

工程地質勘測的 新儀器與新方法

H. B. 格拉佐夫

A. H. 格拉佐夫

著

地質出版社

工程地質勘测的新仪器与新方法

H. B. 格拉佐夫 著
A. H. 格拉佐夫

张 介 瀛 譯

地質出版社

1959·北京

Н. В. ГЛАЗОВ, А. Н. ГЛАЗОВ
 НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ,
 ПРИМЕНЯЕМЫЕ
 В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
 ИЗЫСКАНИЯХ
 ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ
 МОСКВА. 1957

本書不仅介绍了苏联和国外近年来在工程地质和水文地质勘测工作中利用放射性同位素的先进技术设备与方法,而且还介绍了根据物理原则而提出的其他一些新方法,这对我国当前生产实践有很大的参考价值。

工程地质勘测的新仪器与新方法

著者	H. B. 格拉佐夫	A. H. 格拉佐夫			
译者	张	介	涛		
出版者	地	质	出	版	社

北京西四牌市大街地质部内
 北京市书刊出版业营业许可出字第050号

发行者	新华书店	科技发行所			
经售者	各地	新华书店			
印刷者	地质出版社	印刷厂			

北京安定门外大街40号

印数(京) 1—3000册	1959年12月北京第1版
开本787×1092 ¹ / ₃₂	1959年12月第1次印刷
字数58,000	印张2 ⁵ / ₈ 插页
定价(10) 0.36元	

目 录

序言

第一章	研究吹揚作用、冲蝕作用和搬运作用 的新方法	6
	捕砂器	6
	发光染色剂	7
	放射性元素的应用	8
第二章	利用放射性同位素研究盐土的溶解性和 淋濾作用	15
第三章	工程地質工作中应用的新仪器和新方法	17
	土的天然含水量的測定	17
	用放射性元素測定土的密度	28
	利用放射性元素在野外測定土的密度和含水量 时对仪器結構的基本技术要求	39
	在鑽孔中測定抗剪强度的仪器	43
	P. 彼列其耶的“砂土当量”的測定	44
	Л. Ф. 列昂諾夫的孔隙度測定仪	45
	照象仪	47
第四章	鑽探工作和水文地質工作中应用的新方法	48
	利用放射性同位素对泥浆鑽孔剖面进行編录	49
	水文地質工作中放射性同位素的利用	55
	工程地質工作中振动鑽进的利用	57
第五章	新型引水工程及其近似的計算	61
	附录 1 放射性同位素表	71
	附录 2 使用放射性物質的一些原則	79
	参考文献	81

序 言

为实现苏联共产党第廿次代表大会提出的利用科学和技术成就改进国民经济各部门工作这一指示，工程地质和水文地质工作者必须尽快地把最有发展前途、有生产成效的方法和仪器运用到工程地质和水文地质调查实践中去。

为了完成此项任务，必须改进各勘探队的技术装备，采用有生产成效的新方法和较完善的设备，提高劳动生产率。

但是对这方面的新成就和将采用的有发展前途的好的勘探方法缺乏系统的收集和整理工作，则所有的措施都将不能达到完满的效果。

本书的目的是向广大的工程地质工作者简短地介绍一下能改进勘测质量并能显著提高劳动生产率的一些新方法和仪器。

到目前为止，虽然有許多在技术上很完善的方法在其它工业部门中已经得到广泛地应用，但在工程地质和水文地质实践中尚未得到充分的运用。这种情况就促使作者将已有的方法和仪器，尤其是在苏联和国外现有的利用元素放射性的一些方法介绍给读者。

在利用放射性同位素的仪器和方法中则选其运用最简单、效果最好的一些介绍给读者。

本书不仅介绍了利用元素放射性的方法，同时还介绍了一些根据物理原则而提出的其他新方法。

書中所引用的一些例子不可能說在水文地質和工程地質勘測中对放射性同位素已完整无缺的充分地得到了利用，但是，毫無疑問，在工程勘測和調查中，它們即將得到更廣泛地應用。

書中的一些資料也不可能把實踐中所遇到的一些問題毫無遺漏的全部包括在內，但是這些資料在一定程度上能使工程地質和水文地質工作更臻于完善，并使勘測方法和新式設備得到進一步的推廣。

作者希望把書中所說明的儀器介紹給讀者，同時更希望讀者在充分地了解了這些儀器的結構之后，能在自己的生產實踐過程中更進一步的改進。

作者對審閱手稿時提出寶貴意見和指示的全蘇水文地質工程地質科學研究所H.A.奧吉爾維和Ф.С.查維爾斯基兩位同志致以深切的謝意。

第一章 研究吹揚作用，冲蝕作用

和搬运作用的新方法

我們知道，研究冲蝕作用及与其有关的边岸破坏作用对許多城市、疗养区和一些其它的居民点是一个极为现实的問題。同样，調查土壤的侵蝕作用和冲积砂的吹揚作用及为防止这些現象所必不可少的防护措施也有着重大的国民經济意义。

但是研究这些作用是一项极其困难而长久的工作，因为現有的調查法要求我們完成一系列的相当复杂的各种工作。其中一項基本的可靠的工作就是多次地进行地形測量和水准測量。这项工作的本質就是把初期研究阶段所得的地形測量資料或水准測量（根据固定的水准基点与标桩）資料与后期所得資料加以对比，从而求出該地的地形变化速度和地表的破坏速度或者是边岸冲蝕的速度。如果我們采用新的仪器、染色剂和“标记”原子，也就是采用最近科技成就方面的方法，則上述調查方法将大大地簡化，而工作期限也将縮減。

捕 砂 器

为研究底积层和河床冲积层的移动过程，我們这里介紹一种外国用的專門的捕砂器(песколовка)。捕砂器是一个金屬箱，寬25厘米，高18厘米，下底长60厘米，上底长40厘米，两端有盖可以关闭。用繩索和絞車把捕砂器放在河底，

打开箱盖使水和沿着河底移动的冲积物较自由地通过。在捕砂器的一侧壁上装以光电管，在另一壁上装以电灯来照射光电管，这样便可以测定冲积层在仪器底部移动的特点及该层的高度。

光电管及电灯排列成二个垂直排，在每一排内的不同高度上又分为三组；排与排之间距为32厘米，而在每排里光电管或电灯之间距为6厘米。如果我们用光电管以下面的方法加以编号，即在第一排里，其号数为1、2、3（自下而上），而在第二排里为4、5、6，则在捕砂器内部移动的底积层首先就要把光电管1复盖，而后随着向金属箱深处移动就要把光电管4复盖了。

如果底积层成厚层移动，则经过一定的时间以后也要把光电管2和5，甚至把3和6复盖。记录光电管的光度可以使我们用图表的方法把底积层依次移动的情况表示出来，也可以计算在一定的时间内通过捕砂器的冲积物的数量（体积），进而可以求出底积层的流出量。在河底附近，如果水的混浊度等于20克/米³，则不影响光电管的照明，但是当混浊度为1000克/米³时，则需要用较灵敏的光电管来代替硒光电管。

必须指出，采用捕砂器是有限制的。这种捕砂器只有当流速较为缓和，冲积物沿河底的移动较大时才较有效。在这种情况下，则一定要考虑到，由于在河底处安置了捕砂器，所以该点的自然条件将不可避免的有所改变，而冲积物移动的情况也就失去了真实性。总之，这种方法的精确度远不如下面我们要讲的方法。

发 光 染 色 剂

利用发光染色剂进行染色也可以研究河床中底积层的移

动性質及砂的吹揚作用。最适用的染色剂为有机发光蒽油 (органический люминефор-антраценовое масло)。其利用方法如下 (按道路工程师 M. A. 阿列克賽提出的方法)。

把砂放在砂浆混合器或混凝土攪拌器中涂以蒽 (并三苯) 油, 并在对設計建筑物最不利的时期投入到被勘测的河底上。投砂时要尽可能的在整个的河流方向綫上同时投入等量的砂, 投砂的間隔为 5—10 或 20—40 分鐘, 这要看河流的寬度, 河流的特点及勘测目的而定。

然后在加固的横梁上用小手鑽从河底取土样, 取土点的密度为 10×10 或 20×20 公尺。每个样品的体积要一定并且一定要通过紫外綫观察。这时用蒽油涂沫过的砂粒便閃閃发光, 根据发光点 (砂) 的数量我們就可以給制出該段河流上的砂样扩散图, 也可以根据这个数量来确定底积物搬运的方向及最大搬运量和最小搬运量的途径, 同时也可以确定在河流各方向綫之間的运动速度。在研究河段上被搬运物質的数量特点时, 可以根据观测綫上的自河底取出的等体积样品中染色顆粒的数量来求出。

如果利用染色法来研究风对砂的吹揚作用和搬运作用, 則須把发光蒽 (люминефор) 染过的砂粒 (其成分要与我們所要研究的一样) 放在各种地形上 (砂丘、壠脊) 或放在專門的探坑中, 探坑中的色砂要成直柱状。观察色砂的移动并在附近的地表上取样再用紫外綫观察同时計算一定体积 (或采用重量单位) 中的色砂数量。

放射性元素的应用

最近在各科技部門中, 放射性同位素日益得到更广泛地应用, 尤其是在农业、医学、机器制造、建筑、冶金和一些

其它国民经济部門中取得了很大的成績。在国外[40、42]正大規模地利用放射性同位素来研究河岸和海岸底积层的迁移作用。这种工作方法簡而易行，尤其是对砂丘砂或冲积砂的吹揚作用和搬运作用、河岸的冲蝕或水庫边岸再造及一系列的必須观测疏散沉积物的搬运作用时，采用这种方法可能收效很大。把放射性同位素放在被冲蝕或被吹揚的岩石中以后，我們不仅可以測定由各种因素决定的岩石的破坏强度，同时还可以追踪它們的搬运路綫，找出它們的集积地点。为达到此目的，可根据岩石的类型、特点和性質而采用不同的方法。

在研究砂丘或冲积砂的吹揚作用和搬运作用时，可采用人造的放射性砂，該砂用玻璃造成，其所含粒組要与我們所研究的砂的粒組相同。其方法如下，把用普通玻璃造成的人工砂放入到反应器中，通以强中子流或 γ -射綫，这样人工砂便由于玻璃成分中的矽酸化（силикандия）而具有了放射性。然后把放射性砂放在所要研究的地表上，便可以在不同的风向和风力，不同的温度和湿度下来观察砂的吹揚作用。

根据所給任务的不同，布置放射性砂的方式是各种各样的。現在我們不詳細的来談具体情况，仅談談这个問題的基本原則。我們認為，把砂布置在各种不同的地形单元中或甚至在同一丘陵上的各个不同的点上，則所得資料將是最丰富的。如果在平面上，則与主要风向不相吻合的棋状分布最为理想。我們不希望把砂布置在主要风向綫上，因为这样一来，背风地段的資料就不如迎风地段的資料丰富。

又根据具体条件的不同，在所要研究的砂中布置放射性砂的方法也是各种各样的（挖15—20厘米深的浅坑，放射性砂与天然砂相攪混或直接把放射性砂撒在地表上）。把放射

性砂布置在研究地区以后，就要用 γ -射线计算器来系统的观测砂的吹扬作用。为此，我们可以采用普查放射性金属矿工作中所用的标准的幅射计（ПН-1, СГ-12等）。然后根据在放射性砂附近测量 γ -放射性的结果绘制出放射性物质的扩散晕图，把该图与风向、风力加以对比之后，不仅可以求出吹扬作用和搬运作用的性质，同时也可明确它们的数量特征。

原有的或所谓的 γ -射线平均强度是必不可少的一项原始资料，我们一定要在向地表上放入放射性砂之前把它测定出来。此外，还要测定在放砂以后该面积上的 γ -放射性。

解释扩散晕图并根据所得资料绘制出 γ -放射性与各样品中（采自地表各点）天然砂和放射性砂的对比数量的关系曲线。在进行上述观测的同时还要观测搬运营力和影响搬运效果的因素，也就是要观测风向、风力、温度和砂的湿度以及大气降水的特点和强度。如果放射性砂全被吹扬，则可反复地进行试验，以便详细的阐明某一因素对砂的吹扬速度所发生的影响。

利用这种方法也可以研究土壤侵蚀作用的强度和斜坡上及岸边上风化松散岩石的破坏强度。在研究这种侵蚀作用时须选择一个小型的汇水盆地并要在该盆地内有一个封闭的水洼地，以便能够计算水流所携带的物质数量。研究方法与研究砂的吹扬作用一样，把一份放射性物质放在各地形单元上和能够说明土壤破坏阶段及种类的地段上（耕田、荒闲地、牧场等等）。在这种情况下研究放射性同位素的迁移途径是相当简单的，因为这时的物质搬运（其中也包括放射性物质）是由水流沿着流径路途来进行的。

侵蚀作用强度的数量估计（尤其是在小型汇水面积地段上）也被简化。对 γ -放射性变化的观测一般是在降水时用野

外輻射計進行。在觀測季節或觀測週期結束時，要測量水域中沖積物的平均 γ -放射性，以便鑑定流入到水域中的放射性元素的数量。把放在土壤中的放射性元素的損失量與流入到水域中放射性元素量加以對比，便可以求出一些計算資料。當然這種可能性並不是永遠存在的，大概只有在放入到土壤中的放射性元素具有很高的放射性，放射時間也很長，而放射性元素的搬運距離又很短的情況才有可能。需要指出的是，在侵蝕作用中，除物質的機械搬運外，鹽份的溶解因素和淋濾因素也有着很大的意義，但是由於溶解因素的複雜性，而使得在這種方法中幾乎不可能加以考慮。這種情況就使得這種調查方法和對侵蝕因素的評定受到了限制。

在研究大河边岸的冲刷作用或水庫边岸的塌方作用及調查沖沟的发展時，也可以採用放射性同位素。在這種情況下也需要向被冲刷的岩石中放入放射性同位素，而在冲刷過程中，放射性同位素的遷移，則可利用這方面的現有儀器來調查。在岩石中放置放射性同位素的方法和地點則決定於所研究基土的特點和边岸的形狀，也就是決定於冲刷作用本身的強度。

如果我們所研究的边岸是由砂質岩石和粘土質岩石構成的，則可以利用向這些岩石中注入或壓入含有放射性元素泥漿（通過鑽孔）的方法，使某一地段岩石中的放射性顯著提高。在這種方法中，根據泥漿礦物顆粒的大小，對泥漿的成分要進行專門的選擇，使這種泥漿的機械成分與這裡岩石的機械成分相同。在堅硬岩石中顯然要安設一些特殊的鑽孔并用含有放射性原素的混凝土溶液或水泥把鑽孔填充起來。因為放射性元素是放在鑽孔中，所以我們要根据冲刷边岸的破坏高度和边岸低部冲刷的強度來選擇鑽孔的位置。布置在

岩石中的放射性泥浆（或水泥）将在被破坏边岸的各个部位中形成一个固定的放射性底衬。

当放射性岩石部分受到冲刷和破坏时，在边岸的各断裂点上，整个的底衬便要发生变化，而这种变化的本质便证明了边岸岩石的破坏程度。此外，由于硬質岩中放射性混凝土柱破坏后形成的一些混凝土块及压入到岩石中的放射性泥浆颗粒，落入到边岸的冲积土中，而引起冲积土的放射性的变化，也是一个很好的标志。放射性泥浆的进一步的迁移途径，则将说明岩石的破坏作用及破坏作用的最后阶段——岩石破坏产物的搬运和沉积。

此外，为了防止冲刷作用而拟定最有效的措施时，一般都要研究边岸的破坏作用，这也是必须追踪破坏岩石迁移途径的原因之一。所有的防冲刷措施，概括起来说就是要造成一个一定的条件来保证冲积物在破坏边岸的附近堆积起来。因此，在研究边岸冲刷作用的同时，还要研究边岸附近的物质迁移作用，也就是要研究这些物质的搬运途径和沉积地点。

由于试验工作的规模不同，冲刷强度和其它一些具体条件的不同，所采用的放射性同位素的性质也将有所差别，但是不管在什么情况下，放射性研究的延续时间一定要满足于整个的观测时间。在实践中，当放射性物质经过数十半衰期以后而仅余下 0.1% 时，则认为放射性物质已经完全分解了。

在外国利用放射性同位素很成功的研究了河床的淤填作用和海滨的冲刷作用。例如，在英国研究捷姆扎河口的淤填运动情况时[40]便利用了钍，其方法是这样的，把玻璃磨成粉末状使其粒度与淤泥的无机颗粒粒度相等然后把钍加入，

这时在反应器中进行照射时，便由于砂活化而活化。把放射性粉末放在河底以后，便可以用 γ -射线计数器（也同样放在河底）来观测标记淤泥的迁移过程。

最初的试验证明，在液体淤泥被冲刷的地方，淤泥所产生的放射性是固定不变的，这就是河床淤填的原因。利用这种方法可以在放入标记原子以10—12天以内来观测淤泥的冲刷作用。

在日本为了在北海道修建托馬科馬依斯克工业港也曾对海滨的岸流和底砂的搬运条件也进行了类似的调查[42]。在为这些调查选择同位素时，作者认为放射性同位素一定要满足下列件：

1. 同位素一定是能够深深透过物体的 γ -射线的源泉。
2. γ -射线一定要具有很高的能量，以便在海水中形成一个广大的分布面积。
3. γ -射线流的密度一定要保证高度的敏感性。
4. 放射性同位素的半衰期对进行试验一定是最好的。
5. 所选择的元素一定要象玻璃化学成分一样，可以很容易的而又很准确的鉴定出来。
6. 放射性同位素一定要简而易行的，价钱便宜的。

现在首先研究下列三种同位素是否适用。

Co^{60} （钴）， Ag^{100} （银）和 Zn^{65} （锌）。

钴同位素不能满足第四个条件，因为它的半衰期极大；银的同位素不能满足第五个条件，因为在玻璃中很难鉴定它。虽然锌同位素的 γ -射线流束的密度并不太大，仅占其放射线强度的46%，但是还是选择了并利用了锌的同位素。

锌的放射性同位素（ Zn^{65} ）具有下列性质： β^- 粒子（正电子）能产生0.32兆电子伏或3%放射性， γ -射线产生

11.1兆电子伏，或46%放射性。其它的射线—51%放射性。
单位放射性129毫居里/毫升。

放射性玻璃砂可用下列方法制造。在粉末状的玻璃原料混合物中加入 $ZnCl_2$ 的溶液(含放射性 Zn^{65})使成粥状，加以仔细的搅拌。把该混合物在室温下经过一天使其凝固。而后不断的加热使自由水和结合水蒸发掉。当继续加热时，酸性介质中的 $ZnCl_2$ 便变成 ZnO ， ZnO 便固结成玻璃。

用这种方法制玻璃用的粉末状混合物，其成分如下：

SiO_2 —70克， $NaNO_3$ —1.85克， $CaCO_3$ —19.7克， Pb_3O_4 —2.0克， Na_2CO_3 —24.8克， ZnO —2.0克

把经过处理的材料整在试验杯中，然后再把试验杯放在火爐上的坩埚中。用这种方法制成的玻璃，其比重约为2.63。以后再把这种玻璃磨碎，使其达到我们所需要的粒度。

在进行试验的时候，把放射性玻璃砂装在有活动盖的量筒中。把该量筒放在河底并使其盖向下；把盖撤走，砂便落在河底上。为避免砂粒因为不能全部浸透而浮起，要预先把砂粒浸在肥皂沫中。

然后利用测量放射性的仪器来测量河底的放射性，为此，需要把格依格拉—姆列尔计数器装在不透水的不锈钢管中从船舷上放下。每次填料需要准备1.5升的玻璃粉末。

我们假设：3升的玻璃砂，其有效体积约等于2升。如果我们再假设100毫居里的 Zn^{65} 均匀的分布在2升的砂中，则砂粒的放射性如下：

直径为0.25毫米的砂为0.79mCu

“ 0.11 “ 0.05

第二章 利用放射性同位素研究盐土的

溶解性和淋濾作用

为評定盐土的地基質量而研究盐化土中各种盐份的溶解性和淋濾作用时，常常是很困难的，特别是淋濾試驗常常要花費很長的时间。例如，我們知道 A.E. 奥尔納特斯基[22]，B.A. 普里克郎斯基和 H.A. 奥金納对粘土所做的易溶盐类的試驗室淋濾試驗进行了一个月到六个月。C.C. 莫洛佐夫[17]把細碎的火成岩（花崗岩、玄武岩）和一些矿物放在化学純水中来研究它們的化学成分、物理地質和物理化学性質所发生的变化时，該試驗約进行了15年之久。但是由于水利工程建設的迅速发展，开发生荒地，熟荒地及部分盐地的日益增长的需要，就必须縮短各种調查工作和試驗工作的時間。而放射性同位素或所說的標記原子則对解决这个問題有很大的帮助。

放射性同位素的使用原則是不同的，这要看盐化土中所含的盐类，或岩石中有那些矿物需要研究而定。

如果在矿物中含有一种元素能够在反应堆中的輻射下具有穩定的放射性同位素时（如 S、 BaSO_4 、 CaF_2 、 AgNO_3 等等），則研究这种矿物时可采用下面的方法。首先利用在反应堆中輻射样品的的方法，把所要研究矿物（或盐类）当中的一种元素使具有人工放射性。在輻射之后便可以利用样品进行淋濾速度試驗，其方法是測定濾管中或冲洗样品溶液的放射性的变化。当矿物进行溶解时，放射性同位素将不可避免的

溶入到溶液中，这时我們根据溶液中放射性同位素的浓度便可以該作用的数量特征。而溶液中放射性物質的浓度可利用現有的放射性測定仪来測定。

对土中的各可溶盐类也可以利用这种在反应堆中輻射样品的方法来研究淋濾作用。但是在这种情况下进行輻射时是样品中的数种元素具有了放射性，这样便可以根据元素的总溶解度較迅速的求出土中盐份的总溶解度。

在濾管中把各元素分离单独地来計算每一个盐份的溶解性是没有什麼益处的。当然，利用半衰期的不同，也就是利用不稳定放射性元素的消失時間的不同或利用放射光譜的不同是可以把濾管中的放射性同位素分离开的。

但是利用这种方法常常是不能把我們所要研究的盐类全部分离开，因此，最好是采用其它的方法，即向土中混以預先配制好的，化学成分与土中所含的盐份相同的放射性盐份。这时則需要把放射性盐份分別地放入到各种样品中去，并根据它們在濾管中的放射性来研究溶解性。盐份的活化可采用在反应堆中的輻射方法或利用放射性同位素加以人工配制的方法来进行。

属于这种放射性同位素的有放射鈉 (Na^{22})，其半衰期为2.6年，硫 (S^{35})，半衰期为87.1天，鈉 (Na^{24})，半衰期为15.1小时。

此外，还可以利用氯的放射性同位素 (Cl^{36})，其半衰期极大为 4.1×10^5 年。