

放射性同位素
在水利工程中的应用
译文集

中国工业出版社

放射性同位素
在水利工程中的应用
譯文集

中国科学院
水利电力部
水利水电科学研究院譯

中国工业出版社

近几年来，放射性同位素在国外水利工程中应用的研究取得了相当进展，有些国家已开始在实践中应用。我国也很重视此项研究工作，本书就是为了配合我国这方面研究工作的需要而选译的。

本书共搜集了苏联、英国和西德等有关放射性同位素在水利工程中应用和试验研究的论文共九篇。内容包括：用放射性同位素测土坝的渗透、土的密度和含水量；用放射性同位素测水流含沙量、地下水的流速和流向、泥炭土中水分特性和运动过程；放射性同位素在盐碱地改良方面的应用，以及用放射性砂作为泥沙运动的示踪剂等。

本书由水利水电科学研究院技术处翻译，并经该院仪器工厂卢荀英工程师审核。本书可供水利水电勘测、设计、施工和科学研究等方面的工程技术人员使用，亦可供高等院校的有关教师参考。

放射性同位素在水利工程中的应用译文集

中国科学院
水利电力部 水利水电科学研究院 译

★

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南街）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路西10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

★

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张4 $\frac{3}{8}$ ·插页1·字数105,000

1965年5月北京第一版·1965年5月北京第一次印刷

印数0001—1,610·定价(科五)0.65元

★

统一书号：15165·3919(水电-512)

目 录

1. 用 γ -射线和中子测量土和建筑材料的密度、含水量以及
水流含沙量
B. A. 叶麦利揚諾夫 (1)
2. 应用放射性指示剂检测地下水流
H. Я. 弗列克謝尔 (34)
3. 放射性指示剂在检测水电站水工建筑物渗透中的实际应用
H. Я. 弗列克謝尔 (54)
4. 用放射性指示剂测量地下水流
H. И. 伊利英、H. B. 丘拉耶夫 (61)
5. 用放射性元素在一个单独的钻井中测定地下水的流向
H. 迈尔霍弗尔 (72)
6. 应用放射性指示剂的方法研究排水条件下泥炭中水分运动问题
M. П. 沃拉羅維奇、H. B. 丘拉耶夫 (77)
7. 用示踪原子研究泥炭中水的特性、结构和水分的运动过程
H. B. 丘拉耶夫 (94)
8. 在生产条件下用沟灌冲洗盐渍化土壤时放射性同位素在研
究盐分运动方面的应用
M. X. 哈尔馬托夫、П. M. 尼基費洛娃 (110)
9. 用经过照射的砂作为水工模型示踪剂的试验研究
M. J. 庫雷克莫尔 (121)

用 γ -射綫和中子測量土和建築材料的密度、含水量 以及水流含沙量

B. A. 叶麦利揚諾夫

前 言

放射性輻射方法在水利工程、土壤改良和建築中使用的實踐證明，這種方法往往能夠解決用一般方法所不能解決的問題。在許多情況下，用放射性測量方法代替現今普遍應用的方法能極顯著地減輕工作的繁重性，提高研究、檢查和調節的質量及效果。

γ -射綫法和 γ -測井法正在成功地應用在測驗土和建築材料的密度，觀測其含水量的變化以及研究水流含沙量和泥漿的濃度等方面。中子測井法能夠進行土和建築材料的含水量的絕對測量，並能確定飽和土的孔隙度。當採用這些方法時不需採取試樣就能完成測驗，而每次測驗只用幾分鐘就夠了，同時立刻就能得知測驗的結果。

本文中對用 γ -射綫法、 γ -測井法和中子測井法進行土和建築材料的密度、含水量的原體觀測所用的最簡單的傳送器作了描述。對採用這些方法測量土和建築材料的密度、含水量以及測定水流中泥沙濃度等的技術也作了描述。

放射性測量儀器和輻射源

為了在原體條件下測定土（土壤）和建築材料的密度、含水量以及測定水流含沙量，需要有用 γ -輻射源或快中子源， γ -射綫探測器或熱中子探測器，以及供記錄來自探測器的脈沖用的記錄器。

在原体测量中，大多是采用气体放电式自淬灭计数管（见表1）作为 γ -射线探测器。从这种计数管所得到的脉冲电压达几十伏特，这就大大简化了计数管与记录器的连接。记录器与计数管之间可以直接地用长度10~20米的带形高频电缆或同轴电缆连接（不用阴极输出器）。

表 1

计数管的型式	工作电压 (伏特)	管子长度 (毫米)	管子直径 (毫米)	相对效率	附 注
СИ-1Г\CTC-1)	380	90	16	1	管子是玻璃的 管壁当阴极
CTC-8	400	215	23	4.5	
CTC-5	360~440	110	12	2	
CTC-6	360~440	197	22	4.5	

把锡箔或铝箔制的屏装在这些计数管的周围，就能够用这些计数管记录热中子。

特种热中子气体放电式计数管，例如正比硼计数管，以及高效率的 γ -射线和热中子的闪烁计数管，只有当卤素计数管（通常是盖革弥勒计数管）不大适用时才采用，这些计数管需要1000~1500伏特的电压。因此，来自计数管的脉冲应通过装在计数管附近的带有阴极输出器的引出放大器送至记录装置，这就使得仪器的线路复杂化起来。

为了在天然条件下测定 γ -射线强度和热中子密度，辐射仪应该有它自己的电源（如自发电池、电池组或蓄电池）。表2列有几种型式的辐射仪的规格。

ПНП-64型野外定标辐射仪^①〔1〕具有冷阴极闸流管的定标电路，定标电路系由6个二进位单元（触发器）组成，另外带有电动计数器记录每第64次脉冲。辐射仪的所有电路由低电压电池

① 定标电路是由А.И.达尼林在水文气象仪器制造科学研究所里研究出来的。

表 2

輻射儀的 型 式	定標電路輸入 端的靈敏度 (伏)	極限計數率 (脈沖/分)	電 源	
			電源需用的電壓 (伏)	消 耗 電 流 (毫安)
ППР-64	20	10000	3①	100~130
ПК-106	0.5	30000	1.5; 120~160和400	10; 3~5; 0.01
ТУР	0.05	75000	6~8①	25~35
Сид ТПР	0.05	75000	6~8①	50~70

① 當採用晶體管電壓轉換器時。

或蓄電池通過晶體管電壓轉換器供給電源，從其輸出端取約160伏電壓給定標電路，取500伏電壓給計數管。

帶有用同種閘流管裝配的十進位定標電路的ПК-106型定標器⁽²⁾，自動記錄選取100、1000和10000次脈沖所需要的時間，定標器具有指形電子管的前級的放大器。

輻射儀的電路由熱電池和高壓絕緣片電池供給電源。

帶有用半導體三極管（晶體管）組合的定標電路的ТУР型晶體管式萬能輻射儀⁽³⁾，具有晶體管的前級放大器。脈沖從定標電路輸出端進入電動計數器。定標系數為 $\times 1$ ； $\times 8$ ； $\times 64$ 。整個電路由低壓電池（蓄電池）通過晶體管電壓轉換器供電。

所有這些輻射儀主要是用於鹵素計數管的工作。閃爍計數管以及熱中子特種氣體放電式計數管連接在ТУР型輻射儀上。

Сид ТПР型晶體管閃爍定標輻射儀⁽⁴⁾的定標電路與ТУР型輻射儀的電路相似。將對 γ -量子或熱中子敏感的閃爍體作為探測器用，閃爍體帶有小體積的測量能譜的光電倍增管。

在使用中已充分表明，ППР-64型輻射儀是結構上最簡單的儀器（圖1）。這種型式的輻射儀很少發生故障，同時，發生的故障很容易發現和消除。

全蘇水工及土壤改良科學研究所、水文氣象儀器製造科學研究所和莫斯科泥炭研究所為ППР-64型輻射儀試制了許多傳送器，

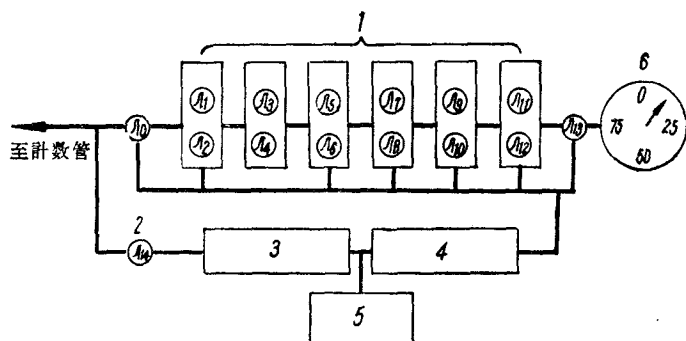


图 1 ППР-64型辐射仪组合图

1—触发单元；2—稳压器；3—500伏转换器；4—160伏转换器；5—电源，3伏；6—电动计数器

供在 γ -射线法、 γ -测井和中子测井法的各种测验中使用(表3)。传送器结构简单，并且容易针对测量的具体条件制造。这些传送器亦可与ПР-106型和ТРП型的辐射仪连用。

为了进行这些测量和观测，需要硬性 γ -射线(钴 60 ，铯 137)，软性 γ -射线(铍 170)安瓿辐射源和其它辐射源或钚-铍中子源或镭-铍快中子源。

γ -射线测量的传送器

γ -射线测量能够确定土和土壤以及建筑材料的密度、雪的水当量、水流中的泥沙浓度，并可观测各种对象的含水量变化。

当用 γ -射线的准直束检查对象时，落在探测器上的 γ -射线束强度 I ，按众所周知的公式可以足够精确地求出，其公式是：

$$I = I_0 e^{-\mu \rho l},$$

式中 I_0 ——空气中 γ -射线束的强度；

μ ——准直射束的质量吸收系数；

ρ ——密度；

l ——被测对象的厚度。

表 3

所要确定的指标	传送器的名称	测量(观测)方法	计数管的型号	辐射源	
				同位素	强度
土的密度及其含水量变化	γ -射线密度计	γ -射线法	CM-11或CTC-8	Cs ¹³⁷ 或Co ⁶⁰	4~8毫克镭当量
积雪层的水当量	γ -射线量雪计	γ -射线法	CTC-8	Cs ¹³⁷ 或Co ⁶⁰	1~3毫克镭当量
水的含沙量	γ -射线含沙量计	γ -射线法	CTC-5	Tu ¹⁷⁰	50~200毫克镭当量
土的密度	γ -测井密度计	γ -测井法	CTC-1或CTC-8	Cs ¹³⁷ 或Co ⁶⁰	1~2毫克镭当量
土的含水量变化	测含水量变化的 γ -测井测量计	γ -测井法	CTC-1或CTC-8	Cs ¹³⁷	1~2毫克镭当量
水的含沙量	γ -含沙量计	γ -散射辐射法	CTC-5	Tu ¹⁷⁰	5~10毫克镭当量
土的含水量	带有活动铜屏的中子水分计	中子-中子测井法	带活动铜屏的CTC-5	Po + Be	5·10 ⁵ ~10 ⁶ 中子/秒
土的含水量	带有活动铜屏的中子水分计	中子-中子法和中子 γ -测井法	带铜屏的CTC-5	Po + Be	10 ⁵ ~5·10 ⁵ 中子/秒
土的含水量	带有银屏的中子水分计	中子-中子法和中子 γ -测井法	带银屏的CTC-6	Po + Be	5·10 ⁴ ~10 ⁵ 中子/秒
土的含水量	带有铜计数管的中子水分计	中子-中子测井法	带有特殊元件的CHM-9	Po + Be或Ra + Be	5·10 ⁴ ~10 ⁵ 中子/秒
土的含水量	带有可拆卸的银指示器的中子水分计	中子-中子测井法	带有可拆卸的银指示器的CTC-6		10 ⁵ ~10 ⁶ 中子/秒

当以0.5~1.25百万电子伏能量的 γ -射线检测土、建筑材料、水等这类主要由轻化学元素构成的对象时，康普顿散射是 γ -量子与被检查对象的物质相互作用的主要过程。

因此，对于不含大量重元素的所有种类的土（土壤）和建筑材料来说，准直辐射的质量吸收系数实际上是 $\mu_{\text{Co60}} = 0.057$ 和 $\mu_{\text{Cs137}} = 0.086$ 。对于水来说，质量吸收系数大于11%。

系数 μ 表示当 γ -射线束通过1克/厘米²厚的物质层时其强度的相对吸收值。

从辐射强度吸收定律中直接得出了测定被检查对象单位面积上的密度、厚度和重量的可能性。这种可能性已成为现实，例如用 γ -射线检查法确定土、混凝土和液体的密度，水的含沙量，泥浆的浓度，观测土壤和建筑材料的含水量变化等。

用 γ -射线测量和观测时，把被测对象放置在辐射源和探测器之间，或是把辐射源和探测器放入被测的对象中，或者只把辐射源放入被测的对象中。为了使 γ -射线准直，必须要有大的铅准直容器和隔板，这就给原体测量和观测造成不方便，并且需要采用放射性较大的辐射源。但是在原体测量和观测中，往往可以装设小的铅准直容器，并且可以利用探测器的全部工作面积。在这些条件下可以将射线束部分地准直来进行测量。此时可用下面的定律来说明射线束的强度的吸收。

$$I = I_0 e^{-\mu \rho l} + I_{pac},$$

式中 I_{pac} 是探测器记录的散射辐射部分，它由下述条件决定：辐射的准直程度，探测器的大小，保护套筒的壁的厚度，被研究对象的厚度（部分地决定于其密度）和其它因素等。

I_{pac} 数值的理论计算是可能的，但是很复杂。因此，往往是用试验方法来求 I_{pac} 数值。同时，如果在某种测量情况下（例如确定土的密度时），在同一种几何条件下进行检查并使用同一种准直容器和探测器时，那么一次就足以确定 I_{pac} 值。根据被测对象的密度情况，当密度变化不太大时，往往是可以忽略 I_{pac} 值的变化。

利用辐射质量衰减系数的有效值代替将校正数导入 I_{pac} 更加方便。可用适合于该具体条件的试验方法确定此有效值。

采用 γ -射线密度计测定土的密度。土在天然状态下的密度是土的工程地质性质、建筑性质和土壤改良性质的最重要的指标之一。已经知道的测定土的密度的方法很多，而得到最普遍采用的是环刀法（取不搅动土样，接着进行试样的称重），但是这种方法很费力，同时效果又不好。此外，这种方法不能够在同一个地点经常地测量土的密度，并且不适合于测量非粘性土。

测定土的密度的 γ -射线法没有上述缺点，并能保证测量精度良好〔5.6〕。

全苏土工及土壤改良科学研究所试制的 γ -射线密度计的传送器，是由铅准直容器和探测器（硬铝保护套筒内的CTC-8型 γ -计数管）组成。在测定土的密度时，开两个垂直的井孔，井孔的直径5厘米，距离40厘米（1），并用薄的金属套管或塑料管加固井孔。

把盛有放射性强度为4~8毫克镭当量的钴或铯辐射源的准直容器放入一个井孔中规定的深度，把探测器放入另一个井孔内相同的深度（图2）。

准直容器的外径和计数管保护套筒的外径与套管的内径相配合。准直容器是一个带有直径8~10毫米准直孔的密实铅圆筒，准直孔达到圆筒的中心。在铅圆筒的上面应该有硬铝或钢制的防护筒，以防止铅圆筒的机械变

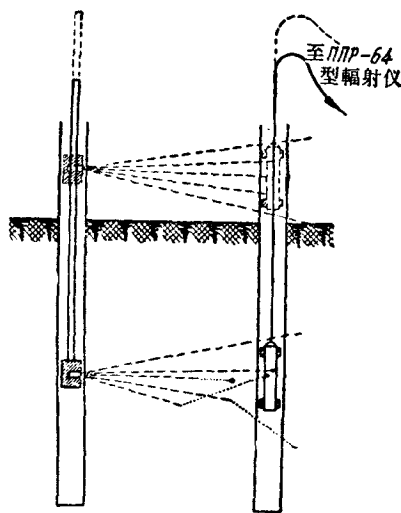


图2 用 γ -射线至ППР-64型辐射仪测定密度的示意图（水平穿透）

形。

用直径10~15毫米的硬铝管制成支柱-承接管。在这种管子上沿准直孔的瞄准线，从准直孔中心线起每隔10厘米钻一个2~3毫米的穿孔。

为了把准直容器固定在给定的深度上并将其定向，将一根角钉通过支柱-承接管上的这些穿孔。角钉安插在套管顶边的三角形切口内。为了提高这种方法的沿垂线的分辨能力，可以用三个较短的 CTC-1或 CTC-5型并联计数管来代替一个 CTC-8型计数管。

如果测量对象容许压入直径2.5~4厘米的尖锐的金属管，则最好是把准直容器和计数管分别装在两根管子的下部，而把这两根管子的上部用铰链扣紧，当进行压入时是利用导体联接或是两者彼此刚性连接。人们把这种 γ -射线密度计传送器叫做放射叉。放射叉特别适宜应用在泥炭土测量中。可按下面公式求密度：

$$\rho = \frac{\ln I_0 - \ln I}{\mu' l},$$

$$\text{或 } \rho = \frac{\ln I_0 - \ln I \cdot K}{\mu' l} \text{ 克/厘米}^3,$$

式中 μ' ——辐射强度的质量有效吸收系数；

K ——考虑到散射对计数管影响的系数。

在精测中应知道土的含水量，并从求得的密度数值中减去 $0.11w_\Delta$ （其中 w_Δ 为体积含水量，以克/厘米³计）。

只有对于干土和饱和土，才可以在没有含水量的资料情况下确定土的固相容重（ ρ_0 ）。在所有其余的情况下，均必须知道土的含水量（在开挖井孔时取出试样测定或用中子测井法确定）。在这种情况下采用下列公式进行计算：

$$\rho_0 = \frac{\ln I_0 - \ln I}{(\mu' + \mu'_B w) l},$$

$$\text{或 } \rho_0 \text{ ①} = \frac{\ln I_0 - \ln I}{\mu' l} - 1.11 w_{\Delta} \quad (\text{克/厘米}^3),$$

式中 μ'_B ——水对辐射强度的质量有效吸收系数；

w_{Δ} ——土的重量含水量。

把用某种方法所确定的土的固相密度值或固相容重值代入上列公式后，再用这些公式来计算辐射强度的有效吸收系数。只能从20~30厘米或更大的深度处用这种方法进行土的密度的水平测量，因为在穿过上述深度时被穿过土层的上下层中 γ -射线散射条件的不同，对 I_{pac} 值的影响很大。

在使用СНД ТИР型辐射仪工作而用非准直束辐射进行穿过时，可以按没有导入散射辐射校正值的 γ -射线束吸收的公式确定土的密度⁽⁷⁾。这样做是可能的，因为从闪烁计数管送至记录装置的电压脉冲幅度与 γ -量子能量成正比，而散射的 γ -量子能量则小于非散射的 γ -量子能量。如果积分振幅鉴频器装在计数管和记录装置之间，那么在一定的鉴频水平上，只有与最大能量的 γ -量子相应的脉冲，即与非散射的 γ -量子相应的脉冲，才可以送到记录装置。

采用 γ -射线密度计观测土的含水量变化。 γ 量子因土的固相和土中所含的水分而散射，因而通过湿土的 γ 辐射强度减小。假如定期检查土层，每次都严格地按同一种条件进行，又假如在测量间隔的时期内土的固相组成保持不变，那么辐射强度值的变化就决定于土的含水量的增减。当含水量增大时，穿过土层中的 γ 辐射的吸收就增加，反之则减小。在这种情况下水分的团聚状况（冰、水和蒸汽）及其在被测层范围内的分布特性，没有很大意义。

γ -射线法与用试样恒温烘干的标准方法相比，能得出同样的精确度，但比较简便，同时能够在2~3分钟时间内直接在测量的地点得出结果^(8,9)。这种测量方法的主要优点是，测量总

① 原文为 ρ ，恐系 ρ_0 之误。——译者

是在同一个土层中进行。

为了观测某一层，例如根据分布层（0~50厘米）土的含水量的整个变化，把带辐射源的准直容器置于必要的深度（先放置在试坑的适当位置，然后再埋好等），而把探测器放置在土壤的表层上，每次严格地放在同一个位置中。可根据准直容器放入的方法而改变其结构。

预先确定出辐射强度之后，可按下列公式确定各次测量之间水分的增加和减少：

$$\Delta w = \frac{\ln I_0 - \ln I}{\mu'} \text{ 厘米},$$

式中 Δw ——水分的增(减)量(厘米)；

I_0 和 I ——初始的和该时刻的辐射强度；

μ' ——对该种辐射能量水的有效吸收系数，此系数实际上不取决于土壤（土）的性质和土中的水分分布特点。

当垂直穿透土层时，被穿过土层的固相容重变化对测量的精度没有影响（如果辐射源和探测器之间的距离不变），因为该相的质量是不变的。

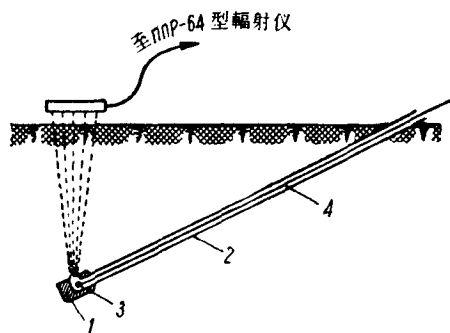


图 3 用 γ -射线检查法测定含水量变化的示意图（垂直穿透）

用垂直穿透法大量观测时，按如下方式进行。把圆柱形准直容器 1 安放在倾斜井孔的底部(图3)，准直容器的直径为40~45毫米，它带有边侧孔（考虑到井的倾斜角）和轴向孔。把直径5~7毫米的薄壁管 2 固定在轴向孔内。然后用土填此井

孔。只是在测量的时候才把 γ -辐射源3固定在金属棒4的末端，并沿管伸入到准直容器处。

当沿水平层观测土（土壤）的含水量变化时，与测定土的密度时一样地进行水平穿透。首先找出沿每层通过的辐射初始强度，然后只检查一下所要观测的层即可。水分含量变化的计算与在垂直穿透时的计算相似。但是应指出，采用水平穿透时土的固相重变化会使测量的结果产生失真现象。

当用 ^{60}Co 沿水平穿透时，辐射强度的有效吸收系数约等于0.040。

采用较软性的辐射源（例如 ^{137}Cs ）和带有积分振幅鉴频器的闪烁计数管（如СПД ТПР型辐射仪），可以提高对土的含水量变化的 γ 射线观测的精度。这时不需要有任何的预先定标测出 μ' 。可用 ^{137}Cs 射线准直束吸收系数值（对于水来说等于0.086）进行计算。

γ -射线检查量雪计。 γ -射线法测定积雪的水当量时，当积雪层厚度为50厘米以上时比较有效和简便，并能得出高于标准雪量称重法的测量精度。当积雪较薄时， γ -射线可成功地应用在春季所进行的雪量测量中。因为春季湿雪会化成水，一般来说用称雪器不能作精确的测定〔3,9〕。

可按图4上所示的简图测定雪体。

雪量计-传送器由测尺1组成，测尺的底下有个小的铅制准直容器2装在钢盒中。放射性强度为1~3毫克镭当量的辐射源装在容器的里面。装在铝制保护套筒4内的带CTC-8型计数管的托架3沿测尺移动。在测尺上刻有刻度，用以测定积雪层的厚度。

预先根据积雪层厚度确定准直容器和探测器之间必要的距离之后，把雪量计-传送器垂直插入雪中，将测尺作90~180度角的转弯，以使容器下面的雪呈未破坏状态。然后进行测定辐射强度 I 。在传送器插入雪中之前，先求出空气中的辐射强度 I_0 。

按下面公式确定雪的水当量 l ：

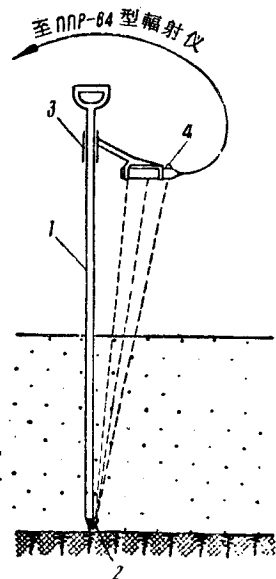


图 4 用 γ -射线测定积雪层水当量的示意图

$$l = \frac{\ln I_0 - \ln I}{\mu'} \quad (\text{厘米}),$$

式中 μ' ——雪的辐射强度有效吸收系数。

为了特别精确地测定积雪层的水当量，采用带有积分振幅鉴频器的闪烁计数管作为探测器，并只记录直接辐射（非散射辐射）。

γ -射线含沙量计。 沉积在河道中和水工建筑中的泥沙破坏河道航运和水工建筑物的运行。这样就造成必须进行费用极高的排除沉沙的工作。为了制定出并实现减少河道（航道）、水庫、引水建筑物和水工建筑物渠道淤积的措施，必须对该具体条件下悬移质泥沙和推移质泥沙移动的特性有所了解，而这种了解是建立在含沙量测量的结果上

面的。目前的容积称重测量方法不是有效的，费力而且不精确。测定水中含沙量的 γ -射线法在很大程度上克服了上面所说的这些缺点^[10]。

γ -射线含沙量计的传送器，由彼此刚性连接的具有软性 γ -射线辐射源的铅准直容器和装在薄壁金属保护套筒中的计数管组成。

用 γ -射线的准直束检测浑水（水和泥沙两相）时，准直束的吸收系数按下定律进行的：

$$I_{\gamma I} = I_0 e^{-(\mu_B \rho_B + \mu_H \rho_H l)},$$

式中 I_M 和 I_0 ——浑水和空气中的辐射强度；

μ_B 和 μ_H ——水和泥沙的辐射质量吸收系数；

ρ_B 和 ρ_H ——每立方厘米中的水量和泥沙量（克）；

l ——被检测层的厚度（厘米）。

半衰期129天和 γ -量子能量为0.084百万电子伏的铯¹³⁷，是测量水中含沙量的最有前途的 γ -辐射源之一。该能量辐射的质量吸收系数值是由康普顿散射和光电吸收构成，并且与泥沙的化学组成有关，泥沙中重元素愈多，其值愈大（表4）。

表 4

元 素 名 称	分 散 程 度 (%)	质量吸收系数(厘米 ² /克)
H	—	0.305
O	49	0.164
Si	33	0.205
Al	7.1	0.190
Fe	3.8	0.535
C	2	0.158
Ca	1.4	0.330
K	1.4	0.312
Mg	0.6	0.185
石英沙	—	0.186
水	—	0.181

但是，一般來說，河流（渠道）泥沙的化学成分是不变的，这样就可简化辐射的质量吸收系数值的求测。可以用試驗方法确定辐射质量吸收系数或按下面的公式計算：

$$\mu = \mu_1 q_1 + \mu_2 q_2 + \dots,$$

式中 μ_1 和 μ_2 等——泥沙的质量吸收系数；

q_1 和 q_2 等——泥沙的重量百分率。

理論計算証明，如果渾水的穿透层厚度 $l=40$ 厘米，而铯¹³⁷的质量吸收系数 $\mu=0.18$ 厘米²/克，則脉冲計数率变化0.7%相当于每升水的含沙量变化1克，即根据計算，每升水中放入10克沙时，脉冲計数率减小7%。当 $l=60$ 厘米时，計数率变化1.1%，相当于每升水中含沙量变化1克。这样一來，使用铯¹³⁷的 γ -射线法测含沙量的精度約为1克/升。