



曲翠松

同济大学建筑与城市规划学院副教授，德国达姆斯达特工业大学，建筑学工学博士。主要研究方向：建筑结构体系与建筑设计，建筑材料与建筑设计，建筑节能设计。著作：《建筑结构体系与形态设计》、《建筑材料与建筑形态设计》。

INTEGRATED APPLICATION OF MODERN SYNTHETIC MATERIALS IN BUILDINGS

现代合成材料在建筑中的整合应用

摘要 现代合成材料在我国建筑中的应用十分广泛，但整合应用却极为罕见。从20世纪50年代起，西方发达国家建筑界致力于合成材料在建筑中的整合应用，充分发挥其环保、高效和经济的优势，不仅符合建筑发展的要求，也促进了合成材料科技的发展。通过对建筑中现代合成材料整合应用的发展及现状进行综述型的分析研究，并展望其发展前景，以唤起我国建筑界对此领域研究和应用的重视。

关键词 现代合成材料 建筑 整合应用

0 引言

诞生150余年来，合成材料已经成为人们日常生活中不可缺少的组成部分。合成材料种类繁多，早在20世纪90年代其全球总产量就超过了钢材，使用量之大、应用面之广十分惊人，且早已应用到建筑领域。现代合成材料有着其他传统建材不能比拟的优点，在建筑中的整合应用可以使建筑满足新时代的要求，如寿命长、不生锈、保温隔热性能好、隔噪声性强，最重要的是轻质、易于加工、运输、维护和清洁。随着科技的进步，传统建筑材料所不具备的高性能并且环保的新型合成材料不断涌现。现代合成材料无疑是当今最具有时代特征以及未来可持续发展潜力的材料。

由于我国工业发展滞后，自主研发能力薄弱，合成材料的技术多来自国外发达国家，尤其在建筑领域，虽然合成材料的应用已经深入到建筑的各个方面，量大面广，但缺乏整合应用的实例，对于合成材料建筑整合应用的系统性研究还是一片空白。这无疑影响了我国建筑领域有效利用新型高效节能的合成材料，也不利于合成材料在我国的后续发展，进而影响到我国未来建材经济的发展。本文介绍并分析了国际上现代合成材料在建筑中整合应用的发展状况及其现状，以期对我国建筑、建材行业的未来研究与发展起到一定的促进作用。

1 合成材料整合建筑的诞生

新材料抑或一种新的建筑形式的诞生都是为了适应社会需求。二十世纪五六十年代是欧美化学工业迅速发展的时代，合成材料轻便、使用灵活，一方面其强度、隔热性、耐候性等性能不断得到改进，另一方面其造价低可以大量生产，正好适合年轻一代的自由、解放的需求。如何将合成材料与建筑工业化相结合以实现合成材料建筑的整合应用、系列化，就成为国际实力雄厚的化工集团和前卫建筑师追求的目标。

Monsanto House, 美国

1954年美国孟山都化工集团（Monsanto）委托MIT研制完全由人工合成材料建成的住宅，旨在最终为美国市场提供系列化的独立式住宅产品。1955年MIT发表了其研究成果“建筑中的人工合成材料”。经过两年的研究，1957年首次在加利福尼亚的迪斯尼建成了一个样板房，从而开创了合成材料在建筑中的运用先河。

Monsanto House，也称为未来之家，平面呈十字形，建筑的核心为方形，坐落在混凝土基座上，



图1 Monsanto House外观



图3 Bulle Six Coque外观



图5 Futuro外观

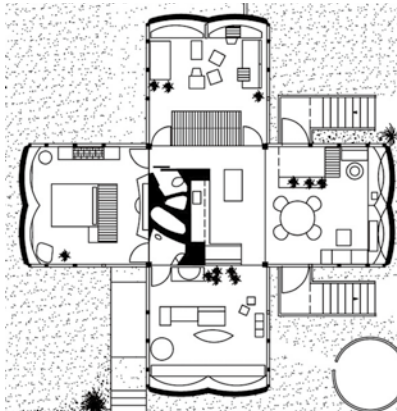


图2 Monsanto House平面图

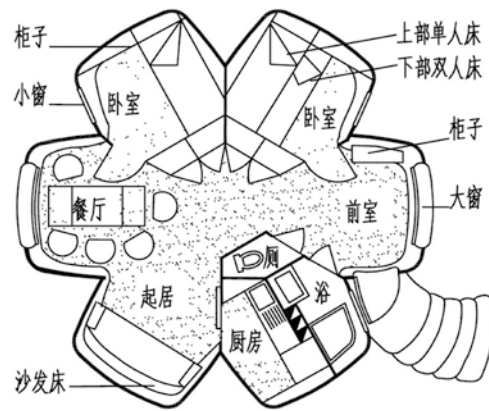


图4 Bulle Six Coque平面图

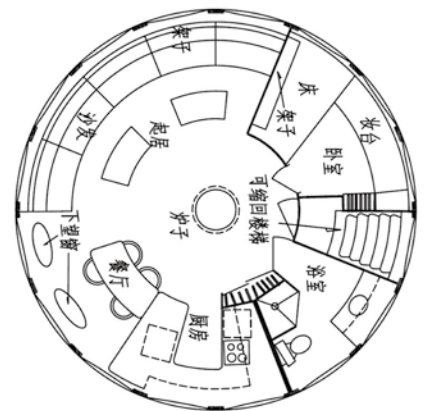


图6 Futuro平面图

内部包含卫生间、浴室和厨房。从核心部位出挑四个正交的侧翼，高4m，出挑长度4.8m，内部为起居室和卧室，提供120m²的使用面积（图1，2）。建筑的外壳为7~11cm厚的一体化夹芯板，由7.5mm厚玻璃纤维加强树脂构成面层，中间为7~10cm聚酯材料的发泡蜂窝，局部使用木材加固。建筑外窗使用丙烯酸玻璃，建筑内部装修以及从架子、橱柜到餐桌等家具也几乎全部是合成材料的。建筑的主要使用空间即出挑部分的自重仅为50kg/m²，远远低于使用传统材料的建筑。

2 合成材料整合建筑的发展

合成材料整合建筑在美国的成功建造引发了欧洲各国的浓厚兴趣，虽然此前也不乏使用合成材料的建筑设计作品，但由于种种原因均未能实施。当时的目标是利用合成材料的优点，建造符合未来生活模式的建筑，如使用灵活以适应家庭的变化，迁移简单以适应不断增加的流动性，通过工业化预制实现造价经济以适合增长的中产阶层等，到20世纪60年代末期使用全合成材料建造的建筑类型急剧增加。

Bulle Six Coque, 法国

1969~1970年间，在法国的若干个度假圣地建起了约100个Bulle Six Coque度假屋（建筑师：J. Maneval），度假屋的名字是依据其造型而来，即六瓣贝壳气泡（图3，4）。每个壳体单元高度为2.3m，出挑长度为2.95m，壳体的厚度为4.5cm，其内部是4cm厚聚氨酯硬泡沫，两面各为2.5mm厚玻璃纤维加强树脂。建筑师受到法国化工企业Bâti-Plastique的支持，先进行两年的产品和市场研究、小体量样本测试后，第一次生产了20个Bulle Six Coque度假屋，并为其申请了专利。

Futuro, 芬兰

1968年在芬兰首次建造了全合成材料的Futuro（建筑师：Matti Suuronen），是当时世界上最著名的人工合成材料建筑，其部件全部预制（图5，6）。主体是一个高3.8m、直径7.8m的扁圆形建筑，其底部支承在一个有支架的钢环上，提供50m²使用面积。建筑由16片壳体预制好后粘合而成，断面总厚度58mm，由3~5mm玻璃纤维增强塑料面层和5cm聚氨酯泡沫夹芯层组成。

Futuro是专利产品，可以通过一个吊车用两天时间组装完成，并且可以使用直升飞机整幢运送。到1978年在芬兰总共建成了20个Futuro，目前全世界约建成60个，分布在美国、澳大利亚、新西兰、日本等国家。类似的合成材料整合建筑还有瑞士巴塞尔的Rondo（建筑师：Casoni & Casoni，1968年）。



图7 fg2000外观

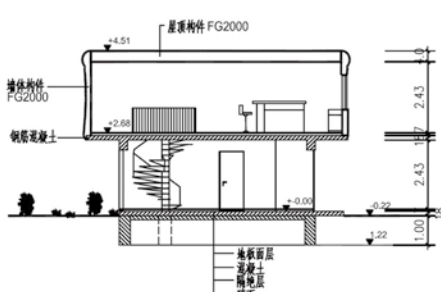


图8 fg2000剖面图

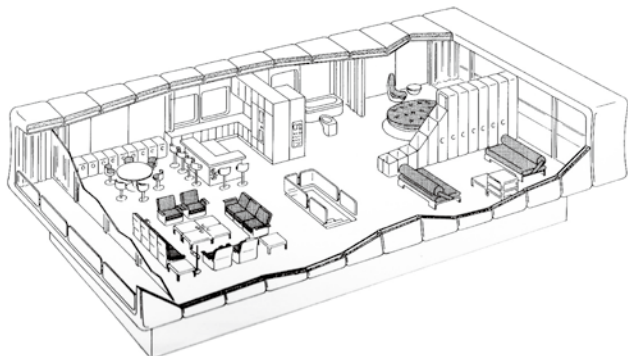


图9 fg2000内部空间轴测图

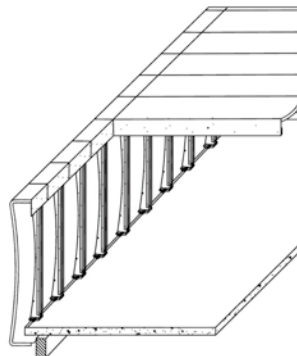


图10 fg2000承重结构轴测图

fg2000, 德国

1968年建于德国Altenstadt的fg2000（建筑师：Wolfgang Feierbach）首次突破了合成材料整合建筑在平面布局上所受的约束，采用长方形平面，内部可自由分隔，更适合使用者的需要（图7~9）。建筑的主要使用面积115m²，由一个门架结构围合而成，坐落在一个混凝土基座上。门架跨度10.55m、高度2.95m，分别由墙体构件和屋顶构件组成，构件的结构高度40cm、宽度1.25m，是由玻璃纤维加强塑料板的尺寸决定的（图10）。

建筑师Feierbach在设计fg2000作为自用住宅的同时，还研制fg2000体系，经过五年的探索和测试最终获得体系的建造许可，并两次得以建造。fg2000使用至今，现为办公功能，依然非常完好，证实了合成材料一体化建筑的耐久性。

Thun加油站, 瑞士

合成材料在公共建筑中的整合应用也不乏实例。1960年瑞士工程师海因茨·伊斯勒（Heinz Isler）为图恩（Thun）的加油站设计了一个采用玻璃纤维加强塑料做的顶棚（图11）。顶棚的面积为14m×22.5m，架在8根加了柱帽的预应力钢柱上。玻璃纤维加强塑料为50cm见方、高25cm的一面有底的盒子单元，上下对扣，形成总高度50cm的透光立方体（图12）。为了保证顶棚的透光性，上下底板玻璃纤维的含量只有25%，而竖板为了增加强度其玻璃纤维含量为40%。屋盖共有由1 276块这样的立方体组成，自重仅为42kg/m²，整体在地面制作完毕后被抬起安装固定。



图11 瑞士Thun加油站



图12 瑞士Thun加油站，屋顶在地面的组装过程

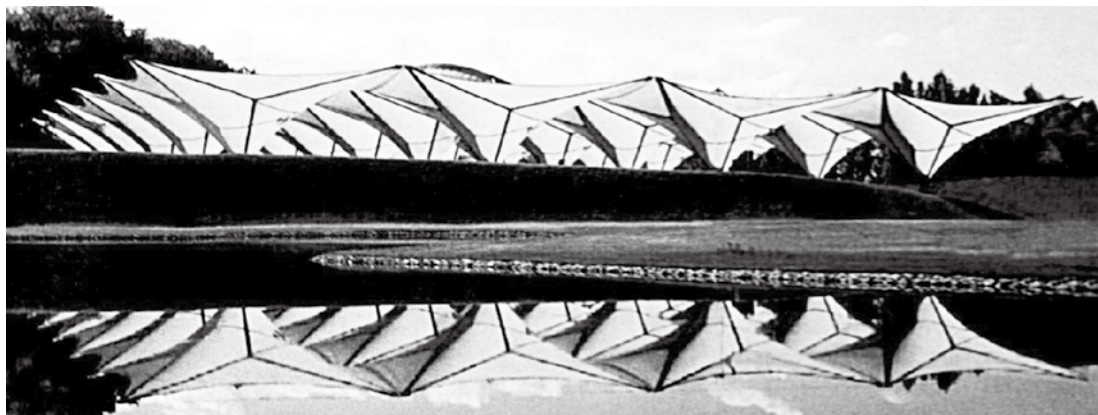


图13 洛桑世博会展亭



图14 洛桑世博会展亭，1:1模型测试



图15 洛桑世博会展亭组装过程

洛桑世博会展亭，瑞士

1963年洛桑世博会，瑞士工程师海因茨·罗斯多夫（Heinz Rossdorf）实验性地使用半透明的合成材料为主要展览场地搭建顶棚。这个建筑的创意是用双曲面顶棚形成有如郁金香花朵的单体，其相互连接形成郁金香花田。采用3mm厚的玻璃纤维增强塑料，通过模板浇筑，并同时粘合在下部钢结构上，建成一个18m×18m的伞状双曲面单体，再使用同样的单体重复排列覆盖108m×72m的场地。为保证均匀的透光效果，玻璃纤维的含量也只有30%（图13）。这个建筑在建造之前进行了各种力学和材料性能测试，通过工厂预制、现场组装完成，使用期为三年（图14，15）。

3 合成材料整合建筑的停滞期

合成材料整合建筑的发展在20世纪70年代经历了一个停滞期，这主要是由于全球性石油危机所引起的。当时合成材料的生产基本上依赖于石油产品，石油短缺使得人们不得不重新审视合成材料的未来。其次，十几年的建筑实践也充分暴露了合成材料本身一些亟待弥补的缺点，如稳定性差、不耐老化、强度和韧性均有待提升等。更为重要的是，由于建筑体系还不完善，计算机模拟和控制水平不高，流线型、整体化浇筑成型等体现合成材料特性的优势难以实现。在合成材料发展前、中期，每次建造都会花费巨大的投资在前期研究、测试和开发上，所以造价较为昂贵，工业化生产的优越性并没有体现出来。而技术上不完善的合成材料产品看上去就只有比较廉价，加之造价较高，无法吸引中产阶级，因而也无法造成真正的社会影响力。

4 现代合成材料整合建筑的发展近况

随着时代的发展，对材料高效性能和经济性的要求不断提升使得合成材料在20世纪90年代又重新回到了引领建筑潮流的位置上。除了化学工业的发展和材料科学的进步全方位提升了现代合成材料的性能和品质以外，这其中不可或缺的另一个前提条件就是当代电脑科技的飞速发展，使得合成材料在加工和成型方面所具备的灵活性可以被充分利用和实施。与合成材料整合建筑发展初期将经济性放在首位不一样，这个时期人们更为关注的是建筑形体的表现力、对建筑空间质量的追求以及对于科技进步的体现。现代合成材料在建筑中的整合运用并不局限于高端建筑的室内外饰面，作为承重或自承重的建筑主体更能体现其材料在形体塑造方面的优越性，借助于三维设计软件和合成材料一次性结构成型的能力，可以完成传统建筑材料所无法实现的效果。

这个时期用于建筑整合应用的合成材料主要有玻璃纤维增强塑料（GRP）、丙烯酸玻璃（PMMA）以及各类高强耐久的膜材（ETFE、PTFE）等。文章限于篇幅仅通过相关实例对于前两类材料的使用加以说明。

4.1 玻璃纤维增强塑料（GRP）

GRP材料由于其高强、轻质、表面的质感以及耐候性被用于建筑的承重结构、外围护结构以及饰面材料。1998年在瑞士的巴塞尔甚至建成了迄今为止最高的GRP建筑Eyecatcher Building（共5层，高15m）。



图16 香奈儿活动艺术展亭外观

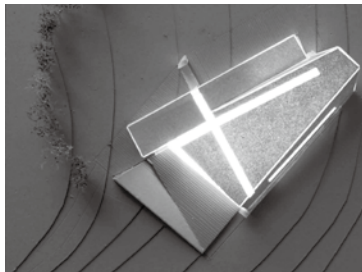


图18 圣十字教堂模型



图20 奥地利格拉茨大学植物园温室

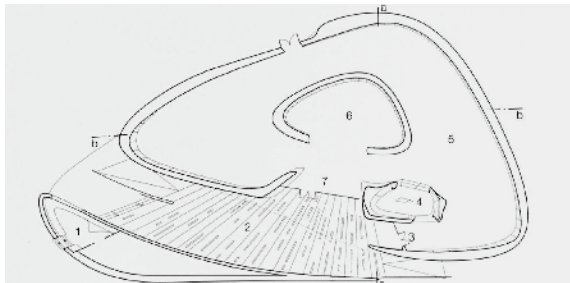


图17 香奈儿活动艺术展亭平面图



图19 圣十字教堂外观



图21 奥地利Graz艺术馆

香奈儿活动艺术展亭

Chanel mobile art pavilion (2008年, 建筑师: 扎哈·哈迪德), 为了在三个大洲巡回展示香奈儿品牌产品, 展亭建筑要求建筑轻盈、容易安装。建筑师从香奈儿手袋获取灵感, 在空间上采用一个变形的圆环, 覆盖了700m²的建筑面积, 并围合出中间一个65m²的有顶内院, 参观者可以在此透过庭院空间互相观望 (图16, 17)。建筑的主体结构采用钢材, 内外饰面材料均采用玻璃纤维增强塑料 (GRP)——只有这种合成材料才能满足轻质、高强并可以浇筑加工成各种空间曲面形状的要求。不透明的但有高反光性的GRP材质使得建筑的夜景表现十分丰富; 可开启的内院顶棚采用ETFE膜材, 同样具备轻质、高强和极高的透光率以及抗老化能力的优点, 体现了合成材料更具适合现代建筑造型设计的特点。

圣十字教堂, 丹麦

丹麦Jyllinge市的圣十字教堂 (The Church of Holy Cross, 2008年, 建筑师: KHR Arkitekter)。建筑总面积750m², 除了基础和底座采用混凝土以外, 屋顶和墙体均采用GRP建造 (图18, 19)。较轻的半透明GRP代表“天”, 实心、厚重的混凝土代表“地”。建筑形体成块状, 玻璃纤维增强塑料的表面有织物纹理, 并使得建筑呈现半透明状态, 教堂的室内是一种柔和的漫射光环境。GRP自重轻, 使得建筑结构高效且节能。

4.2 丙烯酸玻璃 (PMMA)

PMMA材料的强度、透光率等各项性能均好于玻璃, 且轻质, 应用计算机程控技术可以轻易将其加工成各种造型, 在有透明、环保要求的建筑立面上有广泛的应用前景。建成实例从20世纪90年代至今层出不穷, 如奥地利格拉茨大学植物园温室 (1996年, 建筑师: Volker Gienke, 图20)、奥地利Graz艺术馆 (2005年, 建筑师: ARGE Kunsthaus, 图21) 等。在德国伯并根 (Bobingen) 的配送中心建筑 (1999年, 建筑师: Nagler) 中甚至使用丙烯酸玻璃制成透明的立面保温材料。

宝马展亭, 法国

1999年在法兰克福国际汽车展上建造的宝马展亭 (建筑师: ABB Architekten) 的创意来自新型宝马汽车的能源主体, 即使用清洁能源——水分子分解产生的氢气。建筑的原型本来是两滴不连接的水滴, 通过数字形态生成 (digital morphogenesis) 技术, 演变成形态优美、受力合理的最终形态。建筑使用了新型的丙烯酸玻璃 (PMMA), 使其背部的支撑结构断面减小, 通过电脑程控切割技术 (CNC), 与两个“水滴”的曲线配合得完美无缺 (图22, 23)。

Vitra生产大厅, 德国

构思于2006年、建成于2012年的德国Vitra公司的生产大厅 (建筑师: SANAA) 是该公司基地上面积最大的建筑, 基地面积为2万m², 该建筑不仅突破了传统生产建筑矩形的平面, 采用了适合现代多功能生产要求的圆形建筑平面, 还在建筑的外立面上使用了丙烯酸玻璃 (PMMA)。

建筑的平面是一个稍有变形的圆, 直径156m × 159m。外墙面积5 740m², 为悬挂立面, 采用建筑通高的PMMA板, 每块板的尺寸都是1.8m × 11m。使用平板加热至60° C使其真空褶皱变形, 形成不均匀的帘布



图22 法兰克福国际汽车展宝马展亭外观



图24 Vitra生产大厅入口



图23 法兰克福国际汽车展宝马展亭建造过程



图25 Vitra生产大厅入口夜景



图26 Vitra生产大厅圆弧形立面

波纹造型，板材朝外一面透明，朝内一面白色不透光。为了使波纹看起来不重复，纹理的类型共三种，但由于板可以倒置安装，所以立面上共有六种纹理。建成后的建筑洁净雅致，显示一种近乎神秘的外观，一改工业生产建筑脏乱、低廉的印象（图24~26）。

5 前景与展望

进入21世纪，科技的进步和化工行业的发展使得新的合成材料性能更高、工艺更精致，能更好地满足当代对建筑可持续性和绿色环保的要求。与传统建筑材料相比，这些合成材料质轻、高强（强度是钢材的3倍），如玻璃纤维增强塑料、碳纤维增强塑料等，透明且耐高温，性能大大优于传统建材玻璃，如PMMA等。合成材料整合建筑并不需要一味强调材料的纯粹性，而是多数采用钢结构做合成材料的支撑结构，将合成材料用于外围护结构以及营造建筑室内舒适健康和怡人的环境，且符合现代越来越严格的防火等安全规范要求。在施工和制作方面，三维切割、3D打印等新的电脑技术将为合成材料整合建筑提供无限的造型空间。对注重形体和空间的建筑师来说，合成材料是未来必须掌握的材料语言，而对于建材工业来说，它更代表了材料科技的发展水平。^[AT]

图片来源

图1来源于<http://img.photobucket.com/albums/v470/bananaphone5000/GORILLAS/HOF10-58.jpg>；图3来源于<http://volcania.files.wordpress.com/2011/08/4.jpg>；图5来源于http://media.liveauctiongroup.net/i/5550/8513327_1.jpg?v=8CBA059BB3EB870；图2，4，6，8，10为作者自绘；图7，9来源于Transparente Kunststoffe，P15；图11，13来源于Atlas Kunststoffe + Membranen，P72；图12，14，15来源于Genzel，Dissertation；图16来源于<http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/06/1308263949-k5-5622.jpg>；图17来源于Atlas Kunststoffe + Membranen，P249；图18，19来源于<http://www.khr.dk>；图20，21为作者拍摄；图22，23来源于Transparente Kunststoffe，P41；图24来源于http://www.detail-online.com/uploads/pics/vitra_sanaa_IMG_2705_04.jpg；图25来源于<http://img5.adsttc.com/media/images/5176/884a/b3fc/4b9b/ac00/01f1/large.jpg/DSC00528.jpg>；图26来源于http://www.detail.de/uploads/pics/vitra_sanaa_IMG_3411.jpg。

参考文献

- [1] Jan Knippers. Atlas Kunststoffe + Membranen[M]. Munich, Inst. fuer Internat. Architektur-Dokumentation, 2010.
- [2] Jeska, Simone. Transparente Kunststoffe[M]. Basel: Birkhäuser Basel, 2008.
- [3] Dimitris Kottas. Architecture & Construction in Plastics[M]. Barcelona: Links International, 2012.
- [4] Stephan Engelsmann, Valerie Spalding, Stefan Peters. Plastics: In Architecture and Construction[M]. Birkhäuser, 2010.
- [5] Roland Burgard. Kunststoffe und freie Formen[M]. Wien: Springer, 2004.
- [6] Nicola Stattmann: Ultra light-Super Strong[M]. Birkhäuser CH, 2003.
- [7] Joost Hartwig, Martin Zeumer.Kunststoffe im nachhaltigen Bauen[J]. Detail Green, 2010 (2) .
- [8] Elke Genzel, Zur Geschichte der Konstruktion und der Bemessung von Tragwerken des Hochbaus aus faserverstärkten Kunststoffen 1950 – 1980[D]. Dissertation, 2006.
- [9] IBK, 德国合成材料研究所文献.