

國立東華大學自然資源與環境學系

碩士論文

指導教授：蔡金河 博士

應用多種地質溫壓計制約太魯閣帶石榴子石
泥質片岩之變質條件

Using multi-thermobarometry to constrain the metamorphic
conditions of garnet pelitic schists in the Tailuko belt



研究生：王雅芳 撰

中華民國 112 年 7 月

致謝

首先，能夠完成論文要先感謝我的指導教授蔡金河老師。在這三年來的每周會議中，老師總是不厭其煩的引導我於學業上面對到的問題，也積極鼓勵我們勇於發表意見和提問，並時刻提醒我們要具備批判性思考的能力。這些價值觀將使我終生受益。老師不僅在學術領域具有深厚之造詣，更讓我深受影響的是老師那為人敬業且公平正義的人格特質，令我相當欽佩。

由於我的論文應用到多種地質溫壓計，且每個溫壓計都有很深的學問，因此需要借助到許多人的幫助。其中於視剖面圖模擬方法之應用，要特別感謝文翰學長的教導與幫助，文翰學長是一位經驗豐富且熱心的前輩，他對於視剖面圖模擬方法有著深入的研究和瞭解。在我遇到困難和疑惑時，文翰學長總是毫不保留地分享他的經驗，並耐心地解答我的問題。而在拉曼光譜儀的分析上要謝謝名古屋大學環境學研究科的 Yui Kouketsu 教授提供設備給我們實驗室使用，同時也要謝謝 PGML 實驗室學姊黃韻茹與葉芝穎，他們於 2019 年前往日本進行拉曼儀器的分析並取得數據，且對於後續的 RSCM 資料處理提供了協助與指導。謝謝中國科學院大學的吳春明教授提供石榴子石-黑雲母地質溫壓計，也謝謝中央研究院的電子微探分析儀實驗室的 Yoshiyuki Iizuka 博士與助理 Masako Usuki 提供操作上的幫助。

我的論文是建築在前人研究之基礎上發展的，沒有他們的貢獻就沒有此篇論文的產生。並且也要歸功於實驗室學長姐們的指引與幫助以及同學李宜臻及劉康文的支持與相伴，他們不管是在野外採樣亦或是實驗室內的工作，像是光薄片製作、電子顯微鏡分析的操作、文獻閱讀、數據處理等，大家都不遺餘力的把所學的經驗傳授給彼此。

感謝師大的葉恩肇老師及台大的朱美妃老師指導我的碩士學位口試，指出論文中應修改的部分，並給予我許多寶貴的建議。最後感謝家人及朋友們於這段時間的理解與支持，因為有大家的幫助，我才能完成碩士論文。

摘要

太魯閣變質帶是臺灣最古老的地質單位，出露於中央山脈東翼，此變質帶岩石記錄了不同時期造山運動下產生的多期變質作用，變質度以綠片岩相為主，局部有角閃岩相，但因岩石普遍缺乏變質指標礦物與共生組合及可應用之地質溫壓計，以致區域內的各期變質作用之屬性、溫壓條件及其演化仍然所知有限。過去多數研究結果顯示溫壓條件在 3–5 kbar 與 300–700 °C，指示低壓的變質環境；然而，亦有少數含石榴子石的變質岩揭示曾經歷相對較高壓力的條件，特別是在花蓮和平地區。本研究針對和平地區出露之泥質片岩進行詳細的岩象及礦物化學分析，岩象分析顯示部分泥質片岩之石榴子石具兩階段成分環帶，可分為 M1、M2 跟 M3 三期變質礦物組合，其中 M2 為峰期變質階段，此階段之石榴子石變斑晶富含石英包裹體，具成分環帶，錳由核心至邊緣遞減，為前進變質的成分變化特徵。變質峰期之礦物共生組合為石榴子石+黑雲母+多矽白雲母(Si=6.0-6.7 a.p.f.u./22O)+簾石+奧長石(An_{17-26}) + 鈉長石(An_{1-4}) + 榭石+鈦鐵礦+石英+碳質物。

為了制約峰期變質溫壓條件，本研究應用多種地質溫壓計算方法，包括石榴子石-黑雲母溫壓計(Wu, 2019)、石榴子石-石英包裹體拉曼壓力計(Kouketsu et al., 2014)、碳質物拉曼光譜(RSCM)溫度計(Aoya et al., 2010)，及視剖面圖模擬計算(Perple_X 軟體)。綜合上述方法之計算結果，變質峰期(M2)之溫壓結果為 490–550 °C 與 8–12 kbar，此一變質壓力數據明顯高於過去研究資料，且其對應之地殼深度可達 30 公里，可能代表一與碰撞造山運動相關之變質作用紀錄。

關鍵詞：石榴子石-黑雲母溫壓計、碳質物拉曼光譜溫度計、石榴子石-石英包裹體拉曼壓力計、視剖面圖模擬、碰撞造山

Abstract

Metamorphism of the Tailuko belt involves several different stages. The P-T conditions are in the range of 3–5 kbar and 300–700 °C by previous studies, indicating a low-pressure metamorphic environment. However, a few garnet-bearing metamorphic rocks reveal relatively high-pressure conditions, particularly in the Hoping area of Hualien.

On the basis of petrographic and mineral compositionl analyses for pelitic schist, the peak metamorphic mineral assemblage is garnet + biotite + phengite (Si=6.0-6.7 a.p.f.u./22O) + epidote+ oligoclase (An₁₇₋₂₆) + albite (An₁₋₄) + titanite + ilmenite + quartz + carbonaceous material.

This study applied multi-thermobarometry to constrain the metamorphic conditions of garnet pelitic schists, including garnet-biotite geothermobarometer (Wu, 2019), quartz-in-garnet elastic geobarometry (Kouketsu et al., 2014), Raman Spectroscopy of Carbonaceous Material (RSCM) geothermometer (Aoya et al., 2010), and pseudosection modeling (Perple_X). Combining all the results, the peak metamorphic temperature and pressure are 490–550 °C and 8–12 kbar. These P-T estimates are higher than previously reported in the Tailuko belt, and the corresponding crustal depth can reach 30 km, likely representing a record of metamorphism associated with a collisional orogeny.

Keywords: garnet-biotite geothermobarometer, Raman Spectroscopy of Carbonaceous Material, quartz-in-garnet elastic geobarometry, pseudosection modeling, collisional orogeny