

非洲西北部的In Ouzzal麻粒岩带

刘新秒*

(中国地质科学院天津地质矿产研究所, 天津, 300170)

摘要 非洲西北部的In Ouzzal麻粒岩带是太古宙地体, 以构造窗形式出现在新元古代的泛非造山带中。基底岩石主要是2.7 Ga前的TTG岩套以及后来的侵入体, 表壳岩有绿岩带和变质沉积岩, 在2.0 Ga的比里姆(Birimian)期发生了极高温的变质作用($P = 12 \times 10^8 \text{ Pa}$, $T = 1100^\circ\text{C}$), 具有顺时针的PTt轨迹。在后来的泛非期, 该带两侧叠加了糜棱岩化作用, 形成了热液型的世界级金矿床。大部分研究者认为该地体是地壳深处岩石的地表露头, 对研究地壳的形成、演化及相应的大陆裂解和碰撞有非常重要的意义。

关键词 太古宙 麻粒岩带 高温变质作用 热液型金矿床

IN OUZZAL GRANULITIC TERRANE IN NORTH-WEST AFRICA

Liu Xinmiao

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS)

Abstract In Ouzzal granulite unit is an mainly Archaean block within the Neoproterozoic Pan-African belt of north-west Africa. The granulites derive from Archaean Protoliths that include some of metasediments which deposited on a 3.2 Ga genessic basement. The meta-igneous rocks can be dated and generally classified according to their chemical compositions as basic-ultrabasic granulites and acid orthogneisses. The former is like to be the suites found in Archaean greenstone belts and the latter is similar to the TTG suits. The very high-temperature metamorphism occurred at $2007 \pm 7 \text{ Ma}$ from the age of synfoliation intrusions and the retrogressive metamorphism is dated at 1.95 Ga from garnet-Nd ages. Several strike-slip faults with mylonite belts were formed during Pan-African, and the N-S East Ouzzal shear zone hosts several world-class gold deposits over a 100 km length.

Key words : Archaean, In Ouzzal granulite, very-high-temperature metamorphism, gold deposits

In Ouzzal 麻粒岩带主要属于太古宙地体 [1], 位于非洲西北部的泛非(Pan-African)造山带中, 以构造窗的形式出现。其主体在阿尔及利亚, 少部分在马里境内。In Ouzzal在当地语中是“富铁之乡”的意思, 而且该地还发育世界级的大型金矿。本文做以简介, 供研究对比。

1 地质特征

In Ouzzal麻粒岩带的外形像长条状的楔形(图1), 走向南北, 北宽南窄。北部最宽处约上百公里, 被古元古代的石英岩或寒武纪的磨拉石沉积覆盖, 东西向两侧为糜棱岩化的走滑断层带, 南部进入马里缩减成约5 km宽的糜棱岩化带。在该带北部地区的研究程度较高, 许多成果有借鉴意义。

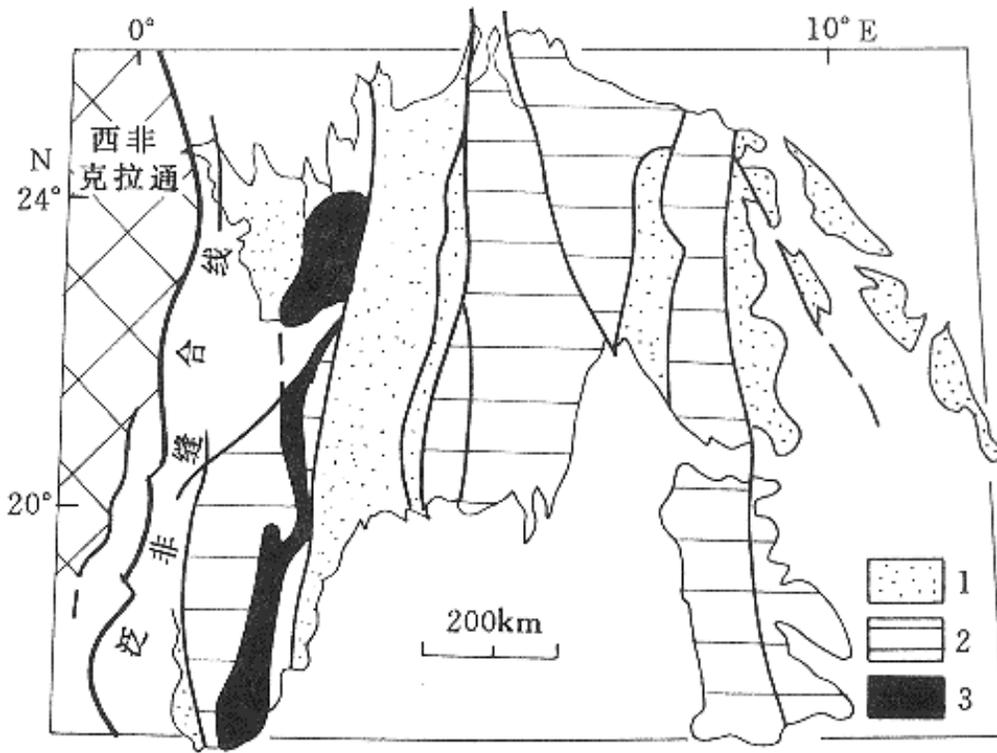


图1 In Ouzzal麻粒岩带在泛非造山带中的位置

1. 主要为新元古代地壳；
2. 再造古元古代基底；
3. In Ouzzal麻粒岩带；粗黑线表示主要构造带的边界

Fig.1 Schematic map of the Tuareg shield showing the place of the In Ouzzal terrane within the Trans-Saharan Pan-African belt (after Black, 1994)

1. Mainly juvenile Neoproterozoic crust; 2. Reworked Paleoproterozoic basement; 3. In Ouzzal granulites Heavy line represent the major terrane boundaries

1.1 岩石特征

该区岩石均为高级变质的麻粒岩。原岩为侵入岩、火山沉积岩和泥质沉积岩。岩石比较致密，粗粒到伟晶结构。主要矿物成分为斜方辉石、单斜辉石、斜长石、石英、石榴石、橄榄石、磁铁矿，少量岩石中含有堇青石、砂线石、蓝晶石、硬玉、假蓝宝石等，副矿物有独居石、锆石等。斜方辉石(大部分为紫苏辉石)含量很高，在某些变泥质岩石中有的晶体长达1m。从大范围上看，岩石的层状构造发育，片麻理(叶理)非常明显。变质沉积岩石呈层状或透镜状夹在叶理化的侵入岩中。尽管麻粒岩相的变质作用掩盖了岩石原岩的特征，但根据矿物成分和化学成分的不同，仍能区别出一些主要的岩石类型及原岩类型^[1-3]。

1.1.1 基性-超基性麻粒岩

该类岩石的主要矿物成分为斜长石、辉石、橄榄石、磁铁矿等，化学成分属拉斑玄武岩及科马提岩到高镁玄武岩系列，类似于太古宙绿岩带的成分。与之共生的还有偏中性的钙碱性安山质麻粒岩套，属于高钾安山岩系。目前尚无准确的U-Pb同位素地质年龄。其 $T_{DM}=3.4$ Ga。

1.1.2 中酸性麻粒岩

该类岩石占90%以上，可分为三个类型：

(1)TTG岩套：主要岩石有斜方辉石片麻岩和二辉片麻岩。前者含斜方辉石和奥长石，成分和奥长花岗岩一致；后者含斜方辉石和单斜辉石，斜长石牌号在35—40之间，成分相当于英云闪长岩。锆石U-Pb年龄(指单颗粒锆石或离子探针质谱年龄，下同)为 3270 ± 11 Ma, T_{DM} 为3.2~3.3 Ga，是该区最老的酸性岩石，属于地幔石榴角闪岩部分熔融的产物。化学成分和矿物成分与TTG岩套类似的还有一晚期TTG岩套，锆石U-Pb年龄约为2.7 Ga, T_{DM} 3.3 Ga。研究表明是早期的TTG重熔的结果。

(2)碱性含单斜辉石花岗岩片麻岩类：该类岩石形成了花岗闪长岩—斜长花岗岩—花岗岩岩套，其中以花岗岩为主。主要矿物成分为微斜长石、石英、单斜辉石、奥长石和绿色角闪石。和上述TTG岩套相比，K值升高而Na值降低，U强烈亏损，其它特征类似于与断裂有关的花岗岩。锆石年龄为 2650 ± 10 Ma, T_{DM} 为3.45 Ga，有可能是下部地壳U亏损部分熔融的结果。

(3)钙碱性二长花岗岩片麻岩和斜长花岗岩片麻岩类：该类岩石中除含斜长石、斜方辉石、石英外，还含条纹长

石和微斜长石，甚至某些岩石中出现了少量黑云母和绿色角闪石。锆石年龄接近于2.5 Ga，但 T_{DM} 高。其它地球化学元素特征表明此类岩石是早期地壳岩石重熔的结果。显示出地壳加厚期的同期和后期的岩浆活动特点。

1.1.3 同变质期岩浆侵入体

较早期的侵入体有变质斜长岩和紫苏花岗岩。前者呈脉状侵入到高Mg的拉斑玄武岩中，局部已叶理化。锆石年龄为 2007 ± 7 Ma；后者侵入到褶皱的转折端，靠近围岩的部分已片理化，年龄为2.0 Ga。二者均受到了变形作用的影响。另一类侵入体为含堇青石的二长花岗片麻岩，堇青石含量约1%，K含量高，是高温低压的产物。年龄为2.0 Ga， T_{DM} 为2.6 Ga。较晚期的侵入体为碳酸岩和二长细晶岩，是构造运动期后就位的。

1.1.4 变质沉积岩

除大量的中酸性侵入体和极少量基性超基性火山岩外，该地还有少量的变质沉积岩。包括变泥质岩石、Al-Mg麻粒岩、石英岩和磁铁石英岩以及富镁大理岩和不纯大理岩。这套岩石和基性火山岩互层产出，在2.0 Ga发生了高级变质作用，具有顺时针的PTt轨迹。岩石中含有3.2~2.7 Ga的碎屑锆石，表明此类岩石形成于2.7 Ga以后。

1.2 构造运动

由于麻粒岩相变质作用掩盖了在其之前的构造形迹，现有可辨的构造形迹代表着两期构造运动[1, 2, 10]。早期为比里姆期，大约发生在2.0 Ga，是主麻粒岩相变质期伴随的变形运动，形成了非常明显的区域片麻理(叶理)，并且片麻理又发生了紧闭的韧性褶皱，方向多为NE-SW、NEN或N-S向，规模大，枢纽很陡，使本区的基底和盖层都受到了影响。一些成分层包括沉积层和岩脉等均和片麻理一致，受到了强烈的压扁拉长作用，形成了透镜体或香肠状构造，显示出本区岩石极强的层状构造特征。晚期构造运动发生在泛洲期。该区北部似乎受影响不大，南部地区形成了大型的开放褶皱。另外，在该地体两侧及南部部分地带形成了大型的糜棱岩化带，为成矿提供了空间。

1.3 变质作用

形成该区麻粒岩相的变质作用发生在大约2.0 Ga，具典型的高温变质作用特征[4-6]。变泥质岩石英Al-Mg麻粒岩记录了一个顺时针的PTt轨迹。根据矿物组合的包裹关系和平衡关系可划分出三个变质阶段。进变质阶段的特征矿物组合为硬玉—斜方辉石或石榴石—尖晶石，其消失的PT条件为 $P=10 \times 10^8$ Pa和 $T=800$ 。变质峰期的矿物组合是共生的石英—假蓝宝石，或石英—尖晶石以及斜方辉石—矽线石—石榴石，P在 10×10^8 Pa，T至少为1050。M.Guirand等[7]曾对该区的硬玉和石英组合做过详细研究，认为此组合有两期，早期的PT条件更高，大约在 $P=12 \times 10^8$ Pa以上，而 $T=1200$ 。退变质阶段的组合为假蓝宝石—堇青石—斜方辉石，P降至 $6-7 \times 10^8$ Pa时，T为700—800。随后剥蚀冷却。根据PTt轨迹的形态研究，认为该麻粒岩形成于超厚地壳环境中，是同一造山运动的结果。

在泛非时期，该区南部叠加上了低温变质作用，出现了斜交片麻理的黑云母、绿泥石等矿物组合。在局部地段又叠加了碎裂变质作用，形成了糜棱岩和超糜棱岩，是金矿的容矿岩石。

另外，伴随着2.5 Ga期的岩浆活动，该区很可能曾发生过一次高级变质作用[2]，导致岩石早已脱水，使后来的这次麻粒岩化作用中岩石很少发生熔融。而早期的变质作用被后来的变质作用掩盖了。

2 金矿特征

在In Ouzzal麻粒岩地体东侧的近NS向的走滑断层带中，分布着几个世界级的大型金矿床[9]，如Tirek和Amesmesa金矿等，储量多在100吨以上(图2)。该糜棱化带宽1—3 km，纵贯In Ouzzal地体南北，并被几条 $N30^\circ-40^\circ E$ 的二级糜棱岩带切断，是泛非时期形成的一系列的NS向剪切带之一。对同构造期侵入的一辉长岩体进行测年，其单颗粒锆石U-Pb年龄接近630 Ma。糜棱岩化带西侧的岩石为In Ouzzal麻粒岩，东侧为中元古代的片麻岩，其中有同构造期的辉长岩和流纹岩和早期的石英脉等。受到剪切作用和糜棱岩化作用，形成透镜体或香肠构造，并受到液压碎裂作用和后期的角砾岩化作用的影响，使岩石具有渗透性，为热液活动提供了空间，矿床就赋存在其中的一个50 m宽的超糜棱岩化带中。

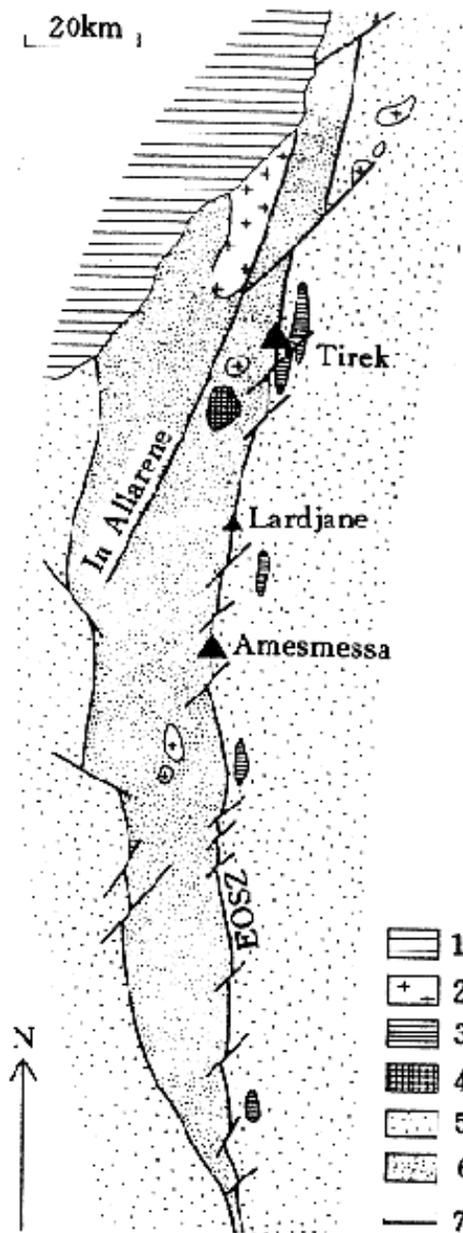


图2 In Ouzzal东侧剪切带(EOSZ)及金矿(三角形)位置示意图

- 1.白垩纪盖层；2.晚泛非期花岗岩；3.基性到中性侵入体；4.超基性侵入体；
5.中元古代片麻岩；6.In Ouzzal太古宙麻粒岩；7.断层和剪切带

Fig.2 The southern part of the East Ouzzal Shear Zone (EOSZ), with location of main gold deposits (triangles)
1.Cretaceous cover; 2.Late Panafrican granite; 3.Mafic to intermediate pluton; 4.Ultramafic pluton; 5.Middle Proterozoic gneisses; 6.In Ouzzal Archaean gneisses; 7.Faults and shear-zones

退变质作用和变形作用一起发生，导致原来的麻粒岩相的高级变质岩石发生水化作用，形成一套低级组合：黑云母—绿泥石—阳起石—碳酸盐岩。水化比糜棱岩化强烈，范围大，影响到糜棱岩化带两侧不变形岩石达1000 m之宽。

热液的活动是多期次的，形成了复杂而广泛的蚀变带，早期蚀变是渗透性的，随着超糜棱岩化作用的发生，三期热液叠加，顺着糜棱岩化带中心形成了几十米宽的黄铁细晶岩(石英—黄铁矿—绢云母—Fe白云石组合)，此时未见金矿化。之后硅化作用强烈，形成了两期石英脉，第一期顺糜棱岩化带方向，第二期顺N30°—40°E方向，这期也不伴随金矿化。接着蚀变岩石又发生了糜棱岩化，从而推断此时的岩石埋藏仍然较深，温度高于400℃。大约在540 Ma，温度压力进一步下降，构造性质由韧性向脆性转化时，糜棱岩化岩石发生了角砾岩化，含金的硫化物石英脉才开始沉淀。最早是硫酸盐和黄铁矿，然后才是闪锌矿和自然金。硫化物和金作为细脉浸染状充当了碎裂角砾岩的胶结物，此时温度大约200℃。应该指出的是，一些富矿体均受到糜棱岩化学成分的控制。如在Tirek矿区，最富金的石英脉矿体是在韧性剪切带中的一个辉长岩体中，同构造侵入体、糜棱岩带切过的In Ouzzal麻粒岩地体中的沉积岩夹层处，尤其是石香肠化的大理岩是最有利的控矿地段。

蚀变热液的来源不是单一的。经稳定同位素(C.H.O)及矿物包裹体的研究,表明早期热液中的CO₂来自地幔,与同构造期的基性岩浆活动有关;H₂O来自变质岩石的脱水积累,而晚期含金热液则是当时盆地中的含盐度极高的卤水下渗到In Ouzzal麻粒岩中,在同期活动的岩浆岩提供的热源驱动下,淋滤出了其中的金。这种金来源的单一性可通过Pb同位素的研究结果得到证实。

总之,金是从麻粒岩中淋滤出来的,糜棱岩化带即是热液活动的通道,又是金沉淀的场所,而CO₂的加入,构造性质的改变,深部岩浆的热源作用,以及糜棱岩的不同岩性对成矿都起了一定的作用。

3 地壳演化及地质意义

In Ouzzal麻粒岩带主要形成于太古宙,之后又经历了多期的构造变质作用的改造。在太古宙,至少有三次地壳增生和改造作用^[2-4],分别发生在3.3 Ga、2.7 Ga和2.5 Ga。地壳的形成主要在3.5—2.7 Ga之间,以奥长花岗岩—英云闪长岩的TTG岩套为特征,与连续的岩浆弧系统的造山作用有关。2.7 Ga后较厚的大陆地壳已经形成,地壳深部U亏损部分重熔形成了大约2.65 Ga的碱性花岗岩套。大约2.54 Ga时,又一次地壳加厚作用发生,T_{DM}为3.3 Ga的老地壳经深部选择重熔,形成了2.5 Ga左右的同期或后期钙碱性岩浆岩套。这个时期很可能发生了一次麻粒岩化作用。

在大约2.0 Ga的比里姆期,是In Ouzzal麻粒岩带的变质期。伴随着麻粒岩相的高温变质作用,发生了两期变形作用,第一期形成了区域片麻理,第二期片麻理发生发褶皱。峰期发生在片麻理形成期,形成了一系列的高温变质矿物组合,并可能伴随着斜长岩的侵入(2007 ± 7 Ma)。退变质期含堇青石的花岗岩侵入(2.0 Ga),温度为800 °C,压力低于5 × 10⁸ Pa。后来侵入了碳酸盐岩和正长岩。到1.95 Ga,温度降到650—600 °C,温度降到350—300 °C时(黑云母的Ar和Sr年龄)是1.8—1.7 Ga之间。此后地壳经历了一个长期的冷却和剥蚀作用过程。

长期以来,对于In Ouzzal麻粒岩带在2.0 Ga时的地质意义一直众说不一。Peucat等人首先假设大约在2.0 Ga时期,In Ouzzal麻粒岩带逆冲到西非克拉通之上^[2]。这个逆冲发生在Biriman造山运动早期(2.2 Ga—2.1 Ga)地壳增生阶段后,形成了区域片理,并使得沿着西北克拉通活动边缘的比里姆岩浆弧体系停止活动,最后导致了西非克拉通和太古宙的Hoggar地块的碰撞。这种地壳加厚过程以及与之有关的太古宙地壳再造事件在刚果地盾和巴西东北部的San-Francisco克拉通都同时存在。它很可能是代表当时大陆会聚过程中太古宙的各种形状大小不一的克拉通镶嵌式的碰撞。这在西非克拉通、刚果和巴西地盾都是一种普遍现象^[11]。但是,解释该区高温变质作用有些勉强,于是他们又提出了另一假设,即假设当时地下有地幔柱在活动,而片理和麻粒岩相的高温变质作用可形成于2.1 Ga造山运动后的伸展构造环境中,使斜长岩的侵入,少量的部分熔融以及后期侵入的碳酸岩都得到了解释。但是又给第二期的紧闭褶皱的成因解释造成了困难。所以,他们认为单一的模型不好对这次2.0 Ga时期的事件做出圆满的解释。

R.Caby^[1]认为In Ouzzal麻粒岩带高温变质作用表明古地热梯度在35 °C km⁻¹,埋深达35 km,是NE-SW向的地壳缩短作用形成了ENE向的紧闭褶皱后,太古宙大陆岩石圈地幔发生了拆沉作用,导致下地壳直接和软流圈接触发生了高温变质作用。这在相邻地区的Tassendianet的基底推覆体中也能见到。变质作用的冷却过程一直延续到1.7 Ga,随后是长达250 Ma的剥蚀作用。这期间,岩石圈发生了伸展作用,导致相邻地区乃至整个冈瓦纳大陆上发生了广泛的岩浆活动。大约在785 Ma时,该麻粒岩带(至少是北部地区)被埋入晚元古代的克拉通盖层之下,一些玄武岩浆侵入其中,可能与当时大陆的裂解有关。大约在700 Ma时,表明大陆边缘活动带特征的安山质盖层及岩墙等又说明该麻粒岩带被卷入了Andes型的俯冲带中。In Ouzzal麻粒岩带的西侧断层以及在泛非相邻地区地体中广泛出露的蓝晶石白云片岩和含退变榴辉岩透镜体的石英岩说明这个高压带在回返时被剥蚀了。因此,该麻粒岩带是晚元古代板块会聚时期沿着活动古大陆边缘停留下来没有俯冲的地体。该地体西侧的断层的相反方向的运动表明该地体的向北运动,与其南边的Iforas麻粒岩向北西方向的运动是相似的。因此,他推断这两个地块曾经相连,现在的断距大约为150 km。

In Ouzzal麻粒岩体的构造窗构造及极高温变质作用一直吸引着许多地质工作者前来研究,许多问题尚未得到解决。人们相信,查明这块特别地体地质意义,有可能揭开深部地壳生成演化的谜。

作者简介:刘新秒,女,1959年生,硕士

参 文 文 献

- 1 Caby R. A review of the In Ouzzal granulitic terrane (Tuareg shield, Algeria): its significance within the Pan-African Trans-Saharan belt. *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 659-666
- 2 Peucat JJ, Capedvila R, Drareni A, Choukroune P, Fanning C M, Bernard-Griffiths J and Fourcade S. Major and trace element geochemistry and isotope (Sr, Nd, Pb, O) systematics of an Archaean basement involved in a 2.0 Ga very high-temperature (1000 °C) metamorphic event: In Ouzzal Massif, Hoggar, Algeria. *J. Meta Geol.*, 1996, 14: 667-692
- 3 Ouzegane K and Boumaza S. An example of ultrahigh-temperature metamorphism: orthopyroxene-sillimanite-garnet,

sapphirine-quartz parageneses in Al-Mg granulites from In Hihaou, In Ouzzal, Hoggar. *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 693-708

4 Bernard-Griffiths J, Fourcade S, Kienast J-R, Peucat J-J, Martineau F and Rahmani A. Geochemistry and isotope (Sr, Nd, O) study of Al-Mg granulites from the In Ouzzal Archaean block (Hoggar, Algeria). *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 709-724

5 Mouri H, Guiraud M and Hensen B J. Petrology of phlogopite-sapphirine-bearing Al-Mg granulites from Ihouhaouene, In Ouzzal, Hoggar, Algeria: an example of phlogopite stability at high temperature. *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 725-738

6 Ouzegane K, Djemai S and Guiraud M. Gedrite-garnet-sillimanite-bearing granulites from Amessmessa area, south In Ouzzal, Hoggar, Algeria. *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 739-754

7 Guiraud M, Kienast J-R and Ouzegane K. Corundum-quartz-bearing assemblages in the Ihouhaouene area (In Ouzzal, Algeria). *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 755-762

8 Fourcade S, Kienast J-R and Ouzegane K. Metasomatic effects related to channelled fluid streaming through deep crust: fenites and associated carbonatites (In Ouzzal Proterozoic granulites, Hoggar, Algeria). *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 763-782

9 Marignac Ch, Semiani A, Fourcade S, Boiron M-C, Joron J-L, Kienast J-R and Peucat J-J. Metallogenesis of the late Pan-African gold-bearing East Ouzzal shear zone (Hoggar, Algeria). *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 783-802

10 Haddoum H, Choukroune P and Peucat J J. Evolution of the Precambrian In-Ouzzal block (Central Sahara, Algeria). *Precambrian Research*, 1994, 65: 155-166

11 Santos Pinto M, Peucat J J et al. Petrogenesis of the oldest part of the Sao Francisco Craton (Bahia State, Brazil): geochronology and isotopic chemistry. *Terra Abstracts EUG*, 1995, 8: 103

* 收稿日期：1998 - 05