

变 质 岩

E.A.庫茲涅佐夫 著

地 质 出 版 社

变 质 岩

E. A. 庫茲涅佐夫 著
王述訓 周自立 譯

地質出版社

1959·北 京

本書譯自蘇聯E. A. 庫茲涅佐夫所著的“петрография магматических и метаморфических пород” (издательство московского университета, 1956), 原書經蘇聯高等教育部審定作為國立大學和高等工業學校的教學用書, 為適應我國教學需要, 特將已譯就的變質岩部分先行出版。

變 質 岩

著 者	E. A. 庫 茲 涅 佐 夫
譯 者	王 述 訓 周 自 立
出 版 者	地 質 出 版 社

北京西四學市大街地質部內

北京市書刊出版業營業許可証出字第050號

發 行 者	新 華 書 店 科 技 發 行 所
經 售 者	各 地 新 華 書 店
印 刷 者	地 質 出 版 社 印 刷 廠

北京安寧門外六鋪炕40號

印數(京) 1—3300冊	1959年12月北京第1版
開本787×1092 ¹ / ₂₅	1959年12月第1次印刷
字數130,000	印張5 ¹⁹ / ₂₅
定價(10) 0.78 元	

目 录

变质岩.....	(4)
变质学说简史.....	(8)
变质时能的来源.....	(13)
变质岩的原始物质.....	(17)
化学成分.....	(20)
矿物成分.....	(25)
产状.....	(25)
节理.....	(26)
构造和结构.....	(26)
片理及其成因.....	(36)
岩石结构的研究。岩组学.....	(42)
动力变质时最主要矿物的定向规律.....	(44)
结构的研究方法	(45)
分类及命名.....	(56)
成因.....	(64)
接触变质	(64)
气化和热液变质.....	(82)
区域变质	(98)
变质现象总述.....	(120)
贯入变质	(127)
变质岩系和变质建造.....	(135)
结论.....	(137)

变 质 岩

侵入体凝固与熔岩喷出以后，岩浆作用并不就此结束，它在岩浆期后作用过程中仍在继续进行。岩浆里活动性较大的挥发份从岩浆渊中排出以后，就会引起围岩成分发生多种多样的变化。挥发组份往往使产生它的岩浆侵入岩或喷出岩也发生变化。这些变化的发生，是由于挥发份或热液透过岩石或在其中聚集时，与这些岩石发生反应所致。挥发份和热液所携带出的溶解在其中的物质（包括重金属化合物），在上述反应进行时就能沉淀出来，以形成金属矿床或非金属有用矿产的矿床。这一切现象已属于变质的范畴，是变质作用这一篇所要研究的对象。

岩石形成以后在內力作用下，由于物理化学条件改变的影响而发生的任何变化和再造统称为变质作用。此时，温度、压力以及沿岩石裂隙和孔隙环流的液体，乃是变质作用最主要的物理化学条件。原子穿过矿物结构格架的扩散现象，或许也起着一定的作用。由此可见，岩石的变质作用可能有不同的原因。一方面，岩浆物质的侵入与跟它有关的热液的循环可能引起岩石的变化，另一方面，其它作用也能引起温度与压力的改变而使岩石变质。例如，因为沉积物在地槽中的堆积，地表岩石下沉到地球深处的结果，就会使温度改变。此时，特别有利于岩石重结晶作用的侧向压力或应力起着巨大的作用。火成岩的侵入现象、沉积物下降到很大深度而形成巨厚地层的现象、与侵入体存在有关的热液作用、火山喷发现象，这些都是在地槽区所能观察到的现象。所以岩石的变质作用亦是产生于过去的地槽区。

应该指出，一些古老的大陆地盾，例如芬兰斯坎的纳维亚地盾、安纳巴尔地盾、乌克兰地块、阿尔丹、加拿大、印度斯坦、中澳大利亚、中非洲以及南美，大片面积都由变质岩构成，这是因为在太古代与元古代时，这些地区里地槽环境曾多次占过优势。在以前地槽范围内形

成了許多山脉。在这些山脉中发生过各种各样的侵入作用，温度与压力条件有了改变，这些都促使岩石在远古时起了深刻的变化。以后在很长时期中，这些地区曾經是大陆，受到了剧烈的冲刷，結果，这些古老山脉的最深部分，現在就出露于地表。所以，在太古代地盾范围内可以見到許多巨大的侵入岩，其中发育着一些深受变質的岩石。从事于研究深成变質作用規律的一些学者，在这些古老地层中找到許多丰富的材料，以研究在地壳上地槽拗陷的最深部分中所进行的各种作用。

根据上述，所有变質作用現象，可以分为几种类型，这些类型相互之間既有独立的一面，又有相关的一面。

其中第一类是自变質作用，这就是岩浆岩在其本身营力——岩浆的挥发份和热液——的影响下所发生的变質作用。与这一类現象相对的是他变質作用，即岩石在外来营力影响下发生的重結晶作用。靜水压力和側压力、在地壳中环流的热液与其他溶液、岩石的湿度（也就是岩石成分中所含的水份）、地壳的振盪运动、以及由低温低压区域轉入高温高压区域、与灼热的岩浆物質接触，这一切都包含在他变質作用的概念中。

他变質作用中应当划分出与岩浆岩有关的、能引起岩石接触变質的接触作用。接触作用見于与岩浆岩接触处或靠近接触的地方。接触变質的原因就是侵入到地壳岩层中的岩浆岩的高温。此时，各种围岩在这种接触处由于受热条件的不同，由于岩浆里活动的挥发份的有无，故其所受的变化深浅不等。同时，遭受变質的围岩本身的成分、作用的深度以及变質作用进行时的压力也都起着重要作用。接触处的变化不但波及围岩，而且也波及作为变質作用来源的侵入岩本身。因为这个緣故，所以有內接触作用与外接触作用之分。前者，发生于岩浆岩内部；后者，发生于周围介質中。前者称为內接触变質作用，后者称为外接触变質作用。

有侵入体的地方，能見到热液的析出，当这些热液沿裂隙或渗过围岩，以及通过上部已經凝結、但还是热的、而深处尚熔融的侵入岩本身的时候，能促使这些岩石发生变化。在热液影响下所发生的这些

变化过程，可以伴随有岩石的深变质作用以及岩石的原生矿物被另外一些矿物所交代的作用，或者是矿物的本质不变，只是原来成分改组和重结晶。这类变质作用可称为热液变质作用。热液变质作用往往伴随有各种金属矿脉形成，因此当出现热液变质时就表明有找到金属矿的可能，而且认识热液变质有很大的实际意义，因为可以作为找矿标志。热液可能具有不同的温度，因此，在该作用影响下所形成的新矿物也可能是不相同的。热液变质的温度条件，在金属矿床研究中已经相当清楚，所以这些研究资料对岩石学有很大用处。

由于岩石受地壳运动影响而发生的变质作用称为动力变质作用。这种运动发生于褶皱过程中、岩石单纯受压时、或者发生于偶尔有滑动现象伴随的构造断裂的情况下。动力变质会引起岩石的深度重结晶作用。这种现象多半会使动力变质时生成的新矿物呈定向排列。当挤压与滑动时，老的矿物，如果没有受到改变的话，也可能重新排列。这一切使得有片理形成，也就是说片理是一种单向挤压影响下所造成的矿物的重新定向排列。动力变质时也可能不发生重结晶作用，而仅限于机械作用，也就是说使受到压力的岩石及矿物被压碎。这种破坏动力变质（*деструктивный динамометаморфизм*）只造成压碎现象，沿着一些简单断层或者沿着其它一些不伴随有重结晶作用的断裂变动往往可以见到这种变质。另一些情形下，压碎的同时或压碎以后，岩石发生重新结晶，产生新的矿物组合与颗粒，以及新的结构。这种动力变质可以称为建设动力变质（*конструктивный динамометаморфизм*），因为它造成了新形态的岩石。

席卷大面积、并有各种岩石发育的变质作用称为区域变质作用。这种大面积的变质作用的发育证明，在岩石遭受区域性重结晶的地域，各处都有过使这些岩石全部重结晶的条件。前面几种变质类型的局部性的原因，拿来说明区域变质作用条件是不够充足的。重结晶作用进行时所要求的较高的温度与压力性质，在广大范围内都是一样的，而且这种性质改变的原因也是共同的。到底什么原因能够引起这种普遍的重结晶作用呢？这种现象在那里可以出现？研究证明，它存在于地槽区，特别是在地槽的中心部分，这些部分在地槽谷拗陷时期

曾下沉到很深的地方。这方面有下述事实可証明，最深的變質現象和普遍的重結晶現象，都見于大陸地台上最古老而又受侵蝕最深的部分中，而這些大陸地台在太古代時都曾為地槽。另一方面在比較年青的山脈中，最劇烈的變質現象見于山的中心部分，這裡出露到地表上的就是地槽構造中最深的帶。

最初，對於這種劇烈的區域重結晶作用發生的原因只認識到一方面，就是認為由於下沉到地球的深處所致。深處受熱的原因過去認為是地熱增溫率，它的平均值為每33公尺增加1度，或每100公尺增加3度。照這樣機械地計算起來，在十公里深的地方，溫度應該為300°左右。最初的一些區域變質學說就是曾以這個原理為基礎而建立起來的。可是，觀察証明，由於各地區地質情況不同，地熱增溫率是會改變的。在年青山區地熱增溫率大大減小，所以，這裡隨深度加大，溫度增長得就快多了。在那些到現在仍有火山活動的地區，如維蘇威近郊、伏列格列依地帶，溫度隨深度為每7公尺升高一度，而在古大陸地區溫度每升高一度需深50—100公尺，或者更多。同時，永遠都應當注意，當山脈形成的時候，從地槽谷形成開始，這些區域就是岩漿活動很劇烈的場所。岩漿熔體自下侵入到接近地表的地方，並且使各種岩石受到強烈的炙烤。岩石距離供給火山與侵入體的岩漿淵愈近，則受熱愈強。這種受熱或多或少會引起一般的重結晶現象，有時在很大面積上能見到這種重結晶現象。經過長期的侵蝕以後，在古地槽區就會露出地槽的最深部分，而且見到比較深的區域變質現象，這是十分自然的事情。

深度區域變質並不排斥其它一些局部的、地區性的變質現象和變質類型。經過區域變質作用的變質岩，可以重複受到局部條件的影響，有時使變質加強、有的會改變區域變質因素作用的結果。這麼一來，在區域變質的總背景上，有時在與侵入體交界處，會顯出由於接觸作用而使岩石有重疊的接觸變化的痕跡。可以看見動力變質加之於岩石結構與成分上的多樣表現，因為動力表現的力是各地不同的。熱液也能使區域變質岩石又發生新的變化。區域變質作用本身到後來也可能由於岩石從深處出露到地表而減弱。在這種情形下，可能有較晚的低溫的影響加疊在原來深成條件下所形成的岩石的成分與結構上。

这种低温影响能引起一些低温低压下所特有的矿物生成。这种现象称为退化变质（ретроградный метаморфизм или диафторез）。

区域变质的原因还有一点应该提出，就是在构造作用中温度与单向压力共同升高。许多学者对这个問題曾給以很大的重視，而有些人无疑地是过高地估計了这一因素，賦与它以极大的作用，認為受到构造变形的物質的个别部分甚至会熔融。例如，刘讓和其他的一些学者，其中也包括П. Н. 克魯泡特金認為可以用砂岩、泥岩及其派生岩石的熔融来解释花崗岩漿的生成。下面将要提到，在个别情形下，这种熔融可能会发生，不过对于这种說法的正确性还有疑問。至于談到一般的結論，岩石中的挤压、滑动及运动的現象无疑地会引起热的繼續发展，但其量难以估計。如果說偶然能見到局部熔融与花崗岩共結熔融的現象的話，那么，这种现象是在山脉最深的帶。毫無疑問，作用过程中起着主要作用的是地質剖面的深度以及因接近岩漿淵使岩石区域受热的情况。

变质学說簡史

变质学說的历史开始罗蒙諾索夫，他曾指出，当地层下降到深处去的时候，在“地下火”的影响下会发生变化。在1785年Д. 赫屯也談过岩石在地球內部热与岩漿物質的影响下所发生的变化。但“变质作用”这个名詞本身出現于 Ч. 萊伊尔的时代（1825），并且自那时起变质作用載入地質文献。許多著名学者、地質学家与岩石学家的名字跟变质作用的研究是分不开的。大家知道А. А. 英諾斯特兰采夫、烏索夫、沙斯里夫采夫、Е. 德列司、А. 陀勃烈、Ж. 鳩罗舍等人是最初的一批研究各种类型变质作用的学者。始于上世紀末本世紀初的科学发展的最新时期中，在变质学說发展方面，起作用最大的要算是Ф. 貝克与У. 格魯賓曼的研究，然后为К. 万海斯、Н. Д. 盧卡舍維奇、И. 賽德荷尔姆，最近时期为П. 尼格里、П. 艾斯科拉、Д. С. 柯尔仁斯基等人的研究。

在俄国烏索夫1848年的一本著作是有关变质的最早的著作之一，它出現于鳩罗舍确定接触变质概念以后不久。随后出現了沙斯里夫采

夫关于高加索接触变質的一些文章。在岩石学发展的显微镜时期較晚的阶段，貝克和格魯賓曼对变質的研究是最有意义的。他們发展了深成变質的理論，把地表部分以下的地壳的岩层分为上、中、下三个带。区分的根据为温度与压力条件。上带（浅带）中主要是上复岩石的負荷压力低并且温度不太高。在中带（中深带）里，这两个因素的数值中等，介于上下（深带）两带之間。在下带里高負荷压力与高温占优势，高温是由于巨大深处区域性受热所引起的。与維也納的格魯賓曼和貝克同时，美国的万-海斯和俄国的盧卡舍維奇也发展了分带学說。三个研究者的結果是大致相同，虽然他們概念的細节上也存在着分歧。万-海斯在其地壳分带中，首先分出风化带与胶結带；变質力只在較深的带中才起作用。所以他的这种地壳分带是更为普遍的，而不单是变質分带。历史发展的結果，三种彼此相似的理論中，在欧洲是格魯賓曼-貝克的理論占了优势。以后尼格里的著作又使这一理論更詳細和現代化一些。地壳中变質区分为三带的方法有一个优点，即它完全相似于罗申布施提出的接触变質区划分为三带的方法。这种相似是完全自然的，因为变質所形成的不論是区域变質区，或者是接触暈圈，都能反映温度这个因素：离变質来源愈近，即离侵入体愈近或者距近于高温的地壳熾热核心愈近，則受变質的岩石受热愈高。

Э.汝申克曾談过一种見解，正象这种类似的结果，他認為，接触变質和区域变質是相互紧密联系的，在深处当接触变質愈加靠近深伏的岩浆物質时，就变为区域变質，并与它融而为一。苏联一些著名的地質学家，如B.A.奥布魯切夫、A.K.麦斯捷尔等等，主张这种理論。现在柯尔仁斯基也是主张这种观点。

在1920年出版了艾斯科拉的一本著作，其中提出了变質相(метаморфические фации)的新理論。对于岩浆岩來說，在地表或不同深度上的凝結条件，就形成了相，其特征就是同一岩浆在不同的温度和压力下形成不同的岩石——深成岩、浅成岩和表成熔岩。对变質岩來說，諸如此类的不同变質条件导致一些相的出現，总的說，相反映变質作用进行的深度。这些相的特征只是温度和压力两个因素，而不管引起此二因素的原因如何。根据这种观点，可以分出：低压高温相、

低压中温相以及低压低温相。中压条件也可按不同的作用温度来划分。高压下也可能有这样的差异，虽然高压总是由于岩石负荷大，一般伴有高温。

所有这些温度和压力因素的变化，是变质岩发育中相形成的先决条件。同样的原生岩石（例如，钙质砂岩）如果处在不同的相中，将重结晶成几种新的岩石，它们在各自相应的温度和压力下是最稳定的。艾斯科拉及其追随者所提出的相，一般按照那些相中最典型的岩石和矿物来命名，同时，表示时取几种岩石，这些岩石能特别敏锐地反映出因变质相条件变化而产生的矿物成分和结构上的变化。

变质相论是变质作用中最一般而含义最广的问题，虽然此理论的许多方面远远没有得到阐明。由于这个缘故，格魯宾曼-尼格里关于变质带的老理论仍未失去其意义，并且在继续被研究和深入，虽然与原先的深度概念相比，已有了不同的意义。现在，可以采用关于深度带的理论，这不是以公里来表示的深度概念，而是关于使岩石改造的深度、力或者程度的概念，总的说，岩石改变的程度大致与地质剖面的深度符合，但可能因局部条件不同而改变。当上复岩层压力中等，但受热较强时，可能产生与受热较弱时的不同的共生组合。同样道理，由于受热程度不同，低压变质条件也会有所不同。

谈一谈在地壳中占主要地位并引起岩石变质的条件。首先应该考虑两个物理化学因素——温度和压力。上面已经讲过，地壳中无季节性气温变化的恒温层以下，温度按地热增温率往深处逐渐升高。随着深度的变化地热增温率永恒不变这一事实尚未证实，而且不是在各处都能确定的。如果我们将各地区温度向下均匀增长算作在7—100公尺之间变化，那么，热到300°，应当是在2.1—30公里深的地方。在年青山脉邻近地区，岩浆物质和构造运动的能量尚未熄灭，地球的地热不均一性显著地高于一般水平，在那些有断裂破坏从而有火山活动的地台区，地热不均一性就缓慢下降。

如果说温度坐标极为不定，那么压力坐标则比较稳定，因为上复岩石重量负荷，随深度每增加100公尺而累进地增长2.7公斤/平方厘米。不同深处负载压力可以相当近似地计算出来。在地质构造作用

——形成褶皱、形成断裂、岩石的位移——活动的地区，和负荷压力在一起的还有侧压力或应力，它会对负荷压力起反作用。

侧压力在地壳中的分布是不均匀的。它在负荷压力不太大的上带表现最强，往深处上复岩层负荷压力增高，并且开始阻滞岩石的移动，在較深的地方负荷压力逐渐超过应力。岩石的褶皱现象与片理化现象都轉弱，只剩下岩石組份有一些定向排列，这是在垂直分力占优势的各向静水负荷压力影响下生成的。只有个别地方地质构造运动特别强烈，甚而波及地球很深的层位，出现显著的定向的片理结构。

从理論上可得出这样的結論，在一定深处（每种岩石都不同）上复岩石柱体的压力达到临界值，此时便超过了岩石抗碎强度的极限。如果知道一种岩石的弹性限度和抗碎强度，就可計算出它被压碎的深度，并且，如果侧旁沒有同样的岩石柱时，它会向四旁发生机械地流动。地壳的这个深度带叫做潜在流动带或压碎带。它能决定地壳的均衡。这样深的地方不可能存在无充填物的、张开的裂隙。只有当处于同样高压的水溶液充填着裂隙的时候，这些张开的裂隙方能存在。阿丹姆斯 (Адамс) 及其它学者对花崗岩、大理岩等在压力下变形的試驗証明，这种状态的裂隙可以存在，甚至在30公里或更深的地方，也許会存在。何况，在这样深处，岩石因其重力影响是不可能真正被压碎的。但是，如果某种破裂或褶皱运动达到这样深的地方，岩石中可能发生物質往压力小的方向的可塑性流动，压力的减小是因岩石位移（例如巨型褶皱的升起）所引起的。

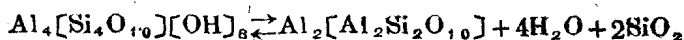
变质过程中重結晶作用之所以发生，是因为进入另一种深度与侧向压力条件下的岩石，处于不同的温度和压力条件下，这是与岩石生成时以及其原生成分处于平衡时的条件不同。同时机械沉积岩的化学性是不稳定的，因为它是在地表通过各种不同的矿物碎屑临时偶然堆积而成的。

岩石物質中各矿物相的平衡条件用克拉烏集烏斯和克拉彼依朗的方程式 (уравнение Клаузиус и Клапейрен) 来表示。

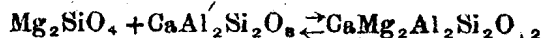
$$L = T \frac{dp}{dT} \Delta V$$

式中 L ——相变(蒸发、熔化等)热, T ——绝对温度, dp 与 dT ——压力和温度的变化, dV ——作用时体积的变化。如果知道许多造岩矿物的这些常数,那么就可根据它们计算出此种温度和压力条件下可能的矿物组合。此时,也可能有新矿物生成的反应,以适应在此条件下的矿物稳定性。然而这些常数大部分都还不知道。因此,在岩石学中采用这个定律的定性公式—吕·查德里原理(принцип Лё-Шателье)以代替其定量公式。吕·查德里原理是这样的:如果在化学系中温度是稳定的话,那么,压力升高所引起的反应,是生成体积比原来小的相(矿物)。此时形成的矿物比重较大,单位晶胞结构比较紧密。温度升高能引起吸热反应。前一定律称为体积定律,后者称为温度定律。

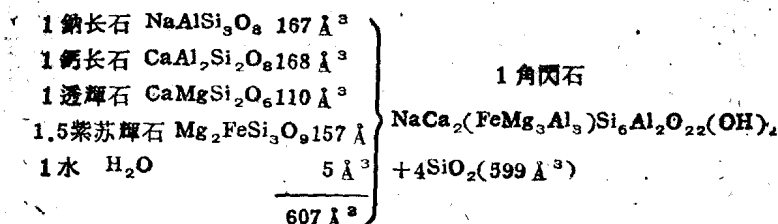
温度定律的实例是反应时高岭土按下式变为红柱石:



这个反应是当泥质岩石在地球内部重结晶时进行的,如果向右就吸热,向左则放热。体积定律一般以钙长石与橄榄石按下式经过反应形成石榴石来说明:



此时体积发生变化。现在还不知道这些矿物的单位晶胞的数值,计算该变化时,是采用以化合物的分子量除其比重所得来的分子体积的数值。橄榄石的分子体积等于43.9,钙长石的分子体积为101.1。这两种矿物分子体积的总和为145,而石榴石的分子体积等于121,这证明此系的体积减小,高压有利于体积缩小。因此,在高压占优势的深处,辉长岩类岩石的钙长石与橄榄石变化生成石榴石。在极深处,加热所引起的膨胀趋势与高压所引起的挤压趋势二者之间进行着斗争,此种斗争的解决在各类反应中是按照不同方式的。下式可作为反应时计算总体积变化的例子:



方程式左端所有单位晶胞体积之和等于 $607 \text{ \AA}^3$ ，而右端为 $599 \text{ \AA}^3$ ，体积减少了 $8 \text{ \AA}^3$ ，即1.3%^①。

變質時能的來源

地球內部的能是引起岩石變質的唯一的能的來源。過去認為這種能是當初地球熔融狀態所殘留下來熱，但是，現在已經放棄了這種觀點，就好像在地球的起源方面康德-拉普拉斯假說及其變種不能滿足天文學家一樣。根據這些假說地球應該已經經過了兩個發展階段，即星體階段與灼熱液態階段。現在按照斯密特的理論，地球和一切行星都可以看作是由宇宙塵堆積而產生的。地球內部變熱並非因為殘余的熱所引起，而是放射性分裂的能所引起的，並且是自內而外地進行，而不是自外而內地進行。因為作用延續了數十億年，產生了現代的狀態，溫度往深處一直升高。

由於這種作用在地殼不同部分的不一致，導致地殼振盪，它使地殼有一些部分上升、被沖刷與破壞；使另一些部分下降並有沉積物的堆積。在地殼中形成深大斷裂的地方，由下往上的熱能流動加強，以致形成地槽與岩漿活動增強的區域。除了地球的內能以外，在地質構造作用中，由於褶皺斷層、及其它錯動形成時的滑動與摩擦等現象，有一部分補充熱量產生，這也是內能的結果。岩石不同組份之間的反應若具有放熱性質也可能成為熱的補充來源。可是，這一切補充熱的形式都是地球總的熱狀態所派生出來的，地球總的熱狀態以地殼的振盪、沉積物的破壞與堆積、沉積物沉入深處及重新露出地表，以及其它形式的對立鬥爭來決定地球的生命。岩石是作用的參加者，由於岩石所處的条件已經改變，岩石里不斷地在進行着適應于溫度和壓力的作用。地殼中溫度和壓力在其升降運動中是在改變着的，雖然改變得很緩慢。

如果岩石能夠迅速地適應于溫度和壓力條件的變化，那麼，我們

①鋁離子配位數的變化（6與4）在變質作用中是極重要的，如果成分的其它條件都相等，這種變化以後折光率顯著升高：砂綫石→藍晶石；螢石→鈉長石→硬玉；鈣長石+透輝石→石榴石+綠輝石等等——原編者注。

永远也不会看到在深处新形成的岩石。但是，因为各种矽酸盐之間在固体状态下发生反应是很慢的，所以，往往在岩石的矿物成分上所反映出的条件，在地表上不存在，而是极深处所特有的。重結晶的速度不仅决定于温度和压力，而且也决定于在地壳中循环并局部浸透岩石的液体。这些液体的存在成了反应中的媒介，成了加速晶体之間反应的催化剂与溶剂。另一方面，它們往往也起着組成矿物的活动組份的作用，依靠水中溶解的物質以新矿物来交代原来的矿物。同时水本身也可能加入到矿物的成分中。例如形成含氢氧根的矿物：云母、綠泥石、滑石、蛇紋石、角閃石、綠帘石、十字石等等。溶解于水中的气体，特别是碳酸气起着重大作用。某些学者認為水与二氧化碳能有剩余，而且能渗入整个岩石中。但是，許許多多残余結構的存在、变質时岩石变化的不完全、完全被交代的岩石中个别未变化部分的保存、依綫状延长的条带状的变質——这一切都說明变質作用剂的渗入是不均匀的，沿着地壳中的裂隙和环流液体較多的地带或者是动力变質活动性及作用力較大的地带。这些都导致岩石在变質时变化不一致，由于这个緣故，得以闡明某一区域变質岩系的发展历史。

交代現象在变質作用中具有巨大作用。柯尔仁斯基十分注重交代現象的研究。交代現象往往表現在假象形成方面，而有时則使得原生岩石的矿物成分完全为另一种截然不同的矿物成分所交代。此种現象的例子有，矽質岩石交代灰岩的作用，由其它各种成分的岩石形成各种石英岩的現象，或者是在侵入体的接触帶上大理岩被交代而生成鈣矽酸盐岩石的現象。当然，如此显著的岩石成分发生根本变化的例子，在与岩浆岩接触的地区，以及各种热液成因的脉的两旁表現得最为明显。这些例子都表明，作用发生时不是沒有溶液参加的，溶液的溶剂多半是水，而其中所溶解的物質是各种不同的組份，它們和被交代的原生岩石发生反应，并在其原生矿物上沉淀出来。原生岩石的矿物共生組合在既成的新条件下不稳定的性質是交代作用所必要的条件。除此而外，这时带入的溶液能与原生岩石成分中的固体矿物互相发生反应，也能起重大作用。研究交代現象，証明了在这个过程中可以見到各种不同的次序及阶段，表明作用的进行是依次发展的，在液

体成分有变化的条件下，作用就处于不同的阶段；随着各阶段出现各种不同的矿物。另外，由于距交代来源，特别是距沉淀某些矿物集合体和矿脉的液体的循环地点远近不同，各种矿物的交代沉淀产物往往是有区别的。例如，有时可以看到，在热液矿床中直接与矿脉或矿体接触处是矽化与絹云母化作用，在距离较远的地方逐渐为綠泥石所代替，也就是岩石的綠泥石化作用。这种现象用柯尔仁斯基所提出的元素差异活动性这个概念（дифференциальная подвижность элементов）能很好地说明。

質量作用定律（закон действующих масс）在交代作用过程中有很大作用。携带各种物質的溶液与围岩发生反应，有时就渗入围岩，并在其中析出被溶解的組份，而自围岩中携出的其它組份則被溶解。围岩中的組份被溶液携走，在另一种条件下沉淀下来，在具体的地質剖面中这种条件并不总是能搞清楚的，因为物質可能被帶到所研究的空間体系以外。自然，根据溶液所沉淀出的物質可以断定成分的活动性。例如，如果交代作用使含长石的岩石或其它岩石发生絹云母化現象，就可作出結論，溶液中易活动的成分是鉀的化合物，也就是說，溶液成分中含有鉀（无疑地是在某种化合物中）。如果交代作用引起鋁长石化，那么活动元素是鋁。

矽化作用时变質岩石中所充滿的溶液，其中的活动成分是呈某种二氧化矽形态的矽。二氧化矽还能与硷类組份結合成矽酸盐化合物。但是需要注意，即使二氧化矽是活动性小的組份或惰性組份，矽化作用也可能发生，此时溶液将其它組成部分自岩石中滤走。在这种場合下，二氧化矽是残余物，而岩石中則由于淋濾的緣故出现了空洞。柯尔仁斯基把这类作用根据与其有关的作用的不同，叫做接触式淋濾作用或其它形式的淋濾作用。

柯尔仁斯基認為，变質作用在頗大程度上决定于水溶液和二氧化碳。水溶液在深处充填于岩石中，二氧化碳在深处作用中是处于游离状态。此时溶液中組份的活动性是有差异的，有一些組份易活动并且在交代反应过程中其所消耗的能够迅速地补充起来，另一些活动性則較小。活动性小的組份在某一体积的溶液中消耗完以后，反应便停

止，但如果活动性大的話，作用便能无止境的繼續下去，因为物質不断地带来。这种情况对于渗入岩石或其裂隙并且不处于运动状态的静态溶液未必能适用。当沒有动力因素时，其中溶液在体系中是一个比較稳定的值，因为它与周围岩石处于平衡状态。当溫度与压力条件改变时，溶液所发生的变化具有很大意义，溫度和压力条件能改变反应的方向，并且在不同深度与不同溫度的情况下生成另外一些矿物共生組合。接触区和各种热液及溫泉所影响的地区，不管其是否岩漿成因，都有不同的情景。这些水沿裂隙或孔隙循环时，使其中溶解着越来越新的物質，柯尔仁斯基的各組份差异活动性的定律在这里能得到充分的使用。每一份在与围岩反应后成分改变了的溶液，又有从深处带来的新物質补充。这里只有当溶液本身的成分变化了，交代作用反应方向才可能改变，溶液本身成分的改变可能是由于下列原因，岩漿分裂性質在接触帶中变化了，或者是溫度和压力改变了，在空間上也可能是溶液的来源地离远了，因为随着远离溶液来源地，交代反应能导致該变質溶液本身发生变化。

当溶液压力稳定，并且携带着进行交代作用的新組份，这些新組份又能陸續补充的时候，交代作用就可能达到极点，也就是一直到所形成的岩石，其組成矿物的成分特点都是变質溶液中最活动的組份。在上面所談的情况下，这种矿物成分是呈石英的二氧化矽，或者是絹云母或白云母。由此可以得出的相律是在热液交代或由于循环液体影响的其它形式的热液交代中的相律。柯尔仁斯基証明。在这种情况下相律的特征是，地壳环境中所发育的矿物的数目少于組份数，而在极端情况下则会只形成一种矿物。用他的話說：“一般情况下，同时在岩石中生成的稳定矿物的最高数等于岩石的組份数，減去全部活动組份的数目以及在所有矿物中含量低于极限量的組份数”。

某种組份的极限含量就是指具一定的含量或浓度，在此情况下該組份能作为一个独立的相呈某种矿物而开始析出。这个条件是必須的，因为許多組份，如氧化錳以及一部分氧化鉄，不能作为独立的矿物种屬发育，而仅成为岩石中暗色組份的类質同象混入物出現。鈦也完全一样，含量在一定程度以內时就加入到暗色矿物成分中，但是当浓度达