

北祁连山东段海原一带海原群变质岩 原岩恢复及其构造背景

李天斌^{1,2}, 张学文^{1,3}, 王 成², 王荣兰²

LI Tian-bin^{1,2}, ZHANG Xue-wen^{1,3}, WANG Cheng², WANG Rong-lan²

1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 宁夏地质调查院, 宁夏 银川 750021;

3. 宁夏矿业开发公司, 宁夏 银川 750021

1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Ningxia Institute of Geological Survey, Yinchuan 750021, Ningxia, China;*

3. *Ningxia Mineral Development Company, Yinchuan 750021, Ningxia, China*

摘要: 对海原群的岩石组成、原岩性质和构造环境的研究表明, 海原群中云母片岩、石英片岩的原岩是泥质岩、杂砂岩等, 大理岩、石英岩的原岩为白云岩—灰岩、石英砂岩或硅质岩, 绿片岩和角闪岩的原岩为基性火山岩或次火山岩, 蛇纹岩的原岩为超镁铁质岩。变质沉积岩的形成构造环境判别结果表明, 它们形成于活动大陆边缘, 介于岛弧与稳定陆缘之间。变质基性火山岩主要亦介于岛弧拉斑玄武岩与板内玄武岩之间, 部分显示洋脊玄武岩的特征。认为海原群形成于岛弧—弧后盆地的构造环境。

关键词: 北祁连山; 海原群; 原岩恢复; 地球化学; 构造环境

中图分类号: P534.3; P588.34

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2006)01~02-0194-10

Li T B, Zhang X W, Wang C, Wang R L. Reconstruction of protoliths of metamorphic rocks and tectonic setting of the Haiyuan Group in the Haiyuan in the eastern segment of the North Qilian Mountains, China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2): 194-203

Abstract: Study of the composition and nature of the protoliths of metamorphic rocks in the Haiyuan Group and their tectonic setting shows that: the protoliths of mica schist and quartz schist of the Haiyuan Group are argillaceous rocks and graywacke; the protoliths of marble and quartzite are dolostone—limestone, quartzose sandstone or siliceous rocks; the protoliths of greenschist and amphibolite are basic volcanic rocks or subvolcanic rocks; the protoliths of serpentinite are ultramafic rocks. Tectonic setting discrimination of metasedimentary rocks indicates that they formed in an active continental-margin environment, between the island arc and the stable continental margin. Metabasic volcanic rocks are also mainly intermediate between island-arc tholeiite and within-plate basalt and partly show the features of mid-ocean basalt. On that basis, combined with the features of the rock association of the Haiyuan Group, it is thought that they formed in an island arc-back arc basin.

Key words: North Qilian Mountains; Haiyuan Group; protolith reconstruction; geochemistry; tectonic setting

海原群主要分布于宁夏西南部南华山—西华山一带, 西延至甘肃省黄家洼山, 呈北西向带状展布。大地构造位置处于北祁连造山带东段、阿拉善地块南缘、鄂尔多斯地块西缘(图1), 所处构造位置独特。北祁连山西连昆仑山, 东接秦

岭, 是中国大陆上主要的造山带之一。目前对北祁连中、西段(白银以西)研究较深入, 取得了许多重要成果^[1~13], 多数学者认为北祁连自晋宁期至早古生代经历了大陆裂谷—沟弧盆体系的成熟洋盆—俯冲消减—碰撞造山等演化阶段。但涉及

收稿日期: 2005-03-08; 修订日期: 2005-11-25

地调项目: 中国地质调查局《1:25万固原市幅区域地质调查》项目(编号: 200113000019)成果之一。

作者简介: 李天斌(1962—), 男, 在读博士, 教授级高级工程师, 从事区域地质矿产调查及地层、构造等研究。E-mail: nxddy@163.com

北祁连山带东段的研究还很薄弱,论述不多^[14-20],缺乏中西段与东段的对比研究。二者是怎么衔接的?已有认识尚存许多不确定性,而中元古代北祁连东段的构造体制和构造格局更是十分模糊。为此,笔者根据近年来开展的北祁连东段1:25万固原市幅区调和专题研究成果,系统全面地调查研究了中元古代海原群的岩石组成、地球化学特征、变形变质特征和构造背景,为全面恢复北祁连东段的地质构造演化历史提供了重要的基础资料。

1 海原群地层划分、岩石组成与原岩恢复

1.1 海原群地层划分与岩石组成

海原群为一套绿帘角闪岩相的区域变质岩系,基本属总体有序、局部无序的变质地层,依岩性组合自下而上划分为南华山组、园河组和西华山组3个岩石地层单位。

(1)南华山组(Chn):南华山组分布于南华山和黄家洼山。未见底,与上覆园河组呈韧性断层接触。为一套以绿片岩为主的(绿片岩-白云母钠长石英片岩-大理岩组合)岩石地层单位。下部岩性为灰绿—浅灰绿色绿帘绿泥阳起片岩、绿帘钠长角闪岩、黑云绿泥石英片岩夹浅灰色白云母石英片岩和少量浅灰—灰白色大理岩;上部为灰—浅灰色钠长白云母石英片岩、钠长白云母片岩夹灰绿色钠长绿泥阳起片岩、角闪绿帘钠长绿泥片岩、绿帘钠长角闪岩及少量灰—深灰色大理岩。岩石普遍遭受了绿帘角闪岩相区域变质,并经后期韧性剪切作用叠加,约60%的岩石改造为糜棱岩系岩石。

(2)园河组(Chy):园河组分布较广,南华山、西华山与黄家洼山均有出露。与下伏南华山组和上覆西华山组均呈韧性断层接触。为一套以大理岩为主的(大理岩-白云母钠长石英片岩-绿片岩组合)岩石地层单位,与南华山组和西华山组容易区别,纵向上大理岩与长英质片岩、绿片岩互为消长。岩性以灰白—浅灰色中厚—巨厚层大理岩、浅灰色白云母石英片岩、白云母钠长石英片岩、白云母片岩为主,夹少量灰绿色绿帘绿泥片岩、绿帘钠长角闪(片)岩及浅灰色含白云母石英岩。岩石普遍遭受了绿帘角闪岩相区域变质,约50%的岩石遭受动力变质成为糜棱岩系岩石。

(3)西华山组(Chr):西华山组主要分布于西华山,月亮山等地见有零星露头。与下伏园河组呈韧性断层接触,志留系早峡组不整合超覆于其上。为一套以白云母钠长石英片岩为主的(白云母钠长石英片岩-绿片岩-大理岩组合)岩石地层单位,以长英质片岩发育为特征,与南华山组和园河组相区别。岩性以灰—浅灰色白云母钠长石英片岩、白云母石英片岩、白云母片岩为主,夹少量灰绿色钠长绿帘阳起片岩、绿泥钠长片岩、灰白色石英岩及浅灰—灰白色大理岩。岩石普遍遭受了绿帘角闪岩相区域变质,并广泛叠加了韧性动力变形变质,约70%的岩石成为糜棱岩系岩石。

1.2 原岩恢复

关于海原群区域变质与韧性动力变形变质作用将另文

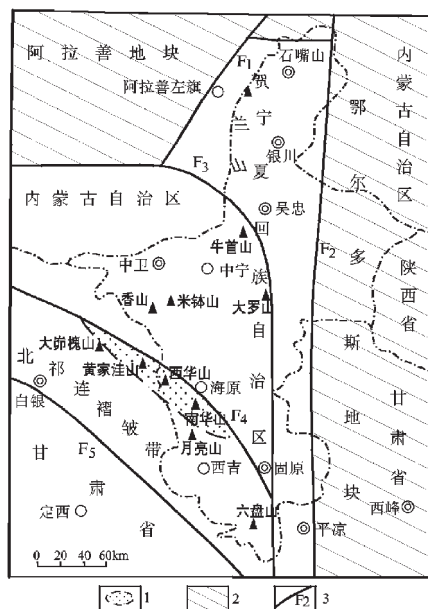


图1 海原群展布范围及所处大地构造位置示意图

Fig.1 Distribution and tectonic location of the Haiyuan Group

1—海原群展布范围;2—地块;3—深大断裂及编号;
F₁—贺兰山西缘断裂;F₂—车道—阿色浪断裂;F₃—六盘山—牛首山断裂;F₄—海原断裂;F₅—走廊南山北缘断裂

发表,此处为了解原岩形成构造环境仅对原岩进行恢复。

1.2.1 原岩为正常沉积岩的岩类

海原群中云母片岩、石英片岩、石英岩、大理岩的原岩为正常沉积岩。原岩恢复的主要依据如下。

(1)它们总体呈层状,按一定层位产出,片岩与大理岩、石英岩通常互为夹层组成具有一定沉积韵律的岩石共生组合。石英岩均为层状,未见脉状产出,因此可排除古老石英岩的可能。石英岩作为大理岩的夹层,其矿物组合单调,以石英为主,常伴有少许方解石或白云石晶粒,一般不见云母类矿物和锆石等副矿物,亦未见变余砂状结构,其原岩应属硅质岩。石英岩作为云母片岩和石英片岩的夹层,一般或多或少可见云母类矿物与之伴生,有时可见磨圆的副矿物锆石,有时亦见变余砂状结构,常呈较厚的岩层出现,其原岩应属石英砂岩。部分片岩、大理岩含石墨,其含量有时高达20%~36%。有些片岩富含方解石,沿走向过渡为大理岩,有时石英片岩因云母含量的降低而与石英岩呈渐变关系。据对部分白云母片岩中的矿物进行电子探针分析(表1),绿泥石多系铁绿泥石,白云母都含钠质,个别钠云母分子含量高达41%~93%,属钠云母,揭示其原岩为泥质岩石;部分云母为多硅白云母,显然为后期韧性剪切变形变质作用改造的产物。

(2)云母片岩、石英片岩、大理岩普遍含微古植物化石^①,部分层位的大理岩有叠层石产出。

① 宁夏区域地质调查队.1:5万蒿川幅、盐池公社幅、海原县幅、大嘴幅区域地质调查报告.1992.

(3)在ACF和A'KF图解(图2)中,云母片岩、石英片岩绝大部分投点都落入杂砂岩、粘土和页岩等正常沉积岩区。

(4)云母片岩、石英片岩稀土分析样结果投入La/Yb-TR图解(图3),全部落在粘土岩和砂岩、杂砂岩区。

(5)副矿物复杂,多呈碎屑状,锆石、磷灰石等普遍具磨蚀现象,延长系数小于1.6,显示机械搬运、沉积特征。

综上可见,云母片岩、石英片岩原岩应属泥质岩、粉砂岩、杂砂岩等。大理岩原岩无疑为白云岩—灰岩。石英岩原岩大部分为石英砂岩,少部分可能为硅质岩。

1.2.2 原岩为火山岩、次火山岩的岩类

海原群中绿片岩、角闪质岩的原岩大部分应属基性火山岩,少数为基性次火山岩。原岩恢复的主要依据如下。

(1)绿片岩通常以不稳定层状、似层状产出,少数斜长角闪岩呈岩床、岩墙、岩脉穿插于云母片岩、石英片岩、大理岩中(图4),其原岩可能分别相当于玄武岩和辉绿岩。

(2)个别脉状斜长角闪岩中含被角闪石、方解石等矿物交代的辉石残晶。

(3)据常量元素图解(图2)与稀土元素图解(图3)投点,绝大多数样品落入玄武、安山质岩或基性火山岩中。

(4)副矿物组合较简单,为磁铁矿、角闪石、绿帘石、磷灰石、少量锆石等。大部分锆石具火山岩、次火山岩的标型特征——普遍而强烈的熔蚀现象;部分呈良好晶形,少数有机械磨蚀痕迹,表明为碎屑锆石。其延长系数较宽,为1.3~3.2。

另外,蛇纹岩呈透镜状、豆荚状产出,其原岩为超镁铁质岩(图2),经巴尔特-尼格里标准矿物计算,原岩主要由橄榄石和斜方辉石组成,为斜方辉石橄榄岩。

2 海原群变质岩地球化学特征和形成环境

2.1 变质沉积岩地球化学特征及形成构造环境

海原群中的云母片岩、石英片岩的原岩应为泥质岩、砂

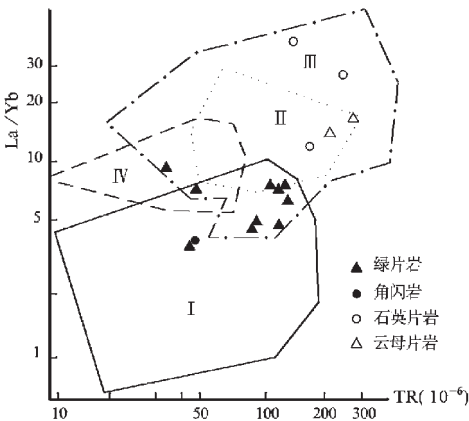


图3 La/Yb-TR判别图解
(据Ю. А. Балащов等,1972)

Fig.3 La/Yb-TR discrimination diagram

I—斜长角闪岩(变质基性火山岩)区;II—砂质岩和杂砂岩区;III—页岩和粘土岩区;IV—碳酸盐岩区

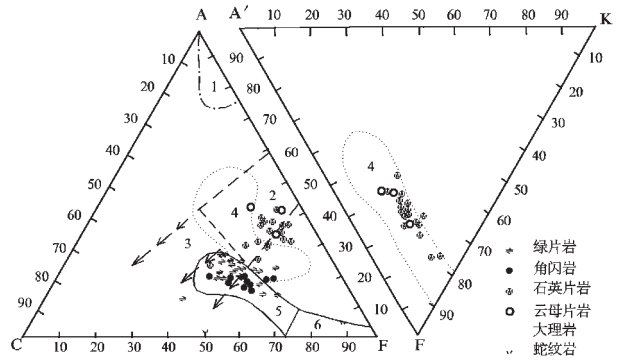


图2 ACF和A'KF图解(据Winkler, 1976)

Fig.2 ACF and A'KF diagrams

1—富铝粘土和页岩;2—粘土和页岩(虚线之内);
3—泥灰岩(箭头线之间);4—杂砂岩(点线之内);
5—玄武质岩和安山质岩(实线之内);6—超镁铁质岩

岩、杂砂岩、粉砂岩等,其变质矿物成分、岩石化学成分、稀土元素和微量元素丰度分别见表1—表3。常量元素中SiO₂50.79%~75.73%, Al₂O₃9.75%~20.24%, TiO₂0.53%~1.1%, TFe₂O₃+MgO5.45%~10.32%(TFe₂O₃=FeO+0.899Fe₂O₃),其含量变化区间较大,介于Bhatia^[21]所统计的稳定陆缘—大陆岛弧型砂岩成分之间(表2)。Bhatia研究砂岩成分与板块构造环境的关系时认为:常量元素中TiO₂、TFe₂O₃+MgO含量和Al₂O₃/SiO₂、K₂O/Na₂O、Al₂O₃/(CaO+Na₂O)比值是判别构造环境最有意义的参数,从大洋岛弧→大陆岛弧→大洋岛弧→活动大陆边缘→被动大陆边缘,TiO₂、TFe₂O₃+MgO含量及Al₂O₃/SiO₂减少,K₂O/Na₂O、Al₂O₃/(CaO+Na₂O)比值增加。TFe₂O₃+MgO对TiO₂、Al₂O₃/SiO₂变异图解(图5)反映海原群变质沉积岩与岛弧—活动陆缘环境有关。

需要指出的是,海原群变质沉积岩的K₂O/Na₂O比值变化较大(0.94~7.33),尽管K₂O/Na₂O常被一些学者用来区分

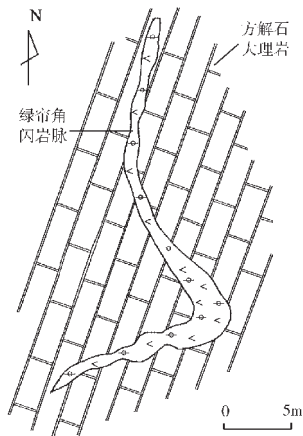


图4 绿帘角闪岩脉素描(老爷寺南)

Fig.4 Sketch of the epidote amphibolite dike

表1 海原群变质岩变质矿物电子探针分析数据

Table 1 Microprobe analysis of minerals in metamorphic rocks of the Haiyuan Group

岩石 名称 样号 矿物	绿泥白云母 片岩 b-438 绿泥石 白云母	白云母 片岩 D-2 白云母	钙质绿泥 白云母片岩 b-465 绿泥石 白云母 白云母 石英	二云钠长 石英片岩 D-1 绿泥石 白云母	石榴石 黑云母 b-309 石榴石 黑云母	绿帘绿泥 角闪片岩 b-565 角闪石 石榴石 斜长石	绿帘绿泥 角闪片岩 b-566 角闪石 斜长石	硅质白云石 大理岩 b-20 白云石 方解石	高绿片 岩相 W-2 石榴石 黑云母 白云母	低绿片 岩相 W-1 角闪石 斜长石
SiO ₂	23.454 46.525	51.210	25.48 47.750 46.650 99.610	25.382 50.507	37.594 36.001	41.450 37.930 69.110	42.630 68.370	0.110 0.671	38.174 37.483 52.192	54.663 68.729
TiO ₂	0 0.181	0.181	0.06 0.120 0.090 0	0.057 0.121	0.172 1.876	0.200 0.140 0.030	0.350 0	0 0	0.048 2.525 0.512	0.083 0.042
Al ₂ O ₃	23.089 33.785	27.876	19.88 31.25 36.41 0	21.888 28.216	20.008 18.071	14.01 18.86 19.05	11.46 19.08	0 0.304	21.410 18.777 26.236	3.855 20.647
Fe ₂ O ₃	0.461 0.653	0.401		1.144 0.517	9.77 0.63					
FeO	27.606 0.784	1.93	27.54 1.69 0.59 0.07	25.843 2.63	20.24 16.899	20.96 31.9 0.02	20.93 0.17			
ΣFeO	27.994 1.363	2.299		26.853 3.113	29.042 17.43			2.451 1.128	31.519 19.549 3.588	13.646 0.051
MnO	0.108 0	0	0.18 0 0.03	0.362 0.038	2.817 0.221	0.33 3.31 0	0.19 0.04	0.34 0.266	1.157 0.168 0.029	0.361 0.026
MgO	13.574 1.181	3.925	14.9 1.15 0.14 0.02	15.115 3.072	1.42 10.881	7.14 1.17 0.02	7.38 0.03	18.059 0.806	1.415 7.746 3.260	13.252 0.036
CaO	0 0	0	0.04 0.14 0.03	0.041 0	8.415 0	10.95 8.05 0.14	11.32 0.23	27.241 34.243	5.963 0.044 0.011	9.942 0.021
Na ₂ O	0 1.088	0.287	3.05 6.95 0	0.059 0.117	0.041 0.148	1.38 0.04 10.85	1.03 10.99	0.072 0.467	0.085 0.110 0.201	1.199 11.554
K ₂ O	0.01 10.599	9.23	0 7.43 0.84	0 9.658	0 11.297	0.52 0 0.07	0.43 0.07	0.03 0.072	0 9.002 11.183	0.132 0.088
以氧原子计	14 11 11	11 11 11	14 11 11	14 11 11	12 11 12	23 12 8	23 8 23	2 1 1	12 11 11	23 8
Si	2.50 3.121	3.394	2.718 3.245 3.092	2.621 3.378	3.054 2.735	6.242 3 3.026	6.433 3.01	0 0.016	3.036 2.746 3.441	7.778 2.965
Al ^{IV}	1.50 0	0	0.006 0.755 0.908	1.379 0	0 1.265	1.758 0.984	1.567 0.989	0 0	1.254 0.559	0.22 1.035
Al ^{VI}	1.397 2.669	2.175	1.282 1.743 1.937	1.292 2.225	1.912 0.351	0.724 1.798	0.475 0	0 0.009	2.007 0.367 1.480	0.348 0.015
Ti	0 0.008	0.008	1.218 0.008 0.004	0.006 0.008	0.01 0.105	0.027 0.01 0	0.036 0	0 0	0.003 0.139 0.008	0.008 0.001
Fe ³⁺	0.037 0.033	0.02	0 0	0.089 0.026	0.597 0.036	0.762 0.114 0	0.981 0	0 0	0.146 0.798 0.107	1.009 0.002
Fe ²⁺	2.463 0.044	0.107	2.455 0.098 0.032	2.234 0.147	1.374 1.074	1.914 2.044 0	1.668 0.005	0.087 0.023	1.934 0.311 0.079	0.496 0
Mn	0.013 0	0	0.019 0 0	0.031 0.004	0.195 0.014	0.045 0.228 0	0.028 0.003	0.01 0.006	0.078 0.010 0.002	0.043 0.001
Mg	2.16 0.117	0.386	2.372 0.118 0.012	2.329 0.305	0.171 1.233	1.601 0.14 0	1.778 0	0.907 0.029	0.168 0.846 0.320	2.812 0.002
Ca	0 0	0	0.006 0.008 0.008	0.006 0	0.732 0	1.78 0.7 0.005	1.851 0.011	0.984 0.884	0.508 0.004 0.001	1.513 0.001
Na	0 0.145	0.04	0 0.441 0.892	0.012 0.016	0.005 0.018	0.401 0 0.921	0.312 0.937	0 0.023	0.013 0.016 0.026	0.325 0.967
K	0 0.911	0.781	0 0.645 0.072	0 0.827	0 1.096	0.109 0 0.005	0.092 0.003	0 0.003	0 0.842 0.941	0.017 0.005
	钠云母 分子14%	钠云母 分子5%	铁绿 泥石 分子41% 钠云母 分子93%	钠云母 分子2%	Alm=63% Py=6% Sp=7% And=4% Gro=20%	铁钙镁 角闪石 Alm=66% Py=4% Sp=7% And=7% Gro=16%	铁钙镁 角闪石 An=1 Ab=99	Alm=73% Py=6% Sp=9% Gro=8%	多硅白 云母(钠 云母分 子6%)	Alm=99% An=0 Or=1%

注:除W-1、W-2为甘肃省区调队资料(吉林大学电子探针室分析)外,其他都为宁夏地质调查院资料,其中b-438、309、20、D-1、2由吉林大学电子探针室分析,b-465、565、566由北京大学电子探针室分析;氧化物含量%

表2 海原群变质岩岩石化学成分

Table 2 Major element chemistry of metamorphic rocks of the Haiyuan Group

地层 单位	样号 ^①	岩 性	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	CO ₂	SO ₃	灼失	总计
南 华 山 组	R ₂ S-10	阳起钠长片岩	46.48	2.43	12.47	7.85	6.97	0.29	6.67	9.61	1.69	0.42	0.51	1.70		3.27	100.36
	R ₂ S-11	绿泥钠长片岩	44.67	2.44	14.07	8.08	6.59	0.26	6.65	10.66	1.18	0.28	0.55	1.12		3.44	99.77
	R ₂ S-12	绿泥钠长片岩	48.02	1.40	14.18	7.34	4.37	0.18	8.46	9.71	1.5	0.64	0.35	1.48		2.75	100.55
	R ₂ S-19	阳起奥长片岩	45.43	2.48	13.40	7.78	6.30	0.23	7.82	11.05	0.09	0.30	0.39	1.18		3.06	99.47
	R ₂ S-31	钠长阳起片岩	46.52	2.09	14.38	4.10	9.38	0.25	6.30	10.40	1.78	0.07	0.22	0.96		3.28	99.71
	R ₂ S-33	阳起钠长片岩	46.72	1.50	13.20	4.77	7.26	0.24	7.11	12.09	1.87	0.07	0.13	1.78		2.78	99.52
	R ₂ S-37	钠长绿帘片岩	46.48	2.77	14.04	6.06	7.82	0.29	7.54	10.16	1.84	0.42	0.32	0.40		1.16	99.25
	R ₂ S-38	绿帘钠长片岩	46.50	1.78	13.46	6.07	7.45	0.29	8.02	10.18	1.62	0.41	0.22	0.24		2.98	99.82
	YQ-14	绿帘阳起片岩	48.23	0.95	14.00	3.32	9.11	0.21	7.81	11.52	2.00	0.26	0.04	0.28	0.02	2.86	100.61
	YQ-18	绿帘阳起片岩	50.69	0.85	13.76	2.62	7.26	0.19	7.67	12.18	2.08	0.18	0.04	0.12	0.02	2	99.66
	YQ-17	绿帘绿泥片岩	46.24	1.18	13.26	3.87	7.09	0.18	6.89	12.08	2.54	0.26	0.06	0.36	0.01	3.26	100.28
	YQ-81	钠长绿泥片岩	48.18	1.40	13.83	2.79	9.30	0.14	6.38	5.29	2.89	0.36	0.07	0.30	0.04	5.84	99.81
	YQ-21	钠长绿泥片岩	45.24	1.75	13.53	4.55	8.26	0.23	6.31	10.10	3.06	0.50	0.05	0.16	0.07	3.8	100.61
	YQ-12	绿帘绿泥片岩	52.19	1.85	12.38	3.00	8.04	0.18	5.43	6.18	2.00	1.00	0.10	0.34	0.02	4.4	100.21
	YQ-6	绿泥钠长片岩	47.54	1.85	13.72	6.66	7.46	0.23	5.53	10.57	2.44	0.41	0.09	0.96	0.15	2.24	99.85
	YQ-20	斜长角闪岩	48.19	2.16	13.80	4.08	9.78	0.26	6.21	8.45	3.44	0.78	0.07	0.44	0.04	2.34	100.04
	YQ-5	斜长角闪岩	48.56	1.05	13.80	3.03	8.33	0.22	7.64	11.75	2.14	0.26	0.05	0.80	0.02	2.4	100.05
	YQ-15	斜长角闪岩	46.61	0.95	13.40	2.37	8.89	0.22	7.33	9.11	3.64	0.26	0.04	0.36	0.03	4.14	100.55
	YQ-2	斜长角闪岩	49.80	1.08	12.73	3.77	6.41	0.18	5.77	11.71	2.84	0.26	0.05	0.32	0.02	2.8	100.70
YQ-3	绿帘角闪岩	48.48	1.40	12.84	3.75	8.51	0.22	6.65	11.38	2.08	0.26	0.06	1.68	0.03	2.88	100.22	
R ₂ S-36	黑云石英片岩	70.54	0.66	13.19	2.09	3.26	0.05	2.86	1.69	2.44	2.88	0.28	0		0	100.03	
R ₂ S-8	钠长石英片岩	68.31	0.58	13.01	0.75	4.63	0.10	2.76	1.55	1.82	2.82	0.38	1.56	0.003	2.94	101.21	
R ₂ S-13	钠长石英片岩	69.26	0.67	11.03	2.57	3.11	0.10	2.63	1.87	1.69	3.15	0.43	1.40	0.008	1.78	99.70	
R ₂ S-14	白云石英片岩	70.30	0.66	11.57	1.22	3.36	0.08	2.13	2.17	2.19	2.34	0.45	1.70	0.001	1.8	100.36	
R ₂ S-32	钠长石英片岩	69.58	0.70	15.55	2.15	4.22	0.10	2.86	2.10	1.87	3.48	0.27	0		0	99.83	
YQ-7	白云石英片岩	62.31	0.85	17.07	1.58	5.24	0.08	2.72	0.61	2.18	3.78	0.05	0	0.03	3.36	99.86	
YQ-4	二云石英片岩	71.28	0.60	11.52	0.40	3.91	0.08	1.66	2.22	2.62	2.46	0.07	1.08	0.03	1.94	99.87	
YQ-13	二云石英片岩	68.48	0.80	13.15	2.01	3.44	0.07	2.58	0.85	2.08	3.34	0.07	0	0.01	2.66	99.54	
YQ-19	二云石英片岩	74.74	0.60	10.54	1.26	2.89	0.07	1.43	1.23	2.31	2.66	0.06	0.08	0.04	1.46	99.37	
YQ-96	钠长石英片岩	50.79	0.04	10.25	0.78	4.09	0.10	2.88	13.64	1.18	2.48	0.14	10.28	0.02	2.74	99.41	
园 河 组	R ₂ S-40	阳起钠长片岩	45.62	1.33	10.33	2.81	11.31	0.25	11.83	9.19	2.04	0.43	0.18	0.88		3.88	100.03
	R ₂ S-43	钠长阳起片岩	46.90	2.10	14.47	4.69	10.09	0.33	7.68	10.40	1.11	0.20	0.24	0.60		1.36	100.14
	R ₂ S-44	钠长阳起片岩	46.12	2.64	12.85	4.76	11.64	0.38	7.54	8.71	2.46	0.66	0.29	0.42		1.77	100.05
	YQ-41	绿帘阳起片岩	47.35	0.93	14.20	3.91	7.11	0.10	7.57	10.53	2.12	0.36	0.05	1.47	0.01	3.80	99.51
	YQ-43	钠长阳起片岩	48.09	1.05	14.05	7.29	5.20	0.14	6.96	6.09	4.26	1.00	0.05	1.92	0.01	3.76	99.87
	YQ-35	钠长阳起片岩	52.56	1.18	14.60	6.22	5.66	0.18	3.60	5.24	4.74	1.10	0.14	1.88	0.02	3.32	100.39
	YQ-39	绿泥阳起片岩	48.96	1.50	12.77	2.80	7.39	0.18	6.79	6.70	3.62	0.64	0.07	3.09	0.02	4.42	99.95
	YQ-10	钠长绿泥片岩	39.58	0.68	10.06	3.28	5.71	0.24	5.46	16.10	2.08	1.08	0.04	11.84	0.04	4.30	100.49
	YQ-8	斜长角闪岩	48.48	2.00	12.42	2.54	9.36	0.18	6.45	5.76	2.62	0.70	0.11	3.72	0.02	5.46	99.82
	YQ-16	斜长角闪岩	48.28	1.96	13.86	2.60	10.40	0.22	6.69	10.05	2.80	0.66	0.10	0.16	0.02	1.70	99.50
	YQ-11	斜长角闪岩	47.79	1.60	12.71	4.01	9.74	0.26	5.94	10.29	2.36	1.26	0.05	1.36	0.04	3.00	100.41
	YQ-42	钠长角闪岩	48.20	1.18	12.77	3.98	9.68	0.20	7.91	7.50	2.34	1.00	0.05	1.25	0.09	3.24	99.39
	R ₂ S-9	绿泥石英片岩	67.55	1.10	12.10	2.87	3.31	0.11	2.53	1.93	1.43	2.96	0.36	1.50	0.01	1.93	99.69
	R ₂ S-34	奥长石英片岩	75.20	0.60	10.93	1.73	3.00	0.05	2.34	2.72	2.15	2.15	0.24	0		0	101.11
	YQ-36	钠长白云片岩	71.66	0.70	10.92	1.54	3.70	0.10	1.97	1.32	1.88	2.46	0.08	0.67	0.03	2.82	99.85
	YQ-56	绿泥白云片岩	57.05	0.70	18.57	1.24	5.79	0.07	2.85	2.55	0.60	4.40	0.05	1.98	0.23	4.40	100.48
	YQ-9	钠长白云片岩	56.51	0.90	20.24	0.87	6.45	0.07	3.09	0.99	1.84	4.28	0.04	0.64	0.05	4.34	100.31
	YQ-94	白云石英片岩	73.56	0.53	10.64	0.80	3.30	0.06	1.91	0.89	2.26	2.56	0.16	0.54	0.01	2.18	99.40
	YQ-38	白云石英片岩	70.94	0.63	12.45	0.80	4.20	0.10	2.14	1.18	1.60	2.92	0.06	0.33	0.03	2.66	100.04
YQ-82	白云石英片岩	72.01	0.78	10.79	1.21	3.95	0.06	2.13	1.16	1.18	2.94	0.08	0.88	0.02	2.60	99.79	
YQ-37	石英岩	94.90	0.05	1.34	0.01	0.85	0.03	0.34	1.09	0.08	0.26	0.04	0.53	0.04	0.96	100.52	
YQ-59	方解石大理岩	4.44	0.08	1.71	0.17	0.41	0.02	1.02	50.98	0.20	0.20	0.02	40.52	0.02	0.92	100.71	
YQ-100	白云石大理岩	0.43	0.05	0.59	0	0.31	0.01	21.71	30.20	0.56	0.03	0.04	46.09	0	0.84	100.86	
西 华 山 组	YQ-31	钠长阳起片岩	47.20	0.93	13.92	3.63	8.43	0.22	7.94	10.76	2.12	0.08	0.04	0.31	0.34	4.10	100.02
	YQ-62	绿泥阳起片岩	48.74	2.00	14.07	4.51	8.94	0.18	6.11	9.16	2.38	0.36	0.08	0.14	0.02	3.20	99.89
	YQ-28	阳起绿泥片岩	48.05	1.60	13.91	3.30	8.69	0.22	7.03	10.29	2.36	0.74	0.07	0.20	0.03	3.00	99.66
	YQ-26	绿泥钠长片岩	46.50	1.13	12.87	1.73	9.99	0.22	7.91	8.50	3.54	0.20	0.05	3.36	0.02	4.60	100.62
	YQ-30	斜长阳起片岩	49.13	1.40	14.46	3.25	7.93	0.22	6.62	8.97	3.12	0.36	0.06	0.11	0.10	3.64	99.61
	YQ-92	斜长角闪岩	43.27	1.20	12.82	5.30	7.33	0.16	7.91	8.78	3.34	0.66	0.05	4.88	0.03	5.02	100.75
	YQ-61	白云母片岩	60.58	0.63	12.63	0.75	4.05	0.08	2.75	6.37	1.64	2.68	0.04	4.92	0.03	2.78	99.87
	YQ-32	白云石英片岩	75.53	0.90	9.75	2.16	2.20	0.08	1.87	0.57	0.60	3.28	0.04	0.05	0.04	2.78	100.05
	YQ-29	白云石英片岩	72.88	0.60	11.21	1.70	2.59	0.07	1.80	1.09	2.34	2.64	0.06	0.09	0.01	2.30	99.38
	YQ-27	白云石英片岩	61.10	1.00	15.07	3.28	4.16	0.10	2.95	1.98	0.94	4.38	0.04	1.28	0.06	3.74	99.63
YQ-33	石英岩	95.38	0.05	0.99	0.05	1.11	0.05	0.07	0.71	0	0.18	0.01	0.53	0.05	1.10	100.28	
②	洋脊拉斑玄武岩		49.80	1.50	16.00	2.00	7.50		7.50	11.2	2.80	0.14					
	岛弧拉斑玄武岩		51.10	0.83	16.10	3.00	7.30		5.10	10.8	2.00	0.30					
	大陆裂																

表3 海原群变质岩稀土元素、微量元素丰度及特征参数
Table 3 REE and trace element abundances and characteristics parameters for metamorphic rocks of the Haiyuan Group

地层 样品 ^① 岩石 名称	南 华 山 组										园 河 组				西 华 山 组				大洋岛弧 杂砂岩 ^②	大陆岛弧 杂砂岩 ^②	活动陆缘 杂砂岩 ^②	稳定陆缘 杂砂岩 ^②
	XT-2 钠长石 英片岩	X-4 钠长石 云片岩	X-5 钠长石 云片岩	X-2 钠长阳 起片岩	X-3 绿帘钠 长片岩	X-23 钠长阳 起片岩	XT-1 斜 长 角闪岩	X-24 阳起钠 长片岩	X-27 绿帘钠 长片岩	X-28 绿帘钠 长片岩	X-15 奥长石 英片岩	X-30 阳起钠 长片岩	X-34 钠长阳 起片岩	X-35 钠长阳 起片岩	XT-3 钠长阳 起片岩	XT-4 白云石 英片岩	XT-5 钠长阳 起片岩					
La	30.50	52.00	40.00	24.00	12.50	9.15	6.01	5.03	18.00	13.00	25.20	19.00	21.00	21.50	7.85	52.20	6.09	8.72±2.5	24.4±2.3	33.0±4.5	44.5±5.8	
Ce	56.00	120.00	98.00	50.00	26.00	19.70	13.50	11.90	34.00	24.00	79.80	34.00	41.00	37.00	14.30	99.40	13.50	22.5±35.9	50.5±4.3	72.7±9.8	71.9±11.5	
Pr	6.29	12.50	8.20	5.60	3.35	2.88	1.74	1.63	4.90	3.70	9.32	4.80	5.00	5.10	1.89	10.00	1.79					
Nd	29.10	45.00	28.50	22.00	13.00	18.60	9.79	9.03	22.00	17.00	37.10	20.00	25.00	24.00	8.64	44.40	8.92					
Sm	4.92	9.20	7.20	6.40	3.70	4.23	2.60	2.36	5.80	4.40	5.97	4.80	6.60	6.30	2.09	7.45	2.61					
Eu	0.768	1.20	1.14	1.60	1.23	1.54	0.978	0.855	2.10	1.500	1.120	1.500	2.350	2.400	0.718	1.150	0.918					
Gd	3.31	5.90	4.70	5.50	4.30	5.21	3.05	2.95	6.10	4.60	4.82	4.40	6.10	6.00	2.48	5.70	2.83					
Tb	0.564	1.000	0.780	0.970	0.800	0.856	0.512	0.488	1.040	0.800	0.879	0.840	1.100	1.040	0.499	1.000	0.464					
Dy	3.33	6.20	5.60	6.40	5.35	5.57	3.87	3.53	7.70	5.80	4.40	5.60	7.40	7.40	3.39	6.43	3.20					
Ho	0.607	1.200	1.200	1.500	1.100	1.140	0.910	0.719	1.550	1.100	0.771	0.980	1.350	1.380	0.696	1.210	0.544					
Er	1.23	3.60	3.30	4.00	3.25	3.44	2.22	1.97	4.30	3.00	2.30	2.80	3.80	3.50	1.67	2.98	1.11					
Tm	0.167	0.550	0.480	0.660	0.480	0.370	0.300	0.238	0.610	0.440	0.306	0.450	0.520	0.510	0.244	0.432	0.137					
Yb	0.780	3.000	2.800	3.500	2.800	2.160	1.560	1.420	3.600	2.700	1.990	2.700	3.000	3.100	1.120	1.970	0.647					
Lu	0.120	0.440	0.430	0.420	0.380	0.294	0.230	0.183	0.550	0.440	0.286	0.390	0.480	0.460	0.160	0.313	0.083					
Σ REE	137.69	261.79	202.33	132.55	78.24	75.14	47.27	42.30	108.25	82.48	174.26	102.26	124.63	119.69	45.73	234.64	51.5	58±10	146±20	186	210	
LREE/HREE	12.62	10.96	7.42	4.77	3.32	2.82	2.74	2.68	1.49	3.38	10.06	4.63	4.26	4.12	3.47	10.71	3.75	3.8±0.9	7.7±1.7	9.1	8.5	
δ Eu	0.59	0.5	0.61	0.83	0.89	1.01	1.07	1	1.08	1.02	0.76	0.99	1.15	1.19	0.97	0.55	1.04	1.04±0.11	0.79±0.13	0.60	0.56	
(La/Sm) _N	3.77	3.44	3.38	2.28	2.06	3.19	1.41	1.3	1.89	1.8	2.57	2.41	1.94	2.08	2.28	4.28	1.42	2.8±0.9	7.5±2.5	8.5	10.8	
(La/Yb) _N	25.78	11.42	9.41	4.52	2.94	2.33	2.54	2.34	2.29	3.19	8.34	4.64	4.61	4.57	4.62	17.46	6.2					
(La/Lu) _N	26.03	12.10	9.52	5.85	3.37	2.79	2.68	2.81	3.35	2.29	9.02	4.99	4.39	4.99	5.03	17.01	7.51					
(Ce/Yb) _N	18.33	10.2	8.93	3.64	2.37	1.93	2.21	2.14	2.16	2.27	10.23	3.21	3.49	3.01	3.26	12.87	5.32					
La/Y	2.99	1.68	1.43	0.69	0.42	0.42	0.34	0.36	0.53	0.52	1.58	0.86	0.71	0.74	0.62	2.19	0.70	0.48±0.12	1.02±0.07	1.33±0.09	1.31±0.26	
La/Yb	39.10	17.33	14.29	6.86	2.24	4.24	3.85	3.54	5.00	4.81	12.66	7.04	7.00	6.94	7.01	26.50	9.41	4.2±1.3	7.5±2.5	8.5	10.8	
Sm/Nd	0.17	0.20	0.25	0.29	0.28	0.23	0.27	0.26	0.26	0.26	0.16	0.26	0.24	0.26	0.24	0.17	0.29					
Ba				91.0	380.0				200.0	200.0		320.0										
Rb				13.0	109.0				14.0	13.0		20.0		11.0	14.0							
Sr				166.0	58.0				180.0	190.0		220.0										
Zr	118.0			98.0	78.0	102.0	58.0	66.0	104.0	91.0		82.0	135.0	128.0	63.0	270.0	65.0	96±20	229±27	179±33	298±80	
Hf	3.6			2.2	2.1	7.1	2.1	2.2	2.4	3.0		2.1	3.0	3.0	2.1	6.5	2.7					
Nb	4.0			11.8	5.9	13.0	4.0	7.5	8.0	6.4		9.7	8.9	10.8	3.0	6.0	3.0					
Ta	0.4			1.6	0.4	0.4	0.4	0.4	1.2	1.6		0.8	0.8	1.8	0.4	0.4	0.4					
U	1.4			4.3	2.5	1.0	1.4	0.8	0.5	0.5		0.9	0.8	1.2	1.3	2.2	1.2					
Th	15.0			1.2	1.1	1.6	4.8	1.0	2.1	1.9		3.3	2.8	2.7	4.0	20.0	6.6					
Sc	5.42					14.6	32.0	16.1	46.0	45.0			32.0	41.0	29.2	10.2	17.7	19.5±5.2	14.8±1.7	8.0±1.1	6.0±1.4	
V				35.0	30.0	405.0	17.6	26.5				24.5	47.0	51.0	12.6			131±40	89±13.7	48±5.9	31±9.9	
Ni	57.0			53.0	79.0	66.6	74.0	70.1	42.0	57.0		22.0	47.0	51.0	79.0	23.0	86.0	186.3	122.7	101.7	52.4	
Co				55.0	4.8	32.8		39.1	34.0	35.0		25.0	34.0	40.0								
Cr	240.0			82.0	84.0	51.2	151.0	101.0	63.0	65.0		47.0	48.0	36.0	116.0	73.0	204.0	4800±1200	3900±600	2600±200	2200±600	
Ti	2360	4020	3960	8633	7254	12670	6650	7778	17200	14400	3600	13400	18000	18000	5740	3480	5920	4800±1200	3900±600	2600±200	2200±600	
La/Sc	5.6					0.63	0.19	0.31	0.39	0.29			0.66	0.52	0.27	5.11	0.34	0.55±0.22	1.82±0.3	4.55±0.8	6.25±1.35	
Ti/Zr	20					124.22	114.66	117.85	165.38	158.24		163.41	133.33	140.63	91.11	12.89	91.08	56.8±2.14	19.7±4.3	15.3±2.4	6.74±0.9	
Sc/Cr	0.023					0.285	0.212	0.159	0.73	0.692			0.667	1.139	0.252	0.14	0.087	0.57±0.16	0.32±0.06	0.30±0.02	0.16±0.02	
Y/Nb	2.55			2.97	5.08	1.67	4.4	1.84	4.25	3.91		2.27	3.31	2.69	4.2	3.97	2.88					
Th/Ta	37.5			0.75	2.75	4.0	12.0	2.5	1.75	1.18		4.13	3.5	1.5	10.0	50.0	16.5					

注:①XT为宁夏地质调查院资料,X为甘肃省区调队资料,分析单位都为宜昌地质矿产研究所岩矿测试室,电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)分析(2001);②右端4列据

M.R.Bhatia,1983;元素含量10⁻⁶

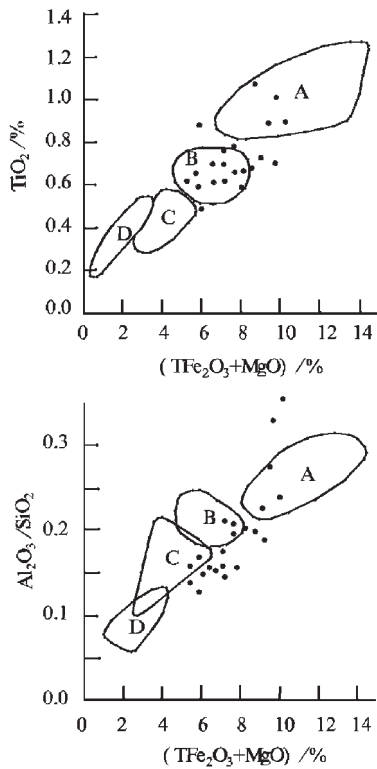


图5 TFe₂O₃+MgO对TiO₂、Al₂O₃/SiO₂图解^[21]

Fig.5 Diagrams of TFe₂O₃+MgO vs. TiO₂、Al₂O₃/SiO₂

A—大洋岛弧杂砂岩;B—大陆岛弧杂砂岩;C—活动大陆边缘杂砂岩;D—被动大陆边缘杂砂岩

砂岩形成时的不同构造环境,但K₂O/Na₂O明显受岩石矿物组成和粒度的影响,并与岩石中SiO₂、Al₂O₃的含量有关,同一环境中形成的砂岩的K₂O/Na₂O可以有相当大的变化范围,加之原岩变质,K、Na有很大的活动性,因而不宜作为判别砂岩形成环境的独立参数。因此,Roser等^[22]综合考虑K₂O/Na₂O与SiO₂的相互关系,认为可以有效地用于砂岩形成构造环境的判别。在K₂O/Na₂O与SiO₂关系图解中,活动陆缘(ACM)与稳定陆缘(PM)的分界线呈一向右倾斜的直线。稳定陆缘型砂岩,当其SiO₂含量较高时,可以具有很低的K₂O/Na₂O(≤1)。在图6中,海原群变质沉积岩除个别样品投在稳定陆缘(PM)区外,绝大部分样品投在活动陆缘(ACM)区,且多靠近稳定陆缘与活动陆缘的分界线,说明海原群变质沉积岩主要形成于活动陆缘区,部分靠近稳定陆缘区。

由表3可知,海原群变质沉积岩与Bhatia^[23]认为判别效果较好的微量元素参数比较,La、Nd的含量和La/Y、La/Sc、La/Yb介于稳定陆缘型与活动陆缘型之间。Ce、LREE/HREE变化于岛弧与稳定陆缘之间;而高Ti低Zr与岛弧环境密切相关。在Ti/Zr-La/Sc图解(图7)中,样品投在活动陆缘区及上方。其球粒陨石标准化稀土模式(图8)较接近于安第斯型,变化于被动边缘型与大陆岛弧型砂岩之间。

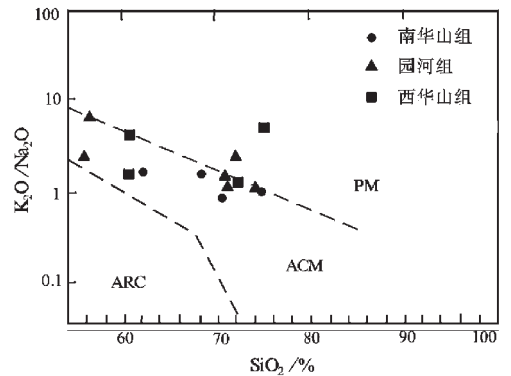


图6 (K₂O/Na₂O)—SiO₂图解^[22]

Fig.6 (K₂O/Na₂O)—SiO₂ discrimination diagram
ARC—岛弧(洋内弧);ACM—活动陆缘;PM—稳定陆缘

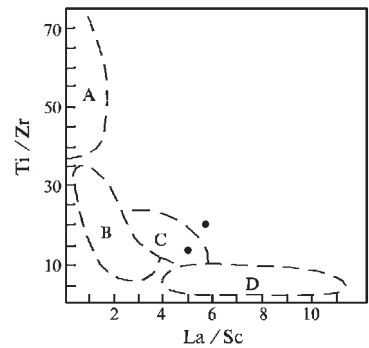


图7 Ti/Zr-La/Sc判别图解

(据Bhatia, 1985;A、B、C、D说明同图5)

Fig.7 Ti/Zr-La/Sc discrimination diagram

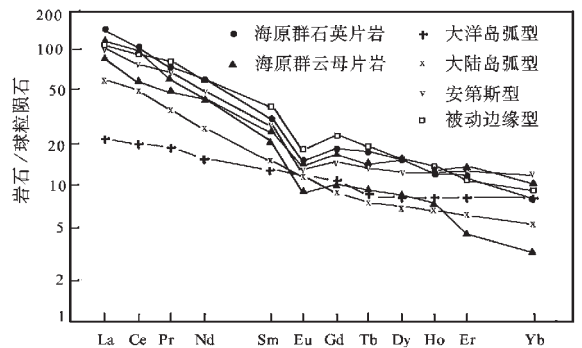


图8 海原群变质沉积岩稀土元素配分模式

Fig.8 REE distribution patterns for metasedimentary rocks of the Haiyuan Group

综上所述,海原群变质沉积岩主要形成于活动陆缘环境,介于岛弧与稳定陆缘之间,结合后面的火山岩形成环境判断,可能代表弧后盆地沉积。由于海原群由3个组级岩片叠置而成(之间为韧性剪切带),空间位置已发生了很大变化,其原沉积环境、范围应较宽广,包括近岛弧到近大陆的广大

区域,致使其地球化学特征复杂多变。

2.2 火山岩地球化学特征及形成构造环境

经原岩恢复,海原群中的绿片岩大部分为变质的基性火山岩、次火山岩。该火山岩系列岩性组合单调。其变质矿物成分和主量元素、稀土元素、微量元素丰度分别见表1—表3。

火山岩SiO₂含量为39.58%~52.56%,变化范围较大但含量颇低,多集中在45%~49%间;Al₂O₃多在12.38%~14.60%之间,属拉斑玄武质范畴;MgO3.6%~11.83%,TF₂O₃8.66%~15.92%,且绝大多数大于11%;Na₂O+K₂O在0.395%~5.74%之间,CaO5.24%~12.18%,显示富铁和碱质浓度变化大的特点。TiO₂0.68%~2.77%,且绝大多数大于1.0%,含量高,显示出洋脊和大陆裂谷玄武岩的特征。

在SiO₂、TF₂O₃和TiO₂对TF₂O₃/MgO的变异图解^[2](图9)中,投入拉斑玄武岩区。因此,从常量元素的角度分析,海原群火山岩为拉斑玄武岩系列。但其岩石化学成分无论与什么环境形成的现代拉斑玄武岩类相比都有不少差别(表2)。这是由于K、Na、Mg、Ca、Fe等具较强的活动性,它们在岩石变质和蚀变过程中已经发生了迁移和变化之故。

从表3可见,岩石的Sm/Nd为0.23~0.29,高于碱性玄武岩(夏威夷碱性火山岩为0.16~0.23);经计算Y/Nb为1.67~5.08,大于1,属于拉斑玄武岩(据Pearce,1973)。在TiO₂-Y/Nb图解(图10)中,样品也全部投入拉斑玄武岩区及其附近。

由于海原群火山岩已遭受过绿帘角闪岩相级的区域变质和后期蚀变的强烈改造,对其形成构造环境的分析,主要立足于对变质火山岩、次火山岩的稀土元素、微量元素特征和与之伴生的沉积岩的特征分析研究方面。

(1)海原群变质基性火山岩的稀土总量 Σ REE为42.30×10⁻⁶~132.55×10⁻⁶(表3),Sm/Nd=0.23~0.29(<0.33),La/Yb=2.24~9.41,(La/Lu)_N=2.29~7.51,(La/Yb)_N=2.29~6.20,(Ce/Yb)_N=1.93~5.32。LREE富集,稀土配分模式为右倾型(图11),稀土配分曲线分布在L.R.Cullers等(1984)拟定的岛弧—弧后盆地拉斑玄武岩的范围内。经N型洋中脊玄武岩标准化后的微量元素地球化学型式图不是平坦型(图12);Nd¹⁴³/Nd¹⁴⁴为0.5127~0.5128^①,小于N型洋中脊玄武岩(0.5131~0.5133)。据上述特征可以排除N型洋中脊玄武岩。结合与之组合的沉积岩在剖面中所占比例大,并以杂砂岩(或亚杂砂岩)—泥质岩—碳酸盐岩或杂砂岩—泥质岩—硅质岩—碳酸盐岩组合为特征,可完全排除洋脊玄武岩(E型和T型洋脊玄武岩)的存在。

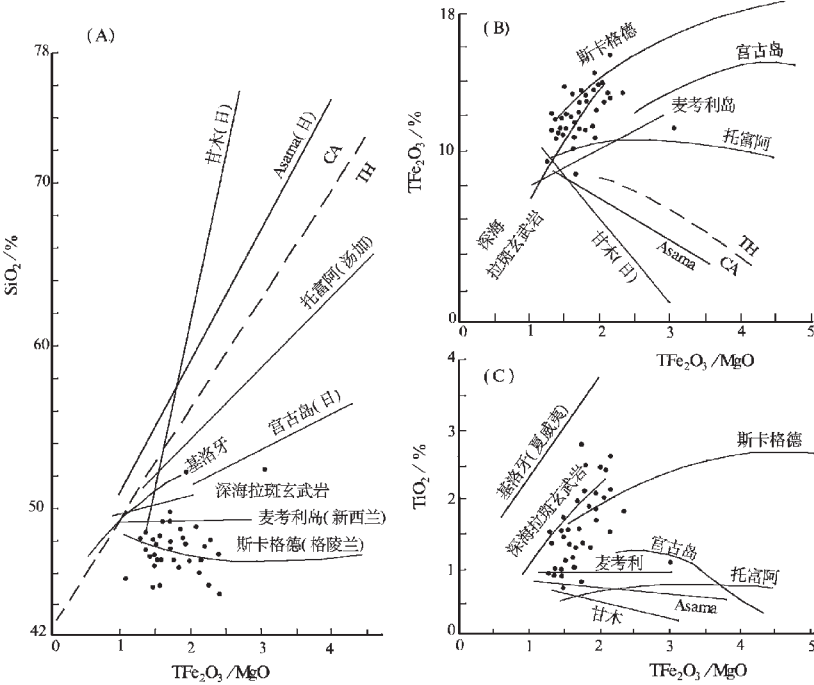


图9 SiO₂(A)、TF₂O₃(B)和TiO₂(C)对TF₂O₃/MgO的变异图解

Fig.9 SiO₂ (A), TF₂O₃ (B) and TiO₂ (C) vs. TF₂O₃/MgO discrimination diagrams
TH—拉斑玄武岩系;CA—钙碱性火山岩系

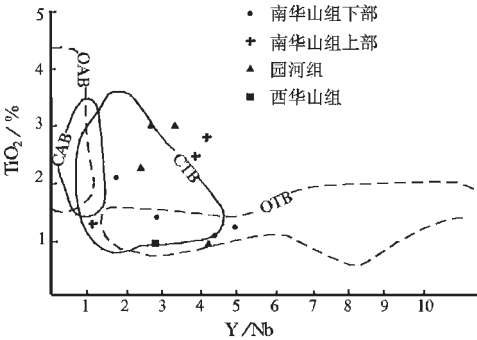


图10 TiO₂-Y/Nb图解(据Floyd等,1975)

Fig.10 TiO₂-Y/Nb discrimination diagram
CAB—大陆碱性玄武岩;OAB—大洋碱性玄武岩;
CTB—大陆拉斑玄武岩;OTB—大洋拉斑玄武岩

(2)微量元素的地球化学型式图(图12)似乎具板内玄武岩和岛弧玄武岩的双重特征,其中南华山组Rb、Ba、Th、Ta强富集,Sr、K、Nb、Ce、P、Zr、Hf不同程度富集,其余元素基本上亏损,略现代岛弧钙碱性玄武岩的“三隆起”型式;园河组的这种“三隆起”特征虽不如南华山组明显,但与前者的曲线是十分相似的。

(3)在判别板内与非板内玄武岩最为有效的Ti-Zr-Y图

① 甘肃省区域地质调查队:1:5万碾壕湾幅、打拉池幅区域地质调查报告,1992。

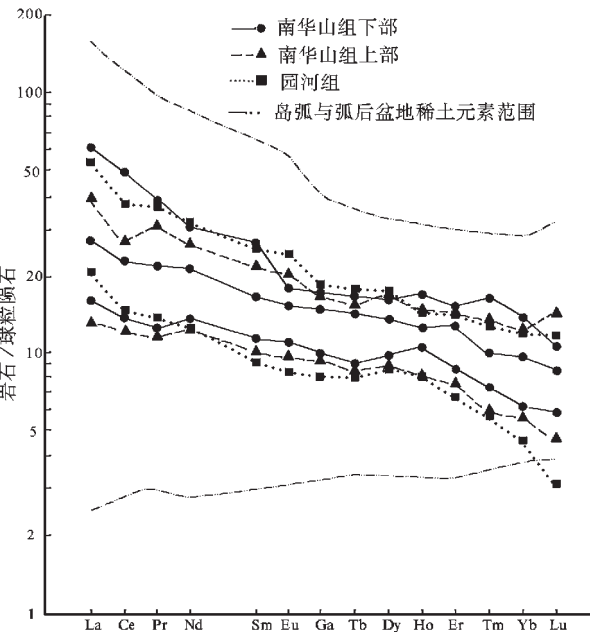


图11 海原群变质基性火山岩稀土元素配分型式
Fig.11 REE distribution patterns for metabasic volcanic rocks in the Haiyuan Group

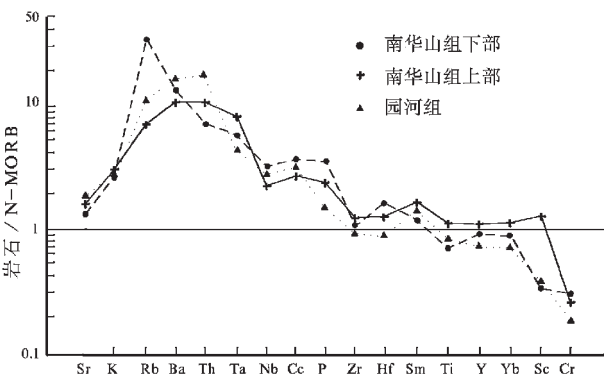


图12 海原群变质基性火山岩微量元素地球化学型式
Fig.12 N-MORB-normalized trace element distribution spidergram of metabasic volcanic rocks in the Haiyuan Group

解(图13-a)中,大部分样品落入板内玄武岩区,少部分样品落入洋底或岛弧拉斑玄武岩区。在区别岛弧与非岛弧的Hf-Th-Ta图解(图13-b)和Cr-Y图解(图13-c)中,以岛弧和板内玄武岩占主导,少部分跨洋中脊玄武岩,而且在Cr-Y图解中绝大部分投入岛弧拉斑玄武岩区。D.A.Wood等认为Th/Ta的比值可把岛弧与非岛弧火山岩区分开来,分界线为Th/

Ta=2,海原群中的火山岩Th/Ta值绝大部分(8个样)大于2(表3),少部分(4个样)小于2,亦显示以岛弧拉斑玄武岩为主,少部分跨板内与洋中脊玄武岩区。综合这3个图解,海原群火山岩应形成于岛弧与大陆之间的构造环境,紧邻岛弧或大陆的部位就分别显示岛弧或板内玄武岩特征。

(4)海原群中与火山岩伴生的长英质片岩经原岩恢复主要为成熟度颇低的杂砂岩和亚杂砂岩,次为泥质岩或粘土质岩石,这类碎屑岩在岛弧—弧后盆地中十分广泛。另外,地层中发育有层状的不纯碳酸盐岩或层状硅质岩—碳酸盐岩,其沉积岩组合反映边缘海盆地的沉积建造特点。

3 结 论

综上所述,笔者认为海原群(基性火山岩和次火山岩)形

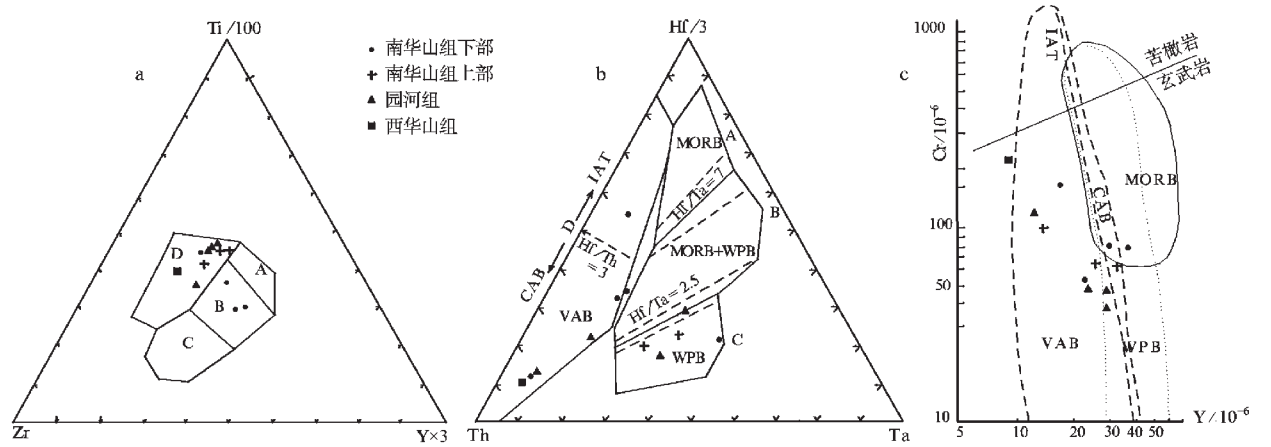


图13 Ti/100-Zr-Yx3(a)、Hf/3-Th-Ta(b)和Cr-Y(c)判别图解

Fig.13 Ti/100-Zr-Yx3 (a), Hf/3-Th-Ta(b) and Cr-Y (c) discrimination diagrams
a图:D区—板内玄武岩(WPB);B区—洋底玄武岩(OFB);A,B区—岛弧低钾拉斑玄武岩(LKT);B,C区—岛弧钙碱性玄武岩。b、c图:MORB—洋中脊玄武岩(c图实线圈定区);WPB—板内玄武岩(c图点线圈定区);VAB—火山弧玄武岩(c图虚线圈定区);IAT—岛弧拉斑玄武岩;CAB—岛弧钙碱性玄武岩

成于岛弧—弧后盆地性质的构造环境,但其中的3个组级构造—岩石地层单位的原岩组合差别较大,火山岩的K含量和总碱量也有差异。①南华山组下部的原岩组合为岛弧型拉斑玄武岩(仅次玄武岩)与砂质—泥质岩石互层,夹层状—似层状硅质岩—灰岩(或白云质灰岩)和少许小型透镜状超基性岩(已变质为蛇纹岩)。依据岩石组合特征和不含中—酸性火山岩、碱性岩和中—酸性深成侵入岩的特征看,该套岩石组合类似某些岛弧型蛇绿岩套的性质。其火山岩的K含量和总碱量均较低。基于上述理由,笔者认为南华山组下部岩石的形成构造环境类似于现代不成熟的岛弧。②南华山组上部和西华山组的原岩组合以低成熟度的杂砂岩—亚杂砂岩为主,泥质或粘土质岩石为次,夹少许岛弧拉斑质—钙碱性玄武岩和似层状透镜状薄层硅质岩,局部偶夹薄层大理岩和超基性岩。从陆源碎屑岩成熟度低,火山岩、碳酸盐岩及硅质岩都不发育,而且火山岩的总碱量和K含量都较高,沉积盆地地壳具有过渡性(图10)等特征看,南华山组上部和西华山组的形成环境较南华山组下部更靠近大陆一侧,相当于弧后盆地环境。③园河组的原岩组合为不纯碳酸盐岩与杂砂岩—亚杂砂岩—泥质岩互层(碳酸盐岩:碎屑岩 $\approx 1:5$)夹少许次玄武岩和薄层硅质岩。碳酸盐岩成层性好,与碎屑岩在横向上常呈相变和交替关系,偶见有变余粒序层理和韵律层等岩相学标志,反映某些复理石特点。火山岩不发育而基性岩脉颇为常见,火山岩(次玄武岩)总碱量和K含量均高于南华山组,沉积盆地具大陆壳或过渡壳性质。这说明园河组形成于较南华山组更为稳定的构造环境,而且海水也不如南华山组深,其构造位置应较南华山组更靠近大陆,所以推测园河组的沉积环境更近于现代的陆壳型弧后盆地。

张招崇等^[24]对北祁连熬油沟蛇绿岩研究后认为,中元古代早期祁连地块同阿拉善地块之间可能有一个由大陆裂谷演化成的大洋盆地(秦昆洋)。由此可进一步推断海原群应形成于元古宙早期秦昆洋北部陆缘的岛弧—弧后盆地环境。

参考文献:

- [1]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,1996.81—82.
- [2]冯益民.祁连造山带研究概况——历史、现状及展望[J].地球科学进展,1997,12(4):307—314.
- [3]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.
- [4]宋述光.北祁连山俯冲杂岩带的构造演化[J].地球科学进展,1997,12(4):340—350.
- [5]夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连山构造—火山岩浆演化动力学[J].西北地质科学,1995,16(1):1—28.
- [6]夏林圻,夏祖春,徐学义,等.北祁连山海相火山岩岩石成因[M].北京:地质出版社,1996.1—148.
- [7]夏林圻,夏祖春,徐学义.北祁连山早古生代洋脊—洋岛和弧后盆地火山作用[J].地质学报,1998,72(4):301—312.
- [8]夏林圻,夏祖春,任有祥,等.北祁连构造—火山作用—成矿研究新进展[A].见:中国地质学会编.“九五”全国地质科技重要成果论文集[C].北京:地质出版社,2000.431—436.
- [9]张建新,许志琴,李海兵.北祁连东段白银地区的构造单元划分及韧形变形[J].高校地质学报,1996,2:146—154.
- [10]张建新,许志琴,李海兵.北祁连加里东造山带从挤压到伸展造山机制的转换[J].长春地质学院学报,1997,27(3):277—283.
- [11]张建新,许志琴,徐惠芬,等.北祁连加里东俯冲—增生楔结构及动力学[J].地质科学,1998,33(3):290—301.
- [12]张旗,王焰,钱青.北祁连早古生代是裂陷槽还是大洋盆——与葛肖虹讨论[J].地质科学,2000,35(1):121—128.
- [13]左国朝.北祁连中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析[J].地球科学进展,1997,12(4):315—323.
- [14]霍福臣,郑昭昌.宁夏海原地区原海原群的时代与对比[J].地质论评,1988,34(1):1—10.
- [15]国家地震局地质研究所,宁夏回族自治区地震局.海原活动断裂带[M].北京:地震出版社,1990.47—176.
- [16]闫志强,李天斌.宁夏南华山—西华山大型韧性剪切带特征[J].西北地质,1991,12(2):13—18.
- [17]闫志强.宁夏海原地区的元古宇[J].地层学杂志,1994,18(1):30—38.
- [18]王崇礼,李厚民,等.海原群变质地质及含矿性研究[M].西安:陕西科学技术出版社,1996.1—66.
- [19]李天斌.宁夏南华山—西华山东麓断裂最大水平位移质疑[J].中国区域地质,1999,18(4):359—365.
- [20]李天斌.宁夏香山群砂岩地球化学特征及构造环境与演化[A].见:秦士伟主编.宁夏青年地学工作者学术论文文集[C].北京:地质出版社,1999.1—10.
- [21]Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Jour.Geology,1991,(6):611—629.
- [22]Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone—mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio[J]. Jour. Geology,1994,(5):635—650.
- [23]王仁民,贺高品,陈珍珍,等.变质岩原岩图解判别法[M].北京:地质出版社,1987.1—199.
- [24]张招崇,周美付,Paul T R,等.北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRIMP分析结果及其地质意义[J].岩石学报,2001,17(2):222—226.