3511
732/6024
K-4
124238

作为找矿标誌的圍岩蝕变

美國 T. S.罗佛林 等著

徐 韋 曼 譯

經济地質学雜志專刊

第 一 册

地質出版社

1957·北京

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

ROCK ALTERATION AS A GUIDE TO ORE——EAST TINTIC DISTRICT, UTAH

by

T. S. LOVERING

In collaboration with W. M. Stoll, A. H. Wadsworth, H. V. Wagner, B. F. Stringham, H. T. Morris, Lowell Hilpert, J. F. Smith, Alberto Terrones L., F. G. Bonorino, J. W. Odell, and E. Mapes V.

Monograph 1

Economic Geology

Economic Geology Publishing CO.

Urbana, Illinois

1 9 4 9

本書在1951年由苏联地質礦物学博士E.A.拉德克維奇譯成俄文，这次譯成中文时，除根据英文原版外并参照了俄文譯本，書中的圖版和插圖是根据俄譯本复制的。E.A.拉德克維奇在俄譯本的序言里对本書的內容做了全面而正确的評价，因此我們也一併譯出附上，作为讀者閱讀本書时的参考。

作为找矿标誌的圍岩蝕变

著　　者　美　國 T. S. 罗　佛　林　等

譯　　者　徐　　章　　晉

出 版 者　地　質　出　版　社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可証出字第050号

發 行 者　新　華　書　店

印 刷 者　地　質　印　刷　厂

北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯：馮天階　杜宝毓　校对：賈秋芳

印数(京)2,600本册　1957年8月北京第1版

开本31"×43"1/25　1957年8月第1次印刷

字数 75,000字　印張3 9/25　插頁9

定价(10)1.00元

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

目　　錄

俄譯本序言 …… 5
摘要 …… 7
緒論 …… 11
地層 …… 13
　沉積岩 …… 13
　火成岩 …… 17
地質構造 …… 24
金屬礦床 …… 27
岩石的蝕变 …… 28
　一般特征 …… 28
　蝕变作用的化学 …… 31
　兩次火山噴發之間的加速風化 …… 33
　早期无礦階段 …… 34
　中期无礦階段 …… 38
　晚期无礦階段 …… 42
　早期產礦階段 …… 45
　產礦階段 …… 47
　下降蝕变 …… 48
　各蝕变階段的时代关系 …… 50
　各蝕变階段的成因和化学作用 …… 58
找礦的建議 …… 75
結論 …… 77
參考文献 …… 79
華英名詞对照表 …… 81

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

俄譯本序言

罗佛林和他的同事們的这一專著，是專門討論热液活动过程中的圍岩蝕变和这些蝕变現象作为找礦标志的意义等重大問題的著作。这本著作綜合了犹他州东廷蒂克礦区的許多資料，并且是岩石化学研究的創作。

作者断定，近礦的蝕变——石灰岩的白云岩化、矽化和泥質化作用——并非与成礦作用同时發生的，而是在成礦之前依次形成的、有时間間断的几个热液活动階段。热液蝕变部分和成礦部分在空間方面的結合，是由于各种溶液都是沿着同一个輸送通道运动所致。

作者确定了礦化溶液的組份在时間和空間方面的变化——溶液沿着通道前進和向通道的四周擴展而發生的变化。

作者提出的关于蝕变岩石在各階段的过程中所表現的化学親和力的依次变化的一些結論，都很合于邏輯。这些結論是根据共生礦物的研究、受过蝕变和未經蝕变岩石的化学親和力、以及考察所得的事实与文献中已發表的合成礦物資料和現代温泉中礦物的生成情况的对比。

这样寫成的各种溶液的化学親和力遞变的再造史，是相当生动的。但是所有的結論僅僅是一种假說。合成礦物的实驗資料，决不是全部都可以无条件地应用于自然界，而作者在某些地方所采取的肯定結論，我們認为过早。

作者把某些礦物，特别是“中期无礦階段”的礦物，如叙永石、蒙脫石等等，归入上升（Гипогенное）成因的类型，不免令人怀疑。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

在他的著作中，作者对于金屬礦物和蝕变岩石的組成和構造关系，以及它們所造成的地質体的形态特征，只作了簡單的叙述，因此把上述各礦物作为上升成因的結論，不能使人信服。这些礦物主要散布在上部層位中，这一点就足以表示它們的下降（Супрегенное）成因。作者顯然也沒有估計到，在有利的構造环境下，風化作用有达到地面以下很大深度的可能性。

关于蝕变岩石各階段之間所發生的間断，作者也沒有引用充分的構造証据來加强他的基本結論。因此，关于晚期无礦階段的矽化过程、早期產礦階段的鉀質蝕变和礦石本身沉積时期之間的間断的結論，也足令人怀疑。

但是，总的來說，罗佛林的著作，无疑是独特的和有意义的創作，在上升成因金屬礦床的区域工作的苏联地質專家們，如能对他的著作作一番研究，应当是有用处的，因为作者收集了許多关于鉛鋅礦床的大規模和詳細研究的有价值的資料。在方法方面，作者提出用上复岩石的热液蝕变作为找礦的标志，尤其足以引人注意。

E·拉德克維奇

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

作为找矿标志的圍岩蝕变

罗佛林等著

摘　　要

在东廷蒂克区域，渐新統（？）火山岩系的下部有凝灰岩和集塊岩的扁豆狀夾層。火山岩系主要为斑狀石英二長安山岩的熔岩所組成，并且复盖在受过強烈褶皺、断層和深度侵蝕的古生代地層之上，古生代地層的下部是一層很厚的石英岩所構成的基底，上部則主要为碳酸鹽沉積物所組成的厚达1500公尺的地層。火山岩系和古生代地層，都被石英二長岩和斑狀二長安山岩的侵入体以及“小礫石脉”（Pebble dikes）所貫穿；所謂“小礫石脉”就是含有稍帶稜角的或圓形石英岩碎塊的脉狀体。热液蝕变局部地影响着所有的这些岩石，但是只有在火山岩系以下的岩石里面才能找到礦床，虽然它的形成时期比侵入体晚。在石灰質沉積岩中所找到的礦石，大部分是鉛-鋅-銀的交代礦体，而石英岩中的礦石則大部分为含銅-金的黃鉄礦脉。

交代礦体一般有一个含黃鉄礦的似碧玉岩外壳，外壳的外面，又被一層热液白云岩的外套所包圍。

靠近礦体的部分，絹云母非常多，而在似碧玉岩的外緣，有些地方常見粘土礦物的蝕变作用。礦物的这种帶狀排列，可能是不同的溶液在不同的时期內通过同一途徑所造成的結果。

蝕变階段包括火山作用时期內的靠近地面的可疑的早期热液蝕变階段，和后來的五个无疑的热液蝕变階段：（1）早期无礦階段；（2）中期无礦階段；（3）晚期无礦階段；（4）早期產礦階段和（5）產礦（礦石）階段。在早期无礦階段，石灰岩变成白云岩，而

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

火山岩系底部的岩石則被絲泥石化。早期无礦階段的溶液所通过的途徑比較多，而且穿透的距离也比后來几个蝕变階段远，但是含礦溶液所通过的道路，十有八九可能是早期白云石化溶液所走的途徑。通过早期无礦階段蝕变的測繪，我們对热液的輸送系統獲得了宝貴的資料。

中期无礦階段以產生粘土礦物（泥質蝕变）为主，这类礦物以在火山岩中为最多，但石灰質岩石中也很常見。泥質化作用集中在各侵入体中心的周圍；侵入体本身有时也有非常強烈的泥質蝕变，有时則殊不足重視。部分泥質化的二長岩体周圍的熔岩中，可以有許多蝕变帶；这些蝕变帶可能反映着中期无礦階段后期的热侵入体的溶濾，和物質向較冷的圍岩方向的移运。

泥質蝕变，几乎使所有岩石的組成部分都受到大量的溶濾，并使岩石的孔隙率有相应增加。岩石的溶解和孔隙的擴大，是为金屬礦物准备沉積处所的重要因素。后來的溶液，一般把沿着礦石孔道的粘土礦物变成其他蝕变產物。

晚期无礦階段的特征，主要表現在沉積岩中的似碧玉石、重晶石、黃鉄礦和稀少的絲泥石，以及火山岩复盖層中的水鋁英石—石英、重晶石、立方形黃鉄礦、方解石和少量的鉄叶絲泥石。这种变化，集中于主要礦化孔道的附近，而它和礦体的关系比和可以看到的侵入体的关系为密切。晚期无礦階段的矽化作用所达到的范圍，很少超过成礦沉積的水平以上；在熔岩中，这种作用非常少，而在熱液白云岩中，則分布很广，但是本期的黃鉄礦和方解石的散布距离，却比較远得多。黃鉄礦有集中于緊接礦化裂隙上面的火山岩中的趨势，但方解石的交代作用則比較散漫，它散布到黃鉄礦帶范圍以外好几十公尺。大部分已知的富礦体和晚期蝕变的密切联系，使后者成为臨近礦床的有利标志。

早期產礦階段的蝕变不太顯著，但在礦体附近几乎到处都有；鉀質以及少量透明石英和五角十二面体的黃鉄礦的增加，是它的标志。这一階段特有的絹云母—水云母蝕变透入富礦体圍岩內的深度，很少超过几公尺，但是随着适当孔道前進的范圍，可以超过礦体上部極限

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

以外好几百公尺。

產礦階段是以硫化物、硫鹽類、硫砷鹽类的大量沉積为特征，此外，并有少量的碲化物和金，以及很少量的脉石。

硫化礦石的風化，產生一套等常下降成因的金屬和非金屬礦物。凡在酸性硫酸鹽溶液活动的地方，高嶺石、叙永石、黃鉀鉄礬和水鈉明礬石和水鋁英石，都占优越的地位，但在其他地方，高嶺土礦物和硫酸鹽礦物都很少。蒙脫石、貝得石、多水高嶺土（endellite）、水鋁英石、三水鋁礦和方解石，是离开硫化物而略帶鹼質条件下的普通風化產物。黃鉄礦、黑云母、綠泥石、綠簾石和磁鉄礦等变成的褐鉄礦，其外表各不相同；这种区别，对于鑑定各种类型的蝕变岩石，帮助很大。黃鉄礦氧化成褐鉄礦时，放出大量的热，并且增加地热增温率。

关于各蝕变階段的时代关系，肉眼和顯微鏡研究所得的結論是相同的。各蝕变帶的礦物学和共生关系，是从热液活动中心向外变化，不論在垂直方向和水平方向都是如此；如果把各种礦物从这些中心向外排列，則其距离就代表它們形成年代遞增的次序。

一个蝕变階段的成因和化学作用，是从礦物的共生关系和所發生的化学变化推知的。蝕变期間化学組份的增減情况，概括在圖7、9、10、11上面。在早期无礦階段的白云石化和綠泥石化蝕变中，MgO和FeO量增加，而CaO、SiO_2和Al_2O_3則減少。这种蝕变，可能是含有少量重碳酸鹽的氯化物热液所造成。

在早期泥質蝕变期間，除水份以外，岩石的一切組成部分，多少都經过溶濾。这些变化应归功于鹵酸噴气。在泥質化二長岩边緣各帶中——它的本身也有正常的大量溶濾——鉀和二氧化矽都有增加。周圍的泥質蝕变帶中的礦物，似乎反映着組份的移运和再沉積，而这种組份是由向較冷地帶滲透的溶液从較热的二長岩中獲得的。明礬石可能主要是由中性溶液所形成，而二氧化矽和高嶺土礦物，可能由微酸的溶液所造成。

晚期无礦階段的似碧玉岩交代体，主要表示二氧化矽的沉積，以及碳酸鹽岩石中的CaO、MgO、CO_2和頁岩中的大量Al_2O_3和K_2O的溶解。二氧化矽和与之伴生的少量重晶石以及黃鉄礦，是起源于含有少

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

量硫酸鹽和硫化氫的中性液态岩漿重碳酸鹽溶液。似碧玉石化帶外緣的錳，可能是白云岩化初期引入的錳質的溶解和再沉淀。溶液从白云岩中獲得的鈣質，大部分沉淀在上复的火山岩內，但鎂質則隨溶液流去。似碧玉岩上面的石英二長安山岩中的黃鉄礦暈圈，除黃鉄礦化外沒有受过其他蝕变，其含鉄量与正常熔岩中的含鉄量沒有顯著的变化，所增加的硫質，可能是由于H_2S的气相轉移。

早期產礦階段的各种溶液，增加了岩石的鉀質，此外很少引起其他的变化。在空隙中沉積有少量的石英和黃鉄礦。这里沒有酸性蝕变的痕跡，但其中所形成的大量絹云母，表明溶液的鹼性不強。在產礦階段，除了硫化蝕变外，可能沒有其他变化。

以上的各种蝕变，沒有一种可以作为礦体的肯定标志。但是无礦熔岩复盖層中的蝕变和“小礫石脉”的詳細研究，对下伏岩石的構造、蝕变和性質，提供了不少新資料。知道了各蝕变帶的空間关系和在有利的構造条件区域內所表現的各蝕变階段，以及以礦石沉積为最高峰的热液作用序列中各階段的位置，我們可以獲得相当可靠的根据來估計找到礦体的机会。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

緒　論

大家往往默認，与金屬礦床相伴生的热液蝕变，基本上与成礦沉積是同时的；而圍岩中的各礦物帶，可以作为强有力的成礦溶液逐漸向外減少其活动力的反应圈來看待❶。另一种与此相反的見解則認为，各种蝕变帶是由不同的溶液所造成，而各次溶液的活动时期之間，有相当的时間間隔。廷蒂克区域所提供的証据，使作者和他的共同研究者，主張后一种見解。

兩种見解的拥护者似乎都同意，深部的蝕变，可能与同时在靠近地面所引起的蝕变很不相同，因为經过深部蝕变之后，溶液已經改变了它的物理化学性能；他們并且也同意，从孔道向外帶方向的側面变化，可能証明沿着孔道向出口方向变化的規律性。至于这些变化是怎样的，意見还不能一致。

此次研究，特别着重說明礦床沉積与各期蝕变作用在时間和空間上的相互关系，此外还特别注意每一个蝕变階段中蝕变在側面和垂直方向的变化。由于这种研究的結果，我們認为已經找到了一些准則，有了这些准則，使地質工作者不僅可以預測礦化孔道周圍蝕变的帶狀变化，而且也可以預測深度方向的变化，如此在勘探之前，可以对礦区作比較准确的評价。

廷蒂克礦区是犹他州的重要礦区之一，这里所生產的金屬的总值，已經远超过四億美元。國內著名的地質工作者对該区的复雜地質情况和許多种类的金屬礦床，都做过一番研究，并且編成了卓越的报告，其中包括該区的地層学、構造情况和經济地質学。除了林格倫和劳夫林（参考文献27）的著作外，很少的著作論到礦化区域的顯著、

❶本文付印之后薩尔斯和麥耶著的"蒙大拿州比尤脫区的圍岩蝕变"一篇論文（R.H.Sales and Charles Meyer, "Wall rock alteration at Butte, Montaha"），（美國采礦工程师学会技術报告2400号）恰好出版；这篇論文被热忱地推荐为对这种观点提供了最好証据的杰出著作。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

普遍而繁复的蝕变現象。所有研究过本区域的專家几乎都感覚到岩石蝕变和礦床沉積之間可能有密切关系。畢林斯雷（参考文献5）就是根据有利的構造条件和蝕变很深但不含金屬的熔岩兩者的配合，而建議开發东廷蒂克区的北丽营区域，結果發現了礦体。在退色流紋岩下面作進一步的勘探，非但沒有增加反而減低了采礦人員对蝕变現象作为找礦标志的信心。热液蝕变現象有系統而詳細的研究，或者可能使我們認識某些可以幫助我們在东廷蒂克区域或其他地点發現新的盲礦体的原理；这种可能性，引起美國地質調查所在第二次世界大战的初期進行这样的研究。以下各節就是这次研究的总結。这篇論文的目的，是使地質工作者了解在东廷蒂克区域所看到的各种圍岩蝕变特性的解釋，和編制蝕变圖的技術。内容更为完整的报告，以后將由美國地質調查所出版，其中將包括达成这种結論的許多化学数証，而所調查的面積也比較大。本文主要是一种区域性研究的初步报告；以后报告中的結論，可能有一些出入，而其中的地圖，也可能有一些小的修改。

关于廷蒂克礦区的文献是相当丰富的，但其中有三篇报告，对于不熟悉該区情况的地質工学者特别有用。林格爾和劳夫林的报告（参考文献27）内容最为丰富，其中包括廷蒂克区域和附近礦化区域在1916年以前所知道的地層、岩石、礦物、構造和礦床的叙述。吉尔吉尔（参考文献25）的未發表的論文，包括有許多新資料，特别是对于东廷蒂克区域的开發情况的資料，并且着重講述了構造和構造控制（Structural control）对于礦床分布的作用。这篇报告的原稿，藏在史丹福大学圖書館内，許多采礦公司的档案中都有影印的副本。畢林斯雷和克侖（参考文献6）寫了一本礦区地質情况的綜合和礦業簡史，作为1913年國际地質会議成員野外考察指南之用。任何人願在該区内作短时期旅行，都可以从这篇报告中獲得卓越的地質鳥瞰。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

地　層

在东廷蒂克区域，漸新紀（？）火山岩系的下部，夾有扁豆狀的第三紀礫石、崖堆、水積凝灰岩和風成火山灰与火山集塊岩的夾層，这个岩系，复盖在受过強烈褶皺、断裂和切割很深的古生代沉積岩上面。

沉　積　岩

在圖版二—四所表示的小面積內，下寒武紀廷蒂克石英岩基岩上面的古生代岩層的总厚度，超过1500公尺。在沉積岩剖面中，寒武紀和密西西比紀占絕大部分，但是其中也有奧陶紀的岩層。廷蒂克石英岩上面的剖面，大部分是海成石灰岩和白云岩，根据衝勒（参考文献37）的看法，廷蒂克石英岩是下寒武紀和中寒武紀期間从东北方向來的海侵所造成的海濱相岩石。除了寒武紀頂部和密西西比紀底部有糢糊的不整合外，厚層石灰質岩石的沉積中很少有任何实际的間断，虽然在犹他州的这一部分，完全沒有志留紀的岩層。

东廷蒂克区域沉積岩層的簡單描述，列举在表1內。

东廷蒂克区域沉積岩的綜合剖面　　表1

时　代	建造、分層、或組成單位	厚　度（公尺）	性　質
第四紀	冲積層 崩積層 崖　堆 階地和磧原礫石	无定	砂、砂質粘土、和冲積層与崩積層中的細礫； 崖堆中的基岩巨角碎塊、土壘、和坡冲剧物； 階地和磧原礫石中主要为矽化燐岩所組成的次多角巨礫和小礫

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表1（續）

时　代	建造、分層、或組成單位	厚　度（公尺）	性　　質
		不　整　合	
漸新世(?)	凝灰岩 角礫岩 火山集塊岩和河流礫石（伴生的熔岩在岩凝岩部分溢逃）	无定	火山集塊岩（主要为火山基質中的火山岩小碎塊，有时有古生代岩石的碎塊）不整合的复蓋在長石砂和細礫上面，而后者又堆積在水積和風成的淡色凝灰岩上面
		不　整　合	
密西西比紀（下石炭紀）	加德納❶白云岩(黑色頁岩)	226	
	（灰色含化石的白云岩）	（30）	献質黑色頁岩，靠近頂部含有紅色頁岩夾層
	（藍色含化石的石灰岩）	（48）	塊狀，灰色，含化石燧質石灰岩，并含黑色燧石的結核和細脉
	（"皺紋"石灰岩）	（27）	薄層藍色石灰岩，含有大量的矽化杯形珊瑚和其他化石；頁岩狀層面
	（砂糖狀白云岩）	（2.5）	0.6 公尺厚的淡灰色、細粒、波紋狀層的石灰岩，層次鮮明，其下为粉紅色的石印灰岩（1.8公尺）， 灰色砂糖狀白云岩，頂部以下 7.5 公尺处有一層綠色燧石
	（黑色白云岩）	（18）	塊狀、細粒、深藍灰色到黑色的白云質石灰岩
	（藍色頁岩狀石灰岩）	（11.5）	藍灰色、層次清晰、頁岩狀石灰岩，色澤暗淡
	（白色石灰岩）	（10）	塊狀、粗粒、層次不清的石灰岩，从頂部近于白色的岩石逐漸過变为底部的灰色岩石
	（藍色片狀石灰岩，包括以前認为屬于泥盆紀的晶質峯石灰岩）	（86）	層次良好、中粒藍色石灰岩；上部有許多中心具有黑色的圓形石片（化石碎塊？），頂部以下14公尺处，有一層20公分厚的石英岩，底部有頁岩狀岩層
	（雜色白云岩）	（21）	塊狀、淡灰色白云岩，粗細結晶都有
	維多利亞石英岩❶	30	黃棕色石英岩質砂岩，中間夾有層次顯明的細粒灰色石灰岩夾層

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表1（續）

不　整　合

时　代	建造，分層，或組成單位	厚　度（公尺）	性　　質
上奧陶紀到下奧陶紀	藍色貝尔❶白云岩	269	
	“諾亞白云岩”	（87）	上部21公尺为塊狀藍灰色白云岩，其下为層次明晰的灰色和藍灰色白云岩，底部有頁岩狀層面
	“多位白云岩”	（64）	上部3公尺为灰色，波紋形薄層（皺紋狀）白云岩；其余的單位主要为細粒藍灰色白云岩，其中含有少数淡灰色近于石印石的白云岩層
	“比丘白云岩”	（64）	上部18公尺为淡灰石印白云岩，鋪在層次良好的細粒藍灰色白云岩上面；底部以上19公尺处，有8公尺厚的一層斑点很多的藍灰色白云岩
	“依格尔白云岩”	（54）	淡灰色細粒白云岩，上部有深灰色燧石層；底部有4.5公尺厚的深藍灰色、細粒、薄層、片狀白云岩
下奧陶紀	奧波洪加❷石灰岩	247	薄層頁岩狀石灰岩，含有許多石灰岩深岩層。其条紋斑点，或鏃嵌狀的外表，使它易于識別，而其中所含的被黃色到紅色的粘土物質所包圍的短薄扁豆狀灰色石灰岩的夾層，使它更为特出
	爱杰克斯❷石灰岩	187	
	上石灰岩分層	（117）	細粒薄層到中等厚層的灰色鎂質石灰岩，上部多燧石
	綠宝石白云岩分層	（10）	細粒淡灰色白云岩
	下白云岩分層	（60）	深灰色、斑点白云岩和鎂質石灰岩；含有交錯和礫岩層，以及許多淡灰色燧石的結核和扁豆体；靠近底部帶有寬黑边的白色枝狀体

不　整　合（？）

上（？）寒武紀	奧貝克斯❶❷❸	153	
	白云岩上部分層	（90）	頁岩狀鱗狀石灰岩，扁礫岩和薄層頁岩的交互層。靠近底部的岩層次序，是从上面的綠色和紅色頁岩向下轉变为7.5公尺厚的淡灰色粒狀石灰岩，再下面为底部的深藍灰色頁岩狀石灰岩，厚6公尺

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表1（續）

時　代	建造，分層，或組成單位	厚　度（公尺）	性　　質
	下部分層	（63）	中度灰色到深灰色白云岩：有的地層有斑点，有的含有白色枝狀体，有的点綴有小的黑色碎片，有的是粒狀并呈細致的交錯層
前(?)寒武紀	阿尔祿組④白云岩	180	淡灰色和深藍灰色細粒白云岩的交互層。淡色地層厚度为3—7.5公尺，深色地層，厚度为3—30公尺。致密細層狀層很普通，尤其是淡灰色的变种。基底以上27—39公尺处，有少量的灰色和黑色燧石
前(?)寒武紀	白都勒辦特④白云岩	54—60	深藍灰色細粒白云岩，在風化表面上有模糊的斑点；含有大量白色枝狀体，長0.8—2公分，直徑約0.3公分
中寒武紀	赫吉默④石灰岩	112—127	上部67公尺，包含具有一些頁岩夾層的薄層石灰岩，石灰石礫石，和鮪狀層；基底以上54公尺处，有6公尺厚的剝裂綠色頁岩；下面的藍灰色石灰岩中，有許多中等厚度的分層，被不連續的黃棕色粘土物質薄層所染污
中寒武紀	德格馬④石灰岩	24	淡灰色白云質石灰岩，風化成乳酪色，以具有塊狀破裂習性的致密細紋層为其特点。此为寒武紀剖面中最好的标志層
	桑姆布④灰岩	126	上部为薄層的中粒到細粒的藍灰色石灰岩，中有豆狀石灰岩；在剖面中部，豆狀石灰岩很普通；下部有間断的藍灰色到黃棕色粘土夾層；底層含有直徑0.3到1公分的球狀海藻構造
中寒武紀和寒武紀	奧非❶建造	123	
	上頁岩分層	（27）	淡黃色到綠—灰色剝裂頁岩，中有許多灰質砂岩和砂質頁岩扁豆体
	中石灰岩分層	（44）	主要为石灰岩，中有1.5—12公尺厚的頁岩夾層。分層底部的“愛普克斯層”內有許多化石碎片（三葉虫头部？），厚为1.5—3公尺
	下頁岩分層	（53）	上部21公尺为綠色非石灰質頁岩；在基部上面27公尺处，有3公尺厚变化很少的淡褐色頁岩狀白云岩；分層的下部，含有砂岩和砂質頁岩，并与剝裂的石灰質頁岩成交互層

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表1（續）

时　代	建造，分層，或組成單位	厚　度（公尺）	性　　質
下寒武紀	廷蒂克❸石英岩	超过1070	主要为淡色中等厚度的石英岩；上部300 公尺内有云母页岩，剖面下半部有深岩層
	基岩，无露头		

❶第一联合采礦公司的資料（地質專家克侖）。
❷林格蘭和劳夫林（1919）的資料。
❸这次研究的資料。

火　成　岩

一般特征　东廷蒂克区域的火成岩包括兩个噴出岩系：早期噴出岩系，是由凝灰岩和集塊岩以及石英二長安山岩所組成；晚期噴出岩系，則包含黑云母－角閃石二長安山岩流和凝灰角礫岩。兩者都被侵入的黑云母和角閃石二長岩脉和岩干所突切。火山岩和下面的古生代岩層之間的陡峻接触面、火山岩側面厚度的顯著变化、和基底部分的不規則分布，都說明在火山活动之前，东廷蒂克区域的地形有很大的起伏。在火山作用以前的侵蝕面上，虽然偶尔也有崖堆和河流礫石，但是一般缺少这一类的沉積物；这种事实表明当时有強烈的侵蝕和幼年的地文。最初堆積的火山沉積物是火山灰和火山抛出物，形成一層連續的复蓋層，掩蓋在所有的山脊和河谷上面。

噴出岩　派卡特流紋岩是凝灰岩、集塊岩、斑狀石英二長安山岩和玻基斑岩所組成的岩系；在东廷蒂克区域，这一岩系复蓋在古生代岩層上面。在霍門斯維尔区域，風成和局部水積的石英-絹云母-貝殼石凝灰岩，标志着火山的第一次噴發，而其中所夾的長石砂礫和凝灰質砂礫，以及上面的粗粒火山集塊岩，表示火山旋迴是以間歇性的爆炸噴發开始的。在凝灰岩底部，常見炭化的植物遺体，但在底層以上則不多見。集塊岩几乎完全为黑云母石英二長安山岩和黑云母-石英

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

玻基斑岩的碎塊所組成，但在少数地方，也有古生代岩石的碎塊。

派卡特流紋岩下部的集塊岩上面，是一系列的岩流，其組份以石英二長安山岩为最多。它們的最大厚度还沒有确定，但在本区域的东部边緣，它們的厚度超过 350 公尺，如圖 1 所示。石英二長安山岩是淡藍灰色到紫灰色的中粒到致密的斑狀霏細岩和斑岩。斑晶一般占据岩石的20%，其中包含有中長石10%，黑云母 5 %，和石英 5 %。有些岩流中，有鈉透長石、正長石或角閃石的斑晶，但不普遍。基質則有从致密半玻璃質到石英和鈉正長石的微晶粒狀鑲嵌結構。磷灰石、磁鉄礦和鋯英石是普通的副礦物。流紋構造非常顯著。

在霍門斯維尔区域，派卡特流紋岩的頂部，至少有兩个玻基斑岩的岩流，总厚度約为 15 公尺 ，緊靠着品揚峰的东面（ 制圖区域的北面 ），它們不整合地鋪在凝灰岩和石英二長安山岩上面。玻基斑岩和下伏岩層的关系，在离开沃特丽蕾豎井西南不远的柯波里夫礦場表現得很清楚，那里有一条未經蝕变的黑色玻基斑岩岩流舌，超复在退色的石英二長安山岩上面，这种退色作用是兩次火山噴發之間加速風化（accelerated Weathering ）序幕的特征，如本文第33頁所述。玻基斑岩有流層構造，而局部的底層，則有集塊構造。可以鑒別的礦物，是黑色黑曜石基質中的黑云母、中長石拉長石和透長石的斑晶。这些顏色、結構、和礦物成分对某些石英二長安山岩的局部玻基斑岩相来說也是典型的。

在这个岩系上面，包括派卡特流紋岩在內，都是凝灰岩，集塊岩和黑云母-角閃石二長安山岩流， 在拉古納車站（ 制圖区域的东北，圖版二 ）附近的品揚溪峽谷中，有良好的露头。它們是由不同厚度的不均匀的互層所組成的岩系，这种岩石以具有黑云母和角閃石斑晶为特征，但是沒有石英斑晶。它們直接鋪在派卡特流紋岩頂部的玻基斑岩上面，而集塊岩的致密基質中，則嵌有这种玻基斑岩的圓形黑色中礫。这种集塊岩，也含有風成火山灰、河流冲刷的礫石扁豆体、和无色帶狀的二長安山玻基斑岩的互層。

集塊岩的頂部和底部，都有黑云母-角閃石二長安山岩。岩流是褐色到灰色，新鮮的断口則帶綠褐色，而在致密的半晶質基質中，有黑色

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

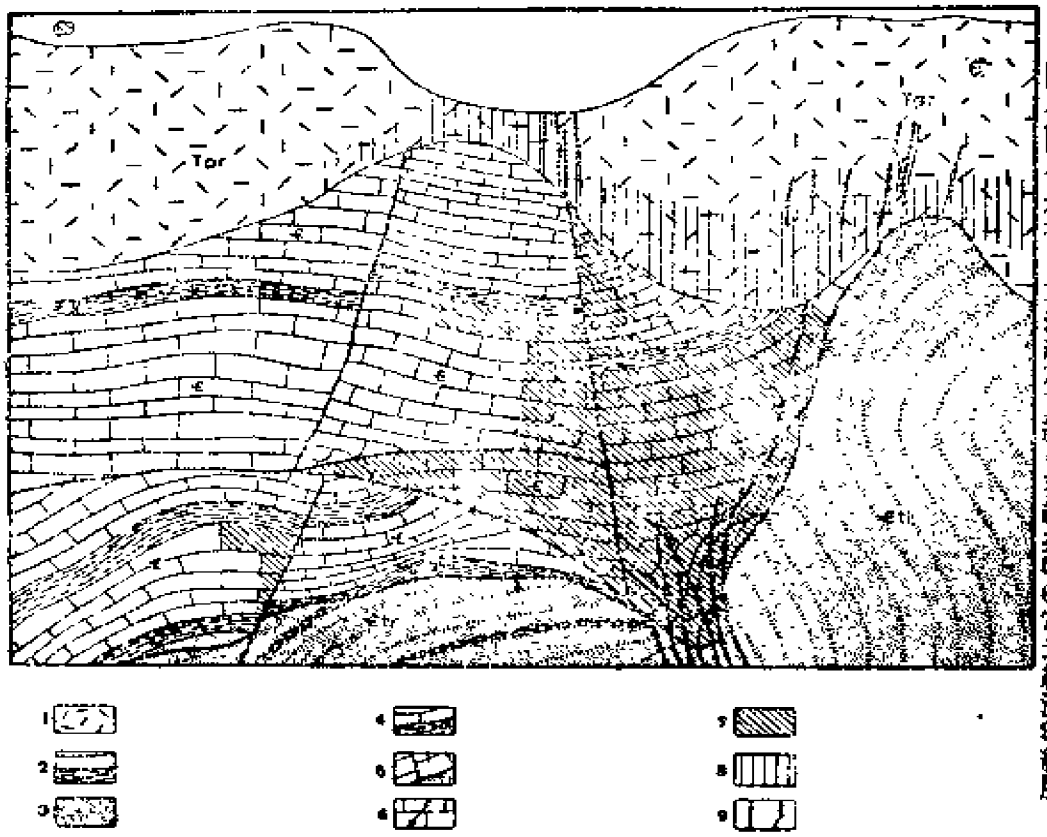


圖1.表示早期无矿阶段蚀变与構造和岩性关系剖面圖

1—第三紀派卡特洗紋岩；2—石灰岩和页岩(寒武紀)；3—钾花克石英岩(寒武紀)；4—接触帶；5—断層；6—裂隙；7—热液白云岩；8—綠泥石化洗紋岩；9—石英-綠泥石細脉

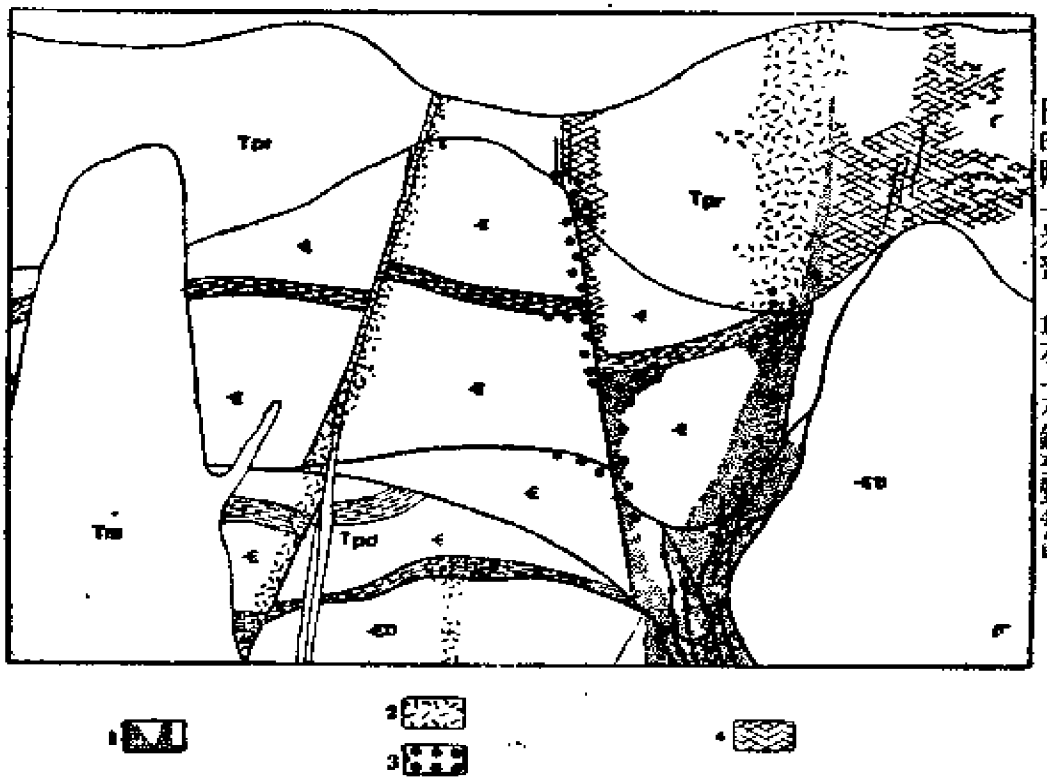


圖3.表示晚期无矿阶段蚀变与構造和岩性关系剖面圖。

1—似碧玉石和石英与水鋁英石；2—黃鉄礦化蚀变；3—氢置交代；4—方解石蚀变

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

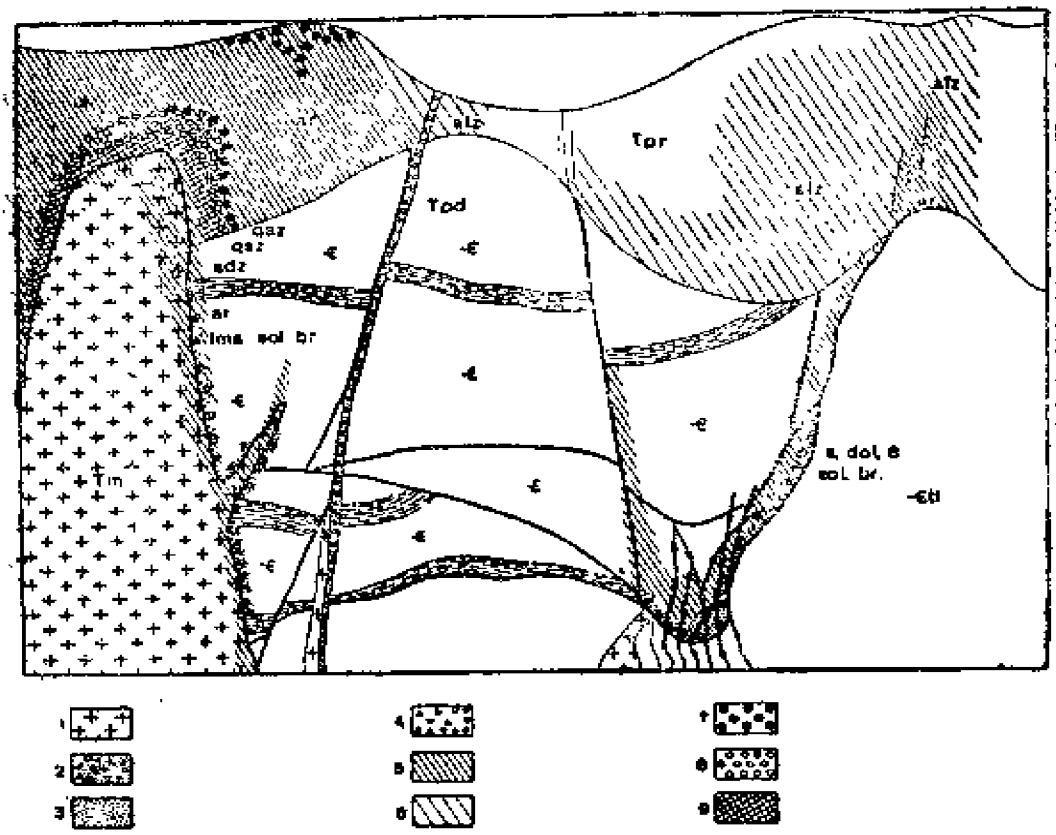


圖2.表示中期无礦階段蝕变与構造和岩性关系剖面圖

1—第三紀二長岩; 2—第三紀小礫石脉; 3—砂状白云岩; 4—溶解角礫岩; 5—泥質化岩石; 6—泥質化边緣帶; 7—石英-明礬石帶; 8—石英-絹云母帶; 9—絹云母-貝得石帶

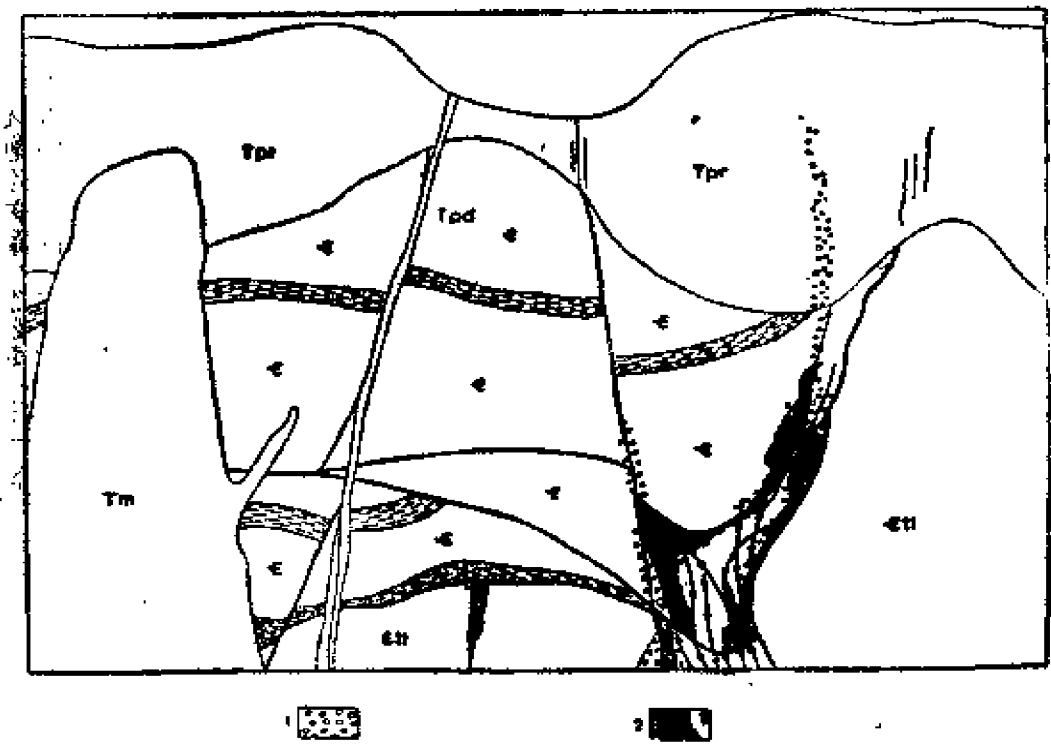


圖4.表示早期產礦階段和產礦階段蝕变与構造和岩性关系剖面圖

1—鉀質蝕变; 2—礦石

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

閃光的角閃石和黑云母以及玻質的基性斜長石的斑晶。磁鉄礦、磷灰石和锆石是比較普遍的副礦物。

侵入岩　东廷蒂克区域的侵入体很多，但是体積都不很大；它們包括許多相当長的岩脉、几个直徑大至300公尺的岩干和几个不規則的小侵入体。廷蒂克山脉中靠近錫尔佛域有一个最大的侵入体，这是一个二長岩岩干，表面面積約17平方公里。

东廷蒂克区域的火成岩，有不同的成分，从二長岩至石英二長岩，按其重要性的次序排列，則为黑云母-角閃石二長岩、石英二長岩、石英二長安山岩、黑云母二長岩和黑云母二長安山岩。大部分的深成岩是黑云母-角閃石二長岩和石英二長岩。它們是綠灰至褐色的斑岩。中長石、黑云母和多色性綠色的角閃石的斑晶包括在微晶的基質里面，有时有石英，有时无石英。斑晶中正長石虽少，但在基質中正長石却很丰富。副礦物包括輝石、磁鉄礦、榍石、磷灰石和鋯英石，它們以微斑晶的形态存在于基質之中和包含在某些黑云母晶体之內。

在測繪的小范圍內，二長岩和二長安山岩侵入体，只切割了派卡特流紋岩的火山噴出物，但在伏尔城諾山脊，同样成分和結構的岩石，却侵入在較新的黑云母-角閃石二長安山岩岩流和集塊岩之內。在北丽蕾礦場，有一个石英二長安山岩体侵入于下古生代的岩石中，而前者又被二長安山岩的侵入角礫岩所切割，其基質的成分和附近的黑云母二長岩相类似。有几个受过剧烈蝕变的二長安山岩脉則与角閃二長岩脉相交錯。

小礫石脉　主要含有圓形、多角形、或次多角形廷蒂克石英岩碎塊的脉狀体，在通过別格山和北丽蕾礦場一直到霍門斯維尔峽谷的一条东北向地帶內特別常見。脉的基質，主要是細粒多角的石英岩碎塊。在大部分的小礫石脉中也有其他类型岩石的碎塊，但是廷蒂克石英岩几乎到处都占碎塊物質的百分之九十以上，一般不到百分之二的碎塊來自石英岩上面的岩石。較大的碎塊直徑从1到25公分，但大于10公分的碎塊为数不多。許多圓形小礫石有顯著的“葱皮層”(Onion Skin)構造，这是由于表面以下的同心圓裂理所致，其范圍只占直徑的十分之一，或者更少一些。大部分小礫石脉的基質已經矽化，但是也有几

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

条脉含有疏松的砂質的基質。

有些小礫石脉顯然位于二長岩脉的頂部，还有許多則在二長岩脉旁边，而有些傾斜平緩的小礫石脉，似乎是二長斑岩岩床上部或下部的边層（Selvage）。然而許多小礫石脉与火成岩沒有关系；小礫石脉物質中的有些物体，似乎是裂隙中的孤立扁豆体，其中既不含火成岩，也不含离开这些扁豆体相当距离的小礫石脉物質。

象分布較广的二長岩脉一样，几乎所有的小礫石脉都是走向东北，但是也有几条脉的方向与北向和西北向的裂隙相平行。長度小于30公尺的小礫石脉，其走向变化要大得多，但在許多地方，走向極不相同的短小礫石脉群，都沿着一个一致的狹窄直綫帶排列。除了那些顯然和傾斜平緩的火成岩接触帶相关部分外，大部分的小礫石脉，都有陡峻的傾斜。

所有在廷蒂克区域研究过的小礫石脉中的碎塊，都是观察点附近或下面的岩石。在矽化的小礫石脉中，在灰岩和白云岩的碎塊远比頁岩少，就是在小礫石脉穿过奥非建造上面的厚層石灰岩的地方也是如此。因此，在估計小礫石脉在深处所經过的岩石性質时，我們往往可以穩妥地断定：奥菲建造頁岩碎塊的存在，是剖面下部有石灰岩的証据，虽然在小礫石脉中沒有找到石灰岩。

在絕大部分的小礫石脉中，大小不等的小礫的兩个長軸常放在水平的位置上，或作低角度的傾斜，并顯著地按照一定的方向排列。如果露头的范圍足夠大，可以确定小礫石脉位在的方向，我們可以發現：定向小礫的兩个主軸，是和侵入体的方向相垂直；在極少数情况下，小礫石脉中的小礫，在脉壁的边緣，造成一層与之相平行的脉边層，这样的構造，往往与小礫石脉中的二長岩侵入核心相关。普通类型的定向，表示碎塊物質主要是在干燥狀态下侵入的，它与所观察到的第二种类型的定向顯著不同，后者顯然以液态二長岩附近是粘性狀态的拔絲結構为先决条件。研究小礫石脉中所含碎塊的方向和性質，通常有可能确定小礫石脉位在的方向和下伏層系的一般性質。

大多数的小礫石脉，大概是代表复蓋在二長岩上面的物質，或者代表沿着粘性二長岩体边緣牽伸的物質，但是有些小礫石脉可能是爆炸

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

的角礫岩。根据推测，最后的类型可能是这样形成的：超热蒸汽在高压下侵入于裂隙的岩壁，后來裂隙忽然开裂，于是藏在裂縫和罅隙中的蒸汽作爆炸性的發泡，从而把岩壁的岩石炸成碎塊，猛烈地向上貫注。

大家認为，小礫石脉主要是和二長岩脉同时形成的，而且是在成礦前的岩漿作用較晚期的產物；法民（参考文献19）在研究廷蒂克的本部的小礫石脉时，也得到同样的結論。在許多地方，小礫石脉被晚期无礦階段的溶液所礦化，而在局部地点含有礦石。它們的延續范圍，远超过有开采价值的礦化区域之外，而且对勘探人員最为有用，因为可以通过一層流紋岩的复蓋層而提供下伏岩層的証据。它們与二長岩和礦化孔道的配合，使大多数采礦工作者把它們作为礦化区域最有利的标志。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

地 質 構 造

在廷蒂克区域，陡傾斜和緩傾斜的断層都很普遍。在东面的瓦沙墟山中，有白堊紀和第三紀的巨大逆掩断層，而在西面的西廷蒂克山脉中，則有时代未經确定的主要逆掩断層(参考文献17，36，35)。史派柯認为，廷蒂克区域的大部分褶皺，可能發生于中白堊紀，其时期似乎是在白堊紀后期的瓦沙墟山的早期拉拉米依造山运动之前，但是这种見解的証据是不夠充分的。瓦沙墟山脉（参考文献32）的主要褶皺和逆掩断層时期是在上白堊紀（蒙大拿期），后來又有一个不太猛烈的始新世造山运动（晚于格林河建造，早于与漸新世的諾武特凝灰岩相当的火山碎屑岩）(参考文献17)。廷蒂克和西廷蒂克山的造山运动时期，也不易确定，但是似乎大致与瓦沙墟山的运动同时。在廷蒂克山，陡傾斜的断層比逆掩断層顯著，但在东廷蒂克区域，大約在奧菲建造和廷蒂克石英岩接触处的緩傾斜的移位甚为普遍，其时期是在拉拉米依运动的早期階段。在第一次低傾斜移位之后和金屬礦沉積之前，褶皺、陡傾斜断層和小型逆掩断層，至少重复出現三次。在东廷蒂克区域，成礦以后的断層，也很常見，但其移距不大。在礦区范圍內的晚期断層，沒有一个像山脉东側的断塊型断層那样动人心目，也不象瓦沙墟山山前的形势那样雄偉。

在东廷蒂克区域緯度上的廷蒂克山的一般構造，是一个南北向的巨大不对称向斜褶皺，这个向斜褶皺被許多断層所破坏，而断層的走向，大部分在西北与东北之間。向斜褶皺的軸，与东廷蒂克区域西部界綫相吻合，其位置大約在尤立加东面一公里，并且沿着尤立加峰东麓延伸，这里有本区中最新的古生代岩層的露头。向斜褶皺西翼的岩層，几乎是直立的，并且露出从廷蒂克石英岩到密西西比紀的濮堡建造的整个剖面，但在东翼方面，傾斜比較平緩的岩層，大部分被蓋在噴出岩的下面。石英岩恰好在北丽蕾礦場和廷蒂克斯坦达尔特礦場的东面露出于地表，或者直接被蓋在熔岩下面，成为北向的構造山脊；

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

这个山脊被称为“东廷蒂克堤”（East Tintic barrier），因为它的西麓被东北向矿化裂隙所交切的地方，是一个矿床沉積的場所。山脊东面的構造关系，知道得不多，因为打穿到熔岩下面的鑽孔非常少，但在西面，靠近几个大矿的構造关系，則已确定。东廷蒂克区域的構造圖（圖版一），是表示作者从鑽孔記錄，小礦石脉和地下勘探所得到的解釋，但是國际冶煉公司的矿区沒有包括在內，因为該公司暫时不允許把他們的記錄公开。

东廷蒂克区域內相当大的地段內，緩傾斜的断層帶把廷蒂克石英岩和年代較新的地層分开；在本报告中，把这个断層称为廷蒂克斯坦达尔特断層。这个断層被褶皺成西北向的弧形不对称向斜，其位置正好在东廷蒂克堤的西面。这个向斜从廷蒂克斯坦达尔特礦場向北丽蕾礦場延伸，但其南部則被交錯褶皺造成一个东-东北向的向斜。交錯向斜称为廷蒂克斯坦达尔特向斜；它的东端——与西北向的向斜褶皺相合併的地方——非常陡峻，并且形成非常破碎而礦化極深的地帶，当地人称它为廷蒂克斯坦达尔特“顛穴”。向斜褶皺的西北端称为北丽蕾向斜；它在北丽蕾裂隙帶很快地变窄，而它的西側是直立的或倒轉的。在褶皺断層的这一部分，兩翼之間的岩層，也受到強烈的破坏和深度的礦化，这个区域称为北丽蕾“顛穴”。在北丽蕾和廷蒂克斯坦达尔特礦区以外，廷蒂克斯坦达尔特断層的位置和范圍相当模糊。北丽蕾向斜西面的背斜構造，被尤立加丽蕾断層——本区域內最長的陡傾斜断層——所切断，而在它的西面，除尤立加丽蕾礦場西南的区域外，沒有看到廷蒂克斯坦达尔特断層。

在測繪区域的南部，最特出的構造是尤立加斯坦达尔特向斜。这是一个东北向的向斜褶皺，其南面被尤立加斯坦达尔特断層所切断。这个顯著的正断層，向西北傾斜，傾角約50度，移距約360公尺。这个向斜有几公里長；它的东北和西南的界限是在測繪的区域以外，迄今尚未查明。它也和廷蒂克斯坦达尔特向斜一样，被北-北西方向的尤立加丽蕾断層所切断。在愛翁欽礦場附近，东北向的大断層形成向斜的北面边緣，但在东北方面，鄰近愛普克斯斯坦达尔特礦場，向斜的北坡則有奧非建造和廷蒂克石英岩沉積接触帶。在西面不远，愛翁

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

欽断層系統向东北方向分枝，在廷蒂克斯坦达尔特向斜和尤立加斯坦达尔特向斜之間形成一个附屬的断層向斜。

終止于霍門斯維尔礦場南面約0.8公里的东廷蒂克堤向北傾伏，并和霍門斯維尔峽谷北坡非常顯著而向北傾斜的單斜褶皺相合併。这个單斜褶皺被兩个顯著的断層——霍門斯維尔断層和峽谷断層——所切断。峽谷断層沿着霍門斯維尔峽谷谷底延伸，并且是一个很陡的逆断層，傾斜向南，移距約100多公尺。霍門斯維尔断層是一个正断層，走向东-北东，傾斜西北，傾角約60度，移距約1000公尺。它在峽谷的西口和尤立加丽蕾断層相交切，而地下开發工作表明，它至少使尤立加丽蕾断層在水平方面移动了60公尺。霍門斯維尔断層的北段，向东移动，称为塞尔馬断層（圖版一）。

貫穿整个測繪区域的尤立加丽蕾断層帶的南端，終止于尤立加斯坦达尔特断層；其北端的極限尚未曾确定。霍門斯維尔断層以北的尤立加丽蕾断層帶的延續綫，称为塞尔馬断層。在部分可以追索的距离內，走向大致为北-北西，向西傾斜，傾角約60度。这是一个正断層，移距大約是200公尺，并且是一个一再移位的地点，其中有几次移位，是在二長斑岩岩脉形成之后，但大部分在礦化时期之前。

东-北东和东北向的各断層，縱断距虽不大，走向却很一致，它們都穿过北丽蕾向斜和廷蒂克斯坦达尔特向斜；因为礦化作用总是与这种方向的断層相平行，所以特别值得注意。陡峻的北向和西北向的断層，則与此相反，很少礦化，除非我們把緩傾斜断層的陡峻褶皺部分也包括在这个范疇之內。

除了少数断層外，所有沿着各主要断層的移位，都是早于派卡特流紋岩；使熔岩破碎的晚期移位，大部分追隨着早期的断層，而且主要集中于侵入活动区域。熔岩前的地形，反映了拉拉米依構造，而后來被熔岩所填滿的河谷的一岸所看到的断崖陡壁，初看起來很容易被錯認为一个火山噴發后的大断層。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

金 屬 礦 床

廷蒂克区域的生產，大部分來自廷蒂克斯坦达尔特礦場和北丽雷礦場的石灰岩交代礦床的鉛-銀-鋅礦氧化帶，但是相当大量的黃鉄礦銅-金礦石，是从这兩个礦場和其他礦場的下伏廷蒂克石英岩中的礦脉里面开采出來的。方鉛礦、閃鋅礦和黃鉄礦是鉛-鋅交代礦床的主要原生礦物，而金、硫砷銅礦、黝銅礦和黃鉄礦是含金銅礦脉的主要原生礦物。在尤立加斯坦达尔特向斜中，从尤立加斯坦达尔特断層下盤的东北向裂隙內，曾經采出价值6,130,000美元的金碲化物礦石。

交代礦床一般位于震碎的似碧玉石化石灰岩区域中，它們尋常是在緩傾斜断層和东北向的交錯裂隙相交切的地方（圖版五）。鉛鋅交代礦床下面，或者和它有相同走向的东北向裂隙，如果脉壁是石英岩，通常有含有"无礦"黃鉄礦或含銅黃鉄礦的礦脉。比廷蒂克石英岩新的地層中，很少找到含銅黃鉄礦，恰好相反，在具有石英岩脉壁的礦脉中，也不易找到鉛鋅礦体。

大部分的交代礦体都有一个厚几公尺乃至75公尺的黃鉄礦似碧玉岩外壳。这种矽質外壳又被一層热液白云岩所包圍，而在似碧玉岩和白云岩之間，普通有一層泥質化白云岩的过渡帶。这样略照帶狀的排列，一部分是偶然的，并且認为是不同的溶液在不同的时期內注入同一个孔道的結果。礦石和蝕变的关系，以下各節將詳細討論。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

岩石的蝕变

一般特征

礦物共生次序和野外关系的詳細研究指出，这里有几个无疑的热液蝕变階段，和一个兩次火山噴發間的蝕变，后者之中，包括有下降和上升作用的結果。火山噴發間的蝕变，早于无疑的热液蝕变，我們把它称为“加速風化”，因为其中有許多強烈風化的礦物特性。然而在空間关系上，它表現着下降的成因。

以后的热液作用，可以分成五个階段，現在把蝕变各階段的主要类型，列举于下：

1.早期无礦階段——石灰岩的普遍热液白云石化和上复火山岩層下部的綠泥石化。

2.中期无礦階段——侵入体中心附近的火山岩層的普遍泥質蝕变和沉積岩的局部泥質蝕变；以產生巨量粘土礦物为特征，并有二氧化矽和基性物質的大量溶濾、轉运和再沉淀。黃鉄礦在本期已开始形成，一般在薄的細脉之中，占岩石的总量不到1%。

3.晚期无礦階段——在礦化中心附近，白云岩和石灰岩受了相当強烈的矽化作用，上复熔岩也稍受矽化；在礦床水平的位置上，有假碧玉石（水鋁英石-石英）、黃鉄礦和重晶石；在出口方向有黃鉄礦、方解石和水鋁英石-石英。

4.早期產礦階段——鉀質蝕变（絹云母和水云母），透明石英和黃鉄礦。

5.產礦階段——硫化物和复硫鹽类礦石、黃鉄礦、碲化物、金、石英和碳酸鹽类。

以上各階段的普通蝕变礦物的关系，見圖5和圖6。

上升溶液，在它的起源附近和出口附近所引起的圍岩蝕变，可能

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

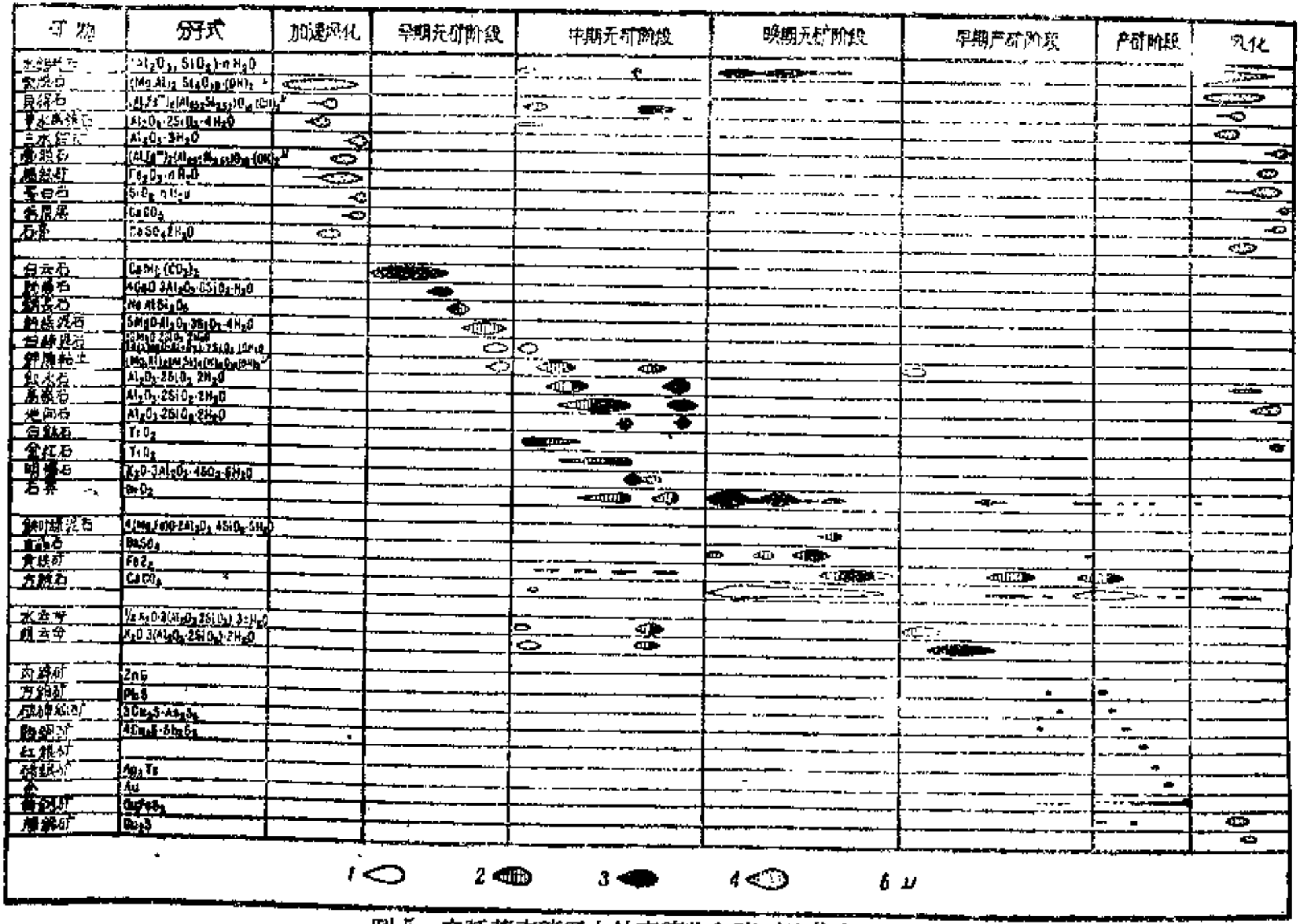


图 5. 东廷蒂克矿区中蚀变矿物和矿石的共生关系

1—微弱的蚀变带；2—中度蚀变带；3—强烈蚀变带；4—风化带；5—层间水和岩性交换元素

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

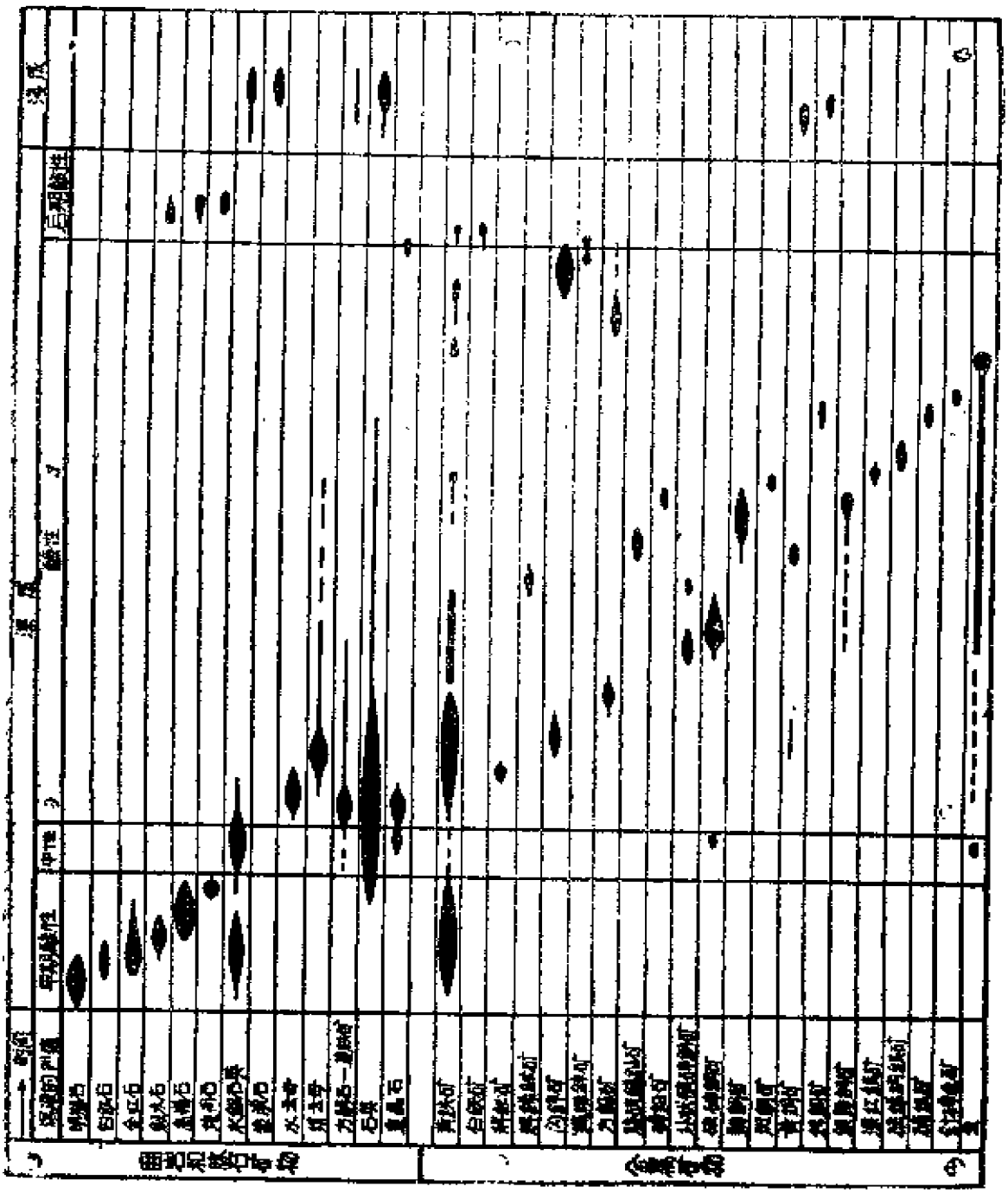


图 6. 东祁蒂克区域，祁蒂克石英岩中触变作用和矿石矿物的共生关系

很不相同；而在某一水平上，溶液对孔道附近和外緣地帶的影响也可能有所差别。所以在我們的思想中，有必要把蝕变的岩石作为立体的問題来討論，而礦山地質專家，除了認清那一个蝕变階段外，必須經常設法答复以下各問題：这一塊标本与礦床的一般水平的关系如何？在出口方向的呢？在進口方向的呢？在蝕变帶边緣的呢？靠近一个主要礦化孔道的呢？这样才能使标本和蘊藏礦体的关系更为明顯。

蝕变作用的化学

一般地說，蝕变的化学可以認为是三种基本化学过程的配合：（1）原子的重排列，（2）化学物質的加入，（3）化学物質的減少。

这些过程中的某几种，或者它們的特殊配合，是热液策源地和表面出口处之間各个地帶所發生的反应的特征。現在把这些过程总結如下：

（1）只有原子重排列的过程。这种現象在热液蝕变中是不常有的；在热力变質作用和动力变質作用中，則較顯著，例如α-石英轉变为β-石英，或藍晶石轉变为矽綫石，都是屬于这一类的变化。

（2）只有化学物質加入的过程。这种現象，主要为空洞中（孔隙和裂隙）的沉淀；砂岩的膠結作用和裂隙中硫化物的沉淀，都是实例。沉淀物所反映的可溶性的变化，可能是温度或压力的变化所致，或是不同溶液的互相混合所造成。在出口附近的上升溶液中，和在間歇断層使压力梯度發生变化的地帶，这种过程可能最为常見，但在任何深度，只要發生有簡單的失热現象和压力逐漸減低現象，都可以發生这种过程。

(2)-A.只有化学物質的加入和原子重排列兩种过程。过程的这样簡單配合，以在气相与固体起反应的地方为最普通，就像一种化合物为了适应湿度的变化，可以發生水化作用而形成新的水化物那样。磁鉄礦轉变为赤鉄礦就是屬于这一类，但磁鉄礦变为黃鉄礦，却不屬于这种范疇，因为其中失去了氧气。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

（3）只有化学物質減少的过程。沒有其他反应的物質溶解。是酸性溶液的特征或者与脉壁岩石很不平衡的溶液的特殊特征。这种过程增加岩石的孔隙率和滲透性。在上升蝕变中，这是溶液策源地附近地帶的特征，或者是蒸汽变成液相的地帶的特征。对这次研究关系比較小，但也应当屬于这一类的，是粘土变成頁岩时所引起的某些粘土礦物的脫水作用，只要所失去的水是吸收水和層間水。

(3)-A.与上一类变化有密切关系的是伴随有原子重排列的揮發份的損失（化学物質的減少），如石膏变成硬石膏。这样的反应，主要是起于各种物理条件的調整，而不是化学环境的变化。白云石变成方解石和方鎂石，也有同样的意义。

(3)-B.化学物質的減少，同时也有物質的加入（沒有原子重排列）。这一类的反应，是热液蝕变中最重要的过程；这种反应有兩种不同的类型：（a）离子交換过程，可能从晶格中減去一种元素，同时又加入由溶液所帶来的另一种元素，或者可能象基底交換所常有的那样，只影响到与層間水結合弱的离子。前一种反应，比尋常所想象的为普通；如有适当的溶液，正長石可变成鈉長石，或鈉長石可变成正長石，除了鉀和鈉的相互交換外，沒有其他的化学作用。（b）溶濾作用和沉淀作用可以同时進行，一方面造成空洞，另一方面却把它們填充起来，这是發生交代作用时的主要过程。只要溶解作用超过沉淀作用，交代作用就会繼續進行；如果情况与此相反，則空隙立被堵塞，溶液就会向别处流动。在溶液策源地，減少物質的过程可能占优势，在出口处，沉淀作用占优势；在它們之間將有一个兩者成为平衡的地帶。交代礦石可以在这个地帶中形成。离子交換帶中溶液活动性的減小，很可能表示同时有溶濾和沉淀的地帶的溶液出口处的情况。所以，認識离子交換的交代作用，是有特别意义的。

（3）-C.減少、加多和原子重排列。这三种过程的結合，是許多热液蝕变中常見的現象，但是如果能辨别其中最占优势的一种，則对热液作用的內容，可以得到某些了解。在泥質蝕变中，許多元素被溶體；鋁和氧化矽重新結合，而且加上水，但是浸在热液中的礦物的水化作用并不顯著，而泥質蝕变作用期間的孔隙率的增加，証明这种

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

过程以减少化学物質为主；当研究这一类的蝕变时，对这种关系应当予以注意。恰恰相反，泥質化岩石的鉀質蝕变，把高嶺土变成絹云母，其中以加入鉀質和原子的重排列为主，而在化学損失方面，只有次要脫水作用；这种反应应当在离开溶液策源地的較远地方找到，而且恰好是礦体上面溶液沿裂隙洩漏的特征。

引起廷蒂克区域蝕变的某些热液，帶走大量的物質，而有些溶液却把大量的某些元素加入岩石之中。从岩石中溶濾出來的物質的命运，和所加入的物質的來源，对蝕变各階段的解釋，是極有趣味的。这个問題，將在討論蝕变的各主要階段时，再行研究。

兩次火山噴發之間的加速風化

最早的蝕变，發生于兩次火山噴發之間，并且造成早期的石英二長安山岩的顯著退色和部分瓦解。这种蝕变的影响，驟然終止于晚期熔岩流的下面；晚期的熔岩流是傾瀉在經过蝕变的早期熔岩不規則的表面上。在有些地方，例如在中央斯坦达尔特豎井西北的鉄路明塹內，新熔岩下面的侵蝕面，被一薄層含有炭化植物遺体的土壤所覆蓋。外表和現在正受風化的熔岩表面相同的鈣質層，在兩次火山噴發之間的侵蝕面上，被較新的熔岩所截切。这一層下面的石英二長安山岩的脫色藍灰色粒狀特性，和風化流紋岩的性質十分相似，后者的瓦解比較晚得多。这种岩石虽然很容易用手來捻碎，但大部分的黑云母斑晶仍然是黑色而閃光，其經过蝕变的部分，变成褐鉄礦而不是粘土；長石相当新鮮，但易破碎，并且一部分为粘土所交代；基質也受过脫色作用，其表面被水鋁英石〔$(Al_2O_3 \cdot SiO_2)nH_2O$〕所染污，而且相当脆。

这些特征似乎表示下降的变化，而不是上升的蝕变，但是許多蝕变岩体的向深处擴大，以及它們与裂隙和主要断層帶的关系，似乎都說明在某些区域內的下降蝕变，受了上升溶液的影响而加速。在沃特丽薯豎井西面（圖版一所示的区域的北面），鉄路隧道口的明塹內露出的蝕变凝灰岩，局部含有石膏；这种礦物的存在，可能反映在發生

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

加速風化时有微弱的硫質噴气。在霍門斯維尔峽谷东面和东北面，沿着品揚溪的公路和鉄路明塹中露出的脫色岩石，形成向下擴大的形狀，这也是受上升作用影响的主要証据。岩石的分析表明，溶液的主要影响，是对所有岩石的組份作相同程度的溶濾(見圖11，R4和R5)。这种类型的化学作用，主要是由中性的或微酸的重碳酸溶液所促成，而且可以用潛水受蒸汽通道加热的原因來解釋。

早期无礦階段

一般特征　在这个区域所看到的最早而无疑的热液蝕变，是石灰岩的白云石化和派卡特流紋岩下部的綠泥石化。白云石化作用和早期拉拉米依期的破裂系統有一定的关系，而綠泥石化蝕变，只限于下面有热液白云岩的区域，在火山岩直接鋪在廷蒂克石英岩上面的地方除外。

綠泥石化的熔岩和热液白云岩，在許多其他礦区內，也有广泛的分布；在年代关系已經明确的地方，这兩种类型蝕变的主要部分，似乎是成礦以前的礦化作用順序中的早期產物，但是白云石和綠泥石，普通出現在与礦石密切共生的后期的礦脉里面。然而，照我們所知道，在廷蒂克区域以外，沒有找到这兩种类型的蝕变有如此密切的关系。

赫韋特（參考文献24）在他所著的热液白云石化作用的經典論文中提到：几乎在所有的地方，这种作用都引起了顏色、結構、和孔隙率的变化。在大部分的地方，由深色石灰岩轉变成的白云岩，其顏色和原始岩石的顏色迥然不同，但由淡色石灰岩变成的白云岩，顏色变化比較小。照赫韋特的意見，热液白云岩一般是粗粒的，而其結構也比未經蝕变的石灰岩为均匀，并且孔隙率也略大；石灰岩的孔隙率約为1%，热液白云岩約为5%。

在廷蒂克区域，由石灰岩变成的热液白云岩，顆粒可能較粗，但是并不顯著，如果热液白云岩交代着很細粒的石灰岩，結果可能形成緻密的白云岩。普通中度灰色的石灰岩，受了热液白云石化之后，几

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

乎总是使岩石颜色加深，但是由于淡色白云石的选择交代作用，某些樹枝狀的有机遺体，顯得特別清楚。在另一方面，淡色石灰岩一般轉变为乳酪色的白云岩。被白云石化的热液所滲透的原生白云岩，颜色也变淡，顆粒也变粗。因为兩种岩石的物理性質不同，在同一地点的热液白云岩的節理比与之相当的石灰岩多。

派卡特流紋岩的早期綠泥石化蝕变，各处都不強烈，但其程度足使岩石顯現一种深綠的色調。綠泥石層、石英綠泥石脉和鉄鎂礦物的綠泥石选擇交代，是上升溶液使派卡特流紋岩底部的凝灰岩、集塊岩和熔岩夾層發生綠泥石化蝕变的証据。但在未經蝕变的基質里面的凝灰岩中，含有許多受过深度綠泥石化的碎塊；这种現象証明，这些碎塊在火山噴發以前已經受了綠泥石化。

与構造的关系　热液白云岩分布最广的地方，是在緩傾斜断層的下盤。白云石化作用可能波及上盤，但在大多数地方，蝕变作用驟然停止于下盤的頂部。某些岩層的軟弱性，像白云岩質的德格馬石灰岩，使它們成为有利于構造运动（Structural adjustment）的場所，結果造成角礫化或流动化和增加滲透性的現象。凡是發生这种运动作用的地方，特別容易感受热液的白云石化。如果移位使岩層角礫化，那么構造控制是明顯的，但是如果差異运动不大，那么構造因素的影响就不大看得清楚。逆掩断層的控制，在明納拉尔山东面看得很清楚；而廷蒂克斯坦达尔特礦場第一号豎井（見圖版二）东北几百公尺处的赫吉默石灰岩中的热液白云岩，就是一个略为移动的層面帶的下盤受了白云石化作用的实例。

陡傾斜断裂的兩旁，可能都有白云石化的石灰岩帶，也可能在一边有完全白云石化的石灰岩，而在另一边的石灰岩却沒有經过蝕变。断裂的移距，和它对限制白云石化塊体的效力沒有多大关系；一个巨大的節理，常常成为蝕变白云岩和新鮮石灰岩分界面。

热液白云岩与侵入活动中心，表現有广泛的区域性关系，但經詳細研究，这种关系并不明顯（圖版二）。在錫尔佛城二長岩岩干周圍半徑長几公里的范圍之內，某些岩層几乎到处都变成白云岩層，在相当远的距离之外才变成石灰岩。例如，柯尔峽谷白云岩，在尤立加西

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

北約 1.5 公里处的顯著东－东北断層的北面，驟然变成石灰岩。这样变化可能意味着，与廷蒂克区域侵入作用和礦化作用中心有关的深成热液向北滲透，致使岩層变成白云岩。在东廷蒂克区域的奧菲建造、条頓石灰岩和赫吉馬石灰岩中，比較小塊的白云石化石灰岩与二長岩侵入体之間，沒有看到任何关系；許多二長岩侵入体則被石灰岩所包圍。

初看起來，白云岩和礦体之間似乎有密切的关系；主要礦体——廷蒂克斯坦达尔特礦場和北丽蕾礦場——是在热液白云石化石灰岩区域之內，而离开礦化孔道几十公尺处，白云石化作用就停止了。但在尤立加丽蕾礦場上層平巷中所开采的礦石，却產在未經白云石化的石灰岩中。在許多研究过的部分，凡有热液白云岩的地方，却沒有看到硫化物礦化作用的跡象。这种空間关系，似乎可能反映着兩个不同时期的不同热液有不同的性質，而它們所走的途徑，一部分是相同的，一部分則不相同。

热液白云岩和拉拉米依期的断裂的密切关系，說明白云石化作用在該区的構造史中所占的年代相当晚，但是比北丽蕾礦場的二長岩脉早。然而，在本区的东部，它似乎晚于派卡特流紋岩底部的不整合。在廷蒂克斯坦达尔特礦場第二豎井西面的小采石場內，熔岩的綠泥石化下边緣緊靠着赫吉馬石灰岩。近于垂直的接触，陡急地切割着傾斜的石灰岩，在这个地方，有一層狹窄而具有斑点的热液白云岩帶，其寬度为 2—15公分。这种顯然与派卡特流紋岩相关的白云石化石灰岩，是新鮮而坚硬的。

早期无礦階段的綠泥石化蝕变，局限于火山岩剖面的下部，而且只有在下面有热液白云岩的地方才可以找到。綠泥石化蝕变和白云石化断裂的关系，在愛普克斯斯坦达尔特断層（圖版一和二）和霍門斯維尔断層上面，表現得特別清楚。在老廷蒂克区域內火山岩層的底部，却沒有找到这种現象；在有些地方，已經証明为热液造成的白云岩，可能与熔岩相接触，但露头却不明顯。石灰岩与火山岩之間的大不整合，使得中廷蒂克区域的古生代各岩層与晚于东廷蒂克区域基底岩流的一系列岩流相接触。并且很可能，綠泥石化蝕变的时期，終止

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

于傾瀉在現在尤立加所在地上面的火山岩之前。在本区东部凝灰岩層的底部，找到未曾受过其他蝕变的深度綠泥石化碎塊，但在中部却沒有看到这种情形。

綠泥石化蝕变和不整合底部的关系最为明顯，而在水平方向的范圍，一般比垂直方向的范圍大得多。然而这种蝕变沿着切割新鮮岩石的節理和断裂向上逐漸消滅，这种現象表示上升的綠泥石化溶液，是沿着火山岩底部的断裂上升的。

与岩性学的关系　古生代剖面中的所有石灰岩，在不同的地点，都受过热液白云岩的交代，但是某些層次所受的蝕变比較深，有些比較淺。德格馬白云質石灰岩与其相毗連的条頓石灰岩上部和赫吉默石灰岩的下部，其白云石化的程度比柯尔峽谷白云岩以下的剖面中的任何部分为普遍。

照現时所知，早期无礦階段的綠泥石化蝕变，只限于火山岩。某些屬于晚期无礦階段的綠泥石，零星浸散在靠近主要礦化孔道的奧菲建造的砂化砂岩、頁岩和石灰岩之中。但是这种晚期的綠泥石，与早期无礦階段的綠泥石是沒有关系的。集塊岩比凝灰岩和熔岩易于感受綠泥石化蝕变，但是这种現象可能是由于集塊岩的滲透性之故，而不是取决于組份的不同。

早期无礦階段蝕变和找礦　產生早期无礦階段蝕变的溶液所走的道路，比產礦时期的溶液所走的道路远，而且所通过的孔道也比較多。但是可以有把握地說，成礦溶液所行經的孔道，十有八九都是早期无礦階段溶液所走过的途徑。同样的正确，白云石化断裂的面積（断裂面的面積），可能至少百倍于含礦裂隙的面積，而白云石化岩石的体積，可能超过礦体几千倍。以或然性的方式來表示，我們可以說，尋找与热液白云岩无关的礦体，只有十分之一的机会；用沿着一定断裂的任何热液白云岩露头來找礦的机会，不到百分之一，用不沿断裂的任何热液白云岩露头來找礦的机会，大大地少于千分之一。按照同样的估計，在未經蝕变的石灰岩中，不論其有无断裂，找礦的机会，可能还要小一千倍。

如果把白云岩断裂加以測繪，那么控制大部分礦化溶液运动的断

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

裂，表現得很清楚，并且可以獲得热液孔道系統的有价值的資料。照这样進行，可以縮小目标区域的面積，并且可以指出什么地方是最值得多費时間去進行詳細的研究。

在东廷蒂克区域的火山岩中沒有找到礦石。熔岩的綠泥石化蝕变的主要价值，是在于它的指标作用；这种指标指出，在附近的下伏石灰岩中，可能有热液白云岩存在，并且間接地指出，这种区域是值得注意的。

中期无礦階段

一般特征　火山岩中最广泛的蝕变，是岩体的顯著退色作用和交錯形的黃—褐色節理面；蒙在節理面上的顏色，是由黃鉄礦变成的黃鉀鉄礬和褐鉄礦所致。退色的外表，是由交代了斑晶和基質的粘土和云母礦物所造成，它們的交代的完整程度很不相同。这种类型的礦物蝕变，一般称为泥質蝕变（参考文献 28a）。下伏的沉積岩和侵入岩中，也有同样的泥質蝕变，但范圍沒有那样广。它和石灰岩中的較早的（白云石化）和較晚的（矽化和鉀質化）蝕变的关系，已經在地下礦化孔道中予以确定，而这类的关系，与同一階段的熔岩中所找到的相同。因为泥質蝕变到处都是处于早期蝕变階段和晚期蝕变階段之間，所以称它为中期无礦階段。时期似乎大致相同，并且主要代表从热的侵入岩溶濾出來而沉積在附近較冷岩壁中的組份的其他礦物蝕变类型，也归入中期无礦階段。这种次要蝕变中的主要礦物，是明礬石和石英，或貝得石、絹云母、水云母和石英。

与構造的关系　中期无礦蝕变階段的地質圖（圖版三）明顯地指出，泥質化熔岩的区域，集中在侵入活动中心周圍。这些中心，又沿着一个东北向的、有几处含有礦床的裂隙帶集中。在熔岩下面，泥質蝕变以沿着主要礦化孔道最为特出，而这些孔道，大部分也是二長斑岩侵入的場所。

在本区域內，泥質化程度最深的沉積岩塊体，是在中廷蒂克区域曼莫斯东南 1.5 公里的德拉貢礦場，那里的愛傑克斯和奥波洪加石灰

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

岩与錫尔佛城二長岩岩干接触处的大塊石灰岩体，变成了叙永石和多水高嶺土。在东廷蒂克区域的沉積岩中，沒有看到这样大規模的泥質交代作用。然而在廷蒂克斯坦达尔特礦場的上面几个平巷中，有几处有相当大的泥質化白云岩体，其位置在似碧玉石化岩石上面或外緣，特别在"J礦峒"区域；在該礦場中，只有这里有二長岩岩脉。在似碧玉岩边緣的泥質化物質，有被氧化矽交代的現象，这就表示，在矽化作用开始以前，泥質化岩石的范圍比現在大得多，但是它的大小，現已无法估計。

在几个地点，粘土質的管狀体切割着白云岩或石灰岩，面沿着寬敞的洞穴式礦化孔道的边緣，也有与少量赤鉄礦相結合的粘土。这些管狀体之中，有些与侵入体有明顯的关系；霍門斯維尔峽谷是有利于这种研究的地点。离开柯波里夫豎井西北半公里，在霍門斯維尔峽谷中的干綫公路急弯处，有一个直徑20公尺的白色強烈泥質化二長岩管狀体的露头，它的外面，被一層溶濾过的"砂狀"热液白云岩所包圍。再向西500公尺的叙永石小管狀体，是一个几乎完全泥質化的二長岩的核心。二長岩和鄰接的白云岩所受到的化学变化，列在圖9內。在公路的水平上，靠着二長岩管狀体的白云岩的泥質触变，主要是由于溶濾，但在公路以上50公尺处，管狀体附近的白云岩中的氧化鋁組份，有顯著的增加，并有泥質的外表。在短距离之外，含氧化錳的叙永石，交代了白云岩，并在其中造成顯著的細脉。在这里，也像火山岩下面的岩石中有叙永石管狀体的某些其他地方一样，这种礦物，大致都集中在火山岩和古生代岩層之間的不整合处。这里和其他地方的不整合处所看到的粘土層分布并不很广，但其范圍可与下伏岩層中的管狀体上部的面体相比拟。

在北丽薯礦場的礦化断裂附近，常常有泥質化的石英岩角礫，許多这类礦化断裂的方向，与二長岩岩脉相平行。

地下的分布，使它与断裂和侵入体的关系更为顯著，但在不整合以上的火山岩底部，泥質触变的分布，可以离开任何已知的礦石孔道很远，并且顯然是从侵入接触处向上和向外移动。許多侵入于流紋岩的二長岩体的周圍，都有一層侵入角礫的脉边層，或者有一个破裂的

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

流纹岩帶，有时兩者具备。強烈破裂帶可以擴展到侵入体圍岩以外15公尺以上；这种透水物質，一般是強烈蝕变的場所，但在大部分地方，早期泥質化作用帶被晚期的矽化作用所隱蔽。

与岩性学的关系　最易感受泥質蝕变的岩石，按照它們所顯示的变化程度排列，是（1）流紋岩、（2）石灰岩、（3）白云岩、（4）二長岩、（5）石英岩和（6）頁岩。然而化学变化是这样的：泥質化碳酸鹽岩石的总量中所增加的新物質的净值，大于体積比它大得多的泥質化熔岩中所增加的净值。二長岩侵入体的蝕变程度相差很大。露出于北丽蕾区域彼此很相近的各岩体，其組份虽有許多小区别，但是沒有可以用作說明蝕变差别的礦物差别。構造的布置，也不能提供任何解釋，因为在深度泥質化的流紋岩中，既有新鮮的又有泥質化的二長岩。合乎邏輯的結論似乎是，新鮮的岩石是在泥質化溶液停止活动之后侵入的。部分泥質化的二長岩所受的不同程度的蝕变，可能与它們侵入时的那一部分的中期无礦階段有关。任何二長岩所受的泥質化程度，很少像它們周圍的熔岩那样深。很多泥質化二長岩，都有深度高嶺石化的斑晶鑲嵌在稍为蝕变的基質之內。依次排列的中期无礦階段的附屬蝕变帶，以在这些受过部分蝕变的侵入体的周圍最为普通（圖2）。部分泥質化二長岩边緣的侵入角礫或破裂的流紋岩，都受了絹云母化，也可能受了強烈的矽化，由此再通过一个明礬石化流紋岩帶，向外过渡到正常的泥質化流紋岩。每一帶的礦物，多少都被較近于侵入体的次一帶的特征礦物所切割或交代；所以高嶺石和地开石比絹云母帶中的絹云母为晚，但比明礬石帶中的明礬石为早。中期无礦階段后期的酸性硫酸鹽热液所引起的角閃石-黑云母二長斑岩和鄰近的石英二長安山岩中的化学变化，以圖解形式，列在圖10內。

我們把覆蓋在別格山頂的石英二長安山岩的广泛石英-明礬石交代作用，暫时列入中期无礦階段，虽然其中的明礬石是晚于石英（参閱52,61頁）。这种岩石变成了坚硬燧石狀的、由石英和含有少量黃鉄礦的明礬石所組成的共生体，但是每單位体積中所含氧化矽量，几乎与受过交代作用而澈底泥質化的石英二長安山岩的含量相同（見圖9、L2和L3）。所以“矽化作用”的氧化矽，可能是原生矽酸鹽中的氧化

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

矽分子的重組合，而不是由热液加入的。

除了在某些侵入体周圍的局部分帶外，泥質化岩石，很少表現与其他蝕变类型的关系。我們已經說过，叙永石管狀体周圍，一般有一層狹窄而部分瓦解的或"砂狀"白云岩帶，但是它們本身和圍繞着礦石礦化中心的顯著的白云岩和假碧玉岩并沒有可覚的帶狀关系。因为在碳酸鹽岩石中的泥質化程度，远不如白云石化作用和矽化作用，假碧玉岩和热液白云岩之間缺少逐漸的泥質化带，是易于了解的。

在圖版三里面，可以看到熔岩中泥質化蝕变的普遍性，以及它和礦体之間的缺乏任何密切关系。蝕变岩石覆蓋層的分布面積，比在它下面进行的大規模地下勘探工作到目前为止所發現的礦体大好几倍，所以用它来作發現北丽富礦体的标誌，大部分是偶然的。可惜，靠近礦体的泥質沉積物的性質、与許多远离礦体的泥質沉積的性質很相似。但是这并不是說，沿着礦化孔道的泥質化沉積物，不如其他地方普通，因为事实是相反的。它們和富礦体的关系，可能比与热液白云岩的关系为密切，因为泥質化溶液可以使它所經过的孔道更易透水，而白云岩化溶液則不能。我們有理由可以相信，在大部分鑛床中，泥質化溶液所擴大的空隙，是为礦石預留空間的主要因素。

中期无礦階段和找礦 本区域内，在泥質化岩石中所找到的礦石，沒有不受过晚期无礦階段和含礦階段的附加蝕变。不含礦石的熔岩中的泥質蝕变的普遍性，是礦体和泥質化作用之間沒有密切成因关系的進一步明証。在熔岩下面，泥質化蝕变只局限于比較少数几个孔道，而这些孔道之中，像上面所提及，有几个后来成为礦石溶液的孔道（圖 2）。較老的蝕变，常被靠近大部分礦体的矽化作用所隱蔽，或者完全无从識别，而且当地下平巷的开采面掘过假碧玉岩而進入泥質化岩石时，我們可以穩妥地假定，这是离开最近礦体的方向，而不是向礦体开掘的方向。

富礦体氧化帶中的大量下降成因的高嶺土，使得脉壁表面看起来很像热液泥質化岩石，但是这兩种类型的蝕变，一般是容易区别的。

一般地說，在沒有找到过礦石的区域，火山噴發前的岩石或二長岩中的热液泥質蝕变，是一种有利的标誌，而在生產現場中進行勘探

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

时，如果發現有这种蝕变，却是不利的标誌。

晚期无礦階段

一般特征　晚期无礦階段热液蝕变的特征，主要表現在沉積岩中似碧玉石、重晶石、黃鉄礦和少量的綠泥石，以及上复熔岩中的水鋁英石-石英、重晶石、黃鉄礦、和方解石的發育。这种蝕变的范圍，不像較早各期的蝕变那样广，而且比較局限于礦体的附近，但是沿着礦化通道的發展，却远超过礦床的限度。

火山岩不像沉積岩，特別是碳酸鹽岩石和頁岩那样易于感受晚期无礦階段的蝕变。似碧玉岩的体積比热液白云岩小得多，但是它所交代的白云岩和石灰岩的体積比礦石所交代的大得多。它在蝕变次序中的地位，已被准确地确定：它交代了热液白云岩和泥質化白云岩，并在其中形成岩脉，但为礦脉和絹云母脉所交代。

与構造的关系　晚期无礦階段的矽化作用，与裂隙和后來沉積礦石的溶液所行經的孔道有密切的关系，并且常常在它們的周圍形成一个与孔道一般形狀大致相同的寬闊外套或外壳。如果富礦体成管狀，那么和它共生的似碧玉岩体，也有同样的形狀，但是大得多；如果富礦体是脉狀礦床，那么矽化岩石就形成一个板狀的外壳。火山噴發前的岩石內的沒有工業价值的礦化孔道之中，这种現象也很常見，并且蔓延到不含金屬的上复流紋岩中。在熔岩下面的大部分似碧玉岩标本中，含有少量的金和銀，但在主要礦石孔道上面的流紋岩帽中的水鋁英石-石英脉里面，金銀的含量一般比"微量"还要少。

矽化作用并不特別选擇不整合面和地層層面，除非这些地方是移位和角礫化的場所。似碧玉石化溶液顯然尋找最易透水的道路。因此，似碧玉石一般都与沿着陡傾斜和緩傾斜断層中的砂狀白云石角礫岩、以及中期无礦階段期間开拓成的而充滿着乱石的溶液孔道中的碎石發生交代。受了似碧玉石化的基岩，表面上虽然似乎沒有破裂，但是細緻研究其母体和似碧玉石时，一般可以發現无数大的空洞和顯微的孔隙。

晚期无礦階段蝕变的分布，在沒有二長岩的地方和具有許多侵入

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

体的地方一样广泛，所以它似乎与侵入中心沒有密切的关系。

和岩性学的关系　本区一切类型的岩石中，都有晚期无礦階段的氧化矽。它的分布范圍，以在热液白云岩中为最广。在这些地方，被似碧玉石所完全交代的塊体，其寬度約5—20倍于与之共生的礦体。沿着主要礦化孔道，頁岩被水鋁英石-石英和玉髓所交代的程度，几乎与白云岩相同，而矽化作用在奧菲建造下部的多孔鈣質砂岩中散布的距离也相当远。在砂岩和角礫化的石英岩中，氧化矽沉積在空隙里面，或者交代了方解石、白云石、和粘土的基質。二長岩侵入体所受的矽化程度并不深，但是沿着几条小脉，它們却部分地轉变为典型的水鋁英石-石英。二長岩对矽化作用的穩定性，可能是由于它們的不透水性，因为周圍的岩石的破裂程度，几乎到处都比二長岩岩脉本身強烈得多。流紋岩則相反，在許多地方都受着很深的矽化作用，但也是常在有顯明角礫化和破裂的地方。大部分加入于火成岩中的氧化矽破坏了岩石中的未經泥質化組份；然而在矽化作用很深的地方，許多泥質化礦物也受到交代，而消失得最晚的是地开石和高嶺石。

熔岩中的广泛方解石交代作用是一个最有趣但是不顯著的蝕变相。如圖版四所示，它的分布很广，但是只与矽化的断裂相关，而与侵入体无关。最強烈的地方，是在有下伏似碧玉岩和交代礦石区域的附近。在廷蒂克斯坦达尔特礦体附近，礦物的共生关系指出，它是早于絹云母而晚于高嶺石和綠泥石。所以絕大部分的方解石蝕变，应当列入晚期无礦階段，并且可能是用过的似碧玉石化溶液失去了它們的氧化矽之后并在下面的白云岩和石灰岩中獲得鈣和鎂所造成。熔岩中的一部分方解石，可能与產礦階段同时，但对这一問題的証据还不夠充分。在浸染黃鉄礦的区域，方解石蝕变几乎完全絕跡。

晚期无礦階段和找礦　在廷蒂克区域，礦石和似碧玉岩的关系是如此的密切，以致采礦人員都認为"石英"是靠近礦体的标誌。在若干似碧玉岩体中，的确找到过沒有工業价值的礦床，但其数目，远远少于含礦的似碧玉岩或鄰近于礦体的似碧玉岩。似碧玉岩的体積，比与之伴生的礦石的体積大得多，其比例可能为1比100左右。所以發現了伴生的似碧玉岩，不能認为尋找富礦体的工作已經終了。構造的控制

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

和向矿体方向的蝕变的正常变化——石灰岩、白云岩、似碧玉岩、含黃鉄礦的重晶石-似碧玉岩、礦石——尋常已足夠指導勘探工作达到成功的高峯。

似碧玉岩和礦石的体積的不相称，使得小的矽化石灰岩或白云岩成为不能引人注意的指标。但是应当注意，这种的一般关系，不是一成不变的；有些礦体与似碧玉岩完全沒有关系，尤立加丽蕾礦場的上部几个平巷，就是如此。

如果派卡特流紋岩的矽化作用，不是二長岩侵入体的泥質化蝕变的附帶結果(参閱52頁)，那么一定表示有晚期无礦階段热液滲漏的存在；它的分布范圍往往就代表下伏裂隙的輪廓，而这种輪廓，比其他类型的蝕变所造成的清晰得多。在許多地方，晚期无礦階段的黃鉄礦蝕变，除了把氧化鉄变为硫化物外，熔岩沒有受过其他可覚察的蝕变。这种类型的黃鉄礦蝕变，在未經泥質化的熔岩中，頗易識别，因为黃鉄礦虽然已經完全变成了褐鉄礦，而黑云母和角閃石結晶仍然是新鮮的，并且基質和長石，受了黃鉄礦氧化时所產生的酸性硫酸鹽的影响而退色。

晚期无礦階段的黃鉄礦，不在泥質化的岩石中形成它在新鮮熔岩中所形成的那种暈圈，但是泥質化階段的許多黃鉄礦細脉，至多使得晚期无礦階段黃鉄礦的識别發生困难。在北丽蕾礦体上面，缺少可以与廷蒂克斯坦达尔特礦体上面相比拟的明确的黃鉄礦暈圈，只能在泥質化程度很深的岩石中遇到，因为原生的氧化鉄，在晚期无礦階段末期的气态 H_2S 出現以前，已經被酸性的蝕变所移去（参閱62頁）。

然而在蝕变較少的熔岩中——其中的斜長石虽已泥質化，但大部分的磁鉄礦和黑云母仍然是新鮮的——几乎所有的鉄質，都可以和气态硫化氫發生反应。此外，以前的泥質蝕变，增加熔岩对鉀質蝕变——早期產礦階段的特征——的敏感性，同时也增加其滲透性，因此促進使下伏岩層蝕变的热液对它們發生反应。

在廷蒂克斯坦达尔特向斜的东端，引起流紋岩中后期黃鉄礦蝕变的溶液所行的途徑，有些就是較早的中期无礦階段温和泥質化溶液所走的道路。黃鉄礦化的熔岩帽，含有新鮮的和蝕变的黑云母，但是大

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

部分的斜長石，則含早期的高嶺石和后期的鉀質粘土、水云母和絹云母。水云母-鉀質粘土的蝕变范圍，几乎和高嶺土化相等，但是后期的絹云母的范圍却小得多。后期的絹云母以及重晶石和引入的次要石英，常出現于下伏盲礦体和似碧玉石的岩舌（tongues）上面。重晶石集中于小区域內，其范圍比晚期的絹云母和石英小。現在的表面，可能是近于原始重晶石沉積帶的上部極限；在这种地方重晶石的散布，可能不会离开主要的晚期热液孔道很远。

在东南 400 公尺处，无礦格雷洪黃鉄礦帶中缺少这种蝕变，使得盲礦体的表面凸出部分和各重晶石-石英-絹云母地区的外表关系更为明顯。在这里進行的衝击鑽探和地下勘探深达 300 公尺，可是沒有找到礦石。无礦格雷洪黃鉄礦帶的詳細研究，也沒有發現重晶石或絹云母，而在30張岩石薄片中，只有三張里面看到有稀少的水云母和加入的石英。不幸得很，我們沒有理由來說，所有的气态硫化氫蝕变，都是集中于礦体的附近。中期无礦階段的黃鉄礦蝕变，如果集中在一个泥質化帶的边緣，那就不可能在野外把它和晚期无礦階段所發生的黃鉄礦蝕变区别开來。

在考慮晚期无礦階段类型的黃鉄礦蝕变时，虽然必須作各种的保留，但这是探礦者最有用的蝕变單位之一；这种蝕变，非但容易認識和測繪，而且在大多数地方，常与礦石溶液所行經的通道有密切的結合，并且常常垂直地处于这些孔道与流紋岩基底交錯处的上面。

我們应当把黃鉄礦帶作为詳細研究岩石学的課題。应当找出中期和晚期无礦階段以及早期產礦階段中的特征共生礦物。作者認为，局限于小范圍內的黃鉄礦帶，如有晚期的重晶石，絹云母、水云母和水鋁英石-石英的存在，实为有利于試探的地点，也是走近值得試探目标的标志。

早期產礦階段

一般特征和对構造与岩性学的关系　早期產礦階段的特殊特征，是圍岩交代作用中的鉀質的增加，和空洞中透明石英的沉積。这一階

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

段和后來的產礦階段的关系是如此的密切，所以对它和構造的关系，不必分别的討論。鉀質蝕变滲入富礦体或礦化裂隙的圍岩中的深度，很少超过几公尺，但在沿着适当的孔道前進的距离，可以超过礦体界限以外好几百公尺。在產礦階段加入岩石中的鉀質的实际总量，可以和礦石本身的总量相比拟，但是因为缺乏象沉淀礦石那样的适当而丰富的沉淀剂，所以它"散布得薄一些"而且走得远一些。在空洞中，沉淀有黃鉄礦和透明石英。

鉀質蝕变总是以中期无礦階段期間所形成的粘土礦物和晚期无礦階段所形成的絲泥石为对象；在強烈礦化作用区域，这种溶液可能沉積一些絹云母。在石英岩里面，鉀質蝕变几乎总是和有早期粘土礦物的富礦体伴生，但在沒有早期泥質蝕变的地方，可能完全沒有这种蝕变。在碳酸鹽岩石中，也存在有同样的关系，但在交代礦体的砂質外壳中，絹云母蝕变是普通現象。頁岩、二長岩、和流紋岩、不論以前是否受过泥質化，对于鉀質蝕变都很灵敏。

早期產礦階段和找礦　鉀質蝕变和礦石孔道的密切关系，使得早期產礦階段的絹云母和水云母成为找礦的良好标志。早期產礦階段的絹云母和中期无礦階段所產的大量絹云母的区分，是很重要的，一般地說，中期无礦階段絹云母的形成时期，比伴生的高嶺石和地开石早；它不是和微弱的泥質蝕变边緣帶有关系，就是在泥質化侵入体周圍形成一个外套（圖 2 ）。僅僅在蝕变的流紋岩中鑑定絹云母，对于找礦者的用途虽然不大，但絹云母区域的岩石学的和野外的研究，应当可以產生有价值的結果。熔岩下面的沉積岩的絹云母化蝕变和礦石孔道的关系，可能比絹云母化的熔岩和它的关系大得多，但是泥質化侵入体供給鉀質的可能性，这里也必須考慮在內。然而在晚期无礦階段的似碧玉岩中的絹云母，虽然不是接近礦体的不变指标，但也是一种很有利的标志。

早期產礦階段和產礦階段的五角十二面体黃鉄礦晶形，也是值得注意的。在晚期无礦階段期間的似碧玉石化石灰岩和白云岩中，虽然都有五角十二面体和立方体的黃鉄礦，但是立方体的黃鉄礦，几乎为熔岩的晚期无礦階段蝕变所專有，而在熔岩或沉積岩的中期无礦階段蝕

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

变中，沒有看到五角十二面体的黃鉄礦。

產 礦 階 段

一般特征和与岩性学的关系　產礦階段的特点，是有大量的黃鉄礦和其他硫化物的沉積，以及微量其他类型的礦物。在礦石礦物之中，有少量主要为同期生成的石英和方解石，但是大部分的伴生脉石，則形成于產礦階段之前。

在主要区域和东廷蒂克区域内，所有已知礦体，都在火山岩底部的不整合面之下，而且与不整合面之間有相当的距离；大部分的礦体產生在这个間断和廷蒂克石英岩之間的石灰岩剖面中。然而在石英岩的礦脉中，也曾开采过相当数量的含金一銅的黃鉄礦，和一些鉛鋅礦。熔岩里面沒有礦石，但深部的优良富礦体，常常跟随着井部分交代了切穿上部流紋岩的蝕变二長岩脉。

大部分的礦石，乃采自奧非建造和条頓建造的似碧玉石化热液白云岩的角礫化岩体中。这些硫化物，虽然一般称为"石灰岩交代礦物"，但是許多硫化礦物并无交代成因的証据，而且顯然填充在多孔似碧玉岩的小空洞和角礫岩的孔隙中。但是一部分塊狀礦石，具有似碧玉岩、白云岩、或石灰岩的殘余構造，它們可以作为正式的交代礦床看待。在石英岩中找到的礦石，也可能有局部的交代作用，但大部分是角礫岩空隙中的沉積物。

与構造的关系　在大部分礦区中，礦体表現有輪廓鮮明的構造控制，这种構造控制，在找到礦体之后看得很清楚。某些構造断裂，創造了敞开的透水孔道以与產礦階段期間的礦化溶液策源地相連接；它們对于引導含礦溶液的作用，表現得非常清楚。在另一方面，它們附近还有一些構造現象，其性質虽然相同，但可能完全无礦。这样的无礦透水孔道，可能和礦化策源地或适当的出口都沒有关系。礦石溶液一般是沿着石英岩中的东北向陡峻裂隙和通过上复古生代地層中的角礫岩体或破裂岩石流动的。石英岩中的礦脉，有几段只有无礦的黃鉄礦和石英；有工業价值的富礦体，集中在裂隙中比較寬敞的角礫化部

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

分，一般是靠近它們与廷蒂克石英岩和上复岩層之間的断層接触面的交切处。在碳酸鹽岩石中，东北向的裂隙与緩傾斜断層、破裂的褶皺和压碎地帶的交錯处是东廷蒂克交代礦床的構造控制的最重要地点；特别在晚期移位把前一階段的假碧玉岩震碎的地方，和比較不透水的頂板和底板把溶液限制在狹窄的路徑中流动的地方。圖版 5 和圖 4，表示它們的一般关系。

下降蝕变

廷蒂克区域岩石的風化現象，反映着半干燥气候；这种气候所占的时期顯然相当長。这里的微鹼性土壤溶液，有利于火成岩中水鋁英石和蒙脫石的發育，而比較潮湿的森林地区所富含的腐植酸的侵蝕，才会產生高嶺土礦物。照我們所知，在廷蒂克区域，只有在硫化物受了氧化而產生酸性环境的地方，高嶺石和叙永石才是下降成因的礦物。

石英岩破坏得很慢，而它的瓦解，大部分是屬于机械性的。在風化的露头上所能看到的唯一化学作用，是稀少的低价鉄礦物——海綠石、綠泥石、和黃鉄礦——变成的褐鉄礦。奧菲建造的砂岩有鈣質的膠結物，这种膠結物風化得很快，所以使砂岩破碎和瓦解。

頁岩的風化，主要也是机械性的瓦解，但水云母礦物則緩慢地被水化而变成蒙脫石。

在廷蒂克区域，石灰岩和白云岩都相当能抵抗風化。兩者之中，石灰岩比較容易溶解，因此在石灰岩的風化面上，砂質和泥質的雜質向上凸起，使石灰岩的表面顯得粗糙。集中在沉積白云岩和石灰岩風化表面上的少量不易溶解的泥質雜質，使得風化岩石表面的顏色淺于新鮮岩石。風化后的热液白云岩的顏色，一般比未变的原生石灰岩淺得多。这可能是錳、鉄、石灰質等物質略有增加的原故。

未經蝕变的源卡特流紋岩，風化成破碎的淡藍灰色粒狀体，并被許多白色鈣質層所交切，而在節理上，則有少量的黑褐色褐鉄礦。風化作用的选擇性能，远不如热液那样強；長石、基質和黑云母所受的影响大致相同，虽然黑云母可能仍旧保存着它的光澤，一直要等到嚴

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

石的瓦解达到很容易被手捏碎的程度才發生变化。

按照蝕变程度加深的次序排列，長石的風化產生下列一套的礦物：（1）蒙脫石；（2）蒙脫石、貝得石、多水高嶺土；（3）蒙脫石、貝得石、多水高嶺土、游离氧化矽；（4）蒙脫石和水鋁英石；（5）水鋁英石；（6）三水鋁礦。

这一系列的礦物反映長石在原產地蝕变成粘土时的風化強烈程度。在風化的早期，它們之中的任何一种都可以沉積在比較新鮮的岩石的微开裂隙之中。

在風化成易于捏碎的岩石中，常有三水鋁礦的微小細脉；它們不僅穿切斑晶而且也穿切基質；这是風化很深的石英二長安山岩具有粒狀特性的原因之一。

其他的普通風化產物是褐鉄礦和細粒方解石的細脉。褐鉄礦主要來自黑云母和磁鉄礦，它大部分以暈圈形式集中在原始晶体的周圍。褐鉄礦呈深褐色，其外观与由黃鉄礦变成的变种很不相同。

在普通标本上，根据基質和斑晶的变化程度，可以区别温和类型的热液蝕变和風化蝕变。热液蝕变一般对長石斑晶的影响比对基質要強烈得多，而風化作用的选擇性却差得多。風化的标准黑云母有褐鉄礦的暈圈，但是退色的泥質化黑云母則失去它的鉄質而不產生褐鉄礦。

風化的二長岩含有非常丰富的褐鉄礦；这是它和風化的石英二長安山岩最顯著的区别。角閃石是常見的礦物，但是很容易分解成褐鉄礦、蒙脫石和相关的粘土。風化的二長岩有特殊的綠褐色，这种顏色很容易識别，并且也相当明顯。

綠泥石化的熔岩風化成褐鉄礦、綠泥石、貝得石、蒙脫石和水鋁英石，而在風化面上表現一种紅-褐色。与此相反，黃鉄礦化熔岩的風化，在退色的岩石中產生網狀的黃色到黃褐色的褐鉄礦層。退色作用几乎全是由于滲透在基質和斑晶中的水鋁英石所引起的。黃鉄礦化很深的岩石，局部含有叙永石和高嶺石，而在節理面上，常有黃鉀鉄礬。形成水鋁英石的地方，風化黃鉄礦所產生的酸顯然非常稀薄；高嶺石則相反，以在硫化物脉的圍岩中最为普通，这里顯然有硫酸的濃集。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

在許多地方，黃鉄礦的氧化作用進行得相当快，因此產生大量的热；在未被采礦工程攪乱过的地段，黃鉄礦化熔岩中的地热增温率，每100公尺約为9°—15°。这种情况和附近未經礦化的熔岩中每100公尺增加2°的增温率顯然不同。在礦峒中，在地下水位以上的所有含硫化物礦体附近的增温率，顯然高于离开硫化物較远的地方，除非压力通風冲淡了氧化礦体所产生的热。水平方向的增温率也不相同，从方鉛礦小礦峒附近的每100公尺增加4°，到強烈破碎的黃鉄礦体附近的每100公尺增加37°。

克倫（参考文献10）早在1926年就要大家注意岩石温度和正在氧化的硫化物的关系，并且認为礦内的氮气和二氧化碳，是氧化作用的副產品。此次的研究，加強了这种結論。如果進行开拓工程时遇到氮气，它几乎一定是硫化物的氧化作用消耗了空气中的氧气而形成的，因此可以作为走近礦体的标志；只有在硫化物氧化时所產生的含酸水与石灰岩和白云岩發生反应的地方，才会有大量的二氧化碳。科罗拉多州克利普尔溪区域的同类气体的成因，曾經是礦業局的詳細的野外研究和試驗室研究的問題（参考文献15），这个区域的气体和氧化作用的关系，似乎已經查明。

各蝕变階段的時代关系

一般特征　地面和地下測繪的結果所暴露的一般帶狀排列和構造史，說明早期无礦階段、中期无礦階段、晚期无礦階段、早期產礦階段和產礦階段是依次出現的，并有集中在礦化通道周圍的趋势。各蝕变階段的时代关系，在肉眼構造和顯微細節中都反映得很清楚，但是許多顯微細節，只能在高倍擴大的情况下才能看到。岩石学的研究指出，一般的次序和地質圖中所表現的次序相同，但是局部的礦物关系則較复雜，特別在中期无礦階段正在進行时有二長岩侵入作用的地方。

早期无礦階段　热液白云岩被中期无礦階段的典型粘土礦物、晚期无礦階段的似碧玉岩，以及產礦階段的絹云母和礦石所切割和交

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

代。在被叙永石管狀体所切割的地方，粘土边緣的白云石，一般有一層不太厚的多孔“砂狀”結構。在少数的地方，这种蝕变边緣帶，由于方解石的加入，又变成石灰岩。圍繞着一个叙永石管狀体周圍的方解石边緣帶，可以在北丽雷竪井正南300公尺的小山頂附近看到。在霍門斯維尔峽谷中，圍繞叙永石管狀体的砂狀边緣帶，有很好的实例。这种特征，可以在公路上一个原生白留勃特白云岩的小露头中看到，也可以在柯波理夫竪井西北700公尺地方的公路急弯处的泥質化二長岩管狀体附近的热液白云岩中看到。在峽谷的底部，离开后一地点东面不远，条頓石灰岩上部的一个热液白云岩小塊体所表現的几种特征，也是值得注意的。热液白云岩的曲折形的南面接触帶，界綫異常分明，其中的一部分与顯明的西北向節理面相重合；这个節理面，在柯波理夫竪井西北一公里处，高出峽谷底部30公尺的一点，有很好的露头。在这一点东南的山坡底部，似碧玉岩脉切割着热液白云岩。

热液白云岩中，絹云母很少，但在礦化主要孔道附近的白云岩中，有时可以找到一些。然而產在砂化石灰岩中的礦石的附近，絹云母却很丰富。

流紋岩的綠泥石化作用和其他类型蝕变的野外关系，頗难确定。由于產生在火山岩系的底部，它是集中在較为透水的地帶，因而受下降水侵蝕的机会也比其他層次为大，并且許多地方都受了強烈的風化。下降蝕变虽然有隱蔽与之共生的上升蝕变的趋势，但从它們本身的野外关系上來看，还是可以找到一些暗示。在地面上，綠泥石化蝕变，大部分局限于复蓋在热液白云岩上面的区域。被地下工程所穿竪的熔岩中，也顯出同样的关系；在廷蒂克斯坦达尔特礦場竪井东面60公尺处的210公尺平巷內，基底流紋岩也受了綠泥石化，并与白云石化的赫吉默石灰岩相接触，而在北丽雷竪井中，流紋岩底部未經綠泥石化的熔岩，則鋪在未經白云石化的赫吉默石灰岩上面。作者的工作隊，从廷蒂克斯坦达尔特礦業公司得到了几个穿过流紋岩基底的鑽孔剖面。經过研究之后，發現四个鑽到流紋岩下面的白云岩的鑽孔中，熔岩的底部的綠泥石化程度都很深，而四个鑽到流紋岩下面石灰岩的鑽孔之中的兩个鑽孔，流紋岩底部虽有強烈的方解石化，但无綠泥

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

石化。所以地面圖、礦峒圖和鑽孔記錄，都表示热液白云岩和綠泥石化熔岩有相同的范圍，所以我們可以認为它們是同时形成的。

大塊的泥質化流紋岩体，都离开綠泥石化岩石相当远。尤立加斯坦达尔特礦場附近的綠泥石化岩石中，有几个小的泥質化流紋岩体，但它們的接触形式，并不指明那一种类型的蝕变居先。在这个区域內，晚期的黃鉄礦化蝕变顯然切割着綠泥石化體。綠泥石化蝕变和礦石的关系，也与热液白云岩所表示的相同，但是擴散得比較广。因为綠泥石化的蝕变局限在不整合面上，側面的范圍慣常比成因上与之相关而反映拉拉米依断裂系統較为明晰的热液白云岩为大。

岩石学研究指出，在早期无礦階段期間，白云石是唯一的加入礦物，此外略有一些次要的水鋁英石。所有中期和晚期无礦階段以及產礦蝕变階段的特征礦物，都切割着热液白云岩。

綠泥石化熔岩的礦物，主要是斜綠泥石（$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$），黝簾石（$Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$），蓝角閃石（$Ca_2(MgFe)_5NaAlSi_7O_{22}(OH)_2$）和鈉長石（$NaAlSi_3O_8$）。在这些礦物中鈉長石是早期的，并只呈斜長石斑晶存在；蓝角閃石普通在基質中形成小晶体；比鈉長石后發生的斜綠泥石交代了斜長石和黑云母，并在基質中形成細脉。在延蒂克斯坦达尔特第二豎井北北一东方向 300 公尺处所采集的标本中，所有这些礦物都被叙永石和高嶺石的細脉所切割，而这兩种礦物，又为水云母和絹云母所交代。被絹云母所切割的方解石，在部分鈉長石化的中長石中形成細脉，并發生交代作用。

中期无礦階段，由于兩种类型的蝕变混在一起，使得对东延蒂克区域泥質蝕变的研究發生困难。这兩种蝕变一种是早期蔓延擴散式的泥質化作用；一种是比較集中而变化較大的后期泥質蝕变。后者不僅与破裂有密切关系，而且与侵入体和熔岩間的接触帶也有密切关系。

兩种类型的礦物学和共生关系，在热液活动中心的垂直方向和水平方向都有变化，而岩石学家將感覚到要在这样的区域內闡明礦物各种关系的歷史，确是一个难于捉摸的問題。在擴散式的早期泥質蝕变中，如果蝕变程度非常强烈，主要以產生高嶺土礦物为特征，如蝕变程度較淺，則以蒙脫石-貝得石为主。在流紋岩中，这种泥質蝕变的

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

外緣，只有斜長石受到影响。在蝕变略深的流紋岩中，黑云母和少量的正長石斑晶也受到泥質化；在蝕变更深的岩石中，大部为石英和長石或玻璃質所組成的基質也变成粘土。

如果把泥質化斑晶的粘土礦物，按照它們的形成次序排列，它們也可以代表蝕变程度遞增的各階中的粘土礦物多寡的次序和蝕变的完全程度。对于斑晶來說，它們的次序如下：（1）多水高嶺土（$Al_2Si_2O_7 \cdot 4H_2O$）；（2）貝得石（Mg，Fe，Al）$_2$（Al，Si）$_4O_{10}$（OH）$_2$+Ca^{++}+Na^{+}+H_2O）；（3）叙永石（$Al_2Si_2O_7 \cdot 2H_2O$）；（4）高嶺石（$Al_2Si_2O_7 \cdot 2H_2O$）和（5）地开石（$Al_2Si_2O_7 \cdot 2H_2O$）。这一套礦物是斜長石（中長石-拉長石）斑晶的特殊特征，因为这类的斑晶对于蝕变比其他礦物較为敏感。如果蝕变的程度深到足以影响黑云母和正長石时，那就沒有多水高嶺土存在。

基質所含的矽和鉀，远超过黑云母和斜長石斑晶，于是它对泥質化溶液的反应有些不同。它的蝕变，落后于斑晶一步到兩步，而在早期各蝕变階段中，可能產生不同的產物。按照蝕变深度的增加，基質中現出下列的礦物群：（1）水鋁英石（（Al_2O_3，SiO_2）nH_2O）；（2）多水高嶺土、鉀質粘土（（Mg，Al）$_2$（Al，Si）$_4$（K，H）O_{10}（OH）$_2$？）和石英；（3）貝得石、叙永石和石英；（4）貝得石、高嶺石和石英；（5）貝得石和高嶺石。第一到第四階段見于基質蝕变不完全的流紋岩，第五階段見于具有完全蝕变的流紋岩中。

粘土顆粒的顯著加粗，反映着形成溫度的遞升和蝕变强度的遞增。在只有斜長石轉变成粘土的泥質化岩石中，高嶺石晶体的長度一般只在一微米左右，而与地开石共生的高嶺石，其直徑可能达到50微米之多。与泥質蝕变共生的氧化鈦，也同样表現出顆粒的加粗。在稍微受过蝕变的岩石的退色黑云母中，有塵埃似的均質性白鈦石。但在澈底泥質化的流紋岩中，則有結晶明顯的細粒金紅石，而在有地开石的地方，則有長达几微米的金紅石晶体。

中期无礦階段的后期泥質蝕变，一般在泥質化二長岩侵入体周圍表現有顯明的帶狀排列（圖2，10）。离开与熔岩接触处若干距离的地方，二長岩可能相当新鮮，但是靠近接触处，泥質化程度則很深

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

（見圖10，H-M1到H-M3）。在这一帶內，中長石、黑云母和角閃石斑晶都变成高嶺石和地开石，而基質則局部变成高嶺石、貝得石、和鉀質粘土或水云母。地开石的形成时期比高嶺石晚，而兩者又都比貝得石、鉀質粘土、水云母和次要的絹云母晚。在鄰近的火山岩圍岩中，可能几乎沒有高嶺土，而它們的地位，被水云母和絹云母所替代（圖10，QL 1和QL 2）；或者可能存在有泥質化二長岩中所找到的同样蝕变共生礦物；在这些地方，高嶺土礦物的含量离开侵入体不远就很快地減少，而絹云母、貝得石和水云母变成主要的礦物。在这一帶內，加入的細粒石英，随着离开侵入体的距离而遞增，而絹云母則讓位于水云母（圖10QL2）。在矽化帶的外緣，明礬石是常見的礦物（圖10QL3）。

在蝕变程度很深的地方，占优势的石英的增加，一般是后期的泥質化溶液所造成，或者是晚期无礦矽化階段的溶液所造成；但在有些地方，最早泥質化时期所發生的矽酸鹽的破坏，在基質中形成分散的石英（見圖10 QL 4）。与泥質化过程相关的石英，含有无数均質性（？）的晶体和包体，其直徑为1微米或少于1微米，折射率相当高（1.65），它們究竟是什么物質，还不能确定；少量的六方柱自形微晶，可能是磷灰石。在这种石英中以及在基質中的未經矽化的長石和石英里面，也常有很細粒的貝得石。象前面所提到，这种类型的矽化作用，在泥質化二長岩侵入体的附近特別顯著。在接触处附近，它与絹云母和貝得石共生，略远一些，則与水云母和明礬石共生。在侵入体周圍的側面各帶內，明礬石并不常見，它是局限于最外帶，而且早于石英和第二代的高嶺石。在别格山頂的深度矽化的流紋岩中，与石英共生的大量明礬石，大部分是晚于矽化作用。

重晶石和黃鉄礦，都是泥質化岩石中分布很广的次要礦物。大部分的重晶石是晚于高嶺石和地开石；有些却被高嶺石細脉所切割，然而后者可能是下降溶液所造成。大部分的黃鉄礦有立方体的習性，但在蝕变剧烈的地方，可能形成八面体的黃鉄礦。

泥質化区域外緣的边緣帶中，有貝得石和一些无色的綠泥石，后者可能是淡斜綠泥石 $Mg_5(MgAl)AlSi_3O_{10}\cdot 4H_2O$。各处的綠泥石都

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

不太多。少量的細粒方解石与二長岩侵入体周圍的石英和水云母外帶共生。

沉積岩泥質蝕变的共生次序和泥質化的流紋岩相同。北丽雪礦場礦脉周圍的石英岩，是極有利于研究这类礦物的地方，特别在所謂"瓢穴"区域。石英岩曾被破碎，而許多微角礫層都广泛地被中期和晚期无礦階段和產礦階段的礦物所交代。

最早交代破碎石英岩的礦物是明礬石、細粒黃鉄礦、白鈦石和細粒金紅石（圖6）。最初出現的高嶺土礦物是叙永石，它交代着明礬石和破碎的石英，并在其中形成細脉。它常常形成鑲嵌高嶺石的填質。凡是高嶺石晶体的直徑粗到20微米的地方，叙永石就很少。地开石常与粗高嶺石交生，有时脫离高嶺石而独立存在于后期的細脉中，在这种地方，它和八面体黃鉄礦共生。所有以上所說的一切礦物，都被水鋁英石-石英、重晶石、水云母、絹云母、碳酸鹽类礦物和硫化礦石所切割。

根据現时观察所得的結果，在泥質化白云岩、石灰岩和頁岩中的次序，与此相同。

晚期无礦階段　晚期无礦階段中的最主要礦物是石英。大部分的石英中，散布有低折射率（1.48）的微細包体，暫时定为水鋁英石。在某些石英中，也有折射率相当高(1.65)而近于均質性的包体，暫时定为重晶石。这些包体和大部分石英是同时的，但最后結晶的氧化矽，是純透明的石英晶体。在似碧玉岩中，有很多不对称的条帶狀石英，而岩組分析的統計研究指出，帶狀的过生長(overgrowth)选擇一定的方位，这可能是似碧玉岩溶液流动的主要方向。玉髓不象細粒的石英那样多，但在似碧玉岩中也很常見，而在交代了离开主要礦化孔道略远的白云岩和頁岩的似碧玉石中，尤为常見。蛋白石是后期的次要礦物，大部分皆屬于下降成因。似碧玉石化的沉積岩含有少量金紅石，但比矽化流紋岩所含的少得多。象林格崙和劳夫林所指出（参考文献27），廷帶克区域的似碧玉岩，含有大量重晶石，而重晶石和石英都有几个世代。許多重晶石嵌在似碧玉的石英中，并且被它所溶蝕。但是重晶石的大晶体，以在似碧玉岩的空洞中为最多。在这种地方，它們是早

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

于硫化物，但是似乎晚于主要矽化作用时期。在几个地方，似碧玉岩含有透明石英和鉄叶綠泥石的細脉，后者的組份大致为（Mg_5Fe_2）$Al_2Si_3O_{14}\cdot 4H_2O$。礦化孔道附近的似碧玉岩，局部含有許多綠泥石結塊和交織指狀体，但在地下水位以上，尋常都被下降的酸性溶液变成高嶺石。普遍存在于晚期无礦階段氧化矽中的分散黃鉄礦，大約与綠泥石同时，而且大部分具有五角十二面体的晶形。其他硫化物的分布范圍比較小得多；全部都是晚于水鋁英石-石英，并且应当列入產礦階段。

在似碧玉石化石灰岩上面的火山岩石中，通常有浸染的立方体黃鉄礦的暈圈，其位置几乎垂直于矽化石灰岩上面。在廷蒂克斯坦达尔特礦場，这种关系特别明顯，在这里，上复熔岩中的浸染的黃鉄礦風化成的褐鉄礦污染暈圈，忠实地反映了廷蒂克斯坦达尔特向斜东端的月牙形似碧玉岩体。垂直的关系，表示硫質的气相轉移；从黃鉄礦化火山岩鑽孔中取出的衝击鑽屑的分析表明，除了同时也有氧化矽加入的地方并沒有表示鉄質的增加。这种关系，似乎最好用这样的理由來說明，就是說，加入的次要鉄質和氧化矽是液相轉移的結果，而許多硫質是气相轉移的結果。"气相"反应向上擴展的范圍，远超过晚期无礦階段的其他类型蝕变的限度之外，并且受到影响的岩石，除了表現磁鉄礦被黃鉄礦所交代外，沒有其他的变化。这些浸染于沒有受到其他变化的岩石中的黃鉄礦，并不局限于似碧玉岩区域，但也可能存在于石英岩中的无礦的黃鉄礦体上面，如果它們恰好直接下伏在熔岩下面。这样的浸染作用，可能僅僅反映：在蒸汽之中，除含硫化氫外，不含中期无礦階段的酸性蒸汽。顯然与似碧玉石化作用和礦石沉積同时存在的蒸汽相，主要是H_2O-H_2S。

在石英岩和熔岩中，晚期无礦階段的水鋁英石-石英，容易和泥質蝕变的某些水鋁英石-石英相混淆。一般地說，最好用丰富的同期和早期的重晶石、五角十二面体黃鉄礦、早期高嶺石（中期无礦階段的遺跡），許多水鋁英石-石英集合体中的一些晚期透明石英來作为鑑别的标志。然而，在下降含酸水活动的地方，很可能有后期高嶺石的存在，致使已經困难的問題愈加混乱。如果矽化作用很温

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

和，那么熔岩的基質含有加入的石英，而斑晶則一定被泥質化。于是粘土和石英的时代关系可能无从解决，但在晚期无礦階段的矽化作用程度較深的地方，長石的高嶺土假晶，則被切割高嶺石和地开石晶体的石英細脉所交錯。矽化最烈的地方，長石斑晶只形成一种結構与基質中的石英不同的石英；黑云母的存在，几乎总是由金紅石的富集来表示，——有时还保存網金紅石的圖案（Sagenitic pattern）。鋯英石和石英斑晶保存着它們的原狀，甚至于在矽化最澈底的岩石中也不發生变化。原生磷灰石在泥質化的过程中变化得相当早，而在溫和的和強烈的矽化岩石中，已經找不到这种礦物。

廷蒂克斯坦达尔特礦場第二豎井西北几百公尺处，流紋岩的微弱泥質蝕变和矽質蝕变上面，蓋有一層后期的綠泥石蝕变，它的时期相当于礦井下面似碧玉岩中所找到的晚期无礦階段的綠泥石。石英綠泥石（鉄叶綠泥石）細脉網在基質中形成交叉圖案，但在斑晶中，这些礦物比較少。水鋁英石和重晶石都和这种后期綠泥石共生。

热液方解石是晚于石英-綠泥石蝕变，但是早于水云母和絹云母。这种方解石顆粒比較粗；尋常只有很少几个不同方位的晶体生長在被交代長石的假晶里面，并且常常看到一个單独的方解石晶体遮蓋在整个斑晶上面。这种習性，与很細粒的上升方解石完全不同，后者晶体的長度不到5微米，并且局限于不規則的顯微細脉中。粗粒方解石选擇地交代着斜長石斑晶，只有在蝕变非常剧烈的地方，它才散布到基質之中，或侵襲着正長石和黑云母。

在火山噴發前的岩石中，方解石是普通的后期礦物，但在許多地方，热液和下降的变种頗难区别。林格崙和劳夫林（参考文献27，80頁）曾經提出一种事实要大家注意，即在廷蒂克区域，与方鉛礦和閃鋅礦礦石共生的热液方解石，具有偏三角面体的結晶，而下降方解石則有菱面体的頂端。他們也曾注意到，偏三角面体方解石的形成时期，虽然早于尤立加丽雷礦場的非矽質礦体中的某些方鉛礦和閃鋅礦，但是晚于矽質礦石中的所有原生礦物。

后期方解石，常常成为角礫化热液白云岩的基質，它在風化面上表現着鮮明的粉紅色調。在似碧玉岩中，它是不常見的礦物，其中只有

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

少量屬于几个世代的后期方解石。 这些方解石的相互关系还沒有研究出來，但在似碧玉岩中，方解石的細脉却被絹云母和水云母所切割。

方解石无疑是分布很广的礦物。 在蝕变不深的岩石中，虽然可以找到方解石，可是平常总是在最外帶，并且擴展到沒有其他蝕变礦物的区域。如圖版四所示，在大部分方解石化派卡特流紋岩中，方解石交代着沒有其他热液蝕变标志的岩石中的斜長石斑晶，而在岩石的标本中，縱然用手持擴大鏡观察，这种斑晶看起來还是完全新鮮的。

早期產礦階段 作为早期產礦階段特征的透明石英，为量并不多。 它的时期是晚于似碧玉岩中的水鋁英石-石英，但是早于五角十二面体的黃鉄礦和少量与之密切共生的礦石礦物。 所有这些礦物，都早于某些最晚的下降重晶石，也早于硫化物沉積的主要时期。前面已經注意到，絹云母和水云母，普通都切割或交代着中期无礦階段的高嶺石或其他礦物，而晚于似碧玉岩和与之共生的后期綠泥石。它們与主要礦石階段的礦物的共生关系，至今还未能滿意地予以确定。

產礦階段 礦石礦物的共生次序，总結在圖5和圖6內；本問題的詳細討論，拟在以后的报告中再行詳述。

各蝕变階段的成因和化学作用

一般特征 在东廷蒂克区域所發生的蝕变类型，在許多其他礦化区域也有同样的复本；但东廷蒂克区域的唯一特点是，这里有不可多得的机会來研究蝕变类型和肯礦体以及和礦化过程間的侵入体的关系。相同类型的化学变化——具有同样时代关系的同类几套蝕变礦物——可以在許多其他区域找到，所以东廷蒂克区域的蝕变的成因和化学，也可能在許多其他地点重复出現。

蝕变期間所發生的主要化学变化，总結在圖7，9，10和11上。似乎可能，近于中性的氯化物溶液，控制着早期无礦階段，而酸性的氯化物和硫酸鹽溶液，引起了中期无礦階段的泥質蝕变，后者又被晚

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

期无碳階段和產磺階段的中性溶液和可能屬于鹼質的重碳酸鹽-硫酸鹽-氯化物的溶液所替代。

早期无碳階段　白云石化作用和綠泥石化作用期間的化学变化，其結果虽然不同，但性質是相同的（圖7）。石灰岩中最重要的变化，是CaO的溶濾、MgO的增加和三价鉄还原成二价鉄，但是SiO_2和Al_2O_3的略为減少，也是值得注意的事实。在流紋岩中，綠泥石化蝕变所產生的最顯著变化，是三价鉄，CaO和Na_2O的大量損失，和二价鉄的巨量增加；SiO_2，Al_2O_3和TiO_2的少量而肯定的損失和MgO和K_2O的穩定或略有增加，也是值得注意的現象。野外產狀的研究、化学变化的探討和地質和化学文献的参考，使作者認为，白云石化作用是由含有混合氯化物（$MgCl_2$次要的$CaCl_2$）和一些CO_2的稀薄热液所造成。这样的溶液通过石灰岩时，促進离子交換，溶液中的Mg离子和方解石中的Ca离子發生了交換。

水溶液中如有溶解的CO_2，碳酸鈣比碳酸鎂难于溶解（見圖8），但在白云石化期間，碳酸鹽的增加，顯然表示白云石化溶液中含有少量的二氧化碳。似乎可能，如果开敞的系統中只有氯化鎂，那就会把方解石变成菱鎂礦；溶液中所含的少量二氧化碳，可能是确定热液把石灰岩变代成白云岩而不把它变成菱鎂礦的化学因素。

白云石化溶液对石灰岩所起的温和还原作用，和上复火山岩底部的綠泥石化作用所表現的強烈还原作用絕不相同。我們認为，兩个地方的还原剂，都是来自有机物質，这种有机物質，一部分是溶液从原生的碳質物質中獲得的。石灰岩中只有少量的有机物質，但在基底火山岩中，植物的碳化遺体却比較多。鉄被这样的物質还原之后，可使碳質氧化；在氯化物溶液里加入少量的CO_2，有促進綠泥石化蝕变所表現的那种微弱化学作用的趋势，如圖7所示。

白云石化帶下面，早期无礦階段溶液所引起的变化，与上面的相差不远。在很厚的基層石英岩中，除了少量的SiO_2和Al_2O_3被溶解外，沒有其他的变化；如果溶液在較近于策源地处經过火成岩，那末可能發生离子交換，把含鈣的礦物变成含鎂的綠泥石。

如表2所示，綠泥石化帶頂部的溶液，主要从事于离子交換过程，

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

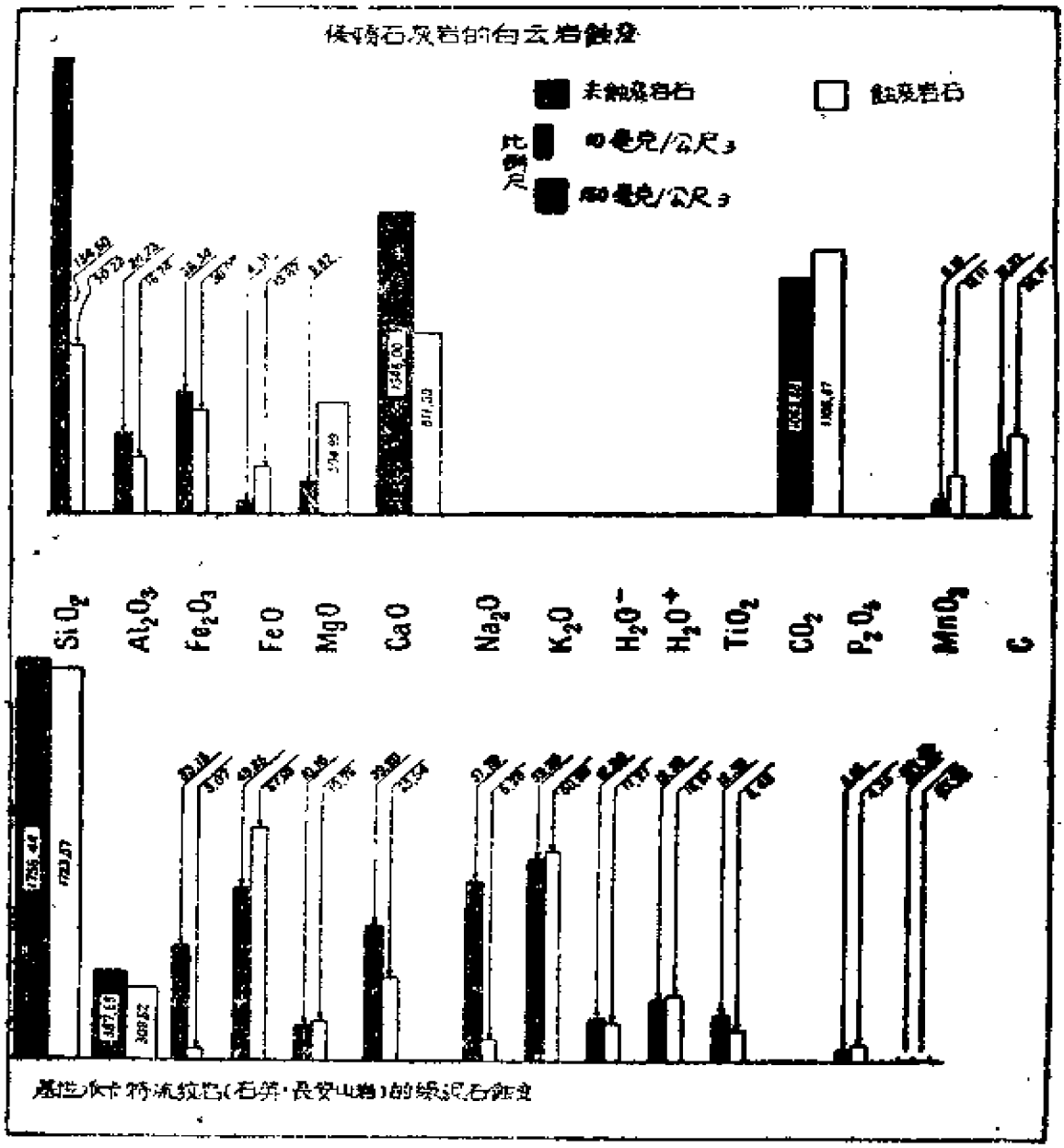


圖 7. 早期无矿階段期間，热液在石灰岩和派卡特流紋岩中所引起的化學变化。每一根柱的長度，是与每一立方公分的岩石中所含的每种氧化物的毫克量成正比例（这些数字，等于氧化物的重量百分比乘比重的十倍）。黑柱表示未經蝕变的岩石，空柱表示受过蝕变的同类岩石。

上圖—新鮮的条頓石灰岩（比重2.692）采自柯波理夫竪井西北 0.8 公里处；白云石化的条頓石灰岩，采自同一地層东面80公分处。分析者：勃朗。

下圖—新鮮的石英二長安山岩，这是派卡特流紋岩絲泥石化基底層中未經蝕变的殘余塊体(比重 2.42)采自廷蒂克斯坦达尔特礦場第二号竪井西面 150 公尺处廷蒂克斯坦 达尔特采石場；絲泥石化的同类岩石，采自新鮮岩石西面3公尺处（比重2.24）。分析者：哈姆

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

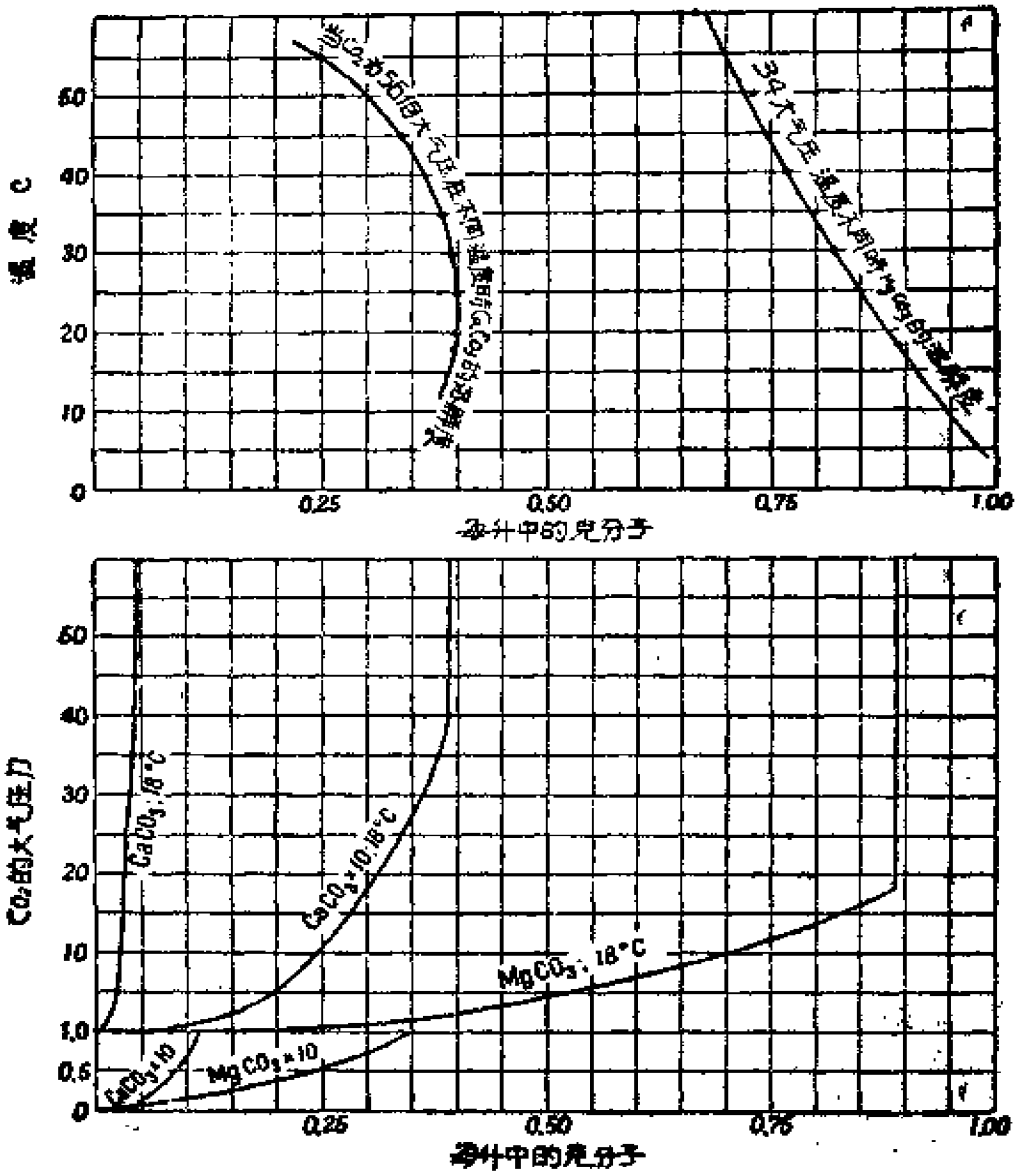


圖 8. 有CO_2存在时，$CaCO_3$和$MgCO_3$在水中的溶度，（根据西台尔的資料）（1940）

以鉀交換鈉和鈣，同时形成綠鱗石。中長石的早期鈉長石交代作用，証明在向上移动的鉀質蝕变帶的出口方向，鈣被鈉所交換。

中期无礦階段　化学分析指出，在中度強烈的泥質蝕变期間，沉積岩和火成岩中，除水份外，一切組份都有損失，只有一种組份有巨量的增加。在 110°C 以上，水份也有損耗（圖 9）。某些泥質化的流紋岩中，鉄質并无損失，但是大部分的鉄質，是含在淺散的黃鉀鉄

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表 2

綠泥石化頂部派卡特流紋岩¥蝕变

	1 重量（%）	1 毫克/立方公分	2 重量（%）	2 ❶ 毫克/立方公分
SiO_2	71.10	1834.48	69.88	1733.02
Al_2O_3	14.45	372.81	13.98	346.70
Fe_2O_3	2.02	52.12	2.16	53.56
FeO	0.61	15.74	0.54	13.39
MgO	0.48	12.38	0.55	13.64
CaO	2.01	51.86	1.49	36.95
Na_2O	2.78	71.72	1.15	28.52
K_2O	5.13	132.35	7.41	183.76
H_2O+	0.29	7.48	1.22	30.26
H_2O-	0.10	2.58	0.63	15.62
CO_2	0.13	3.35	0.03	0.74
TiO_2	0.39	10.06	0.37	9.18
P_2O_5	0.14	3.61	0.14	3.47
Cl	Tr	Tr	0.02	0.50
F	0.05	1.29	0.04	0.99
S	0.02	0.52	0.10	2.58
MnO	0.05	1.29	0.03	0.74
BaO	0.22	5.67	0.20	4.96
减去与S和F化合的O	—.03		—.07	
总計	99.94		99.87	
一般密度	2.58		2.48	
粉末密度	2.589		2.510	

1.新鮮的派卡特流紋岩（玻基斑狀石英二長安山岩），采自柯波理夫礦場北面60公尺公路上。分析者：裴克L. C. Peck.

2.石英二長安山岩，采自No.1标本附近1公尺处垂直石英-綠泥石脈。分析者：裴克

❶每立方公分毫克/等于重量百分比乘十倍密度。

磐或黃鉄礦的假象褐鉄礦中。这种現象說明，鉄質在顯著化学反应中起着作用，或者是后來加入的。

唯一完全情性的原生礦物是石英斑晶。其他各种礦物的比較不穩定性，可用各种元素的損失作对比，如圖 9 所示。斜長石对于蝕变的敏感性，正与CaO和Na_2O的大量損失相符合。大部分火成岩中MgO的消失，反映着黑云母的破坏相当早。伴随着黑云母蝕变的鉄質損失，在圖 9 的二長岩圖解中表示得很清楚。一部分 K_2O 的損失也可能由于黑云母的溶濾，但是也有一部分是來自抵抗力較大的正長石。斜長石

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

和黑云母可能供給大部分損失掉的 SiO_2 和 Al_2O_3；但是大部分原來存在于各礦物中的氧化矽和氧化鋁，互起反应而形成穩定的粘土礦物被遺留下來。存在于泥質化岩石中的大量微細而顯著的金紅石顆粒，使得圖中所示的TiO_2的損失出乎意料；这种氧化物很可能主要含在黑云母和磁鉄礦之中，所以不象蝕变岩石中金紅石那么明顯。在另一方面，P_2O_5 的損失只略高于 50%，这也是可以驚奇的事实，因为磷灰石在早期階段已經完全破坏。留在泥質化岩石中的微量磷質，可能形成鏃埃狀的磷灰石晶体，（見54頁）或者可能含在貝得石（Fe，Al）$_2$（Al，P，Si）$_4O_{10}$（OH）$_2$＋交換鹽基內，在那里面，它偶然可以在矽氧四面体中与矽進行类質同象地交換。

因为黑云母中所含的鉄質已經完全从黑云母的泥質化斑晶中移去，并且只有一部分恢复成黃鉄礦，我們可以有信心地說，在泥質蝕变期間，除H_2O以外，所有其他組份都被減少。我們認为，这样的不穩定性，只能用酸性溶液的理由來解釋。

在別格山的矽化帽中有大部分变成鈣鋁氟石的（？）（$CaF_2 \cdot Al(F,OH)_3 \cdot H_2O$）；熔蝕得很深的螢石；这兩种礦物都早于明礬石（$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$）和某些加入的石英。石英中有很多液态包体，在最大的包体中，可以看到微細的立方体，它們可能是鹵素化物。岩石的共生次序使我們相信，早期泥質化溶液中含有鹵酸。鋪在广泛泥質化流紋岩上面的矽化岩石的位置和氈狀分布，是与氧化矽系來自滲濾下伏熔岩的酸类的見解相一致的。丰富的后期明礬石明顯地表明，硫酸鹽溶液到后來才占优势。

照一般的見解，明礬石是由硫酸溶液形成的❶。这种意見，大部分是以明礬石和硫質噴气孔的共生現象，以及意大利托尔法的著名礦床是由黃鉄礦氧化时所產生的硫酸所造成的假定为根据的（參考文献14）。然而应当注意，在低压力的环境下，酸性溶液的正常沉淀物是鉀明礬（$K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$），而第一次制成的合成明礬石，只用

---

❶对明礬石成因意見的卓越总結，見Butler and Gale,1912. 1—46頁，和Doelter and Leitmeier,1929, 497—517頁。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

了水，硫化鋁和鉀明礬（参考文献29）。其化学反应式如下：

$$2\,Al_2S_3 + 12H_2O = 4Al(OH)_3 + 6H_2S$$

$$4\,Al(OH)_3 + K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O = K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3 + 24H_2O$$

$Al(OH)_3$的易溶于硫酸，以及这种氫氧化物的穩定性范圍的狹窄（从pH7到pH 4.3）都有力地說明，結合在明礬石內的氫氧根只能在很近于中性的溶液中出現。

拉森峰的那些微酸温泉，現在正使組份与派卡特流紋岩相似的英安岩發生明礬石-高嶺石氧化矽类型的蝕变。这些温泉的水，“毫无例外地是硫酸鹽水，几乎完全沒有氯化物”（参考文献13）。安得生(参考文献2)在論述被朋帕斯·海尔第十四号温泉所蝕变的英安岩碎塊时，注意到岩塊的核心未經蝕变，并且通过一層高嶺石、明礬石和次生石英的部分变代帶，逐漸向外过渡到完全蝕变的外壳，外壳中主要含有蛋白石和次生鱗石英的多孔狀塊体，和次要的高嶺石和黃鉄礦。明礬石几乎占內帶的百分之十，但在富含高嶺石的外壳中，却沒有它的蹤跡。

新鮮的和蝕变过的英安岩的分析指出，在浸在稀硫酸溶液里面而經过完全蝕变的外壳中，所有的基性物質都顯著地減少——Fe_2O_3、MgO、K_2O、和Na_2O都減到微量或更少，FeO減少84%，CaO減少87%，Al_2O_3減少94%。外壳中留有少量可能和CaO結合成石膏的SO_3。明礬石顯然与第十四号温泉的微酸溶液(0.04%游离硫酸，pH 2.2)不相平衡，而在新鮮核心周圍飽和着碎塊并近于中性的水份中找到适宜的环境。

实驗和野外資料似乎足以証明这样一种結論，就是說，酸性热液引起圖9，12所示的早期泥質蝕变，至于在引起蝕变的溶液中，那一种酸根最占优势，則頗难确定。礦物学和共生次序所表示的現象，似乎与鹵酸所可能產生的結果接近一些，而与硫質酸所產生的結果似乎远一些。但是毫无疑問，硫質酸起着重要的作用，而且可能在泥質蝕变階段的后期起着主導的作用。我們应当把圖9中表示矽化和明礬石化熔岩組成的L3柱，和表示泥質蝕变第一階段的L2相比較，而不

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

应把它与表示新鮮岩石的L1相比較。其中最值得注意的差別，是含有百分数比較大的硫酸鹽和鉀。

在东廷蒂克区域，明礬石与边緣帶和出口方向的蝕变的关系以及与矽化作用的关系，說明它的形成环境的酸性程度，不如中期无礦階段的高嶺土礦物和許多交代石英形成时那样強。最好的解釋似乎是把它作为正在冷却而含酸近于用尽的酸性溶液的沉淀物，由于酸性溶液和它所經过的岩石中的鹽基物質相接触，这种溶液的 pH 值几乎已經增加到 7 。如果某一地点的溶液的溫度或容量都在增加，那末明礬石帶会向出口方向移动，而蝕变礦物的年代次序应当是：（1）明礬石；（2）石英；（3）高嶺土；如果情况相反，則年代次序也要發生变化，明礬石变成后期的礦物，就象它在別格山矽化帽中的情形那样。

我們应当注意，別格山矽化帽下面山坡上的丰富的侵入角礫岩和二長岩小塊体，使得上述关系在这里广泛出現，与諾斯山泥質化二長岩岩枝周圍所看到的情况相似，虽然后者的范圍比較小得多。如果諾斯山东南完全未經蝕变的岩干中的似乎原生的新鮮黃鉄礦，是蝕变前二長岩的組份，那末硫化鉄、鹵酸类和含氧地下水等的化学反应，可能会產生硫質酸，这样可以說明明礬石和二長岩常常生在一起的原因，也可以說明沒有二長岩的地方，就沒有上升成因的明礬石。然而，酸根是岩漿原始噴气的產物的假定，似乎也同样是合理的。

泥質蝕变的化学，从总的方面看，似乎是比較簡單的。在最活动的区域，热的酸性溶液——在中期无礦階段的初期，这种溶液所含的鹵質可能比末期多，而所含的硫質酸可能比較少——除对石英斑晶外，極力侵襲派卡特流紋岩中的一切組份。从这些中心向外，选擇性的蝕变，愈变愈明顯，而在新鮮岩石和泥質化岩石之間的边緣帶中，溶液的成分、pH值和溫度，与沿着強烈蝕变帶上升的同期溶液有顯著的差別。在中期无礦階段初期，影响边緣帶的溶液的性質，与早期无礦階段的溶液比較相似，而与晚期无礦階段的富含硫酸鹽的溶液比較差得远一些，它形成了一些綠泥石，但是沒有明礬石，石英或重晶石。如果对于早期无礦階段的化学結論是准确的話，那末我們可以作出这样的推論：在中期无礦階段的初期，以鹵化物溶液为主，而不以硫酸鹽的溶液为特

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

征。較晚的时期，硫質酸顯著增加，并且溶濾了新侵入的新鮮二長岩，而不溶濾其附近已經泥質化的流紋岩。破裂的石英二長安山岩圍岩中的增温率和滲透性的差别，造成了使从二長岩向外移动的溶液的性質起迅速变化的条件。当温度降低和pH值增高时，鉀質加入貝得石來造成水云母或絹云母，氧化矽則沉積在多孔的泥質化熔岩的空洞之中，而在局部的地方，明礬石則形成于触变边緣帶中溶液最冷含酸最少的部分。

各种酸根可能是岩漿噴射帶入，而加入于部分触变边緣帶（圖10）以及加入别格山頂明礬石-石英岩石中的鉀質和氧化矽，可能來自被泥質化溶液所通过的流紋岩和二長岩。

矽酸鹽的氧化矽，很容易被酸和鹼溶液所吸收而运走，但是都可以被中和而沉淀下來；它也可能因冷却而从热液中發生沉淀。似乎不可避免，热的泥質化溶液会冷却，而pH值也会逐漸接近于中性点7。因此，等到温度和pH有适当的配合时，氧化矽就开始沉淀。矽化帽可能代表这种氧化矽沉淀帶的底部，但是一部分矽化帽中的石英，似乎也可能是CaO和MgO被溶濾后的原始矽酸鹽的氧化矽轉变而成。如圖8所示，在泥質化的石英二長安山岩中，和在蓋着别格山的石英-明礬石中，每單位体積中的SiO_2含量，沒有顯著的差别，虽然前者是一种柔軟的白色粘土質岩石，而后者是坚硬的灰色石英質物質。晚于石英和螢石的丰富明礬石表明，在較后的階段中出現了硫酸鹽。螢石是易溶于硫酸的礦物；在大部分的石英-明礬石岩石中，沒有螢石存在，即使存在，其晶体也已受了很深的熔蝕。这些关系，都說明硫質酸的活动。

熔岩中滲透性的泥質触变情况，与拉·克罗依（参考文献26），对貝里山的"噴气擴散"（fumerolles diffuses）的描述相同，那里的噴气孔，必須在富含地下水的岩石中开辟它們的道路。派卡特流紋岩底部的大規模不整合，是含植物的多孔凝灰岩所在地；其中所含的植物化石，表示在火山噴發开始时那里有很大的雨量，因此我們可以合理地假定，当泥質化噴气在侵入中心区域出現时，火山岩系底部的透水岩層中，飽含着地下水。在熔岩中所看到的泥質触变，可以相当滿意地用酸性硫質气体、地下水和火山岩的相互作用來解釋。我們沒有肯定

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

的証据可以証明，从岩浆喷射出来的喷气一定是蒸气相的气体而不是液相，但是除了黄鉄矿外完全沒有其他硫化物的存在，却是一种暗示。

熔岩下面所看到的泥質蝕变，主要是在較晚的溶液所行經的礦化孔道的附近。石英岩中的泥質蝕变，是晚于北丽雷礦体圍岩中的明礬石，而矽化作用，鉀質蝕变和礦石等的形成时期則更晚。粘土礦物的次序——（1）叙永石、（2）高嶺石、（3）地开石——表示着溫度的升高和酸性蝕变強度的加強。这里的明礬石是早期產物的見解，与以上所說的明礬石的成因相符合。或者也值得注意，在熔岩下面很深的礦洞中所發現的上升成因的明礬石，都是靠近二長岩侵入体。

随着深度的变化——鋪在别格山泥質化流紋岩上面的明礬石-石英岩石的变化，是与深度有关的最顯明的变化。似乎可以合理地推測，下面有泥質化二長岩的区域，也將在出口方向的四周和垂直方向，表現同样类型的帶狀分布。除了对这种帶狀分布的純粹經驗观察外，我們还可以用理論的理由來預測其他应有的变化。酸对派卡特流紋岩中所有組份（石英斑晶除外）的侵襲，愈近于起源处应当愈剧烈，結果使岩石的孔隙和矽質愈变愈多。多孔性增加滲透性，并且有利于后來溶液的流通，而这种溶液，可能用粘土、氧化矽、或其他礦物來堵塞孔隙。如果后期的溶液不能通到非常活动的泥質化溶液所經过的孔道，那末岩石的膠結性会愈变愈弱，到了最后，就会变成石英斑晶砂狀体，不論溶液的活动性主要是由于鹵質酸或硫質酸所致。

向出口方向的可能变化，大致可以用強烈蝕变中心和新鮮岩石之間的側面变化的研究來作預測。由孔道滲透入圍岩中的酸性溶液的活动性，无論是在垂直方向，或是向側面都在逐漸变弱，虽然它們所移动的距离各不相同；但是应該注意到側变化的一个重要特性，即較远岩石的較低滲透性，和因此而發生的溶液供給的間断。圍岩蝕变向外擴展的程度，决定于仍然保持着足夠的熔蝕力量來擴大所遇到的孔隙的溶液所能浸漬的距离；等到溶液丧失了这种溶濾能力，它的滲透岩石或蝕变岩石的力量，也就消失了。蝕变的边緣帶，可以反映出口方向应有的变化的一般情况——这里的溶液虽然近于用尽，但它所能溶解的

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

物質，还是比由离子交換或沉淀作用所加入于岩石的物質多——但是沉淀作用占优势地帶中的变化，不大可能在深部边緣帶中找到它的任何反映。

在硫質酸占重要地位的地方，泥質化帶以上向出口方向的第一种变化，是石英-明礬石的出現；在这上面，如果溶液的 pH 值繼續减少，明礬石就被水鋁石所替代。許多年前，克罗斯（参考文献11）所叙述的科罗拉多州罗宾孙山上流紋岩的石英-明礬石-水鋁石蝕变中这兩种礦物的分布，也表明了这样的帶狀关系。如果 pH 繼續增加，而溶液所通过的岩石的蝕变程度比較淺，那就很可能發生离子交換，使鉀替代鈉，于是冰長石和石英替代了含鈉的長石。

如果泥質化溶液含有鹵質酸而不含硫質酸，那末在泥質化流紋岩上面，可能有一些不同的次序。照作者所知，馮納（参考文献20）与愛侖和戴依（参考文献 1 ）在黃石公園所做的工作，对于这个重要問題的貢献，比任何其他的著作为大。間歇泉盆地中英安岩熔岩的蝕变，是由含有地下水和原來富于鹵質酸和碳酸的岩漿噴气混合溶液完成的，但所含的硫質比較少。馮納的著作表示，如果溶液近于用尽，而且其中只有少量足以溶濾鉀質的游离碳酸和少量的硫化氫，那末在泥質蝕变之前曾經有过溫和的石英-正長石蝕变的地帶內，蒙脫石（或者貝得石？）和立方黃鉄礦替代了長石。在較高的水平上，泥質蝕变完全停止，而正長石和石英都交代了英安岩，选擇地侵襲着玻璃基質。馮納指出，等到游离 CO_2 完全耗尽并且獲得了飽和的鹼質重碳酸鹽之后，就不会再有鉀質蝕变。石英正長石交代帶的深度，現在还不知道，因为在同一鑽孔內沒有找到兩种类型的蝕变。在上間歇泉盆地中，穿过具有石英-正長石蝕变的英安岩的鑽孔內，鈉沸石-方沸石（$NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$）出現于地面以下 66 公尺，溫度約为 160°C，并且繼續向上，一直达到地面以下27.5公尺的水平。到了这个地方，忽然变成沸石-片沸石〔$(Ca, Na_2)Al_2Si_6O_{16} \cdot 5H_2O$〕，这种礦物只限于 8 公尺厚的范圍內，而其溫度則在115°—127°C之間。在这一水平之上，岩心中所看到的蝕变，只有矽化作用。岩心中也找到零星的綠泥石和方解石，但是它們沒有顯示出与深度的明确关系。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

馮納所叙述的热液变質类型，与硫質酸的特性很不相同，故可認为相当于中期无礦階段初期的泥質化溶液在出口方向的蝕变。

晚期无礦階段　氧化矽在石灰岩、頁岩、和白云岩中進行交代作用时，常常溶解了足夠的物質以增加活动循环孔道附近的母岩的滲透性。溶液在熔岩下面的岩石中所溶解的組份，包括石灰岩中的大量CaO、MgO和CO_2（圖11），以及頁岩中的大量Al_2O_3和K_2O。在流紋岩帽內，以前受过泥質蝕变的岩石（圖11R_1'和R''_1）的水鋁英石-石英矽化作用（圖11,R3），又使岩石中失去一部分Al_2O_3、MgO、CaO、K_2O、Na_2O，但是TiO_2和P_2O_5的变化則甚小。鉄質和水的增加，分别反映黃鉄礦和水鋁英石的增加，而CO_2的略增，代表比水鋁英石-石英晚的少量碳酸鹽。石英、金紅石、或者磷灰石是石英二長安山岩中僅有的几种未被侵襲的礦物。在晚期无礦階段期間，重晶石在氧化矽沉積的前后，作間歇性的沉淀，但不与氧化矽絕对同时。氧化矽无疑是在強烈矽化作用期間，断断續續加入的唯一物質，但是在似碧玉岩形成时期，从开始到終了，也加入了大量的重晶石和黃鉄礦。因此，在主要孔道中，晚期无礦階段的溶液，飽含着SiO_2、FeS_2、$BaSO_4$、TiO_2、或者有P_2O_5，最后兩种化合物，主要是在平衡狀态之下，而在岩石中含量甚微（圖11）。

由鹼質热液所引起的蝕变，主要是离子交換性質的变化，岩石中的鹽基牠牲了存在于溶液中的某些离子而加入溶液。克拉克（參考文献9）說：“鹼質水，特别是碳酸鈉一类的热水，也是礦物物質的活潑溶剂。然而它們的作用正与酸性水相反，因为它們溶解氧化矽而不溶解鹽基，并且具有氧化鎂和氧化鈣沉淀剂的性能”。

然而，在稀溶液中，酸类是侵襲矽酸鹽中氧化矽最有效的作用力（在室温情况下），虽然氫氧化鈉、碳酸鈉、和重碳酸鎂，从蛋白石、石髓和石英中移去較多的氧化矽（參考文献28,30）在酸性溶液中，石英、石髓和蛋白石質的氧化矽，主要是惰性的；但在重碳酸鎂的溶液中，此三种物質大致同样地易被溶解。在一定温度下，酸类或鹼类溶液所能溶解的氧化矽量，大致与溶液中的酸度或所含的游离鹼成比例；如果温度下降，或者pH值向中性点变化，含有飽和氧化矽

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

的酸性热溶液或者鹼性热溶液，都会把氧化矽沉淀下來。

考慮似碧玉岩形成的問題时，必須記住几个有意义的事实：在現时有酸性水的地方，热水对圍岩的矽化作用是常見的，如果这种水里含有硫酸鹽，那末就会在酸性較弱的边緣帶形成明礬石；如果热的鹼性甚至于中性的重碳酸溶液之中含有飽和的氧化矽，同时也含有游离 CO_2，那末当它冷却时，可能会侵襲圍岩中的鹽基物質而代以氧化矽；如果逐漸冷却的鹼性碳酸鹽溶液中不含游离 CO_2，那就不大可能通过离子交換的方式來影响白云岩为圍岩，离子交換作用是这种溶液侵襲含鈉和含鉀岩石的普通方法；含有少量硫酸鹽和超量 CO_2而主要为中性的重碳酸溶液是鋇的有效輸送剂，在它失去了游离 CO_2后，重晶石就会沉淀下來（参考文献 8 ）；照現时所知，只有在鹼性溶液中制成过合成的綠泥石（参考文献31），在自然界中也沒有在酸性环境下形成的綠泥石。因此，晚期无礦階段的似碧玉岩中沒有明礬石而有大量的重晶石，表明当时的溶液含有重碳酸鹽，而在該階段的后期或產礦階段的早期中的綠泥石的沉積，表明当时的溶液不帶酸性。几代重晶石的存在，以及在包圍它們的石英形成之前，每一代重晶石普通都有熔蝕現象，說明热溶液的沉淀和溶解作用之間，有微妙的平衡情况。压力的变迁——礦化作用間的断層就可以引起这样的变化——会立刻影响溶液中游离 CO_2的含量；如果压力減低，可能使重晶石發生沉淀，如果压力增加，可以使它再溶解。含有游离 CO_2的重碳酸溶液，是石灰岩和白云岩的有效溶剂，它們的活动性反而因冷却而增加。氧化矽在 $Mg(HCO_3)_2$ 冷溶液中的可溶性，比在相同温度的純水中要大得多，但在 200°C以上时，它在純水中的可溶性，則比在冷的重碳酸溶液中大。当含有飽和 CO_2的热液逐漸冷却时，它对氧化矽可溶性的減低和鈣与鎂的碳酸鹽的可溶性的增加（圖 8 ），正好彼此合作造成石灰岩或白云岩的矽質交代作用。沸石是鹼性的重碳酸鈉温泉常見的沉積物，并且在实驗室中也容易用热的鹼溶液來合成，但不能在中性或酸性的溶液中形成（参考文献31）；似碧玉岩中缺少沸石和鹼性环境所特有的其他礦物，証明大部分的似碧玉岩，是在还沒有被鹽基所飽和的而近于中性的重碳酸鹽溶液中形成的。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

溶液中所含的氧化矽，虽然可能来自岩漿，也可能是上升热液通过厚層石英岩时所獲得，但是 Ba、CO_3、SO_4 和大部分与它們相伴生的 H_2O，可以列为岩漿起源的。似碧玉岩階段末期出現的綠泥石，証明鹼質溶液的存在，但是綠泥石主要在边緣帶，或在似碧玉岩化石灰岩的出口方向，这可能反映溶液与圍岩中鹽基的長期接触所引起的 pH值的变化。

氧化錳是晚期无礦階段蝕变的似碧玉岩和白云岩边緣帶的常見礦物。我們沒有找到錳的碳酸鹽或矽酸鹽，錳的氧化物可能部分是原生的，但是沒有找到热液成因的証据。在另一方面，我們沒有理由相信，錳曾經移离它的上升沉淀地点很远。它集中在似碧玉岩体的外緣或集中在矽化帶上面的出口方向的情况（圖 3），在北丽薔和廷蒂克斯坦达尔特礦場都可以看到。化学和光譜分析都表明，某些硫化物中（黃鉄礦）的錳含量最多为0.05%，而在大多数的原生金屬礦物中錳的含量还要少得多。恰恰相反，热液白云岩一般却含有0.20到0.40%的 MnO。圖 9 中 D4—D1 指出，在中期无礦階段期間，热液白云岩中 Mn的溶濾比較快；如果白云岩轉变为似碧玉岩时也有相类似的溶解（見圖 9 D5），那末溶液中也一定加入了相当大量的 Mn。錳和鉄的重碳酸鹽的可溶性是相仿的，并且肯定比鈣和鎂的重碳酸鹽难于溶解（参考文献 33）。我們認为，当晚期无礦階段溶液含有游离CO_2时，几乎白云岩圍岩中所有組份，都毫无选擇地被溶解，但在碳酸根都被滿足了之后，錳和鉄的碳酸鹽就开始脫离溶液，以离子交換的方式和白云岩中的 Mg和Ca 發生交換。这样重沉積的自然地点，应当在似碧玉岩化作用的边緣帶，或在它的出口方向。

較近策源地的溶液的作用——东廷蒂克区域最深的礦井沒有穿到主要礦化孔道的矽化帶以下。大塊氧化矽的沉積并不局限于碳酸鹽岩石。在許多地方，似碧玉岩化石灰岩下面的角礫化石英岩，也受深度的矽化。在石英岩里面，晚期无礦階段的氧化矽，膠結了微角礫岩，或者交代了中期无礦階段所形成的粘土礦物。如果因为冷却的溶液已經达到飽和程度而有石英的沉積，那末这种矽化帶可能很厚。当热溶液的活动达到高峰的时候，它可能从观察帶下面某些地方的石英岩中，

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

溶濾了氧化矽。但当溶液比較冷而飽和帶已經向下移动时，任何这样溶濾过的石英岩，可能被較晚階段的石英再膠結。很可能，在压力变化最大的地方，重晶石最为丰富，而这种情况一般可能在沿着主要礦化孔道的粗-角礫岩帶，在这种地方，礦化作用間的运动，会迅速地变更其滲透性和循环系統。在石英岩的裂隙帶中，这种作用比較小，而且比較不普遍，所以，重晶石很可能随着深度的增加而减少。

离开策源地較远的溶液的作用——当以上所說的热液重碳酸水达到复蓋在沉積岩上面的流紋岩时，它几乎完全为鎂和鈣所飽和。与熔岩中鹽基的反应，將使溶液增加它的鈉和鉀的含量，等到游离 CO_2用尽之后，离子交換將立刻开始而改变溶液中鹽基的比例。在此之前，当鹽基進入溶液时，溶液中的飽和氧化矽可能以細粒的石英与岩石發生交代；溶液被鹽基飽和之后，还能在蝕变岩石的孔隙中沉淀氧化矽。但在進行离子交換时，氧化矽只發生次要的交代作用。当斜長石的鈣質交換开始时，以重碳酸鹽形式存在于溶液中的鈣質，与鈉發生了交換。这种交代作用可能一直到溶液中鈣的含量达到很低的程度时方才停止；可以預想得到，鈣質交換是“長途旅行者”。当溶液中鈉的含量增加时，pH 值也会提高，于是造成有利于沸石沉淀的环境。所以在靠近出口的地方，鈣質交換作用可能被沸石的形成所替代，而熔岩中的原始礦物受到很少的溶解，甚至于一点也沒有被溶解。

綠泥石是局部地沿着似碧玉岩边緣帶和出口方向形成的；那里的溶液含有大量的鎂、含有飽和的氧化矽、略帶鹼性、并含少量的鈣；这种情况，可能相当于硫酸鹽根占优势的时期。此时溶液停止了鈣的溶解和輸运，沉淀了銀，但使鎂質仍旧保留在溶液內。

礦化主要孔道附近的似碧玉岩中所看到的大量黃鉄礦，其形成时期是可疑的。細脉切割着似碧玉岩；黃鉄礦又以分散的晶体浸染在似碧玉岩中，兩者的时期可能相同；某些黃鉄礦的膠体帶狀結構（colloform bands）表明它可能是重叠在較早的氧化矽沉淀物上面的、或者可能与后者同时沉淀的擴散帶。沒有一种証据可以証明，在黃鉄礦开始沉淀之后，有大量的似碧玉岩的形成，并且可以肯定地說，黃鉄礦的沉淀时期，比似碧玉岩階段長久得多。在任何地方，重晶石都比硫

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

化礦石早，但是它們有几个世代，其中以黃鉄礦化似碧玉岩孔隙中的为最多，結晶也最粗。一般認为，浸染黃鉄礦的沉淀开始于似碧玉岩階段的后期。

矽化白云岩中黃鉄礦的丰富含量，否定了鉄質是原生的物質。而黃鉄礦的存在可能是氧化物通过H_2S的作用而形成的，因为在似碧玉岩上面的熔岩中，可能有很多的H_2S。溶液中无疑地含有鉄質，可能在具有超量的CO_2和少量的H_2S情况下形成重碳酸亞鉄和硫酸亞鉄。在拉森峰的中性温泉中，例如第五号朋帕斯·海尔温泉，CO_2和少量H_2S的气泡強烈地激动着硫酸鹽水而形成黃鉄礦式的濃浮渣。在这里，压力的减少，似乎与黃鉄礦的形成有直接关系；似碧玉岩中黃鉄礦的沉淀，一般認为也是通过这样的过程。

向出口方向，压力会繼續逐漸减小。只要溶液中还含有鉄質，黃鉄礦就会在上升的溶液中繼續沉淀下來。在它們向出口方向行动的路程中的某一点；压力可能驟然减低，使得H_2S析出，于是出現富含H_2S的蒸汽相，充滿于上复的岩石之中。以前已經注意到，含黃鉄礦的似碧玉岩上面的派卡特流紋岩中的黃鉄礦暈圈，可能主要是由于气相H_2S对火山岩中的原生氧化鉄的作用所形成。这种类型的黃鉄礦化作用，向上通过熔岩的擴展范圍比方解石交代作用远得多；这种空間关系，与黃鉄礦帶中的气相轉移和方解石帶的液态轉移的概念是相符合的。

早期產礦階段　化学研究指出，以前的蝕变岩層受了后期鉀質蝕变之后，岩石中物質的損失并不大（見圖10，D4和R2）。早期產礦階段溶液所引起的主要化学变化，似乎是鉀質和硫化鉄含量的增加和氧化矽的少量損失。D4中所表示的氧化鋁的增加，可能發生于中期无礦階段，同时R2中却沒有这种現象。氧化矽和氧化鋁的顯明变化，究竟多少应当屬于較早时期的蝕变，是很难确定的事，但是岩石学的研究指出，圍岩的性質不是惰性的、就是起固相反应而形成新的鉀質化合物。浸染的硫化鉄也象某些透明石英一样，沉淀在空隙之中，而同时沒有引起岩石的溶解。

引起上述的些微变化的溶液，是比較不活动的，但是其中含有少量的鉀質。这种变化和酸性泥質化溶液所產生的蝕变的差别，使我們認

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

为这种溶液主要是中性的。格鲁纳所著的关于絹云母合成的著作（参考文献22）中指出，鉀質含量比重碳酸鈉含量多的中性或酸性氯化物溶液中，絹云母很容易形成，但在中度的鹼性溶液中，則形成正長石和鉀霞石，而不能形成絹云母。这种实驗資料，以及缺少酸性蝕变的表現，使人相信，在早期礦產階段，溶液主要是中性的，并含有巨量的鉀，它可能是一种氯化物-硫酸鹽-重碳酸鹽-硫化物的复溶液。

在早期產礦階段加入的鉀質，可能來自岩漿，但这种鉀質也很可能是上升溶液行經孔道圍岩时，通过离子交換的方式，从鉀質礦物中獲得的。如果这种溶液在極深的地方經过二長岩，那末这种岩石可以供給充分的鉀質；但是廷蒂克石英岩中的頁岩的分析表示，其中所含的鉀也和二長岩相仿。如果溶液通过时有足夠的接触面和充分的时間，这兩种岩石都可以供給这种元素。作者認为，現有的証据还不肯定，而本問題必須留待進一步的研究。

產礦階段 关于礦石的成因，这里无須多談；在任何已知的基層岩石中，都沒有礦石元素的來源，所以把礦石的成因归之于与二長岩和石英二長安山岩有关的岩漿，似乎是可靠的。石英二長安山岩和礦石的光譜分析証明了它們都起源于同一深源的概念。

一般缺少同期生成的脉石礦物，以及各种岩石都受到一些交代的現象，說明当沉積重金屬硫化物时，溶液能于溶解氧化矽、白云岩、和方解石。我們必須做許多实驗工作，才能确定这些反应的机構，但在野外所看到的元素的增減，在这种工作中，应当是有用的指導。白云岩的溶解，会產生重碳酸鹽溶液，虽然在原始溶剂中并无碳酸存在；但是也很可能，侵襲的溶液含很多的CO_2和H_2S，就象加利福尼亞州硫磺岸的現代硫化物-沉積溶液那样（参考文献3）。礦体出口方向的圍岩中所找到的后期方解石的一部分，可能是在深处为礦石所交代面經过搬运的碳酸鈣。加入礦体出口方向岩石中的黃鉄礦的一部分，可能是与深部礦石同时形成而向上逸出的硫化氫和含鉄礦物起了化学反应的產物。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

找礦的建議

采礦者往往願意"冒險嘗試"，而不肯准确地估計冒險的程度和应得的酬报。在东廷蒂克区域，最大的合理希望，也不过是再發現一个与廷蒂克斯坦达尔特礦場相仿規模的礦体；这个礦場的公司分了19,000,000美元的紅利，而所產礦石的总值大約为該数三倍。勘探工作的代价，可以認为是發現这样礦体的机会的支出，所以应当受發現的机会和可能的酬报的限制。我們希望，蝕变的研究会帮助采礦-地質学家对复雜因素的估計比过去更为精密。

在任何礦化区域進行考察，应当先去找構造和岩性学的最有利配合的所在。在沒有礦体露头的地方，構造和礦化作用，必須加以細緻研究，而它們与已知礦体的时間和空間的关系，可以用來作为判断的指導。

在熔岩复蓋着古生代岩層的地方，可以在蝕变和小礫石脉的詳細研究中，搜集到許多有关構造和岩性学的資料。下伏岩層的黃鉄礦裂隙上面为黃褐色褐鉄礦所染污的岩石，可能是追尋地下構造的有价值的綫索，也可能是下伏硫化物礦石存在的标志。認識綠泥石化蝕变，对断定下伏構造方位和流紋岩基部的远近，以及对發現热液白云岩的存在，都很有价值。局限于小区域的方解石蝕变，对于下伏構造的解釋，也是很有用的。

虽然弄清了已知的可能構造和岩性学，如对礦化作用一无所知，那末对一个区域作估計，还是很困难的。

主要变代体的研究表示，它們都几乎毫无例外地有一个似碧玉岩的外壳；在靠近礦体的部分，这种似碧玉岩一般常含絹云母，但在其边緣部分，則有泥質化岩石的不規則次要脉边層，而整个外壳又包圍在热液白云岩的外套里面。在一个有利的構造和岩性学的区域中，这些热液階段表現得愈多，找到礦体的机会似乎愈大，因为礦体是热液活动的最高峰。如果只有少数类型的热液蝕变現象，那末缺少晚期蝕变階

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

段的地方的找矿的机会，当然比缺少早期无矿阶段或中期无矿阶段的地方要少得多。

要得到所有有关的資料，我們准备花費的时間，必須比通常測制一般地面圖所費的多。我們可能每天都要用到顯微鏡來作岩相学的校正，但是大部分这种工作是簡而易行的。許多热差分析，也是有帮助的。（圖12的圖表，乃表示东廷蒂克区域主要蝕变矿物的光性，这种工作需要一位对于細粒集合体有研究的岩石学家）。热差分析的技術和許多蝕变矿物的热差圖，在文献中可以找得到（参考文献21,4,34,23,12）。一位有能力的采矿地質家，虽然可以完成大部分的蝕变圖，但是应当請一位熟練于蝕变岩石研究的岩石学家作为顧問。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

結　　論

东廷蒂克区域的热液蝕变，主要从石灰岩的广泛白云石化作用和熔岩的綠泥石化蝕变开始，其时期在石英二長斑岩和二長斑岩侵入之前。在这些斑岩侵入的时期中，泥質蝕变占了优势。与熔岩的黃鉄礦和方解石蝕变同时進行的似碧玉岩化作用，略晚于二長斑岩的侵入和泥質蝕变；此后乃有絹云母-水云母的蝕变，其范圍大部分局限于礦石孔道，而其形成时期，就在礦石出現之前。

研究了上面所总結的蝕变类型，使我們对于与蝕变有关的某些化学原理、时間的次序和空間的关系等，獲得一些明确的概念。因为这种概念似乎有助于了解許多問題，所以現在把我們在蝕变研究时所發展成的基本原理，复述如下。

交代作用是由三种單独存在的或互相配合的化学过程所造成的：分子重排列、化学物質的加入和化学物質的減少。这些过程之中，有的是靠近策源地所特有的反应，有的是热液在表面出口方向所發生的典型过程。只要溶液中含有游离酸、岩石孔隙率增加和化学物質減少的过程最占优势，則其作用愈向策源地愈为重要，——只要是液相。当这种溶液向表面出口方向進行时，它沿途吸取鹽基，一直到所有的陰离子都被鹽基所平衡为止，但它对矽酸鹽圍岩的溶解可能毫无选擇性。等到溶液达到这种情况之后，各种陽离子(鹽基)可以离开溶液面与圍岩中某些陽离子進行交換，这种的离子交換过程，是有选擇性的。

圍岩的溶解和一种化学上和它沒有关系的物質的沉淀，可以同时發生，这是化学和物理环境發生驟然变化时所產生的主要化学增減过程。这种过程一般形成強烈的蝕变。在这种地方的出口方向，此类反应可能被以下的过程所替代：以化学物質的增加为主而同时沒有化学物質的減少的过程，例如空隙中的石英或硫化物的沉淀，或者同时有沉淀作用和离子交換作用的过程。顯著的陰离子交換是气相反应的特

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

征，但在液相蝕变中也可以遇到。

在策源地，以及在它向表面出口方向前進的期間，热溶液的組份發生累進式的变化。这些溶液間歇地从岩漿源出發，產生一系列依次進行的半依賴性的蝕变階段，金屬化現象是最后的和最微弱的蝕变階段。任何一个階段中，开始与結束时之間所發生的蝕变，一般都有可以看得出的差别。这种差别，在每一个次一階段中，看得更加清楚。如果某一蝕变类型的場所漸向上升，那末以前在出口方向形成的蝕变礦物，可能被入口方面的礦物所切割；如果蝕变的場所向下移，則其共生次序恰恰相反。

任何蝕变階段期間所引起的礦物变化的空間关系，决定于圍岩的成分、热溶液的成分、孔道的性質、和溫度-压力的关系。溫度和压力的作用与出口方向和热液策源地的位置的关系很大，而与地面下实际深度的关系比較小。

孔道側面和垂直方面的蝕变礦物，一般是有差别的，或者說得更准确一些，沿着热液孔道和垂直于孔道的蝕变礦物是有差别的。在廷蒂克区域，已經看到的变化，上面已經作了总結。

以上所討論的簡單原理，如果是正确的話，应当可以应用于东廷蒂克范圍以外的区域。我們希望把这种原理在許多区域內加以考驗，并且希望，本报告的基本原理中应当加以修正之处，不久即可明了。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

参 考 文 献

1 Allen E. T., Day A. L., Hot springs of the Yellowstone National Park, *Carnegie Inst. washington Pub.*, 466, 1935.

2 Anderson C. A., Alteration of the lavas surrounding the hot springs in Lassen Volcanic National Park, *Am. Mineralogist*, 20, 240—252 (1935).

3 Becker G. F., Geology of the quicksilver deposits of the Pacific slope, *U. S. Geol. Survey Mon.*, 13, 251—270, 1888.

4 Berkelhamer L. H., An apparatus for differential thermal analysis, *U. S. Bur. Mines Rept. Inv.*, 3762, 1—17, 1944.

5 Billingsley Paul, North Lily development in East Tintic, *Mining and Metalurgy*, 8, 182—183, 1927.

6 Billingsley Paul and Crane G. W., The Tintic mining district, *XVI International Geological Congress, Guide Book* 17, Excursion 7, 101—124, Govt. Pr. Office, Washington, D. C. Prepared under the direction of J. M. Boutwell (1933).

7 Butler B. S. and Gale H. S., Alunite, a newly discovered deposit near Marysvale Utah, *U. S. Geol. Survey Bull.*, 511, 1—64, 1912.

8 Carles M. P., Presence de la haryte dans les eaux minerales sulphatées, *Annales chim. anal.*, 7, 91—93, 1902.

9 Clarke F. W., The data of geochemistry, *U. S. Geol. Survey Bull.*, 770, p. 211, 1924.

10 Crane G. W., Notes on the geology of East Tintic. *Am. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 74, 153, 1926.

11 Cross Whitman, Geology of Silver Cliff and the Rosita Hills, Colorado, *U. S. Geol. Survey 17 th Ann. Rept.*, pt. 2, p. 316, 1896.

12 Cuthbert F. L. and Rowland R. A., Differential thermal analysis of some carbonate minerals, *Am. Mineralogist*, 32, 141—146, 1947.

13 Day A. L., Allen E. T., The volcanic activity and hot springs of Lassen Peak, *Carnegie Inst. Washington Pub.*, 360, 110, 1925.

14 De Launay L., La metallogenie d'Italie, Compte Rendu, *Tenth Internat. Geol. Cong., Mexico*, Pt. 1, 679—686, 1907.

15 Denny E. H., Marshall K. L., Fieldner A. C., Emery A. H., Yant W. P., Selvig W. A., Rock strata gases of the Cripple Creek district, Colorado, and their effect on mining, *U. S. Bur. Mines Bull.*, 317, 17—50, 1930.

16 Doelter C., Leitmeier H., Handbuch der Mineralchemie, 4, 497—517, 1929.

17 Eardley A. J., Structure of the southern Wasatch Mountains. *Michigan Acad. Sci. Papers*, 19, 377—400, 1934.

18 Eardley A. J., Geology of the north-central Wasatch Mountains, *Utah. Geol. Soc America Bull.*, 55, 845—846, 1944.

19 Farmin Rollin, Pebble dikes and associated mineralization at Tintic, *Utah, Econ. Geol.*, 29, 356—370, 1934.

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

20 Fenner C. N., Bore hole investigations in Yellowstone National Park, *Jour. Geology*, *44*, 225—315, 1936.

21 Grim R. E., Differential thermal analysis of clay minerals and related hydrous material, *Am. Mineralogist*, *27*, 746—761, 801—818; *Reprinted as Illinois Geol. Survey Rept. Inv.*, 85, 1942.

22 Gruner J. W., The hydrothermal alteration of feldspars in acid solutions between 300 and 400° C., *Econ. Geol*., 39, 578—589, 1944.

23 Hendricks S. B., Goldich S. S. and Nelson R. A., A portable thermal analysis unit for bauxite exploration, *Econ. Geol.*, 41, 64—76, 1946.

24 Hewett D. F., Dolomitization and ore deposition, *Econ. Geol.*, 23, 821—868, 1928.

25 Kildale M. D., Structure and ore deposits of the Tintic mining district, *Utah, Unpublished Doctor's thesis, Stanford Univ.*, 1936.

26 La Croix A., La Montagne Pelee et ses eruptions, Paris, 197, 1904.

27 Lindgren Waldemar, Loughlin G. F., Geology and ore deposits of the Tintic mining district, *Utah, U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 107, 91—99, 154—159, 1919.

28 Lovering T. S., The leaching of iron protores, solution and precipitation of silica, *Econ. Geol.*, 18, 528, 1923.

28a Lovering T. S., Origin of the tungsten ores of Boulder County, Colo, *Econ. Geol.*, 41, 236, 1941.

29 Mitscherlich A., Fortsetzung der Beitrage zur analytischen Chemie, Untersuchungdes Alaunsteines des Lowigites und Thonerdehydrate, *Jour. prakt. Chemie*, 83, 471—474, 1861.

30 Moore E. S., Maynard J. E., Solution, transportation and deposition of iron and silica, *Econ. Geol.*, 24, 276, 1929.

31 Morey G. W., Ingerson Earl, The pneumatolytic and hydrothermal synthesis of silicates, *Econ. Geol.*, 32, 607—762, 1937.

32 Schoff S. L., Geology of the Cedar Hills area, Abstract of doctor's dissertation, 25, *Ohio State Univ. Press*, 383—384, 1938.

33 Seidell Atherton, Solubilities of Inorganic and Metalorganic Compounds, D. Van Nostrand Co., 3d ed., 1, 208, 523, 953, 998, 1940.

34 Speil Sidney, Applications of thermal analysis to clays and aluminous minerals, *U. S. Bur. Mines Rept. Inv.*, 3764, 1—36, 1944.

35 Spieker E. M., Late Mesozoic and early Cenozoic history of central Utah, *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 205 — D, 150—151, 1946.

36 Stringham B. F., Mineralization in the West Tintic mining district, *Geol. Soc. America Bull.*, 53, 267—290, 1942.

37 Wheeler H. E., Lower and Middle Cambrian stratigraphy in the Great Basin area, *Geol. Soc. America Bull.*, 54, 1808—1811, 1943.

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

華英名詞对照表

四　　划

比尤脫	Butte
比丘石灰岩	Beecher limestone
尤立加	Eureka
尤立加鎦里恩	Eureka Bullion

五　　划

东廷蒂克堤	East Tintic Barrier
史蒂芬斯	Stevens, R. E.
史派柯	Spiker
史都克斯	Stokes, H. N.
史丹福大学	Stanford University
白留勃特白云岩	Blue-bird dolomite
瓦沙壩山	Wasatch Mt.
加利福尼亞州	California
加德納白云岩	Gardner dolomite

六　　划

安得生	Anderson
西古尔	Seidell
吉尔古尔	Kildale, M. B.
多拉白云岩	Dora dolomite
托尔法	Tolfa
伏尔堆踵山脊	Volcano Ridge.

七　　划

劳夫林	Loughlin
廷蒂克	Tintic
克　侖	Crane, G. W.
克拉克	Clark
克罗斯	Cross, Whitman

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

克利普尔[illegible]	Cripple Creek
别格山	Big Hill
沃特丽[illegible]	Water Lily
貝　里	Palee
条頓石灰岩	Teutonic limestone
犹他州	Utah

八　　划

罗佛林	Lovering, T. S.
罗濱孙山	Mt. Robinson
丽蕾区域	Lily Strict
林格蕾	Lindgren
法　民	Farmin
拉古納	Laguna
拉・克罗依	La Croix
拉森峯	Lassan Peak
拉拉米依	Laramide
拉德克維奇	Радкевич. Е. А.
依格尔白云岩	Eagle dolomite
明納拉尔山	Mineral Hill
朋帕斯・海尔	Bumpass Hell

九　　划

哈　姆	Hamur, R. E.
柯波理夫	Copper Leaf
柯尔峽谷白云岩	Cole Canyon dolomite
品楊峰石灰岩	Pinyon Peak limestone
派卡特流紋岩	Packard Rhyolite
科罗拉多	Colorado
勃　朗	Brown

十　　划

格魯納	Gruner, J.
格雷洪黃鉄礦帶	Grayhound Pyritic Zone
格林河建造	Green River Formation
祖馬	Zuma

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

紐蒙脫	Newmont
愛　倫	Allen
愛翁欽	Iron King
愛傑克斯石灰岩	Ajax limestone
愛普克斯層	Apex bed

十　一　划

畢林斯雷	Billingsley, P.
麥　耶	Meyer, Charles.
曼莫斯	Mammoth
硫磺岸	Sulphur Bank

十　二　划

湯　納	Fenner

十　三　划

塞尔馬断層	Selma Fault
葛尔契断層	Gulch Fault
奧非建造	Ophir formation
奧貝克斯白云岩	Opex dolomite
奧波洪加石灰岩	Opohonga limestone

十　四　划

赫韋特	Hewett
赫吉默石灰岩	Herkimer limestone
裴　克	Peck, L. C.
蒙大拿州	Montana
維多利亞石英岩	Victoria Quartzite

十　五　划

衛勒	Wheeler
德拉貢礦場	Dragon Mines
德拉馬石灰岩	Dragmar limestone
"皺紋"石灰岩	"Curley" limestone

十　六　划

霍門斯維尔	Homansville
錫尔佛城	Silver City

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

諾斯山	North Hill
諾亞白云岩	Noah dolomite
諾武特凝灰岩	Norwood tuff

十 七 划

賽尔斯	Sales, R. N.

十 八 划

戴 依	Day

十 九 划

藍貝尔白云岩	Blue Bell dolomite

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn