

文章编号: 1009-3850(2006)02-0110-03

南极洲沙克尔顿山榴辉岩相变质作用的首次证据: 东、西冈瓦纳之间缝合带的遗迹?

南极洲东部的沙克尔顿山(Shackleton Range)位于 $S80^{\circ}-81^{\circ}$, 东西向狭长分布, 长约240km, 宽50~70km, 为活动的 Ross 造山带与稳定的南极洲东克拉通之间的过渡带。许多人把它视为一条具薄皮的冲断推覆构造的碰撞造山带。

沙克尔山岩石包括含石榴子石和/或尖晶石橄榄岩和辉岩。石榴子石在正常地壳厚度之下的含橄榄石岩石中是不稳定的, 但要求与榴辉岩相一样的压力条件。石榴子石-橄榄石组合的存在表明为高压条件, 这一点在沙克尔顿山还存在异议。

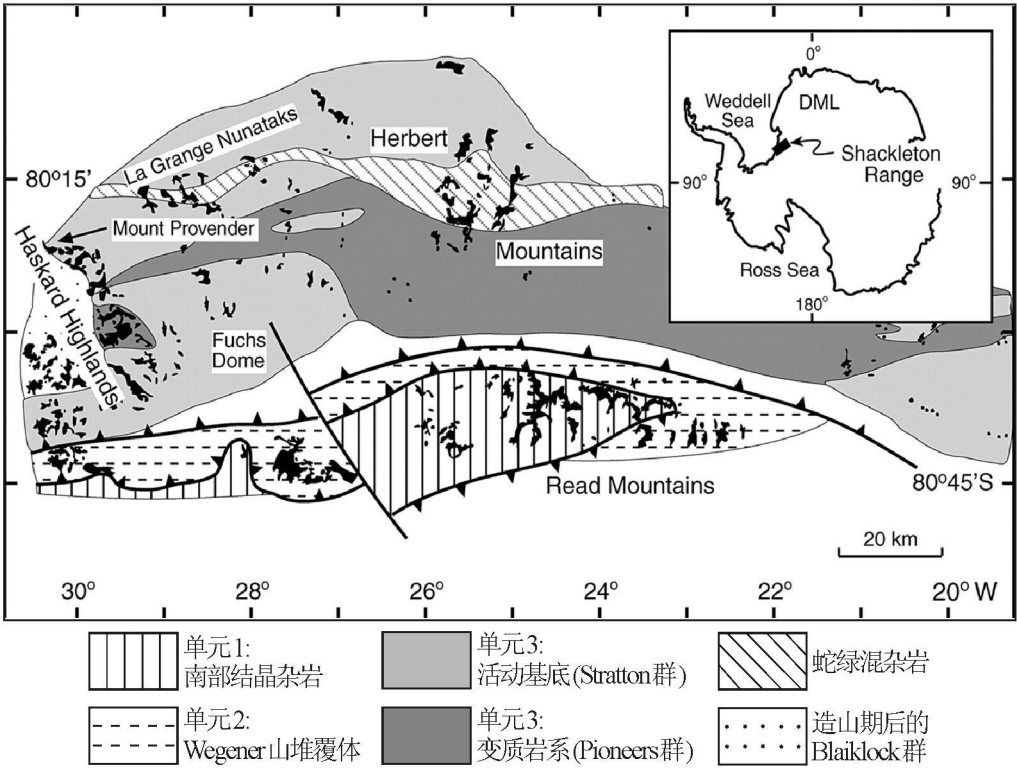
对高级片麻岩地带含石榴子石超镁铁质岩的产出有不同的解释。一种可能性是作为稳定相的含有石榴子石的地幔岩石直接侵位而成, 或者说, 石榴子石原先侵位于地壳中的蛇纹岩经高压变质作用而成。另一种可能性是陆-陆碰撞期间, 来自次大陆地幔的尖晶石橄榄岩与俯冲地壳岩石并置在一起。俯

冲作用期间压力的进一步增加导致俯冲地壳中的石榴子石原地生长。

含石榴子石橄榄岩和辉岩主要由于俯冲作用和/或碰撞构造而产生的高压变质作用而形成。而石榴子石是在超镁铁质岩侵入地壳之后开始生长的。这种解释是基于作为包裹体的低压矿物(如尖晶石)在石榴子石内的存在。假如这样的低压矿物不存在, 可能(但不是必需)含石榴子石的高压地幔岩石就会直接侵位于地壳中。在此情况下, 地壳岩石肯定已经俯冲到相当于石榴子石橄榄岩稳定区域的深度, 如大于60km。

构造格局

从其整体构造走向来看, 沙克尔顿山可能是 Dronning Maud 地内北-北东向的 Maud 带的延伸。该带大多由来源于中元古代晚期火山弧的高级变质



岩石所组成,但研究表明其在泛非运动期间经历了一次大的构造叠加。Maud带与莫桑比克带的相似性引起了人们的推测:沙克尔顿山为东冈瓦纳(南极洲东部、澳大利亚、印度)和包括南美和非洲在内的西冈瓦纳之间的碰撞带。这条主要的全球碰撞带形成于650~500Ma,于新元古代莫桑比克洋关闭之后。在沙克尔山发现了相应的洋壳残余,但没有来自Maud带的新生泛非地壳的证据。该缝合带在东、西冈瓦纳之间确切的位置尚不清楚。

对于越来越多的南极洲东部造山带泛非构造印记,前人认为属中元古代(Grenvillian期)。我们认为,东冈瓦纳在元古宙期间并非铁板一块,而是在泛非造山运动期间拼合而成。这种分歧突出说明了对冈瓦纳拼合之前的古地理缺乏认识,沙克尔顿山因其含石榴子石超镁铁质岩和上地壳高级变质围岩可提供重要线索。

超镁铁质岩的地质背景及野外联系

沙克尔顿山细分为3个主要构造单元:南部结晶杂岩(单元1)、Wegener山推覆体(单元2)和北部结晶杂岩(单元3)。单元1是南极洲东部克拉通的一部分,由中元古界中—高级变质岩组成,受泛非造山作用的影响并不显著。单元2的低级变质沉积物在泛非变形期间向南逆冲到南极洲东部克拉通之上。单元3由中—新元古界高级变质上地壳岩(Pioneers群)和经过改造的太古宇—中元古界中—高级变质岩(Stratton群)组成。单元3岩石在泛非造山作用期间遭受变形,并经历了角闪岩相变质作用。在Herbert山的该单元中发现了一套蛇绿混杂岩。它由Pioneers群变质角闪岩、变辉长岩和蛇纹岩组成,夹高级片麻岩和混合岩。蛇绿岩中角闪石的K-Ar冷却年龄值为490~510Ma。矿物组合表明,岩石一定经历了角闪岩至上角闪岩相的变质作用;但没有高压含石榴子石超镁铁质岩的报道。

高压含石榴子石超镁铁质岩出露于Provender山附近的Haskard高地(单元3)。这些岩石为含尖晶石和/或石榴子石橄榄岩和辉岩,在片麻岩中呈透镜体产出,经历了泛非变质作用。高级变质围岩属于Pioneers群,由黑云母-斜长石片麻岩、蓝晶石-石榴子石-钾长石变泥质岩、角闪石片麻岩、石榴子石-角闪石片麻岩、石榴子石-单斜辉石-角闪石片麻岩、角闪岩、石英岩、大理岩及钙硅质岩组成。超镁铁质岩透镜体为1~100m大小。随处可见超镁铁质岩同围岩一并褶皱,叶理连续。

高压变质作用证据

Provender山地区的橄榄岩和辉岩除斜方辉石、单斜辉石和橄榄石外,还含有石榴子石和(或)尖晶石。石榴子石含典型的尖晶石包裹体,通常也存在次生钙质角闪石。石榴子石和橄榄石均显示出与斜方辉石、单斜辉石及褐色或绿色的尖晶石的低能颗粒边界。在一些地方,石榴子石和橄榄石以反应结构的型式交生。这种型式和石榴子石中常见的尖晶石包裹体,说明了石榴子石+橄榄石是由于斜方辉石+单斜辉石+尖晶石→石榴子石+橄榄石的反应而成。该反应在 $P-T$ 环境中几乎是等压的,标志着在低压尖晶石和高压石榴子石-橄榄岩稳定区域之间的转变。在 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (MAS)模式系统中,斜方辉石+尖晶石=镁铝榴石+镁橄榄石的反应发生于 $(18\sim20)\times10^8\text{Pa}$ 。因有额外系统成分的CaO,斜方辉石+单斜辉石+尖晶石=石榴子石+镁橄榄石的CMAS反应时的 $P-T$ 条件也几乎未变。如果石榴子石是含橄榄石组合的一部分,那它必然是高压变质作用的标志。

矿物化学分析,测出700℃时压力为 $(21\sim23)\times10^8\text{Pa}$,800℃时为 $(20\sim22)\times10^8\text{Pa}$ 。这些结果与尖晶石中Cr气压测法的结果 $(20.1\pm0.2)\times10^8\text{Pa}$ 很一致。因此,压力可限制在 $(20\sim23)\times10^8\text{Pa}$ 。石榴子石-斜方辉石,石榴子石-单斜辉石,单斜辉石-斜方辉石,石榴子石-橄榄石及斜方辉石中的Ca的估测温度为710~810℃,最大变质梯度为11℃/km。因此,榴辉岩相中的超镁铁质岩达到了最高变质条件。据了解,这些岩石是泛非造山带榴辉岩相超镁铁质岩首例。

讨论

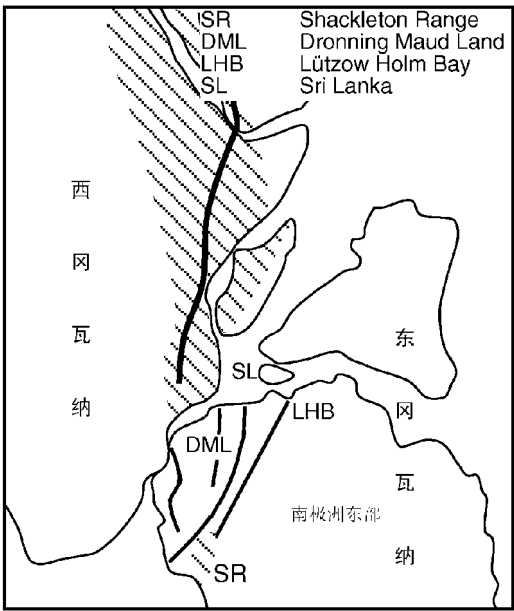
石榴子石-橄榄石临界组合证明其属高压条件。石榴子石中的尖晶石包裹体和石榴子石-橄榄石的密切交生表明,已从尖晶石-橄榄岩稳定区转变为石榴子石-橄榄岩稳定区。假定反应曲线反映的 $P-T$ 斜线是平缓的,则说明由原始的含尖晶石组合向含石榴子石组合转变时压力必须增加,这只有在俯冲和/或碰撞构造的过程中才能实现。11℃/km的估测变质梯度与俯冲带的变质作用很吻合。尖晶石橄榄岩是在陆-陆碰撞期间通过构造侵蚀作用侵位于来自上盘的次大陆地幔的俯冲地壳内的岩石。连续的俯冲和相应的压力增加使得尖晶石受损,而形成石榴子石。

高压变质作用年龄只能间接地推论, 因为在超镁铁质岩中严重缺乏像锆石这样的可定年矿物, 在标本中也缺乏小颗粒和石榴子石与其他矿物紧密共生。然而, 泛非变质作用年龄可以从围岩中获得。麻粒岩相变泥质岩的 Sm-Nd 石榴子石-全岩年龄为 $506 \pm 6\text{Ma}$ (属于顶峰变质作用), Rb-Sr 黑云母冷却年龄为 $500 \pm 10\text{Ma}$ 。由于超镁铁质岩中和围岩(角闪岩相残余)的顶峰前的矿物组合(高温尖晶石橄榄岩)不同, 这两种岩石类型在高压顶峰变质阶段之前的历史不太可能相同。这意味着超镁铁质岩的侵位及其高压变质作用必定与泛非造山运动有关。这也被围岩及其封闭的超镁铁质岩的组构所证实。

如果这一推论是真实的, 那么围岩可能就经历了与超镁铁质岩一样的高压变质作用。推断的麻粒岩相变泥质岩 $P-T$ 轨迹呈现顺时针方向的趋势, 压力峰值约为 $13 \times 10^8\text{Pa}$, 最高温度约为 740°C 。超镁铁质岩和淡色围岩相似的峰值温度证实其经历了同一泛非高级变质事件, 即使两种岩石类型的压力相差约为 $(7 \sim 10) \times 10^8\text{Pa}$ 。然而这种现象在所有中高温榴辉岩地区很普通, 因为淡色矿物岩石在减压期间容易被叠加。

可用于推断泛非变质年龄的榴辉岩仅来自几个地方, 包括马里和澳大利亚。530与500Ma 这一年龄资料表明地壳增厚及伴随的榴辉岩相变质作用与莫桑比克洋的闭合和其后东、西冈瓦纳之间的碰撞有关。考虑到泛非地带遍及全球范围, 榴辉岩相岩石同年轻的造山带比较, 是非常稀少的。

沙克尔顿山为南极洲研究程度较高的首例榴辉岩相岩石, 极有可能与东、西冈瓦纳的碰撞有关, 也是全世界首例泛非榴辉岩相超镁铁质岩。东、西冈瓦纳之间的缝合带被认为延伸到了南极洲。首先,



出露的阿尔卑斯型超镁铁质岩和蛇绿岩可能是古板块边缘的标志; 其次, 所关注的超镁铁质岩经历了榴辉岩相变质作用, 证实了俯冲和碰撞构造的存在。

其他发现也有力支持了上述这种想法。Klein-schmidt and Buggisch (1994) 报道了沙克尔顿山北部泛非逆冲推覆体及500Ma左右的若干 K-Ar 年龄, 将缝合带定位于南极洲南部和喀拉哈里(Kalahari) 克拉通北部之间。在 Lützow Holm 湾和沙克尔山发现了洋壳残余, 位于本文描述的产出地以东 50km 左右。这些发现均意味着沙克尔顿山是东、西冈瓦纳之间缝合带内最南面、最年轻的出露地区, 这条缝合带延伸至北面的 Dronning Maud 地和 Lützow Holm 湾地区。

(徐建峨 摘译, 王承书 审校)
(摘自 Geology, 2006, 34(3): 133—136。
作者: E. Schmädicke and T. M. Will)