

應用地震法普查勘探 和村、湖田鋁土矿区的實驗研究

李 恭

地質概況及地层的物理——地質性質

和村鋁土矿区位于峰峰煤田和村彭城向斜西型，呈南北带状分佈。从地貌上看来为丘陵、台地、冲沟及黄土平原组成的洼地；但从内部地質结构来说，则为一不对称南北傾沒的向斜。組成矿区的地层有：中奥陶系馬家沟統灰石，中石炭系本溪統硬質砂岩，上石炭系太原統砂頁岩（本統为峰峰煤田的主要产煤地层），及二疊系石盒子統砂頁岩和第四紀沉积物。

鋁土矿粘土矿及鋁土頁岩分佈在中奥陶系灰岩侵蝕面上，与底板粘土呈漸变消失关系。鋁土矿一般多賦存在灰岩侵蝕面上的低洼地区。矿体长度一般数十公尺至一百公尺左右，厚度約 3~5 公尺。由于燕山运动的影响，发生断裂，使鋁土矿矿床遭到錯动。从矿床露头分佈看，鋁土矿呈不連續的透鏡状或楔形产出。

湖田鋁土矿区，处于淄博盆地东型，地形較平緩，所見地层和和村矿区极为相似（参看图 1），鋁土矿的成矿規律亦与奥陶紀灰岩侵蝕面的凹陷地带有关。产状近于水平，多成层状，与地层一致。矿区构造特征为不对称向斜，局部有小型的正、逆断层出現。

在普查与勘探鋁土矿矿床过程中，地震法的运用，是配合地質找矿工作解决以下勘探任务：1. 查明奥陶紀灰岩侵蝕面的古地勢，确定出与鋁土矿沉积有关的凹地，为鑽探指出鋁土矿富集希望凹地；2. 复查地面构造，

搜索黄土复盖下深部断层的分佈，以求了解矿层錯动情况，提供出远景评价的資料。

古生代地层的物理——地質性質，提供了应用地震法的依据，表 1 是矿区内有关部分岩石的綜合速度值：

表 1

地質年代及岩性描述	地震波傳播速度 (公尺/秒)	
	和村区	湖田区
低速带——第四紀及少量二疊系砂頁岩风化层	320~500	250~600
上石炭系太原統砂頁岩层	1500~2600	3280~3800
中石炭系本溪統硬質砂岩	2900~3200	?
鋁土矿	2800~5100	?
中奥陶系石灰岩	3100~6400	4200~6200

按介質的彈性和圍岩不同，中奥陶系石灰岩和石炭系砂頁岩层，可作为折射波来研究，同时奥陶系灰岩层为一稳定的标准层，开始形成折射波記錄時間約为 0.08 秒~0.28 秒，在該時間前則为石炭系砂頁岩层的初至記錄，局部地段还可来自含鋁土矿岩层的折射波。对研究沉积岩中各层的相变，上述各波有着重要意义，問題的解决会給寻找鋁土矿带来一定有利条件。

地震勘探工作的地質效果

地震法运用在鋁土矿区，实验研究成果指出，不仅配合了找矿工作，解决了某些地質問題，加速了对含鋁土矿面积的研究，而且用于确定伏于鋁土矿床下的岩石地形（即寻找凹地）时，对进一步找矿起到某些指示作用。以下就介紹一下地震勘探工作的主要成果和获得的初步地質效果。

(1) 奥陶系灰岩侵蝕残留地形的研究和埋藏深度的解釋：为查明灰岩侵蝕面的地勢，地震法是以路綫測量方式进行的。勘探結果表明，中奥陶系灰岩侵蝕面多形成波状起伏的喀斯特凹陷与凸起（参看图 2、

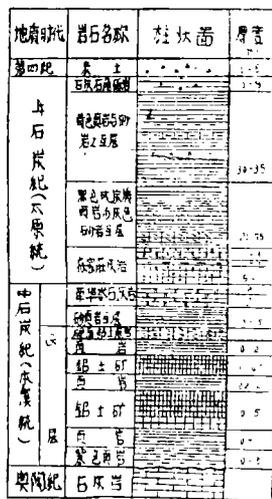


图 1 湖田矿区綜合地質柱状图

3、4、5)。地震剖面构组出的这些灰岩的凹地，规模不一，一般凹地的中心与边侧的高差约5~10公尺，最大者可达到25公尺。被查明的凹洼地段的面积为几十平方公尺或一二百平方公尺，所有这些解释与鑽探成果基本上是符合的。地震法对灰岩凹洼地带与隆起部份有效的确定，这在已知矿床分佈与灰岩喀斯特残留地形有密切关系的成矿规律下，显著地降低了铝土矿勘探过程中盲目施工的鑽探成本。

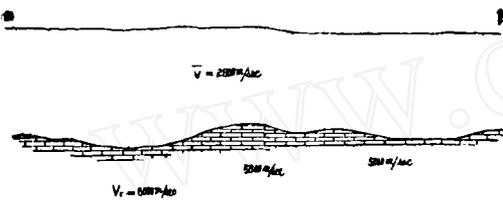
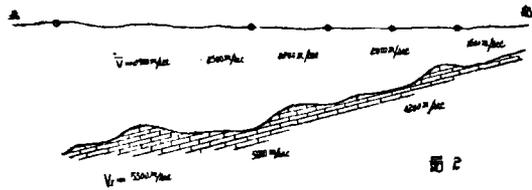


图 2、3 湖田矿区探查灰岩凹地结果，绘制出的地震剖面图

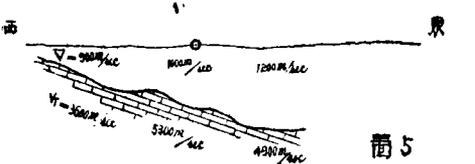
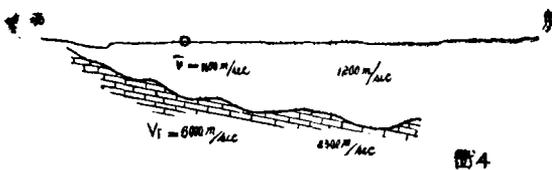


图 4、5 和村矿区探查灰岩凹地结果，绘制出的地震剖面图

表 2 是地震法查明的灰岩凹地与鑽孔见矿情况的对比。由表 2 可以看出，地震数据构组出的凹洼地带多数是符合于铝土矿沉积厚度较大、层次较多的鑽探结果，而解释出的灰岩隆起部分则为无矿地段或缺失 G 层沉积的地段。因而在类似铝土矿矿床沉积的新地区内，应用地震勘探方法探查灰岩受喀斯特作用形成的洼地，或寻找有利于矿床富集的小地型单位，可作为一种间接找矿的勘探手段。

其次地震资料解释出的灰岩埋藏深度，用鑽孔验证，

相应点的深度是极为近似的，绝对误差最大为±5公尺，这种精确度我们认为满意的。从这一点也可指出，地震界面（标准折层）与地质界面（奥陶纪灰岩面）是吻合的。因此构组出来的地震剖面，表明了灰岩侵蚀面残留地形的起伏形态和其真实的空间位置。

表 2

地区	鑽孔号	相应地段地震结果	矿层富集情况
和	Ck5	+	缺失G层
	Ck18	-	矿层厚度七公尺
村	Ck3	+	无矿
	Ck2	-	无矿
湖	7~6	-	矿层厚度2公尺
	7~2	-	矿层厚度8公尺
	7~4	-	矿层厚度10公尺
	7~0	-	矿层厚度3公尺

注：- 表示地震剖面构组出的灰岩凹陷地段
+ 表示地震剖面构组出的灰岩凸起地段

(2) 灰岩侵蚀风化带的固定：在研究含铝土矿建造的下伏岩石的地形的同时，进一步研究这些岩石岩性的变化，是有意义的工作。根据弹性波沿着折射

层的传播速度的性状表明，奥陶系灰岩在古地理环境下遭受的侵蚀风化和破坏程度是不一致的，这一点可借地震波界面速度图来阐明。

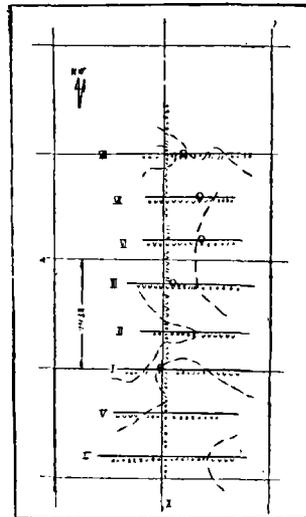


图 6 地震波界面速度图

////—2100~3000公尺/秒，vvvv—3100~4000公尺/秒，oooo—4100~5000公尺/秒，++++—5100~6000公尺/秒，×××××≥6100公尺/秒，-----Vr≥4100公尺/秒的带的范围（相当于緻密灰岩的分佈区）
○鑽孔

图 6 所示为和村区内具有地震测线系统的地震波界面速度图，石灰岩的界面速度以 3100~6400 公尺/秒作为自己的特征，复盖层中的速度 V = 800~1400 公尺/秒。Vr 值在石灰岩中变化范围有如此强烈差别的

存在和其沿測綫不穩定性分配的現象。我們認為這除與傾斜灰岩的埋藏深度有關外，也表明了灰岩物理性質的變化。這是在某些地段埋藏着緻密和未遭破壞的灰岩，而 V_r 值較小的地帶，灰岩在地質作用下和中石炭紀后局部地貌變遷、及地壳升降運動過程中遭到了強烈的侵蝕和風化。

在圖 6 中我們用點綫劃分出灰岩 $V_r \geq 4100$ 公尺/秒的地帶，以表示灰岩受到破壞程度不同的界綫，由圖可以看出灰岩被侵蝕的範圍是非常不規則，並且在這個侵蝕帶的範圍內，由鑽探結果和礦床露頭證明，往往是與沉積着鋁土礦和粘土礦的帶伴同在一起。如果這個規律進一步被更多的資料所証實，則借用繪制界面速度圖的方法，來確定灰岩在古地理條件下形成的侵蝕風化帶的範圍，對配合地質找礦、尋找鋁土礦的可能分佈區，將會起着積極的作用。

由於界面速度變化的原因不是單一的，如何更好的圈定風化帶，及如何更好地研究岩性而把成果運用地質找礦工作中，目前還缺乏經驗，尚須根據新的資料進一步研究與探討。

(3) 追索斷裂的結果：在普查和勘探被錯動的鋁土礦礦床時，地震法的应用，主要是解決地質構造問題，查明斷層分佈，了解礦床的錯動情況，以便幫助地質找礦工作更好的對礦區進行評價。

在和村礦區內，地震法勘探結果指出了接近礦區露頭分佈的地段，斷裂出現較多，使奧陶紀灰岩形成了小型的地塹與地壘，或具有複雜的階梯狀結構（參看圖 7、8、9）。在鋁土礦沉積面積範圍內未發現被較

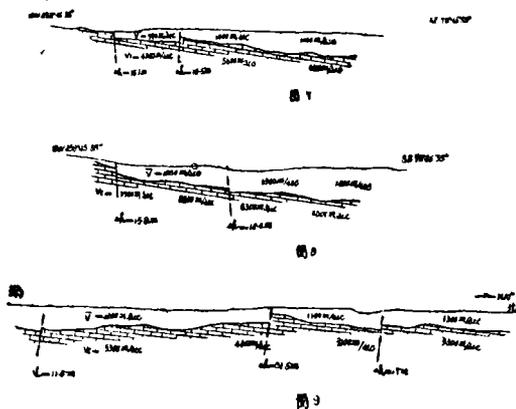


圖 7、8、9 和村礦區地震法查明的灰岩斷裂剖面圖

大的斷裂錯開，搜索到的斷層，落差很小、延長較短、斷距一般為 10~15 公尺（最大 35 公尺）。按其斷裂方向，大致可劃歸為 NE 向和 NW 向兩組。地震法提供的資料，對勘查被錯動的礦床起了輔助作用，

便利了礦區遠景評價的工作。

值得指出，地震法這種對小斷層具有的勘探能力說明，在很大程度上能夠發現由喀斯特作用形成的地階。當鋁土礦礦床賦存的位置是受這種喀斯特地階控制時（某些含鋁土礦的地區已發現了這種成礦規律），借用地震法來探尋地階的存在，將會成為找鋁土礦工作的第一步。

野外方法簡述

鋁土礦區的地震法實驗研究工作，主要的採用了折射波法，本討論所包括的區域內，灰岩埋藏深度 < 150 公尺，在研究這種埋藏較淺的傾斜分界面的成層介質時，按記錄作初至的波來進行觀測是比較適合的。

工作中使用的儀器是 ABEM-12 道輕便式反射地震儀，運輸時裝在自制的兩輪手推車內，儀器放大器的放大倍率約 50 萬倍。由於記錄上的微震背景很大，靈敏度調節擋經常放在 25 % 以下。濾波的選擇採用了三種範圍，即 2F, 2A, 2C, 頻率特性的極大為 25~60 週。

地震測綫的佈置，一般均與地質勘探綫重合，並尽可能作到了與地面岩層露頭及鑽孔相聯結。和村區垂直岩層走向平行佈置的普查測綫間距為 400 公尺，並作出了測綫的地形連結。對可能發現的鋁土礦充填凹洼面積作詳細研究時，平行主測綫最好佈置補充測綫。

在研究傾斜分界面的情況下，同一波的置換離各爆炸點的距离不同，連續的可追蹤段，隨埋藏深度變化有着改變，因而對不同剖面採用的觀測系統是多變的，並且部分採用了自爆炸點開始接收的觀測系統對灰岩一律進行了兩次研究。這樣作對複雜的地面及地震地質條件不利的地段，保證了可靠的波的對比及借用折射波時距曲綫交點法獲得了有效速度的參考資料。構成相迂時距曲綫系統的爆炸點間隔最大為 880 公尺，採用的檢波點距有 10, 15, 20 公尺三種。在研究凹地中心與邊側高差為幾公尺到十數公尺的微小起伏及寬度不大的凹洼地帶。經驗指出以 10 公尺的檢波點距為佳。

震波的激發與地震地質特征有密切關係，當靠近地面分佈着灰岩的地段，利用 1 公尺的淺坑爆炸，可以獲得良好的記錄。所用炸藥量為 200 克~3 公斤。在石炭二疊紀地層發育地區，灰岩埋藏深時（100 公尺左右），利用淺坑爆炸往往很難得到清晰的折射波，

採用加大炸藥量（10—25公斤）的方法有時也不易獲得較好效果。這主要表現在振幅強烈衰減之同時，高頻的衰減也十分強烈。改用淺井爆炸則效果好一些（使用自制的手搖鑽鑽進，井深一般達5公尺，爆破時注滿水，減少了炸藥消耗量，提高了記錄品質）。為此，工作中由於小區域內的地震地質特點不同，我們採用了坑中及淺井爆炸的聯合工作方式，取得良好的結果。順便指出，因礦區用水困難，考慮到記錄的重複性，大藥量（4~6公斤）爆炸後的淺井不必保留。我們往往是先用50克炸藥進行一次爆炸，使井下形成穴孔狀態，然後把所需要的炸藥量投入井中，並用濕土堵塞井孔，相對的形成一點爆炸能量比注水時大為增加。

礦區內的地震地質特征

地震法實驗研究工作獲得的資料指出，和村、湖田鉛土礦區內的地震地質條件是複雜的。並具有某些共同點。為了更清楚的說明這些特征，茲以實際的地震記錄來說明：

一、礦區的優良地震地質條件地帶，一般地質結構簡單，傾角適中，沒有破碎帶存在。同時低速帶厚度很小，多屬變化不大的地段。這裡利用淺坑爆炸，可以順利的獲得良好的奧陶系灰岩折射波（參看圖10）。其特征是具有清晰的同相軸，沒有干擾現象，可以連續追蹤，因之使得工作方法簡單，很容易的研究出奧陶紀灰岩的起伏形態。

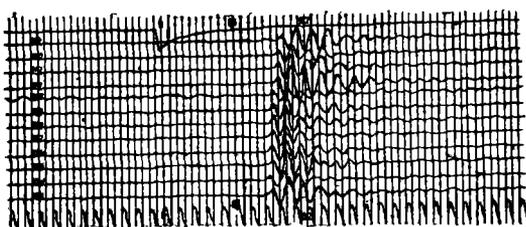


圖 10 在優良地震地質條件下獲得的灰岩初至折射波的記錄。a、b 兩張記錄為不同爆炸點，在 1.5 公尺的淺坑中，用 150 克炸藥激發時，獲得的灰岩折射波初至記錄。爆炸點距最近檢波點的距離為 330 公尺，灰岩埋藏深度 $R \approx 50$ 公尺。

二、石炭二疊紀地層發育地帶，岩層層次頻繁，連續沉積厚度較小，局部地段某些速度極為相等的較薄地層組成的介質（如石炭紀砂頁岩及灰岩層），常形成數個同相軸的折射波。各同相軸間有清晰的過渡及間歇的特征（參看圖11），並可在一定範圍內追蹤。

這種折射波的獲得，使我們有可能較詳細的研究自淺而深的局部地帶的地質結構。

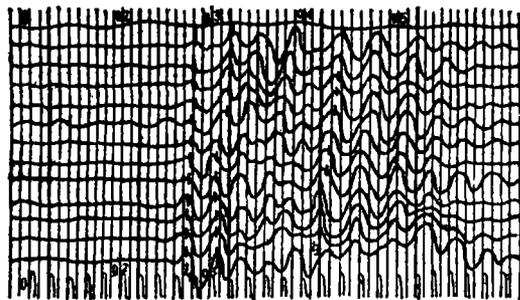


圖 11 記錄上清晰表現出具有平行同相軸的三個折射波 t_1 、 t_2 、 t_3 ，其中 t_2 、 t_3 波能比較強，呈連續震動。該記錄震動是利用 1.5 公尺淺坑激發獲得的，炸藥量為 2.5 公斤，爆炸點至最近檢波點的距離為 770 公尺。

三、礦區內砂頁岩層一般不穩定，常相互穿插或尖滅，因此在測綫上就有一個折射層過渡到另外一個折射層的现象。波的置換標志不清晰，使得同相軸發生畸變（參看圖12），難以找到砂頁岩的標準層，使解釋工作發生困難。

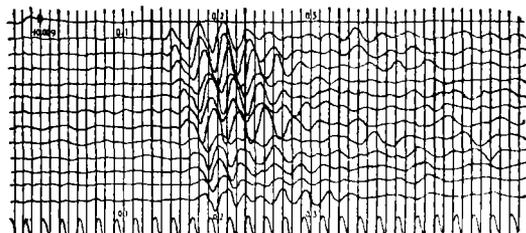


圖 12 由於砂頁岩層不穩定而造成折射波彼此過渡的初至記錄。從記錄上可以看出相位的扭曲現象。

四、複雜的地質結構和破碎帶存在的地區，記錄上常出現多次置換和波的干擾現象，因之使得工作方法變得複雜，必須採取特殊措施以求獲得較多的地質資料。否則解釋中確定這種新地質情況發生的屬性是困難的。

五、礦區局部地段，由於地質剖面上部結構及岩相顯著變化，岩質鬆軟干燥，及基岩傾角改變等特征，在一般激發條件下，震波的能量很難傳播，經常看到灰岩層折射波在短距離內強烈的衰減而不能追蹤，給折射波法帶來巨大的困難。

六、礦區內上部速度剖面較低的剖面中，組成的介質不均勻，厚度存在着變化，因而經常引起平均速度值的變化。改變範圍和村區為 800~1400 公尺/秒，

湖田區為 1450~2700 公尺/秒。如果速度值選擇工作做的不精細時，將會降低剖面圖構組的精確度。

七、厚的石炭紀地層中，具有不同岩石的夾層，而且各個夾層的厚度和地層總厚度比起來是不大的。這些具有不同速度的夾層（砂岩頁岩泥岩及石灰岩薄層等），經常處於互相更替的情況中，使得地震波的傳播速度值產生了各向異性現象。

上述鋁土礦區的地震地質特徵，僅是根據目前已獲得不完善的資料作的初步總結。因此研究的程度是非常不夠的。尤其對於決定鋁土礦區地震地質特徵的複雜的地質因素的研究，有待今後以新的實際資料不斷的進行補充。無疑，目前鋁土礦區不利的某些地震地質特徵，已妨礙了工作順利進行，而且使野外資料進行可靠的地質解釋也變得複雜化。然而對這些特點的認識卻幫助了我們對新地區的地震地質特徵進行推斷，並有可能對方法問題進行預先的考慮。如何採用適應的工作方法，將是提高地震法工作效果的途徑。

新的工作方法尚未作深入分析，但可以指出，目前淺層地震法運用在鋁土礦區在技術上和野外觀測方法上急待解決的有以幾個問題：

(1) 注意利用淺層反射研究淺層（數十公尺~150 公尺）有效速度變化的方法，及佈置專門的低速低研究工作，用以消除剖面上部介質不均勻產生對平

均速度的影響。

(2) 在有利條件下採用反射法和折射波法的聯合應用，以便配合解決某些特殊的地質問題和更完善而準確的研究速度剖面。

(3) 提高地震資料定量解釋方法的精確度，在鋁土礦區對傾斜界面取用變速的構組和各向異性介質情況中的解釋方法有着重要意義。

(4) 對選擇激發條件的研究。

(5) 在野外觀測方法上應注意採取特殊措施發揮新的勘探能力，達到進一步找礦。

(6) 注意解釋動力學特點的應用，和新型波的利用。

(7) 提高地震儀分辨能力的精確度，以及高頻儀器的試驗。

結 語

通過實驗研究工作獲得的一些初步效果表明，對在地質上有類似特點的鋁土礦礦床，利用地震法來查明灰岩為喀斯特地形的凹地，或在有利條件下用制作界面速度圖的方法，來圈定灰岩侵蝕帶及研究沉積岩中各層的相變，以及類似問題的解決是有利於勘探的。尤其是地震法和其他物探方法的綜合利用，以及地震法和勘探鑽井的合理配合，都會加速地質實效的提高。

技術簡訊

銦和某些稀有元素在錫石中的存在狀態

蘇聯科學院礦物學、地球化學和稀有元素結晶化學研究所的 Л. Ф. 波利申科和 Н. В. 李祖諾夫最近研究了銦和某些稀有元素在錫石中的存在狀態。並在該院的“地球化學”雜誌1959年第1期中發表了他們的研究成果。

研究的對象，包括蘇聯52個礦床和國外22個礦床的錫石，作了300個以上的錫石樣品分析。

研究銦和銻的方法，主要採用光譜定量分析法：分析時挑選純淨的錫石，鑑定銦和銻的靈敏度為0.001%（以金屬計算）。鑑定的精確性為±10%。

研究的結果，得出如下的結論：

1. 高含量的銦（可達0.2% SnO_2 ）主要存在於雲英岩型礦床的錫石中。在偉晶岩型和硫化物——錫

石型礦床的錫石內，幾乎不含銦元素。

2. 所有含銦的錫石，都含有銻（可達2-3% Nb_2O_5 ），鎢，鉍和多量的鉍（萬分之幾到千分之幾）。但是，並非所有含銻的錫石都含有銦。錫石中銻的存在，不是銦存在的標誌，偉晶岩型錫石礦床就是這方面的典型例子（錫石中含~2.4% Nb_2O_5 ，而銦通常不存在）。

3. 銦元素進入錫石內時，最可能的方式是銦離子（ Sn^{4+} ）以類質同象替換了錫離子（ Sn^{4+} ）。在這種情況下，可能是銻離子（ Nb^{5+} ）替換錫離子作為電荷的補償（ $2Sn^{4+} \leftarrow Sn^{3+} + Nb^{5+}$ ）。

（黎 彤）