

苏联高等学校教学用书

岩石學

中册

盧奇茨基著

地质出版社

岩 石 学

中 册

盧 奇 茨 基 著

苏联高等教育部審定作为
高等学校教学用書

地 质 出 版 社

1956·北 京

本書譯自盧奇茨基岩石學 1949 年第六版下冊中的岩漿岩部分，書中對每一類型的岩漿岩的物理性質、化學成分、礦物成分、結構、產狀、各種岩石之間的關係以及它們隨着年代久遠而發生的變化等均敘述甚詳，而對與岩石有關的礦產也有所論及。並且還根據岩漿岩本身的地質研究和近十年來日益發展的實驗研究來闡述岩漿岩的成因。故本書是一本描述岩漿岩的較完備的著作。

本書不僅可作大學地質專業的和研究生的教本之用，而且也是一般從事地質工作者的良好參考書。

本書由北京地質學院岩石教研室翻譯，並經東北工學院劉海宴、曾繁祿及地質出版社吳樹仁等同志校訂。

岩 石 學 中 冊

300,000字

著 者	盧 奇 茨 基
譯 者	北 京 地 質 學 院
出版者	地 質 出 版 社
	北京宣武門外永光寺西街3號
	北京市書刊出版業營業許可證出字第零伍零號
發行者	新 華 書 店
印刷者	地 質 印 刷 廠
	北京廣安門內教子胡同甲32號

編輯：吳樹仁 技術編輯：李璧如、張華元

校對：白叔鈞

印數(京)1—7,200冊 一九五六年五月北京第一版

定價(10)2.30元 一九五六年五月第一次印刷

開本31''×43'' $\frac{1}{16}$ 印張14 $\frac{1}{2}$ 插頁11

目 錄

第六版序言	6
緒 論	7
岩石学的主要發展階段	8
岩石分类和成因	12
岩漿岩	13
岩漿岩的化学成分	14
主要造岩氧化物的 相对 量	18
地球的地球化学	21
岩石的化学分析計 算 方 法	22
岩漿岩的礦物成分	43
岩漿岩礦物的結晶 次序	48
造岩礦物 原子結構的 特点	55
岩 漿	62
岩漿的揮發成分	63
岩漿之原生結晶	81
矽酸鹽熔漿和岩漿 之 黏性	88
結晶的过程	92
矽酸鹽的熔漿和岩漿的物理化学	96
可逆与不可逆的变化及 反 应	97
相的平衡与相 律	98
單 元 系	102
水 系	102
二 氧 化 矽 系	104

二元系	103
固体溶液的 二元系	118
有限固体溶液的 二元系	122
高压下的 二元系	125
液体相中的有限混合性 (熔离作用)	123
含挥发成分的 二元系	130
三元系	131
多元系	151
反应原理及其岩石学的意义	151
矿物的环带构造	154
岩浆岩的产状	155
贯入岩浆体	153
侵入 (深成) 岩浆体	170
喷发 (喷出) 岩浆体	173
岩浆岩的结构和构造	173
岩浆岩的节理	185
岩浆岩的相和地质相	183
岩浆岩的分类和命名	189
岩漿岩各論	210
橄欖岩和輝岩类 (輝閃岩类)	210
輝長岩和玄武岩类	222
輝長岩	223
玄武岩和輝綠岩	234
閃長岩和安山岩 (英安岩) 类	243
閃長岩	243
安山岩、英安岩和玢岩	249
花崗岩和流紋岩类	253
花崗岩类	255
流紋岩和石英斑岩	273

正長岩和粗面岩类	277
正長岩类	278
粗面岩和正長斑岩	283
霞石正長岩和响岩类	286
霞石正長岩	287
响岩和霞石斑岩	292
鹼性輝長岩、等色岩、霞斜岩类等	294
白榴輝橄岩、霓霞岩类等	297
脈岩	302
非矽酸鹽岩漿	303
岩漿岩岩理学	309
岩漿岩的分佈	309
岩石区	311
岩漿岩多样性的原因	318
岩漿岩的鑑定	331
深成岩	331
噴出岩	334
俄中譯名对照	336
人名中譯对照	348
参考文献	352
圖版照片	

第六版序言

岩石学第六版下册包括1938年第五版中册和1937年出版的下册。把前版中下兩册合併为一册是因为前版内容甚为繁复，这样縮減是很必要的。下册主要是岩石各論，而將前版下册有关成因性質的問題（岩理学）也包括進去。

因为目前已有很多沉積岩的專著（什維佐夫的沉積岩石学已再版，而普斯托瓦洛夫的巨著也出版了），故沉積岩所佔的篇幅不多，只是便於在討論接触变質問題（其中包括混染作用、混合作用、花崗岩化作用、花崗岩的成因等）时取得一个較清晰的概念而已。故下册的主要任务是討論岩漿岩和变質岩的成分、結構、產狀和成因等問題。

为了便於學習下册，必須精通上册。上册專門討論結晶光学原理、岩石研究方法（主要是光学方法）並敘述造岩礦物。

天才的費多罗夫有关研究造岩礦物的經緯仪法在烏索夫、波德諾金的專著里和庫茲涅佐夫即將出版的“費多罗夫法”一書中均有所敘述。

緒 論

組成地殼或岩石圈的岩石，根據它們的來源可分為三大類：(1)火成岩（岩漿岩），(2)沉積岩和(3)變質岩（結晶片岩）。這三類岩石是在完全不同的物理化學的和地質的條件下生成的。所以它們大半不僅僅是以它們在地殼中產出的條件相區別，同時也以它們的化學成分和礦物成分、它們中的造岩礦物的分佈、由這些礦物的形狀和大小所決定的結構、以及伴隨它們的金屬礦產與非金屬礦產等來彼此分別。所有這些岩石最突出的特點，就是在地殼中我們能夠看到它們之間的各种過渡岩石以及沉積岩為火成岩所替換、火成岩和沉積岩為變質岩所替換的現象。這和地殼中的物理化學條件的連續變化有密切關係，因為無論在地殼內部不同深度或是在地表都不斷進行着地質作用。

旨在確定岩石的化學性質和礦物性質，研究岩石的結構、成因，以及查明岩石的長期變化過程等的岩石的研究，是以下述幾種方法來進行的。

(1) 野外地質方法（在野外研究一些岩石，觀察它們與其他岩石間的相互關係，互相替換以及構造作用、風化作用對它們的影響等）。

(2) 分析法（在實驗室用化學的、機械的和其他的分析方法來研究岩石，特別是在顯微鏡檢查法發展後，普遍採用了顯微鏡的方法或岩石學的方法）。

(3) 實驗法，它解決一系列關於岩石本質的問題及岩石變化與改造的問題（根據實驗室中由可能存在於地殼中的成分相近的混合物製造礦物，而造成礦物的條件盡量接近於自然界造岩礦物以及相應岩

石結晶的自然条件)。

用任何一种方法不可能解决岩石的成因、变質、即岩石改造的問題的。所以每一个研究者應該首先用前两种方法来研究岩石，在可能範圍內以实验方法来补充，这后一种方法应用起来是有困难的，因为它需要配备一个巨大的專門的实验室，而这些目前在全世界却很少有。

物理化学发展的成就对于实验方法的应用，有着很大意义，同时也大大改变了关于岩石成因的理论，並促进了对于岩石的实验研究中所产生的一系列现象的了解。

岩石学的主要發展階段

岩石学的发展是与地質学的发展有密切的联系的，后者同时和岩石学一道与一些先进国家的工业和矿山事业发展有着最密切的关系。

在岩石学发展史上，首先可以分为两个主要时期：(1)肉眼的研究时期，(2)顯微鏡的研究时期。

第一时期——岩石的肉眼研究时期——是与地殼的地質研究有最密切的关系。岩石名称的数目是比较少的，因为很多岩石是如此細粒，以致用肉眼不能分別它們的組成部分。

从1858年开始在顯微鏡下研究岩石薄片后，岩石的研究发生了一个巨大的转变。

在俄罗斯，从十九世紀六十年代起，一些偉大的地質学家如伊諾斯特蘭采夫、卡尔宾斯基、穆什凱托夫已經开始廣泛应用偏光顯微鏡作岩石研究了，在他們發表的教課書上引証了一些基於顯微鏡下的描述而得到的新的岩石特征。七十年代可以說是一个大量的应用偏光鏡研究岩石的时代。由於研究方法的發展，在这些年代，發表了顯微鏡方面的著作。在德國羅森布什、齐尔克耳，在法國福克、米舍尔-列維、拉克魯阿，在英國蒂尔都起了主要的作用。

光学方法漸趋完善。

岩石研究方面的專家的數目在各個國家內都大量的增長着。醉心於顯微鏡檢查法的這一時期終十九世紀末叶迄未稍衰，即到目前顯微鏡仍保持最大的作用。隨着它的改善，岩石學方法在一定範圍內和化學方法競爭。

在穆什凱托夫、卡爾賓斯基岩石學教本之後，在十九世紀末和廿世紀前半叶有大量的造岩礦物顯微鏡研究的教科書出版。在1893到1894年齊爾克耳的描寫岩漿岩、沉積岩和變質岩的岩石學三卷本出版了，魏因山克的四卷本岩石學也出版了（卷一偏光顯微鏡，卷二造岩礦物，卷三普通岩石學，卷四專門岩石學，在1903年左右出版），陸續出版的還有羅森布施的造岩礦物和岩石的顯微岩像學及伊丁斯的類似著作（卷一造岩礦物，卷二卷三岩漿岩，1911—1913出版）。最後必須指出裘巴爾克和皮爾斯的關於岩石學研究方法的兩卷敘述本（1907年），文契爾的岩石學研究方法和造岩礦物的三卷本（最近一版1944年出版）及約翰生和一些別的人的岩漿岩描寫的綜合性著作。

從90年代起許多研究者重新回到岩石的化學成分的問題上來，新的岩石的化學分類產生了，首先列文生—列星格的岩漿岩的化學分類在現代有着很大意義。在美國制定有新的化學分析計算的方法，創立了一個基於標準礦物成分數量的岩漿岩分類法（華盛頓、克羅斯、伊丁斯、皮爾遜）。在最近幾年岩石的化學分析計算和岩漿岩分類的問題，曾特別詳細的為尼格里和查瓦里茨基研究過（“岩石化學導論”，1944年）。

同時與解決岩石成因有關的一些問題的努力也加強起來。列文生—列星格的理論岩石學的研究（1898年）就是這方面工作的結果，直到今天這個研究還有它的意義；這些研究是基於同時應用顯微鏡的和化學的方法。屬於同類研究範圍的，應當提出哈克爾的著作——“火成岩的自然歷史”（1903年）。

在岩石的化學研究中產生了一些趨向，其中可分為：分析的趨

向，首先是岩漿岩的各种極不相同的化学分析計算方法的研究；和物理化学的趋向，应用物理化学來研究岩石。第二个趋向在近十年來蓬勃地發展着，这个学派萌芽於鳩罗舍和本生的工作，而在列文生-列星格及其学生的工作中以及在拉戈里奧和莫罗澤維奇的工作中廣泛的發展了，他們的工作給在高温下岩石和礦物的物理化学研究事業，开辟了新的道路。

弗格特、伊丁斯、迭耳特尔、哈克尔以及另外一些人都按照这条路走。近來地球化学的原理已应用在岩石学上來了——如費尔斯曼的偉晶岩著作，戈尔德施米特和其他一些人的研究工作；在这些工作上岩石学和化学的界限消失了。

这时有关變質岩的知識也發展了；特別是在變質岩的成因概念方面所引用的關於深帶的學說，推动了对这种岩石的研究。这种學說几乎同时（1893—1894年）發生在俄罗斯（盧卡謝維奇）、美國（万海斯）、瑞士（格魯賓曼）、奧地利（貝克）和芬蘭（塞德尔荷姆）。这种岩石生成时物理化学作用理論的逐漸發展，促進了變質岩的深入研究（柯尔任斯基、布列格尔、戈尔德施米特等）。

沉積岩的研究特別落后，誠然，在齐尔克耳（1893年）的“岩石学”中，对沉積岩石学及其肉眼和顯微鏡鑑定予以足够的重視。但只在法國岩石学家卡耶第一部著作“沉積岩顯微鏡研究材料”（1897年）出現以后（这一部書在1916年曾修改再版更名为“沉積岩導論”，書中叙述沉積岩研究方法、組成它的礦物成分和岩石各論），沉積岩的研究才沿着新的道路發展前進。在最近十五年來这方面出版的有米耳涅尔“沉積岩石学”（俄譯本1934年出版），什維佐夫的“沉積岩石学”（1934年），普斯托瓦洛夫“沉積岩石学”（1939年）兩卷本，这一部書很有价值。阿尔漢格爾斯基在他的一些著作中給予沉積岩一个特別的性質，他着重指出，由於与地層学有密切的关系的緣故，對於沉積岩來說地球化学有着很大的意义。童豪富在1932年出版了沉積岩及沉積岩生成理論的著作。油浸法的引用在沉積岩的研究上起了

很顯著的作用。

革命前的俄國岩石學發展走了同樣的道路。首先是發展、直到現在還繼續發展的顯微鏡方法方面的研究，並且一些岩石學家還同時從事於岩漿岩和一部分變質岩成因的研究。這些工作便是很多學者進行了對烏拉爾（列文生-列星格、尼基亭、費多羅夫、查瓦里茨基、別梁金等），高加索（列文生-列星格和他的學派、別梁金、帕芬戈爾茨、格拉西莫夫、皮亞特尼茨基等），烏克蘭（塔拉先科、皮亞特尼茨基、古羅夫、盧奇茨基、契爾文斯基、別茲博羅季科等），克里米亞（拉戈里奧、普連傑爾、盧奇茨基、謝爾巴科夫、阿爾什諾夫等），中亞細亞（盧奇茨基，尼古拉也夫等），西伯利亞（奧勃魯契夫、格拉西莫夫、邁斯泰爾、烏索夫、巴克隆德、列別節夫等）等地的研究。

革命後岩石學的發展是很驚人的。除了老的岩石學家以外大批新的年青的岩石學家出現了，他們在蘇聯的各個部分研究岩石區域，給予了完全新的岩石資料。

除了岩石顯微鏡檢查法和岩石的地質學研究以外，岩石的成因研究也在發展着，其中有實驗岩石學的研究（在列寧格勒有尼科戈西揚，格里戈里耶夫等，在莫斯科有塞羅米亞特尼科夫）。

近來，實驗研究，主要是岩漿岩的形成過程的實驗研究已獲得了重大成果。第一個矽酸鹽類的研究是1903年，由俄國庫爾塔舍夫進行的，比美國人早開始兩年。

旨在研究岩漿岩生成及其礦物生成的實驗室性質的巨大工作，是首先由拉戈里奧和莫羅澤維奇開始的，在這方面他們發表了最有價值的著作，此外還有列文生-列星格和他的學派（列別節夫，金茲堡等），以及最近幾年的尼科戈西揚和格里戈里耶夫。

岩石學的進步和礦山事業是密切相關的：對礦山事業越多提出要求，礦山工業越大發展，則整個岩石學和岩石研究方法的改進也越大。後者是從礦業中派生出來的，和礦業有着密切關係，在它的發展

中与金屬及非金屬礦床的研究是不能分开的。同时岩石学的發展，首先是沉積岩，与工程地質的發展是密切相关的；而在沉積岩对比的問題上，地層学的發展首先是随着煤和石油礦床的發展一起向前的。

岩石分类和成因

岩石分成三大类 (1) 岩漿岩 (火成岩)；(2) 沉積岩；(3) 变質岩。

后一种是由於沉積岩或岩漿岩或二者同时的深成变化生成的。

岩漿岩由熔融物質——岩漿形成的，一部分在地殼內或深或淺的地方冷却，一部分以熔岩形式流出到地表；这是典型的高温產物。

沉積岩在低温之下、在地球表面由於岩漿岩，还有一部分先成的沉積岩或变質岩的破坏而生成的。

变質岩是在比岩漿岩生成的溫度低、同时又比沉積岩生成时的溫度高的情况下改造而成的。此外在一系列的情况下变質岩形成了，我們很难搞清楚这些变成变質岩的原始岩石的成分和成因。

岩漿岩是低温的沉積岩和中温高压的变質岩的一个來源，后者在剝蝕作用下，露出到地表，由它們又重新生成沉積岩，或是降落到了地球深处，熔化后經過冷却又生成岩漿岩。在地殼內和地面上，進行着一些条件为另一些条件所替換的連續过程，同时也進行着一类岩石为另一类岩石所替換的連續过程，这是由于物理化学条件和热力学条件的迭更，造山过程为剝蝕与沉積过程所替換的結果。

在一般情况下，在地球各个时代生成的同一种类的岩石，大概，完全不重复（白堊、灰色玄土等）。因为那些形成岩石的物理化学的溫度条件、压力条件、成分条件是随着地球發展而逐漸变化的。

岩 漿 岩

岩漿岩是在某些地質構造的作用下从地殼深部上升的熔融岩漿冷凝生成的。这些岩漿在大多数情况下是矽酸鹽的，有时为氧化物的，硫化物的，或者碳酸鹽的。岩漿或者慢慢冷却，在地殼內部冷凝，並不上升到地表，这样造成深成岩（侵入岩）；或者流出到地表，这样就造成了噴出岩。

还有一种过渡的半深成岩，它們造成所謂小侵入体，这些侵入体都是在地球內部比較淺的地方冷凝生成的。

岩漿岩与沉積岩的分別在於生成时的条件的不同，首先岩漿岩是在特別高的溫度下和很大的压力下生成的，这个溫度已經超过了水的臨界溫度。由於这个緣故岩漿岩与沉積岩的區別，除了在礦物成分上与沉積岩不同之外，有时在一些結構上也与沉積岩不同，例如它具有結晶結構，僅有时成玻璃質結構；岩漿岩是不成層的，除非在岩流或复盖層互相复盖时（如格陵蘭等地的玄武岩流复盖層）；岩漿岩通常是塊狀的，常常穿切过沉積岩，在与其接触处使之發生变化；岩漿岩由岩石冷凝处生成的礦物所組成（除了凝灰岩以外），或者由一些次生礦物組成，这些次生礦物是由於原生礦物变化而成的（例如綠泥石代替了黑云母，高嶺石代替了鉀長石等），現在我們仍可以在火山噴出时（熔岩）見到一系列的岩漿岩的生成。

生成岩漿岩的各种岩漿被看作是一些复雜的矽酸鹽熔漿。从这些岩漿中生成的岩漿岩，它們的礦物成分、化学成分及結構与相应的岩漿的化学成分有着最密切的关系，这是从一方面來看；从另一方面來看，与岩漿凝固时的物理条件有关：同一种岩漿在不同的物理条件下

能够生成不同的岩漿岩。關於岩漿的成分可以部分地根据岩漿岩的成分來判斷。

岩漿岩的化学成分

岩漿岩的成分中主要含有下列十种氧化物 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O 。除了这些之外还存在有少量的 BaO 、 SrO 、 MnO 、 ZnO 、 Li_2O 、 CO_2 、 P_2O_5 、 Cl 以及一些其他的成分。在新鲜的岩石里， H_2O 的含量通常是不多的；在一些例外情况之下，即是在一些火山玻璃中，新鲜的岩石里水的含量可达到10%；和水的存在一样， CO_2 的存在通常指出了岩漿岩破坏程度的大小。

岩漿岩的平均化学成分（重量百分比）

表 1

氧 化 物	岩 漿 岩 (515)	酸 性 岩		基 性 岩		
		深成花崗岩 (546)	流 紋 岩 (102)	深成的古 代輝長岩 (41)	玄 武 岩 (總共) (198)	噴出的高 原玄武岩 (43)
SiO_2	59.12	70.18	72.77	48.24	49.06	48.86
TiO_2	1.05	0.39	0.29	0.97	1.36	2.19
Al_2O_3	15.34	14.47	13.33	17.88	15.70	13.98
Fe_2O_3	3.08	1.57	1.40	3.16	5.38	3.59
FeO	3.80	1.78	1.02	5.95	6.37	9.78
MnO	0.12	0.12	0.07	0.13	0.31	0.17
MgO	3.49	0.88	0.38	7.51	6.17	6.70
CaO	5.08	1.99	1.22	10.99	8.95	9.38
Na_2O	3.84	3.48	3.34	2.55	3.11	2.55
K_2O	3.13	4.11	4.53	0.89	1.52	0.69
H_2O	1.15	0.84	1.50	1.45	1.62	1.80
P_2O_5	0.30	0.19	0.10	0.28	0.45	0.33
CO_2	0.10					

附註：在縱行标题下的数字系指採用分析的次數。

在表 1 中引用了一些在最典型的岩漿岩中所具有的造岩氧化物的

含量的数据，並把岩石分为(1)酸性岩——花崗岩和流紋岩，(2)基性岩——輝長岩和玄武岩。

有一个特点，就是在酸性（富含 SiO_2 的）岩石中最 多的是深成岩——花崗岩，最少的是噴出岩——流紋岩；相反的在基性岩石中最 多的为噴出岩——玄武岩，最少的是深成岩——輝長岩。

除了那些在化学分析中經常出現的元素外，根据量來說在岩漿和岩漿岩的成分中同样存在第二級、第三級的元素（通常被称为“痕跡”的），同时對於这些岩漿和岩漿岩來說，虽然它們的量是很少的，但它們常常可以作为一个特征。鋇、鉍、釷、稀土元素等都屬此列。

特列格尔(1935年)証明，在岩漿岩中某些稀有元素的含量，特以元素百分含量表示岩漿岩的平均成分

表 2

(根据克拉克和華威頓, 1924 年)

1.	O	46.41	20.	Sr	0.034	39.	Cd	0.0000x
2.	Si	27.58	21.	Ni	0.031	40.	Hg	0.0000x
3.	Al	8.08	22.	F	0.030	41.	J	0.0000x
4.	Fe	5.08	23.	Ce, Y	0.020	42.	Bi	0.00000x
5.	Ca	3.61	24.	Cu	0.010	43.	W	0.00000x
6.	Na	2.83	25.	Li	0.005	44.	Th	0.00000x
7.	K	2.58	26.	Zn	0.004	45.	Cb	0.00000x
8.	Mg	2.09	27.	Co	0.003	(Nb)		
9.	Ti	0.72	28.	Pb	0.002	46.	Ta	0.00000x
10.	P	0.157	29.	B	0.001	47.	U	0.00000x
11.	H	0.129	30.	Be	0.001	48.	Ag	0.00000x
12.	Mn	0.124	31.	Rb	0.000x	49.	Se	0.00000x
13.	Cl	0.096	32.	As	0.000x	50.	Pt	0.000000x
14.	Ba	0.081	33.	Mo	0.000x	51.	Te	0.000000x
15.	S	0.030	34.	Sn	0.000x	52.	Au	0.000000x
16.	Cr	0.068	35.	Br	0.000x	53.	Tl	0.0000000x
17.	Zr	0.052	36.	Cs	0.0000x	54.	In	0.00000000x
18.	C	0.051	37.	Sc	0.0000x	55.	Ga	0.00000000x
19.	V	0.041	38.	Sb	0.0000x	56.	Ge	0.000000000x
						57.	Ra	0.0000000000x

別是鈹、鋰、硼，比克拉克和華盛頓推測的要少。

从表 2 中可見，一些在現代工業中具有特別大的意义的元素如矽、鋁、鉄等在岩漿岩中是大量地存在，它們与分佈最廣的元素——氧組成化合物(氧化物)。別看鎂佔有相當的量，它暫時还起着次要的作用；它的意义很快地在增大，特別是由於它存在於沉積岩中。在現代工業中一些稀有元素的作用是与年俱增的，但是這些元素在岩漿岩中是很分散的；只是在有些地方，由於移动和集中的結果，它們才有時大量聚集在一起，因而具有很大的意义，尤其是放射性元素，如鈾就具有特別大的意义，但是它的量是这样少，在地殼中常很难以發現它。但是研究一般稀有元素（包括鈾）的新的科学方法，根本上改变了我們對它們在地殼中相对分佈的观念。

岩漿岩化学成分的特点是很多样的（从整数到百分之零点儿），从下面的材料中可以看出（百分含量）

SiO ₂	85—24 或更少些	CaO	1—百分之零点儿
Al ₂ O ₃	25—百分之零点儿	Na ₂ O	14—百分之零点儿
Fe ₂ O ₃	13—百分之零点儿	K ₂ O	13—百分之零点儿
FeO	15—百分之零点儿	TiO ₂	7—百分之零点儿
MgO	30—百分之零点儿		

据 1924 年克拉克和華盛頓的材料，地下 15 公里深处的平均含量（重量百分数）是：

		K ₂ O	3.11		Cr ₂ O ₃	0.05
SiO ₂	53.07	H ₂ O	1.30		V ₂ O ₅	0.03
TiO ₂	1.03	CO ₂	0.35		MnO	0.11
Al ₂ O ₃	15.22	ZrO ₂	0.04		NiO	0.03
Fe ₂ O ₃	3.10	P ₂ O ₅	0.30		BaO	0.05
FeO	3.71	Cl	0.05		Sr	0.02
MgO	3.45	F	0.03		Li	0.01
CaO	5.10	S	0.06		Cu	0.01
Na ₂ O	3.71	(Ce,Y) ₂ O ₃	0.02		C	0.04