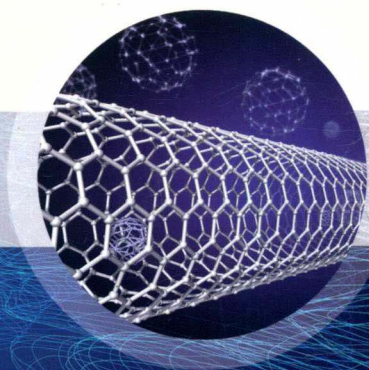
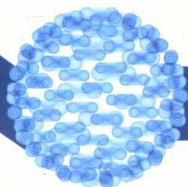


YANGHUATIE NAMI CAILIAO

JIQI YINGYONG GAISHU

氧化铁纳米材料 及其应用概述

党丽赞 著



中国原子能出版社

氧化铁纳米材料 及其应用概述

党丽赞 著

中国原子能出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

氧化铁纳米材料及其应用概述 / 党丽赟著. — 北京:
中国原子能出版社, 2018.11
ISBN 978-7-5022-9505-9

I. ①氧… II. ①党… III. ①纳米材料—氧化铁—研究 IV. ①O614.81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 280812 号

内 容 简 介

本书系统介绍了氧化铁纳米材料的制备方法及表征手段, 详述了氧化铁纳米材料研究的国内外研究进展及其在建筑材料领域、生物医学领域、光电催化领域及能源领域等方面的应用。结构决定性质, 性质决定应用, 纳米材料灵活多变的微观结构赋予其多功能应用领域。本书结构合理, 条理清晰, 内容新颖, 是一本值得学习研究的著作。

氧化铁纳米材料及其应用概述

出版发行 中国原子能出版社 (北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 张 琳

责任校对 冯莲凤

印 刷 三河市铭浩彩色印装有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 13.25

字 数 237 千字

版 次 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-9505-9 定 价 56.00 元

网 址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

前 言

在充满生机的 21 世纪,信息、生物技术、能源、环境、先进制造技术和国防的高速发展必然对材料提出新的需求,元件的小型化、智能化、高集成、高密度存储和超快传输等对材料的尺寸要求越来越小,航空航天、新型军事装备以及先进制造技术等对材料性能要求越来越高。新材料的创新,以及在此基础上诱发的新技术、新产品的创新是未来对社会发展、经济振兴、国力增强最有影响力的战略研究领域,纳米材料将是起重要作用的关键材料之一。纳米材料和纳米结构是当今新材料研究领域中最富有活力、对未来经济和社会发展有着十分重要影响的研究对象,也是纳米科技中最为活跃、最接近应用的重要组成部分。近年来,纳米材料和纳米结构取得了引人注目的成就,但纳米材料的研究和开发仍面临严峻的挑战,也充满了机遇。

纳米材料是 20 世纪 90 年代后期兴起的一种高新材料,与普通材料相比具有小尺寸效应、大比表面积效应、量子尺寸效应以及光、电、磁等特性。纳米材料在环境保护、催化、医学、生物等领域取得了巨大的成就。随着纳米材料的发展,越来越多的纳米材料在军事隐形涂料、抗静电涂料、热阻涂料、抗菌涂料、电磁涂料、红外线吸收涂料等方面得到了应用。

氧化铁系列化合物是自然界中最为常见的化合物之一, α - Fe_2O_3 具有高化学稳定性、热稳定性、抗腐蚀性、催化活性、电化学和传感性等,被广泛应用于磁性材料、颜料、催化剂、气敏元件和电极材料等领域,是一种重要的功能无机材料。 Fe_3O_4 和 γ - Fe_2O_3 是重要的磁性材料,当它们的尺寸减小到纳米级时,其磁性质与块体材料相比具有明显的不同。这种特殊的磁性质,使得 Fe_3O_4 和 γ - Fe_2O_3 磁性材料在更广泛的领域中得到应用,如靶向药物载体、核磁共振成像、磁热疗、生物分离等领域。

感谢河南省平顶山市河南城建学院材料与化工学院煤盐资源高效利用河南省工程实验室开放课题项目的鼎力支持,使本书能够顺利发表。

本书的撰写凝聚了作者的智慧、经验和心血,在撰写过程中参考并引用了大量的书籍、专著和文献,在此向这些专家、编辑及文献原作者表示衷心的感谢。由于作者水平有限以及时间仓促,书中难免存在一些不足和疏漏之处,敬请广大读者和专家给予批评指正。

作 者

2018 年 11 月

目 录

第 1 章 氧化铁纳米材料的应用	1
1.1 氧化铁纳米材料在涂料中的应用	1
1.2 氧化铁纳米材料在磁性材料和磁记录材料中的应用	10
1.3 氧化铁纳米材料在生物方面的应用	13
1.4 氧化铁纳米材料在催化剂中的应用	18
1.5 氧化铁纳米材料在储能材料中的应用	25
参考文献	28
第 2 章 纳米氧化铁的制备方法	37
2.1 沉淀法	37
2.2 固液气相法	40
2.3 水热法	41
2.4 其他方法	42
参考文献	48
第 3 章 氧化铁纳米材料的性能与表征	51
3.1 X 射线仪(XRD)	51
3.2 SEM 扫描电子显微镜	57
3.3 热分析表征	62
3.4 STM 扫描隧道显微术	66
3.5 TEM 透射电子显微术	71
3.6 X 射线能谱仪	77
3.7 FTIR 傅里叶 - 红外光谱仪	82
3.8 N_2 吸附脱附等温线分析和 BJH 孔径分析	83
参考文献	87
第 4 章 氧化铁纳米材料的研究进展与展望	89
4.1 氧化铁纳米结构材料的合成	90
4.2 其他金属氧化物与铁氧化物纳米复合材料	110

4.3 导电聚合物纳米氧化铁复合材料	112
4.4 基于氧化铁的多元纳米复合材料	113
4.5 潜在应用	114
4.6 结论和展望	126
参考文献	127

附 录

附录 1 BRUKER 公司 D8 ADVANCE 型 X 射线粉末衍射仪 操作步骤	153
附录 2 Jade 软件分析方法	158
附录 3 S-4800 日立扫描电子显微镜 (SEM) 简易操作指南 ...	167
附录 4 STA 449F3 热重分析仪的操作规程	176
附录 5 JEM-2100 (HR) 透射电子显微镜操作规程	184
附录 6 美国康塔公司 Nova4000e 型比表面测试仪测试操作 ...	193

第 1 章 氧化铁纳米材料的应用

纳米氧化铁是一种资源丰富、制备原料价格低廉、环境友好的多功能金属氧化物材料,当氧化铁颗粒尺寸小到纳米级(1 ~ 100 nm)时,其表面原子数、比表面积和表面能等均随着粒径的减小而急剧增加,从而表现出小尺寸效应、量子尺寸效应、表面效应和宏观量子隧道效应等特点,具有良好的光学性质、磁性、催化性能等。纳米氧化铁是一类具有潜力的、广泛应用的材料。

随着科学技术的不断发展,氧化铁纳米材料的制备方法也在更新完善,各种方法不断交叉、渗透,取长补短。由于氧化铁纳米材料在实际应用中的优异性能,使其用途极为广泛,开发前景广阔。然而,氧化铁纳米材料制备过程中处理温度高、粒子易团聚、难以分散等问题一直是科技工作者所面临的难题,尤其是在化学湿法制备过程中表现得更为突出。如何提高氧化铁纳米材料粒子的分散性能和改善其表面性能,如何低成本、规模化合成氧化铁纳米材料,并有效控制氧化铁纳米材料粒子的形貌和粒径是从事纳米材料研究的科技工作者关注的焦点和追求的目标^[1, 2]。

1.1 氧化铁纳米材料在涂料中的应用

纳米颗粒的量子尺寸效应使其对某种波长的光吸收带有蓝移现象和对各种波长光的吸收带有宽化现象。利用纳米颗粒的量子尺寸效应可以降低对可见光的散射,增强对短紫外光的吸收能力,进而可以达到一种“透明”状态,因此氧化铁纳米材料又称之为“透明氧化铁”。当纳米氧化铁作为颜料时,其具有良好的耐热和耐候性,还能吸收紫外光;当纳米氧化铁具有半导体性质时,不仅拥有普通无机涂料的性质,还拥有强的导电性能,可以起静电屏蔽的效果;高纯度的纳米氧化铁在汽车、塑料、建筑涂料和防腐涂料等方面使用得更加广泛。

在颜料中,氧化铁纳米材料又被称为透明氧化铁(透铁)。所谓透明,

并非特指粒子本身的宏观透明,而是指将颜料粒子分散在有机相中制成一层漆膜(或称油膜),当光线照射到该漆膜上时,如果基本不改变原来的方向而透过漆膜,就称该颜料粒子是透明的^[3],如图 1.1 所示。

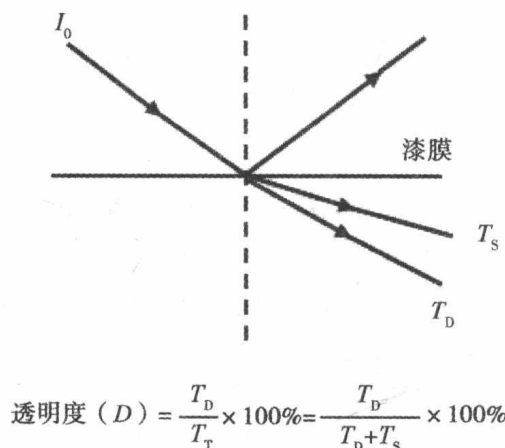


图 1.1 粒子透明度的定义^[3]

透明氧化铁原级粒径只有几十纳米,当它充分分散在透明介质中形成连续的膜层时,光线会绕过颜料粒子发生衍射现象,从而使膜层具有良好的透明性。透明氧化铁的化学结构决定了它有很好的耐光、耐候、耐酸、耐碱及耐溶剂性,其又由于极细的原级粒径而具有很强的紫外光吸收能力,耐光性更为优异。BASF 公司生产的透明铁黄、透明铁橙、透明铁红每平方米的漆膜分别含 1.7 g、1.3 g、0.9 g,可吸收 99.5% 的紫外线。透明氧化铁可用于高级轿车闪光漆、锤纹漆、木材涂装着色剂、仿红木涂料、罐头瓶内壁涂料以及建筑用内、外墙涂料,还可用于油墨和塑料着色。严格控制了砷和重金属含量的透明氧化铁颜料可以取代逐渐禁止使用的偶氮类颜料、染料及其它合成色素,用作食品、药品、化妆品的着色剂。

发达国家从 20 世纪 70 年代末开始使用透明氧化铁颜料,主要生产厂家有德国巴斯公司、拜耳公司、美国希尔顿 - 戴维斯化工公司、英国布莱思颜料公司和法国卡佩尔公司等,随着多年的发展,其应用领域已从初期的高级轿车闪光漆拓展到各个领域。

调查报告显示,将能吸收某些波长光线的透明氧化铁颜料包覆在干涉型的珠光颜料上,如与闪光铝浆混用便形成种组合颜料。用这种组合效应颜料制成的轿车闪光漆,在正视或侧视时不仅看到颜色在明度上、饱和度上或色调上有差异,而且会看到真正不同的颜色。这是由于颜料对入射光同时产生干涉和吸收造成的,即所谓的双色效应。这种漆具有鲜艳的色彩,双色效应给人以丰满和富丽堂皇的质感,又由于透明氧化铁颜料的保色、保光性,适合轿车漆的户外使用,因此高档轿车面漆对透明氧

化铁颜料有大量的需求。透明氧化铁颜料的闪光漆除了用于轿车外,还可用于自行车、摩托车和仪表外壳涂装。使用透明氧化铁黄可达到淡金色的装饰效果,使用透明氧化铁红可达到赤金色的装饰效果;使用透明氧化铁绿可得到闪光绿色;使用透明氧化铁黑和透明氧化铁棕都能得到很独特的颜色。

透明氧化铁主要有五个品种,即:透铁红、黄、黑、绿、棕。透明氧化铁颜料因其有 $0.01\ \mu\text{m}$ 的原级粒径,因而具有高彩度、高着色力和高透明度,经特殊的表面处理后可具有良好的分散性。透明氧化铁颜料可用于油化与醇酸、氨基醇酸、丙烯酸等漆料制成透明色漆,有良好的装饰性。此种透明漆可单独、也可和其他有机彩色颜料的色浆相混,如加入少量非浮性的铝粉浆则可制成有闪烁感的金属效应漆,该漆还可与不同颜色的底漆配套,可用于汽车、自行车、仪器、仪表、木器等要求高的装饰性场合。透铁颜料强烈吸收紫外线的特性,使其可作为塑料中紫外线屏蔽剂用于饮料、医药等包装塑料中。纳米氧化铁在静电屏蔽涂料中也有广阔的应用前景。日本松下公司已研制成功具有良好静电屏蔽的氧化铁纳米涂料。这种具有半导体特性的纳米粒子在室温下具有比常规的氧化物高的导电性,因而能起到静电屏蔽作用。国外也大量使用透明氧化铁颜料作木材涂装的着色剂。使用透明氧化铁颜料代替传统颜料可保留木材清晰的木纹,而本身很高的耐光性又使家具颜色经久不变,使产品质量上了一个档次^[4]。如图 1-2 所示是河北省灵寿县冀路矿产品加工厂生产的氧化铁系列颜料。

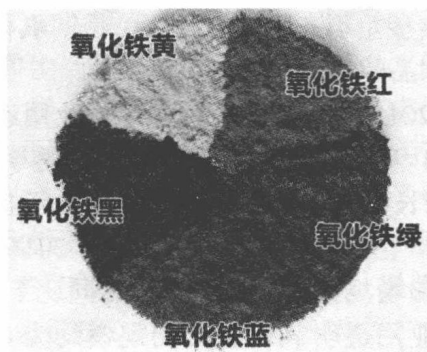


图 1.2 河北省灵寿县冀路矿产品加工厂生产的氧化铁系列颜料

汽车漆-金属闪光漆是透明氧化铁的重要应用,当透明颜料分散体和非浮型铝粉共同制成涂膜后,从不同的角度观察涂膜会有不同的颜色,从而产生美妙的异角变色现象。此种现象在汽车漆中得到了充分应用。透明氧化铁颜料的高透明性、可调节的颜色和高耐侯性决定了其是汽车金属色的主要着色颜料。透明氧化铁颜料还可和干涉色颜料(如云母钛)

产生珠光着色效果,此类涂料丰富了汽车漆的品种。当与有机颜料混合使用时,透明氧化铁黄和酞青蓝组合可调配出金色到绿色等不同色彩,而透铁红和棕与有机红组合能调配出蓝或深蓝色等产品。

透明氧化铁颜料最典型的特征是改良油漆的耐候性、透明度和紫外线吸收性能,所以非常适用于汽车油漆,它和铝、云母等一起已广泛应用于生产金属漆和珠光漆,又因它能达到一些只有昂贵的有机颜料才能达到的色彩效果,从而大大降低汽车漆的生产成本。

木器漆也是透明氧化铁的重要应用之一。不少可用于木器家具透明着色的材料要达到色彩典雅、透明度高、耐光的效果,只能使用透明氧化铁之黄、红、黑三种透明氧化铁的基本色,这三种基本色几乎可配制出所有名贵木材涂装所需的颜色,用多种颜色的透明氧化铁分散体配制成易于使用的色精来进行木器家具的透明着色是大势所趋。紫外线是破坏木质的元凶,而透明氧化铁颜料能强烈吸收紫外线辐射,从而保护木质,并使木质能起到着色效果,又能使木质保持天然纹理,因而非常适用于木器家具漆。

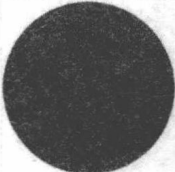
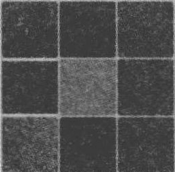
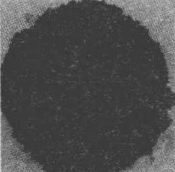
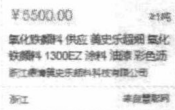
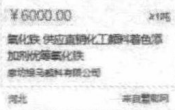
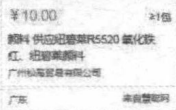
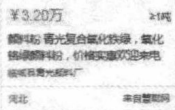
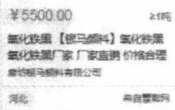
透明氧化铁可用于外墙涂料。经试验证明,透明氧化铁比普通氧化铁颜料在明度方面明显提高且具有吸收紫外光的能力,在上海地区大面积推广使用和长时间的试验表明透明氧化铁颜料用于外墙涂料确实有其独到之处^[5, 6]。

利用透明氧化铁颜料的优良性能制造同质的彩色水泥瓦,能够代替彩色表面层水泥瓦,瓦质感朴实自然,色泽亚光柔和,消除了国内多数彩色表面水泥瓦质量参差不齐的缺点,因此,透明氧化铁颜料适用于各种建筑结构和混凝土制品的着色。

调查数据显示,2013年我国建材行业中行业用透明氧化铁市场规模约为0.93亿元,2014年我国建材行业中行业用透明氧化铁市场规模约为1.01亿元,同比增长8.10%;2015年我国建材行业中行业用透明氧化铁市场规模约为0.90亿元,同比下降10.24%;2016年我国建材行业中行业用透明氧化铁市场规模约为0.78亿元,同比下降13.33%;2017年我国建材行业中行业用透明氧化铁市场规模约为0.84亿元,同比增长7.17%^[7]。根据市场结构,预计,2022年建材行业用透明氧化铁市场规模1.01亿元。氧化铁作为颜料所带来的巨大商机不容小觑,图1.3展示了众多氧化铁系列颜料供应商。

1.1.1 氧化铁纳米材料在装饰材料中的应用

在中国,氧化铁颜料在混凝土中的应用虽然不足30年,但业界的有

 ¥5500.00 ≥1吨 氧化铁黑4 供应 美史乐超黑 氧化铁黑料 1300EZ 涂料 油墨 彩色沥青 浙江康帝美史乐颜料科技有限公司 浙江 辛自慧贸易网	 ¥6000.00 ≥1吨 氧化铁 供应直喷化工超黑着色添加的纯黑氧化铁 康帝美史乐颜料有限公司 河北 辛自慧贸易网	 ¥10.00 ≥1包 颜料4 供应直喷黑R5520 氧化铁红. 超黑黑粉 广州海冠贸易有限公司 广东 辛自慧贸易网	 ¥3.20万 ≥1吨 颜料4 青光复合氧化铁绿, 氧化铁黑黑粉, 价格实惠欢迎来电 康帝美史乐颜料厂 河北 辛自慧贸易网	 ¥5500.00 ≥1吨 氧化铁黑 【铁马牌4】 氧化铁黑 氧化铁黑厂家 厂家直销 价格合理 康帝美史乐颜料有限公司 河北 辛自慧贸易网
 ¥10.00 ≥25千克 氧化铁构建筑着色颜料 惠州利之源颜料科技有限公司 山东 辛自慧贸易网	 ¥4500.00 ≥1个 氧化铁黑 【铁马牌4】 氧化铁黑 氧化铁黑厂家 厂家直销 价格合理 康帝美史乐颜料有限公司 河北 辛自慧贸易网	 ¥5500.00 ≥1个 氧化铁 【铁马牌4】 氧化铁黑 1900氧化铁 高纯氧化铁 厂家直销 康帝美史乐颜料有限公司 河北 辛自慧贸易网	 ¥4500.00 ≥1个 氧化铁黑 【铁马牌4】 氧化铁黑 氧化铁黑厂家 厂家直销 价格合理 康帝美史乐颜料有限公司 河北 辛自慧贸易网	 ¥8.00 ≥25千克 S160氧化铁红陶土氧化铁红 惠州利之源颜料科技有限公司 山东 辛自慧贸易网

追溯至 90 年代以前,氧化铁颜料的应用非常单一,90% 的氧化铁颜料应用于油漆工业,而只有不到 8% 应用于混凝土制品之中,其中的绝大部分只是局限于路面砖。

伴随我国建筑材料工业的快速发展,近年来,彩色水泥砖、彩色地砖、彩色墙面砖、路面彩色混凝土、彩色压膜,彩色耐磨地坪,环氧树脂地坪,

外墙灰泥涂料等新型建材在各类建筑、广场、道路及市政建设等工程中被广泛采用,为美化城镇环境发挥了重要作用。在这些绚丽多彩的新型材料中,氧化铁颜料以优良的着色应用性能,同时又具有吸取紫外线而保护体系基料避免发生降解,且价格低廉等优点,受到彩色建材生产厂家的青睐。如图 1-4 所示是幼儿园彩色透水混凝土地面图案。



图 1.4 幼儿园彩色透水混凝土地面图案

国内彩色水泥瓦目前主要有同质的彩色水泥瓦和彩色表面水泥瓦两种。欧美国家的彩色水沿瓦均是同质瓦,色彩处理采用混合型。颜料融入整片瓦体,质感朴实自然,色泽亚光柔和,有的在同质瓦的表面上再喷涂涂料。同质瓦彩色水泥瓦大多采用表层彩色层。国内彩色瓦生产线多采用上料、搅拌、辊压成型、切割着色处理、养护、脱模、包装等工序,在生产设备上有的采用国内半自动生产线,衬托模具的材质有钢板、铸铁和铝锌合金等。薄钢板易变形,铸铁太笨重,少数采用铝锌合金的衬托模具,但一次性投资较大,因此国内彩色瓦质量参差不齐,彩瓦着色用的颜料以价格较便宜的无机颜料为主,首先选用的即为各类氧化铁系颜料。如图 1-5 所示是彩色瓦和彩色水泥地砖。

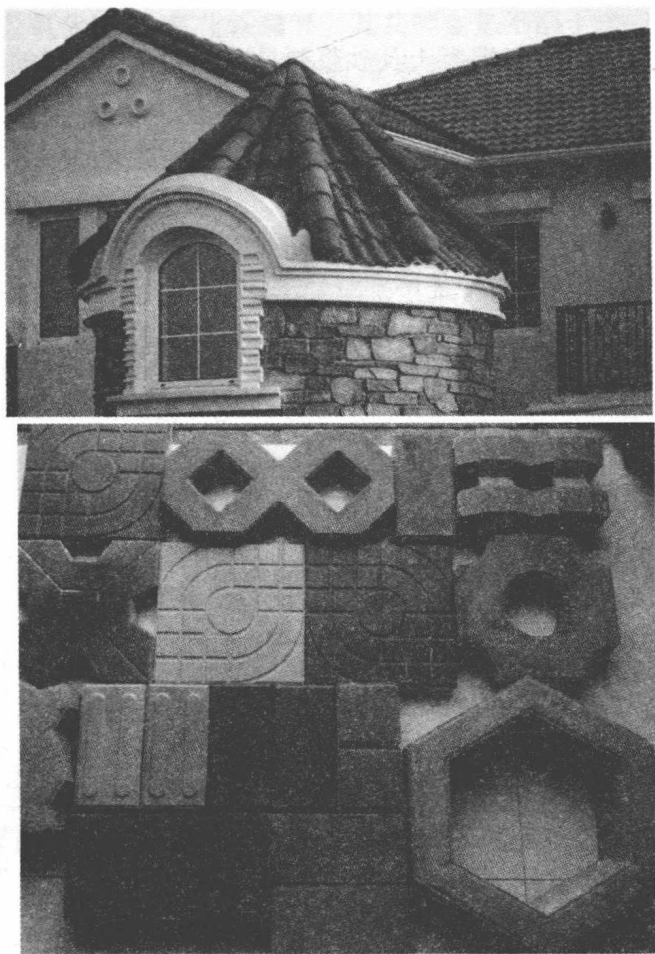


图 1.5 彩色瓦和彩色水泥地砖

我国彩色瓦业自 90 年代初期发展以来,属于一个新兴行业,伴随人民生活水平的提高,彩色瓦从表面涂层向同质瓦发展,对氧化铁颜料的需求也会大大增加。彩色水泥地砖和彩色水泥瓦一样,也分同质的和表面彩色层两种。目前国内生产同质的彩砖厂不多,绝大多数采用彩色表面层制砖,模具有钢模和塑料模两种,其生产工艺流程和对氧化铁着色颜料的使用均与彩色水泥瓦一样的技术要求。彩色现浇水泥路面采用的工艺是浇注普通的水泥地面尚未干的情况下,即在表面撒上薄薄一层彩色水泥层,借助图案模具在路面上压出图纹,当路面完全干后喷上一层树脂,让路面亮堂、美观。

这种现浇路面的施工对氧化铁颜料的性能要求与彩色水泥瓦对氧化铁颜料的技术要求一样。氧化铁颜料及其多彩颜料是彩色水泥的主要着色剂,氧化铁颜料对水泥的拉折压强度影响很小,色彩鲜艳,价格也相对

低廉。

水性色浆主要用于混凝土及砂浆制品着色和水性涂料的着色。国外建筑业为提高方法的简便性,将氧化铁颜料分散于混凝配料中,随着建筑应用朝着方便、高效、质优、价廉的趋势发展,氧化铁颜料水性色浆越来越多地进入建材市场。

1.1.2 氧化铁纳米材料在油墨材料中的应用

透铁黄可用于罐头外壁的涂装,纳米氧化铁红油墨为红金色,特别适合罐头内壁用,加之透铁红耐 300℃ 的高温,是油墨中难得的颜料珍品。为提高钞票的印制质量,往往在印钞油墨中加入纳米氧化铁颜料来保证钞票的色度和彩度等指标。

1.1.3 氧化铁纳米材料在着色剂中的应用

随着人们生活水平的提高,人们越来越重视医药、化妆品、食品中使用的着色剂,无毒着色剂成了人们关注的焦点。氧化铁纳米材料在严格控制砷和重金属含量的情况下,是良好的着色剂。氧化铁纳米材料可用于制造化妆品中的粉饼,若与珠光颜料并用可使珠光颜料着色,增添珠光粉的魅力,药用明胶胶囊、果冻和某些饮料等也都使用了透明氧化铁作为着色剂^[8](图 1.7)。

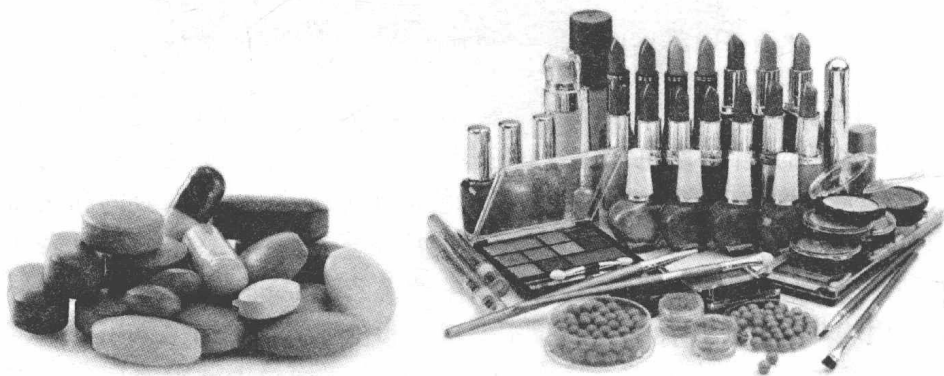


图 1.6 五颜六色的药物及化妆品

天然色素是一种代替品,但由于其稳定性差,在使用方面受到严格的限制。另一种代替品即氧化铁类,是全世界所承认的着色剂,但只有满足一定的条件,才能安全使用。

氧化铁颜料是无机颜料的一种,是铁系颜料的一部分,包括氧化铁

红、氧化铁黄、氧化铁棕、氧化铁黑等。其共同点是不溶于水,与纤维素无亲和力,而是依靠矾土的作用固着在纤维表面而取得着色。氧化铁颜料耐光性较强,遮盖力较好,着色力强。氧化铁颜料在装饰原纸中即起填料的作用,可以部分取代昂贵的钛白粉;又起到颜料染色的作用,可以取代价高且污染严重的有机染料^[8-10]。

刘钦敬等^[11]将氧化铁颜料加入配浆池中,亦可加入浆盆等打浆设备中,但后者很少采用,尤其是用量较大时更宜加入配浆池中。虽然氧化铁颜料不溶于水,但使用时仍要用水配制成均匀的悬浊液,浓度15%左右。配制方法:可将氧化铁颜料加入到盛有适量水的溶解罐中,搅拌(搅拌速度不小于 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$)均匀即可配成悬浊液。将配制好的悬浊液过筛加入到配浆池中即可。另外氧化铁颜料亦可和钛白粉混合在一起配成悬浊液,再加入配浆池中。氧化铁颜料的用量视成纸颜色而定。

济南造纸厂在生产黄色系列、棕色系列、红色系列的装饰原纸时,使用了氧化铁颜料,取得了良好的效果。首先由于氧化铁颜料有较好的遮盖力,可以部分替代昂贵的钛白粉(吨价万元以上),而氧化铁颜料价格在4 000元/吨左右,其经济效益显著。以加入20%氧化铁颜料,替代15%的钛白粉为例,仅此一项吨纸可降低成本600元左右;其次,氧化铁颜料在纸张中的着色率明显高于有机染料,其废水较有机染料易处理,且处理成本低、污染轻。使用氧化铁颜料生产的装饰原纸,在浸渍加工时不掉色、不褪色,压板时不露底,做成的各种高档装饰板的耐光性、耐气候性、耐热性均较好,经久耐用^[11-14]。

1.1.4 氧化铁纳米材料在陶瓷材料中的应用

氧化铁系统陶瓷以具有特殊磁性的间晶石型铁氧体而得到广泛的应用。目前用于氧化铁单元系统陶瓷的超细粉体多采用共沉淀法制备,此法制得的氧化铁粉体平均粒径一般为40~60 nm,比表面积为 $30 \sim 60 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,用其制备的气敏陶瓷具有良好的灵敏度。但由于共沉淀法中各反应物水解后的沉淀速度不同,往往难以获得原子尺度的混合,以此烧结而成的陶瓷有可能存在微观结构上的不均匀,因此共沉淀法不能用于发展氧化铁多元系统陶瓷超微粉体的研究^[15, 16]。

秦威等^[16]认为,氧化铁红颜料在陶瓷色料配方中,主要以着色剂的形式引入。如釉用色料中的棕色系列、黑色系列;锆系色料中的锆铁红色料;坯体色料中的黑色、咖啡色和茶色系列等,陶瓷琉璃瓦等彩色水泥砖也大量应用氧化铁红原料。因此,氧化铁红颜料在陶瓷色料中的用量

较大,估计每年用量在 10 000 t 以上。目前,陶瓷色料使用的氧化铁红颜料的生产方法主要分为硫酸法和混酸法(硝酸法),以薄铁板为原材料进行处理加工后得到外观鲜红光亮的氧化铁红颜料。通常使用硝酸法工艺生产的氧化铁红产品综合指标优于硫酸法生产的产品。

1.2 氧化铁纳米材料在磁性材料和磁记录材料中的应用

作为磁记录单位的磁性粒子的大小必须满足以下要求:颗粒的长度应小于记录波长;粒子的宽度(如可能长度也包括在内)应该远小于记录深度;一个单位的记录体积中,应尽可能有更多的磁性粒子。纳米 Fe_2O_3 具有良好磁性和很好的硬度。氧磁性材料主要包括软磁氧化铁($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)和磁记录氧化铁($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)。磁性纳米微粒由于尺寸小,具有单磁畴结构、矫顽力很高的特性,用它制作磁性记录材料可以提高信噪比,改善图像质量。目前,录像磁带使用的磁性超微粒一般为铁或氧化铁的针状粒子(如针状 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)。

软磁铁氧体材料用氧化铁,化学纯度高,晶型呈蜂窝状时较佳,化学活泼性强,固相反应完善,化学杂质及可溶性盐分少。它是用一种或多种金属元素的氧化物、氢氧化物、碳酸盐或草酸盐等以固相反应复合氧化物制成^[17-20]。

磁性纳米粒子由于其特殊的超顺磁性,在巨磁电阻、磁性液体和磁记录、软磁、永磁、磁致冷、巨磁阻抗材料以及磁光器件、磁探测器等方面具有广阔的应用前景。氧化铁纳米材料是新型磁记录材料,在高磁记录密度方面有优异的性能,记录密度约为普通氧化铁的 10 倍。利用铁基纳米材料的巨磁阻抗效应制备的磁传感器已经问世。软磁铁氧体在无线电通讯、广播电视、自动控制宇宙航行、雷达导航、测量仪表、计算机、印刷、家用电器以及生物医学领域均得到了广泛应用。氧化铁与其他各种金属元素的氧化物采用不同的反应条件能制成不同结构,适用于各方面不同的应用要求,如软磁性铁氧体制品、永磁性感铁氧体制品、旋磁性铁氧体制品、短磁性铁氧体制品及压磁性铁氧体制品等。

制备时是将氧化铁与一种或多种其他金属元素的氧化物、氢氧化物、碳酸盐、草酸盐等按照一定的配比置于球磨机中,混合磨细后取出烘干,然后在高温炉 700 ~ 900℃ 下加热预烧,再将预烧后的粉末磨细放入压磨中成型,再移入 1 100 ~ 1 400℃ 焙烧和进行热处理等工序,待精致加