

引用格式: 李廷栋, 2022. 中国地质矿产调查事业发展历程 [J]. 地质力学学报, 28 (5): 653-682. DOI: [10.12090/j.issn.1006-6616.20222818](https://doi.org/10.12090/j.issn.1006-6616.20222818)

Citation: LI T D, 2022. Development history of geological and mineral survey in China [J]. Journal of Geomechanics, 28 (5): 653-682. DOI: [10.12090/j.issn.1006-6616.20222818](https://doi.org/10.12090/j.issn.1006-6616.20222818)

中国地质矿产调查事业发展历程

李廷栋

LI Tingdong

中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Development history of geological and mineral survey in China

Abstract: China is an ancient civilization country with a history of 5000 years and the habitat of ancient human beings. There are abundant descriptions of geological phenomena and geological processes in the vast number of ancient books and folklore. Due to the scientific and technological progress and the breakthrough of production mode brought about by the transformation of social productive forces and production relations, the development of the geological cause is characterized by stages. Including the exploration of geological phenomena by human beings in ancient times, this paper divides the development history of China's geological cause into six stages: geological relics in the Stone Age; geological cognition in the Ancient Age; geological investigation in the Enlightenment Age; geological survey and research in the Foundation Age; geological work in the period of rapid development, and geological cause in the new era of reform and opening up. Each stage is further discussed in terms of the important geological events, the content and characteristics of geological work, the main research achievements and the contributions to the national economic and social development.

Keywords: China's geological cause; geological survey and research; mineral resources exploration; hydrogeological engineering geological exploration; marine geological survey and research

摘要: 中国是一个有五千多年历史的文明古国和古人类的栖居地。在浩如烟海的古籍和民间传说中, 都有丰富的有关地质现象和地质作用的描述。社会生产力和生产关系的变革带来的科学技术进步和生产方式的突破使地质事业的发展呈现出阶段性。包括远古时代人类对地质现象的探索在内, 文章把中国地质矿产调查事业的发展史划分为 6 个阶段, 即石器时代的地质遗迹、远古时代的地质认知、启蒙时代的地质考察、奠基时代的地质调查研究、快速发展时期的地质工作和改革开放新时代的地质事业, 分别论述了各个发展阶段地质矿产调查工作中的重要地质事件、地质工作的内容和特点、主要调查研究成果和对国家经济社会发展作出的贡献。

关键词: 中国地质事业; 地质调查与研究; 矿产资源勘查; 水文地质工程地质勘查; 海洋地质调查研究

中图分类号: P5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6616 (2022) 05-0653-30

DOI: [10.12090/j.issn.1006-6616.20222818](https://doi.org/10.12090/j.issn.1006-6616.20222818)

0 引言

自从地球上生命的演化出现人类至今, 已经有三百多万年的历史了。在这三百万年的历史长河中, 人类社会经历了一次又一次天灾与人祸的劫

难, 也创造了一个又一个的人间奇迹和科学的辉煌。

从人类社会发展的历史可以清楚地看出, 人类社会的发展史实际上是一部矿产资源开发利用的历史。一种或几种标志性矿产的发现和开发利用推动了人类社会的变革和科学技术的进步, 并不断地提高了人类的思维能力和生产、生活水平。矿产

资源开发利用的历史,也是人类文明史阶段划分的主要标志(小屋清风,2019)。

中国是一个有五千多年历史的文明古国和古人类的栖居地。在浩如烟海的古籍和民间传说中,都有丰富的有关地质现象和地质作用描述,记录了人类社会在工具制造使用和生产水平由低级向高级、由简单向复杂发展演变的历史过程。

社会生产力和生产关系变革所带来的科学技术进步和生产方式的突破使地质工作和地质科学的发展呈现出阶段性。包括远古时代人类对地质现象的探索和认知,似乎可以把中国地质矿产调查工作和地质科学的发展划分为6个阶段:石器时代的地质遗迹、远古时代的地质认知、启蒙时代的地质考察、奠基时代的地质调查研究、快速发展时期的地质工作、改革开放新时代的地质事业。

1 石器时代的地质遗迹

这一阶段经历的时间甚久,大约从二百多万年前持续到距今约五千年前后,包括旧石器时代和新石器时代,相当于地质年代的第四纪更新世到全新世前半期。这一时期处于人类的原始社会阶段,尚无文字记载(黄宗理和张良弼,2006)。

1.1 旧石器时代古人类活动遗迹

这一时期人类活动的遗址在中国许多地区都有发现。当时人类使用的石器为打制粗糙的石器,用作防备野兽袭击的武器(图1)。

2007年,在西安东郊灞河北岸上陈村发现的212万年前旧石器时代遗址成为除非洲以外,世界发现的最古老古人类遗址之一。蓝田猿人距今约163万年,元谋人距今170~180万年(相当于早更新世晚期或中更新世早期;韩宏,2018)。在山西朔县、台湾省台南县等地都发现了旧石器时代古人类化石和遗址。

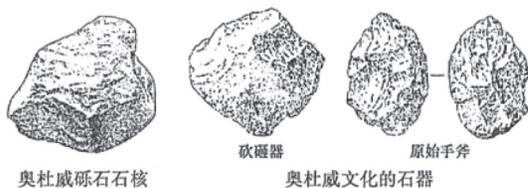


图1 旧石器时代人类使用的石器(黄宗理和张良弼,2006)

Fig. 1 Stone tools used by human beings in the Paleolithic Age (Huang and Zhang, 2006)

1.2 新石器时代古人类活动遗迹

新石器时代的古人类遗址在中国许多地区被发现,以西安半坡和杭州良渚为代表,半坡古人类遗址位于西安市东郊灞河东岸I级阶地,是举世闻名的仰韶文化的重要遗址。半坡文化可分为两期:早期距今7500~5000年;晚期文化上限距今约4000年(黄宗理和张良弼,2006),良渚古城遗址位于杭州市天目山东麓平原,是新石器晚期(公元前3300—公元前3200年)长江下游环太湖古城市遗址,其重要发现有二:一是在墓葬中出土了260件雕琢精美的各种玉器(图2),达到史前玉制品制作技术之顶峰;二是发现了中国最早的水利系统遗址,有人工开挖古河道51条,总长度约30 km,有人工坝体11条,形成面积约13 km²的水库,库容量超过4.6×10⁸ m³,如此宏大的水利系统,成为世界建设最早的堤坝系统之一(秦岭,2019;朱叶菲,2019;蒋萍和刘海波,2019)。

科学界对中国新石器时代科学技术的突飞猛进给予了高度评价。法国人类学家列维·斯特劳(1908—2009)在《野性的思维》一书中提出“新石器时代之谜”,认为新石器时代的主要发明——农业、制陶、纺织、动物驯化等,奠定了新石器以来人类文明的基础,并称之为“新石器革命”。李约瑟(Joseph Needham)也给予了高度评价(孙小淳,2020)。

2 远古时代的地质认知

这一阶段从距今5000年前到公元1800年前后,经历了奴隶社会和封建社会,相当于青铜器时代(公元前30世纪—公元前5世纪)和铁器时代早期(公元前1500年—公元前500年)(辞海编辑委员会,1979a)。

2.1 中国曾经是世界科技强国

中国是世界上萌生地质思想最早的国家之一。夏商周以来,特别是从春秋战国到明朝晚年的诸多典籍中,都有关于天地运行、海陆变迁、古生物化石、矿产资源以及地震、火山、地形地貌等的记述,中国对科学的认知与应用都达到了当时国际先进水平,得到了权威专家的高度评价。其中最具代表性人物是李约瑟(图3);他指出:“从公元3—15世纪,中国保持了一个西方望尘莫及的科学知识水平”“许多发明,发现远远超过同时代的欧洲,特别是15世纪,中国四大发明火药、指南针、印刷术、



图2 良渚文化嵌玉漆杯 (朱叶菲, 2019)

Fig. 2 The Inlaid Jade Lacquer Cup of Liangzhu Culture, Hangzhou, Zhejiang Province (Zhu, 2019)

造纸技术, 代表了中国古代文明的光辉篇章”;他在《东西方的科学与社会》一文中又提出: “为什么从公元前1世纪到公元15世纪, 在把人类的自然知识应用于人的实际需要方面, 中国文明要比西方文明有效得多”(史晓雷, 2020)。可见当时的中国是世界科技强国。

2.2 开发利用的矿产资源

远古时代开发利用的标志性矿产是铜和铁。中国在原始社会末期即开始炼铜, 商代广泛利用, 西周达到鼎盛时期(顾善闻和卞跃跃, 2019)。商代中期开始用铁, 西周晚期进入铜铁兼用时代(小屋清风, 2019)。夏代末期到西周(公元前1700—公元前771年)已使用多种矿物染料, 用软土烧制砖瓦, 用石棉织布等。《本草纲目》记述了217种药用矿物、岩石和化石。当时已经萌生了矿产伴生、共生和矿床分带的概念, 如《管子·地数》(图4)一书中有这样的记述: “山上有赭者, 其下有铁; 上有铅者, 其下有银” “上有丹沙者, 其下有銍金, 上有慈石者, 其下有铜金。此山之见荣者也”。还有一些典籍中记载了找矿的植物标志(曹婉如, 1992; 程裕淇, 1994; 李山, 2009)。

2.3 地貌地质环境及地质灾害的记述

这一时期的古书中记载了许多有关地貌、地质环境和地质灾害的信息。在《诗经》(约公元前11世纪—公元前6世纪)中, 有20%以上诗篇涉及山, 有90首涉水诗篇, 尚有多首诗篇描写湖泊湿地(杨应奇, 2019)。《山海经》(方韬译注)记载了5300座山脉和250多条水道和多处矿产地, 并记载



图3 李约瑟(1900年12月9日—1995年3月25日)

Fig. 3 Joseph Needham (1900.12.9—1995.3.25)

了一些河流发源地、流向和注入水域等;《竹书纪年》记录了中国最早的地震(舜帝时期), 之后多部史书中有地震记述。东汉时期, 张衡(公元78—139)发明了世界第一台观测地震的地动仪(图5; 曹婉如, 1992)。

在许多古书中记述了喀斯特地貌, 最具代表性的是《徐霞客游记》(朱惠荣和李兴和, 2015)。徐霞客(1587—1641)于其晚年(1636—1640)进行了他一生中时间最长、行程最远的一次旅游, 并完成了南方喀斯特地貌与6大江河的考察, 探查过270多个洞穴。他对喀斯特地貌观察之细、描述之精、洞穴探查数量之多、类型之全, 堪称世界之最(于希贤, 1987; 曹婉如, 1992; 朱惠荣和李兴和, 2015)。

2.4 古生物化石和海陆变迁之认知

最叹为观止的是, 中国古代科学先贤们分析、记录了许多有关古生物化石和海陆变迁的信息。《诗经》中记录: 由于地壳剧烈变动, 形成了“百川沸腾、山冢崒崩、高岸为谷、深谷为陵”的不同地貌景观。北宋沈括(1031—1059)的《梦溪笔谈》中谈到, 他在沿太行山北行时, 发现在山崖上有许多像鸟蛋一样的螺蚌壳化石, 他就作出判断: “此乃昔日之海滨, 今东距海已近千里。所谓大陆者, 皆淤泥所湮耳”。他还提出华北平原主要是由于河流冲刷而形成。这些见解说明, 当时沈括已经用科学的思维方法论证了“沧海桑田”的海陆变迁之说(曹婉如, 1992; 李鄂荣, 1992a, 1992b, 1992c)。而南宋时期的朱熹(1130—1200)则表现出“灾变论”思想。他在其《朱子语类》卷九四引用胡宏(号称五峰, 1102—1161)的话说: “五峰(即胡宏)可谓‘一气大

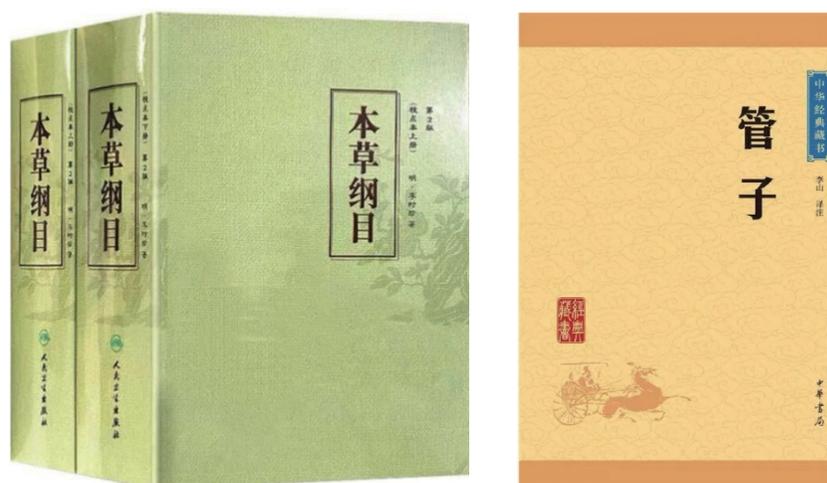


图4 《本草纲目》及《管子》封面

Fig. 4 The covers of *Compendium of Materia Medica* and *Guanzi*

图5 张衡地动仪及《徐霞客游记》封面

Fig. 5 Zhang Heng's seismometer and the cover of *Xu Xiake's Travels*

息, 震荡无垠, 海宇变动, 山勃川湮, 人物消尽, 旧迹大灭, 是谓洪荒之世。’ 常见高山有螺蚌壳, 或生石中, 此石即旧日之土, 螺蚌即水中之物, 下者却变而为高, 柔者变而为刚”。在这里, 他用化石成因和地面升降证明灾变的存在, 这与19世纪初欧洲地质学界出现的“灾变论”的思想十分相似(李复, 1992)。

3 启蒙时代的地质考察

这一阶段从19世纪初到20世纪初, 经历了约100年的历程。公元15世纪之后, 中国处于封建社会晚期, 闭关自守, 社会生产力和科学技术逐渐落后。西方经过文艺复兴(15—16世纪)和产业革命(18—19世纪), 社会生产力和科学技术迅速发展。1840年鸦片战争后, 中国沦为半封建半殖民地国家, 屡遭帝国主义国家侵略, 激起中国学者们奋发

图强、“科学救国”之壮志, 鸦片战争也打开了中国的大门, 为包括地质学在内的近代科学技术的引进提供了机遇; 地质学也悄然兴起。当时的中国地质事业发展主要经历了以下几个地质事件(李鄂荣, 1992d; 陶世龙, 1992a, 1992b; 程裕淇, 1994; 陈克强, 2011; 杨勤业等, 2015)。

3.1 开展地质地理考察, 填补地质调查“空白”

19世纪中叶, 世界大部分地区都进行过地学考察, 唯独中亚、东亚处于地质调查研究“空白”区, 而这些地区又具有特殊的自然环境和丰富的人文景观, 很自然地引起人们探索的兴趣。因此, 许多西方人士以学者、探险家、旅游者、传教士等身份来到中国进行地质地理考察。

最早来到中国进行地质考察的是英国。1807年, 英属印度政府组织人员对喜马拉雅山地区和克什米尔进行了地质调查(中国地质图书馆, 2014)。

19世纪前半叶,英国、印度及西方一些国家在喜马拉雅山、喀喇昆仑山、帕米尔等地区开展了大地测量和地质调查。英国于1818—1843年完成印度及喜马拉雅地区大地测量,为地壳均衡说的创立提供了重要证据;基本建立了喜马拉雅地区地层层序;横穿喜马拉雅山中部测制了地质剖面,识别出大型倒转褶皱(李廷栋和郑英龙,2000)。

这一时期美国来中国进行地质调查的主要有庞培勒(R. Pumpelly, 1837—1923)、维里士(B. Willis, 1857—1949)和布拉克威尔德(E. Blackwelder)。庞培勒于1863—1864年第一次用地质学理论和方法在长江三峡、北京西山及南口、张家口一带进行了地质调查,发现了黄陵背斜,把东亚滨太平洋走向北北东—南南西山体结构命名为“震旦抬升系统”。维里士与布拉克威尔德于1903—1904年在山东、北京周边、五台山、秦岭等地进行地质调查,出版了《在中国的调查研究》一书,系统论述中国及东亚地质,并从“震旦系”中解体出寒武系、奥陶系(陶世龙,1992a, 1992b),创立了“南沱层”。

德国李希霍芬(F. V. Richthofen, 1833—1905; 图6)是这一时期来中国进行地质调查时间最长、影响最大的一位地质地理学家。他于1868—1872年用了4年多的时间,进行了7条路线地质地理考察,遍及19个省(市、区),出版了5卷集的《中国》一书,划分了中国地层,提出震旦系、南口系、滹沱系、五台系、泰山系等地层名称;提出山西煤矿之富冠全球之报道,曾轰动全世界;还提出“黄土风成说”“丝绸之路”等术语,在中外学术界产生了广泛影响(陶世龙,1992c; 杨勤业等,2015)。



19世纪后半叶,俄国科学家主要在中国西北、东北地区进行了考察。最早来中国进行考察的是普尔热瓦尔斯基(N. M. Przhevalsky, 1839—1888),他于1870—1885年曾4次率队在中国西部进行自然环境和矿产资源考察。在中国进行考察次数最多、影响最大的是地质地理学家奥布鲁切夫(V. A. Obruchev, 1863—1956),他于1892—1909年曾3次来中国西北、华北与东北地区进行考察,提出黄土风成说的论据和甘肃南山地质构造轮廓,他是最早来中国进行石油考察的西方地质地理学家(黄宗理和张良弼,2006; 杨勤业等,2015)。法国一些专家在西南地区进行了考察,在云南南部及昆明附近,划分出寒武系、泥盆系、三叠系等地层。

19世纪后半叶,日本军国主义者出于侵略目的多次派员进入中国台湾、东北地区进行地质矿产调查,出版了台湾地质矿产图等。随着其侵略范围的扩大,调查范围推进到华北、华南等地。

此外,匈牙利、瑞典等国专家都曾来中国进行地质地理考察。

3.2 翻译世界地学名著,引进地质理论和地质知识

中国近代地质学理论、知识术语和工作方法等大部分是于19世纪通过翻译地学名著而传入的。仅1871—1911年就翻译引进西方地学论著60~70种之多。

翻译的地质理论和地质基础知识的论著主要有英国慕维廉(M. William, 1822—1900)的《地理全志》和亨利黎特的《鉴石篇》,美国麦美德(S. Miner, 1861—1935)的《地质学》等。特别是英国著名地质学家莱伊尔(Ch. Leyll, 1797—1875)的《地学浅释》

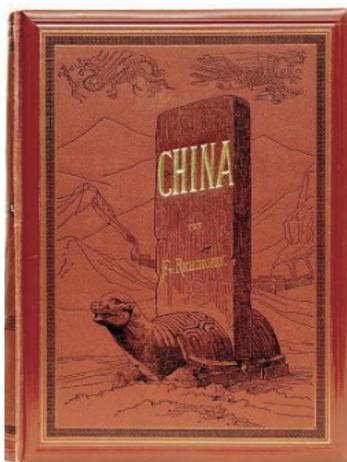


图6 李希霍芬(1833—1905)头像及其《中国》一书封面

Fig. 6 The profile portrait of F. V. Richthofen (1833—1905) and the cover of his book *China*

是根据其名著《地质学原理》(*Principles of Geology*)第四篇——《地质学纲要》(*Elements of Geology*)翻译而来的。《地质学原理》是一部经典性的名著,系统总结了19世纪以前的地质理论,代表了当时西方地质学的发展水平。该书对中国近代地质学发展起到了启蒙作用,并对晚清维新变法产生过重要影响。

矿物和矿产资源方面的译著主要有英国地质学家安德逊(J. W. Anderson)的《探矿者手册》中的《求矿指南》、美国地质学家丹那(J. D. Dana, 1813—1895)《矿物手册》中的《金石识别》。此外,尚有英国付兰雅的《矿石图说》、日本佐藤传藏的《矿物学与地质学》等。

同时,中国学者还翻译了一些有关探矿、矿业开发、地质环境、火山、地震等方面的著作。特别是严复(1853—1921)翻译了《天演论》(1899)、马君武(1882—1936)翻译了达尔文的《物种起源》等世界名著。

19世纪翻译引进的这些论著,对于在中国传播地质知识、培训地质人才和研究地质学史等都发挥了积极作用。

3.3 兴办学堂和派留学生, 培养地矿人才

近代工业发展和洋务运动的开展刺激了社会对地质及矿业人才的需求。在19世纪后半叶,开办了一批新式矿务学堂,讲授地质及采矿知识,包括北京京师同文馆(1862),天津中西学堂(1895,后改为北洋大学)、唐山铁路矿务学堂(1897)、南京矿路学堂(1898)等。1898年,京师大学堂成立,并于1909年招收了王烈等5名学生,标志着中国地质教育正式起步(杨勤业等, 2015; 中国地质调查百年史纲编写组, 2016)。

这一时期先后派往国外学习地质矿业的学生有

邝荣光(1872, 美国)、邝炳先(1872, 美国)、吴仰曾(1872, 美国; 1886, 英国)。何焯时与张轶欧(1898, 日本)。王宠佑(1901, 美国, 之后又去法、英、德等国)、鲁迅(周树人, 日本)与顾琅(日本)、丁文江(1902, 日本, 后去英国)、章鸿钊(1904, 日本)、李四光(1904, 日本; 1913, 英国)、翁文灏(1908, 比利时)、王烈(1911, 德国)、何杰(1913, 美国)。这批留学生回国后, 在创建中国地质机构, 开展地质矿产调查、助推地质教育事业等方面都发挥了重要作用。特别是章鸿钊、丁文江、翁文灏、李四光4位地质大师(图7), 作为中国近现代地质科学的奠基人, 对中国地质事业创建和发展作出了彪炳千秋的巨大贡献。尤其是李四光先生, 新中国成立以后, 长期担任地质部部长和中国科学院副院长, 对建立中国地质工作体系、地质科研体系、地质教育体系, 以及对中国地质工作和地球科学的开拓、奠基、发展壮大, 作出了前无古人后难来者的突出贡献(丁仲礼, 2021)。

4 奠基时代的地质调查研究

这一阶段从1912年南京临时政府实业部设地质科到1949年新中国成立, 经历了37年。在37年战乱动荡的时间里, 中国地质先贤们高瞻远瞩、忧国忧民、艰苦奋斗, 开创了中国的地质事业, 为尔后中国地质工作和地质科学发展奠定了基础。主要开展了以下几方面的工作(中国地质调查百年史纲编写组, 2016)。

4.1 创建地质机构, 为地质事业奠基提供了组织保障

1912年, 在南京民国临时政府实业部设地质



自左至右: 章鸿钊(1877—1951)、丁文江(1887—1936)、翁文灏(1889—1971)、李四光(1889—1971)

图7 中国现代地质学的奠基人

Fig. 7 Founders of modern Chinese geology

From left to right: Zhang Hongzhao (1877—1951), Ding Wenjiang (1887—1936), Weng Wenhao (1889—1971), J. S. Lee (1889—1971)

科,章鸿钊任科长。这是中国政府机构中第一次设立管理地质工作的部门。尔后,陆续建立了中央、地方和专业性地质机构。

中央一级地质机构有3个:①中国地质调查所(中央地质调查所),它是1913年由工商部矿政司地质科改建,第一任所长为丁文江,该所人数不多,最多时也只有百余人,但研究范围很广,除地质各分支学科外,还包括地球物理、地震、土壤等学科,它在进行地质矿产调查、推动地质科学发展和人才培养等方面都作出了重要贡献(图8);②中央研究院地质研究所,1928年1月在上海建立,重点进行地质理论研究,李四光任所长,在地质基础研究、应用基础研究和人才培养等方面作出了重要贡献;③资源委员会矿产测勘处,1942年在重庆成立,谢家荣任处长,主要进行地质矿产调查,测编地质图件,开展咨询服务。



图8 北京兵马司九号中国地质调查所旧址

Fig. 8 The former site of the Institute of China Geological Survey, No. 9, Bingmashi hutong, Beijing

1923—1949年,地方一级地质机构先后成立了15个省级或跨省级地质调查所,主要承担各省(区)地质调查和矿产勘查工作。

专业性地质机构,主要是石油管理机构,个别有管理铜、汞等的机构或公司。

这些机构分工协同,各有侧重,共同开展了地质矿产调查研究,为中国地质事业奠基提供了组织保障。

4.2 兴办地质教育,为地质事业奠基提供了人才保障

章鸿钊在1937年曾说过:“国家一切远大的事业,非从教育着手,是绝对不会成功的。”正是基于这一理念,地质先贤们启动了地质教育,培养了本

国地质人才。

1913年6月,在北京成立的地质研究所实际是一所地质学校,当年招收了33名学生进行地质培训,章鸿钊、丁文江、翁文灏亲自任教,到1916年7月,22名学员结业,18人获得毕业证书,13人进入地质调查所工作。他们大部分成为中国地质事业的奠基人。

北京大学于1909年设地质学门(系),曾几经变迁,1919年改称地质系。1909—1949年,共毕业学生303人和研究生10人,约占同期全国各大学地质专业毕业学生(约700人)的43%,说明北京大学地质系堪称中国培养地质人才之摇篮。1937—1945年抗日战争期间,北京大学、清华大学和南开大学在昆明共同组建的国立西南联合大学设地质地理气象学系,毕业学生166人,其中有18人当选中国科学院和中国工程院院士。同时,有约23个矿业发达的省(河北、山西、湖北、湖南、广西等)的大学设立有矿冶工程、采矿冶金等系或专业。1909—1949年,全国地质专业毕业学生约700,其中约300人一直坚持地质工作(中国古生物学会,2014;杨勤业等,2015)。

据统计,这一期间留学回国地质学家至少有85人,其中50人曾经在大学地质类学系任教,对中国地质人才培养逐渐步入现代化轨道作出了重要贡献。

4.3 创建学术组织,为地质事业奠基提供了学术交流平台

19世纪末,中国就成立了一些以绘制地图为主的地学组织,但都不是真正的学术组织。只有1909年在天津成立的中国地学会才是中国第一个地学学术团体,在促进中国新地学和地理学发展发挥了作用(陈国达等,1992;杨勤业等,2015)。

1922年1月27日,创建了中国地质学会,章鸿钊任首任会长,创始会员26人,其中包括3名外籍会员(安特生、葛利普和麦美德),制定了会徽(图9),到1949年,会员达510人。1922—1949年共举办年会24次,创办了期刊《中国地质学会志》《地质论评》。年会和期刊在进行学术交流、促进地质科学进步等方面,发挥了重要作用。

中国地质学会还代表中国参加了第13届(1922年)到第18届(1948年)国际地质大会。翁文灏于1922年当选万国地质学会副会长,1948年当选第18届国际地质大会副主席(中国古生物学会,

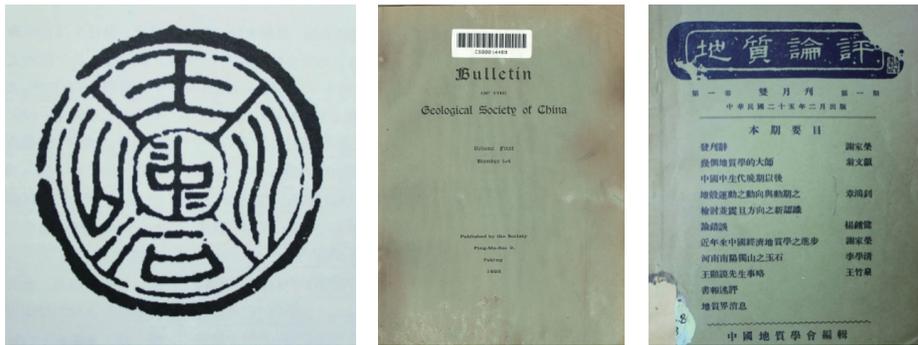


图9 中国地质学会会徽及期刊封面

Fig. 9 The emblem of the Geological Society of China and the cover of its journals

2014)。

4.4 多方面调查研究成果，为地质事业奠基提供了科技支撑

随着中央、地方及专业地质机构的建立和地质教育的发展，地质矿产调查研究范围逐渐扩大。抗日战争时期，加强了油气、岩盐等矿产的调查研究。通过调查研究实践，在地质科学理论上也取得一些创新性成果。《中国地质调查百年史纲》(中国地质调查百年史纲编写组, 2016)都做了详细论述。

4.4.1 开展了几项重要的地质调查

先后进行了西南边陲、北京西山、江苏、西北(中瑞西北科学考察)、两广、南岭、江苏宁镇山脉等几项地质调查。调查结果都编著了专著、论文、科研报告和相关地质图件，论述了区域地质矿产分布和特点。

(1)西南边陲地质调查。1911年、1914年和1929年由丁文江领导的3次对四川、云南、贵州3省地质矿产调查。特别是第三次从1929年10月开始历时两年多时间，穿越秦岭，对云、贵、川3省及拟建川广铁路沿线地质矿产及地理进行了调查研究，编著了《秦岭山及四川地质》(赵亚曾和黄汲清)、《四川西康地质矿产志》(谭锡畴和李春昱)、《川广铁路钱初勘报告》(丁文江和曾世英)。这是民国时期规模较大的一次地质矿产调查，为西南地区地质，特别是晚古生代及三叠纪地层研究奠定了基础。

(2)北京西山地质调查。1913—1916年，在章鸿钊、丁文江等的指导下，地质研究所13名学员在北京西山及燕山地区开展了3年的野外地质矿产调查研究，取得了丰富的调查成果。1920年，由叶良辅执笔汇总，编著《北京西山地质志》，并附1:10万比例尺地质图，是第一部全面论述北京西山区域地质

专著，对北京市经济社会发展和地质科研与教学发挥过重要作用。

(3)中瑞西北科学考察团的地质调查。1927—1935年，中国与瑞典组成“中瑞西北科学考察团”中方队长为徐炳昶，瑞方队长为斯文·赫定(1865—1952)。先后有40名中外学者参加，在绥远、甘肃、青海、新疆4省(区)进行了地质考察。以袁复礼教授(他连续5年参加考察)为首的中方学者对可到之地进行了区域地质、地貌、冰川和矿产等调查研究，取得丰硕科学成果，发现了白云鄂博铁矿，编绘了百余幅地质图、1:600万新疆矿产分布图和科研报告。特别是在博格达山至天山北孚远一带晚中生代地层中，挖掘出各类爬行动物化石个体72具，比较完整的有7具，包括新疆二齿兽(*Dicynodon*)。布氏水龙兽(*Lystrosaurus*)等，为在中国首次发现，为大陆漂移说和板块构造学说提供了古生物证据。瑞典方面，以《中瑞西北科学考察团报告集》形式出版11大类55卷报告，这次历时8年的科学考察在世界综合科学考察史上产生了重要影响，而且是经过与瑞方多次谈判，第一次争回中国学术主权的一次国际合作科学考察(陈宝国和杨光荣, 1992)。

(4)宁镇山脉地质调查。1934—1935年，在李四光主持下，在南京钟山宁镇山脉、茅山山脉一带进行了地质调查，撰写了《宁镇山脉地质》《南京龙潭地质指南》等论著，论述了寒武纪以来各地质时代地层，详细分析讨论了石炭纪金陵灰岩、和州灰岩，黄龙灰岩、船山灰岩及早二叠世栖霞灰岩的岩相；确认了调查区构造运动时代，详细讨论了震旦运动期幕，推断了宁镇山脉各地区不同产状的逆掩断层，并附6幅彩色地质图(陈宝国等, 2011)。

4.4.2 开展了矿产资源调查研究

矿产资源调查研究是这一阶段地质工作的重点

任务,为抗日战争作出了重要贡献。这一阶段除进行老矿山勘查开采以外,新发现一批重要矿产地,包括甘肃玉门、陕西延长、新疆独山子等油田及四川盆地一些气田,贵州六盘水、河南平顶山、淮南八公山等煤矿,以及攀枝花和白云鄂博铁矿、昆阳磷矿等。特别是在1943年5月,南延宗与吴磊伯在广西钟山红花区黄羌坪花山花岗岩体中首次发现磷酸铀矿和沥青铀矿,为尔后中国铀矿找矿部署和核工业发展作出了开路先锋的贡献。抗日战争期间,为保障军工业及民生需求,加大了西部地区及陕甘宁边区煤、石油、铜、盐矿等战略矿产勘查,同时进行了单矿种(如铁矿)和多矿种区域矿产综合研究,编纂出版了全国性和区域性矿产志和百余份专著与报告(陈宝国等,2011)。

4.4.3 取得一批创新性地质科研成果

中国地质调查研究工作起步较晚,但发展较快,成果丰硕,尤其在地层古生物、构造地质、成矿规律及地质图编研方面的成果令国际地质界刮目相看。

李四光的地质力学、蜓科化石及第四纪冰川研究成果,赵亚曾的长身贝科,孙云铸的三叶虫,杨钟健的啮齿类,乐森浚、黄汲清、俞建章的珊瑚,斯行健的古植物研究成果,都跻于当时国际先进水平。特别是北京周口店“北京猿人”头盖骨和“山顶洞人”化石的发现及其研究成果曾轰动世界学术界。可惜的是,抗日战争期间,“北京猿人”头盖骨的丢失成为千古憾和千古迷。1927年翁文灏提出的“燕山运动”,1939年李四光以英文出版的《中国地质学》、1945年黄汲清用英文发表的《中国主要地质

构造单位》等(图10)都是享誉国际地质界的创新性科学成果,至今仍被广泛引用。1945—1948年,黄汲清还主持编制了1:300万中国地质图和14幅1:100万国际分幅地质图。翁文灏提出了成矿系列、南方金属矿产分带分布和成矿专属性概念(中国古生物学会,2014;中国地质调查百年史纲编写组,2016)。

5 快速发展时期的地质工作

这一阶段从1949年到1978年,经历了30年。新中国成立后,国事如麻,百废待兴,国家十分重视地质工作。1950年2月,毛主席在莫斯科为留苏学生题词“开发矿业”。1956年他又提出:“地质部是地下情况的侦察部,地质工作搞不好,一马挡路,万马不能前行。”由于党和国家的重视,在短短的30年的时间里,中国地质事业得到了大转变和大发展,并迈入世界地质大国的行列,为国家经济社会发展作出了重大贡献。

5.1 建立了地质工作组织领导体系,使地质事业获得大发展

为加强地质工作的统一领导,根据李四光提出的建立“一会、一局、二所”的地质工作组织方案,1950年8月25日,经政务院批准建立了“中国地质工作计划指导委员会”作为全国地质工作统一领导机构,负责制定全国地质工作方针、计划,把全国分散在各地的地质人员集中起来,组建了84个地质队,进行矿产资源勘查工作(图11)。矿产地质勘查局承担全国矿产地质、工程地质勘查工作。地质研

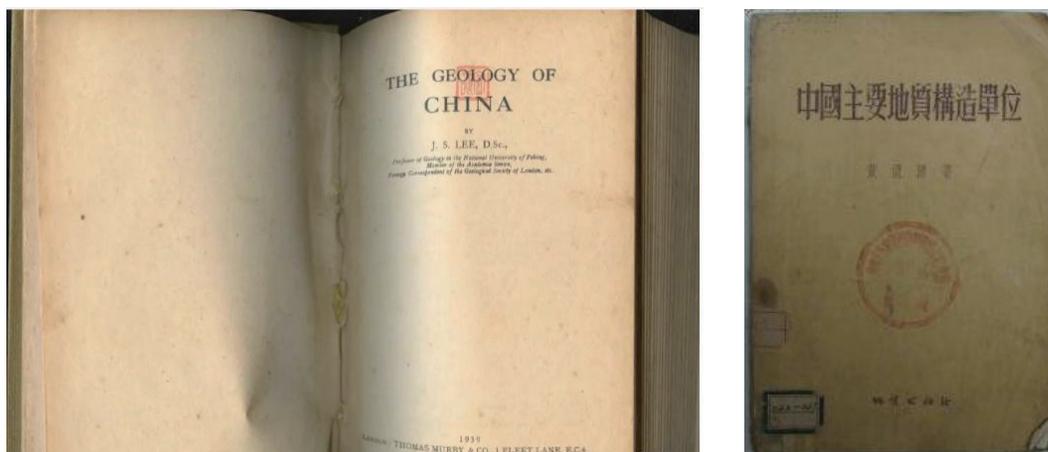


图10 李四光 *The Geology of China* 与黄汲清《中国主要地质构造单位》封面

Fig. 10 The covers of *The Geology of China* by J. S. Lee and *On Major Tectonic Forms of China* by Huang Jiqing



图 11 中国地质工作计划指导委员会扩大会议代表和来宾合影 (1950 年 11 月 1 日)

Fig. 11 Group photo of delegates and guests at the enlarged meeting of the Program Steering Committee of China's Geological Work (1950.11.1)

究所和古生物研究所实行中国地质工作计划指导委员会与中国科学院双重领导,承担地质矿产科研工作。

1952 年 8 月,成立了中央人民政府地质部(1954 年 9 月改名为中华人民共和国地质部),任命李四光为部长,何长工、刘杰、宋应为副部长,统一领导管理全国地质工作,设立东北、华北、华东、中南、西南、西北 6 个大区地质局,代部分管各大区地质队伍。1956 年 7 月 14 日,经中央批准陆续建立了各省(区)地质局。同时,煤炭、石油、冶金、化工、建材、核工业,轻工、地震等部门,也都先后建立了地质勘查管理机构和地质队伍,形成了以地质部为主,多部门分工合作的地质机构体系,推动了地质事业的快速发展,也带来一些重复勘查等问题。到 1978 年,地质行业职工总数达到 93.94 万人,号称地质“百万大军”,其中专业技术人员 12.30 万人(姜大明, 2016)。

5.2 建立了地质勘查技术体系,使地质矿产勘查获得大发展

这一时期地质工作重点矿产资源及水文地质、工程地质勘查,同时开展了陆地与海洋地质调查。为了规范和指导地质勘查工作,编著了《普查须知》《变质岩的一些基本问题和工作方法》《中国区域地层表》《区域地质调查野外工作方法》《地层规范及地层规范说明书》《地质队工作条例(草案)》《金属矿床地质勘探规范总则(试行)》《非金属矿床地质勘探规范总则(试行)》《矿产资源保护试行条例》,1:20 万及 1:100 万比例尺《区域地质测量规范》,27 种矿产储量规范等,形成了一套具有中国特色的地质勘查技术体系,对地质勘查工作的顺利进行发挥了重要作用。

5.2.1 矿产资源勘查取得重大进展

探明具有储量的矿种从 1949 年的 2 种,到 1975 年增加到 131 种。1978 年同 1949 年相比,探明储量的矿产中,原煤增加 19 倍、原油增加 867 倍、铁矿石增加 199 倍、10 种有色金属增加 73.26 倍,等等(表 1;赵腊平, 2019a)。

在能源矿产方面,继在中西部发现克拉玛依、冷湖、马海和龙女寺等油气田之后,中国地质学家冲破“非海相不能生油”理论的束缚,于 1959 年发现大庆陆相大油田,尔后又陆续发现胜利、大港、华北、辽河、江汉、长庆等油田。20 世纪 70 年代,又在东海、南海北部取得油气勘查的突破。在全国 20 个省(市、区)开展了 354 个煤田普查项目,在东北、华北、华东,发现一批新煤田,保证了东北、山西、山东、安徽、贵州 5 大煤炭生产基地需求。特别是在陕北神府—内蒙古东胜探明储量达 2×10^{12} t 低硫低磷高发热量特大型煤田(刘崇礼等, 2016)。在广西、江西、湖南、四川、新疆等 10 多个省(区)发现一系列大中型铀矿床,形成 11 条铀矿成矿带。特别是江西相山超大型火山岩型铀矿和新疆库捷尔泰地浸型砂岩铀矿的发现,为扩大铀矿远景有重要意义(赵凤民, 2016)。全国发现温泉 2230 处,北京、天津、河北、湖北及西藏、川西、滇西等地都进行了地热勘查开发;西藏羊八井建立了地热发电站(顿主佳参, 1985;佟伟, 1995;李四光, 2021)。

铁矿探明储量 4.13×10^{11} t,满足了鞍山、本溪、包头、武汉、马鞍山、太原、攀枝花、酒泉、首都、上海 10 大钢铁基地需求,找到或查明山西山羊坪、江苏梅山、河北邯郸、山东张家洼等大型—特大型铁矿,并探明一些锰矿、铬铁矿和冶金辅助原料矿产储量(邢新田等, 2016)。

表1 1978年全国主要矿产累计探明储量(赵腊平, 2019a)

Table 1 Cumulate proved reserves of major minerals in China in 1978 (Zhao, 2019a)

| 矿种名称 | 单位 | 储量 | 矿种名称 | 单位 | 储量 |
|------|--------------------------------|--------|------|-------------------------------------|----------|
| 石油 | 10 ⁸ t | 68.14 | 锌矿 | 金属, 10 ⁴ t | 5162.4 |
| 天然气 | 10 ⁸ m ³ | 2300 | 钨矿 | WO ₃ , 10 ⁴ t | 391.4 |
| 煤矿 | 10 ⁸ t | 7464.8 | 锡矿 | 金属, 10 ⁴ t | 362.4 |
| 铀矿 | 10 ⁴ t | 略 | 钼矿 | 金属, 10 ⁴ t | 417.8 |
| 铁矿 | 10 ⁸ t | 413.4 | 锑矿 | 金属, 10 ⁴ t | 15.7 |
| 锰矿 | 10 ⁸ t | 2.674 | 稀土 | 氧化物, 10 ⁴ t | 保有1597.5 |
| 铬铁矿 | 10 ⁴ t | 909.1 | 金矿 | 金属, t | 948.7 |
| 铜矿 | 金属, 10 ⁴ t | 5414.4 | 磷矿 | 10 ⁸ t | 89.31 |
| 铝土矿 | 10 ⁸ t | 10.1 | 硫铁矿 | 10 ⁸ t | 27.94 |
| 铅矿 | 金属, 10 ⁴ t | 3244.3 | 钾盐 | 氯化钾, 10 ⁸ t | 保有1.44 |

有色金属大部分是在老矿山勘查增加探明储量,新发现或扩大规模的一批大中型矿床,包括西藏玉龙、青海德尔尼、黑龙江多宝山铜矿;滇西兰坪金顶、南京栖霞山、广东凡口、青海锡铁山、甘肃成县厂坝、四川白玉呷村等铅锌矿;甘肃金川镍铜矿;广西平果、山西原平及阳泉等地铝土矿。建立了5大铜矿基地、4个铝矿基地和9个铅锌矿生产基地。同时,发现或探明多个大型超大型稀有、稀土、贵金属矿床,包括湖南柿竹园钨矿,广西大厂锡矿,吉林大黑山、陕西金堆城及河南栾川钼矿,湖南锡矿山锑矿,白云鄂博稀土矿,山东玲珑、河南小秦岭等地金矿,四川呷基卡锂铍铊矿,鄂西硒矿,等等(陈国达等, 1992; 中国地质调查百年史纲编写组, 2016)。

新发现一批磷、硫、钾及化工原料、建材非金属等矿产。建筑业所需的砂石矿也有较大发展(陈正国等, 2016)。

5.2.2 加强了水文地质工程地质勘查工作

为防治旱涝灾害、发展交通事业、保证探矿安全和解决农业及民生用水,加强了水文地质、工程地质勘查工作。主要对官厅、密云、佛子岭、三门峡、新安江、丹江口、漳河口等40多座大中型水库坝址选址和宝成、成昆青藏等铁路及南水北调工程选线,以及武汉、南京长江大桥选址和铁路、公路沿线隧道等,进行了水文地质、工程地质勘查,调查研究了有关滑坡、泥石流等地质灾害。调查研究了上海等地地面沉降,为19个省(区)、50多个缺水城市和多个勘探矿区、矿山进行了地下水勘查,保证了工业及民生用水。开展了全国水文地质普查和

黄淮海地区及南方岩溶区水文地质、岩溶地质综合研究,编制了不同比例尺水文地质、岩溶地质图件、图册。

5.2.3 开展了大规模区域地质调查和地质编图工作

1955—1958年,在新疆阿尔泰、西昆仑山、南岭、秦岭、大兴安岭进行了中苏合作1:20万比例尺地质调查,尔后,各省(区、市)陆续开展了各种比例尺地质调查。到20世纪80年代,1:100万比例尺地质图编测达 8.944×10^7 km², 1:20万完成 6.532×10^7 km², 1:5万完成 5.563×10^6 km²(杨勤业等, 2015)。1956年,进行了祁连山综合地质考察,出版《祁连山地质志》。在黑龙江流域、西藏希夏邦马峰、珠穆朗玛峰、西昆仑、横断山等地,进行了包括地质在内的综合考察(孙鸿烈, 2018)。在燕山、辽吉、秦岭、南岭、东南沿海、川滇、川西等地,进行了地质专题或综合研究。通过这些工作,大幅度地提高了有关地区地质研究程度。

这一阶段出现过两次地质编图高潮。第一次在1955—1965年,编制了1:300万全国“一套地质图件”,包括地质图、大地构造图、内生金属矿床成矿规律图、前寒武纪地质图、煤田及煤质预测图。1961—1965年,编制了1:100万国际分幅地质图49幅、矿产分布图48幅,大地构造图29幅,内生金属成矿图28幅,同时,还编制了中国古地理图集,各部门、各构造学派还编制了有关矿产及地质构造等图件。第二次编图高潮出现在20世纪70年代,编制出版了第一代中国地质图集及中国矿产图集、中国水文地质图集,中国岩溶图册,1:400万中国地质图及各构造学派构造体系图、大地构造图等,

1:500万亚洲地质图,各工业部门、各省(区、市)编制多种比例尺地质矿产图。

5.2.4 开启了海洋地质调查研究

中国海洋地质调查是20世纪50年代后期结合油气勘查工作开始的,先后对渤海、黄海、东海及其143个岛屿和南海北部及西沙永兴岛等48个岛礁进行了地质地球物理综合调查,评价了油气远景。1972年,计委地质局提出:“查清中国海、进军三大洋、登上南极洲”的调查目标。这个目标于20世纪80年代以后均予以实现。

5.3 建立了地质教育体系,使地质人才队伍获得大发展

20世纪50~60年代,中国地质教育事业得到空前的发展。北京大学、清华大学、南京大学等10所综合性大学地质系均扩大了招生名额;成立了北京、东北(1957年改为长春)、成都3所地质学院和10所中等地质学校;各工业部门也开办了地质矿产类大学和中等专业学校。到1965年,全国有近40座高等院校和30多所中等专业学校设有地质矿产类的专业学科。到1978年,共培养地质矿产类及相关专业人才12万余人。

5.4 建立了地质科学研究体系,使地质科学技术获得大发展

据不完全统计,到1978年,涉及地质矿产类的中央一级科研院所有51个,地方科研单位有50个,合计约百余个。还有40座高等院校和30座中等地质学校从事地质矿产类的研究工作,规模之大可谓空前,取得的科研成果之多也是空前的,主要进展和成果简述如下(陈国达等,1992;杨勤业等,2015)。

5.4.1 地层古生物研究取得长足进展

20世纪50~60年代,编辑出版了《中国标准化石》和15个门类的古生物化石丛书、20多部《标准化石手册》和《古生物图册》,共清理记载了24000个属、45000个种的化石,包括1000多个新属和13500个新种。

1959年和1979年召开了两次全国地层会议,系统总结了两个时段地层古生物研究取得的成果,制定了《地层规范草案及地层规范草案说明书》和全国、大区及各省(区)地层表及古生物化石图册,编纂出版了按界或系的地层专著。提出岩石地层、生物地层和年代地层单位划分标准;对中—上元古界进行了详细研究,反复讨论了南北震旦系划分对比问题;把原划归“前泥盆系”或“前寒武系”的华南

“龙山系”和祁连山“南山系”解体为震旦系,寒武系、奥陶系及志留系;开启了介形类,有孔虫类、牙形石、孢粉等微体古生物及前寒武纪叠层石的研究;掌握了多种同位素测年技术,测得约6000个年龄数据,首次测得鞍山群超过31亿年年龄数据。

5.4.2 岩石矿物研究取得多方面进展

在矿物学方面,开展了成因矿物学、找矿矿物学、系统矿物学研究,出版了一批专著和教材;开启了地幔矿物学和宇宙矿物学研究,对1976年吉林陨石雨陨石的研究发现了41种矿物;发现香花石等33种新矿物。

在岩浆岩方面,重点研究了南岭花岗岩和浙闽沿海及长江中下游中生代火山岩。对南岭花岗岩进行了多次详细调查研究,编写了多部“南岭花岗岩”的科研报告和专著,划分了侵入岩期次(雪峰期,加里东期、华力西—印支期、燕山期)和类型(同熔型、陆壳改造型、幔源型);对浙闽沿海及长江中下游侏罗—白垩纪火山岩进行了岩石学、矿物学、地球化学、火山机构及其与成矿关系研究;结合各地铬铁矿、铜镍矿及钒钛磁铁矿勘查,开展了基性、超基性岩研究;在贵州(镇远)、湖北(钟祥、京山)、山东、辽东半岛等地,陆续发现金伯利岩;特别是在祁连山发现“三位一体”的蛇绿岩和雅鲁藏布江蛇绿混杂岩,开辟了中国蛇绿岩研究之先河;开创了我国东部新生代玄武岩及深源包体研究。

在变质地质方面,主要结合区域地质调查和矿产勘查,在辽宁鞍山、山东新泰、内蒙古集宁、北京密云、粤西云开大山等地进行了变质地层、混合岩化,花岗岩化的研究;20世纪70年代后期,又在五台—太行山、冀东、辽吉、吕梁山、中条山、嵩山、大别山、秦岭、阿尔泰山、哀牢山等地开展了变质岩石学研究。同时,进行了变质相系、双变质带和原岩恢复等的研究,发现许多前寒武纪变质岩原岩为火山—沉积岩系。这一时期变质岩代表作为程裕淇等(1963)的《变质岩的一些基本问题和工作方法》。

在沉积岩方面,主要结合油气、煤炭等沉积矿产勘查和地质教学需求,开展了岩相古地理,沉积盆地分析、沉积岩分类命名,以及沉积成岩、成矿、成藏等方面的理论研究,编纂了教材、科研报告和专著。

5.4.3 地质构造研究取得新进展

在地质构造方面,这一时期是构造地质学十分活跃的时期,形成了百家争鸣的局面。李四光的地质力学、黄汲清的多旋回构造学、张文佑的断块构

造、陈国达的地洼构造、张伯声的波状镶嵌构造五大学派从各自的学术观点出发编著了系列论著和图件,论述了中国的地质构造。马杏垣提出萌地台、萌地槽、原地台、原地槽概念和解析构造学说;王鸿祯提出构造古地理和“活动论和地质发展阶段论”的学术思想;尹赞勋首先把板块构造引介到中国,尔后,傅承义、李春昱、郭令智、朱夏等发表了许多有关板块构造的论文。1979年,美国板块构造代表团访问中国考察交流,此后,板块构造逐渐流行于中国。地质各部门、各省(区、市)、各地质院校进行了各地质构造区、各省(区、市)地质构造以及构造运动分期、活动构造、新构造、矿田构造、小型构造、显微构造等的调查研究。

5.4.4 第四纪地质获得诸多新成果

由于第四纪地质与人类生存发展关系密切,中国第四纪地质又具有诸多特点,故而引起国家和地质学家们的广泛重视,对全国、各地质单元、各省(区、市)第四纪地层与古生物、第四纪地貌类型及特点、新构造与活动构造等开展了较详细研究,取得丰硕成果。尤其在青藏高原隆升及其环境效应、第四纪冰川及海水进退、黄土堆积及其成因与多层古土壤、西南地区岩溶(喀斯特)地貌及石漠化、古人类遗迹(蓝田人、元谋人等多处古人类遗址发现)、第四纪底界厘定以及三门峡第四纪地质与黄土等的调查研究,成果尤为突出。

6 改革开放新时代的地质事业

这一阶段从1978年开始至今,经历了40多年时光。“文革”之后,特别是党的十八大以来,在社会主义市场经济体制推动下,中国地质工作发生了天翻地覆的重大变化,取得许多地质工作体制改革和地质调查研究创新性成果,也经历了不少艰难、挫折和困惑(本节相当一部分资料来自《中国地质调查百年史纲》,不再一一标注)。

6.1 地质工作体制和机制的重大变革

改革开放以来,地质工作管理机构几经改革与调整,由国家地质总局恢复为地质部(1979年9月),到改组为地质矿产部(1982年5月),省级地质机构也恢复为以地质部(地质矿部)为主的部省双重领导体制。1999年,由地质矿产部国家土地管理局、国家海洋局、国家测绘局共同组建国土资源部,统一管理全国土地资源,矿产资源与海洋资源,并成立中国地质调查局,实行政事分开,把地质调

查事业从国土资源部分离出来。冶金、煤炭、化工、核工业,有色金属,建材等部门地质队伍大部分实行企业化,这些部门一般都成立地质局(地质总局等)来管理本部门地质队伍和科研单位。它们的矿产资源行政管理职能划入国土资源部。省级地质机构大多属地化,划归各省(区、市)管理。2018年,根据国土资源部、国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部、水利部、农业部、国家林业局等部委职责整合组建的自然资源部,统一管理全国自然资源。

石油天然气方面,分别成立中国石油天然气集团有限公司、中国石油化工集团公司和中国海洋石油有限公司三大油气公司,分别管理全国油气勘查、开发和科学研究工作。原地质矿产部石油队伍,连同石油科研单位、化学分析测试部门和上海海洋地质局以中国新星石油公司名义整体并入中国石油化工集团公司,致使国土资源部(自然资源部)与中国地质调查局先后成立自然资源部油气资源战略研究中心和中国地质调查局石油天然气研究中心,负责全国油气资源战略研究、资源评估和基础性调查研究。

为了克服计划经济体制下地质工作机制的弊端,进行了地质工作机制的调整和改革,实施了“推进项目管理,开拓地质市场、发展多种经营”三大工程,实行地质队伍专业化改组、以承包和招标为主的地质项目管理、“一业为主,多种经营”和各种形式的经济责任制,对于非基础性、公益性地质勘查单位及其工作成果实行“企业化、社会化、商品化”的“三化”改革,使地质工作资金来源多渠道化。同时,制定了《中华人民共和国矿产资源法》及其配套法规,为推动矿产资源勘查市场化改革奠定了基础。

6.2 调整了地质工作方针和方向,实施了一系列地质勘查研究计划和项目

根据国家的战略需求,这一阶段突出了能源矿产和战略矿产勘查和基础地质调查研究,先后实施了“以地质-找矿为中心”,“找矿突破战略行动”“科技兴地”《全国地质找矿“358”行动纲要》“三深一土”和“向地球深部进军”等战略。开展了新一轮国土资源大调查(一项计划、四项工程)(1999—2005年)、全国危机矿山接替资源找矿专项、中国专属经济区和大陆架勘测专项、大陆架及邻近海域勘查和资源远景评价研究、全国矿产资源

潜力评价、海洋地质保障工程、新疆“358”项目、大陆科学钻探(江苏东海科站与大庆松科2井)、深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe)、深地资源勘查开采(2016—2020年)重点专项等的调查研究。实施了石油天然气国家专项。中国地质调查局实施了包括能源、矿产资源、地质环境、地质灾害、海洋地质、国土开发和地质数据更新在内的“十大计划、50项工程(2015—2020年)”；此外，还参与了国家科技攀登计划、863计划，973计划以及其他国家项目和国家自然科学基金项目。2019年和2021年分别发布《区域地质调查技术要求(1:50000)》(DD2019-01)和《覆盖区区域地质调查技术要求(1:50000)》(DD2021-01)。

6.3 新时代地质工作新任务和特点

从构建“大国土、大资源(含能源)、大地质、大生态”(方克定, 2022)、大服务和地球系统科学出发,新时代地质工作肩负着艰巨的任务,呈现出许多新的特点,主要表现为:①目标任务的双重化,既要开展高精度地质矿产勘查,为国家提供矿产资源和地质资料;又要瞄准世界科技前沿,强化地球各圈层乃至行星系统、宇宙起源等的研究,提高对地球和宇宙的认知程度。②服务领域的社会化,要从“大地质、大服务”理念出发,全方位地服务于社会民生事业,推动生态地质、农业地质、城市地质、医学地质、军事地质、旅游地质等的发展,使地质工作从地质矿产时代迈入资源环境时代。③调查研究范围的全球化,要从全球视野和更高起点更广的范围谋划推动地质事业的发展,应对人类共同面临的资源环境问题的挑战,在全球环境治理中发挥更大作用。④矿业开发绿色化,贯彻“绿色发展”理念,加快矿产勘查开发绿色化进程,加强铀矿、地热等清洁矿产勘查开发利用,强化矿山土地复垦和生态环境修复治理。⑤科技创新最大化,在创新驱动发展战略指引下,最大限度地发挥科技创新对地质工作的支撑作用,强化科技创新体系和高水平地球科学信息系统建设,打造科技创新平台与高地,在基础地质成矿理论等的研究上取得标志性创新成果。⑥人才队伍高端化,建立一支学科门类齐全的高素质地质人才大军,“大力培养造就一大批具有全球视野和国际水平的战略科技人才,科技领军人才、青年科技人才和高水平创新团队”(习近平, 2018),使中国从地质大国走向地质强国。⑦地学知识科普化,运用通俗易懂语言追踪宇宙和地球形

成演化历史,阐释生命起源和演化历程,传播地球知识,宣传地质资源国情和保护、优化生态环境重要性,把地球科学知识科普化,公众化。

6.4 加强了基础地质调查研究,大幅度地提高了国土地质研究程度

这一阶段基础地质调查研究的特点是地质、地球物理、地球化学、遥感地质调查研究并驾齐驱;陆地与海洋、地球表层与深部调查研究紧密结合;学科、专题精细研究与区域性、全国性综合集成研究各显神通;特别加强了青藏高原、中亚、秦祁昆、江南等造山系(带)及沉积盆地的调查研究。

6.4.1 实现了全国陆域中比例区域地质调查全覆盖

1980年、1983年、1991年,共召开了3次区域地质调查工作会议,要求1:20万和1:5万区域地质调查首先部署在矿产资源远景区、重点矿集区和有重要科学意义的地区;编纂了1:5万沉积岩区、花岗岩类岩区及变质岩区地质填图方法指南。特别是1999—2005年实施的“新一轮国土资源大调查”完成了青藏高原、大兴安岭北部等地1:25万区域地质调查,实现了全国中比例尺(1:20万与1:25万)区域地质调查的全覆盖(表2)。

这一时期先后编制出版了1:400万(部分1:500万)全国性地质图、大地构造图、构造体系图与地震图、内生金属成矿规律图,1:250万中国地质图,中国及毗邻海区第四纪地质图;第二代中国地质图集及中国矿产图集,中国古地理图集,1:800万亚洲构造图及1:500万亚欧地质图和南极洲地质图。各有关地质矿产部门、各省(区、市)和地质院校,也都编制了不同比例尺、不同专业领域的地质图件,并于1999年建立了全国1:50万数字地质图空间数据库。20世纪90年代第二轮成矿远景区划成果基础上,编制了一套1:500万金属与非金属矿产分布图、成矿规律图及其与航磁异常、重力异常、遥感影像关系图。

6.4.2 地球物理、地球化学、遥感地质探测成果丰硕

20世纪50—60年代,中国地球物理、地球化学、遥感地质建立了管理机构和探测队伍,地质院校开设了系或专业,培训专业人才,一批物理系、化学系毕业生登上地球物理、地球化学勘查或科研岗位,与老一辈专家一起,为推动中国地球物理、地球化学和遥感地质事业发展作出了开创和奠基的贡献。当时主要围绕铁、铜等金属矿产、地震预测特别是油气资源进行了探测研究,还用地震法测定

表 2 中国区域地质调查完成情况（截至 2015 年；中国地质调查百年史纲编写组，2016）

Table 2 Completion of the Regional Geological Survey of China (as of 2015; Editorial committee of *Compiling Group of Centennial Outline of Chinese Geological Survey, 2016*)

| 类别 | 种类 | 面积/10 ⁴ km ² | 占全国陆地面积比例/% |
|-------------|---------------------------|------------------------------------|-------------|
| 区域地质(矿产)调查 | 1:5万区域地质调查 | 347.86 | 36.6 |
| | 1:5万区域地质矿产调查 | 293.32 | 30.9 |
| | 中比例尺区域地质调查(1:20万及1:25万) | 862.80 | 90.9 |
| 区域地球物理调查 | 1:5万区域重力调查 | 23.12 | 2.4 |
| | 中比例尺区域重力调查(1:20万及1:25万) | 656.42 | 69.1 |
| 航空物探测量 | 1:5万航空磁测 | 479.02 | 50.5 |
| | 1:5万及大比例尺航空磁测 | 484.12 | 51.0 |
| | 1:10万航空磁测 | 364.26 | 38.4 |
| | 1:20万航空磁测 | 377.39 | 39.8 |
| 区域地球化学调查 | 1:5万区域地球化学调查 | 246.38 | 26.0 |
| | 中比例尺区域地球化学调查(1:20万及1:25万) | 716.44 | 75.5 |
| | 1:5万土壤质量地球化学调查 | 13.81 | 1.5 |
| | 1:25万土壤质量地球化学调查 | 195.28 | 20.6 |
| 水文地质、环境地质调查 | 1:5万水文地质调查 | 72.43 | 7.6 |
| | 1:5万水文地质调查 | 238.93 | 25.2 |
| | 中比例尺区域水文地质调查(1:20万及1:25万) | 710.02 | 74.8 |
| | 1:25万地下水污染调查 | 369.87 | 39.0 |
| | 1:5万环境地质调查 | 39.65 | 4.2 |
| | 1:25万环境地质调查 | 172.54 | 18.2 |
| | 1:5万地质灾害调查 | 107.06 | 11.3 |

了中国第一颗原子弹爆炸当量,在珠穆朗玛峰地区及南极长城站一带进行了重力测量(李宇彤和吴忠良,2010)。

改革开放以来,除继续进行大陆与海洋油气、金属矿产和地震多发区地球物理、地球化学与遥感地质探测以外,加强了区域及全国不同比例尺的探测与综合研究及编图工作。到1998年,1:100万及1:20万区域重力调查面积 7.5×10^7 km²;到1999年,航空磁测面积 1.15×10^8 km²,其中陆域基本达到全覆盖(9.2×10^7 km²),海域约完成76%的面积。开展了“1:20万区域化探全国扫面”工作,到1998年,完成1:20万区域化探 4.72×10^7 km²,1:50万区域化探 1.2×10^7 km²,分析元素39种,圈定异常47506处,据此发现矿床2906处,其中金矿占70%以上,使中国地球化学填图跻于国际前列。到2015年,实现了全国小比例尺地球物理调查全覆盖。

在探测成果基础上,进行了综合研究和成果集成,编制了系列图件,主要有1:200万南海地质-地球物理图集、南海海底地貌沉积物图集,20世纪

90年代和21世纪初两次编制了1:500万中国海区及邻域地质地球物理系列图及图集。20世纪90年代,在“区域化探全国扫面”成果基础上,编制了1:1600万比例尺39种元素的“中国地球化学图”;20世纪末到21世纪初,又编制同一比例尺81种元素及化合物的“中国地球化学图”以及《中国生态环境地球化学图集》(1999年),1:500万中国陆地和毗邻海域航磁图成矿带航空放射性(伽马)测量图集,各省(区)编制了1:100万~1:50万航磁图。

6.4.3 编制了两轮中国区域地质志

1981—1988年,应用现代地质科学理论与方法,以省(区、市)为单位编著了区域地质志,并附1:50万~1:100万分省(区、市)地质图、岩浆岩图和地质构造图。这些区域地质志全面论述了各省(区、市)地层、沉积岩及沉积作用、岩浆岩及岩浆作用、变质岩及变质作用、地质构造与地质发展史,总字数达3000多万字,附图百余幅。1994年,在省志基础上,编著了《中国区域地质概论》和1:500万中国地质图。专著分5个大的构造区,分

别记述了地层、岩浆岩、变质岩、构造、地质发展史的基本事实和规律,特别在沉积地质与变质地质方面有重要特色和创新,反映了那个时代中国区域地质调查和区域地质研究的最高水平(程裕淇, 1994; 王鸿祯, 1994)。

2008年,中国地质调查局下达了重编《中国区域地质志》的科研项目,要求用板块构造新理论和大陆动力学新理念,对过去百年特别是近30年取得的地质新资料进行综合研究和集成,提供一套具有宏观影响的大成果,更好地服务于地质事业和国家经济社会可持续发展需求。这套志书包括32个省级、16个区级和10多部全国3个层次共约60余部志书(约1.2亿字),300多幅系列地质图件和1:50万地质图数据库。这是一套规模宏大、最具系统性和权威性国家基础地质数据资料,堪称中国地质之百科全书,从陆地与海洋、地表与深部、地质、地球物理、地球化学的结合上大幅度提高了中国地质研究程度,对地质勘查、科研、教学、科学普及,国内外科技交流以及发展、创新地质科学理论等,都将发挥重要作用。目前已取得若干创新性科研成果(李廷栋等, 2022a, 2022b)。

两轮中国区域地质志的编辑出版在中国地质调查研究历史上都是具有里程碑意义的重要地质事件(图12)。

6.5 矿产资源勘查取得重大突破

受国内外诸因素影响,近40余年来地质工作几经兴衰。矿产资源突出了能源矿产、“四稀”(稀

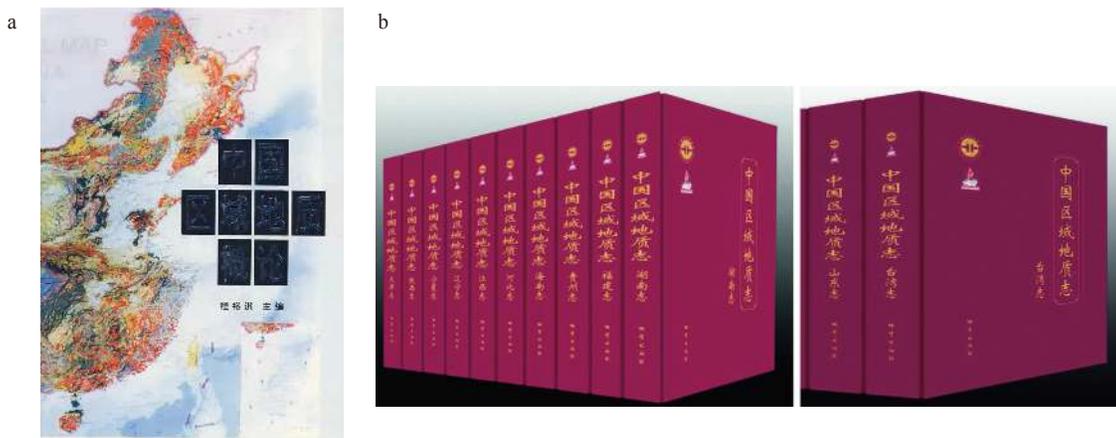
有、稀土、稀散、稀贵)矿产、大宗急需矿产和危机矿山接替资源勘查,矿产资源储量有大幅度增长。同时,加大了国外矿产资源勘查开发力度。

6.5.1 能源矿产的重大突破

油气矿产贯彻了“新地区、新领域、新类型、新深度”和“东部挖潜、开拓西部、发展海域、陆海并进”的方针,加大了西部及海域油气勘查力度,取得一系列突破性勘查成果(朱训, 2022)。1984年,塔里木盆地北部“沙参2#”早古生代油气的发现开启了中国海相油气田突破的新纪元,相继在塔里木盆地和准噶尔盆地发现多个大中型油气田和油气聚集区;在四川盆地发现了二叠系—三叠系普光、元坝以及震旦系—下古生界大气田;在鄂尔多斯盆地,发现下古生界与上古生界气田和中生界大油气田;在渤海探明锦州、金县等5个亿级优质油田群;在东海发现平湖等8个油气田和古珍珠、玉泉、花港、印月4个千亿立方米级大气田;在南海,发现番禺等几个大气田(高瑞祺等, 2016)。

21世纪以来,加强了非常规油气勘查开发力度。山西沁水盆地等地区煤层气的开发利用,四川盆地等地区页岩气发现与勘查,鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地致密油的发现及勘查开发(高瑞祺等, 2016),以及南海北部天然气水合物的发现和试采成功、吉林利用油页岩原位裂解开采技术从地下300m深处采出第一桶油页岩油等,都是近年来非常规油气勘查开发突破性进展的实例。

煤炭方面,20世纪80—90年代,主要进行已有



a—第一轮中国区域地质志《中国区域地质概论》封面(程裕淇, 1994); b—第二轮已出版的12个省级中国区域地质志(李廷栋等, 2022b)

图12 两轮中国区域地质志

Fig. 12 The generation of the *Regional Geology of China*

(a) The first generation of *An Introduction to the Regional Geology of China* (Cheng, 1994), (b) The second generation of the *Regional Geology of China* (12 published provincial regional geology; Li et al., 2022b)

矿山勘查和第三次全国煤田预测及煤田地质研究。21世纪以来,在内蒙古、陕西、宁夏、新疆、贵州等省(区)开展了煤炭勘查,新增资源量13000多亿吨(刘崇礼和程爱国,2016)。

铀矿勘查研究取得重大进展,除南方以相山为代表的火山岩型铀矿勘查研究取得显著成果外,主要是在北方从新疆伊犁盆地到东北松辽盆地等一系列中新生代盆地发现并探明多个大型超大型地浸型砂岩铀矿床,并总结了成矿规律和成矿机制,提出新的成因观点,编纂了《铀矿地质志》(赵凤民,2016)。

许多省(区、市)开展了地热资源的勘查研究和评价,在青海共和盆地发现干热岩;北京市率先进行了浅层地温能资源勘查开发,编著了《浅层地温能资源评价》一书。目前,各省(区、市)陆续开展了浅层地温能资源勘查研究和评价工作(卫万顺等,2010)。

6.5.2 金属矿产的重大突破

这一时期,地质矿产部(国土资源部)、冶金部及有色金属部门都进行了金属矿产及冶金辅助原料的勘查,新发现或探明一批大型、超大型或高品质的金属矿床。

在黑色金属方面,包括鞍本、冀东、邯邢、鲁中、五台、吕梁、宁芜等探明为大型、超大型铁矿床,新发现以西藏尼雄为代表的富铁矿床;探明湘潭、八一、木圭、遵义、瓦房子、广西德保县足荣扶晚大型、超大型锰矿以及桂西南的优质锰矿床。铬铁矿、钒、钛探明储量也有较大幅度增加。

在有色金属方面,新发现或探明大型、超大型矿床,包括:云南东川及普朗、江西德兴富家坞、西藏玉龙等铜矿及西天山铁铜多金属矿床;新疆乌拉根、内蒙古东乌旗、甘肃成县厂坝—李家沟、广东凡口西矿带等地铅锌矿;广西平果及靖西新圩、河南支建—水泉洼铝土矿;青海柴达木祁曼塔格镍矿;江西朱溪钨矿;河南栾川等地钨矿等(邢新田等,2016;孙肇钧和梅友松,2016)。特别是西藏驱龙、甲玛,雄村、波龙、多不杂、冲江等多个大型、超大型(7个)斑岩型铜金多金属矿产以及冈底斯斑岩铜矿带、玉龙斑岩铜矿带、三江MVT铅锌矿带和喜马拉雅锑金矿带的发现,大幅度地增加了中国以铜铅锌为主的金属矿产资源和储量,构成了一个改变中国金属矿产资源历史的庞大矿田群(张亚明,2017;王岩等,2020;张洪瑞和侯增谦,2022)。

在贵金属方面,金、银矿找矿都取得巨大进展,由于地球化学找矿方法运用,在滇桂黔“金三角”区、川西北、鄂西南、湘中等地,发现数以百计的卡林型金矿,包括贵州紫木函、烂泥塘、戈塘、四川东北寨、广西金牙等大型金矿床,在甘肃南部、青海东部等地,发现多个超大型金矿。胶东三山岛等地大型、超大型金矿床的发现,使胶东成为世界级超大型金矿区。在内蒙古东部发现、探明多个大型、超大型银矿床。

三稀矿产方面,川西甲基卡超大型锂矿之探明、马尔康一带几个大型锂矿床的发现以及西昆仑苦水湖锂矿和西藏若干盐湖锂矿的发现均说明青藏高原可能成为“锂矿王国”,还探明白云鄂博超大型铀矿以及其他大型、超大型稀土、稀散矿床。

此外,发现和探明一系列大型、超大型非金属、建筑材料、化工材料等矿产,建筑石材和砂石矿产获得较大发展。

6.5.3 进行了中国矿产地质志研编

从2012年开始,进行了《中国矿产地质志》的研编工作,计划编纂出版189部志书,37部矿产资源普及本、30套系列矿产图件、29套数据(库)集。通过志书研编已经取得多项创新性成果:系统收集梳理了1906年以来百余年矿产勘查研究成果,重新厘定中国已发现矿种为182种,创新了“三位一体”矿产地质图和“五位一体”成矿规律图研编方法;通过32个省级志书研编,重新核实中国已发现矿产地为64846处,基本摸清了中国矿产资源现状,多层次多维度地总结了矿产资源时空分布规律,数字化集成了3500多个典型和重要矿床综合研究成果;发展和完善了“成矿系列”和“成矿体系”理论,构建了多尺度区域成矿谱系,提出华夏成矿省等新概念,创新了古华南洋成矿体系、前寒武纪成矿体系、三叠纪大陆成矿体系,完善了中国分时段成矿体系;推动了成矿应用服务,指导实现了一批找矿新突破,为老矿业基地增储稳产和战略性新兴产业发展提供了资源支撑;建立了专业志书研编协同攻关机制,实现了地质调查与科学研究的深度融合,促进了团队建设和人才培养(王岩等,2020)。

6.6 加强了海洋地质调查,开拓了极地地质考察研究

由于多方面的原因,中国海洋地质工作起步晚、进展缓慢,不但落后于许多国家,也大大落后于中国陆地地质调查研究程度,直至20世纪80年代,

还主要是结合油气勘查和国际合作开展了海洋地质调查,研究程度很低。所幸到20世纪90年代,在中国大洋矿产资源研究开发协会(简称中国大洋协会,成立于1991年)领导下,实施了几个国家海洋调查研究专项,不但对中国管辖海域进行了较详细探测研究,而且进军太平洋、印度洋、大西洋开展了以矿产为主的探测研究,使中国海洋地质调查研究工作向前迈进了一大步,获得多项创新性科学成果。

在中国管辖的海域黄海、东海、南海,利用先进的仪器设备开展了地质、地球物理、地球化学调查和航空磁力测量,获得了海底地形、地貌、沉积、地质结构构造以及油气、滨海砂矿等的分布状况,完成了南海1:100万航磁测量和东海1:100万综合地球物理调查,编制了一系列地质、地球物理及矿产资源图件、图集。目前,已完成1:100万海洋地质调查和部分地区1:25万海洋地质调查。

在深海大洋方面,从1978年开始,中国开展了大洋海底矿产资源调查,到2021年,先后在太平洋、印度洋和大西洋分别进行多金属结核、富钴结壳和洋底硫化物矿床的调查,共计70多个航次,在3个地区获得多金属结核国际海底专属勘探权共 $2.25 \times 10^6 \text{ km}^2$,富钴结壳 3000 km^2 ,洋底硫化物矿床 10000 km^2 ,矿点30余处。同时,还在矿区周围、走航路线、设立专题项目,进到了海洋地质调查研究,获得丰富的深海大洋地质资料。

极地地质科学考察。中国南极和北极科学考察起步很晚但进展很快。20世纪80年代初,曾派专家参加了澳大利亚、新西兰等国的南极科学考察。直至1985年在南极半岛建立长城站,开始了中国一年一度的南极科考工作。1989年又在东南极拉斯曼丘陵建成中山站,开始了中国一年一度“一船两站”的科考工作(图13)。1989—1990年,秦大河参

加了国际横穿南极探险队工作,历时200天,行程5986 km;还与美国联合登上南极最高峰——文森峰进行了科学考察。1990年,实施了首次北极的科考工作,2004年又在挪威斯瓦尔巴群岛建立了中国北极黄河站。37年来,在国家南极考察委员会(1981年建立,武衡为主任)和国家海洋局极地考察办公室(1994年开始)领导下,有几十个科研单位和高等院校参与,极地科学考察事业发展迅速,取得多项高水平地学科研成果:1993年赵越等首次提出东南极拉斯曼丘陵5.5亿构造-热事件所反映的泛非构造运动是形成东南极克拉通地块的关键运动,并获得国际同行的认可;高精度年代数据为南设德兰群岛岩浆岩多成因论点提供了地球化学证据;古生物化石研究证明,晚白垩世—古近纪南美洲与南极半岛之间存在一条古地峡作为古生物迁徙通道;首次发现东南极格罗夫山陨石富集带,并采获12000多块陨石;在东南极内陆钻取4个地点5支50~100 m长的冰芯;编撰了1:500万南极洲地质图和《南极洲地质发展与冈瓦纳古陆演化》一书,讨论了罗迪尼亚和冈瓦纳古陆演化,列出南极发现的30余种矿种和近150个矿点(李廷栋,1994,2008;陈立奇,2000;王曙光,2000)。2019—2021年,赵越、胡健民等对南极考察成果进行了总结,先后出版了《南极普里兹带地质图(1:500000)》(赵越等,2019)、《东南极格罗夫山地区地质图(1:50000)》(胡健民等,2019)及《东南极拉斯曼丘陵地区地质图(1:25000)》(胡健民等,2021)。在北极考察中,进行了全球变化对中国气候影响研究,钻取了冰芯,进行了重力测量,首次获取北极绝对重力值。

6.7 优化生态环境,保障了人民身体健康

改革开放特别是党的十八大以来,地矿行业特别加强了环境地质、生态地质、农业地质、医学地



图13 南极长城站及中山站俯瞰图(来自中国极地研究中心网站 <https://www.pric.org.cn/>)

Fig. 13 Aerial view of the Great Wall Station and the Zhongshan Station in Antarctica (From the website of the Polar Research Institute of China <https://www.pric.org.cn/>)

质等的调查研究,取得了良好的生态效益和社会效益。

6.7.1 加强了非化石能源矿产勘查开发,为国家提供了清洁能源

据报道,2019年全球CO₂排放量为4.01×10¹¹ t,86%来自化石能源的利用。全球地热能约为煤热能的1.7亿倍,是当前全球一次性能源年度消费总量的200万倍以上。中国干热岩远景资源量折合标准煤约为856亿吨(李胜涛等,2021)。因此,实现CO₂减排的根本途径是加强非化石能源矿产和地热资源的勘查开发和利用,并推动煤炭等化石能源清洁高效利用。为此,地矿部门加大了对铀矿和地热资源探查、评价和开发利用的强度,取得了丰硕成果:除对已有铀矿产地加强勘探,获得了更多储量外,发现了一批新的铀矿床,特别是在北方伊犁盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地等盆地中新近地层中发现并探明一系列大型、超大型地浸型砂岩铀矿床。经进一步勘查,还会发现更多该类型铀矿床(赵凤民,2016)。40多年来,在滨太平洋地热带天津、河北,北京、湖北等省(区、市)和喜马拉雅横断山脉地热带的西藏、川西、滇西等地区,都进行了地热资源的勘查开发,在西藏拉萨羊八井建立了地热发电站,在青海省共和盆地已经发现干热岩。近年来,继北京之后,全国各省(区、市)陆续开展了浅层地温能的勘查、评价和利用(卫万顺等,2010)。

6.7.2 大力发展绿色矿山,保护和优化了生态环境

党的十八大以来,“两山”的绿色发展理念深入人心,许多矿山企业把绿色发展和生态保护贯穿于地质调查和矿业开发全过程,使传统的探矿、采矿方式向绿色化、智能化,数字化转型,矿产绿色勘查、绿色矿山建设、矿山生态修复取得明显成效

(图14)。目前,已有1254家矿山企业进入国家级绿色矿山企业目录,使许多矿山“残山废水变成青山绿水,穷乡僻壤变成金山银山”,实现了社会效益、经济效益、环境效益的统一(张继勇,2021;赵腊平,2021;李胜涛等,2021)。

6.7.3 开展农业地质调查,提高了农产品质量

土壤中有益和有害化学元素种类和含量,涉及土地和农产品质量,从而影响着人民生命安全和身体健康。近年来,地矿部门进行了农业地质和生态系统地球化学调查研究和填图。截至2018年,完成1:25万及1:5万土地质量调查的面积分别达到2.55×10⁷ km²和2.78×10⁶ km²,发现富硒土地超过2×10⁶ km²,公布了第一批全国30个富硒地块,助推建设了300多处富硒特色农业产业园(龙天祥等,2021)。重庆武隆白马山、山东沂南等地还圈出富硒、富锌、富锗的“三富”土壤。许多地区建立了富硒特色农产品种植示范基地,生产了富硒水稻、富硒大豆等农产品(李平,2021)。土地质量调查为优化种植业结构提供了科学依据。

6.7.4 开展了医学地质研究,为地方病防治提供了依据

各种化学元素来自岩石与矿石,经风化进入土壤,也可以通过火山喷发、岩浆作用和断裂活动把地球深部元素带到地表,这些元素通过土壤进入农作物,再经过食物和饮水进入人体,有益元素可以促进人体健康,有害元素则引发人体疾病。

通过化探全国扫面计划、全国地下水资源评价、全国1:25万土地质量地质调查和一些重大科研项目的实施,特别是“深部探测技术与实验研究专项”研究,建立了覆盖全国大陆的地球化学基准网,基本查明了有益、有害元素、物质的分布状况及其丰度、来源和迁移途径,为医学地质和地方病



图14 山东威海市临港区永川采石场修复效果图(王文钰,2021)

Fig. 14 Restoration effect picture of the Yongchuan quarry in Lingang District, Weihai City, Shandong Province (Wang, 2021)

病源研究提供了基础地质资料(唐跃刚和郑宝山, 2003; 李宏博和吕林素, 2009; 董树文等, 2021)。

研究发现, 大小兴安岭—黄土高原—秦巴山地—四川盆地—云贵高原北北东向地带, 是中国各种地方病集中流行的地带。地形地貌、土壤类型、成土母质岩石和地下水某些元素之余缺等都对地方病起控制作用(李宏博和吕林素, 2009)。1990年代开展的癌症与生命元素关系的研究表明, 不同的元素对于不同的癌症具有致癌和抗癌的作用(李红阳和牛树银, 2001)。

6.7.5 加强了环境地质调查研究, 为地质灾害评估、预测提供了科学依据

由于所处地理位置、地质、地貌特点和人为影响, 中国成为世界上地震和其他地质灾害最严重、受威胁人口最多的国家之一, 而且地质灾害种类多、分布广、强度大, 隐蔽性、突发性和破坏性强、灾害重, 预测和防范难度大。20世纪以来, 中国发生6级以上地震800多次, 遍及除贵州、浙江、香港、澳门以外全国所有省(区)。1920年至今100多年来, 因地震死亡人数70余万人, 占全球地震死亡人数50%; 仅1995—2003年8年时间, 滑坡、泥石流死亡及失踪人数就达10499人。地裂缝、地面沉降、地面塌陷、黄土湿陷、沙土液化、水土流失、土地沙漠化及石漠化、海水入侵、水土污染等, 都相当严重(赵济等, 2015)。

近年来, 地矿、地震等部门和地学科研单位及院校都加强了环境地质、灾害地质、地震地质调查研究和监测、预报工作: 对地震及滑坡、泥石流等频发地带和全国50多条活动断裂进行了1:5万或更大比例尺地质调查; 对华北平原、长江中下游平原特别是长江三角洲一些大中型城市开展了地面沉降、活动断裂的调查研究, 发现21个省(市)、102个地级以上城市发生地面沉降; 对黄土高原南部—川滇西部、秦岭—大巴山—武陵山地区、河西走廊、汾渭地堑、太行山东麓、大别山等地发现地裂缝(1685条); 在北方土地沙漠化地区和西南岩溶石漠化地区, 进行了地质、地球物理、地球化学和遥感地质相结合的调查研究(图15); 增设了更多的地震、地质灾害监测台站; 编辑出版了大量有关地震及地质灾害科普读物, 普及了地质灾害知识, 提高了人们地质灾害防控意识。

中国地质工作者还加强了古气候、古环境研

究, 以应对全球变化之挑战。全球气候变暖将导致地球生态环境产生巨大变化。专家预测, 如果按现在冰雪消融速度计算, 到21世纪末, 北极冰雪将消融殆尽; 如果全球冰盖、冰川全部消融, 全球海平面将上升80 m, 这将为人类社会带来巨大灾难。为应对全球变化的挑战, 中国加大了铀矿、地热等非化石能源矿产勘查力度, 探明一系列大型、超大型铀矿床和地热资源, 为CO₂减排提供了物质基础; 开展了CO₂地质储存调查、地质碳汇调查研究, 评价了主要沉积盆地CO₂地质储存潜力; 开展了岩溶作用与碳循环研究, 建立了桂江碳汇评估模型; 利用中国进行南极、北极、青藏高原“三极”科考优势, 通过岩芯、冰芯、石笋等载体开展了古气候古环境研究, 取得若干创新性研究成果。

6.8 地质科学研究取得诸多创新性成果

在科学技术是第一生产力和创新驱动发展战略的实施下, 国家加大了对科技事业的资金投入, 地质科学各领域、各分支学科都取得一批创新性科学成果。

6.8.1 地层古生物研究取得一系列具有国际影响的大成果

1979年和2000年, 先后召开第二届、第三届全国地层会议, 系统总结了这一时期地层古生物研究工作进展, 编辑出版了《中国地层》《中国各纪地层对比表及说明书》《中国各纪地层界线研究》《中国各地质时代地层划分与对比》等全国综合性和各断代、各门类的地层古生物专著, 大幅度地提高了中国地层古生物研究程度和水平。在中国已经建立了11个年代地层单位界线层型剖面和点位(金钉子), 成为拥有“金钉子”最多国家(表3), 显示中国在全球地层划分对比方面已处于国际领先水平(中国科学院南京地质古生物研究所, 2013; 赵元龙等, 2021)。

在古生物方面, 诞生或强化了古遗迹学、微体古生物学、分子古生物学、古生物地理学等分支学科。山旺生物群、燕辽生物群、瓮安生物群、关岭生物群、罗平生物群、凯里生物群、和政动物群等, 都取得高水平研究成果。特别是云南澄江动物群和辽西热河生物群的研究成果轰动了国际学术界。澄江动物群中以海口虫为代表的早期半索动物和以海口鱼、昆明鱼为代表的早期脊椎动物等多门类海生动物的发现, 代表了寒武纪生命大爆发主幕期动物的演化。热河生物群已发现化石20多

表 3 中国正式建立的“金钉子”剖面 (中国科学院南京地质古生物研究所, 2013; 赵元龙等, 2021)

Table 3 Global standard strato type-sections in China (Nanjing Institute of Geology and Paleontology, Chinese Academy of Sciences, 2013; Zhao et al., 2021)

| 序号 | 名称 | 地理位置 | 年代地层界线 | 批准时间 |
|----|----------|------|------------------|-------|
| 1 | 黄泥塘剖面 | 浙江常山 | 奥陶系达瑞威尔阶底界 | 1997年 |
| 2 | 煤山D剖面 | 浙江长兴 | 印度阶底界(二叠系—三叠系界线) | 2001年 |
| 3 | 排碧剖面 | 湖南花垣 | 寒武系排碧阶(芙蓉统)底界界线 | 2003年 |
| 4 | 蓬莱滩剖面 | 广西来宾 | 二叠系吴家坪阶(乐平统)界线 | 2004年 |
| 5 | 煤山D剖面 | 浙江长兴 | 二叠系长兴阶底界 | 2005年 |
| 6 | 王家湾剖面 | 湖北宜昌 | 奥陶系赫南特阶界线 | 2006年 |
| 7 | 罗依溪剖面 | 湖南古丈 | 寒武系古丈阶界线 | 2008年 |
| 8 | 黄花场剖面 | 湖北宜昌 | 奥陶系大坪阶底界 | 2008年 |
| 9 | 碰冲剖面 | 广西柳州 | 石炭系维宪阶界线 | 2008年 |
| 10 | 碓边村剖面 | 浙江江山 | 寒武系江山阶底界 | 2011年 |
| 11 | 乌溜-曾家岩剖面 | 贵州剑河 | 寒武系乌溜阶(苗岭统)底界 | 2018年 |

明冥古宙时期地球上已存在相当规模的陆壳物质(万渝生等, 2015; Wan et al., 2019; 李廷栋等, 2022b)。

(2) 提出中新元古界新划分方案。自从1934年高振西等建立天津市蓟县“震旦系”(实为中元古界—新元古界)标准剖面以来, 经过70余年多次研究, 有许多新发现、新认识, 但其群(系)、组名称、时代界线却始终无大变动。近年来, 由于在青白口系下马岭组凝灰岩(斑脱岩)中获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 1368 ± 12 Ma(高林志等, 2007)和侵入下马岭组的辉绿岩中锆石 U-Pb 年龄为 1320 ± 6 Ma(李怀坤等, 2009), 说明下马岭组应改划为中元古界, 并提出中元古界四分的划分方案建议(图16; 李廷栋等, 2022b), 有待全国地层委员会研究决定。

(3) 重新厘定了扬子板块南缘、西南缘中元古界—新元古界年代地层格架。根据大量高精度年龄数据(900~820 Ma), 把江南造山带原划归中元古界的湖南冷家溪群、贵州梵净山群、广西四堡群、江西双桥山群、浙江双溪坞群等厘定为新元古界; 同时, 重新厘定了扬子板块西南缘会理群、昆阳群、东川群等的中—新元古代地层层序, 为结束昆阳群“正八组”与“倒八组”之争提供了充分依据, 并首次在其中发现扬子克拉通结晶基底(张传恒等, 2007; 高林志等, 2007, 2010, 2011, 2015; 张恒等, 2019)。

6.8.3 取得多项岩浆岩创新性科研成果

20世纪80年代以来, 结合区域地质调查和专题研究, 对全国各个地区岩浆岩进行了较深入研究,

1994年出版的《中国区域地质概论》对各个地区岩浆岩进行了系统总结, 进行了岩浆活动分期(10期); 首次在鞍山地区获得 3804 ± 5 Ma 和 3300 Ma 花岗质岩石; 从成因系列角度把花岗岩分为同熔型、改造型、过渡地壳重熔型和幔源型; 按形成环境划分为M型、I型、S型、A型等; 王德滋等(2000)根据花岗岩形成的构造环境把花岗岩构造岩石组合划分为洋壳俯冲消减型、陆—陆碰撞型、陆缘伸展型、陆内断裂拗陷型和裂谷型5大类(杨勤业等, 2015)。结合矿产勘查需求开展了基性、超基性岩研究, 在华北、华南都发现了钾镁煌斑岩; 研究确定斜长岩形成于1800 Ma; 在华北及大别山区榴辉岩中发现柯石英(杨经纬等, 2002)和金刚石(陆永增等, 1998); 系统研究论述了中国东部新生代玄武岩及其捕虏体超镁铁岩的岩石分类、时空分布、岩浆起源及演化等(杨勤业等, 2015)。

在新一轮《中国区域地质志》研编过程中, 王涛等对中国侵入岩(主要是花岗岩类)进行了系统总结, 取得若干创新性科研成果: 发现一批重大岩浆事件, 重建了一些重要造山带关键地区侵入岩年代学格架, 建立了中国及邻区侵入岩时空演化框架; 根据巨型岩浆岩带岩浆时空迁移和成分演变轨迹, 揭示了多陆块汇聚、多板块构造叠加对岩浆活动及成矿作用的制约; 通过岩浆岩“探针”和同位素填图, 揭示了岩石圈物质架构和不同类型深部物质时空分布范围, 证实了显生宙陆壳巨量生长, 揭示了地壳水平和垂直生长机制(图17)。薛怀民等对中

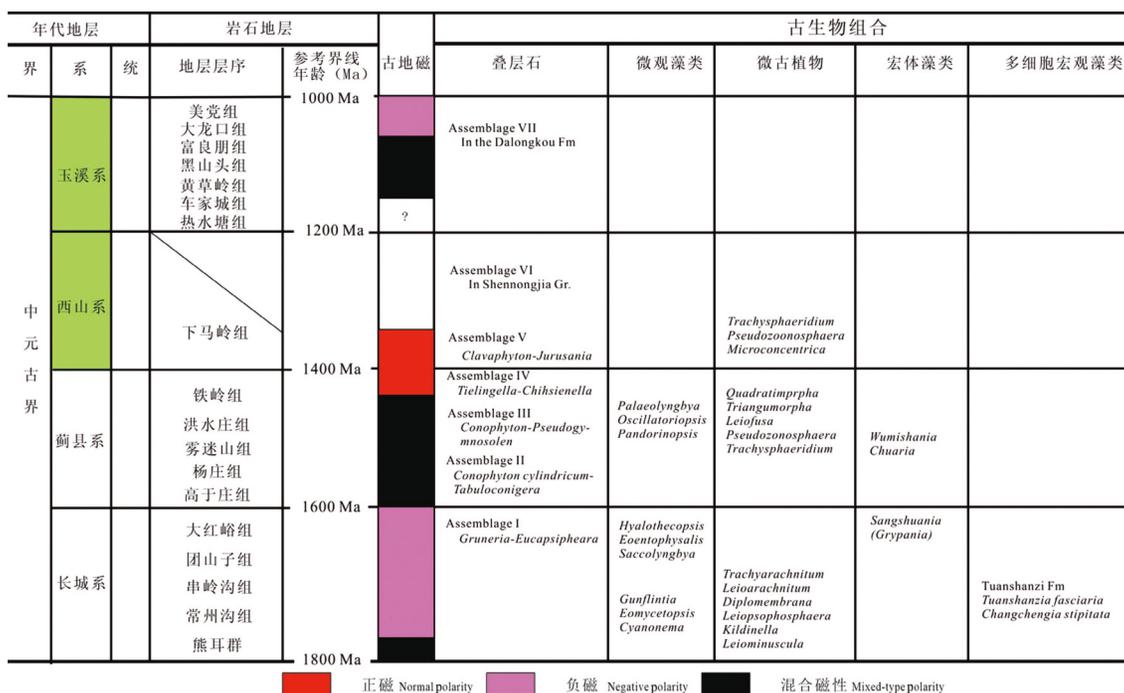


图 16 中国中元古代地层新划分方案建议 (李廷栋等, 2022b)

Fig. 16 Suggestion on the new division scheme of the Mesoproterozoic strata in China (Ling et al., 2022b)

国火山岩进行了系统总结,初步建立了中国火山岩时空分布格架,把中国东部滨太平洋晚中生代巨型火山岩带划分为北、中、南三段,研究论述了它们时空演化特征及形成的构造背景(李廷栋等, 2022b)。

6.8.4 地质构造研究开启了新的方向和领域

20 世纪 80 年代开始,各构造学派继续开展了一些研究,编制了一些地质构造图件,发表了一些论著。板块构造理论逐渐盛行,研究重点逐渐转向岩石圈结构构造、造山系(带)形成演化、沉积盆地分析和大陆动力学等方面(杨勤业等, 2015)。

在岩石圈研究方面,国家地震局于 1982 年编制了《中国岩石圈动力学地图集》和 1:400 万《中国及邻区海域岩石圈动力学图》和《中国岩石圈动力学纲要》,地质矿产部编写了《岩石圈研究基本问题和方法》,1992 年编制了《中国海区及邻域地质—地球物理系列图》;编制 11 条全球地学断面图(GGT)。

在造山系(带)方面,在活动论观点指导下,运用地质、地球物理、地球化学相结合宏观与微相结合方法,对中国主要造山系(带)、特别是青藏高原、中亚、秦岭等造山系(带)岩石圈结构构造、造山模式、造山机制及演化历史进行了较详细研究。

在盆地分析方面,主要根据煤炭、油气等沉积矿产勘查需求,开展了沉积盆地类型、结构构造、构造热体制、成因机制、演化历史及动力学研究。

20 世纪 90 年代,又与造山带研究相结合,形成盆—山构造体系,并在盆地边缘往往出现一系列逆冲断裂系,如喜马拉雅山前,龙门山山前逆冲断裂系等。

近年来,在《中国区域地质志》研编过程中,又对全国地质构造进行了综合研究,提出或总结出一些新认识:提出发展洋板块地质学术思想,多处发现洋内弧火成岩组合,初步建立了洋板块地质格架;在全国陆域识别出 62 条俯冲增生杂岩带,新发现多条蛇绿岩带,拓宽了蛇绿岩研究范围,开辟新的研究思路;提出板块构造启动于新太古代新认识;创建了东亚中晚侏罗世板块多向汇聚变形模式;总结了超高压超高温变质岩时空分布规律。

特别在深部地质探测研究方面获得突飞猛进的发展。从 20 世纪 50 年代起,中国就开始了深部地质矿产特别是油气矿产探测工作,进行了地球物理探测、地球化学勘查和岩石圈地质研究。1980 年代开始,开展了中法、中美等国际合作研究,参加了国际岩石圈研究计划,完成 11 条 14 段地学断面(GGT)研究,在江苏东海和黑龙江大庆(松科 2 井)实施了大陆科学钻探工程,深度分别达 5158 m 和 7018 m,进行了“中国岩石三维结构”专项研究,基本查明了中国岩石圈三维结构格架和特点。特别是 2008—2014 年实施的“深部探测技术与实验研究专项”(SinoProbe),通过“两网、两区、四带、多点”

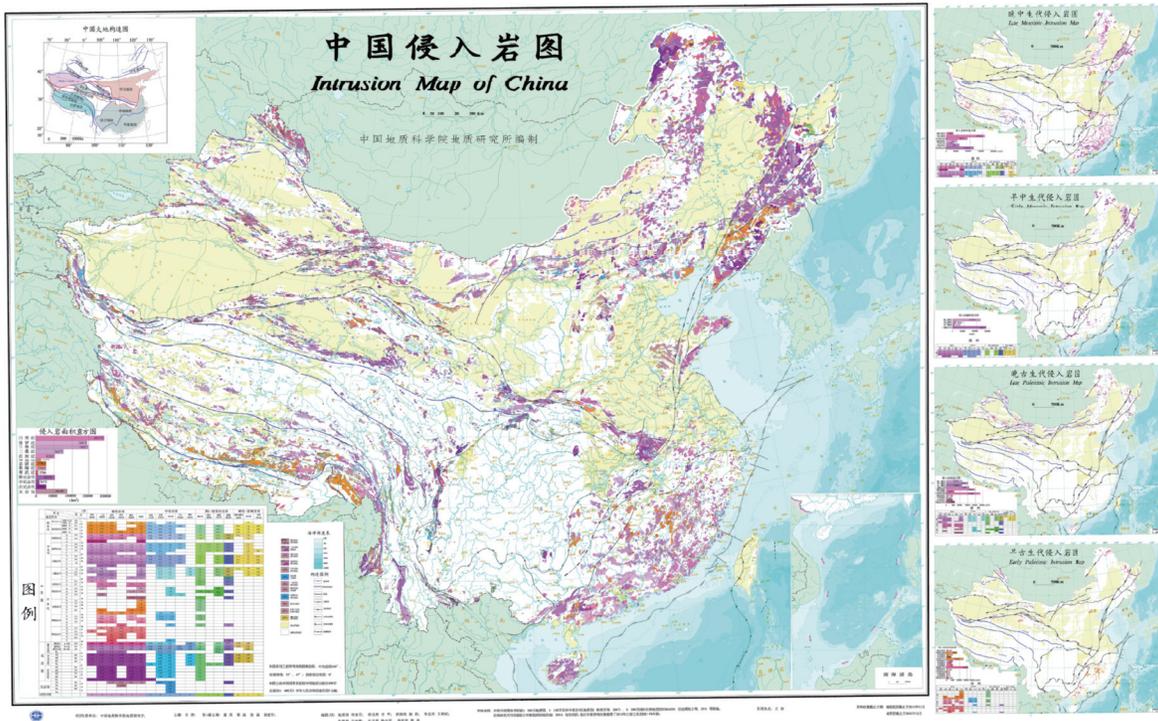


图 17 中国侵入岩图 (李廷栋等, 2022b)

Fig. 17 Map of intrusive rocks in China (Li et al., 2022b)

的地质、地球物理、地球化学、大陆科学钻相结合的探测研究,建立了全国大地电磁参数标准网、地球化学基准网和深地震反射、折射、宽频带联合探测技术体系,首次在国际上建立了一套 81 个参数指标(76 种元素和 3 种化合物)地壳全元素精确分析系统,实施了 12 口大陆科学钻,完成 6160 km 深地震反射剖面,使中国深地震反射剖面长度达到 11000 km,实现了矿集区 3000 m 深度的“透明化”立体探测,发现了江南造山带之下隐伏的古元古代造山带图像和松辽盆地岩石圈对冲结构(董树文等, 2021)以及矿集区的精细结构,使中国地球深部探测研究步入国际先进行列。

6.8.5 开展了成矿规律研究,丰富了成矿理论

这一时期,结合矿产资源勘查和专项、专题研究开展了成矿规律和成矿理论研究,取得许多创新性研究成果。

通过对古亚洲、特提斯-喜马拉雅和环太平洋三大构造-成矿域研究,发现三大成矿域不仅具有各具特色的成矿区(带),而且都以斑岩型矿床、块状硫化物矿床和低温热液型矿床广泛分布为特征,揭示了三大成矿域大陆动力学背景,构建了中国大陆成矿体系模式。

在能源矿产方面,进一步发展丰富了陆相生油

理论;根据中国地质构造特点,总结了海相生油理论,包括多时代、多类原型盆地叠加成油理论,多时代烃源岩、多期成藏、多时代油藏组合理论等。北方砂岩铀矿提出“大盆地、大砂体、大规模成矿作用成大矿”新认识(中国地质调查百年史纲编写组, 2016)。

在金属矿产方面,发现或深化研究了层控矿床、卡林型金矿、绿岩带型金矿、构造蚀变岩型金矿、海底喷气型矿床等,深化了“五层楼”成矿模式及成矿系列、成矿系统的概念。特别是通过青藏高原矿产研究创新性提出“大陆碰撞成矿理论”,不但对青藏高原发现多个斑岩型铜多金属矿床起到了指导作用,而且对全球寻找该类型矿床作出重大贡献。

为了在隐伏矿区寻找大型-超大型矿床,提出了“深穿透地球化学”概念,研制两种深穿透地球化学方法——地球气纳微金属测量(NAMEG)和金属活动态测量方法(MOMEQ)(中国地质调查百年史纲编写组, 2016)。另外,发展了海相盆地成钾理论,建立了罗布泊钾盐聚集模型。

6.9 地质教育在动荡中获得了发展

1978 年恢复高考以后,40 多年来培养了大批地质人才,其中不乏地质科学的佼佼者。这一时期地质院校经历了大合并、大改名浪潮的冲击,综合性

大学地质系都改为学院,专业性地质学院都改为大学;基本取消了各地矿部门管理的学校,一部分划归教育部管理,大部分属地化、划归各省(区、市)管理。地质专业性高校几乎都转化为综合性高校,地质矿产类学生一般只占全校学生的20%左右。由于全球矿产供需的变化和国内一些因素影响,地质行业时兴时衰,地质教育也随之起伏变化。地质工作萎缩造成地质专业毕业学生就业难的问题,使一部分学生转行,另一部分学生出国,影响了地质事业的正常发展。尽管经历了冲击与波折,这一时期地质教育还是得到很大发展,除本科生外,扩大了研究生培养规模,建立了博士后研究制度,扩大了公派出国深造力度,大幅度地提高了人才培养的质量和水平,其中有一大批学生已成为业务骨干、高级专家,还涌现出许多两院院士,对中国地质工作、地质科学发展作出了重要贡献。

6.10 国际地学合作与交流空前活跃

1978年开始的改革开放迎来了地学科技合作交流的春天。1976年8月,国际地质科学联合会(IUGS)恢复了中国合法席位,中国地质学会派出以许杰代理事长为团长的代表团参加了在澳大利亚悉尼市召开的第25届国际地质大会和国际地科联理事会,受到与会各国科学家的热烈欢迎。1978年,国际地科联代表团又来中国访问,商谈合作事宜。至今,中国几乎参加了国际地科联所有下属组织,至少从第30届国际地质大会开始历届大会中国都是参会人数最多国家。张炳熹、刘敦一先后任地科联副主任,张宏仁、成秋明先后任地科联主席,董树文任地科联司库。刘东生、安芷生曾任国际第四纪研究协会(INQUA)主席等。目前,已有国际地科联秘书处、世界地质公园网络办公室、国际岩溶研究中心、全球尺度地球化学国际研究中心、上合组织地学研究中心等国际地学组织落户中国。

这一时期开展的国际合作项目甚多,仅地矿部有关主要项目就有中法喜马拉雅地质构造合作研究项目(1980—1983年)、中美合作的喜马拉雅和青藏高原深剖面及综合研究(INDEPTH)、中美南海地质地球物理合作研究(1985年)、国际岩石圈地学断面研究(GGT)、中俄蒙哈韩五国合作地质编图项目(2002—2022年)、1:500万国际亚洲地质图编研项目等,还有国际地学计划(IGCP)以及有关矿产资源、地球物理、地球化学等方面的合作研究项目。

这一时期还组织召开了多次地质矿产、地球物

理、地球化学、遥感地质以及博物、图书等方面的学术研讨会。

7 结语

通过对中国地质矿产调查事业发展历程的往事钩沉,深感百余年来特别是新中国成立70多年来,中国的地质事业由章鸿钊、丁文江、翁文灏、李四光等老一辈地质先贤高瞻远瞩、艰苦创业,到后来一代又一代地质工作者忠于职守、艰苦奋斗、勇攀高峰,为中国地质事业的发展和国家的四个现代化建设创造了一个又一个地质奇迹,铸造了一个又一个的地质辉煌。他们有火焰般的热情,战胜了一切疲劳和寒冷,流血流汗,甚至献出了年轻的生命,为地质事业的繁荣和国家经济社会的发展作出了彪炳史册的巨大贡献。

地质工作者,特别是年轻一代地质工作者要学习老一辈地质家们的科学家精神,大力弘扬胸怀祖国、服务人民的爱国精神,大力弘扬勇攀高峰、敢为人先的创新精神,大力弘扬追求真理、严谨治学的求实精神,大力弘扬淡泊名利、潜心研究的奉献精神,大力弘扬集智攻关、团结协作的协同精神,大力弘扬甘为人梯、奖掖后学的育人精神,为中国地质事业的繁荣进步、为祖国经济社会的发展、为实现中华民族伟大复兴的中国梦作出更大贡献!

References

- CAO W R, 1992. A brief history of Chinese geology-ancient times to the 16th century AD[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 1-4. (in Chinese)
- CHEN B G, YANG G R, 1992. Geological survey of Sino-Swedish Northwest Scientific mission[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 200. (in Chinese)
- CHEN B G, QIHE R G, ZHUANG Y X, et al., 2011. Chronicle of regional geological survey in China (1829-2005)[M]. Beijing: Geology Press: 9-38. (in Chinese)
- CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al, 1992. Chinese geological science events dictionary[M]. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press. (in Chinese)
- CHEN K Q, 2011. Preface (3)[M]/CHEN B G, QIHE R G, ZHUANG Y X, et al. Chronicle of regional geological survey in China (1829~2005). Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese)
- CHEN L Q, 2000. Chinese arctic and antarctic expeditions (1980~2000)[M].

- Beijing: China Ocean Press: 100-138, 158-184. (in Chinese)
- CHEN Z G, ZHANG S H, XIONG J, 2016. Chapter 10 Building materials geology[M]/LI J F, WANG Z J, XIA X M, et al. The development history and main experience of geological work in China. Beijing: Geological Publishing House: 322-345. (in Chinese)
- CHENG Y Q, 1994. Outline of regional geology in China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 3-11. (in Chinese)
- China Geological Library, 2014. A brief history of geological survey and research on Qinghai-Tibet Plateau[J]. Scientific and Cultural Popularization of Land and Resources(1): 66. (in Chinese with English abstract)
- Cihai Editorial Committee, 1979a. An unabridged, comprehensive dictionary (1979 compact-edition)[M]. Shanghai: Shanghai Dictionary Publishing House: 90. (in Chinese)
- Cihai Editorial Committee, 1979b. An unabridged, comprehensive dictionary (1979 compact-edition)[M]. Shanghai: Shanghai Dictionary Publishing House: 1708-1709. (in Chinese)
- Compiling Group of Centennial Outline of Chinese Geological Survey, 2016. Centennial history of China's geological survey[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-232. (in Chinese)
- DING X Z, ZHANG K X, GAO L Z, et al., 2020. Preface: research progress and the main achievements of *the regional geology of China*[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 94(4): 865-876.
- DING Z L, 2021. Super master eternal monument[M]/Lee J S Kexue Lun Zhu Ji Bian Ji Wei Yuan Hui. The scientific works of J. S. Lee. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese)
- DONG S W, LI T D, GAO R, et al., 2021. Lithosphere structure and exploration in mainland China[M]. Beijing: Science Press: 64-76. (in Chinese)
- DU X R, TANG J J, 2017. Atlas of China[M]. Beijing: SinoMaps Press: 14-25. (in Chinese)
- DUNZHU J C, 1985. A pearl on the roof of the World-Yangbajing geothermal test power station[M]. Beijing: China Pictorial Publishing Company: 15-18, 71-73. (in Chinese)
- FANG K D, 2022-05-30(A1). Some thoughts on 40 years of geology work[N]. China Mining News. (in Chinese)
- GAO L Z, ZHANG C H, SHI X Y, et al., 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling Formation of the Qingbaikouan System in North China[J]. Geological Bulletin of China, 26(3): 249-255. (in Chinese with English abstract)
- GAO L Z, DAI C G, LIU Y X, et al., 2010. Zircon SHRIMP U-Pb dating of tuff bed of the Sibao Group in southeastern Guizhou-northern Guangxi area, China and its stratigraphic implication[J]. Geological Bulletin of China, 29(9): 1259-1267. (in Chinese with English abstract)
- GAO L Z, DING X Z, PANG W H, et al., 2011. SRHIMP zircon U-Pb dating of metamorphic tuff from the Precambrian Cangxi Complex-Group in northeastern Hunan[J]. Geological Bulletin of China, 30(10): 1479-1484. (in Chinese with English abstract)
- GAO L Z, YIN C Y, DING X Z, et al., 2015. Rating data of the neoproterozoic chronostratigraphy and stratigraphic correlation in South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 36(5): 533-545. (in Chinese with English abstract)
- GAO R Q, YANG T, ZHANG G S, et al., 2016. Chapter 3 Petroleum geology[M]/LI J F, WANG Z J, XIA X M, et al. The development history and main experience of geological work in China. Beijing: Geological Publishing House: 59-144. (in Chinese)
- GU S W, BIAN Y Y, 2019. The 'copper' age of Chinese civilization[J]. Earth(11): 11-17. (in Chinese with English abstract)
- HAN H, 2018-07-30(005). How a 2.12 million-year-old site of ancient human activity was discovered[N]. Wen Wei Po. (in Chinese)
- HU J M, ZHAO Y, LIU X C, et al., 2019. Geologic map of the grove mountains in East Antarctica (1: 50000)[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- HU J M, WANG W, LIU X C, et al., 2021. Geological map of the Larsemann Hills in East Antarctica (1:25000)[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- HUANG Z L, ZHANG L B, 2006. Dictionary of earth sciences-basic science volumes[M]. Beijing: Geological Publishing House: 634-639, 768. (in Chinese)
- JIANG D M, 2016. Accelerating the construction of world - class new geological survey[M]/Compiling Group of Centennial Outline of Chinese Geological Survey. China geological, survey, centennial history of Chinese geological survey. Beijing: Geological Publishing House: 1-7. (in Chinese)
- JIANG P, LIU H B, 2019-07-07(005). Successful application for world heritage of Liangzhu ancient city site, Demonstrating the five thousand years history of Chinese civilization[N]. Wen Wei Po. (in Chinese)
- LEE J S, 2021. The scientific works of J. S. Lee[M]. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese)
- LI E R, 1992a. 'Geoscience interpretation' publishing[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 259. (in Chinese)
- LI E R, 1992b. Publication of "geography in general"[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 259. (in Chinese)
- LI E R, 1992c. The geological thought of 'Shan Hai Jing'[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 239. (in Chinese)
- LI E R, 1992d. Foreigners' Survey of Mineral Resources in China in the Late Qing Dynasty[M]/CHEN, G D; CHEN, S P; LI, X S; ZHANG, L H. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 198. (in Chinese)
- LI F, 1992. Zhu Xi's 'mutation theory'[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 240. (in Chinese)
- LI H B, LÜ L S, 2009. The establishment of the concept and assessment system of medical geoheritage[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(6): 680-690. (in Chinese with English abstract)
- LI H K, LU S N, LI H M, et al., 2009. Zircon and beddeleyite U-Pb precision dating of basic rock sills intruding Xiamaling Formation, North China[J]. Geological Bulletin of China, 28(10): 1396-1404. (in Chinese with English abstract)
- LI H Y, NIU S Y, 2001. Environmental background values and ecological effects in northwest Hebei[J]. Beijing Geology, 13(1): 31-39. (in Chinese with English abstract)
- LI P, 2021-08-09(003). Massive zinc-selenium-germanium-rich soil found in

- Wulong, Chongqing[N]. China Mining News. (in Chinese)
- LI S, 2009. Chinese classic book Collection-Guanzi[M]. Beijing: Zhonghua Book Company: 322-334. (in Chinese)
- LI S T, WANG J Z, ZHANG Q X, et al. , 2021-08-10(A4). This "dark horse" in clean energy[N]. China Mining News. (in Chinese)
- LI T D, 1994. Main achievements of geosciences research of China on Antarctica[J]. Advance in Earth Sciences, 9(4): 8-14. (in Chinese with English abstract)
- LI T D, ZHENG Y L, 2000. Investigation and research history of Qinghai-Tibet plateau[M]/XIAO X C, LI T D. Tectonic evolution and uplift of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press: 297-309. (in Chinese)
- LI T D, 2008. Preface[M]/CHEN, T Y; SHEN, Y B; ZHAO, Y, et al. Geological Development of Antarctica and Evolution of Gondwanaland. Beijing: China Commerce and Trade Press: 372. (in Chinese)
- LI T D, DING X Z, LIU Y, 2022a. Special editor to readers[J]. Earth Science Frontiers, 29(2): 8-9. (in Chinese)
- LI T D, LIU Y, DING X Z, et al., 2022b. Ten advances in regional geological research of China in recent years[J]. Acta Geologica Sinica, 96(5): 1544-1581. (in Chinese with English abstract)
- LI Y T, WU Z L, 2010. Chinese Geophysics in the 20th Century[M]/QIAN W C, SUN H L. Chinese geological science events Dictionary An overview of the academic achievements of Chinese famous scientists in the 20th century: Geography volume: Geophysics volumes. Beijing: China Science Publishing. (in Chinese)
- LIU C L, CHENG A G, 2016. Chapter 4 Coalfield geology[M]/LI J F, WANG Z J, XIA X M, et al. The development history and main experience of geological work in China. Beijing: Geological Publishing House: 145-180. (in Chinese)
- LONG T X, LI W H, YANG A P, et al., 2021. The development process and progress of soil geochemical survey[J]. Yunnan Geology, 40(1): 104-110. (in Chinese with English abstract)
- YANG J S, XU Z Q, WU C L, et al., 2002. SHRIMP U-Pb Dating on Coesite-Bearing Zircon: Evidence for Indosinian Ultrahigh-Pressure Metamorphism in Su-Lu, East China[J]. ACTA GEOLOGICA SINICA, 76(3): 354-372.
- Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, 2013. Global standard strato type-sections and points in China[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press: 325. (in Chinese)
- Palaeontological Society of China, 2014. History of paleobiology in China[M]. Beijing: China Science and Technology Press: 1-51, 45-68. (in Chinese)
- QIN L, 2019-02-11(6). Jiangnan's Views: the first "Rural-Urban Division" in China appeared in the Yangtze Delta area[N]. Wen Wei Po. (in Chinese)
- SHI X L, 2020-12-17(8). Joseph lee's legacy[N]. China Science Daily. (in Chinese)
- SUN H L, 2018. Preface 1 retrospect and prospect of scientific investigation on Qinghai-Tibet Plateau[M]/MA L H. Tibetan light. Beijing: Beijing October Literature and Art Publishing House. (in Chinese)
- SUN X C, 2020-12-17(8). From "joseph lee's question"[N]. China Science Daily. (in Chinese)
- SUN Z J, MEI Y S, 2016. Chapter 7 Non-ferrous geology[M]/LI J F, WANG Z J, XIA X M, et al. The development history and main experience of geological work in China. Beijing: Geological Publishing House: 278-296. (in Chinese)
- TANG Y G, ZHENG B S, 2003. Medical geology and its development prospects[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China(3): 270-272. (in Chinese with English abstract)
- TAO S L, 1992a. Pompeles' geological survey in China[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 199-200. (in Chinese)
- TAO S L, 1992b. Villis' geological survey in China[M]/CHEN G D, CHEN S P, LI X S, et al. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 199-200. (in Chinese)
- TAO S L, 1992c. Richthofen's Geological and Geographical Survey in China[M]/CHEN, G D; CHEN, S P; LI, X S; ZHANG, L H. Chinese geological science events dictionary. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press: 198-199. (in Chinese)
- TONG W, 1995. Tibet geothermal in the world tide[M]/The China Society on Tibet Plateau. Qinghai-Tibetan plateau and global variations. Beijing: China Meteorological Press: 226-285. (in Chinese)
- WAN Y S, DONG C Y, XIE H Q, et al., 2015. Some progress in the study of Archean basement of the north China craton[J]. Acta Geoscientica Sinica, 36(6): 685-700. (in Chinese with English abstract)
- WAN Y S, XIE H Q, DONG C Y, et al. , 2019. Hadean to paleoarchean rocks and zircons in China[M]/VAN KRANENDONK M J, BENNETT V C, HOFFMANN J E. Earth's oldest rocks. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier: 293-327.
- WANG D Z, ZHOU J C, QIU J S, et al., 2000. Characteristics and petrogenesis of late mesozoic granitic Volcanic-Intrusive complexes in southeastern China[J]. Geological Journal of China Universities, 6(4): 487-498. (in Chinese with English abstract)
- WANG L X, LUO T J, LIU F X, 2019. National fossil origin[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-40, 176-184. (in Chinese)
- WANG S G, 2000. Preface[M]/CHEN L Q. Chinese arctic and Antarctic expeditions. Beijing: China Ocean Press. (in Chinese)
- WANG W Y, 2021-04-22(A18). Devote to ecological restoration to restore green water and green mountains[N]. China Mining News. (in Chinese)
- WANG Y, WANG D H, HUANG F, 2020. China mineral geology-atlas of China's mineral areas (2020)[M]. Beijing: Geological Publishing House: 72. (in Chinese)
- WANG H Z, 1994. Preface[M]/CHENG Y Q. Outline of regional geology in China. Beijing: Geological Publishing House: 3-11. (in Chinese)
- WEI W S, ZHENG G S, RAN W Y, et al. , 2010. Evaluation of shallow geothermal energy resources[M]. Beijing: China Land Press. (in Chinese)
- XI J P, 2018-05-29(002). Speech at the opening of the 19th meeting of the academicians of the Chinese academy of sciences and the 14th meeting of the academicians of the Chinese academy of engineering[N]. People's Daily. (in Chinese)
- XIAOWU Q F, 2019-01-12(A8). Mineral resources: a sign of the division of the human civilization era[N]. China Mining News. (in Chinese)
- XING X T, WU M L, GU L J, et al. , 2016. Chapter 6 Metallurgical geology[M]/LI J F, WANG Z J, XIA X M, et al. The development history and main experience of geological work in China. Beijing: Geologic-

- al Publishing House: 231-277. (in Chinese)
- LU Y Z, PROVINCE J, DONG H, 1998. Some Ultra High Pressure Metamorphic Features of Ultrabasic Rocks in Northern Jiangsu[J]. *Jiangsu Geology*, 22(1): 3-11.
- YANG Q Y, ZHANG J C, PU Q Y, et al. , 2015. History of Chinese geography (modern volume)[M]. Nanning: Guangxi Education Publishing House: 17-18. (in Chinese)
- YANG Y Q, 2019-01-18(8). China Natural Resources News. (in Chinese)
- YU X X, 1987. The Ming dynasty geographer-Xu xiake[M]. Beijing: Popular Science Press. (in Chinese)
- ZHANG C H, GAO L Z, WU Z J, et al., 2007. Shrimp U-Pb Zircon Age of Tuff from the Kunyang Group in Central Yunnan: Evidence for Grenvillian Orogeny in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(11): 1517-1525.
- ZHANG H, GAO L, ZHANG C, et al., 2019. Paleoproterozoic magmatic and metamorphic events in southwestern Yangtze Block: The position and evolution of the Yangtze Block within the Nuna supercontinent[J]. *Geological Bulletin of China*, 38(11): 1777-1789.
- ZHANG H R, HOU Z Q, 2022. Thermal regime and metallogenesis of collisional orogens[J]. *Earth Science Frontiers*, 29(2): 1-13. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG J Y, 2021-04-22(A03). To make the mine full of green[N]. *China Mining News*. (in Chinese)
- ZHANG Y M, 2017. Explore the third pole-the Qinghai-Tibet Plateau geological survey chronicle[M]. Beijing: Geological Publishing House: 342-350. (in Chinese)
- ZHAO F F, 2016. Chapter 5 Uranium geology[M]/LI J F, WANG Z J, XIA X M, et al. The development history and main experience of geological work in China. Beijing: Geological Publishing House: 181-230. (in Chinese)
- ZHAO J, FANG X Q, WANG W, 2015. New edition of Chinese physical geography[M]. Beijing: Higher Education Press: 438-441. (in Chinese)
- ZHAO L P, 2019a. 02-22(001). Everything, as you wish[N]. *China Mining News*. (in Chinese)
- ZHAO L P, 2019b. Revealing Chairman Mao's inscription "Develop the mining industry"[J]. *Land & Resources*(2): 18-21. (in Chinese with English abstract)
- ZHAO L P, 2021-09-30(001). Mining culture brightened by Chinese practice[N]. *China Mining News*. (in Chinese)
- ZHAO Y, LIU X C, XU G, 2019. Geologic map of the Prydz Belt in Antarctica[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- ZHAO Y L, YUAN J L, GUO Q J, et al., 2021. Frist standard Stratotype-Section and point (GSSP) -Research and significance of Cambrian Miaolingian series and Wuliuan stage in Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 38(3): 229-237. (in Chinese with English abstract)
- ZHU H R, LI X H, 2015. The travels of Xu Xiake[M]. Beijing: Zhonghua Book Company. (in Chinese)
- ZHU X, 2022. My ninety spring and autumn[M]. Beijing: Geological Publishing House: 38-47. (in Chinese)
- ZHU Y F, 2019-07-11(8). Liangzhu ancient city: the holy land of Chinese 5000 years of civilization[N]. *China Natural Resources News*. (in Chinese)
- ### 附中文参考文献
- 曹婉如, 1992. 中国地学简史—上古时期至公元 16 世纪 [M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 1-4.
- 陈宝国, 杨光荣, 1992. 中瑞西北科学考察团的地质调查 [M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 200.
- 陈宝国, 其和日格, 庄育勋, 等, 2011. 中国区域地质调查史大事记 (1829-2005 年)[M]. 北京: 地质出版社: 9-38.
- 陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等, 1992. 中国地学大事典 [M]. 济南: 山东科学技术出版社.
- 陈克强, 2011. 序三 [M]//陈宝国, 其和日格, 庄育勋, 等. 中国区域地质调查史大事记 (1829~2005 年). 北京: 地质出版社.
- 陈立奇, 2000. 中国南北极考察 (1980~2000)[M]. 北京: 海洋出版社: 100-138, 158-184.
- 陈正国, 章少华, 熊军, 2016. 第十篇 建材地质—中国建材地质工作 65 年 [M]//李金发, 王泽九, 夏宪民, 等. 中国地质工作发展历程及主要经验. 北京: 地质出版社: 322-345.
- 程裕淇, 1994. 中国区域地质概论 [M]. 北京: 地质出版社: 3-11.
- 辞海编辑委员会, 1979a. 辞海 1979 年版缩印本 [M]. 上海: 上海辞书出版社: 90.
- 辞海编辑委员会, 1979b. 辞海 1979 年版缩印本 [M]. 上海: 上海辞书出版社: 1708-1709.
- 丁仲礼, 2021. 超级大师 永恒丰碑 [M]//李四光科学论著集编辑委员会. 李四光科学论著集. 北京: 地质出版社.
- 董树文, 李廷栋, 高锐, 等, 2021. 中国大陆岩石圈结构与探测 [M]. 北京: 科学出版社: 64-76.
- 杜秀荣, 唐建军, 2017. 中国地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社: 14-25.
- 顿主佳参, 1985. 世界屋脊上的一颗明珠—羊八井地热试验电站 [M]. 北京: 中国画报出版公司: 15-18, 71-73.
- 方克定, 2022-05-30(A1). 对 40 年地质工作的几点想法 [N]. *中国矿业报*.
- 高林志, 张传恒, 史晓颖, 等, 2007. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年 [J]. *地质通报*, 26(3): 249-255.
- 高林志, 戴传固, 刘燕学, 等, 2010. 黔东南—桂北地区四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义 [J]. *地质通报*, 29(9): 1259-1267.
- 高林志, 丁孝忠, 庞维华, 等, 2011. 湘东北前寒武纪仓溪岩群变凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *地质通报*, 30(10): 1479-1484.
- 高林志, 尹崇玉, 丁孝忠, 等, 2015. 华南地区新元古代年代地层标定及地层对比 [J]. *地球学报*, 36(5): 533-545.
- 高瑞祺, 杨涛, 张国生, 等, 2016. 第三篇 石油地质—中国石油地质工作发展历程与经验启示 [M]//李金发, 王泽九, 夏宪民, 等. 中国地质工作发展历程及主要经验. 北京: 地质出版社: 59-144.
- 顾善闻, 卞跃跃, 2019. 中华文明的“铜”年时代 [J]. *地球*, (11): 11-17.
- 韩宏, 2018-07-30(005). 212 万年前的古人类活动遗址是如何发现的 [N]. 文汇报.
- 胡健民, 赵越, 刘晓春, 等, 2019. 东南极格罗夫山地区地质图 (1: 50000)[M]. 北京: 科学出版社.
- 胡健民, 王伟, 刘晓春, 等, 2021. 东南极拉斯曼丘陵地区地质图 (1: 25000)[M]. 北京: 科学出版社.

- 黄宗理, 张良弼, 2006. 地球科学大辞典—基础学科卷[M]. 北京: 地质出版社: 634-639, 768.
- 姜大明, 2016. 加快建设世界一流的新型地质调查局[M]//中国地质调查百年史纲编写组. 中国地质调查百年史纲. 北京: 地质出版社: 1-7.
- 蒋萍, 刘海波, 2019-07-07(005). 良渚古城遗址申遗成功 实证中华五千年文明史[N]. 文汇报.
- 李鄂荣, 1992a. 《地学浅释》[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 259.
- 李鄂荣, 1992b. 《地理全志》[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 259.
- 李鄂荣, 1992c. 《山海经》的地质思想[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 239.
- 李鄂荣, 1992d. 清末外国人对中国矿产资源的调查[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 198.
- 李复, 1992. 朱熹的“突变论”[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 240.
- 李宏博, 吕林素, 2009. 医学地质遗迹概念和评价体系的建立[J]. 岩石矿物学杂志, 28(6): 680-690.
- 李怀坤, 陆松年, 李惠民, 等, 2009. 侵入下马岭组的基性岩床的锆石和斜锆石 U-Pb 精确定年: 对华北中元古界地层划分方案的制约[J]. 地质通报, 28(10): 1396-1404.
- 李红阳, 牛树银, 2001. 冀西北地区环境背景与生态效应[J]. 北京地质, 13(1): 31-39.
- 李平, 2021-08-09(003). 重庆武隆发现大量富锌硒锆土壤[N]. 中国矿业报.
- 李山, 2009. 中华经典藏书—管子[M]. 北京: 中华书局: 322-334.
- 李四光, 2021. 李四光科学论著集[M]. 北京: 地质出版社.
- 李胜涛, 王君照, 张秋霞, 等, 2021-08-10(A4). 清洁能源中的这四“黑马”: 谈谈地热的优点、开发及其在服务低碳绿色发展中的作用[N]. 中国矿业报.
- 李廷栋, 1994. 我国南极固体地球科学研究的最新进展和主要成果[J]. 地球科学进展, 9(4): 8-14.
- 李廷栋, 郑英龙, 2000. 青藏高原调查及研究历史[M]//肖序常, 李廷栋. 青藏高原的构造演化与隆升机制. 广州: 广东科技出版社: 297-309.
- 李廷栋, 2008. 序言[M]//陈廷恩, 沈炎彬, 赵越, 等. 南极洲地质发展与冈瓦纳古陆演化. 北京: 商务印书馆: 372.
- 李廷栋, 丁孝忠, 刘勇, 2022a. 特约主编致读者[J]. 地学前缘, 29(2): 8-9.
- 李廷栋, 刘勇, 丁孝忠, 等, 2022b. 中国区域地质研究的十大进展[J]. 地质学报, 96(5): 1544-1581.
- 李宇彤, 吴忠良, 2010. 20世纪的中国地球物理学[M]//钱伟长, 孙鸿烈. 20世纪中国知名科学家学术成就概览. 地学卷. 地球物理分册. 北京: 科学出版社.
- 刘崇礼, 程爱国, 2016. 第四篇 煤田地质—辉煌的业绩 艰辛的历程[M]//李金发, 王泽九, 夏宪民, 等. 中国地质工作发展历程及主要经验. 北京: 地质出版社: 145-180.
- 龙天祥, 李文辉, 杨爱平, 等, 2021. 土壤地球化学测量发展历程与进展[J]. 云南地质, 40(1): 104-110.
- 杨经绥, 许志琴, 吴才来, 等, 2002. 含柯石英锆石的 Shrimp U-Pb 定年: 胶东印支期超高压变质作用的证据[J]. 地质学报, 76(3): 354-372.
- 秦岭, 2019-02-11(6). 江南观点| 中国最早的“城乡分野”出现在长三角[N]. 文汇报.
- 史晓雷, 2020-12-17(8). 李约瑟的遗产[N]. 中国科学报.
- 孙鸿烈, 2018. 序—青藏高原科学考察研究的回顾与展望[M]//马丽华. 青藏光芒. 北京: 北京十月文艺出版社.
- 孙小淳, 2020-12-17(8). 从“李约瑟之问”说起[N]. 中国科学报.
- 孙肇钧, 梅友松, 2016. 第七篇 有色地质—有色地质60年回顾与展望[M]//李金发, 王泽九, 夏宪民, 等. 中国地质工作发展历程及主要经验. 北京: 地质出版社: 278-296.
- 唐跃刚, 郑宝山, 2003. 医学地质学及其发展前景[J]. 中国科学基金, (5): 270-272.
- 陶世龙, 1992a. 庞培勒在中国的地质调查[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 199-200.
- 陶世龙, 1992b. 维里士在中国的地质考察[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 199-200.
- 陶世龙, 1992c. 李希霍芬在中国的地质地理考察[M]//陈国达, 陈述彭, 李希圣, 等. 中国地质学大事典. 济南: 山东科学技术出版社: 198-199.
- 佟伟, 1995. 世界大潮中的西藏地热[M]//中国青藏高原研究会. 青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京: 气象出版社: 226-285.
- 万渝生, 董春艳, 颜頔强, 等, 2015. 华北克拉通太古宙研究若干进展[J]. 地球学报, 36(6): 685-700.
- 王德滋, 周金城, 邱检生, 等, 2000. 中国东南部晚中生代花岗岩火山—侵入杂岩特征与成因[J]. 高校地质学报, 6(4): 487-498.
- 王丽霞, 骆团结, 刘凤香, 2019. 国家化石产地[M]. 北京: 地质出版社: 1-40, 176-184.
- 王曙光, 2000. 序言[M]//陈立奇. 中国南北极考察. 北京: 海洋出版社.
- 王文钰, 2021-04-22(A18). 倾情生态修复 复绿碧水青山: 记山东省地矿局第六地质大队大地质服务工作[N]. 中国矿业报.
- 王岩, 王登红, 黄凡, 2020. 中国矿产地质志·中国矿产地分省图集(2020)[M]. 北京: 地质出版社: 72.
- 王鸿祯, 1994. 序言[M]//程裕淇. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社: 3-11.
- 卫万顺, 郑桂森, 冉伟彦, 等, 2010. 浅层地温能资源评价[M]. 北京: 中国大地出版社.
- 习近平, 2018-05-29(002). 在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话[N]. 人民日报.
- 小屋清风, 2019-01-12(A8). 矿物资源: 人类文明时代分野的标志[N]. 中国矿业报.
- 邢新田, 吴梅林, 谷利军, 等, 2016. 第六篇 冶金地质—新中国冶金地质工作发展历程及主要经验[M]//李金发, 王泽九, 夏宪民, 等. 中国地质工作发展历程及主要经验. 北京: 地质出版社: 231-277.
- 陆永增, PROVINCE J, DONGHAI, 1998. 苏北超基性岩某些超高压变质特征[J]. 江苏地质, 22(1): 3-11.
- 杨勤业, 张九辰, 浦庆余, 等, 2015. 中国地学史(近现代卷)[M]. 南宁: 广西教育出版社: 17-18.
- 杨应奇, 2019-01-18(8). 诗经中的“山水林田湖草”[N]. 中国自然资源报.
- 于希贤, 1987. 明代地理学家徐霞客[M]. 北京: 科学普及出版社.
- 张传恒, 高林志, 武振杰, 等, 2007. 滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP

- U-Pb 年龄: 华南格林威尔期造山的证据 [J]. 科学通报, 57(7): 818-824.
- 张恒, 高林志, 张传恒, 等, 2019. 扬子板块西南部古元古代岩浆及变质事件: 兼论扬子板块对 Nuna 超大陆事件的响应 [J]. 地质通报, 38(11): 1777-1789.
- 张洪瑞, 侯增谦, 2022. 碰撞带热结构与碰撞成矿系统 [J]. 地学前缘, 29(2): 1-13.
- 张继勇, 2021-04-22(A03). 要让绿色满矿山 [N]. 中国矿业报.
- 张亚明, 2017. 探秘第三极: 青藏高原地质大调查纪事 [M]. 北京: 地质出版社: 342-350.
- 赵凤民, 2016. 第五篇 铀矿地质—中国铀矿地质工作 60 年 [M]//李金发, 王泽九, 夏宪民, 等. 中国地质工作发展历程及主要经验. 北京: 地质出版社: 181-230.
- 赵济, 方修琦, 王卫, 2015. 新编中国自然地理 [M]. 北京: 高等教育出版社: 438-441.
- 赵腊平, 2019a-02-22(001). 一切, 正如您所愿 [N]. 中国矿业报.
- 赵腊平, 2019b. 毛泽东主席题写“开发矿业”揭秘 [J]. 国土资源, (2): 18-21.
- 赵腊平, 2021-09-30(001). 矿业文化因中国实践而精彩纷呈 [N]. 中国矿业报.
- 赵元龙, 袁金良, 郭庆军, 等, 2021. 贵州第一枚标准层型剖面及点位 (Gssp) 金钉子: 寒武系苗岭统及乌溜阶研究与意义 [J]. 贵州地质, 38(3): 229-237.
- 赵越, 刘晓春, 徐刚, 2019. 南极普里兹带地质图 (1: 500000) [M]. 北京: 科学出版社.
- 中国地质调查百年史纲编写组, 2016. 中国地质调查百年史 [M]. 北京: 地质出版社: 1-232.
- 中国地质图书馆, 2014. 青藏高原地质调查及研究简史 [J]. 国土资源科普与文化, (1): 66.
- 中国古生物学会, 2014. 中国古生物学学科史 [M]. 北京: 中国科学技术出版社: 1-51, 45-68.
- 中国科学院南京地质古生物研究所, 2013. 中国“金钉子”: 全球标准层型剖面和点位研究 [M]. 杭州: 浙江大学出版社: 325.
- 朱惠荣, 李兴和, 2015. 徐霞客游记 [M]. 北京: 中华书局.
- 朱训, 2022. 我的九十春秋 [M]. 北京: 地质出版社: 38-47.
- 朱叶菲, 2019-07-11(8). 良渚古城: 实证中华 5000 年文明的圣地 [N]. 中国自然资源报.

获奖者简历:

李廷栋, 研究员, 博士生导师, 中国科学院院士。1999 年获得第六届李四光地质科学奖荣誉奖。从 60 年代中期开始, 长期致力于青藏高原地质构造研究, 从地质与地球物理的结合上论述了高原岩石圈结构构造及其演化特点, 划分了高原构造—地层区; 分析了高原隆升过程, 提出“陆内俯冲—地壳分层加厚—重力均衡调”的高原隆升模式; 以较充分的地质、古生物、古地磁等论据证明青藏高原大幅度快速隆升始于第四纪。自 70 年代至今, 先后主持编制了中国地质图集、1:500 万亚洲地质图及亚欧地质图、1:250 万中国西部及邻区地质图等多种地质图件, 获国内外地质界的高度评价, 并被广泛引用, 使我国地质编图跻于世界先进行列。先后参与制定了我国“八五”南极科研计划, 主持制定了原国家科委《中长期科学技术发展纲要(地矿部分)》; 通过全国政协的参政议政, 就资源、环境及其他问题提出多项议案或建议; 总结了我国地质科技成就和经验, 就“加强地质立典”研究、发展地质科学理论、地质科技体制改革等, 提出了多项意见和建议, 为我国地质科技事业发展作出了积极贡献。

