

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

燧石石灰岩的接觸變質

沈 永 和

(中 央 地 質 部)

(目 次)

- 一、序言
- 二、未變質前岩石的性質
 - (一) 燧岩
 - (二) 火成岩
 - (三) 接觸關係
- 三、接觸變質的現象
 - (一) 石英閃長岩的內變質現象
 - 1. 顏色的變異
 - 2. 結晶的變異
 - 3. 礦物的變異
 - 4. 石榴子石脈的侵入
 - (二) 接觸帶內的混合現象
 - 1. 在石英閃長岩部份
 - 2. 在燧岩部份
 - (三) 接觸圈內燧石石灰岩的變質現象
 - 1. 石榴子石岩
 - 2. 透輝石岩
 - (四) 接觸圈外燧石石灰岩的變質現象
 - 1. 含砂灰石的燧石石灰岩
 - 2. 含透輝石的燧石石灰岩
 - 3. 含透角閃石的燧石石灰岩
- 四、接觸變質帶的劃分
 - 1. 內砂礫岩帶
 - 2. 接觸混合帶
 - 3. 外砂礫岩帶
 - (1) 石榴子石亞帶
 - (2) 透輝石亞帶
 - 4. 接觸圈外燧石石灰岩變質帶
 - (1) 砂灰石帶
 - (2) 透輝石帶
 - (3) 透角閃石帶
- 五、接觸變質的性質
 - 1. 在內砂礫帶者
 - 2. 在接觸混合帶者
 - 3. 在外砂礫帶者
 - 4. 在接觸圈外燧石石灰岩的變質帶者
- 六、接觸帶的規律變化及反規律變化的控制因子
 - 1. 橫的變化
 - 2. 縱的變化
 - 3. 反規律變化的控制因子
 - (1) 溫度的控制
 - (2) 圍岩岩性的控制
 - (3) 侵入岩岩性的控制
 - (4) 壓力的控制
- 七、結語

一、序 言

1952 年秋作者在皖南銅官山工作，見到發育較良好的燧石石灰岩的漸進的接觸變質現象。因為工作的需要，並得測製精密的大比例尺地形底圖之便，在詳填該區地質圖時，作者曾縝密觀測其變化，並注意其發展變化的規律，因而有可能使作者對於該區燧石石灰岩的漸進的接觸變質有了較全面的、系統的了解，並據

此試作了詳細的分帶工作。

關於石灰岩的漸進接觸變質，在歐美地質文獻中尚缺乏系統的分帶工作，P. Eskola 及 N. L. Bowen 雖作了若干初步的野外分帶工作和室內的研究工作，但前者限於地質條件不够全面，後者未能結合到實際野外工作，因之在未能接觸到蘇聯先進的地質科學對於這一方面的知識前，部份的地質工作同志，感到不易着手。目前偉大祖國的經濟建設已經開始，許多地質工作者在全國範圍內展開了廣泛的調查工作，在這些工作中，特別是在金屬礦區的調查的同志，遇到接觸變質的現象而特別是石灰岩的接觸變質現象是非常多的，爲了供給野外工作同志們——特別是爲了利用大比例尺的地形底圖作詳細的礦區調查工作的同志們的參考，作者特將去年野外工作總結中的一節——有關燧石石灰岩接觸變質部份，提出稍作補充，並結合蘇聯專家¹⁾羅基諾夫同志關於蘇聯烏拉爾山區接觸變質分帶的先進經驗，草成此文。希望在廣泛區域內工作的同志能够根據實地工作中的經驗，對本文提出補充和修正的意見。以期在這一方面建立起系統的、完整的智識。

本文所涉及接觸變質現象，僅銅官山之一區——筆山區，而非全區。所根據的材料，僅作者野外工作紀錄之一部，附以在野外期間的部份薄片顯微鏡下的粗略觀察。在寫此文時，標本與薄片均在工地，未能亦無暇作充分的詳細研究，因之在本文中僅能略述變質情況的梗概，而且偏於野外工作方面。至於有關變質現象的若干理論問題，如：岩石方面、礦物方面、化學方面及其相互間的關係等，以後如有機會對岩石作系統的分析並對薄片作仔細研究，再作討論。

二、未變質前岩石的性質

(一) 圍岩：爲下二疊紀的棲霞石灰岩，黑灰，緻密，細粒狀，夾有黑灰色至黑色緻密的燧石球狀或豆莢體，分佈零散且不均勻，但大致沿着岩層走向，可見總厚度（指筆山區）達三百餘公尺，薄層及厚層互見。走向大致北西至北北西方向，向北傾斜，傾角在 70° 上下。因受閃長岩侵入的影響，本身發生和緩的褶皺，節理發育，罅縫亦多，爲易於接受變質的岩石。

(二) 火成岩：本區的火成岩爲石英閃長岩，一般爲灰色，中粒，主含中性長

1) 蘇聯專家羅基諾夫同志在 1952 年 10 月底，曾至銅官山工地，在留滯期間除對實際工作有具體指示外，並在百忙中，介紹了蘇聯的先進工作方法，其中曾提到蘇聯烏拉爾山砂礫帶的分帶情形，內砂礫與外砂礫之名即由此。

石（部分具鈣鈉長石）、普通角閃石、鉀長石、石英等礦物，副礦物以磁鐵礦、榍石、赤鐵礦等最普通，磷灰石偶而見之，黑雲母則更少見。

中性長石，通常為全晶，部分具帶狀結構，一般新鮮，局部受到深淺不同的絹雲母化及高嶺土化，偶具鉀長石的包粒或細紋，造成反條紋長石結構，大型晶體邊緣由於受融蝕結果，往往呈鋸齒狀。

普通角閃石，長柱狀全晶，正常為綠色，具顯著的多色性，顯示 $Z = \text{藍綠色}$ $Y = \text{綠色}$ $X = \text{淡綠黃色}$ ，吸收公式 $Z > Y > X$ ，一般具深淺不同的綠泥石化。

鉀長石為肉紅色，表面多呈雲霧狀，一般生在間隙處，在顯微斑狀，石英閃長岩中常與石英共生為造成岩基的主要礦物，並間呈美麗的微紋象組織。

根據岩石組織的不同，此區的閃長岩可有下列兩種：

(1) 正常的角閃石石英閃長岩：分佈於接觸帶的外區。

(2) 顯微斑狀石英閃長岩：分佈於接觸帶的邊緣區。

(三) 接觸關係：石英閃長岩的侵入在本區係沿着北東方向的軟弱帶上來，因為石英閃長岩的侵入並向北推進，結果使原來作北東傾沒的銅官山大背斜的西北翼向北推進，造成與原來區域構造線近於垂直的筆山，而石英閃長岩即與筆山之南與東二斷層面接觸，故直觸甚陡。

三、接觸變質的現象

(一) 石英閃長岩的內變質現象：關於石英閃長岩之因接觸變質而引起的內部變化，可從下列諸方面觀察：

1. 顏色的變異：正常的石英閃長岩在本區所見者均為淡灰至灰色，局部因鐵化呈棕黃色，風化後呈淡黃色至黃白色，局部鐵化甚深者呈褐鐵礦黃色。變質後顏色因其變質程度之深淺不同而呈深淺不同的顏色，一般加深，自淡綠色至綠色，間可至深綠色。

2. 結構的變異：正常的石英閃長岩一般為中粒狀，角閃石、斜長石均可於放大鏡下辨別出，變質以後，結構一般變細，密緻，變質較淺者放大鏡下尚可辨出礦物，變質深者礦物即不可辨認。

3. 礦物的變異：正常的石英閃長岩中，斜長石（中性長石）新鮮，局部有絹雲母化現象，鐵鎂礦物以普通角閃石為主，內變質後，則斜長石呈較顯著的絹雲母化現象。普通角閃石周圍則常有陽起石雛晶出現，稍深即有透輝石出現，偶而可

見漸變現象。前二者晶體因融蝕的結果，邊緣往往呈鋸齒狀。

4. 石榴子石脈的侵入：在石英閃長岩的內變質帶中，往往見有棕紅色石榴子石細脈侵入於石英閃長岩中，脈寬 0.5—5 厘米，一般均沿節理方向，最顯著之一組為北 40° 至 60° 東方向，亦見成 X 型者。脈中石榴子石一般為結晶體，脈之中心往往具有不規則空洞，或拉長成扁平形，延長與脈壁一致，靠近空洞部份石榴子石晶體則往往較粗，向脈之兩壁方向則漸細，有對稱的現象。在極細的脈中，石榴子石往往無晶體。脈壁與閃長岩界綫分明，有者並間以空隙，深度延伸可見者達二十公尺，有向下尖滅的現象。

(二) 接觸帶內的混合現象：由於石英閃長岩侵入時所具的高溫，使接觸的燧石石灰岩部份融熔，在二者之交界處發生混合現象：

1. 在石英閃長岩部份：斜長石及石英均經融蝕，前者兼呈深度絹雲母化，後者往往具有良好的蝕象。因有大量鈣矽酸鹽物質的加入，造成多量的透輝石及石榴子石，前者有發育較良的晶體，後者往往無晶形，具高度玻璃光澤，常呈條帶狀及細脈狀，但與前者界綫模糊，且不規則。經混合之結果，閃長岩變為深綠色、緻密的岩石，不易辨別其組成礦物，僅在深度風化後，始可見高嶺土化的白色斜長石輪廓。

2. 在圍岩部份：標本呈棕黃至棕紅色，放大鏡下為石榴子石岩，顯示高度的玻璃光澤，顯微鏡下見有融蝕的斜長石晶體，經絹雲母化及高嶺土化，其中並有呈碎片狀者，顯示未經完全交代的跡象，殘餘的石英粒亦偶見之。

(三) 接觸帶內燧石石灰岩的變質現象：因為石英閃長岩之侵入，在燧石石灰岩內部發生了較寬的接觸變質帶，這一帶又以其主含礦物的不同，造成下列兩種岩石：

1. 石榴子石岩：石榴子石一般均為紅棕色的鈣鐵石榴子石，一般不具晶形，具有高度的玻璃光澤。顯微鏡下，石榴子石多孔，呈海綿狀，其中包有鈣鐵輝石及透輝石的晶體，偶見少量融蝕的石英粒，綠簾石，黑雲母則甚少見。漸向外來，石榴子石即有晶體出現，局部出現偉晶條帶，多沿原來的罅縫或裂隙形成。顯微鏡下，晶體具帶狀組織，呈弱複折屈現象。透輝石較前稍多，並有石英、綠簾石、陽起石等礦物，一般礦化較甚。

2. 透輝石岩：標本呈淡綠至橄欖綠色，主含透輝石，造成細粒至中粒的透輝石岩，間或橫穿以石榴子石細脈。顯微鏡下透輝石一般晶形良好，全晶至次晶，雙

軸晶正光性， $Z'\Delta c = 43^\circ \pm$ 。偶見分散的石榴子石細粒，亦呈微弱複折屈現象。

(四) 接觸圈外燧石石灰岩的變質現象：根據各種礦物生成溫度的高低，並以其首次出現為標誌，則變質的燧石石灰岩，自內而外，可區別以下三種：

1. 含矽灰石的燧石石灰岩：此岩的特徵在於石灰岩本身已呈顯著的再結晶現象，局部大理岩化，呈糖粒狀，顏色已自一般黑灰色變為淡灰色至灰白色，其中所含的燧石球已經變質，間或可見顯著的三帶：中心部分為黑灰色、密緻的燧石；外圍經變質後燧石再結晶，變為白灰色至灰白色或竟為白色的石英岩質；其最外一帶即有矽灰石出現。放大鏡下矽灰石為白色，呈放射狀，具玻璃至半絲絹狀的光澤，顯微鏡下，無色，干涉色為一級灰色，光性雙軸晶負。偶而可見透輝石、或有極少見的鎂橄欖石與之共生。

2. 含透輝石的燧石石灰岩：石灰岩一般淡灰色至灰色，呈再結晶現象，其中原夾的燧石球一般較小，分佈稀疏，變質後變為條帶狀至不規則的突出物，往往不見燧石的殘餘體。仔細觀察則突出的條帶為灰色，礦物顯明分為兩帶，內心礦物為灰色，風化後晶體突出表面，是為透輝石，外部礦物呈灰白色，略具纖維狀者為透角閃石。顯微鏡下觀察，透輝石未得到良好發育，部份為雛晶，發育良好者 $Z'\Delta C = 43^\circ \pm$ ，伴生礦物有少量的石英及方解石等。

3. 含透角閃石的燧石石灰岩：石灰岩一般為灰至深灰色，密緻，局部靠近含透輝石石灰岩者有再結晶現象，顏色亦稍淡，其中所夾的燧石球或豆莢體一般為黑灰色，密緻，僅在其外圍有輕微再結晶現象，並伴有減色現象。透角閃石生於燧石球的最邊緣，色自淡灰至灰白，具纖維狀至石棉狀，或放射狀。偶見變向透輝石的中間型，石英粒及黃鐵礦僅偶爾見及。

漸向外去，則石灰岩變質既淺，而透角閃石僅偶有雛晶出現，乃至於全部消失。

四、接觸變質帶的劃分

根據上述的變質現象，依據各種礦物生成時溫度的高低，並以每一特殊礦物的首次出現為標誌，作者試將燧石石灰岩接觸變質帶作如下的劃分：

1. 內矽噁帶（即內變質帶）：本帶發生於石英閃長岩內部，其變質特徵如上節所述。此帶寬度不一，且不規則，受局部岩本身岩性變化及溫度的控制。在銅官山所見者，一般在五公尺左右。

2. 接觸混合帶：本帶發生於燧石石灰岩與石英閃長岩的直接接觸處，受火成岩本身溫度的控制，一般厚度不大，僅一公尺左右，且極不規則，時有時無，其本身變質的特徵見前節所述。

3. 外矽噁帶（即外變質帶）：本帶發生於接觸混合帶外的燧石石灰岩中，依其主含礦物之不同，可分為下列二亞帶：

(1) 石榴子石亞帶：直接與接觸混合帶接觸，主含棕紅色的鈣鐵石榴子石，造成石榴子石岩，詳細變化見前節敘述，此帶厚度不一，在銅官山所見者厚在三十公尺左右。

(2) 透輝石亞帶：此帶靠近於石榴子石亞帶之外，主含綠色的透輝石，造成透輝石岩，並見有石榴子石細脈，本帶厚度在銅官山所見者厚十二公尺。

4. 接觸圈外的燧石石灰岩變質帶：本帶發生於接觸圈之外，一般石灰岩無大變質，僅有再結晶現象。根據個別特殊出現之礦物的生成溫度的高低，可分為如下三帶：

(1) 矽灰石帶：本帶發生於透輝石亞帶外，主含高溫礦物矽灰石，間有透輝石共生，在銅官山所見的厚度約三十公尺。

(2) 透輝石帶：本帶發生於矽灰石帶外，主含灰色的透輝石，間有透角閃石共生，在銅官山所見的厚度在十公尺左右。

(3) 透角閃石帶：本帶發生於透輝石帶外，主含透角閃石，石灰岩僅具輕微的再結晶現象，厚度很寬，在銅官山所見者自發育良好的透角閃石至偶見的透角閃石雜晶，厚達 230 公尺。

五、接觸變質的性質

根據上述的變質現象及各種礦物的生成環境，可以作如下的結論：即銅官山這一帶的接觸變質係純熱力變質，溫度相當高，最低要超過 800°C （銅官山其他區見有柱石、符山石，此帶未見），而在上述每一帶中因為溫度的高低不同，致使其在變質過程中各顯特殊的變質作用，其特性可以簡括如下：

1. 在內矽噁帶者：主要是以交代作用為主，由於石英閃長岩在高溫中的吸收作用，在同化過程中一部份圍岩中的鈣質加入石英閃長岩中，加入結果致使原石英閃長岩中的角閃石局部或全部為透輝石所代替，因而發生內變質現象。

2. 在接觸混合帶者：主要是以混合作用為主，因為有大量的鈣矽酸鹽類溶液

加入，致使石英閃長岩本身具有大量的透輝石、石榴子石。石榴子石岩中包有熔融的斜長石晶體或碎片。

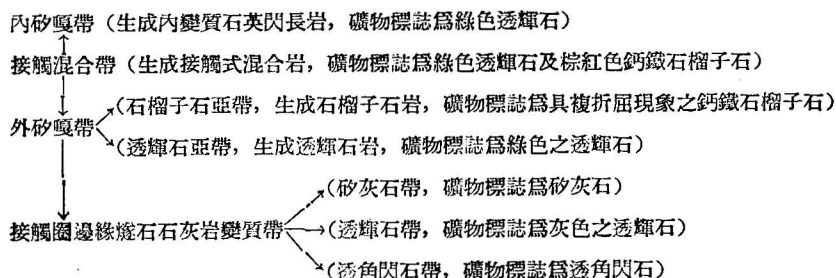
3. 在外矽噁帶者：主要是以化學的再組合為主，其中矽質一部分由於燧石球或豆莢體之被交代，一部分來自石英閃長岩，在高溫下，重新組合，生成大量的石榴子石及透輝石。石榴子石幾全部為棕紅色的鈣鐵石榴子石，透輝石中亦見有鈣鐵輝石（常被包於鈣鐵石榴子石中）之晶體存在，此二者皆由稍晚期含鐵溶液之加入而引起的全部或局部交代作用而成。常見的氣體礦物，如符山石、柱石、螢石等幾未見，證明此帶的氣體變質極輕微或全無。

4. 在接觸圈邊緣燧石石灰岩的變質帶：此帶主要是普遍的再結晶作用和局部的化學再組合作用。由於普遍的再結晶作用，使石灰岩結構變粗，由細粒狀變為糖粒狀，局部呈顯著的大理化；由於局部的（限於燧石球附近）、化學再組合作用，在不同溫度下各別生成不同的礦物，如矽灰石、透輝石、透角閃石等。經過全部重新組合者，已無殘餘燧石，未能全部重新組合者，殘餘的燧石已呈再結晶現象，有者變為石英岩質，此二者均係圍岩內部的變化，無外來物質加入。

六、接觸帶的規律變化及反規律變化的控制因子

根據銅官山這一帶變質的一般特性，並根據各種特殊礦物的生成溫度之高低，可以指出在燧石石灰岩接觸變質時的規律性如下：

1. 橫的變化：指石英閃長岩自圍岩之傾斜方向或反傾斜方向侵入者。以接觸混合帶為中心，以礦物生成時溫度的高低為根據，垂直於圍岩走向的變化可以表示如下：



上述各帶的礦物，往往有跨過帶的現象，如透角閃石可以進入透輝石帶，灰色透輝石可以進入矽灰石帶，綠色透輝石可以進入石榴子石亞帶等。

上述各帶的界綫，可以根據野外觀測的具體情況（如實測、推斷或理想）分

別以實綫、虛綫或點綫定界，在實測界綫中可以根據具體情況實繪，在推斷或理想界綫中一般均沿圍岩之走向大致繪出。

2. 縱的變化：指石英閃長岩自圍岩的走向方向侵入者，以接觸混合帶為中心，其各帶的變化及礦物的生成如(1)所述，唯其帶之方向乃係與圍岩走向垂直，且其各帶的界綫犬牙交錯，極不規則，在此情況下除實測的界綫外，其推斷或理想之界綫均以折綫（虛折綫或點折綫）表示之。折綫往返振動的方向與岩層之走向一致。

3. 反規律變化的控制因子：根據此一區變質的特性，可以提出下列四種控制因子：

(1) 溫度的控制：根據鈣鐵石榴子石所特具的高玻璃光澤反復折屈現象，可以斷定在此區發生折屈變質的溫度最低在 800°C 以上（石榴子石在 800° 時由單軸晶變為雙軸晶）。因為溫度高，所以在接觸部份發生混合現象，且向外發生較寬廣的外矽鈣帶及接觸圈外的燧石灰岩變質帶。如果侵入體的溫度較低或很低，則首先缺少者當為接觸混合帶，一般的外矽鈣帶在 500° — 800° 間尚可生成。而低於 500° 時則僅有透角閃石的產生及石灰岩的再結晶作用或大理岩化現象。而無外矽鈣帶的發生。

(2) 圍岩岩性的控制：此區的石灰岩含多量的燧石球或豆莢狀燧石，原來成份中已具一定量的矽質，在原來石灰岩中並有不等量的鎂質，鎂質多者在低溫下可以完全變為透角閃石岩，在高溫下可以變為透輝石岩（可能有其他含鎂礦物），如圍岩中缺乏鎂質，則透角閃石或透輝石的數量極少或全無，在此條件下，透輝石亞帶即不顯著或不存在。矽質富者在高溫下可變為矽灰石岩，無矽質部份則變為大理岩。二者均可能產生少量石榴子石。

(3) 侵入岩岩性的控制：此區的侵入岩為石英閃長岩（偏酸性），在接觸變質時其本身有部份自由矽質外溢，便於造成廣泛的石榴子石亞帶，同時可以吸收一部份圍岩中的鈣質而引起本身的內變。但如侵入體為基性時，其本身無自由的矽質或極少，因之無矽質或極少矽質供給圍岩，而其本身鈣質又較高，對於圍岩中鈣質的吸收又較少。在此情況下，圍岩的變質主要靠其本身的化學再結晶作用，在高溫下，在直接之接觸帶，可以發生混合作用，但交代作用則不顯著。

侵入體本身後期含鐵很少或全無時，圍岩中石榴子石部份為鈣鐵石榴子石，夾有綠色鈣鋁石榴子石，或全為綠色鈣鋁石榴子石。如含有氣體時，則增加符山

石、柱石、螢石等氣體礦物。

(4) 壓力的控制：此需視當地侵入體的產狀與其圍岩的接觸關係而定，因為壓力之大小影響到礦物生成時溫度的變更。如壓力（指大氣壓力）等於零時，則透輝石可於 550°C 時出現，但如壓力增加到 2000 大氣壓時，則溫度必須達到 800°C 以上始有透輝石出現。因此，溫度同樣高在壓力不同時，可以生成不同溫度的礦物。每一特定礦物生成時所需的溫度與其生成時所受壓力略成正比。本區發生接觸變質時壓力較低。

七、結 語

1. 燧石石灰岩的接觸變質的規律，一般可以應用到矽質石灰岩中，控制變化的因子亦大致相同。

2. 關於矽質石灰岩及白雲岩的漸進變質，N. L. Bowen 曾作了若干理論上的研究和實驗。此次野外工作結果，部份與其所作結論一致，即透角閃石、透輝石、矽灰石在漸進變質過程中分別因溫度的高低而出現或消失。其不一致部分，因此次標本未作完全分析，薄片亦未作詳細研究，此處暫不討論。

3. 關於矽質石灰岩的變質，Pentti Eskola 先後在芬蘭前寒武紀的石灰岩及美國西麻省石灰岩中，見到一致的帶狀分佈，即透角閃石石灰岩、透輝石石灰岩、矽灰石石灰岩，前二者溫度較低，後者溫度則高並有柱石、符山石、鈣鋁石榴子石及鈣鐵石榴子石的產生。與作者此次見到的接觸圍外之燧石石灰岩變質帶相同。

4. 關於接觸帶內混合現象，G. D. Osborne 在澳洲的新南威爾士也見到類似現象，稱為混合帶，並以其生成的石名之為混合透輝石岩。但 Osborne 對於接觸變質帶未作系統的劃分，作者與此提出接觸混合帶一名以別於普通大區域的混合帶，並將其生成的混合岩名為接觸式混合岩，以別於普通大區域的混合岩。

5. 關於侵入體內透輝石的產生，Eskola 在美國西麻省，Osborne 在澳洲 Co. Louth 均見到。前者存在於偉晶岩中，後者存在於花崗質岩石類，與此次作者所見的現象可以比擬。

野外工作前期多承張善楨同志協助，本文成後復得程裕洪同志在百忙中校閱，一併書此致謝。

附註：關於本區的火成岩，葉良輔先生鑑定為石英閃長岩，根據作者此次部份薄片粗略觀察結果，石英與鉀長石之量尚非少數，作者初步意見認為是花崗閃長岩或石英二長岩，因未

作礦物方面的定量工作，未作肯定，本文姑從舊說。

參 考 文 獻

- [1] Bowen, N. L., & Schairer, J. F., 1935, The System, MgO-FeO-SiO_2 , *Amer. Jour. Sci.*, **29**, 151-217.
- [2] Bowen, N. L., 1940, Progressive Metamorphism of Silicious Limestone and Dolomite, *Jour. Geol.*, **48** (3), 225-275.
- [3] Eskola, P., 1922, On Contact Phenomena Between Gneiss and Limestone in Western Massachusetts, *Ibid.*, **30** (4), 265-294.
- [4] Osborne, G. D., 1931, The Contact Metamorphism and Related Phenomena in the Neighbourhood of Marulan, New South Wales., *Geol. Mag.*, **68** (7), 289-314.
- [5] ———, 1932, The Metamorphic Limestone and Associated Contaminated Igneous Rocks of the Carlingford District, Co. Louth., *Ibid.*, **69**, 214-221.
- [6] Turner, F. J., 1935, Contribution to the Interpretation of Mineral Faces in Metamorphic Rocks. *Amer. Jour. Sci.*, **29**, 409-421.
- [7] Yih, L. F., 1925, Petrography of the Dioritic Rocks from the Contact Metamorphic Iron-ore Regions of China. *Bull. Geol. Soc. China.*, **4** (2), 105-113.