# 柴达木盆地北缘东段托莫尔日特 似蛇绿岩岩石组合特征

孙延贵<sup>1</sup>,郝维杰<sup>2</sup>,韩英善<sup>2</sup>,刘永安<sup>2</sup> (1.西安工程学院,陕西西安 710054;2.青海地质矿产勘查研究院青海西宁 810012)

**提要:**出露于柴达木盆地北缘加里东裂谷带东段托莫尔日特地区的一套酷似蛇绿岩的岩石组合,其 地质、地球化学特征显示它们并不具备洋壳性质,而应为形成于陆壳内的,即没有洋壳出现的陆缘裂 谷环境下的一种似蛇绿岩组合。提出了与蛇绿岩不同的动力学形成模式,所讨论的似蛇绿岩可能是 并无洋壳出现的陆缘裂谷的较典型代表。

关键 词:托莫尔日特;蛇绿岩;似蛇绿岩组合;动力学;裂谷

**中图分类号:P**583 **文献标识码:A 文章编号:**1000-3967(2000)03-0258-07

地处南祁连造山带与柴达木地块间的加里东陆缘裂谷带<sup>[1]</sup>主体呈现出由早元古代变质 结晶基底下的众多不连续裂解块体和这些块体间的晚奥陶世至早志留世浅变质碎屑岩、变中 基性火山岩夹生物碎屑灰岩等所构成的构造岩片组成的外貌。前者属达肯大坂群(PtıD),后 者为裂谷的主要产物滩间山群(OST)<sup>[2]</sup>。该裂谷带向北西延伸被阿尔金转换构造带截切,东 延终止于鄂拉山转换型构造带上。沿其中轴线自北西向南东分别于滩间山、绿梁山以及本文 所要讨论的乌兰南侧托莫尔日特地区出露有较多的超镁铁质一镁铁质岩石。对它们的属性认 识目前尚不统一,董显扬等<sup>[3]</sup>认为应属于类暗色岩建造,青海地质矿产勘查研究院在托莫尔 日特地区进行 1:5 万区域地质调查时认为应是蛇绿岩建造的一部分,特别是在发现了大量斜 长花岗岩及放射虫硅质岩<sup>[4]</sup>后,便确认代表初始洋盆的蛇绿岩的存在。

通过对托莫尔日特一带超镁铁质一镁铁质岩石以及与其密切伴生的其他岩石,尤其是大 量发育的斜长花岗岩等更进一步的研究发现,尽管该地区的这套岩石组合酷似蛇绿岩,但在结 构及地球化学特征方面相差甚远,而且不具有真正意义上的洋壳特征。细粒辉长岩与在岩石 组合中所占比例达65%的中粗粒斜长花岗岩构成的复合岩体,产出状态及地球化学习性表明 其形成应是在大陆裂谷且陆壳较厚的环境中,发生于与代表洋壳物质组成的蛇绿岩不同的动 力学条件下。呈包体、小的块体产出的超镁铁质岩石所具有的类暗色岩建造的属性和发育于 滩间山群中的玄武岩、放射虫硅质岩的陆内裂谷特征等均支持这一认识。因此,托莫尔日特地 区的该套岩石,可能是柴北缘晚奥陶世至早志留世没有洋壳出现的陆缘裂谷比较典型的产物。 本文将就其地质、地球化学特征进行叙述,并对其动力学意义进行讨论。

**收稿日期**:1999-02-05

<sup>(</sup>作者简介:孙延贯(1959a),A男a高级立程师,1988年毕业印成都理业学院前观事区域地质调查运作(s reserved. http://www

### 1 地质特征

托莫尔日特似蛇绿岩岩石组合,包括变质纯橄岩、蚀变方辉橄榄岩、金云母橄苏岩、蚀变单 辉橄榄岩、金云母橄榄辉石岩、蚀变角闪石岩、细粒辉长岩、辉绿岩墙、中粗粒斜长花岗岩、玄武 岩、细碧岩以及放射虫硅质岩。显然,岩石组合与蛇绿岩非常相似,但岩石间缺少其间的层序 关系和作为蛇绿岩组合主要特征的结构类型,均呈基本相互独立的形式产出。但从总体特征 来看,超镁铁质岩石的出露与辉长岩以及滩间山群火山岩密切相关,辉长岩又与斜长花岗岩组





Fig. 1 Distribution of the Tomorit ophiolite-like rock
 Q-第四系冲积物;OST-滩间山群;Pt1D-达肯大坂群;1-加里东后的花岗岩;2-中粗粒斜长花岗岩;
 3-细粒辉长岩;4-超镁铁质岩;5-辉绿岩墙;6-细粒辉长岩岩脉;7-放射虫硅质岩产地;8-韧性逆冲断层

成复合岩体(图1)。尽管晚期岩浆破坏很强,但辉长岩与斜长花岗岩自成侵入体特征及其相 互关系在局部地段仍得以保留。它们的单个侵入体都比较完整并相对较大(图1),与大部分 已形成绿片岩类的滩间山群为侵入接触。斜长花岗岩出露量约占该岩石组合的65%,各岩体 岩石特征非常稳定,成浅色的中粗粒不等粒状结构,平均矿物成分为更长石60%、石英27%、 角闪石8%、黑云母5%。岩体中发育辉绿岩墙及细粒辉长岩脉体,在可日特东侧与辉长岩体 间的界面非常截然,存在细粒辉长岩脉贯入斜长花岗岩之中的普遍现象,构成如图2所示的剖 面结构。辉长岩以均一的细粒结构为特征,呈辉长结构、嵌晶结构,以拉长石(50%)、普通角闪 石(35%)为主,次为磁铁矿(13%)以及石英(2%)。岩体内含有蚀变辉石角闪石岩、透辉石绿 帘石岩以及金云母橄榄紫苏辉石岩等包体。这些特征与蛇绿岩组合不同,把如此之多的斜长 花岗岩理解为由分异作用衍生出来的浅色岩石成因是令人难以接受的。一般认为,蛇绿岩中 的斜长花岗岩比例通常很小,一般不到镁铁质岩石的5%,而且与辉长岩呈渐变关系,成不规 则不连续的形式产出<sup>[5]</sup>。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www



图 2 托莫尔日特地区辉长岩与斜长花岗岩剖面结构 Fig. 2 Structure of the gabbro<sup>-</sup>plagiogranite section in the Tomorit area 1<sup>-</sup>元古代达肯大坂群;2<sup>-</sup>细粒辉长岩;3<sup>-</sup>粗粒斜长花岗岩;4<sup>-</sup>印支期花岗岩

对区内辉长岩具示源性的超镁铁质岩石,各类岩石相互独立存在,虽然分布零星,但主要 集中分布于托莫尔日特一可日特一线,接近由辉长岩、斜长花岗岩组成的复合岩体带中部。

于托莫尔日特西侧的滩间山群中,放射虫硅质岩夹于中一基性晶屑岩屑熔岩凝灰岩内,其 自身又夹有薄层状细粒海绿石砂岩,总厚达 57 m。遗憾的是,硅质岩中的放射虫因重结晶严 重未能取得时代成果,但从其产出状态来看,应是滩间山群的成分。对海绿石砂岩中构架颗粒 砂分析统计,存在自早到晚由富岩屑贫长石向富石英方向演化,即有其成分成熟度自早到晚由 低向高的方向演化的规律。结合砂岩中碎屑颗粒分选好而磨圆度低的特点,反映了陆源物质 搬运途中坡降大、流速快的特性。海绿石砂岩中所含的鲕粒多呈同心圈较多的圆形状,更确切 地显示出高能形成环境。显然,该地区放射虫硅质岩是在火山活动十分频繁的陆缘高能环境 中形成的,与一般认为形成于深海海底作为蛇绿岩组成部分的放射虫硅质岩差异很大。

### 2 地球化学特征

托莫尔日特地区的似蛇绿岩组合不仅在上述地质特征上与典型的蛇绿岩组合不同,而且 在地球化学方面也表现出一定的差异,有其自身的独特性。

经岩石化学及稀土元素分析(表 1),辉长岩和斜长花岗岩呈亚碱性,二者的 SiO2 变化具 "双峰式"特点(图 3a),其间存在较大的分异间断。从稀土配分图(图 3c)上可以看出,辉长岩 应是上地幔局部熔融所产生的玄武质岩浆房在原地发生分离结晶作用的不同阶段的产物,而 呈碱性并相对富集轻稀土的玄武岩(11 号样品)则代表原生岩浆成分<sup>[6]</sup>,相对富集重稀土并具 明显 Eu 正异常的辉长岩(1 号样品)可能代表原生岩浆房分离结晶作用较充分的部分。与代 表岩浆房内堆积作用过程,也是岩浆房内分离结晶作用典型实例的层状辉长岩稀土配分型式 比较,尽管托莫尔日特地区辉长岩不具由堆晶作用所形成的层状特点,但不同侵入体与采自层 状辉长岩不同部位的样品所具有的相似分配型式,说明托莫尔日特地区经历了类似的岩浆分 离结晶作用,而且随着分异程度的减小和堆积作用的减弱(Eu 正异常变小以至消失),其稀土 总量逐渐增大,稀土配分曲线由重稀土富集型转变为轻稀土富集型。那么就有理由认为,在岩 浆房的上部,随中下部结晶作用的不断加强可能会产生花岗质岩浆,构成稀土分配曲线与辉长 岩协调连续并略显 Eu 负异常和稀土总量进一步增大的斜长花岗岩(图 3c)的岩浆来源。

稀土元素分析显示,托莫尔日特地区超镁铁质岩石相对富集轻稀土,LREE/HREE 值在 7.7, 左右, 配分曲线右倾并与辉长岩, 斜长花岗岩曲线很不协调, 和典型洋脊环境蛇绿岩中的超/

表1 托莫尔日特地区似蛇绿岩组合岩石化学、稀土元素成分

 $Tab \cdot 1$  Petrochemistry and rare earth elements (REE) of the ophiolite-like assemblage in the Tomorit area

岩性	细粒辉长岩				中粗粒斜长花岗岩			纯橄岩	方辉橄 榄岩	橄辉岩	玄武岩	辉绿岩
编号	<b>∏</b> 0 <b>p</b> 7	<b>∏</b> 0 <b>p</b> 14	∏ 0 <b>P</b> 7	∏ 1 <b>P</b> 7	∏ 1 <b>P</b> 7	∏ 0	∏ 0	∏1	<b>∏</b> 0 <b>P</b> 15	<b>∏</b> 0 <b>p</b> 15	<b>∏</b> 0 <b>p</b> 14	<b>II</b> 0
	D1 - 1	D1 - 1	$D^{2}-1$	$D^{3}-1$	D1 - 5	$D_{113} - 1$	<b>D</b> 114	D115-1	$D_{11} - 1$	$D^{2-1}$	D4 - 1	D23-1
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$SiO_2$	48.14	45.58	49.14	54.29	69.88	69.30	69.64	41.12	40.41	38.18	48.42	51.75
$TiO_2$	0.22	0.65	1.64	0.78	0.63	0.42	0.29	0.03	0.06	0.02	0.74	1.65
$Al_2O_3$	15.96	16.65	13.40	16.19	13.12	13.61	13.66	0.027	1.11	1.08	15.49	15.55
$Fe_2O_3$	1.47	2.84	3.15	3.97	1.57	2.08	1.86	5.70	4.68	5.65	7.43	2.07
FeO	5.73	6.80	10.64	6.50	2.68	2.18	2.43	1.40	1.46	0.99	1.23	6.55
MnO	0.14	0.14	0.21	0.19	0.15	0.037	0.089	0.062	0.072	0.085	0.16	0.16
MgO	10.79	8.84	6.14	5.28	1.65	1.74	1.37	38.24	36.37	39.35	1.55	5.89
CaO	12.40	10.00	10.18	8.15	4.40	4.73	3.98	0.30	2.00	0.45	12.62	7.40
Na <sub>2</sub> O	1.64	2.50	2.50	2.10	3.00	3.60	3.52	0.10	0.1	0.12	3.12	3.10
$K_2O$	1.38	0.41	0.18	0.45	0.60	0.22	0.54	0.10	0.08	0.08	1.32	2.05
$P_2O_5$	0.023	0.042	0.15	0.078	0.057	0.12	0.086		1.12	0.023	0.30	0.51
${\rm H_2O}^+$	1.44	0.06	1.05		0.02	1.30	1.56				1.81	0.04
Los	3.40	4.88	2.22	1.17	1.50	1.50	2.15	12.24			7.12	2.36
La	0.30	6.58		3.81	8.39		2.94	0.59	0.56	1.33	32.1	29.1
Ce	0.53	12.00		6.93	9.80		6.15	1.23	1.15	1.61	47.0	54.3
Pr	0.39	1.27		0.84	1.55		1.11	0.13	0.12	0.11	5.90	7.68
Nd	1.60	6.80		4.15	5.82		6.00	0.61	0.59	0.51	22.2	32.2
$\mathbf{Sm}$	0.65	2.05		1.10	2.09		2.73	0.11	0.12	0.096	5.31	6.53
Eu	0.46	0.59		0.56	0.61		1.21	0.04	0.06	0.03	1.98	1.89
$\mathbf{Gd}$	1.73	1.97		1.48	2.80		5.11	0.13	0.16	0.12	7.49	6.19
Tb	0.10	0.39		0.23	0.51		0.63	0.02	0.02	0.02	1.38	1.08
Dy	0.82	2.79		1.79	3.25		14.45	0.06	0.10	0.06	5.80	6.72
Ho	0.11	0.58		0.39	0.68		0.81	0.02	0.02	0.01	1.33	1.28
Er	1.01	1.52		0.15	1.73		4.12	0.04	0.06	0.04	4.42	3.04
Τm	0.02	0.24		0.18	0.27		0.16	< 0.01	0.01	<0.01	0.35	0.47
Yb	0.29	1.68		1.10	1.69		3.24	0.06	0.08	0.04	1.87	2.84
Lu		0.22		0.12	0.25		0.31	< 0.01	0.01	<0.01	0.45	
Y	6.34	15.00		8.74	19.80		15.50	0.33	0.46	0.22		33.9

注:氧化物:%;稀土元素:10<sup>-6</sup>

镁铁质岩有一定的差异,显示源于相对富集地幔,具类暗色型<sup>[3]</sup>超镁铁质岩属性特征。但据 此并不能排除其与区内辉长岩、斜长花岗岩及玄武岩等的亲缘性。恰好可以说明,由相对富集 地幔部分熔融的直接产物应是发育于滩间山群的碱性玄武岩及细碧岩,熔出岩浆大部分因滞 留于岩浆房内并经历了较充分的分离结晶作用,造成虽具一致的演化趋势性(图 3b),但又在 岩石化学、稀土元素地球化学变化规律上呈现出不连续、不协调的独特性。

**Rb**-Sr 同位素分析结果(表 2),托莫尔日特似蛇绿岩组合中岩石含有较高的 Rb、Sr 以及 Rb/Sr 值,<sup>87</sup> Rb/<sup>86</sup>Sr 值变化范围很大,<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 值在 0.705~0.711 间。其中玄武岩、斜长花 岗岩线性较好,成岩年龄值分别为( $450\pm4$ ) Ma 和( $477\pm22$ ) Ma。如此的同位素组成,尤其是 较高的<sup>87</sup> Rb/<sup>86</sup> Sr 值,表明应与太量壳源富含放射成因<sup>87</sup> Rb 的外来锶的卷入有关<sup>[7]</sup>





图 3 托莫尔日特似蛇绿岩岩石化学及稀土元素 Fig. 3 Petrochemistry and REE of the Tomorit ophiolite-like rock 图中样品编号同表1样品序号

3 动力学意义

许多研究成果表明,蛇绿岩的形成环境并不仅限于大洋中脊,而是多种多样的。蛇绿岩可 能形成于陆间小洋盆、边缘海、弧后和弧前盆地、陆间裂陷槽,甚至在被动大陆边缘以及岛弧本 身。但不论其出于什么环境,一般认为蛇绿岩基本上可以与现代洋壳对比,即它代表了在大陆 上保存的洋壳和下地幔碎片。在大陆造山带内,蛇绿岩代表了因俯冲作用而消失的曾经存在 的古洋盆,这是蛇绿岩研究的重要意义所在,也应是蛇绿岩这一概念的最本质的含义。本文所 讨论的托莫尔日特似蛇绿岩,虽在岩石组合上与蛇绿岩岩石组合相似,但它明显缺乏与现代洋 壳的可对比性,从宏观地质特征、岩石特性以及地球化学习性上均反映了陆壳的形成环境,找 不到代表洋壳的典型特征。所以说,托莫尔日特似蛇绿岩并不是蛇绿岩,应形成于裂谷环境, 没有洋壳出现的一套超镁铁质一镁铁质岩石一放射虫硅质岩岩石组合,而且形成的动力学特 征也与蛇绿岩有着较大的差别。

大量斜长花岗岩的出现以及被数量上仅次于斜长花岗岩的高位辉长岩侵入体穿插的独特 (C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www 性,暗示下部应存在由上地幔局部熔融所产生的巨大岩浆房。据此提出如图4所示的模式。

当地幔上隆导致上部岩石圈向两侧伸展并在其顶部形成裂谷时,相对富集型的上地幔局 部熔融将产生偏碱性玄武质岩浆,在上部构成巨大岩浆房。少量岩浆喷出地表,形成的碱性玄 武岩和同时因上地幔上涌导致的上部地壳物质部分熔融所产生的中酸性岩浆喷发以及大量陆 表<sup>2</sup> 托莫尔日特似蛇绿岩同位素分析

岩 性	Rb	$\mathbf{Sr}$	Rb/Sr	$^{87}$ Rb $/^{86}$ Rb	$^{87}{ m Sr}/^{86}\!{ m Sr}$
	3.46	271.62	0.013	0.037	0.706
	48.47	243.22	0.20	0.58	0.708
中粗粒	22.88	241.87	0.09	0.27	0.706
斜长花岗岩	14.16	233.26	0.06	0.18	0.706
	62.01	230.47	0.27	0.78	0.708
	37.22	272.52	0.14	0.40	0.707
	172.53	568.09	0.30	0.38	0.709
	5.82	159.61	0.04	0.11	0.706
细粒辉长宕	14.95	201.6	0.07	0.21	0.716
	5.70	213.86	0.03	0.077	0.705
	9.25	37.35	0.25	0.72	0.711
	9.61	24.37	0.39	0.14	0.709
全蚀变	24.14	185.2	0.13	0.377	0.707
方辉橄榄岩	12.39	11.14	0.12	3.22	0.711
	9.15	51.87	0.18	0.511	0.710
	1.72	18.84	0.09	0.264	0.709
	6.57	165.56	0.04	0.115	0.707
	12.56	564.23	0.02	0.064	0.706
玄武岩	4.58	1143.78	0.004	0.012	0.706
	2.40	150.21	0.02	0.046	0.709
	2.40	1548.84	0.10	0.299	0.708

Tab-2 Rb-Sr isotopic analysis of the Tomorit ophiolite-like rock

源碎屑物质一起构成滩间山群——柴北缘裂谷 充填物的主体。由于裂谷打开的有限性,上述 岩浆房上部存在较厚的地壳物质层,给岩浆房 内的玄武质原始岩浆进行较充分的分异提供了 有利的时空条件,顶部出现花岗质岩浆。随上 部地壳进一步伸展,花岗质岩浆上侵进位,之后 不同分异阶段的辉长质岩浆在上部地壳进一步 伸展变薄后不断上升并在高位就位,造就了托 莫尔日特似蛇绿岩中粗粒斜长花岗岩与细粒辉 长岩共生的岩浆活动形式。在辉长质岩浆上侵 过程中,作为岩浆房内堆积物的橄辉岩、辉石



图 4 柴北缘裂谷斜长花岗岩一辉长岩形成示意图 Fig. 4 Formation of the plagiogranite-gabbro association in a rift on the northern margin of the Qaidam basin

岩、角闪石岩等呈包体形式被带出。而作为上地幔部分熔融残余物的纯橄岩、方辉橄榄岩等多 随较早的碱性玄武岩浆被带出。因此,托莫尔日特地区的超镁铁质岩石多与辉长岩以及滩间 山群密切去生,而在斜长花岗岩中则很少见到。而于托莫尔日特西侧的放射虫硅质岩具明显// 的裂谷成因特征,同样应是似蛇绿岩组合的一个组成部分。上述似蛇绿岩较特殊的成因导致 其各个组成部分只能相互较独立地存在,构不成一个像蛇绿岩那样的较完整的层序。

#### 4 结 论

综上所述,分布于柴达木盆地北东缘托莫尔日特地区的酷似蛇绿岩的一套岩石组合,其形成环境属较典型的陆缘裂谷,并未出现洋壳的环境,即形成于陆壳基础之上,尤其是大量中粗粒斜长花岗岩的出现以及被细粒辉长岩穿插的现象,更具标志性意义。不同于蛇绿岩形成的动力学环境,造就了似蛇绿岩不同于蛇绿岩的一系列地质、地球化学特征。

成文前后曾多次与古风宝、贾春兴、张志勇高级工程师讨论,得到许多启发,深表谢意。

#### 参考文献:

[1] 青海省地质矿产局.青海省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991,582-584.

[2] 青海省地质矿产局.青海省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997,94-95.

[3] 董显扬,李行,叶良和,等.中国超镁铁岩[M].北京:地质出版社,1995,219-227.

[4] 其和日格.1997年全国区域地质调查工作总结[J].中国区域地质,1998,(3):225-227.

[5] DONAIDW HYNDMAN,等著,邱家骧,等译,火成岩与变质岩岩石学[M].武汉:中国地质大学出版社,1989.120.

[6] 立昌年.火成岩微量元素岩石学[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.84-86.

[7] G.福尔著·潘曙兰等译.同位素地质学原理[M].北京:科学出版社,1983.51-80.

## Characteristics of the Tomorit ophiolite-like assemblage in the eastern sector of the northern margin of the Qaidam basin

SUN Yan-gui<sup>1</sup>, HAO Wei-jie<sup>2</sup>, HAN Ying-shan<sup>2</sup>, LIU Yong-an<sup>2</sup>

(1. Xi' an College of Engineering, Xi' an 710054, China;
2. Qinghai Institute of Geology and Mineral Exploration, Xining 810012, China)

Abstract: A rock assemblage resembling closely ophiolite is exposed in the Tomorit area in the eastern sector of the Caledonian rift zone on the northern margin of the Qaidam basin. Its geological and geochemical characteristics show that it does not have the nature of oceanic crust but should be an ophiolite-like assemblage formed within continental crust, i.e. occurring in a continental-margin rift environment without oceanic crust. This paper proposes a dynamic model different from that for the formation of ophiolite and points out that the ophiolite-like rock in question is possibly a typical representative of the continental-margin rift with oceanic crust. Key words: Tomorit; ophiolite; ophiolite-like assemblage; dynamics; rift