

树脂透光混凝土的制备方法及其研究进展

姜志国¹ 于 丰¹ 张 均¹ 姚 明¹ 夏春蕾² 杨 晶²

(1.北京化工大学,北京 100029;2.北京市市政工程研究院,北京 100037)

摘 要 树脂透光混凝土是区别于光纤透光混凝土的另一种重要的透光混凝土产品形式。简单介绍了树脂透光混凝土的制备、市售产品,并与光纤透光混凝土进行对比分析,着重介绍了树脂透光混凝土的制备方法及其发展情况,并对树脂透光混凝土的发展方向进行了展望。

关键词 透光混凝土,树脂,制备方法,研究进展

Preparation method and research progress of resin light conductive concrete

Jiang Zhiguo¹ Yu Feng¹ Zhang Jun¹ Yao Ming¹ Xia Chunlei² Yang Jing²

(1.Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;
2.Beijing Municipal Engineering Research Institute, Beijing 100037)

Abstract The resin light conductive concrete, which is different from the optical fiber light conductive concrete, is another important light conductive concrete product form. The generation and market product of resin light conductive concrete were simply introduced, and comparison between these two kinds of light conductive concretes was also made. After that, the preparation method and its development were emphatically introduced. Finally, the development direction of resin light conductive concrete was prospected.

Key words light conductive concrete, resin, preparation method, research progress

2001 年,匈牙利建筑师 Aron Losonczy^[1]将光学纤维和混凝土结合在一起,利用贯穿混凝土的透光材料实现对光线的传导,从而制造出一种半透明混凝土材料,这种材料是一种全新透光材料,在材料组成、透光原理和材料性能等方面与传统透光材料完全不同^[2]。植入混凝土中的透光材料让混凝土具有了透明属性,这种透明属性使透光混凝土对自然光线和人工光线具有传输能力,带来一种透明的感觉,而且可以通过透光混凝土传输光线,重构放置在透光混凝土背后物体的影像。

透光混凝土的出现打破了人们对传统混凝土密实阴暗、笨重沉闷、庞大单调的印象^[3]。以透光混凝土作为建筑材料,可改善屋内采光、节约照明用电,同时可作为一种新型的装饰材料^[4]。笔者基于透光混凝土最新产品形式和制备工艺,综述了树脂透光混凝土的产生、市售产品,并与光纤透光混凝土进行对比分析,着重介绍了树脂透光混凝土的制备方法及其发展情况,并对树脂透光混凝土的发展方向进行了展望。

1 树脂透光混凝土

1.1 制备

为满足上海世博会建造一面能透光水泥墙体的设计要求,意大利水泥集团于 2008 年 6 月,着手研制一种新型的半透明混凝土,其研发团队经过不懈努力,最终设计并制造出一款透光性更好的混凝土产品“i. light”,即树脂透光混凝土,其产品形式如图 1 所示。



图 1 i. light 产品示意图^[5]

透光混凝土产品“i. light”经过其研发团队的不

断改进,最终达到了工业应用要求,它可以耐受住 500km/h 的大风,具有良好的耐开撕裂性,并且在自然环境中暴露两年时间,其性能无明显变化^[5]。其主要性能指标如表 1 所示。

表 1 i. ligh 的物理和机械性能^[5]

性能	指标
尺寸/mm	50×500×1000
质量/kg	50
透明度/%	18~20
耐久性	两年时间内无明显降解
弹性极限/MPa	1.92
最大张力/MPa	7.7

1.2 与光纤透光混凝土的对比

树脂透光混凝土是一种新型的透光混凝土形式,与原有光纤透光混凝土在产品价格、透光率、制造工艺和性能等方面都具有明显的差异,具体如下:

(1)树脂透光混凝土造价更低。例如,制造 300mm×300mm×10mm 大小的透光混凝土板,树脂透光混凝土中树脂主材的价格是 12.7 元,而光纤透光混凝土中光纤主材的价格是 215 元^[6],而匈牙利 litracon 公司的光纤透光混凝土产品价格更是高达 2000 欧元/m³^[9]。因此,光纤价格的居高不下限制了光纤透光混凝土的大规模应用,相比而言,树脂透光混凝土具有更好的市场前景。

(2)树脂透光混凝土的透光率更高。树脂透光混凝土中树脂所占的表面积较大,并且当光线入射角不佳时光线也能透过混凝土,而光纤透光混凝土对光线入射角要求苛刻,入射角过大时光线就不能透过混凝土。叶栩娜^[6]研究发现,制作一块相同尺寸的透光混凝土板,树脂透光混凝土的理论透光率为 17.7%,而光纤透光混凝土的理论透光率仅为 2.13%。

(3)树脂透光混凝土的后处理工艺简单。树脂透光混凝土抛光过程简单,而光纤透光混凝土需要深度抛光,往往需要抛去大量表层混凝土才能让光纤露出来,这一过程浪费了大量的光纤,且制作工序复杂,消耗了大量的人力。

(4)树脂透光混凝土只能用作非承重构件。树脂透光混凝土可作为屋顶、墙壁、隔板上的装饰元素、阳台、楼梯和室内设计项目,而光纤透光混凝土本身就能承受较大载荷^[7],并且其制备方法经过不断研究创新,目前可以作为承重构件。有中国专利^[8]提供了一种高抗压高抗裂光纤透光混凝土的制

备方法,其在混凝土制备过程中加入了玻璃网栅状织物,使得所制得的光纤透光混凝土具有较好的抗压性能;还有中国专利^[9]提供了一种光纤透光混凝土现场浇注的方法,在其构件中混入钢筋,钢筋的引入极大地提高了透光混凝土产品的抗压性能,且此种透光混凝土构件中光纤所占体积较小,对混凝土的结构影响不大,故可以作为承重构件。

2 树脂透光混凝土的研究进展

2.1 国外树脂透光混凝土的研究进展

树脂透光混凝土相比光纤透光混凝土起步较晚,并且由于专利限制,国外目前只有意大利水泥集团在研究和生产树脂透光混凝土。

2.1.1 传统制备方法

根据透光材料嵌入砂浆方式的不同,意大利水泥集团传统制备树脂透光混凝土的方法可以分为预制法和浇注法。

(1)预制法成型过程:首先,将所用的透光材料(有机玻璃、环氧树脂、聚碳酸酯等)制成或切割成尺寸与模具大小相匹配的透光树脂板,在透光树脂板的表面喷涂上反光油漆;其后,将透光树脂板规则地固定在模具底部;随后,将砂浆倒入模具中,使透光树脂板几乎完全埋入砂浆,但其上表面不能被砂浆覆盖;最后,砂浆自然固化,将制成的透光混凝土板提取出来。

(2)浇注法成型过程:首先,在模具底部铺上一层薄薄的可压缩材料,如硅橡胶;其后,将砂浆倒入模具中,将塑料板规则嵌入砂浆,板的一端插到模具底部,另一端不能埋入砂浆;随后,在砂浆快固化的时候,将塑料板抽出,形成开孔;待水泥砂浆继续固化一段时间,在开孔内部喷涂反光涂料;最后,待反光涂料固化后,将液体状的透明树脂注入开孔内,让树脂和水泥砂浆一起固化成型,固化完全后提取透光混凝土板。

上述两种制备方法所用水泥砂浆配方如表 2 所示。

在上述制备工艺中,所用反光涂料是以丙烯酸酯为基料,将一定比例的定向反光材料混合在溶剂中配成的。丙烯酸酯是为了提供粘接力,让反光材料能粘附在水泥表面。喷涂上反光涂料既能增加透光材料的透光率,又能防止透光材料被碱性的水泥砂浆腐蚀;砂浆配方中所用聚合物纤维是为了防止水泥固化收缩时透光树脂和水泥接触的位置发生开裂^[10]。

表 2 水泥砂浆初始配方^[10]

组分	用量	备注
水泥+5% 硫铝酸盐/ (kg·m ⁻³)	420~520	牌号为 CEM I 52.5R
空气分离钙质填料/ (kg·m ⁻³)	230~330	
骨料/(kg·m ⁻³)	1300~1400	最大粒径为 2mm
水灰比	0.45~0.55	
膨胀剂/(kg·m ⁻³)	根据其他组分用量选用	
减缩剂/(kg·m ⁻³)	根据其他组分用量选用	
膨胀剂/(kg·m ⁻³)	根据其他组分用量选用	
聚合物纤维/(kg·m ⁻³)	1	

2.1.2 制备方法的发展

意大利水泥集团在 2013 年申请的专利中对其制备方法做了改进。在将透光树脂板嵌入砂浆前,先将其浸泡在 40~50℃ 水中一段时间,使其吸水达到饱和,这样在浇注砂浆后透光树脂板不会吸收砂浆中的水分,避免其吸水膨胀,影响制品结构的稳定性。其砂浆配方如表 3 所示,与表 2 中砂浆配方相比,其最大的不同点在于其配方加入了不锈钢短纤维,不锈钢短纤维的加入极大地提高了透光混凝土板的抗撕裂性以及弯曲强度^[11]。

表 3 水泥砂浆改进后配方^[11]

组分	用量	备注
水泥/(kg·m ⁻³)	350~450	牌号为 CEM I 52.5R
沙子/(kg·m ⁻³)	200~350	
骨料/(kg·m ⁻³)	1400~1500	最大粒径 2mm
水灰比	0.40~0.55	
减缩剂/(kg·m ⁻³)	根据其他组分用量选择	
膨胀剂/(kg·m ⁻³)	根据其他组分用量选择	
减水剂/(kg·m ⁻³)	根据其他组分用量选择	
聚丙烯纤维/(kg·m ⁻³)	1	
不锈钢纤维/(kg·m ⁻³)	40~50	长度为 6mm

尽管意大利水泥集团对原有工艺进行了初步改进,但改进后的工艺仍存在以下不足:(1)将透光树脂板切割成特定形状时,产生大量废料;(2)透光树脂板在模具内的排布缺乏平行性和直线性,导致产品表面质量欠佳,废品率高;(3)模具每次只能浇注一块透光混凝土板,生产效率低下,成本较高;(4)生产缺乏弹性,一个模具只能生产一种厚度的透光混凝土板,若需要生产不同尺寸的透光混凝土板,就需

要制作大量的模具;(5)有机玻璃等透光树脂板和水泥石体的热相容性差,在受热时透光混凝土板容易开裂。

因此,意大利水泥集团于 2016 年申请的专利中,对其制备过程作进一步改进:(1)模具换成了长棱柱形,即增加了模具的高度,并在模具中增加了大量透光树脂板定位卡槽;(2)使用与水泥热相容性较好、且更为廉价的玻璃板替代有机玻璃等树脂板作为透光材料,且其长度与模具的高度匹配;(3)浇注水泥砂浆,待其固化后,将此半成品透光混凝土取出,然后将其沿垂直于高度方向切割成需要的厚度,最终制得多块透光混凝土板。

改进后的工艺在不调整模具的情况下,能够制得厚度不同的透光混凝土产品,并且产品中透光材料的排布更加规则有序,产品表面质量大为提高,降低了产品的废品率,最终提高了生产效率,降低了产品成本^[12]。

2.2 国内树脂透光混凝土的研究进展

目前,国内对树脂透光混凝土的研究并不多,报道较少。王信刚^[13]对树脂透光混凝土的生产工艺做了一些研究,主要研究了砂浆配方、透光混凝土的力学性能、透光性能以及通过 X 射线衍射、扫描电镜等手段研究了透光混凝土的微观结构。

王信刚团队制造树脂透光混凝土的生产步骤主要包括:(1)将树脂、引发剂、促进剂按一定比例配成透光树脂;(2)将树脂倒入树脂成型模具中,以预制透光树脂单元,待其硬化后拆模,所制得的透光树脂单元结构如图 2 所示,然后将预制的透光树脂单元放入混凝土成型模具中;(3)配制砂浆,将其倒入砂浆成型模具中,待其达到一定强度后拆模,并抛光打磨,最终制得树脂透光混凝土板^[13]。

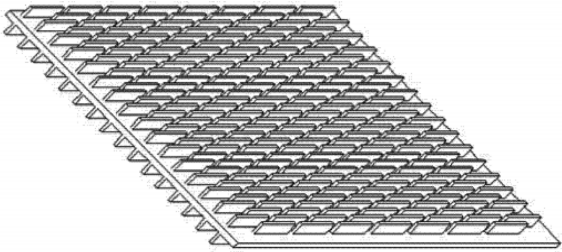


图 2 树脂单元结构^[13]

此生产工艺最突出的特点是制得的透光树脂单元是一个整体,其表面的透光小树脂块均匀规则排布,而不用再依靠人工去实现对小树脂块的定位,使其均匀分布在水泥砂浆中,这一制备方法简化了生产流程,确保制得的产品具有较高的表面质量。

3 对树脂透光混凝土发展方向的展望

目前国内对光纤透光混凝土的研究较多,而对树脂透光混凝土的研究很少,相比于光纤透光混凝土,树脂透光混凝土的成本更低、透光率更高,更具有市场应用前景,其在建筑上已经有过两次成功的应用案例,例如 2010 年上海世博会意大利馆(如图 3 所示),其 40% 的墙面采用了树脂透光混凝土来修建,共消耗了 3774 块 $50\text{mm} \times 500\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的透光混凝土板,覆盖了 1887m^2 的墙面。用透光混凝土建造的建筑在白天随着阳光的变化,能产生一个不断变换的光影效果,在晚上这种透明效果更加明显,在室外能看到室内投射出来的灯光^[5]。开馆以来每天游客络绎不绝,前 3 个月参观人数就超过了 250 万,各大媒体争相报道,树脂透光混凝土的此次亮相在国内引起了极大的轰动。又例如 2011 年开馆的,位于曼谷的意大利大使馆也采用了树脂透光混凝土来建造,这是树脂透光混凝土在上海世博会之后,在建筑上的另一次大规模应用,同样在泰国引起了极大的轰动。未来几年树脂透光混凝土也必将成为国内的一个研究热点。



图 3 上海世博会意大利馆效果图^[5](室内和室外)

4 结语

目前树脂透光混凝土的弯曲强度太低,对于墙面来说,安全性显得尤为重要,故提高其抗折强度是必要的,避免墙体受到撞击并破裂而砸伤人,另外目前树脂透光混凝土只能作为非承重结构,所以提高弯曲强度以及抗压强度将是今后树脂透光混凝土的一大发展方向,为其大规模的应用铺平道路。

参考文献

- [1] Litracon.公司简介[OL].<http://www.litracon.hu>.
- [2] 李悦,郭慧.透光混凝土的研究进展[J].混凝土,2013(6):5-8.
- [3] 陈瑶.透明混凝土材料在建筑设计中的应用研究[D].南京:南京大学,2011.
- [4] 周灵德.水泥基透光砌块的研究[J].混凝土,2013(6):118-119.
- [5] 意大利水泥集团.企业新闻[OL].<http://www.italcementigroup.com>.
- [6] 叶棚娜.树脂透光混凝土的制备方法与力学性能研究[D].南昌:南昌大学,2014.
- [7] LOSONCZI. Building block comprising light transmitting fibres and a method for producing the same; SE, 097954A1[P]. 2003-11-27.
- [8] 王文韬.抗压抗裂的透光混凝土:中国,203004030A[P].2013-06-19.
- [9] 杨文,王军,赵日照,等.一种现场浇注透光混凝土的施工方法:中国,102605954A[P].2012-07-25.
- [10] Stefano Cangiano. Composite panel made from cementitious mortar with properties of transparency; US, 0244181[P]. 2011-10-06.
- [11] Stefano Cangiano. Composite panel based on cementitious mortar with properties of transparency; US, 0084424A1[P]. 2013-04-04.
- [12] Stefano Cangiano. Method for manufacturing panels having translucent elements; US, 0185016A1[P]. 2016-06-30.
- [13] 王信刚.一种树脂透光混凝土及其制备方法:中国,103086660A[P].2013-05-08.

收稿日期:2016-12-02

(上接第 234 页)

- [8] Zhao F C, Zeng X R, Li H Q, et al. Preparation and characterization of nano-SiO₂/fluorinated polyacrylate composite latex via nano-SiO₂/acrylate dispersion[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2012, 396: 328-335.
- [9] Lu T, Qi D M, Zhang D, et al. Fabrication of self-cross-linking fluorinated polyacrylate latex particles with core-shell structure and film properties[J]. Reactive and Functional Polymers, 2016, 104: 9-14.
- [10] 陈鑫涛,王罗新,蔡静平,等.环糊精作用下核壳型含氟丙烯酸酯乳液的合成及表征[J]. 印染助剂, 2012, 29(1): 19-22.

- [11] 林春香,刘丹慧,骆微,等.核壳含氟硅织物整理剂的可控制备及其表征[J]. 功能材料, 2014, 45(22): 22070-22074, 22078.
- [12] 宁永成. 有机波谱学谱图解析[M]. 北京: 科学出版社, 2010, 106-115.
- [13] 祁景玉. 现代分析测试技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 2005, 399-403.
- [14] 门靖,安秋凤,亢玲娟,等.羧基聚硅氧烷乳液的成膜形貌与应用[J]. 印染助剂, 2011, 28(3): 19-21.
- [15] 芦春燕,曹国荣.含氟丙烯酸酯共聚物乳液的制备与性能研究[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 74-78, 133.

收稿日期:2016-11-07