

新疆南天山红柱石化学成分及谱学特征研究

申晓萍¹⁾ 汪立今¹⁾ 宋松山²⁾ 王江涛³⁾ 张守贵³⁾ 柴凤梅¹⁾

1) 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046;

2) 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第一地质大队, 新疆昌吉 831100;

3) 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第三地质大队, 新疆库车 841000

摘要 通过电子探针、镜下显微、X射线衍射和红外吸收光谱等方法,对南天山红柱石矿物的化学成分、微形貌特征和显微结构、晶体结构等进行了系统研究。分析表明南天山红柱石富含Al,含微量Fe、Mg、Na、Cr、Ti、Mn和Ca;红柱石为斑状变晶结构,片状构造;晶胞参数为 $a_0=0.782\text{ nm}$, $b_0=0.786\text{ nm}$, $c_0=0.555\text{ nm}$;红外吸收光谱特征与理想图谱基本一致。

关键词 红柱石,化学成分,谱学,南天山

A Study of Chemical Composition and Spectra of Andalusite in South Tianshan Mountains, Xinjiang

SHEN Xiaoping¹⁾ WANG Lijin¹⁾ SONG Songshan²⁾ WANG Jiangtao³⁾
ZHANG Shougui³⁾ CHAI Fengmei¹⁾

1) College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi, xinjiang 830046; 2) NO. 1 Geological Brigade of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Changji, xinjiang 831100; 3) NO. 3 Geological Brigade of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Koral, xinjiang 841000

Abstract Chemical composition, microscopic characteristics, microscopic structure and crystal structure of andalusite from South Tianshan Mountains were systematically analyzed by such means as electron microprobe analysis, microscope observation, X-ray diffraction and infrared absorption spectra. The results show that the andalusite there has rich Al and contains small amounts of Fe, Mg, Na, Cr, Ti, Mn and Ca, that this mineral assumes porphyroblastic texture and sheet structure, that the unit cell parameters are $a_0=0.782\text{ nm}$, $b_0=0.786\text{ nm}$, and $c_0=0.555\text{ nm}$ respectively, and that the characteristics of its infrared absorption spectra are in accordance with those of the ideal atlas.

Key words andalusite, chemical composition, spectra, South Tianshan Mountains

红柱石属于无水铝硅酸盐矿物,化学式为 Al_2SiO_5 或 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$,理论化学组成 Al_2O_3 约63%, SiO_2 约37%。 Al_2SiO_5 有三种同质多像变体,即与红柱石化学成分相同而晶体结构不同的蓝晶石和矽线石,矿物学上称之为“三石”。

世界上红柱石储量主要集中在南非、法国和中国。中国如辽宁、吉林、青海、甘肃、陕西、山东、河南、新疆、福建、湖北、四川和北京等省市区都有所发

现。国外如美国、瑞典、法国、德国、西班牙、巴西、朝鲜和澳大利亚等国家都已发现。同时许多地方的红柱石矿床中红柱石矿物含量较高,矿物组成简单及其储量多在中型以上。

南非红柱石的储量十分巨大,据报道其储量可满足世界至少500a的需求。红柱石矿床仅产于德兰士瓦省的西部和东部地区。原生红柱石矿床是由比勒陀利亚群泥质岩受岩浆岩侵入变质而成。在西

本文由国家教育部“春晖”计划科研基金课题项目(编号:040123)资助。

责任编辑:刘志强;收稿日期:2006-09-24;改回日期2006-12-28。

第一作者简介:申晓萍,女,1980年生,硕士研究生,主要研究方向为环境矿物和材料矿物应用;E-mail:rainbowxp21st2004@yahoo.com.cn;

通讯作者:汪立今,E-mail:lw668w@yahoo.com.cn。

部地区,红柱石产于云母角岩中,红柱石含量 10% ~ 15%,质量高,平均含 Al_2O_3 59% ~ 60%, Fe_2O_3 < 0.6%。由威登斯矿物公司经营的泰姆保尔矿体,长 6500 m,宽 100 m,年产红柱石 13 万 t。在东部地区,红柱石产于以云母—碳质为基质的角岩矿床中,红柱石含量为 8%, Al_2O_3 59% ~ 60%, Fe_2O_3 < 0.9%,年产红柱石约 15 万 t(章少华,2004)。

新疆已经建设全国最大的红柱石精矿生产基地—新疆巴音郭楞蒙古自治州德邦红柱石矿业有限公司年产 5 万 t 红柱石工程,在当地霍拉沟矿开工建设,成为中国最大的红柱石精矿开采基地。新疆巴州焉耆县霍拉沟红柱石矿具有储量大、开采易、品质优、杂质少等特性,是中国最大、世界罕见的超大型矿床。据勘测,矿区远景储量约 4 亿 t。

库尔勒地区已探明 D + E 级红柱石,矿物储量 122.79 万 t,矿石储量 1212.2 万 t,其中 D 级红柱石矿物储量 32.67 万 t,矿石储量 334.2 万 t,可为年处理 9 万 t 原矿的选矿厂服务 30 a 以上,是国内特大型红柱石矿床。矿石类型主要为黑云母红柱石型和含堇青石的黑云母红柱石型,矿物成分主要为红柱石,其次为黑云母、白云母、堇青石、石墨、微量的磁铁矿、电气石、钛铁矿、黄铁矿及锆石等(靳亲国等,2002)。

1 新疆南天山红柱石基本地质概况

新疆红柱石矿产资源极为丰富,其储量居全国之首,主要分布在南天山一带,其中以新疆库尔勒苏克塔格能厄肯红柱石矿为代表。该矿区大地构造位置处于南天山冒地槽褶皱带霍拉山复向斜东部。出露地层主要为元古界变质岩系、中上石炭统塔拉克组和下石炭统野云沟组,其次为第三系和第四系。中上石炭统塔拉克组为陆源碎屑岩类复理石建造,已发现的红柱石矿体均产于该岩组第一段含碳粉砂—泥质板岩中。矿区褶皱构造发育,由轴向近东西向的 6 个背斜和 5 个向斜组成。断裂构造不发育,但小的裂隙错动或破碎常见。区内岩浆岩发育,主要为华力西中期二云母花岗岩体及其派生的花岗岩脉,已知矿体均产于该侵入岩体的外接触带内(图 1)。

矿带长约 5000 m,宽 0.07 ~ 0.45 m。矿区内共圈定红柱石矿体 5 个,矿体严格受地层控制,总体呈似层状弧形展布。矿石类型分为粗粒和细粒两种。矿石结构主要为显微鳞片粒状变晶结构、包含

变晶结构和交代残余结构。矿石构造主要为板状构造、斑点状构造及变余纹层状构造。矿石基本矿物成分为红柱石,脉石矿物为黑云母、石英、炭质、铁质及残余粘土。红柱石主要以包裹体形式存在,其次以单体和连生体形式存在。矿床成因类型属于接触变质型红柱石矿床。

1.1 矿区地层

矿区出露地层主要为中上石炭统塔拉克组(C_{2+3})及第四系(Q)。

中上石炭统塔拉克组(C_{2+3})分布于矿区大部分地段,红柱石矿赋存于其中。矿区地层总体向西倾,受背斜和向斜的影响局部地层向东倾。由下至上的层序依次为浅灰黄色石英砂岩(Ss),灰黑色石英岩(Ls),灰黑色红柱石板岩(Ad),灰黑色含红柱石板岩(ASI),灰黑色黑云母板岩(SI)。第四系(Q)主要有冲洪积物(Q^{pal})和坡积物($\text{Q}^{\text{pal-dl}}$)(新疆地质矿产勘查开发局第三地质大队,2003)。

1.2 矿区构造

矿区构造比较简单,主要发育褶皱构造,还可见断裂构造,总体构造线方向为北北西(NNW)—南南东(SSE)向。矿区内有一个背斜和一个向斜构造。

区内断裂构造不发育,但小的裂缝错动或破碎常见,偶见有小范围的矿石破碎及构造角砾岩,主要是剪切及压扭性裂隙破坏造成(新疆地质矿产勘查开发局第三地质大队,2003)。

2 红柱石的成因条件

红柱石矿物是典型的变质作用下的产物,被定为接触热变质矿物,其温度、压力和深度等物理化学条件稳定(图 2)(潘兆鲁,1994)。即在一般情况下,蓝晶石产于高压变质带或中压变质带的较低温部分;红柱石产于低压变质带的较低温部分;矽线石产于中压或低压变质带的较高温部分。前人已经做了大量研究,新疆南天山红柱石矿物的矿区变质作用有区域变质作用和接触变质作用,两种变质作用产生的变质岩特点不同。元古界和石炭系地层都经历了区域变质作用,但其变质程度有明显差异,前者变质程度深,后者变质浅。矿区范围比较小,但从整个区域上看,矿区处于区域变质带中,该带由于后期岩浆岩活动与唐克拉克—哈满沟大断裂的活动而叠加了接触变质作用和动力变质作用。以唐克拉克—哈满沟大断裂为界,该带可以分为南北两个变质相,即南部角闪岩相和北部绿片岩相。

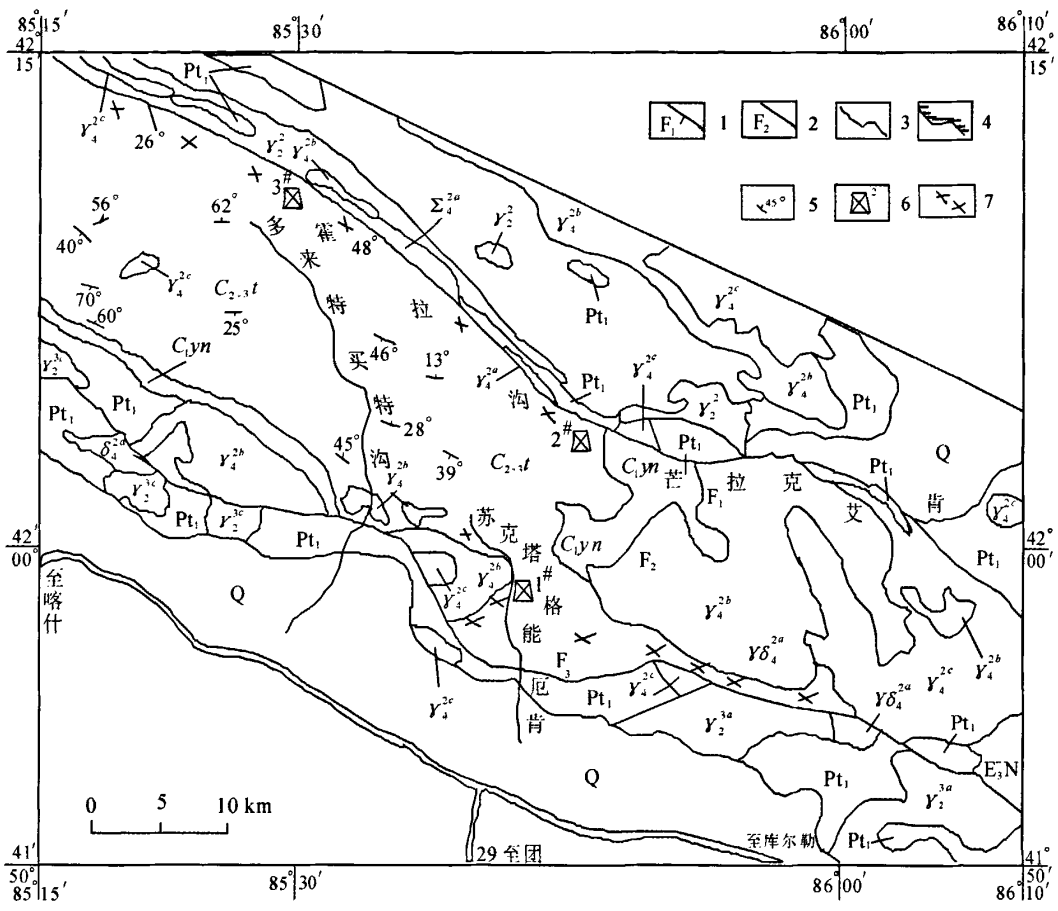


图1 研究区区域地质图

Fig. 1 Regional geologic map of the studied area

Q-第四系; $C_2^{+3}t$ -中-上石炭统塔拉克组; $C_1 yn$ -下石炭统野云沟组; Pt_1 -下元古界; γ_2^{2c} -二长花岗岩; γ_4^{2b} -黑云母二长花岗岩、石英二长岩; $\gamma\delta_4^{2a}$ -花岗闪长岩; δ_4^{2a} -闪长岩; Σ_2^{2a} -超基性岩; γ_2^{2c} -片麻状花岗岩; γ_2^{2c} -片麻状二长花岗岩; γ_2^{3a} -片麻状黑云母二长花岗岩; 1-区域性深大断裂及编号; 2-般断裂及编号; 3-地质界线; 4-角度不整合接触界线; 5-岩层产状; 6-红柱石矿体及编号; 7-红柱石矿化

Q-Quaternary; $C_2^{+3}t$ -Middle-Upper Carboniferous Tongtalake Formation; $C_1 yn$ -Lower Carboniferous Tongyeyungou Formation; Pt_1 -Lower Proterozoic; γ_4^{2c} -monzonitic granite; γ_4^{2b} -biotite monzonitic granite-quartz monzonite; $\gamma\delta_4^{2a}$ -granodiorite; δ_4^{2a} -diorite; Σ_2^{2a} -ultrabasic rock; γ_2^{2c} -gneissic granite; γ_2^{3c} -gneissic monzonitic granite; γ_2^{3a} -gneiss biotite monzonitic granite; 1-deep region-large fault and numbering; 2-ordinary fault and number; 3-geology boundary; 4-angle discordant boundary; 5-rock stratum and producing shape; 6-andalusite orebody and number; 7-andalusite mineralization

我们对与红柱石共生的石榴石—黑云母矿物对进行了估算, 得出红柱石形成的温度 T 约在 $560 \sim 670^\circ\text{C}$, 压力 P 小于 $3 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。即红柱石形成于变质温度较高和压力较低的环境条件下。

3 红柱石的化学成分特征

我们对新疆南天山和河南西峡(齐静波, 1985)

两产地红柱石的电子探针定量分析结果进行比较。新疆南天山不同粒径红柱石样品进行电子探针定量分析, 结果见表1。

从新疆南天山红柱石矿物的电子探针成分分析, 我们可以得出阳离子 Al^{3+} 的成分百分比为 33.15%, Si 为 17.26%, 还含有少量的 $Fe \rightarrow Mg \rightarrow Cr \rightarrow Ti \rightarrow Na \rightarrow Mn \rightarrow Ca$ 等。同时我们将红柱石的主要

表 1 新疆南天山红柱石的电子探针定量分析结果 $w_B/\%$

Table 1 EPM analysis of andalusite South Tianshan Mountains, Xinjiang $w_B/\%$

样号	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	ΣT
-1	0.21	0.02	0.00	0.07	0.00	34.87	0.02	0.00	0.06	64.74	99.99
-2	0.22	0.02	0.00	0.04	0.00	35.31	0.02	0.00	0.06	64.32	99.99
-3	0.38	0.02	0.00	0.00	0.05	35.54	0.07	0.04	0.00	63.87	99.97
-4	0.20	0.00	0.00	0.01	0.00	38.60	0.03	0.05	0.03	61.06	99.98
-5	0.08	0.01	0.00	0.02	0.00	38.51	0.00	0.03	0.00	61.31	99.96
-6	0.08	0.01	0.00	0.02	0.00	39.23	0.00	0.04	0.00	60.59	99.97
-7	0.16	0.01	0.01	0.00	0.00	36.02	0.00	0.03	0.00	63.68	99.97
-8	0.15	0.00	0.00	0.03	0.00	37.38	0.07	0.03	0.07	62.24	99.99
-9	0.64	0.00	0.00	0.14	0.00	36.08	0.00	0.03	0.00	62.80	99.79
-10	0.15	0.00	0.00	0.02	0.00	37.98	0.00	0.01	0.00	61.81	99.99
-11	0.00	0.02	0.02	0.04	0.00	37.35	0.00	0.03	0.00	62.49	99.98
-C	0.21	0.02	0.00	0.03	0.01	36.98	0.02	0.03	0.02	62.62	99.95

注:该结果是由新疆地矿局岩矿测试中心测试(-C为平均值)。

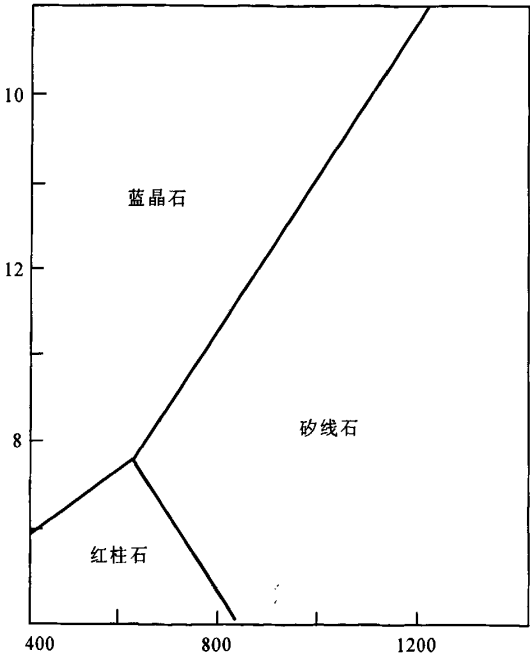


图 2 Al₂SiO₅ 矿物的关系

Fig. 2 Relations of Al₂SiO₅ minerals

表 2 红柱石中 SiO₂ 和 Al₂O₃ 含量表 $\%$

Table 2 Contents of SiO₂ and Al₂O₃ in andalusite $\%$

红柱石的化学 成分含量 $\%$	新疆南天山	福建东山	河南西峡	晋北	理论值
SiO ₂	36.98	37.19	36.73	37.53	36.8
Al ₂ O ₃	62.62	63.46	63.70	61.05	63.2

成分 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的分析结果,与福建东山(谢

克等,1986)、河南西峡(齐静波,1985)、山西西川河以北(简称为晋北)(卢保奇,2003)及《系统矿物学》中红柱石 SiO₂ 的理论含量 36.8%(王濮等,1987), Al₂O₃ 的理论含量 63.2% 进行比较(表 2)。

分析可以得出红柱石的主要成分 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的含量,与其理论值吻合较好,表明新疆南天山红柱石矿物的形成条件稳定。

4 红柱石的镜下显微特征

我们对新疆南天山库尔勒的红柱石进行了采样和镜下显微特征分析,该分析是在新疆地矿局岩矿测试中心进行,具体分析结果如下:

NT_1 红柱石具有斑状变晶结构,片状构造,基质具鳞片变晶结构。其矿物成分及含量分别为红柱石 25%,黑云母 25%,炭质 35%,石英 10%,白云母 3%,石英细脉 1%,绢云母 1%。镜下显微特征描述为红柱石呈四方柱状,粒度(3~5)mm×(20~30)mm,平行消光。负延性,二晶轴负光性。横切面接近正方形,沿对角线已有细小的炭质,在红柱石的边缘有细小显微鳞片状绢云母。沿红柱石的裂隙有石英细脉穿入,石英脉粒径 0.3~1mm,和石英脉在一起有少量片状黑云母(0.03~0.05)mm×(0.1~0.2)mm。沿柱里有细小的炭质小点和条纹 0.01mm×0.1mm。在炭质之间有细小的石英粒径 0.01~0.05mm,黑云母和少量的白云母,呈显微鳞片变晶沿片理定向分布。黑云母一般大小(0.05~0.1)mm×(0.1~0.2)mm,形成斑点状构造,沿片理定向分布。白云母片状(0.05~0.1)mm×(0.1~

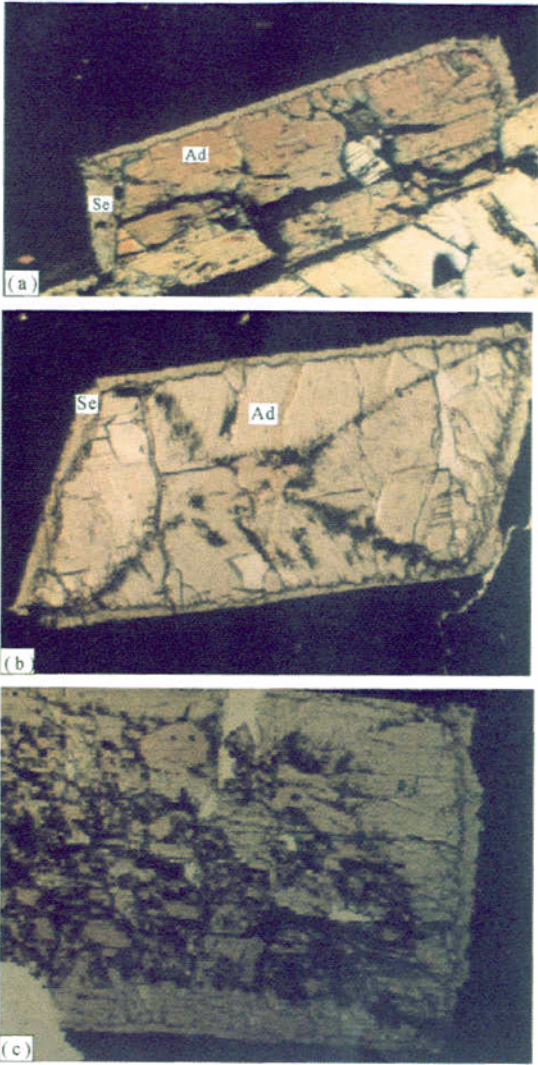


图3 红柱石的显微结构

Fig. 3 Micro-characteristics of andalusite

(a)为红柱石(Ad)被鳞片状绢云母(Se)交代呈交代环边结构(为单偏光,放大倍数5×4);(b)为在红柱石(Ad)的横切面中,分布近十字形炭质包体,炭质沿横切面的对角线方向分布(为单偏光,放大倍数5×4);(c)为红柱石(Ad)被鳞片状绢云母沿解理或边缘交代,并在边缘形成一个交代环边(Se),其中并包含有细粒炭质包体(为薄片,单偏光,放大倍数5×4)。

0.2) mm,和黑云母组成斑块,斑块大小1.5 mm。

NT-2 红柱石具斑状变晶结构,片状构造,基质具鳞片变晶结构。其矿物成分及含量分别为红柱石25%,黑云母25%,炭质34%,石英15%,绢云母

表3 红柱石晶胞参数表 /nm			
Table 3 Andalusite unit cell parameters /nm			
红柱石的晶胞参数	新疆南天山	福建东山	理论值
a_0	0.782	0.789	0.778
b_0	0.786	0.779	0.792
c_0	0.555	0.555	0.557

1%。镜下显微特征描述为红柱石呈四方斑状变晶结构(3~5)mm×(10~40)mm。横切面近正方形5×5mm,解理发育,平行消光。横切面对称消光,二轴晶负延性,二轴晶(一)光性,光轴角大。在红柱石边缘有一圈蚀变的显微鳞片状绢云母。在红柱石晶体内存有细小的炭质和细小片状黑云母0.05~0.1mm。基质有鳞片状变晶的黑云母定向分布,(0.05~0.1)mm×(0.1~0.3)mm。形成斑点状构造,在黑云母之间有细小的炭质和条纹,(0.01~0.05)mm×(0.1~0.3)mm。在炭质之间有细小粒状石英,0.01~0.05mm。红柱石的显微结构见图3所示。

5 红柱石的谱学特征

5.1 X射线衍射分析

在前人研究的基础上,我们对新疆南天山红柱石样品进行了结构分析和研究,采用X射线衍射分析法,该测试是在新疆地矿局岩矿测试中心进行,其测试条件:测试环境为温度22℃,湿度15%;测试仪器为D/MAX-3AX射线衍射仪(XKSY-SB-41);检测依据为ZBF-5-2003;靶材为Fe/Mn。测试结果见图4。

经过测试得出该红柱石样品的主要粉晶谱线为:5.545(100),4.526(90),2.771(100),2.169(80)。计算得出新疆南天山红柱石样品的晶胞参数,并与福建东山红柱石(谢谏克等,1986)及理论的晶胞参数进行比较(表3)。

根据红柱石的X射线衍射分析结果,可以得出其X射线粉晶衍射图谱与理想的红柱石基本一致。

5.2 红外吸收光谱特征

对新疆南天山红柱石样品进行红外吸收光谱(KBr压片法)分析,该测试是在新疆地矿局岩矿测试中心进行,其测试条件:测试环境为温度22℃,湿度15%;测试仪器为傅立叶变换红外光谱仪(XKSY-SB-190);测试条件为扫描45次,分辨率为4[1/cm],变迹法为Happ-Genzel;检测依据为GB

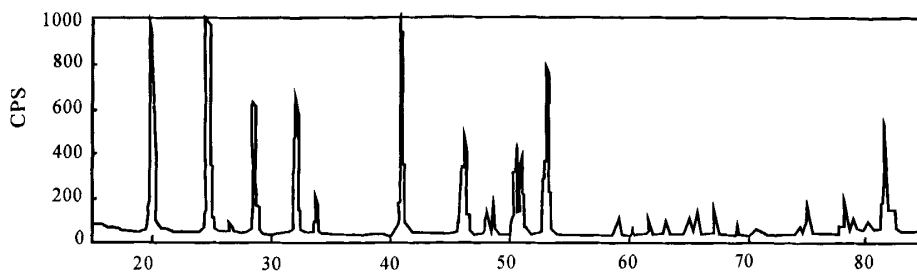


图 4 红柱石的 X 射线粉晶谱图

Fig. 4 X-ray powder diffraction patterns of andalusite

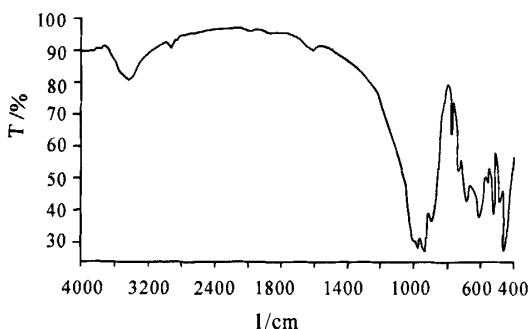


图 5 红柱石的红外吸收光谱图

Fig. 5 Infrared absorption spectra of andalusite

/T6040-2002。图谱见图 5。

经过检测分析可以得出该红柱石样品的吸收光谱如下:422、440、460、492、520、560、604、692、740、778、900、940、970、990、1000、1100 cm^{-1} , 这些谱线清楚地反映了 Si-O 伸缩振动和 O-Al-O、O-Si-O 变形振动的特征, 大多数正硅酸盐类中变形振动低于 650 cm^{-1} , 而红柱石延伸到 778 cm^{-1} 。红柱石样品的红外光谱中 880 ~ 1030 cm^{-1} 谱带是 Si-O 的伸缩振动, 775 cm^{-1} 谱带可能是五次配位 Al-O 的伸缩振动, 600 ~ 735 cm^{-1} 谱带是六次配位 Al-O 的伸缩振动; <600 cm^{-1} 的谱带主要是 Si-O 的变形振动。这些谱线与标准谱线十分相似, 其谱线的位置没有发生畸变, 也反映了红柱石晶格没有其它杂质进入晶格置换阳离子。

6 结论

通过对新疆南天山红柱石化学成分和谱学特征的分析研究, 我们可以得出:

(1) 红柱石的成因条件为变质温度较高 (560

~670℃) 和压力较低 (小于 3×10^8 Pa);

(2) 对不同粒径红柱石进行电子探针定量分析, 可以得出南天山红柱石除富含铝外, 还含有微量的铁、镁、钠、铬、钛、锰和钙。其主要成分 SiO_2 和 Al_2O_3 的实测数值, 与福建东山、河南西峡及理论数值等进行比较, 具有一定差异。在一定程度上反映出新疆南天山红柱石矿物的成矿环境和地球化学特征的差异性;

(3) 红柱石的镜下显微特征表明红柱石具斑状变晶结构, 片状构造, 基质具鳞片变晶结构;

(4) 红柱石的 X 射线粉晶衍射图谱与理想图谱差异不大。计算所得晶胞参数为 $a_0 = 0.782$ nm, $b_0 = 0.786$ nm, $c_0 = 0.555$ nm;

(5) 红柱石的红外吸收光谱特征与理想图谱基本一致, 其谱线位置表明其畸变和强度没有发生明显变化, 同时反映出红柱石晶格没有其它杂质进入晶格置换阳离子。

参考文献

- 靳亲国, 李静, 刘炎军. 2002. 我国红柱石的资源状况、生产和应用. 耐火材料, 36(5): 284 ~ 286, 289.
- 卢保奇, 王锡银, 夏义本, 汪振国. 2003. 晋北蓝晶石、十字石和红柱石的宝石矿物学特征及形成条件. 宝石和宝石学杂志, 5(3): 7 ~ 9.
- 潘兆橦. 1994. 结晶学及矿物学 (下册). 北京: 地质出版社, 122 ~ 124.
- 齐静波. 1985. 西峡红柱石矿物性质及工艺性能研究. 第三届全国工艺矿物学学术论文集, 356 ~ 360.
- 王濮, 潘兆橦, 翁玲宝, 等. 1987. 系统矿物学 (中册). 北京: 地质出版社, 198 ~ 199.
- 谢寒克, 郭坤一. 1986. 福建东山变质岩中红柱石晶体结构的再测定及顺磁共振的研究. 岩石矿物学杂志, 5(2): 128 ~ 139.
- 新疆地质矿产勘查开发局第三地质大队. 2003. 新疆库车勒市博洛霍坦山东段红柱石矿地质报告.

章少华. 2004. 南非非金属矿产资源一瞥. 中国非金属矿工业导刊, 38(1): 57.

References

Jin Q G, Li J, Liu Y J. 2002. Resources condition, production and application of andalusite in China. Refractories, 36(5): 284 ~ 286, 289 (in Chinese with English abstract).
Lu B Q, Wang C Y, Xia Y B, Wang Z G. 2003. Journal of Gems & Gemmology, 5(3): 7 ~ 9 (in Chinese with English abstract).
Pan Z L. 1994. Mineralogy and petrology (Final Volume). Beijing: Geological Publishing House, 122 ~ 124 (in Chinese).
Qi J B. 1985. Study on characteristics of mineral and craft of andalusite in Xi Xia. Third session of national craft mineralogy academic collection (in Chinese).

The third geological team of prospect and exploit bureau of geological mineral products in Xinjiang. 2003. Geological report on andalusite Mineral of east Boluohutan Mountains of Korla city in Xinjiang (in Chinese).
Wang P, Pan Z L, Weng L B, et al. 1987. Systemic Mineralogy (Middle Volume). Beijing: Geological Publishing House, 198 ~ 199 (in Chinese).
Xie D k, Guo K Y. 1986. Crystal structure re-determination and paramagnetic resonance study in Eastern Mountains of Fu Jian. Acta Petrologica et Mineralogica, 5(2): 128 ~ 139 (in Chinese with English abstract).
Zhang S H. 2004. Glance at non-metal mineral resources in Southern Africa. China Non-Metallic Mining Industry Herald, 38(1): 57 (in Chinese with English abstract).



《1:250 万中俄哈蒙韩系列地质图编制》主要进展

首次完成了 1:250 万中国北部地质图、中国北部蒙古南部和朝鲜半岛大地构造图、中国北部非能源矿产资源图、中国北部非能源矿产成矿物质规律图和中国北部能源矿产(石油、天然气、煤)成矿规律图及 1:250 万亚洲中部及邻区地质图等 6 幅定稿图;修编了 3 幅地学大断面图、编制了主要构造区(带)10 个地层柱状对比图,建立了中国北部非能源矿产数据库(983 个矿床);首次在国际地质编图中以 18 亿年为界作为中万 元古代界限,表达了我国地层划分意见;并进行了地质构造以及成矿特征等对比研究。该项目是地质调查项目,由中国地质科学院李廷栋院士、董树文研究员课题组负责。

《激光探针微区稳定同位素分析方法及地质应用研究》主要进展

在国内首次自行建立激光探针微区氧、硅同位素分析系统;建立了激光氧、硅同位素分析方法,可测含氧量低至 7 个微克分子,含硅量可低至 5 微克分子,分析精度优于 0.2‰,优于国际同类研究的先进水平;研制了石英玻璃和锰铝榴石两种激光氧、硅同位素分析标准物质,填补了国内外的空白;对伟晶岩、辉长岩、地幔包体等难熔矿物进行了微区氧、硅同位素变化研究,这些成果为激光同位素分析技术在国内的发展铺平了道路,为深入研究矿床成因、古气候、古环境开拓了新途径。该项目是地质调查项目,由中国地质科学院矿产资源所丁悌平研究员课题组负责。