

泰坦之金

——走进钛的世界

□ 文图 / 张超 翟德华

第一作者简介 张超，地质矿产工程师，研究方向为矿物学、矿床学、构造地质学及地学科普研究。

自然界中有一种金属元素名为钛，英文名为 Titanium，取自泰坦种族“Titan”。那么，钛具有怎样的魅力，能够被赋予这样一个霸气的名字，让我们一起来走进钛的世界。

钛，化学符号 Ti，是一种银白色过渡金属元素。钛在壳中分布广

泛，在 10 000 米厚的地球表面含量高达 6‰，在所有元素中位居第 9 位。具有熔点高、密度小、机械强度高、耐高低温、耐腐蚀、不易氧化、还原性强等特点。在常温下，钛表面易生成一层极薄的致密的氧化物保护膜，使其不会与硝酸、稀硫酸、稀盐酸以及酸中之王王水反应。但要注意的是，钛会与氢氟酸、浓盐酸、浓硫酸反应。钛的突出优点是比强度高、耐腐蚀性强，这两点也决定了钛的应用领域十分广泛。

天神之名——钛的发现

钛金属在航空航天等新兴科技领域具有广泛的应用，更是被誉为“战略金属”，这种重要战略资源是最晚被人类发现的几种金属。钛最早被人类发现是在 1791 年，一位英格兰业余矿物爱好者发现这种白色粉末。之后在 1795 年，德国化学家才确认这种元素并将其命名为钛。但实际上两位前辈发现的都是粉末状的二氧化钛。直到 1910 年，经过了一个多世纪，人类才发现制取钛的方法，美国化学家亨特第一次制得真正意义上的金属钛（纯度达到 99%）。但是因为钛的氧化物极其稳定，对冶炼工艺要求非常高，使得人们长期无法制得大量的钛。因此，尽管钛在地壳中含量远远高于许多常见的金属，但其被人类开发利用的历史并不长。

钛虽然属于铁族系列元素而被归入黑色金属类别，但它却是典型的亲石元素，常常以氧化物矿物的形式出现。自然界中发现的含钛矿物有 140 多种，但被工业利用的主要有钛铁矿、金红石和钛磁铁矿，等等。

其中金红石作为最重要的钛氧化物，不仅是提炼金属钛的重要来源，还是一种重要的宝石或者说是宝石中不可或缺的一部分。含有金红石的宝石，其身价和珍贵程度倍增，比如星光红宝石、猫眼石，等等。

熠熠星光——金红石的宝石学用途

金红石、板钛矿、锐钛矿这三种矿物的成分相同，我们称之为同质多象变体。它们有相同的化学成分，即二氧化钛，但有不同的晶体



> 锐钛矿



> 板钛矿

（山西地质博物馆藏）



> 钛铁矿



> 金红石
(山西地质博物馆藏)

结构和理化特性，所以并不是同一种矿物。金红石、板钛矿至锐钛矿，结构稳定性是递减的。而在自然界中，金红石是分布较广的矿物，锐钛矿和板钛矿都比较少见，也正说明了这点。金红石其实就是最早被认识和发现的“钛”。金红石之所以比其他两种矿物更稳定，是因为它的结构。金红石晶体结构正是以金红石命名的，另外具有金红石型结构的其他矿物有锡石、软锰矿，等等。

金红石通常形成于高温条件下，主要产于变质岩系的含金红石石英脉和伟晶岩脉中。此外也可作为副矿物产于花岗岩、伟晶岩、片麻岩、云母片岩、榴辉岩等岩石中，还可以以碎屑或砂矿等形式分布于沉积岩或松散沉积物中。

自然形成的金红石，其二氧化钛含量可以达到95%以上，但是也常常会混入一些杂质，比如铁、锡、铬，等等。当含铁多时，称为铁金红石变种。金红石的英文名称 rutile 来自拉丁语 rutilus（红色），指示金红石的颜色特征。金红石除了较为常见的红色系，比如红棕色、红色，也会有黄色，等等。当金红石富含铁时也会呈现黑色。

金红石属于四方晶系，单晶少见，晶体常呈粒状或针状，通常为四方柱与四方双锥的聚形，膝状双晶常见；集合体常常表现为粒状或致密块状结构，常呈发丝状包裹于水晶等其他矿物中。

金红石具有很高的折射率，仅次于辰砂，高于钻石；而辰砂很少能够以切割的方式来展示这种光

学特性。金红石的色散值更是现在已知色散值中最高的矿物，是钻石的8倍还多。这两点突出的特征，使得部分金红石具有非常高的价值，也是其能够成为宝石的重要原因。

颜色艳丽、光泽度好、具有一定火彩、结晶形态完整的金红石单晶，在经过工匠师的加工后，被切割成多面或者包层，被许多收藏家作为珍品收藏。当以集合体形式出现时，也可以形成各种各样漂亮的形态。在20世纪中期，市场上曾有人工合成多种颜色的金红石来冒充钻石，被称为“五色钻”，也正是利用了金红石优秀的性质。

然而，你可能会发现大部分的金红石被用作收藏展示，而不是宝石切割。这主要是因为金红石的透明度不高，硬度也只有6；同时，金红石的色散值难以通过切工表现出来，这也掩盖了它的部分光辉。

虽然没有作为独立宝石，但是金红石作为其他宝石的内含物却非常有名。金红石晶体常常作为针状包裹体，广泛存在于各种宝石材料中。由于金红石的折射率高，当平行排列的大量针状或丝状金红石聚集在其他宝石中时，会对光产生某种方向的反射作用，就会表现出特殊的光学效应。

比如在它的助力下，红、蓝宝石（矿物名称为刚玉）拥有了独特的星光效应，变得熠熠生辉、璀璨夺目，毫无悬念地登顶彩色宝石之巅。同样，在它的助力下，金绿宝石获得猫眼效应，随即变身成最为灵动的“猫眼石”，稳坐“猫王”宝座，无可



> 星光效应红宝石
(@Matteo Chinellato 产地印度)



> 水晶发晶
(@Michael Roarke 产地巴西)

替代。而包裹于水晶中的金红石，更是形成各种发丝状、针状结构，以及红色、黄色、灰色等颜色闪烁其中，使透明无色的水晶丰富多彩，千变万化，更加神

奇。金红石的“最强助攻”为这个世界增添了更多的美景，创造了更多的神奇。

飞天之材——钛及其化合物的用途

金红石是生产钛白粉（高纯度二氧化钛）的最佳原料。钛白粉具有增白能力强、白度高、高分散性、化学性质稳定、折射率高等特征，被广泛用于涂料、塑料、造纸、陶瓷、橡胶、油墨和化纤等行业。金红石型钛白粉不仅具有钛白粉的优秀性能，而且具有更好的耐温性和遮盖力，在涂料行业中被称为“颜料之王”。纳米级的钛白粉对人体无毒无害，不刺激皮肤，在化妆品中广泛使用，粉底、口红、腮红等化妆品的配方表中都有它的身影。

金红石是提炼金属钛及钛合金的重要原料。液态钛几乎能溶解所有的金属，因此可以和很多金属形成合金。钛合金具有比强度高、导热率低、耐腐蚀、无毒无磁、生物相容性好等特性。在航空航天、舰船军工、冶金、石油化工、海洋工程、汽车、医疗器械、体育器械等多个领域有着广泛的应用。

在航空航天领域，钛合金制造的飞机比其他金属制成的飞机更加轻便。使用钛合金制造的发动机不仅能重量轻，而且能耐受发动机产生的高温，有效提高发动机的推重比（发动机产生的推力与其自身重量之比）。而且钛合金具有较高的疲劳寿命和耐腐蚀性能，有效提高飞机和发动机的寿命。现今最大的飞机制造商波音和空客使用的主要材料就是钛合金。

在船舶及海洋工程装备中，钛合金制成的潜艇，既能抗海水腐蚀，又能抗深层海水压力，其下潜深度能够得到有效的提高。同时，钛没有磁性，不会被水雷发现，具有很好的防侦测效果。我国深海载人潜水器“蛟龙号”和万米载人潜水器“奋斗者号”使用的材料都是我国

- 星光效应是一些宝石表面在光的反射下呈现星芒亮斑的现象。见于一些蓝宝石、红宝石、金红石，也见于石榴石、透辉石、尖晶石，等等。

- 猫眼效应指的是当把宝石加工成弧面形琢型后，在其弧面上出现一条明亮并具有一定游动性（闪光或活光）的光带，宛如猫咪眼时形成的细线。需注意的是，在中国只有具备猫眼特性的金绿宝石可以直接简称为猫眼，而其他宝石需注明矿物名称，比如具有猫眼效应的月光石，只能叫如月光石猫眼。



＞ 中国自主研制的 C919 中型客机



＞ 中国自主研发的“奋斗者号”万米载人潜水器

自主研发的高强度高韧性钛合金材料。

在医疗行业，钛与人体组织具有良好的相容性，没有毒副作用，而且能够抵抗各种细菌作用和各种杀菌方式。因此被广泛用于制造医疗器械。采用钛合金制造的骨骼、关节、头盖骨、心瓣、假体等上百种器件，移植到人体后，取得了良好效果。

在化工行业，金红石是制作高档电焊条必需的原料之一，被广泛用于电焊条、药芯焊丝、焊剂等焊接材料的制作中。由于其熔点高，被用来制造耐火玻璃、釉料、珐琅、陶土的耐高温实验器皿。金红石还可以用来制作光隔离器，广泛应用于现代光学通信领域。

在日常生活中，钛合金制造的眼镜轻便舒适，是眼镜材质中质量最轻的，而且硬度好，镜架不易变形，并且耐腐蚀，不生锈，不会引起皮肤过敏，广受消费者喜爱。使用钛合金制造的运动器材，包括高尔夫球头、羽毛球拍、自行车车架、轮椅等越来越多。

除了生产生活应用之外，金红石还可以反映地质环境演化变迁，指示地质年代等，具有重要科学意义。

潜力之股——钛的开发与前景

金红石在全球是一种稀缺和垄断资源。全球产天然金红石的国家主要有澳大利亚、南非、塞拉利昂和乌克兰。我国金红石矿主要分布在湖北省枣阳的大阜山、山西省代县的碾子沟、河南省新县的杨冲等地。其中湖北省金红石储量占全国的 71.20%，

山西省占 20.60%。

高品质的金红石一直是找矿热点。遗憾的是，国内目前金红石供应严重短缺，生产矿山极少，所需的高等级金红石基本依赖国外进口。我国钛精矿对外依存度为 63.8%，供应风险处于中高级，因此被列为对外依存度高的 14 种战略储备矿种之一。

自 2008 年以来，作为重要的稀有和战略金属品种，钛矿石资源的价格逐步抬高。钛白粉在未来几十年里有着非常广阔的发展空间，全球钛资源的开发利用即将进入高速期。

目前世界上仅有美国、俄罗斯、日本、中国四个国家掌握完整钛工业产业链的生产技术，而中国的生产技术与其他三国相比还有一定差距。进一步加强产业升级、加强研发是提升核心竞争力的关键所在。数据显示，国内钛合金专利申请内涵正在逐步高端化。以钛为主导产品的稀有金属材料（钛合金）已实现现代化专业化生产，其中高档钛材和军工钛材市场占有率超过 80%。伴随着国产钛合金制造的先进民用和军用飞机升空试飞，中华“钛”空之旅拉开帷幕。 

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志（编号：DD20160346、DD20190379）”项目之子项目“山西省矿产地质志”项目资助。

第一作者单位 / 山西地质博物馆

（本文编辑：张佳楠）