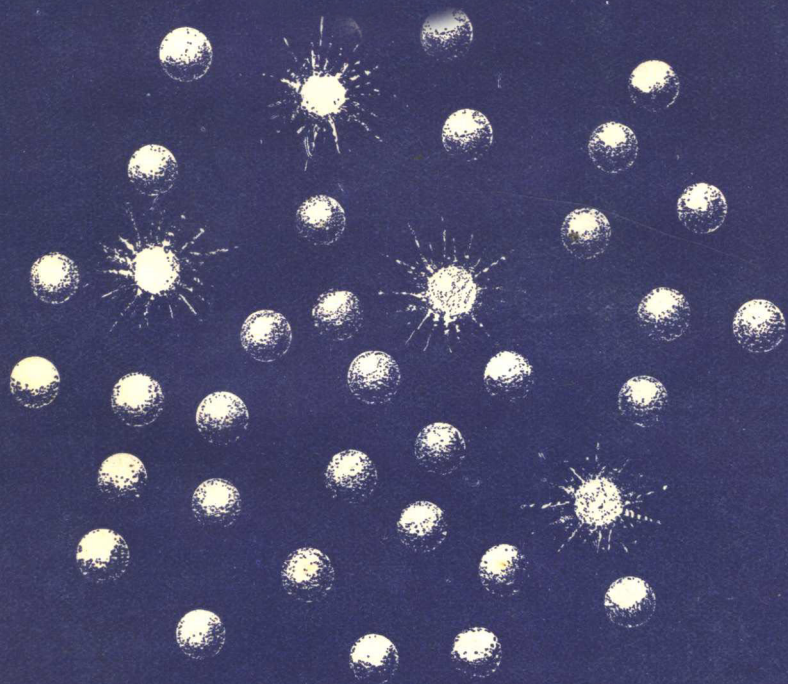


# 放射性同位素 在工業上的應用

(蘇聯)M.B.聶依芒著



中華全國科學技術普及協會出版

# 放射性同位素 在工業上的應用

(蘇聯)M. B. 森依芒著

楊 同 堂譯

(原載「科學通報」一九五五年二月號)

中華全國科學技術普及協會出版

一九五五年·北京

出版編號: 146

**放射性同位素在工業上的應用**

**ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ  
ИЗОТОПОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

原著者: 蘇聯 М. В. НЕЙМАН

原出版者: ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НА-  
УК СССР

譯者: 楊 同 堂

責任編輯: 陳 少 新

出版者: 中華全國科學技術普及協會  
(北京市文津街三號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第053號

發行者: 新 華 書 店

印刷者: 北 京 市 印 刷 一 廠  
(北京市西便門大街乙一號)

開本: 31×43 毫米 印張: 十 字數: 13,200

一九五五年三月第一版 印數: 21,000

一九五五年三月第一次印刷 定價: 1角1分

近年來，在科學研究上和爲了對於生產過程的控制，廣泛地應用着放射性（註一）同位素（註二），這些放射性同位素都是可以大量從生產原子燃料的工廠中獲得的。

現在已經知道的放射性同位素有八百多種。幾乎門捷列夫周期表（註三）中的所有元素都有可以用於科學研究和生產檢驗的放射性同位素。

如所周知，天然放射性同位素和人造放射性同位素，都有它們特有的半衰期（註四），放射的形式和放射的能量。

各種放射性同位素的半衰期的區別很大，從幾十萬萬年到百萬分之幾秒不等。在放射性同位素的衰變（註五）過程中，可以放射出 $\alpha$ 粒子、電子、陽電子（註六）和 $\gamma$ 射綫（註七），放射能則在幾千到幾百萬伏之間變動。

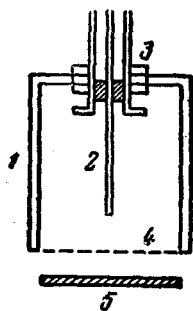
因此，根據應用的條件和目的，總可以選到具有一定的放射能和一定壽命的適當的放射性同位素。

本文後面的表中列舉出了若干最常用的放射性同位素以

及它們的基本特性與獲得的方法。

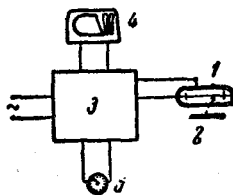
為了發現和記錄放射性同位素，經常採用電離室、計數器（註八）和照相片。電離室的形狀如圖一所示，它的主要部分是導電的外殼和絕緣的電極，在它們之間造成一個電位差，通過電離室的電流強度是由充滿電離室的氣體的電離程度決定的。在一般情況下，電離幾乎不存在，因而電流強度也接近於零。但如果把含有放射性同位素的樣品拿近電離室，那末在放射的影響下，電離室中的氣體就會電離化，因而電離室中開始有電流通過。根據電流的強度可以判斷樣品的放射性的強弱。

計數器用於測量微弱的放射性。計數器的形狀如圖二所示。這個儀器的主要部分是裝有薄鋁壁而兩端為玻璃的計數管。在兩端之間牽一根細的導線，作為正極。在計數管的管



圖一 電離室

1 外殼；2 電極；3 絕緣物；4 薄片；5 被檢驗的樣品。

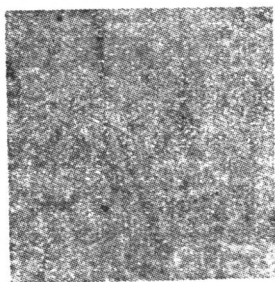


圖二 計數器

1 計數管；2 被檢驗的樣品；3 放大器；4 揚聲器；5 脈衝數機械記錄器。

壁上加上 1,000 伏左右的負電勢。計數管中充滿壓力為 100 毫米左右的、含有少量酒精蒸氣或其他有機質蒸氣的氫氣。假如將含有放射性同位素的樣品拿近計數管，那末每一個穿過薄管壁的  $\beta$  粒子（電子或陽電子）（註九）在計數管內就引起一個瞬時間的電流衝。這個電流經過放大之後，利用揚聲器就很容易聽見，用機械記錄器也可以很容易地記錄下來。這種計數器能用來發現和記錄個別原子的衰變，因而是現代物理學上最精密的儀器之一。有些放射性同位素，即使少到  $10^{-13}$ — $10^{-14}$  克，也可以用計數器來發覺。這就是說，計數管的靈敏度超過天平的靈敏度好幾萬萬倍，超過光譜分析（註十）的靈敏度 1,000 倍。

因為放射性同位素所放射的粒子和射綫對於照相乳膠能起作用，所以用照相紙和照片能够很容易地發現放射性同位素的存在。這個方法從發現放射性的時候起一直到現在都廣泛地應用着。若將照片放到含有放射性同位素的樣品上，經過一定時間的感光後，使這個照片顯影，就在上面發現有些地方變黑，這些變黑的地方就是靠近放射性物質的地方。根據變黑程度的強弱，可以判斷樣品中放射性物質的含量。這個測定放射性物質的方法叫做射綫照相法。在研究合金結構，



圖三 銅錠的射綫照片，在熔煉時曾加入 0.15% 放射性同位素硫  $^{35}\text{S}$ 。

研究摩擦的機構時，以及爲了其他的目的，這方法都得到廣泛的應用。例如，圖三是一張經放大後的鋼錠的射綫相片，在這個鋼錠的熔煉過程中，曾把含有放射性同位素的硫化鐵加入坩堝裏。射綫相片顯示出：硫分配在大量的小晶體裏，這些小晶體是雜亂地分佈在合金裏的。

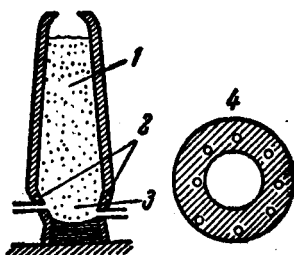
本文準備概括介紹一下放射性同位素在若干工業部門內的應用。

### 冶金工業上的應用

大家知道，熔鐵爐中在接觸熔融的生鐵、爐渣的爐缸和爐腰部分有一層很厚的耐火材料。這個耐火材料層的燒壞過程雖然進行得比較緩慢，但如果耐火材料層上有了窟窿不及時發覺，爐子又不停下來檢修，就會發生嚴重的事故。耐火材料的燒壞情況的檢查，直到最近幾年還是非常困難的事。現在我們已能用鈷的同位素鈷<sup>60</sup> ( $\text{Co}^{60}$ ) 來檢查燒壞的情況。鈷<sup>60</sup>的半衰期是五年多。它的特點是能够放射帶有能量1.3百萬電子伏(註1—)的硬 $\gamma$ 射綫。建築或大修高爐時，我們把若干小塊放射性的鈷<sup>60</sup>砌封在耐火層的不同的深度裏，見圖四。把計數器放在高爐外面正對着砌入鈷<sup>60</sup>的地方，就很容易發覺強烈的 $\gamma$ 射綫，因爲鈷<sup>60</sup>的 $\gamma$ 射綫很容易穿過厚度0.5米左右的磚層。這樣的測量可以在高爐工作期間定期地進行。當耐火磚燒到那樣的程度，即當最靠近耐火層裏面表面的鈷塊溶解到鐵水中的時候，把計數器拿到高爐外面靠近原來有鈷塊的地方就立刻會發現放射性的消失。觀察所有封砌在

更深處的放射性鈷塊的溶解程度，就可以檢查出耐火磚層燒壞的速度，並確定最恰當的時間以停止高爐工作和進行有計劃的修理。

用鈷<sup>60</sup>的有穿透性的 $\gamma$ 射線很容易檢查化鐵爐中鐵水的水平面。爲了達到這個目的，在化鐵爐的一邊放一盒鈷<sup>60</sup>的樣品，而另一邊放計數器。移動裝鈷的



圖四 檢查高爐裏耐火材料燒壞情形

1 爐胸；2 塞入鈷<sup>60</sup>(Co<sup>60</sup>)的地方；3 爐缸；4 爐腰水平切面表示許多鈷<sup>60</sup>小塊砌在耐火層內，它們與表面的距離各不相同。

盒子，根據穿透化鐵爐的 $\gamma$ 射線的強度由於鐵水的吸收而急劇下降的情況，就可以發現鐵水的水平面。

黑色與有色金屬的合金的重要特性之一是晶體點陣中原子的可遷移性，這可用合金的擴散係數來表示。用過去的方法來測定擴散係數有很大的困難，同時也不够準確。原子在單純物質晶體點陣中遷移的自擴散係數，用舊法一般是不能測定的。現在大大推廣了的測定擴散係數與自擴散係數的方法，是以應用放射性指示物爲基礎的。蘇聯科學院物理化學研究所所擬定的方法主要就是：在被研究的金屬或合金的薄片上電鍍一層很薄的放射性同位素。然後把薄片拿到爐裏加熱，並在真空中以一定的溫度、一定的時間進行退火。由於擴散過程的結果，放射性同位素的原子可以滲透到薄片內的一定深度。當然，放射性同位素的濃度是隨着距薄片表面

的深度而有規則地下降的。擴散退火結束後，用電磨光法從薄片表面取下一些薄層，用計數管測定各個不同深度的薄層內放射性同位素的含量，就能算出擴散係數。

另有一個測定擴散係數的方法是鋼鐵研究所擬定的。

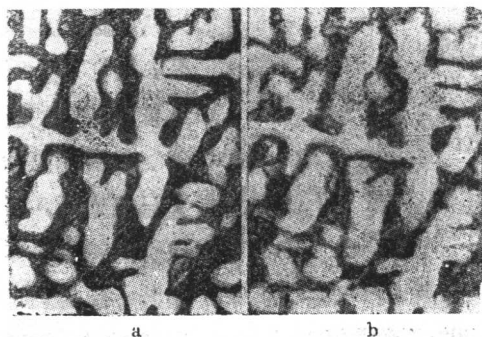
被研究的金屬或合金薄片的一面鍍上一薄層含放射軟  $\beta$  粒子的放射性同位素的金屬。把薄片固定在石英管裏，放到電爐中，用計數器可以測量出薄片上附有放射層的一面（假如是左面）和另一面所放出  $\beta$  粒子的數目。很顯然，計數器從左邊記錄的放射性大於從右邊記錄的，因為放射性同位素向右邊放出的  $\beta$  粒子絕大部被吸收掉了。如果爐子熱到高溫，在薄片上就發生擴散現象，因而放射性原子跑進薄片裏面，這時右邊計數器的讀數逐漸增大，而左邊的則逐漸減小。根據這些材料測得的擴散係數比用舊方法準確得多。

同樣的實驗說明擴散係數跟溫度、成分和製備合金所用的方法有着密切的關係。與疲勞、硬化和回火等現象有關的合金中再結晶過程的快慢，是有賴於擴散係數的。

放射性指示法，或慣常所稱的標記原子法（註十二），已可以有效地在合金構造的研究中應用。在鎳鉻鎢（Ni+Cr+W）合金中放少量鎢的放射性同位素，這種合金的磨片可用普通的方法拍攝照片。進一步又把靈敏的照相片緊貼在合金上，經過極短的感光時間後顯影。拿這樣得到的射綫照相和顯微照相作比較，就能做出結論：鎢位於鎳的結晶間隔之中。用類似的方法研究以鈷為基礎的鎢合金，顯示出在這種情況

下，晶體內也包含有鋇。

不久以前還曾用一個有趣的方法來研究鐵98%硼2%的合金結構。這個方法的基本原理是用中子打擊硼發生 $\text{B}^{10} + \text{中子}^1_0 = \text{鋰}^7_3 + \text{氦}^4_2$  ( $\text{B}^{10} + n^1_0 = \text{Li}^7_3 + \text{He}^4_2$ ) (註十三) 的反應。由於這個核反應就產生了高速度的 $\alpha$ 粒子(氦核)。圖五a是磨光的硼鋼片的顯微照相。



圖五 含鐵98%硼2%的合金磨片。a.顯微相片(放大100倍)，亮的地方是鐵；暗的地方是易熔質加硼化鐵( $\text{Fe}_2\text{B}$ )；b.同一表面的射綫相片(放大100倍)，變黑的地方是由於 $\alpha$ 粒子作用的結果，這 $\alpha$ 粒子是在硼和中子的作用中產生的。

亮的部分是鐵的結晶，暗的部分是化合物硼化鐵( $\text{Fe}_2\text{B}$ )加易熔質(具有最低熔解溫度的合金)。使照相片緊貼在這個薄片的磨光面上，一起放在乾板箱裏，並使它受中

子的打擊。顯影後就得到射綫照相片，見圖五b。射綫照相上由於 $\alpha$ 粒子影響乳膠而變黑的地方，表明着硼在鋼裏的分佈。根據射綫相片和顯微相片的比較，就能做出結論：硼實際上並沒有熔解在鐵的結晶裏，却是全部包含在易熔質和鐵的化合物裏。

## 機器製造工業上的應用

鑄件或鍛件（尤其大型的）在加工以前，最好先用 $X$ 射綫透視法進行檢驗，以確定內部是否存在缺陷。過去由於 $X$ 射綫設備笨重，又由於現代 $X$ 射綫管工作電壓是150—200千伏，不能穿透厚度超過2—3厘米的金屬，所以很難用 $X$ 射綫透視法來檢驗



圖六 鋁鑄件的 $\gamma$ 相片，箭頭指的是砂眼。

大型零件。但是，近年來一系列價格低廉的放射 $\gamma$ 射綫的同位素已能獲得，所以 $\gamma$ 射綫檢視產品的方法得到了廣泛應用，這種

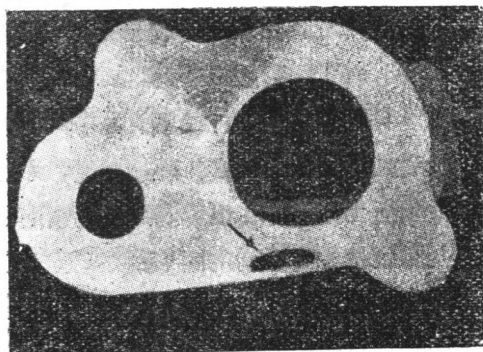
方法叫做 $\gamma$ 照相法。 $\gamma$ 射綫能量為0.085百萬電子伏的鈾的同位素可用來透視檢驗薄的製件。 $\gamma$ 射綫能量為0.6百萬電子伏的鈾的同位素可用來透視檢驗厚度達5厘米的製件。最後， $\gamma$ 射綫能量為1.3百萬電子伏的放射性同位素鈷<sup>60</sup>可用來檢驗厚度達20厘米的產品。

把要檢驗的產品沿一個圓周排列起來，當中放一小塊鈷<sup>60</sup>，每個產品的後面擺一張放在封套裏的 $X$ 射綫底片。感光的时间要根據產品厚度和 $\gamma$ 射綫源的放射強度來決定，經感光後，將 $X$ 射綫底片顯影。根據得到的相片就能夠判斷在

哪些鋼坯裏有砂眼、裂縫或其他毛病，因而可以僅選用那些沒有毛病的鋼坯來進行機械加工。

圖六是用 $\gamma$ 射線透視一個形狀複雜的鋁鑄件時所獲得的相片。箭頭指出透視中發現的一個大砂眼，這是因為模心不夠乾燥而造成的。

圖七是通過這個鑄件缺陷處的斷面的相片。



圖七 通過鋁鑄件缺陷部分的斷面，箭頭指的是用 $\gamma$ 照相法發現的砂眼。

在目前，我們都用 $\gamma$ 照相法檢驗黑色的、有色金屬的鑄件，以及銲縫的質量。

製造船身時用 $\gamma$ 照相法進行檢驗銲接的質量，可以提高工

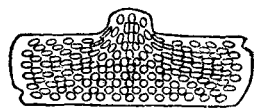
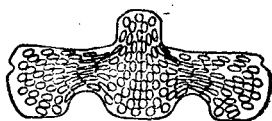
作技術，並大大地減少廢品。

許多金屬製品是用熱軋方法製造的。製品的厚度可通過加大或減低軋軋的壓力來調整。現在可以最合理地藉助於放射性同位素來調整和控制軋製過程。爲了這個目的，軋製鋼板時使用了放射 $\gamma$ 射線的同位素，並且根據軋製板材的厚度，選擇放射適當能量 $\gamma$ 射線的同位素。同位素放在軋製板材的一面，計數器或電離室放在另一面。如果軋製板材的厚度比

標準低，那末電離室的電流就增強。相反地，軋材的厚度增加時，電離室的電流則降低。因此，根據通過電離室的電流大小，很容易檢查軋材的厚度。同時也可以利用電離室來操縱電動機，自動地增大或減小軋輥的壓力，並用這個方法使軋壓的產品保持一樣。

放射性同位素同樣也用來研究金屬冷加工的過程。使用放射性同位素就可以觀察到模壓時的永存變形過程，並可以選擇最合適的模壓機結構。爲了進行這種研究，要在金屬樣品上鑽一些圓柱形的孔。再把一些細圓柱體壓入孔內，它們的表面上塗有一層含放射性同位素的物質。經模壓後，壓進去的細圓柱體的形狀發生變化，這變化很容易由製件斷面的射綫相片看出。圖八是用這個方法得到的圖形。

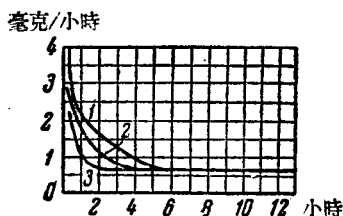
對於切削理論極重要的金屬加工時刀具損壞速度的問題，也能用放射性同位素來研究。爲了這個目的，可把刀具放在鈾反應堆(註十四)內用中子打擊，使它帶放射性，或者用含有放射性同位素的金屬製成刀具。收集用這種刀具切削下來的刨屑，並測定其放射性，就能計算出切削工具的磨損。用這方法可以解決最適於做切削工具的金屬的選擇問題，解決刀具的幾何形狀問題，以及解決切削規程的問



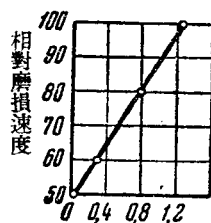
圖八 鋼鍛件截面的放射相片。模壓之前在鋼坯的孔裏插入細圓柱體，細圓柱體表面蓋一層放射性同位素。

題。工具研究所用這個方法已經研究了加工45號鋼時，硬合金（鎢、鈦和鈷的碳化物）刀具磨損與切削速度的關係。發現切削速度由25米/秒增加到100—200米/秒時，刀具的磨損顯著降低，祇有在繼續把切削速度由200米/秒提高到400米/秒時，磨損才開始再增加。用乳濁液使切削表面變冷，能够降低刀具磨損20—30%。

大規模生產機器時，必須進行研究一系列產品中選出的個別樣品的磨損。例如汽車工業和航空工業上就是這樣做的，在這些工業裏，有一定百分比的發動機要受到繁重的和費錢的國家試驗。在做這種試驗以前，發動機先被拆成零件，精密地加以測量。然後再把發動機重新裝配起來，並進行長時期的試驗。這當然要消耗大量燃料和潤滑劑，同時也要花



圖九 活塞環的磨損圖。1、2、3是三個同一類型的發動機的試驗曲綫。



圖十 汽油發動機的磨損速率與燃料中含硫量的關係。

費工作人員的大量時間。如果採用放射性同位素方法，進行磨損試驗工作就可以快得多和便宜得多。先把受檢查的發動機上的活塞環放在鈾反應堆裏，使受到中子打擊。這時在活

塞環裏就形成了鐵的放射性同位素鐵<sup>59</sup> (Fe<sup>59</sup>)。試驗的時候，裝有這樣的活塞環的發動機逐漸磨舊，同時有放射性鐵落到汽缸壁的油層中，並且被油沖洗到滑油盤裏。不時地從滑油盤裏取出油樣，用計數器檢查它的放射性。根據油的放射性，就能很容易地測定每小時磨損的毫克數。這個方法能够可靠地測量出大約  $10^{-7}$  克的磨損。圖九是用這個方法得到的三個同一類型發動機的磨損曲綫。正如在圖九上所看到的，在不長時間的試運轉（2—6 小時）之後，磨損速率達到定值，這個值由發動機的構造、製造活塞環和汽缸壁的材料和燃料與潤滑油的種類所決定。圖十是用各種含硫量不同的汽油進行同樣試驗所得到的結果。從圖上可以看到，燃料中含硫量由 0.05% 增加到 1% 時，發動機的磨損速率幾乎增加一倍。

### 化學工業上的應用

化學工業上常常要測量封閉容器內液面高度。爲了這個目的，也可以使用同位素。把放射  $\gamma$  射綫的同位素放在液面的浮標上，並用裝在容器頂部的計數器記錄  $\gamma$  射綫的強度。很明顯，當液面升高時（浮標接近計數器），經過計數管的平均電流增大，液面降低時（浮標遠離計數器），電流降低。如果把計數器接到專用的電動機上，來開閉液體進入容器時所流過的活門，那末就可以使液面保持於固定高度。尤其是當容器內裝有易燃的或有毒的液體時，上述方法更是重要，因爲工作人員最好不直接接觸到這種液體。

一系列的化學生產上採用粉末接觸劑，這種粉末不停地

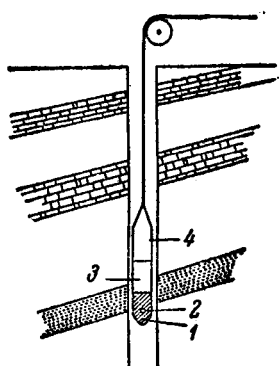
隨着在生產裝置內循環的氣體和蒸氣一起流動。工作時有一部分接觸劑會被帶出。爲控制保留在封閉系統內的接觸劑的量，也可以使用放射 $\gamma$ 射線的放射性同位素。接觸劑可以吸收一部分 $\gamma$ 射線，吸收的量由系統內接觸劑的多少來決定。這樣一來，根據聯接計數器的儀表的度數，就可以在任何時間測定裝置裏接觸劑的多少。

放射性同位素還能用來確定一系列化學工業上用的催化過程（註十五）的機構。例如，近三十年來用氫和一氧化碳經過鐵催化劑來製造成燃料的方法得到了廣泛的流行。人們曾猜想，一氧化碳和鐵催化劑形成碳化鐵，碳化鐵又與氫氣作用而形成碳氫化合物。不久以前做了一個實驗，在實驗中使放射性一氧化碳通過鐵催化劑，結果證明在催化劑表面上的確形成放射性碳化鐵。可是如果再使通常的一氧化碳和氫氣的混合物通過曾經用上述方法處理的催化劑，那末在這個過程中形成的碳氫化合物却幾乎是沒有放射性的。由此可見反應根本不經過碳化鐵，而是以氫和一氧化碳在接觸表面直接相互作用的方式進行的。

使用含有放射性硫的過硫酸銨，可以在聚合苯乙烯時測定聚合物分子鏈的長度。爲了這個目的，祇需要用計數器測量原來過硫酸銨的放射性和組成的聚合物的放射性。因爲在每個聚合物的分子中僅含一個過硫酸銨的分子，利用單位重量的放射性的降低程度，就能夠算出聚合鏈的長度和聚合物的分子量。

## 石油工業上的應用

勘探石油時要鑽井，同時並要研究所遇到的岩石的化學成分。近年來，在蘇聯中子電測法得到很大的推廣，用這個



圖十一 中子電測法簡圖

- 1 鉛護殼； 2 中子源；  
3 電離室； 4 中子計數器。

方法可以獲得有關各地質層礦藏的特徵與性質的寶貴資料。如圖十一表示的，井內放下一個特殊的儀器，儀器下部裝有中子源。中子源的上面放一塊厚鉛板，再上面是電離室和中子計數器。中子由中子源向鄰近的地層發射，其中一部分被吸收，另一部分被反射。反射的中子用中子計數器來記錄，而吸收中子後產生的放射性發射則決定電離室的電流強度。電離室和中子計數器

的電流強度可用地面上的儀器記錄下來。因此就能夠把石灰岩、頁岩、粘土、砂和一些其他礦物彼此區別開來。用這個方法尤其可以清楚地鑑定地層中是否蘊藏着包含很多氫元素的化合物——石油和水，因為這種化合物能很好地使中子散射。可見中子電測法能大力支援石油的勘探工作。

石油及煤氣的管道運輸在蘇聯正急劇地發展着。在許多情形下，有必要在不同的時間輸運各種不同的石油產品，如煤油、汽油等等。爲了這個目的可以祇用一根管子，方法是拿任何能够放射  $\gamma$  射線的同位素的化合物溶解在燃料裏，再