

應用地質學的現況與未來發展

李錫堤

國立中央大學應用地質研究所教授兼所長

應用地質學簡介

地質學基本上可分為物理地質學 (physical geology)、歷史地質學 (historical geology) 及應用地質學 (applied geology) 三大部門。應用地質學係地質學各個不同學科 (例如：礦物學、岩石學、礦床學、古生物學、地層學、構造學、地形學、地球物理學及地球化學等) 在資源、工程、水及軍事問題上的應用 (Jackson, 1997)。近年來，由於資源短缺、土地利用及極端氣候衝擊等議題浮上檯面，地質災害及水質污染等問題逐漸受到重視，環境問題亦成為應用上的另一項重點。

人類賴以維持生活的自然資源幾乎都直接或間接地來自組成地球外殼的物質。例如：製造器具與機器的金屬原料，製造水泥、陶瓷及耐火材料的礦石，用做建築及裝飾的石材，供給能源的煤、石油、天然氣及核燃料等。甚至一切生命所需的空氣和水，大多數是當岩漿凝結成地殼的時候，從岩石中釋放出來的；糧食亦由岩石風化後所生成的土壤提供植物生長繁殖而得以供應不絕。凡此皆須應用地質學的知識與技術，從事探測及開發利用。

吾人為改善生活環境所做的土木工程建設不外「雕」與「塑」兩個基本動作。「雕」即開挖土石，例如：隧道及基礎開挖等。「塑」則利用砂石、鋼筋及水泥等自然材料建造結構物，例如：水壩、房舍及橋樑等。如何有計畫及有效率地雕塑地表與淺部地殼，以符合人類的居住及活動，自然須要地質學及各相關學科的有效應用。

地下水方面須瞭解含水層的地質與水質特性、水源補注及滲漏問題等。凡此皆有待水文地質專家以及構造地質、地球物理與地球化學專家的投入工作，方能做到有效的開發與利用。

軍事方面，自然資源常成為戰略上所必須掌握的一項重點。例

應用地質技術，第二卷，第 5 至 13 頁。

如：第二次世界大戰時日本發動太平洋戰爭，其主要目的之一即為取得東南亞各國的資源；後來軸心國戰敗也導因於資源的掌握不如以美國為主要的同盟國。區域地質及礦床的瞭解，能幫助軍事家在戰路上做出正確決定。

自然資源基本上可分為再生資源，例如：農產及林產品等，及消耗性或非再生資源，例如：礦產及化石燃料等。土壤及水一但受到污染短時間內甚難重新使用，故亦屬非再生資源。由於人類生活品質不斷提高，對於非再生資源的需求也與日俱增，若干年後終會有用罄的時候。根據 Pehrson (1962) 統計，全世界石油蘊藏量還可供未來三十八年的使用，天然氣則為四十年。1962 年後雖然陸續有若干大油田發現(尤其是海域石油)，但是數十年後的展望仍不樂觀。十餘年前即有研究預測，快則十年，慢則三十年內人類即將面臨嚴重的石油短缺 (Campbell and Laherrere, 1998; Kerr, 1998)，不幸已經言中。核燃料方面，雖可提供為替代能源，但其儲量仍為有限，且其廢料處理問題，至今仍未完全解決。土木工程建設常導致地質災害，例如：山崩、地陷等；地質災害亦常使工程建設未能達成預期目標。工業開發則常帶來水及環境的污染。凡此皆有待從環境地質學的角度，在資源開發、土地利用及人類活動間取得一平衡點，對人類未來的環境品質做出最大的貢獻。

綜觀上述各點可知，應用地質學是一門與人類生活息息相關而不可忽視的學科。從事地球科學研究者，雖不一定人人皆走應用路線，但是，在追求真理之餘，也不妨瞭解一下所習學科，或所從事的研究，是否尚有附帶的應用價值，而對社會有所回饋。

應用地質學的研究範圍及應用現況

應用地質學基本上可區分為：工程地質學、水文地質學、經濟地質學(或稱資源地質學)、環境地質學及測勘學五大部份。

工程地質學 (Engineering Geology) 為地質學在土木、水利、建

應用地質技術，第二卷，第 5 至 13 頁。

築及採礦工程上的應用。其研究範圍包括：地質材料(土壤、岩石及水)的特性描述 (characterization)，地質構造的測繪與分析，土體及岩體受自然環境(地質應力、地下水及風化等因素)的影響及特性的變化，及其與工程因素(開挖、荷重及排水等)間的相互影響。

水文地質學 (Hydrogeology) 是地質學在地下水資源及相關地表水問題的應用。其研究範圍包括：地層的水文及水質的特性描述，地下水產狀 (occurrence) 與分佈，及地下水資源開發與利用等。

經濟地質學 (Economic Geology) 是地質學在礦產及能源開發上的應用 (部份學者亦將地下水方面涵蓋在內)。其研究範圍包括：金屬、非金屬礦、化石燃料及核燃料的產狀與分佈、礦床成因、礦業經濟及礦產開發利用等。

環境地質學 (Environmental Geology) 是地質學在自然環境、資源利用及地質災害防治上的應用。其研究範圍包括：地質災害分析與防治，工程建設、土地利用、資源開發與自然環境的協調，及環境管理等。

測勘學基本上是上述四個學科的支援。測勘方法包括：遙測與航照判釋、地表踏勘與地質圖測繪、鑽井方法、開挖方法、地球物理方法及地球化學方法等。其研究範圍主要在於既有方法的改進，新方法的開發，以及在所支援學科中的應用研究。

早年各國的地質應用主要集中在與人類生活最直接相關的資源方面，包括：資源探勘及開發利用等。累積了近百年的經驗，資源方面的應用研究已甚為成熟。相對之下，工程、水文及環境方面的應用則起步稍晚，直到近十餘年來，基於實際需要，此三方面才逐漸受到重視。各大學中逐漸有工程地質及相近科系的成立，致力於工程、水文及環境地質研究。例如：英國的德倫大學、奧地利的格拉次大學、美國的密蘇里州立大學及柯羅拉多礦山大學，以及中國的南京大學、成都科技大學、中國地質大學(北京)及中國地質大學(武漢)等。學會組織也開始設立，例如：國際工程地質學會、日本應用地質學會、倫敦地質學會工程組等。社會上也建立了工程地質及水文地質的專業技

師制度，例如：美國加州設 Professional Geologist 及我國的應用地質技師等。

國內的地質應用研究也是從經濟地質方面開始。早在臺灣光復前，金礦、煤田及石油方面的探勘研究已具有基礎，更在光復後發揚光大，使金瓜石的金礦曾在世界礦業界名噪一時。深入地面一千公尺以下去開採三十公分左右的薄煤層，也堪稱一絕，而足以留存礦史。近二、三十年來西部的石灰岩與粘土礦，東部的大理石、白雲石、蛇紋石及臺灣玉等石礦開發，雖不若金礦等須要較深入的地質應用，但亦有地質學者參與探勘及開採工作。

工程方面最早係應用在水壩及相關隧道建設上。民國四十年左右迄今一系列的大型水庫建設，包括：霧社、谷關、德基、石門、曾文及翡翠等工程，皆有許多地質學者投入工作，應用其地質智識與經驗參與工程規劃、設計及施工中的地質調查及工程地質處理工作。近年來，許多大型水力發電計畫，例如：明湖、明潭及新天輪等工程，因大量的隧道及地下電廠工作，有更多的地質人員及礦冶科系的畢業生深入地下，在工作面做地質觀察、記錄及評估，並在現場決定隧道支撐的方法。公路及鐵路工程也開始有較多的地質人員參與工作，例如：北二高、北宜、南迴鐵路及高速鐵路等工程計畫。此外，在坡地開發方面，較大型者，例如：萬芳社區、大臺北華城等亦有地質人員直接參與；近年來許多山坡地開發案亦有許多應用地質技師負責地質調查及評估。

地下水方面過去主要是由臺糖及自來水公司進行地下水開發，由水資源委員會從事規劃、研究及管理。近年來由於環境污染及地層下陷問題受到重視，許多學者投入地下水探測、水質分析、滲流分析及汙染物傳輸模擬等工作上。另溫泉及地熱田方面早期是由當時的礦業研究所(現在改稱為能源與環境研究所)主辦，後來中國石油公司繼續了土場、金崙等地熱區的探測與開發工作。2005 年溫泉法施行後，許多應用地質技師投入溫泉調查評估工作。由於近兩年國家型能源計畫之推動，地熱田及深層地熱方面也有許多地質學者專家參與研

究。

環境地質研究起步較晚，與工程地質相關的地質災害部份在工程界一直略有廣泛的調查與討論，與水文地質相關的地下水污染方面近年來則蓬勃發展，而國內在資源利用與環境管理上則較少研究。數年前，爭論一時的立霧溪水力發電計畫及太魯閣國家公園門口的水泥廠建廠問題皆為標準的環境地質問題，很可惜，參與的學者除了極少數外，多未能從此一觀點來做客觀的分析及整體性的評估。隨著社會發展地質災害與地下水污染問題愈來愈受重視，地質科系的畢業生也有一大部分往此方面發展。2000 年土壤及地下水污染整治法公布，應用地質技師為本法簽證技師之一。中央大學應用地質研究所有為數不少的畢業生在從事土壤及地下水污調查及染整治工作，惜均尚未取得應用地質技師資格。這可能也是應用地質在未來發展上，大家須要共同努力的地方。

測勘方面，過去已在煤田、石油及工程地質等調查上多所應用，尤其是震測方面早已在石油方面探勘上扮演極重要的角色。最近，國內在淺層反射震測法的技術發展上已頗有成就，將來可能被廣泛地應用在工程地質上甚受重視的斷層調查及崩塌地調查等問題上。同時，電測及電磁測目前也已發展得頗為成功，並應用於地下水及斷層調查等諸問題上。

應用地質學的未來發展

由於世界人口的不斷增加 (2008 年為 68 億，2050 年可能增加為 90 億)，資源的逐漸耗盡，工程建設的日益大型化與複雜化，水及環境的污染問題增加，核廢料最終處置的棘手問題，以及全球暖化與極端氣候下加激的地質災害衝擊，應用地質學的各個部門，無論是工程、水文、環境或資源的應用研究將愈來愈形重要。在未來的發展方向上，首先，由於應用上牽涉的知識範圍甚廣，科技整合及不同領域的學者的攜手合作將甚為重要。其次，測勘方法的改進及新技術的開

發為一項極重要的課題。再者，由於應用問題極須要經驗及基本資料的支援，因此資料庫及案例庫的建立，專家系統及地理資訊系統的應用將使成果更加豐碩。其他研究方向包括：全球自然環境變化問題、核廢料地質處置研究、二氧化碳地質封存及深層地熱資源、甲烷水合物探勘技術研發、活動斷層及地震防災研究、山崩與土石流暨坡地防災研究、大型隧道及地下結構工程的工程地質研究、地下水污染、超抽、地層下陷問題的分析與防治研究等。由於電腦資訊日益龐大，資料分析及精煉技術日形重要，應用地質領域自然不能見外而須更為加強。工程地質實務問題與立法院通過「地質法」息息相關，將在下一節說明。

地質法公布後地質工作人員之衝擊與機會

地質法公布後對地質工作人員主要之衝擊在於「地質敏感區」的公告與土地開發行為管制的問題。地質法公布的地質敏感區將包括：活動斷層、重大山崩及特殊地質景觀等。其中真正影響重大的是位於城鄉發展地區活動斷層的公告。然而，「活動斷層兩側一定範圍應納入限制發展地區」早已在臺灣北、中、南、東部區域計畫暨第 1 次通盤檢討中規定，並已在歷年之開發計畫審議中由地質調查所及區域計畫委員會專家委員把關而獲得落實。地質法公告活動斷層地質敏感區對未來的開發計畫審議會增加法源依據而使審議過程更有效率，對人民權益也不會有額外的不利之影響。惟需注意的是：對於已發展地區應有法律不溯既往之說明，日後再由主管單位做市地重劃，予以規劃為社區公園、保護區，或是進行土地的交換，甚至減免稅收或由政府提出積極補強結構的補助計畫等。重大山崩及特殊地質景觀多位於人煙罕至的山區，將來可以比照「特定水土保持區」妥為規劃後公告。謹慎為之，或可減少民怨。

地質法公布後於地質工作人員主要之機會歸納如次：

一、地質工作人員將有機會參與下列工作：

- (1)參與「地質調查評估審議委員會」。(專家學者)
- (2)執行基地地質調查及評估並簽證。(執業技師)
- (3)參與地質調查及評估結果審查。(專家學者、執業技師或專業團體)
- (4)參與地質災害之調查及鑑定。(執業技師或專業團體)

二、地質類科畢業生之就業機會：

- (1)執業技師。(應用地質技師、大地工程技師、採礦工程技師、水土保持技師)
- (2)技師事務所之從業人員。
- (3)工程顧問公司之專業人員。(地質師、研究員、specialist)
- (4)政府機構之公務員。(地質調查所、營建署、工程會、高工局、高鐵局、公路局、鐵路局、水保局、水利署、環保署等)
- (5)專業團體之從業人員。(能從事審查、調查與鑑定之學會、協會、公會、研究所及中心等)

三、應用地質技師之服務機會：

- (1)基地地質調查及評估業務。
- (2)地質調查及評估審查案。
- (3)地質災害之調查及鑑定案。
- (4)工程顧問公司之協力機構。(重大公共建設之規劃及選址)

四、基地地質調查及評估之可能服務項目：

- (1)一般土地開發案之基地地質調查及評估報告並簽證。
- (2)重大公共建設之規劃及選址調查及評估案。(可含簽證)
- (3)一般地質敏感區調查及評估報告並簽證。
- (4)活動斷層調查及評估報告並簽證。(地質法公布後數年內之業務重點)
- (5)順向坡敏感區調查及評估報告並簽證。
- (6)山崩敏感區調查及評估報告並簽證。
- (7)土石流敏感區調查及評估報告並簽證。
- (8)廢礦坑與礦渣敏感區調查及評估報告並簽證。

- (9)河岸侵蝕與向源侵蝕敏感區調查及評估報告並簽證。
- (10)地層液化敏感區調查及評估報告並簽證。
- (11)地質景觀敏感區調查及評估報告並簽證。
- (12)地質環境敏感區調查及評估報告並簽證。(重要地質露頭、特殊能源礦產、易因自然作用或人為活動而遭致破壞之地下水補注區等)

五、為因應「全國地質調查之調查內容至少每五年應通盤檢討一次」之需所增加之額外工作機會。

結 語

傳統上，地質研究人員的自我認知可區分為兩大派，一派認為地質學是藝術創作 (creative art)，另一派認為地質學是準確科學 (exact science) (Bemmelen, 1961)。當然，這是指傳統的地質學研究，應用地質學自然是準確科學；藝術創作的模糊心態會降低成果的可信度，從事應用地質工作應有這樣的認知，盡量避免「也許」、「可能」、「大概是」、「不過」、「我們不敢說」的含糊說法。實務工作上，應用地質工作者是以準確的資料描述、分析及報告來呈現其工作成果，並以成熟的合約技巧來釐清責任，而非模擬兩可含糊應付。

應用地質學既然是一門準確科學，則相關人員在傳統地質學之外，最好加強數學、物理及統計等基礎科學訓練，才能勝任愉快。國內，中央大學應用地質研究所的課程設計就很重視這一些基礎訓練。可惜的是，加重數理常使地質系的畢業生望之怯步，也難以吸引應用地質技師及相關從業人員前來進修。缺乏可靠的數理工具支撐的情形，常久下去將使應用地質學在台灣的未來發展不能樂觀。

在野外地質日漸式微的時代，一個理科的大學畢業生如果沒有良好的數理基礎，則其專業上的前途堪慮。地質人員若能先在數理及各種定量的分析技術上加強，則可建立科學研究的信心，然後再帶著信心到野外去做科學研究最基礎的觀察工作，可能可以尋回野外工作的

應用地質技術，第二卷，第5至13頁。

熱忱。地質人員有了野外工作的熱忱，應用地質學的未來發展才有希望。

應用地質的各個學科目前都還是發展中的學問，基本上還具有理科的探索性質，而不像工學院的學科已可以提供許多成熟的技術，較容易學習也較容易應用。應用地質的工作人員可能也須要有這樣的體認：我是一個科學研究的工作者，我一直在發覺自然界的真相，我希望提供我的知識給大眾，期望大家能與大自然和諧相處。

參考文獻

- Bemmelen, R. W. Van (1961). The scientific character of geology. *J. Geology*, 69(4), 453-563.
- Campbell C. J., Laherrere J. H. (1998). The end of cheap oil. *Scientific American*, 278, 78-83.
- Jackson, Julia A. (1997). Glossary of geology. 4th ed., American Geological Institute, 769p.
- Pehrson, Elmer W. (1962). Mineral supply. *International Science and Technology*, 2.
- Kerr, Richard A. (1998). The next oil crisis looms large – and perhaps close. *Science*, 281, 1128-1130.