

地球化学

V.M. 戈尔德施密特 著

科学出版社

卷之三

三

三

51.0
13.2

地 球 化 學

V. M. 戈尔德施密特著

沈永直 鄭康樂 譯

何作霖 郭承基 裴榮富 審校

科 学 出 版 社

1959

V. M. GOLDSCHMIDT
GEOCHEMISTRY

Oxford at the Clarendon Press, 1954

內 容 簡 介

本書是地球化學方面的世界名著，書的作者 V. M. 戈爾德施密特氏是世界上著名的大科學家之一。本書從內容上共分為兩大部分：

第一部分共六章，主要是以作者多年的研究工作成果，論述了地球化學的一般概念、發展歷史和研究範圍；同時還分別地論述了各種元素在地球上的分佈及其演化作用，並以許多論據和分析資料提出了元素的地球化學分類；作者對岩漿岩演化過程，也提出了許多嶄新的論點；也根據地球化學過程中的定量研究論述了某些基本數據，特別是論述了某些元素的地球化學平衡問題。作者從 1922 年開始聯系了隕石、天文學、天體物理學、原子理論以及原子核物理學的數據分析了宇宙及其各種分離體內的化學成分。最後一章“與地球化學有關的一些晶體化學原理”是作者多年來最有成就的一章，其中探索了晶體構造與化學成分之間的關係，晶體物質的化學成分和物理性質之間的關係等。

第二部分是把所有元素分成八族，另加零族（惰性氣體元素），並以自己的多年來實驗總結分別論述了各個元素的地球化學。

地 球 化 學

V. M. 戈爾德施密特著

沈永直 鄧堪樂 譯

何作霖、郭承基、裴榮富 審校

※

科學出版社出版（北京海陽門大街 117 號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 號

中國科學院印刷廠印刷 新華書店總經售

※

1959 年 8 月第一版

書號：1817 字數：630,000

1959 年 8 月第一次印刷

開本：787×1092 1/18

（京）精 1—2,200

印張：32 插頁：2

平 1—2,000

定價：精裝本 4.40 元
平裝本 3.75 元

原著編者序言

編著這本書開始是由麥谷萊土壤研究所所長奧格爵士(Sir William Ogg)建議的，已故的戈爾德施密特教授當時曾是這個研究所的農業研究委員會的賓客，以後他便在這個研究所裏工作，繼而又在洛森史特工作。當戈爾德施密特氏在英國最後的六個月中，他的興趣轉變到從前曾研究過的“硅”的問題(Silicosis Problem)方面，好像他對於著作沒有做更多的工作。從他1946年夏季回到奧斯陸以後，也只寫過一點補充材料，並且在已完成的章節裏也沒有任何修正；有些表及許多註解也都是殘缺不全或有錯誤的。由於這種情況，關於本書完成的过程，有予以說明的必要。

本書分前後兩篇，大致是連貫一致的，但作者認為在原理還不能完全闡明以前，應該更多地注意個別元素的地球化學。因此當第二篇差不多快完成時，而第一篇還沒有開始。應當指出，第一篇中的第四章譯自戈爾德施密特的“量的地球化學”的第一篇，這是應戈爾德施密特氏的請求，由本辛女士(Miss B. Benzian)翻譯的，當時戈爾德施密特氏在洛森史特工作，以後本辛女士爲了完成本書的第五章又翻譯了他寫的晶體化學(1933)的部分。假如作者還活着的話，無疑的他將對於曾經寫的第一篇做出重要的修正，特別是晶體構造的那一部分。然而，在第一篇中總結了這一方面的發展情況，提到晶體化學與戈爾德施密特的名字是分不開的。第三章也是片斷的，但是補充了一部分來自 Verteilungsgesetze 'ix' 中的材料，已比較完全[這部分材料是由陸史巴特博士(Dr. P. Rosbaud)爲我翻譯的]。

在第二篇中，只有磷和硒兩章作者沒有開始寫，雖然對於硒有一些筆記。我很幸運地在獲得戈爾德施密特氏的友人——林特格林博士(Dr. St. Landergren)——來寫磷章；我也從戈爾德施密特氏的筆記加上他的文章中有關這方面的材料完成了硒章。鐵、鈷、鎳、鋁及硫等章本來是不完整的，但諾克柯爾特博士(Dr. S. R. Nockolds)已欣然完成了鋁章，本辛女士爲了第八族金屬已很好的翻譯了 Verteilungsgesetze 'ix' 的一部分，這是根據戈爾德施密特氏的遺囑作的，使我完成了鉑金屬元素這一章。本篇元素的排列與薛德維克氏的“化學元素”(Sidgwick's Chemical Elements)中的排列大致相合。

在本書裏還加入了許多新的參考文獻和註解，有一些摘自戈爾德施密特氏的筆記，除上述各章外凡由我加入的，都加以方括弧。有關天文數據的選擇，幸有魯賽爾

01183

教授(H. N. Russell)的指導。

原料研究所的凱凡爾亨博士(Dr. A. Kvalheim)(現在在特倫德吉(Trondhjem)),是戈爾德施密特氏的繼承者,他不僅爲我收集了戈爾德施密特氏的文獻,還供給我其他已編入的材料。沒有他的幫助,想出版這本書是比較困難的。

除了上面所提出的以外,我還應感謝幾個朋友和同事,花了他們很多時間校閱原稿和校正數據。蒂萊教授(C. E. Tilley)和諾克柯爾特博士(Dr. Nockolds)對於本書第一篇的內容和編排,提出了許多意見;諾克柯爾特博士還審校了本書第二篇的一部分並在許多方面幫助了我。我的同事斯蒂芬博士(Dr. I. Stephen),白特勒博士(Dr. J. R. Butler)和密切爾氏(Mr. W. A. Mitchell)對於本書的前後二篇都幫助不少。諾克柯爾特博士和白特勒博士幫助我分担了最繁重的審校工作,他們二人的幫助是非常可貴的。我希望本書的索引對讀者能有所幫助。最後對出版本書的卡拉侖敦印書館致以謝忱。

阿萊克斯·苗爾

作者序言

對於任何一個作者來說，要想討論地球化學的整個領域，當然是很困難的。但這本書至少有這樣嘗試，即企圖來說明現代地球化學的一些概念和範圍。這個嘗試是在許多困難情況下進行的。1942年作者離開挪威後，首先短時間作客於瑞典，特別是以後作客於英國的期間，使作者有可能來寫這本書。當挪威（作者的祖國）被佔領期間，折磨了作者的事業和損害了作者的健康，迫使作者消耗很多時間在醫院和療養院中。這本書的大部分就是在這些條件下寫作的，如果沒有許多英國同事們的親切幫助，如他們為這本書供給了許多資料，對於有關的問題提出了許多意見，以及關於文字方面修正的友誼合作，是不可能完成的。

V. M. 戈爾德施密特

目 錄

原著編者序言	(i)
作者序言	(iii)

第 一 篇

第 一 章	地球化學的範圍和發展	(1)
第 二 章	元素在地球演化中的分佈	(9)
第 三 章	岩漿岩的演化	(21)
第 四 章	地球化學過程中的定量論述：某些基本數據	(38)
第 五 章	宇宙和其各種分離體內所集中的化學成分	(57)
第 六 章	與地球化學有關的一些晶體化學原理	(65)

第 二 篇

元素的地球化學

第 一 族	氫	(101)
第 一 族	A 碱金屬元素	
	銦	(103)
	鈉	(112)
	鉀	(120)
	銣	(131)
	銻	(137)
第 一 族	B 銅、銀、金	
	銅	(140)
	銀	(151)
	金	(158)
第 二 族	鋅	(165)
第 二 族	A 碱土金屬元素	
	鎂	(171)
	鈣	(179)
	銻	(191)
	鋇	(196)
	鐳	(201)
第 二 族	B 鋅、鎘、汞	
	鋅	(203)

	鎢.....	(210)
	汞.....	(215)
第 三 族	硼和鋁	
	硼.....	(219)
	鋁.....	(228)
第 三 族	A 鈦、鉍和稀土元素	
	鈦.....	(236)
	鉍與稀土元素.....	(239)
第 三 族	B 鎳、銻、鉍	
	鎳.....	(249)
	銻.....	(259)
	鉍.....	(262)
第 四 族	碳	(265)
第 四 族	A 硅、鍺、錫、鉛	
	硅.....	(278)
	鍺.....	(293)
	錫.....	(303)
	鉛.....	(308)
第 四 族	B 鈦、銻、鉛、釷和超鈾元素——釷系	
	鈦.....	(316)
	銻和鉛.....	(325)
	釷.....	(329)
	超鈾元素：釷系.....	(333)
第 五 族	氮、磷	
	氮.....	(336)
	磷.....	(351)
第 五 族	B 砷、銻、鉍	
	砷.....	(362)
	銻.....	(368)
	鉍.....	(371)
第 五 族	A 鈳、銻、鉍	
	鈳.....	(375)
	銻和鉍.....	(387)
第 六 族	B 氧、硫、硒、碲	
	氧.....	(392)
	硫.....	(405)
	硒.....	(412)
	碲.....	(420)

第 六 族	A 鉻、鉬、鎢、鈾	
	鉻.....	(423)
	鉬和鎢.....	(430)
	鈾.....	(435)
第 七 族	B 鹵族元素	
	氟.....	(439)
	氯.....	(452)
	溴.....	(463)
	碘.....	(467)
第 七 族	A 錳、銻、第 43 號元素	
	錳.....	(481)
	銻和第 43 號元素	(498)
第 八 族	A 鐵、鈷、鎳	(502)
第 八 族	B 鉑金屬元素	
	鈳、銻、鈾和銻、鈷、鉑.....	(525)
零 族	惰性氣體元素	
	氦、氖、氬、氪、氙、氡	(540)
	人名索引及參考文獻	(545)

第 一 篇

第一章 地球化學的範圍和發展

近代的地球化學是根據原子和離子的性質，研究化學元素在礦物、礦石、岩石、土壤、水及氣圈中的分佈和含量以及這些元素在自然界中的轉移。這門科學不僅限於研究用來作為區別物質的最根本單位的化學元素，還包括研究各種同位素(或原子的種類)的分佈和富度，並包括核子在宇宙的頻率及穩定性等問題。

對人類來說，地球化學具有非常重要的意義，尤其是對於採礦、冶金、化學工業、農業等都有用處，當然地球化學所研究的是指地球上的物質，特別是接近於地球最外層的物質。然而關於物質組成的比較研究往往是有助於地球化學的研究的，甚至有時可以說是不可缺少的，研究的範圍也包括星、太陽及星際間的組成成分，總之，必須非常仔細地研究代表宇宙物質試樣的隕石。

研究地球化學的基礎是：礦物學、岩石學及地質學的研究結果。從多方面來說，為了解決地球化學上的問題，近代的原子化學及原子物理，以及物理化學也是主要的基礎科學。然而，與地球化學有關的，不僅有理論化學和理論物理，而且還與近代的無機結晶化學有關。X-射綫光譜用來作為化學分析方法以及應用炭弧的定量光學光譜的發展，都與地球化學上的應用有關。

近代地球化學與理論及實用生物學之間，也有極密切的關係。許多化學元素在自然界的分佈和轉移都與植物及動物所引起的生物化學作用密切有關。農業、採礦、工業，所有這些都是現代人類活動的結果，這些也都會影響地球化學的作用。特別是農業與地球化學更有關係。一世紀多以來，我們已知道碳、氧循環的重要性，並已知道鉀、磷及氮三種“肥料”元素對於農業上的重要性。但在最近三十年以來，人類已發現某些微量元素對於植物和動物的營養及人類的新陳代謝都有重要作用。

應用地球化學的調查方法已變為研究海洋、湖沼的重要方法之一，而且對於近代海洋學，湖沼學都有很顯著的成果。地球化學對於研究地球氣圈的成分和轉移也有重要意義。

地球化學的概念，並不僅是這一世紀奠定的。早在 1838 年瑞士化學家許拜恩 (Chr. F. Schönbein) 氏預料將來會有地球化學這一門科學，別史切夫氏和洛史氏 (K.

G. Bischof and J. Roth) 曾收集了當時所知的地球化學數據。以後美國科學家克拉克氏發表了名著：“地球化學資料”，這是有關地球化學的最早期的著作。

很自然的，在最初八十年中地球化學發展的一種趨勢，是以收集和編纂礦物、岩石、隕石以及地球上的水和氣體的分析數據為特徵的。的確，一種礦物、岩石、礦石或海水的每一種分析，都可以認為有助於地球化學的發展。偉大的瑞典無機化學家們，從貝爾賽里士 (Berzelius) 及其同時代的許多化學家開始，他們分析了多數的礦物和礦石，這對於地球化學是有很大貢獻的。值得紀念的有范特霍夫 (J. H. van't Hoff) 氏的工作，他應用物理化學的方法來研究地球化學，創立了海水蒸發後形成岩鹽礦物的理論。

但即使在地球化學研究的早期，對於某些重要元素及其化合物的轉移也有許多卓越的貢獻，如頓姆斯 (J. A. B. Dumas) 氏對於碳和氧地球化學方面的研究，以後又有德國的許洛生 (Th. Schloesing) 氏，瑞典的洪本姆 (A. G. Högbom) 氏從定量上測定了碳、氧的地球化學。

近來，阿倫尼烏斯 (Svante Arrhenius) 氏討論了二氧化碳在地球化學方面所起的重要作用，繼起而研究的是龍德格德 (H. L. Lundegårdh) 氏，進一步又有布赫 (K. Buch) 和華頓本 (H. Wattenberg) 氏，他們把二氧化碳的地球化學與海洋學中的許多問題聯系起來了。許多蘇聯的科學家如：沙蒙洛夫 (J. W. Samoilov) 氏，特別是維爾納德茨基 (W. J. Vernadsky) 氏，以後又有費爾斯曼 (A. E. Fersman) 氏及維諾格拉托夫 (A. P. Vinogradov)，他們都認為在地球化學中，生物化學作用有非常重大的意義。

現代海洋學方面的進步開辟了另一個新的地球化學方面的領域。微量海水分析方法的發展以及海底沉積物取樣方法的改進，對於研究占有地球表面 3/5 面積的海洋來說，有利於作更精確的地球化學研究。我們將提出下列這些著名海底探險船的名稱，因為它們對海洋地球化學已做了很多工作，在七大海洋中取出了很多循環物質的樣品，供給了我們不少知識。這些探險船是：張倫吉號 (Challenger)，弗拉姆號 (Fram)，茂德號 (Maud)，米蒂號 (Meteor)，卡尼吉號 (Carnegie) 及西柏格號 (Siboga)。此外較小的探險船有：亞爾麥號 (Armauer)，漢森號 (Hansen) 以及丹那號 (Dana) 等。這方面大多數的成果是海洋地球化學和現代水力學共同合作研究的結果。應該指出斯托洛姆 (K. Münster Ström) 氏對於海底水的研究最有貢獻，當然也不能忘記許多海洋學者及石油地質學家對於海成沉積物方面所作的系統研究。

此外，湖沼科學方面的發展，在地球化學研究工作中，也起了重大作用。例如我們可以指出愛史爾 (W. E. Einsele) 氏，對於湖水中鐵、磷、硫的轉移方面的重要研究，

這些研究對於土壤地球化學开辟了新的遠景。

在十九世紀的最後二十五年中，地球化學的一般進展不僅趨向於精確數據的累積，而且對於這些事實找到了理論上的解釋。

近代的熱力學，尤其是“自由能”的概念，在原則上使我們有可能推論元素及它們的化合物在任何溫度及壓力下，在液相和氣相之間的分佈情況，假定我們知道它們的熱力學常數的話。德國能斯特（W. Nernst）氏和美國李維斯（G. N. Lewis）氏提供了“最低自由能”的概念，從這個概念決定了自然界中物理-化學變化的方向，因此正如費爾斯曼特別強調的，最低自由能控制着岩石及礦物的形成作用與穩定性質。自由能的變化也控制了幾種液體和氣體系統的平衡作用，因而，也決定了化學元素在地球早期演化中以及其他宇宙系統中的分佈情況。

凱萊（K. K. Kelley）氏和其他共同工作者研究了冶金過程中的熱力學，對於地球化學來說，提供了非常重要的知識。

在十九世紀的下半期，華盛頓·卡尼吉研究所的地球物理實驗室，對於物理-化學系統定量方面的研究，尤其是關於與岩漿岩中礦物形成有關的硅酸鹽的研究，對於硅酸鹽在高溫時的平衡作用，提供了非常寶貴的知識。我們可以說有關硅酸鹽的物理化學的現代知識，大多數是這個實驗室的研究成果，以後挪威的弗吉特（J. H. L. Vogt）氏，對於硅酸鹽爐渣及天然礦石和爐渣以及岩漿岩石中硅酸鹽-硫化物系統的物理化學，進行了許多有價值的創造性工作。

當我們考慮到結晶過程中的平衡作用時，則引起了許多新的問題。談到結晶系統時，我們必須要應用到物理化學的一個特別分科——即所謂晶體化學；大體上講，結晶化學就是研究結晶物質的成分與性質之間的關係的。法國的海羽（R. Haüy）氏，德國的密歇里希（E. Mitscherlich）氏和輓近荷蘭的李格（J. Retgers）氏都是晶體學方面的奠基者，他們提供了原始的晶體化學資料。但自從勞埃（Max v. Laue）氏發現晶體的X-綫繞射以後，才奠定了現代晶體化學的基礎。這種發現導致布拉格父子（W. H. and W. L. Bragg）等關於晶體構造的研究。戈爾德施密特氏發現了晶體構造與離子及原子的半徑之間的關係後，使晶體化學又向前邁進了一步。戈爾德施密特氏認為：任何原子或離子進入結晶體的結晶格子中時，決定於它們的大小。因此溶解於岩漿或水溶液中的質點，可以根據它們的大小來挑選晶體礦物的晶格，原子或離子的大小可以相當正確地由它們的半徑來決定。由晶體構造中的各種質點，可以用來推算出許多離子半徑的標準數值，戈爾德施密特氏及以後的其他科學家所選擇的標準狀況都是氯化鈉型晶格中的離子。

以後,又經過戈爾德施密特氏及其共同工作者的研究離子及原子大小後指出:應用離子半徑和離子電荷的知識,不僅可以推論礦物中可能有何種元素進入,而且還可以推論含有各種大小不同的原子價及離子半徑的質點在類質同像混合物中的結晶順序。研究晶體化合物及含有許多稀有元素的晶體化合物後所得的多數晶體構造資料,為在各種不同的離子化作用中所有元素的離子半徑表的製作,提供了必要的基礎數據。因而可以理解礦物中固溶體的形成實況,甚至還可以知道少量的稀有元素在各種主礦物中的分佈情況。由於這種發現,使工作可以順利進行,即為了比較各種晶體構造型中原子間的距離,可以獲得轉換因數,因此許多有用的或特別測定的晶體構造資料可用於計算比較標準的離子半徑。例如在 CsCl 中,陽離子與陰離子中心之間的距離除以系數 1.3 後,才與標準 NaCl 型中的原子間的距離正相合。戈爾德施密特氏曾經建議:對金屬結晶體(元素或合金)來說,計算半徑時,與離子結晶體對比則以配位數 12 的標準狀態為根據。

布拉格(W. L. Bragg)氏早期計算的晶體中質點的半徑(從離子鹽,共價化合物和金屬中所得的),都是不相稱的,一般說來陽離子半徑太大了約高出 $0.7\text{\AA}$,而陰離子半徑是太低了約低 $0.7\text{\AA}$ 。早在 1923 年,華沙史其那(J. A. Wasastjerna)氏利用離子容積和離子折射之間的關係,正確的測定了某些離子的半徑。

離子半徑與礦物中各種元素的分佈和共生之間的關係,主要是由戈爾德施密特氏和其共同工作者(從 1922 年到 1924 年)研究了三價鏷系元素(稀土類元素)的化合物及礦物後發現的。在那個時候,分析技術的革新變成不可缺少的工具。哈定(A. Hadding)氏根據毛史萊(H. G. J. Mosely)氏發現的各種元素的 X-射綫光譜的規律性,採用 X-射綫光譜來分析礦物和一般的無機物質。

從 1923 年以後的六年中,已經廣泛的應用 X-射綫光譜,來測定礦物中稀有元素的分佈,同時 X-射綫晶體學方面提供了稀有元素的原子及離子半徑。研究的目標所以集中在稀有元素方面的原因,當然是因為缺乏有關這方面的分析和晶體構造上的數據,測定這些數據在地球化學的研究上有重要的意義。自從 1929 年以後,在多數情況下, X-射綫光譜已為光學光譜所代替,光學光譜在絕大多數的情況下具有更高的靈敏度,因此常常可以省去從粗礦或岩石進行化學濃縮的手續。在 1930 到 1935 年的期間內,作者葛丁格實驗所裏的曼門柯伯夫氏和彼德氏(Mannkopff and Peters)改進了在電極之間使用的特別精製的炭棒弧。

自本生(R. Bunsen)氏及克切霍夫(G. Kirchhoff)氏發現了光學光譜以後不久,許多研究者就開始利用光學光譜來研究許多稀有元素的地球化學。德·格拉蒙特

(A. de Gramont) 氏和克洛克爵士 (Sir William Crookes) 進行了重要的光譜前驅工作, 哈特萊 (W. N. Hartley) 氏和萊曼吉 (H. Ramage) 氏的研究尤其值得注意。天文物理學家艾白哈德 (G. Eberhard) 氏研究了鈾在地球的物質中的廣泛分佈, 龍德格德氏用光譜定量分析的方法研究了行星中的礦物成分的問題, 這些工作都是異常可貴的。自 1929 到 1935 年, 作者在葛丁格實驗所和其共同工作者主要用光學光譜, 有時結合化學濃縮的方法研究了許多較不常見元素的地球化學。

差不多在同一個時期, 哈佛賽 (G. Hevesy) 氏和考司脫氏發表了主要根據 X-射綫光譜關於含鉛礦物中鉛元素問題的多數有價值的研究。銻的發現者 I. 及 W. 諾達克二氏 (I. and W. Noddack) 特別致力於研究稀有元素在隕石及地球上的物質中的含量, 在某些情況下由於他們對於所研究的物質的性質缺乏礦物方面的鑑定而減低了研究成果的價值。弗列本 (Freiburg) 的許耐特洪氏實驗所 (Laboratories of H. Schneiderhöhn) 中的毛立茲 (H. Moritz) 氏對於礦石內的礦物及副成分曾作了許多有價值的研究工作。

然而, 自從 1920 年以後, 地球化學的進展並不為光學光譜及 X-射綫光譜分析方法所獨占。我們可以一提的, 還有測定放射性元素時所應用的特殊放射分析的物理方法, 這種方法的靈敏度在多數情況下是無可匹敵的。不但如此, 而且與地球化學有關的化學分析方法也在不斷的進展着。我們可以指出: 由海洋地球化學方面所提出的海水中磷酸鹽測定的近代方法、測定碘時所用的濃縮比色分析方法 (麥克萊登氏及菲侖保氏, J. F. McClendon and Tb. V. Fellenberg)、測定硒時所用的濃縮比色分析方法 (皮耶氏, H. G. Byers), 總之, 這些化學分析方法都被用來測定微量金屬的成分。特別應當提出的還有山得爾 (E. B. Sandell) 氏的重要工作, 他致力於岩漿岩石中稀有金屬成分分析方法的研究。

約從 1922 年到 1935 年這一個時期, 許多學者都特別注意稀有元素方面的研究, 對於局外者來說, 好像地球化學是主要研究不常見元素科學中的一種分科。當然, 這樣看法是錯誤的。地球化學所研究的包括常見的元素和不常見的元素。關於稀有元素的多數研究, 僅僅是因為在那個時候, 有關稀有元素的地球化學很少了解, 人們急切地想知道有關這些元素的新資料的緣故。然而, 在那個時候對於一般元素的地球化學也做了相當多的工作。人們可以參閱作者在 1933 到 1934 年, 曾定量地討論了許多重要的普通元素在沉積建造中的地球化學循環, 寇尼 (H. Kuehnen) 氏及波爾 (J. H. Poole) 氏也作了許多類似的工作。

地球化學中所討論的“離子電位”學說, 有助於了解元素在沉積次序中的分佈, 從

而可以從離子電荷除以離子半徑所得的商中，得到元素在風化作用和沉積物形成作用中分佈的一般綫索。同樣，氧化和還原的問題，對於能在各種不同氧化階段的自然環境中存在的許多元素的分佈是很重要的，例如鐵、錳、鈳、鉻或硫等元素，已由斯特謝爾比那 (N. V. Stscherbina) 氏在最近的研究工作中，將它們弄清楚。

最近二十年以來“痕量元素”的分佈為什麼特別受人重視呢！這是因為痕量元素對於農業上具有重要意義的緣故，如它們對於植物、人類及動物營養上的重要作用，或由於這些元素過量存在時，對於動植物的危害性。對營養有利的痕量元素有：硼、鈣、銅、鋅及碘等；有害的有氟、砷及硒等。在這一方面，白侖切萊 (W. E. Brencley) 氏，皮耶 (H. G. Byers) 氏，密切爾 (R. L. Mitchell) 氏及其他學者都做過一些光輝的工作；由於他們的辛勤工作肯定了痕量元素的地球化學與農業上的關係。

某些煤灰內所富集的多種稀有元素與某些植物，尤其是森林腐植質和森林土壤的最上層內所富集的多種稀有元素，可能有密切關係。戈爾德施密特氏及彼德氏自 1930 年以後曾一直在研究了這一方面的現象。

土壤科學和沉積岩的地球化學之間的結合是多方面的，而且是很重要的。在絕大多數的情況下，風化作用、土壤形成作用和土壤的侵蝕作用過程，都是形成沉積物以前的預備階段。戈爾德施密特氏指出土壤成分的分化，例如砂、泥沙、黏土、結核體、溶解的離子，其發展與殘積物、水解鹽、沉積的氧化物、碳酸鹽以及沉積的蒸發岩的沉積次序相當。因此，從多數情況來說，研究土壤和研究沉積物是密切相關的。然而，我們不應忘記，許多重要的沉積物質，大量的冰積物，它們從來不會經過真正的土壤階段。但是據最近研究深海沉積物的結果，另有許多情形說明：沉積物可以認為是“易位的及再沉積的土壤成分”。

土壤及沉積的水解鹽中的離子是由結晶質的黏土礦物所固定的，固定時大部分決定於極化力的相互作用，這種極化力是由黏土質點的表面與或多或少的極化離子（或水解鹽離子）聯合造成的電場所形成的。因此，正如諾爾及咸奈 (W. Noll and H. Jenny) 二氏研究所指出的：土壤與沉積物中的黏土質點在離子交換及吸附作用中，重要的不僅是離子的大小，而且還與它們的極化性質有關。

大多數低溫和中溫下的地球化學作用都與水溶液中所發生的反應有關。因此，對地球化學以及土壤化學來說，應儘一切可能來研究水的誘電性質 (dielectric properties)，這是非常重要的，因為或多或少地位置一定的極化水層必然形成在黏土礦物的格子層的表面上，這是由於電場的作用及它們吸附的離子所決定的。戈爾德施密特氏早期在 1928 年就已經指出：黏土聚合體的可塑性和‘健性’ (‘bonding’ properties)，

肯定地是由於格子層及偶極液體結合而形成的,因此,這些性質是依據所有類型的離子交換決定的。

現在可考察一下從地質歷史以前的最原始時期一直到目前情況下所發生的地球的地球化學演化的一般性質。曾經出現過許多不同的階段,在這些階段中不同的原子或離子的性質依次地具有特別的重要性。在地球的原始時期最先發生的地球化學作用與元素的親和力或自由能有關。在地球化學演化的較後期,於結晶作用的过程中原子或離子半徑代替了化學親和力的作用。更後一個階段,影響地球化學作用最強烈的是離子電位,離子電位支配了由離子造成的電場中偶極水和離子之間的相互作用,同時由離子電荷的變化而造成的氧化-還原電位影響了離子電位。這些不同的地球化學作用,從原始到現代,形成了上述的順序,但就整個地球來說,所發生的各種地球化學作用並不是一致的。從正在冷却的硅酸鹽岩漿硫化物的分離,確是一種原始的作用,但這種作用不僅在地質史以前可以發生,而且在地球形成以後也可以局部地發生,並且到現在也可發生這類作用,如輝長岩漿冷却時就有這樣現象。從太古代到現代都可以發生岩漿的分別結晶作用,在分別作用中,根據離子半徑的大小,分離出許多的元素來。沉積岩的沉積次序是由所含元素的離子電位決定的;例如根據離子電位的不同,使典型的水解沉積物的元素與海水中鹽類的可溶性成分分離,這種情形無論在前寒武紀或現代的沉積作用中都是非常類似的。

有關地球原始時期的地球化學現象,從研究天文物理、行星天文學以及研究隕石所得的結果中幫助不少。因而,得到了不少有關地球最早期的或將來的演化知識,或有關地球內部的尚不能直接觀察的部分的有用知識。在這一方面,可參閱魯賽爾(H. N. Russell)氏、潘尼(C. H. Payne)氏、魏爾特(R. Wildt)氏的卓越著作。

生物化學作用在地球化學作用中也是很重要的,尤其是對風化及沉積物形成的地球化學作用更為重要,但迄今為止還沒有完整的結論。我們應清楚的推想風化作用和土壤形成作用與地球上有機生物的各個進化階段有關,而且在陸地還沒有高等植物的太古代,其情況與以後是一定不同的。很早期以前形成某種的沉積礦床,如帶狀的石英磁鐵礦礦石,就是在這種情形下形成的。有系統的研究有機生物及地球化學環境之間的相互關係後,將有助於我們了解地球上生命的起源問題。

各種不同的元素或它們的同位素,為什麼具有不同程度的富集度的問題,引導我們涉及到物質的最根本的起源與穩定性的問題,這是核子物理學的根本問題。同位素的現代分佈對於地球的地球化學歷史來說,也是最重要的綫索,例如,除了典型的放射性元素以外,尚有氫、碳及氧等元素的同位素。在這一方面的工作做得最有成績