫第一层麻刀泥背及其上铺三麻布刷油浆	苫第二层麻刀泥背	苫月白麻刀灰背及其上铺三麻布	苫青灰背	总计
该层操作后多长时间进行下一层操作	当天	约7天后	约15天后	约3天后	约7天后	约7天后	约8天后	共约47天

5 实验结论

根据以上实验结果，初步复原的体顺堂灰背苫背步骤和材料配比详见表14。

表14 苫背步骤及材料配比表

步骤	内容	配比	注意事项
1	望板上刷油满浆	生石灰水：面粉：生桐油＝1：0.8（范围0.75～1.2）：1.5制成净油满，再加入3倍左右石灰水制成油满浆	加入石灰水的量受石灰水质量和浓度影响，因此量并不固定，约为3倍油满浆的重量
2	用油灰勾抹板缝	泼灰：面粉：生桐油＝1.5：1.5：1 板缝窄时、环境温度低时适当增加桐油含量	泼灰宜过30目筛
3	抹油灰护板灰	选择性能好的泼灰过100目左右细筛，加入适量的生桐油调制成油灰。 参考配比为，新型细泼灰（过100目左右筛）：生桐油＝100：73.2	生桐油加入量与环境温度及灰的粒径相关，调制时可适当调整。此外，调制油灰时不能加水。 因泼灰质量不一，需小范围涂抹，确定干燥后不开裂再大规模使用
4	苫第一层麻刀泥背	（4：6）掺灰泥：麻刀＝100：2	尽量少加水，避免出现尿檐情况。麻刀需搅拌均匀

续表			
步骤	内容	配比	注意事项
5	麻刀泥上铺三麻布刷油浆	使用黄麻三麻布，宽度以建筑原三麻布宽度为准。三麻布宽度方向需减去两侧硬边（约10mm）后使用。 将三麻布浸水后控干多余水分，横向搭接方式如图17中方式二所示，搭接宽度可视三麻布宽度略作调整。 三麻布铺好后刷油浆a，油浆a为（4：6）桃花浆：生桐油（体积比）=100：40制成，其中桃花浆为（4：6）灰土：水=1：1，搅拌均匀后去除沉淀得出。油浆使用时需不断搅拌	苫第一层麻刀泥时即铺三麻布。泥背干燥过程中需多次赶拍背、赶轧，以轧为主
6	苫第二层麻刀泥背	（4：6）掺灰泥：麻刀=100：2	尽量少加水，麻刀需搅拌均匀
7	苫月白麻刀灰背	泼灰：麻刀：青灰=100：5：20	尽量少加水，麻刀需搅拌均匀
8	铺浸过油浆的三麻布	将三麻布浸入油浆b后，控除多余油浆。三麻布浸油浆后尺寸减小约2.56%。三麻布宽度方向需减去两侧硬边后使用。三麻布横向搭接方式如图17中方式二所示。 油浆b配比为青浆：生桐油（体积比）=100：3	铺三麻布时，应由上至下将三麻布拍、轧入月白灰背，并将表面逗出浆。 月白灰背干燥过程中，多次刷油浆b并赶轧
9	苫青灰背	泼灰：麻刀：青灰=100：5：20刷青浆，三浆三轧	尽量少加水，麻刀需搅拌均匀

体顺堂的油灰护板灰很薄，约1mm，因此本实验没有涉及厚度为1cm左右的油灰护板灰的制作工艺。厚度为1cm左右的油灰护板灰有可能使用的拍背、轧背的做法。本实验得出的实验结论在实际大规模施工中需要根据实际情况进一步验证、调整和完善。

致谢：本实验得到古建专家刘大可、林其浩两位老师的悉心指导和帮助。实验手工操作配合单位为中兴文物建筑装饰工程有限公司（今中兴文建工程集团有限公司）。本实验项目经费由中国文物保护基金会（香港）资助。特此感谢！

参 考 文 献

[1] 刘大可. 中国古建筑瓦石营法（第二版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2015.

[2] 北京市质量技术监督局. DB11/T 889.3-2014文物建筑修缮工程操作规程第3部分：油作 [S]. 2014.