

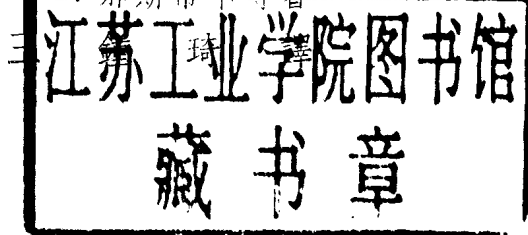
土力学中应用放射性同位素论文集

〔美国〕H. E. 郝斯蒂卡等著

科学技术出版社

土力学中应用放射性同位素 论文集

〔美國〕H. B. 郝斯蒂卡等著



科学技术出版社

內 容 提 要

本書由美國材料試驗學會 D-18 土工委員會在 1952 年春季集會時提出的三篇論文所組成。第一篇闡述土力學試驗中利用放射性同位素的原理；其餘兩篇介紹利用放射性同位素測定土的濕度及密度的試驗方法與儀器設計問題，以及在各種不定因素的影響下所得到的結果和經驗。這三篇論文構成一個連貫的系統，從而使讀者能夠明確地掌握這個土力學試驗中的新技術。

為使不具備原子核物理基礎的讀者便於閱讀起見，譯者附加了某些注解，以供參考。

本書可供土力學實驗研究人員、土工試驗工作者、專業學校師生參考學習之用。

土力學中應用放射性同位素論文集 SYMPOSIUM ON THE USE OF RADIOISOTOPES IN SOIL MECHANICS

原 著 者 [美國] H. E. Hosticka 等

原出版者 美國材料試驗學會, 1952 年版

譯 者 王 鍾 琦

*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 號

上海啓智印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號: 13119 · 123

開本 850×1168 1/32 • 印張 1 1/2 • 字數 30,000

1958 年 3 月第 1 版

1958 年 3 月第 1 次印刷 • 印數 1-1,200

定價: (11) 0.36 元

目 錄

应用于土力学問題上的放射性同位素及核反应	
郝斯蒂卡	1
利用放射性材料測定土的湿度及密度	
貝尔車, 赫納, 庫肯德尔, 塞克	10
用核輻射測定土的湿度及密度	
雷恩, 杜尔琴斯基, 斯平克斯	27
譯注	39

应用于土力学問題上的放射性 同位素及核反应⁽¹⁾

郝 斯 蒂 卡

几乎不需要向土工工程师們強調，土力学中尚存在一些問題，其中有不少是对新技術与新方法的适当评价的問題。原子核物理学已經在土力学的領域內建立了一个灘头堡，目前即將在該領域內擴展它的应用范围。那末我們應該怎样去接受它呢？对此疑問的回答是“視其对每个特殊問題的功效而定”。本文的目的就是介紹一些原子核物理学技術在解决某些土力学問題中的功效。

为便于討論起見，原子核物理学在土工問題上的应用可分为两大类：示踪原子方法及借輻射和物質的相互反应而進行測定的方法。这些方法既不是新的，也不是僅限于应用在放射性材料方面的。鉛的放射性同位素早在1920年即被赫維塞(Hevesy)用于測定鉛原子在硝酸鉛与氯化鉛溶液中的交換率，而且甚至在此以前，这种螢光染色剂已被用于探索水的运动；如果想要追溯到古代去，則在牧牛身上系一个鉛使有助于确定它在森林中位置的实例即可引証为一种示踪方法。同样，就物質与輻射的相互作用而論，在1895年倫琴就利用了X射綫作出攝影圖片，顯示出骨与肉之間密度的差異。在此以前，某些化学藥品在溶液中吸收光綫的作用，常被用來測量它們的濃度。实則早在1873年，关于溶液对光(可見的电磁輻射)的吸收作用的定律，即被充分地理解到可以根据这个效驗建立定量分析的方法。

現在新的進展是：能以便宜价格大量獲得各种各样的放射性材料，能在市場上容易地選購到各种探測放射性能的仪器，以及廣

泛地傳揚着有关其功用的确切报导。

这些有利形势,是在大型的核反应过程在战时的發展及原子能委员会为發展和平利用其產品所做的不断努力的基礎上得到發展的。

示踪原子方法即用某种方法將一种标记附着于一个試驗系統的某一部分,以使此部分甚至在該系統發生混雜或重新排列之后,也能被單獨鑒別出來。如果所謂一个理想的示踪物質是指一种与被示踪的材料的全部化学性質及物理性質完全相同,并且不用从試驗系統中將其分析出來即可單獨地予以鑒別及測量的材料而言,則一些元素的某些同位素就接近于作为那些元素的示踪物質的理想了。当認識到一个元素的放射性同位素与同一元素的穩定同位素⁽²⁾在物理化学性質上極近相同时,則可利用其輻射作用將該放射性同位素單獨地鑒別出來,而这种輻射可以穿透很厚的材料,以及在很多情況下極少量的放射性材料即可被探測出來,因而此种方法的效力很為顯著。

放射性同位素是以半衰期——即在任一时期的开始时,所有原子数量的一半自然地發生蛻变⁽³⁾所經歷的時間——及所發射的射綫种类与能量來表征的。最普遍应用的人造放射性同位素的射綫,是單純以高速电子流形成的 β 粒子⁽⁴⁾,或与 X 射綫相似的电磁輻射波形成的 γ 射綫⁽⁵⁾。天然放射性的重元素都是两次电离⁽⁶⁾的氦原子所組成的 α 射綫的放射源。

为進行示踪原子試驗而选择放射性同位素时,首先考慮的是元素在試驗系統中的適合性。这往往僅是如何得到一个適合于被示踪元素的同位素的問題。所以,如要求确定鈣在某一反应中的徑迹,則半衰期为 180 天的鈣 45 即是一个合理的选择对象。然而,如被示踪的元素是鈉,則在半衰期为 2.6 年的鈉 22 及半衰期为 14.9 小时的鈉 24 之間進行选择。鈉 24 价格很便宜,如果試驗能在数日內結束,則可选用它;然而,如果試驗需时数周、数月甚或

数年,則价值很高的鈉 22 將成为唯一的选择对象。在一个外來的元素換入一試驗系統中作为該系統內某些天然成分的示踪物質之前,必須謹慎从事。

目前可从原子能委员会獲得下列在土質調查方面有用的同位素:鈣 45、碳 14、氫 36、鈷 60、鉻 51、銅 64、氫 3、碘 131、鉄 55 及 56、錳 54、磷 32、鉀 42、硒 75、鈉 22 及 24、硫 35 等。这些放射性同位素中有很多可从麻塞諸塞州波士頓示踪原子实验公司或其他厂商出產的各种化合物中獲得。

很遺憾,对土力学关系最大的某些元素尚無適當的放射性同位素,例如:鋁、矽、氧、氮及鎂。氫的放射性同位素是同位素中独特的一个,因为,質量数为 3 的放射性同位素氚⁽⁷⁾的原子量与質量数为 1 的氫的穩定同位素原子量之比已大到足以在普通的穩定同位素与放射性同位素之間的物理性質及化学反应率上產生極為顯著的差異。当用到它时,必須將此种情况考慮在內。

为說明示踪原子方法如何用于解决土力学中用其他方法难以解决的問題,可研究在电法穩定試驗中測定从土內一个易消耗的鉄正电極而來的鉄的擴散率及擴散範圍問題。我們假設原來的土中含有非匀布的鉄离子。此正电極可以通过数种方法之一使其含有放射性鉄,一种方法是將正电極送至欧克雷奇(Oak Ridge)或布鲁克海温(Brookhaven)⁽⁸⁾使其在核反应堆中受中子⁽⁹⁾的輻照。某些鉄原子即將俘獲中子,从而变为具有放射性⁽¹⁰⁾。另外一些方法,像从溶液中使鉄的放射性同位素鍍在正电極的表面上,或可將放射性鉄加于鑄造此电極用的鉄熔液中,而熔液的高温絕不会影响鉄的放射性。

自正电極放射源到达土中任一点的放射性鉄,可用取土样及計数法⁽¹¹⁾測得,或切成土的剖面,并在貼近于切开的土表面处放置一照相膠片借曝光以測定之。膠片在某一定点处的暗影,即系該点附近放射性鉄的測定量。示踪原子方法的其他应用可參閱土

的稳定研究、离子交换现象及溶滤现象的研究等文献。

1952年1月的“土壤科学”杂志中,有三篇论文阐述放射性钙在帮助解决有关钙质土壤问题中的功用。其中一个已经有效地获得解决的问题是测定植物从氢氧化钙、碳酸钙及石膏中对钙的相对吸收量。

放射性同位素的另一应用是用同位素的稀释法⁽¹²⁾进行某一元素的定量分析。这种方法虽然不能说是一种完全的示踪原子方法,但在土试验中却有用处。例如,如欲找到测定土中锰的含量的快速方法,尽管做锰的定量的分离是困难的,但是既经知道如何从土中将锰做定性的分离后,即可使用下述的方法:在已测定数量的土中加入一定数量的放射性锰,这些锰与土中锰的化学型式相同。于是可以着重地根据已还原的锰化合物的纯度如何,得出混合物中锰的定性分离,而不必拘泥于锰化合物是否完全得到还原这一点上。于是测定还原的锰的放射性,并将其与原来加入的锰的放射性进行比较。举例来说,如果加入的放射性锰的53%已经还原,那末如在测定中能给予应有的注意,就可有把握地设想到已还原的锰的重量构成了原来试样中锰的53%。

具有离子交换性能 of 土,如通过简单的手续,按照最能与其相适合的情况,将放射性钠、钾或钙代换其可交换的离子的一部分,即能很容易地将该土的组成物标示出来。此种特性可能有利,也可能不利,要看所欲完成的何种工作而定。例如,假使有可能利用像钠这种离子来标记水通过土的运动时,则土的此种性质将使其难以进行;另一方面,此种离子交换现象可用以帮助从水中消除某些放射性沾染物。并且在标记物质不能通过离子交换而转移的场合中,也可用以帮助标记土的某些组成物。

因此,有可能在再塑土中利用已标记的粘土矿物颗粒的分散,以测定在三轴剪力试验中土颗粒的运动。粘土矿物颗粒可通过用放射性离子代换一部分可交换的粘土矿物离子的方法进行标记。

于是將此标记过的粘土礦物与用于塑成圆柱形試样的土均匀地混合起来。在一组均匀土样的三轴剪力試驗的各个不同阶段，中断試驗并制备土样的剖面，將它曝露于照相膠片下，則标记顆粒的分布情况即可測出。

現在討論第二类方法，即借射綫与物質的相互反应而進行測定的方法。这里不談放射性同位素用作标记原子的問題，僅論及它用作射綫的能源和这些射綫对土有怎样的反应，以及这些現象怎样被利用等問題。

核輻射可分为三种——帶电粒子、中性粒子及电磁輻射。属于帶电粒子一类的是帶有負电荷的 β 粒子，它具有相当于氫原子量的 $\frac{1}{1850}$ 的質量，并有一个單位負电荷。这些 β 粒子就是高速运动的电子流。質子僅單純是質量为1且有一个單位正电荷的氫原子核而已。 α 粒子即系質量为4且有两个單位正电荷的氦原子核。还有一个具有与电子相同的質量但帶有一單位正电荷的正电子⁽¹³⁾。此种粒子由于僅能存在一个極短暫的时间，因而特別具有意义。在中子缺乏的同位素像鈉22的放射性蜕变中，正电子即被放出，但是它很快就被一个电子所俘獲，并且此两个粒子的質量即被消滅，轉而產生两个各为0.51百万电子伏特⁽¹⁴⁾的 γ 射綫。

属于中性粒子一类的是中子。它具有与質子極近相同的質量，但無电荷。中子与質子一般統称为核子，它們共同構成細小致密的原子核。当中子从核中分裂出來时具有放射性，并且以大約13分鐘的半衰期蜕变为一个質子及一个电子⁽¹⁵⁾。

电磁輻射即为 γ 射綫及 X 射綫。实际上，两者属于同一性質，皆为波長極短的光的射綫。然而，通常慣于將在原子核中發生的电磁輻射認做 γ 射綫，而將在圍繞着核的电子云中發生的电磁輻射認做 X 射綫。

此处所列举的尚不完全，还有其他帶电粒子及中性粒子，如介

子⁽¹⁶⁾及中微子⁽¹⁷⁾。但它们在土力学问题上的应用尚不显著。

带电粒子在物质中的射程特别短。像铀之类的天然放射性元素放出的 α 粒子仅能穿透几厘米，而它们在土中的射程在能量最大的情况下也不超过 1 毫米。电子在土中的射程决定于电子的能量及土的组成，但在一般能量下总是数毫米而已。质子的射程介乎电子与 α 粒子的射程之间。中子在土中有较长的射程，但其射程对土中存在的某些元素很敏感。这主要是由于中子与像氦核这样的轻元素的原子核或质子相碰撞，因而速度降低，且亦可能被元素的原子核所俘获⁽¹⁸⁾。

不同的元素，甚或是同一元素的各种同位素，在其俘获中子的能力上相差悬殊。俘获的几率以俘获断面表示，而此俘获断面是以叫做“靶”的单位来衡量的。一个靶是 10^{-24} 平方厘米。例如硼 10 对慢中子⁽¹⁹⁾有 3800 靶的俘获断面，而硼 11 对慢中子的俘获断面则小于 0.05 靶。天然生成的硼是 81.2% 的硼 11 及 18.8% 的硼 10 的混合物，它有一个平均俘获断面为 715 靶。所以很显然，一种含有水而百分比很高且包含有硼盐的土混合物，对中子是一个很好的屏蔽。水中的质子会使中子速度减落，因而会使中子为硼所俘获。

当一个中子被一个原子核俘获时，即可产生一个具有可测定半衰期的同位素⁽²⁰⁾。所以中子可在其所穿透的材料中引起放射现象，而实际上此种过程可用来探测具有很大的俘获断面的某种元素的存在，且即形成一个半衰期稍短的放射性同位素。

现在讨论高能电磁辐射与土的反应： γ 射线或 X 射线依照它们的能量大小与物质产生反应。在较低的能量范围内，此反应主要为光电效应⁽²¹⁾。这就是 γ 射线全部能量被转变为一个电子并使它在原子中转移到较高的能量水平，或将它从原子中全部逐出的过程。由于任何束缚电子仅能容纳以能量表示的适当大小的量子⁽²²⁾，故此过程的效率将取决于 γ 射线的能量及原子序数两方

面。所以土对低能 γ 射线的吸收作用将显然取决于土的成分。当 γ 射线的能量增加时,此能量乃相当于转移极重的元素中最内层的电子所需的能量。 γ 射线的能量约为 1 百万电子伏特时,此过程的吸收作用已微不足道,而康普敦散射⁽²³⁾过程即起主要作用。在此散射中, γ 射线在与电子做弹性碰撞时仅损失它的一部分能量。这个过程主要决定于单位体积内电子的数量,所以在大部分由较轻元素组成的土中,散射作用几乎与其化学成分无关,而主要受密度的影响。

使用能量大于 1.02 百万电子伏特的 γ 射线,即可使电子偶的产生过程⁽²⁴⁾成为可能,并且当能量增加,则反应的几率亦增大。电子偶的产生是前述用一个负电子消灭一个正电子的逆过程⁽²⁵⁾。在电子偶的产生中,原子核附近的 γ 射线能够自然地将其能量变为质量,并且产生一个正电子及一个负电子。当然,此种过程如果成为可能,则 γ 射线的能量必须较两个电子的等效质量,即 1.02 百万电子伏特为大。

隔御 γ 射线的问题,就是一个能量范围的问题。在散射及减退高能 γ 射线的能量方面,依重量而论,土与重元素几乎同样有效。然而,对于减退的或低能的 γ 射线,依重量而论,土并不如重元素像铅那样有效。但是在体积并不像射线防避室那样成为一个重要因素的地方,使用土还是有利的。

作为一个总结,可以说紧密地压实过的土用作 γ 射线的屏蔽时,约有厚度相等的混凝土的 $\frac{2}{3}$ 效力;而仅有铅的 $\frac{1}{10}$ 效力。

显而易见,核辐射与土的相互作用也可用来测定土的性质。因为中子在土内的减速主要是借其与氢核的碰撞而完成的,并且由于土中氢原子的来源主要是水,所以用测量土对中子的减速作用来测定土的湿度是很合理的;还因为土对 γ 射线所起的康普敦散射效应主要是土的密度的函数,所以也可利用此方法测定密度。

为用此法测定土的湿度及密度而进行的仪器设计,在很大程

度上是一个要对这些基本现象有足够的理解、要使仪器与测定方法对所欲测定的性质具有最大的敏感度,以及尽可能抑止干扰现象影响的问题。

此种仪器及方法的发展是后面几篇论文的主题。这篇导言就以叙述一些我们在垦殖局在此问题上所做的工作作为结束。

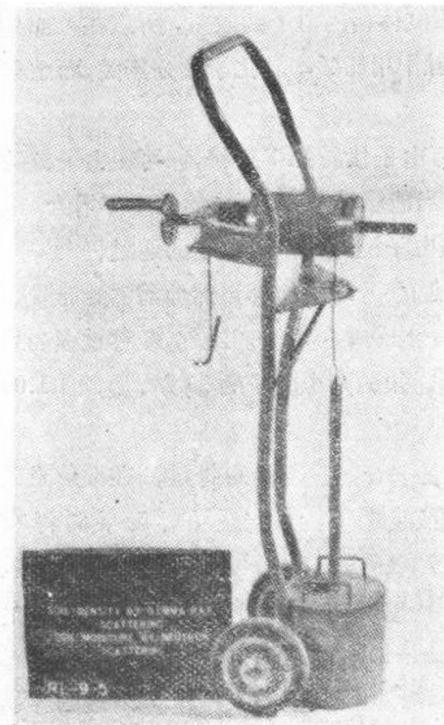


圖 1. 借 γ 射線的散射測定在 60 呎深度內土的密度用的簡化儀器

曾經製造了一個簡化的而實質上不是電子作用的儀器來測定 60 呎深度範圍內土的密度,主要作為地基勘探之用。 γ 射線源是鈷 60, 而探測器是一個自動記錄袖珍式的劑量計⁽²⁶⁾。兩者連結在一個簡單的試探器內,試探器又安在一個小雙輪車上的鉛質防護體上(圖 1)。操作時,此車對準測孔的中心(圖 2a),取劑量計的讀數(圖 2b),同時通過一個已校準的絞盤上的繩索,將試探器沉入測孔之中。此絞盤是附設於車上的(圖 2c)。過了一個預定的時

間之後,將試探器提回到地面上並記取劑量計的讀數。此讀數隨時間的變化與土的密度有關。到現在為止,我們已能獲得讀數由 2 到 1 相應於土的密度由 82 磅/立方呎到 119 磅/立方呎的比例。由於此差數可以讀到百分之一,這說明了我們可以查覺約在 0.5 磅/立方呎範圍內土的密度變化。我們覺得這個基本方法是有功

效的。

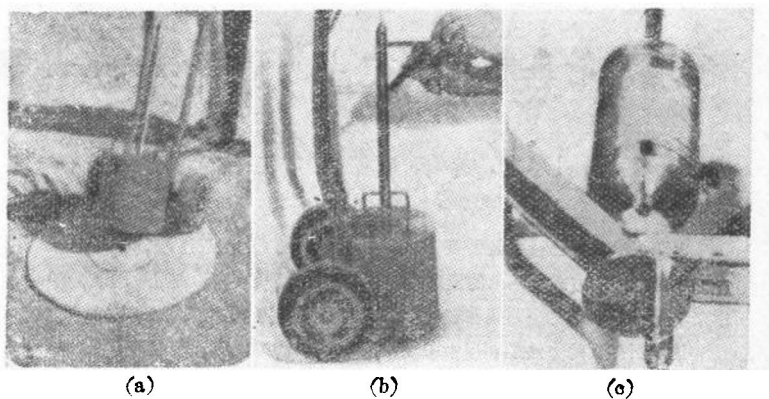


圖 2. 測定密度的儀器在土表面以下的操作步驟

- (a) 將儀器對准在擬測密度的孔上。
- (b) 將自動記錄的測量計放入試探器內。
- (c) 裝有刻度盤的絞盤，用以測定試探器的深度。校正值以呎及十分之一呎計。

利用放射性材料測定土的湿度及密度

貝爾車，赫納，庫肯德爾，塞克

土工工程師早已感覺到需要一些簡便的儀器在現場上以迅速、可靠又有可能連續操作的方式測定土的湿度與密度。這篇文章總結了民用航空局及康奈爾大學為解決這個問題在設計核儀器方面到目前為止所完成的工作。

這里所提供的方法是利用中子及 γ 射線散射的物理原理而進行的。適當的放射源鎢 D ——鉍或鈾 $60^{(27)}$ 分別裝在一個帶有慢中子或 γ 射線探測器的圓柱形試探器內。試探器通過一根直徑為 1 吋的管子而插入土體中，射線穿過附近的土又向探測器回射，回射的射線數量及其性質即測出土的特性來。對這種探測深層土用的探測儀及測定薄層土用的表層儀的設計與試驗皆作詳細的論述。

倘加以適當的注意，此項探測儀測定湿度可達到每立方呎 ± 1 磅水重，測定密度可達到每立方呎 ± 5 磅土重的精度。表層儀現尚处在早期的試驗階段，還不夠準確。記取全套讀數所需的时间約 15 分鐘。目前正在進一步作出室內與野外試驗，改進這些儀器使能夠滿足不同工程設計的特殊要求。

一個工程建築物的堅固性有賴于其地基材料的穩定程度，這是無可爭辯的事實。在修築道路路面中，這一事實特別顯得真切，因為作用于路基的單位荷載相當大，而其沉降必須保持在一個最小的限度。所以一個適當的路面設計的初步工作之一，就是確定路基可能具有的穩定性及承載力。這些性質可在建造路面之前測定；但不幸的是它們並非是一成不變的，因而在某一特定時期的測定值可能會沒有價值。另外，設計者必須能夠預計到在氣候的以及其他存在于整個路面使用期限內周圍環境的各種情況下，路基強度的可能變化。這需要對存在于已經使用的路面的變動情況，特別是土的湿度與密度的變動情況做大量的觀測記錄，因為湿度與密度是確定某一既定的土的穩定性的主要因素。當此種充分資

料已經搜集到,并且進行了分析,就可能以相當確切的程度預示出將來路面中的臨界條件來。

取土土的濕度與密度的大量數據所用的完滿研究工具必須在操作上是迅速而精確的;必須能在任何狀態下(水、冰或水汽)測出濕度;也必須使土的結構不受擾動,以便可以在一個很長的時期內于同一地點進行反復的測定。現有的設備或操作方法都不能夠滿足所有這些要求。所以,在土的濕度與密度方面的知識不足,與其說是由于缺乏興趣,還不如歸咎于缺乏適當的設備為妥。

除了需要上述的研究工具之外,還需要一個在路堤建造中迅速測定表面薄層土的濕度與密度的簡單器具。這種設備在土的夯實控制中是極有價值的。再者,現有的方法很繁重而且很費時間,而密度的測定除非特別注意,否則是不準確的。由于測密度的試樣很小,需要將數次測定值進行平均,以便得到一個大體積的路堤材料的代表值。

含氫物質在散射高速中子造成中子的大部分能量損失方面是特別有效的。這一點早已成為普遍的常識了。氫的這個特征被聯想到一個測定土的濕度的方法。而 γ 射綫的散射是隨其所通過的材料的電子數目而變的,這也是人所盡知的了。因為一已知容積的土的電子數目與土的密度約略成正比,這就被聯想到有創造一個成功的密度計的可能性。

初步的發展工作已經在康奈爾大學按照該校與民用航空局簽訂的合同履行完成。試探器式的濕度及密度計初期生產的試用模型已在1950年9月交給印第安那州印第安那波里斯的民用航空局中央技術發展評審處進行廣泛的試驗及評價。本文中總結了到目前為止所有的發展及試驗經過。

測定工作的物理基礎

濕度:

除了一些特殊的物质外,中子与其他材料的相互作用是极其微弱的。所以,中子能在其被破坏以前行经一个很长的时间。然而,在其生存期间,它们即与所通过的材料原子核相碰撞,并且向各个方向散射;同时,在每次碰撞或散射过程中即损失它的一部分能量。如果中子与氢核碰撞,则散射特别强烈,能量损失亦显著。所以,如果我们有了快中子源,当这些中子离开中子源时,将被中子源周围的物质所散射,其中大部分回到中子源或回到其附近。被氢原子散射的那些中子将损失其大部分的能量,并转变为慢中子而射回。当氢原子数量增加时,将会有更多的慢中子反射

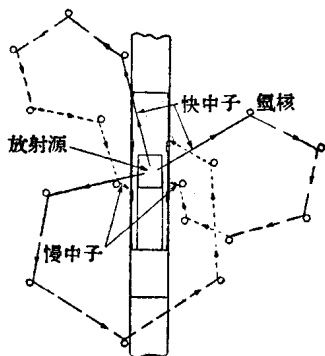


圖 1. 中子散射图解

到中子源的附近。圖 1 中說明了此种过程。計算在中子源上或其附近的慢中子数量,即可求得实际的氢原子数量。还有一个事实,即此一散射及减速过程实际上与氢是否受化学条件的限制无关,特别是它与每一分子中都有两个氢原子的水是否处在汽体、液体或是固体的状态无关。

因此,测定含水量的仪器需要: (1) 一个快中子源; (2) 一个穩固地放在中子源附近的慢中子的探测器; (3) 一个用以計算及記錄單位時間內到达探测器上的慢中子数目的电子仪器。中子源及探测器的組合裝置可以下放于一个置于土中的小口径金属管内,并可用電纜將其与在地面以上的机械計数裝置相連接。

密度:

γ 射綫的散射性能可用以测定土的密度。当 γ 射綫从一个像鐳这一类的放射源射出而穿过一种材料时,这些射綫由于与該材料的原子中的电子相互作用而被散射⁽²⁸⁾。当电子数目增加,散射亦愈强。由于电子数目与物質的密度成正比这一論点对于土的組

成也極相近似，故重的物質將會較輕的物質產生更多的散射。

那么，这个方法就是测定从周围的物质中射回到放射源附近的 γ 射线，如图2所示。在 γ 射线散射情况下，对于散射效应的理论没有像对中子的理论那样研究得透彻，并且散

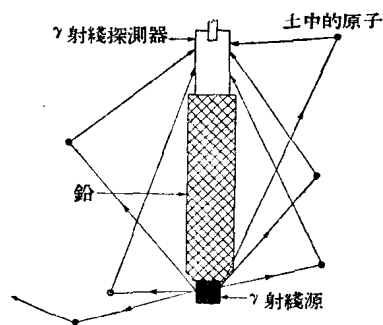


圖 2. γ 射線散射圖解

射現象亦較複雜。然而可以看出，如果探测器与放射源同在一处，則与中子散射的情况相反，不能發現出密度的效应來。所以，探测器与放射源的距离即成为仪器制造中一項很重要的因素。

測定密度用的仪器包括(1) γ 射線源及(2) γ 射線的探测器，它被安設在距放射源一个适当的距离，并且用一鉛屏蔽將其与放射源隔离，以避免从放射源直接到探测器上來的 γ 射線。再者，这个組合裝置要裝成可以使它放落在一个金屬管中，并使其能用电纜与电子記錄器相連接。

湿度試探器的設計

为了能在任何时候很容易地通入地層的某些地点，因而將湿度試探器設計成使其能裝入一根內徑1吋、壁厚1/32吋的管子內，這管子能够放入或鑽進地層中并安放在一定的位置上（見圖3）。借升降管中的試探器，除了在距地表面12至15吋以內的範圍之外，可以在任意高程上記取讀數。各种材料都可用來做進路管；但是基于材料的强度与不受侵蝕的原因而选用了不銹鋼。管子的底端是封閉的并做成尖形。管子在不用期間，上端可用真空瓶塞或其他裝置臨時將其關閉，以防止水或外物進入。

試探器本身是一个薄圓柱形的黃銅殼体，約6吋長，其中包括