

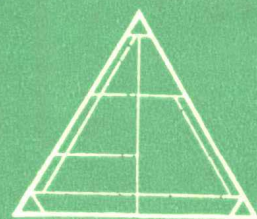
中国
早前寒武纪
麻粒岩

中国 早前寒武纪 麻粒岩

国家自然科学基金资助项目

沈其韩 徐惠芬 张宗清 高吉凤 伍家善 吉成林 著

地质出版社



中国早前寒武纪麻粒岩

国家自然科学基金资助项目

沈其韩 徐惠芬 张宗清 著
高吉凤 伍家善 吉成林

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本书首次对我国已知的 30 余处麻粒岩相带(区)进行了较系统的总结。在时空分布、相带类型、分类命名、矿物学、地球化学、流体包裹体和氧同位素等方面比较研究的基础上,进一步探讨了紫苏花岗岩和麻粒岩的成因,并提出了自己的见解。该书基本上反映了我国麻粒岩相带(区)的研究成果和水平;部分内容填补了国内空白,并可和同类国际性成果相对比。

该专著资料丰富、数据详实,附有大量图表,具有较高的学术水平和实用价值。可供从事前寒武纪地质、变质岩、矿物、矿床、地球化学及区域地质工作的生产、科研和教学人员参考,也可作为地质院校高年级大学生、研究生的参考书。

中国早前寒武纪麻粒岩 国家自然科学基金资助项目

沈其韩 徐惠芬 张宗清 著
高吉凤 伍家善 吉成林

*

责任编辑:郑长胜

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 15.25 铜版图: 1 页 字数: 359000

1992 年 7 月北京第一版·1992 年 7 月北京第一次印刷

印数: 1—840 册 定价: 10.20 元

ISBN 7-116-00995-7/P·854



前 言

本专著是国家自然科学基金委员会资助项目(项目编号 4870152)的最终成果。该项目于 1987 年批准,1988 年 1 月开始工作,1990 年 12 月底结束。

研究工作采用典型地区解剖和面上收集资料相结合的方法进行。野外工作较多的地区有内蒙古东南部、冀东和山东沂水;短期考察研究的有山东胶东(含胶东群和荆山群)、吉林桦甸、陕西太要、河北太行及安徽五河等地区。中国早前寒武纪麻粒岩研究,是一个很大的题目,点多面广。目前除华北地台北缘麻粒岩相带的部分区段和山东沂水麻粒岩区的研究较详细外,大部分地区研究程度较低,有的甚至很少有实际资料。现有的总结和认识只是初步的,将随着以后的研究不断深化和发展。通过这次研究,使我们得以尽早从全局观点来看待我国的前寒武纪麻粒岩,这将大大有利于今后的工作安排和整体研究的部署。

本专著分二篇,另有结论和问题讨论。第一篇以专题性论述为主,共包括九章,着重对我国早前寒武纪麻粒岩的时空分布,相带类型的划分,岩石的分类命名,单斜辉石、紫苏辉石、角闪石和石榴石等主要组成矿物的某些化学成分特征,麻粒岩和紫苏花岗岩的地球化学、氧同位素和流体包裹体等方面的基本地质特征,分章进行了较详细系统的论述和对比研究。并从麻粒岩相带形成的大地构造环境、部分 p - T - t 轨迹和动力学机制以及富 CO_2 流体的作用等方面,探讨了麻粒岩(包括紫苏花岗岩)和麻粒岩相变质作用的成因。第二篇为若干主要麻粒岩相带(区)的论述,共分十一章(第十章至二十章),分别论述了我国前寒武纪 13 个单独的麻粒岩相带(区)。其顺序是由北而东而南,最后为西北地区和西南地区,北部的顺序是由西向东。一般是一个相带(区)为一章,地区不大或内容较少者两个地区合为一章。我们选择带(区)的原则是:一、曾经详细工作过而且类型上具有代表性的;二、前人工作多,我们又进行了补充研究,也有代表性的;三、我们虽未进行过实地工作,但类型上具有代表性或具有地区特点的。有些地区在类型上有代表性,但新的研究成果即将出版,或者已出版资料能大致说明该区地质情况,目前又没有新的成果的,就不再予以论述。

本专著各章节的编写分工如下:第四章,第十五章之二由高吉凤编写,第五章由张宗清编写,第六章由徐惠芬、吉成林合写,第八章由沈其韩、吉成林合写,第十四章由徐惠芬编写,第十六章由伍家善、沈其韩合写,其余章节均由沈其韩编写。全文由沈其韩统稿,吉成林参加极大部分文字方面的润色工作。此外,伍家善和房子龙参加了山东胶东和吉林桦甸地区的野外研究工作。

三年工作期间,国家自然科学基金委员会地学部,中国地质科学院和地质研究所的各级领导和科技管理人员,经常予以关怀和指导,特别是基金委在经费上予以资助,使项目得以顺利完成,谨此致谢。

本文初稿完成后,由董申保教授、宋叔和教授、程裕淇教授、应思淮和孙大中研究员进行了评审,提出了许多宝贵意见,为本书修改定稿,提高质量,起到了重要作用,特向他们表示衷心的感谢。

本文所应用的岩石化学和稀土元素分析除参考前人的资料以外，均由中国地质科学院岩石矿物测试研究所测定。矿物的电子探针分析大部分由中国地质科学院矿床地质研究所，少部分由中国地质大学(北京)实验室测定。沂水变质杂岩流体包裹体均一化温度的测定和数据的应用与研究，极大部分由沈崑担任。内蒙古和冀东麻粒岩相岩石流体包裹体均一化温度的测定由中国地质科学院矿床地质研究所流体包裹体实验室李荫清担任，少部分沂水变质岩的流体包裹体的均一化温度和所有的流体包裹体成分的激光拉曼光谱测定由中国地质科学院西安地质矿产研究所实验室承担(夏祖春曾协助挑选代表性流体包裹体)。氧同位素由中国地质科学院矿床地质研究所氧同位素实验室测定。附图由地质研究所绘图室宋迎年、董效静等清绘，大部分化学和稀土元素的电算和成图由厉子龙协助完成。分类命名中的矿物成分图的成图由陈涛担任。辽宁地矿局区调队的王汉霞、首钢地质勘探队的李凤月曾提供少部分麻粒岩矿物百分含量的测定结果。在山东沂水工作期间，山东地矿局地质八队程志忠等带领我们进行野外观察，在地质资料和生活等方面，都给予无私的帮助。对以上单位和个人，谨致以诚挚的感谢。

矿物缩写代号表

Ab 钠长石	Di 透辉石	Ky 蓝晶石	Sa 次透辉石
Act 阳起石	En 顽火辉石	Mic 微斜长石	Scp 方柱石
Alm 铁铝榴石	Ep 绿帘石	Mt 磁铁矿	Ser 绢云母
An 钙长石	Fs 铁辉石	Ol 橄榄石	Sill 矽线石
And 钙铁榴石	Gro 钙铝榴石	Or 正长石	Spe 锰铝榴石
Ap 磷灰石	Gt 石榴石	Opx 斜方辉石	Spi 尖晶石
Bi 黑云母	Hb 普通角闪石	Pl 斜长石	Tc 滑石
Cc 方解石	Hd 钙铁辉石	Py 辉石	Tr 透闪石
Ch 绿泥石	Hy 紫苏辉石	Pyr 镁铝榴石	Zo 黝帘石
Cord 堇青石	Il 钛铁矿	Q 石英	Zr 锆石
Cpx 单斜辉石	Kf 钾长石	Ru 金红石	

目 录

第 一 篇

第一章 中国早前寒武纪麻粒岩的分布和时代	(1)
一、麻粒岩和主要麻粒岩相带的分布.....	(1)
二、麻粒岩的形成时代.....	(5)
第二章 麻粒岩相带(区)类型的划分	(6)
一、麻粒岩类型的研究现状.....	(6)
二、麻粒岩类型的划分原则.....	(7)
三、麻粒岩类型的划分.....	(7)
第三章 麻粒岩的分类和命名	(10)
一、各类麻粒岩实际矿物体积百分含量的一些统计特点.....	(10)
二、麻粒岩分类和命名的新方案.....	(12)
三、几个具体问题的讨论.....	(14)
第四章 麻粒岩铁镁矿物的化学成分特征	(16)
一、斜方辉石.....	(16)
二、单斜辉石.....	(20)
三、角闪石.....	(21)
四、石榴石.....	(25)
五、小结.....	(31)
第五章 麻粒岩的地球化学特征	(32)
一、主要元素地球化学特征.....	(32)
二、稀土元素地球化学特征.....	(45)
三、大离子亲石元素及其它微量元素地球化学特征.....	(57)
四、Nd 同位素地球化学特征.....	(66)
第六章 麻粒岩流体包裹体的研究	(69)
一、山东沂水麻粒岩杂岩流体包裹体研究.....	(69)
二、内蒙古和冀东地区部分麻粒岩相岩石的流体包裹体研究.....	(78)
第七章 麻粒岩和有关岩类的氧同位素研究	(83)
一、数据的测定.....	(84)
二、讨论.....	(87)
三、小结.....	(88)
第八章 紫苏花岗岩的地质特征及成因	(90)
一、时空分布和地质背景.....	(90)
二、岩石学特征.....	(91)

三、地球化学特征·····	(95)
四、成因讨论·····	(102)
第九章 麻粒岩成因讨论·····	(105)
一、部分麻粒岩相带(区)类型的大地构造环境·····	(105)
二、关于富 CO ₂ 流体在麻粒岩相变质过程中的作用问题·····	(109)

第 二 篇

第十章 内蒙古兴和—山西阳高一河北怀安中太古代麻粒岩相带·····	(111)
一、地质概况·····	(111)
二、岩石学和地球化学特征·····	(112)
三、下集宁群麻粒岩的生成热值·····	(116)
四、麻粒岩类组成矿物的部分矿物学和矿物化学特征·····	(120)
五、变质作用的温压条件及其演化·····	(124)
第十一章 内蒙古千里山—集宁富铝片麻岩—麻粒岩相带·····	(125)
一、相带组成、分布和地质特征·····	(125)
二、岩石学和地球化学特征·····	(128)
三、变质作用温压条件和变质时代·····	(132)
第十二章 冀东迁安—西麻粒岩相带·····	(134)
一、冀东麻粒岩相带的分区及其基本地质特征·····	(134)
二、麻粒岩相岩石的形成时代·····	(137)
三、麻粒岩相带的温压条件·····	(138)
第十三章 辽吉地区麻粒岩相区·····	(141)
一、辽宁清原中太古代麻粒岩相区·····	(141)
二、吉林桦甸麻粒岩相区·····	(149)
第十四章 山东沂水麻粒岩相区·····	(154)
一、地质概况·····	(154)
二、岩相学特征·····	(156)
三、地球化学特征·····	(159)
四、麻粒岩杂岩的矿物化学特征和形成 p - T 条件·····	(165)
五、麻粒岩杂岩系的演化历史和动力学机制·····	(170)
第十五章 山东胶东群和荆山群麻粒岩—角闪岩相区·····	(173)
一、鲁东栖霞胶东群麻粒岩—角闪岩相区·····	(173)
二、山东安丘—平度—莱西荆山群麻粒岩—角闪岩相区·····	(176)
第十六章 河北阜平麻粒岩相区·····	(185)
一、地质概况·····	(185)
二、岩石学和地球化学特征·····	(185)
三、变质矿物共生组合和温压条件·····	(188)
第十七章 陕西小秦岭—河南鲁山太华群麻粒岩—角闪岩相带·····	(190)
一、地质概况·····	(190)

二、岩相学和地球化学特征.....	(191)
三、矿物化学.....	(195)
四、变质作用和温压条件.....	(195)
第十八章 河南桐柏—湖北、安徽大别麻粒岩相带.....	(199)
一、桐柏麻粒岩相带.....	(199)
二、大别麻粒岩相带.....	(205)
第十九章 西北地区麻粒岩相带.....	(207)
一、青海都兰至格尔木一带的麻粒岩相带.....	(207)
二、新疆阿尔金山麻粒岩—角闪岩相带.....	(209)
第二十章 川滇麻粒岩相带(区).....	(211)
一、区域地质背景和麻粒岩的产出特征.....	(211)
二、岩石学和地球化学特征.....	(211)
三、麻粒岩形成的温压条件估计.....	(213)
四、存在问题.....	(213)
结论和问题讨论.....	(214)
一、结论.....	(214)
二、问题讨论.....	(222)
主要参考文献.....	(224)
图版说明.....	(236)
图版.....	(237)

第 一 篇

第一章 中国早前寒武纪麻粒岩的 分布和时代

一、麻粒岩和主要麻粒岩相带的分布

我国早前寒武纪麻粒岩（包括麻粒岩相岩石）出露十分广泛，尤其是华北地台更为发育，经各省、自治区 1:5 万—1:20 万区调、普查和勘探以及编制 1:400 万变质地质图的专题研究，近年来已陆续发现了许多新的产地，加上已知的，目前共有产地近 30 处。从地区上看，它们遍布于全国 18 个省市、自治区（详见图 1—1），其中分布最广的省市是内蒙古、河北、北京、山西和辽宁。按大地构造位置，其中大部分分布于华北地台的古老陆核中，是陆核的主要组成部分。有的则分布于古老地块之间或其边缘的造山带中，常组成造山带的根部。个别的则见于断裂带中。

麻粒岩和麻粒岩相岩石常组成一些特定的岩石组合，按其时代和原岩建造的不同，可单独或与部分高角闪岩相岩石组成麻粒岩相带（区）或麻粒岩相—高角闪岩相带（区），有的几个较小的相带可综合成一个大的麻粒岩相带或麻粒岩—角闪岩相带，因而这些相带（区）的规模大小十分悬殊，大的可长达上千公里，小的只有十几或几十平方公里。它们的形成与原始的大地构造环境和热流状态密切相关，而现在能出露于地表是与一定时期的构造抬升或推覆有关。

现将各地区产出的麻粒岩区和麻粒岩相带的名称、赋存岩群和时代，列于表 1—1，分布见图 1—1。除上表中所列的 29 个地区或相带以外，河南汤阴、河北魏县两地，在钻孔中曾见有麻粒岩，西藏喜马拉雅山东段南部，也有麻粒岩出露的报导，但由于确切位置和地质情况都不清楚，故难以在表 1—1 中列出。此外，在陕西一个中生代花岗斑岩中见有麻粒岩包体的报导；在河北汉诺坝第三纪玄武岩中也见有辉石麻粒岩包体，该区玄武岩之下有太古宙岩系，可能是就地从深部带上来的太古宙麻粒岩，也有可能是下地壳底部带上来的熔融残余物，目前研究不够，其性质尚未确定，这些麻粒岩也未在表 1—1 中列出，图 1—1 中也未反映。

上述各地区的麻粒岩和麻粒岩相带，按其分布特征和连续性，大体上可以分为两类：一类是有些区和相带，在地质特征上有相似性，在空间分布上可以连成或断续连成更大的相带；另一类分布零星，常呈孤立的小区。在全国范围内除分布零星的不予考虑外，大体上可组成七个大小不一、各有特点的麻粒岩相带或麻粒岩—角闪岩相带，其中四个相带

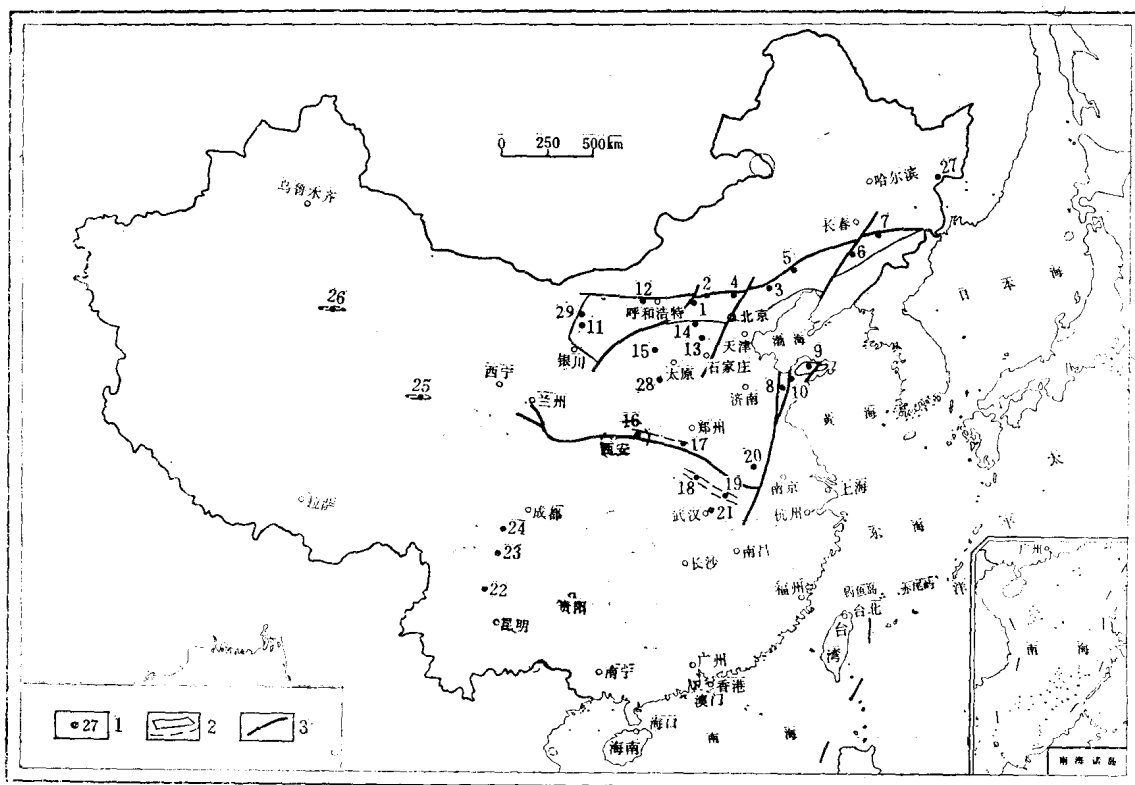


图 1—1 中国麻粒岩区和麻粒岩相带分布略图

1. 麻粒岩产地及其编号; 2. 麻粒岩相带(大带); 3. 断层

位于华北地台内及其南缘外侧。其余三个相带均位于^{秦岭}纬度 105° 以西的西部地区。它们的出露均与该区的大地构造密切相关。现将七个相带的分布特点简介如下:

1. 华北地台北缘麻粒岩相带(局部有高角闪岩相带)(见图 1—2): 本带西起内蒙古海勃湾的千里山, 经包头、卓资、凉城, 山西大同、阳高, 河北怀安、宣化, 北京密云, 河北迁安、迁西, 辽宁建平、清原直至吉林桦甸。岩带大致先为东西方向, 后为北东方向, 断续长达千余公里, 由早、中太古—晚太古代的麻粒岩、各种麻粒岩相表壳岩、紫苏花岗岩和 TTG 岩套等组成。这是全国最大的一个麻粒岩相带, 其中包括了表 1—1 中的 1—7, 11—12 的麻粒岩带和区。曾经历一次以上的麻粒岩相变质和角闪岩相叠加变质, 构造十分复杂。它在整个华北地台北缘太古代地质演化史中占有十分重要的位置。

华北地台南缘的麻粒岩相带, 根据其产出的大地构造位置和时代可以分为两个相带, 其规模和连续性均不如北带, 而且以角闪岩相为主, 麻粒岩相只是局部出现。

2. 陕西小秦岭—河南鲁山(包括舞阳)麻粒岩—角闪岩相带(包括表 1—1 之 16 和 17): 本带西部分布于陕西太华山、老牛山一带, 至临潼骊山之西没于渭河谷地, 从潼关以西向东延至河南鲁山, 再向东南断续延至舞阳一带。它位于华北地台南缘内侧, 岩系主要由晚太古代太华群组成(地质概况详见第十七章)。

3. 河南桐柏—湖北(包括安徽)大别麻粒岩—角闪岩相带: 本带位于华北地台南缘的外侧, 相当于早元古代活动带的根部。自河南桐柏经湖北罗田最后延至安徽金寨地区, 断续出露 500 余公里(表 1—1 中的 18、19 和 20)。其中桐柏地段出露稍完整, 湖北和安

表 1—1 中国早前寒武纪麻粒岩区和麻粒岩相带

图 1—1 中编号	麻粒岩相带(区) 名称	赋存岩系或岩群	地质时代	代表性同位素年龄(Ma)
1—2	内蒙古兴和一山西阳高一河 北怀安麻粒岩相带	下集宁群, 怀安 群和谷嘴子群	中太古代	锆石 U-Pb 2467 ± 55 ; Rb- Sr 全岩 2790 ± 155 , 沈其韩 等 ^[55] (1990)
3	冀东迁安迁西麻粒岩相带	迁安岩系	中太古代	侵入迁安岩系的片麻状花岗 岩中锆石 U-Pb—致线年龄 2960 ± 155 ; 单颗粒锆石蒸发法 2980
		遵化岩系	中太古—晚太古代	角闪岩全岩 Sm-Nd $2756 \pm$ 177 , 2685 ± 165
		曹庄岩系	早太古代	角闪岩全岩 Sm-Nd 3500 ± 80
4	北京密云麻粒岩区	密云群	晚—中太古代 ?	麻粒岩锆石 U-Pb 2451, 卢良兆等(1981, 1984) ^[24, 25]
5	辽西麻粒岩相区	小塔子沟组	晚—中太古代	侵入麻粒岩中的紫苏花岗岩 中锆石 U-Pb 2500, 2503, 崔文元(1991)
6	辽宁清原麻粒岩相区	景家沟组, 小莱河组	中太古代	紫苏花岗岩中锆石 U-Pb— 致线年龄 2650, 2610; 斜长角 闪岩中角闪石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 2986 ± 10 , 2939 ± 2
7	吉林桦甸麻粒岩相区	白山镇群	中太古代	Pb-Pb, 2950; Rb-Sr 全岩 2971 ± 95 , 3105
8	山东沂水麻粒岩相区	沂水杂岩	中太古代	麻粒岩 Sm-Nd 全岩 2997 ± 76
9	鲁东栖霞胶东群麻粒岩—角 闪岩相区	胶东岩系	晚—中太古代	侵入其中的老灵山花岗岩, 单颗粒锆石蒸发法 2862 ± 82 U-Pb, 一致线(锆石) 2664, 余汉茂(1984)
10	山东安丘、平度、莱西、麻 粒岩—角闪岩相区	荆山群	早元古代	底部砂线石榴黑云片岩中锆 石 U-Pb—致线年龄 2484, 1998
11—12	内蒙古千里山—集宁富铝片 麻岩—麻粒岩相带	上集宁群 千里山群	晚太古代	Rb-Sr 全岩 2316 ± 38 ; 锆石 U-Pb—致线年龄 1958 ± 23 Rb-Sr 全岩 2497 ± 124
13	河北阜平麻粒岩—角闪岩相 区	阜平群索家庄组	晚太古代	Sm-Nd 全岩等时线 $2790 \pm$ 171 , 张宗清等(1991) ^[66]
14	山西恒山麻粒岩区	恒山杂岩中麻 粒岩呈包体状	晚太古代	斜长角闪岩包体和角闪二辉 麻粒岩包体 Sm-Nd 全岩等时 线分别为 2799, 2812, 范嗣昆 (1989)
15	山西芦芽山麻粒岩区		晚太古代	

续表

图 1—1 中编号	麻粒岩相带(区) 名称	赋存岩系或岩群	地质时代	代表性同位素年龄(Ma)
16	陕西小秦岭—河南鲁山太华群麻粒岩—角闪岩相带	太华群	晚太古代	单颗粒锆石蒸发法 2841, 2825, 2789, 张国伟等 ^[120]
17	河南舞阳麻粒岩—角闪岩相区	太华群	晚太古代	
18	河南桐柏麻粒岩相带	桐柏群	早元古代	片麻岩中锆石 U-Pb—致线 1967, 麻粒岩中锆石 1146 ± 56 翟淳(1989) ^[120]
19	大别麻粒岩带	大别群	早元古代	
20	安徽蚌埠一带麻粒岩(在钻孔中见到)	五河群	晚太古代	锆石 U-Pb 2650 ^[39]
21	湖北黄陵麻粒岩区	崆岭群	早元古代	黑云变粒岩中锆石 U-Pb—致线年龄 $2332 \pm 13_{-4}^{+3}$, 姜继圣(1986) ^[81]
22—24	川滇麻粒岩相带(区)	康定杂岩	晚太古—早元古代	锆石 U-Pb 2300—2400, 曾选教 ^[103]
25	青海都兰至格尔木一带麻粒岩相带	金水口群	早元古代	下岩组中混合岩 Rb-Sr 全岩 1667 和 1990 ^[5]
26	新疆阿尔金山麻粒岩角闪岩相带	达格拉格布拉克群	早元古代	新疆 1:200 万地质图归入晚太古代, 尚无年龄依据
27	黑龙江牡丹江富铝片麻岩麻粒岩相带	麻山群	早元古代	Pb-Pb 全岩 2269 ± 69 , 2275, U-Pb 全岩 2251, 姜继圣(1989) ^[82]
28	山西稷山麻粒岩区	涑水杂岩(?)	晚太古代	
29	宁夏叠布斯克麻粒岩区	下阿拉善群	晚太古代	

注: 表中所列同位素年龄的出处, 除已标明的以外, 将在有关章节中说明

徽部分大都分布于英云闪长质岩石中, 分布十分零星。岩系主要为桐柏群和大别群, 时代为早元古代(地质情况详见第十八章)。

4. 华北地台东缘郯庐断裂带中及其东侧的麻粒岩—角闪岩相带(表 1—1 中的 8—10): 本带主要由中太古代的沂水杂岩、中—晚太古代的胶东岩系和晚太古—早元古代的荆山群组成。在郯庐断裂带中的沂水杂岩主要组成为麻粒岩相带, 局部过渡为高角闪岩相, 它对于华北地台下地壳演化及其抬升, 具有十分重要的意义。胶东岩系和荆山群主要属角闪岩相带, 局部有少量麻粒岩分布(地质情况详见第十五和十六章)。

5. 新疆阿尔金山麻粒岩—角闪岩相带(表 1—1 之 26): 本带分布于塔里木盆地南缘的东南侧, 呈东西向延展的狭长带状分布。大地构造单元属于塔里木地台南缘、阿尔金深断裂北侧。组成相带的岩系为达格拉格布拉克群, 1:200 万新疆地质图上将其时代定为晚太古代, 但缺少同位素年代学依据, 从地层关系看, 它与其上的中元古代巴什考贡群(相当蓟县的长城系)呈断层接触, 贺高品等^[112]总结塔里木—阿拉善变质地质时, 将该群归入早元古代(地质情况见第十九章)。

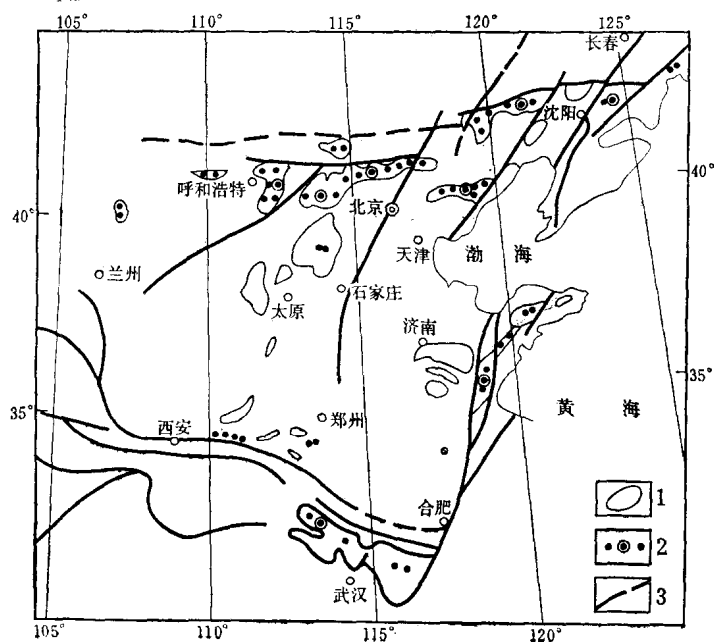


图 1—2 华北地台和周边的麻粒岩相带分布图

1. 太古宙岩系分布范围；2. 麻粒岩分布区，双圆为紫苏花岗岩出露区；3. 断裂

6. 青海格尔木—都兰一带的麻粒岩—角闪岩相带(表 1—1 之 25)：本带西部起自格尔木的天台山，经金水口的跃进山，止于都兰清水泉一带，断续分布 240 余公里，变质单元属柴达木南缘变质带，组成岩系为下元古界金水口群，整个岩群可从绿片岩相至麻粒岩相。在全带中麻粒岩相所占比例不多(地质情况详见第十九章)。

7. 川滇麻粒岩相带(区)(表 1—1 之 22—24)：本带(区)麻粒岩主要见于康定杂岩(或称康定群或仁和群)的下部层位即仰天窝组中^[45]，目前发现的有冕宁沙坝、渡口、盐边同德及麻疯村等地，均位于四川境内。由于大地构造位置相当“康滇地轴”，所以统称川滇地区。岩石呈残留体包于闪长质混合岩中^[45]，后者有人称为灰色片麻岩^[117]。上述产地总体上呈南北向分布，与其它岩石常组成递增变质带。岩系的时代为 2062—2451 Ma，属晚太古—下元古代。

二、麻粒岩的形成时代

麻粒岩的形成时代包括原岩的形成时代和变质时代。根据它们所处的地层上下接触关系和同位素年代学数据，原岩时代可以分为早、中太古代、中太古代、晚太古代和早元古代。变质时代有中太古代、晚太古代和早元古代。华北地台范围内的麻粒岩的形成时代主要为中太古代和晚太古代，而华北地台以外的麻粒岩相带主要为早元古代。

目前已知的麻粒岩区和麻粒岩相带，研究程度差别较大，除少数几个地区(如地台北缘)研究较详细外，不少地区有待今后深入研究。

第二章 麻粒岩相带（区）类型的划分

麻粒岩相带（区）的出现是地壳地质演化发生重大转变的一种标志。它们可生成于不同的地质时代和不同的地壳构造环境，但分布最广和最为发育的当以前寒武纪特别是早前寒武纪为第一。由于组成麻粒岩相带的原岩种类、原岩建造、伴生的深成岩体及变质作用类型多种多样，故麻粒岩相带（区）的类型也不完全相同。研究麻粒岩相带（区）的地质、岩石和地球化学等特征，科学地进行类型的划分，了解其形成的地壳构造环境和动力学机制，对探索早期地球地壳形成历史及其演化过程以及鉴别下地壳地质特征等方面，均有重要的科学意义。

一、麻粒岩类型的研究现状

麻粒岩相带最主要的组成岩石之一是麻粒岩，因此首先要研究麻粒岩的成因类型。近年来，不少学者十分重视该方面的研究，由于侧重点和目的不完全一致，因而研究的思路也有一定的差异。

1. Nisbitt^[213] 在研究麻粒岩大离子亲石元素亏损机理的基础上，划分出脱水麻粒岩和熔融麻粒岩。

2. Vielzeu^[264] 在欧洲海西麻粒岩带中则识别出“Ⅰ”型和“Ⅱ”型两个压力类型。

“Ⅰ”型麻粒岩是与榴辉岩共生的高压岩石（ ~ 1.5 GPa），它们形成于海西造山运动的最早阶段（420 Ma）；“Ⅱ”型麻粒岩主要是中到低压的共生组合，是海西晚期（ ~ 300 Ma）地壳的特征。

3. Katz^[190] 根据地温梯度把麻粒岩分为深位高压型（ ~ 20 °C/km）、浅位低压型（ ~ 50 °C/km）和过渡部位中压型（ $\sim 20-50$ °C/km），据以确定地壳水平。

4. 近十年来，变质带的热模拟和 $p-T-t$ 轨迹的研究取得了一系列重要进展，许多地质学家正努力将这些成果应用于古老造山带和陆核的变质、变形和动力学的演化研究，并总结出麻粒岩形成和演化的三种模式：

（1）大陆碰撞模式：这是 Thompson 等^[258] 总结世界各地麻粒岩地区的 $p-T$ 资料后，结合造山带变质热模拟资料提出的。在大陆地壳因构造作用（逆掩推覆）而增厚的情况下，原始地温梯度受到很大扰动。一旦构造作用结束，由于重力均衡效应的影响，陆壳必然会发生隆起并经受侵蚀作用。在此期间，一方面受到扰动的地温梯度向稳定地温梯度演变，使地壳明显加热；另一方面是侵蚀作用导致地壳下部的负荷压力下降，这样的构造环境形成的 $p-T-t$ 轨迹显示顺时针方向的演化趋势。不少地质学家认为它是麻粒岩相变质的一种标准地壳构造模式。

（2）大陆拉张模式：这是在观察现代拉张环境中热流变化的基础上提出的。大陆地壳下部有异常高的热流值，正经历着具有区域规模的麻粒岩相变质作用，其 $p-T-t$ 轨迹表现为在拉张期间恒压或降压升温到达麻粒岩相，在拉张结束之后则发生恒压或增压冷却。

(3) 大陆弧模式: 这一模式是 Bohlen(1987)^[128]在岩石学研究基础上提出的。他认为: ①麻粒岩“峰期”变质温度和压力集中在 $800^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 和 $0.75 \pm 0.1 \text{ GPa}$, 接近于 Sill-Kf 平衡曲线; ②麻粒岩区与角闪岩区经常成对出现; ③大多数麻粒岩中 Al_2SiO_5 的多形变体是矽线石, 极少数为蓝晶石。这些特征表明其变质作用的 p - T - t 轨迹具有逆时针的演化趋势, 与大陆碰撞的模式不同。

由于反应动力学因素的限制, 麻粒岩很少能保存其前进变质 p - T 轨迹的直接记录, 人们查明的往往只是退变质的 p - T 轨迹。Harley(1989)^[157]将麻粒岩退变质 p - T 轨迹归纳为两大类: 一种是近等温降压(ITD), 另一种为近等压冷却(IBC), 并以此说明麻粒岩形成构造环境的多样化。目前认为近等压冷却的麻粒岩形成环境有岩浆增生、正常厚度地壳拉伸和增厚地壳拉伸等三种模式。

5. 1986年, 在编制全国1:400万变质地质图时, 李树勋、吴昌华等^[47]以区域变质作用类型为基础, 将我国麻粒岩相带初步划为四个类型: ①区域中高温变质作用的麻粒岩相型; ②区域中高温变质作用的角闪岩相中的局部热点型; ③区域动力热流变质作用的递增变质带型; ④成因不甚明确。其中第四个类型没有明确的含义, 实际上是三个类型。

6. Shemikin(1989)^[239]根据麻粒岩—紫苏花岗岩形成时代和赋存的不同大地构造背景以及相带的分布状态, 划分为: ①大陆古陆核太古宙面状麻粒岩—紫苏花岗岩杂岩; ②太古代以后线状活动带麻粒岩—紫苏花岗岩杂岩等两种类型。

综上所述, 麻粒岩类型的划分, 既涉及到形成压力和地热梯度, 也联系到 p - T - t 轨迹和动力学模式以及变质作用类型的研究。

二、麻粒岩类型的划分原则

麻粒岩类型的划分, 不能仅仅局限于压力或地热梯度, 而应从较大的范围即从相带的角度进行类型的划分, 这样才能全面了解整个相带的演化特征, 也便于相带之间的对比。这种划分以变质作用类型为纲, 并综合考虑原岩种类、原岩建造, 伴生的岩浆作用等各种地质因素以及相带的 p - T - t 轨迹等, 为此提出如下原则作为划分依据。

1. 区域变质作用类型, 热流分布状况以及已有的 p - T - t 轨迹的特点;
2. 原岩种类、组合和建造以及变质建造类型;
3. 麻粒岩相带的分布状态, 形成时代和所处的大地构造环境;
4. 是否有紫苏花岗岩类伴生, 同时参考其它 TTG 岩石的时空分布特点。

其中 1、2 和 3 为基本依据, 4 为辅助依据。

三、麻粒岩类型的划分

根据上述原则和依据, 将麻粒岩划分为四个基本类型(I—IV), 在 I—III 个基本类型中, 又各划分了亚类型, 共六个亚类型:

(一) 面状高温区域变质作用麻粒岩相型(I)

分布范围大, 呈面状, 常组成几十、几百(上千)平方公里范围的麻粒岩相带(区), 热流的分布在不均匀中比较均匀。至少经历了一次以上的麻粒岩相变质, 局部也有角闪岩

相的叠加改造。总体以单相变质为主,在整个相带中往往难以进一步划分相带。其中的表壳岩构造十分复杂,塑性变形期次多而显著,早期的平卧褶皱、紧密同斜褶皱以及钩状褶皱等极为发育,晚期则常显示宽缓褶皱。普遍见有英云闪长岩、花岗质岩类和紫苏花岗岩类等伴生,这些岩体也都遭受过变质和变形,但形成时代稍晚,它们是陆核或克拉通的组成部分。表壳岩的 p - T - t 轨迹主要以逆时针方向为主,其形成时代为中太古代或晚太古代。

按表壳岩原岩建造和变质岩石组合的不同,分为两个亚类型:

1. I_A 亚类型:表壳岩的原岩建造以麻粒岩+片麻岩为主,主要见有二辉斜长麻粒岩、紫苏斜长角闪岩、透辉石岩、紫苏斜长片麻岩、黑云角闪二辉斜长片麻岩夹辉石磁铁石英岩,有的地区磁铁石英岩有较大的厚度,有时还见有少量石榴矽线斜长(二长)片麻岩。原岩建造属基性火山岩—BIF—硬砂岩建造。在这些表壳岩中尚见有大量的英云闪长质、花岗闪长质和花岗质岩体的侵入,此外,紫苏花岗岩的分布也比较广泛,其主体的侵入时代为晚太古代,它们与中太古代为主的表壳岩共同组成杂岩体。部分表壳岩麻粒岩相变质作用的 p - T - t 轨迹显示逆时针特征。代表性的相带(区)为表 1—1 中的 1 至 8。

2. I_B 亚类型:这一麻粒岩相带(区)组成的变质岩建造主要是含石墨的富铝片麻岩—大理岩系或称孔兹岩套,形成时代为晚太古代。变质岩石主要为矽线石榴斜长(钾长或二长)片麻岩、堇青石榴黑云片麻岩、浅粒岩、矽线石榴石英岩、透辉大理岩和石墨大理岩等。岩系中占比例最大的为矽线石榴二长(或钾长)片麻岩,其原岩为一套泥砂质碎屑沉积,形成于大陆棚环境,原岩建造相当石英岩—碳酸盐建造。但在岩系的下部,常见有似层状的基性麻粒岩存在,部分为顺层侵入的脉体,但部分属火山成因,因此原岩建造中尚夹有基性火山建造。岩系中有各类闪长质—花岗质岩石的侵入,局部还见有紫苏花岗岩,但分布范围不广。代表性的麻粒岩相带(区)为表 1—1 中的 11、12。该地区麻粒岩相变质作用的 p - T - t 轨迹呈顺时针方向。

(二) 热点状高温区域变质角闪岩相中局部麻粒岩相型(II)

相带呈面型或穹隆状分布,一般为几十至几百平方公里,组成岩石有基性麻粒岩,各种片麻岩以及斜长角闪岩,有的地区还见有 BIF、紫苏花岗岩和/或其它花岗质岩石出露。表壳岩褶皱构造复杂,有多期次变形。一般见有递增变质带。岩系的形成时代主要为晚太古代。根据其构造特点和是否伴生紫苏花岗岩,又可划分为两个亚类。

1. II_A 亚类型:相带呈面状或线状分布,麻粒岩等变质岩与紫苏花岗岩紧密伴生。有的紫苏花岗岩呈穹隆状产出,麻粒岩类岩石分布于岩体的边部或呈包体产于岩体之中(表 1—1 之 15);有的麻粒岩与紫苏花岗岩紧密伴生组成小透镜状或细条状分布于斜长角闪岩或斜长角闪片麻岩之中(表 1—1 中 17),时代主要为晚太古代。

2. II_B 亚类型:相带主要呈面状或穹隆状分布,麻粒岩以基性为主,出露不多,主要见于大面积分布的角闪岩相岩石中。有的地区主要见于岩系的下部或底部,并与其上的高角闪岩相岩石过渡,形成明显的递增变质带。变质岩石组合主要为基性麻粒岩+黑云斜长片麻岩+斜长角闪岩±BIF 等。原岩主要属变质火山—沉积建造。相带中未见有紫苏花岗岩出露,其它花岗质岩石有一定分布。岩系的形成时代主要为晚太古代。代表性相带(区)见表 1—1 中的 13 和 9。有的地区,麻粒岩见于上部岩系的下部和下部岩系的上部,与地层层序没有明显的联系,也显示递增变质带,但分布不广,岩石组合与前述者相同。岩系的形成时代为晚太古代。代表性相带见表 1—1 中的 16 和 17。