•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202006088

www.dxhx.pku.edu.cn

化“材”为“筑”

李岩云^{1,*}, 陶少威^{2,§}¹ 厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005² 厦门大学建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005

摘要: 化学是一门中心的、实用的、创造性的学科, 化学科学的发展对于科学与社会的不断进步以及人类物质生活质量的不断改善与提高, 都发挥着非常重要的作用。本文以拟人的手法介绍了石材、混凝土、玻璃等无机非金属建筑材料方面的化学知识, 并以纳米材料为例, 对未来新型建筑材料的发展提出了展望。

关键词: 化学; 建筑材料; 无机非金属材料; 纳米材料

中图分类号: G64; O6

Turning “Materials” into “Buildings”

Yanyun Li^{1,*}, Shaowei Tao^{2,§}¹ College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.² School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.

Abstract: Chemistry is a central, practical and creative discipline. The development of chemistry plays an important role in the progress of science and society, as well as the improvement of the quality of human life. This paper introduces the chemical knowledge of stone, concrete, glass and other inorganic nonmetallic building materials by the anthropomorphically story. Taking nanomaterials as an example, the prospect of building materials development in the future is put forward.

Key Words: Chemistry; Building materials; Inorganic nonmetallic materials; Nanomaterials

论坛即将开始, 偌大的校园礼堂座无虚席。与此同时, 全国各地的观众们也正在屏幕前关注着论坛的进程。

伴随着开场乐曲, 主持人走上台前宣布: “各位嘉宾、观众朋友们, 欢迎大家来到科普栏目‘生活中的化学’系列讲座^[1]!”

众所周知, 化学是研究物质的结构、性能和转化过程的科学, 更是创造新物质、探索新应用的学科。百年化学的发展表明, 它在创造奇妙的新物质方面起到了核心作用, 是开启物质世界中‘取之不尽’的资源宝库的钥匙; 同时, 化学科学的发展与人类社会的发展同行, 对于科学与社会的不断进步和人类物质生活质量的不断改善与提高, 都发挥了无可替代的作用^[2]。

俗话说‘安居才能乐业’。今天, 我们特地邀请了不少建筑领域的大咖前来分享与‘居住’有关的建筑材料方面的化学知识。接下来就让我们欣赏嘉宾们的精彩演说吧!”

收稿: 2020-06-29; 录用: 2020-07-20; 网络发表: 2020-08-12

*通讯作者, Email: yanyunli@xmu.edu.cn

§共同第一作者, 2016 级本科生

基金资助: 国家基础科学人才培养基金项目(J1310024)

1 传统建筑的“基石”——斯通家族

首先，舞台迎来了无机非金属材料联盟的第一位嘉宾：官内特·斯通先生。他的皮肤呈灰白色，搭配着一张饱经风霜的脸。从他的言行举止来看，显然这是一位德高望重的老人：“我是斯通家族(Stone)的代表官内特·斯通(Granite Stone)，你们也可以叫我花岗岩先生，很荣幸能够参与到这次建筑材料的论坛中来。”

官内特先生认真仔细地介绍道：“斯通家族历史悠久，是最古老的建筑材料之一。世界上众多的著名建筑都是由石材建造而成，比如中国长城、埃及金字塔、帕特农神庙、比萨斜塔、泰姬陵等；石材在传统建筑中同样也有着广泛的应用：从石砌的墙体、石质的台基、石质的栏杆，到精美的石雕，斯通家族都以自身良好的强度与耐久性服务于传统建筑当中^[3]。

到目前为止，尽管其他新兴家族迅速崛起，斯通家族的实力仍然不可小觑。我们一直以坚固、耐久、厚重的材料特性与庄严、稳重、雄伟的气质被建筑王国广泛地接纳使用^[4]。”

官内特先生讲到这里显然有些疲惫了，稍事休息后继续讲解道：“据史料记载，中国闽南地区民居采用斯通家族建造的历史已久。传统官式大厝、洋楼、骑楼中部分采用条石砌筑，同时采用根式石柱作为结构的支撑，不少闽南建筑的台基、勒脚等细部构件也均为石材^[5]。闽南住宅建筑石材的选材秉承因地制宜的原则，主要为白色花岗岩，其次选用青石，这也是我时常到访闽南地区的原因。

既然我们如此重要，那么我们究竟是谁？实际上，斯通家族的成员众多，如果按照组成成分来划分，我们都是由不同的造岩矿物构成，主要有石英、长石、云母、方解石、白云石等。

不同岩石具有不同的矿物成分，比如我的表弟莱姆·斯通(Limestone)——平时被人们称作石灰石的家伙，他的主要矿物成分为方解石(碳酸钙为主)，时常含有少量的黏土、二氧化硅、碳酸镁等物质^[6]。表弟喜欢云游四海，所到之处遍及八荒，因此更容易被人类发现并加以开采。

石灰石的生产加工过程，不禁使人想起了一首广为流传的古诗《石灰吟》，它深刻地描述了一系列相关的化学变化：历经‘千锤万凿’，小表弟走出深山来到人间；经过工厂中‘烈火焚烧’的磨砺，石灰石(碳酸钙为主)化为生石灰(氧化钙为主)；接着，他又接受了‘粉身碎骨’的洗礼，块状生石灰与水剧烈反应变成了我们所熟知的粉末状熟石灰(氢氧化钙)；之后，他被涂在墙面上，随着时间推移，熟石灰与空气中的二氧化碳不断发生反应……终于，表弟归来，重回曾经的模样——他还是从前那个少年，甚至历久弥新，将‘清白’永远留在了人间！表弟的一生总是让我肃然起敬，不论在建筑王国还是斯通家族中，他总是默默无闻地做着基层工作，成为了制造石灰和水泥的重要原料。”

官内特先生接着讲道：“那么我是谁？我是由长石、石英、云母及某些暗色矿物组成。除了具有抗压强度高、吸水率低、耐磨性好等家族的遗传特性外，我还有着优良的耐酸性，就算是大名鼎鼎的盐酸驾到也奈何不了我！这是因为我的化学成分中 SiO_2 占比高，约占 70% 左右，这让我能够比其他材料更经得起风吹雨打。

举个更加亲切的例子吧！在我们身处的厦门大学校园中，‘嘉庚建筑风格’独树一帜(图 1)。建校最早的群贤楼群自然是其中的典范，‘穿西装，戴斗笠’的建筑造型特色鲜明，吸引着络绎不绝的游人旅客。同时，群贤楼群是由砖、石、木三大材料混合建造而成，是传统抬梁式木屋架与西式砌筑墙体的完美融合。值得一提的是，百年前群贤楼群建筑采用的主要石材正是鄙老，历经沧海桑田，我自巍然不动。从校主陈嘉庚与校长林文庆的往来书信中可以得知，当时的建筑石材都是从近邻的五老峰开采运送来的。石材质地白皙，少黑斑杂质，这正是我的特点。”

演讲的最后，斯通先生语重心长地说：“讲述了太多的故事，我们自然要放眼未来。老夫年事已高，眼界也会有所局限，希望作为大海中翻腾不息‘后浪’的年轻一代，能够站在我们的肩膀上，汲取老一辈留下的智慧与财富，联合各大材料家族推陈出新，建设更加现代化的建筑王国！”

图1 厦门大学的嘉庚建筑^[6]

(a) 群贤楼群; (b) 建南楼群

2 建筑工业的“全能王”——康瑞特家族

接下来,聚光灯打在了了一位面容发灰、身材魁梧的男士身上。这位先生站在舞台中央,镇定自若地讲道:“我是康瑞特(Concrete)家族的代言人西门·康瑞特(Cement Concrete),学名水泥混凝土。不论是在建筑王国还是联盟当中,我都起着举足轻重的作用,在当今社会,人们赞誉康瑞特家族为建筑工业的全能冠军,”康瑞特先生顿了顿,“接下来我会与你们分享我和我的家族。”

“我们究竟是谁?教科书上说,混凝土是由胶凝材料将骨料胶结成整体的复合固体材料^[7]。在家族中我的兄弟姐妹众多,但作为水泥混凝土的我,是最常见的一种混凝土。我是由水泥、水和粗、细骨料按适当比例配合,拌制均匀,浇筑成型,经硬化后形成的人造石材。我的身体具有一系列的优良性能,比如力学性能理想,和易性能良好,耐久性好,同时我还因为原材料易得、适应性强、性价比高、综合能耗低等优点而成为当今世界上应用最广泛、用量最大的建筑材料^[8]。建筑界早已离不开我,只要有建筑的地方几乎都能看到我的身影。众所周知,我与日本建筑大师安藤忠雄早已是忘年之交,彼此之间相辅相成——安藤助我走上了当代建筑的舞台,同时混凝土也成为了他的‘烫金名片’。不少科学家曾坦言,到目前为止仍无法找到我的替代品。”

康瑞特先生接着讲道:“如果要深究我从哪里来,那就不得不提到西门家族了。作为水硬性胶凝材料的西门,也就是人们常说的水泥,是我的重要组成部分——它犹如骨架,将我的肉体连接。西门家族同康瑞特家族世代交好,它的历史甚至比我们更加久远。可以这样说,如果没有西门就不会有我的存在。西门家族同样人丁兴旺,有着众多声名显赫的家庭,但在建筑工程领域中当属硅酸盐类水泥最为出名,其五大成员分别为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥^[6]。在硅酸盐水泥的工业制备过程中,其关键步骤就是通过高温煅烧形成由不同矿物组成的熟料,它的主要成分为硅酸二钙、硅酸三钙、铝酸三钙以及铁铝酸四钙,其中硅酸钙所占比例过半。”

说到这里,先生提高了音量继续介绍:“值得一提的是,当熟料的成分比例发生改变,水泥的特性也会随之变化:假如提高硅酸三钙的含量,那么就可以制得快硬高强度的水泥;倘若降低铝酸三钙和硅酸三钙的含量,同时提高硅酸二钙的含量,那么便可制造水化热低的低热水泥。由此可见,水泥熟料中这些化学成分的改变都潜移默化地影响着我的特性,这是多么的神奇!”

演讲的最后,康瑞特先生总结道:“今天,我只是给各位介绍了混凝土家族的冰山一角,细说下去恐怕三天三夜都讲不完!更多的奥秘还请我们在未来一同探寻。”

3 建筑立面的“眼睛”——格拉斯家族

第三位登台的是一位体态透亮,举止优雅的女士。在台下观众的掌声中,她来到了舞台中央,

浑身上下散发着隐约透明的光芒,给观众以一种虚无缥缈的美感。女士一开口,舞台边两个巨大的音响便传出清脆悦耳的声音:“亲爱的观众朋友们,我是你们的莱米·格拉斯小姐(Laminated Glass),我来自实力雄厚的格拉斯家族(Glass),平时大家都叫我的昵称——夹层玻璃。”

“首先,让我来简单介绍一下我的家族吧。我们格拉斯家族在无机非金属材料联盟中占有很重要的地位哦!由于外观的透明性与现代感,再加上耐腐蚀、不生锈、化学性质稳定等诸多优点,我们受到了当今时代的追捧,玻璃与钢材、混凝土的组合形式已成为现代化建筑的标志。

在大大小小的城市中,抬头望去,你总会在大街小巷的建筑中发现格拉斯家族的身影——摩天大楼的玻璃幕墙、家家户户的门窗玻璃、建筑局部的玻璃饰品等。在联盟中,很少有家族能代替我们的存在呢!此外,格拉斯家族与‘窗’也有着不可言喻的亲密关系。窗是‘风之眼’,承担着采光、通风以及观景的功能,而格拉斯家族的特性与之完全匹配,长期的生产实践过程也促生了玻璃与开窗墙面的融合^[4],因而我们家族被人们亲切地称为建筑立面的‘眼睛’。

既然家族如此重要,那么我们究竟是从何而来的呢?一般情况下,格拉斯可看作是碱金属的硅酸盐和碱土金属(钙、镁等)或金属(铅、锌、铜等)中一种或几种硅酸盐的固溶体^[9],其组成大致可用下式表示: $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2$ 或 $\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot\text{CaSiO}_3\cdot 4\text{SiO}_2$ 。这个时候我们就不得不提到家族成员的‘出生’过程了:将砂子、纯碱和石灰石等原料按一定的比例混合,在高温熔窑中熔炼后再经冷却凝固后,新的格拉斯成员就诞生了!由于在这个过程中冷却速度很快,我们体内的微粒还来不及整齐排列为结晶格子就凝固了,所以我们是非晶态物质,这也是我们家族光线透过率极高的原因。”

格拉斯小姐顿了顿,有条不紊地讲:“近年来,随着科技的进步,各类建筑材料的性能也变得更加优越,我们格拉斯家族自然也耐不住性子,不满足现有的‘一亩三分地’,家族业务逐年扩展,家族成员也随之连年扩增:比如热膨胀系数小的硼玻璃、高强度的钢化玻璃、隔热性能优良的玻璃纤维等,各类玻璃特性各异,满足着建造的不同需求。当然啦,我也有着不少的用武之地呢!”

莱米小姐凑近了话筒补充道,“你们可千万不要被我的外表所迷惑了哦,虽然我看起来晶莹剔透,仿佛脆弱得像花瓶,实际上夹层玻璃在建筑领域的作用可大着呢,甚至可以和前面那位康瑞特先生做同样的工作。我的诞生,使多层玻璃的复合形态从理想变为了现实,同时很大程度上提高了玻璃的强度,让格拉斯最终可以成为梁、板、柱这类建筑中的受力构件。通过这种方式,再配合酸蚀、磨砂、网印、全息镀膜等先进的技术手段,在建筑师手中我可以变成建筑内的任何一个构件^[4]——这让理论上更加纯粹的‘透明’建筑变为可能,建筑物可达到‘漂浮在空中’的既视感,甚至在未来产生‘隐身’的建筑。”

(a)

(b)

图2 密斯·凡德罗设计的范斯沃斯住宅^[10]

(a) 立面造型; (b) 室内空间

演说最后,格拉斯小姐说:“早在 20 世纪中叶,我的家族就陷入了一场业内舆论的风波。现代四大建筑师之首密斯·凡德罗设计的玻璃屋——范斯沃斯住宅(图 2)受到了广泛的争议。密斯在设计中将玻璃的透明性与建筑的纯粹性运用到了极致,这让不少民众甚至使用者感到不适,认为它失去了住宅应有的私密性,为此人们争论不休,褒贬不一^[11]。因此,对于建筑材料使用时如何兼顾合理和实用的原则,是我们家族未来需要思考的问题。”

4 绿色建筑的“春天”——奈农家族

最后登台的重量级嘉宾来自建筑王国中正在崛起的新兴阵营——新型建筑材料联盟,这一家族在该联盟中当属“金字招牌”。在人们的注视下,一位皮肤洁白细腻的少年悠然地踱步上台,似乎并没有因压轴出场而感到慌张。少年淡定地站在舞台中心,开口说道:“观众朋友们,大家好!我是斯里卡·奈农(Silica Nano),学名为纳米二氧化硅。我来自奈农(Nano)家族,平时被人们亲切地称作纳米材料。”

少年兴致勃勃地说:“想必各位对纳米材料早已有所耳闻。它是指尺寸在 1–100 nm 间的粒子构成的材料,比我们常见的颗粒小得多。比如我,就是由这些极其细微的 SiO_2 颗粒构成。我的微观形态为球形,呈絮状和网状的准颗粒结构^[12]。人们常说‘结构决定性质’,我们奈农家族成员因而具有一系列与众不同的化学和物理性质,并很大程度上推动了近年来绿色建筑的革命与发展。”

“先来聊聊我在建筑王国的工作吧!”少年稍作停顿后说,“我虽年轻,但是与诸多家族有着越来越密切的合作关系。举个例子,我时常拜访康瑞特家族,我可以使他们的强度、韧性、抗渗性和耐久性能都得以提高——这是因为我在混凝土的制备过程中与西门家族中的氢氧化钙发生了进一步的反应,从而改善了混凝土中水泥浆体与骨料的界面结构和性能。”

再比如,当我变身为气凝胶形态时,纳米级二氧化硅降噪、吸声、透光好的特性则会深受格拉斯家族的喜爱——这个时候我也可以改善莱米小姐(夹层玻璃)的特性,让她的绝热效果比以往高好几倍。

长余辉发光材料是一种新型的节能材料,研究表明,由我为主要原料制成的硅酸盐长余辉发光材料不仅有着良好的化学稳定性和热稳定性,而且拥有造价低、烧结温度低的优势,这对于长余辉材料的发展有着深远的意义。

实际上,奈农家族成员众多,我的兄弟姐妹们在建筑王国中扮演着各式各样的角色,时刻造福着人类。比如,奈农家族中的碳纳米管无论是强度还是韧性,都远远优于任何纤维。将碳纳米管作为复合材料增强体,预计可表现出良好的强度、弹性、抗疲劳性及各向同性^[13];如果把透明疏油、疏水的纳米材料颗粒组合在大楼表面或窗玻璃上,大楼就不会被空气中的油污弄脏,玻璃也不会沾上水蒸气^[14],在保证高层建筑洁净如新的同时,还省去了危险系数很高的清洁工作。

又如纳米二氧化钛,目前在绿色建筑领域可以算是最有实际应用意义的一类材料,它的光催化性能可以用来降解甲醛等有害物质^[15];如果在涂料中添加银纳米粒子可以使涂层的表面拥有持续抗菌的效果,这是因为释放的银离子具有杀菌的作用,因而可以进一步抑制细菌的生长^[16]。”

这时,少年话锋一转,神情严肃起来:“然而,事物都是有两面性的,在有着诸多优势的同时,我们家族也存在着潜在的危害。人类研究发现,即使颗粒物组成相同,纳米尺寸的颗粒物也会表现出与大尺度颗粒物不一样的毒性。和其他家族相比,我们更容易穿过细胞膜进入到细胞内部,损伤细胞膜并干扰细胞内的生理活动,甚至会让细胞内的 DNA 丧失某种功能;此外,纳米颗粒物产生的活性氧也会导致细胞的损伤^[17]。这些健康问题逐渐成为了人们关注的焦点,人类社会也正在尝试通过构建纳米材料危险度体系等方法来加深对于奈农家族的了解。”

少年在演讲的最后说道:“科技是一把双刃剑,每个建筑材料家族都有自己的利与弊。期待我们在未来建筑王国的建设中能够扬长避短,发挥更大的效能,创造更多的奇迹!”

5 结语——建筑王国的未来

论坛接近尾声,主持人站在舞台的正中央,拿起手中的麦克风,身体微倾,慷慨激昂地讲道:“观众朋友们,想必大家仍然沉浸在嘉宾们各具特色、声情并茂的演讲之中,感受到了建筑材料强大的生命力。在建筑王国中,每一块石头、每一方混凝土、每一片玻璃都承担着自己的使命,并非没有感情的堆砌,每一处建筑材料都是有血有肉的真实存在。让我们再次感谢以上嘉宾的精彩演说!”

由于论坛时间有限,很遗憾我们无法邀请到建筑材料界的每个家族前来分享。建筑王国是一个巨大的舞台,除了今天到场的无机非金属材料联盟和新型建筑材料联盟的嘉宾之外,还拥有着有机非金属材料、金属材料、复合材料等众多联盟^[6]。这些阵营中有着不少地位显赫的名门贵族,比如具有千年历史文化的伍德家族(Wood)、用途广泛的普莱斯提家族(Plastic)、建筑王国的‘硬汉’史迪尔家族(Steel)等,期待在日后的讲座中也能邀请他们加入进来一展风采。

据统计,现代人类大约有五分之四的时间在建筑物中度过^[18]。可想而知,建筑王国与人类社会是息息相关、紧密相连的。建筑实际上就是不同材料进行有序堆砌的结果,材料是建筑的‘骨肉’,而作为建筑材料的基础学科,化学就显得尤为重要。化学是一门中心的、实用的、创造性的学科^[19],如果没有化学学科的迅猛发展就不会诞生如此之多的建筑材料,新型材料的发明创造也将举步维艰,当今世界上的建筑也就不会如此大放异彩。相信在未来,人类社会与建筑王国会达到美美与共、和谐共生的更高境界。最后,我宣布,今天的建筑材料论坛圆满结束!”

此时此刻,大礼堂十分安静,仿佛一切从未开始。与此同时,礼堂的上空早已汇聚了来自全国各个角落的信号,千丝万缕的电磁波在这里汇聚成河,刹那间爆发出雷鸣般的掌声,声音直冲云霄,响彻大江南北——这是我们对未来建筑材料兴起和美好生活的殷切希望!

参 考 文 献

- [1] 李岩云. 大学化学, **2020**, 35 (9), 58.
- [2] 白春礼. 中国科学院院刊, **2011**, 26 (1), 1.
- [3] 王祥生. 传统建筑材料表情的当代表达[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
- [4] 李宇. 建筑的材料表现力[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [5] 黄心沛. 近代嘉庚建筑立面砖石组合研究[D]. 厦门: 华侨大学, 2014.
- [6] 鲁迅任教过的厦大, 带你了解必看景点和背后故事. [2019-06-18]. https://www.sohu.com/a/321292331_100247824.
- [7] 西安建筑科技大学, 华南理工大学, 重庆大学, 合肥工业大学, 华中科技大学编. 建筑材料. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 2-88.
- [8] 陈改新. 中国水利水电科学研究院学报, **2009**, 7 (2), 280.
- [9] 玻璃真的是液体吗. [2019-09-06]. https://www.sohu.com/a/339194495_181847.
- [10] 你听过很多次范斯沃斯住宅, 但不一定知道它的里面长什么样. [2018-09-20]. <http://www.archcollege.com/archcollege/2018/9/41808.html>.
- [11] 密斯玻璃屋——建筑史上最美丽的错误. [2015-07-27]. <https://weibo.com/p/1001603869267064955175>.
- [12] 张瑞锐, 郭永聪, 罗刚, 刘雄伟. 硅酸盐通报, **2014**, 33 (6), 1408.
- [13] 高迪. 新型建筑材料——纳米级碳纤维混凝土性能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [14] 神通广大的纳米材料. [2010-07-15]. <http://news.zxxk.com/article/107735.html>.
- [15] 沈任军, 李小学, 党玲. 中国建材科技, **2008**, No. 3, 64.
- [16] 王岩, 王长平, 林伦. 硅酸盐通报, **2004**, 23 (3), 91.
- [17] 王金权, 王子谦, 许艳梅, 张明, 陈小兵. 污染防治技术, **2013**, 26 (6), 5.
- [18] 黄翔, 张伟峰, 郑文亨, 颜苏芊. 洁净与空调技术, **2004**, No. 2, 11.
- [19] R·布里斯罗. 化学的今天和明天. 华彤文, 宋心琦, 张德和, 吴国庆, 译. 北京: 科学出版社, 1998: 1.