

第八章 风化矿床

第一节 风化作用的类型

第二节 风化作用中元素的迁移和富集

第三节 风化矿床形成的条件

- 一、气候条件
- 二、原岩条件
- 三、地貌条件
- 四、地质构造条件
- 五、水文地质条件

第四节 风化矿床的类型及其特征

- 一、残积、坡积矿床
- 二、残余矿床
- 三、淋积矿床

第五节 金属硫化物矿床的表生氧化及次生富集作用

- 一、金属硫化物矿床的表生氧化作用
- 二、金属硫化物矿床的次生富集作用

第八章 风化矿床

n 地壳表层的岩石和矿石在大气、水、生物等营力的作用下，发生物理的、化学的和生物化学的变化，称为风化作用。由风化产物所组成的岩石圈部分，称为风化壳。风化壳中由风化产物构成的矿床，称之为风化矿床（weathering deposits）或风化壳矿床。

n 风化矿床以近代（第三纪至第四纪）形成者最为重要。风化矿床往往位于现代地形表面或近地表处。按其出露形态可分为面型（平面上呈面状、剖面上呈层状或似层状）、线型（沿裂隙或不同岩石的接触带分布）和岩溶型（位于碳酸盐岩溶洞中）三类。它们的分布与原岩出露的范围相近，因此风化矿床还可作为原生矿床的可靠找矿标志。

第八章 风化矿床

- n 风化矿床的矿石多呈胶状结构和残余结构，矿石构造以多孔状、粉末状、皮壳状、结核状等最为常见。
- n 组成的矿石矿物大多为氧化物、含水氧化物、碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐及其他含氧盐类，还有一些自然元素。它们一般都是在 外生条件下十分稳定的矿物。
- n 风化矿床形成的主要矿产有：铁、锰、铝、镍、钴、金、铂、钨、锡、铀、钒、稀土、金刚石、高岭土等。

1. 物理风化作用

- n 物理风化作用是一种以崩解方式把岩石和矿物机械破坏成碎屑的作用，崩解使岩石和矿物颗粒比表面（单位体积的表面积或每单位重量物体的表面积）逐渐增大（矿物颗粒越来越细），增强了地表水、氧和二氧化碳对岩石和矿物的分解作用。
- n 其主要方式有
 - 冰楔作用
 - 植物根系的楔插作用
 - 昼夜温度的变化、层状节理化作用
 - 暴风沙的冲击作用
 - 冰川的侵蚀作用等
- n 除极地和温带高寒地区外，物理风化与化学风化相比，几乎是微不足道的。

2. 化学风化作用

第一节 风化作用的类型

- n 化学风化作用是由于化学作用使组成岩石的矿物发生分解，也就是富含氧及二氧化碳的水（雨水和土壤水）与矿物发生化学反应的过程。
- n 最有效的研究，是把这些变化同风化剖面上的风化强度或者深度联系起来，分析不同气候带基岩的化学风化作用。
- n 尽管化学的和矿物的变化程度不同，但它们都是时间和风化作用强度的函数。对岩浆岩来说，矿物风化的顺序同矿物从岩浆中结晶的次序相同，在深处较早结晶的那些矿物，在地表则是首先分解的。

3. 生物风化作用

- n 生物风化作用实质上是由生物生活和死亡过程中引起的化学风化作用，生物的生命活动产物，如CO₂、O₂、有机酸等强烈地影响着周围环境的pH值、Eh值等一系列物理化学条件，从而影响风化作用的进行。
- n 19世纪80年代开始认识了生物风化作用对风化壳形成的重要性。细菌、真菌、蚯蚓、藻类以及地衣等低级生物所组成的生物群覆盖在岩石表面上或存在于土壤中，所有这些生物都能酸化周围环境。这是由于它们呼吸时排出二氧化碳，而有的还在新陈代谢中排出有机酸，生物死亡后，则分解成各种有机酸，如腐殖酸、褐酸等。

3. 生物风化作用

- n 自然界中有些微生物。特别是铁细菌、硫细菌和还原硫酸盐细菌，具有氧化或还原某些元素的能力。如铁细菌能将二价铁氧化为三价铁；硫细菌能把硫化物氧化成硫酸盐。目前有些国家借助于细菌氧化的原理，通过“堆淋法”而从低品位的硫化物矿石中提取金属。还原硫酸盐细菌则能将硫酸盐还原为 H_2S 。
- n 生物生长期间，不断地从周围介质中有选择地吸取某些元素，然后在新陈代谢过程中以有机化合物的形式把它们固定下来。元素的生物吸收和堆积有时可达到惊人的程度。如捷克的奥斯拉地区的1t水木贼的灰分中存在着金610g，在另一种木贼的1t灰分中含有金63g，而当地每吨土壤中仅含金0.1g。

各种风化作用相互关系

第一节 风化作用的类型

- n 三种风化作用往往是相伴同时发生，但随着环境条件的不同，它们相对的强度有所不同
 - 在极端干旱的沙漠地带和北极圈的条件下，以及许多高山区，机械崩解作用常常是破坏岩石的最主要因素，即物理风化作用占优势；
 - 在有一定温度和湿度的条件下，化学风化则起了主导作用，它可以在风化带的所有深度上起作用，并控制着风化产物的性质；
 - 与此同时，生物风化又可加快物理风化和化学风化的进程。
- n 因此在风化作用过程中，外界条件起着重要的控制作用，但外因通过内因而起作用，矿物本身的特性则对风化过程的速度和强度发生根本性的影响。

第二节 风化作用中元素的迁移和富集

- n 风化矿床的形成是元素在风化壳中迁移和富集的结果。
- n 化学元素在风化壳中迁移能力的大小，主要取决于元素自身的性质和由它们组成的矿物的种类以及它们所处的外界环境。
- n 风化矿床的形成，若以物理风化作用为主，一般不改变原岩和矿物的化学成分，因此有用矿物堆积都是一些原岩中的稳定矿物，如磁铁矿、钛铁矿、锡石、铬铁矿、自然金、自然铂和金刚石等。

第二节 风化作用中元素的迁移和富集

- n 当化学风化作用强烈时，会发生水解、水合、氧化、还原、离子交换等反应，导致元素的迁移和富集，表现为某些元素的淋滤失散和另一些元素的残积富集两个对立面。
- n 元素在特定的风化条件下迁移能力的不同，引起了它们的彼此分异——风化分异。同样，生物风化作用也能引起风化分异。

第二节 风化作用中元素的迁移和富集

n B. 波雷诺夫和A. 比列尔曼研究了风化作用中元素迁移的相对活动性，并提出用水迁移系数来衡量风化作用中元素迁移的能力，并得出风化壳中元素迁移的序列（表8-1）。

n 从表内可见，风化壳中元素迁移的能力是很不相同的，元素的迁移顺序在某种程度上控制了风化壳内元素富集的可能性。当风化作用使元素发生迁移时，一部分元素及其化合物发生流失，另一部分元素和化合物则相对集中。正因为这种迁移作用，就使得风化矿床的形成成为可能。

表 8-1 风化时元素的迁移系列

元素迁移 系列等级	迁移的难易程度	元素	迁移系数
I	强烈迁移的	Cl、Br、I、S	$n \cdot 10^{-n} \cdot 10^2$
II	易迁移的	Ca、Mg、Na、K、F、Sr、Zn	$n \cdot 10^{-n}$
III	可迁移的	Cu、Ni、Co、Mo、V、Mn、SiO ₂ （硅酸盐中的）、 P	$n \cdot 10^{-1} - n$
IV	惰性的	Fe、Al、Ti、Sc、Y、Tr……	$n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-1}$
V	实际不迁移的	SiO ₂ （石英）	$n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^{-\infty}$

一、气候条件

- n 气候是控制风化矿床形成的重要因素之一。气候的影响主要表现在温度、湿度、生物活动等方面。
- n 在气候干燥、温差大的沙漠地区和寒带及永久冻土带，水和生物导致的化学风化作用均极微弱，风化壳主要由物理风化作用形成的机械碎屑物组成，因而不利于风化矿床的形成。

一、气候条件

- n 在热带和亚热带地区，由于气温高，雨量充沛，生物繁殖极快，因而化学风化作用和生物风化作用进行得十分强烈，岩石和矿物的破坏和分解迅速，风化作用可不断地向纵深发展，元素可发生大量迁移和富集，创造了形成巨厚风化壳的条件，有利于风化矿床的形成，世界上已知的大型铁、锰、镍、铝等的风化矿床，多分布在此类地区。
- n 气候条件一般受地质历史时期所处的纬度、高度以及距离海岸远近等因素的控制。现代形成的风化壳受现代气候条件的控制，古风化壳则受古代气候的控制。

一、原岩条件

n 原岩的矿物成分和化学成分，对风化产物有重大影响。原岩成分的不同，其所形成的风化矿床的类型也就不同（表8-2）。如富含铁、镍的超基性岩和基性岩常形成红土型铁矿床和镍矿床；富铝贫硅的碱性岩常形成红土型铝土矿床；花岗岩等酸性岩风化后可形成高岭土矿床和稀土元素矿床；含锰高的沉积岩、变质岩可形成残余锰矿；富含重砂矿物（锡石、锆英石、铌钽矿物等）的花岗岩可形成残积砂矿床，等等。

表 8-2 风化矿床类型及其与原岩的关系

原 岩	风 化 矿 床 类 型
超镁铁质岩浆岩	①红土型镍-钴矿床；②红土型铁矿床；③钯-铂矿床
条带状含铁建造（BIF）	淋积型富铁矿床（可形成大型矿床）
镁铁质（玄武岩）	红土型铝土矿床
碱性岩（霞石正长岩）	红土型优质铝土矿床
酸性花岗岩类（侵入岩和喷出岩）	①稀土元素矿床；②高岭土矿床；③残积砂矿床
碳酸盐岩类	①淋积型铁矿床；②铝土矿床

二、原岩条件

- n 在物理风化、化学风化和生物风化作用下，矿物的破坏程度是很不相同的。
 - 有些矿物的晶格很容易被破坏，其中易溶元素首先脱离晶格，呈离子或分子状态进入溶液，部分或全部地被地表水、地下水带入风化壳下部，甚至可能带出风化场所。
 - 活动性较差的组分，则在原地残留下来。有些矿物的晶格十分稳定（如独居石、锆英石、铌钽矿物等），抵抗风化能力很强，当其他矿物遭到破坏，分解而被搬运介质带走时，而它们却留在原地相对富集。

二、原岩条件

n 一般认为，原岩中 useful 组分含量越高，形成风化矿床的可能性就越大。但是，欲达到某种程度的集中并构成矿床，仅靠该元素在原岩中的较高含量还是不够的，还需要母岩易于被分解才行，如 Al_2O_3 含量不高、甚至很低的碳酸盐岩中若有泥质夹层经长期和强烈的风化作用后，也可以形成规模巨大的铝土矿。这是因为碳酸盐岩易被风化溶解，其中含铝的粘土矿物转变为铝土矿，在原地逐渐残留堆积起来形成铝土矿床。

二、地貌条件

- n 地貌条件不仅决定物质的侵蚀和堆积，同时也决定地下水的动态以及风化壳的地球化学特征。风化产物的淋滤状况，风化壳的厚度和保留程度等均与地貌有关。
 - 在陡峻的山岳地区，地下水位低，以物理风化为主，且风化产物难以保存，因而风化壳不发育，不利于风化矿床的形成。
 - 高差不大的山区及平缓丘陵地形对风化矿床的形成最为有利。地表水和地下水的流动都比较缓慢，植被繁茂，物理风化作用微弱，化学风化作用和生物风化作用强烈，并且风化产物能大量残留原地，形成准平原化地貌，有利于形成风化矿床。
 - 平原洼地，潜水面高，水流不畅，不利于风化作用的进行，不易形成巨厚的、发育完全的风化矿床。

四、地质构造条件

- n 无论是对风化矿床的形成和保存，地质构造条件都具有相当重要的意义。
 - 地貌景观往往受地质构造条件的控制，巨厚风化壳矿床的形成，一般是在区域缓慢上升和风化淋滤速度保持平衡的准平原化的分水岭地区。
 - 稳定陆块有利于大规模的风化矿床的形成。古风化矿床往往产于长期沉积间断的不整合面上，如我国华北板块内奥陶系风化侵蚀面上的铁、铝矿床等。强烈褶皱的造山带不利于大规模风化矿床的形成。

四、地质构造条件

n 区域构造对风化矿床也起控制作用。

- 裂隙、裂隙带、破碎带的方向及完整程度可决定线型风化矿床的位置和形态特征。
- 侵蚀基准面决定风化壳的最终厚度，而地壳的垂直运动将引起该基准面的变化，造成某一地带的相对抬升，另一地段的相对下降，并影响到潜水面的稳定性。
- 长期稳定的地质构造环境是形成大型风化矿床的必要条件，如前苏联南乌拉尔的风化型硅酸镍矿床，是在15~20Ma的时间间隔内形成的。

五、水文地质条件

n 风化矿床的形成和地表水、地下水的运动情况以及水的化学类型有密切的关系。地下水有分带性，地下水的这种分带性与风化矿床的分带密切相关（表8-3）。应该注意的是，表8-3中所列各带的界线并非固定不变，而是依潜水面的升降而升降。一般说来，各带界线常因侵蚀作用的影响不断地向下移动，但如果地壳下降或补给潜水的水量在较长时期内增大，亦可引起各带界线的回升。

表8-3 风化矿床分带与地下水分带的成因联系

矿床分带	地下水分带	基 本 特 征
氧化带	渗透带	位于地表与潜水面之间。地下水为土壤水，季节性强。以垂直运动为主，水中富含 O ₂ 、CO ₂ 、有机酸、硫酸等，呈酸性反应，化学作用以氧化分
胶结带	流动带	位于潜水面和停滞水面之间。地下水为潜水，无土壤水，季节性变化大。做垂直和水平运动，但以水平运动为主。含 O ₂ 少，但盐类较多，呈弱酸性或碱性反应，化学风化作用以还原沉淀方式为主（物质自渗透带中淋滤出来的）。
原生带	停滞带	位于潜水活动区之下，即在当地侵蚀基准面以下。潜水基本上停止流动，几乎不含游离氧，潜水与原生矿物保持平衡。

第二章 风化矿床形成的条件

第四节 风化矿床的类型及其特征

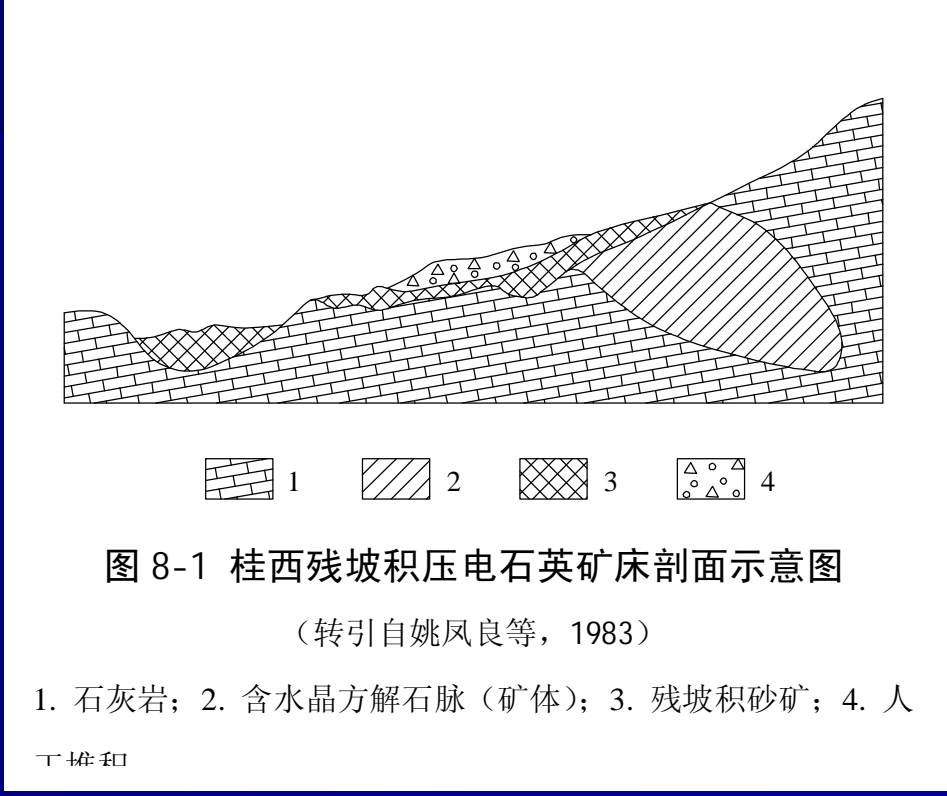
n 风化矿床，据其形成作用和地质特征，可以分为残积、坡积矿床、残余矿床及淋积矿床三类。

- 残积、坡积砂矿床指原生矿床或岩石遭受风化作用，其中未被分解的重砂矿物或岩石碎屑，残留在原地或沿斜坡堆积起来形成的矿床。
- 残余矿床指原生矿床或岩石经化学风化作用和生物风化作用后，形成的一些难溶的表生矿物，残留在原地表部，其中有用组分达到工业要求时形成的矿床。
- 淋积矿床指原岩或贫矿体经化学风化作用，某些易容物质被水带到风化壳下部的潜水面附近沉淀下来形成的矿床。

一、残积、坡积矿床

n 原生矿床或岩石遭受风化作用，其中未被分解的重砂矿物或岩石碎屑，残留在原地形成的矿床，称为残积矿床（eluvial deposits）。

n 在某些条件下，残积物由于剥蚀作用和重力作用的影响，渐渐地沿斜坡向下移动一定距离后，在斜坡的某些部位堆积下来成为矿床，这种矿床称为坡积矿床（colluvial deposits）。



残积矿床和坡积矿床的关系十分密切，二者通常呈过渡关系，难于截然分开，故也可统称为残坡积矿床，如图8-1所示。

一、残积、坡积矿床

- n 这类矿床的形成，以物理风化为主，因在原地残余或位移距离不大，碎屑一般均具有明显的棱角，甚至保留原来矿物的晶形外貌，无分选性或分选性差，也无明显的层理。
- n 残坡积矿床不仅本身具有工业价值，而且是寻找原生矿床的可靠标志。例如：我国南岭地区的许多钨、锡矿床，即是在发现残坡积砂矿之后才进一步找到原生矿床的。
- n 残坡积矿床种类不多，分布也有限，但有些较为重要，主要有金、钨、锡、铌、铁、铝土、钽和水晶等的残积、坡积矿床。

、残积、坡积矿床

- n 1. 残积砂金矿床——残积金矿床最著名的当属澳大利亚的卡尔古利，那里发育金-黄铁矿-硫化物的原生矿床，该矿床由于强烈风化形成了红土，金就在疏松的红土中聚集，含金高达 30×10^{-6} 。
- n 2. 残坡积砂锡矿床——我国云南个旧一些原生锡石硫化物矿床产于石灰岩中，由于矿石和围岩均易于风化，因此在矿体的上部和附近的岩溶洼地、缓坡上广泛地发育残坡积锡矿，矿层厚且品位高，开采和选矿都很方便，成为我国重要的锡矿床类型之一。

n 3. 残积铌钽砂矿床

- 这些矿床主要分布于热带、亚热带地区的富含铌、钽铁矿等副矿物的花岗岩和伟晶岩的风化壳中，共生矿物还有锡石、黑钨矿、锆石、独居石等，这种矿床是目前铌、钽的重要来源。
- 尼日利亚是这类矿床的最著名产区，在乔斯高原，含铌铁矿黑云母花岗岩和钠长石化花岗斑岩，经风化后形成残坡积铌铁矿砂矿床，其中还伴生有钽铁矿、锡石、锆英石、铁铁矿、独居石、磷钇矿等，可以综合利用。
- 该矿规模巨大，易于选矿，具有很大的工业价值。从中获得的铌精矿，占世界产量的95%。此外，澳大利亚和美国也发现残积铌钽砂矿床；我国近年也发现同类矿床，规模巨大，品位很高。

一、残余矿床

- n 原生矿床或岩石经化学风化作用和生物风化作用后，形成的一些难溶的表生矿物，残留在原地表部，其中有用组分达到工业要求时形成的矿床称为残余矿床(residual deposits)。
- n 残余矿床形成的条件是：温暖或炎热的潮湿气候，准平原化的高原地形和持久的风化时间。
- n 矿床一般呈面型分布，也见呈线型分布者。
- n 这类矿床在垂直剖面上往往具有分带现象，并与母岩呈过渡关系。
- n 残余矿床在风化矿床中占有重要的地位，主要矿产有粘土（高岭土、蒙脱土）、铁、锰和铝土矿等。

(一) 残余粘土矿床

- n 在温暖潮湿的气候条件下，铝硅酸盐岩石在水、二氧化碳和生物的作用下，可分解出碱金属和碱土金属（去碱作用），它们以各种碳酸盐的形式溶于水中被带走。
- n 与此同时，从岩石中分解出来的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等在水中易于变成胶体物质，正负电荷胶体相互作用而发生电性中和，彼此凝聚，结果便产生 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的凝胶混合物。
- n 由于沉淀的凝胶 SiO_2 和 Al_2O_3 的比例变动很大，于是便形成各种不同的含水硅酸盐矿物，如高岭石、多水高岭石、蒙脱土、白云母等，它们与一些铁的氢氧化物和未分解的矿物（石英、锆英石、金红石等）以及母岩碎块相混合而成粘土矿床，而形成这类粘土矿床的作用通常被称为粘土化作用。

n 在残余粘土矿床中，最高岭土是最重要的床。余高岭土矿床。粘最脱土矿床。土重土矿床。矿要矿床。

n 我国残余高岭土矿床广泛分布，其中以江西星子岭高岭土矿床最为典型。江西星子岭高岭土矿床是典型实例。

n 江西星子岭高岭土矿床是典型实例。

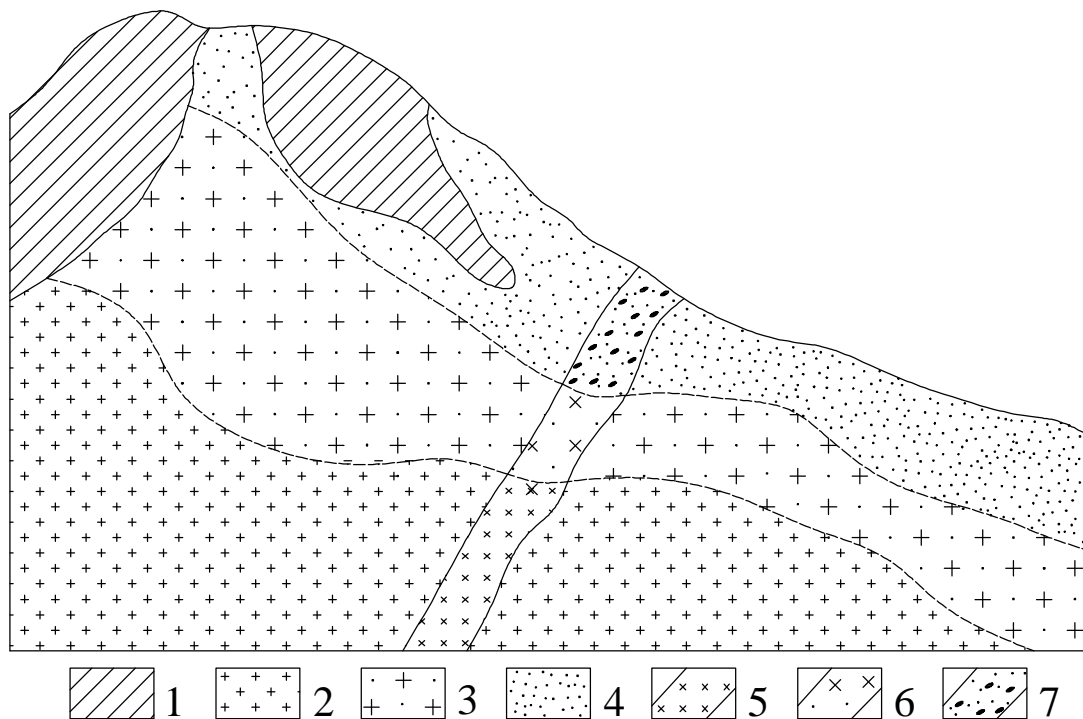


图 8-2 江西星子岭高岭土矿床剖面示意图

(转引自袁见齐等, 1985)

1. 前震旦纪片岩；2. 花岗岩；3. 风化花岗岩；4. 由花岗岩风化而成的高岭土；5. 花岗伟晶岩；6. 风化花岗伟晶岩；7. 由花岗伟晶岩风化而成的高岭土

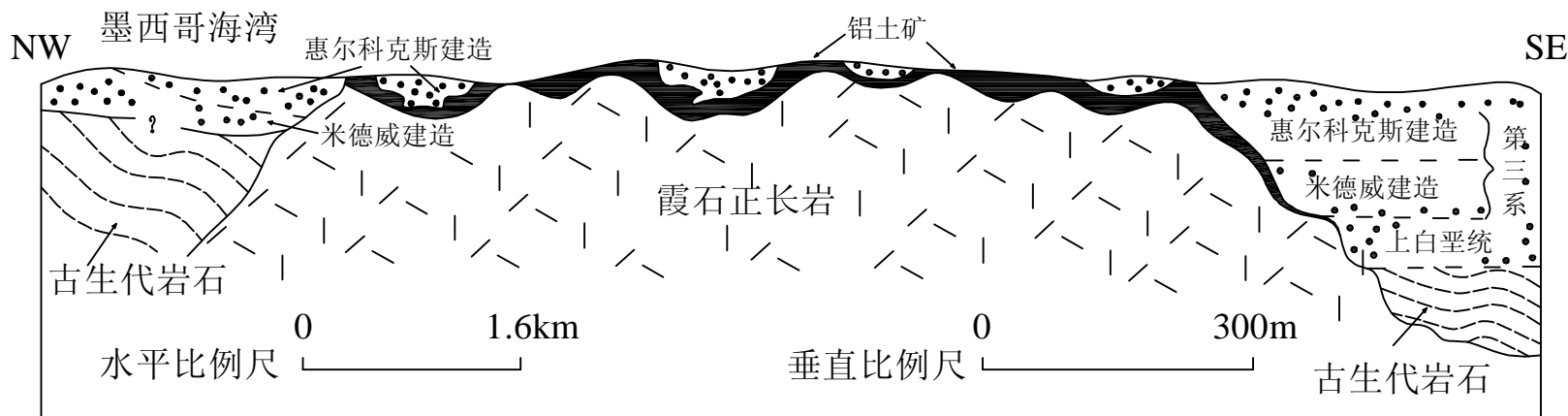
(二) 残余红土型铁、铝矿床

- n 在热带和亚热带的气候下，雨季（降雨量大）与旱季相互交替，全年天气炎热，日夜温差变化不大，因此最有利于植物繁殖和微生物的作用，从而形成丰富的腐殖质和有机酸等，这就促进了化学风化的剧烈进行。如果地形平坦或坡度不大，从硅酸盐岩石中分解出来的碱和碱土金属（去碱作用），则不易被地表水快速带出风化场所，因此溶液具碱性反应；
- n SiO_2 溶胶在碱性介质中不凝结，而和碱及碱土金属一起被潜水带走（去硅作用），而溶胶 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ ，则可在原地凝聚。这样，在地表就逐渐地堆积起铝的氢氧化物（三水铝土矿 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和一水铝土矿 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）与铁的氢氧化物和氧化物（褐铁矿、水针铁矿、水赤铁矿、赤铁矿等），它们一起构成红土。一般把这一作用称为红土化作用。

(二) 残余红土型铁、铝矿床

n 1. 残余红土型铝土矿床

- 已知红土型铝土矿床发育在热带和亚热带地区的霞石正长岩和玄武岩风化壳中。由于霞石正长岩和玄武岩富铝贫硅，所以这类岩石经红土化作用的结果常形成具有很大工业价值的红土型铝土矿床。
- 由霞石正长岩风化而成的红土型铝土矿床以美国的阿肯色铝土矿床是典型代表，铝土矿层发育在碱性霞石正长岩露头上，岩体表面起伏不平具槽状凹地，铝土矿产于凹地内，第三纪时部分铝土矿遭受侵蚀，被始新世的砂泥质沉积物覆盖（图8-3）。矿床自上而下存在3个逐渐过渡的带，即铝土矿带、完全高岭土化的霞石正长岩带、部分高岭土化的霞石正长岩带。



(二) 残余红土型铁、铝矿床

n 1. 残余红土型铝土矿床

- 由**基性岩（玄武岩）**风化而成的铝土矿床以印度德干高原铝土矿床最为著名。矿层发育在晚白垩世的玄武岩风化壳中，矿体呈不规则斗篷状，自上而下分带为红土带、铝土矿带、半分解玄武岩带和未分解玄武岩带。我国东南沿海一带也发育有玄武岩风化形成的红土型铝土矿床，如福建漳浦铝土矿床。
- 铝土矿还有另一类型为**钙红土型**，是由含粘土质石灰岩和不纯的石灰岩在长期风化过程中形成的。这类矿床常和喀斯特地貌有关，故又可称为喀斯特型铝土矿床。钙红土型铝土矿有世界著名的南美牙买加铝土矿床及法国、匈牙利等一些西欧国家的铝土矿床。我国的广西平果铝土矿床则是典型的喀斯特型铝土矿床。

(二) 残余红土型铁、铝矿床

n 1. 残余红土型铝土矿床

- 红土型铝土矿床往往具有典型的红土化作用剖面，自上而下分为铁壳带（红土）、铝土矿带和分解带。各带往往互相过渡。
- 根据铝土矿床产出的地质环境又可分为3种类型：
 - n ①高原型铝土矿床，如印度德干高原铝土矿床；
 - n ②准平原型铝土矿床，如南美洲、马来西亚铝土矿床；
 - n ③喀斯特型铝土矿床，如地中海和广西平果铝土矿床。

(二) 残余红土型铁、铝矿床

n 2. 残余红土型铁矿床

- 残余红土型铁矿广泛分布于热带、亚热带地区，原岩以富铁的超基性岩和玄武岩为主，也包括含菱铁矿或铁白云石的石灰岩以及含铁硫化物矿床，它们经红土化作用后，高价铁的氢氧化物和氧化物残留地表，构成**残余红土型铁矿床**
- 这类矿床往往产于风化壳型硅酸镍矿床的表部，具有品位高、杂质少、规模大、埋藏浅等特点，单个矿床的储量可达几十亿吨至几百亿吨。这类在古巴、菲律宾、印度尼西亚等国的铁矿资源中占有重要地位，据统计，目前世界上富铁储量的**70%**产于此类矿床中。
- 含菱铁矿的碳酸盐岩地层经风化作用后，可形成相当规模的**喀斯特型铁矿**，矿体形态受溶洞形态控制。如我国的山西式铁矿就属这种类型。

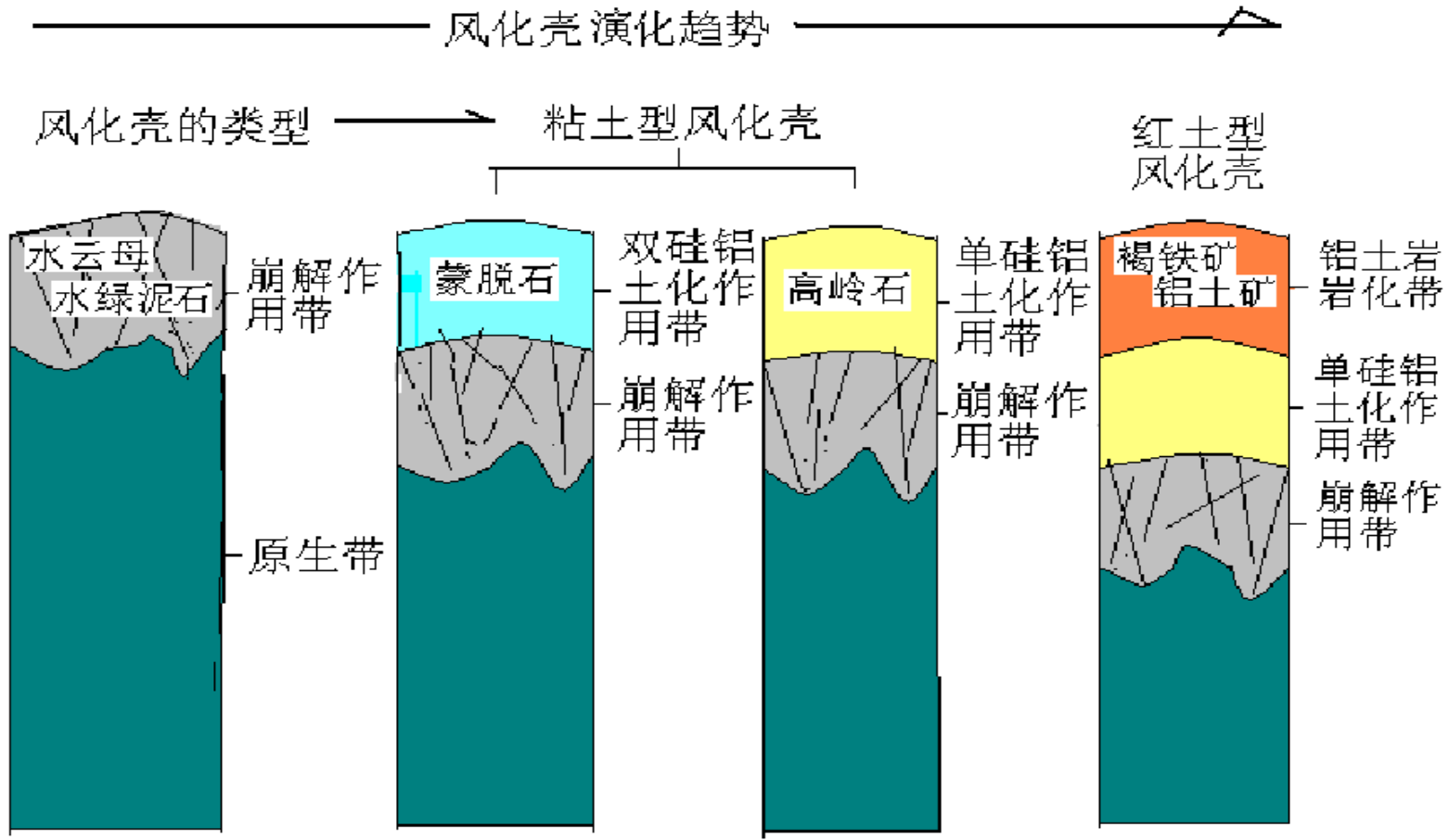


图30 风化壳的演化及分类

(三) 离子吸附型稀土元素矿床

- n 在花岗岩类等含稀土元素较多的原岩风化壳中常发育离子吸附型稀土元素矿床。
- n 这类花岗岩在风化作用下，**稀土矿物**被破坏分解时，释放出的稀土元素可呈**阳离子**进入溶液；
- n 而**硅酸盐矿物**风化成多水高岭土、高岭土、水云母等**粘土矿物**。由于破键而出现未饱和的**过剩负电荷**，它们需要**吸附**溶液中的阳离子以维持电价平衡，活动性大的钾、钠、钙等阳离子会被溶液带走，**活动性较小的稀土元素**阳离子就会被粘土矿物吸附，而使稀土离子在风化壳中逐渐富集起来，形成有工业价值的矿床。
- n 这类矿床在江西、广东、湖南、福建、广西和安徽等地均有发现，有巨大的经济价值。如江西南部花岗岩风化壳离子吸附型富钇重稀土元素矿床。

二、淋积矿床

- n 当地表岩石或矿床受化学风化作用分解时，那些易溶于水的组分中的一部分被带入潜水活动区，成为稀薄的含矿溶液。由于介质性质的改变或与周围的岩石发生交代作用，便可使有用物质发生沉淀而形成矿床，即淋积矿床。
- n 淋积矿床的矿体形状多呈不规则的似层状，其次为囊状、巢状等。
- n 矿石常具网脉状、浸染状、粉末状、葡萄状、结核状等构造。
- n 淋积型的镍、钴、钒、钠、铁、锰、铀等矿床具有较大的工业价值。

淋积型硅酸镍矿床

第四章 风化矿床的类型及其特征

n 这类矿床是镍矿的一种重要类型，它们是由热带和亚热带地区的超基性岩风化而成。

n 这些岩石在红土化作用过程中镍先临时性溶解在水中，但很快又在红土层下面的风化岩石中发生中和反应形成镍的硅酸盐矿物，如硅镁镍矿、镍水蛇纹石、镍绿泥石、水硅镍矿等。这些次生镍硅酸盐富集而成淋积型硅酸镍矿床，其上红土层富铁往往可成为红土型铁矿。

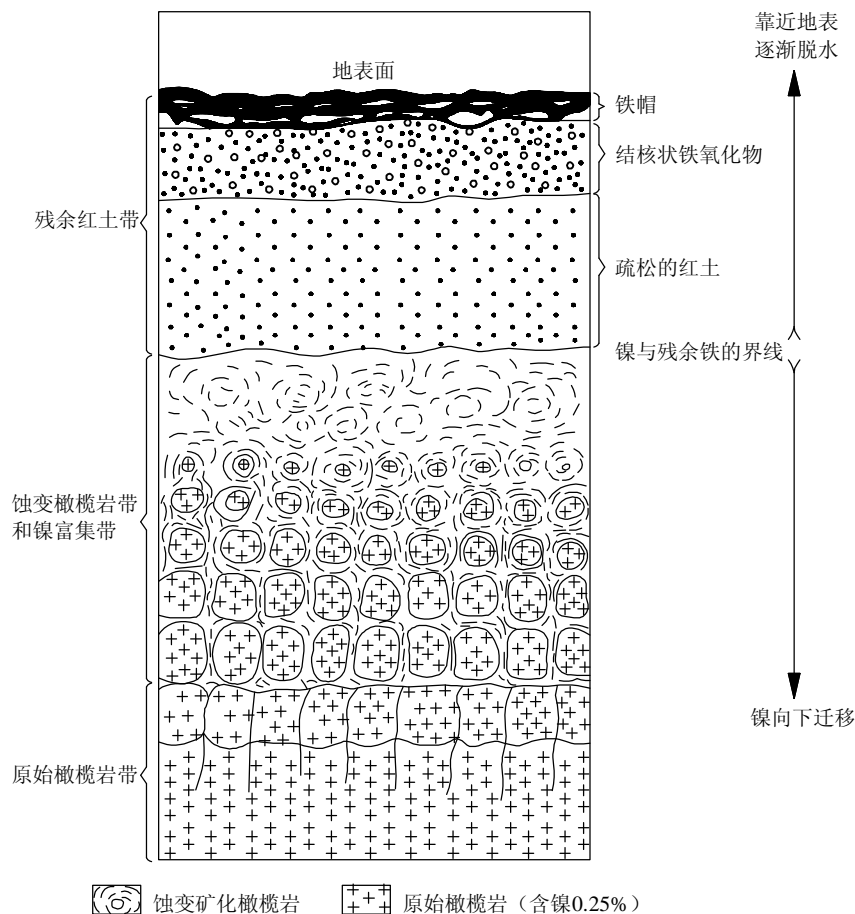


图 8-4 新喀里多尼亚含镍红土矿床典型剖面示意图

(据 Chetelat, 1947)

淋积型硅酸镍矿床

第四节 风化矿床的类型及其特征

- n 新喀里多尼亚淋积镍矿床即是此类矿床的典型代表。
- n 古巴、澳大利亚、巴西、菲律宾及我国的云南、内蒙古、台湾等国家或地区都有硅酸镍矿床分布。

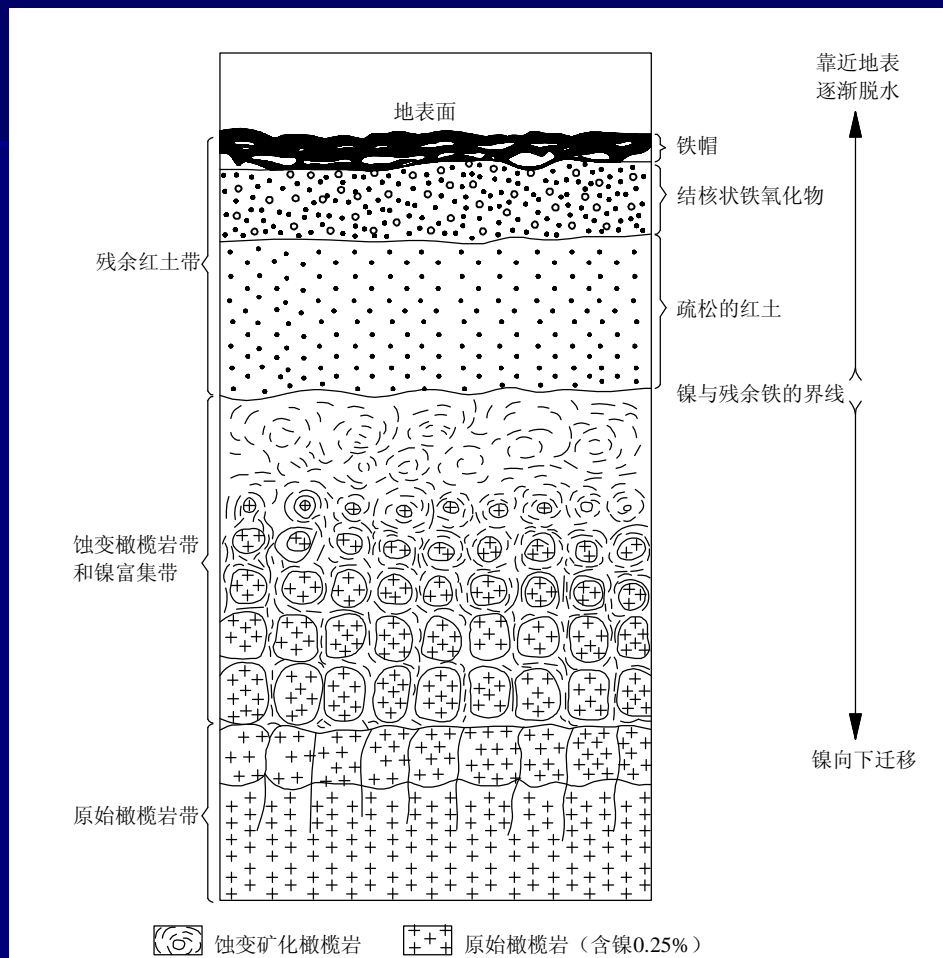


图 8-4 新喀里多尼亚含镍红土矿床典型剖面示意图

(据 Chetelat, 1947)

氧化及次生富集作用

- n 各类矿床的近地表和露出地表的部分，在受到风化作用时都会发生不同程度的变化，这种变化被称为**表生氧化(oxidation)**。其结果会改变矿床中矿石的组构、矿物成分及化学成分。
- n 这在金属**硫化物矿床**中表现得尤为强烈。硫化物矿床在暴露地表后，常发生强烈的风化作用，矿床中原生硫化物与大气和水里的氧结合，遭受不同程度的氧化，形成新的矿物和新的溶剂，这种溶剂能进一步溶解其他矿物，这种作用称为**表生氧化作用**。
- n 这样，矿床就被氧化，同时矿床中很多矿质被**淋滤**，矿床发生表生氧化和淋滤的这一部分称为**矿床的氧化带**，深度可达潜水面。

第五节 金属硫化物矿床的表生氧化及次生富集作用

- n 氧化带中淋滤溶液向下渗流，穿过潜水面，进入缺氧的地下水流动带，可与原生硫化物反应形成了次生硫化物，可使某些金属在流动带中富集，从而大大地提高矿床的工业价值，这种作用称为次生富集作用(supergene enrichment)。
- n 因此，了解硫化物矿床的表生氧化和次生富集的可能性，具有重要意义。

第五节 金属硫化物矿床的表生氧化及次生富集作用

在风化作用下，如果金属硫化物（特别是铜硫化物）矿床所处条件适宜，可有一个发育完整的表生分带，自上而下为：

- 氧化带，位于潜水面以上，相当于渗透带。带内又可分出以下亚带（自上而下）：
 - n (1) 完全氧化亚带—铁帽；
 - n (2) 淋滤亚带；
 - n (3) 次生氧化物富集亚带。
- 次生硫化物富集带
- 原生硫化物带

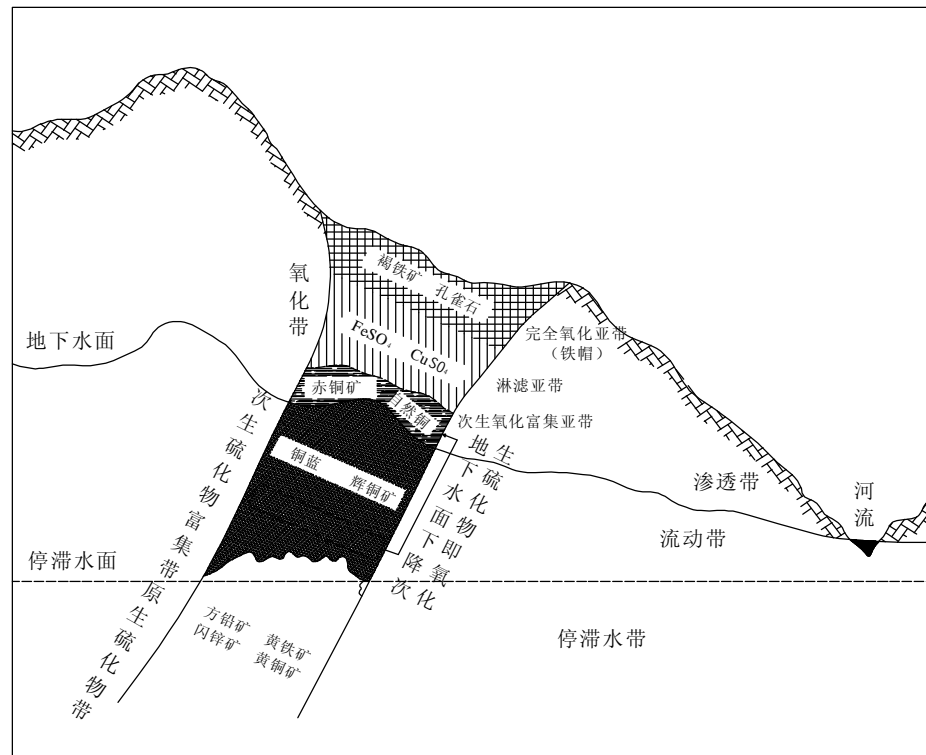


图 8-5 铜硫化物矿床表生分带示意图（转引自袁见齐等，

第五节 金属硫化物矿床的表生氧化及次生富集作用

n 可有一个发育完整的表生分带，自上而下为：

- 次生硫化物富集带，位于潜水面以下、停滞水面以上。相当于流动带。
- 原生硫化物带，位于停滞水面以下。相当于停滞水带。

n 矿床垂直分带的产生，乃地下水长期作用的结果。但多数情况下分带发育不全，有些地区如冰川地带和侵蚀作用极为强烈的地区，矿床氧化带很浅，甚至完全没有。

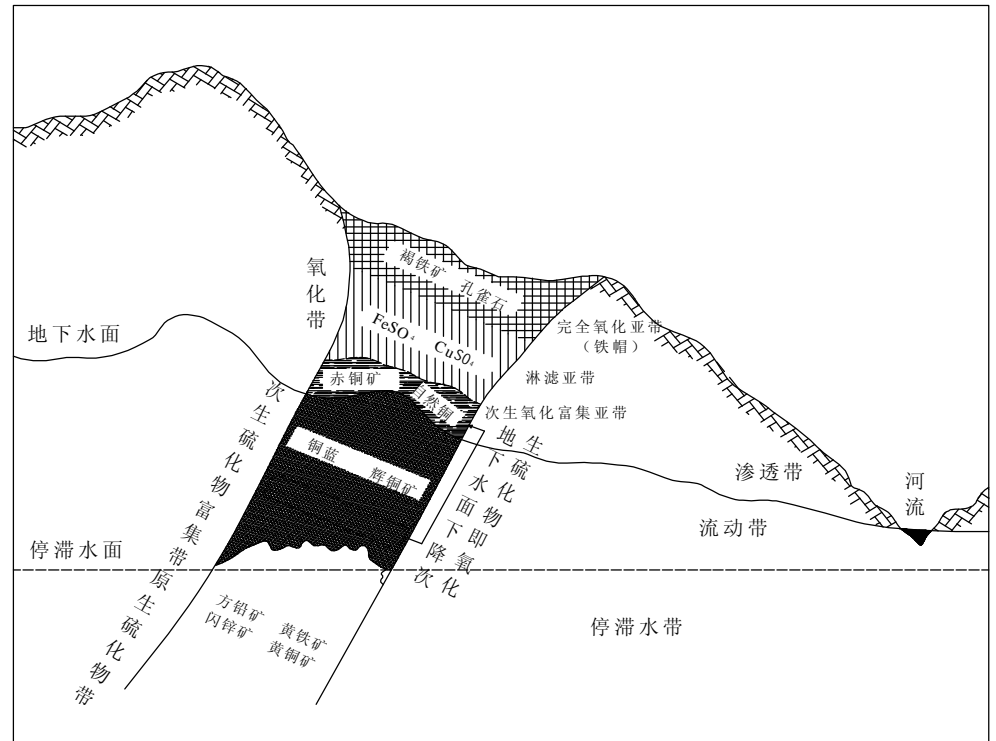


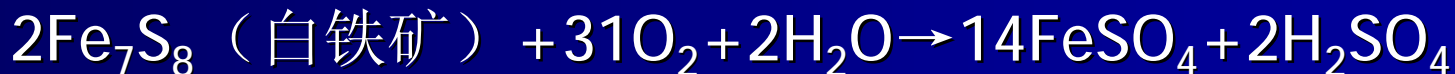
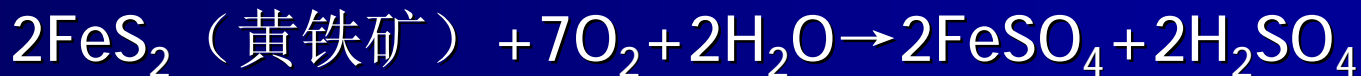
图 8-5 铜硫化物矿床表生分带示意图 (转引自袁见齐等, 1985)

一、金属硫化物矿床的表生氧化作用

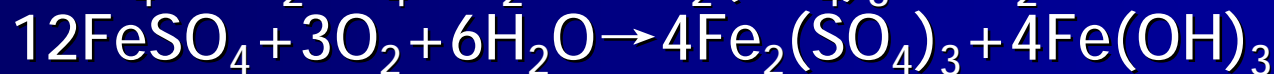
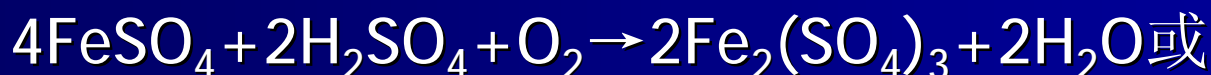
- n 在氧化带中，**硫化物**一般都很容易转变为硫酸盐，特别是矿床中常见的黄铁矿，氧化后形成的**硫酸铁和硫酸**，对其他硫化物矿物的分解起着重要的作用。
- n 除硫酸铅外，一般金属硫酸盐都**易溶**于水。因此金属物质在氧化带将被地表水或地下水搬运而分散。在有利的条件下，这些金属能够转移到深部发生再沉积。
- n 以常见的**铁、铜硫化物**为例，最常见的铁的硫化物矿物为黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿等。

一、金属硫化物矿床的表生氧化作用

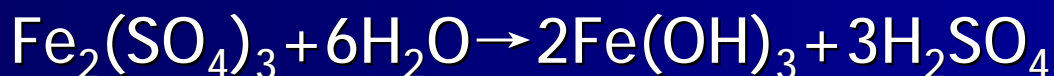
- n 它们在氧化带中的变化过程是：铁的硫化物→硫酸亚铁→硫酸铁(水解)→氢氧化铁，化学反应式如下：



硫酸亚铁很不稳定，会很快地变为硫酸铁：



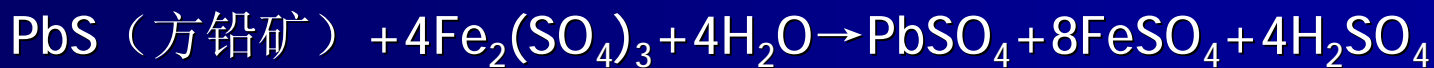
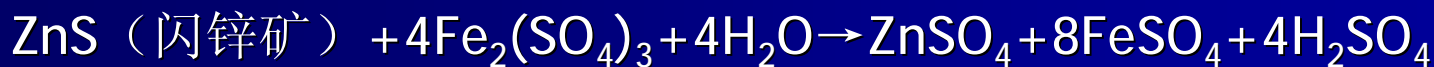
硫酸铁水解后，生成氢氧化铁及硫酸：



- n 近年来的研究证明，在硫化物的表生氧化和硫酸形成过程中，**细菌**起着非常重要的作用，如硫氧化杆菌等。目前，细菌已被视为参与硫化物矿床氧化过程的一种因素而日益受到人们的

一、金属硫化物矿床的表生氧化作用

n 如果氧化带中水很少，那么硫酸浓度则相对增大，因而反应不易向右进行。不过，**硫酸铁**是一种很强的氧化剂，能使铁、铜、铅、锌、银等的硫化物氧化成**硫酸盐**，如下各式：



一、金属硫化物矿床的表生氧化作用

上式表明了铁的硫化物的重要性，它们是生成硫酸铁和硫酸等溶剂的基础，它们的分解最终产物为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，是一种难溶的胶体化合物，它们多在原地沉淀形成凝胶物质，脱水后变成氧化铁的混合物——褐铁矿，包括水针铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）、针铁矿（ $\alpha \text{FeO}(\text{OH})$ ）、水赤铁矿（ $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）、赤铁矿（ Fe_2O_3 ）等。由于这些矿物异常稳定，所以它们与难溶物质如粘土、砂粒等残留在氧化带中，而其他组分在氧化过程中多呈易溶盐类被水带走，从而形成所谓“铁帽”。

一、金属硫化物矿床的表生氧化作用

- n 铜的原生硫化物以**黄铜矿**最为主要，其次为斑铜矿、辉铜矿等。铜硫化物除自身可被氧化分解为**硫酸铜**外，更多的是被铁硫化物氧化最终产物硫酸铁氧化为**硫酸铜**。
- n 硫酸铜具有很好的溶解性，通常被带出氧化带并向潜水面下移动，因此在大多数情况下，氧化带是明显地**缺铜**的。
- n 但在某些情况下，**铜**也可在氧化带中形成堆积，这可能与围岩或脉石矿物中有大量**碳酸盐**或**硅质岩**的存在有关，也可能由于蒸发作用促使铜从溶液中沉淀下来。

一、金属硫化物矿床的表生氧化作用

n 如果是这样，则可有一些孔雀石($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$)、硅孔雀石、蓝铜矿($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$)、胆矾($\text{Cu}(\text{SO}_4)5\text{H}_2\text{O}$)、水胆矾等矿物出现在氧化带铁帽中。

n 由上述可见，在一个铁、铜硫化物矿床中，只要出现前述的次生矿物，往往即可确定该矿床发生了表生氧化作用。

n 这些矿物出现的深度即代表氧化带的深度。

n 氧化带发育的程度，系受气候、地形、构造、矿床产状、矿石成分、围岩性质和时间等因素的控制。氧化带的厚度，一般多在数十米以内，但也见达百米以上者。

发育完全的氧化带内，一般包括以下各亚带：

(1) 完全氧化亚带

(铁帽)：

n 位于氧化带的最上部 (图8-5)，氧化作用进行得最为强烈，氧化时间也最长，以铁的氧化物和氢氧化物占绝对优势，故又称为**铁帽**。

n 铁帽呈褐色至棕红色，具松散或多孔状、蜂窝状构造。

n 通常作为金属硫化物矿床的重要找矿标志。

表生氧化及次生富集作用
第五节 金属硫化物矿床的

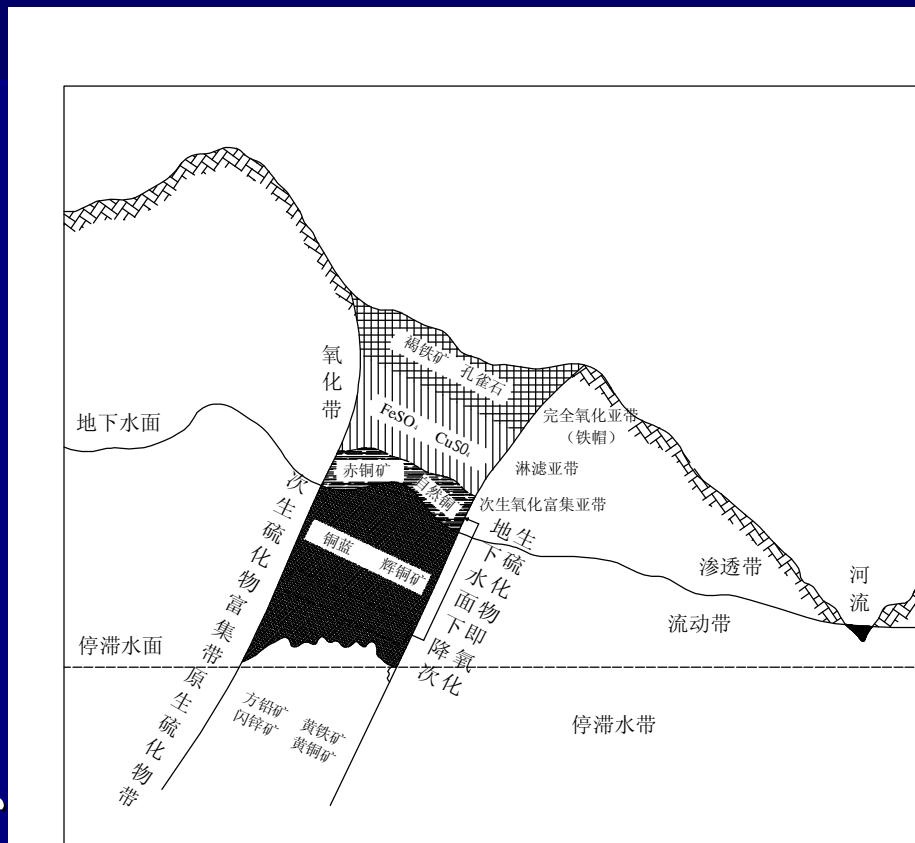


图 8-5 铜硫化物矿床表生分带示意图 (转引自袁见齐等, 1985)

(2) 淋滤亚带:

n 位于铁帽之下，是在其上部完全氧化亚带发育初期阶段所形成的强酸性溶液影响下发生的。

n 淋滤作用强烈以致硫化物几乎完全被带走，仅由铁的氧化物、氢氧化物和石英、重晶石等稳定矿物构成。

第五节 金属硫化物矿床的表生氧化及次生富集作用

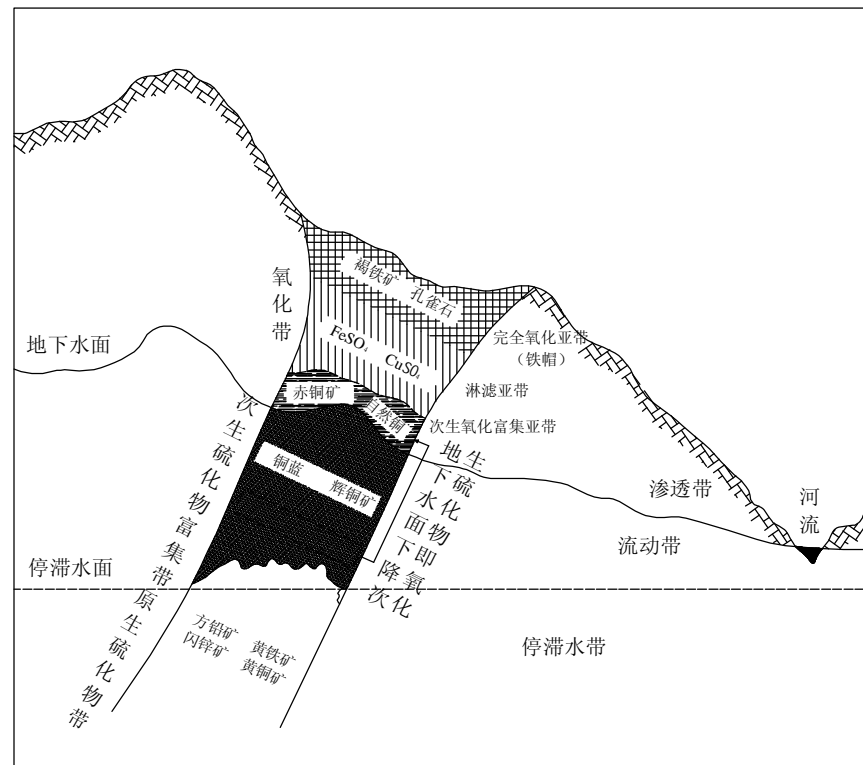


图 8-5 铜硫化物矿床表生分带示意图 (转引自袁见齐等, 1985)

二、金属硫化物矿床的表生氧化作用

(3) 次生氧化富集亚带:

n 仅出现在某些铜矿床氧化带的下部。它是由于构造作用使矿床分布区上升和地下水面下降,引起次生硫化物富集带随之上升进入氧化带,铜的次生硫化物从而受到氧化,结果生成更富含铜的新矿物——赤铜矿、自然铜等。如:

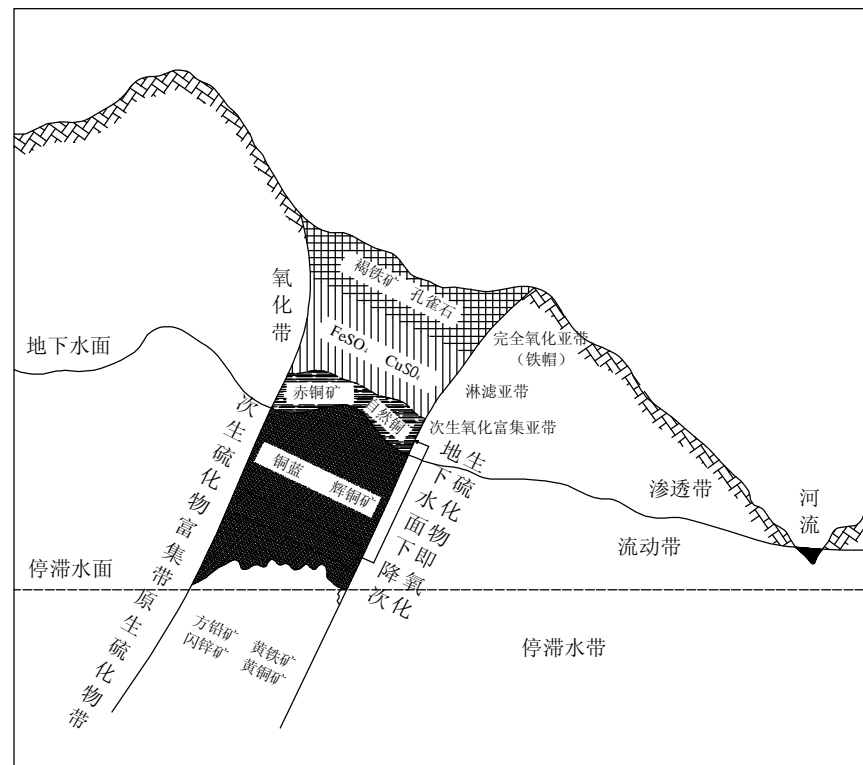


图 8-5 铜硫化物矿床表生分带示意图 (转引自袁见齐等, 1985)



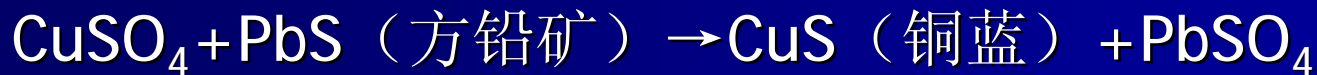
次生氧化富集亚带在许多情况下,特别是在地下水面变动很小而又风化强烈时,

可能不发育或完全缺失。

第五章 金属硫化物矿床的表生氧化及次生富集作用

一、金属硫化物矿床的次生富集作用

- n 从硫化物矿床的氧化带中淋滤出来的某些金属硫酸盐溶液，当渗透到潜水面之下流动带的还原环境中，便以交代原生硫化物的方式生成新的硫化物矿物，这些新的硫化物称为次生硫化物。
- n 例如，当硫酸铜溶液交代原生矿石中的硫化物时，便可产生辉铜矿、铜蓝等次生矿物，其反应式大体如下：



二、金属硫化物矿床的次生富集作用

- n 经过上述反应的结果，可以大幅度地提高矿石中的某种金属的含量（品位），从而提高矿床的工业价值。根据这一特征，通常把这类富集金属的作用，称为**次生富集作用**。发生此类作用的流动带，称为**次生富集带**（图8-5）。
- n 次生富集矿石的金属含量可较原生矿石高几倍至几十倍，不具工业价值的原生含矿岩石，经次生富集作用结果可变为矿石甚至是富矿石。由此可见，次生富集作用具有很大的实际意义。

二、金属硫化物矿床的次生富集作用

- n 必须指出，在硫酸盐溶液交代原生硫化物时，通常是按一定顺序进行的，即一般认为是按元素的亲硫性大小顺序进行的，这一序列称为休曼序列（Schürman），即Hg-Ag-Cu-Bi-Cd-Pb-Zn-Ni-Co-Fe-Mn。由前到后，亲硫性逐渐变小。序列前面的金属盐类，可以交代后面的金属硫化物，即序列前面的元素可置换后面的元素。相反的情况一般是不存在的。
- n 举例来说，铜的硫酸盐溶液可以交代铅、锌、铁、钴等原生硫化物，但它不能交代汞、银的原生硫化物。实际上，休曼序列是由金属元素间的氧化还原电位的高低决定的，前面元素的氧化还原电位高于后面元素。

一、金属硫化物矿床的次生富集作用

表生氧化及次生富集作用
第五节 金属硫化物矿床的

- n 次生硫化物富集带的厚度，一般为几米至几十米，个别矿床内可达百米以上。次生硫化物多聚集于该带的上部，随着深度的增加，次生硫化物逐渐减少，最后过渡为原生矿石带。
- n 次生富集作用的最典型的例子是美国亚利桑那州 Miami 矿床的 Inspiration 矿体（图8-6）。这个矿床属斑岩型铜矿床，原生矿石品位1%，由浸染状黄铜矿组成，产在花岗岩体的边部，次生富集形成了品位4%左右的主要由辉铜矿组

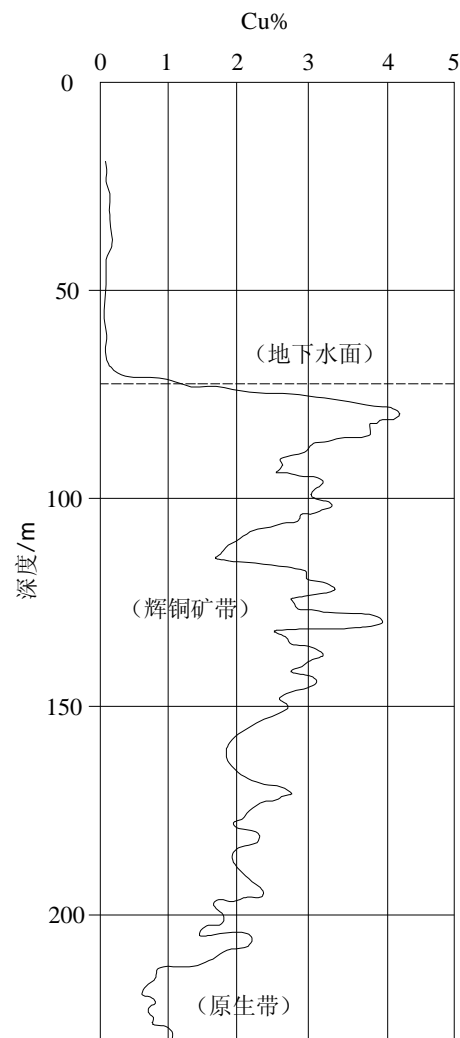


图8-6 美国亚利桑那州 Miami 矿床根据钻孔资料做出的 Cu 品位变化曲线