

BAOSHI RENGONG HECHENG JISHU



宝石 人工合成技术

第二版

何雪梅 沈才卿 编著



化学工业出版社

宝石 人工合成技术

第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细阐述了人工合成宝石的概念、原理和方法,着重介绍了人工合成钻石、翡翠、红宝石、蓝宝石、祖母绿、欧泊、绿松石、青金石、尖晶石、钛酸锶、立方氧化锆、钇铝榴石、夜光宝石等的生产工艺、设备以及产品特征,并简单介绍了各种人工合成宝石的鉴别方法。

本书可供宝石人工合成行业的工程技术人员使用,也可供相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

宝石人工合成技术/何雪梅,沈才卿编著. —2版. —北京:化学工业出版社, 2010.5
ISBN 978-7-122-08032-5

I. 宝… II. ①何…②沈… III. 宝石-人工合成 IV. TQ164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 048607 号

责任编辑:邢 涛
责任校对:边 涛

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 彩插 2 字数 288 千字 2010 年 6 月北京第 2 版第 1 次印刷

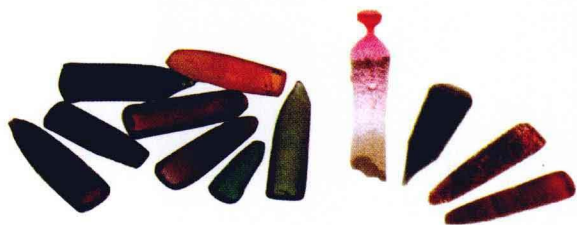
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究



彩图1 焰熔法合成刚玉类宝石梨晶



彩图2 焰熔法合成红宝石的圆形和椭圆形气泡



星光红宝石



星光蓝宝石



合成星光红宝石



合成星光蓝宝石

彩图3 星光宝石



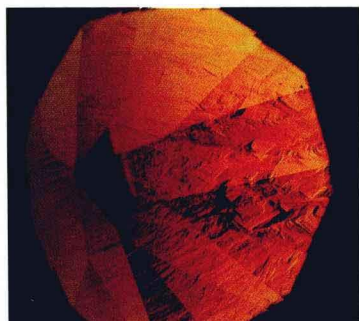
彩图4 水热法合成红宝石内部的云烟状裂隙



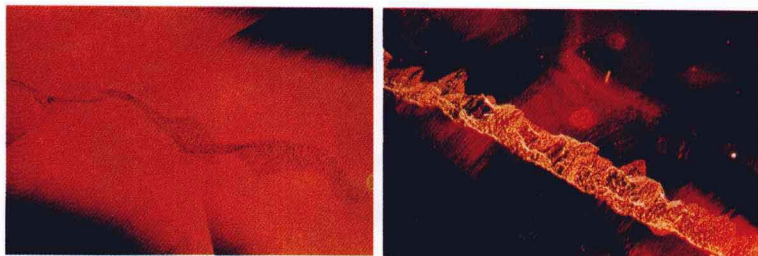
彩图5 水热法合成祖母绿中的包裹体



彩图6 莫斯科晶体研究所水热法合成的红色绿柱石晶体和刻面成品



彩图7 水热法合成红色绿柱石内部的V字形交叉的生长纹（左3X，右9X）



彩图8 某些水热法合成红色绿柱石晶体内部的愈合裂隙 (左8X, 右14X)



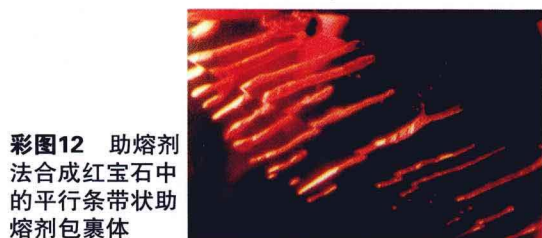
彩图9 水热法合成红色绿柱石样品内部孤立的气液或固体包裹体 (左25X, 中20X, 右15X)



彩图10 水热法合成红色绿柱石晶体内部籽晶附近的钉头状包裹体 (左40X, 右40X)



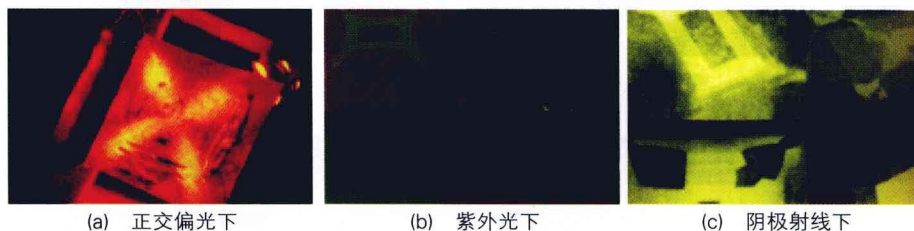
彩图11 助熔剂法合成祖母绿中的纱状和粗粒助熔剂包裹体



彩图12 助熔剂法合成红宝石中的平行条带状助熔剂包裹体



彩图13 助熔剂法合成红宝石内部的三角形、六边形铂片和未熔的助熔剂包裹体

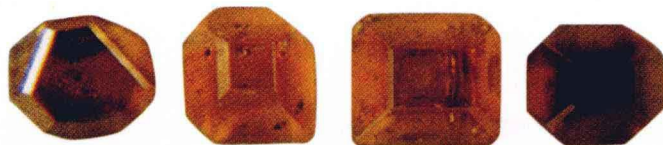


(a) 正交偏光下

(b) 紫外光下

(c) 阴极射线下

彩图14 合成钻石的异常双折射和发光特征



彩图15 合成钻石的晶形及晶面特征



彩图16 合成钻石的金属触媒包裹体



彩图17 “BARS”法黄色合成钻石的色带



合成欧泊结构特征

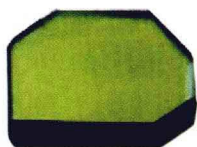


天然欧泊结构特征

彩图18 天然欧泊和合成欧泊



HTHP合成钻石



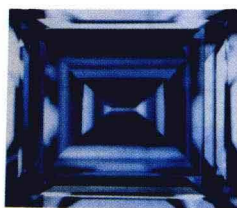
CVD合成钻石



天然钻石



掺氮褐色CVD合成钻石

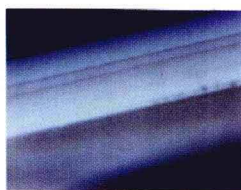


掺硼蓝色CVD合成钻石



高纯度CVD合成钻石

彩图19 天然钻石与合成钻石



彩图20
掺氮的褐色CVD合成钻石中
可见褐色的条带



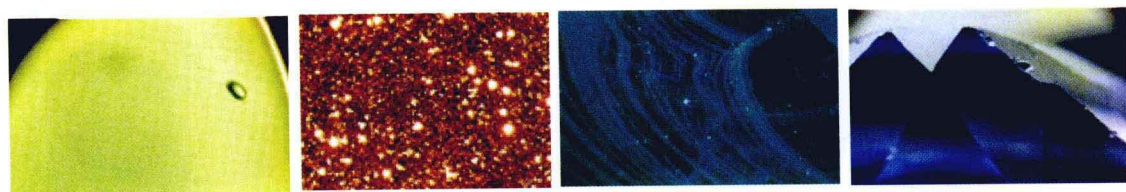
彩图21 CVD合成钻石中的针点状包裹体
和非钻石碳包裹体



合成碳硅石的重影 合成碳硅石的内部包裹体特征
彩图22 合成碳硅石的重影和内部包裹体



彩图23 各种玻璃猫眼制品



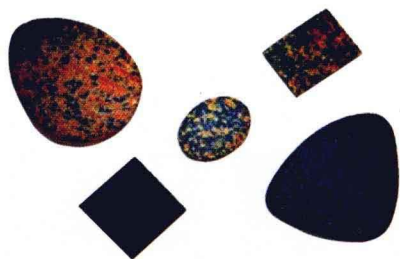
彩图24 玻璃仿宝石制品中的气泡、铜粒包裹体、流纹状构造和粗糙断口



彩图25 塑料仿琥珀制品



彩图26 塑料仿欧泊制品



彩图27 合成欧泊拼合石



再造琥珀



天然琥珀

彩图28 天然琥珀和再造琥珀

前言

《宝石人工合成技术》自出版以来,受到广大读者的欢迎和厚爱,不少读者来电或来函询问人工宝石领域的相关问题,并对该领域产生了浓厚的兴趣。他们在密切关心该领域发展现状的基础上还对该书寄予了很大期望,希望能够及时了解人工合成宝石的最新技术和最新产品。此外,高等院校的教学改革和课程建设中加大了基础知识的比重,在人工宝石课程中增添了晶体生长的基础知识。因此,在本书的再版中进行了如下修改。

(1) 根据新技术的不断研发和新产品在市场上的不断涌现,本书重点增补了近年来国内外研发的人工宝石新技术和新产品,以及它们在市场上的应用状况和发展动态,同时对新产品的性质和鉴定方法也进行了详细介绍。例如,在“焰熔法生长宝石晶体”一章中补充了合成尖晶石工艺细节;在“水热法生长宝石晶体”一章中增加了“水热法合成红色绿柱石晶体与鉴别”一节;在“高温高压合成宝石”一章中补充了“国内最新合成钻石进展”的内容;在“冷坩埚熔壳法生长宝石晶体”一章中补充了“冷坩埚熔壳法的技术特点”和“合成彩色乳锆”等内容;在“化学沉淀法合成宝石”一章中增加了“CVD法合成单晶钻石”的内容,并对“CVD法合成钻石薄膜”的内容进行了整合和修改;在“玻璃、陶瓷、塑料等宝石仿制品的制作与鉴定”一章中增补了“高折射率稀土玻璃的特点”和“庆隆夜光宝石发光机理”等内容。

(2) 考虑到颜色在宝石应用和鉴定方面的重要性,本书将原书中的宝石黑白图片改为彩色图片,更利于读者理解和掌握。同时,还对某些名称进行了修订,如将“金刚石”改为宝石业界惯用的“钻石”称谓,将“高温超高压”改为国际惯用的“高温高压”等。

(3) 为适应高等院校教学改革的要求,便于学生和技术人员理解各种人工合成宝石工艺的原理,本书增加了晶体生长基础理论一章的内容。

由于编者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编者
2010年3月

第一版前言

随着社会的进步和科学技术的发展,人工合成宝石技术日益趋向成熟并得到了飞速发展。伴随着人工合成宝石品种和数量的不断增多以及市场的日益扩大,人工合成宝石已逐步发展成为宝石学科的一个重要分支,在宝石材料领域中占据着相当重要的地位。人工合成宝石作为天然宝石的替代品,正以其特有的魅力博得人们的青睐,越来越多的人开始接受并喜欢人工合成宝石,这又进一步促进了人工合成宝石行业的发展。目前,我国已拥有集人工合成宝石科研、生产和销售为一体的规模庞大的队伍,人工合成宝石已发展成为一个新兴的产业。

本书详细和系统地阐述了人工合成宝石的概念、分类、原理和方法,并着重介绍了人工合成的钻石、翡翠、祖母绿、金绿宝石、红宝石、蓝宝石、星光红和星光蓝宝石、欧泊、绿松石、青金石、水晶类宝石、尖晶石类宝石、金红石类宝石、钛酸锶、立方氧化锆(CZ)、钇铝榴石(YAG)、钇镓榴石(GGG)、夜光宝石等的生产工艺、设备及产品特征,并简略介绍了各种人工合成宝石的鉴别方法。附录中还列出了各种人工合成宝石中英文名称对照、各种人工合成宝石的性质及鉴别特征一览表等。

全书共分十二章,在力求内容丰富、系统和完整的基础上,尽力做到深入浅出、通俗易懂,便于不同层次的读者掌握和理解。本书主要面向从事宝石业的生产、鉴定、教育、科研和贸易人员使用,也可供广大宝石爱好者参考。

在本书的编写过程中,何彦龙、张蕴韬同志分别为本书第三章、第九章、第十一章和第十二章的资料搜集和整理做了大量工作;冯雪梅、张静文、付红梅等同志参与了本书的校对工作;张蕴韬、张静文、杨崑同志在本书的图表制作方面做了大量的工作。在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,不足之处敬请广大读者批评指正。

编者
2004年3月

目 录

第一章 概 论

1

第一节 人工合成宝石的概念、分类及定名	1
第二节 人工合成宝石的方法	3
第三节 宝石人工合成的四个阶段及产品的检验	5
第四节 人工合成宝石的价值和价格	6

第二章 晶体生长理论

8

第一节 晶体和非晶体	8
第二节 晶体形成的方式	10
第三节 晶核的形成	13
第四节 晶体的生长	16
第五节 影响晶体生长的环境因素	19
第六节 晶体的溶解与再生	23
第七节 晶体的不完整性	24

第三章 焰熔法生长宝石晶体

31

第一节 焰熔法生长宝石晶体工艺	32
第二节 焰熔法合成刚玉类宝石	36
第三节 焰熔法合成金红石类宝石	40
第四节 焰熔法生长尖晶石类和钛酸锶类宝石	42
第五节 焰熔法生长宝石的鉴别	44

第四章 水热法生长宝石晶体

48

第一节 水热法生长宝石晶体概述	48
第二节 影响宝石晶体生长的因素	51
第三节 水热法合成水晶晶体与鉴别	54

第四节	水热法合成刚玉类晶体与鉴别	64
第五节	水热法合成祖母绿晶体与鉴别	71
第六节	水热法合成海蓝宝石晶体与鉴别	75
第七节	水热法合成红色绿柱石晶体与鉴别	76
第五章	助熔剂法生长宝石晶体	81
第一节	助熔剂法生长宝石晶体基本理论	81
第二节	助熔剂法合成祖母绿晶体	87
第三节	助熔剂法合成红宝石及生长 YAG 晶体	91
第四节	助熔剂法生长宝石晶体的鉴别	93
第六章	晶体提拉法生长宝石晶体	96
第一节	晶体提拉法生长宝石晶体工艺	96
第二节	晶体提拉法生长宝石晶体的鉴别	101
第七章	熔体导模法生长宝石晶体	103
第一节	熔体导模法生长宝石晶体概述	103
第二节	熔体导模法生长宝石晶体工艺条件	106
第三节	熔体导模法生长宝石晶体特点及鉴别	108
第八章	区域熔炼法合成宝石晶体	110
第一节	区域熔炼法合成宝石工艺	110
第二节	区域熔炼法合成宝石的鉴别	112
第九章	冷坩埚熔壳法生长宝石晶体	113
第一节	冷坩埚熔壳法生长晶体的基本原理	114
第二节	冷坩埚熔壳法合成立方氧化锆晶体工艺	115
第三节	合成立方氧化锆宝石晶体的鉴别	117
第十章	高温高压法合成宝石与鉴别	120
第一节	钻石的人工合成	120
第二节	翡翠的人工合成	132
第十一章	化学沉淀法合成宝石	137

第一节	人工合成欧泊	137
第二节	人工合成绿松石、青金石和孔雀石	139
第三节	化学气相沉淀法合成钻石	142
第四节	化学气相沉淀法合成碳硅石晶体	148

第十二章 玻璃、陶瓷、塑料等宝石仿制品的制作与鉴别 **155**

第一节	玻璃仿宝石制品	155
第二节	陶瓷仿宝石制品	159
第三节	塑料仿宝石制品	160
第四节	人工合成发光宝石	161

第十三章 拼合宝石和再造宝石 **165**

第一节	拼合宝石	165
第二节	再造宝石	172

附录一	世界人工合成宝石发展历程简表（1902 年起不完全统计）	174
附录二	人工合成宝石中英文名称对照表	176
附录三	主要人工合成宝石性质及鉴别特征一览表	178
参考文献		180

第一章

概论

宝石以其特有的晶莹剔透、色彩缤纷、光彩夺目的特性，一直是人们追求和寻觅的对象。在西方，宝石饰物从某种意义上来说是衡量一个人财富和社会地位的标志之一；在我国古代，宝石也是财富和权利的象征。随着社会的发展和进步，时至今日，宝石已成为大众消费品，进入了平常百姓家。这里所说的宝石大多为取自自然界的一些矿物，这些矿物晶莹剔透、具有独特的美和神奇的魅力。但是，天然宝石资源并不是取之不尽、用之不竭的，随着天然宝石的不断开采，其储量将会不断减少，并逐渐呈现枯竭之势，而人们对宝石的需求量却在不断地增加。这种需求与供给之间越来越大的差距促使人们尝试着用人工合成的方法制造宝石，以弥补天然宝石资源的不足。多年来，在人们坚持不懈的努力下，人工合成宝石真的孕育而生了。

随着科学技术的发展，人工合成宝石技术得到了飞速发展，人工合成宝石的品种和数量也在不断增多，人工合成宝石的市场在日益扩大。迄今为止，人工合成宝石已成为宝石学的一个重要组成部分，并迅速发展成为集科研、生产和销售为一体的产业。

第一节 人工合成宝石的概念、分类及定名

一、人工合成宝石的概念

人工合成宝石（可简称为人工宝石）是相对于天然宝石而言的，是为缓解天然宝石供需矛盾而产生和发展的产物，是人工制作而非天然产出的宝石。根据中华人民共和国 2003 年 11 月 1 日实施的国家标准《珠宝玉石名称（GB/T 16552—2003）》的规定，人工宝石（artificial products）的定义是：完全或部分由人工生产或制造用做首饰及装饰品的材料统称为人工宝石。换句话说，人工合成宝石是指人们运用现代科学技术的基本原理和方法，选用适

宜的原材料，通过合理的工艺、技术流程，在实验室或工厂里制造出来的用做首饰及装饰品的材料。

二、人工合成宝石的分类

按照我国国家标准规定，人工合成宝石包括合成宝石、人造宝石、拼合宝石和再造宝石。

(1) 合成宝石 (synthetic stones) 完全或部分由人工制造且自然界有已知对应物的晶质或非晶质体，其物理性质、化学成分和晶体结构与所对应的天然珠宝玉石基本相同。定名时必须在其所对应的天然珠宝玉石名称前加“合成”二字，如“合成红宝石”、“合成祖母绿”等。例如，合成红宝石和合成蓝宝石的化学成分为 Al_2O_3 ，矿物名称为刚玉，六方晶系，硬度 9，密度 $3.90\sim 4.00\text{g/cm}^3$ ，折射率 $1.762\sim 1.778$ 。由此可见，其物理性质、化学性质及光学特征均与天然红宝石和蓝宝石基本相同，因此可被称为合成宝石。据不完全统计，现今世界上已研究成功并投入批量生产的合成宝石多达 30 多种，其中特别重要的有 10 余种。我国国家标准中列入的合成宝石品种为 18 种。

(2) 人造宝石 (artificial stones) 由人工制造且自然界无已知对应物的晶质或非晶质体称为人造宝石。定名时必须在其材料名称前加“人造”二字，如“人造钆镓榴石 (GGG)”、“人造钇铝榴石 (YAG)”，但“玻璃”、“塑料”除外。人造宝石具有宝石的属性，可以用做宝石饰物，主要用于代替或仿造某种类型的天然宝石，如人造钛酸锶、人造钇铝榴石、人造钆镓榴石以其高色散的特性，常用于仿钻石。另外，近年来我国生产的加稀土元素改造的高折射率玻璃基质宝石以及玻璃基质的仿猫眼宝石、仿绿松石和仿珊瑚等材料，也属人造宝石范畴。

值得指出的是合成立方氧化锆以前曾一直被列入人造宝石范畴，但根据珠宝玉石国家标准释义“立方氧化锆这类物质曾发现于天然锆石的包裹体中”，并且美国宝石学院 (GIA) 的《宝石参考书指南 (Gem Reference Guide)》一书也将传统的所谓“人造立方氧化锆”划归为合成宝石。因此，人工生产的立方氧化锆应称之为“合成立方氧化锆”，属合成宝石范畴。

(3) 拼合宝石 (composite stones) 由两块或两块以上材料经人工拼合而成，且给人以整体印象的珠宝玉石称拼合宝石，简称“拼合石”。其有两种定名方式，一是逐层写出组成材料名称，并在组成材料名称之后加“拼合石”三字，如“蓝宝石、合成蓝宝石拼合石”；二是以顶层材料名称加“拼合石”三字，如“蓝宝石拼合石”。

此外，由同种材料组成的拼合石，在组成材料名称之后加“拼合石”三字，如“锆石拼合石”。而对于分别用天然珍珠、珍珠、欧泊或合成欧泊为主要材料组成的拼合石，分别用拼合天然珍珠、拼合珍珠、拼合欧泊或拼合合成欧泊的名称即可，不必逐层写出材料名称。

(4) 再造宝石 (reconstructed stones) 通过人工手段将天然珠宝玉石的碎块或碎屑熔接或压结成具整体外观的珠宝玉石。定名时在其所组成天然珠宝玉石名称前加“再造”二字，如“再造琥珀”、“再造绿松石”等。

本书重点介绍人工宝石中占绝大多数的合成宝石和人造宝石两大类。对于拼合宝石及再造宝石，由于其所占比例较少，本书仅作简单介绍。

三、人工合成宝石的定名原则

有关人工宝石的名称，在行业内外一直比较混乱。为了规范市场，我国的国家标准

中制定了相关的定名原则，并特别提出了一些“不参与定名因素”，归纳起来主要有如下4条：

- (1) 禁止使用生产厂或制造商的名称直接定名，如“查塔姆（Chatham）祖母绿”，“林德（Linde）祖母绿”等；
- (2) 禁止使用生产国名或地名参与定名，如“苏联钻”、“奥地利钻”等；
- (3) 禁止使用易混淆或含混不清的名词定名，如“鲁宾石”、“红刚玉”、“合成品”等；
- (4) 不允许用生产方法参与定名，如“焰熔法红宝石”、“水热法祖母绿”等。

关于仿宝石（imitation stones），国家标准的定义是：用于模仿天然珠宝玉石的颜色、外观和特殊光学效应的人工宝石以及用于模仿另外一种天然珠宝玉石的天然珠宝玉石可称为仿宝石。“仿宝石”一词不能单独作为珠宝玉石的名称使用。定名时应在所模仿天然珠宝玉石名称前，冠以“仿”字，如“仿祖母绿”，“仿珍珠”等；或者应尽量确定给出具体珠宝玉石名称，且采用下列表示方式，如“人造钇铝榴石”或“仿祖母绿（人造钇铝榴石）”、“玻璃”或“仿水晶（玻璃）”。

“仿宝石”一词使用时应注意以下几点：

- (1) 仿宝石不代表珠宝玉石的具体类别；
- (2) 当使用“仿某种珠宝玉石”（例如“仿钻石”）这种表示方式作为珠宝玉石名称时，意味着该珠宝玉石：①不是所仿的珠宝玉石（如上例，“仿钻石”不是“钻石”）；②具体模仿材料有多种可能性（如“仿钻石”可能是玻璃、合成立方氧化锆、合成碳硅石或水晶等）。

第二节 人工合成宝石的方法

随着社会的进步和科学技术的发展，人工合成宝石的方法和手段也在不断增多和更新，有的宝石还可以用多种方法合成。目前，常用的人工合成宝石方法有以下几种。

1. 焰熔法

焰熔法是使原料粉末在氢氧焰中，边投入边熔融而结晶生成宝石晶体的方法。由于此法是法国的 A. 维尔纳叶（A. Verneuil）在 1902 年发明的，所以又称“维尔纳叶法”。这是目前合成宝石的主要方法之一。现今的合成红宝石、合成蓝宝石、合成彩色尖晶石、合成金红石、合成星光红宝石、合成星光蓝宝石及人造钛酸锶等宝石大多用此法制得。

2. 水热法

水热法也称热液法，是在密封的高压容器内，从水溶液中生长出晶体的方法，其在一定程度上再现了地下热液矿床矿物结晶的过程。用此法合成的宝石有合成水晶、合成祖母绿、合成红宝石、合成蓝宝石、合成海蓝宝石等。

3. 助熔剂法

助熔剂法是在常压高温下，借助助熔剂的作用在较低温度下加速原料的熔融，从熔融体中生长出宝石晶体的方法。此法在一定程度上模拟了自然界的岩浆分异结晶成矿过程。通常某些文献中所提及的“卡善（Kashan）”合成红宝石、“查塔姆”合成祖母绿以及市场上出现的某些人造钇铝榴石、人造钇镨榴石、合成金绿宝石、合成蓝宝石、合成尖晶石等均可用

此法生产。

4. 晶体提拉法

晶体提拉法也称丘克拉斯基 (Czochralski) 法, 是一种直接熔化宝石原料, 然后利用种晶从熔体中提拉出宝石晶体的方法。适用于合成红宝石、合成蓝宝石、合成星光红宝石、合成星光蓝宝石、合成变石、人造钇铝榴石 (YAG)、人造钆镓榴石 (GGG) 等宝石晶体的生长。

5. 熔体导模法

熔体导模法也称斯切帕诺夫 (Степанов А. В.) 法, 是提拉法的变种, 是利用模具和籽晶 (种晶) 从熔体中提拉出宝石晶体的方法。主要用于生长合成红宝石、无色合成蓝宝石、合成金绿猫眼宝石等。

6. 区域熔炼法

区域熔炼法也称浮区法, 是将原料逐区熔融并重结晶而生长出宝石晶体的方法。用此法可生长出合成刚玉类宝石、合成变石和人造钇铝榴石等。

7. 冷坩埚熔壳法

冷坩埚熔壳法简称熔壳法, 主要用于生产合成立方氧化锆 (CZ) 晶体。其原理与熔体法相近, 但具体方法及工艺过程较为复杂。

8. 高温超高压法

高温超高压法是在高温超高压条件下, 模拟变质成矿过程合成宝石的方法。常用于生产合成金刚石、合成翡翠等。

9. 化学沉淀法

化学沉淀法是一种经化学反应和沉淀 (或沉积), 进而加热加压合成非单晶质宝石的方法, 如合成欧泊、合成绿松石等。另外, 用于生产合成金刚石薄膜的化学气相沉淀 (CVD) 法以及合成碳硅石的单晶生长技术, 也归属于此类。

10. 其它方法

其它方法主要是指利用玻璃、陶瓷、塑料或其它材料制作的人造宝石 (如玻璃仿猫眼宝石、玻璃仿绿松石、玻璃仿欧泊、塑料仿琥珀、玻璃或塑料仿珍珠、人造夜光宝石等) 和拼合宝石 (蓝宝石拼合石、红宝石拼合石、欧泊拼合石和石榴石拼合石等) 以及再造宝石 (再造琥珀、再造绿松石等) 的方法。

各种人工合成宝石的生长和制造往往需要采取不同的晶体生长工艺来达到, 而各种人工合成宝石的方法又各有其制作原理、生产工艺和设备的特点。不同的方法有时能够生长出相同的宝石晶体, 但某些宝石晶体目前只能用某种方法进行生长, 其它方法不能代替。例如, 合成红宝石晶体可以采用焰熔法或助熔剂法, 也可以采用丘克拉斯基法; 而合成立方氧化锆 (CZ) 晶体只能采用冷坩埚熔壳法; 合成钻石也只能用高温超高压法; 合成水晶只能用水热法等。

根据不同人工合成宝石技术的发展规模和其在人工合成宝石领域中的不同地位, 本书在以后的章节中将有侧重地分别予以介绍。

第三节 宝石人工合成的四个阶段及产品的检验

一、宝石人工合成的四个阶段

众所周知，几乎所有天然宝石都是晶体，且其中的大多数都是单晶体，因此，研究人工合成宝石的历史也可以说是不断开发晶体生长技术的发展史。一般来说，任何一项宝石人工合成过程都必须经历如下四个阶段。

第一阶段 了解和掌握相应天然宝石的性质以及在自然界成矿的条件，为选择人工合成宝石的方法提供理论依据。例如，1797年人们已经认识到钻石（金刚石）是由碳原子所构成，并且具有立方晶体结构，后来又认识到钻石是在高温超高压条件下形成的；而对于欧泊，直到1946年人们才掌握了它的基本结构，它是由密集排列整齐的 SiO_2 小球堆积而成的，这一发现为合成欧泊宝石提供了依据。

第二阶段 通过一些特殊的技术和方法制作出极小的晶体。例如，用焊接喷枪嘴烧熔 Al_2O_3 粉制作出极小的红宝石晶体，由此证明用某种方法能够人工合成出某种宝石，并为继续研究提供动力和增强信心。

第三阶段 进行多种方法的尝试，并对工艺方法的现实可行性及其经济效益进行评估，逐步发展成为较为成熟、切实可行的工艺方法。在这一阶段，通常对于晶体的尺寸和缺陷的改进考虑不多。

第四阶段 进一步对选定的晶体生长工艺方法进行细致而科学的研究，精确地确定各种晶体生长参数，保证晶体能够生长到足够大的尺寸，并克服各种晶体生长缺陷以达到能琢磨出精美宝石的水平。

二、人工合成宝石产品的检验

宝石人工合成是否成功，或者说人工合成的产品能否作为设计的宝石应用？还必须经过以下严格的检测。

1. 结构分析

首先要对合成出的产品进行结构的检测和分析，可以采用X射线衍射分析、红外光谱分析等，检测合成出的产品是否晶体，以及能否定名为所设计宝石的相对应矿物。例如设计合成的是红宝石，红宝石所对应的天然矿物是刚玉，因此需要对生长出的红色材料进行结构分析。如果分析结果为刚玉结构，说明该红色材料具有所希望得到的红宝石的结构，该红色材料可初步定名为合成红色刚玉矿物；反之，则说明合成出的红色材料不具有红色刚玉的结构，合成出的不是红色刚玉，更不可能是红宝石。

2. 成分分析和物理化学性质测定

在结构分析确定合成产品是设计宝石相对应矿物的前提下，进一步对合成出的产品进行成分分析和物理化学性质（包括折射率、密度、硬度、光性、吸收光谱、荧光等）的测试，若测试结果与天然宝石矿物的成分基本一致并且物理化学性质非常接近，才能肯定合成宝石的相对应矿物已成功。例如对上述生长出的红色材料进行成分分析和物理化学性质测试，若