

## Review of Petrographic and Mineralogical Evidence for Fluid Induced Dehydration of the Mafic Lower Crust: Could There be a Relationship Between Granitoids and Granulite Facies Xenoliths in the Variscan Belt?



Petrographische und mineralogische Indizien für eine fluid-induzierte Dehydration der mafischen Unterkruste: Gibt es eine Beziehung zwischen Granitoiden und granulitfaziellen Xenolithen im Variszischen Gürtel Europas?

DANIEL E. HARLOV, Potsdam

**key words:** charnockite, Variscan Belt, Ivrea-Verbano Zone, K-feldspar metasomatism, xyenolith, apatite-monazite

### Abstract

Possible links between the fluid induced dehydration of the mafic lower crust and the subsequent generation of granitoid bodies in the mid to upper crust are explored specifically with respect to charnockite-enderbite xenoliths found in Tertiary and Mesozoic volcanics associated with granitoid bodies along the Variscan Belt. With regard to understanding these links, this paper compares and discusses the petrography as well as the silicate and phosphate mineral chemistry of metamorphosed mafic rocks from a series of terranes. A portion of each of these terranes has experienced a high-grade dehydration event transforming it from a H<sub>2</sub>O-rich, amphibolite facies zone to a H<sub>2</sub>O-poor, orthopyroxene-bearing granulite facies zone at approximately the same temperature and pressure, i.e. 700–800 °C and 7–8 kbar. These include the Seward Peninsula, Alaska (SP) traverse where dehydration took place over an 85-cm thick layer of tonalitic gneiss in contact with a marble during regional metamorphism and involved a CO<sub>2</sub>-rich fluid and the Val Strona di Omegna traverse, Ivrea-Verbano Zone, Northern Italy (IVZ), where dehydration involved an approximately 3–4 km thick sequence of interlayered metabasites and metapelites and is proposed to have involved a F- and Cl-bearing, CO<sub>2</sub>-poor fluid with a low H<sub>2</sub>O activity. In the latter case, both the heat and most of the fluids are hypothesised to have originated from mafic magmas intruded at the base of the sequence.

Samples from either dehydration zone show micro-veins of partially ordered K-feldspar (originally sanidine) along quartz and plagioclase grain boundaries as well as replacement anti-perthite in a random scattering of the plagioclase grains. Modal mineral abundances suggest that the K<sup>+</sup> came primarily from the breakdown of hornblende + quartz to orthopyroxene +/- clinopyroxene, feldspar and fluid. Close similarities between the two traverses also are observed with respect to mica chemistry. Biotite from the dehydration zones is distinctly higher in Ti and F relative to those from the amphibolite facies zone.

High-grade fluid metasomatism was also responsible for the generation of Th-poor (< 0.5 wt %) monazite and/or xenotime in apatite from each dehydration zone. These inclusions are not seen in apatite from the amphibolite facies rocks. Depletion in Ce or Y in the immediate vicinity of the REE phosphate minerals and the positive correlations between Na and (Y+REE) as well as Si and (Y+REE) strongly suggest that these inclusions nucleated within the apatite itself from the REE budget available via the exchange vectors  $\text{Na}^+ + (\text{Y} + \text{REE})^{3+} = 2 \text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Si}^{4+} + (\text{Y} + \text{REE})^{3+} = \text{P}^{5+} + \text{Ca}^{2+}$ . Apatite in the dehydration zone shows a relative increase in F compared to apatite in the amphibolite facies zone. If the fugacity ratio of HF relative to H<sub>2</sub>O for both biotite and fluorapatite is plotted as a function of the distance from the fluid/heat source for the SP and IVZ traverses, the same basic pattern, i.e. a decrease of  $f_{\text{HF}}/f_{\text{H}_2\text{O}}$ , is observed for either traverse. Such consistent patterns are what one would expect if either traverse had experienced a metasomatic event in the form of a uniform fluid-flow front through these rocks. All of these features are also seen in a 45 km section of charnockitic-enderbitic gneiss which makes up part of an 80 km long cross section of broadly tonalitic Archean crust in Tamil Nadu State, South India. Here concentrated brines are also conjectured to have been active during granulite facies metamorphism.

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die möglichen Zusammenhänge zwischen einer fluid-induzierten Dehydration der mafischen Unterkruste und der nachfolgenden Bildung granitoider Magmen in der mittleren bis unteren Kruste diskutiert. Besondere Berücksichtigung finden dabei Charnockit-Enderbit-Xenolithe in mesozoischen bis tertiären Vulkaniten, die in der Nachbarschaft granitoider Körper des variszischen Gürtels Zentral- und Westeuropas auftreten. In diesem Kontext werden in dieser Arbeit die Petrographie und die stoffliche Zusammensetzung von Silikat- und Phosphat-Mineralen aus metamorphen Gesteinen von verschiedenen regionalen Terranes verglichen und diskutiert. Ein Abschnitt jeder dieser Einheiten erfuhr eine Dehydration unter hochgradigen Metamorphosebedingungen, während welcher ein H<sub>2</sub>O-reiches amphibolitfazielles Gestein in ein H<sub>2</sub>O-armes und Orthopyroxen-führendes granulitfazielles Gestein bei annähernd gleichen Druck- (7–8 kbar) und Temperaturbedingungen (700–800 °C) umgewandelt wurde. Betrachtet werden metamorphe Traversen von der Seward Halbinsel (Alaska), wo ein 85-cm-mächtiger Abschnitt eines Metatonalites im Kontakt zu einem Marmor während der Regionalmetamorphose unter Einwirkung eines CO<sub>2</sub>-reichen Fluids dehydriert wurde sowie das Gebiet des Val Strona di Omegna, Ivrea-Verbano Zone, N Italien (IVZ), wo die Dehydration etwa 3–4 km einer Abfolge von Metabasiten und Metapeliten erfasste. Hier wird ein F- und Cl-führendes CO<sub>2</sub>-armes Fluid mit niedriger Wasser-Aktivität für die Dehydration verantwortlich gemacht. Als Stoff- und Fluid-Quelle wird eine basische Intrusion an der Basis der Abfolge vermutet.

Proben aus beiden Dehydrationszonen zeigen Mikrogänge von partiell geordnetem Kalifeldspat (ursprünglich Sanidin) entlang von Quarz- und Plagioklaskorngrenzen sowie Verdrängungs-Antiperthit in einigen Plagioklaskörnern. Die Modal-Mineralzusammensetzung läßt vermuten, daß das Kalium vor allem während der Umwandlung von Hornblende und Quarz in Orthopyroxen +/- Klinopyroxen, Feldspat + Fluid freigesetzt wurde. Eine enge Gemeinsamkeit zwischen beiden Traversen besteht auch im Hinblick auf die Chemie der Glimmer. So sind die Biotite der Dehydrationszonen deutlich an Ti und F gegenüber denjenigen aus der Amphibolit-Zone angereichert.

Die fluid-getriggerte Metasomatose zeichnete auch für die Bildung von Th-armen (< 0,5 Gew.%) Monazit- und/oder Xenotim-Kristallen innerhalb von Apatiten aus den entwässerten Gesteinen verantwortlich, welche im ursprünglichen Gestein fehlen. Eine Verarmung von Ce bzw. Y in der unmittelbaren Nachbarschaft dieser Einschlüsse und die positiven Korrelationen zwischen Na und (Y+SEE) bzw. Si und (Y+SEE) unterstreichen die Vorstellung, dass deren Bildung innerhalb des Apatits selber auf Kosten der Substitutionsreaktionen  $\text{Na}^+ + (\text{Y} + \text{SEE})^{3+} = 2 \text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Si}^{4+} + (\text{Y} + \text{SEE})^{3+} = \text{P}^{5+} + \text{Ca}^{2+}$  erfolgte. Apatit aus den dehydrierten Gesteinen ist reicher an F als Apatit aus dem amphibolitfaziellen Ausgangsgestein. Wenn für beide Traversen sowohl für Biotit als auch Apatit der Fluid-Parameter  $f\text{HF}/f\text{H}_2\text{O}$  als Funktion der Entfernung von der Stoff- bzw. Fluidquelle berechnet wird, ergibt sich ein übereinstimmendes Muster. Dieser systematische Trend einer Abnahme von  $f\text{HF}/f\text{H}_2\text{O}$  wäre besonders dann zu erwarten, wenn eine gleichmässige Fluidfront die Metasomatose bewirkt hat. Alle die bisher genannten Phänomene charakterisieren auch eine 45-km-mächtige Abfolge von Charnockiten-Enderbiten innerhalb einer 80-km mächtigen Zone aus archaischen Tonaliten von Tamil Nadu, S Indien, wo konzentrierte Laugen für die Auslösung der granulitfaziellen Umwandlung angenommen werden.