

河北省某釩鈦-磁鐵礦^①成因類型的初步研究(續完)

王述平、孫延綿

三、乙區的礦區地質

乙區在甲礦區東方7公里，礦體分佈於斜長岩侵入體之南緣。本區勘探範圍分為兩處。主要礦體數十個產於鈉黝礫石化斜長岩及輝長岩侵入體交接處。輝長岩類分佈於礦體南部，自南向北又可分为礦染纖閃片岩、暗色輝長岩、中粒綫狀或斑狀輝長岩及纖閃偉晶岩。礦體平均走向為 $N60\sim70^{\circ}E$ ，傾向南東 70° 以上，輝長岩類的帶狀分佈及片理發育方向與礦體的走向幾乎完全一致。礦體的產狀有兩種不同的類型：

I. 斜長岩內的貫入式礦體。

II. 礦體產於斜長岩與輝長岩之間的浸染式礦體過渡為緻密型。

現在以乙區的主要礦體1,2號(見圖5、6)礦體為例，說明乙區鈦-磁鐵礦的成因類型。從12號勘探綫及7號勘探綫由南東向北西的實地觀測結合鑽探成果，不難看出所謂1,2號礦體在坑道內基本上是聯在

在300公尺以下遞減為25公尺左右。東南部的1號礦體厚度在100公尺以上而延深一般不超過200公尺。從地表露頭及鑽探成果觀察1號礦體在輝長岩與斜長岩的過渡地帶，礦體的東南部為輝長岩類，而西北部則與斜長岩接觸。

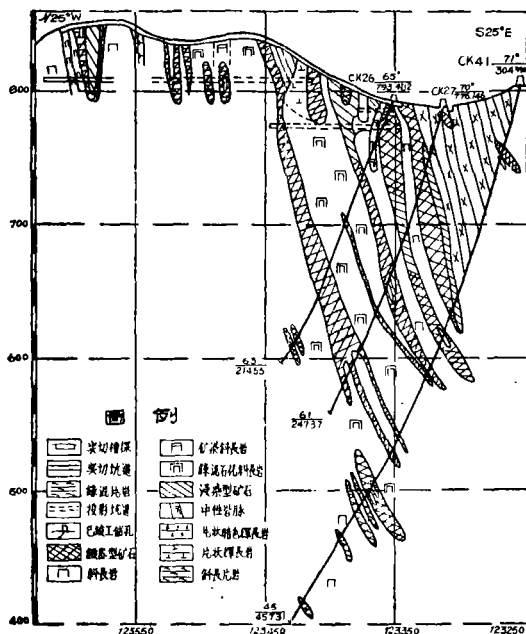


圖 5. 乙礦區 1,2 號礦體 7 號勘探綫地質剖面圖

一起的，根據目前勘探資料，西北部的2號礦體延深已達550公尺以上，礦體厚度上部平均約為50公尺，

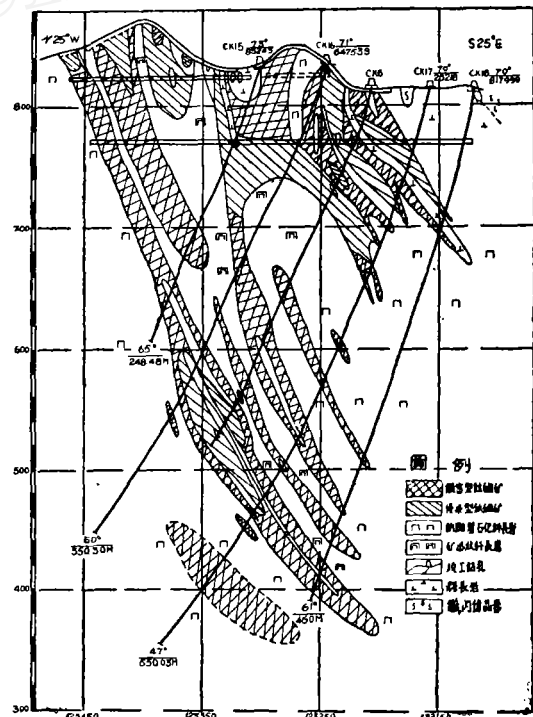


圖 6. 乙礦區 1,2 號礦體 12 號勘探綫地質剖面圖

斜長岩與甲區所見者大致相同，呈粒狀半自形結構，一般均受顯著的鈉黝礫石化作用，及不同程度的綠泥石化作用，顯微鏡下觀察其組成礦物以奧長石為主，時常包有很多黝礫石、斜黝礫石、絹雲母及綠簾石在其晶體中，其光性 Ng 、 Nm 、 $Np > 1.54$ ； $x' \wedge 010 = 9^{\circ} \sim 12^{\circ}$ ，其他方面與甲區略同，唯偶爾可以發現金紅石晶粒。

在礦體附近之斜長岩綠泥石化現象較為顯著，綠泥石化作用常沿斜長岩的節理裂隙發育，綠泥石含量可增至15~30%，按其組織不同又可分为綠泥石化斜長岩及似斑狀斜長岩兩種。至於未經鈉黝礫石化的斜長岩僅在10號礦體附近出露很小一塊。輝長岩亦受

鈉黝礫石化作用及綠泥石化作用，綠泥石的分佈比較均勻，暗色輝長岩的組成礦物與甲區沒有很大出入，輝長岩一般與長石成份增多而鈦—磁鐵礦顯著減少。

纖閃片岩有壓碎狀結構，其組成礦物以纖閃石、綠泥石及磁鐵礦為主，又蘇長岩及蘇長偉晶岩在乙區（49號礦體）曾有發現，其中之暗色礦物以普通輝石及紫蘇輝石為主，為未受變化的輝長岩。纖長偉晶岩可能由蘇長偉晶岩變成；綠泥片岩的產狀及成分與甲區略同。

礦體呈塊狀，顯微鏡下呈他形粒狀結構。結晶顆粒比甲區粗大，從1~3Cm，有時可達5Cm，其組成礦物如下：

組 成 礦 物	百分比
磁鐵礦（包括次生赤鐵礦及褐鐵礦）	60
鈦鐵礦（粗粒，包括次生銳鈦礦）	18
綠 泥 石	5
鉻鐵礦（緻密型礦石中較常見）	3~5
黃鐵礦、黃銅礦、磷灰石、鐵葉雲母	
尖晶石（3坑4號礦體）、蛇紋石、長石等	1~5

浸染型礦石以綠泥石型較為普遍發育，其中綠泥石含量為45~65%，其次為斜長石型，常成隕石結構，斜長石以奧長石為主，含量佔50~70%，多以受顯著的鈉黝礫石化、綠泥石化及絹雲母化作用。1及10號礦體比較發育。此外乙區的磷灰石型礦石亦較多，也是隕石結構，磷灰石組分為20~80%；10及12號勘探綫南部的18、49號礦體的礦石屬於這一類型。

浸染型礦石逐漸過渡到纖閃片岩及暗色輝長岩。沿斜長岩的節理或破碎帶常有綠泥石化現象，有時構成似斑狀構造，長石大者4~5公分，被綠泥石所包圍，有時具南東—北西方向排列，為斜長岩蝕變時受動力影響所致，為次生綫狀構造。

斜長岩的原生節理根據統計有三組（見圖7）而以 $N60^{\circ}\sim70^{\circ}E$ ，傾向南東 70° 左右之一組張節理最為明顯。在乙區鈦—磁鐵礦體受這一組節理方向的控制，其走向傾斜與之完全一致。第二組節理為走向 $N30^{\circ}E$ ，傾向北西 $35^{\circ}\sim45^{\circ}$ （局部傾向南東）相當於層節理。第三組節理走向 $N10^{\circ}\sim30^{\circ}W$ 向北東（或南西）傾斜 $70^{\circ}\sim80^{\circ}$ ，應相當於縱節理。

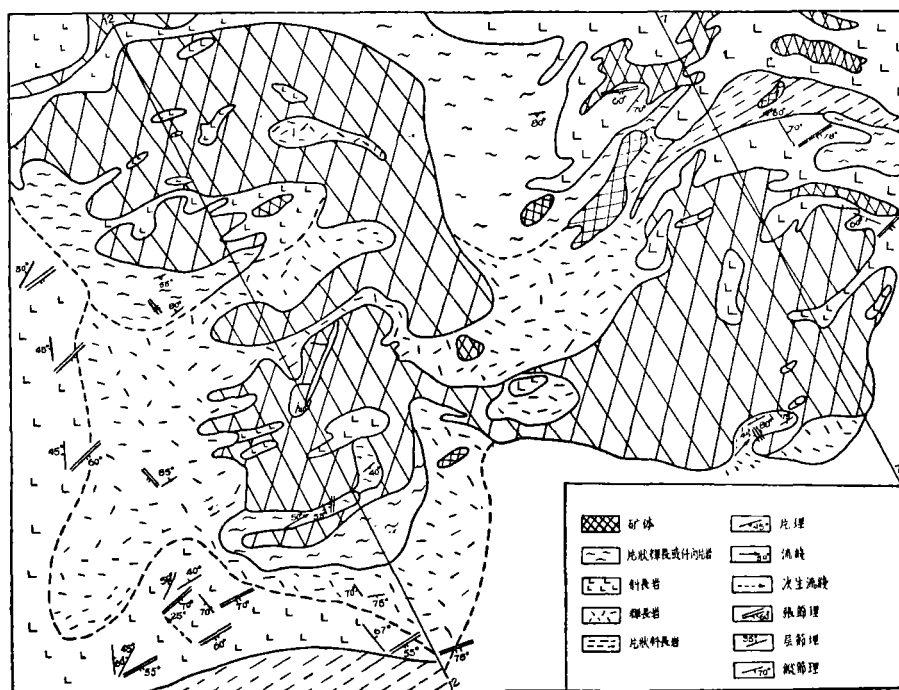


圖 7. 乙區 1.2 號礦體火成岩構造示意圖

輝長岩類岩相較為複雜，礦體的位置在輝長岩類底部，其附近為富於礦染的纖閃片岩及暗色輝長岩，中粒綫狀及斑狀輝長岩等，暗色礦染輝長岩是直接的運礦岩，有時插入於中粒輝長岩內，說明輝長岩的侵

入可能亦不只一次。纖閃偉晶岩在礦區南部輝長岩類的外圍較為發育，最厚可達100公尺，有時與蘇長偉晶岩伴生，似由蘇長偉晶岩變成（如16號勘探綫38號鑽機旁）。偉晶岩具有礦染，與礦體的生成關係甚為

密切。

在1坑之西及9坑附近可以發現輝長岩流綫構造作南西——北東方向排列，當輝長岩類結晶過程中曾受南東方向的應力影響。因此當輝長岩類伴同鐵礦熔液浸入後，大部分礦液沿斜長岩的張節理方向再度侵入。而主要礦體則產生在斜長岩與輝長岩之間，並具有緻密型及浸染型兩種礦石。

1~2號礦體就代表這種成因類型，但1號礦體又以產於輝長岩內為主，故其厚度較大而延深不及2號礦體，形狀較為複雜，不及2號礦體規則。因為輝長岩也是沿北東方向發育的，所以在輝長岩與斜長岩之間的礦體也有一定的走向、傾斜關係，唯不及斜長岩內規則；從地表地質圖及火成岩構造圖（見圖7）也可以看出這種情況。

片狀輝長岩、纖閃片岩及綠泥片岩的片理，幾乎無一例外的走向 $N60^{\circ}\sim 80^{\circ}E$ ，傾向南東，在纖閃偉晶岩內亦可以發現這樣的片狀結構，其中並曾發現有小的逆掩斷層，自南東向北西推移，斷距自數公分到2~3公尺不等，（如7號勘探綫，41號鑽孔旁），中間夾有褶皺的纖閃片岩。在鐵礦體上擦痕亦常有自東南向西北方向的推移（15號勘探綫深井內）。在19號勘探綫東南馬跡道旁沿斜長岩節理把蝕變的綠泥片岩自東南向西北推移形成小的撓曲，有時似斑狀斜長岩內的長石亦呈南東—北西方向排列，說明這一方向的應力，持續到礦體生成以後。輝長岩類的變質及片岩化、斜長岩內綠泥片岩的產生，均受這一動力影響。

產生在輝長岩內的礦體發育，受輝長岩類帶狀分佈的控制。假如礦體的延深與其長、寬、厚有關而有一定規律，那麼同樣規模的礦體的勘探深度問題應當決定於其受侵蝕的程度。

乙區的脈岩類沒有甲區發達，其侵入時期亦在成礦後不久，常沿斜長岩與輝長岩接觸處侵入。角閃玢岩深灰綠色緻密狀結構，較大者寬3公尺，長40餘公尺，走向 $N20^{\circ}E$ ，傾向南東 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，其東北部與礦染綠泥片岩及纖閃偉晶岩接觸。此外尚有斜閃煌斑岩、脈狀角閃岩等岩脈穿插於礦體中。石英脈則較為少見。

在乙區曾發現一個2公尺以上的凝灰角礫岩岩脈，其成分以火山灰為主，組成物質有火山角礫、半圓磨狀石英礫、及較大的鐵礦角礫。這種角礫岩在乙區坑道及鑽孔內時常可以見到，初看好像捕虜體，但1坑7穿會見這種角礫岩沿斜長岩及具有擦痕的鐵礦破碎帶作南西—北東方向侵入，有分支複合現象。在18號

鑽孔122公尺深處有角礫岩侵入於貧礦及蝕變斜長岩內，也可以看出角礫岩分支的現象，並切穿斜長岩內的方解石細脈。可以看出因為這種火山岩噴出時會有局部細脈穿過斷層破碎帶，特別是沿礦體與圍岩的錯動地帶上升，而捕虜了圍岩及礦石的角礫又侵入於礦體或斜長岩內。因此凡鑽孔岩心發現有鐵礦捕虜體的角礫岩脈時，也同樣可以說明深部當有礦體存在。

四、對於礦床成因的概念

根據基性岩石的化學分析，其成份以 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O 為主，所求出的尼格里係數可以看出二氧化矽與鐵鐵氧化物之間出現了相對性；並且和 Na_2O 等儘量與 MgO 、 FeO 、 Fe_2O_3 等分開。 CaO 及 Al_2O_3 的性質則比較複雜。在岩漿分異作用開始，這些成份就開始分化直至形成各種不同成分的岩漿。

當結晶作用開始時又發生結晶分異作用首先析出橄欖石，在殘漿中比重較大，沉向岩漿底部，並與殘漿反應形成輝石。由於輝長玄武岩漿的結晶作用進行得很緩慢，殘漿及結晶出來的礦物比重不同。比重較大的輝石及磁鐵礦成分向岩漿深處沉降並聚集起來，增加了較深地方的基性，增強了較高地方的酸性。岩漿分異作用及結晶分異作用的結果，使斜長岩類在礦區外圍先結晶出來。在這之後富於鐵礦液的輝長岩再度侵入，鈦—磁鐵礦和輝石及基性斜長石開始結晶，由於鈦—磁鐵礦在殘漿中的比重較大，因重力分異，鈦—磁鐵礦的晶體不斷的向輝長岩底部沉降，因為底部岩漿溫度較高，鈦—磁鐵礦依次重新熔融，在沉降過程中由於岩漿繼續冷卻，鈦—磁鐵礦又次第結晶出來，成為浸染型的礦石，而其組織為礦體與斜長石互相勾結或充填於長石之晶粒間，這種礦石是在深部較地表富集。由於這時更大一部分礦液則沉降在岩漿深處尚處於熔融狀態，此時輝長岩漿一部分也已經固結，殘漿內鈦—磁鐵礦的成分富集，同時揮發成分大為增加，使鈦—磁鐵礦在低溫中保持熔融狀態，並影響殘漿發生運動，而來自東南方向的壓應力又推動礦液上升，沿着斜長岩北東走向張節理貫入或局部貫入於輝長岩內。因此主要的礦體是產在斜長岩與輝長岩的接觸地帶而受構造裂隙的控制，因礦液之來源較深，故礦體的延長亦深。從剖面圖還可以看出鐵礦熔液是層層侵入的，這種現象從坑道及岩心也都可以看出大礦體是大小不同的流層的綜合。

在斜長岩、輝長岩等形成之後，發生了一個區域

性的造山運動。這一運動可能相當於呂梁運動。呂梁運動將內蒙地軸升起成山，由於這一運動持續時間較長，所以普遍的發生了鈉黝礫石化作用，礦床曾受顯著的動力影響和構造因素的控制。

從甲區鈦一磁鐵礦的資料看來，早年伏格特和肯普(Кемп)的意見認為鈦一磁鐵礦結晶早於矽酸鹽，但有鈦一磁鐵礦脈的地方（相當於緻密型礦體一作著），則顯然結晶晚於矽酸鹽，因而又推測金屬分結在岩漿源深處重熔，並且部分又重覆侵入於侵入體上部的冷凝殼中。這一理論現在看來基本上還是正確的。

關於控制礦體發育的構造裂隙，從目前資料看來，應與斜長岩張節理的關係較為密切。А. Г. 別捷赫金院士對於高溫熱液礦床的成因曾提到正當張力裂隙發生之時，即在封閉的裂隙的兩壁分開之時，應當發生真空，而且如果裂隙的末端（即使其細如髮管）伸入到熱液聚集所在時，則直接由於壓力差而使溶液流入空隙之中⑤。

因為在深成條件下形成的熱液礦床，含礦溶液的飽和蒸氣壓力隨其上升冷卻而減低，低於岩漿侵入時所受的外壓力。本身不能離開冷卻中的母侵入體，別捷赫金認為含礦的裂隙在此情況下是盲的而且不與地面相通。同時此種裂隙常是由於侵入體及熱的岩石冷縮時形成的裂隙。

張力裂隙雖然較快的向下尖滅，但其特徵有相繼出現雁行式的排列而發育，因此礦化作用可以沿着此種裂隙在相當大的深度下面分佈。對於礦化作用在深處發育的最適合的是相當於正斷層而不是逆斷層的剪力裂隙。這種情況可以沿着走向及傾斜延續很長，沿着正斷層的張開有很厚的礦體發生。

由於後期岩漿礦床是屬於深處發育的礦體，其產狀以產於火成岩體本身內為主，因此上述方式對於本礦區也是完全可以適用的。如果說產生在斜長岩內的緻密式礦體受北東方向節理的控制，那麼產生在輝長岩內的礦體發育則受輝長岩類帶狀分佈的控制。

但輝長岩內滲染型礦體中礦石的富集方式又與鐵礦液自礦染輝長岩中受壓濾作用本身富集有關。Ф. Ф. 奧斯波恩認為鈦一磁鐵礦礦床是輝長岩岩漿殘餘體形成的，他把金屬部分從矽酸鹽部分析出的機械作用本身解釋為壓濾作用 (Filter pressing)。金屬部分由早先結晶的矽酸鹽顆粒間隙中擠出，因此鈦一磁鐵礦集中呈脈狀，透鏡體或浸染狀。輝長岩內滲染型礦體中礦石的富集方式可能與壓濾作用有關，因為鐵礦有沿斜長石的縫隙侵入並影響斜長石綠泥石化現象。斜長

岩內的鐵礦染大部亦與這種作用有關，即當礦體貫入時有少數鈦一磁鐵礦再度擠壓於圍岩之內。

Ф. Ю. 列文生一列索格以北烏拉爾捷涅日金卡帶狀輝長岩中鈦一磁鐵礦分出物為例，說明輝長岩成分的火熱液態岩漿以液態分異方式而產生的岩漿形成物，他認為液態分異的液體（金屬的和矽酸鹽的）的侵入，及其在單向側壓力下運動時發生結晶，就形成了帶狀輝長岩和鈦一磁鐵礦脈。

由於甲區及乙區在飽含金屬礦液的輝長岩侵入時，南東方向的單向側壓力極為顯著，因此輝長岩類的帶狀分佈是在單向側壓力作用下形成的。這個力量可能是間歇的，因為礦石的富集，同時受重力作用的影響，斜長岩內富礦體的最後富集則與單向側壓力影響下發生的貫入作用有關。

從斜長石在斜長岩、輝長岩、纖閃偉晶岩及斜長石型貧礦中的種類來看，不論肉眼及顯微鏡下觀察，各種物理性質和光性均極為近似，多受鈉黝礫石化而以奧長石為主。纖閃石較為普遍的存在，附屬礦物均有磷灰石。磷灰石一般呈完整的柱狀晶體而為鈦一磁鐵礦所包圍。鐵礦在長石內亦呈隕石結構。

鈦一磁鐵礦呈半自形或他形結構。但在乙區浸染型礦體內亦呈自形小顆粒分佈在長石的晶體中間。鏡下觀察斜長石或半自形而磁鐵礦或不規則的粒狀，分佈在斜長石的顆粒間；另外有鈦一磁鐵礦被包圍於斜長岩內而與斜長石晶體互相穿插。可見浸染型礦石中鈦一磁鐵礦的生成與斜長石同時，或稍晚於斜長石而與暗色輝長岩為漸變關係，說明礦床生成的主要時期在輝長岩類矽酸鹽礦物結晶之後不久。鈦一磁鐵礦的固體溶液熔離結構根本不會在接觸交代的磁鐵礦礦床裡出現。由此可見甲區及乙區一帶鈦一磁鐵礦的成因類型，基本上應劃歸晚期岩漿礦床而受揮發成份的影響非常顯著；И. И. 馬雷舍夫曾把南烏拉爾鈦一磁鐵礦礦床看成是輝長岩岩漿殘餘熔體的偉晶期形成物，還是值得討論的。

А. Н. 查瓦里茨基把鈦一磁鐵礦劃入晚期岩漿礦床是正確的。他從理論上研究該類型礦床的最特殊標誌，也就是海綿狀晶鐵結構 (Сидеритовая структура, 即隕石結構) 形成的原因認為有三種可能方式：

(1) 金屬熔體與很接近礦石組分成分的共結點（或綫）相當。

(2) 金屬熔體是含礦矽酸鹽冷凝的最後階段，此時金屬熔體與矽酸鹽體在液態情況下具有有限的混

熔性。

(3) 金屬物質從浸透着幾乎已冷凝的岩石的氣態含礦溶液中出來，沉澱在矽酸鹽晶體間的空隙裡。

從甲區及乙區鈦一磁鐵礦與斜長石間的勾結構造，第(1)種生成方式的可能性是存在的。第(3)種可能對於甲區及乙區滲染型的礦體產狀來說沒有普遍的意義。至於第(2)種可能性需要從實驗方面加以進一步的證實。

總之鈦一磁鐵礦析出物的構造是多種多樣的，最早的礦物是輝石，基性斜長石，鉻鐵礦，鈦鐵礦和磁鐵礦等；它們的結晶次序隨其成分比例和結晶分異作用而改變着。磷灰石的晶出時代則不止一次，最早(灰白色)當在輝石之前，最晚(帶紅色)則在斜長石結晶之後，因為在斜長岩中的磷灰石常呈不規則狀分佈於斜長石顆粒之間。至於其他礦物則多數均為次生的。

伊石諾夫和拉提斯在“論岩漿金屬礦床”一文⑥中作為結論的六點意見對於甲區和乙區是完全適用的，當然還有進一步研究的必要。特別是礦石的最大特點是磁鐵礦+鈦鐵礦的固體溶液熔離結構，用別捷赫金所提出的鈦鐵礦一磁鐵礦一名稱確是比較適合的。

礦床中普遍分佈的固體溶液結構可以從實驗證明金屬物質析出時的最低溫度應高於800°C。同時根據Л. Н. 奧弗琴尼科夫和А. С. 舒爾的實驗證明輝石的鐵閃石化作用的溫度是介於800°到300°C之間，溫度愈下降愈有利於鐵閃石化作用發育。圍岩蝕變盡管複雜，但均發生在成礦作用以後，並且沒有明顯的分帶現象。因為礦床成因與接觸交代礦床的形成方式區別很大，應當保留晚期岩漿礦床這一名稱。甲區及乙區有少數的磁鐵礦礦石交代鐵閃石，甚至於直接影響斜長石綠泥石化，因此認為成礦作用的活動持續到熱液時期。

總之甲區及乙區鈦一磁鐵礦的成因類型有其獨特之處，應劃為“××式鈦一磁鐵礦礦床”，其成因類型應劃歸晚期岩漿礦床。本文所觸及到的問題很多，但不夠深入，對於過去的學者們的理論作了一般性的探討，我們的意見也不一定是正確的。但從以上的討論不難看出××式鈦一磁鐵礦的重要性不單純在於其遠景偉大，也同時在於其岩石種類的複雜，動力及變質作用的影響和地質構造的控制，許多方面都表示這種礦床類型的複雜性和獨特性；和世界各國比較，具有代表意義，搞清這一地區的地質礦床問題以指導找礦與勘探工作是具有重要意義的。

註：① 以下簡稱鈦一磁鐵礦；

② 本節曾參考董中保教授研究資料；

③ 據北京地質學院翟裕生先生最近鑑定資料這種所謂磷灰石實際上乃是金紅石和白鈦礦的集合體；

④ 礦區地質方面曾參考王恩遇、王光儒等同志所寫的岩礦鑑定報告書，並承104隊地質工作同志提供部份資料；

⑤ 見Ф. И. 沃里弗著“熱液礦床研究問題”

⑥ 見地質譯叢1956年11月份。本文曾總結了過去各學者對岩漿礦床成因的意見，伊萬諾夫和拉提斯的作為結論的六點意見如下：

(1) 烏拉爾鈦一磁鐵礦礦床是一種獨特的礦床類型，具有一系列特殊之點。

(2) 按所見標誌總的來看，這些礦石的形成完全可能是以氣成方式進行的。

(3) 除了高溫條件下產生的鈦一磁鐵礦礦化作用外，此處我們還發現有顯然是低溫熱液階段的形成物，其成因也和輝長橄欖岩建造的侵入體有關。

(4) А. П. 查瓦里茨基給這種礦床類型提出的“晚期岩漿”(Фузивные)礦床一名應當保留。它實際上是“岩漿晚期”(Постеромагматические)礦床一名的同義語，而有着較狹隘的含義。

(5) 因礦石中廣泛發育着固體溶液熔離結構(磁鐵礦+鐵鐵礦)，金屬礦物基本上是磁鐵礦，而非鈦一磁鐵礦，更正確些應稱這種礦石類型為鈦一鐵礦磁鐵礦礦石。

(6) 鈦鐵礦一磁鐵礦礦床與接觸交代成因的鐵和銅礦礦床合併為一組是不對的，因為按它們自己的形成方式來說相互區別很大。這種合併在成礦理論上不是進步的。