

## 综述

## 无机胶结人造板

陈绪和 译

(中国林科院木材工业研究所)

## 一、木材与水泥的相互作用

水泥是一种脆性材料,通常用钢、玻璃纤维或石棉纤维增强,以克服其脆性。但因水泥属强碱性物质( $\text{pH}=12.6-12.8$ ),会腐蚀钢筋及玻璃纤维,使水泥制品强度不高。石棉纤维是良好的代用品,但对人体健康有害,在许多国家已禁止使用。木质刨花则是上述水泥增强材料的可能代用品。不进行预处理或加入化学助剂,一些树种的木材可与水泥良好结合,而另一些树种则不能良好地结合。

这种不相容性是由木材中某些阻碍水泥凝固的物质如单宁、糖类和抽出物等造成的。因某些单宁和糖类溶解于水或碱,当木材与水泥混合时,它们就从木材中分离出来,阻止水泥的水化进程。木材中此类阻碍物质的多少取决于心材和边材的体积比、木材储存的时间、采伐的季节、树皮量及腐朽程度等因素。

木材—水泥混合物水化过程中的最高温度可作为木材树种与水泥相容性的标志。最高水化温度越高,木材与水泥的相容性越高。

木材—水泥的水化作用发生在若干个不同的阶段:(1)快速阶段(15—30分钟);(2)潜伏阶段(2—4小时);(3)加速放热阶段或凝固阶段(数小时);(4)慢速硬化阶段(24小时),可延续至数年;(5)水泥常规凝固时间(15—21天)。

水泥和木材的相互作用包含若干复杂的化学和机械的过程。

水泥晶体与木材表面间相互的机械作用可部分地解释木材—水泥结合的机理。水泥水化形成良好的晶体,这些晶体挤在木材的表面并堵塞木材的纹孔、细胞腔或其它空隙。此时,受抑制的水泥的水化形成较少的晶体。阻碍物阻碍水泥水化,在水泥粒子表面形成保护膜以阻止其形成晶体。

水泥的金属离子与木材组份间的氢键结合和复合对晶体在木材—水泥结合中起了补充作用。木材中碳水化合物的羟基基团和水泥中的结晶水可形成氢键结合。木材中碳水化合物的羧基、羟基和木素

可与水泥中的钙、铁、铝等阳离子形成强离子键结合。

## 二、纤维素原料

木材是一种广泛使用的原材料,可采用刨片、木片、长刨花、木丝、纤维等形态。木材是一种有机材料,其基本组份为碳水化合物(如糖、纤维素和半纤维素)、抽出物(如树脂、脂肪酸、萜类化合物、酚和单宁)、木质素和灰份等。上述木材组份的量在针叶树材与阔叶树材间有所不同,且在树种间甚至同种异株间均有差异。阔叶树材比针叶树材含更多的糖、酚和半纤维素。木材的 $\text{pH}$ 值为3.2—8.2。

木刨花或木丝常用来生产水泥刨花板或水泥木丝板。而石膏更适于生产石膏纤维板以避免石膏与木刨花结合时易发生的回弹效应。在欧洲主要用废纸作木纤维的原料,其成本仅为木刨花的一半。

在水泥刨花板和石膏纤维板的生产中,废板坯和齐边下来的边条常回收至生产线利用。在石膏纤维板的生产中,回收的废料可占原料混合物重量的12%。

在以废纸为原料时,石块、金属等异物必须在磨浆前除去。应保持纤维形态的均一以利于板坯铺装和成板密度的均匀。

在以木刨花为原料时,原木上的树皮、杂物、腐朽材等均应在刨片前除去。因这些杂物阻碍水泥凝固,如将其留在板坯中,必须增加化学助剂的使用量以促使水泥的凝固。此外,树皮会在板面形成孔洞,而杂物加速刨片机刀具和锯片变钝。

适用于水泥刨花板生产的理想的刨花规格是35毫米长、0.35毫米厚、宽度不超过5毫米。刨花的厚度应力求均匀。原木如过干,刨出的刨花厚度不均。此时,原木宜在水中浸泡24小时后再进行刨片。刨花厚度和密度如不均匀会给铺装、热压带来麻烦。刨花的适宜含水率为6—8%。

新采伐的木材含有较多的碳水化合物和糖。例如,新采伐的橡胶木含有1.1—1.3%的单糖。在马来西亚,橡胶木是水泥刨花板生产的主要原料。原

木贮存2—5月,其单糖含量可降至0.2%,淀粉含量可降至1%。但原木贮存6—8个月又会导致原木腐朽。贮存4个月,常有变色菌侵入原木。

只有在特定的时间限度内贮存原木,才是降低木材糖含量的有效预处理方法。在这段时间内,糖含量降低到最低水平,而超过该段时间后糖含量又会升高。因此,必须在糖含量处于最低点时对橡胶木进行加工。但另一方面,贮存并非是降低酚和单宁含量的有效方法。况且木材的贮存量过大会增加费用及存在发生火灾的危险。

### 三、无机胶结剂

波特兰水泥、镁氧水泥、石膏、高炉炉渣和硅烟都被确认为适宜的胶结剂。

炼钢副产品高炉炉渣需先经碾碎再用。它是一种速凝胶结剂且比波特兰水泥便宜。高炉炉渣对可溶性糖和抽出物的阻凝作用不敏感。因而,原木或刨花无需作贮存等预处理。炉渣水泥的细度是获得良好胶结效果的重要因素。市售的炉渣有经碾磨的和未经碾磨的两种。

波特兰水泥由覆有氧化膜的四种分子组成:二氧化硅、铝、铁、钙。硅酸三钙和硅酸二钙分别占水泥重量的50%和25%。水泥的种类和标号随各组份的量的不同而不同。因而,不同的水泥标号显示不同的水化特征。

在不受热的情况下,水泥的硅酸三钙和硅酸二钙对水泥刨花板的强度有相反的影响。对云杉水泥刨花板而言,硅酸三钙有增强板子抗压强度的作用,而硅酸二钙则有削弱板子抗压强度的作用。

镁氧水泥是另一种快凝水泥,其凝固速度比波特兰水泥快,但其成本要高一倍。白云石或火山灰是较为价廉的代用品。镁氧水泥约含80%的碳酸镁。

因镁氧水泥凝固速度很快,使木材中的阻凝物来不及在水泥刨花混合物中起作用。故此种水泥可荐用于高阻凝物树种。为确保快凝,常采用适当的加温措施。

石膏有天然石膏和合成石膏。为从天然石膏生产石膏胶结剂,常用燃烧或煅烧工艺使二水组份脱水形成半水和无水组份。各种燃烧、煅烧方法形成石膏中的二水、半水及无水化合物组份的量各不相同。因此,和波特兰水泥的情况相似,石膏的不同标号也体现了不同的水化性能。

合成石膏、回收石膏或工业石膏是磷酸、氢氟酸和其它有机酸生产的副产品。也可用烟道气脱硫法生产。与天然石膏不同,合成石膏在煅烧前无需

磨细。

石膏亦可分为 $\alpha$ 石膏和 $\beta$ 石膏。墙和地板用石膏及熟石膏均为 $\beta$ 石膏。 $\beta$ 石膏特别适宜作石膏纤维板。

石膏对木材中的阻凝物质的敏感程度低于水泥。但多酚对石膏的阻凝作用较强。与水泥相似,石膏的结合强度亦取决于结晶过程。石膏晶体性脆,故石膏的抗压强度和抗弯强度较低。纤维的混入可起增强作用。石膏的水化速度较快,常为1—2小时。当石膏中半水组份接触水时水化过程迅速进行。改变煅烧石膏时的工艺参数及加入促凝剂可改变石膏的凝结时间。

硅烟(Silica fume)是高炉的一种副产品。因其量少,是一种较贵的胶结剂。但其质轻且可缩短热压时间,故可用于特种板的生产。

### 四、水和助剂

普通清水,如经过滤的河水即可使用。化学助剂用于加速无机胶结剂的固化,并使可溶阻凝物来不及与水泥组份反应。使用促凝剂可扩大原料使用范围,一些以前曾被认为是阻凝的树种如硬阔叶树材也可用作原料,甚至农业剩余物亦可利用。硅酸钠和硫酸铝是波特兰水泥良好的促凝剂。硫酸铝还有助于保护木材不受水泥碱性的侵蚀。二氧化碳也是水泥良好的促凝剂。对矿渣水泥而言,氢氧化钠和硅酸钠是常用的助剂。在压板过程中加热可促进水泥的固化。

### 五、工业生产方法

关于无机胶结人造板生产的工艺和设备有许多专利方法。仅石膏刨花板的生产方法就有五种: Babcock—BSH法、Kossatz—Bison半干法、Sch-enck法、Siempelkamp-Fermacell法和 Wuertex法。它们在原料制备、铺装成型和热压等方面各有特点。它们与传统的石膏板、纤维板等生产方法在用水量方面也有很大差异。传统的生产方法使用过量的水以保持浆料的自由流动,而上述五种新方法仅使用恰好使石膏固结所需的水。

墨西哥的一条水泥刨花板自动生产线的日生产能力为100立方米。如增加10%的附加投资其生产能力可以加倍。法国的一条日产为100立方米的生产线(二班)有工人19名。

现有的刨花板厂经改造可生产矿渣刨花板。无机胶结刨花板厂所需的投资随建设地点不同差异甚大。一般粗略估计需1000—1200万美元,且不包括厂房在内。

无机胶结刨花板生产线可设计成小型、劳动力密集型生产,也可设计成大型的半自动或全自动生产。在全自动生产线中,用压力传感器、红外和超声装置及计算机来监测生产过程和产品质量。

各种生产方法都包括下列基本工序:原料制备、搅拌、铺装成型、板坯加压、养护、干燥、齐边、砂光、压花、贴面等工序可增加产品的产值和利润。

## 六、典型的水泥刨花板生产流程

直径为150—200毫米的原木剥皮后刨片。刨花可进一步加工后经气流分选为粗刨花和细刨花。刨花、水泥、水和化学助剂经定量后进行批量式或连续式搅拌。然后在事先涂过油的钢垫板上铺上板坯。铺装机虽有多种,但都要求铺出厚度和密度都均匀的板坯。铺好的板坯码垛后送入单层或多层压机加压4—6分钟,时间的长短视板坯厚度而定。在板坯压至预定厚度时将垫板锁住,然后送入养护室处理6—8小时使水泥继续水化。其后,将板垛回送到压机,加压开模,垫板即与板子分开,经清理、涂油。板子单独堆垛进行干燥。干燥后的板子可裁成各种幅面规格。板子离厂时其含水率为9—12%。

## 七、水泥刨花板和石膏纤维板生产方法的差异

(1) 水泥刨花板生产中所用水/灰比比石膏纤维板中水/膏比大;(2) 水泥刨花板板坯铺在垫板上,石膏纤维板板坯铺在钢带或网带上;(3) 水泥刨花板板坯的加压用单层或多层压机间歇式进行,石膏纤维板采用专用设备连续加压,这是因为其加水量精确,在加压过程中无自由水挤出;(4) 水泥刨花板常用干燥窑间歇式干燥,石膏纤维板则采用滚筒干燥机或网带干燥机连续干燥,网带干燥机的干燥速度比滚筒干燥机快;(5) 水泥刨花板表面常需砂光,而石膏纤维板则不需要。

石膏纤维板的生产有两个问题需进一步改进:

(1) 怎样在低水/膏比(0.3—0.4)情况下使物料混合均匀以保证完全水化;(2) 怎样调节水化时间使其与连续加压速度协调。

## 八、质量控制

必须对原料准备、制板过程和成板后处理三部分经常检查,以确保正常生产。

在原料准备阶段必须对贮存的原料每月检查其含水率、碳水化合物含量和抽提物含量。对每批水泥要检验其凝固情况。

在制板阶段要定期检查下列工艺因子:刨花厚度(如换刀后必须检查)、刨花含水率、化学助剂

的温度和比重、铺装均匀性、成板的强度指标、板干燥后的厚度、密度、强度、尺寸稳定性。

在后处理阶段,必须检查齐边、砂光后板的含水率和板的厚度的均匀性。对成品板的目测检验必须不间断地进行。

## 九、产品性能

无机胶结人造板具有良好的阻燃、抗白蚁和真菌性能、在潮湿状态下较好的尺寸稳定性、良好的力学性能、隔热隔音性能和加工性能。

### 1. 阻燃性能

无机胶结人造板的阻燃性能来自无机胶结剂的不燃烧性能。但由于板中纤维素组份在强烈作用下会分解,因而板不具有防火性能。

因水泥刨花板阻燃性能良好,日本在1923年东京大地震后的1925年从西德进口水泥刨花板。在那次地震中仅东京就有7.2万人死亡,其中半数死于火灾。如今,日本的住宅和建筑物的材料都要求具备阻燃性能。为确保木材—水泥制品具备这种性能,日本制造标准规定了制品中水泥最低用量的限额。美国制造的水泥刨花瓦则保证50年内具有阻燃性能。

### 2. 抗白蚁和真菌能力

白蚁及其它害虫很难完全破坏涂有无机胶结剂的纤维素材料。此外,一些化学助剂具有矿化作用,它们使纤维素原料变得具有抗生物、化学和风化降等的能力。

为确认水泥刨花板的抗真菌能力,曾把一块样板置于地面达30年。结果真菌的侵入仅限于外层2毫米厚度以内。

### 3. 潮湿状态下板的尺寸稳定性

在潮湿状态下,水泥刨花板和水泥纤维板性能不同。水泥刨花板具有耐候性能,而水泥纤维板则不具备耐候性能。因高碱性水泥使纤维降解,水泥纤维板在长期置于潮湿环境后强度大为下降。因而在生产水泥纤维板时推荐采用低碱性胶结剂如高炉炉渣等。此外,石膏纤维板抗湿性能差,只能用于室内。

当温度为20℃,相对湿度从30%变为90%时,水泥刨花板的线膨胀系数为0.3%。在相似条件下,石膏纤维板的线膨胀系数为0.03—0.09%。浸水24小时水泥刨花板的厚度膨胀率低于1%,而华夫刨花板则达20%。

### 4. 可加工性能

无机胶结刨花板可用加工树脂胶刨花板的设备

和刀具进行加工。此类板材可胶合、油漆、喷涂及锯、钻孔、打钉、拧螺丝、开槽。也可覆贴墙纸、单板、瓷砖、金属箔等装饰材料。

在用硬质合金锯片加工水泥刨花板或石膏刨花板时,锯片的磨损要比加工树脂胶刨花板为轻。

### 5.力学性能

无机胶结人造板是强度高耐久性好的材料。通常,水泥刨花板的弹性模量与胶合板相当,但胶合板的抗弯强度较高。

8—9毫米厚的石膏纤维板的抗冲击韧性低于胶合板。

在短期强度测试中发现,水泥刨花板的抗弯强度在不同牌号间及同一牌号的差异均较大。在被测的30个试样中,变异系数达12—14%。虽然在弹性模量与板的密度之间有对应关系,但仅有50%的板的弹性模量的变异来自密度的变化,另50%的变异则系其他因子引起。

在4年的长期强度测试中有人发现水泥刨花板的内结合强度增长了40%。在八年的测试中则发现同一块板的抗弯强度增长11%,而弹性模量则增长12%。

水泥刨花板在20℃的水中浸泡24小时再干燥后其抗弯强度为其初始强度的70—74%,而华夫刨花板仅为其初始强度的40%。此外,快速老化测试则表明,在经过25个循环的16小时冰冻—8小时浸水(20℃)的试验后,水泥刨花板的抗弯强度仍可保留90%。

### 十、产品的局限性

(1)水泥刨花板的性能尚不足抵御周期性的长时间的高温(如置于炉中)、强化学物品的腐蚀和磨损。(2)无机胶结刨花板要比胶合板、刨花板等普通人造板重。普通水泥刨花板的密度为1200 kg/m<sup>3</sup>,而刨花板为640—800 kg/m<sup>3</sup>。(3)无机胶结人造板性脆,必须小心搬运以免破裂。(4)制造工艺掌握不当会导致成品板强度和尺寸稳定性不佳。

### 十一、产品应用和市场情况

无机胶结人造板适宜多种用途使用,如墙板、地板、隔墙板、天花板等。但除石膏纤维板外,此类板主要用于需具备阻燃、抗腐及在潮湿状态下有良好尺寸稳定性的场合。因而,常用于厨房、洗澡间、屋顶、地板衬板、外墙、游泳池、温室、隧道等地下工程。在使用此类板时,不可将它们简单地

作为胶合板和树脂胶刨花板的代用材料,而是要充分利用它们的特殊的性能。此外,由于无机胶结人造板刚性较好,宜作墙体结构使用。

预制模数构件是建筑技术的新发展。比松折叠法(Bison Folding System)和Foldex Building System法是两种较著名的预制模数结构技术。它们将水泥刨花板用于制造墙、天花板、隔墙、地板等可折叠房屋构件。之所以能使用这类技术,是因为无机胶结人造板的可胶合、开槽、并可与天然木材、钢等其它构件紧固连接等特性。

在欧洲,这种预制模数结构已推广使用。其优点是灵活性高、施工费用低。与通常施工方法相比,预制模数设计法大大方便了运输和安装、拆迁和改装。因其部件可大批量生产,降低了商品房成本。因其安装、拆迁方便,特别适宜作临时性的住房。此类房屋的部件都在工厂造成,其耐久性、隔热保温性能和阻燃性能都可得到保证。

今日,无机胶结刨花板已在欧洲占有较好的市场,它们广泛用于办公楼、学校、医院、体育馆、音乐厅和商场建筑。此外,还广泛用作高速公路路标和广告牌等。

欧洲和其它地区无机胶结刨花板厂数的增加亦表明此类板材市场情况良好。但美国很少在建筑上使用此类板材,其原因是:(1)水泥刨花板比石膏板、脲醛刨花板、胶合板和中密度纤维板价格高;(2)美国木材和石膏资源丰富,石膏墙板和天然木材成本比水泥刨花板低;(3)水泥刨花板较重,美国的建筑工人更喜欢胶合板一类的轻质建筑材料;(4)尚不习惯使用无机胶结人造板;(5)美国各州对防火标准要求不一,使无机胶结人造板等级划分困难。

但无机胶结刨花板在美国仍将有较好的市场,其理由是:(1)美国有丰富的木材和石膏资源,具备生产价廉的石膏纤维板和石膏刨花板的条件;(2)建筑设计有采用模数结构设计的趋势,亦可减少对技术熟练施工队伍的需求。此外,起吊设备的改进亦使施工变得方便。

(摘译自1988年10月国际无机胶结人造板讨论会论文Wood mineral board)