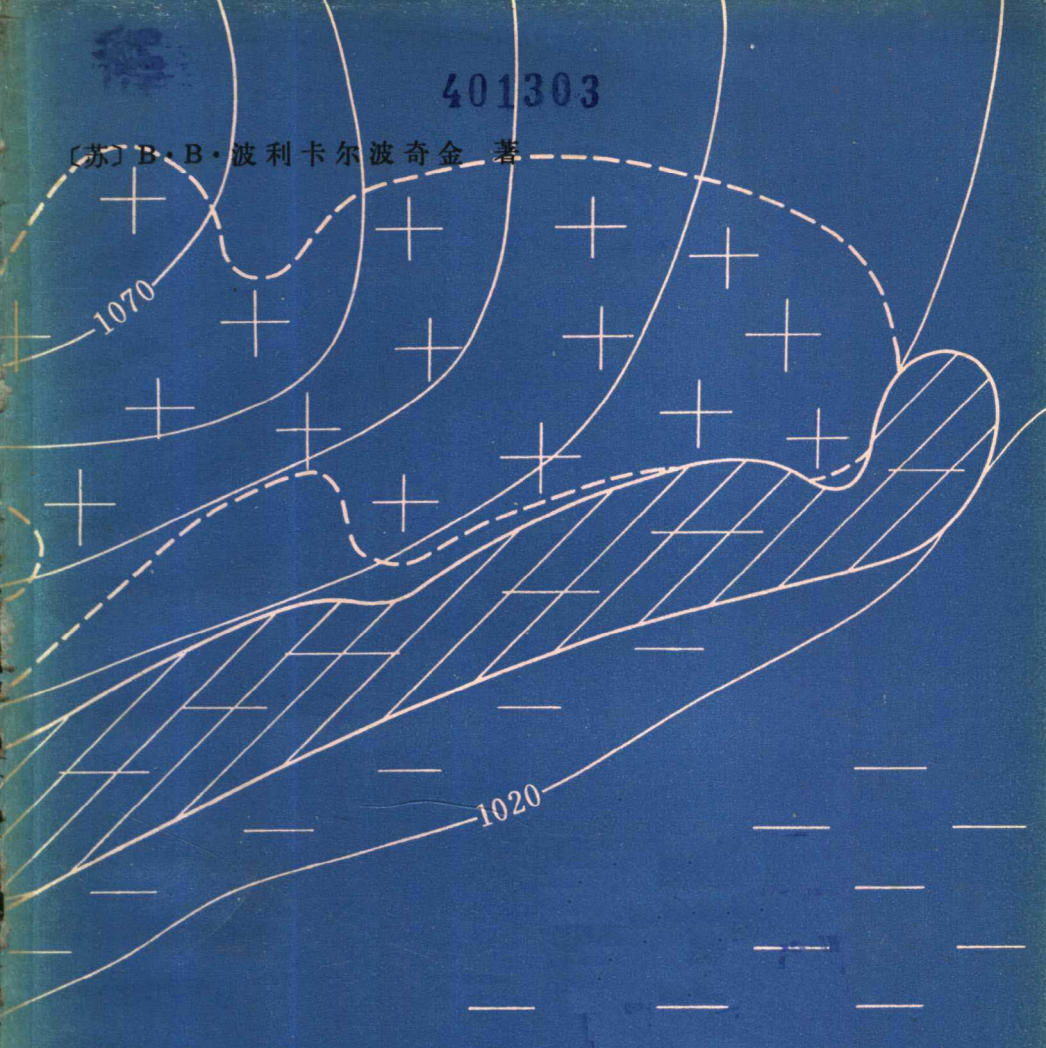


401303

[苏] B·B·波利卡尔波奇金 著



次生分散暈和分散流

地 質 出 版 社

次生分散晕和分散流

[苏]B.B.波利卡尔波奇金 著

吴传璧 邱郁文 译

李 濂 清 校

地质出版社

本书提要

本书叙述了有关各种自然地带的矿床的分散晕和分散流的实际资料，提出了它们的理论问题；评述了利用分散晕和分散流的地球化学普查工作的应用经验，论证了方法；提出了分类，说明了各种类型的分散晕和分散流以及它们的形成过程。

本书可供从事矿床普查勘探工作的地球化学工作者参考。

В. В. Поликарпочкин
ВТОРИЧНЫЕ
ОРЕОЛЫ
И ПОТОКИ
РАССЕЯНИЯ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск 1976

次生分散晕和分散流

[苏]В. В. 波利卡尔波奇金 著

吴传璧 邱郁文 译

李濂清 校

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

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: $13^{3/16}$ · 字数: 349,000

1981年3月北京第一版·1981年3月北京第一次印刷

印数1—2,180册·定价2.50元

统一书号: 15038·新595

前 言

在矿床的普查和勘探过程中，应用着多种多样的地球化学方法。其中，以矿床有益组分在表生作用带中的分散作用为依据的一些方法，是最先出现并开始实际应用的。在广阔的地区内，曾经进行过并且继续进行着所谓的金属量测量（岩石化学测量），这种测量的目的在于查明在疏松盖层中形成与矿床有关的分散晕的那些化学元素的偏高含量。然后，在有晕地段内安排工作，以发现和揭露原生矿体。同时，在利用天然水、气体、植物和有机物质中的分散晕进行普查方面，也积累了不少经验。

近十五至二十年内，分散流普查起了很大的作用。这种普查的实质在于查明远距离搬运（通过河流、冰川、风等）路途上的矿床特征元素的偏高浓度。分散流普查主要是在普查工作的最初阶段使用，帮助划分和圈定远景区。在苏联，人们认为在可以形成分散流的所有地区都必须采用这种方法。这一方法在其他国家也被广泛运用。

毫无疑问，以物质在表生作用带中的分散作用为依据的普查方法，今后仍将起作用。这些方法的正确运用和进一步完善，将大大提高普查工作的总的效果。为此，与分散晕、分散流及其形成过程有关的概念体系的发展是非常重要的。化学元素在地壳中的分布和迁移的学说（作为地球化学的研究课题），是地球化学普查方法的理论基础。B. И. 维尔纳茨基、A. E. 费尔斯曼、B. M. 戈尔德施密特和A. П. 维诺格拉多夫曾经指出了利用地球化学规律性来普查矿床的各方面问题。H. И. 萨弗罗诺夫的著作^[209, 212]在发展地球化学普查方法方面曾起过很大的作用。H. И. 萨弗罗诺夫在阿尔泰矿区最先应用金属量测量，这种方法起初是作为筛选地球物理异常和确定矿致异常的一种辅助手段。后来，金属

量测量成了具有广泛内容的独立任务。С. Д. 米列尔、H. H. 索切瓦诺夫和А. П. 索洛夫夫^[237]在发展金属量测量方面做了许多工作，而Е. А. 谢尔格耶夫^[218]则在地球化学普查的其他方面做了许多工作。最初的一些分散流工作是由 Е. А. 谢尔格耶夫^[219]和H. B. 克瓦什涅夫斯卡娅^[97]做的。然后，在苏联和国外，大量开展了类似的研究工作，使现在的分散流普查具有很大的普遍性。

这本著作是作者本人多年研究工作的一个总结。这些研究工作是1956年在全苏勘探方法和技术科学研究所开始的，而从1961年起则在苏联科学院西伯利亚分院地球化学研究所进行。研究工作主要是在外贝加尔东部地区进行，但由于很注意研究理论问题，所以外贝加尔地区的研究对象只是作为标准的自然对象来对待的，因而可根据它们对分散晕和分散流作一般性的描述。研究结果曾在一些单篇文章^[174-188, 213-215]中发表过。

除了作者本人的资料外，还广泛引用了分散在大量文献中的从事地球化学普查方法的其他研究人员和实际工作人员的资料。对一些种类的盐晕、气体晕以及冰川分散流和大气分散流所作的描述完全是依据文献资料。本著作所预定的任务是：第一，建立分散晕和分散流的理论；第二，提出关于以这些理论为依据的普查方法应用的实际建议，对分散晕和分散流的形成过程给予很大关注。

目 录

前言

绪论	1
第一章 机械分散晕	8
固体物质在斜坡上的位移	8
机械扩散晕	12
土流晕和扩散-土流晕	21
水流对固体物质的搬运和坡积晕	55
各种类型机械晕的地理分带	79
第二章 盐类、气体和生物地球化学分散晕	98
径流及其与其它相的相互作用	98
侧向迁移盐晕	105
上升迁移盐晕	144
生物地球化学晕	151
气体(气体化学)晕	157
次生晕中元素的赋存形式	161
次生晕中元素含量的周期性变化	164
第三章 河流分散流	168
河流、河谷和沉积物	168
河流分散流的补给	172
机械分散流	174
水分散流	246
元素在分散流中的赋存形式及其转变	280
分散流中元素含量的季节变化和动态变化	291
河流的污染和人为分散流	314
径流盆地中的成矿元素的偏高含量	316

第四章 冰川分散流、风成分散流、气圈分散流	320
冰川（冰碛）分散流.....	320
冰水沉积中的分散流.....	323
古冰川作用区的现代河流分散流.....	323
地面风成分散流.....	327
气圈分散流.....	327
第五章 根据次生分散晕和分散流普查矿床的方法	329
河流分散流普查的适用范围.....	329
根据河流分散流的目测和重砂普查法.....	334
河流分散流岩石化学普查.....	336
水化学普查法.....	349
湖泊取样.....	355
分散流测量资料的处理、解释及图示.....	356
向斜坡上追索异常源.....	378
次生分散晕岩石化学普查.....	381
生物地球化学法的应用.....	388
冰川沉积物和风成沉积物覆盖区的地球化学普查.....	389
应用疏松沉积物地球化学取样进行地质填图.....	391
地球化学测量资料在其他方面的应用.....	393
方法试验工作.....	394
参考文献	396

绪 论

在表生作用带内，由于组成矿床的物质被风化并被带到周围空间去，矿床发生破坏。含有从矿床中带出的物质的地段，可划分为分散晕和分散流。与在矿床形成过程中发育起来的原生晕不同，由于矿床破坏而形成的分散晕和分散流，被称为次生晕。

分散晕是与矿层直接有关的矿床特有物质含量偏高的相对局限的地段。在最简单的情况下，晕以放大的形式重现着矿体的形态。在平坦的地区，晕从各个方面围绕着矿体。然而在自然界中斜坡是主要的地形形态，在这里风化产物发生定向搬运，因而必然要遇到在形态和位置上表现出某种程度定向位移的晕。在不少情况下，晕常常延伸到矿床所在位置以下的整段斜坡上。因此，关于晕的局限性的概念是相对的。晕的分布区域限制在当地的斜坡上，在斜坡范围以外，被搬运的物质便进入另外的一些作用的范围以内。

在来自陆地的固态、液态和气态物质流的路途中被分散物质含量偏高的地段，叫做分散流^[237]。这种流是通过河流、冰川和流动的大气（风）对物质的搬运而产生的。从各种斜坡上带来的风化产物都参加了这种搬运，而搬运的距离要比晕大得多。在分散流中，几乎总是极其明显地表现出沿搬运方向延伸。分散流一般都是些沿搬运方向分布的或宽或窄的条带或者扇面。

研究得较好的是金属矿床的分散晕和分散流。但也存在着与其它矿床以及岩石有关的分散晕和分散流，它们与前者的区别仅在于物质成分的化学性质和物理性质不同。产于另一种化学成分和矿物成分的岩石范围内的任何地质体，都可能产生分散晕和分散流。如果岩石都是一样的，那么物质的分散就不会发生，分散晕和分散流的概念就失去意义。但是这种情况是比较罕有的。

在研究区内一般都分布有不同成分的岩石。对于应用地球化学来说，由这些成分不同的岩石形成的分散晕和分散流不是无关紧要的。在解释使矿床的分散晕和分散流得以显现出来的背景时，必须考虑到由岩石生成的分散流和分散晕。同时它们也可作为地质填图的依据。

晕的第一个分类法是由H. И. 萨弗罗诺夫提出的^[209]。他把晕分为机械晕、盐晕和气晕。B. И. 克拉斯尼科夫提出的晕的分类法^[123]，把晕分为岩石晕、水晕、气体晕和生物地球化学晕。A. П. 索洛夫夫把分散场划分为晕和流^[237]。这些原则现在还广泛被采用。

但在上述各种分类里，分散晕和分散流各自的特征是不同的，因此必须对它们作进一步划分。依分类的目的不同，这种划分可以根据不同的标志。从理论观点来看，成因分类是必要的，它可以通过一定的形成过程来说明被分类对象的相互关系和特点。Ю. B. 沙尔科夫^[284]第一个作了详细成因分类的尝试，但它只涉及到岩石化学晕，而没有考虑所有各种各样的成晕作用过程。本书采用了下列根据成因原则制定的比较完整的分散晕和分散流分类法。

I 分散晕

A. 岩石化学分散晕

1. 机械分散晕：

(1) 扩散分散晕；

(2) 重力分散晕：土流分散晕和扩散-土流分散晕(包括其变种泥流分散晕)，崩塌分散晕和山麓堆积分散晕，滑坡分散晕；

(3) 流成(Флювиальные)分散晕(坡积分散晕)；

(4) 潜蚀分散晕；

(5) 海洋和湖泊分散晕(拍岸浪分散晕)。

2. 盐分散晕：

(1) 上升迁移盐晕：扩散分散晕和喷发分散晕，毛细管分散晕和毛细管-蒸腾分散晕；

(2) 下降和侧向迁移盐晕: 下降分散晕——包气带和胶结带的晕, 侧向分散晕——地下含水层和壤中径流的晕。

B. 水化学分散晕 (水分散晕)

(1) 上升迁移——扩散分散晕和毛细管分散晕;

(2) 下降迁移——包气带的晕;

(3) 侧向迁移——地下含水层和地表面状径流的分散晕。

B. 气体化学分散晕——地下气圈和壤中气的分散晕

Г. 生物地球化学分散晕

(1) 植物地球化学分散晕;

(2) 动物地球化学分散晕;

(3) 土壤地球化学分散晕;

(4) 泥炭地球化学分散晕。

II 分散流

A. 岩石化学分散流

1. 机械分散流:

(1) 河流分散流;

(2) 冰川分散流;

(3) 风成分散流;

(4) 海洋和湖泊分散流 (与海流和湖流有关的)。

2. 盐分散流:

(1) 河流分散流;

(2) 海洋和湖泊分散流。

B. 水化学分散流 (河流分散流, 海洋和湖泊分散流)

B. 气体化学分散流 (地上气圈的分散流)

(1) 气体分散流;

(2) 微尘分散流。

这个分类法的基础, 是分散晕和分散流借以发育的介质, 其次是参与其形成的作用。分类的类别以下述方式确定。根据第一个标志 (介质), 把分散晕和分散流系列划分成类: 岩石化学类、水化学类、气体化学类和生物地球化学类。岩石化学分散晕和分

散流又分为亚类：通过固相物质的搬运而形成的机械分散亚类和借助液相和气相外来物生成的盐分散亚类。在每一种介质中，依物质发生搬运的物相不同，分散晕和分散流显然应该具有自己独特的性质。进一步根据作用的类别，按照这些类别划分出分散晕和分散流的组，然后根据单个作用再相应地划分出分散晕和分散流的种。可以采用型这个术语作为种的同义语。分类中未列入的进一步细分在下面再作说明。

按照上述原则，陆地的机械分散晕根据其形成的主要作用分成扩散晕、重力晕和流成晕。扩散晕是由于碎屑在疏松沉积物中的无序扩散而形成的；重力晕是岩块和碎屑在重力作用下，通过自然发生的、基本上没有外来运载介质参与的运动而形成的；流成晕是通过外来流动介质的搬运而形成的。在重力晕组内，根据单个作用可分为崩塌晕、山麓堆积晕、滑坡晕和土流晕。同时，既然在疏松物质自然发生的缓慢运动（土流作用）之上通常迭加着十分明显的扩散作用，还可分出一种扩散-土流分散晕。泥石流晕是一种特殊的分散晕，它的特点是疏松物质运动得比较快，而运动层的厚度一般较小。流成晕是在面流冲刷作用下由造成坡积物的坡面水流形成的。

陆地机械分散流分为河流的、风成的和冰川的。这种划分取决于它们形成作用的不同。同时，由于它们有一系列共同特点，被归入一个亚类。

机械分散晕和分散流也可以在海洋和湖泊沉积物中产生。海洋和湖泊机械分散晕形成于有矿床破坏作用发生的拍岸浪带，因此也可以把它们称为拍岸浪晕。海洋和湖泊沉积物中的分散流是由海（湖）流对物质的搬运所产生的，而且物质可能是依靠拍岸浪带矿床的破坏或者河流对矿体物质的搬运来补给的。

把机械分散晕和分散流进一步细分成不同的种，正如 B. И. 克拉斯尼科夫提出的那样^[123]，可以根据粒度成分来进行划分。从而可以分出粗粒碎屑的、重砂的和细粒的分散晕及分散流。粒度不等的碎屑分散晕和分散流的形成过程，在其基本特点是相

似的，但它们的参数却有很大差别。它们出露的方式也有不同。对于流成作用来说，区分出重砂分散晕和重砂分散流是有意义的；对于河流、冰川分散流和各种分散晕来说，区分出粗粒分散流和分散晕是有意义的。

无论是呈固相的（岩石化学的）还是呈液相的（水化学的）盐分散晕，都应该按迁移方向来划分——上升的或者下降的和侧向的。参与晕的形成的作用，在这些方向上是有差别的。在上升迁移的情况下，物质的搬运是通过液相和气相的扩散、气体的渗透（扩散）和毛细管上升等途径发生的。毛细管上升有时和地表和近地表的液体蒸发作用连通起来，或者由于植物对水的蒸腾作用而得到加强。下降和侧向迁移的晕，是由水的渗透作用产生的。下降晕可在包气带的不同层位上形成（在与饱水带的界面上可以发生成矿物质的次生富集，并形成胶结带）。侧向晕与地下含水层和坡面水流有关。对于以上三种晕来说，它们出露的方式也不相同，要用不同的方式来解释取样资料。盐分散流分为河流的和与海流和湖流有关的两种。

当气相的分散出现于地下气圈和壤中气中时，将其列为分散晕；当气相的分散出现于流动性很大的地上气圈时，则将其列为分散流。在地上气圈中，可区分出物质以气态存在的气体分散流和由大气圈中悬浮固态质点形成的微尘分散流。微尘分散流和风成机械分散晕之间可能有连带关系，后者也是大气圈的产物，不过它是以沉积物状态存在的。

生物地球化学晕的划分，是基于有机物所属的动物界或植物界，以及有晕出现的有机堆积物（土壤和泥炭）的特点。生物地球化学晕的产生，服从于活生物吸收矿物质的规律和生物死后机体分解时矿物质性状的规律。生物地球化学分散流不再细分。在各种分散流的地段内，生物体和生命活动产物中元素的偏高浓度，只是各种分散流总的反映，而不是各自独立的产物。

在本书中，对分类中划分出的大部分分散晕和分散流，依其拥有的实际资料和相应对象的不同实用意义，作详细程度不一的

研究。对生物地球化学晕的描述是简要的，只介绍对于理解它们的形成和主要特征所必要的内容。在专论生物地球化学普查法的著作中^[147,183,251]，有对生物地球化学分散晕的一般性叙述，本书增补了确定这类晕在相互有关的各种晕的系统中的位置的内容。对于研究得较差的分散晕和分散流——上升和下降迁移的盐晕、风成分散流，只是概括地进行描述，而且很大程度上是以它们的生成机制概念得出的见解为基础进行描述的。对崩塌晕、山麓堆积晕和滑坡晕就不描述了，因为它们几乎完全未被研究过。关于气体化学分散流的资料很少，对它们的研究只在不久前才开始。海洋分散晕和分散流没涉及到，对它们的研究和实际应用是一个专门的课题。在本书中主要注意的是斜坡和分水岭疏松盖层中的分散晕和河流分散流（岩石化学和水化学的分散晕和分散流）。根据一些文献资料简单叙述一下冰川分散流。

分散晕和分散流的理论，首先应该说明由矿床破坏而产生的物质的空间分布状况，因为这正是普查和勘探所需要的资料。为此我们采用了数学模型。我们研究了大量的模型，不过远非所有各种分散晕和分散流都能用相应的模型来表示。我们力求采用考虑到影响分散晕和分散流形成的最主要作用和因素的最简单的模型，而且，为了避免使用过于复杂的数学方法并可得到模拟方程的最终解，我们对上述模型作了重大的补充简化。所采用的这种形式的模型，凡具有地质院校教科书中数学基础知识的人，都可以充分理解它的细节。采用数学模型，对于解决我们面临的类似问题是极其有益的。除了一般地说明作用的特点和定量描述由这些作用形成的对象以外，还可以从中得到一系列不采用数学形式的逻辑推理所不可能得出的结论。

分散晕和分散流的野外研究资料，是工作的第二个（实际的）基础。这些资料可以被用来对自然界出现的分散晕和分散流作概括的描述，同时它们也是验证理论正确与否的依据。

在本书中，概括地叙述了用数学模型或以实际资料为依据的分散晕和分散流形成作用的特点和对象本身的特点。具体的化学

反应和各种元素不同的物理化学作用一般不予研究。涉及个别元素分散晕和分散流的例子，主要是为了说明一般规律而引用的。但是对分散晕和分散流总体有代表性的反应和作用，仍给予了应有的注意。在一系列手册和专著^[56, 141, 207, 250, 291, 295, 296]中已介绍过的元素在表生带迁移的因素，我们想读者都已了解。

最后，我们对矿床普查和勘探中次生晕和分散流的应用问题进行了分析。由于本书相应的章节不是方法手册或指南，其中只提到在实践中应该遵循的基本原则，以及地球化学工作最重要的原理。

总之，我们力图保证理论、实际资料和实践运用之间的统一和相互联系，这对于既有实践方向又有理论依据的著作来说，是理所当然的。

第一章 机械分散晕

在前面,次生分散晕是作为斜坡的特有产物来定义的。因此,在说明晕的特征之前,必须研究在斜坡上发生的作用。

固体物质在斜坡上的位移

地球的地形以斜坡为主。

斜坡是相对于水平面有某种倾斜的地形区段。倾斜角可以是各种各样的——从非常小到九十度,以及呈相反方向的高耸峭壁。倾斜角等于零的是水平的区段。在斜坡的不同地段上都会碰到一些水平区段,但对于斜坡来说,这不是特征的。在分水岭上,水平区段发育得较广。但是分水岭往往表现为狭窄的山脊或平脊,从分水线开始就向两侧沟谷倾斜。在准平原化的分水岭上常遇到水平区段,它们是残存的古剥蚀面。但这里通常也有倾斜,尽管倾斜角很小,而且倾斜区段比水平区段分布得更广一些。

斜坡不是僵化不变的地形形态。随着时间的流逝,它们遭受着剥蚀,这可以从斜坡的高程逐渐降低,或平行于自身向后退而反映出来。产在斜坡上的矿体与岩石一起遭受剥蚀,两者的物质都被从原生地质体产出的位置上搬运开去。依我们的观点来看,这种作用的实质可归结如下。

在物理和化学风化作用下,岩石和矿石被破碎为碎屑和小颗粒,并由此形成疏松物质。一部分组分被地下水和坡面流水以溶解状态带走。疏松风化产物最重要的特性,就是它们具有在不同营力作用下以各种形式实现迁移的能力。

斜坡上疏松物质的厚度和斜坡的形态与风化作用和搬运作用的相对强度有依赖关系^[327]。如果搬运作用占优势,风化产物就

被迅速地搬走，并形成没有或几乎没有松散盖层的斜坡。在这种情况下，风化作用是剥蚀作用的限制因素，而斜坡的形态则主要取决于岩石的性质及其抗风化的能力。这种情况下就形成强烈切割并具有由较坚硬岩石组成的山崖和峰顶的斜坡。在搬运缓慢而风化强烈的情况下，松散物质不会被全部带走，形成厚度不等的盖层。在这种条件下，剥蚀作用由于搬运缓慢而受到遏制，斜坡的形态特点与疏松产物之下的基岩性质无关或关系不大。

风化作用对现今地表的影响是最大的。由风化形成的松散物质盖层，保护岩石不受进一步风化，而且松散盖层的厚度越大，它的保护作用也就越强。归根到底，这将导致在风化和搬运之间建立一种平衡，即经风化作用后组成疏松盖层的物质数量与从疏松盖层中搬走的物质数量之间的平衡。与平衡状态相对应则有一定的疏松盖层厚度，因而对每一个地方和每一个斜坡来说，都有其特有的厚度值。

固体物质在斜坡上的位移作用可以分成以下几类：1. 重力运移；2. 流动介质的搬运作用；3. 颗粒在疏松产物中的相互位移。

崩塌作用、山麓堆积作用、滑坡作用和疏松物质沿坡面缓慢向下位移都属于重力运移之类。崩塌作用是或大或小的大块岩石从斜坡上脱落下来，并以自由跌落或沿斜坡滚动的方式迅速位移到坡脚或谷底。脱落的条件是逐渐形成的，崩塌作用并不经常发生，而是周期性出现的。崩塌属于一种灾变现象。山麓堆积是在风化过程中失去平衡的较大岩屑从斜坡上脱落并滚到坡脚而形成的碎石堆。山麓堆积与崩塌作用不同，它在斜坡的不同地点上不断发生，是一种经常发生的作用过程。只要斜坡存在具足够坡度的地段，这种过程便会继续发生。可以造成山麓堆积的斜坡陡度取决于自然倾斜的角度，依岩石性质不同，这个角度也不同，在砂层中为 $27-33^\circ$ ，岩块和碎石物质中变为 45° 甚至 60° [47, 242, 282]。滑坡作用是相当大的岩石块体沿一定的面或一组共轭面的滑动。滑坡通常缓慢地发生，但有时也具有灾变性质。

固体物质在斜坡上的运动，除了上述肉眼可观察到的迅速和

相对迅速的形式以外，还发生缓慢（长期）的位移，它表现为松散物质沿斜坡缓慢地掉下来（在英文文献中，采用“潜移”这个术语来表述这种运动）。它可细分为两类。第一类是疏松盖层，类似于非常粘的液体那样流动。流动速度依赖于土的稠度，而稠度则取决于土的粒度成分和含水量。粗粒土与细粒和微粒土相比，是相对不易流动的。水的作用是减弱颗粒间的结合力，降低松散物质的粘度，从而造成以较大速度流动的条件。在地貌学文献中，采用不同术语来表述松散物质的各种流动（土流、泥流、慢泥流、融冻崩解作用等），但是没有一般性术语能从总体上而不是从它的局部特征上表述这一现象。看来，来源于拉丁语 defluere 的术语土流（дефлюкция）是很合用的，它能很好地表达这类现象的实质。

在常年冻土区，周期性解冻（活动）层含水甚多，流动作用的速度较大，其表现亦明显得多。这种流动作用被称为泥流（或低温泥流）。它既在解冻层内部发生，也沿冻结层界面发生。在季节性冻土区，沿冻结层和解冻层界面或解冻层内部发生的土壤流动现象，与泥流类似，不过其规模较小。

疏松产物沿斜坡向下蠕动，也可能是在温度和含水量一高一低的影响下，由于疏松产物的体积一胀一缩的结果而发生的。针对这种现象提出一个术语“蠕动”（десерпция）^[47、94、208]。当温度高低波动时，组成疏松产物质点的体积就发生变化。如果温度在 0℃ 上下来回波动，包含其中的水反复冻结解冻（复冰现象），这对疏松产物总体积的变化就具有很大意义。在有粘土颗粒和胶体存在时，周期性的反复湿润和干燥也产生类似的作用。

蠕动作用的实质如下。当覆盖斜坡的疏松产物膨胀时，一般情况下是在垂直于山坡的方向上向上胀起，而颗粒也沿此方向向上移动。当体积收缩时，它们又向下移动，但已经不是沿垂直于山坡的方向，而是在重力作用下沿铅垂方向，或者在颗粒间存在内聚力的情况下沿某个中间方向移动。结果，在每一个循环中颗粒都沿斜坡向下作一定位移。在自然界中，温度和湿度按着昼夜