

地质微生物学引论

С. И. 庫茲涅佐夫等著

科学出版社

地质微生物学引论

С. И. 库兹涅佐夫等著

王 修 垣 译

李 桂 如 校

科 学 出 版 社

1 9 6 6

С. И. КУЗНЕЦОВ, М. В. ИВАНОВ,
Н. Н. ЛЯЛИКОВА

ВВЕДЕНИЕ В ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ МИКРОБИОЛОГИЮ

Изд. АН СССР
Москва, 1962

内 容 简 介

地质微生物学是一门新兴的、介乎地质学与微生物学之间的分支学科,国内外已经有不少的短篇论文报告发表。本书是有关这方面问题的理论性概括,内容涉及地质微生物学的各个领域,虽然它所论述的问题并不那么深,但是却都有一定的启发性,可供有关地质工作者和微生物工作者,特别是从事于地质微生物学专业的读者参考。

全书计分十一章:首先,扼要介绍了微生物活动的外界环境条件及其对微生物生命活动的影响,指出了地质微生物学的研究任务、发展方向及工作方法;然后,论述微生物在可燃矿产(煤、石油和天然气等)、硫矿和硫化物矿床的形成与破坏过程中的作用,在表生铁矿形成中的作用,以及其对地下水化学成分的形成和变化的影响;最后,作者提到调整微生物地球化学活动以服务于国民经济建设的若干途径问题,如利用微生物活动以提高油层二次采油率、微生物地球化学勘探、从贫矿石中浸提金属以及如何克服由于微生物活动而引起的有害作用等等。

地质微生物学引论

[苏] С. И. 库兹涅佐夫等著

王 修 垣 译

李 桂 如 校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1966 年 2 月 第 一 版	开本: 850×1168 1/32
1966 年 2 月 第一次印刷	印张: 7 7/16
印数: 0001—1,500	字数: 194,000

统一书号: 13031·2249

本社书号: 3414·13—14

定价: [科七] 1.30 元

目 录

绪论	1
第一章 作为微生物活动的环境特征的地质学的基本概念	4
一、地史学的基本概念	4
二、沉积岩及其形成条件	6
三、岩浆岩的形成	11
1. 岩浆流体	13
2. 变质流体	13
3. 渗滤溶液在金属矿床形成中的作用	14
四、气候对氧化带的形成和硫化物矿二次富集带形成的影响	15
第二章 水文地质学的基本概念	16
一、各种类型水在岩石圈中分布的基本规律	16
二、深层水的盐类成分	17
三、深层水中溶解的有机物质	19
四、地下气体中分子氢的含量	20
五、深层水中的氧化-还原条件	21
六、深层水的温度动态	25
第三章 研究的任务和方法	27
第四章 与岩石圈中细菌发育条件有关的细菌生理学和生态学的一些资料	32
一、温度的影响	32
二、静水压力对微生物发育的影响	36
三、水的盐类成分对微生物发育的影响	39
四、湿度对微生物发育的影响	41

五、微生物的发育取决于溶解的有机物质的浓度	44
第五章 细菌在深层水和沉积岩中的分布	47
一、细菌在油藏中的分布规律	49
二、细菌在沉积岩中的分布规律	54
1. 化石细菌	54
2. 沉积岩中的细菌总数	62
三、个别生理菌群在深层水和岩石中的分布	66
四、微生物在风化程度不同的岩石中的分布及其在 风化过程中的作用	71
第六章 微生物在可燃矿产形成和破坏中的作用	74
一、微生物形成的有机物质的产量	74
二、微生物在组成淤泥的有机物质分解的第一阶段 中的作用	77
三、微生物在泥炭、褐煤和煤的成因中的作用	80
四、微生物在石油和天然气的形成和转化中的作用	84
1. 石油的成因	84
2. 微生物在嫌气条件下石油分解中的作用	87
3. 石油和天然气的好气氧化过程	95
第七章 微生物在硫矿床形成和破坏中的作用	102
一、参予硫矿床成因和破坏的微生物生理学的一些 资料	103
二、硫矿床的主要类型	107
三、同生矿床中硫的形成途径的微生物学资料	108
1. 湖泊水团中硫化氢的氧化和底部沉积中硫的积累	109
2. 由淤泥湖相沉积中硫酸盐还原而得到的硫化氢的氧化 而形成硫	112
四、后生矿床中硫的形成的微生物学资料	116
五、微生物在矿床内硫氧化中的作用	120
第八章 硫化物矿床的生物源氧化	126
一、氧化硫化物的主要微生物——氧化硫铁杆菌	

(<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>)的形态和生理·····	127
1. 形态·····	127
2. 生理·····	129
二、 <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 在自然界中的分布·····	138
三、细菌在煤矿内黄铁矿氧化中的作用·····	140
四、硫化物矿的氧化·····	143
1. 硫化矿物和矿石在实验室条件下的生物源氧化·····	144
2. 影响硫化物矿石在天然条件下氧化的因素·····	153
3. 矿床开采时硫化物矿的生物源氧化·····	156
第九章 微生物在表生铁矿形成中的作用 ·····	166
一、控制地壳中铁的迁移率的地球化学环境·····	166
二、沼铁矿的形成·····	166
三、湖成铁矿的形成·····	169
四、微生物在海盆地内铁矿形成中的作用·····	175
第十章 微生物在地下水化学成分形成中的作用 ·····	179
一、由硫酸盐还原而形成硫化氢·····	180
二、地下水类型的生物源转化·····	183
三、石油层间水中硫酸盐的生物源形成·····	185
四、煤矿和硫化物矿床中酸性水的生物源形成·····	187
第十一章 为服务于国民经济而调整微生物地球化学活	
动的途径 ·····	191
一、试图利用微生物的活动提高二次采油率·····	191
二、油藏和气藏的微生物勘探·····	195
三、与层间水中硫化氢的生物源形成作斗争·····	199
四、前喀尔巴阡硫矿床中硫化氢的形成过程·····	201
五、硫矿石的生物源氧化·····	206
六、 <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 在煤矿内酸性废水形	
成中的作用以及与此现象作斗争·····	207
七、 <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 在煤脱硫中的作用·····	209
八、应用 <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 从贫矿石中浸	

提铜.....	209
九、硫化物矿床的微生物勘探.....	213
参考文献	215

緒 論*

在研究地球历史、地壳的形成过程、沉积层的形成过程、岩石的风化过程,以及矿床的形成和破坏过程的时候,研究工作者经常碰到强大的物理力和化学力的作用。

不久以前,只是在碳素循环方面承认了生物在地球历史中的作用。根据现有的统计,在我们的行星上有机物质的年产量达500—1,000亿吨。每年大概也有这样多的有机物质矿化成二氧化碳。假如绿色植物在碳素循环的第一部分——有机物质的形成中起着主要的作用,那末,矿化过程则主要是在生物中具有最高生物化学活性的、也是在自然界中分布最广的微生物的影响下发生的。

但是,微生物在自然界的活动不仅仅局限于有机物质的转化和破坏。从 С. Н. 维诺格拉斯基(Виноградский, 1888)的经典性研究开始到现在,微生物学家研究了许多微生物,它们的生命活动与现成的有机物质的存在并没有关系。

这些所谓化能自养微生物能够利用无机化合物,如分子氢、甲烷、氮、硫和铁的还原态化合物等的氧化反应的能量而发育。

对于认识地球上地球化学过程的历史具有特殊意义的是嫌气微生物,它们在无氧条件下,既能依靠有机物也能依靠无机物(氢、硫化氢)而发育。看来,这样的微生物才是地球上生命的始祖,因为在生命发展的最初阶段,地球上没有氧气(图1)。

但是,关于生命的最初类型的问题,由于没有足够的实际材料,现在不可能更加详细地讨论,况且它也不是普通微生物学最年轻的分支学科之一——地质微生物学的研究对象。地质微生物学

* 本书原有一序,与书中内容无密切关系,故略去。——译者注

实质上是一门实验科学,它研究在蓄水盆地的现代沉积中,在沉积岩和火成岩中循环的地下水中,以及在风化壳中发生的现代微生物过程。此外,参加现代地球化学过程的特殊微生物的生理学研究,也属于这门科学的研究范围。

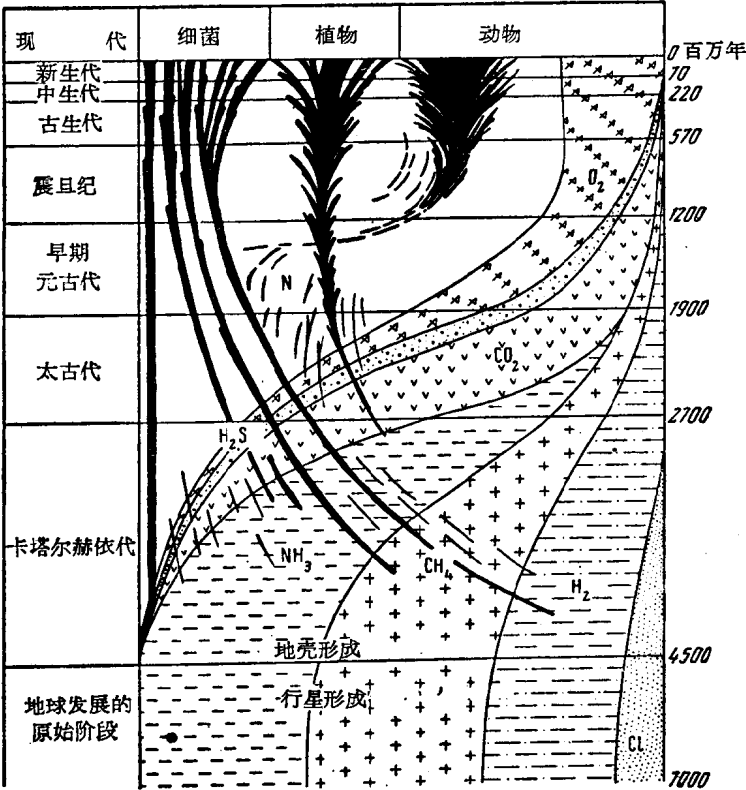


图 1 地球上环境和生命的进化
(据 Вологдин)

对现在在沉积起源、成岩作用和岩石变质作用的不同阶段所观察到的微生物生命活动的研究,与沉积岩的古地理分析和古地质时期岩石中微生物及其生命活动产物存在的直接证明相结合,应当回答在过去所发生的微生物地质活动的规模问题(Исаченко,

1951; Кузнецов, 1959a, 1961; Vaas Becking, 1959)。

在结束我们简短的绪论时必须着重指出,作为一门科学,地质微生物学的发展历史是与阐明微生物在各种矿产成因中的作用密切地联系在一起。

关于阐明微生物地质作用方面的工作,是从矿泉和硝石矿的微生物区系的研究开始的(Виноградский)。然后查明了微生物在医疗泥形成中的作用(Надсон, Вериго, Исаченко),并顺便一般地研究了淤泥沉积中的微生物过程(Исаченко, Перфильев, ZoBell, Пельш, Кузнецов)。继之,研究了微生物在铁矿和锰矿形成中的作用(Буткевич, Перфильев, Холодный 等),查明了微生物在油藏中的作用(Bastin, Гинзбург-Карагичева 等)。

所以,这门科学的最一般性的问题,诸如各别微生物群在岩石圈和水圈中的分布,微生物对岩石和地下水中的特殊生存条件的适应以及许多其它问题,一般都是在某种矿床的具体例子上得到解决的。正因为如此,在本书中将主要的实际材料按章节编排,在这些章节中介绍了可燃矿产、硫矿和铁矿等的微生物区系的特征。

主要在矿床中进行的微生物过程的研究,据我们看来,无论从理论观点或从实践出发都是正确的。例如,在硫和铁的化合物富集颇多的地方查明微生物过程在这些化合物形变(видоизменение)中的作用要容易得多,因为正是在这些地方,不仅显露出某些微生物过程存在的基本可能性,而且也显露出这些过程的实际地质规模。

另一方面,正是研究矿产的微生物区系,阐明了微生物过程在矿产形成和破坏中的作用,才使微生物学者和地质学者们有可能为使矿床服务于国民经济建设而积极地干预这些过程。

第 一 章

作为微生物活动的环境特征的 地质学的基本概念

微生物的生命活动及其参加岩石的形成和破坏发生在与气圈和水圈交界的岩石圈的最表层。限制微生物在自然界发育的最重要因素是光、温度、压力、湿度、有机物质和生物成因元素 (биогенный элемент) 的存在、氧化-还原条件以及盐度。

在不同的地质区域内, 如同在年代、岩性、化学成分或粒度成分不同的各种岩石中一样, 对于微生物生命活动的条件可能有极大的区别。

因此, 我们认为必须从地质学中引用某些基本知识, 以便非地质工作者的读者们能够更好地了解参与地质过程的微生物生命活动所处的环境。

一、地史学的基本概念

地球表面受到经常的形变作用, 根据 A. Д. 阿尔汉格尔斯基 (Архангельский) 的意见, 可将它分成地壳活动性表现程度不同的地区。

地壳活动性最大的地区称为地槽区。这里垂直起伏运动的速度和幅度都很大。整个地槽区的隆起和沉降伴随着后期的破碎, 形成各种不同的块段, 它们以极不同的速度并在不同的方向上运动。这样就形成了各个不同的凹地、山脉和褶皱。这里广泛地发育着火山现象并形成喷出岩及侵入岩。如果在地槽区的凹地中形成海盆地, 则其中就发生沉积岩的沉积。以后, 当地壳隆起时, 海水退

表 1. 地质年代表

(据 Б. А. Трофимов, 1954 和 А. Г. Вологдин)

代 (界)	纪 (系)	世 (统)
新 生 代	第四纪或灵生纪	全新世(现代) 更新世(冰期)
	晚第三纪	上新世 中新世
	早第三纪	渐新世 始新世 古新世
中 生 代	白 垩 纪	晚白垩世 早白垩世
	侏 罗 纪	晚侏罗世 中侏罗世 早侏罗世
	三 迭 纪	晚三迭世 中三迭世 早三迭世
古 生 代	二 迭 纪	晚二迭世 早二迭世
	石 炭 纪	晚石炭世 中石炭世 早石炭世
	泥 盆 纪	晚泥盆世 中泥盆世 早泥盆世
	志 留 纪	晚志留世(哥特兰纪) 早志留世(奥陶纪)
	寒 武 纪	晚寒武世 中寒武世 早寒武世
元 古 代	震旦纪 中元古代 早元古代	
太 古 代	未 划 分	
卡 塔 尔 赫 依 代	同 上	

去,该区逐渐变为山区。

苏联地质学家们认为,在老的地质时代,地槽区布满地球整个表面,亦即地壳到处都在活动。以后在地球表面才开始出现了比较稳定的地区——地台,现在地台的面积还在增加着。这里有堆积着厚度不大的沉积岩层。

地壳从地槽区过渡到地台区的发展过程是突变性的,在地球历史中,从古生代开始到现在有三个这样的旋迴:加里东旋迴,包括寒武纪和志留纪的地质时期;海西旋迴——从泥盆纪到二迭纪;阿尔卑斯旋迴——从中生代开始到现代。

在每个旋迴期后,地槽区的大部分失去活动性而变成地台区。引起地壳运动和变形的原因,直到如今仍然是不明了的。

在地表发生过的所有变化,如海和大陆的形成,导致了生物生存的自然地理条件的更替。因此生物界也起了变化。在许多各种各样的化石中,可以分出所谓标准化石,亦即那些在比较短的时间间隔内生活并且在其生存时期有着广泛分布的生物。如 B. A. 瓦尔索诺费耶娃 (Варсонофьева, 1945) 所述,它们生存的时间短,可以把发现它们的沉积层归属于地层历史一定的不长的时间阶段内。

某种化石在一定时期内的广泛分布,给予了对比沉积于彼此相距遥远之地的沉积物的可能性。

与每一个地质时期相适应的,不仅有动物界的,而且也有植物界的一定的生物群(参阅图 19)。大家知道,死亡植物的大量集聚是形成煤、褐煤、泥炭和其它可燃性生物岩的基础。

地质工作者根据研究动植物化石的残体在岩层中的分布,能够将地球的全部地质历史分成六大时期或时代,而每个代又分为若干纪。同样,纪又分为世。

表 1 列出地质年代的基本资料。

二、沉积岩及其形成条件

组成地壳表层的岩石可以分为沉积岩、火成岩和变质岩。沉

积岩的形成主要是在或多或少与现代水域中所有的条件下,在海盆地或淡水盆地中发生的。显然,如果微生物不能参加沉积本身的形成,那末,无论如何它们也可能参加有机物质的分解,这些有机物质是沉积岩在水域中形成时进入其中的。

当然,火成岩的形成根本未曾与微生物的活动有过任何联系,但是这些岩石在出露到地表时,象在地层深处一样,遭受了相当程度的变质作用。微生物现在正在参加火成岩类的风化作用,它们很可能在以往的地质时期中也参与过这种作用。

特别容易受到风化和氧化的是金属硫化物,如黄铁矿、黄铜矿等。

所以,下面就简短地评述沉积岩和岩浆岩的形成条件,以及造矿流体和硫化物矿的成因。

沉积岩的形成主要是在蓄水盆地中发生的。微生物可能大批的参与大量有机物质的转化,这些有机物质是许多矿产,如石油和煤的起源。

只有根据现在正在进行的类似过程的研究,才能作出关于微生物参与矿产围岩的成因的结论。

与沉积岩形成有关的问题在 Н. М. 斯特拉霍夫 (Страхов, 1960) 的名著中有过详细的研究。

在研究该矿床的地层时,可以大致确定这些过程曾在何时进行。在研究围岩或“沉积相”的岩石成分时,可以在一定程度上确定当时存在的外界条件。根据赫胥黎的意见,相是一种沉积物(岩石),在它的整个延长带中具有同样的岩石成分并含有相同的动物区系和植物区系。

Д. В. 纳利夫金(Наливкин, 1956)详细地研究过海相沉积的各个相的形成条件。纳利夫金在分析现代海相和陆相沉积物的形成时将它们分成各个相,并且举出了许多蓄水盆地重塑的例子,在这些蓄水盆地中可能在古代有过类似沉积物的沉积。他按海相沉积物的成因将其形成的整个地区分为三带:

(1) 滨海带,深度从 0 到 400 米;

(2) 大陆斜坡沉积带, 深度从 200 到 3,000 米。这两个区域处于陆源搬运的很大影响之下;

(3) 世界大洋沉积带。

表 2 是 J. 默里和 A. F. 雷纳尔 (Murray a. Renard, 1891) 的海相沉积分类方案。

表 2. 海相沉积的分类方案

沉积形成的蓄水盆地深度(米)	按岩石成分而区分的沉积类型	沉积的成因类型 (据 Murray)	形成地区 (据 Наливкин)
涨潮和退潮带	岩 石 卵 石 砂 淤 泥	陆源成因的浅海相沉积	海岸
0—200	卵 石 砂 泥 淤 泥 石 灰 岩 苦盐泻湖沉积	陆源和化学成因的浅海相沉积	海岸区
200—3,000	浅蓝色淤泥 蓝色淤泥 红色淤泥 绿色淤泥 火山淤泥 珊瑚淤泥	陆源成因的深海相沉积	大陆斜坡区
3,000—10,000	红色深水粘土 放射虫淤泥 硅藻淤泥 抱球虫淤泥 翼足类淤泥	远海沉积	世界大洋沉积区

随着深度的增加, 在滨海带中发生着一个相为另一个相有规律的代替。在海岸带附近先是砂带, 有些地方有卵石。在流速超过 1 米/秒的地方, 砂堆积起来。更深处为粉砂带, 或者是粒度为 0.05—0.01 毫米的砂带。此带又称为粘土质砂带。再深一些是最宽阔的淤泥沉积带。在远离海岸处, 陆源物质的搬运减少, 淤泥富

含石灰岩而变成强石灰质淤泥。这样的淤泥在经过石化,就是泥灰岩或粘土质石灰岩。在海深不超过 60—80 米、且光线尚能达到的一些地形增高之处,可能发育着石灰质的藻类和苔藓类。

在滨海区,由于隔绝可能产生独特的水域。它们不同于外海的主要特征在于水的盐度是偏低或偏高。

大洋中水的盐度到处都极稳定,大约等于 3.5%。盐度的微小变化就足以使生存于海中的生物组成发生明显的变化。盐度的变化在独特的水域中特别容易发生,这种变化或取决于大量河流淡水的注入,或者相反,在没有入口河的情况下,则取决于水的强烈蒸发。水的强烈蒸发引起盐含量增高的苦盐水域的形成。盐类的化学分异作用在苦盐泻湖内矿物沉积的形成中具有首要的意义。纳利夫金(1956)写道,当水的盐度提高和水的比重为 1.05 时,碳酸盐类,石灰岩、白云岩化灰岩和白云岩在泻湖中首先开始沉淀。当海水比重提高到 1.12—1.20 时,硬石膏开始沉淀;接着,当水的比重为 1.21—1.26 时,硬石膏和石盐同时沉淀出来。最后,当比重提高到 1.23—1.31 时纯石盐沉淀。在冬季,当温度降低时,在同样的比重下发生硫酸镁的沉淀。这种盐类沉积成单个的夹层。兹以斯特拉霍夫(1960)的示意图说明这些规律性(图 2)。

泻湖中沉积的石灰岩与白云岩具有化学成因,并且根据动物区系的缺失而易于同外海的石灰岩区别。

海盆地距海岸较远的、深度至 2,000 米的地区尚受陆源搬运的影响,这些地区可能以下面几个相为特征:

1. 深海相砂,位于底水流强烈的区域,例如沿挪威海岸 800 米深处。

2. 蓝色或浅蓝色淤泥。这是分布最广的大陆斜坡沉积类型。这里石灰少,有黄铁矿混合物。淤泥的颜色取决于硫酸盐还原过程中形成的硫化铁的存在。

3. 红色淤泥,它的颜色与大量的红土岩的河流搬运物有关。

4. 绿色砂,带有绿泥石颗粒,有 50% 由生物残骸组成。

5. 石灰质砂,在含石灰达 85% 的珊瑚礁发育的地区遇到。

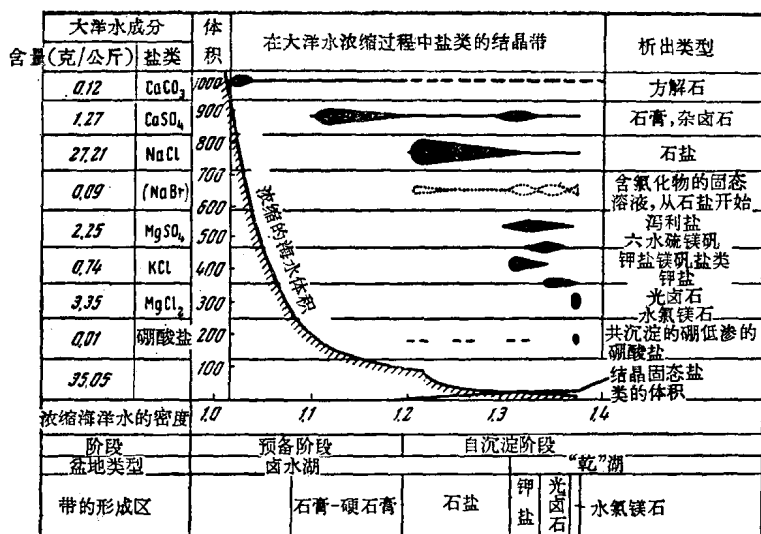


图 2 盐类在大洋水浓缩过程中的沉淀顺序
(据 Страхов, 1960)

大洋的沉积物述于表 3。

古代的深海淤泥现在只在西印度群岛和印度尼西亚诸岛发现。这可能与这些沉积物在 1000 年内的沉积速度不超过 0.25—0.9 厘米有关。关于深海沉积的研究工作的综合报导可以在 C. B. 布鲁耶维奇(Бруевич, 1949)的著作中看到。

表 3. 世界大洋深海淤泥的化学成分(占干淤泥重量的百分数)

(据 Д. В. Наливкин, 1956)

淤 泥	不溶解的沉积物				碳 酸 钙			
	总数	其 中 有			总数	其 中 有		
		硅质有 机体	矿物粒	淤泥		浮游生 物型	海底生 物型	其它 生物
抱球虫淤泥	35.53	1.64	3.23	30.56	64.47	53.1	2.13	9.24
红色深海粘土	93.3	2.39	5.56	85.35	6.7	4.77	0.59	1.34
放射虫淤泥(深 度超过 5,500 米)	95.99	54.44	1.67	39.88	4.0	3.11	0.11	0.79