

柴北缘鱼卡地区达肯大坂岩群的地质特征与构造环境

王惠初, 李怀坤, 陆松年, 袁桂邦, 辛后田

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘要:柴达木北缘鱼卡河地区的达肯大坂岩群可划分为斜长角闪岩岩组和片岩岩组。斜长角闪岩岩组主要由变质基性火山岩和碎屑岩组成, 火山岩的地球化学特征指示为岛弧环境构造; 片岩岩组分布在柴达木山西南侧, 为一套陆源碎屑岩建造。该岩群遭受了三幕构造变形, 前两幕褶皱变形是造山作用的产物, 具有近似的北西-南东向或北北西向的褶皱枢纽, 近共轴褶皱叠加的构造样式指示了北东-南西向挤压收缩的动力学背景。达肯大坂岩群遭受中压高绿片岩相-角闪岩相的变质, 变质程度往北东方向递减, 可与其南柴达木盆地一侧的高压-超高压变质带构成双变质带。结合最近从达肯大坂岩群中获得的锆石年龄, 推断该岩群形成于大陆边缘的弧后盆地, 时代为新元古代晚期-早古生代, 是柴北缘早古生代造山带的重要组成部分。

关键词:柴达木北缘; 达肯大坂岩群; 变形变质; 早古生代; 形成构造背景

中图分类号: P 542+2; P 542+4

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2006)04-0253-10

青海省柴达木盆地北缘(简称柴北缘,下同)的“达肯大坂群”过去被认为是一套古元古代的变质岩系^[1-3]。新近的地质调查和研究表明“达肯大坂群”的岩石组成很复杂,至少包括了四种不同的岩石组合:1)斜长角闪岩-二长花岗岩片麻岩-混合岩组合;2)不含榴辉岩的变质表壳岩组合;3)与榴辉岩共生的变质表壳岩组合;4)新元古代花岗岩片麻岩组合^[4-5]。其中,于早古生代遭受了高压-超高压变质作用并与榴辉岩共生的表壳岩组合被称为“鱼卡河岩群”,时代定为中-新元古代^[6];而分布在马海大坂-达肯大坂-德令哈-乌兰一线的不含榴辉岩的变质表壳岩组合,则继续沿袭原名“达肯大坂岩群”,时代归于古元古代。但是,随着研究工作的深入特别是高精度同位素年代学工作的开展,发现重新厘定后的“达肯大坂岩群”还应继续解体,因为达肯大坂岩群以大柴旦为界的东、西两端,其岩石组合和变形变质特征等明显不同。本文既是在区调填图的资料基础上,讨论大柴旦西北鱼卡河地区的达肯大坂岩群的问题。

1 区域地质背景

柴北缘构造带位于祁连地块与柴达木地块之间,系一条早古生代的碰撞造山带^[7],造山作用结

束的时限约在 400 Ma 前后。该造山带可以划分为鱼卡河-沙柳河高压-超高压变质带(俯冲杂岩带)和滩间山蛇绿杂岩-岛弧构造带两个主要构造单元。广义的柴北缘构造带还包括欧龙布鲁克微陆块和宗务隆山晚古生代-早中生代裂陷带。

鱼卡河地区位于大柴旦镇西北,构造位置处于柴北缘早古生代造山带的中西段,地貌上跨越了柴达木山和绿梁山及其间的山间坳陷。该区由于出露有以榴辉岩为特征的高压-超高压变质岩,一度受到地学工作者的广泛关注,使之成为近几年的一个研究热点^[8-16]。

研究区内高压-超高压变质带出露在靠近柴达木盆地一侧,逆冲推覆在新近系红层之上,主要由鱼卡河岩群和新元古代早期的花岗片麻岩组成,榴辉岩以透镜状或似层状分布在鱼卡河岩群变质表壳岩和新元古代花岗岩片麻岩中。蛇绿杂岩-岛弧构造带在区内保存相对较好,主体分布在高压-超高压变质带的东侧,可以分辨出蛇绿杂岩(超镁铁质岩和变玄武岩)、岛弧火山岩(滩间山群的大部)和岛弧深成岩(孤山奥长花岗岩)等组成单元。达肯大坂岩群分布在蛇绿杂岩-岛弧构造带的东侧和北东侧,主要由两部分组成,下部的斜长角闪岩岩组出露在绿梁山一带,而上部

收稿日期: 2006-09-01

基金项目: 中国地质调查局综合研究项目(20011390000070);基础调查项目(200013000153)

作者简介: 王惠初(1963-),男,研究员,博士,岩石学专业,主要从事前寒武纪地质及岩石大地构造研究。

万方数据

的片岩岩组则主要出露在区内东北部的柴达木山附近,并被柴达木山花岗岩侵入(图 1)。鱼卡河地区已获得一批早古生代的同位素年龄:如高压-超高压带中的榴辉岩锆石 SHRIMP 年龄 (488 ± 6) Ma^[15],绿梁山落凤坡南西变质基性火山岩锆石 U-Pb 年龄 (464 ± 1) Ma^[17],绿梁山东辉长岩锆石 U-Pb 年龄 (496 ± 6) Ma^[18],柴达木山似斑状正长花岗岩锆石 SHRIMP 年龄 (446 ± 10) Ma^[19],以及孤山奥长花岗岩、大柴旦湖尾端拐角梁糜棱岩化二长花岗岩和长梁山南端碱性闪长岩锆石 U-Pb 年龄分别为 (454 ± 13) Ma、(400 ± 6) Ma 和 (396 ± 7) Ma 等^[17]。这些年龄制约着柴北缘造山带的形成和演化历史。

达肯大坂岩群过去认为是柴北缘的前寒武纪(古元古代)的变质基底,大地构造属性往往看成是与欧龙布鲁克微陆块一起组成的柴北缘早古生

代造山带活动陆缘一侧的大陆地壳。但是,最近由马海大坂一带达肯大坂岩群变质碎屑岩中获得的 (433 ± 4) Ma 的变质年龄和大量新元古代的碎屑锆石年龄(李怀坤等,待刊),使得达肯大坂岩群时代为古元古代的传统看法受到严峻挑战,因此有必要对达肯大坂岩群的大地构造属性及其与柴北缘早古生代造山带的成因联系进行反思。

2 物质组成及其形成环境

2.1 物质组成

区内达肯大坂岩群由两部分组成:即下部斜长角闪岩岩组和上部片岩岩组。

斜长角闪岩岩组主要出露于研究区中部的尖峰山和南部的长梁山一带,整体呈灰-灰黑色调,以薄层状或条带状构造为主。主要岩石类型为斜长角闪岩、斜长角闪片岩、黑云斜长变粒岩和斜长

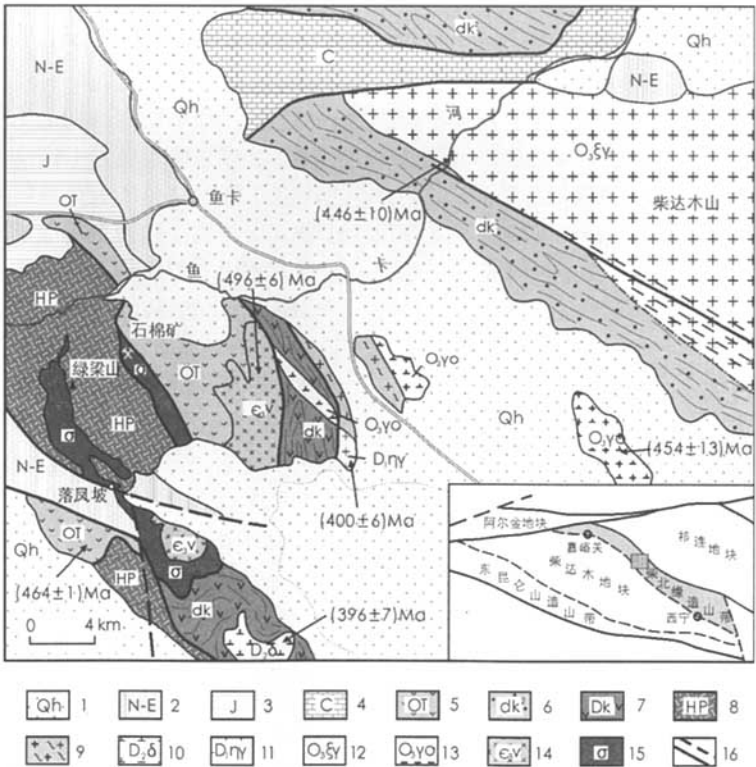


图 1 柴北缘鱼卡地区地质简图

Fig. 1 Geological map of Iqe region, northern margin of the Qaidam basin

- 1.第四系;2.古近系-新近系;3.侏罗纪煤系地层;4.石炭纪中吾隆山群弱变质碎屑岩-碳酸盐岩建造;5.奥陶纪滩间山群变质中-基性火山岩-碎屑岩建造;6.达肯大坂岩群上部片岩岩组;7.达肯大坂岩群下部斜长角闪岩岩组;8.高压-超高压变质杂岩;9.花岗岩片麻岩(德令哈变质杂岩);10.中泥盆世闪长岩;11.早泥盆世二长花岗岩;12.晚奥陶世正长花岗岩(南部糜棱岩化);13.晚奥陶世奥长花岗岩;14.晚寒武世辉长岩;15.早古生代超镁铁质岩;16.断层及推测断层

表 1 鱼卡河地区达肯大坂岩群斜长角闪岩的岩石化学分析结果

Table 1 The chemical composition of amphibolite from Dakendaba Group in lqe area

样品号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Los	Total	
b639-1	斜长角闪岩	52.14	0.61	16.15	9.36	0.24	7.27	9.12	3.78	0.68	0.09	0.70	100.14		
P4b11-1	斜长角闪岩	52.49	0.76	15.61	3.36	6.53	0.18	6.71	6.35	5.34	0.42	0.19	1.61	99.55	
b626-1	黑云角闪片岩	46.53	0.57	16.52	3.89	7.45	0.20	9.49	10.45	2.90	0.72	0.08	1.44	100.24	
P1b2-1	斜长角闪岩	52.52	1.12	13.23	2.58	5.58	0.30	5.08	10.34	5.24	0.56	0.46	2.54	99.56	
P1b12-1	黑云斜长角闪岩	52.40	0.60	12.26	4.15	6.11	0.18	11.77	5.02	2.50	1.44	0.33	2.79	99.55	
样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
b639-1	7.98	18.30	2.56	12.10	3.10	0.95	3.14	0.51	3.32	0.71	2.18	0.3	2.11	0.30	18.50
P4b11-1	7.01	15.48	2.26	8.76	2.46	0.85	2.57	0.47	2.93	0.61	1.51	0.23	1.49	0.20	15.98
b626-1	5.99	11.14	1.69	6.53	2.37	0.60	2.54	0.35	2.34	0.50	1.63	0.22	1.42	0.23	11.38
P1b2-1	9.27	17.39	1.59	9.32	2.64	1.02	3.52	0.65	4.13	0.81	2.41	0.35	2.43	0.41	21.79
P1b12-1	5.67	10.60	1.30	6.12	1.95	0.84	2.04	0.37	2.28	0.48	1.47	0.21	1.37	0.29	11.48
样品号	Sr	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Zr	Hf	Cu	Pb	Zn	Co	Σ REE (La/Yb) _N	δ Eu	
b639-1	270.72	8.89	275.6	0.94	0.1	1.84	36.7	1.13	18.40	3.11	—	25.65	57.56	2.55	0.92
P4b11-1	195.00	3.20	99.0	1.40	0.5	5.40	52.0	1.50	85.0	3.60	75.0	40.00	46.83	3.17	1.03
b626-1	105.60	25.0	974.4	1.40	0.6	4.20	28.0	1.10	38.0	22.5	552.0	440.0	37.55	2.84	0.74
P1b2-1	96.30	25.0	253.0	1.70	0.4	4.80	62.0	2.20	55.0	40.0	533.0	318.0	55.94	2.57	1.02
P1b12-1	29.10	85.0	711.3	2.00	0.3	3.90	28.0	1.00	12.5	30.0	690.0	598.0	34.99	2.79	1.28

注：氧化物由天津地质矿产研究所测试中心测试（w(B)%）；稀土及微量元素由国家地质测试中心测试（×10⁻⁶）

角闪变粒岩，夹有少量浅粒岩、云母片岩及石英岩，偶见有大理岩。长梁山一带的斜长角闪变粒岩中局部含较多的石榴石，并出现混合岩化现象。

片岩岩组主要分布在柴达木山的西南侧，沿北西方向走向追索可与达肯大坂一带的达肯大坂岩群相连。区内片岩岩组整体呈灰—深灰色，岩性组合相对较简单，主要由二云母石英片岩、二云母片岩、二云斜长变粒岩、黑云母变粒岩和白云母石英岩等组成，薄层状或条带状构造。该套岩石虽形成了一组透入性片理，但变余层理仍清晰可辨，总体反映原岩为一套浅海相沉积碎屑岩建造。

2.2 形成环境

基性火山岩来源于上地幔，其形成与岩石圈深部动力学过程密切相关，因此可以根据基性火山岩的地球化学特征来反演其形成的构造环境。采自达肯大坂岩群下部的斜长角闪质岩石样品化学分析结果见表 1。样品化学成分较均一，5 个样品除一个样品的 SiO₂ 含量为 46.53 % 外，其它 4 个样品均在 52.5 % ±。岩石碱质含量较高，w (Na₂O + K₂O) % 为 3.62 ~ 5.80，在 TAS 分类图上碱

性系列与亚碱性系列区均有投点；考虑到岩石遭受了低角闪岩相的变质作用，对 Na₂O 等组份影响较大，应用微量元素分类的 Zr/Ti—Nb/Y 图解判别均属亚碱性系列（图 2）。样品相对富镁、铁，TiO₂ 含量较低 [w (TiO₂) % 为 0.57 ~ 1.12]，具火成岩的特点。

样品的稀土分析显示，稀土总量为 ΣREE 为 (34.99 ~ 57.56) × 10⁻⁶，明显低于碱性玄武岩。LREE/HREE 界于 2.80 ~ 3.68 之间，(La/Yb)_N 2.55 ~ 3.17，为轻稀土富集型，(La/Sm)_N 1.59 ~ 2.21，(Gd/Yb)_N 1.17 ~ 1.44，(La/Sm)_N > (Gd/Yb)_N，显示稀土分馏程度较低，但轻稀土分馏程度略大于重稀土，Sm/Nd 0.28 ~ 0.36，δEu 0.74 ~ 1.28，铕异常不明显（表 1、图 3），与岛弧或弧后盆地拉斑玄武岩的稀土特点类似。

样品的微量元素相对于大洋中脊玄武岩大离子亲石元素 K、Rb、Ba 等出现富集，高场强元素 Zr、Hf、Sm、Ti、Y 等亏损（图 4），Nb、Ta 相对于 Th、Ce 出现负异常，具有岛弧基性火山岩特点。应用微量元素图解判别成岩构造环境，在 Hf/3—Th—Nb/15 图

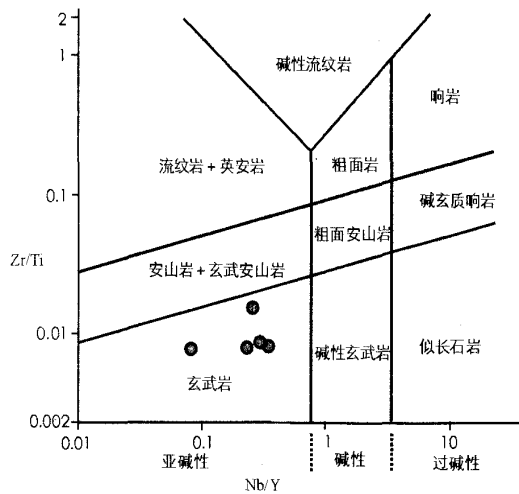


图 2 达肯大坂岩群斜长角闪岩 Zr/Ti - Nb/Y 图解
(据 Winchester et al, 1977; Pearce, 1996 修改)^[20, 21]
Fig.2 Diagram of Zr/Ti - Nb/Y for amphibolite of Dakendaba Group

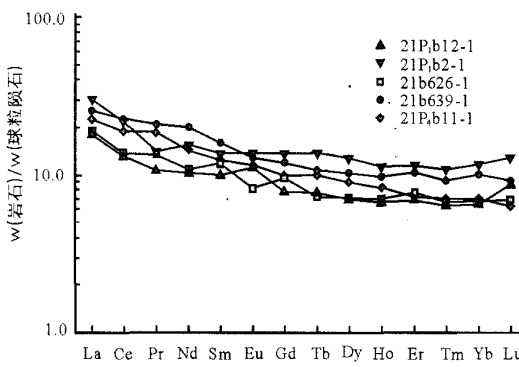


图 3 达肯大坂岩群斜长角闪岩稀土元素图谱
Fig.3 Chondrite-normalized REE distribution in amphibolite from Dakendaba Group
(球粒陨石标准化值据 Boynton, 1984)^[22]

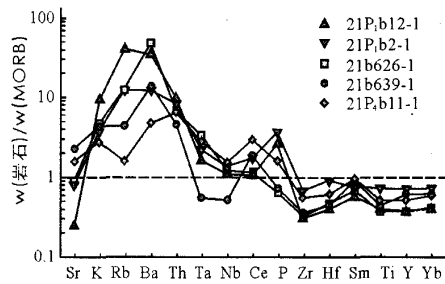


图 4 达肯大坂岩群斜长角闪岩微量元素蛛网图
Fig.4 MORB-normalized trace element distribution in amphibolite from Dakendaba Group
(MORB 标准值选自 Saunders & Tarney, 1984)^[23]

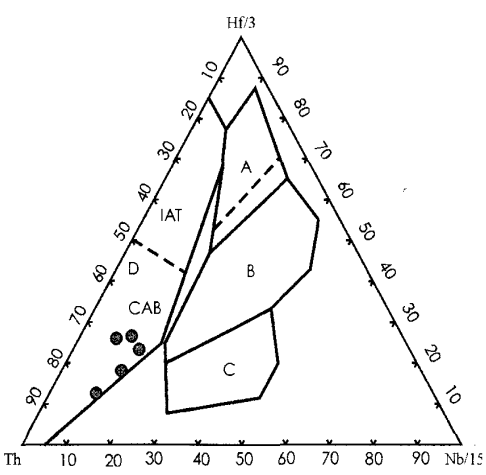


图 5 斜长角闪岩 Hf/3-Th-Nb/15 图解
Fig.5 Diagram of Hf/3-Th-Nb/15 for amphibolite
A.洋脊玄武岩区;B.洋脊玄武岩 + 板内玄武岩;C.板内玄武岩区;D.岛弧拉斑玄武岩 (IAT) 和钙碱性玄武岩区 (CAB)
(据 Wood, 1979)^[24]

解判别上,样品均落在岛弧钙碱性火山岩区(图 5),显示岩石形成于岛弧构造环境。

3 达肯大坂岩群的构造变形

达肯大坂岩群岩石的褶皱构造发育,通过野外调查和统计,至少可以分辨出三幕构造变形。

3.1 早期变形 (DD₁)

早期变形以层理褶皱及发育一组透入性的片理(S₁)为特征。片理由黑云母、白云母和角闪石等片、柱状矿物定向排列构成,片理在不同岩性中表现形式不同,片岩和云母变粒岩中主要由黑云母和白云母定向排列构成;斜长角闪岩中则主要由角闪石矿物的优选定向构成,局部显示矿物线理。野外露头上层理褶皱少见,多见为片理(S₁)与变余层理(S₀)一致。

片理统计显示,尖峰山一带斜长角闪岩岩组的片理整体北北西走向,以向南西西方向倾斜为主(图 6a)。柴达木山西南侧的达肯大坂岩群片岩岩组的片理产状走向较稳定,但倾向和倾角则变化较大,以向北东中等倾斜为主体(图 7a)。

早期层理褶皱的最大特点是在褶皱的转折端轴面片理穿切变余层理。在野外露头上,达肯大坂岩群中不易观察到完整的层理褶皱构造,最直接的标志是变余层理与新生片理的交切关系。在尖

表 2 达肯大坂岩群斜长角闪岩中斜长石和角闪石的化学成分

Table 2 Chemical composition of hornblende and plagioclase in amphibolite of Dakendaba Group

矿物 序号	角闪石				矿物 序号	斜长石				
	1	2	3	4		1	2	3	4	5
SiO ₂	42.91	43.14	43.19	43.22	SiO ₂	61.72	63.13	62.62	65.78	63.26
TiO ₂	0.87	0.88	0.89	0.88	TiO ₂	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	12.58	12.59	12.32	12.49	Al ₂ O ₃	22.78	22.16	22.12	20.47	21.93
FeO	14.11	13.22	13.65	13.55	FeO	0	0	0	0	0
MnO	0.46	0.4	0.54	0.46	MnO	0	0	0	0	0
MgO	11.48	11.92	11.95	11.64	MgO	0	0	0	0	0
CaO	11.27	11.16	11.56	11.52	CaO	4.53	3.62	3.84	4.18	3.49
Na ₂ O	2.04	1.85	2.03	1.85	Na ₂ O	9.36	9.92	9.63	8.37	9.88
K ₂ O	0.52	0.55	0.48	0.55	K ₂ O	0	0	0	0	0
Total	96.24	95.71	96.61	96.16	Total	98.39	98.83	98.21	98.8	98.56
TSi	6.407	6.438	6.413	6.446	Si	2.779	2.823	2.817	2.918	2.833
TAl	1.593	1.562	1.587	1.554	Al	1.208	1.167	1.172	1.069	1.157
CAI	0.619	0.65	0.568	0.64	Ti	0	0	0	0	0
CFe ³⁺	0.31	0.328	0.317	0.254	Fe ²⁺	0	0	0	0	0
CTi	0.098	0.099	0.099	0.099	Mn	0	0	0	0	0
CMg	2.555	2.652	2.645	2.588	Mg	0	0	0	0	0
CFe ²⁺	1.389	1.246	1.337	1.391	Ca	0.219	0.173	0.185	0.199	0.167
CMn	0.029	0.025	0.034	0.029	Na	0.817	0.860	0.840	0.720	0.858
BMg	0	0	0	0	K	0	0	0	0	0
BFe ²⁺	0.063	0.075	0.041	0.045	Oxy	8	8	8	8	8
BMn	0.029	0.025	0.034	0.029	Ab	78.9	83.2	81.9	78.4	83.7
BCa	1.803	1.784	1.839	1.841	An	21.1	16.8	18.1	21.6	16.3
BNa	0.105	0.115	0.086	0.085	Or	0	0	0	0	0
ACa	0	0	0	0	注：样品号 21D639；斜长石以 8 个氧原子计算，角闪石以 23 个氧原子计算。测试单位：英国 Cardiff 大学地球科学学院实验室。					
ANa	0.486	0.421	0.499	0.450						
AK	0.099	0.105	0.091	0.105						

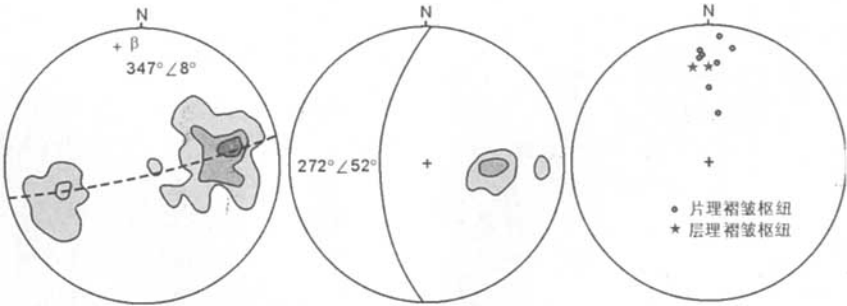


图 6 尖峰山一带达肯大坂岩群(下部斜长角闪岩组)构造要素赤平投影

Fig. 6 Stereographic diagram of structure elements from Dakendaba Group in Jianfengshan area

a.片理($S_1//S_0$)极点投影(等密线:2.08%,6.25%,10.4%,共 48 点);b. 褶劈理(S_2)极点投影(等密线:12.5%,25%,共 16 点);c. 片理褶皱枢纽(F_2)和层理褶皱(F_1)投影

峰山二云母片岩中可见层片交切关系，露头上变余层理(S_0)由矿物成分含量的差异显现,产状为 $72^\circ \angle 32^\circ$ ，片理产状为 $255^\circ \angle 55^\circ$ ，两者之间的交线(交面线理)产状为 $345^\circ \angle 5^\circ$ ，代表早期褶皱的枢纽方向(图 8)。

3.2 第二幕变形 (DD_2)

达肯大坂岩群的第二幕变形以发育片理褶皱(F_2)为特征，即以第一幕变形变质形成的片理(S_1)为变形面再次发生褶皱。

片理褶皱在测区内极为发育。在尖峰山一带较大面积出露的达肯大坂岩群斜长角闪片岩、黑

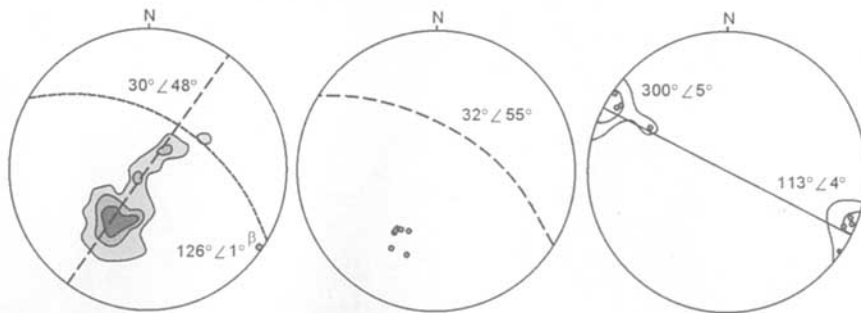


图 7 柴达木山西南侧达肯大坂岩群(上部片岩组)构造要素赤平投影

Fig. 7 Stereographic diagram of structure elements from Dakendaba Group in southwest of Qaidam mountain

a. 片理($S_1//S_0$)极点投影(等密线:2.56%,7.69%,15.4%,共39点);b. 褶皱理(S_2)极点投影;c. 片理褶皱轴(F_2)投影

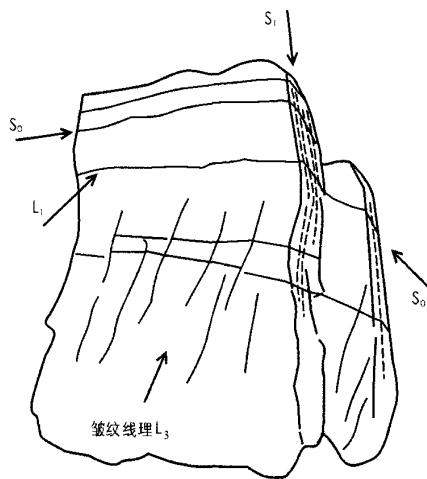


图 8 黑云变粒岩与二云母片岩早期层理褶皱的层片交切关系

Fig. 8 Relation of bedding and schistosity in the bedding fold in metamorphic clastic rocks

云变粒岩,整体表现为一近南北向水平倾斜复式褶皱(图9),即枢纽近水平(倾角小于 20°),近南北走向,轴面向西倾斜,倾角为 $55^\circ \pm$ 。片理(S_1)极点投影显示片理褶皱枢纽为 $347^\circ \angle 8^\circ$ (图6a),与实测片理褶皱枢纽大体一致(图6c)。露头上片理褶皱表现为不同规模、不同紧闭程度,在变形强烈部位还发育一组褶皱理(S_2)。镜下观察,褶皱理为一组间隔性劈理,沿劈理面有一些片状矿物顺其分布,而劈理之间的微劈石内部仍保存有较好的片理微褶皱。

柴达木山西南侧的达肯大坂岩群的片理褶皱也十分发育,有对称型也有不对称型。根据小型片理褶皱的不对称形态,可以大致恢复大型复式褶

皱的形态(图10),与尖峰山南一带类似,片理褶皱的枢纽平缓,但轴面却向北东倾。片理极点投影也显示一个大圆环带(图7a),表明存在一组枢纽为 $126^\circ \angle 1^\circ \pm$ 的片理褶皱,与片理褶皱枢纽投影一致(图7c)。片理极点出现极密,显示片理褶皱多为同斜倒转褶皱。褶皱理(S_2)极点投影显示,褶皱理产状稳定($32^\circ \angle 55^\circ \pm$)(图7b)。

野外露头观察和褶皱产状测量统计表明,达肯大坂岩群中层理褶皱枢纽与片理褶皱枢纽均平缓。尖峰山一带片理褶皱枢纽和层理褶皱枢纽近于一致,为近南北走向,两者为近共轴叠加(图6c);柴达木山西南侧达肯大坂岩群中未见层理褶皱,片理褶皱枢纽为北西走向(7c)。区内片理褶皱轴面(S_2)较陡,但褶皱枢纽平缓,反映为一种近水平的收缩机制,应是达肯大坂岩群褶皱造山期的构造形迹。

3.3 晚期褶皱变形(DD3)

该幕变形的构造形迹为片理面上的一组枢纽较陡的皱纹构造,反映了一种近水平走滑挤压剪切作用机制。该组皱纹构造仅发育于尖峰山南一带,石棉矿东南局部可见膝折构造,总体反映为右行剪切机制。冰斗山一带未见皱纹构造,表明该组皱纹构造是局部性的,很可能与柴北缘早古生代造山作用后期或之后的断裂作用有关。

综上所述,达肯大坂岩群前两幕变形为造山作用过程中形成的构造形迹,两期褶皱具有共轴叠加的特点,指示了近水平收缩的动力学背景。北西向或近南北向的枢纽产状则指示了达肯大坂岩群原始沉积盆地的长轴方向^[25]。

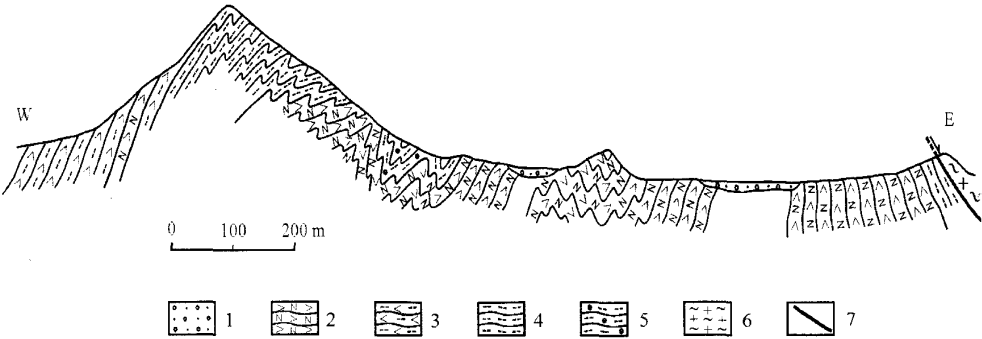


图 9 尖峰山南坡达肯大坂岩群斜长角闪岩组剖面图

Fig. 9 Section of amphibolite formation of Dakendaba Group in Jianfengshan area

1.第四系砂砾石层; 2.斜长角闪(片)岩; 3.角闪黑云片岩; 4.黑云变粒岩; 5.含石榴石黑云变粒岩; 6.黑云斜长花岗岩片麻岩; 7.断层

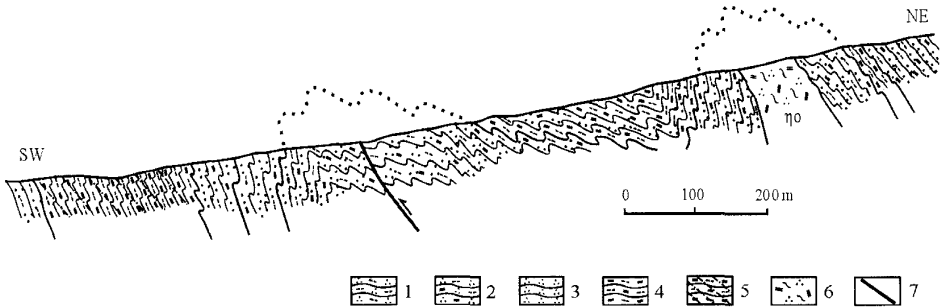


图 10 柴达木山西南侧达肯大坂岩群片岩岩组剖面图

Fig. 10 Section of schist formation of Dakendaba Group in southwest of Qaidam mountain

1. 白云母石英片岩; 2. 二云母石英片岩; 3. 石英岩; 4. 二云母片岩; 5. 糜棱岩化二云母变粒岩(片岩); 6. 眼球状石英二长片麻岩; 7. 断层

4 达肯大坂岩群的变质作用

研究区内达肯大坂岩群为中低级变质，下部斜长角闪岩岩组变质程度略高于上部片岩岩组。斜长角闪岩岩组中普遍出现的变质矿物组合是：角闪石 + 斜长石 + 绿帘石 ± 石榴石 ± 黑云母 ± 石英，属中压角闪岩相矿物组合。其中长梁山一带岩石结晶粒度相对较粗，角闪石呈蓝绿 - 黄绿色，石榴石普遍可见，最多可达 15%，局部石榴石呈变斑晶出现，个别样品中见透辉石，变质程度相当于低角闪岩相的下部。尖峰山一带以细粒斜长角闪岩、角闪片岩和黑云母变粒岩为主，角闪石呈蓝绿色，石榴石偶见，变质程度相当于低角闪岩相的上部；长梁山一带的变质程度要略高于黑石山一带。

上部片岩岩组的典型变质矿物组合为：黑云母 + 白云母 + 斜长石 + 石英 ± 石榴石 ± 绿泥石，片岩中的石榴石晶形和粒度显示岩石变质刚刚进入石榴石带，在中压相系中属于高绿片岩相或低

角闪岩相上部，其变质温度在 530℃ 以下。

笔者对采自长梁山东侧达肯大坂岩群的斜长角闪岩样品（样品号 D21639）在分析扫描电镜上进行了矿物成分分析，角闪石和斜长石的分析结果见表 2。应用 Holland 和 Blundy^[26]的角闪石 - 斜长石平衡温度计计算得出的变质温度为 620 ~ 660℃。参照 Plyusnina^[27]的斜长石 - 角闪石实验地质温压计和角闪石的全铝压力计^[28, 29]估算的变质作用压力为 0.55 ~ 0.75 GPa。

达肯大坂岩群的变质作用程度具有明显的分带性，由靠近岛弧构造带一侧的低角闪岩相（620 ~ 660℃, 0.55 ~ 0.75 GPa）向北西方向降低为高绿片岩相（<530℃）（图 1）。

在研究区北西的马海大坂一带，达肯大坂岩群岩石这种变质分带性更为明显，从连续露头上可以看到靠近滩间山岛弧火山岩带一侧，岩石变质程度达到高角闪岩相，向北西逐渐降低为高绿片岩相。

达肯大坂岩群的中压高绿片岩相-角闪岩相变质带与其西南侧(靠近柴达木盆地一侧)的高压-超高压变质带一起构成了特征明显的双变质带。

5 形成构造背景

作者曾在绿梁山地区的石榴角闪变粒岩中采样进行 TIMS 法锆石年龄测定,得到了下列年龄数据: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄 (580.6 ± 2.7) Ma、(464.5 ± 1.5) Ma、(459.2 ± 1.4) Ma、(437.5 ± 5.0) Ma、(378.8 ± 4.4) Ma、(385.1 ± 2.4) Ma 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄 (1294 ± 32) Ma^[17],这些数据几乎均落在 U-Pb 谐和图一致线上,主要是早古生代晚期-晚古生代早期的年龄,其值不支持达肯大坂岩群归属古元古代的看法。

此外,笔者还对研究区西北马海大坂附近的达肯大坂岩群的含榴黑云石英片岩进行了 SHRIMP 测年(李怀坤等,待刊)。含榴黑云石英片岩原岩为碎屑沉积岩,既有碎屑锆石也有变生锆石,因此锆石内部结构较复杂。阴极发光图像显示多数锆石具岩浆结晶的振荡环带,有的锆石存在老的残核,有的具变质增生边。测试结果显示年龄值可分三组:具振荡环带的锆石年龄界于 (627 ± 42) Ma ~ (914 ± 41) Ma 之间,权重平均值为 (829 ± 23) Ma,代表了源区地质体的形成时代,其锆石可能来自新元古代 Rodinia 汇聚岩浆弧以及后来裂解形成的地质体;古老残核的年龄在 ($2\,226 \pm 15$) Ma ~ ($2\,782 \pm 23$) Ma 之间,记录了柴北缘最古老地质体的信息;而变质锆石的年龄则集中在 (418.2 ± 6.3) Ma ~ (439.2 ± 6.3) Ma 之间,权重平均值为 (433.3 ± 6.1) Ma,代表柴北缘早古生代造山变质作用的时期。

年代学数据说明,大柴旦以西的达肯大坂岩群是新元古代晚期以来至早古生代的沉积产物,在早古生代末遭受了变质作用。

综上所述,达肯大坂岩群靠近柴达木盆地一侧的岩石组合为变质基性火山岩-沉积岩建造(斜长角闪岩岩组),靠近柴达木一侧为陆源碎屑沉积建造。斜长角闪岩的地球化学特征指示岩石形成于岛弧构造环境,东南侧近岛弧,火山作用强烈;西北侧靠近大陆,火山活动微弱。达肯大坂岩群的构造变形特征显示为北东-南西向挤压收缩

的动力学机制。达肯大坂岩群遭受了中压高绿片岩相-角闪岩相的变质作用,与柴达木盆地一侧的高压-超高压变质带共同组成一双变质带,指示达肯大坂岩群处于俯冲碰撞造山带靠近大陆一侧的构造背景。结合上述年龄资料,可以推断达肯大坂岩群形成于大陆边缘弧后盆地,在早古生代中晚期的俯冲碰撞造山过程中遭受了强烈变形变质作用,系柴北缘早古生代造山带的重要组成部分。

致谢: 参加本项研究工作的还有郝国杰教授级高工、张宝华高工,以及周世军、相振群等同志。笔者谨以此文祝贺白瑾研究员 80 华诞,并感谢他多年来的教诲和帮助。

参考文献:

- [1] 王云山,陈基娘. 青海省及其毗邻地区变质地质及变质作用[M]. 北京:地质出版社,1987,1-268.
- [2] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1991,1-662.
- [3] 金文山,王汝铮,孙大中,等. 中国地层典——古元古界[M]. 北京:地质出版社,1996,1-65.
- [4] 陆松年,赵凤清,李怀坤,等. 青海柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的重新厘定及其地质意义初探[A]. 第三届全国地层会议论文集[C]. 2000,13-18.
- [5] 陆松年,王惠初,李怀坤,等. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J]. 地质通报,2002,21(1):19-23.
- [6] 王惠初,袁桂邦,辛后田,等. 柴北缘鱼卡河岩群的地质特征和时代归属[J]. 地质通报,2004,23(4):314-321.
- [7] 王惠初,陆松年,莫宣学. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统[J]. 地质通报,2005,24(7):603-612.
- [8] 杨经绥,许志琴,李海兵,等. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩[J]. 科学通报,1998,43(14):1544-1548.
- [9] 李怀坤,陆松年,赵凤清等. 柴达木北缘鱼卡河含柯石英榴辉岩的确定及其意义[J]. 现代地质,1999,13(1):43-50.
- [10] 张建新,杨经绥,许志琴,等. 柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年:来自 U-Pb 及 Ar-Ar 同位素测定的证据[J]. 地球化学,2000,29(3):217-222.
- [11] 张建新,孟繁聪,戚学祥. 柴达木盆地北缘大柴旦和锡铁山榴辉岩中石榴子石环带对比及地质意义[J]. 地质通报,2002,21(3):123-129.
- [12] 张建新,万渝生,孟繁聪,等. 柴北缘夹榴辉岩的片麻岩(片岩)地球化学、Sm-Nd 和 U-Pb 同位素研究——深

- 俯冲的前寒武纪基底[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 443 - 451.
- [13] 陆松年主编. 青藏高原北部前寒武纪地质初探[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 125.
- [14] 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件及其全球构造意义[M]. 地质出版社, 2006, 1-206.
- [15] Zhang J X, Yang J S, Mattinson C G, Xu Z Q, et al. Two contrasting eclogite cooling histories, North Qaidam HP/UHP terrane, western China: Petrological and isotopic constraints[J]. *Lithos*, 2005, 84: 51 - 76.
- [16] 陈丹玲, 孙勇, 刘良, 等. 柴北缘鱼卡河榴辉岩的变质演化——石榴石成分环带及矿物反应结构的证据 [J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1039 - 1048.
- [17] 王惠初. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山及岩浆作用[D]. 博士学位论文, 中国地质大学(北京), 2006, 1-149.
- [18] 袁桂邦, 王惠初, 李惠民, 等. 柴北缘绿梁山地区辉长岩的锆石 U-Pb 年龄及其意义[J]. 前寒武纪研究进展. 2002, 25(1): 36 - 40.
- [19] 吴才来, 杨经绥, J. Wooden, 等. 柴达木山花岗岩锆石 SHRIMP 定年[J]. 科学通报, 2001, 46 (20): 1 742 - 1746.
- [20] Winchester J A and Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements [J]. *Chem. Geol.*, 1977, 20: 325-343.
- [21] Pearce J A. A user's guide to basalt discrimination diagrams[A]. In: Wyman D A (ed.). Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration: Geological association of Canada, Short Course Notes[C]. 1996, 12: 79 - 113.
- [22] Boynton M V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (ed.) [J]. Rare earth element geochemistry. Elsevier, 1984, 63 - 114.
- [23] Saunderson A D and Tarney J. Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. In: Kokelaar B P and Howells M F (eds.). Marginal basin geology, Spec. Publ. Geol. Soc. London, 1984, 16: 59 - 76.
- [24] Wood D A, Joron J L and Treuil M. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1979, 45: 326 - 336.
- [25] 白瑾. 造山带构造样式的恢复及其构造环境意义[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(1): 38 - 44.
- [26] Holland T J B and Blundy J D. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1994, 116: 433 - 447.
- [27] Plyusnina L P. Geothermometry and geobarometry of plagioclase-hornblende bearing assemblages[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1982, 80: 140 - 146.
- [28] Schmidt M W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure, an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1992, 110: 304 - 310.
- [29] Anderson J L and Smith D R. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer [J]. *American Mineralogist*, 1995, 80: 549 - 559.

Geological Characteristics and Tectonic Setting of the Dakendaba Group in Iqe Area, Northern Margin of Qaidam Basin

WANG Hui-chu, LI Huai-kun, LU Song-nian, YUAN Gui-bang, XIN Hou-tian
(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: Dakendaba Group occurred in Iqe area, northern margin of Qaidam basin, can be divided into amphibolite assemblage and schist assemblage. The amphibolite assemblage is chiefly composed of metamorphic basic-volcanic rocks and clastic rocks, and close with the Tanjianshan island-arc belt. The schist assemblage distributed on the southwest of Qaidam mountain consists of metamorphic sandstone and pelite. The Geochemical characteristics of the amphibolite indicate a tectonic setting related to

island-arc. The Dakendaba Group underwent three-episodes of deformation, among which the most developmental is the second episode schistosity fold. The former two episodes fold related to orogeny have an accordant NW-SE or NNW hinge of fold, and the coaxial superposed pattern indicated a kinetics setting of compression-shortening deformation on NE-SW direction. Dakendaba Group underwent medium-pressure amphibolite - greenschist facies metamorphism, and the metamorphic grade took from amphibolite facies to greenschist facies from SW to NE. The MP medium-lower grade metamorphic belt of Dakendaba Group and the Yuqiahe HP-UHP metamorphic belt can constitute a pair of metamorphic belt structure. Combined with the zircon U-Pb ages obtained from Dakendaban Group recently, we conclude Dakendaba Group was an important part of early Paleozoic collisional orogenic belt in the northern margin of Qaidam basin, and formed in the back-arc basin of active continental margin at the terminal of Neoproterozoic to early Paleozoic, and underwent intense deformation and metamorphism during collisional orogeny at middle-late stage of the early Paleozoic.

Key words: northern margin of Qaidam basin; Dakendaba Group; deformation and metamorphism; early-Paleozoic; tectonic setting

《地质调查与研究》征订启事

经国家科委和新闻出版署批准, 我刊《前寒武纪研究进展》于 2003 年起更名为《地质调查与研究》。办刊宗旨: 本刊为地质科学领域中的学术性刊物, 执行党的基本路线及国家的出版政策法规, 坚持“百花齐放, 百家争鸣”的双百方针, 面向地质调查和研究工作, 为地质调查和研究成果提供交流载体, 推动我国地质调查和研究工作的开展, 为我国的经济建设和发展服务。主要刊登内容: 地质调查和研究中的新认识、新成果、新进展, 地区性、专业性焦点、难点问题, 新理论、新技术、新方法、新工艺的研究和引进。内容涉及基础地质、矿床地质、同位素地质年代、第四纪地质、水资源与环境、灾害地质、城市地质、农业地质、旅游地质、地球物理勘查、地球化学勘查、地质调查信息等领域, 以及国民经济和社会发展对地质工作的需求等方面的文章, 亦刊登国外相关领域的研究动态和成果。主要开设栏目: 基础地质、矿产资源、水文地质、工程地质、环境地质、技术方法等, 非常适合地质工作者、地质院校师生和有关单位的管理者阅读参考。

本刊为季刊, 公开发行人, 每期约 12 万字, 可全年订阅, 也可分期订阅。订阅办法: 1) 单位和个人均可向我刊编辑部订阅; 2) 邮局汇款, 地址: 天津市河东区大直沽八号路 4 号, 邮编: 300170; 3) 银行信汇: 天津市河东区工商行大直沽分理处, 账号 401088066213。

联系电话: 022-24023549

《地质调查与研究》编辑部