

谨将此书献给第三十届国际地质大会

中国南方红色风化壳

黄镇国 张伟强 陈俊鸿 刘瑞华 何正翀 著



海洋出版社

ISBN 7-5027-4195-X



9 787502 741952 >

ISBN 7-5027-4195-X/P·380

定 价：40.00 元

中国南方红色风化壳

黄镇国 张伟强 陈俊鸿 刘瑞华 何正坤 著

海洋出版社

1996年·北京



谨将此书献给
第三十届国际地质大会

黃鎮國

前 言

我国北有黄土,南有红土。黄土面积约 44 万 km^2 ,红土面积是其 5 倍,约达 220 万 km^2 。黄土最南分布到 28°N ,红土残留最北达 45°N ,但两者主要在 31°N 上下的长江北岸接壤。北方黄土中亦有红化古土壤层,南方红土的发育则可分多期,南北呼应,都反映了气候波动和环境变化。我国黄土研究成果已为世人所瞩目,而红土也是第四纪环境演变的重要信息源。本书系统论述我国南方红色风化壳(红土)的基本问题,书中不乏笔者的新认识和新见解,抛砖以引玉,希望能够起到承前启后的作用,有助于红土的深入研究。

红色风化壳同一对象却有十多种大同小异的名称。关于红壤与红色风化壳的关系,土壤学者强调两者的区分,地理地质学者则注重两者的统一。红色风化壳的分类至少有 16 种方案。我们认为,红色风化壳是风化壳发育的最后阶段,脱硅富铝化是其本质过程,因此,发生应是分类的基础,分类离不开发生的条件、阶段、属性三结合的原则。

关于红色风化壳的风化特征值,例如风化系数,至少有 13 种指标,本书选用其中的 3 种,并强调将“风化系数”(绝对的)与“风化率”(相对的)分开,便于进行不同母岩风化壳的对比。为此,还引进了均衡度的概念,建立了风化强度的计算式,以百分数表达风化强度。根据我国南方 92 个典型红色风化壳的 3 种风化率指标和风化强度指标,将红色风化壳分为 4 个等级:强度富铝化、次强度富铝化、中度富铝化、轻度富铝化。

讨论红色风化壳风化特征的地带性差异,只有同类母岩才有可比性。本书列举 42 例花岗岩风化壳,有 25 例具明显的地带性。28 例玄武岩风化壳则因母岩年龄及化学组成不同而使地带性不明显。10 例石灰岩风化壳亦有类似情况。30 例砂页岩风化壳,有 21 例具地带性。17 例第四纪红色粘土风化壳,有 14 例具地带性。

风化过程是原生矿物不断破坏而次生矿物不断生成的过程。我们将 6 类母岩共 51 例红色风化壳的粘土矿物组成进行了对比,发现它们没有明显差异,表明母岩岩性对风化壳矿物特征的影响较小。

风化壳的微量元素含量随风化强度而增大。但是,6 类母岩共 97 例红色风化壳微量元素含量的对比表明,母岩岩性是更具决定性的因素。同样,母岩的稀土元素丰度对风化壳有深刻影响,但是稀土元素总量则随风化加深而富集。母岩对风化壳磁性特征的影响也大大超过地带性因素的影响;风化壳剖面上、下层磁化率的差异未必是风化深浅的反映。

红色风化壳的色源是氧化铁及其水化物,氧化环境中发生正向呈色(变红),还原环境中发生反向呈色(变黄), Al_2O_3 和 SiO_2 的淀积产生白色。网纹层形成的必要条件是湿热的气候、平坦的地形、频繁的地下水活动。网纹层不都是比上部红土层风化更深的古风化壳,华南发育在花岗岩上的网纹层便是半风化层,是矿物不均匀风化所造成。红色风化壳的剖面构型和层次划分因母岩岩性而异。

关于红色风化壳的时代颇多争议。我们认为红色风化壳都是古风化壳,但有的已中断发育,有的则继承发育至今。根据我国南方 70 多处红色风化壳的实例,初步认为存在上新世甚至早第三纪的红色风化壳,早更新世红色风化壳普遍发育,中更新世为发育盛

期,晚更新世以来为继承发育期。

除南方的大量实例外,我们还联系到北方的30多个实例,将全国的红土发育划分为6期,其中可资参照的实测年龄数据,早更新世的21个,中更新世的42个,晚更新世的11个。这6个红土期为: N_2 、 Q_1^1 — Q_1^2 (2.1~0.8Ma B. P.)、 Q_2^1 (0.65~0.40Ma B. P.)、 Q_2^2 (0.3~0.15Ma B. P.)、 Q_3^1 (0.12~0.07Ma B. P.)、 Q_3^2 (0.054~0.024Ma B. P.)。

上新世以来,我国红土的分布曾经几度北推或南移。然而,由于各家依据不同时代、不同风化程度、不同地点的红土,因而所划的红土时空变迁界线差异甚大。我们认为,应将各地不同时代的红土,按照3个等级即棕红色土、红土、强风化红土或网纹红土,分别确定3条红土时空分布界线,并参照其他的古气候或古环境标志,综合考虑相应的自然地带的配置。据此,我们初步重建了我国早第三纪至全新世初共9个时期自然地带的变迁过程,并作了较详尽的论证。

红土期指示温暖气候期,至于气候期与构造期的对应关系则颇多争议。我们认为,我国的6个红土期不仅分别对应于间冰期,而且对应于构造运动的相对平静期。红土发育的时空演变,反映了我国上新世以来的三大构造事件,三大构造事件引起我国构造地貌发育的三个阶段(西部、中西部、东部),导致三大台阶地貌的塑造(雏型、定型、发展),促进季风环流的发展(交替期、建立期、形成期),红土期—气候期—构造期三者之间存在天然的耦合关系。

本书作者在前人研究的基础上,从环境演变的角度,对红色风化壳的一些基本问题作了较系统的论述,但是,有关基岩红色风化壳的风化速率、年龄、发生层、发育期、古气候标志、构造意义、区域对比等,仍然是红色风化壳研究的主要难点。

本书的执笔分工如下:黄镇国,前言、第1~5章、第9章、第11~13章;张伟强,第7、8章;刘瑞华,第10章;陈俊鸿,第6章;全书由黄镇国、张伟强补充、修改和定稿。书中全部插图由何正翀应用电脑辅助制图系统及GIS制作。参加野外工作的还有张彪、林明、王虎生、张志芳、黎书平等同志。

我国红土约占全国陆地面积的五分之一,百余个实例只能反映其概貌,而且我们的研究尚欠深入,学术水平也不高,书中必定存在不足、不当和错误之处,敬希读者批评指正。

作者

目 次

1 红色风化壳的发生学地位	1
1.1 风化壳的概念	1
1.2 风化壳的发育因素	2
1.3 风化壳的发育阶段与分类	4
1.4 红色风化壳是风化壳的最后发育阶段	7
2 红色风化壳的地带性与非地带性	9
2.1 气候对风化壳的影响	9
2.2 世界红色风化壳的地带性	11
2.3 中国风化壳类型及其地带性	14
2.3.1 风化壳类型	14
2.3.2 风化壳分布的地带性	17
2.4 中国南方红色风化壳的地带性	21
2.5 红色风化壳的非地带性	27
3 红色风化壳的类型与基本特征	28
3.1 红色风化壳的分类	28
3.2 红色风化壳的基本特征	35
4 风化强度	38
4.1 风化特征值	38
4.2 风化强度指标	39
4.3 富铝化程度	53
4.4 风化强度的比较	54
4.5 若干理化性质与风化强度	56
5 风化特征的地带性与非地带性差异	58
5.1 地带性差异	58
5.1.1 花岗岩风化壳	58
5.1.2 玄武岩风化壳	64
5.1.3 石灰岩风化壳	68
5.1.4 砂页岩风化壳	71
5.1.5 紫红色砂页岩风化壳	75
5.1.6 第四纪红色粘土风化壳	78
5.1.7 第四纪新沉积物风化壳	81
5.2 非地带性差异	83
6 微量元素特征	90
6.1 微量元素含量	90
6.1.1 母岩的微量元素含量	90
6.1.2 风化壳的微量元素含量	92

6.1.3	风化壳微量元素含量与母岩的关系	96
6.2	微量元素的迁移和累积	105
6.2.1	微量元素的活动性	105
6.2.2	微量元素的迁移率和累积率	107
6.2.3	微量元素迁移累积与母岩的关系	107
7	稀土元素特征	114
7.1	稀土元素丰度与母岩的关系	114
7.2	稀土元素丰度与风化程度的关系	118
7.3	稀土元素的剖面分布	119
8	磁性特征	122
8.1	磁化率与母岩的关系	122
8.2	磁化率与风化程度的关系	124
9	矿物特征	127
9.1	风化壳矿物组成的一般特点	127
9.2	风化壳矿物组成与母岩的关系	129
9.3	风化壳矿物组成的地带性	132
10	剖面特征	135
10.1	红色风化壳的呈色机理	135
10.2	网纹层	138
10.3	红色风化壳的剖面构型	145
10.3.1	花岗岩红色风化壳	145
10.3.2	玄武岩红色风化壳	152
10.3.3	第四纪红色粘土风化壳	153
10.3.4	紫红色砂页岩风化壳	158
10.3.5	碳酸盐岩红色风化壳	160
11	红色风化壳的时代和继承性	166
11.1	风化速率	166
11.2	红色风化壳是古风化壳	167
11.3	红色风化壳的时代	171
12	红色风化壳的发育期(红土期)	178
12.1	华南地区	178
12.1.1	第四纪地层中的红土期	178
12.1.2	沿海老红砂的红化期	182
12.1.3	河流阶地的红土期	183
12.1.4	夷平面反映的红土期	192
12.1.5	埋藏风化壳的红土期	194
12.1.6	雷琼地区玄武岩的红土期	195
12.1.7	几类红土层的时代对比	197
12.2	台湾岛	200

12.2.1	第四纪地层中的红土期	200
12.2.2	夷平面和阶地的红土期	201
12.3	江南地区	202
12.3.1	浙江境内的红土期	202
12.3.2	江苏境内的红土期	204
12.3.3	安徽境内的红土期	204
12.3.4	江西境内的红土期	207
12.3.5	湖南境内的红土期	213
12.3.6	湖北境内的红土期	214
12.3.7	长江中游地区的红色泥砾层	216
12.3.8	雨花台砾石层与红土期的关系	216
12.3.9	下蜀黄土中的古土壤	218
12.4	四川盆地	219
12.5	云贵高原	222
12.6	青藏高原	228
13	红色风化壳与环境变迁	234
13.1	我国北方的红色风化壳	234
13.2	红色风化壳与构造运动	246
13.2.1	我国三大台阶地貌的形成	246
13.2.2	新构造期	249
13.2.3	块断构造运动	253
13.2.4	差异升降	256
13.2.5	区域构造变形	263
13.3	红色风化壳与自然地带变迁	269
13.3.1	自然地带变迁的原因	269
13.3.2	红色风化壳的自然地带标志	273
13.3.3	上新世的自然地带	277
13.3.4	早更新世的自然地带	279
13.3.5	中更新世的自然地带	283
13.3.6	晚更新世的自然地带	289
13.3.7	全新世早期的自然地带	295
13.4	风化期、构造期、气候期的耦合	296
	参考文献	304

1 红色风化壳的发生学地位

1.1 风化壳的概念

什么是风化壳？风化壳与土壤有什么区别？至今尚无统一的认识。以红色风化壳为例，就有多种名称：红色风化壳（红色粘土）、红土风化壳、红土、红壤（砖红壤）风化壳、富铝风化壳、铁铝土或富铝土（包括砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、燥红土）、镁硅铝土、铁质土、氧化土、老成土、淋溶土等。欧洲的许多研究者把红壤（砖红壤）风化壳与红壤（砖红壤）等同看待，因为虽然从红色风化壳到红壤要有一个成土过程，成土作用加强了红壤的生物作用从而提高了土壤肥力，但是，成土作用后的红壤仍然继承了红色风化壳的地球化学特征，更没有改变原有的地球化学过程，红壤渗出液的化学成分也证明，富铝化作用仍在进行，红色风化壳的富铝化作用也就是红壤的成土过程。

我们基本赞同将风化壳与土壤作为统一整体的看法。风化壳是土壤形成的基础，是成土母质；土壤是风化壳的表层，是风化壳的一部分。对于红色风化壳与红壤系列的关系则尤其是如此，因为红壤往往是古土壤，主要不是现代生物气候条件下的产物，而是风化壳本身，是风化壳延续发展至今的产物。至于一些与现今气候带不相匹配的古红色风化壳，例如我国残留的红色风化壳分布到 45°N ；俄罗斯的古红色风化壳残留在乌拉尔、伏尔加河流域、东西伯利亚，还有中亚、哈萨克斯坦的古红色风化壳（卢卡舍夫，1960），其上发育的土壤不具穿时性，则不是风化壳的一部分。

岩石及其组成的矿物质在大气圈、水圈、生物圈作用下发生的各种复杂的量变和质变过程的综合，称为风化作用。风化壳是风化作用的产物，是各种矿物体系、化学体系、有机体系的综合体系。因此，风化壳可以看成是地球表面自然地理圈之中的一个圈，即除大气圈、水圈、生物圈之外，还有一个存在于岩石圈表面的与另外三个圈相互作用的风化圈，它是解体了的疏松的母岩，风化圈的表层即是土圈。

风化壳是岩石圈的疏松外壳，是母岩风化的结果；土壤则是以风化壳为母质经成土作用的产物。但是，在土壤的形成和发展中，风化过程又是成土过程本身的一部分。其原理在于风化过程与成土过程是同时进行的，并非风化过程先于成土过程。物理风化、化学风化、生物风化是指三种风化作用，而不是先后的三个风化阶段。这体现了风化壳与土壤形成发展过程的统一性。

五大成土因素即气候、生物、母质、地形、年龄也是影响风化壳形成发育的五大因素，不同之处在于风化壳以母岩（基岩）为基础，土壤则以风化壳为母质。这也体现了风化壳与土壤形成发展过程的统一性。

然而，风化壳与土壤毕竟是两个不同的自然客体；风化过程与成土过程是两个不同的过程。

风化过程包括物理风化、化学风化、生物风化。风化产物包括硅质风化物、长石质风

化物、铁镁质风化物、钙质风化物等。风化过程分多个阶段:碎屑风化阶段、钙淀积阶段、硅铝风化阶段、富铝化风化阶段。成土过程则是另一种发生系列,包括有机质的累积和分解、粘土矿物的生成和破坏、土壤物质的淋溶和淀积、土壤的氧化和还原、土壤的熟化。在不同的生物气候条件下形成不同的土壤类型。

风化壳与土壤的重大区别在于生物因素作用的程度。关于土壤有许多种类同的定义,例如,土壤是“能够生产植物收获物的地壳陆地表层”(道库恰耶夫);“必须把植物根的主要部分所处的那一层土地表层叫土壤”(柯斯特切夫);“肥力是土壤有别于其他物质的本质特征”(威廉斯);“土壤是陆生植物、动物和微生物生存的环境条件”(柯夫达);“红色风化壳及在茂密多层热带雨林、季雨林和常绿阔叶林下形成的多种类型红壤和黄壤”(席承藩,1991);“发育在红土和红色风化壳上的红壤和砖红壤”(朱显谟,1993);“土壤的概念,从来是和生物累积的概念分不开的”(龚子同,1980);“红壤除具有上述脱硅富铝化过程外,同时具有明显的生物富集过程”(赵其国,1983)。上述论述都说明风化壳上发育了土壤,土壤形成的实质是生物因素与非生物因素的相互作用,是生物有机体与母质(风化壳)之间物质和能量的交换,而这种交换必须以生物有机体从土壤中吸取一系列元素为前提。因此,土壤的下限应是高等植物主要根系分布的深度,其下为风化壳。当风化壳厚度大于土壤时,可将没有积极参与成土过程的风化壳与土壤区别开来(龚子同,1980)。一般地说,在一个剖面中,A₀层(有机质层)、A₁层(腐殖质积累层)、A₂层(淋溶层、灰化层)和B层(淀积层)属于土壤,以下的C层(母质层)属风化壳,D层为母岩。但是,如前所述,广义的风化壳范围则包括土壤层在内。

风化壳是一种自然历史的地质形成物,从第四纪学的角度,主要研究其剖面结构、地球化学过程、年龄及风化速率、风化过程所反映的古环境及构造演变等。土壤是一定生物气候条件下形成的产物,从土壤学的角度,主要研究其剖面、质地、结构、微形态、矿物质、有机质、水分、空气、微生物、形成过程等。可见,土壤学家把风化壳作为土壤的母质来研究,更重视土壤与风化壳的区分;地质学家将土壤视为风化壳的表层,更重视两者的统一性。

1.2 风化壳的发育因素

讲到风化作用和风化壳发育因素时,一般是将气候、母岩、地形、生物、年龄并列,表述为风化壳是这五大因素的函数。我们认为,风化壳作为地球表面的一种自然地理现象,无疑受到地球内力作用和外力作用的共同影响,并表现为空间的分布和时间的变迁。内力作用(新构造运动)是影响风化壳发育的重要动力之一。因此,风化壳的发育因素有5个方面。

(1)外力作用 包括气候与生物作用,尤其是前者。外力作用表现为物理风化和化学风化。物理风化改变岩石的形状和大小,增强空气和水分的通透性,增大岩石暴露的表面积,为化学风化创造更有利的条件。生物作用也是以物理和化学的方式作用于岩石和矿物。化学风化主要是水的作用,又称化学分解作用,它是风化和风化壳形成和差异的本质过程。

化学风化包括4种作用:①水的溶解作用。没有一种矿物是完全不溶于水的。CO₂

遇水产生 H_2CO_3 , 会加强水的溶解作用。②水化作用。矿物与水化合, 称为水化, 例如氧化铁的水化: $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。矿物水化后膨胀变松, 促进其他风化作用的进行。③水解作用。水有一定的离解度。水解作用主要决定于 $[\text{H}^+]$ 。水解过程有一定的顺序性。例如正长石, 首先是脱盐基作用, H^+ 交换出矿物中的盐基离子形成可溶盐类而被淋溶。其次是脱硅作用, 矿物中的硅以游离硅的氧化物离析并开始淋溶。然后是富铝化作用, 矿物被彻底分解, 硅酸继续淋溶, 而氢氧化铝富集。④氧化作用。岩石中的铁、锰和其他元素从低价形式向高价形式转变, 岩石的颜色由冷色调转变为暖色调。铁、锰的硫化物在氧化过程中生成氧化物和游离硫酸。

不同气候带年中水量收支平衡的差异导致风化壳性状的差异。例如, 在低纬湿热地带, 年降水量大于蒸发量, 雨季时风化壳中以下引水流为主, 造成水溶性物质的淋溶, 剖面上层残余石英相对积聚, 三氧化物、二氧化物部分向下移动并淀积, 这种风化壳属淋溶型。在干旱或半干旱的荒漠或草原, 年蒸发量大于降水量, 淋溶作用不充分, 易溶性盐类阻留在深层, 难溶性盐类淀积在剖面的一定深度, 这种风化壳属弱淋溶型。

红色风化壳的水溶液呈酸性, 这是湿热气候带生物有机体参与风化作用的一个重要表现。热带森林中地上部分新鲜活质的年产量达 $100 \sim 200\text{t}/\text{hm}^2$ (卢卡舍夫, 1960)。生物有机质的分解产生 CO_2 、 NH_4 、各种有机酸。 CO_2 溶于 H_2O 生成 H_2CO_3 。氮在硝化细菌作用下变成硝酸。这些酸类的存在, 使溶液中的氢离子浓度增加, 酸性增强。酸性溶液对矿物质的分解作用强, 例如, 原生矿物硅铝酸盐类, 在酸性溶液作用下, 分解迅速而彻底; 相反, 在碱性溶液作用下, 分解缓慢。

(2)母岩因素 不同的岩石在相同的外力作用等条件下可以形成不同类型的风化壳, 相反, 在不同的外力作用等条件下, 同样的岩石会形成不同的风化壳类型。前者是由于岩石的抗风化能力有差异。例如, 石灰岩因方解石极易风化, 大量 CaCO_3 溶于含 CO_2 的水中而淋失, 故风化快而风化壳薄。玄武岩中的主要矿物辉石和角闪石的晶格能小, 易风化, 故玄武岩风化较快, 风化壳也较厚。花岗岩中的主要矿物正长石和石英的晶格能大, 不易风化, 故花岗岩风化缓慢, 但花岗岩的其他物理性质如矿物颗粒不均匀、多节理而易崩解等, 又有利于风化作用的深化而发育深厚的风化壳。砂岩中残留大量难风化的石英, 其化学性质较稳定, 故砂岩较难风化, 风化壳浅薄。因此, 上述几类岩石的风化速度可排成下列次序: 石灰岩 > 玄武岩 > 花岗岩 > 砂岩 (龚子同, 1980)。

同一种岩石在不同环境中形成不同类型的风化壳, 这反映了岩石是风化壳形成的内在基础, 外力作用等则是风化壳发育的外在条件。

风化壳的属性往往继承了母岩的性质。酸性岩含石英、正长石、白云母等抗风能力强的浅色矿物较多, 风化壳的质地粗; 基性岩含角闪石、辉石、黑云母等抗风化力弱的深色矿物较多, 风化壳质地粘重。从酸性岩到基性岩, 随着硅含量的减少而铁、锰、镁、钙含量显著增多, 因而发育于基性岩的风化壳, 其淋滤系数 (SiO_2/MgO)、分解系数 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$)、铝化系数 ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$)、铁化系数 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$) 的相对值均大于发育于酸性岩的风化壳。在热带亚热带地区, 石灰岩和紫色页岩所发育的风化壳, 因母岩含有大量碳酸钙, 阻滞和延缓了富铝化过程的进行, 分别发育了石灰岩红土和紫色土, 风化壳在颜色、质地和化学特性上都保持母岩的一些特征。

不同的母岩产生不同的风化产物。由硅质组成或硅质胶结的石英岩、石英砂岩、硅质

砾岩产生硅质风化物；长石质岩石如花岗岩、正长岩、流纹岩、粗面岩、片麻岩等产生长石质风化物；铁镁质岩类如玄武岩、闪长岩、安山岩、玢岩、片岩等产生铁镁质风化物；钙质岩类如石灰岩、白云岩、钙质砂页岩等产生钙质风化物。

(3)地形因素 地形间接影响风化壳的发育,不同地形部位引起地表水热条件的重新分配,但并没有提供新的物质。风化壳类型的垂向分异是地形因素的主要表现。同一风化壳类型在不同气候带,其分布高程有很大差异。例如,非洲东部坦噶尼喀湖畔的基佛山,属热带草原气候,红色风化壳的分布高程是1 200m以下。外高加索西部属亚热带气候,红色风化壳分布在高程500m以下。南美洲安第斯山东坡,在3°N至15°S的范围内,属热带雨林气候,红色风化壳可分布到高程2 500~2 800m,高程800~1 400m以下为强度富铝化风化壳。巴西中南部高地为热带草原气候,红色风化壳仅分布到高程200~400m。在我国,红色风化壳分布在长江以南高程500m以下的阶地、丘陵、低山,但是古红色风化壳则分布到高程2 000~3 000m(云南),甚至4 000m(西藏)。

(4)内力作用 主要指新构造运动。地形取决于内、外营力强度的比例,但从大地形看,地形形成的一般规律是内力的强度大于外力。因此,新构造运动改变地形,从而改变其他的风化壳发育因素。但是,新构造运动也可以不通过地形的改变而直接影响风化壳的发育,例如,由于构造沉降及海平面变化,我国南方红色风化壳普遍被三角洲沉积层或河流冲积层所覆盖成为埋藏风化壳,而地形并无大的改变。江西泰和、湖南衡阳等红岩盆地边缘,因新构造上升量不同,红土层以下的红色岩系具有不同的埋藏深度,反映出新构造运动改变母岩的分布。广西都安等石灰岩地区,新构造抬升引起河流转入地下,环境变化很大而地形依旧(陆景冈,1985)。新构造运动还直接影响风化壳的年龄。近期地壳相对稳定地区,典型的地带性风化壳持续发育。强烈上升区风化壳年轻且易受侵蚀。同高度的阶地面或剥蚀面,可以是古老地面被沉降,也可以是年轻地面被抬升而成,故而风化壳的年龄不同,而地形上却无大的差别。与目前环境不匹配的风化壳例如高程数千米的红色风化壳,则是古风化壳被抬升后的残留。

(5)年龄因素 年龄反映了风化壳形成、发展、演变的动态过程。相对年龄指风化壳的发育程度;绝对年龄从风化壳开始形成时起算。高纬度风化壳的绝对年龄小,许多地区是冰后期冰川退却之后形成新风化壳,不超过一万年。中纬度风化壳的年龄较老,最新冰期只发生在山区和山前区域。低纬度风化壳的年龄最老,未受冰川直接影响,风化壳年龄为数十万年或数百万年,红色风化壳大多是古风化壳。

上述5个因素是相互影响的,其主次关系要从空间和时间上来考察。对于风化壳的地带性而言,气候是主要因素,例如红色风化壳形成于热带亚热带。同一地带内红色风化壳类型的差异,其主要影响因素可能是地形或是母岩岩性。风化壳风化程度的差别,其主要影响因素可能是年龄。与地带性不适称的风化壳“异常”分布,其主要影响因素可能是新构造运动。

1.3 风化壳的发育阶段与分类

美国杰克逊将风化过程分为13个阶段,各阶段都以其代表性矿物来命名,即石膏阶段、石灰石阶段、橄榄石阶段、黑云母阶段、钠长石阶段、石英阶段、白云母-伊利石阶段、水

云母-蛭石阶段、蒙脱石阶段、高岭石阶段、水铝矿阶段、赤铁矿阶段、锐钛矿阶段。在不同气候条件下,风化过程处于不同的阶段。只有在热带条件下,风化过程才能进入最后几个阶段。

波雷诺夫将风化过程划分为4个阶段。只有在湿润热带气候条件下,经历长时期的连续风化过程,才能完成4个阶段。这4个阶段是:①碎屑风化阶段。在湿润气候区,原生矿物进一步破坏,风化壳迅速向下一阶段发展;在干旱气候区,淋溶作用微弱,风化壳维持在年轻的阶段上。②钙淀积风化阶段。在干旱气候条件下,风化壳中堆积 CaCO_3 , 故称钙淀积风化阶段,可形成碳酸盐风化壳。原生矿物被分解破坏,最易移动的元素 Cl 、 S 、 Na 从风化产物中淋走, Ca 、 Mg 、 K 等大部分保留在风化壳中。 Ca 是碳酸盐风化壳的标志元素,在 Ca 的影响下,水溶液呈中性至碱性。在干旱气候区,风化壳中的 CaCO_3 是稳定的,故这一风化阶段能够长期维持。③硅铝风化阶段。在湿润气候条件下,风化壳受到强烈淋溶, Ca 、 Mg 、 Na 、 K 等盐基很快被淋失,并相对地堆积了 Si 、 Al 、 Fe 组成的次生粘土矿物如高岭石、伊利石等,故称硅铝风化阶段,产生硅铝风化壳,或称粘土风化壳。由于风化壳缺乏盐基,故水溶液呈酸性反应,代换性 H^+ 、 Al^{3+} 聚积, H^+ 是硅铝风化阶段的标志性离子。本阶段的前期还有相当丰富的 Ca 、 Mg , 溶液呈中性反映,称为中性(饱和,吸收性复合体为 Ca 、 Mg 所饱和)硅铝风化阶段;以后随着 Ca 、 Mg 的淋失,吸收性复合体不为 Ca 、 Mg 所饱和,而且有了交换性 H^+ 、 Al^{3+} , 溶液的酸性加强,故称酸性(不饱和)硅铝风化阶段。④富铝化风化阶段。这是风化的最后阶段,不仅盐基大量淋失,硅酸盐分解时形成的硅酸也大量淋失,风化壳的主要成分是 Al_2O_3 , 也有少量 Fe_2O_3 , 故称富铝化,形成富铝化风化壳。风化壳深厚,几十米甚至几百米。酸性反应。本阶段的风化壳只有在潮湿热带强烈风化和强烈淋溶的条件下,构造运动稳定,地形平坦,经历长久的地质年代才能形成。

上述4个风化阶段反映了风化壳处于一个地球化学过程的不同阶段,从矿物的演变和元素的迁移来看,风化的地球化学过程就是原生矿物逐渐破坏,次生矿物不断形成;最易移动的元素 Cl 、 S 最先迁移,易移动元素按 $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$ 的次序迁移,然后是可移动的元素 Si 迁移,难移动的惰性元素 Fe 、 Al 则发生聚积。按此规律,风化壳的发育可分5个阶段(龚子同,1980):①碎屑状风化壳;②碳酸盐风化壳;③硅铝风化壳;④富铝风化壳;⑤含盐风化壳。含盐风化壳主要指内陆干旱区的风化壳,处于脱盐或积盐阶段,碳酸盐风化壳处于脱钙或钙积聚阶段,硅铝风化壳处于脱盐基阶段,富铝风化壳处于脱硅阶段。这就是通常所说的风化壳发育的4个阶段:脱盐、脱钙、脱盐基、脱硅阶段。这4个阶段,其发生条件是气候从冷到热,从干到湿;发育程度(风化度)是由弱到强;风化壳的属性是粘粒含量由少到多,粘土矿物种类由复杂到简单,粘土矿物组成由2:1型变为1:1型。

卢卡舍夫(1960)根据风化的地带性条件、元素迁移和累积,将风化壳划分为5个地球化学阶段和类型(表1.1)。

卢卡舍夫又曾将风化壳分为地带性的、非地带性的、残积的、堆积的、过渡性的等类型。其中,残积风化壳再分为自形壳(正地形)、水形壳(负地形);堆积风化壳再分为自形壳(分散元素外迁)和水形壳(分散元素聚积),后者的典型例子是红色风化壳。

波雷诺夫曾根据风化壳的来源分为正残积风化壳(岩浆岩、正变质岩)、副残积风化壳(沉积岩、副变质岩)、新堆积风化壳(第四纪沉积物)。

伊万诺娃从地理发生观点,将前苏联的风化壳分为9个生态发生带:极地带、北方冻

表 1.1 元素迁移的风化壳地球化学分类

地球化学类型	元素迁移和累积	风化的地带性条件
碎屑风化壳	微弱淋失	苔原带, 低温, 水溶液酸性
硅铝—粘土质风化壳	Cl、Na、Ca、Mg、K 等淋失, Al_2O_3 和 Fe_2O_3 在下层淀积, SiO_2 堆积	泰加森林带, 中温中湿, 水溶液弱酸性至强酸性
硅铝—碳酸盐风化壳	Ca、Mg、K 和部分 Na 堆积, 主要是 $CaCO_3$ 堆积	草原带, 中温中湿向高温干旱过渡, 水溶液中性至弱碱性
硅铝—氯化物—硫酸盐风化壳	SiO_2 迁移, Na、Ca、Mg 的氯化物硫酸盐堆积	荒漠带, 高温缺水, 碱性溶液
富硅铝—铁风化壳和富铝风化壳	SiO_2 、Na、Ca、Mg、Na、K 淋失, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 堆积	潮湿热带与亚热带, 高温潮湿, 弱酸性、中性或弱碱性溶液

结泰加林带、北方泰加林带、亚北方森林带、亚北方草原带、亚北方半荒漠荒漠带、亚北方和热带半荒漠带、亚热带半干旱带、亚热带湿润带。

柯夫达从生物地球化学观点将风化壳分为 8 个群系: 酸性富铝化、酸性富铝化高岭质、酸性高岭质、酸性硅铝化、中性弱碱性硅铝化、中性弱碱性蒙脱型、碱土和盐渍土、火山灰土。前 3 个群系为红色风化壳。

格拉西莫夫从发生学诊断(剖面构型、发生层组成等)观点, 将风化壳分为 7 个发生类: 冰沼及冰沼草原、泰加林、森林及森林草原、草原、荒漠、亚热带、盐渍土。

索科洛夫等提出以剖面特性、质地特性、动态特性为依据, 建立风化壳的基础分类, 然后逐级归纳, 如同提供“砖”和“水泥构件”, 然后建立“分类大厦”。

德国的库比恩纳等主张按形态发生学即综合考虑风化壳的形态特性、理化生物性质, 并与环境条件联系起来进行分类。红色风化壳属于 A-(B)-C 型, 即有明显的 B 层(淀积层), 有充足的通气作用和氧化作用。

主张按形态发生学分类的还有澳大利亚的斯蒂士等, 他们将风化壳分为: 无剖面分化的, 有最低限度剖面发育的, 暗色的, 中度淋溶的, 三氧化物、二氧化物粘土矿物占优势的, 中性至强酸性和剖面高度分化的, 有机质占优势的。红色风化壳属于三氧化物、二氧化物粘土矿物占优势的类型。

上列各种分类都属于发生学分类, 包括以地理环境为主要依据的地理发生学分类、以发育阶段为主要依据的进化发生学分类、以发育因素为主要依据的因子发生学分类、以风化壳特性为主要依据的特质发生学分类、以由碱到酸的阶段发育为主要依据的阶段发生学分类、以生物地球化学过程为主要依据的历史发生学分类、同时考虑风化壳形态和形成条件的形态发生学分类。

另一种风化壳分类系列是诊断学分类, 根据剖面形态特征、外界水热条件、母岩特性等进行分类。具体方法是按照诊断层和诊断特性来划分风化壳的类型。诊断层例如诊断表层的不同颜色、诊断亚表层的以粘化作用为特征的粘化层、以铁铝质富集为特征的氧化层等。诊断特性例如质地突变、铁铝特性、可风化矿物、网纹层等。在美国的分类系统中, 红色风化壳属于氧化土和老成土。氧化层是氧化土的诊断层, 它属于深度风化的矿物质

亚表层,厚度一般为 2m,组成成分主要有铁、铝氧化物和 1:1 型粘土矿物。氧化土无粘化层,然而有连续的网纹层。老成土粘化作用明显,除残积粘化作用外,还有较强的淋溶粘化作用。粘土矿物以高岭石为主,还有三水铝石、蛭石、绿泥石等。在国际土壤分类参比基础会议(1980, 1981)制定的分类单元中,红色风化壳属于铁铝土,包括结构良好的铁铝土、具有粘粒分异的铁铝土,以及具有粘粒分异的酸性及中性铁硅铝土。

我们认为,风化壳作为地球陆地表面的一种具地带性的历史自然综合体,按其发育阶段进行进化发生学或阶段发生学分类是较为合理的。由于风化壳形成和发育的本质过程是一个地球化学过程,因此,发育阶段主要是指地球化学过程的阶段性。发生是分类的基础。分类应综合考虑发生条件、发育程度、阶段属性三结合的原则。过分强调发生条件,就会使风化壳分类等同于气候带、植被带等的划分。过分强调发育程度就会忽视年龄和岩性的因素。过分强调风化壳的属性,就会忽视地带性的因素。

本书中的风化壳分类包括红色风化壳的分类,比较重视地带性的地球化学过程的阶段性,其标志包括 4 个方面。

(1) 移动性元素的迁移状况 处于不同发育阶段的风化壳,元素的迁移系列是不相同的。例如红色风化壳不仅易迁移元素而且可迁移元素也被淋失,惰性元素和不迁移元素则是累积。Cl、S 是强迁移元素, Ca、Na、Mg、K 是易迁移元素,硅酸盐的 Si、P、Mn 是可迁移元素, Fe、Al、Ti 是惰性元素,石英的 Si 是不迁移元素。

(2) 标志元素 湿润热带红色风化壳的标志元素是 H、Al、Si、Mn、Fe,标志化合物是 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 的水化物、高岭石等。荒漠地带风化壳的标志元素是 Cl、Na、S、Ca、Mg。草原地带是 Ca、Mg、Na。泰加森林地带是 H、Al、Fe、Si。苔原地带是 H、Al。

(3) 标志矿物 热带红色风化壳的标志矿物是铁矾土类和铝矾土类的氧化铝、氧化铁、一水软铝石、一水硬铝石、水铝矿等。荒漠带以各种盐类矿物和脱水矿物占优势。草原带的优势矿物是蒙脱石及碳酸钙和碳酸镁类矿物(方解石、白云石)。泰加森林带的优势矿物是高岭石、水云母。苔原带则是以原生矿物占优势。

(4) 氧化还原条件 岩石风化,大量碱金属和碱土金属的阳离子进入溶液,决定了溶液的酸碱度。介质的酸碱类型,酸性的有热带、苔原带,弱酸性的有森林和草原带,弱碱性的有草原带,碱性的有荒漠带。

1.4 红色风化壳是风化壳的最后发育阶段

如前述,人们对于潮湿热带和亚热带的风化壳,有种种称呼。我们认为,红色风化壳这个名称,在一定程度上反映了这类风化壳的本质特征。虽然颜色难以作为风化壳分类的主要依据,也难以在每类风化壳的命名上都冠以相应的颜色表述,但是,颜色毕竟与风化壳的质地、矿物质、水分等因素有关,它既反映了风化壳物质的组成,又是风化壳发育过程的结果和外在表现。红土一词更为通俗而简明,所以本书中红色风化壳与红土两词并用。

热带亚热带的风化壳呈红色调,在此基调上有砖红、褐、红、棕、黄、紫等色。红色调的色源主要与氧化铁的存在有关。氧化铁含量及水化程度不同,故出现红、棕、黄、褐等颜色。粘土矿物组成从 2:1 型变为 1:1 型甚至水化氧化物,这是风化强度逐渐增加的一种

表现,红色风化壳的红色色源氧化铁及其水化物的存在,正是风化作用深刻发展的反映,因此,将热带亚热带的风化壳称为红色风化壳或红土,不仅形象而通俗,而且反映了这类风化壳的发生学地位。

风化壳发生、发展的地球化学过程,其本质是元素的迁移和累积以及原生矿物的不断破坏和次生矿物的不断生成。风化的最后阶段是难迁移的硅都发生迁移,惰性元素铝和铁发生累积。红色风化壳的风化过程正是伴随着二氧化硅的强烈淋失而三氧化物、二氧化物不断累积,即脱硅富铝化过程。红色风化壳的剖面中,二氧化硅的含量可由母岩的45%~50%减少到剖面上部的1%~2%。而氧化铝和氧化铁的含量可由母岩的15%~20%增加到剖面上部的80%~90%。红色风化壳的次生粘土矿物(包括次生氧化物)含量(按粒径<0.005mm计)可达65%~71%,而荒漠和草原风化壳仅为2.7%~11.0%(朱鹤健,1986)。因此,红色风化壳的另一名称是富铝化风化壳,同样代表着风化壳的最后发育阶段。

红色风化壳剖面深厚,从几十米到几百米。在华南,红色风化壳一般厚度为30~50m,广东陆丰大安墟红色风化壳厚达80m以上。在前苏联黑海和里海沿岸,红色风化壳厚度也超过10m。这也标志着红色风化壳是风化壳的深刻发育阶段。

在前述的风化壳的各种分类方案中,都把红色风化壳归入高度化学风化的类型,例如富三氧化物、二氧化物风化壳、铁质土、铁铝土、氧化土、老成土、强淋溶土、强风化粘磐土等名称,都表达了红色风化壳是最后发育阶段的含义。

至于红色粘土、红土风化壳、红壤风化壳等名称似乎都不如红色风化壳或红土较为贴切,因为在我国南方,红色粘土通常指第四纪的红色沉积物,它本身是红色风化壳的母岩。另外,红壤是土壤名称,红色风化壳之上不一定都有红壤发育。

红色风化壳与富铝化风化壳并非完全等同,发育在石灰岩上的石灰岩红土和紫红色砂岩的风化壳也呈红色,但它们的富铝化较弱。富铝化风化壳也不都是红色。在气温较低而水化作用较明显的富铝化风化壳则呈黄色。本书所讨论的红色风化壳,其主要对象是指发育在热带和亚热带南部的红色富铝化风化壳。热带是地球上能量最有保障的地带,南、北纬30°之间的地带,约可获得到达地球的太阳总辐射能的60%,故元素的交换循环过程极其强烈,这是形成红色风化壳的基本动力条件。