

5934

金属量测量的 理论和实践基础

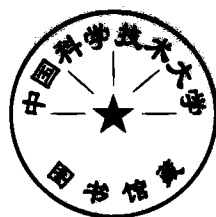
〔苏联〕A·II·索洛沃夫 著

中国工业出版社

金属量测量的 理论和实践基础

〔苏联〕 A. П. 索洛沃夫 著

阮天健 林名章 吴荣祥 译



中国工业出版社

本书阐述了普查金属量测量的地质和地球化学基础，详细探讨了方法的理论和实践。在某些问题上，提出了以物理数学方法解决的可能性。本书是作者20年野外实际工作经验的总结，可供我国从事金属量测量的同志们参考。

本书前言、绪论及第一章由吴荣祥同志译出，第二章由阮天健同志译出，第三章由林名章同志译出；全书由林名章、阮天健同志校对。

А. П. Соловов
ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ
МЕТАЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ СЪЕМОК
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР
АЛМА-АТА-1959

* * *

金属量测量的理论和实践基础

阮天健 林名章 吴荣祥 译

*

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $6 \frac{1}{2}$ ·插页2·字数155,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—2,650·定价（科六）1.10元

*

统一书号：15165·3236（地质-288）

前 言

金属量测量現在已是大家公認的一种找矿方法了，新的工业矿床的大量发现，証明这种方法具有很高的地质效果。

由作者編写的第一本和第二本更詳細的“金属量测量规范”已分別在1951年和1957年初出版，这两本书相当全面地綜合了生产单位积累的在金属量测量方法和技术方面的成功經驗。在本书中作者尽量不重复“规范”中叙述过的、已經实践証明的金属量测量的原理，而着重論証并发展那些在规范中没有提到或只是簡單論述过，甚至帶有假說性质的一些方法問題。

本书并不打算詳尽无遺地闡明金属量测量工作中出現的一切問題，其中与研究分散場有关的純粹地球化学与矿物学問題，在本书中只居次要地位。此外，已經成为独立領域并研究得很完善的光譜分析的方法和技术問題，完全省略。本书討論的重点是金属量测量法的一般地质根据，以及作者根据分散場形成理論概念得出的金属量测量法的理論和应用。作者認為，分散場的形成主要是动力（物理）地质学范围內的外力作用的結果。当然，分散場不仅是由这些外力形成的，然而現在金属量测量的全部实践正是以此为基础的。作者并不想总结应用金属量测量的地质效果，这项任务只有依靠地质部門全体工作人員的力量才能完成。本书的任务之一是使对金属量测量結果定量解释方法的进一步研究活跃起来，因为現在定量解释方法的发展远远落后于每年完成的大量工作。

本书的主要内容作者在1955—1957年为哈薩克斯坦矿冶学院物探专业学生以及1956年在哈薩克斯坦地球物理托辣斯光譜分析工程师进修訓練班上講授的“地球化学找矿勘探法”这門課程的相应章节中曾經講述过，其中部分材料于1952—1957年間曾发表

在很多論文集和杂志上。

作者謹对哈薩克斯坦地球物理托辣斯领导人М.В.莫罗佐夫、А.П.加維利亚在解决金属量測量方法問題上給予的經常帮助,以及Н.И.薩弗朗諾夫、С.Д.米列尔、Е.А.謝尔盖耶夫、Н.Н.索契瓦諾夫和Л.Н.薩弗朗諾夫的同志式帮助和提出的宝貴意見,致以衷心的感謝。

作 者

目 录

前 言

绪 论 1

第一章 金属量测量的地质基础 10

1. 风化作用与剥蚀作用 10

2. 疏松沉积物的成因分类 22

3. 分散场的概念 25

4. 分散晕和分散流的概念 27

5. 矿物分散量和分散流的分类 31

6. 分散晕和分散流的找矿勘探意义 36

7. 分散场的物理数学分析 41

第二章 矿床的分散晕和分散流 46

1. 机械分散晕 46

2. 晕的参数 M 和 σ 54

3. 机械分散晕的垂直断面 59

4. 晕内矿物的重力分异作用 64

5. 盐分散晕 66

6. 生物因素的作用 79

7. 矿体倾角平缓时晕的位移 84

8. 风化时岩石体积的变化对机械分散晕的作用 89

9. 分散晕在斜坡上的位移 92

10. 分散流 101

11. 分散晕与分散流的相互关系 121

第三章 金属量测量的应用 128

1. 金属量测量的种类和比例尺 128

2. 当地正常场的确定 131

3. 测网的选择 133

4. 取样 144

5. 样品的加工与分析方法 148

6. 分散暈的現場地質觀察	155
7. 假分散暈和分散流	161
8. 暈內金屬量的計算及其含礦程度的評價	166
9. 分散暈位移的估計	174
10. 第一批勘探工程的布置	185
11. 金屬量測量結果的图示	189
附 录	192
所用基本符号一覽表	192
文献索引	195

緒 論

金屬量測量是蘇聯首創的一種找礦勘探方法，從1935年起，就開始不斷應用。實際效果一直很好，規模也日益擴大。多年來廣泛應用金屬量測量的經驗證明，它具有很高的地質效果。由於進行了這種測量，在蘇聯各個不同地區已經發現了許多新的有色及稀有金屬工業礦床。

1929年4月，蘇聯第十六次黨代表大會通過了著名的在蘇聯建設社會主義的第一個五年計劃。這個以現代技術來裝備蘇聯工農業的宏偉計劃，決定了必須普遍開展地質勘探工作，以各種礦物原料的儲量來保證規模宏大的工業建設的需要。為要大大擴充原料基地和提高礦山企業生產力、設立新的礦山開採地區和企業、以及建立新的冶金部門，這一切在當時都要求根本上改進地質找礦勘探方法。提高地質找礦工作效果的手段之一，就是在這几年中建立並迅速發展勘探地球物理學，尤其是金屬礦床的地球物理普查勘探法。

在取得已知成就的同時，在金屬地球物理學發展的初期就已感到，要在許多地區都順利地進行地球物理普查工作有莫大的困難。也發現了在測區中幾乎總能發現許多物探異常難於作單值的地質推斷。這些異常的出現，除了由礦引起外，也可以由各種“非礦”的原因引起。克服這些方法上的困難的途徑，在1932年就已經很明確，對於當時在蘇聯建立綜合地球物理調查方法並進一步發展蘇聯的金屬地球物理學有着決定意義（Н.И.薩弗朗諾夫、П.Ф.羅吉昂諾夫1933）。可是，由於當時各種物探方法還未十分發展，因此用這些方法並不總能滿足物探工作綜合應用的要求。

總之，在普查金屬礦床時，對於地球物理調查結果的解釋來

說，地质图和野外地质观察起着决定性的作用。地球物理資料和地质資料的結合，在許多情況下保證了山地勘探工作的順利進行。可是，在有些地区里，野草丛生、丛林遍野、地形极端“恶劣”，疏松沉积物覆盖层綿延不断，見不到天然露头；碎屑物质在地表亦难找到。在这些地区中要使地球物理資料得到可靠的解釋，只有一般的地质資料显然是不够的。同时，在現代沉积物覆盖很厚的地区里，用山地工作来检查物探异常，总要付出巨額經費。

在用地球物理方法普查含油气构造时，也有同样的情况。虽然整个說来，这方面的地球物理普查进行得相当順利，可是在地球物理方法发现的构造上打钻的結果，也会发现它們是不含油或不含气的，这是勘探地球物理学失敗的例子。

这种由于地球物理方法的应用可能性而产生的情况，往往会降低这些方法的經濟效果，并促成新的找矿技术的誕生。

1932年，Н.И. 薩弗朗諾夫建議在电异常上用物理化学方法研究疏松沉积物，以此来解釋金属阿尔泰（Рудный Алтай）的多金属矿区物探工作結果，从而确定疏松沉积物中有无金属的痕迹。同时，В.А. 索柯洛夫提出通过研究土壤中气体內有无碳氢化合物来帮助油气田的物探普查工作。这两种方法似乎有区别，但其基本原理則都是利用地表附近矿产物质的分散作用。

利用风化带中矿产物质的分散現象在地质找矿事业中有着悠久的历史。当时的形式极其简单。在俄罗斯地质学和采矿业的天才奠基者М.В. 罗蒙諾索夫（1711—1765）的著作中，对河流碎屑法和重砂法已作了清楚的敘述。这两种方法一直到現在还没有失去价值。特別是重砂測量，它在新的矿物分析法基础上，从1927年起就在苏联普遍应用，結果发现了許多工业矿床。最近才兴起的冰川漂砾法是河流碎屑法的发展。在这些为大家熟知的方法中的每一种方法，都有自己的局限性，在地质找矿过程中只能得某一方面的应用。

近百年来，由于技术的飞跃发展和对金属日益增长的需要，

在矿床学方面，即在論述化学元素局部浓集的形成規律方面，获得了特別巨大的成就。与此相反，对于表生作用造成矿床物质的后生分散并使局部浓集最后消失的現象，就研究得較差。例如直到不久以前，对在大多数金属矿区里几乎到处发育的疏松沉积物覆盖层，都仅仅看作是找矿时的一种大伤脑筋的干扰；对这种覆盖层常常籠統地冠以一般的和不正确的名詞“浮土”。忽視現代疏松沉积物和被它覆盖的矿体之間存在着复杂的相互关系，这是地质学中唯心主义思想傾向的一种表現。当然，这种情况也会妨碍找矿方法的发展。其实，还在十八世紀，M.B. 罗蒙諾索夫就对这种相互关系作出了深刻的唯物主义評价，他在自己的著名专著“論地层”一书中（1763）写道：“……我認为必須叙述作为其他各层頂盖的最上面的一层，即最外的一层地面。因为这一层是下面各层的一部分，并且实质上有許多东西是从下面各层得来的，同时也把本身的东西又分給下面各层……”（着重点是作者加的）。

为了說明我們在矿产物质分散方面的知識不能令人滿意的状况，地球化学奠基者B.И. 維尔納茨基（1863—1945）院士写道：“虽然化学元素的分散現象早已就为人們所知道，但是直到現在还有一些科学家对这种現象的意义估計不足。对于这种現象的研究，几乎是科学中的空白点，很可能在不久的将来，我們对原子的这种存在形式的概念会根本上发生变化”。（1934）

用新的，比河流碎屑法、重砂法或冰川漂砾法所依据的观点更为广泛的观点，将风化带中矿物质的分散現象用于找矿工作的企图，促使在苏联出現了各种不同的地球化学找矿方法。这些新方法的基础是：通过最新的微量分析法来发现疏松沉积物覆盖中通常只是极少量的矿产痕跡，以代替寻找地表上矿床的可見标志的古老方法，現代物理化学研究技术的发展和本国地球化学、地球物理学的先进思想，給这些新方法的发展准备了条件。

由H.И. 薩弗朗諾夫提出的新的金属矿床物理化学找矿法，在1932—1935年間曾获得过迅速的发展。在这一阶段內，肯定了

从地表上发现金属矿床的“分散量”在实践中是可能的。同时还对发现疏松沉积物中有色及稀有金属低含量的各种方法，进行了成功的野外試驗。

1934年，在哈朴切兰加錫矿床上，A.Π.索洛沃夫沿着穿过矿脉的測綫上取了几十个疏松沉积物样品，目的在于証明在錫矿脉附近有金属矿物的分散量存在。1935年初，这些样品根据那时B.K.普罗柯費耶夫研究成功的方法（国家光学研究所）作了光譜分析，并且証实了所作假設是正确的。这些初步的試驗为創立現代形式的普查金属量测量打下了基础（H.И.薩弗朗諾夫，1935）。在东外貝加尔地区，还在1935年，金属量测量工作就已进行得相当普遍，并且发现了第一批工业矿床（H.И.薩弗朗諾夫和A.Π.索洛沃夫）。同时针对普查矿床的分散量，E.A.謝尔盖耶夫成功地制定了微量化学斑点分析法（E.A.謝尔盖耶夫1936），而C.Д.米列尔为同一目的研究了极譜分析的可能性，并改进了分析的方法。

针对特殊硫化矿床的普查工作，在同一时期研究了所謂“离子法”，这一方法以测量选择电极的极化电位来发现盐分散量为基础（E.A.謝尔盖耶夫和A.Π.索洛沃夫1937）。

1936年初，H.И.薩弗朗諾夫在“論矿床的分散量及其在普查勘探中的应用問題”一文中，首先在世界地质文献中对分散場的概念作出了綜合性的解释，总结了应用新方法的初步結果，并指出了这个方法的发展远景。尽管那时的認識还比較粗浅，但这篇文章直到現在还并没有失去它的价值。H.И.薩弗朗諾夫的觀念的发展经历了曲折的道路，虽然他的觀念的内容到現在为止还没有彻底得到应用，但是以光譜分析为基础的普查金属量测量則是其实际应用的主要形式。

分散量找矿法的实用价值，在1938年中央地质勘探科学研究所（ЦНИГРИ）地球物理部发表的“地球物理探矿法技术规范”一书中得到了肯定。规范中包括了由C.Д.米列尔編写的金属量测量技术的簡要說明。从1938年起，金属量测量作为一門专业課

程，列入了列宁格勒矿业学院和莫斯科地质勘探学院，后来还列入了其他许多工科性高等院校物探系的高年级教学计划之中。

C.C.斯米尔诺夫院士（1895—1947），苏联杰出的地质学家之一，充分估计了新方法的日益增长的意义，并在自己著名的专著中（1936年）赞同在地球物理找矿法中利用冲刷正在氧化的硫化矿床的水的盐状态。C.C.斯米尔诺夫在金属矿物表生变化方面的渊博知识和他对发展金属量测量的理论和实践基础方面的经常支持与帮助，在创立这种找矿方法中起了不可估量的作用。后来，在他的最后一篇著作中，对应用金属量测量的远景给予很高的评价，他写道：“……感到奇怪的是，为什么到现在为止，金属量测量在一般的找矿方法系统中还没有占有它应有的地位”。

（C.C.斯米尔诺夫1946）

1940年，A.E.费尔斯曼院士在其专著“地球化学与矿物学找矿法”中，完全接受了H.H.萨弗朗诺夫关于形成矿床分散量的成因概述，并且同意了他提出的术语。

1941年，E.A.谢尔盖耶夫发表了一篇题为“金属矿床物理化学找矿法”的论文，其中除了进一步发展原则性理论问题和技术问题外，还根据1938年以来矿床分散量找矿法的实际应用情况作了总结。

往后一段时期的特点是，每年完成的金属量测量工作量不断增加，应用成功的地区日益增多。在这一事业中起特别重要的作用的是外贝加尔地区连续进行的金属量测量，在楚科奇、滨海地区和西伯利亚的应用以及C.Д.米列尔从1943年起在中哈萨克斯坦开始的十分著名的多年金属量测量。可是，金属量测量的很高的地质效果，只有在进行大区域小比例尺面积普查测量以后，才最充分地表现出来。

C.Д.米列尔在1948—1949年野外工作资料的基础上，首先进行了小比例尺金属量测量，在此以后，这个方法从1950—1951年起，在生产上得到了普遍推广。这种方法的应用促使人们用一整套综合物探方法来普查广大地区里的有色及稀有金属矿床。

按照以前的想法，認為物理-化学調查法只能在進行物探普查時，主要在金屬礦區進行電法勘探工作時，作為一種輔助方法，起一些不大的作用。只有在这种新的找矿方法的地质效果逐渐显示出来，工作的技术基础不断完善起来之后，金属量测量的特殊价值才得到正确评价。現在，金属量测量在找矿技术手段的行列里，已經牢牢地名列前茅，特別是在普查有色及稀有金属方面。同样，指出这一点也是重要的：只有在金属矿床的綜合地球物理普查勘探法中包括了金属量测量以后，才有可能使移交給地质单位勘探的不是所謂“异常”，而是通常已經由山地工程揭露并在原生露头上取过样的具体呈矿現象。只有在应用金属量测量以后，才有可能創造条件，使得根据物探資料提出的絕大多数要打的鉆孔和坑道，能真正打到推测的矿化，而淘汰掉那些在形态上或质量上不利的、无工业意义的对象。

在1950年，受苏联地质部物探总局的委托，A.П.索洛沃夫編写了金属量测量规范，并批准作为暫行规范，1951年由国立地质书籍出版社出版。在这一规范中在一定程度上規定了生产工作进行的方法和技术。

1939年，在国外文献中初次提到了关于斯堪的納維亞国家的金属矿床地球化学普查，而从1945年起，在美国也开始了这方面的試驗。美国学者們重复了金属量测量发展所經過的若干阶段，近几年来，在金属矿床分散量找矿方法中取得了一定的成績。在国外，美国地质調查所的X.E.霍克斯（H. E. Hawkes, 1949）在坚持研究和推广新方法方面，表現了独特的首創精神。美国和欧洲在这方面实践的内容，反映在1945年由B. H. 斯米尔諾夫編輯的“金属矿床地球化学找矿法”譯文集中。

1955年6、7月間，苏联地质保矿部在指令中指出，金属量测量具有已被实践所証实的极高地质效果，并明文規定，在作任何比例尺的地质测量、找矿和勘探工作时，所有地质部門務必应用金属量测量。从此，原来只集中在地球物理工作系統中的金属量测量生产工作，就在更大的范围內得到了推广，并吸引了大批

研究人員、地质学家和地球化学家来参加金属量测量理論基础和方法技术的研究（А.П.維諾格拉多夫院士、И.И.金茲堡、В.И.克拉斯尼柯夫、А.А.薩烏柯夫、А.И.彼列尔曼等）。我們要指出一点：金属量测量方法的創立以及在地球物理工作系統中順利的实际应用，长期以来沒有受到科学界一定的注意。

1956年初，根据苏联地质保矿部技术管理局的委托，А.П.索洛沃夫編制了新的更完整的“金属量测量规范”，并由地质保矿部批准作为現行必須执行的规范（国立地质保矿科技书籍出版社，1957），这本规范是根据数十年来在地球物理托辣斯野外大队中实际应用金属量测量的丰富經驗編制的。

1956年3月間，在莫斯科召开了全苏第一次金属矿床地球化学找矿法會議，这次會議得到了地质界的广泛注意。會議在广泛交流經驗的基础上，对这些先进找矿方法的应用作出了初步总结，并指出了今后发展的方向。在會議的決議中曾經指出，金属量测量在地球化学找矿法中占有首要地位。

1957年，由В.И.克拉斯尼柯夫編輯的这次會議的論文集問世，該文集的編者是推广并进一步发展金属矿床地球化学找矿法最积极的参加者之一（“苏联金属矿床地球化学探矿”1957）。这本文集的出现，大大地丰富了目前仍然十分有限的地球化学探矿法文献。

现在，普查金属量测量在苏联大部分极重要的成矿区里，每年要調查好几万平方公里的面积。从苏联系統地应用金属量测量时算起（1935年），地质部系統所完成的工作总量超过三千二百万物理点。1957年金属量测量的年工作量比1948年的水平要高100倍（图1）。1960—1965年远景計劃中規定要有进一步的巨大增长。前有色冶金部、ГУСМП、远东建設工程局的地质机构和其他机构也进行了少量金属量测量。

在过去一段时期內，地球物理托辣斯单单以1:50000为主的普查金属量测量，就調查了四十万平方公里以上的面积，其中不包括路綫测量和詳細测量的面积。普查金属量测量結果是客观

的，在质量上是良好的，这一点已被无数新矿床和矿化地段的发现所证实，其中包括某些过去认为已经研究得很好的、并且刚作过同一比例尺1:50000的详细地质测量和普查的地区。

金属量测量的结果，发现了哈朴切兰加和舍尔洛瓦雅山地区新的锡矿脉（Н.И. 薩弗朗諾夫和А.П. 索洛夫夫，1935）、瓦尔庫梅依锡矿床（А.П. 索洛夫夫和К.П. 格列米諾夫，1938）和比占锡矿床（И.И. 吉集亚柯夫斯基1955）、治达矿床（А.М. 維諾格拉多夫1936）和斯波柯依諾耶矿床（А. П. 索洛夫夫1940）上的石英黑钨脉；发现了布格达依钼矿床（О. А. 薩瓦茨基1953）、伊尤尔钨矿床（С.Д. 米列尔、Х. Ш. 薩提巴尔丁1954）和阿克薩尔雷钨矿床（С.Д. 米列尔和И. П. 別涅沃連斯基 1956）、薩兰钼钨矿床（С.Д. 米列尔和Х. Ш. 薩提巴尔丁1954）、庫查雷鉛矿床（А. В. 斯特罗伊捷列娃 1953）和北阿卡图依及卢吉因鉛矿床（О.А. 薩瓦茨基1953，1955）；还发现了烏宗·查尔多金属矿床（С. Д. 米列尔和В.А. 克利奇尼柯夫1956）和庫斯穆隆多金属矿床（Н. Н. 涅文內依1957）等等，还查明了许多矿化地段，正在勘探和即将勘探。

哈薩克苏維埃社会主义共和国境内的金属量测量最近以来具有特别巨大的规模，从1949年起，那里每年完成的工作量占全苏总量的50%。由于这项测量的结果，直接发现或重新评价的有色及稀有金属矿化地段在200个以上，其中有十多个地段现在已经是新的工业矿床，其余的许多矿化地段现在也继续在勘探中^①。

许多新矿床的发现是金属量测量主要的，而且是最显著的实际结果，但这并不包括它的全部内容。金属量测量所提供的结果，无论对地质填图、个别地段和全区的一般成矿规律的分析以及对成矿图和预测图的编制都是很重要的。在中哈薩克斯坦的工作中，主要以С. Д. 米列尔所领导的金属量测量达到的地质效果为

① 例如，根据中哈薩克斯坦金属量测量的结果，重新评价已知矿化现象并使之列入巨大矿床行列的有：鉛矿—阿萊吉尔，钨矿—南扎烏尔，钼矿—巴提斯套等等（原編者）。

最大。

К. И. 薩特帕耶夫院士在評價这些工作的杰出意义时說道：“無論在任何地方，在苏联也好，在国外也好，应用金属量測量規模之大，收效之多，都不如哈薩克斯坦地区。在战后年代中，由于普遍开展金属量測量，在中哈薩克斯坦地区发现了一系列巨大的工业矿床”(К. И. 薩特帕耶夫，1957)。截止1958年1月1日，在哈薩克斯坦，普查金属量測量的面积只占全部远景面积的20%，这个数字对整个苏联來說，是十分微小的。因而进一步普遍应用金属量測量，一定会发现更多的各种新的工业矿床。在这种情况下，深入发展金属量測量的理論原理，全面改进其方法技术，提高工作效果，降低工作成本，就具有特别重要的意义。

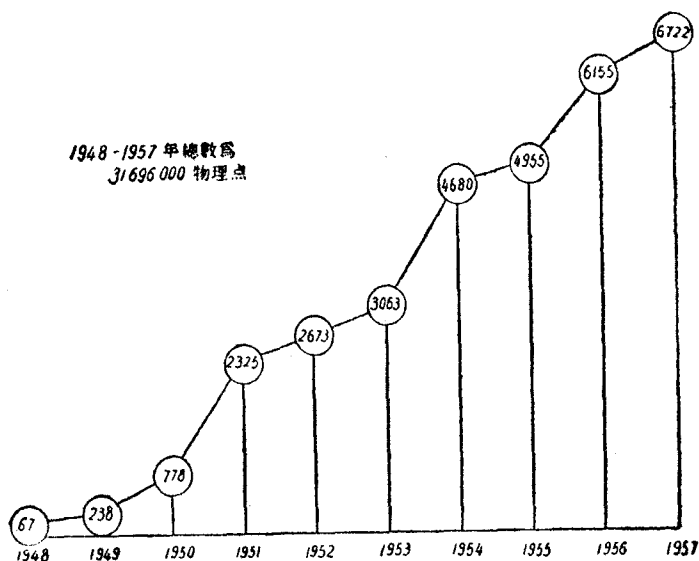


图 1 地质部金属量測量工作量在10年内的增长曲线
(单位为千个物理点)

第一章 金屬量測量的地质基础

1. 风化作用与剝蝕作用

由某种地质作用形成的矿床，在其形成之后，都不可避免地要受到表生作用的影响，作用的方向归根到底是消灭矿床。这些表生作用形成矿床的分散場。普查金屬量測量，就是以研究这些分散場为基础的。

組成現代大陆的这部分地壳，是两个互相联系的地质作用——风化与剝蝕剧烈发育的場所。

风化是近地表处岩石由于溫度升降、大气营力、水和生物的作用而发生的物理变化和化学变化过程。其結果是使致密岩石受到不同程度的破碎，使其矿物成分和化学成分发生本质的变化。

剝蝕一詞（来自拉丁文“denudatio”意即“出露”）是指岩石风化产物轉移并远离原地而在沉积带中重新沉积的过程。剝蝕的結果，使风化作用得以进一步发育。在风化产物轉移的阶段，致密基岩繼續受到破坏，而細碎物质的化学变化过程进行得最为完全。

在地球表面 510×10^6 平方公里面积中，現代大陆占 29%，即 149×10^6 平方公里，其中只有 0.8×10^6 平方公里低于海平面。大陆上有低地、大高原及山脉的起伏，其平均高度为 875 米。

地球表面的地形不断在改变着。山区在河流的冲刷及风化营力的破坏下，逐渐变为平原；而早先的平原則升起成为崇山峻岭或下降淪为海底。所有这些改变，只不过是全世界統一的，互相制約的，不断运动、变化、更新、发展着的內部矛盾过程的具体表現之一。地形的改变，不是简单地重复过去有过的形式，而是