

# 幕墙饰面石材的物理化学及力学性能分析

张进生\* 王志 李玲 张文强

(山东工业大学, 济南 250061)

**摘要:** 本文对幕墙用饰面石材的物理化学和力学性能进行了初步分析, 并用有限元法对石材单元内部应力进行了理论计算, 指出了选择饰面石材时的注意事项。

幕墙用饰面石材的选择主要取决于工程实施所在地的气候条件和空气中的污染介质情况。当污染介质与水与空气混合时, 便会形成腐蚀性的化合物。而石材的表面往往存在裂纹, 如孔洞或裂缝。这些裂纹或是天然形成的, 或是由于加工过程(如加热、凿打、夹固等)而引起, 或是由于矿石的化学组织发生变化而引起。腐蚀性的物质通过表面裂纹进入石材内部, 对石材产生破坏。同样, 水可以通过裂缝进入石材内部, 在寒冷的气候条件下, 会产生频繁的冰冻和解冻过程, 这必然导致石材裂缝扩张, 使水渗透到石材的更深层, 从而加速了石材的破损。

缓慢而持续的化学腐蚀加上板材的物理机械损伤, 致使破损不断加剧, 使板材逐渐丧失抵抗力。当板材较薄或其晶格尺寸和微观裂纹相对其厚度尺寸可比时, 这种现象就越突出。

幕墙所荷载荷主要的也是最危险的是风载荷, 因为随着饰面石材厚度的减少, 风可在饰面上产生很大的弯曲应力。一旦作用于饰面上的载荷已经确定, 即根据单个板材的尺寸和要采用的固定系统来检测其

固定点处的整体和局部压力, 固定系统也会发生弹性变形, 弹性变形将使固定点偏离了理论上计算位置, 从而使固定沟槽的边缘超载。

在选用石材时, 应充分考虑气候、环境和载荷条件, 仔细、精确分析材料的物理化学性能和力学性能, 并根据石材特性和受力情况确定合适的幅面与厚度尺寸。

本文对石材的物理化学和力学性能进行了初步分析, 并用有限元法对石材单元内部应力进行了理论计算。

## 1 试验方法

对于天然石材的物理化学性能, 各国均制定了有关试验测定方法的标准, 最常用的有 ASTM (美国材料试验标准)、BS (英国工业标准) 和 DIN (德国工业标准), 我国也制定了相应的国家标准。

表 1 是依据美国的 ASTM 标准及我国相应的标准给出的天然石材性能的测试项目和方法。由表可知, 在各类测试方法中, 只有一项即耐候性试验方法 (ASTMC217) 是用来评价石材在类似的气候条件下的化学性能, 其余几项均是用测定石材的物理和力学特性来得到数据的。

通过这些试验, 我们可以获取有关石材性能方面及其破损情况的信息, 同时也可以用它来评价应用特殊的表面加工方法的可行性。在采取各类复杂的或先进的加工方法来加工石材制品时, 不能只考虑美感和艺术性而忽视加工过程对石材物理性能的影响。这一

作者地址: 山东省济南市经十路 73 号

电话: (0531) 2955081-2008

传真: (0531) 2950363

手机: 13805311704 (1258 语音箱)

收稿日期: 2000-03-22

\* 作者简介: 山东工业大学副教授, 石材工程技术研究所所长, 长期从事石材机械, 石材工艺及相关技术的理论研究和技术开发, 有多篇论文发表。

点应该引起我们的重视。

表1 测试方法

ASTM	试验内容	我国对应标准	试验内容
ASTMC97	吸水率和体积密度	GB9966.3	体积密度、真密度、真空气孔率、吸水率
ASTMC99	断裂模数	—	—
ASTMC170	抗压强度	—	—
ASTMC217	耐候性	GB9966.6	耐酸性
ASTMC241	耐磨性	GB9966.4	耐磨性
ASTMC580	弹性模量	—	—
ASTMC880	抗弯强度	GB9966.2	弯曲强度
ASTMC666	抗快速冷冻和解冻性	GB9966.1	干燥、水饱和、冻融循环后压缩试验

2 几项试验内容简介

2.1 断裂模数试验

断裂模数试验

图1所示为试验模型及弯矩图，其最大应力  $\sigma_{max} = 3WL / (2Bd^2)$ 。

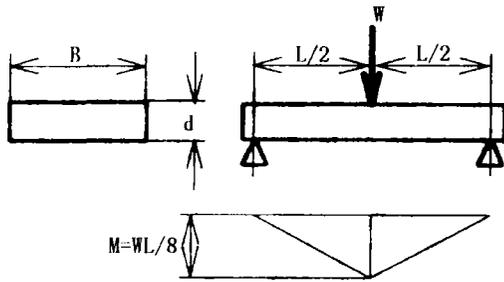


图1

注意，当应用较薄的板材时，其断裂模数要比试样的试验值要小。

2.2 抗弯强度试验

如图2所示，采用与断裂模数试验相同的试样，采用四点负荷方式，这样可以获得较为可行的抗弯强度值。其最大弯曲应力  $\sigma_{max} = 3WL / (4Bd^2)$ 。

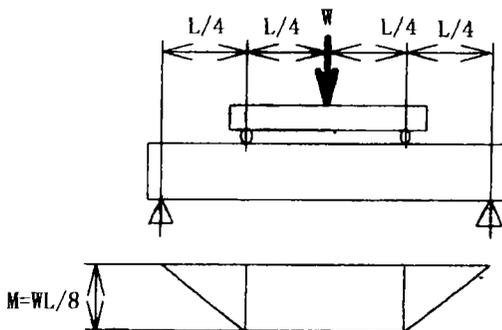


图2

2.3 吸水率试验和循环冰冻解冻后的强度试验

由前述试验可知，减少板材厚度必然引起弯曲应力和拉伸应力增大，使板材强度降低。在冰冻/解冻过程中，风载荷作为一个主要载荷，其影响力会大大提高。由于石材的抗拉强度要比抗压强度低(抗拉强度与抗压强度之比有时甚至小于1/20)，如果该材料吸水率高，且使用寒冷气候下，其弯曲强度将会更低。试验证明，寒冷条件下的材料弯曲强度会减小20%以上。

对于天然石材在频繁冰冻、解冻后的反应情况，我们可作以下的试验进行分析。

在频繁冰冻、解冻后石材的残余抗弯强度；

在频繁冰冻、解冻后，在板材固定点周围的残余静刚度。

由于温度的循环变化，在板材上作用着交变应力，使材料逐渐变形。时间长了，最终会使板材遭到破坏。通常条件下，板材表面产生小裂纹，材料的静刚度大大减小，安全水平明显降低。

2.4 天然石材化学性能浅析

花岗石主要来自于岩浆岩及部分火山岩与变质岩，它们主要是由镁、铁、钙、钠、钾的硅酸盐和铝硅酸盐类以及少量钛、锰、铁氧化物组成。大理石包括各种碳酸盐岩或镁质硅酸盐岩，它们的主要矿物组成是各种方解石、白云石或蛇纹石。

对于石材来说，对其影响最大的气体是SO<sub>2</sub>（主要来自于使用石油或煤炭作能源的工矿企业产生的污染）和NO<sub>x</sub>（主要来自交通污染）。在工业污染区，空气中的SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>等气体与水溶解粘附于碳酸盐石材表面，可反应生成可溶性盐或微溶盐。这些腐蚀性的盐类或是被雨水冲走或是吸附灰尘在石材表面形成坚硬而肮脏的皮层。疏松的石材孔隙大，微孔多，水分和腐蚀性介质容易进入石材内部，从而引起石材更大的破坏。

因而，对于外用饰面场合，我们应尽量选择孔隙分布均匀、孔径小、吸水率低的花岗石板材。并要采取恰当的防护措施来提高石材的抗腐蚀性能。

2.5 板材固定点周围应力集中的研究

对于饰面板材，由于其承受的载荷均通过固定点的支撑构件传递到建筑物上，故其周围存在着应力集中现象，使其周围材料失效，最终导致板材突然断裂。在确定板材规格尺寸时，首先应按此处的受力及应力情况分别计算确定。如图3所示，它为饰面石材干挂法的简易安装示意图，在外载荷（下转第16页）

在铺砌石材拼花板时,对纹路衔接,材料切割、尺寸误差控制一定要符合规范要求(在0~1mm间)。包装、运输石材也应按JC205-92要求的规定运作,从而为现场施工、铺贴质量作保证,打好基础。

### 二、铺贴前板材背面的处理

在铺贴施工前的技术处理中,考虑到花岗石、大理石的材质性能有明显区别,如花岗石强度大,耐酸耐碱性能好,因此抗风化能力强;而大理石则相对强度小,耐酸耐碱性能差,其抗风化能力则较弱。又因各石材的密度和吸水率不同,铺贴后有时起碱、泛碱、水斑、变色等现象产生,于是采取在板材背面满刷防水漆,可有效防止和控制上述问题的出现。

### 三、空鼓现象的控制工艺

用混凝土砂灰作垫层,按预拼的工序完成正常工艺作业后,采用1:1.5灰比搅拌成糊状,倒八字形均匀抹到板材背部,抹灰厚度最大不超过20mm,最小10mm左右,在无应力条件下,平稳落地,再用橡皮锤均匀敲击,使灰浆处于饱满状态,从而使空鼓现象得到有效控制。

### 四、高低差(错台)的整改工艺

由于石材的品种、材质、性能和硬度不同,加之

加工尺寸规格不尽完全一致和吻合,又因石材本身产生挠曲等因素,尽管铺贴时严格按工序运作与质量控制,但板材块对接的接缝平整度仍时有明显高低差发生。据此情况,结合多年经验,制定如下整改工艺方案:检查核准部位→美纹纸保护周边石材→小型磨机进行粗磨、顺平→金刚砂磨块手工均匀研磨→60#,150#,300#,500#,1000#,2000#,3000#软磨片细磨→3000#,5000#,7000#抛光片增光→增光油石手工细磨→3M毛毡,加少许上光粉抛光。

### 五、注意事项

美纹纸保护层碰破后要及时补贴;

粗磨时机具运作要平稳给力,受力一致,顺平宽度不宜过大;

软片磨光时,一定要保持充足水分,每一目数研磨片的使用一定要重复研磨三遍以上;

油石手工研磨时,注意少许用水,画弧形运作;

3M毛毡片要保持干燥。

经此番整修工艺处理后,用2m水平尺检查平整度,达到±0.1mm精度,认为是符合规定要求。用测光仪测其光泽度达到原石板水平(花岗石≥85以上,大理石>75以上)。

(上接第28页) (如风载荷)作用下,连接件给板材以作用力,我们近似以集中力F来表示。受力示意图简化成a图所示。应用时加工成b图形式,对于板材沟槽底部,A处的应力最大。

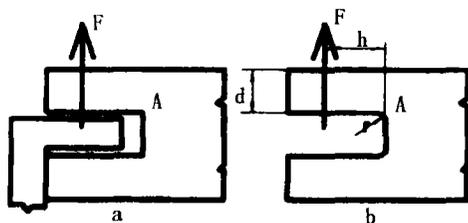


图3

$$\sigma_A = k\sigma$$

其中k为应力集中系数,  $k = f(r, d, h) = [1 + 0.26 \times (d/2r)^{0.7}] \times [1 + 0.106 \times (d/h)^{1.5}]$

$\sigma$ 为平均应力,  $\sigma = 6F \times h/d^2$

例如:若d=12mm, h=15mm,当r=0.5mm时,则k=2.67;当r=3.0mm时,则k=1.53。

由此可见,应力集中系数与圆弧半径r有关。对于如上所给定的尺寸d, h,当r=3.0mm变为r=0.5mm时,应力集中系数则由k=1.53变为k=2.67

(有75%的增幅)。对于石材这种脆性材料,假如板材固定沟槽底部的曲率半径很小,而沟槽底部往往又存在着小裂纹,因而当板材受到拉应力作用时是非常容易破损的。

有限元分析计算的结果同样表明,当r=3.0mm减为r=0.5mm时,其最大应力将增加50%以上。

### 3 结论

选择天然饰面石材时,我们不仅要考虑石材价格、美感等因素,更应该考虑到石材的物理化学性能。

从前面的试验我们可以得出以下结论:

板材上作用的载荷不同或载荷分布不同,板材中的最大弯曲应力就会不同。

对于较高吸水率的板材,在频繁冰冻——解冻后,其弯曲强度会减小20%以上,抵抗变形的能力大大降低,寿命也大大减少。

(3)在板材的固定点周围存在着应力集中现象,应力集中系数与沟槽底部的曲率半径有关,曲率半径越小,应力集中系数越大。因而对于干挂板材,要尽量避免其固定沟槽曲率半径过小。