

利用放射性同位素檢查和 研究機器磨損的方法

И. Е. 吉雅琴柯教授等編著
熊 大 遠 譯

П. Е. ЦЫЧЕНКО
МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЬ
ИЗНОСА В МАШИНАХ ПРИ ПОМОЩИ
РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Изд. АН СССР
1954

內 容 提 要

本書前三章簡要地敘述利用放射性同位素法檢查和研究機件磨損的意義、測量放射性的儀器的使用知識以及如何選擇放射性同位素。第四章比較詳細地介紹了幾種使摩擦機件獲得放射性的方法。第五、六兩章敘述利用放射性同位素評定摩擦機件的磨損的各種方法，包括同時測定幾個機件的磨損的方法，列舉了一些實驗結果。第七章敘述操作放射性同位素的實驗室的保安技術和設備。最後一章指出了應用放射性同位素對機器磨損作鬥爭的今後任務。

利用放射性同位素檢查和
研究機器磨損的方法

翻譯者 熊 大 章

出版者 科 學 出 版 社

北京朝陽門大街117號
北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 中 國 科 學 院 印 刷 廠

總經售 新 華 書 店

1956年6月第一版

1959年6月第一次印刷

(京) 4,296—6,295

書号：0439 印張：3 1/8

開本：850×1168 1/32

字數：79,000

定價：(9) 0.46元

目 次

序 言

第一章	放射性同位素法對於研究和檢查機件磨損的意義···	(1)
第二章	測量放射性的設備的使用·····	(6)
第三章	放射性同位素的選擇·····	(11)
第四章	使摩擦機件活性化的方法·····	(16)
1.	用電解法將放射性同位素覆蓋於機件表面·····	(17)
2.	在澆鑄機件時引入放射性同位素·····	(21)
3.	用嵌入法引入放射性同位素·····	(26)
4.	照射法及擴散法·····	(27)
第五章	利用放射性同位素評定摩擦機件的磨損的方法·····	(29)
1.	臨界磨損的自動信號裝置·····	(30)
2.	磨損過程的定性的研究·····	(32)
3.	磨損過程的定量的研究·····	(33)
4.	利用放射性同位素決定機件磨損的實例·····	(40)
5.	磨損強度的自動記錄·····	(53)
第六章	同時測量幾個機件的磨損·····	(57)
第七章	操作放射性同位素時的安全技術和實驗室的裝備···	(69)
1.	實驗室의 裝備·····	(75)
2.	實驗室的工作·····	(81)
第八章	利用放射性同位素對機器磨損作鬥爭的今後任務···	(90)
俄國術語對照表	·····	(92)

第一章

放射性同位素法對於研究和檢查 機件磨損的意義

和機器的磨損作鬥爭是一個重大的國民經濟問題。只要略微減小機器的磨損，就能給國民經濟積累大量的資金。

為了對磨損作鬥爭，必需研究磨損過程的特點，分析磨損曲線——表示摩擦機件的工作時間和磨損速度的關係的曲線。如果知道了機器在不同的工作條件時各個摩擦機件的磨損曲線，就可以有意識地對機件的磨損作鬥爭。

為了研究機件的磨損，主要是採用需要拆卸機器的方法；這時，試件在磨損之前預先秤量或測量，而在經過若干時間的磨損之後、甚至每隔一定時間之後又拆卸機器進行秤量或測量。除秤量及測量（測微）磨損機件之外，還採用壓痕法及表面輪廓投影法來評定磨損。

用壓痕法評定磨損，是在機件磨損之前，用一個四面體的金剛石角錐，將其尖端壓入摩擦機件的表面，得到一個一定形狀的壓痕（壓痕的对角綫是其深度的七倍大）。如果在磨損之前及磨損之後用顯微鏡測量壓痕的对角綫，並且將二者之差除以七，便可得出金屬磨損層的厚度。與此相類似的方法之一是切槽法，切槽法的小槽是用金剛石切刀切成而不是壓成。根據磨損之前及磨損之後小槽長度之差，可以計算出金屬磨損層的厚度。

用表面輪廓投影法評定局部磨損，是藉表面輪廓投影儀所攝得的表面輪廓圖。如果在磨損之前及磨損之後從一摩擦表面的同一個地方攝取兩幅表面輪廓圖並且把一個圖疊置於另一個圖上，則按兩者之差就可以決定金屬的磨損量。圖1表示從磨損的活塞銷攝取到

的表面輪廓圖。陰影面積表示在活塞銷表面上的磨損溝槽的橫断面,垂直方向放大 1000 倍,水平方向放大 5 倍。

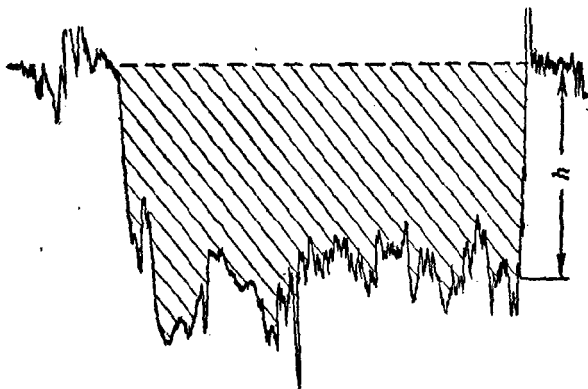


圖 1. 从活塞銷攝取到的表面輪廓圖,其磨損溝槽的深度為 h

圖 2 上列举了三个表面輪廓圖 (a, b, c)。表面輪廓圖 a 是从磨損之前的試驗表面攝取到的。事先在表面上刻了一道伤痕 z , 作为对合在磨損之前及磨損之後攝取到的表面輪廓圖用的方位标。在磨損 h 厚度的金屬層之後,从製件攝取表面輪廓圖 b (及表面輪廓圖 c)。利用伤痕 z , 对合这些表面輪廓圖, 得到磨損層厚度 h 的值。

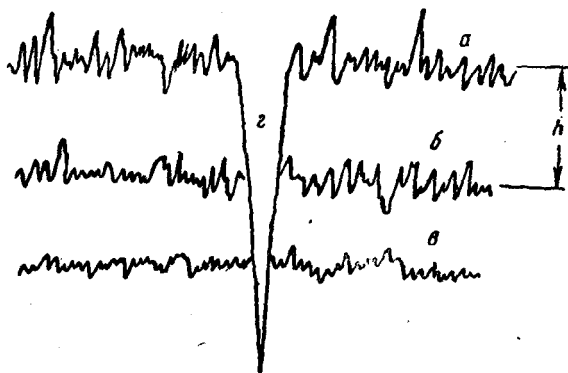


圖 2. 从製品表面及离表面 h 深度攝取到的表面輪廓圖

上述評定磨損的方法，如所曾指出的，只有在停車及拆卸機器時才能採用，這就不免會造成很大的浪費，機器停歇，而且會由於拆卸機器而改變磨損的性質。

能够在機器工作的時候直接檢查某一機件（或同時檢查幾個機件）的磨損過程的方法是更有價值的。這些方法是：決定滑油中的鉄量的方法，金屬絲電阻變形体的方法以及放射性同位素或標記（示踪）原子的方法。

決定滑油中的鉄量的方法已經訂定了標準（ГОСТ 3878-47 及 ГОСТ 1955-45）。磨損產物是以浮懸狀態存在於滑油之中，定期從這樣的滑油中取出樣品，並且用化學的方法決定其中所含的鉄量。如果知道油路中循環的油量，就可以計算出機件金屬的磨損重量。此法的缺點是不能決定各個機件的磨損，因為在用過了的滑油裏面存在着所有摩擦機件的磨損產物。此外，為了決定鉄量而分析這用過了的滑油需要花費很多的時間，所以只有在很長的時間之後才能得出研究的結果。

圖 3 表示利用金屬絲電阻變形体在 MII 摩擦試驗機* 上評定試件的磨損的例子。圖中 1 及 2 是互相摩擦的試件，3 為機座，4 為上架。上架 4 可在鉸鏈 5 上轉動。在機座 3 及上架 4 之間裝設彈性

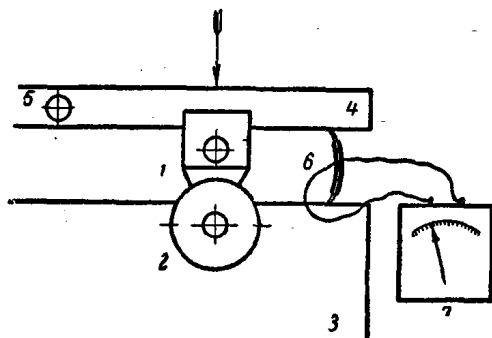


圖 3. 在 MII 摩擦試驗機上利用金屬絲電阻變形体評定磨損

* 見第五章(圖 21)。

板6,其兩側黏有金屬絲电阻變形體。兩电阻變形體與檢流計7相連,按其指針的偏轉測量彈性板6的變形,而後得到試件1及2相互靠近的大小或總的磨損。此法的缺點是应用的可能性很有限,並且不能分別測量每一試件的磨損。

標記原子法是利用一些在其放射性衰變過程裏能夠以 α 及 β 荷電粒子以及 γ 電磁射線的形式而放射出能量的放射性同位素。用蓋革(Geiger)計數管察覺放射性輻射,再把電信號傳送到無線電技術設備並計算脈衝的數量。這樣就能夠利用標記原子來檢查許多過程,其中也包括觀察機件在工作過程裏的磨損。為此,可用某種方法將放射性同位素引入磨損機件之中。在這個機件工作的時候,活性化的磨損產物被滑油帶走,而在滑油的流路中或在油管的近處裝設好了的計數管就記錄下它們的輻射;於是,按照所記錄到的脈衝的數量,可以判斷磨損的大小。

利用標記原子法可以研究內燃機中許多機件(例如活塞、活塞環、氣缸、軸承、曲軸頸)的磨損,泵浦及水力機械的磨損,滾動軸承的磨損,機床設備的磨損,以及切削刀具的磨損等;並且据此就能選擇在不同的摩擦條件下工作時的材料,製訂機器合理的運轉規程,預防事故性的磨損等,於是可以提高機件的耐磨性。標記原子法比之其他研究磨損的方法有許多優點,但是並不排斥它們在不同領域中的应用,而且和它們配合起來就可給設計者及操作者以極為有用的知識。

標記原子法的主要優點是:

1. 評定磨損的靈敏度高,達 10^{-8} 克以上。
2. 不必拆卸機器,在機器運轉過程裏,能同時測量幾個機件的磨損,於是可以查明不同的因素對於磨損的影響。

此法在機械製造實踐中的發展及推廣是提高機器及機床資源的重大而必需的任务。

利用標記原子法,可以為複雜的重型機器、水力透平機等的臨界磨損或事故性磨損的自動信號機構創製各種信號系統。在這種情況

下，在離摩擦機件表面的某一深度處安置有放射性物質。當機件磨損到規定的深度的時候，放射性物質也開始磨損。這時，在被滑油帶走的磨損產物之中出現放射性顆粒（частица）*，而被信號設備覺察出來。

在摩擦過程裏，金屬從一個摩擦表面轉移到另一個摩擦表面上去，這可以利用特殊的計數管及射綫照相術來查明。將放射性物質引導到一個摩擦表面上，而另一個摩擦表面保持為非活性化的。在非活性化表面與活性化表面摩擦之後，把照相膠板或 X 光膠板加在非活性化表面上，就可以覺察到轉移金屬的痕跡。從與活性化表面互相摩擦過後的表面上循序切下一些金屬層，就可以決定在摩擦過程裏一種金屬向另一種金屬的擴散作用。這種作用的決定是用蓋革計數管或照相膠板來進行。

* частица 一字，宏觀時譯為“顆粒”，微觀時譯為“粒子”——譯者。

第 二 章

測量放射性的設備的使用

覺察和測量放射性，主要是利用介質受輻射時所發生的電離作用為基礎的一些方法。記錄 β 及 γ 輻射是利用與特殊的輻射度計量設備相聯的蓋革計數管。

圖 4 表示測量 β 輻射的鋁計數管，圖 5 表示測量 γ 輻射的玻璃計數管。

輻射度計量設備（B 設備）與蓋革計數管相聯，這設備包括幾個



圖 4. 測量 β 輻射的計數管
(β 計數管)



圖 5. 測量 γ 輻射的計數管
(γ 計數管)

部分(圖 6): 1—入口,称为 БГС; 2—重數器,型号 ИС-64; 3—电机計數器(數碼机); 4—高压整流器,型号 BC9-2500。

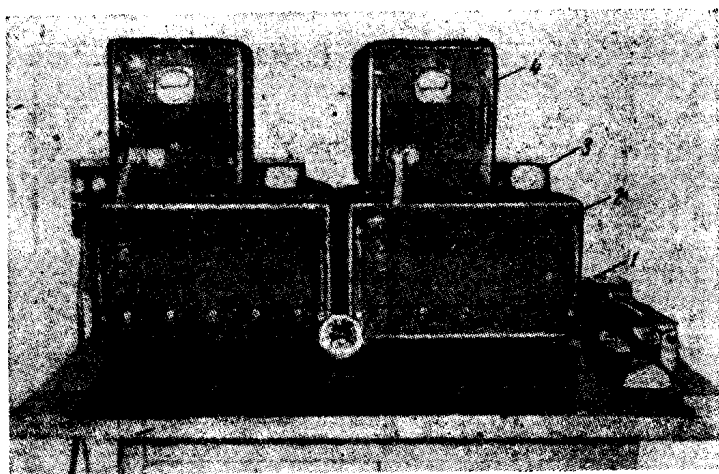


圖 6. 測量脈衝數量的 Б 設備

入口 БГС 是为了初次放大从計數管得來的脈衝用的。为了避免外界干擾的影响,最好使 БГС 与計數管直接接觸,不要用導綫联接。遇到盖革計數管必需与 БГС 远离的時候,最好是用屏蔽同軸電纜联接計數管和 БГС,這時電纜屏必需接地。

重數器 ИС-64 使从計數管來的脈衝獲得最後放大。重數器能够分別計算每隔 50 微秒以下的一个跟一个而來的脈衝。

当一个跟一个的脈衝具有高頻率時,重數器可以接在適當的級上,使進入的脈衝被倍數 4, 16, 64 除。因此,可以記錄頻率達每秒 6400 脈衝的輻射*。

电机計數器(數碼机)是为了讀取从重數器來的脈衝數用的。

高压穩定器(整流器 BC9-2500)是用來產生盖革計數管的電極間所必需的位差的。

操作 Б 設備時,首先要決定盖革計數管的工作特性。为此,將

* 應該指出,实际上記錄的頻率最好不要超过 1000 脈衝/秒。

計數管放在鉛塊上，以便減弱其“底”（背景）（為了防止周圍物体的放射性輻射以及宇宙綫輻射），然後在計數管近旁放置一個小點放射源。再接通高壓整流器及重數器（在重數器上接通單倍重數及計數起點的电門）。嗣後，緩緩旋轉調節电压的手柄，漸漸提高加於計數管上的电压，直到數碼机開始計算脈衝時為止。降低及提高电压若干次，注意數碼机在什麼电压開始計算；所得到的數值称为計數起點。然後再決定計數管的“高”。為此，將計數管上的电压比在計數起點時的加高 25~50 伏，再決定應該在什麼样的重數上工作。

循序接通 4, 16 及 64 倍重數的电門，並變換放射源及計數管之間的距離，務使机械計數器計得的數值不超過 5~8 脈衝/秒。確定所需的重數的倍數之後，把數碼机的字盤安置於零位。然後同時接通計數起點的电門及秒錶的按鈕，並在 5~10 分鐘內計算在已給电压時的脈衝數。所得到的結果乘以重數的倍數，加上由上方氖气灯泡指示出的脈衝數，將所得的總和除以進行計算的時間的分鐘數。这就正是當計數管上為已給电压時所決定出來的每分鐘內的脈衝數。同樣進行計數若干次，每次提高电压 25~50 伏。

起初，當提高計數管上的电压時，數碼机計出較大的單位時間內的脈衝數。然後，來到一個这样的時期，在此時期裏，提高电压在一定範圍內不會改變所計到的脈衝數。這一個範圍称为計數管的“高”。某些計數管常常具有足夠寬（達 150 伏）的“高”。但是也可能遇到沒有“高”的坏管；坏管所計到的脈衝數隨着电压的昇高而不斷地增大。电压提高到超出“高”的限度則引起脈衝數的急剧增大，而計數管迅速損坏。操作計數管時，最好是使电压处在“高”的中央；这样的电压称为工作电压（加給計數管的电压不准超出“高”的限度）。把決定計數管特性的結果繪成圖表，沿橫軸为电压，沿縱軸为每分鐘內的脈衝數。曲綫的水平段落表示“高”（圖 7）。

決定計數管的特性之後，再決定由宇宙綫輻射以及室內可能存在的放射性污染的輻射所構成的“底”。把計數管安置於嗣後進行實驗時它將在該处工作的位置上。然後接通設備，並且和在決定計數

管的特性時一樣，在 10 分鐘內進行脈衝的計數。所得到的“底”的每分鐘脈衝數，嗣後應該從測量磨損產物的活性度時所得的脈衝數中扣除。在計數之前及計數之後都要決定“底”，每一工作日中 1~2 次。

在測量活性度時應該記住，只有一部分輻射能够射中計數管。這與實驗的幾何條件、計數管的構造、計數管

與活性化磨損產物的距離以及有一部分輻射會被計數管壁及油管壁（如果實驗時計數管安置於油管之外）吸收是有關聯的。所以計數管

及油管的幾何位置在實驗期中應該恆定。

當不是在滑油的流路中而是在裝在試管或杯裏的滑油样品中測量磨損產物的放射性時，必須使容器的形狀和尺寸在這實驗的所有測量中都是嚴格相同的。當活性度不高時，若只有一個計數管測量滑油样品，則因計數效率不足，往往不能得出活性化機件磨損過程的明確情景。

在這種情況下，為了提高計數效率，可以採用把裝有放射性介質的容器安放在一組計數管之間而測量活性度的方法，來補救上述把一個計數管放在放射性介質之中或其近旁而測量活性度的方法的缺點。

為此，製造專用的卡盤，以便裝置由三個到六個或更多的計數管（型號 AMM-6）所組成的計數管組。這些計數管互相並聯，按特性選定，沿圓周羅列。計數管組裝置於 БГС 上。把容積為 100 厘米³ 的盛有

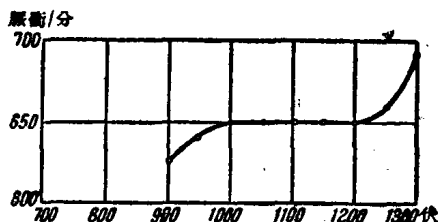


圖 7. 脈衝數與電壓的關係 (β 計數管, 重數 × 4)

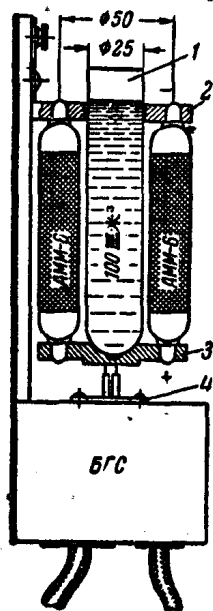


圖 8. 由六個 AMM-6 計數管所組成的計數管組

1—盛有被研究的滑油样品的器皿；2—上卡盤；3—下卡盤；4—絕緣體

活性化滑油樣品的薄壁圓筒狀玻璃試管或具有活性化滑油的油管放置到這些計數管之間的空處。

圖 8 表示由六個型號 AMM-6 計數管所組成的計數管組裝置於 БТС 上的情形。與普通決定樣品的活性度的方法（利用一個計數管）相比，計數效率增大若干倍。因為增加計數管的個數時“底”增大，所以計數管組的效率的增加與計數管的個數的增加不成比例。最好是五或六個計數管為一組。

圖 9 表示單缸發動機的上壓縮活塞環的磨損曲線，滑油的活性度是用計數管組測量的*（所得到的磨損曲線比用一個計數管測量時的更明確些）。

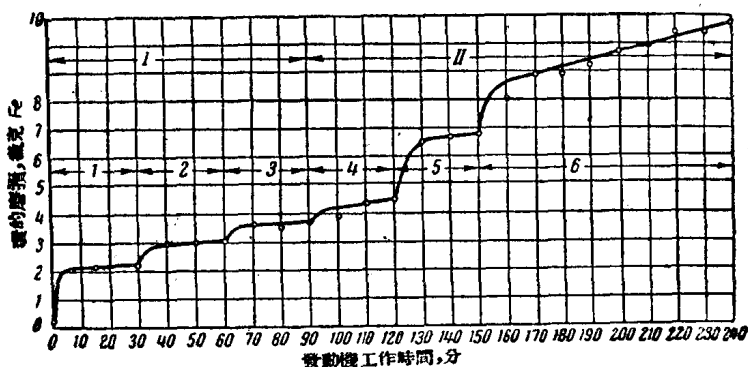


圖 9. 單缸發動機的上活塞環的時間-磨損曲線

I—空運轉；II—加荷運轉；1— $n=1000$ 轉/分；2— $n=1500$ 轉/分；3— $n=2000$ 轉/分；4— $N=0.8$ 馬力， $n=1500$ 轉/分；5— $N=2.0$ 馬力， $n=2000$ 轉/分；6— $N=3.0$ 馬力， $n=2000$ 轉/分

在個別情況下，測量用濾紙濾過後的滑油的沉澱物的活性度。如果把帶有放射性金屬顆粒的乾燥濾紙放入薄透寫紙的封套裏，再用這封套包着計數管，或者用端面計數管來測量活性度，將使測量得到最好的幾何條件。

* 在 ВНИИТ 石油做的實驗。

第三章

放射性同位素的选择

評定机器的磨損是採用人造的放射性同位素。因为有很多种放射性同位素，所以在解决面臨的某一課題時可以选用最合適的同位素。

現在，已知的人造放射性同位素有上千种之多。与天然的同位素不同，人造的放射性同位素幾乎包括所有週期表中的元素。用來研究磨損的人造放射性同位素只放射出 β 及 γ 射綫。最常用的幾种同位素的數據列举在表1中，表中指明：半衰期的長短， β 及 γ 射綫的輻射能量及輻射特性。半衰期的長短用天及年表示，而輻射能量用兆电子伏(MeV)表示。

选择同位素時，應該注意下列事項：

1. 放射性同位素的化学性質。这些化学性質決定着把它們引入被研究的摩擦机件中去的可能性及方法。在許多情況下，务使引入的同位素与摩擦机件的組成元素之一的化学性質沒有區別（最好是採用这些組成元素之一的同位素），均匀地分佈到离表面足够深的部位，並且不与摩擦偶件的金屬形成不良的化合物。

2. 半衰期 T 是一个重要的特性，它表示在什麼時間之內輻射的量減少一半。最好是使用半衰期不小於10天的同位素，因为利用寿命短的同位素在長的實驗中需要作衰变修正。当同位素的供应組織得很好時，使用半衰期小於1天的放射性金屬是合理的（为了減少安全技术設施）。下列放射性衰变的指數定律在任何時候都可以計算出當時所有的放射性原子的數目：

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

式中 N ——剩餘原子數;

N_0 ——起始原子數;

λ ——衰變常數, 等於 $\frac{0.693}{T}$;

t ——從衰變開始起所經過的時間。

表 1

元 素	半衰期, T	能量, 兆电子伏		附 註
		β 輻射	γ 輻射	
Be ¹⁰	2.5·10 ⁶ 年	0.56	無	適於作成备用合金*的形式來应用
Na ²²	2.6 年	0.57	1.28	
P ³²	14.3 天	1.71	無	
S ³⁵	88 天	0.17	—	
Ca ⁴⁵	152 天	0.22	無	
Ti ⁵¹	72 天	0.45	1.0	計數管記錄全部輻射的 3 % **
V ⁴⁸	16 天	0.72	0.98	
Cr ⁵¹	26.5 天	無	0.32	
Mn ⁵²	5.8 天	0.58	1.46	
Mn ⁵⁴	310 天	—	0.83	
Co ⁶⁰	5.3 年	0.31	1.33	
Zn ⁶⁵	250 天	0.32	1.12	
As ⁷⁴	17.5 天	1.25	0.58	
Zr ⁹⁵	65 天	1.0	0.23	
Nb ⁹⁵	37 天	0.15	0.92	
Rh ¹⁰²	210 天	1.13	—	
Ag ¹¹⁰	270 天	2.79	1.52	
Cd ¹¹⁵	43 天	1.67	0.5	
In ¹¹⁴	49 天	1.89	0.19	
Sn ¹²³	130 天	1.5	0.39	
Sb ¹²⁴	60 天	2.37	2.06	
W ¹⁸⁶	73.2 天	0.43	無	

* ЛЕГАТУРА 譯為“备用合金”，СПЛАВ 譯為“合金”，以資區別——譯者。

** 这附註, 原書是在 V⁴⁸ 項下, 疑其应在 Cr⁵¹ 項下, 所以把它更正过来了; 請參閱第 19 頁倒數第 13 行及第 61 頁的脚註——譯者。

3. 在選擇同位素時，輻射的型式及能量具有重要的意義。如果同位素放出 β 輻射則須考慮管道壁中的吸收，若 β 射綫被其吸收則需選擇具有足夠能量的 γ 輻射體。譬如，同位素硫 S^{32} 的半衰期為 88 天，放出能量為 0.169 兆電子伏的 β 輻射。這輻射將全部被油管壁吸收（如果計數管放置於油管外*）；所以，在這情況下，同位素硫不適於研究磨損。

計算 β 輻射體所必需的能量，可以利用下列公式：

$$d\delta = 0.54E - 0.16,$$

式中 δ ——吸收體的厚度，厘米；

d ——吸收體材料的密度；

E ——輻射體的能量，兆電子伏。

假設我們研究生銹或青銅的磨損，使用放射性磷 P^{32} ，其最大 β 輻射能量為 1.7 兆電子伏。需要查明，磷的 β 輻射是否能被厚度為 0.25 毫米的銅層（油管厚度）以及厚度為 1 毫米的玻璃層（計數管壁厚度）阻隔住？利用上述公式（取玻璃的密度 $d=2.5$ 克/厘米³ 及銅的密度 $d=8.9$ 克/厘米³），我們得到，能量大於 1.2 兆電子伏的电子能夠射在計數管上。所以，放射性磷可以用來記錄磨損產物。記錄 β 射綫是用鋁製的壁厚為 0.15 毫米的計數器 B-2。

對於能夠放出易穿透性 γ 輻射的同位素來說，管道壁中的吸收不太要緊，但是應該用實驗法決定並予以考慮。

因為許多同位素具有混合的（ β 及 γ ）輻射，所以應該偏重具有軟（ β ）輻射的同位素，它可以容易地被薄濾過吸收器吸收。

在解決了選擇放射性同位素的問題之後，應該解決選擇引入研究對象中的放射性物質的量的問題。

放射性物質的量應該根據對於許多因素的仔細分析的結果來加以選定，這些因素是：決定磨損產物的份量的因素、決定放射性制劑在引入或覆蓋於摩擦表面的過程裏的耗損的因素、決定輻射通過物體時的吸收耗損的因素以及決定計數設備所記錄下來的輻射分量的因素，這是由實驗的幾何條件決定的。總之，實驗人員應該從這樣的

* 原書是“放置於油管內”——譯者。

一个脈衝數出發，这个脈衝數是从預先假定好的在一定時間內所形成的磨損產物的最小份量所應該記錄到的。

如果在放置計數管於滑油流路中的實驗時間內，由計數管所記錄到的磨損產物的最小剂量的輻射强度至少超过宇宙射綫的“底”一倍，並且沒有發生意外情況的話，那末實驗的結果可以認為是可靠的。然而在选定放射性物質的量時，也不准用得太多，因为放射性物質的濃度太大就使實驗人員要花費許多心机並採取措施來对待保安問題，这就会使實驗大为複雜化。

活性度的計算按下述方式進行：用 N 表示已知的輻射强度，小於此輻射强度時計數設備便不能指示出來；用 M 表示藉某种方法覆盖的參加磨損过程的活性化層的質量；用 m 表示在一定時間內形成的磨損產物的質量。

再假設磨損產物均勻分佈於循环在油路系統中的滑油總体積 V 中，又滑油總体積中有一小部分作用在計數器上，这部分滑油的体積為 v 。用下列公式決定起始的活性度 X ：

$$X = \frac{NMV}{60vm\varepsilon\omega p_{\gamma,\beta}a},$$

式中 $a = 3.7 \times 10^7$ ，是活性度為 1 毫居里 (mC) 的放射性物質每秒的衰變數， X 被計算成其分數；

ε ——計數管的有效係數；

ω ——計數管的体形角(立体角)；

$p_{\gamma,\beta}$ —— γ 輻射衰變的量子數及 β 粒子數 (p_{β} 的值常等於 1)。

為举例起見，觀察一个具有抗磨金屬的活性化層的厚度為 0.1 毫米、直徑 60 毫米、長 40 毫米的軸承的磨損。活性化層的体積為 0.75 厘米³。設該金屬的比重為 8，則活性化層的重量等於 6 克。設已給活性度 $N = 100$ 脈衝/分；實驗中覺察的最小磨損為 0.001 克；滑油的總体積為 10 升，而受計數管記錄的滑油体積為 0.1 升； $\varepsilon = 0.003$ ； $\omega = 0.165$ ； $p_{\gamma} = 0.2$ 。把這些數值代入公式中，得：

$$X = \frac{100 \times 6 \times 10}{0.1 \times 0.001 \times 0.003 \times 0.165 \times 0.2 \times 3.7 \times 10^7 \times 60} = 272 \text{ 毫居里。}$$