

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

對於熱水溶液運動原因的幾點意見

A. Г. 別傑赫金

(一) 熱液礦床，尤其是脈狀的，是從由於侵入岩漿的活動而上昇的溶液生成的，現在地質學家中無人對此提出疑問。這些概念的根據得自礦脈的空間位置與其所來自的火成岩間的關係的極多的觀察。

關於含礦溶液運動的原因的問題，很早就引起研究礦床的地質學家們的興趣。國外的關於礦床的地質文獻中，有充分的篇幅涉及這個問題，而至今仍在繼續討論（參考1950年以來 *Economic Geology* 雜誌的各期）。

國內（指蘇聯）的文獻中，有關這個題目的意見近來發表不多。有些地質學家們幾乎自然而然地認為熱水溶液的相當大的內壓力，就足以使其沿着岩石中的裂縫或其他可能遵循的途徑上昇。另外一些地質學家們則認為這個問題極複雜，因而也就不加以思考，並且也不作任何企圖來申論所觀察到的現象。

但是與此有關的問題應該引起我們的礦床學家們嚴密的注意。不消說，我們根本應該求得關於含礦溶液的運移的原因與方向的真實的概念。這些概念在與掌握礦床有關實際的一系列問題的解決上將有極重要的意義。近來從事於含礦區域的地質構造的研究日益衆多，特別是爲了樹立成礦作用在空間分佈的規律性的目的所作的礦區的構造研究。這些研究往往使我們相信並不是所有的適合於成礦的構造裂隙都同樣的適合於熱水溶液的流通及礦石的沉澱。因此，我們就不能躲避有關這種現象的原因的問題。

(二) 國外的地質學家們關於熱水溶液的“運動力”的解釋是怎樣的呢？關於這個問題最完全的綜合討論可在 Л. Грейтон^[1]發表的“成礦溶液的性質”專文中找到，此文不久以前曾譯成俄文。不談對於這篇文章的批判，其中含有有利於 Грейтон 所提出的概念的主要論據。我們將引用礦床地質方面最著名的專家的有關這個問題的個別的觀點和意見。

В. Линдгрэн^[2]在他的“礦床學”中涉及岩漿後期的水溶液的運動的原因時曾寫道：“氣體的不斷的分出，可能作爲運動的主力，它推動着在其前的凝結了的液

柱”。換言之，按照他的解釋，像他在另一處指出的一樣，溶液可能“由於蒸氣的壓力不斷地從下面推動而自動地”上升。

K. Росс 發表於 Линдgren 紀念文集^[3]的文章中，實際上也保持了同樣的觀點，但是提出的更為肯定。他把氣相生成的可能性聯繫到殘餘的有揮發性物質富集的岩漿，“緊隨着斷層重新生成之後的滲透性甚高的時期”，氣相從此種岩漿中分出。同時他又提議：“氣相，通過與其有關的液相而上升，成為一種推動液體向壓力降低的方向運動的動力”。雖然這些話實際上是 Линдgren 意見的補充，但在 Росс 文中找不出關於壓力降低條件究竟是什麼的解釋。

Л. Грейтон^[1]詳細地分析了適合於深成的環境下氣體與液體的性質與行為而否認氣相對溶液運動的作用。按照他的見解，“運移的動力及流動的維持，將在於其是否為流體，而不管其為液態或氣態”。對於溶液的上升，他引用“外界的動力”，也就是上覆的岩柱引起的“擠壓力”。並且按照他的意見，隨着殘餘岩漿溶液體積的縮減應該發生上覆部份的塌陷。“因為含礦液體……其密度將大致不超過圍岩的一半，上覆岩層可能的塌陷將足以維持一個直立的含礦溶液柱，而且可以繼續成為在溶液流動時勝過摩擦力的後備力量。因此，它不僅能夠擠出成礦流體使其直向地面流動，而且繼續以此方式使從岩漿中產生的流體立即擠出，並且達到通道在岩漿處的終點”。

Грейтон 這樣無限制地假定了被分出的岩漿後期的含礦溶液能自在地從地表面經過裂隙系統而與岩漿儲所相聯。如果這裏所指的是在近於地表的環境中生成的脈狀礦床的話，則在某種程度上，可能與原作者的結論相符。但是從這種局部的現象在整個熱液礦床中所占的地位來看，則不能認其為正確。

В. Эммонс^[4]發表了一種完全相反的關於含礦溶液上升原因的解釋。他的討論依據在 Морее 的揮發性——不揮發性成分的實驗。這些實驗證明：隨着溫度的降低以及不揮發性成分結晶作用的進行，殘餘液體的蒸氣壓力增加得極快。Эммонс 更進一步地引證了矽酸鹽——水系(Ниттер 的圖解)的蒸氣壓力曲線的特性，而得到在花崗岩漿結晶時，其頂部積累的巨大的蒸氣壓力足以在花崗岩基周邊已凝固的殼層及其上覆岩石造成裂縫的結論。“這些裂縫的生成——他寫道——並且繼續到含金屬的偉晶岩的主要結晶期之後。因為偉晶岩照例的是早於正常的金屬礦脈。這些礦脈切穿偉晶岩。上面提到的 Морее 的實驗，指出了從冷卻岩漿中抽出含金屬的流體的一種方式”。

在這些文字中我們已經明顯的看到一種錯誤的認識。令人不解的是 Эммонс 竟沒有覺察出他的意見與 Ниттли 的圖解之間的抵觸，Ниттли 的圖解中指出在熱液作用期間（在偉晶岩期之後）蒸氣壓力曲線是相反的急驟下落，在形成大部分熱液礦床深成的環境中，從開始生成水溶液之時起，蒸氣壓力即變得小於外壓力。因而根本談不上任何被熱水溶液的內張力或壓力所引起的“擠出的”力量。其實，Морее 的實驗說明殘餘液體中壓力的增大，只是在矽酸鹽——水系冷卻及結晶的開始階段，而且在自然條件中，如果產生出來的內壓力超過外壓力時，才可能有氣體產生。然而即便在此種情況下，裂縫的發生只是在侵入體頂上的非滲透性岩石中，如果考慮到周圍岩石應當在褶皺及岩漿上昇時早已發生了整塊破裂的話，那麼這種情況是難以被承認的。

（三）上面援引的美國地質學家們關於熱水溶解的動力問題的見解，在某些方面是很能代表他們的特點的。

首先從這些學者們的見解中不難看出折衷主義的成份。他們每一位都是力求從狹窄片面的觀點來解決這個問題。並且只從現存的確實科學原理中挑選在一定程度上可以用來證實某一種成見的那些來引用。

認為所提出的假說可以不受地點與時間的限制而被普遍承認的趨向，也同樣是極其典型的。局部的、由一定類型的礦床所確定的現象，常被企圖擴張到所有不同類型的熱液現象，而不考慮在地殼中不同深度下存在的物理化學條件所決定的成礦作用的特點。

他們將溶液的運動看成純粹的機械過程，看成簡單的位置移動，而沒有人試圖將這種運動和周圍的地質環境中所伴隨現象的發展聯繫起來。例如大家都看得很清楚的熱液礦床與裂開空隙底符合性的事實，使我們了解到，因為周圍環境中應力變化的裂隙生成原因的科學想法，看來他們之間並無一人從這觀點上加以討論。

因此，現代的外國學者們關於熱水溶液運動的原因的意見，是很清楚的形而上學想法的例子。因此，在最近時期，就像由“經濟地質”雜誌最近文章中所能看出的，科學的思想業已走入絕路。Г. Шмитт^[5]在他的文章中引用了以下的荒謬的申述：“地球物理學者們堅持沒有任何已知的力能够從位於深處的岩漿中將液態的水推向地表”。固然 Смит 和 Матч (*Economic Geology* №7, 1950, 701—703) 在他們的討論文中注意到這點，指出此種說法無異於肯定說在地球表面下重力不

起作用。但是他們提出的解釋以及引證的所謂“擠濾的作用”型式仍然只與個別の場合，就是與在近於地表的環境中形成的脉狀礦床有關係。

(四) 如果考慮到我們所研究的自然過程代表着互相影響的現象，則我們就不能不研討它們發展的歷史順序，它與周圍環境間生成上的聯繫。我們不能不從不斷的發展及在走向根本的改變的一定階段中，對立趨勢相互作用的觀點上來研究。以這種觀點所建立起來的現象變化的規律性，才可能是更深入的概念，如發展的過程如何進行，以及我們所研究的對象所來自的某種變化是由什麼來決定。

爲了從這種辯證法的觀點上來處理我們所研究的現象，我們應當想到水力學，特別是水的動力學 (А. Н. Ахутин^[6]) 和水文地質學 (П. Саваренский^[7]) 的基本原理。因爲熱水溶液是容易流動的介質。我們應該清楚的了解溶液的流動是怎樣的一種最簡單的運動形式，是怎樣的一種物質的、機械的運動，以及這樣的運動由何而引起的。

由日常的經驗，我們很清楚地知道，一種介質及物質質點的機械運動的發生是由作用在一定系統上某些因素的差異所引起的，而且是由系統的趨向於平衡來決定。我們舉一些例子來明確這一點。如果兩個物體具有不同的電位，則將其用導體聯結時，電流即由電位高的物體流向電位低的物體。熱由加熱的物體傳達到冷的物體是由於溫度的差別，被溶解的化學成分的瀰散是由其在溶媒中的濃度差而引起的等等。

同樣地，熱水溶液沿着張開的裂隙或者鬆弛了的劈理帶的運動可能在由於某些原因產生壓力差¹⁾時而發生。我們試想一下在鑽孔中自流井水壓力運動的最簡單的情形。位於較深處的含水層位常常位在高於靜水壓力的上覆岩層的重載壓力之下。就是由於這種壓力差使水在我們只要用鑽孔將含水層位與地表面連起時，即可升起。這種壓力差愈大，水流愈急，而每單位時間內通過一定斷面的水量也愈大。

在某些程度上，與位置不太深的侵入體有成因關係的在地表近處的環境內，礦床生成過程中熱水溶液運動的情形，應當是相似的。根據礦區構造這方面的研究。可能判斷到的程度來看，溶液流通的道路大半未必是張開，而自在與裂隙孔洞的表面相溝通的。但是這並不是必需的條件。如果上覆岩石的重載比較小，

1) 我們這裏將不涉及地表水的無壓的 (Безнапорный) 運動現象。這種流動由於水面高低的不同 (在地球重力影響下) 而發生，以及由於在火山活動區域受岩漿烘烤的影響而膨脹的運動。

在構造運動的影響下當裂隙稍微發育時，已然就可以發生壓力的急驟降低。平常遇到的呈粗粒集體的礦物，在此類礦床中以膠體或變膠體以及細粒的晶體狀態大量存在的事實即說明此點。顯然，在孔洞發生時刻溶劑以蒸發的方式發生大量的消耗，蒸發現象可以在壓力突然降低時發生，而且不僅使溶液變得極度的過飽和，同時又能使其成為過冷狀態。兩者，像我們所知道的，決定了由於在冷卻時發生的化學反應所產生的細粒的擴散物質自溶液中的沉澱。

(五) 脈狀熱液礦床在較深環境中生成時的地質情況實質上是不同的。

爲了得到關於在這種情況下熱液礦床生成條件的比較真實的概念，首先必須提到某些物理化學原理。我們這裏將不做可以看成是各種岩漿原始形態的物理化學系的理論上的分析。這種系已經由 А. Н. Заварицкий^[8] 及 В. А. Николаев^[9] 作過詳細的分析了。爲了我們的考慮，下面只着重提出由這種系的研究所得出的幾個結論。

1. 與含有揮發性物質的岩漿系的冷卻過程如何進行無關，最後的熱液時期以在相當低的溫度下，氣體溶液液化的時候開始。

2. 與此相對應，壓力（飽和蒸氣壓力）隨着冷卻而顯著的減弱，並且永遠低於外壓力，在此種壓力下，岩漿侵入體完成其形成過程。

由此可見在侵入岩體內生成的情況下，熱水溶液不是以熱液的狀態由冷卻中的火成岩物質中分出的。但是我們所熟知的標準的脈狀熱液礦床，像石英——錳鐵礦、石英——錫石等等，不僅位於侵入體的頂端部份，而且也位於侵入體範圍之外（在圍岩周圍的變質圈內及其外面）。大多數的這種礦脈的位置與斷裂相符合，而且像侵蝕作用所揭露的，盲脈與礦脈同時存在的事實，說明了裂隙並未曾與地面相溝通。此種脈與在花崗體本身內形成的緩傾斜的斷裂特別有關係。

爲了解決這個矛盾，就必須考慮此時（熱水溶流形成時）周圍的地質環境中可能有那些現象發生。

既然這些溶液在岩漿作用的最後期生成，當時主要的岩漿期業已結束，而且岩漿已變為凝固的火成岩，那就不難想像在侵入體整個的冷卻以及在其鄰近的圍岩被烤熱的情況下，其中應發生使岩體縮小的機械的應力。隨着岩石繼續地冷卻，這種應力漸漸地增大，必然終於以剎那間在最弱的部分¹⁾ 發生張開的冷縮裂縫而

1) 半乾木板乾燥時發生的情況可與此相比。其中發生空隙時伴有爆裂之聲，證明裂隙是在剎那之間形成的。

解除。因此，在我們所考慮的地質情況中，大部分的礦脈都與裂縫相符，而且無論在走向向上及向下各方向，都是封閉的事實就不會是偶然的了¹⁾。

下面的情況也是極重要的。當一開始發生張開的張力裂隙時，也就是在封閉的裂隙的兩壁驟然分開的時候，應當發生真空。並且如果裂隙的末端（即使其細如髮）通入熱水溶液聚集的部分，則立刻由於壓力差而使溶液流入空隙之中。當外壓力突然降低時，大部分熱能的積蓄自然的將耗散在蒸氣的形成上。這不但引起了溶液的高度冷卻，同時也使其急驟地過飽和。像已然看出的，在石英脈中，其最邊緣與裂隙壁緊接處有殘存的膠狀結構，外面再圍以其他物質的同心環狀的沉積，而全部的排列又由石英質的後來的重結晶化（перекристаллизация）而被保存下的一類事實。由以上的原因看來，也就不足為奇了。O. Д. Левицкий 的卓越研究也說明此點。他在一系列的含金屬的石英脈上，研究了被石英質充填的磐肌面上斷裂圍岩的微細痕跡，結論是：裂隙曾被膠凍狀的物質所充滿，其黏滯的程度使其不能大量地深入周圍張開的裂縫中（在磐肌面的印痕上只有線狀的向外伸出的凸出部分——“Вапики”）。

但是不言而喻，不考慮到使溶液在深處遭受到的岩石壓載的壓力，而只用溶液的被吸抽來解釋溶液在斷開的裂隙中的運動將不會是正確的。壓擠及吸抽實質上是同一現象的兩方面。直到現在當解釋熱水溶液在深成環境中的運動時，一般還只是注意到壓擠的力量。

像發育在裂隙中的礦脈的研究所指出的，在許多實例中，成礦過程不限於一個礦化階段，而是在充分長的時間內進行的。在礦脈中常看到的細脈，礦脈之被更晚的共生礦物複雜化，有時有標準的角礫岩，其中的碎塊代表早期的脈中物質，而膠結物或為同樣成分的礦物集體，但顆粒較細，或為其他的礦物相當於較晚的礦化時期的產物等現象均可證明此點。顯然，在裂隙生成之後，由於圍岩的繼續冷卻時時發生裂隙的繼續張開。也常有現出沿着裂隙的後來的構造運動特徵的情形。

（六） 因此，如果考慮在深成條件下，岩漿後期溶液的生成期間周圍環境中

1) 按 Чемберлен 及 Салисберо (Geology, 1909, No. 1, 573 頁) 岩石冷卻 1° 時體積縮小 0.002%。因此，岩石冷卻到 500° 時縮小至 1%，故 100 米寬的面積中發生裂縫的總面積在 1m 左右。

2) 礦脈的中央部分，由殘留的飽和程度較低的溶液造成，帶覆以較粗粒的礦物集體，並且常伴隨有晶簇礦，由礦化期較晚的礦物所充填。

發生的現象，就還要確立一些脈狀礦床¹⁾形成的方式和解釋。

如果我們以剪裂裂隙代替破裂（張力）裂隙，而在沿着裂面滑動時發生出來凸鏡狀的空隙，在裂隙的閉合部分代以斷層泥，並且在裂隙壁上形成滑動，則兩種情形在本質上並無區別。在這種空隙的生成時也同樣的應該發生真空，這也是很難加以懷疑的。

像某些地質探勘工作所證明的，剪裂裂隙與破裂裂隙相比，其在走向方向（常至1—2 km）與傾斜方向的延展更為顯著。因此，在它們距離母岩漿體較遠的部份中，分佈着低溫度的熱液礦物的事實，就不是偶然的了。

我們從具有厚的角礫岩帶的巨大的錯動的實例中獲得了一些根據，可做為破裂向上可能達到地表的假定。在這種情況下，最容易溶解和揮發的化合物，就能夠運移到離開岩漿體極遠的地位。某些在砂岩層中發育的厚的角礫岩帶中的辰砂礦床，可以認為是這類離開火成岩母體礦床的例子。與所謂的“斷層（разлом）”之類的大的斷裂在空間上有關的礦床的特徵，與其說是成礦作用與斷層帶的位置一致，不如說是與斷層帶周圍的圍岩中各種的空隙具有這樣的關係：如“羽毛狀裂隙（трещина оперения）”，實質上是斷裂裂隙，又如聚集在較軟易發生機械變形的沉積岩底褶曲上的剝理裂隙（如在背斜的彎曲部分及其兩翼）等等。由不少的例子，可以見到有充分厚度的像脈狀的斷裂帶，代表着高度的磨碎和褶皺而毫無成礦現象。在這種斷裂帶內當在擠壓的條件下變形之時，熱水溶液顯然地在擠緊的磨碎角礫岩中不能透過。引起熱水溶液流動的真空部分，則在此帶周圍的圍岩之中由伴隨着沿擠壓帶的運動而生出的有系統的斷裂裂隙所組成。

但是在某些區域內，擠壓過的岩層的錯動帶內也還有凸鏡狀或脈狀的熱液產物，而且與斷裂裂隙相符，它們常位於錯動帶的磐肌平面附近。一種情形是，根據分佈在某一定礦區邊界上的斷裂裂隙（或個別的剪裂裂隙）中的凸鏡體或標準的脈狀體成份的比較的研究來看，空隙中充填的物質與礦區中的物質來自同一個熱水溶液。可以發生此種現象的場合是錯動帶已先於熱液成礦作用而存在，並且可能在褶曲及侵入之前。另一種情形實際上是不同的：在錯動帶內的脈中礦物成份不同於剪裂裂隙中者，後者的方位也與錯動帶不同。在脈的交叉點的觀察證明，它們是不同的熱液的產物，並且斷裂裂隙方向的變化也說明周圍環境中較晚的變

1) 顯然的，在開張的裂隙中以同樣方式形成許多火成岩（細晶岩，石英斑岩，煌斑岩，輝綠岩等）的盲脈。

形方向也有所不同。

不言而喻，個別具有早期成礦作用的剪裂裂隙可能遭受到斷裂，再者，已知的許多場合中也常在同一礦脈範圍內有後來的斷裂，生成細脈及標準的角礫岩，後者之中的角礫為早期成礦作用產出的礦物集體而膠結物生成較晚，由重新來到的溶液沉澱而出。大多數的情形，成礦作用過程中時間上屬於不同階段的礦物成份彼此是不同的。С. С. Смирнов 得到了關於含礦來源地底脈動式的斷斷續續活動的結論，而正確地將其聯繫到裂隙多次重新形成的現象。

(七) 至此為止，我們所考慮的裂隙的生成，而且因此涉及熱水溶液的運動的情況是發生在侵入體上面的岩系中。這種情況在自然界分佈得甚廣，以致使我們習慣於含礦溶液上昇運動的概念。但是在與基性火成岩有成因關係的銅——鎳硫化物礦床中，我們遇到另外一類的現象。

在這類的礦床中，像我們所知道的，硫化物礦石常是位於侵入岩體的底部，其解釋為硫化物以熔漿狀態用液態分離的方式已然在岩漿期的早期分出了，但由於其較大的比重而積聚在侵入體的底部。但是需要特別注意的是，根據地質的及礦相學的材料，這些分出的硫化物的結晶作用發生在極晚的時候，已然相當於岩漿活動的熱液期。換言之，硫化物從母岩漿分出後在極長的時期內處於液態，亦即能夠流動的狀態。

對我們來說，最有興味的事實是在某些礦床中硫化物礦石不僅位於侵入體的近底部，而且也在侵入體下的岩石中呈脈狀，位於剪裂或斷裂裂隙內，有時形成角礫岩而含有圍岩的碎塊。在 Садберн 的礦床中，這樣的從底部分出的礦脈在基磐的岩石（綠岩狀片岩、花崗岩等）中，主要的順着大致平行於接觸面的斷裂構造，而紫蘇輝長岩侵入體在此時已經凝固。在紫蘇輝長岩本身內有些地方也見有含礦的角礫岩。

位於厚層玄武岩流 (Трапп) 中含礦的已分異的輝長岩—輝綠岩體中也有到一定程度上的類似的形象。硫化礦物以礦染狀與輝長岩—輝綠岩漿的有橄欖石富集的底部分異物在一起。極可為其特徵的是在侵入體的底部，沿着接觸面以及在基磐中的拉長石斑岩中有緩傾的緻密的硫化物（大半是磁黃鐵礦）脈，位於標準的斷裂裂隙之中。此種礦脈下，在頁岩及噴出岩中，有以黃銅礦為主要成分的傾斜

1) 除這些提到的侵入體之外，在某些標準的斷裂裂隙中緻密硫化物礦脈的底部之上母岩之中尚有礦染。

很陡的礦脈，這代表斷裂裂隙中的充填物，而向下漸減其厚度。有些地方與緩傾的礦脈相連。因其在位置上與輝長岩—輝綠岩向下滲濾的硫化分異物的關係密切，而二者間成因上的聯繫也就不容懷疑了¹⁾。

在此情況下，這些在侵入岩體下基岩中的銅鎳硫化物礦脈必須認為是由於溶液從侵入體的底部向位於下面的裂隙中運動而產生的。此種裂隙發生時期在構造運動之時到硫化物最後的凝固為止。黃銅礦為結晶最晚的礦物，常在磁黃鐵礦脈之未沉積而出，甚或離開其來源地一些距離成為獨立的礦脈。

(八) 從生成方式的觀點來看，格外有興味的是在上面所說過的輝長岩—輝綠岩侵入體下面的底盤中所謂的“接觸”硫化物礦染。這裏在直接位於侵入體下面的岩石中有水滴狀的低溫硫化物分泌體，主要的成分是黃銅礦和針鎳礦（Миллерит）。在顯微鏡下研究這種礦石，證明其為被硫化物充填的標準的杏仁狀空洞。根據一系列的標誌，這種岩石直到礦化之時是含有氣泡的熔岩，其中的圓形空洞在輝長岩—輝綠岩侵入之時未曾被任何礦物質所充填，而顯然的是被氣體所佔有。果真如此，則我們應該注意到當溫度變化時氣體的行為。

我們知道理想氣體的蒸氣壓力與溫度的關係，可由 Гей-Люссак 定律決定。根據此定律，氣體的壓力在一定容積之下按下列方程式隨溫度而增加： $P_t = P_0(1 + \alpha t)$ ，其中 α 為膨脹的溫度係數等於 $\frac{1}{273.1}$ 或 0.00366。

由此公式得知，如果將氣體加熱到 $t = 273^\circ$ ，則在原體積內其蒸氣壓力 (P_t) 與原來者相比增加到 2 倍；到 $t = 546^\circ$ ，則增到 3 倍。當熱的氣體的溫度下降時，其情況相反，而依同等的比例來變化。

至於說到真正氣體（空氣， CO_2 ，甲烷等），其蒸氣壓力在一定的體積中與溫度的關係僅在極小的外壓力下（零附近）符合於 Гей-Люссак 定律。但是當壓力為數十或數百大氣壓時，真正氣體力隨溫度的變化，而有的蒸氣壓力的增大或減少比理想氣體要更劇烈得多。

不難想像，在輝長岩—輝綠岩體侵入時，充滿在岩石氣孔內的氣體在加熱的影響下應該高度的膨脹，並且因壓力增大而向周圍岩石（包括輝長岩—輝綠岩侵入體）中擴散。侵入體凝固之後，冷卻應繼續進行，並且達到基磐的岩石，而且

1) 大概在烏拉爾含鉑的橄欖岩—輝石岩—輝長岩雜岩體中的橄欖岩的頂端部份的脈狀岩石（輝石岩，輝長偉晶岩，斜長細晶岩，исит 等），應該認為是這樣生成的。這些脈岩位於標準的斷裂裂隙中，向深處在已凝固的橄欖岩體內逐漸尖滅。因為輝石岩及輝長岩在這個雜岩體中位於橄欖岩之上，可能由於後來凝固的岩漿分異產物，即結晶作用的殘餘產物為此種脈岩的來源。

其中氣體的壓力普遍降低的程度可能達到很高，以致於在輝長岩—輝綠岩內此刻依然是液體的硫化物，在抽吸力的影響下，可以滲透到基磐岩石之中。因而填入圓形的空洞以及由極細的裂縫聯結的裂隙以及極小的孔隙內。這種產物在量的方面說並不大，而此現象無疑的是有意思的。這些“接觸的”礦石，基本上為黃銅礦、針錫礦及其他屬於硫化礦石中最後期共生組合的礦物的事實，是完全與提出的見解相符的。

常常看到的在周圍的火山岩中被硫化物礦脈交截處存在的極細硫化物顆粒的事實，從這個觀點上來看，就可以瞭解了。

極可能的與裂隙充填的蛋白石及石髓有關的，以杏仁石狀態分散在火山岩中的同心圓層狀底集體的生成也是由於同樣的原因。大概在許多其他情況中，當冷卻時空洞或孔隙中氣體蒸氣壓力的減低，可能是溶液局部上昇實在的原因。

應該考慮到的是被壓力差所引起的熱溶液的流滲，不僅可能沿着毛細管，而且也可能沿着細於毛細管的裂隙（寬度小於 0.00001 mm）中發生。

（九） 因此之故，也必須簡單地談到所謂“亞爾帕斯式礦脈”生成的情況。

我們知道，這類“礦脈”是在岩石變質時在褶皺部份中生成的，而且位於凸鏡狀斷裂的空隙中。此種空隙係在強烈的擠壓下生成，其方位則穿過岩石的片理，這種凸鏡體的礦物成份的特徵，是在脈中的裂隙壁上形成圍岩中在變質時生成的礦物的巨大晶體。

在凸鏡狀裂隙生成時，自然應該發生真空，並且應由此引起飽和着圍岩的礦物成份的變質溶液從周圍環境中向裂隙壁內的流動。像 О. П. Оглобляна 提出的，結晶作用能够很容易的在空氣中由毛細孔道供給的飽和溶液的條件下發生¹⁾，就是這樣的方式能够在裂隙壁上生出在顯微鏡下鑑定出來的在周圍的變質岩中新生成的礦物的晶體。我們不多談這些礦中構造上有興趣的特點的詳情，只舉出一些特徵（在石英²⁾結晶面上的綠泥石晶葉的粉末，在空洞下面的石英晶體的再生的殘屑等等）顯然地證明了在強化中的動壓力的影響下發生裂洞的再次變形。同時壁上具有簇晶的大型空洞“（晶倉）”在細的斷裂裂隙的對面，不見得完全是被成礦溶流所充滿。看來晶簇是周圍岩石溶解的皮殼的解釋是不正確的。因為這與許

1) 參考 А. Г. Бегеттин: 礦物學, 國家地質出版社 1950。

2) 綠泥石晶葉輪廓的真實形狀, 說明它們可能是沉積在空隙壁上的綠泥石柱狀晶體, 沿着劈開而分裂的結果。根據 Д. П. Григорьев (ДАН, 54, № 5, 1944) 卓越的觀察, 這種柱狀綠泥石晶體的碎屑, 有時以包裹物的狀態存在於水晶晶體之內。

多在“阿爾卑斯式”礦脈中所見到的事實不符。

(十) 在形成礦層的交替過程中，熱水溶液的運動，與它在開張的裂隙中的流動相比，進行得是無比的緩慢。以下的考慮即可得到這樣的結論。

礦體及生出裂隙圍岩的構造以及二者間的關係的研究，使我們確信圍岩的成分也參預了在溶液中進行的化學反應。因此而發生熱水溶液中所攜帶的成分的大量沉澱。因此很明顯的，不管其他的因素如何，溶液通過發生反應的裂隙或有孔隙的岩石的減緩的運動，有助於生成含有大量化學反應的沉澱產物的豐富礦床。

像水力學中所知道的，液體在含有細小的裂隙或有孔隙的環境中流動的速度，以極高的程度決定於孔隙的大小及溶液的溫度與黏度。在毛細裂隙之中（寬 0.25 至 0.0001 mm），水在毛細管吸力影響下發生的運動，不受靜水力學定理的約束。並且水將在毛細管邊上上昇。因為管壁上較大的摩擦而不能自由地從岩石中流出。

熱水在其中的流動較冷水容易，但是隨着空隙寬度的減小，水流的速度畢竟還是很快地下降。

雖然如此，只要由於液體的水頭（壓力）決定的壓力差存在，仍將發生液體經過毛細裂隙的滲濾，液體的壓力差至少在交替礦床形成的開始階段是可能發生的。在小於毛細的裂隙中（寬度小於 0.0001 mm）則有所謂“囚閉水”，已經不可能運動。受有壓力的水在其中的運動進行得非常緩慢。

因此，由於表面力所影響的較大的阻力，使溶液在具有細小裂隙岩石帶中的流動應當大大地減緩，並且接近於停滯水的狀態。在此情況下，物質的運移不僅可能以滲入的方式（藉助於沿着裂隙水的滲透）發生，而且主要的是以經過停滯的孔隙溶液以離子狀態進行擴散。像所知道的，在發生反應的環境中，成分的濃度差為擴散作用的動力。Д. С. Коржинский^[10] 不久之前以此種觀點發表了交替現象詳細的理論研究。

參 考 文 獻

- [1] Грейтон, Л., 1940, Природа рудообразующего флюида. Пер. с англ. Гостеоиздат, 1946.
- [2] Линдгрэн, В., 1928, Минеральные месторождения. Пер. с англ. Онти, 1934.
- [3] Росс, К., 1933, Дифференциация как источник жильных и рудообразующих минералов. Сб. статей, посв. Линдгрэну. Пер. с англ. Онти, 1937.

- [4] Эммонс, В., 1933, О механизме образования некоторых систем металлоносных рудных жил, связанных с гранитными батолитами. Сб. Статей, посв. Линдгрёну. *Пер. с англ.* Онти, 1937.
- [5] Smitt, H., 1950, Origin of the "epithermal" mineral deposits. *Econ. Geol.*, No. 3.
- [6] Ахутин, А. Н., Севко, А. И., и Гамазов, И. И., 1939, Гидравлика Изд. Военно-инж. академии.
- [7] Саваренский, Ф. П., 1939, Курс гидрогеологии. Онти.
- [8] Завариский, А. Н., 1944, Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов. *Изв. АН СССР., Сер. Геол.*, № 5.
- [9] Николаев, В. А. 1947, О тройных системах с летучими компонентами и этапах глубинного магматического процесса. *Зап. Мин. Общ.*, часть 36, вы п. 1.
- [10] Коржинский, Д. С., 1950, Факторы равновесия при метасоматозе. *Изв. АН СССР., Сер. Геол.*, № 3.

(張炳燾譯自“全蘇礦物協會會報”，第二類，81 卷 1 期，16—27 頁，1952)