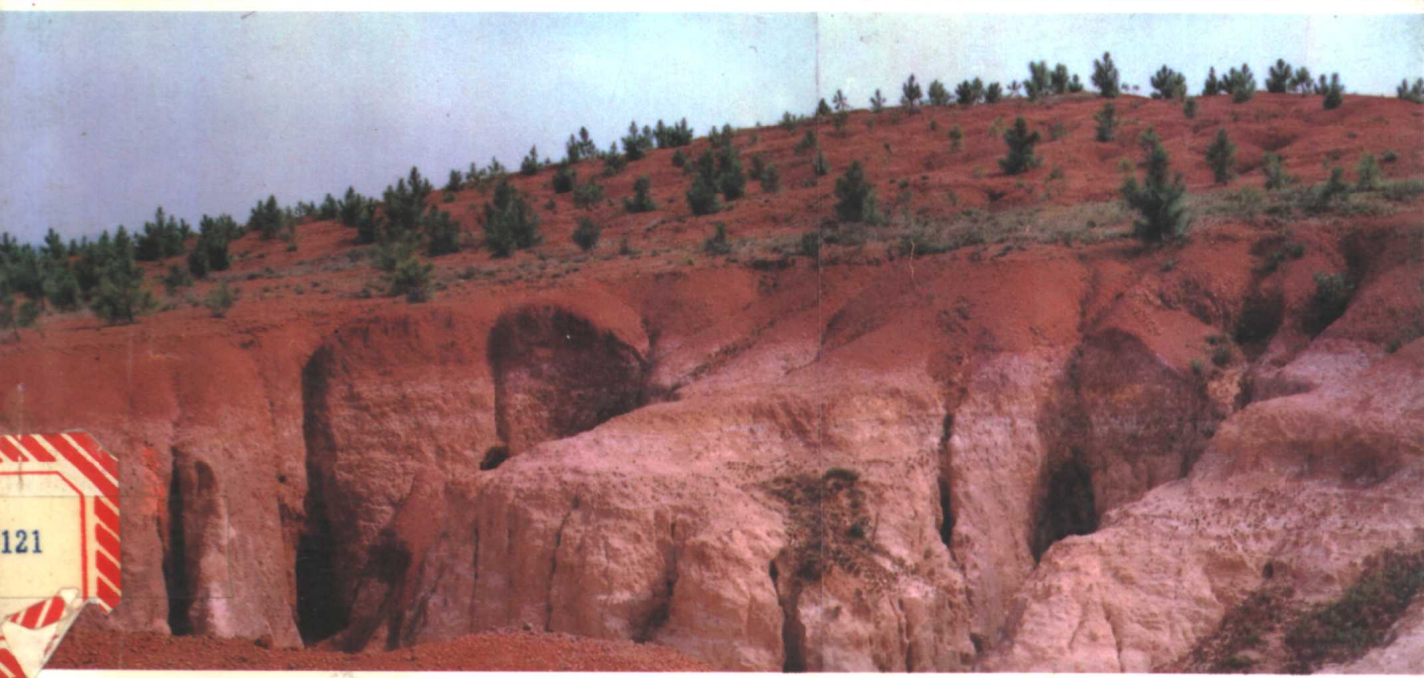


国家自然科学基金资助项目

华南红土化作用地球化学 及红土型金矿形成的可能性

李文达 王文斌 程忠富 周汉民 著

(地矿部南京地质矿产研究所)



地质出版社

国家自然科学基金项目

华南红土化作用地球化学 及红土型金矿形成的可能性

李文达 王文斌 程忠富 周汉民 著
(地质矿产部南京地质矿产研究所)

地质出版社

·北京·

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书是一本比较全面地论述我国华南地区红土化作用的专著,书中对红土化剖面发育、矿物演化及红土化作用中元素的活动规律性等方面进行了详尽的阐述,并对红土型金矿在华南地区形成的可能性进行了有益的探讨。本书可供岩石、矿物、地球化学、矿床等专业的生产、科研人员及有关院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

华南红土化作用地球化学及红土型金矿形成的可能性/

李文达等著.-北京:地质出版社,1995.1

ISBN 7-116-01697-X

I.华… II.李… III.①红壤化-地球化学-华南地区,
中国②金矿床-红壤化-成矿规律-华南地区,中国 IV.P618.51

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第08288号

地质出版社出版发行
(100013 北京和平里七区十楼)

*

责任编辑:叶丹 沈文彬

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:5.75 铜版图:1页 字数:131000

1995年1月北京第一版·1995年1月北京第一次印刷

印数:1—500册 定价:6.35元

ISBN 7-116-01697-X

P·1368

前 言

我国南方有相当大一部分地区位于北回归线以南,属热带范围,地表红土发育。过去除了土壤学界对南方红土进行过研究之外,地质学界仅有少数人进行过玄武岩的风化壳研究。土壤学界的研究着重于土壤的成因,对影响土壤肥力的某些微量元素也特别注意。而地质学界,最早只是注意三水铝矿以及若干地区的锰矿、褐铁矿、钴土矿,后来也曾注意到风化产物中的残余矿物可作为宝石利用的刚玉(蓝宝石)、红锆石及橄榄石,而对红土剖面中是否有金的富集可能,则从未作过探讨,这在当时除了缺乏对红土型金矿的认识外,还有金的分析技术未过关也是一个原因。在勘探海南岛铝土矿过程中曾发现浅井中有金,当时只能采用人工重砂方法分析,对不可见的微细粒红土型金矿显然是无能为力的。60年代大家都只注意冲积、残坡积中的“砂金”,实际现在看来在残积或坡积红土层中的砂金很可能部分是红土型金矿(文森译,1982),这部分金当然被淘洗掉了;这也是过去淘砂金的尾砂,今天有些仍可再淘出金屑的原因——红土中微细的分散金的再次表生富集。

红土型金矿是80年代由国外发现的,诸如西澳大利亚的布丁顿、巴西的马托格罗索,泰国的Nong Doan,印度的Salaikena,以及南太平洋许多岛弧地区如新喀里多尼亚、斐济等。随后,引起了我国地质工作者的兴趣,并开始了我们的研究。本课题即在这样情况下确定的,并且得到了国家自然科学基金的资助。

本课题自1990年开题,历时3年,先后进行了3次野外调研工作、参加野外和室内工作的有李文达、王文斌、程忠富和周汉民等。

在研究过程中,我们充分利用了过去的勘探浅井(海南蓬莱地区过去曾勘探过铝土矿及蓝宝石)、采石场、公路割切的山坡以及某些天然冲沟进行剖面观察;室内分析与测试,除了没有用红外光谱法外,其它主要方法均用上了。这次,对于化学分析资料的整理,对主要元素组合的变化采用了淋溶系数、残积系数、水化系数及红土化指数的概念。对微量元素则采用富集因子的概念,它们的含义在文中相应部分均有解释。需要说明的是本书处理红土化剖面中的化学平衡时,由于主要组分 SiO_2 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 的迁移与再沉积的复杂性以及剥蚀速度随地貌不同而引起的变化,采用等容法换算存在一定困难,尤其是对那些处于山区或丘陵区剖面,风化作用与剥蚀作用几乎是同时进行的,风化产物多处于红土化剖面发育的初始阶段,即使采用等容法估算意义也不大。但在微量元素的迁移与沉积中,为了探讨金富集的可能性,需要采用富集因子 ER ,计算中不能不考虑岩石及风化产物的体积变化。这样,应当说对主要元素氧化物的活动行为的讨论只能是定性的,但即使如微量元素的富集与否考虑了等容条件,由于剥蚀、体重或比重的不稳定性,所进行的探讨也只能是半定量的。好在这方面并不影响我们关于华南红土化作用过程中地球化学方面主要问题的探讨。

根据野外与室内分析、测试的资料,并参阅国内外有关文献,编写了《华南红土化作用地球化学及红土型金矿形成的可能性》研究报告。报告于1993年7月由地矿部南京地矿所组织专家评审通过,认为室内外工作扎实,数据可靠,论证有据,推理严谨,对红土化

过程的研究有独到之处，研究方法上也有创新，成果达到了国内先进水平，在研究剖面发育、矿物演化及红土化作用中元素的活动规律性方面已达国内领先水平。本专著是在成果报告的基础上，根据专家评审时提出的某些意见，进行补充、修改而成。本书由集体完成，全书由李文达统一修改定稿。评审委员会由下列专家组成：业治铮学部委员、宋叔和学部委员、朱上庆教授、季寿元教授和杨敏之研究员，由业治铮学部委员任主审。对他们在评审中提出的宝贵意见，在此敬表感谢。

本课题是在国家自然科学基金委员会资助并在其领导下完成的。在海南、广东、福建三省工作时得到各省地矿局及其有关地质大队的协助和支持，其中海南地质二、三队，闽东南地质大队、湛江地质大队、漳浦铝土矿等单位的领导及技术人员都给予我们很大的支持和帮助，没有他们，要完成本课题的研究是不可能的。工作中所有硅酸盐、微量元素、稀土元素和金的分析工作以及图件清绘，均由南京地矿所化验室和绘图室完成，差热分析由张亚芳工程师完成，X-射线衍射分析由江苏省地矿局测试中心完成，电镜照像由南京林业大学完成。在此均表示由衷的谢意！

最后，在工作中得到涂光炽先生的关怀，他的意见对我们富有启发性，在此敬表感谢！

目 录

一、影响红土化剖面发育的因素.....	1
二、主要岩类红土化剖面类型及分带.....	5
三、风化壳中基本化学元素的地球化学特征.....	24
四、红土化过程中微量元素地球化学行为.....	42
五、在华南形成红土型金矿可能性的探讨.....	65
六、华南红土化作用过程中若干问题探讨.....	69
七、结束语.....	75
英文摘要.....	77
参考文献.....	83
图版说明及图版.....	86

Geochemistry of Lateritization Process and the Possibility of Forming Lateritic Type Gold Deposits in Southern China

Contents

1. Factors affected the development of lateritic profiles.....	1
2. The principal types of lateritic profiles and their zonation.....	5
3. Geochemical characteristics of the major chemical components in the weathering crust.....	24
4. Geochemical behaviour of the trace elements during lateritization in southern China.....	42
5. Discussion on the possibility of forming lateritic type Au deposits in Southern China.....	65
6. Discussion on some problems in lateritization process in Southern China	69
7. Conclusions	75
Abstract.....	77
References.....	83
Plates and captions.....	86

一、影响红土化剖面发育的因素

在探讨红土化剖面发育及元素地球化学活动规律的因素之前,应当对红土化发育区的地层及岩石作一简单介绍,因为它们是决定红土化作用中物质来源与变化的起点。

在福建、广东及海南我们的研究区内,地层自上元古界到第四系均有发育,岩石类型复杂,沉积岩、变质岩和火成岩均占有相当大的面积。从晚元古代到第四纪均有岩浆的喷出与侵入活动,已知出露的岩性从超基性、基性、中性、中酸性到酸性均有分布,其中燕山期的中酸性岩类最为重要,与红土化有关的原岩涉及地区所有的岩性,但红土化剖面最发育的地区主要在新生代玄武岩分布区。

我们研究红土化的原岩包括粤西前寒武系云开群变质岩、海南西部前寒武系抱板群变质岩,海南东北部和福建漳浦地区第三纪玄武岩和海南北部与广东雷州半岛第四纪玄武岩,福建与广东沿海地区中生代火山岩与花岗岩,以及福建泉州、莆田地区的中生代辉长岩。而我们的侧重点是可能形成红土型金矿的地球化学研究,因而较多的剖面选择在玄武岩(铝土矿发育区)与变质岩分布区,这里我们只重点对前寒武系变质岩和第三及第四系玄武岩作简要的原岩岩性描述。

粤西地区出露的中晚元古代云开群主要是一套砂质、泥质沉积物和火山喷发岩,火山岩多半属基性—中基性,它们在加里东、海西—印支期遭受过区域变质、断裂变质、混合岩化和花岗岩化,形成了绿片岩相和角闪岩相的变质岩、混合岩与花岗岩。云开群变质岩系是粤西地区重要金矿的赋金层位,据统计粤西地区约45%的金矿床和金矿化点均产于云开群中。云开群上亚群含Au为 2×10^{-9} — 36×10^{-9} ,平均值高于Taylor(1985)的大陆、上部陆壳与下部陆壳的丰度值(刘英俊,1991),是Au的矿源层。

海南西部抱板群属早—中元古代,在晋宁期、加里东期、海西—印支期遭受区域变质作用、混合岩化作用、断裂动力变质作用,局部地段并有糜棱岩化,岩性主要为石英云母片岩、绢云母石英片岩、云母片岩、混合岩及混合花岗岩、糜棱岩等。抱板群含Au丰度较高,是Au的矿源层。抱板群也是海南西部Au矿的赋存部位,由昌江到东方公爱,呈北东—南西方向延长约40km,已知Au矿床7处,均受戈枕韧性剪切带控制。

玄武岩分布于海南省东北部及北部、广东省雷州半岛以及闽东南沿海地区,时代从第三纪到第四纪。根据地质矿产部宜昌地质矿产研究所、海南省地质矿产局资料,第三纪玄武岩在蓬莱一带年龄为3.04—5.43Ma,海南北部的第四纪玄武岩为0.21—0.67 Ma。福建漳浦地区的玄武岩属第三纪,广东雷州半岛的属第四纪。蓬莱地区第三纪上新世到中新世玄武岩,岩性以橄榄玄武岩为主,辉斑橄榄玄武岩、气孔玄武岩、粗玄岩、玻基橄辉岩等次之,并夹有多层火山碎屑岩。雷州半岛中更新世石峁岭段玄武岩,这里据报告有12次喷发,夹有六层红土(厚0.2—9m)和六个红顶(广东省地质局,1981,1:20万区域水文地质普查报告),是火山作用间隙期红土化作用的遗迹;在海南澄迈金江眼镜岭早更新世玄武岩剖面中,见有五层红土。玄武岩主要为橄榄玄武岩、拉斑玄武岩、二辉橄榄岩及二辉玄武岩。以上这些岩石是我们重点研究的红土化剖面发育的母岩。

关于红土化, 目前地质学界的理解是和气候条件, 或者说低纬度的概念联系在一起的, 主要是在热带和邻近回归线的亚热带地区, 与炎热而干、湿交替的气候因素有关的, 但红土作为一个岩石学上的名词, 有并不十分固定的矿物或化学成分。对红土及其形成作用的概念, 曾经有不同的理解。国际地学界为了对这一世界性的风化产物的理解求得统一, 地科联曾设立 IGCP-129 号对比计划, 专门对红土化作用从各方面进行研究。1981 年 W. Schellmann 曾下过一个定义: “红土是陆地表面岩石强烈风化的产物, 其中 Fe 和/或 Al 含量高于、而 Si 含量则低于仅仅高岭土化的母岩”, 他还认为红土化作用主要存在于赤道南北各 25° 范围内, 也即我们所说的热带和邻近回归线 (23°) 的亚热带范围内。根据这一定义, 地表岩石通过红土化作用, Si 大量淋失, Fe 和/或 Al 相对大量集中。所谓红土, 其中 Fe 和 Al 的含量是不固定的, 可以以 Fe 为主, Al 次要; 也可以反过来。但也并非绝对如此, 根据国外研究, 在热带地区风化结果并非都形成红土化剖面, 某些地区可以是 Fe 淋失而 Si 得到富集, 津巴布韦和印度就有这样的例子 (P. K. Banerji, 1984)。根据我们研究, 某些剖面上可以看到, 在红土化剖面的发育过程中, 高岭土化阶段尚可观察到, 这里 Fe 是减少的, 而 Al 和 Si 则相对富集; 不过纯粹由高岭土组成的风化剖面也少见, 一般情况下, Fe 总有残留。这在一定程度上与原岩的化学组成有关, 但也可能与受到侵蚀作用的影响有关。

红土化剖面发育的有利因素首先是地区的准平原化, 以及区域构造上的稳定性, 同样是我国海南岛北部和雷州半岛及湛江地区, 与粤西地区对比, 海南北部、雷州半岛及湛江地区的玄武岩地貌上处于一种台地式的准平原阶段, 海拔约 100m 上下, 切割最深不超过 50m; 红土剖面发育, 许多已成为铝土矿, 铁铝分离明显, 但在粤西, 地貌上属于山区或丘陵区, 红土化剖面发育就很差, 铝土矿少见, 主要是铁质粘土及次生石英。同样情况, 福建漳浦一带铝土矿就完全产在第四纪的平台上, 切割比海南北部还要浅, 不仅三水铝矿发育, 高岭土也极发育。这些割切不深的平台基本代表第四纪以来比较稳定的构造背景。看来, 缓慢的上升运动是保证风化产物得以保留并使红土化剖面向深部发育的有利条件, 浅度切割的地形也说明了这点。

但准平原化和稳定的构造背景只是红土化剖面发育的充足条件, 而非必备条件。红土化强烈发育的新喀里多尼亚和东南亚 (Banerji, 1984) 以及南太平洋岛弧地区, 在构造上均处于活动阶段, 但红土化剖面仍然很发育, 在印尼、菲律宾、新喀里多尼亚的火山岩地区已有发现红土型金矿床的报导 (Lawrance, 1984; Ferguson, 1986)。我国西部三江地区的南部进入 23° 线以南, 如云南墨江地区, 构造上也属于活动区, 这里的红土型硅酸镍矿在 50 年代就进行过勘探。足见重要的决定性因素还是气候, 即低纬度区的炎热而干、湿交替的气候条件。

在我们的研究区内 (图 1—1), 除闽东南部分地区外, 均处于低纬度范围内, 属热带—亚热带的海洋性季风气候区, 高温、炎热、多雨、湿度大是主要特点。据地方气象部门统计, 雷州半岛徐闻地区, 年平均温度 23.5°C , 7 月份最热, 平均 28.4°C , 最高温度达 38.8°C ; 1 月份最冷, 平均 16.3°C , 最低温度 2.2°C ; 年降雨量 1364mm, 集中于 7—8 月份的雨量占全年雨量的 70%; 年蒸发量为 1881.5mm。海南蓬莱地区, 年平均气温 24°C , 7 月最热, 平均 28.2°C , 1 月最冷, 平均 18.2°C , 5—11 月为雨季, 降雨量达 1551.1mm, 占全年降雨量的 80% 以上, 蒸发量为 1127mm; 12 月—4 月为旱季, 降雨量 442.05mm, 蒸发

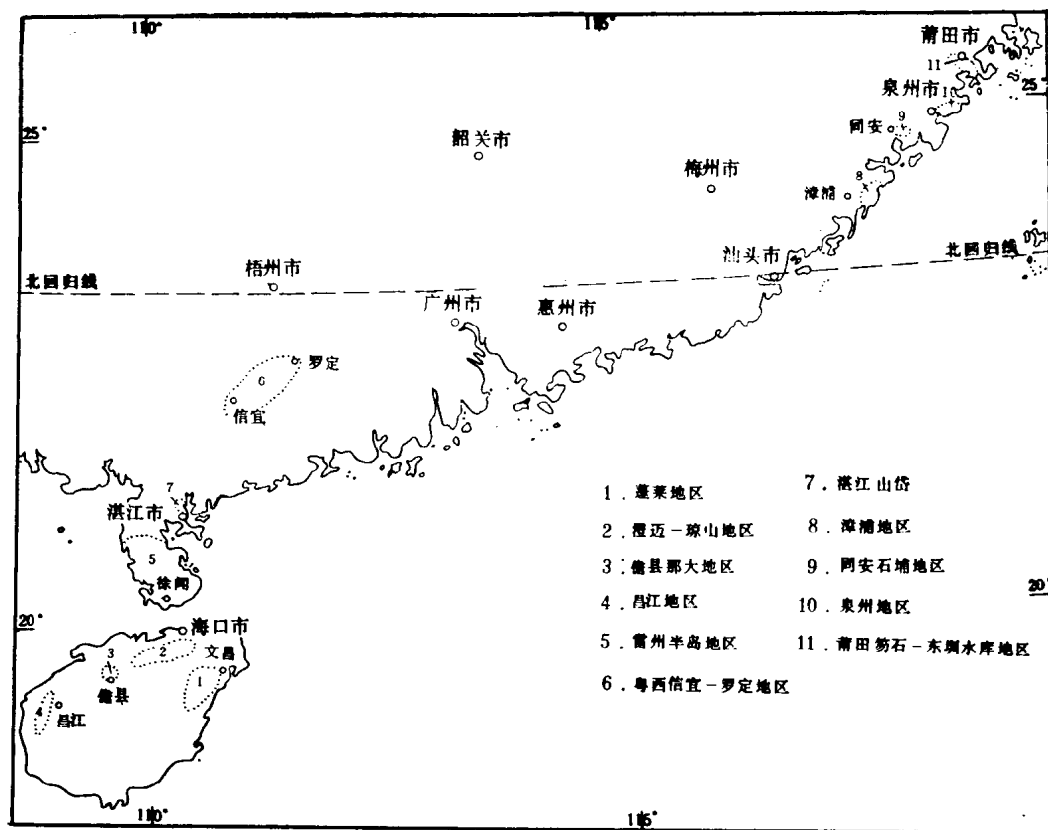


图 1—1 研究区分布简图
Fig. 1—1 Index map of the researched areas

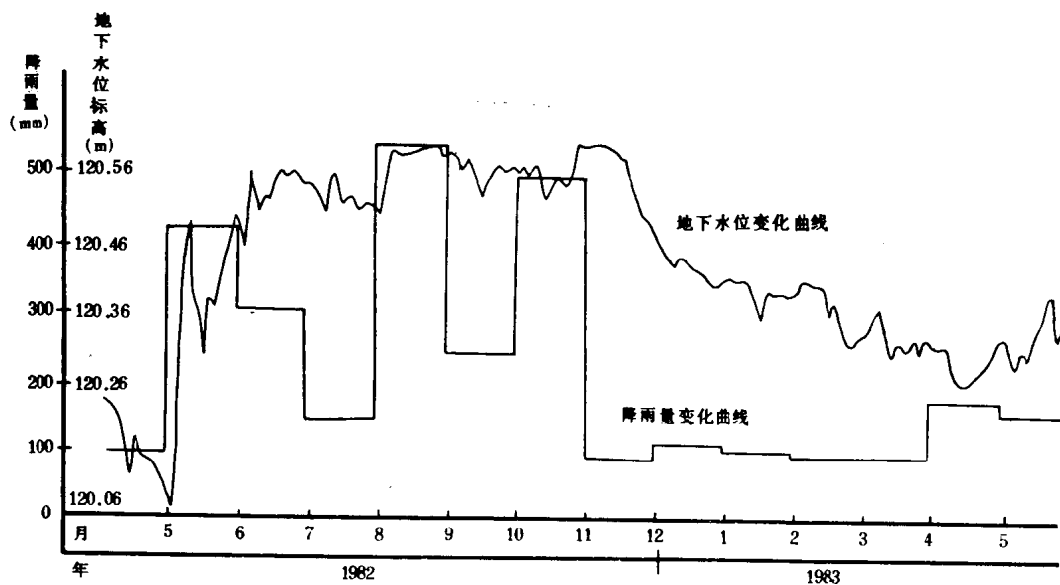


图 1—2 海南蓬莱地区降雨量与地下水位关系变化曲线图
(引自海南省地矿局, 1986)
Fig. 1—2 Variation of rain-fall and the groundwater table in Penglai district,
Hainan Province

量713.4mm, 该地区1972—1982年的降雨量与蒸发量的变化见表1—1。降雨量与地下水位的变化见图1—2 (海南省地矿局, 1986)^①。闽东南地区属亚热带海洋性湿润季风气候区, 年平均气温21℃左右, 年降雨量为1430.9mm, 雨量也集中在春、夏两季。

表 1—1 海南省蓬莱地区1972—1982年降雨量和蒸发量统计
Table 1—1 Annual rain-fall and evaporation of 1972—1982 in Penglai district, Hainan Province

年 份	降雨量 (mm)	蒸发量 (mm)	月 份	降雨量 (mm)	蒸发量 (mm)
1972	2335.0	1700.4	1	26.2	93.7
1973	2406.0	1988.0	2	27.2	95.2
1974	2361.3	1815.2	3	50.7	139.5
1975	1787.5	1898.2	4	81.7	177.3
1976	2094.2	1867.8	5	202.2	208.2
1977	1102.0	2100.0	6	273.9	195.7
1978	2042.4	1667.4	7	189.5	220.1
1979	1380.4	1832.7	8	259.7	184.0
1980	2013.3	1865.6	9	344.1	153.9
1981	2127.4	1774.9	10	274.9	146.0
1982	2473.7	1551.3	11	115.3	105.5
平均	2011.2	1819.2	12	44.6	101.5

引自海南省地矿局资料, 1986。

从气候条件看, 年雨量在 1500—2000mm, 雨量分布不均匀, 全年平均温度高、湿度大, 有利于岩石风化, 促使SiO₂淋失, 铁、铝分离, 从而形成铁、铝并存的红土, 或以铁为主的铁质红土, 或以铝为主的铝土质红土。雨量的不均匀分布引起地下水位的变化, 也导致pH值的变化, 地下水的pH值在4—9范围内对某些组分的迁移和沉积最为合适。地下水位的变迁与构造上的稳定是决定红土化剖面的厚度和成熟阶段的因素。在某些场合下有机质(腐植酸及细菌)可能也对红土化剖面起一定作用, Heydeman等(1982)的研究, 有一种细菌(Bacillus属)在Si与Al的淋滤中起重要作用, 在我们的研究中, 从红土表层的残留植物根系看, 有机物起过作用是无疑的, 但由于强烈的氧化作用, 在剖面中未能留下明显的迹象, 土壤的褪色现象也未见保留。

① 海南省地质矿产局, 1986, 海南文昌县蓬莱宝石矿区牛姆岭-新岭园矿段残坡积砂矿详查报告。

二、主要岩类红土化剖面类型及分带

在研究区内各类岩石都发育着厚度不一的风化壳，并具有一定的分层结构。由于原岩性质和矿物组成的不同，岩石和矿物的风化作用过程的阶段性也有差异，风化作用的速度也不同，因而使得风化壳类型和其特点以及各分层的矿物成分和化学成分均不尽相同。在风化剖面上，由地表向下到原岩，风化程度逐渐变弱，风化壳颜色亦由深变浅。总的看来，区内火成岩（铝硅酸盐岩）及含暗色矿物（如角闪石）较多的片岩有利于风化作用，其风化壳厚度较大，风化剖面分带明显；混合岩、石英片岩风化程度差，风化剖面分带较简单。当然剖面的发育还和原岩所在地区的地形或剥蚀速度有关。

（一）玄武岩红土化剖面类型及分带

研究区内玄武岩主要分布于海南省北部及东北部、广东省雷州半岛，在福建省也有零星出露。其形成时代从第三纪末期到第四纪，其中喷出规模最大、分布面积最广的是第四纪早更新世玄武岩，其次是中更新世及晚第三纪玄武岩。玄武岩之上普遍覆盖着一层厚度不等的红土风化壳，有的成为可供开采的铝土矿（如海南三水铝土矿、福建漳浦三水铝土矿等）和褐铁矿（如徐闻田洋、麻城、大水桥等褐铁矿、海南文昌南阳褐铁矿）。

区内玄武岩按其岩性可分橄榄玄武岩、辉斑橄榄玄武岩、拉斑玄武岩、气孔玄武岩等，但主要为橄榄玄武岩，它主要是由基性斜长石、普通辉石、镁铁橄榄石和火山玻璃组成。虽然它们的矿物组成、化学成分相同，但由于它们所处的微地形以及新构造运动的不同影响，风化剖面也就不尽相同，风化壳厚度不一。

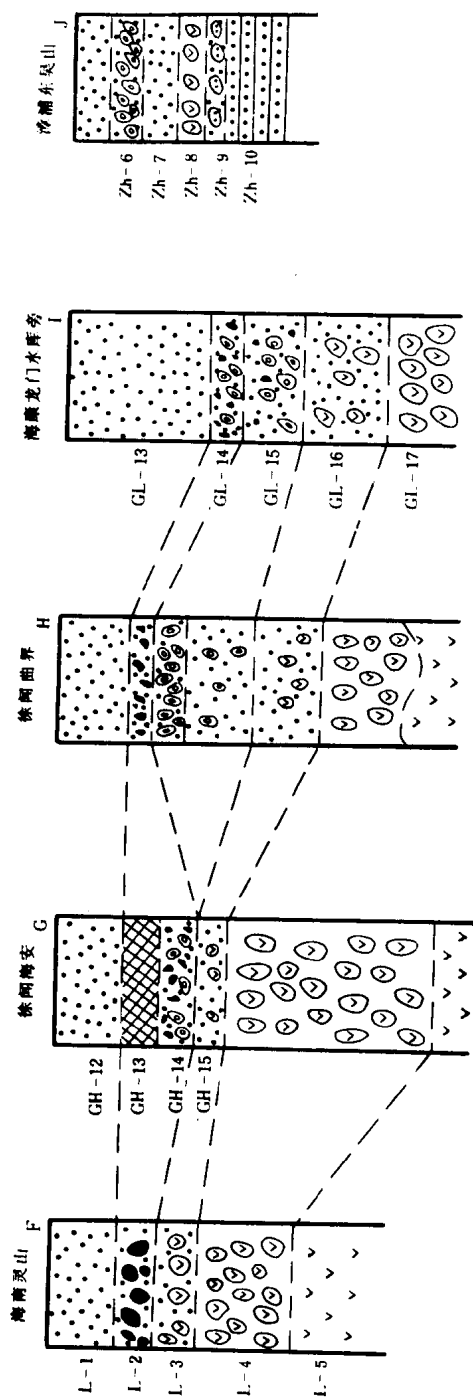
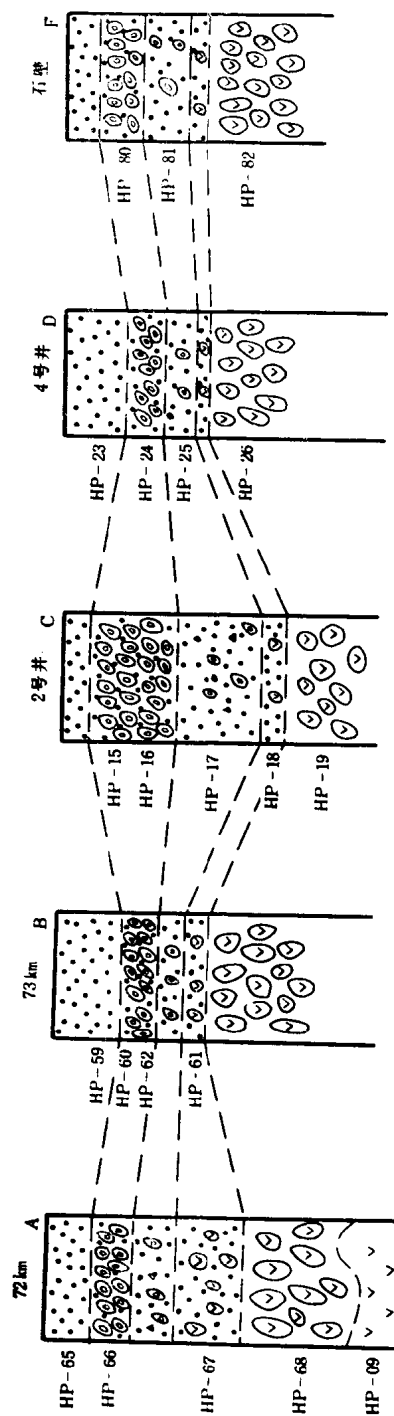
据土壤地理学研究（中国科学院《中国自然地理》编辑委员会，1981），海南省第四纪玄武岩风化壳属氧化系列中的红色铁质富铝风化壳。我们根据玄武岩红土化剖面的矿物组成、化学成分，将区内玄武岩风化壳划分为铁质富铝红土型和铝质富铁红土型两种类型。

1. 铁质富铝红土型

铁质富铝红土型剖面主要发育于海南省蓬莱地区、福建漳浦—龙海一带，原岩主要是晚第三纪玄武岩。风化剖面自上而下综述如下（图2—1A—E、J）：

（1）红土层 厚0.5—6m，棕红色疏松土状。主要由粘土矿物及少量褐铁矿和/或铝土矿豆石组成，并含少许石英碎屑，粘土的粘性较差。该层中有丰富的植物根系，含有机质可达2.95%—4.63%^①。主要化学成分： SiO_2 24.36%—24.64%、 Al_2O_3 24.67%—29.25%、 Fe_2O_3 24.18%—24.64%。这一层的矿物成分主要是高岭石、水针铁矿，其次为三水铝石、勃姆石、赤铁矿、石英、钛铁矿等。该层在沟谷或地形相对低凹处分布较厚，而在山丘两侧较薄。经粘土矿物测定，其pH值为5—5.4。本层在海南蓬莱地区产有宝石级蓝刚玉和红锆石。

① 本书中的物质含量除注明者外，均为质量分数。



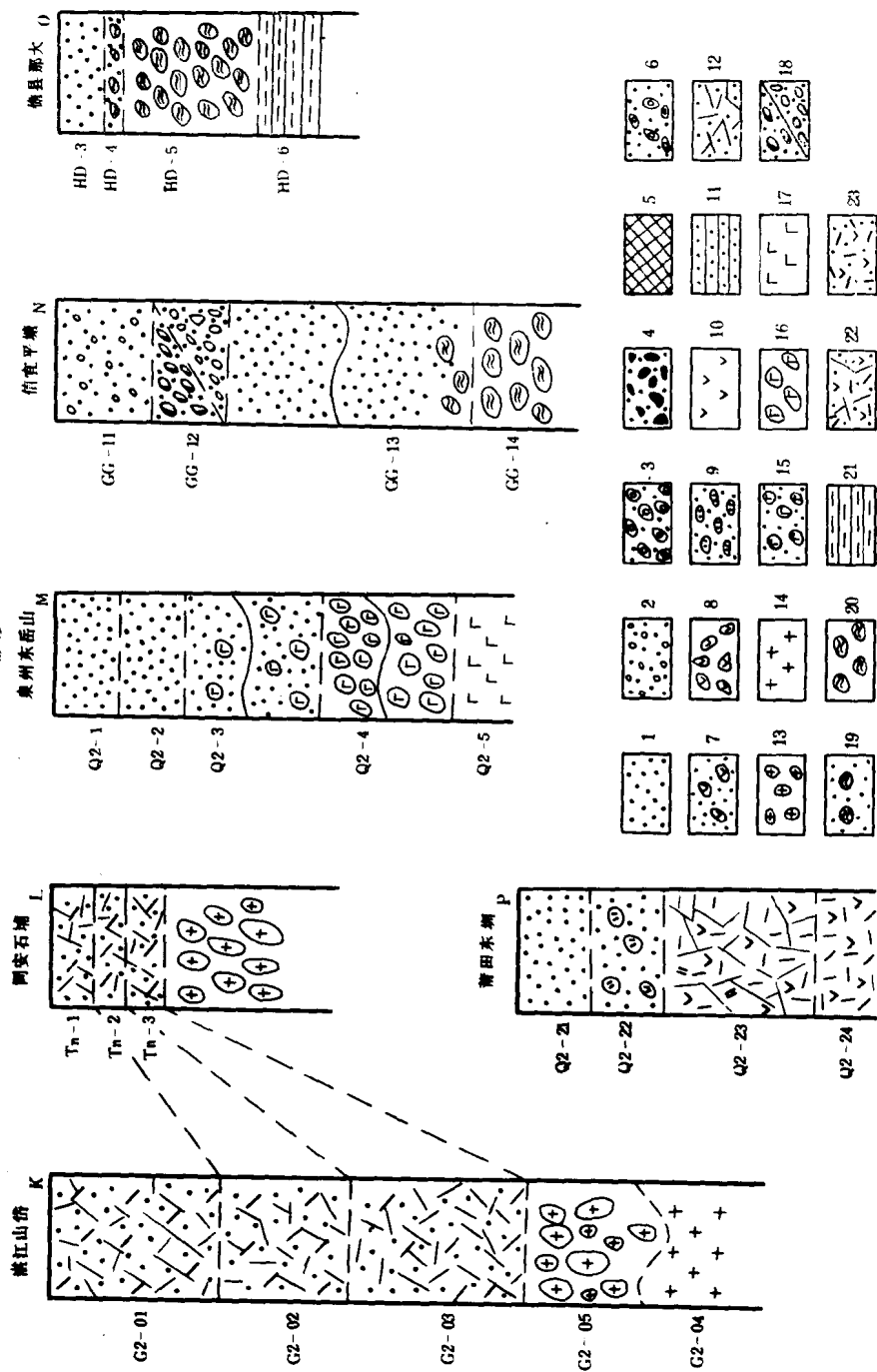


图 2-1 主要岩类若干风化壳示意图

A-J, 玄武岩风化壳剖面, 其中A-D为蓬莱地区, K-L, 花岗岩风化壳剖面, M, 辉长岩风化壳剖面, N-O, 变质岩风化壳剖面, P, 中生代火山岩风化壳剖面。

1-红土; 2-砂质红土; 3-铝土矿; 4-结核状、豆状褐铁矿; 5-褐铁矿层; 6-含铝、铁结核粘土; 7-含风化玄武岩残块粘土; 8-风化玄武岩; 9-风化砂岩; 10-玄武岩; 11-砂岩; 12-红色、杂色高岭土(粘土); 13-风化花岗岩; 14-花岗岩; 15-含风化辉长岩残块粘土; 16-风化辉长岩; 17-辉长岩; 18-含粘土铁锰质结核/含粘土石英碎屑; 19-含风化变质岩残块粘土; 20-风化变质岩; 21-变质岩; 22-高岭土化火山岩; 23-火山岩

Fig. 2-1 Schematic weathering profiles of different kinds of parent rocks

A-J, basalt weathering profiles K-L, granite weathering profiles M, gabbro weathering profile N-O, weathering profiles from metamorphic rocks P, weathering profile from Mesozoic volcanic rocks

(2) 结核状粘土质铝土矿层 厚0.2—3m, 灰黄—桔黄色, 主要有0.5—3 cm 以上的铝土矿结核和红色粘土组成, 在该层局部顶部见有较多褐铁矿块分布, 多呈豆粒状, 有时可形成褐铁矿硬壳。在冲沟两侧或低洼平坦的地方, 往往可见到铝土矿层被褐铁矿团块或结核层所代替。主要化学成分: SiO_2 11.42%—14.96%、 Al_2O_3 29.62%—35.93%、 Fe_2O_3 25.63%—35.44%。该层主要有三水铝石、高岭石、针铁矿及少量赤铁矿、钛铁矿、伊丁石等组成。经粘土矿物测定, 其 pH 值为4.7—5.6。在蓬莱地区该层为蓝宝石的主要赋矿层位。

(3) 含结核粘土层 厚0.5—4m, 呈褐黄色、桔黄色及淡棕红色等, 通常见有韵律构造。结核(和豆石)约占5%—20%, 主要为铝土矿、褐铁矿结核及风化玄武岩残块。在多数剖面中, 豆粒状褐铁矿多分布于该层的上部, 局部可形成豆粒状褐铁矿层; 风化玄武岩残块往往分布于该层下部, 并见有球粒铝土矿, 其环带状构造明显。主要化学成分: SiO_2 16.78%—28.97%、 Al_2O_3 22.42%—28.56%、 Fe_2O_3 22.13%—41.41%。该层主要矿物成分为高岭石、水针铁矿、石英碎屑, 其次是三水铝石、赤铁矿、绿泥石、水云母、钛铁矿等。含有机质为0.3%—0.7%。粘土矿物测定的pH值为5.4—6。

(4) 风化玄武岩层(腐泥岩层) 厚2—20m, 呈灰—灰白、褐黄色。主要为大小不等的球状风化玄武岩组成。球体呈次圆到扁平状, 其直径为10—40 cm 以上, 具同心环带构造, 原岩的岩石结构构造基本保存, 局部出现较多的三水铝石(如漳浦地区)。汪寿松等(1983)曾对海南蓬莱和博厚地区玄武岩风化球进行详细研究, 结果认为“岩石内最先受到风化的是气孔充填物绿泥石, 铁质析出, 绿泥石为蒙脱石所替代。同时辉石褪色, 橄榄石和部分辉石开始被铁的氢氧化物替代。随后, 拉长石被水铝英石交代, 辉石进一步褪色或被水铝英石交代, 橄榄石和部分辉石完全被铁的氢氧化物代替”。当“铁质富集明显加强, 原始矿物变成多水高岭石为主的粘土矿物和三水铝石”。该层主要化学成分: SiO_2 16.54%—29.45%、 Al_2O_3 18.71%—30.15%、 Fe_2O_3 20.46%—48.39%。其主要矿物有高岭石、水铝英石, 其次水针铁矿、赤铁矿、蒙脱石、三水铝石、绿泥石、暗色矿物水解形成的石英(次生石英)等组成。pH值为6.7—7.5。

(5) 新鲜玄武岩 灰黑色, 致密坚硬。上部微弱风化, 表面具铁锈斑点。

2. 铝质富铁红土型

铝质富铁红土型风化壳主要发育于海南省北部及广东省雷州半岛, 玄武岩多属第四纪。风化剖面自上而下综述如下(图2—1F—I):

(1) 红土层 厚0.3—3m, 呈棕红色, 土状疏松, 多为残坡积, 植物根系发育。粘土中含少量褐铁矿团块及石英碎屑。该层主要化学成分: SiO_2 18.25%—49.78%、 Al_2O_3 22.94%—27.49%、 Fe_2O_3 12.07%—24.14%、 TiO_2 2.70%—3.97%; 矿物组成主要为高岭石、水针铁矿, 并有少量赤铁矿、三水铝石、石英、钛铁矿等。经粘土测定, pH 值为5.5—6。

(2) 豆粒状或结核状褐铁矿层 厚0.3—1m, 最大厚度达20m, 褐黑—黄褐色, 疏松多孔。由豆粒状或结核状褐铁矿和铁质粘土组成。化学成分: SiO_2 13.3%—28.87%、 Al_2O_3 14.88%—21.26%、 Fe_2O_3 37.47%—53.47%。该层矿物组成以水针铁矿、针铁矿、高岭石为主, 其次是三水铝石、石英碎屑、赤铁矿、蒙脱石等。pH值为4—4.5。

(3) 含粘土铁、铝质结核层 厚0.3—2.5 m, 棕红色、黄褐色, 主要由粘土矿物及

褐铁矿和铝土矿结核、姜结石（或豆粒）组成。褐铁矿结核中含有暗色矿物水解生成的次生石英，铝土矿结核具较明显的残余结构。该层主要化学成分 SiO_2 19.33%—41.83%、 Al_2O_3 14.91%—18.46%、 Fe_2O_3 30.15%—44.89%；矿物组成主要是水针铁矿、针铁矿，其次为高岭石、三水铝石等。pH值为5左右。

（4）含结核粘土层 厚0.8—4m，棕红—桔黄—黄褐色，主要是粘土和少量风化玄武岩残块及铝土矿、褐铁矿结核组成。风化玄武岩残块呈杂色，由针铁矿、高岭石、三水铝石以及水解生成的不规则石英等组成。该层主要化学成分： SiO_2 25.31%—30.61%、 Al_2O_3 21.15%—25.62%、 Fe_2O_3 26.47%—34.55%；矿物成分主要是高岭石、针铁矿，其次是三水铝石、水针铁矿、赤铁矿、绿泥石、石英等。pH值为5.5—6。

（5）风化玄武岩层（腐泥岩层） 厚2—6m以上，浅绿色、灰色、褐黄色，多数具球状体，原岩结构保留。主要化学成分： SiO_2 29.45%—34.02%、 Al_2O_3 26.61%—30.15%、 Fe_2O_3 19.61%—29.34%；矿物组成以高岭石、多水高岭石、蒙脱石为主，其次或少量是三水铝石、针铁矿、赤铁矿、石英、钛铁矿、长石等。pH值为6—7.2。

（6）新鲜玄武岩

区内玄武岩风化岩风化剖面中各层（带）的矿物组成经显微镜鉴定以及差热分析、X射线衍射研究结果列入表2—1、图2—2、2—3、2—4、2—5。

从上述玄武岩风化壳剖面综述中可以看出：

① 铁质富铝红土型与铝质富铁红土型的区别主要表现为前者发育铝土矿层，而后者具有明显的团块状、结核状或豆粒状褐铁矿层。这主要是它们处于风化过程中的不同阶段

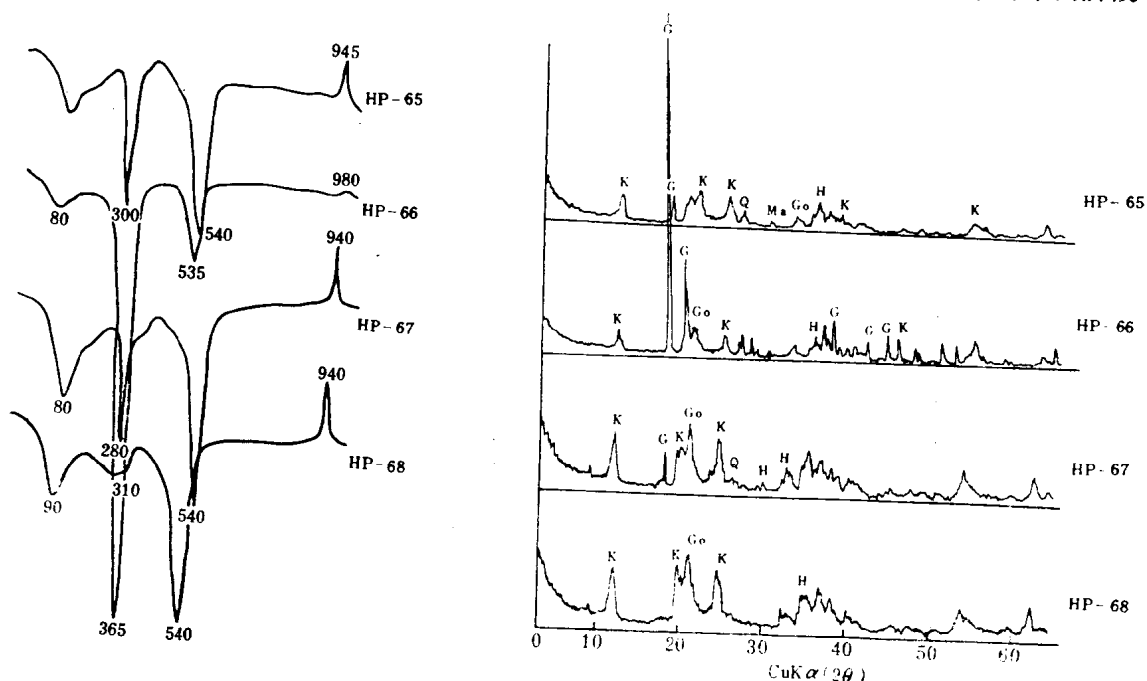


图 2—2 海南蓬莱玄武岩红土化剖面的差热曲线和X射线衍射曲线

Fig. 2—2 Differential thermal analyses and X-ray diffraction curves of lateritic profile of basalts in Penglai, Hainan Province

K—高岭石；M—蒙脱石；S—水云母；G—三水铝石；D——水硬铝石；B—勃姆石；H—赤铁矿；Go—针铁矿；Q—石英；T—滑石；P—斜长石；Ho—角闪石；Ma—磁铁矿

表 2—1 研究区各类岩石风化壳类型及分带

Table 2—1 Types of weathering profiles of various lithology of parent rocks and their zonation in the researched areas

岩石名称	剖面位置	类 型	剖面分层	风化程度	地球化学带	主要矿物	次要及少量矿物
玄武岩	海南蓬菜	含铁富铝红土	红土层	强风化	氧化-残留带	高岭石、水针铁矿	三水铝石、勃姆石、赤铁矿、石英、钛铁矿
			结核状粘土质铝土矿层	强风化	水解带	三水铝石、高岭石	针铁矿、赤铁矿、磁铁矿、伊丁石
			含结核粘土层	风 化	水解带	高岭石、水针铁矿	三水铝石、赤铁矿、钛铁矿、磁铁矿、石英、绿泥石
			风 化玄武岩	半风化	淋滤带	高岭石	水针铁矿、赤铁矿、三水铝石、勃姆石、钛铁矿、磁铁矿
			新 鲜玄武岩	母 岩		拉长石、普通辉石、橄榄石	磁铁矿、绿泥石、方解石等
	海南灵山	铝质富铁红土	红土层	强风化	氧化-残留带	高岭石、针铁矿	三水铝石、水针铁矿、赤铁矿、石英
			含铁铝质结核粘土层	强风化	氧化-水解带	高岭石、针铁矿	赤铁矿、三水铝石、石英、钛铁矿
			强风化玄武岩	风 化	水解带	高岭石	赤铁矿、针铁矿、石英、滑石、钛铁矿
			弱风化玄武岩	半风化	淋滤带	铁蒙脱石、长石	高岭石、滑石、石英、钛铁矿等
	徐闻海安	铝质富铁红土	红土层	强风化		高岭石、水针铁矿	三水铝石、赤铁矿、石英、钛铁矿
			褐铁矿层	强风化	氧化-残留带	针铁矿、水针铁矿	高岭石、三水铝石、赤铁矿、钛铁矿
			含粘土铁铝质结核层	(强) 风化	水解带	水针铁矿、针铁矿	高岭石、三水铝石
			含结核粘土层	风 化	水解带	高岭石	三水铝石、针铁矿、水针铁矿、石英、绿泥石、钛铁矿
			风 化玄武岩	半风化	淋滤带	多水高岭石	三水铝石、针铁矿、石英方解石等