

# 第一章 绪言

## 第一节 “新生代”概述

### 一、概念与名词

什么是新生代？新生代从什么时候开始？为什么要研究新生代的成矿作用？

《中国大百科全书》（2000年电子版）对于新生代（Cenozoic Era）的解释是：地球历史的最近6500万年的地质时代，是继古生代、中生代之后最新的一个代。新生代形成的地层称新生界。新生代一词最先在何处出现，已不易考证，但早在1760年，G·阿尔杜伊诺就把岩石分成3个纪：第一纪为结晶岩；第二纪为含化石的成层岩石；第三纪是半胶结的层状岩石，常含海相贝壳。因此，第三纪这一名称至少已经有了200多年的历史，而且意义基本上不变。200多年过去了，第一纪和第二纪的名称早已不再使用，第三纪（Tertiary Period）的名称虽然仍在使用，但2000年出版的《中国区域年代地层（地质年代）表说明书》中已不再使用“第三系（纪）”一词，用“古近系（纪）”代替了“下第三系（早第三纪）”，用“新近系（纪）”代替了“上第三系（晚第三纪）”。尽管如此，正如《国际地层指南》序言中所讲：“指南不是法规，任何个人、团体或国家无须感到非服从该《指南》或其中的任何部分不可，除非信服它的逻辑性和价值”，寿嘉华在该《说明书》的序言中也明确指出：“这本《中国区域年代地层（地质年代）表说明书》，也和指南一样，对广大的地层工作者并非法规约束，只是想通过一个明确的定义性说明，使大家会有更多的共同语言，以免在地层工作中造成新的混乱”。考虑到本书主要涉及新生代地质及其成矿作用，不可避免地要使用“第三纪”、“早第三纪”、“晚第三纪”、“下第三系”、“上第三系”、“古近系”、“古近纪”、“新近系”、“新近纪”等名词。如何选择这些词汇，颇费思虑。因为，虽然“古近系”和“新近系”及“古近纪”和“新近纪”是上了新地层（年代）表的新名词，但仅仅从“语言”的角度看，这些词汇中“近”和“纪”两个字在发音上相近，不易辨别；而“近”虽然意味着新近，却又有“古”和“新”之分，似乎有矛盾，在理解上容易产生偏差，也很难让人感觉“语言美”。相反，“第三纪”、“早第三纪”和“晚第三纪”这样的词汇使用已久，语义明确，既为广大的地质工作者所熟悉和使用，又有助于传播推广。因此，为了保持资料的前后一贯性（比如，使用第三纪、早第三纪和晚第三纪这样的词汇可以在互联网上检索到所需要的资料，而使用“新近纪”、“古近纪”这样的词汇，既检索不到以往关于早第三纪、晚第三纪的资料，更是把整个“第三纪”都从记录中“抹掉”了），为了与以往的地质工作积累相衔接（由于新的年代表没有第三纪的概念，很多问题无法讨论），也为了今后使用的方便，在考虑到“说明书并非法规”的前提下，本书未采用“古近纪”、“新近纪”、“古近系”、“新近系”这样的名词，以免“造成新的混乱”。

关于新生代的起止时间，上述《中国大百科全书》和《中国区域年代地层（地质年代）表说明书》均采用 65 Ma 作为起点，《英汉常用地质学词汇》等常用工具书也采用 65 Ma，在一些通用教材中也采用 65 Ma，第 31 届国际地质大会提出的国际地层表采用的也是 65 Ma，因此，本书也采用 65 Ma 作为新生代的起点。但是，地质历史上的地质事件不是在某一点上发生的，往往有一个过程。北美地质学家根据 1983 年版《地质年代表》普遍采用 66.4 Ma 作为新生代的开始（Palmer, 1983）。为此，正如《中国区域地质概论》（程裕淇主编，1994）所采用的办法，以  $66 \pm 2$  Ma 作为喜马拉雅旋回的开始或新生代的开始，这样可能更加符合地质构造运动和区域地质演化非同步性的实际。

按照新的地质年代表，新生代包括古近纪、新近纪和第四纪，起止时间分别是 65 ~ 23.3 Ma、23.3 ~ 2.60 Ma、2.60 Ma 至今，相当于通常使用的早第三纪（Eogene 或 Paleogene Period）、晚第三纪（Neogene Period）和第四纪（Quaternary Period）。其中，早第三纪有时也称为老第三纪，晚第三纪也称为新第三纪。

## 二、早第三纪

早第三纪是 1866 年由 K·F·璠曼正式提出的，他把渐新世和始新世（当时包括古新世）合在一起称为早第三纪。早第三纪形成的地层称为下第三系。由于不同种类、同一类不同地区的生物具有不完全相同的进化速率，因此，世界各地的下第三系的底界不完全一致，海相和陆相又有所不同，一般以美国的经典地层为参照标准，将下第三系的底界定在贝尔卡阶之底，它标志着恐龙的消亡和哺乳动物有胎盘类的开始兴起；上界定在维特奈阶之顶，它标志着哺乳动物群开始具备现代化特点（《中国大百科全书》，2000）。古地中海地区的海相下第三系中广泛分布有大型的原生动物货币虫，因此，欧洲人常将早第三纪称为货币虫纪。

中国的下第三系发育齐全，尤其是数百个陆相盆地中发育了很有特色的陆相地层。中国的海相下第三系见于喜马拉雅山区、塔里木西缘和东海大陆架及台湾地区。东海大陆架的下第三系发育良好，包括古新世灵峰组和始新世瓯江组，是西太平洋地区最完善的海相地层序列。渤海湾地区的下第三系是重要的含油气地层，厚度巨大。

早第三纪的生物演化以被子植物的极度繁盛为特点，主要是乔木、热带和亚热带的植物（如棕榈）可以深入到北极地区。显花植物和草类的发展为动物（如昆虫和脊椎动物）的繁荣创造了必要的条件。中生代晚期广泛分布的海生爬行动物（如蛇颈龙类和海生蜥蜴类）被小型鲸类和海狮等海生哺乳动物代替。在陆地上，恐龙被其他哺乳动物取代，现代鸟类充满了大陆和岛屿。热带岛屿的鸟类磷矿是现代生物成矿的典型。（郑家坚，1999）早第三纪初期，由于海底扩张，北大西洋断裂把劳亚古陆切开并使之与北极海连通，海生动物大致形成北海、地中海和印度洋-太平洋 3 个主要的分布中心，而陆上动物大致分布在古北区（包括欧洲、地中海区、亚洲的中部和北部）、新北区（包括北美洲）、新热带区（包括南美洲和中美洲）、埃塞俄比亚区（包括非洲大部分）、澳洲区（包括澳大利亚、新西兰及邻近岛屿）和东方区（包括东印度和南亚）。

早第三纪的大地构造变化很大，古地中海（特提斯海）最终消失，欧亚古陆与印度板块碰撞而最后形成目前之亚洲大陆，青藏高原隆起，阿尔卑斯山、喜马拉雅山、落基山和安第斯山等现代山系相继形成，吐尔盖海峡消失和巴拿马地峡出现，气候分带渐趋明

显，地球自然环境向多样化方向发展。期间，冈瓦纳古陆进一步分裂，澳大利亚与南极大陆分开并向北漂移；印度板块与欧亚板块在古新世发生碰撞而形成南亚次大陆；非洲北部逐渐向赤道靠近；南美洲与北美洲在巴拿马地峡时而相接，引起两地动物群部分种类的迁徙和交流；阿拉伯半岛与非洲分开后与亚洲相连，出现红海；非洲东部形成巨大的断裂带。早第三纪的气候在开始时北半球年平均气温曾下降 $3^{\circ}\text{C}$ ，到古新世后期，气温一度回升；始新世晚期也曾有降温趋势。在早第三纪晚期，中国的气候具有明显的南北分带，出现南北两个潮湿带，中间为干旱带。实际上，随着青藏高原的隆起，干旱带从古新世开始逐渐向北移动（孙鸿烈等，1998）。中国西部规模巨大的山前拗陷和东部显著的沉降中心也都形成于早第三纪。早第三纪的岩浆活动主要是基性火山岩的喷发，在西藏冈底斯到拉萨一线以及台湾等地有酸性火山岩和酸性侵入岩发育。

### 三、晚第三纪

晚第三纪之名是奥地利地质学家 M·赫奈斯 1853 年提出的，用以代表维也纳盆地时代比早第三纪晚的一组海、陆交互沉积（《中国大百科全书》，2000）。1860~1868 年，K·F·瑙曼将它与 C·莱伊尔 1833 年提出的中新世和上新世的概念合在一起，产生了现今概念的晚第三纪（邱占祥，2000）。其起止时间在中国通常采用 23.30 Ma 和 2.48 Ma。晚第三纪时期形成的地层叫上第三系（包括中新统和上新统），通常以研究历史最久的地中海周围的海相地层为参考标准。中新统的底界（也是上第三系的底界）以阿基坦阶的底界为准，代表了渐新世末期海退之后的一次广泛的海侵的开始，大约发生在 24 Ma 前。本次研究表明，25 Ma 前后，在中国西南部是一个非常重要的成矿作用高峰期，与全球性和区域性构造事件相吻合。在欧洲和美洲，陆相上第三系比较发育，含有丰富的哺乳动物化石；在印巴次大陆，上第三系以喜马拉雅山南麓巨厚的磨拉石建造的西瓦利克岩系为代表；在中国，上第三系广泛分布，绝大多数属于陆相沉积，海相沉积出现在台湾、海南岛及沿海地区。其中，下中新统出现于青海西宁、甘肃兰州、河西走廊、新疆准噶尔盆地等地，主要是河湖相碎屑沉积；中中新统出现在宁夏同心、陕西蓝田、江苏泗洪、内蒙古通古尔、山东山旺和云南开远等地，大部分属于河湖相沉积，也有煤和硅藻土等湖沼沉积；晚中新统广泛分布，在黄河以北、汾河以西主要是土状堆积（即三趾马红土），汾河以东为河湖相沉积，黄河与长江之间发现得少，在郑州和襄樊一带有灰岩，在云南多沼泽相（含褐煤），在西藏希夏邦马峰北坡也发现三趾马化石。上新统在中国仅零星分布于陕西、山西和河北等地。

晚第三纪的生物基本上由现生属组成，北半球的喜暖植物更向北延伸。晚第三纪初期，在北欧还有热带常绿植物，在西伯利亚有温带阔叶林。到晚第三纪末期，喜暖植物明显南退。无脊椎动物中的大量属种也是现生的（邱占祥，2000）。一些早第三纪特有的门类，最著名的如货币虫等，已经完全灭绝。双壳类、腹足类和介形类大量衍生，海洋中的有孔虫、放射虫极其繁盛。在哺乳动物中，欧亚大陆早第三纪的特征门类，如有袋类、肉齿类，奇蹄目中的雷兽、原始獭类、两栖犀、巨犀，偶蹄目中的石炭兽、古猪兽等，除少数外，均相继灭绝。取而代之的是长鼻目、肉食目中的鬣狗科、熊科、奇蹄目中的安琪马和三趾马等。特征性的哺乳动物群在中中新世以安琪马动物群、在晚中新世~早上新世以三趾马动物群、在晚上新世以真象从非洲和真马从北美迁入欧亚大陆为特征。

晚第三纪的大地构造格局和海陆轮廓比较接近于现今。其中，地中海沿岸的北非阿特拉斯山区、意大利的大部、法国和西班牙的地中海沿岸都曾经为古地中海区，法国的西海岸和北欧地区曾被大西洋所占，北美西海岸南部以及墨西哥湾滨海地区也曾经被海洋占据。但是，中国的东海岸在晚第三纪的大部分时间里更向东扩展，渤海和黄海的大部分还都是陆地。副地中海的存在是晚第三纪的一大特点，它是特提斯海残留在阿尔卑斯山脉以北的水体。水体最大时东西长约 5000 km，面积为现今地中海的 1.5 倍，从法国罗讷河谷沿阿尔卑斯北麓向东延伸至咸海一带（邱占祥，2000）。到中中新世末，约 13 Ma 前，基本与其他海洋隔绝而成为内陆海，至今残留下咸海、里海、黑海和匈牙利的巴拉顿湖。南美洲和北美洲在上新世末曾经相连。晚第三纪也是重要的造山时期，现今地球上较高的山脉（如欧洲的阿尔卑斯山、非洲的阿特拉斯山、亚洲的喜马拉雅山、北美洲的落基山和南美洲的安第斯山）都是晚第三纪形成的（杨巍然等，1999），一些古老的夷平山地也重新活化抬升，如天山和秦岭。除了造山之外，晚第三纪的“造盆运动”仍在继续，如中国东部渤海湾等大型盆地的继续沉降，并且伴随有强烈的岩浆活动，在太平洋东西两岸均有大量的火山岩（主要是玄武岩），如中国的汉诺坝玄武岩、东北的大片玄武岩以及山东山旺和浙江嵊州等地的玄武岩。

晚第三纪的气候在刚开始时由凉爽向湿热转变，中中新世以后随着青藏高原的隆起而具有更大的区域性变化，在中国表现为气候分带日益明显并逐渐变得干旱凉爽。造山运动对于气候的影响是显著的，对表生矿床成矿系列的形成也产生了深刻的制约。除了青藏高原的隆起外，天山和秦岭这些东西向的山脉在新生代的隆起，导致了我国南北气候的进一步分野，南方的暖湿气流无法到达秦岭以北，从而成为制约新生代盐类矿床成矿系列形成的一个“内动力”地球动力学因素。其中，天山的抬升对于区域性气候的影响很大，并导致了在此之后到现代许多盐类矿床的形成，如准噶尔盆地和塔里木盆地、吐鲁番-哈密盆地中新世代盐类矿床的形成；秦岭的再度隆起则导致了山西南部运城一带盐类矿床以及内蒙古盐类矿床的形成。

#### 四、第四纪

晚第三纪之后就是第四纪，是地球历史的最新阶段，在时间上从上新世末（2.48 Ma）至今，又分为更新世和全新世两个阶段。第四纪一词是 J·德努瓦耶 1829 年提出的。第四纪形成的地层称为第四系，再分为更新统和全新统。更新世由 C·莱伊尔在 1839 年提出，他把巴黎盆地含软体动物化石 70% 为现生种的地层称为更新世地层。全新世和近代为同义词，近代（Recent）一词也是由 C·莱伊尔在 1833 年引进地质学的，是指从此地球被人类所居住。全新世由 P·热尔韦在 1850 年提出，1885 年国际地质大会正式通过（《中国大百科全书》，2000）。1848 年第 18 届国际地质大会确定，以真马、真牛、真象的出现作为划分更新世的标志。陆相地层以意大利北部维拉弗朗层、海相地层以意大利南部的卡拉布里层的底界作为更新世的开始，中国将相当于维拉弗朗层的泥河湾层作为更新世的标准地层。1977 年，国际第四纪会议建议，以意大利的弗利卡剖面作为上新世与更新世的分界，距今 1.7 Ma。中国的黄土从大约 2.48 Ma 前开始沉积，反映气候和环境有了明显变化。

第四纪的沉积物虽然形成晚、时间短、大都未胶结，但几乎覆盖了除基岩裸露的陡坡

以外的地球表面的绝大部分，保存比较完整，厚度一般数米到数百米，个别地区可超过千米。第四纪沉积物类型复杂，包括海相沉积、冰川沉积、冰水沉积、河流沉积、湖泊沉积、风成沉积、洞穴沉积、生物沉积、火山堆积以及残坡积和洪积等。其中，冰川沉积形成了第四纪的特色沉积物，并且具有冰期和间冰期明显交替的特征。

第四纪的风成沉积形成了大面积的黄土和沙漠。沙漠主要出现在大陆内部干旱地区，包括撒哈拉、中亚、塔克拉玛干、阿拉善和澳大利亚中部等在内的世界上著名的大沙漠都是在新生代后期或第四纪形成的。黄土在中国、欧洲、北美洲和南美洲都有大面积的分布，欧洲和北美洲的黄土分布在冰川的外围，是由冰碛物和冰水沉积物中的粉砂颗粒经风吹扬而形成的。中国的北方黄土总面积达 38 万  $\text{km}^2$ ，黄土层厚度 100 ~ 200 m，最厚约 300 m。刘东生等把黄土地层划分为早更新世午城黄土、中更新世离石黄土和晚更新世马兰黄土。由黄土及其中的古土壤序列记录的 2.40 Ma 以来的气候旋回至少有 24 个。第四纪的河湖相沉积是地壳沉降的产物，也是动植物和古人类活动的主要场所，因而是第四系剖面发育比较完整的地区。洞穴堆积物中常常发现有动物化石、用火遗迹、石器、壁画以及古人类化石等，成为标准的第四纪地层，如北京周口店洞穴堆积物中发现有北京猿人化石和周口店动物群。广西柳城巨猿动物群、四川万县盐井沟动物群、安徽和县猿人和辽宁营口金牛山人化石等均是洞穴堆积物中发现的。欧洲的尼安德特人、克罗马农人以及其他许多古文化遗迹也是从洞穴堆积物中发现的。第四纪的海相沉积分布广泛，绝大多数出现在浅海和大洋中，包括陆源碎屑沉积、生物沉积和化学沉积等，海底火山喷发沉积也非常发育。大洋中的第四纪沉积物虽然厚度不大，但从深海钻探岩心中可以看到整个第四纪时期的连续沉积。

第四纪的陆相沉积和边缘海近岸沉积的分布虽然有限，却伴随有丰富的砂矿资源，包括以河流相为主的砂金、砂铂，以滨海相为主的稀有金属砂金等等，而陆地风化壳残坡积相中残积的稀有、稀土、土型金矿、镍矿等等，也是相当重要的矿产资源。陆相盆地中的有机质堆积形成了能源矿产（如泥炭）或者为将来的能源矿产形成作准备。

第四纪的全球构造运动是非常活跃的，突出地表现在青藏高原的持续隆起和大洋中脊的持续扩张。喜马拉雅山自第四纪以来上升了约 3000 m，珠穆朗玛峰一带每年上升达 10 mm。但有些地区也在持续沉降，如中国的华北平原和柴达木盆地。太平洋板块每年向东扩张最大达 11 cm，向西扩张 6.6 cm（《中国大百科全书》，2000）。沿板块边界和一些深大断裂带、构造活动带发生的一系列地震是新构造运动的一种具体表现。第四纪的气候频繁变化，伴随有海平面的起伏不定。目前冰川体积（折合含水量）约  $24.06 \times 10^6 \text{ km}^3$ ，比冰期时（ $71.36 \times 10^6 \text{ km}^3$ ）少了  $47.30 \times 10^6 \text{ km}^3$ ，相当于海水面下降了 132 m。在南极未形成大冰盖时，海水面比现在高 55 m；在末次冰期最盛时，海水面比现在低 130 m；末次冰期结束后到距今约 6000 年时海水面与现在相近（刘东生等，2000）。

## 第二节 新生代成矿作用的研究现状及意义

### 一、矿产资源之丰富与成矿作用的多样性

前述新生代的地质演化过程中已经大致提到了新生代的成矿作用。新生代的成矿作用

具有明显的多样性，这是与地球演化到新生代阶段拥有多样性的成矿地质环境、多样性的地质作用及地质作用与成矿环境之间的复杂组合关系相关联的。正因为地质环境的多样化和地质作用的多元化，决定了成矿作用的多样性。从时代上看，早第三纪的成矿作用就已经开始趋于多样性。在沉积成矿作用方面，由于沉积环境的多样化，在中国不但形成了巨厚的磨拉石建造，而且形成了多样化的陆相、海相、海陆过渡相沉积岩，其中蕴藏了丰富的石油、煤、油页岩、含铜砂页岩和各种盐类矿床。早第三纪被子植物及其他生物的大量繁殖，为石油等能源矿产的形成准备了原始物质积累，也为陆相和海相同时可以生成石油提供了可能。石油主要见于长期下沉的拗陷和大中型湖泊沉积盆地中，煤则常见于温暖潮湿的亚热带地区。在含煤地层中也常常含油页岩，如中国抚顺、茂名均有较厚的油页岩。早第三纪的盐类资源相当丰富，主要是石膏、岩盐、芒硝、天然碱和钾盐等，都形成于长期干旱地区的深拗陷且封闭较好的盆地中。早第三纪的中国由于干旱带分布广，盐类矿产尤其丰富。

晚第三纪的矿产资源最重要的是石油和天然气，地中海和北美东、西海岸的大油田有相当一部分是在晚第三纪形成的，在地中海地区麦兴阶还是重要的膏盐层形成阶段。此外，褐煤、硅藻土、残积型铁矿、锰矿、各种风化壳矿床和砂矿床非常丰富。

第四纪的沉积物中可以富集大量的各种砂矿、盐湖化学沉积、泥炭和少量的褐煤。许多重要的稀有金属来自于滨海砂矿和陆相砂矿，如砂金矿、钴镍铬砂矿、钨锡铌钽砂矿、金刚石砂矿、砂铂矿等等。中国的盐湖锂矿和硼矿储量在世界上居首位。第四纪热带亚热带地区的温暖湿热的气候条件又导致了一系列红土型矿床的形成，而且可以达到很大的规模，如红土型镍矿和红土型金矿。

世界上在新生代形成的矿床不仅数量多、种类多，而且规模大（表 1-1）。

表 1-1 国内外形成于新生代的部分最大矿床

矿种	矿床名称	成矿时代	规模	国内外地位
铜	智利楚基卡马塔	早第三纪	6935 万吨 (0.56%)	世界上最大的铜矿
铜	智利埃尔特尼恩特	晚第三纪	6776 万吨 (0.68%)	仅次于楚基卡马塔，但品位高
银-锡	玻利维亚波托西	第三纪	195600 吨银	世界上最大的银矿
自然硫	伊拉克米什拉克	早第三纪	3.35 亿吨	世界上最大的自然硫矿床
锌铅	中国云南兰坪金顶	早第三纪	特大型	中国最大的铅锌矿
铜	中国西藏玉龙	早第三纪	特大型	中国最大的铜矿
锑	中国湖南锡矿山	早第三纪?	特大型	世界最大的锑矿
银	中国广东高明富湾	早第三纪	特大型	中国最大的银矿
蓝石棉	中国云南高峰寺	早第三纪	大型	中国最大的蓝石棉矿床
霞石正长岩	中国云南个旧白云山	67 Ma	大型	中国最大的霞石正长岩矿床

注：有的矿床在成矿时代方面还有争议，如锡矿山。此处主要根据金景福（2002）的新资料。

## 二、新生代成矿作用研究之不足及原因

新生代的成矿作用泛指发生在新生代的成矿作用，包括各种外生和内生矿产的形成过程，其中许多矿产资源以往不被重视或没有被放到应有的高度来重视。像地下水这样的资源在许多人的心目中甚至没有当成矿产资源。另外，有些矿产资源是只有在新生代形成者

才能较好保留下来的，并且其成矿作用是正在进行的，如泥炭、硅藻土、风化壳型矿床、在活动性的热泉区形成的金矿等；有些矿床是“可再生”的，如砂金矿床、砂岩型铀矿床等，开采之后，经过一定时间的积累，在同一位置可能重新成矿。这些丰富多彩的新生代成矿作用为我们研究矿产资源的形成机制和富集规律提供了天然的样本和实验室。地质学的基本原理是“将今论古”，即通过现代的地质作用来反推地质历史时期的地质产物是如何形成与发展的。因此，只有对现代成矿作用研究得比较清楚了，才能对古代的同类或相似的成矿作用进行“推理”。比如，20世纪70年代以来，大洋考察和深海勘测技术的发展，使人们能够直接观察到海底正在进行的“黑烟囱”、“白烟囱”成矿作用，从而极大地推动了对于古代形成的海相火山岩型块状硫化物矿床成矿机制的认识。因此，人们对于此类矿床的成矿规律也就认识得比较清楚。

但是，对于其他众多的现代成矿作用尤其是大陆上发生的成矿作用，研究还是远远不够的，即使像最典型的大规模造山运动地区的、与造山运动伴随的成矿作用的研究还是非常薄弱的。以中国为例，对于青藏高原的隆升已经进行了比较长期的研究，国内的、国外的、国际合作的等等不同性质、不同人员进行的科研工作硕果累累，完成的报告、发表的文章、出版的专著不计其数，涉及的科研领域也涵括了地质、地理、生物、地球物理等等各个方面（孙鸿烈和郑度等，1998；肖序常和李廷栋等，2000）。但是，青藏高原隆起过程中有哪些成矿作用正在进行、有哪些矿床正在形成、又有哪些早先形成的矿床正在被剥蚀出露，却并不是十分清楚。比如，对于青藏高原的现代热泉，曾经进行过大量的水文地质学方面的调查，却没有对地热分布区或热泉中的金进行过系统的分析测试。如果说中国西部由于工作条件所限、矿化出露局限、分析测试手段有限而导致对新生代成矿作用研究总体上比较薄弱的话，在中国东部对新生代成矿作用的研究不够深入的原因恐怕与观念有关。比如，盆地区重视寻找油气资源而不重视寻找金属矿产资源，则几乎是“内生矿产与外生矿产不相关”的潜意识在影响着人们的思路。

### 三、国内外的新发现迫切需要加强对新生代成矿作用的研究

对世界范围内新生代的成矿作用怎么强调都不过分。仅就近年来在全球范围内发现的新生代矿床而言，无论是数量上还是质量上都是其他成矿期所无法比拟的。如20世纪80年代以来发现的五处超大型金矿中除赫姆洛可能形成于太古宙外，其余如卡林金矿带上的金坑和深部波斯特贝茨金矿、巴布亚新几内亚波尔盖拉和利希尔金矿都属于新生代金矿（表1-2）。90年代以来，卡林型金矿深部找矿的突破更加引人注目，如新发现的派普莱恩和特阔伊斯里齐金矿，已控制的金储量为251 t和155 t。秘鲁北部发现的产于第三纪凝灰岩及其下伏长石斑岩中的皮里纳金矿已获金230 t。新发现的新生代铜矿也很多，如菲律宾远东南斑岩铜金矿、智利的埃斯康迪达斑岩铜矿；1988年发现的印度尼西亚格拉斯贝格斑岩铜金矿（Au 1217 t, Ag 2062 t, Cu 9.53 Mt），90年代继续勘探，现已扩大到铜21.42 Mt，金2227 t，银7208 t。根据Laznicka（1999）对全球巨型金属矿床的统计，铜最容易形成巨型矿床（103个），其次是金（99个）、钨（55个）、钼（41个）、镍（24个）、锑（22个），而这些矿床中形成于新生代的达162个。相当于每百万年形成2.5个巨型矿床，远远超过了其他时代。因此，新生代无疑具有最大的成矿强度，也是最重要的找矿方向。

表 1-2 国外新发现的部分超大型新生代金属矿床

矿床及产地	矿种	发现时间	规模	品位	类型
金坑, 美国	金矿	1981 年	258t		卡林型
深部波斯特贝茨, 美国	金矿	1987 年	311 t	6~12 g/t	卡林型
派普莱恩, 美国	金矿	20 世纪 90 年代	251 t		卡林型
特阔伊斯里齐, 美国	金矿	20 世纪 90 年代	155 t		卡林型
波尔盖拉, 巴布亚新几内亚	金矿	1982	420 t	3.7 g/t	热液型
利希尔, 巴布亚新几内亚	金矿	1982	1335 t		热液型
皮里纳, 秘鲁	金矿	20 世纪 90 年代	230 t		热液型
远东南, 菲律宾	铜金矿	20 世纪 80 年代	Au 440 t, Cu 2.60 万吨		斑岩型
埃斯康迪达, 智利	铜矿	20 世纪 80 年代	28.80 万吨	1.6%	斑岩型
格拉斯贝格斑岩, 印度尼西亚	铜金银	1988 年	Cu 21.42 万吨, Au 2227 t, Ag 7208 t		斑岩型

(据戴自希等汇总的资料)

中国的新生代成矿作用也是非常重要的。中国最大的金矿、最大的银矿、最大的铜矿和最大的铅锌矿都是在新生代形成的,这一特点与国外新生代的成矿特点是一致的,但目前已经发现的新生代矿床在数量上还很少,预示着找矿潜力非常大。许多地区特别是青藏高原和我国东部新生代火山岩广泛分布的地区有较大的找矿前景。另外,新生代以来我国大陆构造体系发育非常有特色,应当伴随有一系列的构造-岩浆-成矿作用,而且,就造山带来说,西南三江地区正处于构造隆升和剥蚀阶段,既有利于成矿,也有利于所形成的矿床在被剥蚀、破坏之前被人类找到,但找什么矿、如何去找、何处去找,则需要解决一系列的理论问题。

中国东部地区中生代成矿作用很强,发现的矿床也很多,但新生代的成矿问题常常被忽视,比如,广东地区作为南岭燕山期成矿带的一部分,发现了大量的中生代有色、稀有、稀土和贵金属矿床,而很少有人会联想在新生代是否还继续有大规模的成矿作用发生。直到 20 世纪 80 年代后期至 90 年代初期,距离广州市仅 50 km 的长坑-富湾超大型矿床的发现(该矿床的发现获得 1998 年度国家科技进步一等奖。最近,该地区又发现了铅、锌、铜矿床。)才提醒人们去认识新生代成矿作用的重要性。

#### 四、从中国新生代地质作用的特点看研究新生代成矿作用的必要性

新生代虽然只有短短的 65Ma,但在世界许多地方都有重要矿床生成,其中还有许多是超大型矿床,近年来发现的矿床中有许多是新生代形成的。当然,大洋环境和大陆环境中正在形成的各种矿床都属于新生代成矿作用的产物,如大洋中的锰结核、钴结壳、块状硫化物矿床,大陆环境中的风化壳矿床、砂矿床和砂岩型铀矿等等。正是这些正在形成的矿床为我们研究古代成矿作用提供了直接的依据,从而为建立成矿学方面“将今论古”的原则提供了参照。比如,通过对海底扩张中心“黑烟筒”喷气成矿作用的直接观察,地质学家查明了海底喷气沉积矿床形成的原因,建立了成矿模型,从而深化了对古代块状硫化物矿床成因的认识,极大地推动了寻找此类矿床的工作进程。这也是研究新生代成矿作用意义之所在。

在全球范围内，新生代是铜、金、银等矿种的主要成矿期，也是非金属和能源矿床的重要成矿期；在我国，目前已知最大的铜矿（玉龙）、金矿（金瓜石）、银矿（富湾）及铅锌矿（金顶）也都是形成于新生代。此外，形成于新生代的矿床还包括绝大多数的砂矿床（如砂金和稀有金属砂矿）、一半以上的油气矿床和相当数量的煤、油页岩、泥炭等能源矿床及相当多的非金属矿床（如最大的蓝石棉矿床）、盐类矿床。因此，研究新生代的成矿作用对于寻找新生代及其以前的矿床具有重要意义。

新生代的岩浆作用在我国主要发育在东南沿海、青藏高原、西南三江和内蒙古、吉林、黑龙江等地，它们分别属于三个不同的构造-成矿域，除了西南地区以青藏高原隆升显示构造挤压外，我国东部和北部第三纪玄武岩分布区显示陆内裂谷拉张作用，在东南沿海则显示一定的板块俯冲作用，各具特色。我国东部第三纪火山岩以裂隙式喷溢玄武岩为特点，除汉诺坝玄武岩外，多夹于陆相地层中，岩性以偏碱性橄辉玄武岩和碱性玄武岩为主，也有流纹岩和粗面岩；第四纪则以中心式喷发玄武岩为主，形成大同、大屯、海南、五大连池、龙岗、白头山等地的火山群。在滇藏地区，第三纪以基性-酸性的钙碱性火山岩为主，第四纪为基性-中性的碱性-强碱性系列火山岩。在阿克赛钦湖、库赛湖及赤布张湖三角地区有碱性玄武岩、粗面岩和流纹岩（27~10 Ma）。在祁连山零星分布有第三纪偏碱性超基性-基性熔岩和第四纪玄武岩。侵入作用在东南沿海主要是基性岩类，在滇藏地区主要是中酸性岩，在唐古拉山北部为二长花岗岩、花岗斑岩和正长斑岩（46~33 Ma），在藏南喜马拉雅高山地区为花岗岩和含铜花岗斑岩，在云南中西部为二长斑岩-正长斑岩-花岗斑岩组合（67~34 Ma），在滇藏当曲分水岭为霓霞金云斑岩和霞石白榴岩，在云南兰坪-思茅地区为碱性辉石岩-碱性正长岩组合（K-Ar 法年龄为 34 Ma）。在时间上，中新世形成内蒙古、山西、河北北部的汉诺坝玄武岩及山东临朐-昌乐、中国台湾西北部的火山岩；上新世有吉林船底山、南京方山和雷州半岛的玄武岩形成；上新世-全新世有腾冲火山岩；第四纪火山岩在海南北部、吉黑镜泊及龙岗、台北大屯及基隆等地广泛分布。在阿尔泰造山带岩浆作用延续到新生代（喀拉乔拉橄辉玄武岩年龄为 17.59 Ma）。1951 年 5 月 27 日在新疆于田阿什库勒地区有玄武岩喷发。

我国新生代成矿作用尤其是陆内成矿非常强烈，在东南沿海也发育。近十年的勘查又证实扬子地台西缘也是一个重要的新生代成矿带。因此，喜马拉雅及其周边地区的新生代成矿具有世界性意义，同时也开拓了一个新的找矿领域。三江和扬子地台西缘已经积累了大量的找矿勘查与科研资料，目前已经具备了对新生代成矿作用的特点及其规律进行归纳总结的条件，其成果将对指导该地区及其他地区今后的地质找矿与勘查工作起到积极的作用。

中国新生代的成矿作用是极其复杂的，但又是新生代构造演化到一定阶段的必然结果，因而，仅仅局限于个别地区的重点研究，还不足以充分、全面、客观地反映中国新生代成矿作用的面貌，也不足以从成矿作用反映构造环境的角度来认识大陆成矿体系的演化历史。实际上还有许多方面或者说还有许多科学问题需要深入研究，包括：整个中国大陆在新生代强烈的“东降西隆”的变化对于成矿格局的影响、盆岭转化过程及机制与成矿作用的耦合关系、金属非金属及能源矿产资源之间的时空格局与演化谱系，等等。为此，在地质调查项目“中国成矿体系与区域成矿评价”中专门设立了“新生代成矿作用”专题，对有关问题进行系统地研究。

自 1998 年 3 月至 2000 年 12 月，原国家计委下达的、由陈毓川院士和王登红研究员负责的、由中国地质科学院、中国地质科学院矿产资源研究所、四川省地质矿产勘查开发局、云南省地质矿产勘查开发局和广东省地质矿产勘查开发局共同完成的“中国新生代内生成矿作用的主要特点、成矿条件、成矿系列及成矿预测研究”项目是国内对中国新生代成矿作用问题进行研究的第一个国家级项目。该项目选定位于不同构造-成矿单元的扬子地台西缘、西南三江和广东三水盆地作为研究重点，取得了一系列初步的研究成果，该成果对中国西部和东部几个不同构造环境中的新生代矿床进行了重点研究，指出了找矿远景，既是一项开拓性的、探索性的研究，又对地质找矿工作具有一定的指导意义。如，广东省地质矿产勘查开发局先后在三水盆地周边发现了横江铅锌银矿（最近又发现了铜矿）、在罗定盆地的氧化锰矿区发现了新榕银矿等一批属于新生代的矿床。这样，中国东部的新生代成矿作用已经从台湾的金瓜石金矿扩展到了广东的西部，也即新生代的成矿作用“登陆”了。

实际上，无论是就中国东部地区还是全国范围而言，新生代的成矿作用与中生代的成矿作用是大不相同的，并且，这种成矿作用发生的大地构造背景也是截然不同的，突出地表现在，从中生代到新生代，中国的成矿作用虽然基本上属于大陆范畴的成矿作用，但是，明显地经历了一个“东降西隆”的过程，即中国东部在中生代处于大规模隆起造山阶段，在新生代则正好相反，大量中生代形成的山脉和高原逐渐被新生代的平原和盆地所取代；而中国的西部在中生代时还在接受大范围的沉积，到了新生代则隆起了包括世界屋脊——青藏高原在内的一系列新生代山脉。我们把这种构造上的大起大落概括性地称为“东降西隆”。这样的构造大“反转”与大规模成矿作用之间有什么内在的联系，对于揭示大陆成矿体系的成因机制有什么意义呢？这一系列尚未解决的科学问题，促使我们把新生代成矿作用的问题与中生代成矿作用的问题独立出来进行专门的研究；再考虑到构造与成矿具有继承性，试图通过对新生代成矿作用的研究，为了解新生代以前成矿作用的机制及成矿构造背景提供一把“钥匙”，从而达到真正科学地运用“将今论古”原则的目的。

### 第三节 本次工作的任务来源与完成情况

本次对于新生代成矿作用的研究任务，来自于中国地质大调查项目，是“中国成矿体系与区域成矿评价”项目下属第三课题“重要地质时期大规模成矿作用及其时空结构”的第三专题。但，毫无疑问，原国家计委“中国新生代内生成矿作用的主要特点、成矿条件、成矿系列及成矿预测研究”项目为本次研究打下了良好的基础。另外，国家重点基础研究发展规划项目（科技部 973 项目）下属“西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿”课题（编号 G1999043203），也支持了本次研究，其部分成果也纳入本书内容。

本次任务的研究范围涉及全国各地，但突出重要成矿区带和典型矿床。研究对象包括金属、非金属和能源矿产。所要求的研究目标（含技术指标）是要在深入研究我国大陆新生代内生矿床成矿集中区及典型矿床的基础上，厘定我国大陆及台湾地区完整的新生代形成的矿床成矿系列，包括金属、非金属及能源矿产；编制全国范围的 1:500 万成矿系列图件；对一些重大基础问题进行总结、研究，提出新认识、新见解。

研究过程中采取的技术路线主要是：在全面搜集资料、跟踪学科发展前沿的基础上，充分运用现代地质理论（包括地幔柱理论）和成矿理论、运用有效的同位素测年技术、运用陆内造山带及流体成矿新理论，深入解剖典型矿床，总结成矿特征、建立成矿系列并编制成矿系列图。在实际工作中，与其他课题紧密结合，对西南三江、东南沿海及华北等地的主要的新生代矿床进行有重点的调查研究（表 1-3），在宏观上把握新生代成矿的地质特点和构造背景，然后对所选择的重点矿床进行典型性研究和详细解剖，探讨其成因，总结其成矿条件，对矿床类型、矿床成矿系列进行了厘定和研究。其中的关键问题包括成矿年代学的仔细研究，新生代不同类型成矿作用之间的耦合关系（岩浆、热液、热泉、喷气、海底喷流等内生及内外生结合），新生代不同地质环境的矿床成矿系列及其成因机制等。

表 1-3 实际完成的工作量表

项目	内容及数量
野外实地考察的矿区	云南 南华县吕合煤矿、姚安县高峰寺蓝石棉矿、姚安干沟金矿、姚安老街子银铅锌矿床、祥云九顶山（马厂箐）铜铅矿床、永平卓潘岩体及铁矿、腾冲白石岩硅灰石矿床及第四纪火山岩、腾冲热海热泉及热泉型金矿、腾冲观音堂硅藻土（参观助滤剂厂）、梁河来利山锡矿（丝光坪及来利山）、潞西上芒岗金矿、龙陵黄连沟铍铊矿、临沧大寨锗铀煤矿、西盟锡矿、澜沧老厂多金属矿床、镇源老王寨金矿、元阳金平金矿、墨江金厂金矿、个旧锡矿、白云山霞石正长岩矿、金平白马寨铜镍矿、金平长安冲金矿、董宗河金矿、铜厂铜铅矿、兰坪金顶铅锌矿、白秧坪银铅锌矿、金满铜矿、楚雄小水井金矿、宁蒗余家村金矿、萝卜地铜-金矿等 30 多处
	四川 康定色拉哈钨锡矿、冕宁牦牛坪稀土矿、三雕金矿、白金台子金矿、水白秧金矿、若吉金矿、黑金台子金矿、菩萨岗金矿、偏岩子金矿、嘎拉金矿、错阿金矿等 12 处
	广东 高明长坑金矿、富湾银矿、迭平银矿、鹿洲银矿、茶山铅锌矿、横江铅锌矿、南海西樵山银矿、罗定新榕锰-银矿等 8 处
	华东 浙江青田县山口镇腊石矿、临安市昌化昌北昆山鸡血石矿及汞矿，并搜集了青田石平川钼矿的标本；福建省寿山石矿；江苏六合宝石矿等 5 处
	华北 河北张家口大麻坪橄榄石矿床及有关新生代玄武岩、二道边的第三纪玄武岩及尚义县小蒜沟、新庙等地的第四纪玄武岩剖面；内蒙古巴林鸡血石矿等 4 处
	山东 蓬家疃金矿、发云疃金矿、十里铺银矿等 3 处
	东北 辽宁宽甸、岫岩、丹东；吉林白山、天池、靖宇、龙湾、蛟河、大石河；黑龙江镜泊湖、穆稜、绥芬河、老爷岭、八面山、鸡西、双鸭山、鹤岗、黑河、五大连池等 20 处
采样	GPS 定位 80 处；采集标本 500 多块，磨制光薄片 40 片，薄片 86 片，光面 5 片。构造要素测量 3018 个
照相	野外照片 8 卷，数码照相 86 幅；摄像 4 盘；显微照相 3 卷
分析测试	全岩硅酸盐分析 25 件；稀土元素分析 25 件；微量元素分析 25 件（31 个元素）；惰性气体同位素分析 67 件；挑选分离单矿物 67 件；硫同位素分析 17 件；铅同位素分析 19 件；碳同位素分析 3 件；氧同位素分析 3 件；电子探针 68 点；含金性分析测试 88 个
编图	2 幅（1:500 万中国新生代地质矿产图、1:500 万中国新生代成矿系列分布图）
数据库	①国内 1700 个矿床，②国外 700 个矿床，③同位素年代学 939 个（组）数据，④岩石化学分析 1720 个样品约 22360 个数据，⑤矿物成分 910 个样品约 10900 个数据，⑥稀土元素 509 个样品约 7126 个数据，⑦微量元素 840 个样品约 8000 个数据，⑧同位素组成 1292 个样品约 3800 个数据，等
同位素年龄	石英、长石、角闪石、云母等的 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 测试 17 组，K-Ar 法定年 12 件，石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线 2 件，ESR 定年 3 件，Re-Os 法定年 5 组 30 件

本书是在专题报告的基础上，根据以翟裕生院士为首的专家组的评审意见，进一步修改而成。研究过程中，广东省地质矿产勘查开发局梁伟、杜海燕高级工程师，海南省地质矿产勘查开发局黄香定总工程师，广西地质矿产勘查开发局陈开礼总工程师，河北省地质矿产勘查开发局陈华山总工程师，山东省地质矿产勘查开发局艾宪森总工程师，江西省地质矿产勘查开发局王发宁高级工程师，湖南省地质调查院车勤建院长等多次陪同野外考察并给予当地地质情况多方面的指导。四川 109 地质大队蒲广平总工程师、四川攀西地质大队赵支刚总工程师、四川 402 地质大队罗辅勋和卢治安高级工程师、云南地质矿产厅所属地勘单位杨伟光、杨夕辉、刘和林、蒋成兴、 邬荣芬等高级工程师、广东省 719 地质大队的陈龙清和梁汉群高级工程师、湖南地质矿产勘查开发局湘南地调院魏绍六所长、许以明、蓝晓明、罗小亚、黄革非高级工程师等，都在野外工作中给予了很多的帮助。中国地质调查局和中国地质科学院的各级领导在项目管理和业务指导方面也给予了很多的方便，裴荣富院士、肖序常院士、李廷栋院士、郑绵平院士、翟裕生院士、汤中立院士、朱明玉研究员、曹佑功教授、朱裕生研究员、毛景文研究员、王立华研究员、董建华主任等，在工作进行过程中给予了很多的帮助和指导，在此一并致谢。宜昌地质矿产研究所李华芹研究员、路远发研究员、陈富文研究员、中国科学院桑海清研究员、中国地质科学院岩矿测试技术研究所的屈文俊研究员、杜安道研究员、矿产资源研究所的周剑雄研究员、李延河研究员、宋鹤彬研究员、李金诚研究员、白瑞梅高级工程师、罗续荣高级工程师、余静高级工程师、陈振宇硕士等为本专题的研究完成了大量的分析测试工作。中国地质大学张大权硕士参加了部分野外工作并清绘了部分图件。研究生应立娟和陈振宇同志协助进行了资料和文献校对工作。英文摘要和英文目录由应立娟翻译，王登红校对。王志泰、戴自希和徐克定等先生提供了大量资料，在此表示非常的感谢。

## 第二章 全球新生代成矿作用概述

新生代是漫长的地质历史中最新的也是最短暂的一个时代。但是，在短短的 65Ma 中，除了世界屋脊的快速隆起外，实际上还有一系列的地质事件，如环太平洋岛弧带正在发生的板块俯冲作用、长达数千公里的大西洋中脊的扩张作用、大洋壳中规模巨大的由地幔柱暗色火成岩形成的大洋台地、按时间先后呈线性排列的热点岛链、大陆上规模巨大且从 65Ma 以来逐渐向北漂移的德干高原及其地幔柱源区在印度洋中留下的运动轨迹，等等，都是“地质之谜”。

形成于新生代的典型矿床如克莱梅克斯式的斑岩钼矿、玻利维亚式的热液型银矿和斑岩锡矿、南美智利式的斑岩铜矿和北美亚利桑那式的斑岩铜金矿、菲律宾勒盘妥 (Lepanto) 式的火山岩容矿铜砷锑矿、墨西哥式的流纹岩容矿型锡矿、卡林型金矿，等等。浅成低温热液型金矿大多数形成于新生代，包括热泉型、克里德 (Creede) 型、库姆斯托克 (Comstock) 型、佐渡 (Takeno) 型等等。这些矿床为什么在新生代最容易出现？在新生代以前是否也有？如果有，如何去寻找？如果被破坏了，那又是什么样的原因（包括构造方面的和环境方面的原因）在起作用？等等。这些问题的解决不但有助于深化成矿理论而且有助于地质找矿。

### 第一节 全球新生代成矿地质作用及空间分布

世界范围内新生代的成矿作用，在空间上主要分布在环太平洋成矿域和特提斯-喜马拉雅成矿域，在古亚洲成矿域不太发育；在时间上以新生代晚期为主，在类型上以斑岩型铜矿、浅成低温热液型金-银矿、石油、天然气、可地浸砂岩型铀矿、第三纪的煤、第四纪的砂矿等为主。这些不同的成矿作用发生在不同的构造环境，与不同的地质作用有关。

#### 一、火山作用及其成矿意义

大洋中的新生代海底火山喷发非常普遍，除了大洋中脊源源不断地涌出玄武岩类的火山岩外，在靠近大陆边缘的裂谷带，如东非裂谷，也有频繁的火山活动，并带来了大量的成矿物质，在大洋盆地内部即有面积不大但呈岛链状规则排列的洋岛玄武岩 (OIB, 如夏威夷群岛)，也有面积巨大但却是短时间内大量喷发的大陆溢流玄武岩 (CFB, 如印度德干)。

新生代的火山作用广泛地发生在特提斯-喜马拉雅成矿域，从西部的意大利到中部的青藏高原，再到与环太平洋成矿域相接的东部地区，均不同程度地发育。火山作用的时间延续长，从新生代开始（如印度德干高原）持续至今（如意大利的维苏威火山）几乎贯穿始终。火山岩类型齐全，既有大规模溢流喷发的玄武岩（如印度德干的高原玄武岩），又有中酸性浅成侵入和喷发的富碱斑岩及火山岩（如意大利的碱性火山岩、青藏高原三

江地区的富钾岩系等)。火山作用的机制和构造环境条件也比较复杂,以至于人们虽然能够直接目睹火山喷发之壮观景象并冒着生命危险去采集最有代表性的样品,但对于其成因仍然没有取得一致意见。比如,对于地中海一带现代岩浆岩-火山岩形成的构造环境,有的认为是板块内部的产物,有的认为是板块俯冲的结果。Boccalelli 等(1978, 1980)根据板块构造-地球动力学演化模式的研究,认为亚平宁(Apenine)造山带是渐新世欧洲板块与非洲板块挤压碰撞的结果。但近年来,不少人注意到地幔柱的影响,如意大利西南部的一系列地堑式盆地实际上既是地幔底辟上拱地区(莫霍面仅 25 km),也是火山活动地区,盆地和火山都是地幔柱作用的结果。

意大利的新生代火山闻名于世,“火山”一词即源于名为乌尔喀诺(Vulcano)的火山。许多世界名山如维苏威(Vesuvius)火山、索玛(Somma)火山、埃特纳(Etna)火山、斯通博利(Stromboli)火山等既是旅游胜地,也是地质学家感兴趣的地方,有的火山如埃特纳最近还在喷发。意大利的火山岩以高钾、常见白榴石而被称为大西洋型岩石钾质岩区,后来也被称为地中海型岩石。对于地中海型岩浆岩的起源与演化,有的人认为钾质火山岩是玄武岩岩浆同化大陆地壳的结果,有的认为既有壳源,也有幔源和壳、幔混源,其中碱性者均为幔源。俯冲的陆壳通过低度熔融形成富钾流体,上升交代上覆的上地幔楔形区并使之富钾。富钾的上地幔楔形区又经过低度熔融,形成富钾的碱性玄武岩岩浆。后者演化形成钾质-高钾系列的火山岩(邱家骧, 1990)。

具有代表性的维苏威火山在 1631~1944 年期间共有 18 个喷发期,间隔以 18 个稳定阶段,每个稳定阶段的时间间隔一般不超过 7 年,每个喷发期的前面均有 1~13 次熔岩流喷出,溢流量一般不大,每期喷发的最后均为较强烈的爆发,称为斯通博利型(Stroboliian)火山爆发,代表了喷发作用的结束。其爆发产物体积大,分布广,常形成破火山口。斯通博利型喷发是以意大利南部斯通博利火山得名的,以玄武岩、高钾安山岩、玄武安山岩、粗安岩、粗面岩为主。除熔岩外,爆发指数达 30%~50%,有火山弹、火山渣和火山灰,常与熔岩组成层火山,是一种混合火山锥。在维苏威 1944 年的破火山口中有硫喷气孔,喷出黄白色烟雾状气体,不绝如缕,气温 17~18℃。喷气孔附近的黑色火山岩已被熏成黄白色。

公元 79 年,维苏威火山以普林尼型强烈喷发,喷出大量白榴石碱玄岩-响岩成分的火山灰、火山灰流与涌流及泥流,同时喷发大量有毒气体。维苏威火山喷发时,含有火山砾的火山灰随着西北风向东南方向飘去,在庞贝古城上降落,最后堆积了厚达 2 m 以上的火山灰,形成灰白色凝灰岩。随后喷发的火山灰流和涌流从火山口向四周贴地流动、快速扩散,直接进入庞贝古城并摧毁之。在那不勒斯西偏南 10 km 处的 Pozzouli 市东北约 1 km 处,有一个破火山口叫 Solfatara。其喷发时间从 1 万年前到公元 1629 年,口内有多处喷气孔,不断喷出黄白色含硫气体,气温可达 100℃ 以上,地热资源丰富。从这些火山喷气口中喷出的硫和散布于火山灰中的金属物质如果遇到合适的环境,如火山在水下喷发,则很可能发生成矿作用。陆地上也可以发生成矿作用,如美国西部许多发生在火山活动区的热泉型成矿作用。

## 二、岩浆结晶分异作用与成矿

新生代的岩浆作用尤其是浅成斑岩型岩浆期后热液的成矿作用具有极其重要的意义,

形成了大量的斑岩型铜矿。虽然斑岩型铜矿床不是岩浆直接结晶形成的，但斑岩显然不仅仅具有围岩意义，因为岩浆热液与岩浆作用是不可分割的。新生代期间直接通过岩浆结晶分异形成的矿床比较少见，但也不是没有，智利的拉科铁矿是火山矿浆矿床、中国东部玄武岩中的刚玉类宝石矿床虽然赋存在火山喷发岩中，但宝石矿物的形成是在地下深处完成的（而不是等火山岩喷发后才结晶的），也应属于岩浆型矿床。

世界上大多数的刚玉来自于砂矿，但美国蒙大拿洲中部 Little Belt 山区北部的 Yogo 岩墙可能是惟一正在开采的具有经济意义的岩墙型宝石级刚玉矿床，曾经是美国最重要的宝石产地（Clabaugh, 1952）。该岩墙近直立侵入于密西西比期的碳酸盐岩和碎屑岩中，走向 N75°E，厚度 0.6~8 m，平均 2.4 m。局部含有灰岩角砾，角砾被岩浆岩胶结。近年来在其附近还发现了许多煌斑岩角砾（Dahy, 1991）。岩墙是一种暗灰色到绿色的超镁铁质煌斑岩，主要由辉石和金云母斑晶及细粒基质组成。单斜辉石占 30%~50%，呈自形斑晶和他形基质出现；大颗粒的核部通常是透辉石质的，边部及小颗粒富含 FeO、Al、Ti（Meyer 和 Mitchell, 1988）。自形到他形的红褐色到无色的金云母占 20%~30%，其成分均匀，结晶温度约 900℃。其他成分包括富 Ti 磁铁矿、磷灰石构成的基质以及由绿泥石、蛇纹石、方解石及微量钾长石构成的充填物。方沸石可能出现。该岩墙曾被定名为沸煌岩（monchiquite）、方沸石（analcime）玄武岩、云煌岩（minette）和黑云沸煌岩（ouachitite）。金云母的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄表明该岩墙形成于 48.62 Ma 和 48.69 Ma（Harlan, 1996）。在 Yogo 岩墙中，蓝宝石微量产出。蓝宝石是 1894 年在开采砂金矿时在冲积物中发现的，但很快被确认来自于 Yogo 岩墙。98% 的蓝宝石是蓝色的，但有的呈丁香紫色或紫晶。原地蓝宝石已被熔蚀并通常有一薄层尖晶石。蓝宝石的成因不明，但一般认为是捕虏晶。最近在岩墙中发现了含蓝宝石片麻岩的捕虏体，其蓝宝石的物理特征与岩墙中蓝宝石相似，表明岩墙中的蓝宝石来自于含刚玉的基岩与超镁铁质岩的同化作用。但是，Big Belt 山区的岩浆岩不含蓝宝石，为什么只有 Yogo 岩墙有蓝宝石，仍然是个谜。

### 三、沉积作用与成矿

#### 1. 生物-沉积成矿作用

生物-沉积成矿作用在新生代形成了许多重要的矿床，包括磷、硫、硅藻土等等。世界上最大的产磷区在美国东南沿海，那里的第三纪海相沉积磷块岩矿床储量在 200 亿吨以上。磷矿区北起 37°N，南到佛罗里达半岛南端。含矿地层主要是中新统喷沟河组或邦谷组，下伏始新统，上覆上新统和更新统，厚 7~30 m。磷矿层为球粒状磷块岩，主要由碳氟磷灰石球粒、砂、粘土、白云质粉砂、方解石等组成，含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 15%，富含各种底栖有孔虫化石。在成因上，一般认为美国东南沿海强大的湾流受到海岸地形的影响，产生上升洋流，加上温暖的气候条件，在中新世前后冰期之间的间冰期形成一个重要的成磷矿期（赵东甫等，1985）。分布于热带亚热带岛屿上的鸟粪磷矿也是新生代形成的。

硅藻土矿床主要形成于第三纪特别是中新世，新生代以前即使有硅藻土成矿也难以保存下来，或固结成岩转变为岩石而不再是“土”了。据估计，世界硅藻土储量在 20 亿吨以上，亚洲至少有 10 亿吨，欧洲（包括前苏联）5 亿吨，其他地区 5 亿吨。其中只有一小部分原土质量较高，可以不经过选矿直接加工生产硅藻土助滤剂，其中地质储量在 1000 万吨以上的只有少数几处，美国加利福尼亚的隆波克（Lompoc）、中国吉林长白县八

道沟的马鞍山和西大坡，其一级品原土非晶质  $\text{SiO}_2$  含量大于 80%（黄成彦等，1993）。云南、浙江和吉林等地已经探明的硅藻土资源约 4 亿吨，其中工业储量 2.1 亿吨，远景储量 1.9 亿吨。山东和云南还拥有 1 亿吨以上的硅藻土矿床（寻甸先锋和临朐解家河），因而具有明显的资源优势。世界上只有美国可与中国相比。美国探明的硅藻土储量为 2.27 亿吨，远景 4.5 亿吨。位于加利福尼亚州的隆波克硅藻土矿是世界上最大的海相硅藻土矿，其底部为晚侏罗世砂、页岩及玄武岩，下部硅藻土层为厚层状，最厚处 300 m，共有 25 个工业矿层；矿层上为乳白色含硅藻粘土层。下部矿层为中新世，上部为上新世。德国早在 1886 年就开始利用汉堡和汉诺威之间 Uelzen 和 Celle 的硅藻土作为助滤剂来过滤啤酒，其总储量约 1200 百万立方米，典型矿床有 Hefendorf 和 Neuohe。法国的硅藻土分布在中央高原的盆地中，如普里瓦的 Collandres，地质储量 2300 万吨。捷克斯洛伐克硅藻土的地质储量有 10 亿吨，主要分布在西喀尔巴阡褶皱带中部和波希米亚地块北缘的盆地中，火山活动频繁，有 5 个硅藻土矿，其中以 Borovavy 为主，位于南部 Budejovice 东南 15 km。丹麦的粘土质硅藻土（Moler）因具有特殊性能而闻名于世，主要分布在 Jutland 半岛西北部的 Mors 岛和 Fur 岛，属于海相沉积。前苏联有数亿立方米硅藻土，其中俄罗斯占 70.9%，乌克兰占 14.6%，外高加索占 4%（质量最好），亚美尼亚占 1.5%，17 个矿床点共有 1200 万立方米的储量。日本的硅藻土矿床有 78 个，但大小不一，总地质储量约 1 亿吨。

沉积岩中的自然硫矿床产量占自然硫开采量的 95%，其中以意大利西西里岛中部的自然硫矿床最著名。西西里岛的自然硫矿床已经开采 300 多年，含矿地层主要是中新统上部，上覆石膏层，下伏硅藻土或硅质石灰岩，更下部有含石膏、沥青和石油的盐质粘土层。自然硫矿层厚 1~30m，一般三四层，呈浸染状分布在石灰岩中，矿石呈致密块状或海绵状，有时成厚 5 mm~2 cm 的纯硫条带夹在石灰岩中或成脉状、囊状分布。品位 12%~50%，平均 26%，估计纯硫储量 5000 万吨。关于其成因，一般认为是通过细菌的生物化学作用同生形成的（赵东甫等，1985）。但最大的自然硫矿床在伊拉克。伊拉克的米什拉克（Mishrag）自然硫矿床，是世界上最大的自然硫矿床，位于特提斯-喜马拉雅成矿带美索不达米亚拗陷米什拉克背斜下法尔斯建造中，属于生物后生硫矿床。矿床产于中新统蒸发岩-碎屑岩地层，底板为灰岩，顶板为石膏岩，有 3 个矿带，每个带厚约 30 m，在强烈褶皱的部位矿体厚度加大。储量达 3.35 亿吨，品位 23.1%。前苏联喀尔巴阡盆地中的自然硫矿床多赋存在中新世地层中，与中新世托尔顿期蒸发岩有关，包括罗兹多尔、亚佐夫、涅米罗夫、波多罗日年、柳别尼等。意大利西西里岛中新世麦辛蒸发岩中的自然硫在一个世纪前曾经是世界上硫的主要来源，现在多已采尽枯竭，典型矿床如罗卡里穆托、列卡尔诺等。中国新疆塔里木盆地西南拗陷及库车盆地中第三纪蒸发岩中硫矿化普遍，在皮山（玉力群矿床）、柯坪塔克、莎车等地有一些矿床（点）。

## 2. 蒸发沉积作用与盐湖矿床

毫无疑问，新生代以前也发生过蒸发沉积成矿作用，形成了许多盐类矿床，但保存下来的矿床可能只是一小部分，没有现代盐湖这样丰富多彩的成矿现象。盐类矿床在国内外都分布广泛，现代盐湖分布于干旱与温干气候带内，在北半球大致  $10^\circ \sim 15^\circ$  和  $40^\circ \sim 55^\circ$  之间，西自黑海、里海、中亚细亚进入中国西北，东达额尔古纳河上游，构成欧亚大陆上的盐带。其中大的盐湖有前苏联伏尔加下游的巴斯昆洛克盐湖、里海卡拉博加兹海湾、新

疆、青海、西藏、内蒙古、宁夏等地的盐湖。所形成的矿种除了石盐外，还有天然碱、芒硝、硼、锂、钾等，柴达木盆地还有现代光卤石，智利有硝石、美国西部的大盐湖（包括钾盐和稀土），在埃塞俄比亚的第四纪石盐中还有钾盐、索马里的阿赛尔湖、约旦及以色列的死海（盛产钾盐）、埃及的大苦湖等。

第三纪是一个全球性成盐期，并明显受到裂谷-堑沟构造控制。第三纪的石盐广泛分布于北非、西亚、欧洲南部。莱茵地堑在始新世末期-渐新世初期形成了巨厚的石盐和石膏，法国、西班牙和意大利均有钾盐。欧洲中部的第三纪石盐分布在喀尔巴阡山北侧的罗马尼亚、前苏联、波兰境内及匈牙利、奥地利和南斯拉夫，苏联和罗马尼亚都有钾盐。中国除了塔里木盆地外，甘肃、宁夏、青海都有石膏、硬石膏；东部中生代红色盆地中的盐类沉积从南岭到华北平原均有分布，其中山东、安徽、江苏、江西、湖南、湖北都有硬石膏、石膏和石盐，河南有天然碱。

大陆盐湖型硼矿床也形成于新生代，其中美国的西尔斯盐湖和中国青海的大柴旦盐湖都是重要的代表性矿床。这些盐湖大多分布在年轻的火山活动带，小部分在天然气和石油分布区。大柴旦盐湖位于柴达木盆地北缘的山间盆地，面积 240 km<sup>2</sup>，除北部及东部 40 km<sup>2</sup> 有湖水外，其余为干盐滩。该盐湖形成于印支期，到更新世-全新世演化为盐湖，沉积物主要是细碎屑-粘土夹石膏、石盐及硼矿层。硼矿层厚数米，延伸几公里。含硼矿物主要是硼镁石，次要者有钠硼解石、水方硼石、库水硼镁石、硼钙石和硼砂等。此外，湖水中还含有大量的 K、Na、Mg 等的氯化物（沈振枢，1980）。

### 3. 火山喷气-沉积作用与成矿

火山喷气作用形成的矿床种类繁多，但可以分为开放环境下的喷气-沉积矿床和封闭环境下的热液充填-交代矿床，在传统矿床分类中分别被归入外生矿床和内生矿床的范畴。开放条件下形成的喷气-沉积矿床既可以形成于大洋中脊的海相环境和大陆边缘的裂谷盆地，也可以形成于岛弧区的沉积盆地甚至于高原、高山区的断裂蒸发盆地中。既可以形成金属矿床（如块状硫化物铜铅锌矿床），也可以形成大量的非金属矿床（如火山喷气自然硫矿床、与火山活动有关的硼矿床等）。

世界上的硼矿床主要分布在太平洋内带和地中海（特提斯-喜马拉雅）成矿带，并与第三纪或近代火山活动关系密切，阿尔卑斯构造运动形成的山间盆地为火山-沉积硼矿床的形成提供了良好的古地理环境。硼的最初来源与岩浆活动有关，在年轻火山活动带的温泉中含硼特别高，达 290 ~ 720 mg/L（赵东甫等，1985）。硼矿床类型包括：火山喷气型，与现代地表火山活动有关，以含硼温泉和硼酸喷气孔最重要，以意大利的托斯卡那含硼喷气孔最著名；砂卡岩型，包括硅硼钙石、赛黄晶、硼锡及钙硼石-硼镁石矿床；火山沉积型；浅海相沉积型菱锰矿-锰方硼石矿床；潟湖相沉积型；⑥淋积型；⑦变质型；⑧大陆盐湖型。其中新生代以火山沉积型和大陆盐湖型矿床最重要。火山沉积型硼矿床主要分布于阿尔卑斯造山带的山间盆地，形成于中新世晚期-上新世早期，个别地区在渐新世。含矿层为第三纪的陆相沉积岩，其中有火山岩，有时夹盐层。常位于古断裂带附近，断裂附近见火山和温泉活动。矿床规模较大，品位高，B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 20% ~ 45%，加工技术简单，是世界上重要的硼矿床。

美国加利福尼亚州的克拉麦尔硼矿床是火山沉积型的代表，位于克拉麦尔西北 11.2 km 是 1913 年在打自流井时无意中见到硬硼钙石而发现的。含硼岩系为第三纪的湖相沉