新疆北山地区漩涡岭镁铁质—超镁铁质层状岩体岩石学与矿物学研究

夏昭德[1,2)]，王垚[1)]，姜常义[1,2)]，凌锦兰[1)]，夏明哲[1,2)]，郭娜欣[1)]

1）长安大学地球科学与资源学院，西安，710054；

2）西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室，西安，710054

内容提要：位于新疆北山地区的漩涡岭岩体是一堆晶层理发育的镁铁质—超镁铁质层状岩体。岩石类型主要有纯橄岩、橄长岩、橄榄辉长岩和辉长岩等。主要的造岩矿物有橄榄石、辉石、斜长石、铬尖晶石，岩相学特征表明岩浆在演化过程中经历了橄榄石、尖晶石、斜长石、斜方辉石和单斜辉石的分离结晶，结晶次序依次为橄榄石＋尖晶石→斜长石→辉石，表明结晶时压力较低。漩涡岭岩体的纯橄岩中橄榄石的Fo高达90.1%，这不同于新疆北部黄山岩带、喀拉通克岩体群以及甘肃金川岩体的橄榄石Fo组成，利用橄榄石最高Fo值估算得到漩涡岭岩体的母岩浆的$Mg^{\#}$为0.73～0.75，岩浆的液相线温度高达1330～1350℃，其岩浆为高温高Mg的苦橄质岩浆，这为塔里木东北部二叠纪地幔柱活动提供了新的证据。

关键词：镁铁质—超镁铁质；岩石学；矿物学；母岩浆；漩涡岭；新疆北山地区

塔里木板块东北部包括新疆北山地区和甘肃西部的柳园地区，其二叠纪岩浆岩非常发育，出露有百余个镁铁质—超镁铁质岩体，西起罗东、坡北岩体，经红石山、漩涡岭、笔架山、笔架山东岩体（图1），东至柳园镇东北的黑山岩体。其中，坡北岩体中的坡一、坡十岩体产出有镍铜硫化物矿床，笔架山岩带中的红石山岩体、漩涡岭岩体发现了镍铜硫化物矿化体。近年来在部分岩体中获取的锆石U-Pb谐和年龄介于260.7±2～286Ma之间，均属二叠纪乌拉尔世（姜常义等，2006；李华芹等，2006；Ao Songjian et al.，2010；苏本勋等，2010；Su Benxun et al.，2011；Qin Kezhang et al.，2011）。依据生物地层学厘定的二叠纪玄武岩属二叠纪二分意义上的下二叠统，与幔源侵入体形成时代大体相同。初步研究表明，红石山岩体形成过程中经历了多期岩浆贯入（苏本勋等，2009）；漩涡岭岩体是岩石圈地幔高程度部分熔融形成的高镁玄武质岩浆分异演化的产物（苏本勋等，2010），从这些研究成果看出，该区镁铁—超镁铁质岩体主要是岩石圈地幔熔融的产物。前人的研究集中于镁铁—超镁铁岩体的地球化学和年代学研究，囿于缺少详细的岩体地质、岩石学和矿物学研究，尚未认识到该岩体属堆晶结构和韵律层理发育的层状岩体，而层状岩体对岩浆分异演化过程和岩浆房物理化学条件的研究具有重要意义，所以本文拟对漩涡岭层状岩体进行系统的岩石学和矿物学研究，探讨该岩体的母岩浆性质、岩浆演化过程和物理化学条件等。

1 地质概况

漩涡岭镁铁质—超镁铁质岩体是塔里木东北部蚕头山-笔架山岩体群中的一个岩体（图1c），分布于蚕头山-小青山断裂南侧，产于北东向、东西向和北西向次级断裂的交汇部位。岩体平面呈不规则状，东西长约4km，西部较宽，约2km，东部较窄，平均宽约1km，出露面积近5km^2。岩体北部、南部及东部均与下石炭统红柳园组变质砂岩地层呈侵入接触关系，岩体西部侵入于酸性花岗岩中（图2）。

漩涡岭岩体为一层状—似层状镁铁质—超镁铁质岩体，该岩体岩相分带清楚，主要由纯橄岩—橄长岩、橄榄辉长岩相和辉长岩相组成（图2）。地表出露的岩石主要是辉长岩相（辉长苏长岩、辉长岩、淡色辉长岩）和橄榄辉长岩相（橄榄苏长岩、暗色橄榄

注：本文为国家自然科学基金项目（编号41102045）、中央高校基本科研业务费专项资金（编号CHD2010ZY008）和中国地质调查局地质矿产调查评价专项（编号1212011120498和12120113043100）共同资助的成果。

收稿日期：2011-11-28；改回日期：2012-12-18；责任编辑：郝梓国，黄敏。

作者简介：夏昭德，男，1984年生。讲师，地球化学专业，主要从事岩石学与地球化学研究。Email：karlde@163.com。

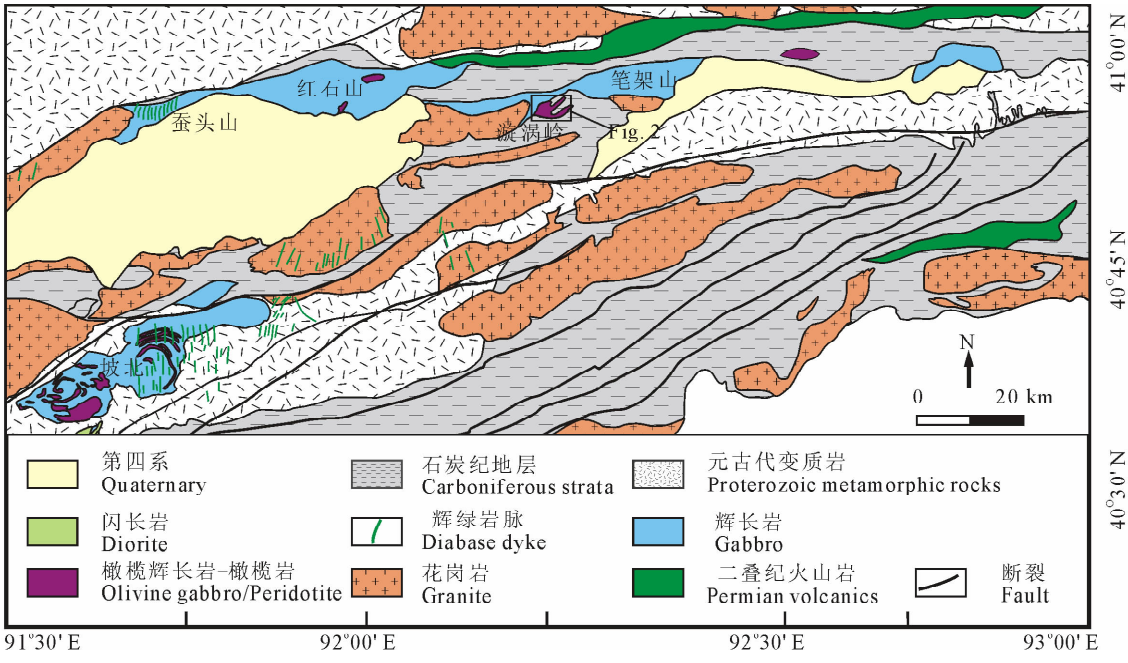


图 1　新疆北山地区区域地质图

Fig. 1　Regional geological map of the Beishan areas, Xinjiang

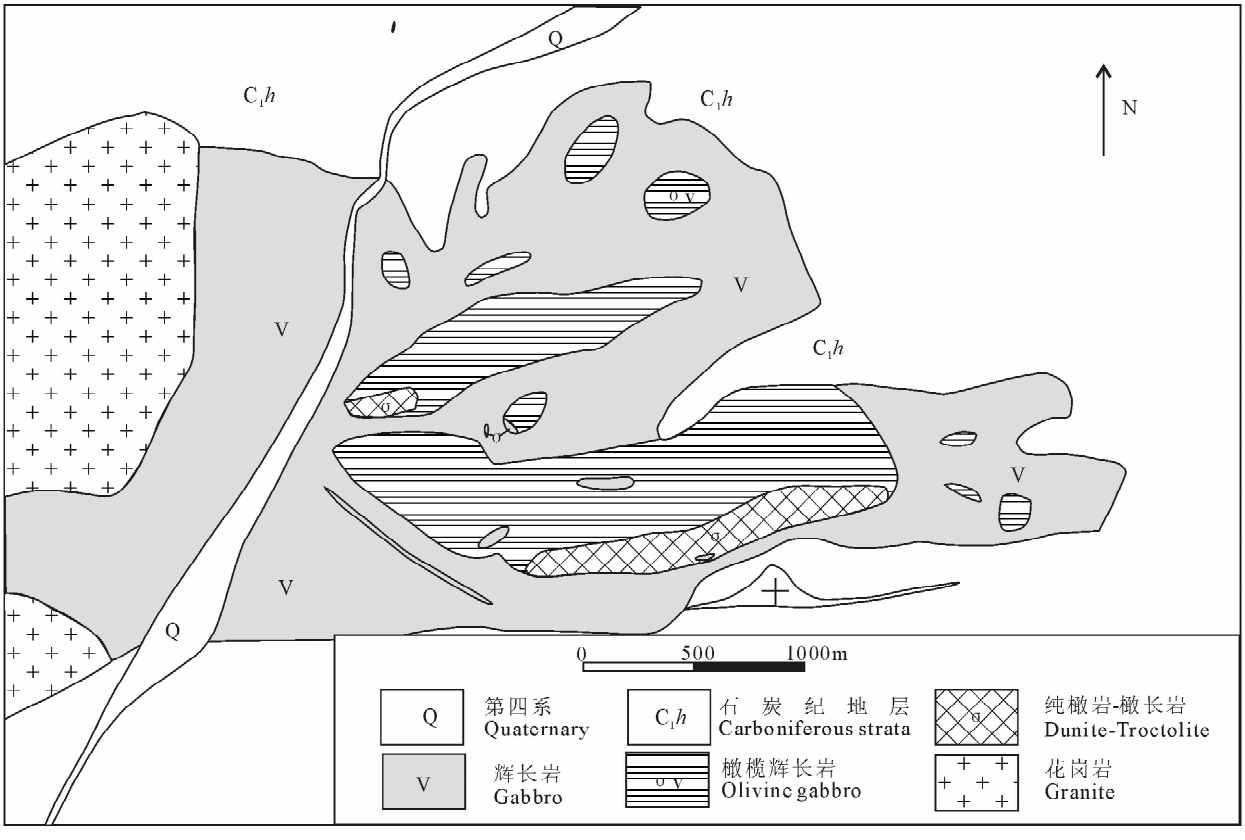


图 2　新疆北山地区漩涡岭岩体地质图

Fig. 2　Simplified sketch of the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

辉长岩、橄榄辉长苏长岩、橄榄辉长岩),二者占岩体总面积的 90%以上。而纯橄岩和橄长岩出露于低洼位置,多被覆盖。

岩体中单矿物层、纹层及韵律层理发育。辉长

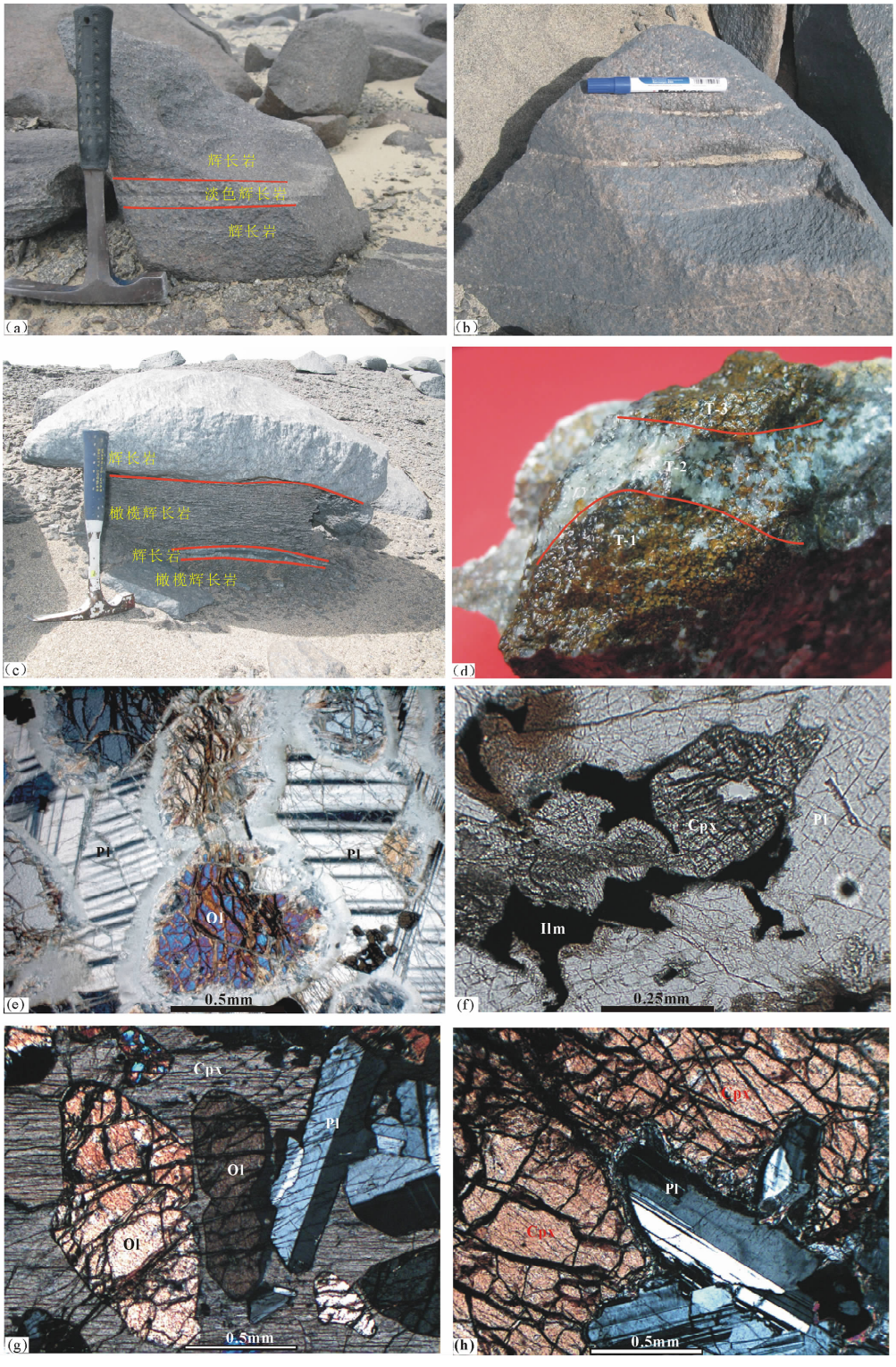


图 3 新疆北山地区漩涡岭岩体的韵律层理和熔蚀现象

Fig. 3 The rhythmic layers and eroded phenomenons of the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

(a)—辉长岩和淡色辉长岩的韵律层;(b)—辉长岩中的单矿物层;(c)—辉长岩和橄榄辉长岩的韵律层;(d)—橄长岩中韵律层,其中 T-1 和 T-3 为富橄榄石层,T-2 为富斜长石层;(e)—橄榄石边部多被熔蚀;(f)—辉石充填于斜长石颗粒之间,二者均被熔蚀;(g)—辉石遭受熔蚀;(h)—斜长石遭受熔蚀

(a)—Rhythmic layers for gabbro and leucogabbro; (b)—single mineral layer in gabbro; (c)—rhythmic layers for gabbro and olivine gabbro; (d)—rhythmic layers in troctolite, T-1/3 for olivine-rich cumulus mineral and T-2 for plagioclase-rich cumulus mineral; (e)—olivine grains have eroded; (f)—clinopyroxene as interstitial phase between plagioclase grains and both have eroded; (g)—olivine grains have eroded; (h)—plagioclase grains have eroded

岩及橄榄辉长岩中常见有斜长石和辉石的单矿物层,单矿物层厚度多在 1～10cm 之间,也有个别单矿物层厚达 30cm。单矿物层倾角多较陡,近乎直立。在地表也可见近水平的单矿物层。漩涡岭岩体的堆晶层理既有水平的,也有陡直的,说明有后期断层破坏,这与漩涡岭岩体所处于断裂带的交汇部位是相吻合的。可见橄榄辉长岩与辉长岩的韵律层,每个韵律层厚约 0.2～2m,也可见橄长岩与纯橄岩(橄榄岩)的韵律层(图 3a～3d),每个韵律层厚约 0.2～2.5m。

2　岩相学特征

漩涡岭岩体主要造岩矿物为橄榄石、单斜辉石、斜方辉石和斜长石,此外还有少量的铬尖晶石、硫化物、钛磁铁矿等。常见结构有正堆晶结构,包含结构,包橄结构,嵌晶含长结构,辉长结构,反应边结构,自形—半自形粒状结构等(图 4)。各类岩石均发生了不同程度的蚀变作用,蚀变类型主要有蛇纹石化、透闪石化、阳起石化、绿泥石化、钠黝帘石化、绿帘石化、滑石化等。此外,岩石中可见矿物的熔蚀现象(图 3e～3h)。

淡色辉长岩:灰色—灰白色,中细粒粒状结构、辉长辉绿结构、含长结构,块状构造。岩石由斜长石(70%～75%)、单斜辉石(20%～23%)以及少量的橄榄石(<5%)、斜方辉石(约 2%)以及褐色普通角闪石(约 1%)组成。斜长石多为灰白色,呈半自形板状,粒径 1～2mm,卡钠复合双晶发育。单斜辉石多为灰黑色,短柱状、不规则状,粒径为 0.1～1mm,分布于斜长石颗粒之间(图 4h),也可见单斜辉石包裹斜长石,单斜辉石多已发生透闪石化、滑石化。橄榄石呈不规则粒状、浑圆状,分布于斜长石颗粒之间,沿裂隙边缘多发生蛇纹石化,也可见较新鲜的橄榄石颗粒。

辉长岩:灰黑色,中细粒辉长结构,块状构造。该岩石由斜长石(50%～60%)、单斜辉石(35%～45%)、钛磁铁矿(约 7%)以及少量斜方辉石、角闪石组成。辉石与斜长石结晶程度接近,均呈半自形板状、粒状。斜长石呈灰白色短板状,局部可见斜长石被辉石颗粒包裹,斜长石颗粒边部多被交代熔蚀而呈港湾状,斜长石发生钠黝帘石化。单斜辉石多呈短柱状,他形粒状,单斜辉石颗粒周围可见斜方辉石反应边,部分单斜辉石颗粒边缘已发生熔蚀,辉石多发生透闪石化。钛磁铁矿呈不规则状填隙于单斜辉石、斜长石之间(图 4g)。

辉长苏长岩:灰黑色,中细粒辉长结构,块状构造。主要由斜长石(60%～65%)、单斜辉石(20%～25%)、斜方辉石(5%～10%)以及少量角闪石、磁铁矿组成。辉石与斜长石结晶程度接近,均呈半自形板状,粒径 0.5～2mm。斜长石呈灰白色短板状,局部可见斜长石被辉石颗粒包裹。辉石多呈半自形板状。岩石蚀变强,斜方辉石多发生绢石化,单斜辉石多发生透闪石化,斜长石发生钠黝帘石化。

橄榄辉长岩:灰色—灰黑色,辉长结构,局部可见含长结构、包橄结构,块状构造。主要由斜长石(55%～60%)、单斜辉石(5%～35%)、橄榄石(约 5%,个别岩石中橄榄石达 30%)组成。斜长石多呈长柱状,长边长 0.5～3mm,卡钠双晶发育,见有斜长石被辉石包裹,个别被熔蚀。单斜辉石解理发育,多见一组解理,多呈他形分布于橄榄石、斜长石颗粒之间,包裹橄榄石以及斜长石颗粒(图 4g)。橄榄石他形粒状,颗粒边缘及裂隙处多发生蛇纹石化、伊丁石化,有粉尘状铁质析出,橄榄石颗粒中包裹有少量细小斜长石颗粒。岩石中含有少量金属矿物。

橄榄辉长苏长岩:灰黑色,粒状结构、含长结构、包橄结构,主要由斜长石(20%～50%)、橄榄石(20%～40%)、单斜辉石(15%～30%)、斜方辉石(约 5%)组成,岩石中还含有少量褐色角闪石、磁铁矿等。斜长石多呈长柱状,粒径为 0.5～3mm,斜长石中分布有少量他形的单斜辉石。单斜辉石多呈他形分布于橄榄石,斜长石颗粒之间。橄榄石,他形粒状,颗粒边缘及裂隙处多发生蛇纹石化、伊丁石化,有粉尘状铁质析出。橄榄石颗粒中含有少量的金属硫化物以及铬尖晶石。岩石蚀变较强。

暗色橄榄辉长岩:粒状结构、包橄结构,主要由橄榄石(70%)、斜长石(15%)、单斜辉石(10%)、斜方辉石(<5%)组成,岩石还含有少量普通角闪石、黑云母、粉尘状磁铁矿、铬尖晶石等。橄榄石为他形粒状,粒径 1～2mm,颗粒边缘及裂隙处多发生蛇纹石化、伊丁石化,使橄榄石仅保留下细小不规则的小残块,在橄榄石颗粒裂隙及边缘处可见有铁质析出,橄榄石颗粒中含有少量的金属硫化物以及铬尖晶石。橄榄石颗粒多被斜长石颗粒包裹,而具包橄结构。斜长石多呈他形,填隙于橄榄石颗粒之间。辉石多呈半自形板状,粒径为 0.5～1mm,辉石颗粒沿裂隙多发生破碎。

橄榄苏长岩:褐色,镶嵌结构、包橄结构,块状构造。主要由斜方辉石(35%～40%)、斜长石(45%～50%)、橄榄石(5%～15%)和单斜辉石(<5%)组

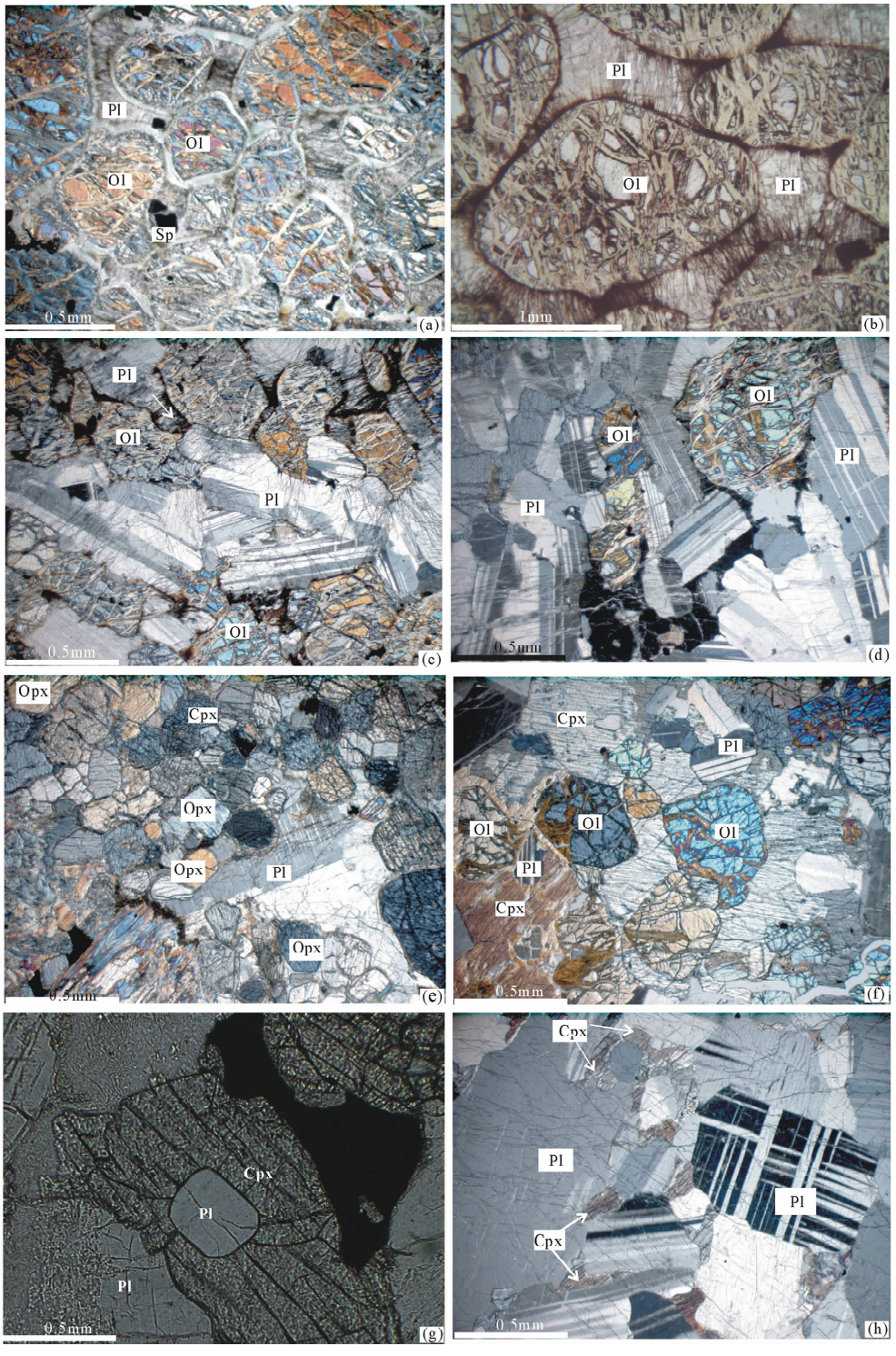


图 4 新疆北山地区漩涡岭岩体岩石显微照片

Fig. 4 Photomicrographs of rocks from the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

(a)—纯橄岩中的堆晶相橄榄石和填隙相斜长石;(b)—橄长岩中橄榄石被填隙相斜长石包裹;(c)—橄长岩中的堆晶斜长石和橄榄石;(d)—橄长岩中的堆晶斜长石和少量的橄榄石;(e)—橄榄苏长岩中的堆晶辉石和填隙相斜长石;(f)—橄榄辉长岩中大的单斜辉石颗粒包含多个细小的橄榄石和斜长石颗粒;(g)—辉长岩辉石和钛铁矿填隙于斜长石颗粒之间;(h)—淡色辉长岩中他形单斜辉石填隙于自形的斜长石颗粒之间

(a)—Cumulus olivine and interstitial plagioclase in dunite; (b)—olivine are enclosed by interstitial plagioclase in troctolite; (c)—cumulus plagioclase and olivine in troctolite; (d)—cumulus plagioclase and a small amount of olivine in troctolite; (e)—cumulus pyroxene and interstitial plagioclase in olivine norite; (f)—olivine and plagioclase are enclosed by the big clinopyroxene grain in olivine gabbro; (g)—interstitial ilmenite and pyroxene in gabbro; (h)—clinopyroxene as interstitial phase between plagioclase grains in leucogabbro

成。辉石呈半自形板状、颗粒相互接触(图 4e)。橄榄石他形粒状,多发生蛇纹石化、滑石化。斜长石多呈他形,填隙于斜方辉石、橄榄石之间。

橄长岩:主要分布于地表的低洼处,采集的样品多来自探槽,橄长岩可见明显的单矿物富集层(图 3d、4b～4d),橄榄石—斜长石—橄榄石—斜长石相间排列,组成条带状构造。橄长岩可以细分为 3 类:①以橄榄石为堆晶相的橄长岩—暗色橄长岩:正堆晶结构,块状构造,岩石由橄榄石(70%～80%)、斜长石(20%～30%)以及少量辉石、铬尖晶石组成。堆晶矿物主要为橄榄石,橄榄石呈自形粒状,粒径 0.5～2mm,多发生蛇纹石化、滑石化,伴有铁质的析出。斜长石呈他形填隙于橄榄石颗粒之间。铬尖晶石多分布于橄榄石颗粒中,个别分布于橄榄石颗粒边缘,含量约 1%。②以斜长石为堆晶相的橄长岩—淡色橄长岩:正堆晶结构,块状、似层状构造,主要由斜长石(80%)、橄榄石(15%)、单斜辉石(<5%)组成。堆晶矿物主要为斜长石,呈半自形板状,粒径为 1～2mm(个别达 5mm),显示有定向排列,橄榄石填隙于斜长石颗粒之间,多发生蛇纹石化。③橄榄石与斜长石颗粒粒度自形程度相近的橄长岩:粒状结构,包橄结构,含长结构,块状构造,岩石由橄榄石(40%～60%)、斜长石(40%～60%)以及少量铬尖晶石、镍黄铁矿组成。

纯橄岩:岩石呈黄褐色,粒状镶晶结构、正堆晶结构。岩石主要由橄榄石(>90%)组成(图 4a),岩石含有少量斜方辉石、斜长石、铬尖晶石和硫化物等。橄榄石圆粒状,粒径 0.2～2mm,多发生蛇纹石化并析出铁质,呈网环状结构,可见残留橄榄石颗粒。橄榄石颗粒周围被斜方辉石和斜长石填隙。斜方辉石多已蚀变为绢石,斜长石多已绿泥石化。铬尖晶石,棕黄色,半透明—透明,自形—半自形,截面多呈四边形,粒径一般<0.05mm,含量约 2%。

3　造岩矿物晶体化学

主要造岩矿物化学组成在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室采用 JXI-8100 型电子探针分析,加速电压 15 kV,束电流 1.0×10^{-8} A,束斑直径 1 μm。

橄榄石主要赋存于纯橄岩、橄长岩、橄榄苏长岩、橄榄辉长苏长岩、(暗色)橄榄辉长岩中。在不同的岩石中,其产出形态不完全相同。在纯橄岩中多呈半自形粒状或浑圆粒状堆积晶产出;在橄榄苏长岩、橄榄辉长苏长岩、(暗色)橄榄辉长岩中多被辉石或斜长石晶体包裹;在橄长岩中,既有堆晶的橄榄石,也有作为填隙物的橄榄石,分布于堆晶斜长石颗粒周围。橄榄石晶体大小 0.5～2mm,裂理发育,多数已遭受蛇纹石化蚀变。蛇纹石化及析出的铁质沿边缘及裂隙分布而构成网状。根据电子探针分析结果及计算的端元分子(表 1)可以看出,其 Fo 介于 79.4%～90.1%之间,多属贵橄榄石,个别属镁橄榄石。其成分在同一样品的中心与边缘变化不大,但随着岩石基性程度的降低,Fo 随之降低。在纯橄岩中橄榄石的 Fo 高达 90.1%,而橄榄辉长岩中橄榄石的 Fo 为 79.4%。橄榄石中 CaO 含量很低,均小于 0.1%。除一件样品的橄榄石的 NiO 含量为 0.45%外,其余橄榄石的 NiO 含量在 0.1%～0.3%之间(图 5)。

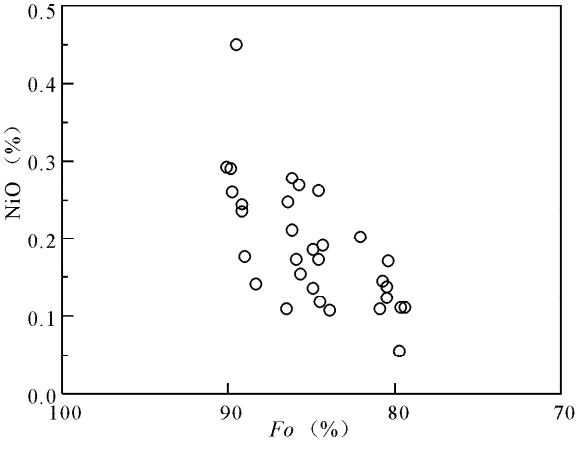


图 5　新疆北山地区漩涡岭岩体橄榄石中的 Fo-NiO 图解

Fig. 5　Fo content versus NiO content diagram for the olivine from the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

在纯橄岩、橄长岩、(暗色)橄榄辉长岩中均见有铬尖晶石,褐红色,呈半自形—他形粒状、星点状包裹于橄榄石颗粒中,粒径一般<1mm,含量 1%～2%。铬尖晶石的分子式为 $(Mg,Fe^{2+})(Cr,Al,Fe^{3+})_2O_4$,通常运用尖晶石的 $Cr^{\#}$ 来表示其组成[$Cr^{\#}=100Cr/(Cr+Al)$]。在该岩体中 $Cr^{\#}$ 为 29～69(表 1,图 6),从纯橄岩—橄长岩—橄榄辉长岩,尖晶石中的 Cr 含量有降低的趋势,Cr 含量减少,Al 含量增加。

斜方辉石几乎分布于各类岩石中。在纯橄岩中主要为橄榄石的反应边;在橄榄苏长岩中,斜方辉石被斜长石包裹,也可见斜方辉石包裹斜长石。在辉

长岩中斜方辉石呈半自形板柱状。斜方辉石多发生绢石化。在橄长岩中的顽火辉石分子(En)介于83%～85%之间,属古铜辉石;在橄榄苏长岩中斜方辉石的FeO含量明显高于橄长岩中的FeO含量,其Fs=24%～25%,En降低为72%～73%;在辉长岩中的斜方辉石的Fs为33,属紫苏辉石(表2,图7)。

单斜辉石在各种岩石中均有出现,多分布于橄榄辉长苏长岩—橄榄辉长岩—辉长苏长岩—辉长岩中,主要呈短柱状,少数填隙于堆晶橄榄石中。主要蚀变有次闪石化和绿泥石化。单斜辉石主要为普通辉石,还有少量的透辉石、顽透辉石、次透辉石和贫钙普通辉石(表2,图7)。单斜辉石中的TiO_2,除个别数据>1%外,其余TiO_2含量均小于1%。Al_2O_3含量变化较低,介于1.58%～4.35%之间(其中$Al^{Ⅵ}$为0～0.09)。

斜长石出现在各类岩石中。在橄长岩中既有堆晶相的斜长石(斜长石晶体粗大);也有作为填隙物包裹橄榄石的斜长石。在辉长岩类中多呈自形—半自形柱状。斜长石的化学组成An为53～87(表3)。在橄长岩中,堆晶相斜长石的An=80～87,为倍长石,填隙相斜长石的An=67,为拉长石;在其他岩类中,斜长石主要为倍长石、拉长石。

表1 新疆北山地区漩涡岭岩体橄榄石和尖晶石组成(%)

Table 1 Composition (%) of olivine and spinel grains of the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

岩石	样品	SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	TiO_2	MgO	Cr_2O_3	NiO	Na_2O	K_2O	总量	Fo
DUN	XW-54	40.20	9.54	0.12	0.06	0.07	0.01	47.88	0.31	0.29	—	0.00	98.46	89.9
DUN	XW-54	40.28	10.08	0.22	—	0.06	0.03	48.43	0.10	0.45	0.03	—	99.67	89.5
DUN	XW-54	41.30	9.47	0.17	0.02	0.05	—	48.79	—	0.29	0.03	0.02	100.14	90.1
DUN	XW-54	40.84	9.76	0.22	—	0.07	0.01	48.25	—	0.26	—	—	99.42	89.8
TRO	XW-48	40.73	11.15	0.22	—	0.05	0.01	47.61	0.00	0.14	—	0.01	99.91	88.4
TRO	XW-48	41.32	10.46	0.21	0.01	0.06	0.01	47.67	0.01	0.18	0.06	—	100.00	89
TRO	XW-48	41.16	10.40	0.13	0.01	0.05	0.02	48.12	—	0.24	0.04	—	100.18	89.2
TRO	XW-50	40.17	14.20	0.13	0.03	0.05	—	44.94	—	0.14	0.01	—	99.65	84.9
TRO	XW-50	40.50	14.57	0.21	0.03	0.06	—	45.05	0.02	0.26	0.02	0.02	100.72	84.6
TRO	XW-55	40.62	13.02	0.19	0.01	0.05	0.02	46.40	0.01	0.25	—	0.00	100.56	86.4
ON	XW-45	40.51	13.57	0.20	0.02	0.04	0.01	45.86	0.03	0.27	—	0.02	100.52	85.8
ON	XW-45	40.74	13.05	0.22	0.01	0.03	—	45.84	0.03	0.28	—	—	100.20	86.2
ON	XW-45	40.63	13.57	0.20	0.04	0.03	0.03	45.84	0.03	0.15	0.01	0.01	100.53	85.7
ON	XW-46	40.46	15.39	0.25	0.01	0.04	—	44.84	0.01	0.11	0.01	—	101.10	83.9
ONG	XW-14	40.27	14.76	0.09	—	0.02	—	45.20	0.02	0.12	—	—	100.47	84.5
OG	XW-2	39.47	19.21	0.32	0.03	0.04	—	41.55	—	0.11	—	—	100.72	79.4
LG	XW-9	39.57	18.26	0.29	0.01	0.04	0.00	42.21	0.02	0.12	0.02	0.01	100.54	80.5
LG	XW-9	39.84	17.86	0.25	0.00	0.03	0.02	42.52	0.02	0.11	—	—	100.65	80.9
岩石	样品	SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	TiO_2	MgO	Cr_2O_3	NiO	Na_2O	K_2O	Total	$Cr^{\#}$
DUN	XW-54	—	24.53	0.45	20.98	—	1.62	8.61	43.27	0.12	0.03	—	99.61	58
DUN	XW-54	—	26.45	0.33	19.65	0.09	0.92	7.76	45.75	0.10	0.02	0.01	101.09	61
DUN	XW-54	—	22.07	0.09	21.59	0.04	1.04	10.81	44.89	0.13	—	—	100.65	58
TRO	XW-50	0.00	42.00	0.43	11.89	0.01	2.07	4.53	39.64	0.12	0.00	—	100.70	69
TRO	XW-50	0.02	43.39	0.49	14.64	0.02	2.50	5.99	33.91	0.10	—	—	101.06	61
TRO	XW-50	—	41.61	0.45	14.54	—	1.56	4.62	38.72	—	0.08	—	101.57	64
TRO	XW-55	—	27.15	0.36	28.01	0.04	0.36	7.85	38.51	0.06	0.06	0.02	102.42	48
TRO	XW-48	—	17.39	0.03	38.59	—	0.32	15.56	29.21	0.13	—	—	101.22	34
ON	XW-46	—	24.65	0.06	39.33	0.08	0.4	11.75	23.88	0.09	0.06	—	100.3	29
ON	XW-46	—	38.59	0.21	21.18	0.01	1.17	4.83	34.11	0.11	—	0.01	100.23	52
ON	XW-45	—	35.61	0.51	17.34	0.01	2.09	6.69	40.62	0.08	0.03	0.01	102.99	61
ON	XW-45	—	34.62	0.45	16.78	0.01	2.74	7.61	40.33	0.18	—	—	102.71	62
ON	XW-45	—	29.05	0.3	18.87	0.01	1.77	7.93	38.86	0.08	0.11	0.02	97	58
OG	XW-42	—	32.11	0.2	18.44	0.03	2.32	7.33	40.25	0.14	0.04	0	100.88	59
OG	XW-42	—	32.12	0.37	19.3	—	2.02	7.7	40.67	0.12	0.01	0.01	102.31	59
OG	XW-2	—	46.71	0.57	12.35	0.02	2.6	2.28	35.4	0.07	—	0.01	100	66
OG	XW-2	0.03	42.25	0.3	19.63	0.2	1.35	2.39	33.85	0.01	—	—	100.02	54

注:DUN—纯橄岩;TRO—橄长岩;ON—橄榄苏长岩;MOG—暗色橄榄辉长岩;OG—橄榄辉长岩;OGN—橄榄辉长苏长岩;GN—辉长苏长岩;G—辉长岩;LG—淡色辉长岩;'—'未测出;Fo—Mg_2SiO_4;Fo=100×Mg/(Mg+Fe);$Cr^{\#}$=100×Cr/(Cr+Al)。

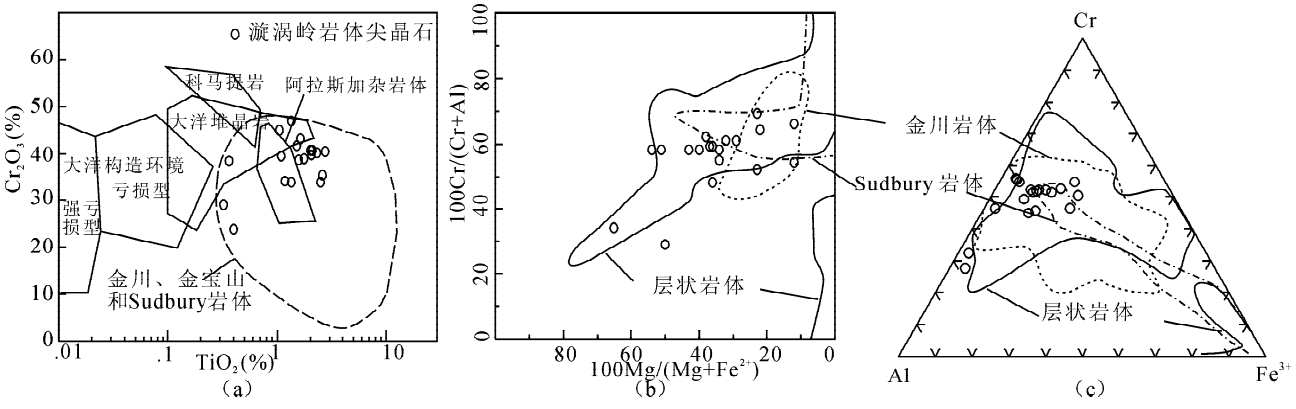


图 6　新疆北山地区漩涡岭岩体铬尖晶石组成图解

Fig. 6　The compositions of spinels from the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

(a)—Cr_2O_3- TiO_2图解;(b)—100Mg/(Mg+Fe^{2+})-100Cr/(Cr+Al)图解;(c)—Cr-Al-Fe^{3+}图解(其他岩体数据引自 Barnes et al.,1999,2001;Zhou Meifu et al.,1997;Wang C Y et al.,2005)

(a)—Cr_2O_3 versus TiO_2 diagram;(b)—100Mg/(Mg+Fe^{2+}) versus 100Cr/(Cr+Al);(c)—triangular diagrams of Cr-Al-Fe^{3+} (Data for other intrusions from Barnes et al,1999, 2001;Zhou Meifu et al.,1997;Wang C Y et al.,2005)

4　讨论

4.1　岩浆性质

Kushiro(1960)与 Le Bas 等(1962)研究表明,单斜辉石的成分取决于母岩浆的成分与结晶环境,其 Si 和 Al 可以作为确定母岩浆类型的标型元素(孙传敏,1994)。在单斜辉石的 SiO_2-Al_2O_3图解中(图 8a),所有单斜辉石都位于亚碱性系列区;在 Si-$Al^{\text{Ⅳ}}$图解中(图 8b),所有单斜辉石都位于拉斑玄武岩区,表明其母岩浆属于拉斑玄武岩浆。

漩涡岭岩体中橄榄石 Fo 值为 79.4%～90.1%,Fo 的最高值为 90.1%,而新疆北部喀拉通克、黄山岩带以及甘肃金川岩体中橄榄石的 Fo 最大值均小于 90%(Zhou Meifu et al.,2004;汤中立等,2006),反映出漩涡岭岩体的橄榄石特征与后者有所不同。漩涡岭岩体岩石中的橄榄石特征与一些

表 2　新疆北山地区漩涡岭岩体辉石组成表(%)

Table 2　Composition (%) of pyroxene grains of the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

岩石	样品	SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	TiO_2	MgO	Cr_2O_3	NiO	Na_2O	K_2O	总量	En
TRO	XW-50	55.34	9.49	0.23	1.54	1.59	0.30	30.79	0.50	0.10	—	0.01	99.88	83
TRO	XW-50	54.73	16.44	0.24	1.39	0.93	0.20	26.81	0.20	—	0.03	—	100.96	73
ON	XW-46	55.03	15.88	0.35	1.24	2.09	0.34	26.02	0.30	0.07	0.03	—	101.34	72
ON	XW-46	55.24	16.43	0.28	1.10	1.31	0.31	26.35	0.28	—	—	0.01	101.31	72
ON	XW-46	55.11	15.56	0.37	1.27	2.09	0.33	26.17	0.33	0.03	0.09	—	101.36	72
ON	XW-45	56.66	8.53	0.21	1.40	0.97	0.39	31.76	0.31	0.08	—	—	100.30	85
ON	XW-45	56.32	8.55	0.11	1.54	1.37	0.53	31.18	0.35	0.04	0.01	—	100.01	84
G	XW-32	53.75	20.72	0.43	0.84	1.22	0.30	22.90	0.03	—	0.02	—	100.20	65
OG	XW-2	56.29	12.08	0.23	1.20	1.30	0.41	29.87	0.01	0.10	0.00	0.01	101.51	79
GN	XW-20	53.45	9.91	0.35	3.83	11.41	0.57	17.32	0.49	0.06	0.61	0.07	98.07	56
ONG	XW-14	52.43	4.01	0.19	3.08	21.72	0.64	16.02	1.43	0.04	0.32	0.01	99.90	47
ONG	XW-14	52.08	3.89	0.14	3.03	20.84	1.24	16.85	0.89	0.04	0.32	—	99.31	50
ON	XW-46	52.97	6.85	0.24	1.95	21.93	0.86	15.07	0.31	0.10	0.23	0.01	100.53	44
ON	XW-46	54.36	12.52	0.48	2.35	11.28	0.13	16.46	0.25	—	0.34	0.03	98.20	52
ON	XW-45	52.37	4.05	0.12	3.04	21.24	1.22	16.72	0.99	0.06	0.38	0.00	100.19	49
G	XW-32	51.42	10.49	0.28	1.56	21.14	0.60	13.56	0.15	0.01	0.35	—	99.54	39
G	XW-32	53.32	8.26	0.29	1.58	22.27	0.57	14.06	0.11	0.01	0.38	—	100.84	41
OG	XW-2	52.33	6.06	0.19	2.58	20.58	0.42	16.67	0.78	0.00	0.32	0.00	99.92	48
OG	XW-2	54.62	9.68	0.29	2.12	10.36	0.36	22.16	0.57	0.04	0.14	—	100.34	63

注:En—$Mg_2Si_2O_6$;En=100×Mg/(Mg+Fe+Ca)。

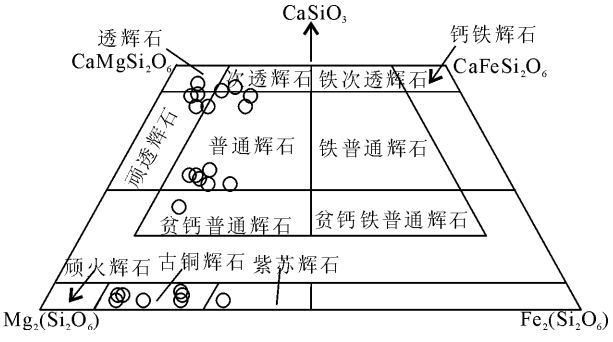


图 7 辉石分类图解(据 Poldervaart et al.,1951)

Fig. 7 Nomenclature of pyroxenes from the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang(after Poldervaart et al., 1951)

大陆溢流玄武岩省中苦橄岩中的橄榄石特征相似:西格陵兰苦橄岩中橄榄石斑晶的 Fo 值为 77.4%～93.3%(Larsen et al.,2000; Thompson et al.,2000),峨眉山苦橄岩中橄榄石的 Fo 值为 84.5%～91.6%(张招崇等,2006)。

一般来说,Mg-Fe 在橄榄石—熔体之间的分配系数 Kd[$Kd=(Fe/Mg)^{Ol}/(Fe/Mg)^{magma}$]为一相对稳定的值(0.30～0.33)(Roeder et al.,1970)。根据漩涡岭岩体纯橄岩中的橄榄石最高 Fo 值(90.1%)可计算得到漩涡岭岩体的原生岩浆的 $Mg^{\#}$ 为 0.73～0.75,该值高于黄山岩带的镁铁质—超镁铁质岩体的原生岩浆,反映出漩涡岭岩体的原生岩浆可能是高镁的苦橄质岩浆。

4.2 物理化学条件

4.2.1 结晶温度

橄榄石和铬尖晶石是岩体中结晶最早的主要造岩矿物,其结晶温度即是岩浆温度的下限,又是固相开始晶出温度的上限。根据橄榄石与熔体平衡原理,橄榄石的结晶温度 $T=1066+12.067Mg^{\#}+312.3(Mg^{\#})^2$(Roeder et al.,1970; Weaver et al.,1990)。漩涡岭岩体的橄榄石 Fo 最高为 90.1%,从而计算得到橄榄石的结晶温度为 1330℃。同时,根

表 3 新疆北山地区漩涡岭岩体斜长石组成表(%)

Table 3 Composition (%) of plagioclase of the Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

岩石	样品	SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	TiO_2	MgO	Cr_2O_3	NiO	Na_2O	K_2O	总量	An
TRO	XW-48	51.86	0.06	0.02	29.75	13.40	0.06	—	0.03	0.01	3.68	0.23	99.1	67
TRO	XW-48	47.92	0.15	0.02	32.69	16.95	—	0.03	0.01	—	1.85	0.01	99.62	83
TRO	XW-48	47.13	0.19	—	33.43	17.77	—	0.03	—	—	1.57	0.04	100.16	87
TRO	XW-48	47.26	0.16	0.02	33.07	17.49	—	0.01	—	—	1.62	0.03	99.65	86
TRO	XW-50	47.64	0.29	0.02	32.56	17.07	0.04	0.01	—	0.01	1.84	0.08	99.55	83
TRO	XW-55	48.59	0.15	—	32.40	16.52	0.01	0.01	—	—	2.03	0.03	99.74	82
TRO	XW-55	48.77	0.18	—	32.33	16.34	0.18	—	0.01	0.05	2.06	0.02	99.93	81
TRO	XW-55	48.4	0.07	0.05	32.39	16.43	0.03	0.01	—	—	2.21	0.02	99.59	80
ON	XW-46	53.4	0.24	0.01	28.87	12.49	0.03	0.00	0.03	—	4.68	0.24	99.99	59
ON	XW-46	50.04	0.15	—	31.39	15.36	0.02	—	—	0.06	2.80	0.03	99.89	75
ONG	XW-14	47.75	0.11	0.05	32.94	17.27	0.02	0.01	—	0.03	1.50	0.07	99.76	86
ONG	XW-14	48	0.09	0.03	32.59	16.78	0.02	0.01	—	—	1.88	0.07	99.49	83
ONG	XW-14	46.73	0.15	0.01	31.64	15.87	0.07	0.03	0.01	—	1.57	0.10	96.2	85
OG	XW-2	48.19	0.22	0.04	32.27	16.37	0.03	0.01	—	—	2.09	0.04	99.27	81
OG	XW-2	49.7	0.21	—	31.56	15.44	0.04	0.02	0.02	0.02	2.44	0.02	99.48	78
OG	XW-2	49.02	0.18	0.03	31.94	16.08	0.03	0.02	0.01	0.01	2.20	0.00	99.54	80
OG	XW-2	49.68	0.30	—	31.26	15.31	0.02	0.00	0.01	—	2.56	0.04	99.18	76
OG	XW-2	50.69	0.23	0.03	31.29	14.76	0.05	0.02	—	—	2.79	0.04	99.9	74
ON	XW-45	48.65	0.12	—	31.98	16.22	—	0.00	0.04	—	2.20	0.06	99.28	80
ON	XW-45	50.84	0.14	—	31.02	14.47	0.07	0.03	0.06	0.08	3.01	0.09	99.82	73
ON	XW-45	51.97	0.22	0.02	29.76	13.80	0.07	0.04	—	—	4.01	0.12	100	66
G	XW-32	53.52	0.31	0.02	28.17	11.66	0.04	0.38	—	—	5.13	0.17	99.39	55
G	XW-32	53.39	0.23	—	26.97	10.34	0.03	1.68	—	0.02	5.10	0.03	97.78	53
G	XW-32	48.12	0.18	0.01	32.20	16.34	0.00	—	0.07	—	2.14	0.05	99.1	81
G	XW-32	48.18	0.20	0.01	32.30	16.50	0.03	—	—	0.05	1.97	0.00	99.24	82
LG	XW-9	48.1	0.12	0.02	32.75	17.08	0.03	0.04	0.08	—	1.73	0.06	100.03	85
LG	XW-9	47.3	0.20	0.08	33.05	17.33	0.05	0.01	0.06	0.04	1.62	0.05	99.79	86
LG	XW-9	48.56	0.28	0.02	32.31	16.35	0.08	0.03	0.04	0.07	2.05	0.03	99.81	81

注:An—$CaAl_2Si_2O_8$;An=100×Ca/(Ca+Na)。

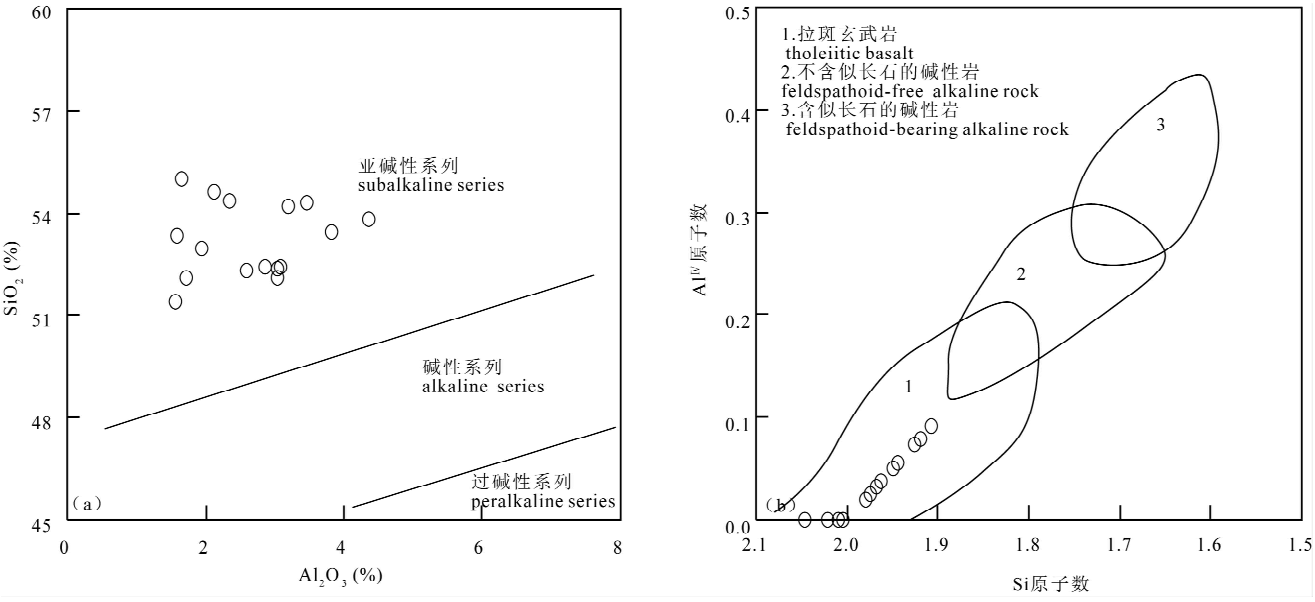


图 8　新疆北山地区漩涡岭岩体单斜辉石组成图解

Fig. 8　The compositions of clinopyroxenes from Xuanwoling intrusion in the Beishan areas, Xinjiang

(a)—单斜辉石中的 SiO_2-Al_2O_3 图解(张旗,1992)及(b)—Si-Al^{IV} 图解(Kushiro,1960,1962;张儒瑗和从柏林,1983)

(a)—Al_2O_3 versus SiO_2 concentrations of clinopyroxenes(after Zhang Qi,1992) and (b)—Si versus Al^{IV} numbers of clinopyroxenes(after Kushiro,1962; Zhang Ruyuan et al., 1983)

据 Fe-Mg 在橄榄石和尖晶石中的分配关系,Fabriès (1979)获得了尖晶石-橄榄石地质温度计: $T(℃)=(4250Cr^{\#}+1343)/(\ln K_D^0+1.825\ Cr^{\#}+0.571)-273$。在纯橄岩中,包裹于橄榄石的尖晶石的 $Cr^{\#}$ [$Cr^{\#}=Cr/(Cr+Al)$]为 0.61,计算得到液相线温度为 1350℃。因此,由橄榄石-尖晶石温度计计算的温度比玄武岩浆的液相线温度高约 130℃,表明构成漩涡岭岩体的岩浆属高温苦橄质岩浆。

4.2.2　压力条件

实验岩石学研究表明,在高压下(1GPa),单斜辉石-橄榄石-斜长石三元系统中,辉石(以及橄榄石)与斜长石的共结线向斜长石端点移动,从而,辉石优先于斜长石分离结晶(Morse, 1994)。在单斜辉石-橄榄石-斜长石三元系统的相图上,单斜辉石出现的曲线相对于橄榄石和斜长石出现曲线平坦一些,这就导致了在较低压力条件下橄榄石和斜长石的结晶早于单斜辉石结晶,单斜辉石和斜长石出现的线交叉的压力范围在 0.5～0.8GPa。当压力超过 0.5～0.8GPa 时,无水原生拉斑玄武质岩浆结晶形成的堆晶岩组合为纯橄岩、二辉橄榄岩、单辉橄榄岩、二辉辉石岩或直接结晶形成辉长岩或辉长苏长岩。当压力低于 0.5～0.8GPa 时,无水原生拉斑玄武质岩浆结晶过程中,橄榄石和斜长石组成了高温矿物组合,从而形成纯橄岩与橄长岩,而后辉石才开始结晶(Villiger et al.,2007)。

97SB68 苦橄岩的部分熔融实验证明(Tuff et al.,2005):当压力大于等于 3GPa 时,单斜辉石先结晶;当压力小于 3GPa 时,液相线相为橄榄石;当压力为 1.1GPa 时,矿物结晶的顺序为橄榄石→橄榄石+单斜辉石→橄榄石+斜长石+单斜辉石;当压力为 1.01×10^5Pa 时,斜长石早于单斜辉石结晶,矿物结晶顺序依次为橄榄石→橄榄石+斜长石→橄榄石+斜长石+单斜辉石。

如前所述,漩涡岭岩体的岩石组合为纯橄岩、橄长岩、橄榄苏长岩、橄榄辉长岩、辉长苏长岩、辉长岩,矿物结晶的主要顺序为橄榄石+尖晶石→橄榄石+尖晶石+斜长石→橄榄石+斜长石+斜方辉石+单斜辉石→斜长石+斜方辉石+单斜辉石→斜长石+单斜辉石。这都说明漩涡岭岩体形成时压力较低。

4.2.3　压力的变化对岩浆演化的影响

以下的岩相学特征可能反映了压力变化对漩涡岭岩体结晶过程的影响。

(1)晶体的熔蚀现象(图 3e～3h):岩石中多次出现橄榄石和单斜辉石被熔蚀的现象,而且也见有斜长石被熔蚀的现象。熔蚀现象可能是由于压力的变化。斜长石被熔蚀可能是在斜长石结晶之后压力的增加,液相线温度降低,继而发生熔蚀;而橄榄石

和辉石被熔蚀,可能是压力降低的缘故。

(2)不同矿物之间相互包裹关系及韵律层:如橄榄石包裹斜长石、橄榄石也有被斜长石包裹。在压力<0.5~0.8GPa 时条件下,随着温度的下降,橄榄石先结晶,当压力降低时,斜长石优先结晶,压力的振荡变化,导致结晶顺序逆转,将会形成橄榄石和斜长石的韵律层,以及形成以橄榄石为堆晶相的橄长岩和以斜长石为堆晶相的橄长岩。在透辉石-钙长石二元系统中,当水压发生脉动式波动,将造成一时辉石大量晶出,一时斜长石大量晶出,形成典型的韵律式层理。

(3)结晶顺序的变化:橄长岩、斜长石自形程度好,而单斜辉石呈他形填隙于斜长石,说明斜长石结晶早于单斜辉石;但橄榄苏长岩中斜长石呈他形填隙于自形辉石颗粒中,斜长石结晶晚于辉石,这可能说明压力的增大。当压力增大到>0.5~0.8GPa 时,辉石将早于斜长石结晶(Villiger et al.,2007),辉石和橄榄石构成堆晶相,而后残余的熔体再结晶,所形成的斜长石将填隙于辉石颗粒之间。压力降低,而后形成了橄榄辉长岩、辉长岩、淡色辉长岩。

5 结论

漩涡岭岩体是一堆晶层理发育的镁铁质—超镁铁质层状岩体。岩石类型主要有纯橄岩、橄长岩、橄榄苏长岩、暗色橄榄辉长岩、橄榄辉长岩、辉长苏长岩、辉长岩、淡色辉长岩等。主要的造岩矿物有橄榄石、辉石、斜长石、铬尖晶石,岩相学特征表明岩浆在演化过程中经历了橄榄石、尖晶石、斜长石、斜方辉石和单斜辉石的分离结晶,结晶次序依次为橄榄石+尖晶石→斜长石→辉石。漩涡岭岩体的纯橄岩中橄榄石的 Fo 高达 90.1%,这不同于新疆北部黄山岩带、喀拉通克岩体群以及甘肃金川岩体的橄榄石 Fo 组成,利用橄榄石最高 Fo 值估算得到漩涡岭岩体母岩浆的 $Mg^{\#}$ 为 0.73~0.75,岩浆的液相线温度高达 1330~1350℃,其岩浆为高温高 Mg 的苦橄质岩浆,这为塔里木东北部二叠纪地幔柱活动提供了新的证据。

致谢:新疆地矿局第六地质大队邓刚总工程师在野外工作中提供了大力支持与帮助,两位审稿专家悉心审稿,提出了宝贵的意见和建议。在此,对他们的辛勤劳动致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

姜常义,程松林,叶书锋,夏明哲,姜寒冰,代玉财. 2006. 新疆北山地区中坡山北镁铁质岩体岩石地球化学与岩石成因. 岩石学报,22(1):115~126.

李华芹,陈富文,梅玉萍,吴华,程松林,杨甲全,代玉财. 2006. 新疆坡北基性—超基性岩带Ⅰ号岩体 Sm-Nd 和 SHRIMP U-Pb 同位素年龄及其地质意义. 矿床地质,25(4):463~469.

苏本勋,秦克章,孙赫,唐冬梅,肖庆华,曹明坚. 2009. 新疆北山地区红石山镁铁—超镁铁岩体的岩石矿物学特征:对同化混染和结晶分异过程的启示. 岩石学报,25(4):873~887.

苏本勋,秦克章,孙赫,王恒. 2010. 新疆北山地区漩涡岭镁铁—超镁铁岩体的年代学、岩石矿物学和地球化学研究. 岩石学报,26(11):3283~3294.

孙传敏. 1994. 四川盐边元古代蛇绿岩中辉石的成因矿物学及其大地构造意义. 矿物岩石, 14(3):1~15.

汤中立,钱壮志,姜常义,李文渊,闫海卿,曾章仁,苏尚国,刘民武,焦建刚. 2006. 中国镍铜铂族岩浆硫化物矿床与成矿预测. 北京:地质出版社,22~179.

张旗. 1992. 镁铁—超镁铁岩与威尔逊旋回. 岩石学报, 8(2): 168~176.

张儒瑗,从柏林. 1983. 矿物温度计和矿物压力计. 北京:地质出版社,23~45.

张招崇,Mahoney J J,王福生,赵莉,艾羽,杨铁铮. 2006. 峨眉山大火成岩省西部苦橄岩及其共生玄武岩的地球化学:地幔柱头部熔融的证据. 岩石学报,22(6):1538~1552.

Ao Songjian, Xiao Wenjiao, Han Chunming, Mao Qigui, Zhang Jien. 2010. Geochronology and geochemistry of Early Permian mafic-ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: Implications for Late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altaids. Gondwana Research, 18: 466~478.

Barnes S J, Roeder P L. 2001. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. Journal of Petrology, 42: 2279~2302.

Barnes S J, Tang Zhongli. 1999. Chrome spinels from the Jinchuan Ni-Cu sulphide deposit, Gansu Province, People's Republic of China. Economic Geology, 94: 343~356.

Fabriès J. 1979. Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. Contributions to Mineralogy and Petrology, 69: 329~336.

Kushiro I. 1960. Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. Amercian Journal of Science, 258: 548~554.

Kushiro I. 1962. Clinopyroxene solid solutions. Part I: The $CaAl_2SiO_6$ component. Japanese Journal Geology and Geography, 33: 213~220.

Larsen L M, Pederson A K. 2000. Processes in high-Mg, high-*T* magma: evidence from olivine, chromite and glass in Palaeogene picrites from West Greenland. Journal of Petrology, 41: 1071~1098.

Le Bas M J. 1962. The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. American Journal of Science, 260(4): 267~288.

Morse S A. 1994. Basalts and phase diagrams: An introduction to the quantitative use of phase diagrams in igneous petrology. Melbourne(Florida): Krieger, 1~493.

Poldervaart A, Hess H H. 1951. Pyroxenes in the crystallization of basaltic magmas. The Journal of Geology, 59:472～489.

Qin Kezhang, Su Benxun, Sakyi P A, Tang Dongmei, Li Xianhua, Sun He, Xiao Qinghua, Liu Pingping. 2011. SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim Basin (NW China): Constraints on A ca. 280Ma mantle plume. American Journal of Science, 311(3):237～260.

Roeder P L, Emslie R F. 1970. Olivine-liquid equilibrium. Contributions to Mineralogy and Petrology, 29:275～289.

Su Benxun, Qin Kezhang, Sakyi P A, Li Xianhua, Yang Yueheng, Sun He, Tang Dongmei, Liu Pingping, Xiao Qinghua, Malaviarachchi S P K. 2011. U-Pb ages and Hf-O isotopes of zircons from Late Paleozoic mafic-ultramafic units in the southern Central Asian Orogenic Belt: Tectonic implications and evidence for an Early-Permian mantle plume. Gondwana Research, 20:516～531.

Thompson R N, Gibson S A. 2000. Transient high temperatures in mantle plume heads inferred from magnesian olivines in Phanerozoic picrites. Nature, 407:502～506.

Tuff J, Takahashi E, Gibson S A. 2005. Experimental constraints on the role of garnet pyroxenite in the genesis of high-Fe mantle plume derived melts. Journal of the Petrology, 46(10):2023～2058.

Villiger S, Ulmer P, Müntener O. 2007. Equilibrium and fractional crystallization experiments at 0.7GPa; the effect of pressure on phase relations and liquid compositions of tholeiitic magmas. Journal of Petrology, 48:159～184.

Wang C Y, Zhou Meifu, Zhao Donggao. 2005. Mineral chemistry of chromite from the Permian Jinbaoshan Pt-Pd-sulphide-bearing ultramafic intrusion in SW China with petrogenetic implications. Lithos, 83:47～66.

Weaver J S, Langmuir C H. 1990. Calculation of phase equilibrium in mineral melt systems. Computers & Geosciences, 16:1～19.

Zhou Meifu, Robinson P T. 1997. Origin and tectonic setting of podiform chromite deposits. Economic Geology, 92:259～262.

Zhou Meifu, Lesher C M, Yang Zhengxi, Li Jianwei, Sun Min. 2004. Geochemistry and petrogenesis of 270Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, eastern Xinjiang, northwest China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt. Chemical Geology, 209:233～257.

Petrography and Mineralogy of the Xuanwoling Mafic-Ultramafic Layered Intrusion in the Beishan Region, Xinjiang

XIA Zhaode[1,2], WANG Yao[1], JIANG Changyi[1,2], LING Jinlan[1,2], XIA Mingzhe[1], GUO Naxin[1]

1) *School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, 710054;* 2) *Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an, 710054*

Abstract

The Xuanwoling intrusion, located in the Beishan region in the northeastern Tarim Block, NW China, is one of the mafic-ultramafic intrusions with cumulate texture and rhythmic layering. The rocks in this area contain dunite, troctolite, olivine gabbros and gabbros. Major minerals are olivine, pyroxene, plagioclase, and picotite. Petrographical characters indicate that the Xuanwoling intrusion had undergone fractional crystallization, with crystallization sequence of olivine + spinel, plagioclase and pyroxene, indicating the crystallization pressure was lower than 0.5～0.8GPa. Olivines from this intrusion have high Fo values (up to 90.1%), and this differs from that of ith Kalatongke, Huangshan and Jinchuan intrusions. The Fo molecular of olivine was used to estimates the $Mg^{\#}$ values of prarental magma of Xuanwoling intrusion. Th result shows $Mg^{\#}$ of the parental magma is 0.73～0.75, and the crystallization temperature of the Xuanwoling intrusion is 1330～1350℃ higher than basalt liquidus temperature about 130℃. Therefore, the magma is picritic magma with high temperature and high MgO, providing new evidence for Permian mantle plume activity in northeastern Tarim.

Key words: mafic-ultramafic; petrography; mineralogy; prarental magma; Xuanwoling; Beishan area Xinjiang