

# 祁连造山带中段雾宿山群的构造属性探讨

丁仁平<sup>1</sup> 裴先治<sup>1</sup> 李佐臣<sup>1</sup> 刘少锋<sup>2</sup>

李瑞保<sup>1</sup> 李高阳<sup>1</sup> 刘战庆<sup>1</sup>

(1.西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054;

2.中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083)

**摘要:**通过对雾宿山群岩石组合特征和火山岩地球化学特征的分析,结合与周边区域地质背景的对比研究,探讨兰州西南一带雾宿山群的形成环境、构造属性及构造意义。雾宿山群主要为一套形成于中晚奥陶世的以中性、中基性火山岩及英安岩为主夹少量火山碎屑岩和正常沉积岩的岩石组合,经受低绿片岩相变质。火山岩不同岩类的地球化学特征均显示其形成于岛弧或弧前构造环境。综合分析雾宿山群岩石组合特征和火山岩地球化学特征并结合与西侧拉脊山构造带及北祁连造山带的对比,初步认为雾宿山群可能不是拉脊山构造带的东延,而是北祁连南缘岛弧带在兰州西南一带延伸的构造残块。雾宿山群构造属性的厘定,对祁连造山带的东延问题、祁连与秦岭造山带的交接关系及祁连造山带中东段构造格局的建立都具有十分重要的意义。

**关键词:**祁连造山带;雾宿山群;岛弧火山岩;地球化学

**中图分类号:** P534.42.4.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2008)04-0577-13

分布于兰州西南一带的雾宿山群大地构造位置位于祁连造山带中段,最早由甘肃区测一队(1965)创名,创名地点在永靖县雾宿山,为一套巨厚的中性、中基性火山岩系,中夹有正常沉积岩(粉砂岩、千枚岩、灰岩),属低绿片岩相变质,其上、下界均不清<sup>[1,2]</sup>。该套地层研究程度较低,除甘肃省区调队在 1992 年开展 1:5 万盐锅峡幅和湖滩幅区域地质调查时进行了有限的研究外<sup>①</sup>,未做任何专项的科研工作,因而其构造属性和构造单元归属争议较大,有人将其划归中祁连构造带,但也有部分学者认为应属南祁连构造带,是拉脊山奥陶系的东延部分<sup>[1,3-5]</sup>。

长期以来,多数研究者认为雾宿山群是一个中祁连地块南缘的早古生代大陆裂谷,是拉脊山构造带的东延。然而从区域地质体的空间位置上分析,雾宿山群似与拉脊山构造带难以直接相连,其南北两侧均有元古界古老变质岩层分布,因而二者是否是同一构造环境的产物,有待商榷。由于雾宿山群中变

质火山岩的详细地球化学特征研究较少,总体研究程度较低,直接影响到对其构造属性的认识以及构造格局的正确厘定。笔者将根据对雾宿山群岩石组合特征的宏观分析以及雾宿山群中火山岩地球化学特征的研究,结合其与祁连造山带中相关火山岩的对比,分析确定其形成的大地构造环境,进而认识雾宿山群的构造属性,探讨其大地构造意义。雾宿山群构造属性的厘定无疑对祁连造山带早古生代构造格局及构造演化的研究有重要的构造意义。

## 1 地质概况

雾宿山群主要分布在兰州以西及西南地区的永靖县雾宿山—兰州市七里河区湖滩乡一带,地层总体呈 NW-NE 向延伸,出露面积约为 150 km<sup>2</sup>,西南侧与陆相三叠系含砾砂岩呈断层接触,并逆冲在三叠系地层之上。其余周边与中生代白垩系地层呈不整合接触,在南侧较远区域出露有古元古界秦岭岩

收稿日期:2007-12-20;改回日期:2008-02-20

基金项目:国家自然科学基金项目(40572121、40234041)和教育部科学技术研究重点项目(104175)资助。

作者简介:丁仁平,男,1962年生,高级工程师,博士生,主要从事构造地质学和区域地质学研究;E-mail:sapingd@sina.com。

通讯作者:裴先治,通讯地址:西安市雁塔路南段 126 号,710054,长安大学资源学院;E-mail:peixzh@sina.com。

①甘肃省地质矿产局,盐锅峡幅、湖滩幅 15 万区域地质调查报告,1992。

群(?),东南侧有古元古界马衔山岩群和中元古界兴隆山岩群出露,北东侧有大面积的新元古界皋兰岩群分布,但均未与雾宿山群直接接触(图1)。

### 1.1 雾宿山群岩石组成特征

雾宿山群依据岩石组合特征自下而上可划分为2个岩组。

一岩组:可分为2个岩段。一岩段:灰绿色变安山质火山角砾岩夹灰绿色变安山质凝灰岩、变安山岩、杂色变安山玄武质集块岩、灰色变质细砂岩、粉砂岩、板岩;二岩段:灰褐色变质细砂岩、变质粉砂岩、板岩夹灰绿色变安山岩、变安山玄武岩等,中上部安山质火山角砾凝灰岩、安山质凝灰岩增多。

二岩组:也分为2个岩段。一岩段:灰绿色变玄武岩、灰绿色变安山岩、变安山玄武岩夹安山质角砾凝灰岩、硅质岩、千枚岩、变质粉砂岩及透镜状、条带状大理岩。安山玄武岩具枕状、杏仁状构造。二岩段:

灰绿色变安山质火山角砾岩夹变安山岩、变安山玄武岩、大理岩、硅质岩、千枚岩。上部出现少量变英安岩及英安质凝灰岩。

上述两组岩性横向变化大,火山岩、火山碎屑岩、沉积碎屑岩沿走向常互相过渡。从一岩组至二岩组,中基性、基性火山岩成分有逐渐增加趋势,并出现较多的大理岩夹层和透镜体,并且二岩组沿走向向东基性火山岩多变为中性火山岩,大理岩夹层的厚度向东也逐渐增大。该套地层中还见有少量加里东中期石英闪长岩、黑云母闪长岩小岩株和石英闪长岩脉、闪长玢岩脉的侵入以及超基性岩断块<sup>①</sup>。

### 1.2 雾宿山群变质火山岩的岩石学特征

雾宿山群变质火山岩的主要岩石类型有变玄武岩、变玄武安山岩、变安山岩及变英安岩等。

变玄武岩:岩石呈深灰绿、灰绿或灰褐色,块状构造,偶见杏仁状或枕状构造,主要为斑状结构,基

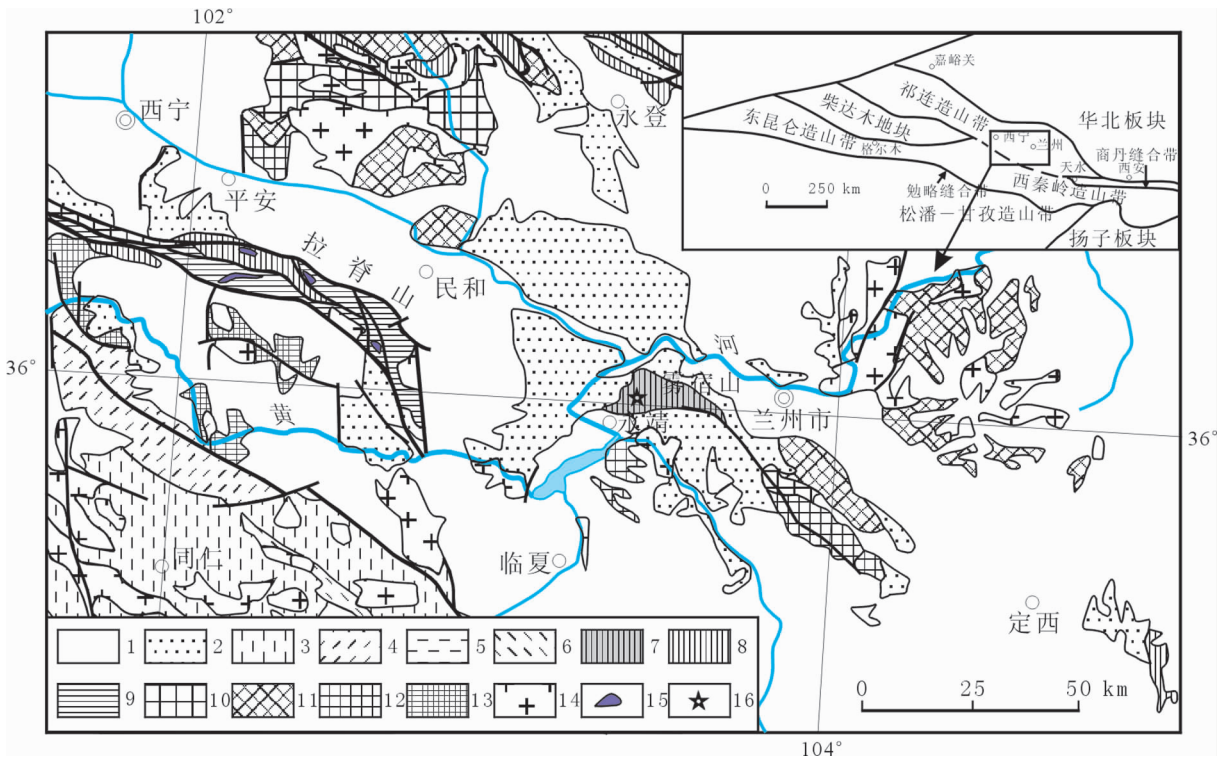


图1 祁连造山带中段地质简图

- 1—新生界;2—中生界;3—上三叠统;4—中—下三叠统;5—二叠系;6—石炭—二叠系;7—中—晚奥陶统雾宿山群;8—奥陶系;
- 9—寒武系;10—蓟县系;11—长城系;12—古元古界;13—新太古—古元古界;14—花岗岩;15—超镁铁岩;16—采样位置

Fig.1 Geological sketch map of the central segment of the Qilian orogen

- 1—Cenozoic;2—Mesozoic;3—Upper Triassic;4—Middle—Lower Triassic;5—Permian;6—Carboniferous;7—Middle—Lower Ordovician Wusushan Group;8—Ordovician;9—Cambrian;10—Jixianian System;11—Changchengian System;
- 12—Paleoproterozoic;13—Neoproterozoic - Paleoproterozoic;14—granite;15—Ultramafic rock;16—Sampling position

①甘肃省地质调查院.兰州市幅1:25万区域地质调查报告,2002.

面具脱玻空隙充填结构,少数为无斑脱玻间隐结构。岩石由斜长石(小于 60%)、暗色矿物(约 40%)组成。斑晶成分为斜长石及暗色矿物,斜长石呈不规则板状晶形,粒度一般为 0.5 mm,表面具绢云母化,属较基性的斜长石。暗色矿物全部绿泥石化。基质中斜长石呈板状晶或少数放射束状杂乱分布,其间充填有脱玻物、磁铁矿及次生矿物方解石、纤闪石和绢云母等。岩石中斑晶含量 15%~20%,基质含量 80%~85%。

变安山玄武岩:岩石呈灰绿色,块状构造,具变余斑状结构,基质为变余孔隙充填结构。岩石由斑晶和基质两部分组成,斑晶成分主要为斜长石,大小为 0.2~2.0 mm,表面具绢云母化。基质由斜长石、暗色矿物、绿泥石、铁质物及少量的石英所组成,矿物粒径为 0.05~0.2 mm,斜长石晶体具强烈的绢云母化和绿帘石化。

变安山岩:岩石呈灰绿色,具斑状结构,基质为交织结构,块状构造。因遭受变质作用影响,原岩的大部分组分已被细小的鳞片状绢云母代替,但仍残留有未被交代的斜长石斑晶。基质已全部被鳞片状绢云母代替,但绢云母常保持有斜长石板条状晶形及半定向分布的特征,原斜长石间隙中充填有玻璃质及含钛矿物。

变英安岩:岩石呈浅灰绿色及浅肉红色,斑状结构,块状构造。岩石中斜长石含量约为 80%,石英含量小于 20%,副矿物含量 1%~2%。斑晶含量一般在 15%~20%。斑晶成分主要为斜长石,见少量石英。斜长石为熔蚀板状晶、不规则板状晶或卵斑形,粒度一般在 0.5~1 mm,表面常具微弱的绢云母化、绿泥石化。基质一般为霏细-微粒结构或微粒结构,少数为半自形粒状结构。基质由霏细-微粒长英物或长英微粒物组成,有时微晶斜长石及少量鳞片状绿泥石呈半定向排列。副矿物有磁铁矿、磷灰石、钛磁铁矿及榍石等,次生矿物有绢云母、帘石及褐铁矿等。

### 1.3 雾宿山群形成时代

雾宿山群火山岩所夹粉砂岩中含笔石 *Orthograptus truncatus* 及三叶虫 *Lonchodomas*,灰岩中含三叶虫 *Pliomera* sp.,*Romopleurides* sp.;腕足类 *Obolus* sp.,*Idiospira* sp.,*Ancitrorhyncha?* sp. 及腹足类 *Trochonema?* sp. 等,所产化石的时代大部分属奥陶纪,只有笔石为中晚奥陶世。由于奥陶系的年代确定以笔石较为可靠,故将雾宿山群时代定为中—晚奥陶世<sup>[1]</sup>。

## 2 火山岩岩石地球化学特征

### 2.1 样品采集及测试

样品采集于永靖县北东约 10 km(三条岫)处雾宿山群二岩组中,沿公路连续采集(图 1)。为了保证样品分析数据的准确性,选择未蚀变弱变形的新鲜火山岩 10 件样品进行主量元素、微量元素和稀土元素分析。

样品分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成,主量元素采用 XRF 法分析,精度优于 5%,微量元素和稀土元素采用 ICP-MS 法分析,精度优于 10%。

### 2.2 岩石地球化学特征

从雾宿山群火山岩的主量元素、微量元素及稀土元素分析(表 1)可以看出,岩石的 SiO<sub>2</sub> 含量变化较大,为 44.68%~69.99%,主要为玄武岩、玄武安山岩、安山岩和英安岩。在岩石 TAS 分类图解<sup>[6]</sup>中,有两个样品分别投在玄武岩和玄武安山岩区,有 4 个样品投在安山岩区,其余 4 个样品投在英安岩区(图 2-a)。

#### (1) 基性岩类

雾宿山群基性火山岩有 1 个样品(WSS03)SiO<sub>2</sub> 含量为 47.56%,TiO<sub>2</sub> 含量为 0.83%,低于 MORB 和 OIB(平均分别为 1.5%和>2.0%),而与岛弧火山岩的 TiO<sub>2</sub> 含量(平均 0.8%)接近。MgO 含量中等,为 11.64%,相应的 Mg<sup>#</sup> 较高,为 0.77,ALK (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)为 3.62%,且 Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O 含量,显示出富钠低钾的特征。在 AFM 图解上,样品属于拉斑玄武岩系列(图 2-b)。

雾宿山群玄武岩的稀土分配模式为 LREE 略富集型(图 3-a),具有较高的∑REE,含量为 56.66×10<sup>-6</sup>;LREE/HREE 为 6.03;(La/Yb)<sub>N</sub> 为 3.63;(La/Sm)<sub>N</sub> 为 1.93;δEu 为 0.98,略具弱的负 Eu 异常,类似于岛弧火山岩的稀土元素分配形式<sup>[7-8]</sup>。

在岩石微量元素原始地幔标准化蛛网图上(图 3-b),显示富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Ba、K、La、Sr,相对亏损 Th 和高场强元素(HFSE)Ta、Nb、Ce、P、Ti,类似于火山弧玄武岩。特别是 Nb、Ta 和 Ti 的负异常是岛弧火山岩的显著标志,反映了板块俯冲环境中火山岩的典型特征<sup>[9-10]</sup>。

雾宿山群玄武岩的 Zr 含量为 56.78×10<sup>-6</sup>,属于岛弧玄武岩(Zr<130×10<sup>-6</sup>),Zr/Y 比值为 3.32,也与

表 1 雾宿山群火山岩的主量元素、微量元素和稀土元素含量  
Table 1 Major element, trace element and REE analyses  
of the Wusushan Group volcanic rocks

样品号	WSS02	WSS03	WSS04	WSS06	WSS07	WSS08	WSS09	WSS10	WSS11	WSS12
岩石名称	安山岩	玄武岩	英安岩	英安岩	英安岩	英安岩	安山岩	安山岩	安山岩	玄武安山岩
SiO <sub>2</sub> /10 <sup>-2</sup>	57.01	47.56	64.16	69.68	69.99	67.01	61.60	60.65	62.43	54.34
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.83	0.22	0.14	0.14	0.16	0.56	0.57	0.54	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.46	12.96	14.76	14.20	13.49	13.34	15.52	15.45	15.28	17.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.82	4.51	3.02	2.19	2.02	1.92	3.92	3.89	3.76	3.54
FeO	3.25	6.28	4.27	3.25	3.02	3.37	6.51	6.68	5.93	5.55
MnO	0.14	0.19	0.14	0.12	0.11	0.12	0.15	0.18	0.15	0.19
MgO	3.73	11.64	3.50	1.54	1.73	3.85	3.62	4.30	3.63	6.32
CaO	7.46	9.89	2.98	1.77	2.53	2.40	1.12	1.07	1.70	3.08
Na <sub>2</sub> O	5.29	2.70	3.60	4.49	2.76	4.49	0.99	1.41	1.65	4.06
K <sub>2</sub> O	0.55	0.92	0.35	0.25	1.07	0.27	2.35	1.97	1.53	0.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.15	0.04	0.04	0.04	0.03	0.10	0.10	0.09	0.04
烧失量	6.28	1.73	2.40	1.68	2.47	2.68	3.05	3.16	2.77	3.66
总量	99.46	99.36	99.44	99.35	99.37	99.64	99.49	99.43	99.46	99.45
Mg <sup>#</sup>	0.67	0.77	0.59	0.46	0.51	0.67	0.50	0.53	0.52	0.67
Sc/10 <sup>-6</sup>	20.704	41.125	25.408	18.951	21.381	22.029	35.741	35.534	34.624	41.232
Co	21.039	52.548	20.075	10.416	10.110	17.072	31.279	28.748	25.935	31.935
Ni	44.497	182.135	23.711	3.596	2.048	38.011	11.394	9.755	9.542	38.812
Ga	10.440	13.770	13.873	10.879	9.485	9.078	15.953	15.877	14.803	12.351
Rb	7.455	20.559	4.425	3.519	24.118	4.759	65.097	52.062	38.736	18.183
Sr	89.119	225.573	94.734	73.143	100.704	78.608	95.081	76.803	189.568	182.642
Y	11.701	17.050	9.173	5.468	6.865	6.613	13.024	13.486	14.049	7.158
Zr	38.895	56.777	22.354	27.478	29.369	30.514	33.719	31.253	29.737	16.637
Nb	1.848	4.030	0.517	0.816	0.755	0.851	0.826	0.766	0.714	0.323
Cs	0.091	0.172	0.071	0.151	0.456	0.085	1.077	0.899	0.696	0.245
Ba	104.874	346.797	63.124	77.903	147.343	40.131	262.290	204.246	165.718	129.730
Hf	0.988	1.627	0.625	0.709	0.760	0.849	1.015	0.947	0.921	0.463
Ta	0.199	0.383	0.087	0.095	0.083	0.101	0.082	0.112	0.064	0.091
Pb	3.607	3.165	3.007	4.466	3.468	1.436	1.614	1.510	2.962	3.261
Th	0.706	1.819	0.421	0.826	0.554	0.712	1.068	1.018	0.960	0.406
U	0.393	0.405	0.468	0.292	0.222	0.262	0.368	0.362	0.357	0.179
La	4.827	9.048	1.802	1.670	1.646	1.702	3.731	3.719	3.800	1.590
Ce	10.252	17.934	3.734	3.283	3.341	3.434	8.814	8.599	8.439	2.910
Pr	1.375	2.339	0.443	0.329	0.351	0.361	1.016	0.989	0.975	0.396
Nd	6.584	12.180	2.126	1.620	1.712	1.729	4.959	5.127	5.032	2.117
Sm	1.651	2.953	0.703	0.460	0.590	0.507	1.472	1.341	1.447	0.743
Eu	0.542	0.981	0.266	0.151	0.187	0.170	0.515	0.495	0.539	0.255
Gd	1.702	3.165	0.833	0.546	0.643	0.661	1.800	1.793	1.824	0.916
Tb	0.339	0.541	0.181	0.103	0.131	0.144	0.359	0.367	0.365	0.200
Dy	1.962	2.925	1.098	0.708	0.913	0.938	2.185	2.224	2.351	1.229
Ho	0.425	0.639	0.270	0.184	0.228	0.243	0.507	0.545	0.528	0.300
Er	1.182	1.706	0.864	0.630	0.744	0.737	1.451	1.536	1.627	0.852
Tm	0.208	0.276	0.149	0.115	0.145	0.139	0.249	0.297	0.266	0.141
Yb	1.461	1.680	1.075	0.851	1.012	0.997	1.680	1.952	1.886	0.885
Lu	0.220	0.289	0.197	0.153	0.173	0.160	0.279	0.314	0.274	0.148
LREE	26.932	48.600	9.907	8.057	8.470	8.563	22.306	22.063	22.056	8.927
HREE	5.798	8.055	3.835	2.744	3.346	3.359	6.710	7.235	7.296	3.754
LREE/HREE	4.645	6.033	2.584	2.937	2.532	2.549	3.325	3.050	3.023	2.378
∑REE	32.730	56.655	13.742	10.801	11.815	11.922	29.016	29.298	29.352	12.681
(La/Yb) <sub>N</sub>	2.23	3.63	1.13	1.32	1.10	1.15	1.50	1.28	1.36	1.21
(La/Sm) <sub>N</sub>	1.84	1.93	1.61	2.29	1.76	2.11	1.59	1.74	1.65	1.35
δ Eu	0.98	0.98	1.06	0.92	0.92	0.90	0.97	0.98	1.01	0.94



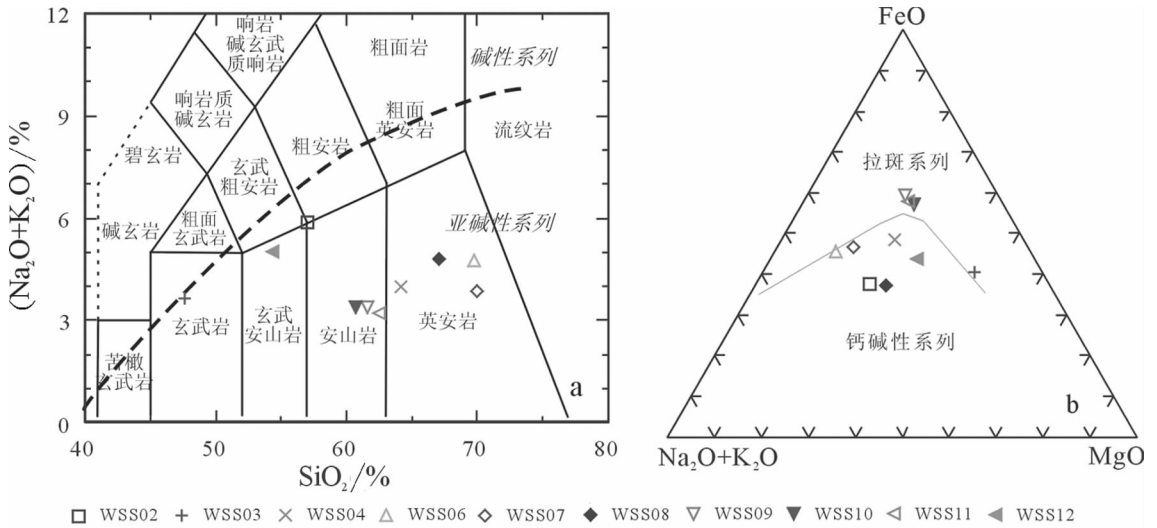


图 2 雾宿山群火山岩的 TAS 图解(a)和 AFM 图解(b)  
Fig.2 TAS (a) and AFM (b) diagrams of the Wusushan Group volcanic rocks

岛弧玄武岩一致 ( $Zr/Y < 4$ );  $Ti/Y$  比值为  $276.37 \sim 291.84$ ;  $Nb/Y$  比值为  $0.05 \sim 0.24$ , 均与岛弧玄武岩相近;  $Th/Ta$  比值为  $4.47$  和  $4.74$ , 明显大于  $2$ , 属于岛弧玄武岩的范围<sup>[8]</sup>。

(2) 中性岩类

雾宿山群中性火山岩有 5 个样品 (WSS02、WSS09~12), 经与国内外代表性玻安岩的地球化学特征值的对比, 其具有玻安岩的地球化学特征 (表 2)。有关玻安岩的研究众多学者已取得大量成果, 目前普遍认为在古岛弧和现代岛弧岩浆系列中玻安岩均产于与岛弧有关的弧前构造环境并与洋内消减作用有关, 玻安岩的存在具有重要的构造指示意义<sup>[11-16]</sup>。

雾宿山群中性火山岩的  $SiO_2$  含量为  $54.34\% \sim 62.43\%$ ,  $TiO_2$  含量较低, 为  $0.33\% \sim 0.57\%$ , 平均为  $0.48\%$ , 低于 MORB ( $1.5\%$ ) 和岛弧火山岩 ( $0.8\%$ ) 的  $TiO_2$  含量; 具有较低的  $CaO/Al_2O_3$  比值 ( $0.07\% \sim 0.60\%$ ) 和较高的  $Al_2O_3/TiO_2$  比值 ( $27.11\% \sim 52.76\%$ ),  $P_2O_5$  含量也很低 ( $0.04\% \sim 0.10\%$ ), 这与玻安岩的主元素特征基本一致。但具有相对较低的  $MgO$  含量 ( $3.62\% \sim 6.32\%$ ),  $Mg^\#$  值中等 ( $0.50 \sim 0.67$ ),  $Al_2O_3$  含量较高 ( $12.46\% \sim 17.41\%$ ), 表明它们已不是初始岩浆, 而可能是玻安岩原始岩浆演化的产物, 经历过一定程度的分馏结晶作用。

雾宿山群中性火山岩的  $Zr$ 、 $Yb$ 、 $Y$  含量较低, 分别为  $16.64 \times 10^{-6} \sim 38.90 \times 10^{-6}$ 、 $0.89 \times 10^{-6} \sim 1.95 \times 10^{-6}$  和

$7.16 \times 10^{-6} \sim 14.05 \times 10^{-6}$ , 均与玻安岩相似。典型玻安岩具有较低的  $Ti/Zr$  比值 (小于  $70$ ) 和较高的  $Zr/Y$  比值 ( $3 \sim 12$ )<sup>[13-15, 17]</sup>, 本文中的玻安岩  $Ti/Zr$  比值 ( $61.7 \sim 119.0$ ) 较典型玻安岩略高, 而  $Zr/Y$  比值 ( $2.12 \sim 3.32$ ) 相对较低。但难熔元素  $Ni$  的含量同  $MgO$  一样并不高, 也反映了它们应是玻安岩原始岩浆结晶分异的产物。

雾宿山群中性火山岩的稀土元素总量较低,  $\sum REE = 12.68 \times 10^{-6} \sim 32.73 \times 10^{-6}$ , 低于 MORB 和 IAB。在球粒陨石标准化的稀土元素分布模式上<sup>[18]</sup> (图 3-c), 显示为相对亏损的 U 型稀土元素分布型式, 这是典型玻安岩的稀土元素特征<sup>[13-15]</sup>。同时具有中等的  $(La/Yb)_N$  比值 ( $1.35 \sim 2.23$ ), 也与典型玻安岩一致。

在岩石微量元素原始地幔标准化蛛网图 (图 3-d) 上, 显示富集大离子亲石元素 (LILE)  $Rb$ 、 $K$ 、 $La$ 、 $Sr$ , 相对亏损  $Th$ 、 $Ta$  和高场强元素 (HFSE)  $Nb$ 、 $Ce$ 、 $P$ 、 $Ti$ , 类似于火山弧玄武岩。目前一般认为, 这种玻安岩的形成可能为在俯冲消减的洋壳或陆壳板块带入的富 LILE 和 LREE 的流体参与下, 由地幔楔中亏损的地幔橄榄岩部分熔融作用形成。

(3) 酸性岩类

雾宿山群酸性火山岩有 4 个样品 (WSS04、WSS06~08), 在 TAS 图解 (图 2-a) 上, 样品均落入亚碱性系列区域, 岩石类型为英安岩。在 AFM 图解 (图 2-b) 中属于钙碱性系列。岩石中  $SiO_2$  含量为

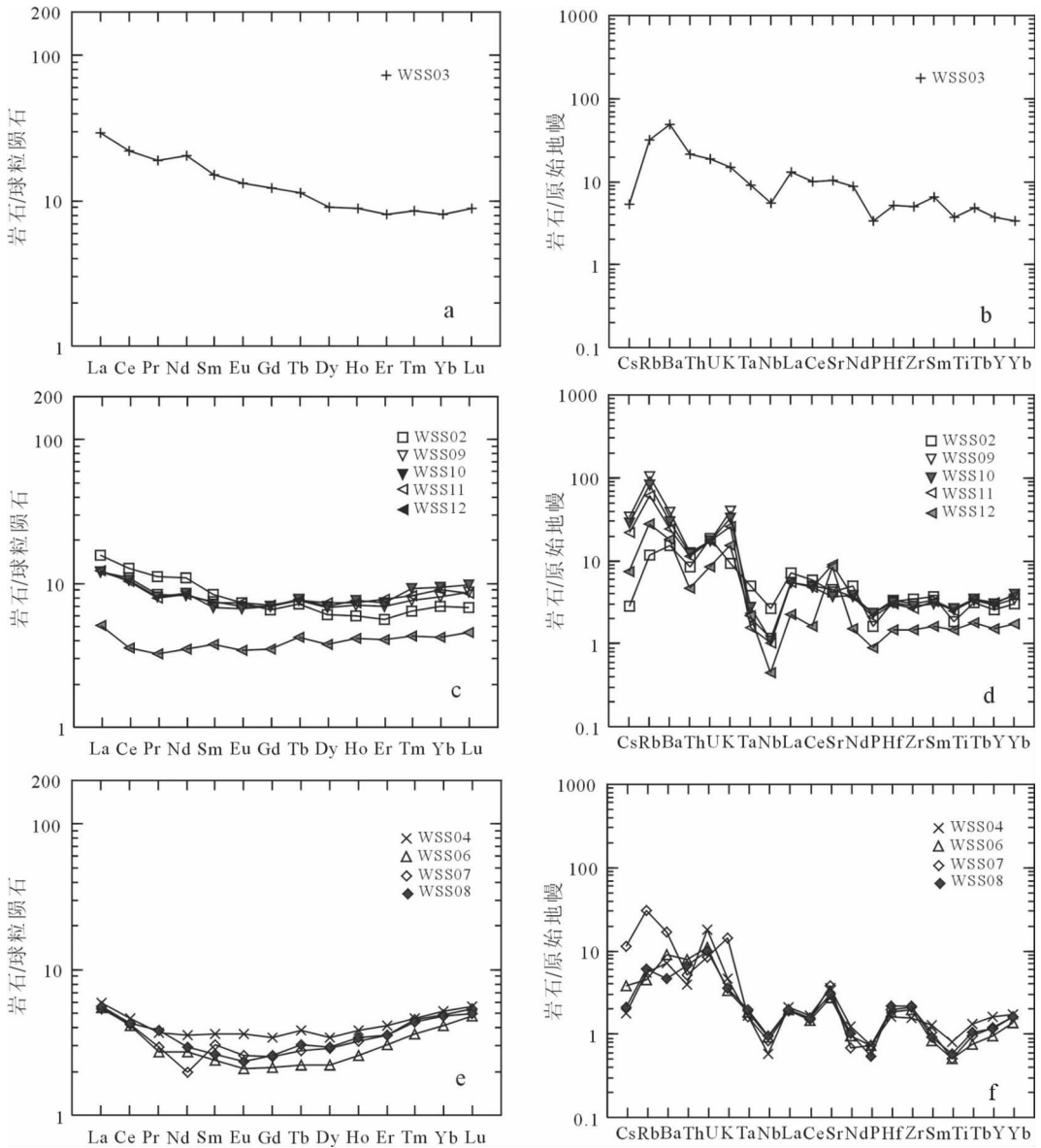


图3 雾宿山群火山岩的球粒陨石标准化REE型式和原始地幔标准化微量元素蛛网图  
 (球粒陨石标准化数据据参考文献[7,18];原始地幔标准化数据据参考文献[20])

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spidergrams of volcanic rocks in the Wusushan Group  
 (chondrite-normalized data from [7,18];primitive mantle-normalized data from [20])

64.16%~69.99%,  $Al_2O_3$  含量为 13.34%~14.76%,  $TiO_2$  含量较低, 为 0.14%~0.22%, 平均含量为 0.165%。 $MgO$  含量低, 为 1.54%~3.85%, 相应的  $Mg^\#$  变化范围为 0.46~0.67。ALK( $Na_2O+K_2O$ )为 3.83%~4.76%, 且  $Na_2O>K_2O$  含量, 显示为钠质火山岩的特征。

雾宿山群酸性火山岩的稀土分配模式与中性岩(玻安岩)相似, 也显示为亏损 MREE 的弱 U 型

稀土元素分布型式(图 3-e), 但  $\sum REE$  更低, 变化范围为  $10.80 \times 10^{-6} \sim 13.74 \times 10^{-6}$ 。LREE/HREE 为 2.532~2.937,  $(La/Yb)_N$  为 1.10~1.32,  $(La/Sm)_N$  为 1.61~2.29,  $\delta Eu$  为 0.90~1.06, 略具弱负的 Eu 异常, 基本类似于岛弧火山岩的稀土元素分配形式。

在岩石微量元素原始地幔标准化蛛网图上(图 3-f), 显示富集大离子亲石元素(LILE)Rb、U、K、La、Sr, 相对亏损 Th、Ta 和高场强元素(HFSE)Nb、

表 2 不同地区玻安岩的地球化学特征值对比

Table 2 Correlation of geochemical characteristic values for boninites in different areas

地球化学特征值	典型玻安岩	研究区玻安岩	北祁连大盆大板 I	北祁连大盆大板 II	西昆仑库地	西藏得几	新疆北部富蕴	博宁群岛	马里亚纳
SiO <sub>2</sub> /10 <sup>-2</sup>	53~60	54.34~62.43	47.7~53.5	52.1~52.3	56.6~61.3	50.6~57.3	52.1~60.5	58.0	55.0
TiO <sub>2</sub>	<0.65	0.33~0.57	0.23~0.34	0.44~0.48	0.46~0.51	0.05~0.46	0.21~0.35	0.16	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	较低	12.46~17.41	11.1~13.7	15.9~19.2	11.6~12.6	15.9~19.4	9.59~16.23	12.07	15.2
CaO	较低	1.07~7.46	5.85~11.33	1.80~5.56	3.51~6.33	4.70~9.20	4.66~9.46	8.27	9.59
CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	较低	0.07~0.60	0.50~0.84	0.11~0.29	0.30~0.54	0.30~0.51	0.31~0.95	0.56	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	较高	27.11~52.76	34.6~52.6	33.1~43.6	24.7~26.4	36~332	38.9~77.3	75.4	47.5
MgO	较高	3.62~6.32	11.3~15.6	7.39~9.78	3.40~4.25	3.17~7.70	3.91~9.31	10.00	6.87
Mg <sup>#</sup>	>0.50~0.83	0.50~0.67	0.44~0.77	—	—	0.46~0.67	0.51~0.69	0.69	0.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	较低	0.04~0.10	0.03~0.04	0.05~0.07	0.11~0.27	0.00~0.35	0.15~0.41	0.02	0.05
Zr/10 <sup>-6</sup>	较低	16.64~38.90	25~28	39~43	53.8~62.2	14.7~46.3	12.5~27.4	21	34
Yb	≈1	0.89~1.95	0.76~1.10	1.56~1.7	1.74~1.88	1.14~2.14	1.01~1.26	—	—
Y	2~10	7.16~14.05	8.6~10	13~15	14.4~14.8	9.23~20.8	8.10~12.2	5	8
Ti/Zr	<70	61.7~119.0	55.2~72.9	67.0~67.7	45~52	70~113	75~125	4.6	59
Zr/Y	3~12	2.12~3.32	2.75~3.26	2.9~3.0	3.7~4.3	1.54~2.97	1.16~2.69	4.4	6.0
Ni/10 <sup>-6</sup>	较高	9.54~44.50	254~636	48~63	66~82	35~61	29~111	162	85
∑REE	较低	12.68~32.73	—	—	35~38	—	15.2~58.6	—	—
(La/Yb) <sub>N</sub>	1.0~5.3	1.35~2.23	—	—	1.5~2.0	—	—	—	—

注:表中数据除研究区玻安岩外,其余引自参考文献[21]

Ce, Nd, P, Ti, 特别是 Nb、P、Ti 的亏损极为明显,这是因为该岩浆为来自地幔楔形区形成的玄武质岩浆, Ti 和 P 本在钙钛矿、榍石和磷灰石中富集,这些矿物的分离结晶造成酸性残余熔体亏损 Ti 和 P; Nb 的亏损可能是酸性残余熔体的母体岩浆—玄武质岩浆自身就亏损 Nb 的缘故<sup>[19]</sup>。

### 3 讨论

#### 3.1 雾宿山群形成的构造环境分析

雾宿山群在岩石组合上总体为一套以中性、中基性及少量酸性火山岩(英安岩)为主夹正常沉积岩和火山碎屑岩的岩石组合,火山岩呈现较为完整的岩浆演化序列,应是较为典型的岛弧构造环境的产物。

雾宿山群中基性火山岩中中性的安山岩类(玻安岩)较多,有 5 个样品,而玄武岩仅 1 个样品,岩石地球化学特征显示有 4 个样品属于拉斑玄武岩系列,2 个样品属钙碱性玄武岩系列。如前所述,岩石的稀土元素分配型式、微量元素蛛网图及微量元素特征比值均显示其形成于岛弧构造环境。岩石的微量元素构造判别图解(图 4)显示:在 Nb—Zr—Y 图解(图 4-a)<sup>[18]</sup>中,样品均投在岛弧玄武岩区;在 Hf—Th—Nb 图解(图 4-b)上样品也全部投在岛弧钙碱

性玄武岩区;在 La/Nb—La 图解(图 4-c)<sup>[22]</sup>中,样品也全部落于岛弧玄武岩区;在 Ce/Nb—Th/Nb 图解(图 4-d)<sup>[23]</sup>中,除 1 个样品投在弧后盆地玄武岩区外,其余均投在岛弧火山岩区。

雾宿山群中英安岩均属于钙碱性系列, TiO<sub>2</sub> 含量普遍较低,岩石的稀土元素分配型式、微量元素蛛网图及微量元素特征比值也显示其形成于岛弧构造环境。在 Rb—(Y + Nb)和 Y—Nb 构造判别图解<sup>[24]</sup>(图 5)上,英安岩样品均落入火山弧区域内。

综合分析雾宿山群的岩石组合特征及火山岩的地球化学特征,笔者认为雾宿山群应形成于汇聚板块边缘的岛弧或弧前构造环境,火山岩应是岛弧岩浆分异结晶作用的产物。

#### 3.2 雾宿山群与西侧拉脊山及西北部祁连造山带的对比

拉脊山构造带位于青海省境内,前人的研究较为详细,其岩石主要是由一套中—上寒武统、奥陶系和早志留世超基性岩、中基性火山岩(包括枕状熔岩)以及海相沉积岩组成。由于这些岩石被夹持在中祁连元古宙结晶地块中,因此有学者<sup>[3-5, 25-27]</sup>认为拉脊山代表早古生代的大陆裂谷。但是,邱家骧等<sup>[28]</sup>提出拉脊山为蛇绿岩带,而且发现有玻安岩,与北祁连大盆大坂玻安岩<sup>[15]</sup>类似。杨巍然等<sup>[29]</sup>按照

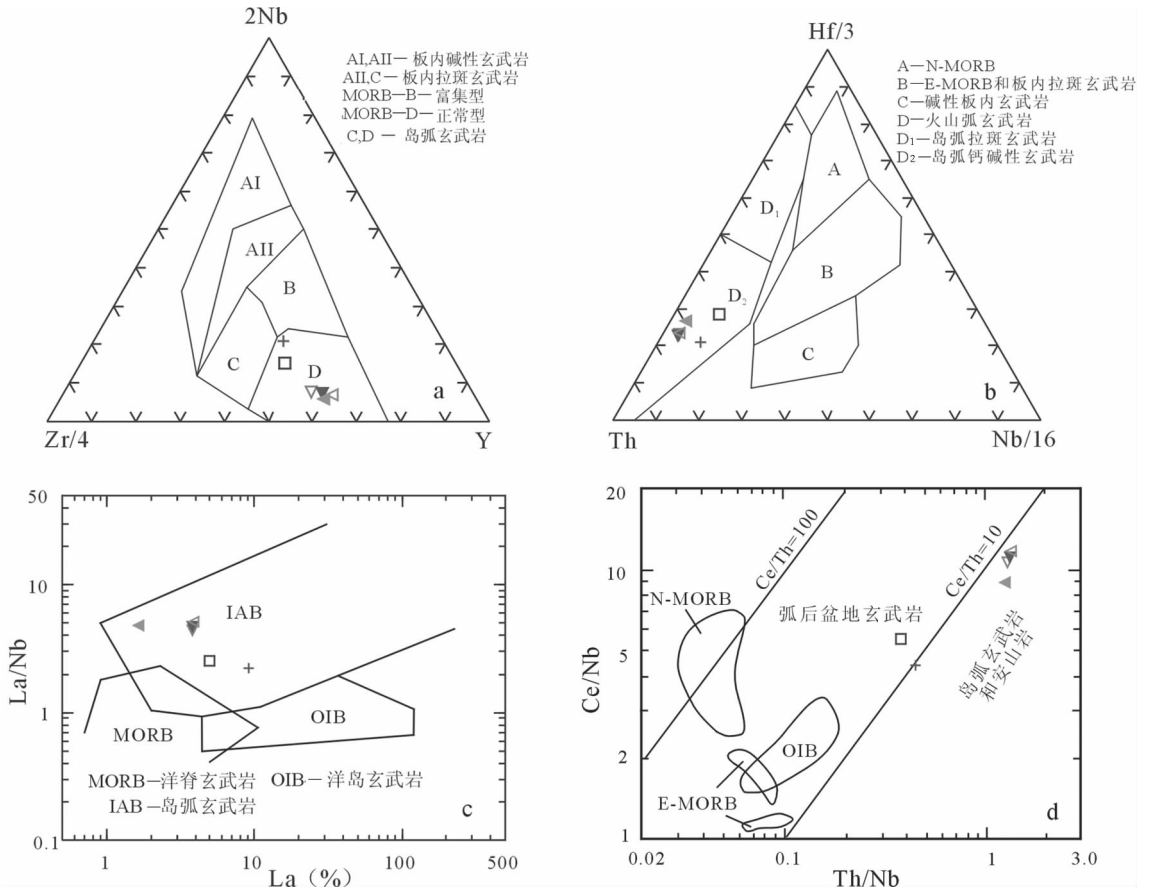


图4 雾宿山群中基性火山岩的 Nb-Zr-Y, Hf-Th-Nb, La/Nb-La 及 Ce/Nb-Th/Nb 图解 (样品号同图 3)

Fig.4 Zr-Nb-Y, Hf-Th-Nb, La/Nb-La and Ce/Nb-Th/Nb diagrams of volcanic rocks in the Wusushan Group

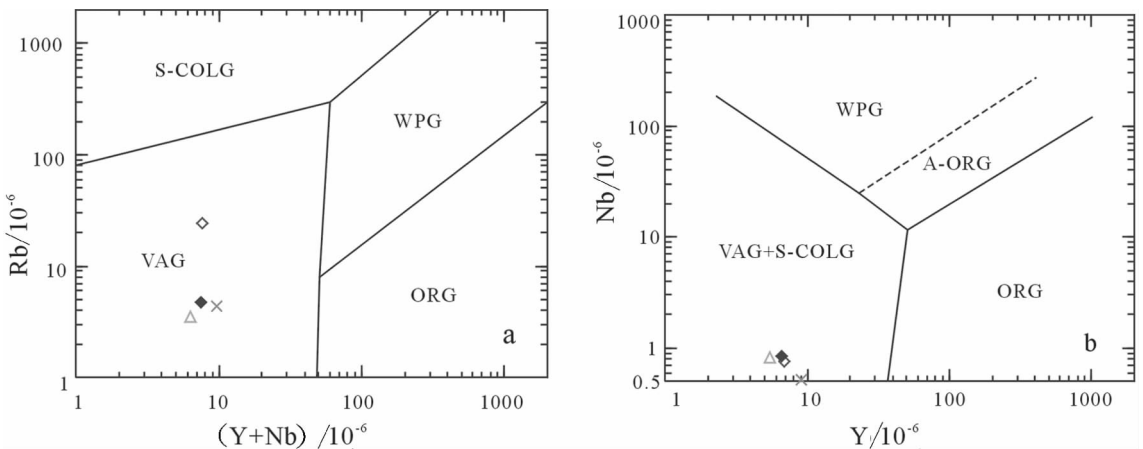


图5 雾宿山群英安岩的 Rb-(Y+Nb)(a)及 Nb-Y(b)图解 (样品号同图 3)

VAG-火山弧花岗岩; WPG-板内花岗岩; S-COLG-同碰撞花岗岩; ORG-洋中脊花岗岩; A-ORG-异常洋中脊花岗岩

Fig.5 Rb-(Y+Nb) and Nb-Y diagrams of dacite in the Wusushan Group  
 VAG-volcanic arc granite; WPG-within plate granite; S-COLG-S-collision granite; ORG-mid-oceanic ridge granite; A-ORG-abnormal mid-oceanic ridge granite



“开”“合”构造观点对拉脊山早古生代火山岩进行了时序分析,证实拉脊山造山带经历了一个完整的“开”“合”旋回,并认为拉脊山存在蛇绿岩套,是一种新类型的蛇绿岩套,反映了小洋盆的基本特征。王二七等<sup>[30]</sup>通过对拉脊山及其邻区的构造研究,认为拉脊山的组成岩石十分类似于北祁连早古生代蛇绿岩套和中基性岛弧火山岩,沿该断裂带分布的下古生界岩石原本是和北祁连的下古生界岩石连为一体的,在古生代中期的陆内变形阶段沿祁连山中央冲断带向南俯冲到中祁连元古宙结晶地块之下。它们经过祁连山造山带多阶段的挤压变形,在古生代晚期、中生代晚期和新生代从中祁连结晶地块之下抬升到地表,因此拉脊山是一个抬升的构造窗,而不是一个中祁连结晶地块中的早古生代大陆裂谷。侯青叶等<sup>[31]</sup>通过对拉脊山早古生代基性火山岩系统的地球化学研究,认为拉脊山基性火山岩分为两类:一类为大陆板内碱性玄武岩;另一类为与地幔柱活动有关的拉斑玄武岩,具有洋岛玄武岩(OIB)特征。总结归纳前人的研究成果,拉脊山主要有陆内裂谷和不同类型洋壳两种构造环境的认识。

出露于拉脊山东侧的雾宿山群,部分学者曾认为是拉脊山奥陶系的东延。然而通过笔者的研究,首先在区域构造图上,拉脊山呈 NNW-SSE 向并向 NE 凸出的弧形构造带展布,似乎没有东延的可能;其次雾宿山群中火山岩岩石组合及其地球化学特征也表明其与拉脊山的火山岩有着较大的差异,因而可以确定二者应是不同构造环境的产物。

前人<sup>[3-5,13-16,25-45]</sup>在祁连造山带曾进行了大量的地质研究工作,也取得了丰富的地质成果,是中国较典型的加里东期形成的造山带。目前大家公认可分为北中南 3 部分。北祁连为典型的沟弧盆系,中祁连主要由前寒武系古老基底组成,可称为中祁连地块,南祁连为柴北缘北侧的晚古生代弧后盆地沉积。总观目前的祁连造山带,北祁连研究程度较高,中南祁连研究程度则相对较低,而北祁连中又以其西段研究更为详细。尽管对北祁连沟弧盆系的形成、演化及俯冲方向等尚有争议<sup>[3,14,25-26,40]</sup>,然而对沟弧盆体系的存在几乎不存在任何质疑。中北祁连的分界在西段较为明确,以托勒南山北坡断裂分界为大多数学者所认同,而在祁连造山带东段,由于受大面积中生界地层的覆盖以及西秦岭造山带和东昆仑造山带复杂构造交接的影响,目前尚无较为统一的认识。

已有的研究表明,北祁连广泛存在中—晚奥陶世岛弧火山岩,从东向西,岛弧火山岩主要分布于甘肃省白银地区、永登县石灰沟、民乐县西道流以及甘肃省和青海省交界处的大岔大坂和野牛沟一带<sup>[32]</sup>。北祁连岛弧带的东延似乎在兰州以北的白银一带,而本文研究的雾宿山群所反映的岛弧构造环境与其在空间位置上存在较大的间隔,其间被以古元古界马衔山岩群、中元古界兴隆山岩群和新元古界皋兰岩群为代表的古老地质体分隔,二者之间的关系目前尚难确定,是否为早古生代“秦—祁—昆”“多岛洋”的构造背景所致?另外,雾宿山群与周边相邻地质体的接触关系因中生界大面积覆盖的影响,大多不祥,直接影响了对其区域构造背景研究,增大了区域对比的难度。笔者通过研究,初步认为雾宿山群的岩石组合特征及岩石地球化学特征似乎与北祁连西段的岛弧火山岩相似,雾宿山群中偏酸性的英安岩的出现,说明东部岛弧的成熟度较西段更高。雾宿山群总体构造位置可能应归属于北祁连造山带南缘。

兰州西南地区位于西秦岭、祁连及东昆仑造山带的接合部位,通过对雾宿山群的研究,该群可能是北祁连南缘向东南延伸的残留,零星夹持于雾宿山群中的超镁铁岩残块,可能指示有与岛弧相对应的蛇绿岩的存在。分布于雾宿山群东侧的前寒武系古老基底可能应是北祁连内部的古老地块的残余,相对应于北祁连西段的由元古宙北大河岩群、朱龙关群和镜铁山群等组成的古老地块。中北祁连的分界可能应在雾宿山群的西侧(与拉脊山之间),该边界可能沿 NNW-SSE 方向向南与西秦岭北缘断裂相接。总之,雾宿山群火山岩构造属性的确定对兰州西南部这一复杂构造接合部位在早古生代期间洋陆构造格局的建立以及各构造单元间构造交接关系的查明有着重要的地质意义。

## 4 结 论

(1)雾宿山群总体为一套形成于中晚奥陶世,以中性、中基性变质火山岩和少量英安岩为主夹有火山碎屑岩、正常沉积岩的较复杂的岩石组合。火山岩岩石类型从玄武岩、玄武安山岩、安山岩到英安岩均有出露,显示较完整的火山岩浆演化序列。

(2)雾宿山群岩石组合特征及岩石地球化学特征特别是具玻安岩性质岩石的存在表明其应形成于会聚板块边缘的岛弧或弧前构造环境。

(3)雾宿山群可能不是拉脊山构造带的东延,而是北祁连造山带南缘岛弧带在兰州西南一带延伸的构造残块。

### 参考文献 (References):

- [1] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989:256-301.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. Regional Geology of Gansu Province [M]. Beijing:Geological Publishing House,1989:256-301 (in Chinese with English abstract).
- [2] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997:1-294.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. Stratigraphy(Lithostratigraphy)of Gansu Province[M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1997:1-294 (in Chinese).
- [3] 左国朝, 吴茂炳, 毛景文, 等. 北祁连西段早古生代构造演化史[J]. 甘肃地质学报, 1999, 8(1):6-13.  
Zuo Guochao, Wu Maobing, Mao Jingwen, et al. Structural evolution of early Paleozoic tectonic belt in the west section of Northern Qilian area[J]. Acta Geologica Gansu, 1999, 8(1):6-13(in Chinese with English abstract).
- [4] 左国朝,李志林.拉鸡山裂谷带特征及演化[J].甘肃地质学报,2001, 10(1):26-31.  
Zuo Guochao, Li Zhilin. Features and evolution history of Lajishan rift zone[J]. Acta Geologica Gansu, 2001, 10(1):26-31(in Chinese with English abstract).
- [5] 左国朝,李志林,张崇.青海拉鸡山构造带是裂谷还是构造窗[J].地质论评, 2001, 47(6):561-566.  
Zuo Guochao, Li Zhilin, Zhang Chong. Lajishan tectonic zone of Qinghai Province:rift or tectonic window [J]. Geological Review, 2001, 47(6):561-565(in Chinese with English abstract).
- [6] Le Maitre R W. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Oxford:Blackwell Scientific Publications, 1989:1-193.
- [7] Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [M]. New York: Elsevier Science Publications B.V, 1984:62-114.
- [8] Wilson M.Igneous Petrogenesis:Global Tectonic Approach [M]. London:Unwin Hyman, 1989:1-164.
- [9] Condie K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archaean-Proterozoic boundary:identification and significance [J]. Lithos, 1989, 23:1-18.
- [10] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题 [J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1):92-103.  
Zhao Zhenhua. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(1):92-103 (in Chinese with English abstract).
- [11] Crawford A J, Fallon T J, Green D H. Classification,petrogenesis and tectonic setting of boninites [C]//Crawford A J(ed).Boninites. London:Unwin Hyman, 1989:1-49.
- [12] Piercey S J, Murphy D C, Mortensen J K. Boninitic magmatism in a continental margin setting,Yukon-Tanana terrane, southeastern Yukon[J]. Canada Geology, 2001, 29(8):731-734.
- [13] 张旗. 玻安岩和玻玄岩的地球化学特征和成因探讨 [J]. 地球化学, 1990, 19(3):207-215.  
Zhang Qi. A preliminary study on the geochemistry and origin of boninites and boni-basalts[J]. Geochimica, 1990, 19(3):207-215(in Chinese with English abstract).
- [14] 张旗, 孙晓猛, 周德进, 等. 北祁连蛇绿岩特征、形成环境及其构造意义[J]. 地球科学进展, 1997, 12(4):366-393.  
Zhang Qi, Sun Xiaomeng, Zhou Dejin, et al. The Characteristics of North Qilian ophiolites, forming settings and their tectonic significance[J]. Advance in Earth Sciences, 1997, 12(4):366-393(in Chinese with English abstract).
- [15] 张旗, Chen Yu, 周德进, 等. 北祁连大盆大坂蛇绿岩的地球化学特征及其成因[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(1):30-34.  
Zhang Qi, Chen Yu, Zhou Dejin, et al. Geochemical Characteristics and petrogenesis of Dacha Daban ophiolites, Northern Qilian [J]. Science in China(D), 1998, 28(1):30-34 (in Chinese).
- [16] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社, 2000:10-13.  
Zhang Qi, Zhou Guoqing. Ophiolites of China [M]. Beijing: Science Press, 2000:10-13(in Chinese with English abstract).
- [17] Beccaluva L, Serri G. Boninitic and low-Ti subduction-related lavas from intraoceanic arc-backarc systems and low-Ti ophiolites: A reappraisal of their petrogenesis and original tectonic setting [J]. Tectonophysics, 1998, 146(1/4):291-315.
- [18] Rollison J W. Using Geochemical Data:Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. New York:Longman Group UK Ltd. 1993.
- [19] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992:107-114.  
Li Changnian. Petrology and Trace Elements of Igneous Rocks[M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1992:107-114(in Chinese).
- [20] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts:implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 1989, 42:313-345.
- [21] 裴先治, 刘会彬, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区李子园群变质火山岩的地球化学特征及其地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(2):193-205.  
Pei Xianzhi, Liu Huibin, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of the meta-volcanic rocks in the Liziyuan group from Tianshui area,western Qinling orogen [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 30(2):193-205(in Chinese with English abstract).
- [22] 李曙光. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图[J]. 岩石学报, 1993, 9(2):146-157.  
Li Shuguang. Ba-Nb-Ta-La diagrams used to identify tectonic environments of ophiolite [J]. Acta Petrologica Sinica, 1993, 9(2): 146-157 (in Chinese with English abstract).
- [23] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive

- plate boundaries [C]//Thorpe, R. S. (ed). *Andesite*. Chichester: Wiley, 1982: 525-548.
- [24] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock[J]. *J. Petrol*, 1984, 25: 956-983.
- [25] 冯益民, 何世平. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-135.  
Feng Yimin, He Shiping. *Tectonics and Orogenic of the Qilian Mountains*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-135 (in Chinese with English abstract).
- [26] 冯益民. 祁连造山带研究概括——历史、现状及展望[J]. *地球科学进展*, 1997, 12(4): 307-314.  
Feng Yimin. Investigatory summary of the Qilian orogenic belt, China: History, presence and prospect [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1997, 12(4): 307-314 (in Chinese with English abstract).
- [27] 葛肖虹, 刘俊来. 北祁连造山带的形成与背景 [J]. *地学前缘*, 1999, 6(4): 223-230.  
Ge Xiaohong, Liu Junlai. Formation and tectonic background of the Northern Qilian orogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 223-230 (in Chinese with English abstract).
- [28] 邱家骧, 曾广策, 朱云海, 等. 北秦岭-南祁连早古生代裂谷造山带火山岩与小洋盆蛇绿岩套特征及纬向对比[J]. *高校地质学报*, 1998, 4(4): 393-405.  
Qiu Jiaxiang, Zeng Guangce, Zhu Yunhai, et al. Characteristics and latitudinal comparative research on the early Palaeozoic volcanic rocks of rifted orogenic belt and small ocean basin ophiolite suit from northern Qilian Mountains and southern Qilian Mountains [J]. *Geological Journal of China University*, 1998, 4(4): 393-405 (in Chinese with English abstract).
- [29] 杨巍然, 邓清禄, 吴秀玲. 拉脊山造山带断裂作用特征及与火山岩、蛇绿岩套的关系[J]. *地质科技情报*, 2000, 19(2): 5-11.  
Yang Weiran, Deng Qinglu, Wu Xiuling. Faulting of Laji orogenic belt and its relationship to volcanic rocks and ophiolites [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2000, 19 (2): 5-11 (in Chinese with English abstract).
- [30] 王二七, 张旗, Clark B Burchfiel. 青海拉鸡山: 一个多阶段抬升的构造窗[J]. *地质科学*, 2000, 35(4): 493-500.  
Wang Erqi, Zhang Qi, Clark B Burchfiel. The Lajishan fault belt in Qinghai Province : a multi-staged uplifting structural window[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35 (4): 493-500 (in Chinese with English abstract).
- [31] 侯青叶, 张宏飞, 张本仁, 等. 祁连造山带东部拉脊山古地幔特征及其归属[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 2005, 30(1): 61-70.  
Hou Qingye, Zhang Hongfei, Zhang Benren, et al. Characteristics and tectonic affinity of Lajishan paleo-mantle in Qilian orogenic belt: a geochemical study of basalt [J]. *Earth Science -Journal of China University of Geosciences*, 2005, 30 (1): 61-70 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张旗, 王焰, 钱青. 北祁连早古生代洋盆是裂陷槽还是大洋盆[J]. *地质科学*, 2000, 35(1): 121-128.  
Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing. The north Qilian oceanic basin of the early Paleozoic age: an aulacogen or a large oceanic basin[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35 (1): 121-128 (in Chinese with English abstract).
- [33] 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连-秦岭山系海相火山岩[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 1-304.  
Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, et al. *The Marine Facies Volcanic Rocks of Qilian Mountains*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 59-105 (in Chinese with English abstract).
- [34] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山海相火山岩成因 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 74-129.  
Xia linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. Pteogenesis of Marine Volcanic Rocks from Northern Qilian Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 74-129 (in Chinese).
- [35] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩成因[J]. *中国地质*, 2003. 30(1): 48-60.  
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. Magmagenesis of Ordovician back-arc basins in the Northern Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 2003, 30(1): 48-60 (in Chinese with English abstract).
- [36] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 利用地球化学方法判别大陆玄武岩和岛弧玄武岩[J]. *岩石矿物学杂志*, 2007, 26(1): 77-89.  
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. The discrimination between continental basalt and island arc basalt based on geochemical method[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2007, 26 (1): 77-89 (in Chinese with English abstract).
- [37] 张建新, 许志琴, 陈文, 等. 北祁连中段俯冲-增生杂岩/火山弧的时代探讨[J]. *岩石矿物学杂志*, 1997, 16(2): 112-119.  
Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Chen Wen, et al. A tentative discussion on the ages of the Subduction-Accretionary complex/volcanic arcs in the middle sector of North Qilian Mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1997, 16 (2): 112-119 (in Chinese with English abstract).
- [38] 张招崇, 毛景文, 杨建民, 等. 北祁连山西段早奥陶世阴沟群火山岩的构造背景[J]. *岩石矿物学杂志*, 1997, 16(3): 193-201.  
Zhang Zhaochong, Mao Jingwen, Yang Jianmin, et al. *Geology and Geochemistry of volcanic rocks of the early Ordovician Yingou Group in the western part of North Qilian Mountains and Their tectonic setting*[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1997, 16 (3): 193-201 (in Chinese with English abstract).
- [39] 钱青, 张旗, 孙晓猛, 等. 北祁连老虎山玄武岩和硅岩的地球化学特征及形成环境[J]. *地质科学*, 2001, 36(4): 444-453.  
Qian Qin, Zhang Qi, Sun Xiaomeng, et al. Geochemical features and tectonic setting for basalts and cherts from Laohushan, North Qilian [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, 36 (4): 444-453 (in Chinese with English abstract).
- [40] 吴才来, 姚尚志, 杨经绥, 等. 北祁连洋早古生代双向俯冲的花岗岩证据[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1198-1208.  
Wu Cailai, Yao Shangzhi, Yang Jingsui, et al. Double subduction of the Early Paleozoic North Qilian oceanic plate: Evidence from

- granites in the central segment of North Qilian, NW China [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (6):1197-1208 (in Chinese with English abstract).
- [41] 郭力宇, 甘枝茂, 李惠民. 北祁连山西段柳沟峡花岗质片麻岩锆石 U-Pb 法测年研究[J]. *中国地质*, 2002, 29(2):126-128.  
Guo Liyu, Gan Zhimao, Li Huimin. Single-zircon U-Pb dating of the Liugouxia granitic gneiss in the western segment of the North Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 2002, 29(2):126-128(in Chinese with English abstract).
- [42] 于福生, 王春英, 杜国民. 北祁连山东段新元古代火山岩的年代学证据[J]. *中国地质*, 2002, 29(4):360-363.  
Yu Fusheng, Wang Chunying, Du Guomin. Chronological evidence of Neoproterozoic volcanic rocks in the eastern segment of the North Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 2002, 29(4): 360-363( in Chinese with English abstract).
- [43] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代 [J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 529-540.  
Pei Xianzhi, Li Zuo Chen, Ding Sap ing, et al. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of island-arc basic igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling [J]. *Geology in China*, 2005, 32(4):529-540(in Chinese with English abstract).
- [44] 裴先治, 孙仁奇, 丁仁平, 等. 陇东地区阎家店闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义 [J]. *中国地质*, 2007, 34(1):8-16.  
Pei Xianzhi, Sun Renqi, Ding Sap ing, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Yanjiadian diorite in the eastern Qilian Mountains and its geological significance [J]. *Geology in China*, 2007, 34(1):8-16(in Chinese with English abstract).
- [45] 丁仁平, 裴先治, 刘会彬, 等. 西秦岭天水地区新元古代花岗质片麻岩的锆石 LA-ICP-MS 定年及其地质意义 [J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1217-1225.  
Ding Sap ing, Pei Xianzhi, Liu Huibin, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Xinyang Neoproterozoic granitoid gneisses in the Tianshui area, Western Qinling, and its geological significance [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (6):1217-1225 (in Chinese with English abstract).



## Tectonic affinity of the Wusushan Group in the central segment of the Qilian orogen

DING Sa-ping<sup>1</sup>, PEI Xian-zhi<sup>1</sup>, LI Zuo-chen<sup>1</sup>,  
LIU Shao-feng<sup>2</sup>, LI Rui-bao<sup>1</sup>, LI Gao-yang<sup>1</sup>, LIU Zhan-qing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Mineral Resources and Geology Engineering of Western China, Ministry of Education, School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100037, Beijing, China)

**Abstract:** Based on an analysis of the characteristics of the rock association and geochemistry of volcanic rocks of the Wusushan Group, combined with a comparative study of the regional geological setting of the neighboring regions, the authors discuss the environment and tectonic affinity and implications of the Wusushan Group in the southwest of Lanzhou in the Qilian orogen. The Wusushan Group is a rock association consisting mainly of intermediate and intermediate-basic volcanic rocks and dacite with small amounts of pyroclastic rocks and ordinary sedimentary rocks, which formed in the Mid-Late Ordovician and underwent low greenschist facies metamorphism. Geochemical characteristics of different types of volcanic rocks show that the rocks formed in an island arc or forearc tectonic setting. By analyzing the characteristics of the rock association and geochemistry of volcanic rocks of the Wusushan Group and comparing these characteristics with those of the Lajishan tectonic belt and North Qilian orogen, it is preliminarily thought that the Wusushan Group is probably not the eastward extension of the Lajishan tectonic belt but the structural remnants of the extension of the island arc belt at the southern margin of the North Qilian Mountains southwest of Lanzhou. The redefinition of the tectonic affinity of the Wusushan Group is of great significance for solving the eastward extension of the Qilian orogen, understanding the intersection relation between the Qilian orogen and Qinling orogen and establishing the tectonic framework of the east-central segment of the Qilian orogen.

**Key words:** Qilian orogen; Wusushan Group; island arc volcanic rocks; geochemistry

---

**About the first author:** DING Sa-ping, male, born in 1962, doctor and senior engineer, mainly engages in the study of regional geology and tectonics; E-mail: sapingd@sina.com.