西天山查汗萨拉岩体的地球化学 特征及岩石成因

杜玉雕,吕鹏瑞,张东阳

(中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083)

摘 要: 查汗萨拉岩体位于西天山地区博罗科努山北坡查汗萨拉一带,处于伊连哈比尔尕金成 矿带内,与金矿化关系较为密切,主要由闪长岩和辉长岩组成。研究表明:岩石属于准铝质钙碱性 系列,总体上 MgO, CaO, TF cO 和 TiO₂ 随着 SiO₂ 的增高而有轻微的降低, Na₂O, K₂O, Al₂O₃ 和 P₂O₅ 与 SiO₂ 没有明显的相关性;在微量元素配分中显示 Th, Nb, Ta 和 Zr 相对亏损,而 U, Ba 和 Pb 富集,显示负的 Nb 异常和高的正 Pb 异常; REE 总量偏低,属轻稀土元素富集、重稀土元素亏 损型,轻、重稀土元素分馏不明显,具有微弱的负铕异常。一部分角闪石是在岩浆上升过程中结晶 的,另一部分可能是岩浆定位以后结晶的;岩体形成温度介于 650~760 ℃之间。成岩物质来源于 地壳物质,并且有大量地幔物质加入。海西中晚期大量地幔物质侵入到深部地壳环境,形成壳幔 混合型岩浆;由于构造活动强烈,形成区域性深大断裂带,混合型岩浆沿着深大断裂从大约 20 km 深处快速上侵到深度约为 6 km 处并经过平衡部分熔融作用结晶成岩,形成深成侵入岩。

关键词: 岩石成因;演化;地幔;查汗萨拉岩体;西天山

中图分类号: P581; P588. 121 文献标识码: A 文章编号: 100-1412(2011)02-013+12

0 引言

查汗萨拉金矿是近年来在西天山发现的重要金 矿床之一。矿区的勘查工作始于 1941 年, 近年来新 疆地矿局第七地质大队对金矿区进行了地质普查、 区域化探和浅部地质评价, 发现了金矿化和矿体异 常^[1]。隗合明等提及到该地区的岩浆活动性质和成 矿系列类型^[2], 邓洪涛在研究博罗科努北坡金铜矿 成因类型时也提及该矿床的成因类型概况^[3]。2007 年, 新疆地矿局第七地质大队对本区进行了系统的 勘探, 初步证实该区具有较好的成矿潜力^[1]; 王军年 等利用化探方法发现了一系列有价值的矿化点, 并 提出金矿地质-地球化学找矿模型^[4]。但是, 矿化 体的规模、品位变化、分布特征及其深部矿化情况等 问题仍没有得到很好解决, 其主要原因是对金矿成 矿作用的认识尚有分歧。冯京等根据金矿化岩石的 蚀变特点和金矿石的特征认为查汗萨拉金矿是造山 末期或期后伴随伸展过程中构造-岩浆-热液作用 形成的构造蚀变岩型金矿,早阶段张性构造-岩浆 作用和晚阶段持续的张性构造-热液作用是金矿化 富集的基本地质过程^[5]。罗小平等根据矿体氢、氧、 碳、硫、铅同位素地球化学研究,认为成矿流体显示 岩浆热液和变质建造水的混合特征,CO₂和成矿金 属具有岩浆来源特点,硫化物中硫的来源可能与地 层有关^[7]。值得指出的是,矿体主要呈脉状产于镁 铁质脉岩中,少数产于脉岩与凝灰质粉砂岩接触带 内。因此,冯京等根据矿化特征和矿物组合认为矿 化富集与海西中晚期石英闪长岩脉密切相关^[6]。然 而人们对于与成矿密切相关的岩体研究甚少,岩浆 的形成和演化过程以及物理化学条件也不清楚,这 在很大程度上制约了对成岩成矿过程的深入理解。

本文以查汗萨拉金矿岩体的研究工作为基础, 结合前人研究成果,试图通过岩体地球化学特征的 分析,揭示本区岩体的岩石成因和物理化学条件,为

收稿日期: 2010-12-04

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2006BA B07B01)资助

作者简介: 杜玉雕(1985), 男, 贵州盘县人, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事矿床及矿床地球化学研究工作。通信地

址:北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学(北京)地学院;100083; E-mail: garn ett dyd@ sina.com

进一步研究成矿条件和找矿标志提供岩石学方面的 依据。

1 地质背景

查汗萨拉岩体位于新疆精河县东南 60 km 处 的西天山博罗科努山北坡查汗萨拉一带,处于伊连 哈比尔尕金成矿带内;其大地构造位置为哈萨克斯 坦一准噶尔板块南缘伊犁一伊塞克湖微板块的依连 哈比尔尕晚古生代沟弧带西端,北接同一板块中的 巴尔喀什一准噶尔微板块,南邻赛里木地块和博罗 科努古生代复合岛弧带,西近阿拉套陆缘构造 带^[8-9]。岩体附近出露的地层主要为上石炭统凝灰 质粉砂岩,岩石中细小的条纹状沉积层理较明显,条 带成分多为硅质,呈浅灰白色,岩性较单一,地层总 体向 S 倾,倾角 50°~80°,南部地层倾向和倾角均有 较大变化;地表多被第四系冲积物覆盖。

受巴音沟一古尔图缝合带的影响, 区域构造线 呈 NW-SE 向展布, 构造较为复杂。查汗萨拉大断 裂的次级断裂在矿区西部发育, 多与主断裂平行或 斜交, 其中斜交的次级断裂多表现为右行错动, 将闪 长岩脉及矿(化)带错(断)开。断裂带宽度不一, 一 般宽 10~20 m, 延伸 1 000 m 以上; 小者宽度 1~2 m, 乃至几十厘米, 延伸数十米至数百米, 其走向为 NW-NNW 向, 倾角 5*3*~65°; 矿区东部断层较少。

区域侵入岩发育,但岩体大多规模较小,呈岩株状、脉状产出。镁铁质岩脉主要见于查汗萨拉及其 东侧,总体表现出带状分布的特点,与金矿化关系较



图 1 新疆西天山查汗萨拉金矿地质简图(据冯京等, 2008) Fig. 1 The geological sketch of the Chahansala gold deposit

in the Western Tianshan, Xinjiang 1. 第四系 2. 凝灰质粉砂岩 3. 闪长岩 4. 石英脉 5. 断裂破碎带 6. 断层 7. 矿体

为密切。镁铁质岩脉发育于张扭性断裂内,边界极 不规则,空间形态上为扭曲状,走向多变,且膨大、缩 小、分支复合无规律,其内见众多凝灰质粉砂岩团 块。在镁铁质岩脉内及粉砂岩中沿裂隙发育大量的 石英细脉(局部为石英团块),规模均不大。

岩体规模较小, 出露面积小于 1 km²; 明显受 NW 向深大断裂控制, 沿深大断裂呈带状分布。主 要由闪长岩和辉长岩组成, 其中闪长岩出露最为广 泛; 多呈不规则岩株状、脉状, 延伸方向与区域构造 线方向基本一致, 平面形态呈似椭圆状或长条状(图 1); 岩体内矿化蚀变较为发育, 以断裂破碎带为中 心, 向两侧减弱; 蚀变类型有黄(褐) 铁矿化、硅化、碳 酸盐化、绢云母化, 绿泥石化相对较弱, 偶见孔雀石 化。岩体侵入上石炭统奇尔古斯套组凝灰质粉砂岩 中, 与围岩多呈不规则接触, 接触界面波状弯曲且外 倾, 倾角中等, 有岩枝伸入围岩之中。地表岩体出露 不连续, 间有第四系冲积物覆盖。

2 岩石学特征

本区岩体中闪长岩出露最为广泛,同时还有少 量的辉长岩。侵入岩多呈岩株状、脉状产出,未见二 者的明显接触关系。经过手标本和显微镜观察,主 要岩石类型的岩相学特征如下:

 (1)闪长岩。风化面为黄色或灰黄色,新鲜面为 青灰色,半自形中细粒结构,致密块状构造。主要矿 物为石英(5%~10%)、斜长石((25%~35%)、钾长

> 石(20%~25%)、角闪石(20%~ 25%)。石英多为他形粒状(图2A), 粒度不均,颗粒小者 0.01 mm × 0.02 mm, 大者 0.04 mm × 0.06 mm, 多具 波状消光;斜长石多呈半自形柱状、 板状,颗粒小者 0.02 mm × 0.04 mm, 大者 0.06 mm × 0.09 mm, 可见聚片 双晶(图 2B), 部分双晶纹消失, 晶体 轻微碎裂,边部发育绢云母化;钾长 石多为半自形板状,有简单双晶出 现,颗粒小者0.02 mm×0.04 mm,大 者 0.05 mm × 0.08mm; 角闪石呈自 形-半自形板柱状,横断面近菱形, 解理清楚,有多色性,核部发育绿泥 石化(图 2C),颗粒小者 0.04 mm× 0.09 mm, 大者 0.07 mm×0.12 mm。



图 2 查汗萨拉岩体样品显微照片

Fig. 2 Microscopic Photo of samples from the Chahansala intrusion A. 闪长岩中的石英, 正交 B. 闪长岩中斜长石具聚片双晶, 正交 C. 闪长岩中角闪石的局部出现绿泥石化, 正交 D. 辉长岩中辉石的局部蚀变, 正交 E. 辉长岩中斜长石出现绢云母化, 正交 F. 辉长岩中的磁铁矿, 正交

(2) 辉长岩。风化面为灰黄色,新鲜面为青灰 色,中细粒结构,致密块状构造。主要矿物为辉石 (35%~40%)、斜长石(45%~50%)、角闪石(10% ~15%)。辉石多呈短柱状,具两组正交解理,纵切 面可见一组解理,颗粒小者0.08 mm×0.1 mm,大 者0.1 mm×0.2 mm,蚀变强烈(图2D);斜长石呈 半自形柱状、板状,颗粒小者0.08 mm×0.1mm,大 者0.1 mm×0.15 mm,可见聚片双晶,部分绢云母 化(图2E);角闪石呈半自形柱状,横断面可见两组 斜交解理,局部发育绿泥石化,颗粒小者0.03 mm ×0.06 mm,大者0.06 mm×0.1 mm。副矿物为磁 铁矿(1%~2%)(图2F)。

3 地球化学特征

3.1 地球化学分析方法

查汗萨拉岩体的主要元素分析在 中国科学院地质与地球物理研究所矿 产资源重点实验室完成,分析方法为 XRF, 分析精度优于 0.1%~ 1.0%, 其 中 FeO 质量分数用湿化学法测定,分 析精度优于 0.5% ~ 1%。 烧失为 1000℃时的烧失量;采用粉末样品压 片制样,用X射线荧光光谱仪直接测 量样品中 SiO₂ 等 10 项主量元素以及 Ti, Cr, Rb, Sr, Ba, Zr 等 34 个痕量元 素,各分析元素采用经验系数法与散射 线内标法校正元素间的基体效应。15 种稀土元素和 Ni, Cu, Zn, Ga, Nb, Mo, Cd, Cs, Hf, Ta, Pb, Bi, Th, U 元素采用 ICP-MS分析,在中国地质大学(北京) 地学实验中心的等离子体质谱仪上测 定完成。角闪石电子探针成分分析在 中国地质大学(北京)地学实验中心电 子探针实验室完成; 实验条件: 加速电 压 15 kV. 电流 1×10⁻⁸ A. 束斑 1^µm. ZAF 修正法。

3.2 主量元素地球化学特征

由表 1 可以看出,本区岩石样品 w (SiO²) = 46.47% ~ 63.14%,平均 53. 03%,变化范围大;低w(TiO₂)(0.56% ~ 1.32%,平均为 0.87%);w(AbO₃) = 13.02% ~ 15.69%,变化不明显;w(MgO) = 1.91% ~ 8.32%,变化显著;w(TFeO)

= 5. 14%~ 9.76%, 且 FeO> Fe2O₃; 高钙(w(CaO)>
2%);碱质稍低(w(Na2O+ K2O) = 4.64%~ 7.55%, 平均5.88%);w(Na2O)偏高, Na2O/K2O= 0.59~ 4.20, 平均3.71,总体上 Na2O> K2O。样品较高的烧失量与岩体发生强烈蚀变有关。

在反映岩石系列的 SiO₂ - (K₂O+ Na₂O) 图解 中^[10],样品大都落在碱性、亚碱性岩石分界线附近 (图 3),说明它们具有过渡的特点,但绝大多数样品 偏向于亚碱性区域。在岩体的 K₂O - SiO₂ 图解 中^[11],一部分样品落在钙碱性系列区域,一部分落 在高钾钙碱性系列范围内,个别样品落在钾玄岩系 列范围内,这可能是岩体后期蚀变导致 w (K₂O) 发 生较大变化的缘故;岩石样品的里特曼组合指数变 化范围较大,为1.97~4.63,平均值 3.05(< 3.3), 属钙碱性系列; A/NK= 1.34~2.73,平均值>1;铝 饱和指数 A/CNK= 0.59~1.02(均< 1.1),平均值

表 1 查汗萨拉岩体主量元素分析结果

Table 1 The analysis results about the major elements of the Chahansala intrusion

样品号	D3-07-1	D3-07-2	D4-07-1	D6-07-1	D9-07-2	D12-07-1	D12-07-2	D16-07-3
岩性	辉长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩	辉长岩	辉长岩	闪长岩
SiO ₂	46.97	55.35	53.43	56.44	54.76	47.67	46.47	63.14
TiO ₂	1.25	0.57	0.72	0.60	0.56	1.32	1.27	0.71
$A l_2 O_3$	15.44	13.02	14.00	15.20	14.97	15.52	15.69	14.70
Fe_2O_3	3.16	1.91	2.37	4.60	3.59	2.90	4.03	4.37
FeO	6.14	3.42	5.97	2.20	2.89	7.15	4.41	1.48
MnO	0.12	0.11	0.15	0.12	0.13	0.12	0.12	0.16
MgO	7.75	4.06	8.32	2.82	3.60	6.98	5.30	1.91
CaO	6.50	7.25	5.36	3.79	4.40	5.10	6.11	2.55
Na_2O	3.86	4.31	3.55	4.84	5.27	3.92	1.30	4.39
K ₂ O	1.63	1.71	1.28	2.26	2.28	0.75	3.34	2.35
P_2O_5	0.11	0.18	0.15	0.21	0.18	0.27	0.26	0.16
LOI	6.78	8.12	4.38	6.93	7.25	7.82	11.79	4.74
T otal	99.40	99.83	99.43	99.55	99. 51	99.21	99.69	100. 22
分异指数	12.18	17.49	10.32	21.8	16.13	4.83	26.15	34.56
σ	4.63	2.49	1.97	3.29	4.11	2.89	2.85	2.16

量的单位: w_B/%。



图 3 SiO_2 - (K_2O + Na_2O) 图解^[10] 和 SiO_2 - K_2O 图解 Fig. 3 SiO_2 - (K_2O + Na_2O) diagram and SiO_2 - K_2O diagram

0.84(<0.90)。总之,查汗萨拉岩体为准铝质钙碱 性系列。

在岩体的 Harker 图解(图 4)中^[12],总体上 MgO, CaO, TFeO 和 TiO₂ 随着 SiO₂ 的增高而有小 幅降低, Na₂O, K₂O, A l₂O₃ 和 P₂O₅ 与 SiO₂ 没有明 显的相关性,总的说来相关程度不高,离散性较明 显;而分异指数偏低(DI= 4.83~ 34.56,平均为 17.93)说明仅有少量的暗色矿物和长石分离结晶, 反映了岩浆结晶分异程度不高。

3.3 微量元素地球化学特征

从微量元素分析结果(表 2)中可以看出, V, Cr, Sr, Ba 的质量分数较高, 而 Nb, Cs, Hf, Ta 和 Th 的 质量分数相对偏低。岩体中 w (Cr) = 153.485 × 10^{-6} ~393.355 × 10^{-6} , w (Ni) = 70.150 × 10^{-6} ~ 175.285 × 10^{-6} , w (Co) = 15.545 × 10^{-6} ~ 38.899 × 10^{-6} ; N i/ Co = 4.187~5.843, 暗示成岩物质具有地 幔物质特征。而辉长岩中Ni和Cr的质量分数较高,显示原生岩浆的特征;w(Rb)相对较低,可能与岩体的后期蚀变有关;Nb/Ta相对较低(14.04~17.29);La/Nb=2.28~3.40,平均2.87,与地壳La/Nb比值相近;Nb/U=2.62~8.20,平均4.90,低于球粒陨石和原始地幔值;Nb/Pb=0.46~0.97,平均0.67,与大陆地壳值(1.6)相近^[13]。岩体的Rb/Sr值和Sr/Nd值变化较小(分别为0.051~0.238和10.025~38.024),反映了岩体组成相对均一^[14]。在微量元素配分中显示出Nb和Ta有明显的亏损,Zr和Th有轻微的亏损(图5),而U,Ba和Pb富集,多表现为波谷,总体上向右倾斜。

岩体的 Σ REE 偏低(51.22×10⁻⁶~69.57×10⁻⁶),且随岩石酸度的增加而没有明显变化,暗示稀土元素不富集,总体变异趋势不明显。LREE/HREE= 3.03~5.74,均为轻稀土富集型;La/Yb=



图 4 岩体的 Harker 图解 Fig. 4 The Harker diagrams of the intrusion

= 1.811~ 4.067, Gd/Yb= 1.765 ~ 2. 154; (La/Sm) N 和(Gd/ Lu) N 比值都较低(分别为 1.1~ 2.5和1.4~1.8); 暗示轻、重稀 土元素内部分异不明显,但 LREE 分馏程度略高, HREE 内 部分馏作用弱。稀土元素配分曲 线呈向右缓倾的曲线(图 6),且 轻稀土元素配分型式为逐渐降 低,重稀土元素则近于水平,表现 为 LREE 相对富集、HREE 相对 亏损的平缓曲线;同时有较弱的 Ce 负异常, 表明其成岩环境氧逸 度高^[15];样品具有微弱的负 Eu 异常,表明其岩浆演化过程中斜 长石分离结晶较弱,斜长石几乎 全部进入熔浆。同一系列岩石的 分布型式非常接近, 暗示其具有 相同或相近的成因,也反映了同 源岩浆的特点。

3.4 角闪石矿物化学特征

角闪石是查汗萨拉金矿岩体 中的主要铁镁矿物,在闪长岩和 辉长岩中普遍发育。表 3 中 w(SiO₂) = 45.31% ~ 48.51%,平 均 46.52%; w(MgO) = 14.38% ~ 15.94%,平均 14.80%; w(AbO₃) = 7.25% ~ 10.63%; w(NxO) = 1.58% ~ 2.31%; w(K₂O) = 0.25% ~ 0.60%; w

3.44~ 7.75; Sm/Nd= 0.21~ 0.29, 且(La/Yb) N> 1,(La/Sm) N> 1,反映 LREE 富集型。La/Sm





图 5 查汗萨拉岩体微量元素标准化曲线

Fig. 5 The primordial mantle normalized pattern of trace elements of the Chahansala intrusion



图 6 查汗萨拉岩体稀土元素标准化曲线 Fig. 6 The chondrite normalized REE pattern of the Chahansala intrusion

表 2 查汗萨拉岩体微量元素、稀土元素的分析结果及相关参数

Table 2 The analysis and related parameters of trace element in the Chahansala intrusion

<	样品号	D3-07-1	D3-07-2	D4-07-1	D 6 07 1	D 6 07-1p	D12-07-1	D12-07-2	D16 07 3
se 41, 751 16 109 22, 221 15, 441 15, 271 24, 172 22, 942 102, 452 Cr 330, 191 179, 207 393, 355 156, 023 153, 445 296, 324 241, 807 214, 130 Go 32, 210 16, 898 33, 1340 19, 774 19, 844 897 28, 143 15, 545 Ni 156, 058 70, 756 183, 114 83, 807 84, 069 175, 255 137, 433 70, 156 Ga 18, 596 13, 159 16, 274 18, 136 18, 558 17, 128 17, 054 117, 754 117, 729 62, 788 41, 171 Sr 184, 075 400, 854 348, 252 143, 359 142, 630 339, 126 217, 26 251, 516 Y 18, 200 12, 264 16, 537 14, 13, 537 34, 132 34, 223 3, 223 3553 Ms 10, 126 251, 516 199 93, 946 12, 247 93, 926 571, 492 93, 946 139, 915 14, 137 14, 199	岩性	辉长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩	辉长岩	辉长岩	闪长岩
V 300,744 10,901 146,131 15,968 113,912 179,091 169,393 129,452 Gr 330,191 179,207 393,355 156,023 153,485 296,524 247,807 214,130 Co 28,210 16,898 31,340 19,574 19,470 38,899 28,143 15,545 Ni 156,058 70,756 183,114 83,107 84,409 175,255 137,433 70,150 Ca 294,984 49,879 28,447 12,907 12,858 56,710 45,134 31,379 Za 66,417 47,219 75,288 60,606 59,688 86,711 78,484 61,667 Ca 18,596 13,159 16,274 18,136 18,855 17,128 17,044 17,676 Nh 30,309 20,442 2,540 34,156 33,028 17,229 46,2788 41,171 Sr 184,075 403,854 248,868 86,138 86,942 117,744 117,924 09,304 Nh 2,816 2,829 3,515 3,581 3,524 3,125 3,223 3,553 Mo 10,081 32,190 21,258 286 88,138 86,138 86,132 86,221,725 223,3553 Mo 10,081 3,2190 2,1088 9, 868 10,006 14,049 12,193 3,557 42,386 Mo 10,081 3,2190 2,1088 9, 868 10,206 14,049 12,193 3,557 492 Hf 2,390 2,477 2,821 3,030 3,005 3,376 3,892 1,275 5,57,492 Hf 2,339 2,477 2,821 3,030 3,005 3,3776 3,329 1,26 291,256 52,99 126 557,492 Hf 2,339 2,477 2,821 3,030 3,005 3,3776 3,323 2,800 Ta 40,177 1,099 0,203 0,255 0,052 0,109 5 0,203 0,247 Pb 4,4339 5,115 4,437 7,76 33 7,696 13,274 2,99,126 57,492 Hf 2,236 2,363 3,477 3,76 96,23 0,253 0,233 2,800 Ta 0,177 0,099 4,0688 11,337 1,346 0,426 0,393 1,120 NV Co 5,532 4,187 5,843 4,282 4,310 4,550 483 4,513 S,47 3,309 5,182 U 0,338 0,994 0,688 11,337 1,346 0,426 0,433 1,150 NV Co 5,532 4,187 5,843 4,282 4,310 4,566 4,383 4,513 S,47 1,0081 3,2190 2,1088 9,486 10,206 14,049 12,193 1,172 NV D,049 4,254 2,993 2,818 3,402 3,363 2,353 2,211 2,842 1,41 19,944 2,153 3,871 10,081 3,2190 2,1088 9,400 447 0,458 0,772 0,974 0,686 13,172 NV D,054 14,049 12,193 1,172 NV D,055 0,024 0,678 2,648 7,733 3,271 2,848 3,451 3,372 3,366 2,333 2,171 2,842 1,374 1,249 1,945 2,1089 2,108 9,140 1,175 1,288 1,290 1,172 NV D,062 0,489 0,548 1,026 0,488 0,772 0,974 0,686 13,172 NV D,055 0,035 0,248 0,277 0,055 0,338 2,4151 2,202 NV D,038 0,555 0,341 4,049 12,193 1,172 NV D,062 0,489 0,566 13,491 1,552 0,230 0,257 0,233 0,248 1,513 2,201 1,2587 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350 3,350	Se	41.751	16. 109	22. 221	15.441	15.271	24. 172	22.994	19.741
$ \begin{array}{c} c_{\rm r} & 330, 191 & 179, 207 & 933, 353 & 156, 023 & 153, 485 & 296, 334 & 247, 807 & 214, 130 \\ c_{\rm R} & 28, 210 & 168, 808 & 31, 340 & 19, 574 & 19, 470 & 38, 807 & 214, 133 \\ c_{\rm L} & 294, 984 & 408, 879 & 228, 447 & 12, 907 & 12, 858 & 56, 710 & 45, 134 & 31, 379 \\ z_{\rm A} & 66, 417 & 47, 219 & 75, 288 & 60, 606 & 59, 688 & 86, 711 & 78, 444 & 61, 667 \\ c_{\rm G} & 18, 596 & 13, 159 & 16, 274 & 18, 136 & 18, 855 & 17, 128 & 17, 034 & 17, 676 \\ tb & 303, 309 & 20, 402 & 25, 540 & 34, 156 & 33, 028 & 17, 229 & 62, 788 & 441, 171 \\ s_{\rm F} & 184, 075 & 403, 854 & 438, 721 & 143, 330 & 142, 603 & 339, 156 & 291, 726 & 251, 516 \\ Y & 18, 200 & 12, 546 & 16, 537 & 14, 527 & 13, 975 & 24, 138 & 23, 295 & 14, 327 \\ z_{\rm F} & 63, 724 & 76, 672 & 82, 886 & 861, 138 & 86, 942 & 117, 734 & 117, 924 & 93, 304 \\ Nb & 2, 816 & 2, 829 & 3, 515 & 3, 581 & 3, 524 & 3, 125 & 3, 223 & 3, 553 \\ M_{\circ} & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 649 & 117, 555 \\ c_{\rm S} & 2, 940 & 1.704 & 2, 153 & 2, c08 & 2, 255 & 2, 551 & 5, 290 & 2, 706 \\ H_{\circ} & 444, 302 & 460, 084 & 405, 550 & 387, 376 & 389, 656 & 132, 474 & 299, 126 & 557, 492 \\ H_{\rm T} & 2, 390 & 2, 437 & 2, 821 & 3, 300 & 3, 065 & 3, 274 & 3, 283 & 2, 800 \\ T_{\rm a} & 0, 177 & 0, 199 & 0, 203 & 0, 255 & 0, 0, 52 & 0, 193 & 0, 203 & 0, 247 \\ Ph & 4, 339 & 5, 115 & 4, 337 & 1, 3401 & 1, 137 & 1, 208 & 2, 882 \\ U & 0, 388 & 0, 994 & 0, 688 & 1, 377 & 1, 3401 & 1, 137 & 1, 208 & 2, 882 \\ U & 0, 388 & 0, 994 & 0, 688 & 1, 377 & 1, 3401 & 1, 137 & 1, 208 & 2, 882 \\ U & 0, 388 & 0, 994 & 0, 688 & 1, 377 & 1, 3401 & 1, 137 & 1, 208 & 2, 882 \\ V_{\rm h} & 1, 045 & 0, 994 & 2, 1088 & 9, 866 & 10, 056 & 14, 0491 & 2, 193 & 17, 255 \\ L_{\rm a'} N_{\rm h} & 2, 282 & 2, 993 & 2, 818 & 3, 402 & 3, 363 & 2, 333 & 2, 731 & 2, 842 \\ N_{\rm h'} & 1, 0, 217 & 8, 498 & 9, 906 & 0, 656 & 0, 356 & 1, 353 & 1, 208 & 3, 8912 \\ L_{\rm h} & 0, 782 & 0, 699 & 0, 550 & 0, 532 & 0, 073 & 0, 074 & 0, 648 \\ L_{\rm a'} N_{\rm h} & 2, 284 & 0, 971 & 0, 296 & 0, 567 & 3, 348 & 4, 151 & 2, 205 \\ H_{\rm $	V	300. 744	110.901	146. 131	115.968	113.912	179.091	169. 393	129.452
$ \begin{array}{c} C_{0} & 28, 210 & 16, 898 & 31, 340 & 19, 374 & 19, 470 & 38, 899 & 28, 143 & 15, 545 \\ C_{0} & 294, 984 & 49, 879 & 28, 447 & 12, 907 & 12, 888 & 66, 710 & 78, 484 & 61, 667 \\ G_{a} & 18, 596 & 13, 159 & 16, 274 & 18, 136 & 18, 585 & 17, 128 & 17, 034 & 17, 676 \\ R_{b} & 30, 309 & 20, 402 & 23, 540 & 34, 156 & 33, 028 & 17, 229 & 62, 788 & 41, 171 \\ S_{r} & 184, 075 & 403, 854 & 348, 721 & 143, 330 & 142, 630 & 339, 126 & 291, 726 & 251, 516 \\ Y & 18, 260 & 12, 546 & 16, 537 & 14, 527 & 138 & 30, 28, 127 & 33, 304 \\ N_{b} & 2, 816 & 2, 829 & 3, 515 & 3, 581 & 3, 524 & 3, 125 & 3, 223 & 3, 364 \\ N_{b} & 2, 816 & 2, 829 & 3, 515 & 3, 581 & 3, 524 & 3, 125 & 3, 223 & 3, 3553 \\ C_{a} & 2, 949 & 1, 704 & 2, 153 & 2, 608 & 2, 536 & 2, 551 & 5, 239 & 2, 706 \\ R_{a} & 441, 302 & 463, 084 & 405, 550 & 387, 376 & 389, 656 & 132, 474 & 299, 126 & 557, 492 \\ H_{f} & 2, 330 & 2, 437 & 2, 821 & 3, 030 & 3, 005 & 3, 276 & 3, 283 & 2, 800 \\ T_{a} & 0, 177 & 0, 199 & 0, 203 & 0, 255 & 0, 252 & 0, 195 & 0, 203 & 0, 247 \\ P_{b} & 4, 339 & 5, 115 & 4, 372 & 7, 673 & 7, 696 & 4, 047 & 3, 309 & 5, 182 \\ U & 0, 388 & 0.994 & 0, 688 & 1, 337 & 1, 346 & 0, 426 & 4, 883 & 4, 513 \\ S_{r}/Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ L_{a}/N_{b} & 2, 282 & 2, 993 & 2, 818 & 3, 402 & 3, 363 & 2, 533 & 2, 270 & 12, 828 \\ U & 0, 388 & 0.994 & 0, 688 & 1, 337 & 1, 346 & 0, 476 & 0, 478 & 3, 192 \\ N_{1}V_{b} & 0, 649 & 0, 533 & 0, 804 & 0, 467 & 0, 428 & 0, 772 & 0, 686 \\ B_{J}Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ L_{a}/N_{b} & 2, 282 & 2, 293 & 2, 818 & 3, 402 & 3, 363 & 2, 533 & 2, 721 & 2, 842 \\ N_{1}V_{b} & 0, 649 & 0, 533 & 0, 804 & 0, 467 & 0, 448 & 0, 774 & 0, 674 & 0, 674 \\ 0, 733 & 2, 704 & 2, 868 & 9, 906 & 12, 184 & 11, 852 & 7, 915 & 8, 301 & 3, 172 \\ N_{b}V_{b} & 0, 649 & 0, 533 & 0, 804 & 0, 467 & 0, 448 & 0, 771 & 0, 695 & 12, 591 \\ L_{a} & 6, 4272 & 8, 688 & 9, 906 & 12, 184 & 11, 827 & 7, 153 & 8, 769 & 10, 099 \\ C_{e} & 1, 643 & 1, 701 $	Cr	330. 191	179.207	393.355	156.023	153.485	296. 324	247.807	214.130
N1 126. 058 70.795 183. 144 83. 807 84. 089 175. 285 157. 710 45. 134 30. 139 Zu 66. 417 47. 219 75. 288 60. 606 59. 688 86. 711 45. 134 61. 667 Rb 30. 309 20. 402 23. 540 34. 156 33. 028 17. 229 62. 788 44. 171 Sr 184. 075 403. 854 448. 721 143. 350 142. 630 339. 126 291. 726 251. 516 Y 18. 860 12. 546 16. 537 14. 377 13. 975 24. 138 39. 925 14. 337 A 0.1081 32. 190 21. 1088 9. 868 10. 206 14. 049 1.193 17. 555 Ga 2. 491 1.704 4.05. 053 387. 376 389. 656 132. 474 30. 30 2. 706 Ba 441. 302 446. 405. 550 387. 376 389. 656 132. 474 30. 30 2. 302 2. 477 H 2. 302 2. 487 2.	Co	28.210	16.898	31.340	19. 574	19.470	38.899	28.143	15.545
$ \begin{array}{c} {\rm La} & 294, 984 & 49, 879 & 28, 447 & 12, 907 & 12, 858 & 56, 711 & 78, 448 & 61, 667 \\ {\rm Ga} & 18, 596 & 13, 159 & 16, 274 & 18, 136 & 18, 585 & 17, 128 & 17, 034 & 17, 676 \\ {\rm Rb} & 30, 309 & 20, 402 & 23, 540 & 34, 156 & 13, 028 & 17, 229 & 62, 788 & 41, 177 \\ {\rm Sr} & 184, 4075 & 403, 854 & 348, 721 & 143, 350 & 142, 630 & 339, 126 & 291, 726 & 251, 516 \\ {\rm Y} & 18, 260 & 12, 546 & 16, 537 & 14, 527 & 13, 975 & 24, 138 & 23, 925 & 14, 337 \\ {\rm Zr} & 63, 724 & 76, 672 & 82, 886 & 86, 138 & 86, 942 & 117, 754 & 179, 949 & 30, 304 \\ {\rm Nb} & 2, 816 & 2, 820 & 3, 515 & 3, 513 & 3, 524 & 3, 125 & 3, 223 & 3, 553 \\ {\rm Mo} & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ {\rm Cs} & 2, 940 & 1, 704 & 2, 153 & 2, 608 & 2, 536 & 2, 551 & 5, 290 & 2, 706 \\ {\rm Ra} & 441, 302 & 463, 084 & 405, 550 & 387, 376 & 339, 656 & 132, 474 & 299, 126 & 557, 492 \\ {\rm Hf} & 2, 330 & 2, 437 & 2, 821 & 3, 030 & 3, 005 & 3, 276 & 3, 283 & 2, 800 \\ {\rm Ta} & 0, 177 & 0, 199 & 0, 203 & 0, 255 & 0, 252 & 0, 195 & 0, 203 & 0, 247 \\ {\rm Pb} & 4, 339 & 5, 115 & 4, 372 & 7, 673 & 7, 696 & 4, 047 & 3, 309 & 5, 182 \\ {\rm U} & 0, 388 & 0.994 & 0, 688 & 1, 337 & 1, 346 & 0, 426 & 4, 883 & 4, 513 \\ {\rm Sr/Y} & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 755 \\ {\rm La'N} D & 2, 282 & 2, 930 & 2, 818 & 3, 372 & 3, 363 & 2, 533 & 2, 271 & 2, 842 \\ {\rm Ni/U} & 7, 288 & 2, 846 & 5, 109 & 2, 678 & 2, 618 & 7, 336 & 4, 871 & 1, 72 \\ {\rm Ni/P} & 0, 649 & 0, 553 & 0, 804 & 0, 467 & 0, 458 & 0, 772 & 0, 974 & 0, 686 \\ {\rm Ba'Y} & 24, 166 & 36911 & 24, 524 & 26, 669 & 2, 782 & 5, 148 & 12, 503 & 38, 912 \\ {\rm La} & 6, 427 & 8, 668 & 9, 906 & 12, 184 & 11, 852 & 7, 915 & 8, 789 & 10, 099 \\ {\rm Ce} & 14, 683 & 17, 701 & 12, 319 & 2, 471 & 2, 443 & 14, 094 & 4, 210 & 974 & 0, 686 \\ {\rm Ba'Y} & 24, 166 & 36911 & 24, 524 & 26, 663 & 2, 680 & 4, 401 & 4, 250 & 2, 502 \\ {\rm He} & 0, 782 & 0, 697 & 0, 290 & 12, 184 & 11, 1827 & 7, 915 & 8, 739 & 3, 463 & 2, 910 \\ {\rm Ni} & 1, 2079 & 1, 823 & 3, 248 & 2, 683 $	Ni	156.058	70. 756	183.114	83.807	84.089	175.285	137.433	70.150
$ \begin{array}{c} La & 66, 417 & 47, 419 & 13, 288 & 60, 600 & 59, 688 & 66, 711 & 78, 484 & 61, 607 \\ Rb & 30, 309 & 20, 402 & 23, 540 & 34, 156 & 33, 028 & 17, 229 & 62, 788 & 41, 171 \\ Sr & 184, 075 & 403, 884 & 408, 251 & 443, 350 & 142, 630 & 339, 126 & 291, 726 & 251, 516 \\ Y & 18, 260 & 12, 546 & 16, 537 & 14, 527 & 13, 975 & 24, 138 & 32, 925 & 14, 327 \\ Zr & 63, 724 & 76, 672 & 82, 886 & 86, 138 & 86, 942 & 117, 754 & 117, 924 & 99, 304 \\ Nb & 2, 816 & 2, x09 & 3, 515 & 3, 581 & 3, 554 & 3, 125 & 3, 223 & 3, 553 \\ Mc & 10, 081 & 32, 100 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ Cs & 2, 949 & 1, 704 & 2, 153 & 2, 608 & 2, 536 & 122, 474 & 299, 126 & 557, 492 \\ Hf & 2, 390 & 2, 437 & 2, 821 & 3, 030 & 3, 005 & 3, 276 & 3, 283 & 2, 800 \\ Ta & 0, 177 & 0, 199 & 0, 203 & 0, 255 & 0, 252 & 0, 195 & 0, 203 & 0, 247 \\ Pb & 4, 339 & 5, 115 & 4, 372 & 7, 673 & 7, 606 & 4, 047 & 3, 300 & 5, 182 \\ U & 0, 388 & 0.994 & 0, 688 & 10, 206 & 14, 047 & 3, 300 & 2, 882 \\ U & 0, 388 & 0.994 & 0, 688 & 10, 206 & 14, 049 & 42, 883 & 4, 513 \\ Sr'(Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 42, 883 & 4, 513 \\ Sr'(Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 42, 883 & 4, 513 \\ Sr'(Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 42, 803 & 4, 513 \\ Sr'(Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 866 & 10, 206 & 14, 049 & 42, 803 & 4, 513 \\ Sr'(Y & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 866 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ La'Kb & 2, 282 & 2, 932 & 2, 818 & 3, 402 & 3, 363 & 2, 533 & 2, 721 & 2, 842 \\ Nh'U & 7, 228 & 2, 846 & 5, 109 & 2, 678 & 2, 618 & 7, 336 & 32, 513 & 3, 912 \\ La & 6, 427 & 8, 468 & 9, 906 & 12, 184 & 11, 852 & 7, 336 & 3, 355 & 3, 469 \\ Pr & 2, 544 & 2, 495 & 3, 158 & 3, 372 & 3, 363 & 3, 385 & 3, 469 & 21, 208 \\ Pr & 2, 544 & 2, 495 & 1, 549 & 2, 636 & 0, 555 & 0, 553 & 1, 259 & 1, 577 \\ Sm & 3, 549 & 2, 443 & 3, 460 & 2, 996 & 3, 008 & 3, 883 & 4, 151 & 2, 803 \\ Eu & Pr & 2, 544 & 2, 495 & 6, 697 & 1, 848 & 1, 572 & 2, 506 & 15, 349 & 12, 587 \\ Sm & 3$	Cu	294. 984	49.879	28.447	12.907	12.858	56.710	45.134	31. 379
$ \begin{array}{c} {\rm Ga} & 18, 290 & 11, 129 & 10, 274 & 18, 130 & 18, 383 & 17, 129 & 62, 788 & 41, 171 \\ {\rm Sr} & 184, 075 & 403, 854 & 348, 721 & 143, 350 & 142, 630 & 339, 126 & 291, 726 & 251, 516 \\ {\rm Y} & 18, 260 & 12, 546 & 16, 537 & 14, 527 & 13, 975 & 24, 138 & 23, 925 & 14, 327 \\ {\rm Zr} & 63, 724 & 76, 672 & 82, 886 & 86, 138 & 86, 942 & 117, 734 & 117, 924 & 93, 304 \\ {\rm Nb} & 2, 816 & 2, 899 & 3, 515 & 3, 881 & 3, 554 & 3, 125 & 3, 223 & 3, 553 \\ {\rm Mo} & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ {\rm Cs} & 2, 949 & 1, 704 & 2, 153 & 2, 608 & 2, 556 & 2, 551 & 5, 290 & 2, 706 \\ {\rm Ba} & 441, 302 & 463, 1644 & 405, 550 & 387, 376 & 390, 656 & 132, 474 & 299, 126 & 557, 492 \\ {\rm Hf} & 2, 390 & 2, 437 & 2, 821 & 3, 030 & 3, 005 & 3, 276 & 3, 283 & 2, 800 \\ {\rm Ta} & 0, 177 & 0, 199 & 0, 203 & 0, 245 & 0, 552 & 0, 252 & 0, 015 & 0, 203 & 0, 247 \\ {\rm Pb} & 4, 339 & 5, 115 & 4, 372 & 7, 673 & 7, 696 & 4, 647 & 3, 309 & 5, 182 \\ {\rm U} & 0, 388 & 0.994 & 0, 688 & 1, 337 & 1, 346 & 0, 426 & 0, 393 & 1, 120 \\ {\rm Ni}' {\rm Co} & 5, 532 & 4, 187 & 5, 843 & 4, 282 & 4, 319 & 4, 506 & 4, 883 & 4, 513 \\ {\rm Si'r'} & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 866 & 10, 206 & 14, 049 & 12, 193 & 17, 555 \\ {\rm La'}'{\rm Nb} & 2, 282 & 2, 993 & 2, 818 & 3, 402 & 3, 363 & 2, 533 & 2, 721 & 2, 842 \\ {\rm Ni}' {\rm Tb} & 0, 533 & 0, 804 & 0, 467 & 0, 488 & 0, 772 & 0, 974 & 0, 686 \\ {\rm Ba'} & 1, 701 & 21, 319 & 24, 711 & 24, 431 & 19, 945 & 21, 089 & 21, 208 \\ {\rm Pr} & 2, 544 & 2, 495 & 3, 158 & 3, 372 & 3, 366 & 3, 385 & 3, 463 & 2, 910 \\ {\rm Ni} & 12, 079 & 10, 621 & 14, 220 & 14, 209 & 14, 227 & 15, 036 & 8, 201 & 3, 172 \\ {\rm Ni} {\rm Mi} & 1, 0, 452 & 0, 894 & 0, 996 & 0, 863 & 0, 856 & 1, 332 & 1, 295 & 0, 547 \\ {\rm Ga} & 3, 733 & 2, 017 & 2, 1328 & 1, 927 & 1, 538 & 1, 534 & 12, 587 \\ {\rm Ga} & 1, 045 & 0, 894 & 0, 996 & 0, 863 & 0, 856 & 1, 332 & 3, 145 & 2, 1, 593 \\ {\rm Ev} & 1, 045 & 0, 894 & 0, 996 & 0, 2663 & 2, 690 & 4, 401 & 4, 250 & 2, 502 \\ {\rm He} & 1, 1, 045 & 0, 894 & 0, 996 & 0, 556 & 0, 552 & 0, 002 & 0$	Zn	00.41/	47.219	16.274	60.606	59.088	80. /11	/8.484	01.00/
Rb 30. 309 20. 402 25. 340 34. 150 35. 028 17. 229 02. 788 41. 171 Y 18. 260 12. 546 16. 537 14. 527 13. 975 24. 138 23. 925 14. 327 Zr 63. 724 76. 672 82. 886 86. 138 86. 942 117. 754 117. 794 91. 704 3. 304 Nb 2. 816 3. 2190 21. 088 9. 868 10. 206 14. 004 12. 193 17. 555 Cs 2. 494 1. 704 2. 153 2. 608 3. 005 32. 276 3. 283 2. 800 Ta 0. 177 0. 199 0. 203 0. 255 0. 252 0. 195 0. 203 0. 2457 2. 528 2. 203 0. 247 Th 1. 632 2. 266 2. 363 3. 477 3. 401 1. 137 1. 208 2. 882 U 0. 888 0. 994 0. 688 1. 337 1. 346 0. 4267 3. 309 5. 132 V/Co 5. 532 <td< td=""><td>Ga</td><td>18. 596</td><td>13. 159</td><td>16. 274</td><td>18.136</td><td>18. 585</td><td>17.128</td><td>17.034</td><td>17.070</td></td<>	Ga	18. 596	13. 159	16. 274	18.136	18. 585	17.128	17.034	17.070
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Rb S-	30. 309	20.402	23. 540	34. 150 142, 250	33.028	17.229	62. /88 201 726	41.1/1
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Sr V	18 260	403.834	16 527	145.550	142.030	24 128	291.720	14 227
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1 7r	18. 200 63. 724	12. 540	82 886	14. 327	15.975	24.138	25.925	14. 327 93. 304
	Nb	2 816	2 820	3 515	3 581	3 524	3 125	3 223	3 553
	Mo	2.810	2. 629	21 088	0.868	10 206	14 040	12 103	17 555
	M O Cs	2 949	1 704	2 153	2 608	2 536	2 551	5 290	2 706
	Ba	441 302	463 084	405 550	387 376	389 656	132 474	299 126	557 492
$ \begin{array}{c} \begin{tabular}{l l l l l l l l l l l l l l l l l l l $	H f	2 390	2. 437	2.821	3,030	3,005	3 276	3 283	2, 800
$ \begin{array}{c} \text{Pb} & 4, 339 & 5, 115 & 4, 372 & 7, 673 & 7, 696 & 4, 047 & 3, 309 & 5, 182 \\ \text{T} \text{h} & 1, 632 & 2, 526 & 2, 363 & 3, 477 & 3, 401 & 1, 137 & 1, 208 & 2, 852 \\ \text{U} & 0, 388 & 0, 94 & 0, 688 & 1, 337 & 1, 346 & 0, 426 & 0, 393 & 1, 120 \\ \text{Ni/Co} & 5, 532 & 4, 187 & 5, 843 & 4, 282 & 4, 319 & 4, 506 & 4, 883 & 4, 513 \\ \text{sr/Y} & 10, 081 & 32, 190 & 21, 088 & 9, 868 & 10, 206 & 4, 648 & 12, 193 & 17, 555 \\ \text{La'Nb} & 2, 282 & 2, 993 & 2, 818 & 3, 402 & 3, 363 & 2, 533 & 2, 721 & 2, 842 \\ \text{Ni/U} & 7, 258 & 2, 846 & 5, 109 & 2, 678 & 2, 618 & 7, 336 & 8, 201 & 3, 172 \\ \text{Ni/PU} & 7, 258 & 2, 846 & 5, 109 & 2, 678 & 2, 618 & 7, 336 & 8, 201 & 3, 172 \\ \text{Ni/PU} & 7, 258 & 2, 846 & 5, 109 & 2, 678 & 2, 648 & 7, 736 & 8, 201 & 3, 172 \\ \text{Ni/PU} & 7, 258 & 4, 2495 & 3, 158 & 3, 372 & 3, 366 & 3, 385 & 3, 463 & 2, 910 \\ \text{La} & 6, 427 & 8, 468 & 9, 906 & 12, 184 & 11, 852 & 7, 915 & 8, 769 & 10, 099 \\ \text{Ce} & 14, 683 & 17, 701 & 21, 319 & 24, 711 & 24, 431 & 19, 945 & 21, 089 & 21, 208 \\ \text{Pr} & 2, 544 & 2, 495 & 3, 158 & 3, 372 & 3, 366 & 3, 385 & 3, 463 & 2, 910 \\ \text{Nd} & 12, 079 & 10, 621 & 14, 220 & 14, 209 & 14, 227 & 15, 036 & 15, 349 & 12, 587 \\ \text{Sm} & 3, 549 & 2, 443 & 3, 460 & 2, 996 & 3, 008 & 3, 883 & 4, 151 & 2, 803 \\ \text{Eu} & 1, 045 & 0, 894 & 0, 996 & 0, 863 & 0, 856 & 1, 332 & 1, 295 & 0, 547 \\ \text{Gd} & 3, 733 & 2, 401 & 3, 269 & 2, 812 & 2, 833 & 4, 069 & 4, 271 & 2, 622 \\ \text{Tb} & 0, 622 & 0, 300 & 0, 515 & 0, 441 & 0, 447 & 0, 703 & 0, 704 & 0, 424 \\ \text{Dy} & 3, 845 & 2, 332 & 3, 248 & 2, 683 & 2, 690 & 4, 401 & 4, 250 & 2, 502 \\ \text{Ho} & 0, 782 & 0, 479 & 0, 669 & 0, 560 & 0, 552 & 0902 & 0, 873 & 0, 512 \\ \text{Ca'Tb} & 0, 286 & 0, 197 & 0, 293 & 0, 248 & 0, 237 & 0, 366 & 0, 350 & 0, 209 \\ \text{Yb} & 1, 733 & 1, 292 & 1, 852 & 1, 587 & 1, 552 & 2, 303 & 2, 271 & 1, 304 \\ \text{La'Cym} & 1, 139 & 2, 18 & 1, 801 & 2, 558 & 2, 478 & 1, 282 & 1, 339 & 0, 512 \\ (\text{Ca'Tb})_8 & 1, 738 & 1, 5 & 1, 424 & 1, 43 & 1, 473 & 1, 426 & 1, 518 & 1, 623 \\ (\text{Cd'Tb})_8 & 1, 1738 & 1, 5 & 1, 424 & 1, 43 & 1, 473 & 1, 42$	Та	0 177	0. 199	0.203	0.255	0.252	0 195	0.203	0.247
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Ph	4 339	5, 115	4.372	7,673	7.696	4 047	3 309	5 182
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Th	1.632	2. 526	2, 363	3. 477	3. 401	1. 137	1.208	2.852
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	U	0.388	0.994	0.688	1.337	1.346	0.426	0.393	1.120
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Ni/ Co	5, 532	4, 187	5.843	4, 282	4, 319	4, 506	4, 883	4, 513
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Sr/Y	10.081	32, 190	21.088	9.868	10. 206	14.049	12. 193	17.555
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	La/Nb	2.282	2.993	2.818	3.402	3.363	2.533	2.721	2.842
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Nb/U	7.258	2.846	5.109	2.678	2.618	7.336	8.201	3.172
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Nb/Pb	0.649	0.553	0.804	0.467	0.458	0.772	0.974	0.686
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Ba/ Y	24.168	36.911	24. 524	26.666	27.882	5.488	12.503	38.912
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	La	6.427	8.468	9.906	12.184	11.852	7.915	8.769	10.099
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Ce	14.683	17.701	21.319	24.711	24.431	19.945	21.089	21.208
Nd12.07910.62114.22014.20914.22715.03615.34912.587Sm3.5492.4433.4602.9963.0083.8834.1512.803Eu1.0450.8940.9960.8630.8561.3321.2950.547Gd3.7332.4013.2692.8122.8334.0694.2712.622Tb0.6220.3800.5150.4410.4470.7030.7040.424Dy3.8452.3323.2482.6832.6904.4014.2502.502Ho0.7820.4790.6690.5600.5520.9020.8730.512Er2.0591.3251.9071.5881.5292.5062.3911.401Tm0.2860.1970.2930.2480.2370.3660.3500.209Yb1.7331.2921.8521.5871.5522.3032.2711.304Lu0.2470.1940.2750.2360.2330.3550.3420.198∑REE53.63451.22265.08568.4967.81267.10069.56759.326LRE/ HRE E3.0304.9564.4115.7445.7333.3003.5025.468(La/Yb)_N1.1392.181.8012.5582.4781.2821.3292.266(Gd/Yb)_N1.7381.51.4241.431.4731.4261.5181.623(Gd/Yb)_N	Pr	2.544	2.495	3.158	3.372	3.366	3.385	3.463	2.910
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Nd	12.079	10. 621	14.220	14.209	14.227	15.036	15.349	12.587
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Sm	3.549	2.443	3.460	2.996	3.008	3.883	4.151	2.803
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Eu	1.045	0.894	0.996	0.863	0.856	1.332	1.295	0. 547
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Gd	3.733	2.401	3.269	2.812	2.833	4.069	4.271	2.622
Dy3.8452.3323.2482.6832.6904.4014.2502.502Ho0.7820.4790.6690.5600.5520.9020.8730.512Er2.0591.3251.9071.5881.5292.5062.3911.401Tm0.2860.1970.2930.2480.2370.3660.3500.209Yb1.7331.2921.8521.5871.5522.3032.2711.304Lu0.2470.1940.2750.2360.2330.3550.3420.198∑REE53.63451.22265.08568.4967.81267.10069.56759.326LREE/HREE3.0304.9564.4115.7445.7333.3003.5025.468(La/Yh)_N2.5004.4193.6055.1765.1492.3172.6035.221(La/Sm)_N1.1392.181.8012.5582.4781.2821.3292.266(Gd/Yb)_N1.7381.51.4241.431.4731.4261.5181.623(Gd/Yb)_N1.8791.5391.4751.4811.5141.4251.5531.646La/Sm1.8113.4662.8634.0673.942.0382.1133.603La/Yb3.7096.5545.3487.6777.6373.4373.8617.745Gd/Yb2.1541.8581.7651.7721.8251.7671.8812.011S	Тb	0.622	0.380	0.515	0.441	0. 447	0.703	0.704	0. 424
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Dy	3.845	2.332	3.248	2.683	2.690	4.401	4.250	2.502
Er2.0591.3251.9071.5881.5292.5062.3911.401Tm0.2860.1970.2930.2480.2370.3660.3500.209Yb1.7331.2921.8521.5871.5522.3032.2711.304Lu0.2470.1940.2750.2360.2330.3550.3420.198 Σ REE53.63451.22265.08568.4967.81267.10069.56759.326LREE/HREE3.0304.9564.4115.7445.7333.3003.5025.468(La/Yb)_N2.5004.4193.6055.1765.1492.3172.6035.221(La/Sm)_N1.1392.181.8012.5582.4781.2821.3292.266(Gd/Yb)_N1.7381.51.4241.431.4731.4261.5181.623(Gd/Lu)_N1.8791.5391.4751.4811.5141.4251.5531.646La/Sm1.8113.4662.8634.0673.942.0382.1133.603La/Yb3.7096.5545.3487.6777.6373.4373.8617.745Gd/Yb2.1541.8581.7651.7721.8251.7671.8812.011Sm/Nd0.2940.2300.2430.2110.2110.2580.2700.223 δ (Eu)0.8740.9170.9120.9140.9190.9270.9210.930 <td>Нo</td> <td>0.782</td> <td>0. 479</td> <td>0.669</td> <td>0.560</td> <td>0.552</td> <td>0.902</td> <td>0.873</td> <td>0.512</td>	Нo	0.782	0. 479	0.669	0.560	0.552	0.902	0.873	0.512
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Er	2.059	1. 325	1.907	1.588	1.529	2.506	2.391	1.401
Yb1. 7331. 2921. 8521. 5871. 5522. 3032. 2711. 304Lu0. 2470. 1940. 2750. 2360. 2330. 3550. 3420. 198 Σ REE53. 63451. 22265. 08568. 4967. 81267. 10069. 56759. 326LREE/ HREE3. 0304. 9564. 4115. 7445. 7333. 3003. 5025. 468(La/ Yb) N2. 5004. 4193. 6055. 1765. 1492. 3172. 6035. 221(La/Sm) N1. 1392. 181. 8012. 5582. 4781. 2821. 3292. 266(Gd/ Yb) N1. 7381.51. 4241. 431. 4731. 4261. 5181. 623(Gd/ Lu) N1. 8791. 5391. 4751. 4811. 5141. 4251. 5531. 646La/ Sm1. 8113. 4662. 8634. 0673. 942. 0382. 1133. 603La/ Yb3. 7096. 5545. 3487. 6777. 6373. 4373. 8617. 745Gd/ Yb2. 1541. 8581. 7651. 7721. 8251. 7671. 8812. 011Sm/Nd0. 2940. 2300. 2430. 2110. 2110. 2580. 2700. 223 δ (Eu)0. 8721. 1160. 8920. 8960. 8841. 0170. 9330. 608 δ (Ce)0. 8740. 9170. 9120. 9140. 9190. 9270. 9210. 930	Tm	0. 286	0. 197	0. 293	0. 248	0. 237	0.366	0.350	0.209
Lu 0.247 0.194 0.275 0.236 0.233 0.355 0.342 0.198 ΣREE 53.634 51.222 65.085 68.49 67.812 67.100 69.567 59.326 $LREE/HREE$ 3.030 4.956 4.411 5.744 5.733 3.300 3.502 5.468 $(La/Yb)_N$ 2.500 4.419 3.605 5.176 5.149 2.317 2.603 5.221 $(La/Sm)_N$ 1.139 2.18 1.801 2.558 2.478 1.282 1.329 2.266 $(Gd/Yb)_N$ 1.738 1.5 1.424 1.43 1.473 1.426 1.518 1.623 $(Gd/Lu)_N$ 1.879 1.539 1.475 1.481 1.514 1.425 1.553 1.646 La/Sm 1.811 3.466 2.863 4.067 3.94 2.038 2.113 3.603 La/Yb 3.709 6.554 5.348 7.677 7.637 3.437 3.861 7.745 Gd/Yb 2.154 1.858 1.765 1.772 1.825 1.767 1.881 2.011 Sm/Nd 0.294 0.230 0.243 0.211 0.211 0.258 0.270 0.223 $\delta(Ce)$ 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 $LREE$ 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 $HREE$ 1	Yb	1.733	1.292	1.852	1.587	1.552	2.303	2. 271	1. 304
2REE 53. 63451. 22265. 08568. 4967. 81267. 10069. 56759. 326 LREE/ HREE 3. 0304. 9564. 4115. 7445. 7333. 3003. 5025. 468 $(\text{La/ Yb})_{\text{N}}$ 2. 5004. 4193. 6055. 1765. 1492. 3172. 6035. 221 $(\text{La/ Sm})_{\text{N}}$ 1. 1392. 181. 8012. 5582. 4781. 2821. 3292. 266 $(\text{Gd/ Yb})_{\text{N}}$ 1. 7381. 51. 4241. 431. 4731. 4261. 5181. 623 $(\text{Gd/ Lu})_{\text{N}}$ 1. 8791. 5391. 4751. 4811. 5141. 4251. 5531. 646 La/ Sm 1. 8113. 4662. 8634. 0673. 942. 0382. 1133. 603 La/ Yb 3. 7096. 5545. 3487. 6777. 6373. 4373. 8617. 745 Gd/ Yb 2. 1541. 8581. 7651. 7721. 8251. 7671. 8812. 011 Sm/Nd 0. 2940. 2300. 2430. 2110. 2110. 2580. 2700. 223 $\delta(\text{Ce})$ 0. 8740. 9170. 9120. 9140. 9190. 9270. 9210. 930 LREE 40. 32742 62253. 05758. 33557. 7451. 49554. 11650. 154HREE13. 3078. 60012. 02810. 15510. 07215. 60515. 4519. 172	Lu	0. 247	0. 194	0. 275	0.236	0. 233	0.355	0.342	0. 198
LREE/ HREE 3.030 4.956 4.411 5.744 5.733 3.300 3.502 5.468 $(La/ Yb)_N$ 2.500 4.419 3.605 5.176 5.149 2.317 2.603 5.221 $(La/ Sm)_N$ 1.139 2.18 1.801 2.558 2.478 1.282 1.329 2.266 $(Gd/ Yb)_N$ 1.738 1.5 1.424 1.43 1.473 1.426 1.518 1.623 $(Gd/ Lu)_N$ 1.879 1.539 1.475 1.481 1.514 1.425 1.553 1.646 La/ Sm 1.811 3.466 2.863 4.067 3.94 2.038 2.113 3.603 La/ Yb 3.709 6.554 5.348 7.677 7.637 3.437 3.861 7.745 Gd/ Yb 2.154 1.858 1.765 1.772 1.825 1.767 1.881 2.011 Sm/Nd 0.294 0.230 0.243 0.211 0.211 0.258 0.270 0.223 $\delta(Ce)$ 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 LREE 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 HREE 13.307 8.600 12.028 10.155 10.072 15.605 15.451 9.172		53.634	51. 222	65.085	68.49	67.812	67.100	69.567	59.326
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	LREE/HREE	3.030	4.956	4.411	5. 744	5. 733	3. 300	3. 502	5.468
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$(La/Yb)_N$	2.500	4.419	3.605	5. 176	5. 149	2.317	2.603	5. 221
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$(La/Sm)_N$	1. 139	2.18	1. 801	2.338	2.478	1. 282	1. 529	2.200
(Gd/Lu) _N 1.879 1.539 1.475 1.481 1.514 1.425 1.555 1.646 La/Sm 1.811 3.466 2.863 4.067 3.94 2.038 2.113 3.603 La/Yb 3.709 6.554 5.348 7.677 7.637 3.437 3.861 7.745 Gd/Yb 2.154 1.858 1.765 1.772 1.825 1.767 1.881 2.011 Sm/Nd 0.294 0.230 0.243 0.211 0.211 0.258 0.270 0.223 \delta(Eu) 0.872 1.116 0.892 0.896 0.884 1.017 0.933 0.608 δ(Ce) 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 LREE 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 HREE 13.307 8.600 12.028 10.155 10.072 15.605 15.451 9.172	$(Ga/Ib)_{\rm N}$	1. 738	1.5	1.424	1.43	1.4/5	1. 420	1.518	1. 625
La Shi 1.011 5.400 2.005 4.007 5.94 2.036 2.113 5.005 La/Yb 3.709 6.554 5.348 7.677 7.637 3.437 3.861 7.745 Gd/Yb 2.154 1.858 1.765 1.772 1.825 1.767 1.881 2.011 Sm/Nd 0.294 0.230 0.243 0.211 0.211 0.258 0.270 0.223 δ(Eu) 0.872 1.116 0.892 0.896 0.884 1.017 0.933 0.608 δ(Ce) 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 LREE 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 H REE 13.307 8.600 12.028 10.155 10.072 15.605 15.451 9.172	(Ga/Lu) _N La/Sm	1.8/9	1. 559	1.4/5	1.481	1. 514	1.425	1. 333	1.040
Larry 5.767 6.354 7.677 7.657 5.457 5.801 7.743 Gd/Yb 2.154 1.858 1.765 1.772 1.825 1.767 1.881 2.011 Sm/Nd 0.294 0.230 0.243 0.211 0.211 0.258 0.270 0.223 δ(Eu) 0.872 1.116 0.892 0.896 0.884 1.017 0.933 0.608 δ(Ce) 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 LREE 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 HREE 13.307 8.600 12.028 10.155 10.072 15.605 15.451 9.172	La Sin La/Vh	3 700	6 554	2. 305	7 677	J. 74 7 627	2.050	2.113	7 745
Gurris 2.134 1.05 1.72 1.825 1.707 1.881 2.011 Sm/Nd 0.294 0.230 0.243 0.211 0.211 0.258 0.270 0.223 δ(Eu) 0.872 1.116 0.892 0.896 0.884 1.017 0.933 0.608 δ(Ce) 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 LREE 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 HREE 13.307 8.600 12.028 10.155 10.072 15.605 15.451 9.172		5.709 2.154	1 959	J. 348 1 765	1.0//	1.03/	5.457 1.767	J. 801	7.743 2.011
$\delta(Eu)$ 0. 2740. 2000. 2450. 2110. 2110. 2350. 2100. 225 $\delta(Eu)$ 0. 8721. 1160. 8920. 8960. 8841. 0170. 9330. 608 $\delta(Ce)$ 0. 8740. 9170. 9120. 9140. 9190. 9270. 9210. 930LREE40. 32742 62253. 05758. 33557. 7451. 49554. 11650. 154HREE13. 3078. 60012. 02810. 15510. 07215. 60515. 4519. 172	Gu/ID Sm/Nd	2.134	1.000	0 243	0.211	0 211	0.258	0.270	2.011
δ(Lar) 0.072 1.10 0.052 0.050 0.064 1.017 0.935 0.008 δ(Ce) 0.874 0.917 0.912 0.914 0.919 0.927 0.921 0.930 LREE 40.327 42.622 53.057 58.335 57.74 51.495 54.116 50.154 H REE 13.307 8.600 12.028 10.155 10.072 15.605 15.451 9.172	δ(F ₁)	0.872	1 116	0.807	0.806	0.884	1 017	0.033	0.608
LREE 40. 327 42. 622 53. 057 58. 335 57. 74 51. 495 54. 116 50. 154 H REE 13. 307 8. 600 12. 028 10. 155 10. 072 15. 605 15. 451 9. 172	δ(Ce)	0.874	0 917	0.092	0.090	0.004	0.927	0.935	0.000
HREE 13, 307 8, 600 12, 028 10, 155 10, 072 15, 605 15 451 9 172	LREF	40 327	42 622	53 057	58 335	57 74	51 495	54 116	50 154
	H BEE	13, 307	8,600	12.028	10, 155	10.072	15, 605	15, 451	9, 172

量的单位: w_B/10⁻⁶。

较大,被Fe²⁺,Mn和Ca所占据,它们的离子半径一 般较大,则该晶系为单斜晶系。(Ca+Na)B> 1.34, 在B位上没有Na,(Na+K)> 0.50,Ti< 0.50。 根据Leake等的角闪石分类方案(图7)^[17],本

区角闪石属钙角闪石类的镁角闪石和纯角闪石。

4 讨论

4.1 岩石成因 本区侵入岩 w (SiO₂) = 46.47% ~ 63.14%, 平

表 3	闪长岩中角闪石的电子探针成分分析结果

TT 11 2	TT 1	· 1	1 .	C	1.1 1	•	.1 1 .
I able 5	Iner	nicroprobe	analysis	OT.	amphibole	m	the diorite
				~~~			

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
SiO ₂	47.66	45.74	45.31	48.51	46. 59	45.31
TiO ₂	1.03	1.27	1.53	1.37	1.33	1.13
$A l_2 O_3$	7.60	9.59	10.32	7.25	9.59	10.63
FeO	12.65	11.57	11.21	11.73	11.43	11.89
MnO	0.13	0.27	0.06	0.10	0. 22	0.09
MgO	14.43	14.73	14.80	15.94	14. 52	14.38
CaO	11.72	11.27	11.52	11.13	11.34	11.05
$Na_2O$	1.62	2.15	2.28	1.58	2.11	2.31
$K_2 O$	0.43	0. 53	0.60	0.25	0.45	0.44
T otal	97.27	97.12	97.63	97.86	97.58	97.23
T Si	6.999	6.731	6.634	7.020	6.823	6.665
$A1^{IV}$	1.001	1.269	1.366	0.980	1.177	1.335
$A1^{VI}$	0.313	0.393	0.414	0.255	0.477	0.506
Al	1.314	1.662	1.780	1.235	1.654	1.841
Тi	0.114	0.141	0.169	0.149	0.147	0.125
Мg	3.159	3.232	3.230	3.439	3.170	3.153
$\mathrm{Fe}^{2+}$	1.414	1.235	1.187	1.157	1.207	1.215
$\mathrm{Fe}^{2+}$	0.140	0.189	0.185	0.262	0.193	0.247
$\mathrm{Fe}^{2+}$	1.554	1.424	1.372	1.419	1.400	1.462
M n	0.016	0.034	0.007	0.012	0.027	0.011
BCa	1.844	1.777	1.807	1.726	1.779	1.741
BNa	0.461	0.614	0.647	0.443	0. 599	0.659
Κ	0.081	0.100	0.112	0.046	0.084	0.083

注: T和B代表配位数;量的单位: wB/%。





均 53.03%; 其基性端元的  $w(SiO_2) < 53\%$ , 实验岩 石学研究结果表明,大陆地壳局部熔融不能产生比 安山岩更基性的原生岩浆^[18-20],陆壳局部熔融产物 的 $w(SiO_2)$ 通常应> 56%。很显然, 查汗萨拉地区 侵入岩不可能完全由陆壳直接局部熔融产生,应该 有地幔物质的加入。岩石组合中出现真正的基性端 元组分,岩石 $w(SiO_2)$ 较低,过渡族金属元素Cr,Ni 等的富集暗示地幔成分可能非常多。Sr/Y= 9.868 ~ 32.190,该值< 40; Rb 随岩浆分异作用加强而明 显富集, Sr 主要在岩浆早期阶段富集, 在分异程度 高的岩浆中 Ba 减少, Rb/Sr 和 Rb/Ba 的比值不高, 分别为 0. 051~ 0. 238 和 0. 044~ 0. 210. 这一方面 暗示原始岩浆未经高度的结晶分异作用^[21],另一方 面说明源岩可能部分来自地壳^[22]。Ba/Y=5.488 ~ 38.912, 平均 24.632, 暗示地幔富集程度高^[23]。 岩石显示负的 Nb 异常,反映了大陆地壳的特征,可 能指示地壳物质参与了岩浆过程^[24]; N b, Th, Ta 明 显亏损以及 U 的富集可能显示岩体与地壳物质的 加入有关^[25]。岩石微量元素地球化学特征表明,查 汗萨拉岩体的岩浆可能起源于地幔。LILE 元素的富 集反映了大陆组分的混染^[26]。由此反映岩体来源 于壳- 幔物质混合而成的混源岩浆, 这与准噶尔板 块南缘伊连哈比尔尕晚古生代沟弧带岩浆活动性质 为壳幔混源相一致^[2]。

在角闪石的 T_iO₂- Al₂O₃ 图解^{27]}(图 8)中,本 区角闪石全部落在壳幔源区,并且投点偏向于幔源 区域,从整体上反映出本区成岩物质来源于地壳,并 且有大量地幔物质的加入。在反映岩浆演化方式的 TFeO- MgO 图解^[26](图 8)中,样品的投点均沿壳 幔混合线分布,但较为离散,这可能是岩体后期蚀变 或风化导致 TFeO 增高的缘故。而在主量元素中, Nac O/ CaO 比值随着 Al₂O₃/ CaO 比值的增大而增 大,有很好的相关性,反映出壳幔物质交换、混合的 特点^[29]。由此可以看出,查汗萨拉岩体是壳幔相互 作用的产物。

在 Harker 图解中,总体上 MgO, CaO, TFeO 和 TiO² 随着 SiO² 的增高而有轻微的降低, Na²O, K²O, Al²O³ 和 P²O⁵ 与 SiO² 没有明显的相关性。  $\Sigma$ REE 较低; LREE/HREE, La/Yb 和 Sm/Nd 的比 值较低,反映 REE 分馏程度低, LREE 和 HREE 分 馏不明显;具有微弱的负铕异常; Rb/Sr 和 Rb/Ba 比值较低。这些特点表明其岩浆演化演化程度 不高。

另外, La/ Sm 和 La/Yb 对 La 图解可以区分结 晶分异作用和部分熔融作用。在部分熔融过程中, La/Sm 比值有一定变化,其趋势轨迹为斜线;而在 分离结晶作用过程中, La/Sm 比值几乎没有明显的 变化,其分布趋势轨迹为近水平的直线^[30]。由图 9 可以看出,绝大多数样品的投影点沿一较陡的斜线 分布,随着 La 的增加, La/Sm 和 La/Yb 呈线性增 加,完全符合部分熔融的地球化学作用;因此说明, 在岩浆演化过程中,岩浆作用以部分熔融为主,指示 了本区岩石是由壳幔型岩浆经过平衡部分熔融作用 而形成。

4.2 温度压力估算

张儒瑗等指出^[31], 普通角闪石的 Ti 含量与温 度有关, Ti 含量随温度增高而增大; Al[™]随温度增 高而增加。结合角闪石中的 Al[™]和 Ti 随温度变化 图解可知(图 10), 角闪石的平衡温度为 650~760 ℃, 低于一般岩浆角闪石的结晶温度, 可能与含有大 量流体有关, 使角闪石的固相线下降; 这与深部岩体 在上升侵位过程中带来大量成矿流体相吻合^[6]。



图 8 角闪石的 Ti₂O- Al₂O₃ 图解^[27]和 TFeO- MgO 图解^{28]} Fig. 8 The Ti₂O- Al₂O₃ diagram of amphibole and the TFeO- MgO diagram of the intrusion



#### 图 9 La/Sm和La/Yb对La的图解

Fig. 9 The diagram of La/Sm and La/Yb versus La





Fig. 10 The diagram showing change of Al^N and T i in the amphibole with change of the temperature

实验岩石学资料证实,钙碱性侵入岩中角闪石 的全铝含量与结晶时的压力成正比,这是确定岩体 结晶深度的一种有效方法。Hammarstrom和Zen 在大量角闪石成分数据的基础上^[32],经过统计分析 得到了一个角闪石中铝与压力之间的线性关系:p= - 3.92+ 5.03 A^T, Y²= 0.80; 其中 A^T 是角闪石 结构式中 A1 原子总数。压力误差范围为 3 × 10⁸ Pa。该压力计主要适用于主要矿物组合为斜长石+ 角闪石+ 黑云母+ 钾长石+ 石英+ 磁铁矿+ 绿帘石 的岩石,并且在压力低于 10 × 10⁸ Pa 时较为准确。 随后 Hollister et al, Johnson, Schmidt 分别通过实 验校正对该公式又作了些改进^[33-35],获得如下压力 方程:  $p = (-4.76 + 5.64 \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, p = (-3.46+4.23 \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, p = (-3.01+4.76 \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = (-3.01+4.76 \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}) \times 10^{8} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$   $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Al}^{T}}$  $\overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline{3.01+4.76} \text{ Pa}, a = \overline$ 

表 4	查汗萨拉岩体角闪石全铝压	力计算结果
-----	--------------	-------

Table 4	Γhe aluminum	pressure results	of am	phibole	in the	Chahansala	intrusion
---------	--------------	------------------	-------	---------	--------	------------	-----------

点位	D1	D2	D3	D4	D5	D6	平均值
AlT	1.235	1.314	1.654	1.662	1.78	1.841	1.58
Hammarstrom 和 Zen(1986)	2.29	2.69	4.40	4.44	5.03	5.34	4.03
Hollisteret 等(1987)	2.21	2.65	4.57	4.61	5.28	5.62	4.16
Johnson 等(1989)	1.76	2.10	3.54	3.57	4.07	4.33	3.23
Schm idt( 1992)	2.87	3.24	4.86	4.90	5.46	5.75	4.52

量的单位: p / 108 Pa。



图 11 角闪石电子探针的位置





图 12 查汗萨拉岩体的 p-T 图解



中泥盆世初期,板内伸展作用在新疆西天山地 区普遍发生,早石炭世后期形成依连哈比尔尕晚古 生代弧前-海沟带^[36],晚石炭世末-二叠纪,西天 山所有洋盆闭合,进入板块碰撞-板内伸展阶段,大 量幔源花岗岩类和少量的镁铁质--超镁铁质杂岩在 上地壳侵位[37]。查汗萨拉岩体侵入于上石炭统围 岩中,金矿化可能伴随岩浆晚期或期后的构造-热 液活动而发生,可推测成岩和成矿时代在晚石炭世 末期-二叠纪或之后,形成于造山晚期,与海西中晚 期岩浆侵入密切相关^[7]。海西中晚期构造活动强 烈,并且岩浆侵入活动强烈^[2],侵入体多分布于区域 性深大断裂带附近。由此可以推测海西中晚期大量 地幔物质侵入到深部地壳环境,形成壳幔混合型岩 浆,同时地壳深部有部分角闪石结晶;由于构造活动 强烈,形成区域性深大断裂带,岩浆沿着深大断裂从 大约 20 km 处(岩浆房的深度)快速上侵到深度约

为 6 km( 假定 1 × 10⁹ Pa≈ 33 km) 处结晶成岩, 即结 晶于地壳环境, 形成深成侵入岩。

#### 5 结论

(1)本区岩石系列具有过渡的特点,属于亚碱性的准铝质钙碱性系列,岩性为辉长岩和闪长岩。总体上 MgO, CaO, TFeO 和TiO2 随着 SiO2 的增高而有轻微的降低, Na2O, K2O, Al2O3 和 P2O5 与 SiO2 没有明显的相关性,这说明仅有少量的暗色矿物和长石分离结晶,同时也反映了岩浆演化程度不高。

(2)在微量元素配分中显示 Th, Nb, Ta 和 Zr 相对亏损, 而 U, Ba 和 Pb 富集, 总体上向右倾斜, 显 示负的 Nb 异常和高的正 Pb 异常, 反映本区岩浆属 于壳幔混合型岩浆; 稀土元素配分曲线呈向右的平 缓倾斜, 且轻稀土元素配分型式为逐渐降低, 重稀土 元素则近于水平, 属于向右缓倾斜的轻稀土元素富 集型; 稀土总量  $\Sigma$ REE 偏低且变化不大, 轻、重稀土 分馏不明显, 但轻稀土元素分馏程度略高, HREE 内部分馏作用弱; 有较弱的 Ce 和 Eu 负异常。稀土 元素地球化学特征显示岩体形成时的岩浆演化程度 不高。

(3)本区角闪石属于钙角闪石类的镁角闪石和 纯角闪石,一部分角闪石是在岩浆上升过程中结晶, 另一部分可能是岩浆定位以后结晶的;由于原始岩 浆含有大量的流体,降低了角闪石的结晶温度,导致 角闪石形成温度为 650~760 ℃;成岩物质含有地壳 物质,并且有大量地幔物质的加入;海西中晚期大量 地幔物质侵入到深部地壳环境,形成壳幔混合型岩 浆,同时地壳深部有部分角闪石结晶;由于构造活动 强烈,形成区域性深大断裂带,岩浆沿着深大断裂从 大约 20 km 处(岩浆房的深度)快速上侵到深度约

#### 为6km的部位结晶成岩,形成深成侵入岩。

**致谢**:本文得到了国家科技支撑计划重点项目 (项目编号:2006BAB07B01)的资助。在数据的分 析过程中得到中国地质大学(北京)张招崇教授的帮助,罗照华教授提出了宝贵的修改意见,在此向他们 表示诚挚的感谢!

#### 参考文献:

- [1] 新疆地质矿产局第七地质大队.新疆乌苏市查汗萨拉金矿地 质勘查报告[R].乌鲁木齐:新疆地质矿产勘查局,2005.
- [2] 隗合明,吴文奎,薛春纪.新疆西天山金属矿床成矿系列和形成演化规律[J].地质学报,1999,73(3):2940.
- [3] 邓宏涛. 博罗科努山北坡金铜矿成因类型探讨[J]. 新疆地质, 2001, 19(2): 123-127.
- [4] 王军年,张兵,白新兰,等. 化探方法在查汗萨拉金矿发现中的 应用[J]. 资源环境与工程,2009,23(3):300-303.
- [5] 冯京,薛春纪,王晓刚,等.新疆西天山依连哈比尔尕西段新发 现查汗萨拉金矿[J].现代地质,2008,22(5):895-896.
- [6] 冯京, 薛春纪, 王晓刚. 新疆查汗萨拉金矿化地质特征及成因 浅析[J]. 新疆地质, 2009, 27(2): 127-130.
- [7] 罗小平,薛春纪,李怀祥,等.新疆西天山查汗萨拉金矿地质、 金赋存状态及同位素地球化学研究[J].矿床地质,2009,28
   (5):558-568.
- [8] 陈毓川, 刘德权, 唐延龄, 等. 中国新疆战略性固体矿产大型矿 集区研究[M].北京:地质出版社, 2007: 1-467.
- [9] 张良臣, 刘德权. 中国新疆优势金属矿产成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 116-150.
- [10] Muschler F E. The precious metal deposits associated with alkaline rocks a spatial and temporal process in Cordillera
   [J]. Mining Engineering, 1991, 3: 304-309.
- [11] Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of Eocene cale alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58 (1): 63-81.
- [12] 冯京,张招崇. 阿尔泰山南缘中-酸性斑岩的地球化学特征 及其岩石成因探讨[J]. 地质论评, 2009, 55(1):58-71.
- [13] 谢建成,杨晓勇, Insung Lee. 安徽沿江地区燕山期含铜岩体
   稀土、微量地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2008, 28(1): 72-78.
- [14] 杨小男, 徐兆文, 张军, 等. 安徽狮子山矿田南洪冲岩体形成时 代及成因机制研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1543-1551.
- [15] 成勇,杨高学,李永军,等.东准库布苏南岩体微量元素特征 及构造意义[J].新疆地质,2009,27(1):5-9.
- [16] 陈光远, 殷辉安. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆: 重庆 出版社, 1987: 321-650.
- [17] Leake B E, Woolley A R, Arps C E S. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names [J]. American Mineralogist, 1997, 82: 1019-1037.
- [18] Yardley B W D, Valley J W. The petrologic case for a dry

lower crust[J]. Geophys Res, 1997, 02: 12173-12185.

- [19] Patino Douce A E, McCarthy T C. Melting of Crustal Rocksduring Continental Collision and Subduction [M]. Netherlands: Kluwer A cademic Publishers, 1998: 27-55.
- [20] 邓晋福. 岩石相平衡与岩石成因[M]. 武汉:武汉地质学院出版社, 1987: 38-71.
- [21] 许荣科, 马国桃, 郑有业, 等. 西藏日土南部阿依拉杂岩体的 地球化学年代学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2006, 25 (12): 1428-1436.
- [22] Taylor S R, Mclennan S M. The chemical composition of the Archaean crust (in the nature of the lower continental crust)
   [J]. Geological Society Special Publications, 1986, 24: 173-178.
- [23] 焦建刚, 汤中立, 闫海卿, 等. 甘肃高台一临泽地区 109-2 隐伏 岩体岩石地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31 (2): 218-225.
- [24] 杨学明,杨晓勇,陈双喜.岩石地球化学[M]. 合肥:中国科学 技术大学出版社,2000:215-217.
- [25] 徐芹芹,季建清,韩宝福,等.新疆北部晚古生代以来中基性 岩脉的年代学、岩石学、地球化学研究[J].岩石学报,2008, 24(5):977-996.
- [26] 庞振山, 杜杨松, 王功文, 等. 云南普 朗复式岩体地质地球化 学特征及成因[J]. 地质通报, 2009, 28(4): 531-537.
- [27] 陈光远, 孙岱生, 周珣若, 等. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学 与金矿化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: +131.
- [28] Didier J, Barbarin B. Eeclaves and Granite Petrology [M]. Amsterdam: Elsevier, 1991: 450-625.
- [29] 韩振哲,赵寒冬,吕军,等.小兴安岭东南晚奥陶世鹤林侵入 杂岩体成因探讨[J].现代地质,2009,23(3):497-507.
- [30] 张作衡, 王志良, 毛景文, 等. 西天山 菁布拉克基性杂岩体的 地球化学特征[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 1005-1016.
- [31] 张儒瑗, 从柏林. 矿物温度计和矿物压力计[M]. 北京: 地质 出版社, 1983: 123-164.
- [32] Hammarstrom J M, Zen E A. Aluminum in hornblende: an empiricaligneous geobarometer [J]. American Mineralogist, 1986, 71: 1297-1313.
- [33] HollisterL S, Grissom G C, Peters E K, et al. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with products of solidification in calealkaline plutons[J]. American Mineralegist, 1987, 72: 231-239.
- [34] Johnson M C, Rutherford M J. Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera(California)[J]. Geology, 1989, 17: 837-841.
- [35] Schmidt M W. Amphibole composition in tonalite as a funetion of pressure: An experimental calibration of the A4 imhornblende batometer [J]. Contributions to M ineralogy and Petrology, 1992, 110: 304 310.
- [36] 张作衡, 毛景文, 王志良, 等. 新疆西天山达巴特铜矿床地质 特征和成矿时代研究[J]. 地质论评, 2006, 52(5): 683-689.
- [37] 韩宝福,何国琦,洪大卫,等.新疆北部后碰撞幔源岩浆活动 与陆壳纵向生长[J].地质论评,1998,44(4):396 406.

# The geochemical characteristics and petrogenesis of the Chahansala intrusion in western Tianshan area

DU Yu diao, LÜ Peng rui, ZHANG Dong yang

(State K ey Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Chahansala intrusion at Chahansala in northern slope of Boluokenu Mountain of western Tianshan area lies in the Yilianhabierga gold metallogenic belt. It is mainly composed of gabbro and diorite associated with gold mineralization and characterized by metaluminous cale-alkaline rock series, slight decrease of MgO, CaO, TFeO and TiO₂ with the increase of SiO₂, no apparent correlations of Na₂O, K₂O, P₂O₅ and Al₂O₃ with SiO₂, relative depletion of Th, Nb, Ta and Zr and U, Ba and Pb enrichment, significant Nb negative anomaly and high Pb positive anomaly, relative low  $\Sigma$ REE, LREE enrichment and HREE depletion, weak Eu negative anomaly, and no apparent LREE and HREE fractionation. Some amphiboles crystallized during moving up of magma, the others may be crystallized after the magma positioning. The forming temperature of intrusion is in the range of 650-760 °C. The rock-forming materials are derived from crustal materials incorporated with voluminous mantle materials. In the middle and late H ercynian period voluminous mantle materials intruded into the deep crustal environment leading to formation of the mixed crust-mantle magma and the regional deep faults are formed because of the strong tectonic aetivity. The magma fastly up-invaded from about 20km to about 6 km along the faults and crystallized to form the deep intrusion after balanced partial melting.

Key Words: petrogenesis; evolution; mantle; Chahansala intrusion; western Tianshan