兰州大学学报（自然科学版）
24(地质学专刊)：21—28；1988

萨尔托海超基性岩体岩石化学特征及含矿(Cr)性的统计分析

郭原生　孙淑荣

本文采用统计数学方法，对萨尔托海超基性岩体中成矿元素铬的统计分布特征，常量元素及微量元素间的相关性和组合特征，稀土元素配分作了进一步的研究，得出了岩体成岩成矿作用的某些特征及含矿的岩石化学标志。

萨尔托海超基性岩体(以下简称萨岩体)是西北主要含铬岩体之一。岩体位于新疆西北部华力西褶皱带扎伊尔复向斜南翼达拉布特大断裂北侧，属达拉布特岩带。与围岩大部分断层接触，局部为侵入接触。岩体全长22.5公里，岩体内已发现大小矿体510多处，主要矿体均位于岩体东半部。构成岩体的主要岩石类型为斜辉辉杆岩，纯橄栏岩，二辉杆榄岩和斜辉杆栏岩等，以斜辉辉杆岩为主，其它形成异离体。主要成矿岩石类型为纯杆栏岩和斜辉辉杆岩，其中规模较大的纯杆栏岩异离体与矿体关系密切。

据有关资料，岩石化学成分比较稳定，其变化趋势：SiO_2，Al_2O_3随岩石基性程度的降低而增加，MgO，Cr_2O_3变化相反；Cr_2O_3，Al_2O_3 (FeO)，在近矿围岩中含量较高，远离矿体呈降低的趋势。M/F值平均为8.65～9.63，Al_2O_3平均含量大于1，Na_2O小于0.1，K_2O小于0.05，故属镁质高铝型超基性岩类。

一、萨岩体中成矿元素铬的统计分布特征

超基性岩中Cr_2O_3的概率分布偏离正态的程度愈大，对成矿愈有利；相反含量高于背景值而服从正态分布者，对成矿不利。

经计算，萨岩体主要岩石类型中Cr_2O_3的统计分布参数值列入表一。由表一可知，各类岩石中Cr_2O_3的均方差(δ_x)，变化系数(V)和三阶中心矩(μ_3)显著值大，偏倚系数(C_s)相对偏高且为正偏。以不同样品中Cr_2O_3的百分含量作统计分布曲线，(图1、2)其曲线均具峰凸低，峰幅大，分布级别范围宽，小于平均数的样品多等特点，表明岩体各类岩石中Cr_2O_3均呈显著的非正态分布特征。将上述结果与西北主要成矿与非成矿岩体(表二，图3，4，5)相比[2,3,4]萨岩体与成矿的松树沟，大道尔吉，玉石沟类同，而与非成矿的三岔什，酸刺沟，吊大板差别较大，

本文1988年1月25日收到。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表一 萨尔托海超基性岩中成矿元素分布特征值

岩性	成矿元素	均值 $(\overline{X_i})$	均方差 (σ_x)	变化系数 (V)	三阶中心矩 (μ_3)	偏倚系数 (C_s)	成矿系数 (ρ_c)
纯橄榄岩	Cr_2O_3	0.74	0.687	92.65	1.079952	3.32	1079.9
斜辉橄榄岩	Cr_2O_3	0.56	0.533	95.16	0.465197	3.07	465.2

表二 西北十二个超基性岩体中Cr_2O_3的统计分布特征值

岩性	成矿元素	均值 $(\overline{X_i})$	均方差 (σ_x)	变化系数 (V)	三阶中心矩 (μ_3)	偏倚系数 (C_s)	成矿系数 (ρ_c)
新疆纯橄榄岩	Cr_2O_3	0.33	0.118	36.40	0.008065	4.87	8.065
甘肃—1纯橄岩	Cr_2O_3	0.36	0.733	91.02	0.542347	1.31	542.34
甘肃—2纯橄岩	Cr_2O_3	0.92	0.354	38.40	0.057677	1.30	57.677
甘肃**纯橄岩	Cr_2O_3	0.32	0.07	22.03	-0.000204	-0.59	0.204
青海—1纯橄岩	Cr_2O_3	0.88	0.631	71.38	0.23918	0.95	239.18
青海—2纯橄岩	Cr_2O_3	0.64	0.306	47.74	0.042829	1.50	42.829
青海—3纯橄岩	Cr_2O_3	0.11	0.0755	69.41	0.00098	2.28	0.98
陕西—1纯橄岩	Cr_2O_3	0.41	0.113	27.54	0.002288	1.59	2.29
陕西—2纯橄岩	Cr_2O_3	0.59	0.217	36.78	0.011644	1.44	11.644
新疆—1斜辉橄榄岩	Cr_2O_3	0.43	0.0775	18.099	0.0001701	0.366	0.170
新疆—2斜辉橄榄岩	Cr_2O_3	0.52	0.446	85.8	0.33549	4.018	355.49
新疆**斜辉橄榄岩	Cr_2O_3	0.43	0.042	9.94	-0.000640	-3.5	0.646

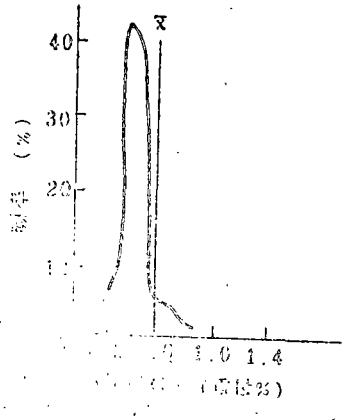


图1 萨岩体斜辉橄榄岩

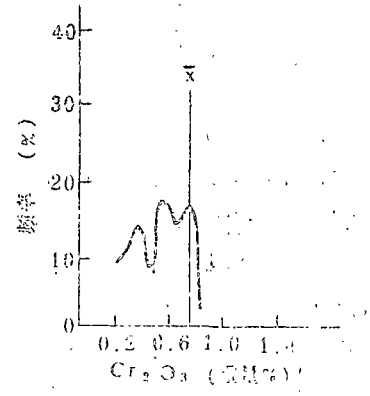


图2 萨岩体纯橄榄岩

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

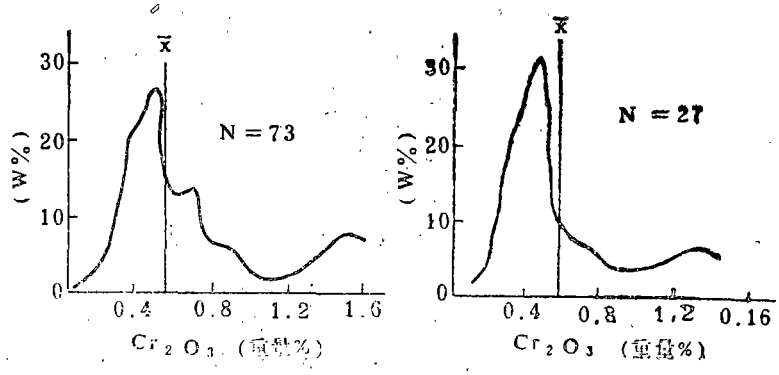


图3　松树沟岩体（左）及纯杆栏岩相（右）

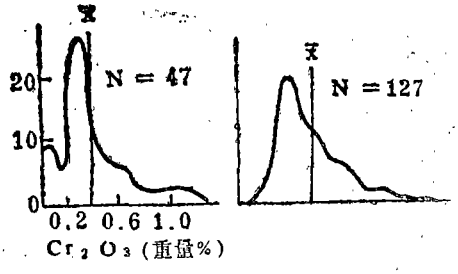


图4　大道尔吉（辉石岩、左），玉石沟岩体（右）

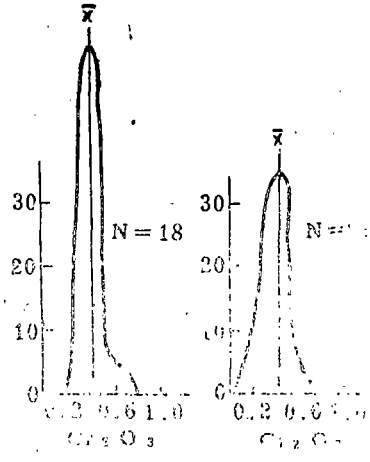


图5　非成矿三岔（左），吊大板（右）

二、萨岩体主要岩石类型中常量元素及微量元素间的相关性与组合特征

萨岩体中纯橄栏岩和斜辉辉橄岩中铬与相关常量元素及微量元素相关系数计算值摘列于表三.

表三　　萨尔托海岩体主要岩石类型中铬与相关元素间相关系数

岩石类型	成矿元素	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	NiO	Co	Zn	W
纯杆栏岩	Cr_2O_3 (Cr)	-0.5019	0.4144	0.4410	0.4263	/	/	0.8587	0.6002
斜辉辉杆岩	Cr_2O_3 (Cr)	-0.4473	0.7216	/	/	-0.4291	0.4509	/	/

注：常量元素——纯杆栏岩，显著水平 $\alpha=0.05$，$(N=26)$，
斜辉辉杆岩，〃 $\alpha=0.05$，$(N=24)$.
微量元素——纯杆栏岩，〃 $\alpha=0.10$，$(N=16)$，
斜辉辉杆岩，〃 $\alpha=0.10$，$(N=19)$.

与相关常量元素相关系数的计算值表明，Cr_2O_3与SiO_2为负相关，反映随着岩石基性程度的增高，铬含量呈增加的趋势．Cr_2O_3与TiO_2的正相关，是基于Ti常以类质同象进入铬尖晶石所致.纯杆栏岩中Cr_2O_3与FeO呈正相关，与Fe_2O_3呈负相关，是由于Cr_2O_3，FeO主要构成铬尖晶石，而Fe_2O_3含量的增高标志岩石基性程度的降低，故这

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

一相关性显而易见. 斜辉辉杆岩中Cr_2O_3与NiO呈负相关，是因NiO常以类质同象置换Fe^{++}，Mg^{++}进入正硅酸盐矿物，在铬尖晶石中含量最高，橄榄石中次之，斜方辉石中最少. 所以这一相关性是斜辉辉杆岩总体特征的反映. Cr与相关微量元素相关系数的计算值表明：Cr，Zn，Co，主要参与铬尖晶石组成，部分分散在橄榄石中，W绝大部分进入钛铁矿. 在上述两类岩石中，相关微量元素的平均丰度值：Cr—1100～1137 (ppm)，低于超基性岩的平均丰度值 (2300～3500ppm)；系Cr在岩石中不均匀分布的结果（即非正态分布）；W—136.8 (ppm)，Zn—184 (ppm)，分别是超基性岩W，Zn的平均丰度值 (0.77，56ppm) 的177.6倍和3.28倍，Co—1100～118 (ppm)，低于超基性岩的平均丰度值. 以上相关微量元素的丰度值远高于其它微量元素，从某种程度上讲，Cr，Co，Zn，W可作为萨岩体成矿的标志微量元素.

萨岩体主要成矿岩石纯杆榄岩和斜辉辉橄岩主成分分析结果见表四，五，六，七，主成分图见图6，7，8.

常量元素主成分分析表明：纯杆榄岩第Ⅰ主成分正负向分别突出Cr_2O_3，FeO，MgO，SiO_2，CaO，CoO及Al_2O_3，TiO_2，NiO，Na_2O的组合，代表蛇纹石，镁杆榄石，铬铁矿，菱镁矿组合和纤闪石，滑石等矿物组合. 这些矿物组合在第Ⅰ主成分上突出，反映铬铁矿与主要造岩矿物系同一地质过程的产物. 斜辉辉橄岩第Ⅰ主成分正负向分别突出SiO_2，Al_2O_3，K_2O，TiO_2，CoO，Fe_2O_3，CaO，及Cr_2O_3，FeO，MgO，

表四 纯杆榄岩主成分在各变量上的负荷（常量元素）

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	CoO
主成分Ⅰ λ=2.86	0.46	-0.12	-0.16	0.12	-0.004	0.37	0.06	-0.13	0.34	0.04	0.39	-0.44	0.32
主成分Ⅱ λ=2.45	-0.28	-0.14	0.08	0.37	-0.64	0.22	-0.21	-0.26	-0.22	-0.24	0.11	-0.18	-0.19
主成分Ⅲ λ=0.78	-0.16	0.21	0.43	0.45	0.09	0.06	-0.56	0.15	0.36	-0.06	0.03	-0.22	0.08

表五 斜辉辉杆岩主成分在各变量上的负荷（常量元素）

变量 / 主成分	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	CoO
主成分Ⅰ λ=2.44	0.29	0.73	0.42	-0.06	0.03	-0.02	0.04	-0.13	-0.19	0.01	0.15	-0.12	0.33
主成分Ⅰ λ=0.999	-0.12	-0.009	0	0.02	-0.01	0.006	0.99	0	0	0	0	0	0
主成分Ⅲ λ=0.994	-0.27	-0.02	0	0.05	-0.02	0.01	-0.03	0.11	0.16	-0.009	0.94	0	0

表六 纯杆榄岩主成分在各变量上的负荷（微量元素）

变量 / 主成分	Mn	Cr	Ni	V	Cu	Zn	Co	W
主成份Ⅰ λ=2.2272	-0.1751	0.1818	0.5431	-0.0345	-0.3127	-0.4047	0.4377	0.4324
主成份Ⅱ λ=1.9520	-0.1120	0.7507	0.1019	0.0387	-0.0828	-0.3080	-0.4282	-0.3643
主成份Ⅲ λ=1.2172	-0.0637	-0.2759	0.0948	0.7228	-0.4829	-0.0103	-0.3886	0.0632

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表七　斜辉辉杆岩主成份在各变量上的负荷（微量元素）

变量 / 主成分	Mn	Cr	Ni	V	Cu	Zn	Co	W
主成份Ⅰ λ=2.0002	-0.1449	-0.5624	0.2911	0.5140	0.2376	0.1579	0.4814	0.0251
主成份Ⅱ λ=1.3263	0.6108	-0.0956	-0.4076	-0.0714	0.0423	0.0648	0.2866	0.6860
主成份Ⅲ λ=1.0136	0.3035	-0.4277	0.1264	-0.1099	0.4096	-0.6298	-0.3607	-0.0384

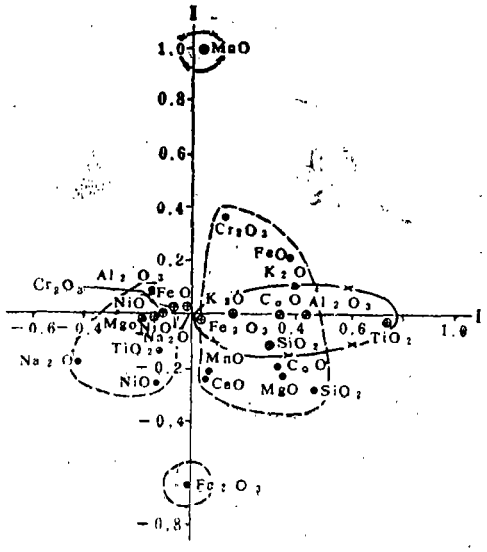


图6　萨岩体纯橄榄岩和斜辉辉杆岩化学组分关系图(Ⅰ、Ⅱ主成分).

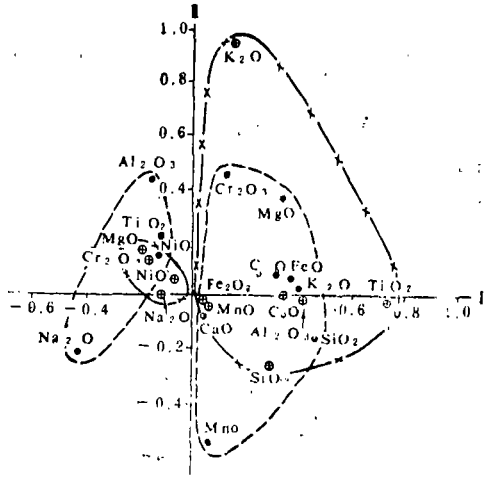


图7　萨岩体纯橄榄岩、斜辉辉橄岩化学组分关系图（Ⅰ、Ⅲ主成分）.

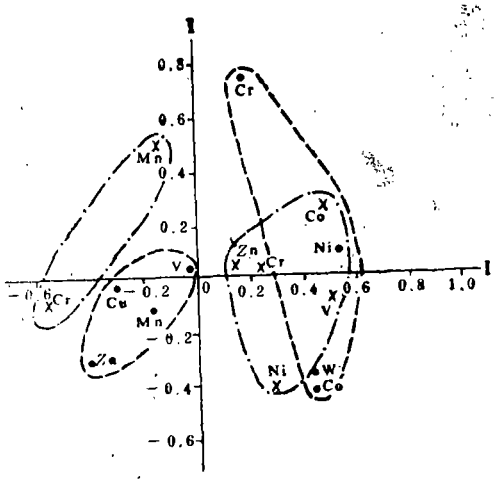


图8　萨岩体纯橄榄岩和斜辉辉橄岩微量元素主成分图（Ⅰ、Ⅱ主成分）.

注：图6、7：

纯橄榄岩：--------，“·”；

斜辉辉橄岩—×—×—×，“⊕”；

图8：

纯橄榄岩：--------，“·”，

斜辉辉橄岩：—·—·—·—，“×”

NiO，Na_2O的组合，代表镁橄榄石，蛇纹石，顽火辉石，绢石矿物组合和铬铁矿组合，同样表明铬铁矿与主要造岩矿物为同一地质过程的产物.

另外，由两类岩石的主成分图可知，Cr_2O_3，FeO投影点距座标原点的距离与岩石的

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

含矿性成正比例关系，即纯橄榄岩的含矿性比斜辉辉杆岩好，所以纯橄榄岩 Cr_2O_3，FeO投影点距座标原点距离大。这一特征与西北其它超基性岩体的分析结果相一致。

微量元素主成分分析表明：纯橄榄岩第Ⅰ主成分正负向分别突出Cr，Ni，Co，W及Zn，Mn，Cu，V组合，表征橄榄石，铬铁矿，钛铁矿组合，且上述微量元素绝大部分以类质同象参与这些矿物组合。斜辉辉橄岩第Ⅰ主成分正负向分别突出Co，Ni，V，Cu，Zn，W及Cr，Mn组合，表征辉石，橄榄石及铬铁矿和钛铁矿组合，上述微量元素同样以类质同象参与矿物的组合。两类岩石的微量元素主成分分析结果表明铬铁矿与主要造岩矿物为同一地质过程的产物，与常量元素主成分分析结果相一致。

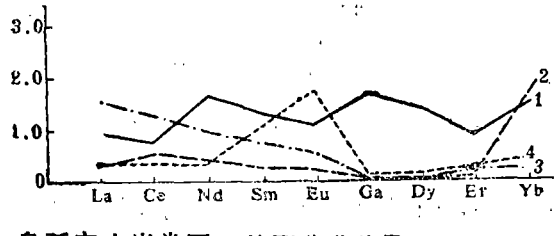
三、萨岩体稀土元素特征

萨岩体部分岩石稀土元素球粒陨石标准化结果列于表八，稀土配分模式见图9。由图9 REE配分模式可知，二辉橄榄岩和斜辉橄榄岩配分曲线呈不太明显的左低右高特征，反映岩石中重稀土有相对富集的趋势，而轻稀土具相对稀释亏损的趋势，仍可认为属于亏损型，和洋中脊拉斑玄岩类同。其中二辉橄榄岩配分曲线En为尖谷型，En分配系数∂En＝0.73小于1为明显的负En异常。含辉纯杆岩配分曲线呈左高右低特征，反映岩石中重稀土亏损而轻稀土相对富集，属富集型，和板块内部碱性玄武岩相似。单辉辉石岩稀土配分曲线近于水平，属相对平缓型，反映岩石中轻重稀土丰度近似，和原始

表八　萨尔托海超基性岩稀土元素球粒陨石标准化结果*

	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Ga	Dy	Er	Yb	∂Eu
二辉橄榄岩	0.35	0.7	1.15	0.3	0.09	0.52	0.54	0.22	0.36	/
标准化结果	0.93	0.72	1.61	1.30	1.04	1.67	1.38	0.86	1.45	0.73
斜辉橄榄岩	0.14	0.55	0.30	0.07	0.02	0.02	0.02	0.03	0.4	/
标准化结果	0.37	0.56	0.42	0.30	0.23	0.06	0.05	0.12	1.61	1.20
含辉纯橄岩	0.57	1.25	0.7	/	0.05	0.03	0.03	0.05	0.06	/
标准化结果	1.51	1.28	0.98	/	0.58	0.09	0.08	0.19	0.24	/
单辉辉石岩	0.15	0.36	0.28	/	0.15	0.05	0.05	0.07	0.12	/
标准化结果	0.39	0.37	0.39	/	1.73	0.16	0.13	0.27	0.48	/

*稀土分析资料依霍有光。
标准数据：增田彰正（1973），里德球粒陨石平均值。



样品：1—二辉橄杆岩，2—斜辉栏杆岩，3—含辉纯杆岩，4—单辉辉石岩。

图9　萨尔托海超基性岩中REE模式

地幔，岛孤安山岩类同，其配分曲线En处呈尖峰型，En分配系数∂En＝1.2大于1，为明显的正En异常。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

萨岩体稀土配分模式表明，不同类型岩石中，稀土配分曲线，Eu异常特征差异较大，反映萨岩体各类岩石虽系同一地质过程(同源岩浆)的产物，但具有不同期侵入的特点。

四、结　论

1．萨尔托海超基性岩体主要成矿岩石类型的统计分析表明，纯橄榄岩，斜辉辉橄岩及铬铁矿体为同一地质过程的产物，与“各类超镁铁岩中，付矿物铬尖晶石成份相同及其与造矿铬尖晶石成份的一致性，可说明斜辉辉橄岩，纯橄榄岩及矿体的同源性”的结论[6]相一致．而稀土配分又反映其具有不同期侵入的特征．故可认为，该岩体系同源超镁铁岩浆(纯橄岩——斜辉辉橄岩岩浆)上侵而成．但各类岩石具有不同期侵入的特点。

2．萨尔托海超基性岩属镁质高铝型超基性岩类．岩石中 SiO_2，Fe_2O_3 含量的减小，Cr_2O_3，Al_2O_3，FeO，TiO_2含量的增加，是铬富集成矿的岩石化学特征．其中，Cr_2O_3，Al_2O_3，FeO，TiO_2含量增加的方向趋向成矿部位。

3．萨尔托海超基性岩中微量元素的相关分析表明，主要成矿岩石中Cr，Co，Zn，W丰度值高且Cr与Co，Zn，W间呈显著的相关关系．因此，在某种意义上相关微量元素Cr，Co，Zn，W可作为岩石成矿的标志微量元素。

4．萨尔托海超基性岩体的研究表明，成矿元素铬的非正态分布特征，成矿系数Pc值的大小及主成分图上Cr_2O_3，FeO投影点的位置都能程度不同的表征超基性岩的含矿性。

本文初稿蒙艾南山教授，李嘉林副教授审阅并指导，孙柏年讲师和中国科学院兰州图书馆邵琴芳同志在工作中给予多方面的协助，文中附图由夏安同志所绘，在此表示真切的谢意。

参考资料

[1] 霍有光，西准噶尔唐巴勒地区蛇绿岩套岩石化学和稀土元素特征及其地质意义，中国科学院西安地矿所所刊，1984．7．

[2] 叶良和，北祁连山超基性岩体三氧化二铬变化性及含矿（Cr）性，中国科学院西安地矿所分刊，1980，1．

[3] 谢锡林等，玉石沟超基性岩和铬铁矿统计分析，中国地科院矿床地质研究所所刊，第1号．

[4] 郭原生，付学明，陕西商南松树沟超基性岩中Cr_2O_3的统计分布特征及含矿性分析，兰州大学学报(自)，23(1987)，3．

[5] 周良仁等，准噶尔地区超基性岩成岩时期与成矿（铬）关系，中国地科院西安地矿所分刊，1985．9．

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[6] А.Б. Вистелиус, Основы математическои геологии, Академия Наук СССР, 1983.

Petrochemistry Characteristics and Statistical Analysis of Ore (Cr) Bearing Nature of Ultrabasic Bodies from the Sartuohai of Xinjiang

Guo Yuansheng Sun Shurong

Abstract

Making use of the method of statistical mathematics, in this paper, the authors further studied the statistical distribution features of mineralization element chrome, the combined characters and relationship between commonand microelements, of REE in the ultrabasic from the Sartuohai of Xinjiang. Based on the information, some mineralization traits and the petrochemistry guide of ore bearing of the ultrabasic rocks were discussed.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net