

青海拉脊山超基性岩 地质特征及含矿性的初步探讨

西北地质科学研究所第五研究室拉脊山组

前 言

近年来,我们在本区进行与火成活动有关的以铁、铜、铬为主的区域成矿地质特征的课题研究工作,有机会对超基性岩进行了调查研究。为了“互通情报”,交流经验,故将所获资料初步总结写成此文。

文中所用资料,除本组调查所得外,还参考了青海省地质局区域地质测量队、第四、十三地质队等单位的地质成果和我所兄弟组在上庄磷灰石矿区研究的资料。同时,工作中得到了他们的大力支持和帮助。在此,我们向有关单位的领导和同志们表示感谢。

由于水平所限,错误之处在所难免,望批评指正。

一、超基性岩体的分布、控制构造及侵入时代

(一) 超基性岩体的分布和控制构造

青海拉脊山大地构造单元为加里东地向斜褶皱带,具优地槽性质。南和化隆隆起带相邻,北与祁连山中间隆起带接壤。南、北不同构造单位之间,均为多期活动的深断裂。超基性岩侵入体,即沿着这两条深断裂分布,大致可以划分成南、北两个亚岩带。

北部亚岩带,岩体自西而东为头淌河岩体、上庄岩体、元石山岩体、六台沟岩体、塌牙合岩体、斜沟脑一带岩体、罗巴沟岩体和中坝管沟坪岩体等。主要岩体,均向南倾斜。

南部亚岩带,自八宝山南麓罗马北山一带岩体,经德加一石坡沟岩体及大塘岩体后,转向东南阿吾尔及岩体。除德加一石坡沟岩体东段(原称石坡沟岩体)外,均向北倾斜。

这两个亚岩带,空间上分别和拉脊山加里东地向斜褶皱带南、北与不同大地构造单位之间的多期活动的深断裂相伴随,从而明显地显示出它们受深断裂控制的特征。就单个岩体(群)而言,和主断裂的距离有时较远,有时较近,其产出特征也不尽相同,应是主断裂次

级裂隙的反映。次级断裂的性质不同,控制着不同形态的岩体。如图1阿吾尔及、罗巴沟及上庄岩体,和围岩呈整合接触,平面形态呈长条状,受与主断裂相平行的以压性为主(或兼具扭性)的次级裂隙控制;塌牙合及斜沟脑一带岩体呈短轴状,和围岩产状斜交,受“X”型扭(张)裂隙控制;德加一石坡沟岩体,时而膨大,忽又狭缩,分枝复合,形态比较复杂,是岩浆追踪压性和扭性两组裂隙的结果,岩体膨大的部位,是两组构造裂隙交会之处。

(二) 超基性岩体侵入的时代和证据

依据现有资料分析,拉脊山加里东地向斜褶皱带超基性岩侵入体的侵入时代,属加里东早、中、晚三个时期。

1、加里东早期超基性岩侵入体

从1/20万区测资料来看,拉脊山加里东地向斜褶皱带内缺失早奥陶世地层,于深沟所见,奥陶系中统直接覆在寒武系上统六道沟群之上,二者呈不整合接触〔2〕〔3〕。最近,青海省地质局第二区测队报导,原1/20万区测资料在茶铺地区划分的奥陶系中统茶铺群中,存在有一个不整合面,其上为产化石的奥陶系中统,下伏地层也是寒武系上统。该队虽然将马场山一带的“志留系”定为奥陶系下统,但未找到划分时代的确切依据〔4〕。早奥陶世地层的缺失(至少部分地区是这样),说明寒武纪末地向斜曾发生前期褶皱回返—加里东早期运动。德加一石坡沟超基性岩体,侵入在寒武系上统六道沟群中,西段(原德加超基性岩体)又被较晚的扎浪滩(五道岭,下同)花岗闪长岩侵入;花岗闪长岩同位素年龄校正值为4.43亿年;地质时代相当晚奥陶世末。因此,超基性岩侵入的时代,应为前晚奥陶世,很可能是晚寒武世末加里东早期运动的伴随产物。

阿吾尔及、罗巴沟以及罗马北山一带超基性岩体,可与德加一石坡沟超基性岩体相对比。它们都侵入在寒武系中,并且也同属于镁质超基性岩类,故其侵入时代应该是相当的。

2、加里东中期超基性岩侵入体

本期侵入的超基性岩体为上庄黑云母单斜辉石岩体。该岩体侵入在寒武系上统六道沟群,同位素年龄为1.425亿年,和扎浪滩花岗闪长岩体校正后的同位素年龄1.43亿年十分相近。联系拉脊山加里东地向斜褶皱带内广大地区缺失志留系的事实,认为该超基性岩体和扎浪滩花岗闪长岩体均应是奥陶纪末发生的加里东中期运动的产物。

3、加里东晚期(?)超基性岩侵入体

北部亚岩带中,见有多处呈短轴状产出的苦橄玢岩体,岩石具斑状结构,侵入地层为志留系,如塌牙合和斜沟脑一带的苦橄玢岩体。1/20万“J—48—XXXI”(乐都幅)地质图,根据岩石结构特征和其侵入的地层时代,将该超基性岩定为加里东晚期(?)。同位素年龄为3.09亿年(黑云母具蚀变现象),地质时代相当于中石炭世。考虑到样品的代表性,仍将其时代定为加里东晚期(?)。

二、主要超基性岩体地质特征

按照超基性岩体内部的岩相组合、岩石矿物和化学成分及矿床或矿化特征,拉脊山加里

东地向斜褶皱带超基性岩体主要为以下五种类型：

- I、蛇纹岩体（有辉橄岩分离体）；
- II、纯橄岩—斜辉辉橄岩—斜辉橄橄岩体（局部为单斜辉石岩）；
- III、纯橄岩—单斜辉石岩体；
- IV、黑云母单斜辉石岩体；
- V、苦橄岩体（浅成相）。

现将各类岩体中的典型岩体特征叙述如下：

（一）金源阿吾尔及蛇纹岩体（有辉橄岩分离体）

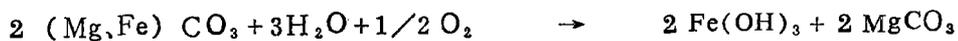
岩体侵入于上寒武统六道沟群，下盘是灰绿色具杏仁状构造的基性火山熔岩、火山集块岩，上盘为凝灰质板岩，硅质岩。岩体地表出露长达7000米以上，宽度一般为150—350米，西端被插朱山花岗闪长岩体吞食。岩体和围岩地层整合接触，为一沿层面侵入的向北倾斜的似岩床状岩体。

组成岩体的岩石，根据少量薄片观察，以蛇纹岩为主，含有辉橄岩及滑石菱镁岩，并见有煌斑岩（脉）。

蛇纹岩 黄绿、灰绿色，块状，矿物成分以叶蛇纹石（有时是纤维蛇纹石）为主，次为碳酸盐及少量滑石、绿泥石、闪石和附生铬尖晶石。铬尖晶石细粒，粒度<0.5毫米，自形结构，磁铁矿化强烈，透射光下仅中心呈棕红色半透明，含量<1%。尘状磁铁矿分布不均匀，有时成一组平行的细脉，可能系蛇纹石化过程中沿辉石解理析出。

全蛇纹石化辉橄岩 灰绿色，块状构造，假斑状结构。矿物成分：蛇纹石70%、绢石8%、碳酸盐9%、尘状磁铁矿6%，其它尚见有绿泥石、附生铬尖晶石等。铬尖晶石粒度0.2毫米，轻度磁铁矿化，呈暗棕红色。

滑石菱镁岩 黄褐色，片状构造，矿物成分主要为滑石70%、碳酸盐25%，其次为磁铁矿2%、褐铁矿5%。褐铁矿围绕粒状碳酸盐呈镶边状，推测由含铁的菱镁矿在地表条件下经氧化反应生成，如：



煌斑岩 暗灰绿色，块状，细粒结构。矿物成分及含量：黑云母20%，普通角闪石及假象纤闪石28%，斜长石51%，磁铁矿少量，还有蚀变绢云母等。按B·M·库普列次基对煌斑岩定量矿物分类，该岩石属云斜煌斑岩。

（二）德加——石坡沟纯橄岩——斜辉辉橄岩——斜辉橄橄岩体 （局部为单斜辉石岩）

经过近两年工作，查明了原称德加超基性岩体和石坡沟超基性岩体二者确实是断续相连的，为侵入于上寒武统六道沟群基性火山岩系中的较大的复杂岩体（图2）。

岩体总长度达16公里，宽度各处不一，时而膨大，忽有狭缩，并具分枝复合现象。于德加地区，见花岗闪长岩侵入其中。以下按德加、石坡沟两个区段分别叙述。

1、德加区段

本段岩体长9000米，在药水泉沟以西出露较宽，最宽处600米，药水泉沟以东变窄，仅数十米。向北倾斜，北接触面倾角约70°，南接触面可能受拉脊山南侧区域性逆断层影响，于唐春湾湾倾角仅30°左右。

岩体南、北两侧为纯橄岩岩相带，中间为斜辉辉橄岩岩相，含单斜辉石岩。北部纯橄岩岩相带，宽100—250米，岩性单一，其中局部铬尖晶石呈细脉分布，形成“毛、条”矿化。与中间辉橄岩岩相带呈突变接触，接触带上见有角闪岩捕虏体(?)。南部纯橄岩岩相带，最宽处150米，其中含小的辉橄岩岩相带，与辉橄岩岩相带亦呈突变接触，接触带附近局部碳酸盐化、硅化强烈，并见有铬铁矿化。辉橄岩岩相带，自西而东，逐渐变窄，至药水泉沟西南、北两个纯橄岩岩相带合而为一。单斜辉石岩出露于岩体西端，覆于它岩相之上。

全蛇纹石化纯橄岩 黄绿、灰绿色，有时断口粗糙，似糖粒状。造岩矿物主要为纤维蛇纹石和胶蛇纹石，其次为碳酸盐、尘状磁铁矿和铬尖晶石(1%左右)。纤维蛇纹石沿胶蛇纹石边缘分布，形成网格状结构。有矿化的岩石中，铬尖晶石含量增加，碳酸盐化加强，风化面显示姜黄色及灰白色。

蛇纹石化斜辉辉橄岩 深灰绿色，块状，由蛇纹石、斜方辉石、橄榄石(残晶)、碳酸盐、磁铁矿以及铬尖晶石等组成。橄榄石(残晶)：(+) $2V=88^\circ$ ， Fe_2SiO_4 10%，属镁橄榄石。斜方辉石包括：顽火辉石，(+) $2V=67^\circ$ ， $FeSiO_3$ 4%；古铜辉石，(+) $2V=86^\circ$ ， $FeSiO_3$ 12%；顽火—古铜辉石，(-) $2V=88^\circ$ ， $FeSiO_3$ 10%。

闪石化单斜辉石岩 黑绿色，块状，半自形细粒结构。主要矿物及单斜辉石(普通辉石)和闪石，次要矿物为绿泥石以及分布不均匀的磁铁矿。

除上述主要岩石外，尚见有基性岩(脉)侵入其中。

2、石坡沟区段

出露于马阴山北坡，岩体长7000米，宽500—1300米，最宽1800米。向南陡倾斜，倾角70°左右。

岩体南侧为纯橄岩岩相带，北侧为斜辉辉橄岩—斜辉橄岩岩相带。前者宽100—600米，纯橄岩中常含辉石，往往形成不大的辉橄岩岩相带；后者宽300—900米，北部以斜辉橄岩为主，向南橄岩岩相带减少，渐变为斜辉辉橄岩，并含纯橄岩岩相带。在盘龙沟西南，南、北两个岩相带分离，纯橄岩岩相带向南和德加岩体相连接，辉橄岩—橄岩岩相带则伸向西北。岩体内常见有辉绿岩，呈脉状产出。

全蛇纹石化纯橄岩 灰绿色，块状，主要造岩矿物为纤维蛇纹石和胶蛇纹石，个别薄片保留有极少量的橄榄石残晶。其次为碳酸盐，铬尖晶石和尘状磁铁矿。纤维蛇纹石和胶蛇纹石形成网格结构，但是，当岩石蚀变强烈时，网格结构消失。附生铬尖晶石呈细粒(<0.5毫米)，自形程度较好，已强磁铁矿化，仅中心呈棕红色半透明。蛇纹石化过程中析出较多的尘状磁铁矿。

蛇纹石化斜辉辉橄岩 暗灰绿色，假斑状结构。纤维蛇纹石和胶蛇纹石交代橄榄石，

绢石交代辉石，保留辉石假象，有时可以见到辉石残晶。蛇纹石化过程中析出的尘状磁铁矿沿原生矿物颗粒边缘或裂隙分布。绢石为细—中粒，小颗粒呈半自形，较大颗粒呈它形，包裹物有橄榄石（已蛇纹石化）和铬尖晶石。附生铬尖晶石一般为细粒，个别粒度粗，棕红色半透明，边缘具磁铁矿化。

蛇纹石化斜辉橄岩 蛇纹石化程度较纯橄岩和辉橄岩轻。在暗绿色的基底上，辉石晶体呈斑晶分布其中，具明显的斑状结构。矿物成分：橄榄石49%，斜方辉石21%左右，蛇纹石35%，碳酸盐、磁铁矿和附生铬尖晶石少量。

橄榄石被蛇纹石沿裂隙和边缘交代，并析出尘状磁铁矿，中心分布橄榄石残晶；粒度1毫米左右，具自形—半自形晶形。斜方辉石（紫苏辉石）呈它形，包裹橄榄石和铬尖晶石，铬尖晶石粒度<0.5毫米，其晶形有时极不规则。

滑石菱镁岩 黄褐色，以碳酸盐、滑石、蛇纹石为主。

辉绿纷岩 灰绿色，块状，斑状结构。矿物成分为斜长石、假象纤闪石、辉石。斑晶由斜长石和少量辉石（已蚀变成纤闪石和绿泥石）组成，基质中长条状斜长石不规则分布，细小的辉石晶体充填其格架之中，形成辉绿结构。

德加—石坡沟超基性岩体在两个区段中，其岩相分布、岩石类型和岩石成分，均有一定的差异。各岩相带之间突变接触，空间上也并非相伴而生，其间夹有捕虏体。因此，该岩体是深部岩浆分异后多次侵入的复合岩体；从德加区段来看，侵入活动的序列是：第一次侵入单斜辉石岩，第二次侵入斜辉辉橄岩，第三次侵入纯橄岩。前述所谓岩体的追踪，主要应该是晚次侵入的纯橄岩相的追踪，是它把先次侵入的两个辉橄岩——橄岩（或辉石岩）体连接了起来。

（三）元石山纯橄岩—单斜辉石岩体

出露于马阴山北麓，侵入于上寒武统灰绿色基性火山岩、凝灰岩夹硅质岩及结晶灰岩组成的六道沟群中，南侧和泥盆系红色砾岩呈断层接触。上寒武统火山岩具强烈的碳酸盐化作用。

岩体出露长1800米，中段最宽500米，向两端变窄，为一向南倾斜的透镜状复合岩体。其倾斜角度，上陡下缓，下盘 $70^{\circ}-40^{\circ}$ ，上盘 $80^{\circ}-60^{\circ}$ 。

岩体以单斜辉石岩、纯橄岩及其蚀变产物—菱镁岩和次生石英岩—为主。纯橄岩出露在岩体西端，底部亦有断续分布；单斜辉石岩分布在岩体中上部；蚀变岩石主要出露在岩体底部，此外在中上部单斜辉石岩中有不规则“团块”。

野外观察，纯橄岩和单斜辉石岩呈突变接触，纯橄岩捕虏单斜辉石岩（图3）。由此可见，单斜辉石岩先于纯橄岩侵入。

全蛇纹石化纯橄岩 黄绿、灰绿色，格子状、信封状结构。矿物成分以纤维蛇纹石和胶蛇纹石为主，其次为碳酸盐、尘状磁铁矿以及附生铬尖晶石，个别薄片见有橄榄石残晶。铬尖晶石一般呈自形，局部呈不规则“蠕虫”状。橄榄石残晶费氏台测定， $(-)$ $2V = 84^{\circ}-88^{\circ}$ ， Fe_2SiO_4 14—24%，属贵橄榄石。

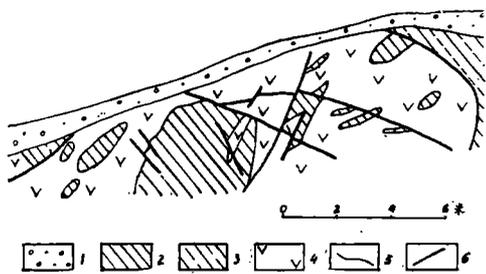


图3 纯橄岩捕虏单斜辉石岩素描图
1—残、坡积物；2—单斜辉石岩；3—碳酸盐化单斜辉石岩；4—纯橄岩；5—地质界线；6—构造裂隙

单斜辉石岩 黑绿色，块状，中粗粒半自形结构。主要矿物为异剥石及普通辉石，次要矿物为透闪石、绿泥石和磁铁矿等。透闪石交代单斜辉石，形成次变边结构；磁铁矿有时沿辉石粒间分布，形成海绵陨铁结构。异剥石： $(+)$ $2V = 60^\circ$ ， $CNg = 43^\circ$ 。普通辉石： $(+)$ $2V = 61^\circ$ ， $CNg = 53^\circ$ 。据张东恺同志资料，该岩相中具有单辉橄岩、蛇纹岩分离体。〔11〕

菱镁岩 黄褐色土状或块状，矿物成分以铁菱镁矿为主，褐铁矿、铬尖晶石、蛋白石、石英、锰方解石及锰矿物少量。铁菱镁矿分布呈网环，其间为蛋白石、褐铁矿等，构成变余网环结构。铁菱镁矿含Fe 7%、MgO 39%左右。岩石中一般含NiO在0.3%以上，同时含Co，可作为一种低品级的含钴镍矿石。

次生石英岩 紫红色，脆而坚硬。常常形成陡峭的山崖。岩石具角砾状、斑杂状构造，花岗变晶结构和变余网格结构。主要矿物为石英、燧石，次要矿物为碳酸盐、磁铁矿、铬尖晶石等，有时见少量硫化物， SiO_2 含量 $>90\%$ 。

(四) 上庄黑云母单斜辉石岩体

岩体出露于八宝山北麓，侵入地层为上寒武统六道沟群基性火山岩、凝灰岩夹硅质岩、变砂岩及结晶灰岩。六道沟群之北为震旦系下统青石坡组千枚岩夹钙质板岩、长石石英砂岩。二者呈断层接触。岩体和围岩接触处，围岩地层具角闪石化、碳酸盐化、绿泥绿帘石化。其蚀变带宽度各处不一，一般在零至数十米左右。

上庄岩体，在地表是由三个向南陡倾斜的雁行状排列的小岩体组成的岩体群(图4)。其规模分别为：

- 1、东岩体 长3500米，最宽处400米，窄处50米，一般为350米。
- 2、中岩体 长2400米，最宽处800米，东段尾部仅30—40米。
- 3、西岩体 长约800米，宽20—220米。

东岩体可分两个岩相带；北部为黑云透辉岩岩相带，以黑云透辉岩为主，含蛇纹石化透辉橄岩分离体；南部为黑云次透辉岩岩相带，由磷灰黑云次透辉岩、磷灰磁铁矿黑云次透辉岩组成。这两个岩相带中，均见有磷灰黑云透辉—次透辉伟晶岩脉、碳酸盐脉以及碱长岩脉侵入。

各主要岩相，呈侵入接触关系。磷灰黑云次透辉岩侵入于黑云透辉岩中，并捕虏黑云透

辉岩；磷灰磁铁黑云次透辉岩，既侵入于磷灰黑云次透辉岩中，又侵入于黑云透辉岩中。故黑云透辉岩、磷灰黑云次透辉岩、磷灰磁铁黑云次透辉岩，分别为先后三次岩浆侵入活动的产物。至于伟晶岩、碳酸盐、碱长岩，应属同源岩浆分异产物，其侵入活动显然是较各主要岩相为晚。因此，上庄岩体也是岩浆深部分异多次侵入的复合岩体。

蛇纹石化透辉橄榄岩 在黑云透辉岩中断续分布。岩石呈黑绿色块状，网环结构，主要矿物为蛇纹石、橄榄石、透辉石；次要矿物是金云母、磁铁矿、铬尖晶石。

橄榄石： $2V = 90^\circ$ ，属贵橄榄石。

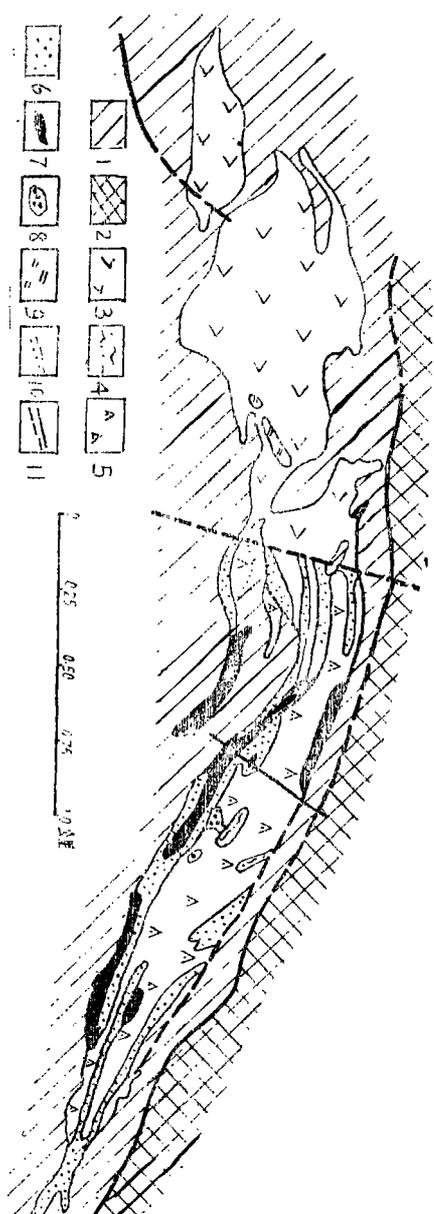


图4 青海湟中上庄黑云单斜辉石岩岩体地质示意图
(据西北地质科学研究所)

- 1—寒武系上统六道沟群基性火山岩、凝灰岩夹砂岩及结晶灰岩；
- 2—震旦系下统青石坡组千枚岩； 3—未划分岩相的单斜辉石岩；
- 4—蛇纹石化透辉橄榄岩； 5—黑云透辉岩；
- 6—磷灰黑云次透辉岩； 7—磷灰磁铁黑云次透辉岩；
- 8—磷灰黑云透辉—次透辉伟晶岩； 9—碱长岩脉；
- 10—实测及推测地质界线； 11—实测及推测断层

黑云透辉岩 浅黄绿色，中细粒半自形粒状结构。矿物成分，透辉石80%、黑云母20%、磷灰石<1%。此外，偶见有硫化物—主要是黄铁矿。透辉石光性常数： $(+)$ $2V = 58^\circ$ ， $CNg = 38^\circ$ ， $Ng = 1.704$ 、 $Nm = 1.683 - 1.687$ 、 $Np = 1.675$ 。

磷灰黑云次透辉岩 灰绿色，中细—中粗粒，半自形—它形结构。主要矿物为次透辉石70%、黑云母15—30%、磷灰石8%；次要矿物磁矿<2%、屑石0—13%、角闪石0—8%以及不等量的方解石和绿帘石。

次透辉石常具“含霓次透辉石”反应边，证明岩石在成岩的晚期阶段岩浆中碱组分的进一步富集及其它的活动作用。次透辉石的光性常数： $(+)$ $2V = 64^\circ - 66^\circ$ ， $CNg = 47^\circ - 48^\circ$ ， $Ng = 1.724 - 1.731$ 、 $Nm = 1.709 - 1.713$ 、 $Np = 1.701 - 1.706$ 。

磷灰磁铁黑云次透辉岩 灰绿色，中细粒—粗粒，半自形—它形结构。主要矿物次透辉石30—70%、黑云母0—45%、磷灰石2—20%、磁铁矿13%；次要矿物角闪石、屑石、方解石和绿帘石，含量<4%。次透辉石光性常数： $(+)$ $2V = 60 - 71^\circ$ ， $CNg = 42^\circ - 45^\circ$ ， $Ng = 1.708 - 1.729$ 、 $Nm = 1.692 - 1.711$ 、 $Np = 1.683 - 1.707$ 。

磷灰黑云透辉—次透辉伟晶岩 灰绿色，伟晶结构。主要矿物透辉—次透辉石、黑云母、磷灰石；次要矿物磁铁矿、方解石等。

(五) 塌牙合苦橄岩体

该岩体出露长约200—300米，宽70—150米。轴线方向和地层走向呈斜交关系。岩石为灰绿色，显微斑状结构。矿物成分：橄榄石（全蛇纹石化）45%、单斜辉石（易变辉石）20%、闪石和绿泥石30%、黑云母2%、磁铁矿1—3%。橄榄石和黑云母及部分单斜辉石（易变辉石）呈斑晶，绿泥石、闪石和另一部分单斜辉石（易变辉石）构成基质。橄榄石全部被蛇纹石交代，单斜辉石（易变辉石）被闪石和绿泥石交代。

综上所述，拉脊山加里东地向斜褶皱带超基性岩主要岩石类型有纯橄岩、辉橄岩、橄榄岩、单斜辉石岩、苦橄岩、蛇纹岩等。它们组合出现形成超基性岩体，或者单独构成超基性岩体。超基性岩体的产出形态，有和地层产状基本一致的单斜长条状，也有和地层走向斜交的短轴状，甚或追踪两组裂隙的较大的复杂岩体。不同岩相之间常具先后之分，多属深部岩浆分异后多次侵入的复合岩体。从德加—石坡沟岩体和上庄岩体来看，不同岩相侵入的序次，是较酸性的岩相早于较基性的岩相。小岩体分异不明显。超基性岩石主要表现为蛇纹石化、碳酸盐化、硅化、闪石化和绿泥石化，但不同类型的岩石，蚀变程度和蚀变类型是不同的。纯橄岩表现为强烈的蛇纹石化、碳酸盐化，橄榄石残晶少见，铬尖晶石也强烈磁铁矿化；辉橄岩蚀变程度次于纯橄岩，然较橄榄岩的蚀变程度为强，多属蛇纹石化；辉石岩蚀变轻，以闪石化为主。总而言之，小岩体比大岩体蚀变强烈，纯橄岩比其它岩石蚀变强烈，辉石岩蚀变程度最轻。

三、岩石化学成分特征

为了对超基性岩石化学成分进行比较，我们选择了E·A·库兹涅佐夫的岩石化学成分计

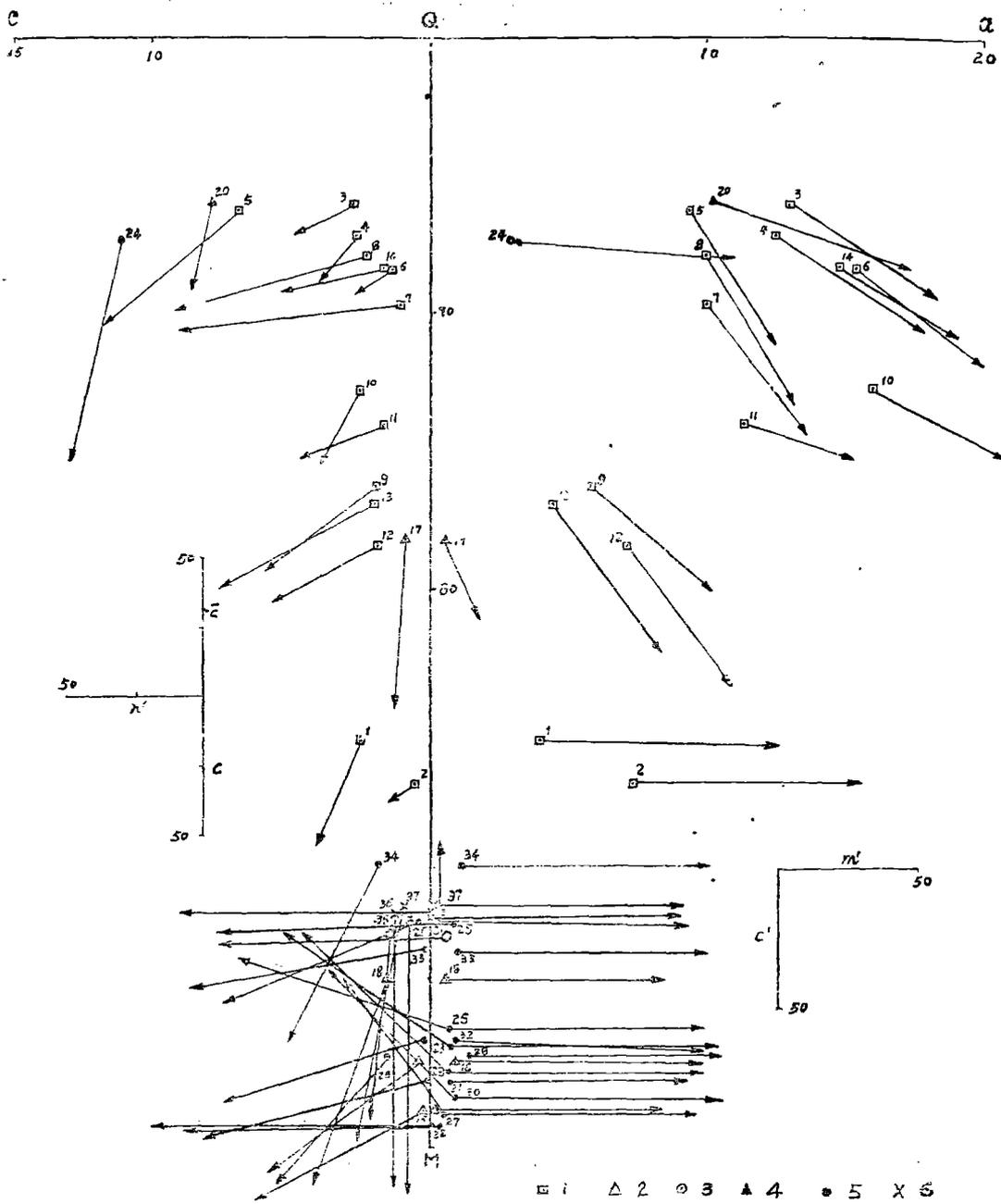


图5 岩石化学成分数值投影图

- 1—上庄超基性岩体 (1—14) ; 2—元石山超基性岩体 (15—18) ;
 3—六台沟超基性岩体 (19) ; 4—塌牙合超基性岩体 (20) ;
 5—玉石沟、德加—石坡沟超基性岩体 (21、22—30、31、21、22—30、
 31—34) ; 6—大塘超基性岩体 (35—37)

算和作图方法。其优点在于各参数值是按标准矿物的基本分子归并的，能够近似地反映岩石的矿物成分。同时，a、c值比按扎瓦里茨基方法计算的相应值增加一倍以上，便利了作图，也减小了图解中投影点的密度。但是，库氏在计算中机械地把全部的 Fe_2O_3 和一半的 FeO 用以组成磁铁矿，是与实际情况不符合的，其结果，势必导致暗色硅酸盐矿物中Fe减少，Q值增大，使岩石成分偏于酸性。因此，我们对这一点作了修改，即磁铁矿仅出现在构成钾霞石、霞石和 CaAl_2O_4 后， SiO_2 于满足单斜辉石而不能满足正硅酸盐（橄榄石）的情况下。此时，从Fe原子中扣除与所剩余金属原子数目相等数量的Fe原子，以此组成磁铁矿。计算可按公式进行：

$$\text{Mt} = (\text{Mg}' + \text{Fe}' + 3 \text{Ca}') - 2 \text{S}'$$

Mt—组成 Fe_3O_4 分子的Fe原子数。

Mg' —Mg、Ni原子总和。

Fe' —扣除组成 FeCr_2O_4 （铬尖晶石）后剩余之Fe、Mn原子之和。

Ca' —组成 CaAl_2O_4 、磷灰石及屑石后剩余之Ca原子数。

S' —组成钾霞石、霞石及屑石后剩余之Si原子数。

对本区37个岩石化学全分析资料计算结果列入表1，并以这些数据作成投影图（图5）。

可以看出，超基性岩石化学成分具有如下特征：

- 1、主要为正常系列，部分为铝过饱和或碱过饱和。
 - 2、由纯橄岩→辉橄岩→橄橄榄岩→辉石岩，M值依次降低，变化于99.20—65.95之间。其中纯橄岩99.20—95.70，辉橄岩93.93—92.31，橄橄榄岩89.89—85.33，辉石岩78.32—66.08。
 - 3、q负值和M值相反，由纯橄岩至辉石岩依次降低。
 - 4、 $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值，在纯橄岩、辉橄岩和橄橄榄岩中，一般 >7.5 ，而在辉石岩和个别辉橄岩（六台沟）、蛇纹岩（元石山）中则 <7.5 。
 - 5、a、c值，在纯橄岩和辉橄岩中较低，橄橄榄岩、辉石岩中高，并且透辉橄橄榄岩和黑云单斜辉石岩中 $a>c$ ，一般橄橄榄岩和单斜辉石岩中 $a<c$ 。
 - 6、h值普遍较高。结合镜下观察，除和蛇纹石化程度有关外，在各种单斜辉石岩中与原生磁铁矿的存在有关。
 - 7、苦橄岩无论其q、a、c值或者 $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值，均和黑云单斜辉石岩接近。
- 根据上述岩石化学成分特征和Cr、Ni、Ti、P等特征元素含量，区内超基性岩石可区分为镁质、铁质和富碱铁质三大类。即上庄黑云母单斜辉石岩、透辉橄橄榄岩和苦橄岩，属富碱铁质超基性岩，元石山岩体中单斜辉石岩、蛇纹岩及德加—石坡沟岩体中单斜辉石岩属铁质超基性岩；其它纯橄岩、辉橄岩和橄橄榄岩，是镁质超基性岩（表2）。

表 2

岩石类型	镁质超基性岩	铁质超基性岩	富碱铁质超基性岩
MgO/〈FeO〉	一般>7.5	< 7.5	< 7.5
a+c	0.3—3	2—14 (a<c)	6—21 (a>c)
M	大部分>90	大部分<90	<90
Cr ₂ O ₃ %	一般>0.3	一般0.2—0.3	低
NiO%	一般0.2—0.3	一般<0.2	<0.1
TiO ₂ %	<0.1	0.2	高
P ₂ O ₅ %	<0.1	<0.1	高

四、超基性岩含矿性的探讨

拉脊山加里东地向斜褶皱带超基性岩体为深部分异的超基性岩浆多次侵入的产物，一般岩体规模小，但是岩石类型具有多样性。这对于寻找多种与超基性岩有关的矿床或矿化是有利的条件。目前，区内已经发现和超基性岩有关的矿产，有铬铁矿化、含铂（族）铬铁矿化、磷灰石矿床、镍矿床以及轻微的铜矿化。

铬铁矿化 含矿岩石为加里东早期侵入的镁质超基性岩纯橄岩。矿体赋存在岩体转折并膨大的部位，呈脉状产出，沿岩体走向或倾向变化较大。矿石为中细粒浸染状、块状和斑杂状，造矿铬尖晶石属富铁铬铁矿及含铁铬铁矿，铬铁比值2—3。矿化属晚期岩浆类型，在成矿母岩范围内，局部矿液有沿裂隙运移现象。

野外调查和室内研究结果表明，含矿纯橄岩和不含矿岩石具有不同的特征。含矿纯橄岩的特征是：

1、Cr₂O₃含量高，如德加铬铁矿化地段（表3）。

2、q负值大，甚至达33.04，和理论成分值非常接近（图6）。Cr₂O₃高值点，位于图之右端。

3、MgO/〈FeO〉值变化于7—14之间，但Cr₂O₃的高值点位于7—8、8—11（图7）。

4、蛇纹石化、碳酸盐化强烈，有时直接为滑石菱镁岩。

我们认为矿化的形成，首先取决于含矿岩石的原岩浆中主要成矿物质Cr₂O₃含量的丰富程度。这是生成矿化的物质基础。祁连山某地含铬铁矿纯橄岩，Cr₂O₃含量变化于0.57—1.99%（平均0.94%），即使在单斜辉石岩中，Cr₂O₃含量也为0.23—0.79%（平均0.35%）〔19〕；据马拉霍夫统计乌拉尔超基性岩Cr₂O₃含量，含铬铁矿者平均为0.45%，不含矿者为0.35%。都证明Cr₂O₃背景值高，对于形成铬铁矿床或矿化是有利的。其

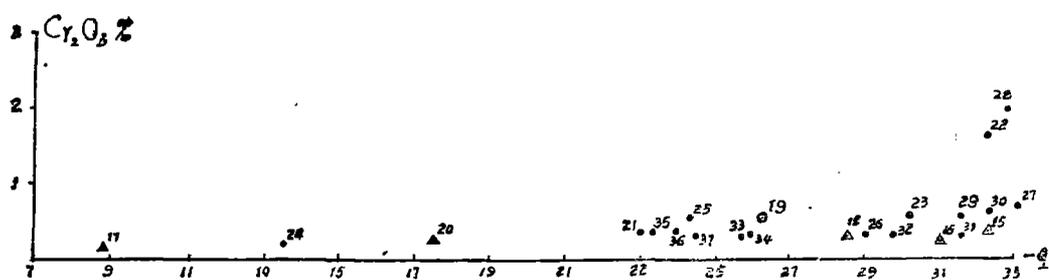


图6 Cr_2O_3 含量(%)和 $-q$ 值关系示意图(图形点编号同图5)

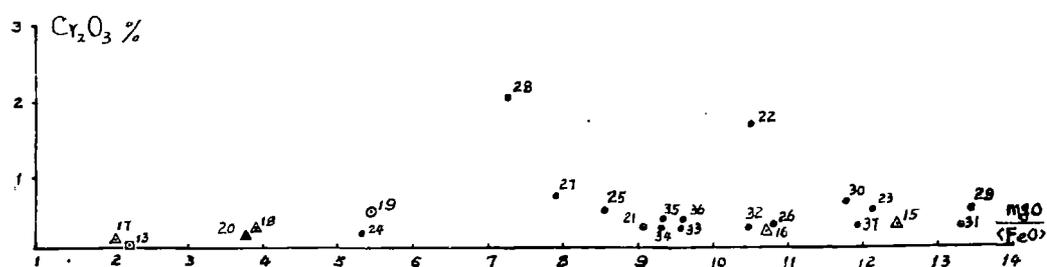


图7 Cr_2O_3 含量(%)和 $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值关系示意图(图形点编号同图5)

表 3

岩石类型	分析数	Cr_2O_3 %	
		变化范围	平均值
含矿纯橄岩	6	0.53~2.04	1.05
不含矿纯橄岩	1		0.34
斜辉辉橄岩	1		0.53
单斜辉石岩	1		0.22

次, 岩石的基性程度高, 也对矿化的形成有利: 其一, 在岩浆的液体阶段, Cr 元素可能向基性程度高的岩浆中聚集; 其二, 在岩浆结晶阶段, 基性程度高的岩浆不致使 Cr 元素在造岩矿物中大量分散。相反, 斜辉辉橄岩、橄岩或其它岩石, 有时 Cr_2O_3 含量虽然也比较高, 但没有发现铬铁矿化。第三, 铬铁矿化的形成, 与 $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值有一定的关系。但是, 以往在超基性岩含铬性评价时, 有的单纯强调 $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值, 似乎愈高愈好, 是需要商榷的。诚然, 并非所有的铬铁矿都在 $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值高的纯橄岩中发生。因为在铬尖晶石的成分中具有一定的 FeO 、 Fe_2O_3 , 当铬尖晶石含量增加时, 分析数据中 $\langle\text{FeO}\rangle$ 自然就会增加, $\text{MgO}/\langle\text{FeO}\rangle$ 值也就随之而降低了。除了这些条件之外, 良好的分异环境则

是很好的外因条件。铬铁矿往往发生在岩体相对膨大的部位，是因为此处岩体厚度大，岩浆冷却慢，从而能使岩浆赢得充分的时间进行分异作用。同时，若有挥发组分（如 H_2O 、 CO_2 ）存在，也能推迟岩浆冷凝和铬尖晶石结晶作用，有利于 Cr_2O_3 的富集。

含铂（族）铬铁矿化 是本区近年来发现的一种新的矿化类型。初步观察，铂矿物呈星点浸染状散布于铬铁矿石之中，伴生矿物除铬尖晶石之外，尚有微量硫化物。含矿纯橄岩在辉橄岩中呈似脉状产出（图8）。纯橄岩中铂族元素含量较铬铁矿石中铂族元素含量低，但和其它纯橄岩相比，则超过十倍以上。其它特征和一般铬铁矿化纯橄岩基本相似。铂族元素富集的控制条件，目前还不清楚，有待今后进一步研究。

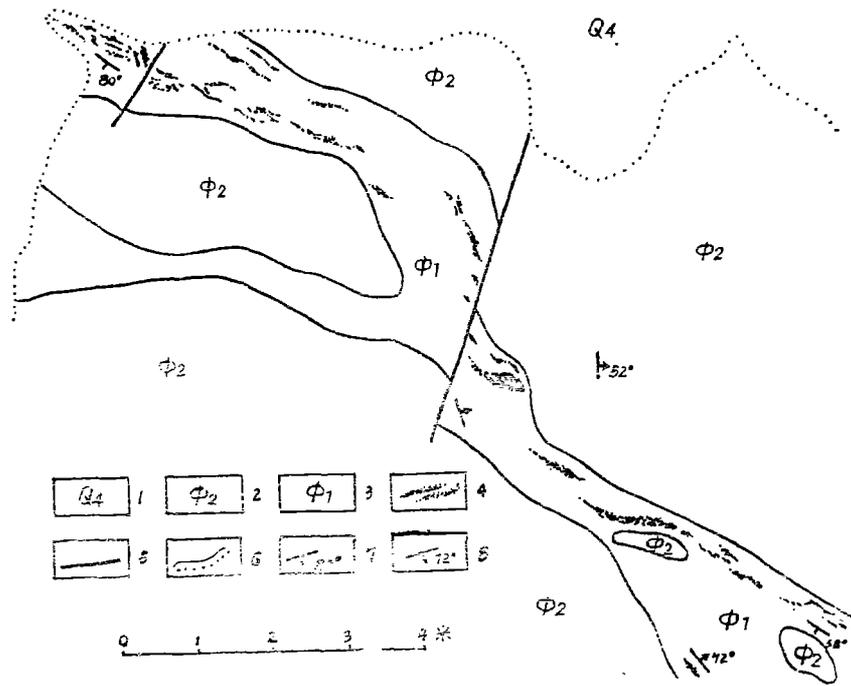


图8 石坡沟含铂铬铁矿脉平面图

（据青海省地质局第四地质队1971年资料改编）

- | | | |
|----------|----------|---------|
| 1—第四纪堆积； | 2—斜辉辉橄岩； | 3—纯橄岩； |
| 4—铬铁矿脉； | 5—小型断层； | 6—地质界线； |
| 7—矿脉产状； | 8—节理产状 | |

磷灰石矿床 形成于加里东中期侵入的黑云母单斜辉石岩体。主要含矿岩石是其中晚次侵入的磷灰黑云次透辉石岩和磷灰磁铁黑云次透辉石岩以及磷灰黑云透辉一次透辉石伟晶岩。主要造矿磷灰石在中、晚期岩浆阶段形成。据研究〔12〕，其成矿控制条件是：

- 1、岩浆经过良好的深部分异和就地分异，导致成矿物质铁、磷以及挥发组分的富集。
- 2、挥发组分（主要是水）的进一步集中，推迟了磷灰石的晶出时间，使磷灰石又进一

步富集。

3、岩石化学成分中含 Ca、Fe 高，Si 相对于 Mg、Ca、Fe 组分不饱和时，既利于磷灰石富集，又利于磁铁矿富集。

如前所述，含矿岩石化学成分属富碱铁质类型。据 П·С·柯尔仁斯基研究，认为碱组分的增加，可能妨碍 SiO_2 的析出，并且富碱的岩浆中所析出的铁镁矿物比一般岩浆中所析出的铁镁矿物富铁。如图 9，在同一温度下，富碱的岩浆析出的铁镁矿物含 FeO 多。因此，碱性组分 K_2O 、 Na_2O 在成矿过程中的作用，也是值得注意研究的。

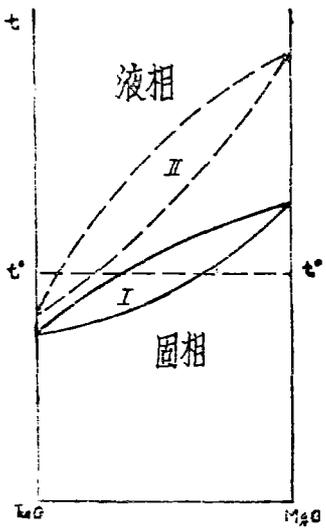


图 9 FeO—MgO 固溶体系

I (实线)：代表碱性一般的固溶体曲线；

II (虚线)：代表碱性增加的固溶体曲线

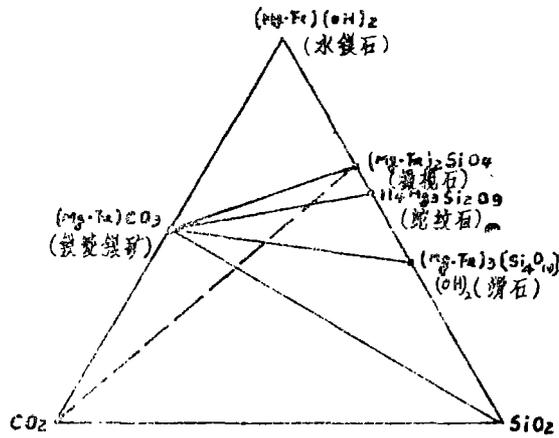


图 10 氧化镁—铁—氧化硅—碳酸盐 + 水体系的共生矿物 (据别捷赫琴)

镍矿床 和加里东早期侵入的超基性岩有关，但成矿属岩浆期后阶段。笔者根据矿床的产出特征，矿石的结构构造以及物质成分的组合关系，曾提出这类矿床是在复杂的地质作用下，历经了不同的地球化学作用而生成的，即组成矿体的两类矿石(含钴镍矿石和铁镍矿石)分别属热液交代和风化淋滤类型，然而它们又是一个连续的过程，铁镍矿石是含钴镍矿石沿一定构造部位经表生风化淋滤作用改造的结果〔6〕。图10说明，橄榄石(或纯橄岩)在 CO_2 水溶液浓度很大、不断供给的情况下，最后终将转变成铁菱镁矿和石英的混合物。在反应过程中，和 Fe、Mg 等元素一起从硅酸盐矿物晶格中游离出来的 Ni、Co，同样又以类质同象状态加入到铁菱镁矿中去，置换其中的 Fe^{++} ，这样便形成了含钴镍矿石。很明显，此时的物理化学环境呈缺氧的还原条件。因为只有在这种条件下，从橄榄石结晶格架上脱落下来的变价元素 Fe 方能够呈低价状态 Fe^{++} 出现。当着这种环境改变时，例如沿构造裂隙带进行风化淋滤作用，含钴镍矿石的最重要的矿石矿物铁菱镁矿，便转变为 $Fe(OH)_2$ (褐铁矿)，同时

吸附溶液中的Ni、Co离子,形成铁镍矿石。由于风化淋滤矿石是在CO₂热水溶液充分交代超基性岩石后生成的碳酸盐岩的基础上形成的,所以未见有“次生富集带”。

黄铜矿化 只和超基性岩具有空间上的关系,一般矿化微弱。

基于对矿床和矿化形成的认识,提出以下普查找矿工作意见:

(1) 拉脊山加里东地向斜褶皱带含铬超基性岩石属地槽型超基性岩石,铬铁矿化主要赋存在基性程度高的镁质超基性岩中。从岩体所处构造部位分析,德加—石坡沟岩体和罗巴沟岩体适为区域构造线由近东西转折为北西之处,这里深断裂活动强度大,切割基底深,有可能为程度高的镁质超基性岩上升创造有利条件。实践证明,它们均以镁质超基性岩为主,其中基性岩占一定比例;德加—石坡沟超基性岩体中,纯橄岩岩相带还追踪两组裂隙,从而形成有德加、三岔沟等膨大地段。目前在这两个超基性岩体中已经发现有铬铁矿化和含铂(族)铬铁矿化,今后应继续加强普查找矿。对基性程度高的含矿纯橄岩应特别加以研究,测制较大比例尺的地质图,并进行必要的工程验证。这种纯橄岩的标志是岩石蛇纹石化、碳酸盐化强烈,多褪色成姜黄色或浅黄绿色,有时断面粗糙;铬尖晶石含量较多,目测约1%;化学成分中SiO₂含量低,故q负值大。

(2) 前述镍矿床类型的形成过程,说明在一定的CO₂热水溶液的作用下,易分解的含镍高的超基性岩石可以转变成镍矿石。虽然一般镍的品位较低,但不失为重要的找矿线索。由此看来,原石坡沟超基性岩体西端盘龙沟一带以及其它岩体中分布的强烈碳酸盐化的超基性岩石,均可作为镍矿化予以检查评价,查明含镍品位有否较高的地段和它们的规模。

(3) 富碱铁质超基性岩石,除为进一步寻找磷灰石矿床的依据而外,应对浅成相富碱铁质超基性岩石—苦橄岩进一步进行岩石矿物学研究,注意找寻金刚石矿床。

(4) 从含铂(族)铬铁矿化和其围岩中铂(族)元素含量相对较高的事实考虑,可在石坡沟地区进行重砂测量工作,对砂铂矿远景评价,同时兼顾普查金刚石砂矿。

参 考 资 料

- [1] 地质部地质科学研究所 1962 《中国大地构造基本特征》 1/300万图说明书 (内部资料)
- [2] 西北地质局青海综合地质大队 1964 J—47—XXXVI (西宁幅) 最终地质报告书
- [3] 西北地质局青海综合地质大队 1964 J—48—XXXI (乐都幅) 最终地质报告书
- [4] 青海省计委地质局第二区测队 1973 一九七三年地质工作报告
- [5] 陕西省地质局地质科学研究所第三研究队 1971 青海拉脊山中段火山岩系侵入岩的特征及其与成矿的关系 (一九七一年度初步研究报告)
- [6] 西北地质科学研究所 1972 青海拉脊山地区与主要火成活动有关的以铁、铜、铬为主的综合矿产区域成矿地质特征及找矿方向的研究 (一九七二年度研究报告)
- [7] 李四光 《地质力学概论》

甘肃马衔山混合岩岩石特征及成因探讨

甘肃省地质局第四地质队 顾 鹏

前人对马衔山地层构造先后作过不少工作，但对马衔山混合岩的岩石特点及成因很少作过详细的研究。笔者根据甘肃区测一队 1:20 万区域地质测量所获资料，写成此文，不妥之处，请批评指正。

(一) 岩 石 特 征

本区混合岩，按其成因可分两种，即区域性混合岩和花岗岩边缘带混合岩。

区域性混合岩，主要由钾长混合岩、二长混合岩和斜长混合岩组成。

钾长混合岩主要出露在马衔山背斜轴部，岩石呈肉红色、浅红色，主要由微斜长石、石

[8] 李四光 1955 《旋卷和一般扭动构造及地质构造体系复合问题》(第一辑) 科学出版社

[9] 王希斌等 1965 《西藏地区的超基性岩及其铬尖晶石类矿物特征》 科学出版社

[10] 本组 1972 青海元石山铁镍矿床成因调查工作小结(初稿)

[11] 张东恺 青海某镍铁矿床成因探讨 《西北地质科技情报》 1973年 第3期

[12] 西北地质科学研究所 1973 青海湟中上庄磷灰石矿床及伴生磁铁矿成矿特征和富集条件的研究

[13] 西北地质科学研究所 1973 青海上庄含磷超基性岩岩石特征的研究

[14] 青海省地质局实验室 西北地质科学研究所 1971 青海湟中上庄磷矿床矿石中以稀土元素为主的有益元素物质成分研究报告

[15] E·A·库兹涅佐夫 《岩浆岩》 中国工业出版社

[16] 北京地质学院岩石教研室 1961 《岩浆岩石学》 中国工业出版社

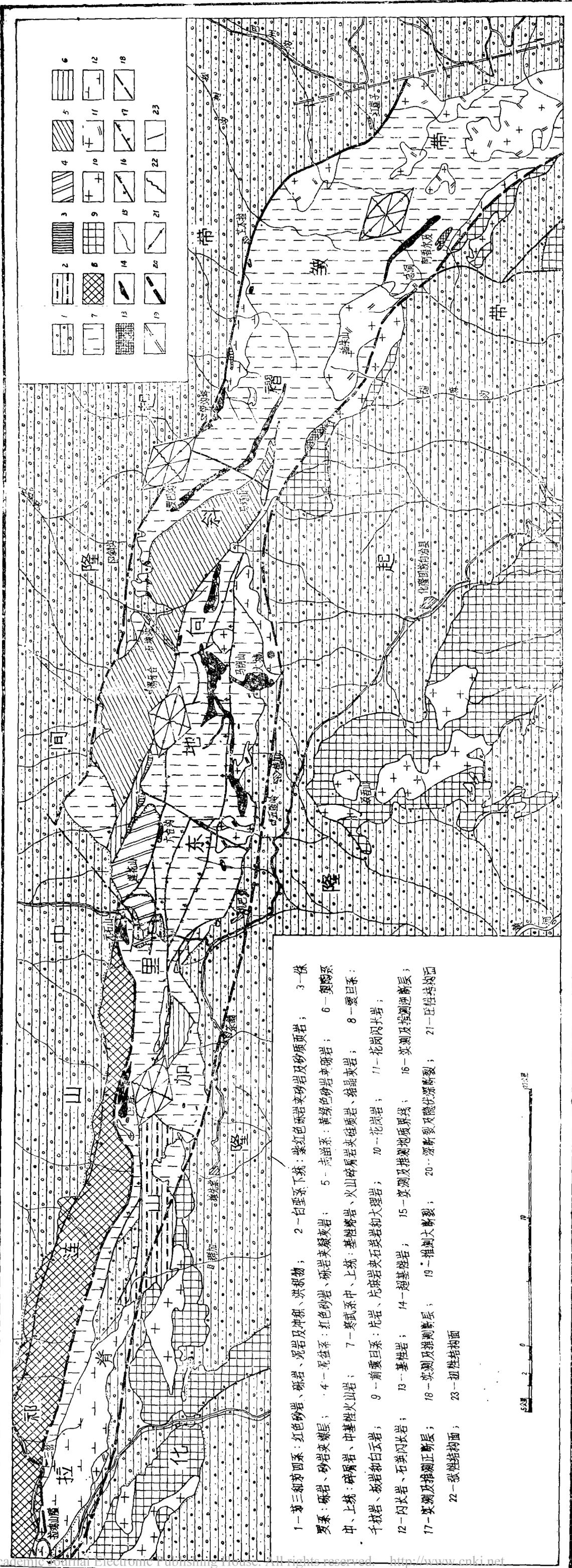
[17] 吴利仁 1963 《论中国各类基性、超基性岩的化学成分特点及其成矿专属性》 科学技术研究报告》(中国基性超基性岩及镍铬矿床) 中华人民共和国科学技术委员会出版

[18] 肖序常等 1965 《含铬基性、超基性岩的地质特征》 中国工业出版社

[19] 西北地质科学研究所第四研究室 甘肃某超基性岩体成铬地质环境的初步探讨 《西北地质科技情报》 1973 年第3期

[20] H·И·索博列夫等 超基性岩及其有关含铬性的地球化学研究 《国外铬铁矿资料专辑》 第三集 地质出版社

注：因印刷条件限制，文内玢字皆以玢字代替。



- 1-第三和第四系：红色砂岩、砾岩、泥岩及冲积、洪积物； 2-白垩系下统：紫红色砾岩夹砂岩及砂页岩； 3-侏罗系：砾岩、砂岩夹煤层； 4-泥盆系：红色砂岩、砾岩夹凝灰岩； 5-志留系：黄绿色砂岩夹砾岩； 6-奥陶系中、上统：碎屑岩、中基性火山岩； 7-寒武系中、上统：基性熔岩、火山碎屑岩夹硅质岩、结晶灰岩； 8-震旦系千枚岩、板岩和白云岩； 9-前震旦系：片岩、片麻岩夹石英岩和大理岩； 10-花岗岩； 11-花岗岩状岩；
- 12-闪长岩、石英闪长岩； 13-基性岩； 14-超基性岩； 15-寒武系及推測地质界线； 16-寒武系及推測逆断层；
- 17-寒武系及推測正断层； 18-寒武系及推測断层； 19-推測大断裂； 20-深断裂及隐伏深断裂； 21-压性构造面；
- 22-张性构造面； 23-扭性构造面

50公里 0 10 20 30 40 50