

青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩 及其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学

邓希光¹ 丁林¹ 刘小汉¹ 周勇¹ A. Yin² P. A. Kapp²
M. A. Murphy² C. E. Manning²

(¹中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化开放研究实验室, 北京 100029; ²Department of Earth and Space Sciences, University of California, Los Angeles, CA90095-156702, USA)

摘要 青藏高原羌塘中部冈玛日地区出露有含典型蓝闪石的蓝闪石片岩, 其岩石学、矿物学研究显示其变质条件为高压低温变质作用。对两个蓝闪石片岩中的蓝闪石单矿物进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定, 坪年龄分别为 (275.0 ± 0.9) 和 (282.4 ± 0.8) Ma, 等时线年龄分别为 (275.0 ± 1.3) 和 (287.6 ± 2.3) Ma, 坪年龄与等时线年龄一致, 这与整个区域的晚古生代特提斯洋的俯冲时代相吻合。

关键词 蓝闪石 蓝闪石片岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 古特提斯 冈玛日 青藏高原

位于青藏高原北部的羌塘陆块, 夹在金沙江缝合线与班公湖-怒江缝合线之间, 处于十分重要的大地构造位置, 一直引起地质学家的关注。由于其平均海拔高于 4 500 m, 研究程度较低, 其大地构造属性有许多争论, 主要在于羌塘陆块是属于冈瓦纳大陆还是劳亚大陆。或是以茶布-查桑-双湖一线为界将其划分为南羌塘和北羌塘两部分, 存在晚古生代缝合线? 由此涉及到冈瓦纳大陆的北界在何处和古特提斯洋的构造演化历史等问题。前人在羌塘中部的果干加年山、角木日、纳若和恰格勒拉等地报道了蓝片岩的存在^[1-3], 东西向呈带状延伸近 400 km。一些研究者将此线往西与龙木错相连, 往东与澜沧江、昌宁、孟连相连, 作为古特提斯闭合的主缝合线^[1, 2]。但也遭到了许多研究者的反对^[4-6], 认为蓝片岩中没有典型的蓝闪石, 基性岩-超基性岩也非蛇绿岩。我们在 1998 年的野外地质考察中, 在羌塘中部冈玛日地区发现了含典型蓝闪石的蓝闪石片岩^[7]。本文采用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年方法, 探讨蓝闪石片岩的高压变质作用时间, 再进一步探讨其大地构造意义。

1 岩石学特征

蓝闪石片岩采集于改则县北部 200 km 的冈玛日地区, 该地区出露的地层有泥盆系、石炭系、二叠系、第三系和第四系等^[8], 在野外的地质调查中发现这些地层均由北向南逆冲在第三纪红层之上。蓝闪石片岩出露在泥盆系的绿片岩中和石炭系的中粗粒石英长石杂砂岩中, 为构造接触, 呈孤立的岩块(图 1)。

蓝闪石片岩呈浅蓝色和黄褐色, 新鲜面呈蓝黑色及深灰褐色, 岩石粒度较细, 片理发育, 在样品 T98-06-29-15 中可见柱状蓝闪石类矿物呈定向排列。显微镜下, 样品 T98-06-25-08 中可见变余火山结构(变余辉绿结构)。蓝闪石片岩主要由蓝闪石类、阳起石、钠长石、多硅白云母、绿帘石等矿物组成, 此外还有黝帘石、绿泥石、石英、白云母、黑云母、钾长石、方解石(文石?)、榍石、金红石(在榍石中呈星点状)、磷灰石、钛闪石、锆石和硬柱石(?)等矿物, 其主要变质矿物的化学成分见表 1。矿物成分是在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室 CAME-CASX-51 型仪器上完成, 实验条件为 15 kV, 20 nA, 电子束宽度为 5~10 μm 。峰期变质矿物组合为蓝闪石 + 阳起石 + 绿帘石 + 多硅白云母 + 钠长石 \pm 石英。

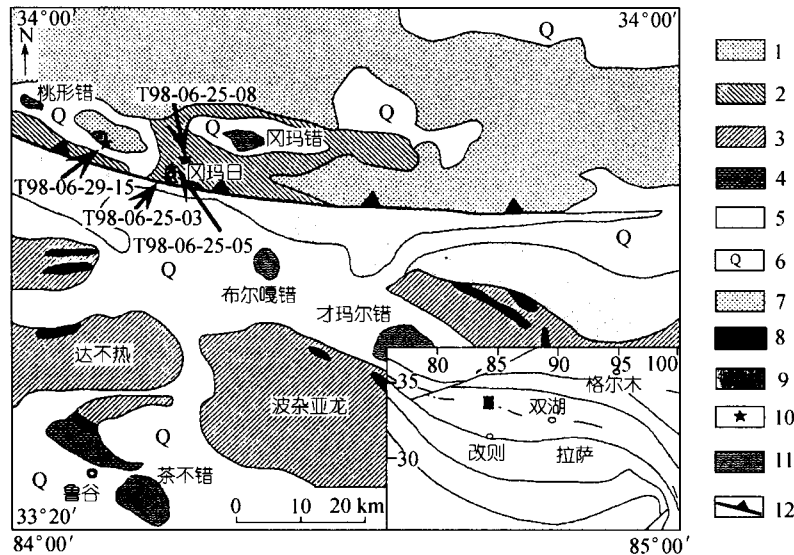


图1 青藏高原羌塘地区冈玛日地区区域地质简图(据1:20万改则幅地质图)
 1. 泥盆系, 2. 下石炭统, 3. 上石炭统~下二叠统, 4. 二叠系, 5. 第三系红层, 6. 第四系, 7. 绿片岩,
 8. 基性-超基性岩, 9. 蓝闪石片岩, 10. 蓝闪石片岩采样点, 11. 湖泊, 12. 逆冲断裂

表1 蓝闪石片岩中典型变质矿物的矿物成分分析^{a)}

	T98-06-29-15				T98-06-25-08				T98-06-25-05				T98-06-25-03				
	Glau	Glau	Glau	Act(in)	Act(out)	Phen	Phen	Fe-G	Glau	Cros	Cros	Act	Phen	Epid	Fe-G	Phen	Rut
SiO ₂	56.40	56.79	55.96	54.12	54.14	52.87	53.18	56.67	56.72	55.81	55.05	54.07	48.55	38.32	55.47	51.45	0.44
TiO ₂	0.31	0	0.06	0.05	0.07	0.26	0.21	0.11	0.22	0.29	0.25	0.02	0.07	0.22	0.21	0.13	97.83
Al ₂ O ₃	9.02	8.84	9.82	1.24	1.33	21.55	21.6	8.19	9.32	6.83	7.88	2.45	29.70	23.9	10.56	24.64	0.00
Cr ₂ O ₃	0	1.30	0.15	0	0	0	0.24	0	0.02	0	0.02	0	0	0.03	0.01	0	0.00
MgO	8.79	8.36	8.96	14.59	14.70	4.74	4.96	7.13	7.58	6.86	6.9	10.98	1.72	0.01	5.12	3.08	0.01
CaO	1.61	0.43	0.89	10.23	10.18	0	0.06	0.97	0.62	1.10	1.03	10.82	0	23.51	0.05	0.04	0.36
MnO	0.17	0.15	0.12	0.24	0.25	0.02	0.31	0.20	0.22	0.26	0.2	0.41	0.05	0.23	0.1	0.04	0.06
FeO	15.21	14.82	14.25	14.95	15.14	4.00	3.74	17.79	16.48	19.83	18.74	18.02	4.80	11.49	18.15	4.30	0.59
Na ₂ O	6.46	7.05	7.15	1.35	1.54	0.07	0.03	6.75	6.87	6.47	6.42	0.96	0.11	0	6.84	0.18	0.00
K ₂ O	0.13	0.01	0.11	0.26	0.26	11.34	11.46	0.05	0	0.03	0.02	0.16	10.77	0	0.03	10.79	0.01
总量	98.10	97.75	97.47	97.03	97.61	94.85	95.79	97.86	98.05	97.48	96.51	97.89	95.77	97.71	96.54	94.65	99.30
O	23	23	23	23	23	22	22	23	23	23	23	23	22	12.5	23	22	2
Si	7.87	8.01	7.82	7.81	7.77	7.18	7.16	8.00	7.92	7.96	7.89	7.92	6.54	3.11	7.93	6.99	0.01
Ti	0.03	0	0.01	0.01	0	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0	0.01	0.02	0.02	0.01	0.99
Al	1.48	1.47	1.72	0.21	0.23	3.45	3.43	1.36	1.53	1.15	1.33	0.42	4.71	2.28	1.78	3.94	0.00
Cr	0	0.14	0.02	0	0	0	0.03	0	0.00	0	0.00	0	0	0.01	<0.01	0	0.00
Mg	1.83	1.76	1.87	3.14	3.15	0.96	1.00	1.50	1.58	1.46	1.48	2.4	0.35	0.01	1.09	0.62	0.00
Ca	0.24	0.07	0.13	1.58	1.57	0	0.01	0.15	0.09	0.17	0.16	1.7	0	2.04	0.01	0.01	0.01
Mn	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.00	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
Fe ³⁺	0.47	0.53	0.50	0.57	0.60			0.46	0.54	0.73	0.72	0.04			0.41		0.01
Fe ²⁺	1.30	1.20	1.17	1.24	1.21	0.46	0.42	1.64	1.38	1.64	1.52	2.17	0.54	0.78	1.76	0.49	0.00
Na	1.75	1.93	1.94	0.38	0.43	0.02	0.01	1.85	1.86	1.79	1.78	0.27	0.03	0	1.91	0.05	0.00
K	0.02	0.01	0.02	0.05	0.05	1.97	1.97	0.01	0	0.01	0.00	0.03	1.85	0	0.01	1.87	0.00
总量	15.01	15.14	15.22	15.02	15.04	14.07	14.09	15.00	14.95	14.97	14.93	15.00	14.04	8.27	14.93	13.99	1.02

a) Glau: 蓝闪石; Fe-G: 铁蓝闪石; Cros: 青铝闪石; Phen: 多硅白云母; Act: 阳起石(in表示在蓝闪石内部, out表示在蓝闪石外部); Epid: 绿帘石; Rut: 金红石。所有数据均由Minpet 2.0处理, 其中0.00表示<0.005, 氧化物为百分含量

根据角闪石分类图解^[9, 10], 蓝闪石类矿物为蓝闪石、铁蓝闪石和青铝闪石, 未见环带现象, 与阳起石、多硅白云母、钠长石和石英等共生, 与阳起石交生, 蓝闪石类矿物与阳起石之间存在着成分间断. 在蓝闪石矿物中可见钛闪石和绿泥石的残留体. 阳起石内有钛闪石和绿泥石的残留体. 多硅白云母呈细小鳞片状, 有时呈集合体, 在样品 T98-06-29-15 和 T98-06-25-03 中的多硅白云母 SiO₂ 含量大于 50%, 最高达 54%, Si 离子数大于 3.5, 但另两个样品白云母的 Si 离子数在 3.0 左右, 可能是由不完全的高压变质作用引起. 本区蓝闪石片岩形成的温压条件约为 400°C, 0.7 GPa^[7].

2 蓝闪石片岩的同位素年代学

取蓝闪石片岩样品 T98-06-25-03 和 T98-06-29-15 进行蓝闪石单矿物年代分析. 样品 T98-06-29-15 主要由蓝闪石类矿物(约 70%)、阳起石(约 20%)、楣石(包括金刚石, 约 5%)等矿物组成, 其他矿物约占 5%. 样品 T98-06-25-03 主要由蓝闪石类矿物(约 30%)、钠长石(约 40%)、黑云母(约 10%)、阳起石(约 10%)、绿帘石(5%)等矿物组成, 其他矿物约占 5%.

同位素年代学测试分析在中国科学院地质与地球物理研究所同位素年代学实验室完成. 用英国 VSS 公司的 RGA-10 质谱计做静态 Ar 同位质谱分析, 测试方法为快中子活化法. 样品质量 $W = 0.25$ g, 照射参数 $J = 0.012$ 19, ⁴⁰K 衰变常数为 $5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$, 实验过程、⁴⁰Ar*/³⁹Ar 比值、视年龄、坪年龄和等时年龄的计算及其他参数及条件参考文献[11, 12].

样品 T98-06-25-03 中蓝闪石释放氩的 91.14%集中在坪年龄(275.0 ± 0.9) Ma, 对应等时线年龄(275.0 ± 1.3) Ma; 样品 T98-06-29-15 中蓝闪石释放氩的 90.77%集中在坪年龄(282.4 ± 0.8) Ma, 对应等时线年龄为(287.6 ± 2.3) Ma, 其同位素数据和年龄谱见表 2, 3 和图 2, 3.

表 2 样品 T98-06-25-03 中蓝闪石 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段加热分析同位素数据

加热阶段	T/°C	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	³⁹ Ar _k (×10 ¹²) /mol	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar _k (±1σ)	³⁹ Ar _k / %	视年龄/Ma (±1σ)
1	450	20.943	0.047 4	0.897 8	0.075 1	0.587	7.04 ± 0.4	1.49	148.6 ± 3.5
2	600	18.000	0.032 0	1.182 5	0.072 0	0.869	8.66 ± 0.3	2.21	181.0 ± 3.1
3	700	19.259	0.027 2	1.896 1	0.093 8	0.938	11.41 ± 0.3	2.39	234.9 ± 4.6
4	800	16.410	0.010 9	2.177 1	0.106 4	1.81	13.37 ± 0.2	4.60	272.4 ± 3.8
5	900	14.865	0.004 3	1.677 9	0.066 5	4.29	13.71 ± 0.2	10.90	278.9 ± 3.2
6	1 000	14.370	0.003 3	2.463 6	0.061 9	6.25	13.58 ± 0.2	15.91	276.3 ± 3.0
7	1 100	14.110	0.002 6	2.761 8	0.053 4	8.45	13.56 ± 0.2	21.50	275.9 ± 2.9
8	1 200	13.905	0.002 5	3.522 9	0.054 7	12.2	13.46 ± 0.2	30.91	274.0 ± 2.8
9	1 300	15.261	0.008 0	4.977 9	0.140 6	2.88	13.31 ± 0.2	7.32	271.2 ± 3.3
10	1 450	24.416	0.030 8	2.824 5	0.184 7	1.09	15.59 ± 0.5	2.77	313.9 ± 9.6

表 3 样品 T98-06-29-15 中蓝闪石 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段加热分析同位素数据

加热阶段	T/°C	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	³⁹ Ar _k (×10 ¹²) /mol	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar _k (±1σ)	³⁹ Ar _k / %	视年龄/Ma (±1σ)
1	430	20.545	0.043 6	0.109 1	0.076 4	0.638	7.69 ± 0.3	1.38	161.7 ± 3.7
2	580	18.228	0.029 1	0.148 5	0.078 5	0.916	9.65 ± 0.3	1.98	200.6 ± 3.5
3	680	18.737	0.024 2	0.197 6	0.082 1	1.10	11.61 ± 0.3	2.38	238.7 ± 4.4
4	800	16.527	0.009 6	0.246 7	0.089 8	1.94	13.71 ± 0.2	4.19	278.7 ± 4.0
5	900	15.285	0.004 7	0.200 7	0.066 8	4.48	13.90 ± 0.2	9.68	282.5 ± 3.4
6	1 000	15.169	0.004 0	0.262 4	0.064 8	5.47	13.98 ± 0.2	11.84	283.9 ± 3.4
7	1 080	14.844	0.003 4	0.299 5	0.052 5	7.42	13.83 ± 0.2	16.05	281.1 ± 3.2
8	1 160	14.851	0.002 5	0.446 7	0.042 2	11.7	14.13 ± 0.2	25.33	286.8 ± 3.3
9	1 250	14.912	0.003 8	0.354 6	0.057 0	7.93	13.80 ± 0.2	17.16	280.5 ± 3.2
10	1 350	16.154	0.007 7	0.372 1	0.105 4	3.02	13.90 ± 0.2	6.52	282.4 ± 3.8
11	1 450	21.583	0.021 6	0.328 3	0.133 8	1.61	15.24 ± 0.4	3.49	307.4 ± 7.4

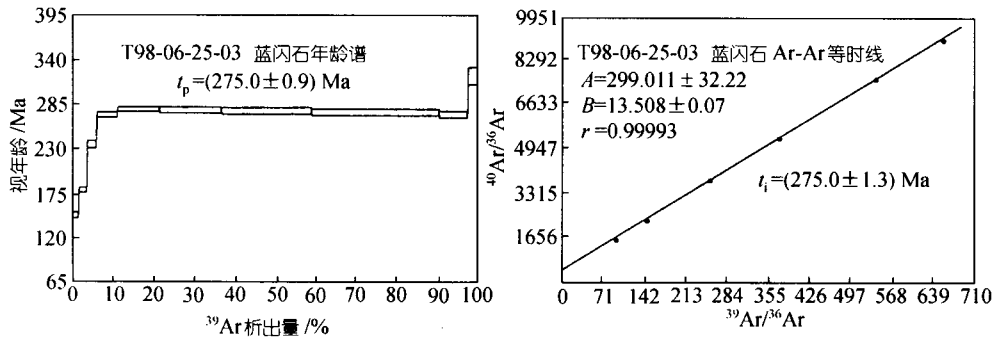


图 2 样品 T98-06-25-03 中蓝闪石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的等时线图

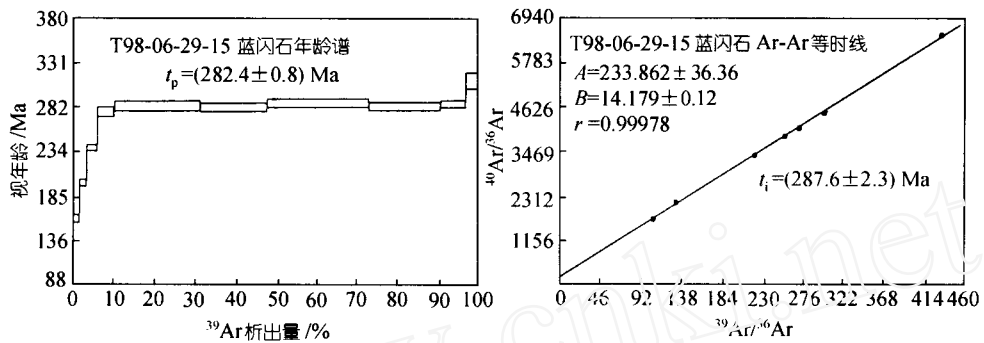


图 3 样品 T98-06-29-15 中蓝闪石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的等时线图

3 讨论

一般认为高压低温变质作用发生于俯冲板块一侧, 作为高压低温变质作用的产物, 蓝片岩是洋壳快速俯冲消减的结果, 其变质时代代表着板块强烈活动时期. 两个样品中的蓝闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄相吻合, 代表着蓝闪石片岩的形成年龄, 也就是说其高压变质作用发生在早二叠世早期, 因此现在保存下来的蓝闪石片岩代表早二叠世早期古洋壳快速俯冲消减的产物, 也就是说在晚古生代羌塘中部存在过俯冲、碰撞作用. 样品坪年龄显示古特提斯洋的开始俯冲可能发生在晚石炭世(310 Ma), 但快速俯冲发生在早二叠世 (275~288 Ma), 且在俯冲过程中发生高压变质作用形成蓝闪石片岩, 并且可能受 3 次 (234~238, 180~200 和 148~161 Ma) 后期构造的影响.

根据地层的研究情况, 羌塘陆块南、北部晚石炭世的生物面貌和沉积特征差别较大^[2]. 在早二叠世羌塘南部出现生物混染现象, 既有冷水型生物, 又有暖水型生物, 至晚二叠世, 几乎全为暖水型生物, 向南推进到喜马拉雅地区, 这说明在晚石炭世~早二叠世羌北陆块已拼合到劳亚大陆, 而在羌南陆块与劳亚大陆之间可能存在一个大洋, 但到晚二叠世羌南陆块与劳亚大陆之间仅为浅海、岛屿或小洋盆. 同时在研究区存在碳酸盐岩-放射虫硅岩-玄武岩组合, 表明这是具有大洋岛岩石组合特征^[13], 地球化学分析的结果显示这些蓝闪石片岩原岩属于板内大洋岛玄武岩(另文发表), 这也说明研究区在晚古生代存在一个大洋.

往东,从滇西的构造来看,澜沧江缝合线被认为是早二叠世早期冈瓦纳古大陆的北界^[14-17],大多数人仍然主张早石炭世~早二叠世或早石炭世~晚二叠世是澜沧江洋盆的主要消减阶段^[16, 17]。赵靖等人^[18]在蓝片岩中获得了 279 Ma 的坪年龄(青铝闪石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$),认为代表基底岩石和大陆边缘沉积物被俯冲到深处的变质变形事件,这与本文中的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代年龄数据相吻合,也说明了澜沧江缝合线的快速俯冲高压变质作用年代与本文工作区蓝闪石片岩的快速俯冲高压变质作用的年代一致,二者可能为同一条高压变质带。同时在藏东碧土扎玉地区发现有晚古生代的深海硅质岩、大洋拉斑玄武岩和基性超基性岩的碎片,说明晚古生代古特提斯洋可能由茶布-查桑-双湖,经藏东碧土到澜沧江^[19]。

总之,羌塘中部冈玛日地区含典型蓝闪石的蓝闪石片岩的发现及其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,为该区域晚古生代缝合线的存在和古特提斯的演化过程提供了新的证据。

致谢 在本文的写作过程中得到了潘裕生、钟大赉、邓万明和张旗研究员的指导,在此表示感谢。感谢韩秀伶和桑海清帮助进行的电子探针和同位素年代分析。本工作为国家重点基础研究发展规划(G1998040800)和中国科学院青藏高原研究(KZ951-A1-204, KZ95T-06)资助项目。

参 考 文 献

- 1 李 才, 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合线与石炭二叠纪冈瓦纳北界. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155~166
- 2 李 才, 程立人, 胡 克, 等. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合线研究. 北京: 地质出版社, 1995. 1~114
- 3 姚宗富. 西藏北部发现含蓝闪石类岩石. 中国区域地质, 1988, (2): 183~190
- 4 王成善, 胡朝荃, 吴瑞忠, 等. 西藏北部茶桑-茶布裂谷的发现及其地质意义. 成都地质学院学报, 1987, 14(2): 33~45
- 5 吕中平, 邓万明. 藏北茶布-茶桑地区“蓝闪石”片岩中角闪石的成因及其构造意义. 见: 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1996. 56~64
- 6 邓万明, 尹集祥, 吕中平. 羌塘茶布-双湖地区基性超基性岩和火山岩研究. 中国科学, D 辑, 1996, 26(4): 296~305
- 7 邓希光, 丁 林, 刘小汉, 等. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现. 地质科学, 2000, 35(2): 227~232
- 8 西藏自治区地质矿产局. 中华人民共和国区域地质调查报告和地质图改则幅(1:100万). 北京: 地质出版社, 1987
- 9 Leake B E. Nomenclature of amphiboles. American Mineralogist, 1978, 63: 1023~1053
- 10 Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, et al. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. American Mineralogist, 1997, 82: 1019~1037
- 11 王松山, 桑海清, 胡世玲, 等. 应用 49-2 反应堆进行定年及迁安曹庄群斜长角闪岩年龄谱的地质意义. 岩石学报, 1985, 3: 35~44
- 12 王松山. 氩对 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年的制约及数据处理. 地质科学, 1992, 4: 369~378
- 13 李曰俊, 吴浩若, 李红生, 等. 藏北阿木岗群、查桑群和鲁谷组放射虫的发现及有关问题讨论. 地质论评, 1997, 43(3): 250~255
- 14 从柏林, 吴根耀, 张 旗, 等. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化. 中国科学, B 辑, 1993, 23(11): 1201~1207
- 15 张儒瓌, 从柏林, 李永刚. 滇西蓝片岩及其构造意义. 中国科学, B 辑, 1989, (12): 1317~1329
- 16 丁 林, 钟大赉. 滇西昌宁-孟连带古特提斯洋硅质岩稀土元素和铀异常. 中国科学, B 辑, 1995, 25(1): 93~100
- 17 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社, 1998
- 18 赵 靖, 钟大赉, 王 毅. 滇西澜沧变质带的变质作用和变形的关系. 岩石学报, 1994, 10(1): 27~40
- 19 钟大赉, 吴根耀, 丁 林. 藏东新生代陆内变形特征. 见: 潘裕生, 孔祥儒主编. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学. 广州: 广东科技出版社, 1998. 336~348

(2000-04-11 收稿, 2000-06-09 收修改稿)