

Redactor șef: Ouyang Ziyuan;
Editor Executiv: Qiu Xiaolin • Zhang Chuanjun

.....

PROIECTUL CHINEI DE EXPLORARE A LUNII

.....

TRADUCERE:
Ioana Enache



浙江科学技术出版社
ZHEJIANG SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE



EDITURA
CREATOR
BRASOV, 2022

CUPRINS

CAPITOLUL 1

Prezentare generală a suprafeței lunare	9
1.1 Prezentare generală a suprafeței lunare	9
1.2 Efectul impactului lunii asupra mediului.....	33

CAPITOLUL 2

Proprietăți fizice și mecanice ale regolitului lunar	39
2.1 Prezentare generală a suprafeței lunare.....	40
2.2 Greutatea volumului, densitatea relativă a particulelor, raportul golului și porozitatea regolitului lunar	45
2.3 Compresibilitatea și rezistența la forfecare a regolitului lunar	48
2.4 Proprietăți electromagnetice ale regolitului lunar	50
2.5 Gazele din regolitul lunar	52

CAPITOLUL 3

Praf lunar și influența acestuia asupra instrumentelor de explorare lunară	55
3.1 Prezentare generală a prafului lunar	55
3.2 Impactul prafului lunar asupra instrumentelor și echipamentelor	58
3.3 Detectarea poluării mediului și tehnologia de eliminare a prafului lunar	59

CAPITOLUL 4

Tehnici de măsurare și modelare a mediului suprafeței lunare.....	69
4.1 Tehnici de măsurare termică a mediului suprafeței lunare	69
4.2 Tehnologia de simulare a mediului mecanic pe suprafața lunară.....	79
4.3 Testul echilibrului termic	92

CAPITOLUL 5

Tehnici de explorare cu spectrometru și dispozitiv de stocare a probelor lunare	99
5.1 Tehnici de măsurare termică a mediului suprafeței lunare	99
5.2 Dispozitiv de stocare a probelor lunare.....	108

CAPITOLUL 6

Proiectarea traiectoriilor orbitatorului lunar	118
6.1 Proiectarea traiectoriilor metodelor de explorare avansată a spațiului	118
6.2 Determinarea arcului scurt de orbită a orbitatorului lunar	125
6.3 Impactul eclipsei lunare asupra orbitatorului lunar.....	132
6.4 Proiectarea preliminară a traiectoriei coborârii antigravitaționale pentru aterizarea ușoară	140

CAPITOLUL 7

Tehnologia de aterizare ușoară pe lună.....	148
7.1 Tehnologie tampon de detectare a aterizării ușoare.....	148
7.2 Clasificarea mecanismului de aterizare ușoară.....	166
7.3 Tehnologie autonomă de navigație și control pentru aterizarea ușoară pe lună	173

CAPITOLUL 8**Rovere 183**

8.1 Prezentare generală 183

8.2 Clasificarea și componentele roverelor 185

8.3 Diverse rovere tipice 186

8.4 Prezentare generală a subsistemelor roverelor 198

CAPITOLUL 9**Reintrarea și returnarea în explorarea spațiului îndepărtat 221**

9.1 Exemplu de tehnologie de returnare, în explorarea spațiului îndepărtat, la nivel mondial 221

9.2 Tehnologia de reintrare și returnare în China 234

9.3 Rezumat și analiză 244

CAPITOLUL 10**Tehnologia de alimentare spațială pentru explorarea lunii 249**

10.1 Componente ale sistemului de alimentare spațial pentru explorarea lunii 249

10.2 Sistem de propulsie electrică nucleară pentru explorarea lunii 263

CAPITOLUL 11**Tehnologia de comunicare în explorarea spațiului îndepărtat 280**

11.1 Caracteristicile comunicării în spațiul îndepărtat 280

11.2 Tehnologii majore în comunicarea TTC în spațiul îndepărtat 289

11.3 Tehnologia de codare a controlului erorilor 296

11.4 Tehnologie de comunicare cu laser 309

11.5 Tehnologie regenerativă de determinare a distanței prin pseudo-zgomot 320

CAPITOLUL 12**Tehnologia Roverului Lunar 332**

12.1 Proiectare sistemului general 332

12.2 Structură de bază 336

12.3 Subsistemul de mobilitate 339

12.4 Subsistemul de alimentare 348

12.5 Subsistemul de control termic 354

12.6 Ghidare, navigare și control 362

12.7 Comandă, comunicare, control și telemetrie 374

12.8 Subsistemul de imagistică 383

CAPITOLUL 13**Tehnologia aterizării lunare cu echipaj 392**

13.1 Prezentare generală 392

13.2 Tehnologia aterizării lunare cu echipaj, din SUA 395

13.3 Tehnologia aterizării lunare cu echipaj, din China 410

CAPITOLUL 14**Tehnologii cheie ale bazei lunare 423**

14.1 Prezentare generală 423

14.2 Tehnologii ale bazei lunare 426

14.3 Rezumat 470

Referințe 471

CAPITOLUL 1

PREZENTARE GENERALĂ A SUPRAFETEI LUNARE

1.1 PREZENTARE GENERALĂ A SUPRAFETEI LUNARE

1.1.1 FORME DE RELIEF ALE LUNII

În ansamblu, suprafața lunii poate fi împărțită în două unități geografice majore: baze lunare și munți. Suprafața lunii este compusă în principal din munți, baze lunare și cratere. Peticele întunecate de pe suprafața lunii văzute cu ochiul liber se numesc baze lunare. Baza lunară este o câmpie largă ce reprezintă aproximativ 17% din suprafața lunii. Majoritatea bazelor lunare este distribuită în partea apropiată a lunii, adică în partea orientată spre pământ, și reprezintă aproximativ jumătate din suprafața totală a emisferei din partea apropiată a lunii. Distribuția bazei lunare este mai accentuată în emisfera nordică, doar Marea Orientale, Marea Moscoviensis și Mare Ingenii fiind situate pe partea îndepărtată a lunii. Majoritatea bazelor lunare sunt circulare și închise, dintre care, cele mai multe sunt înconjurate de munți (teren montan alungit și întins), asemenea bazinelor de pe pământ.

Munții sunt zonele de pe suprafața lunii de deasupra bazelor lunare. Munții sunt în general cu 2-3 km mai înalți decât geoidul lunar, reprezentând aproximativ 83% din suprafața lunară. Bazele lunare principale distribuite pe suprafața lunară sunt prezentate în Figura 1-1.

Pietre mari și mici și cratere de impact sunt distribuite în cele două unități geografice majore, care formează terenul complex de pe suprafața lunară, bazele lunare și în zonele înalte. Craterelor de impact sunt structurile circulare mari și mici, dense, liniile de radiații și structurile ridicate formate în urma impacturilor pe suprafața lunii. Conform statisticilor, numărul total de cratere de pe suprafața lunii este mai mare de 33.000, concentrat în special în zonele muntoase. Statisticile principalelor cratere de impact de pe Lună sunt prezentate în Tabelul 1-1. Majoritatea craterelor sunt înconjurate de lanțuri de munți cu înălțime de 300-7,000m. Fundul craterelor este în general plat, dar adâncimea variază mult, de la zeci de metri la câteva mii de metri. Craterelor sunt distribuite dens în regiunea sud-centrală de pe suprafața lunii, iar numărul acestora scade treptat o dată cu deplasarea către nord, vest și est. Modelul diametrelor și distribuția cantitativă a craterelor pe suprafața lunară sunt prezentate în Fig. 1-2. Din figură se poate observa că distribuția craterelor pe suprafața lunară este aproximativ invers proporțională cu diametrele acestora. Gama de distribuție a diametrului craterelor de impact este foarte largă. Craterelor mici măsoară doar de zeci de centimetri sau chiar mai puțin. Suprafața totală a craterelor de impact cu un diametru de peste 1 km reprezintă 7% - 10% din suprafața lunii. Conturul tipic al craterelor este prezentat în Fig. 1-3. În general, adâncimea gropii nu este mai mare de 25% din

diametrul gropii, iar înălțimea marginii nu este mai mare de 6% din diametru. Prin urmare, crateretele sunt aproape întotdeauna netede.

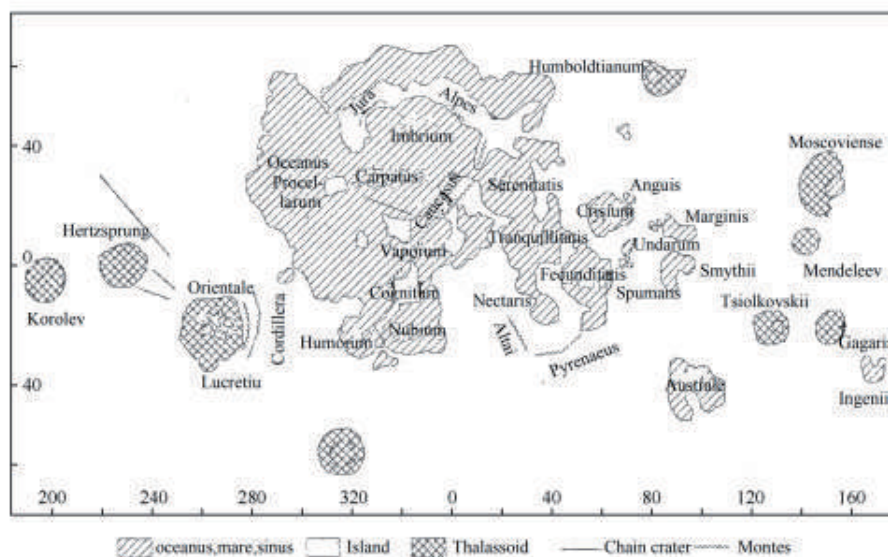


Figura 1-1 Principalele mări lunare distribuite pe suprafață

Tabel 1-1 Statistici ale craterelor de impact major pe suprafața lunii

Numele craterelor	Diametrul craterelor/ km	Lungimea liniei de radiație / m	Numele craterelor	Diametrul craterelor/ km	Lungimea liniei de radiație / m
Agrippa	45.6	272	Lalande	24.3	320
Alf Lagnus	20.5	344	Landsburgh	9	43
Arnosagoras	51	960	Langrinos	131.5	1,520
Apollonius	48	69	Littrow	3.2	25
Aristarchus	39.5	432	Lubiniyetsky	16	69
Aristillus	56.2	640	Madler	28.6	272
Ortolix	39	430	Manilius	38.4	320
Bode	18.1	136	Maniboro	80	51
Byrgius	16.5	156	Menelaus	26.9	432
Campanus	10.9	51	Mercenius	15.2	78
Censolius	6.7	61	A Merstein	13.1	51
Kramer	13.6	84	C Merstein	3.2	18
Copernicus	90.7	1,200	Olbers	66.9	800
Cruger	43	25	Pickering	12.1	160
Dani	14.6	112	Prochorus	30.6	640
Dionysios	17.1	136	Pateus	18.9	51
Euclid	11	112	Steven	25	640
Eudoxus	13.9	104	Streibe	54.7	640
Jules	26.6	208	Takkvit	74	25
Florius	20	384	Tarantius	56.5	320
Gambach	115	74	Geophilus	102.1	1,080
Jaminas	17.3	280	Timaeus	32.5	344
Goldin	35.7	376	Timocharis	35	137
Hind	173	138	Trisnek	26	310
Kepler	32.3	640	Tycho	85	3,000

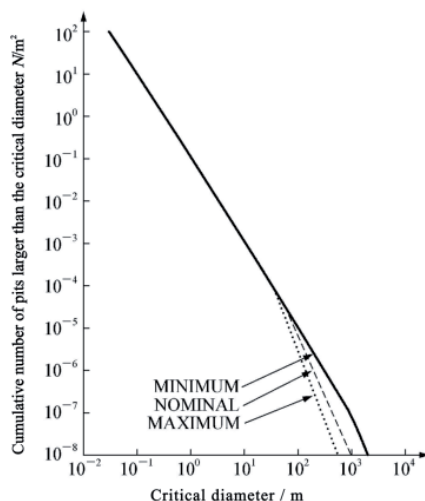


Figura 1-2 Distribuția diametrului și a numărului de cratere apărute anual pe suprafața lunară

Stâncile de pe suprafața lunii formează o acoperire destul de extinsă, care poate fi de formă rotundă sau dreptunghiulară, lovite, degradate sau cu bule, iar înălțimea standard este de jumătate din diametru. 80% din suprafața terrei s-a format în ultimii 2 milioane de ani, în timp ce 99% din suprafața lunii s-a format acum 3 miliarde de ani, din care 70% s-a format acum 4 miliarde de ani.

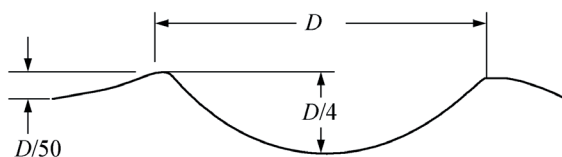


Figura 1-3 Contururi tipice ale craterelor apărute anual pe suprafața lunii

Câmpia bazei lunare este relativ plană, majoritatea pantelor sunt cuprinse între 0° și 10° și abaterea standard este de $3,7^\circ$. Terenul din zonele muntoase se ondulează chiar mai mult decât cel al regiunilor de câmpie, cu o pantă maximă de aproximativ 34° , majoritatea pantelor fiind cuprinse între 0° și 23° , iar abaterea standard este între $4,5^\circ$ și 60° sau chiar mai mare.

Terenul din regiunea văii Taur-Litro, unde a aterizat Apollo 17 este, în general, mai blând, dar blocurile de roci de diferite dimensiuni sunt distribuite la scară largă (Fig. 1-4), ceea ce solicită cerințe tehnice mai ridicate privind evitarea obstacolelor și capacitatea eșantionatoarelor lunare de depășire a acestora.

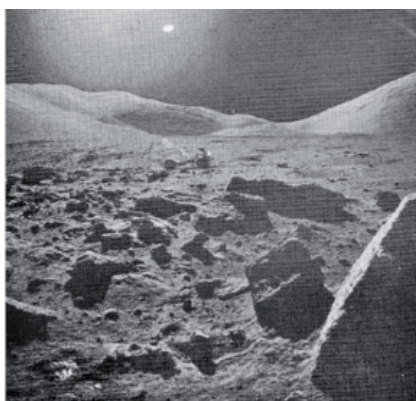


Figura 1-4 Terenul din zona canionului Taur-Litro (locul de aselenizare al Apollo 17)

1.1.2 COMPOZIȚIA MINERALĂ A LUNII

Mineralele sunt unitatea de bază a compoziției lunii. Cu excepția câtorva minerale, majoritatea mineralelor care alcătuiesc rocile lunare nu au fost găsite niciodată pe pământ. Prin analizarea și studierea mineralelor din rocile lunare, se poate determina presiunea, temperatura, viteza de răcire și fugacitatea oxigenului a unor faze gazoase (oxigenul, sulful și monoxidul de carbon), în momentul formării rocilor. Caracteristicile spectrale ale rocilor sunt în esență reprezentarea colectivă a conținutului lor mineral, prin urmare, studiul caracteristicilor spectrale ale materialelor de suprafață lunară este unul dintre mijloacele importante pentru a înțelege compoziția minerală și caracteristicile structurale ale rocilor. În plus, prin separarea mecanică a mineralelor cu conținut ridicat din roci, minereul poate fi extras direct, ceea ce are o mare semnificație practică pentru a înțelege resursele minerale de pe lună.

Principalele caracteristici ale mineralelor silicaticice pe Lună sunt următoarele:

- (1) Mineralele silicaticice, în special piroxenul, plagioclaza și olivina, sunt principalele componente minerale din probele colectate.
- (2) Conținutul de piroxen, plagioclază și olivină variază foarte mult, iar conținutul în volum este de 8,5% - 61,1%, 12,9% - 69,1%, respectiv 0,2% ~ 17,5%.
- (3) Comparativ cu piroxenul și plagioclaza, conținutul de silicat din olivină este mai mic, iar conținutul de silicat din regiunea de colectare *luna24* este cel mai ridicat.
- (4) Există o corelație negativă între conținutul de piroxen și plagioclază.
- (5) Conținutul de ilmenit din regiunile de baza lunară este evident mai mare decât cel din regiunile *luminoase*, dar conținutul de ilmenit din probele colectate de către Apollo 15 este evident mai mic decât cel din probele colectate de către Apollo 17, ceea ce indică, de asemenea, că se schimbă foarte mult conținutul de minerale din diferite regiuni formate cu același tip de rocă.
- (6) Există un fenomen evident de recristalizare, iar eterogenitatea compoziției de particule a aceluiași piroxen este foarte proeminentă. Rezultatele arată că acest fenomen este cauzat în principal de procesul de răcire extrem de lent al magmei și de instabilitatea în echilibrarea mineralului și topiturii în timpul cristalizării.
- (7) Principalul conținut din bazaltul din formațiunile de bază lunară este clinopiroxenul, care este compus din augită și pigeonită, conform 001 sau 100 inter-creștere, în timp ce în bazaltul din celelalte regiuni și în rocile din zonele ridicate, conținutul principal este ortopiroxenul.
- (8) Compoziția piroxenului este variată în interiorul și între particule, ceea ce se observă în principal în variațiile de FeO, MgO și CaO.
- (9) Structura sub formă de benzi a piroxenului este comună și este în general compusă din miez de pigeonită și margine de augit, ambele având un conținut bogat de aproximativ 1% Cr_2O_3 , în timp ce augitul este bogat în aluminiu și titan.
- (10) Comparativ cu piroxenii de pe pământ, principalele caracteristici ale piroxenului lunar sunt că se formează în mediul de reducere extremă și acțiune anhidră, iar raportul Fe / Mg este mare.
- (11) Un nou mineral din grupul piroxen a fost găsit în probele lunare.

1. Piroxen

Piroxenul este principalul mineral găsit în majoritatea rocilor lunare, iar compoziția sa variază foarte mult. Clinopiroxenul este piroxenul principal în bazaltul din regiunea bazei lunare, iar ortopiroxenul este piroxenul principal în bazaltul din celelalte regiuni și din rocile din zonele înalte. Piroxenul înregistrează condițiile de formare și istoria evoluției rocilor lunare. Este un fel de soluție solidă cu o mare variație în compoziție. Structura sa cristalină este prezentată în Fig. 1-5.

Fig. 1-6, Fig. 1-7 și Fig. 1-8 prezintă variațiile în compoziția piroxenului a bazaltului bazei lunare, compoziția piroxenică în breția din munte, roci piroclastice și roci Krep și compoziția piroxenică din roca magmatică cu granulație grosieră.

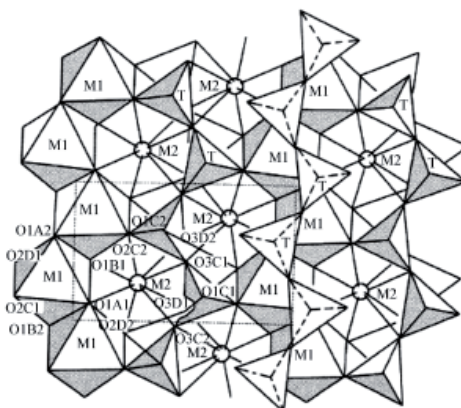


Figure 1-5 Structura cristalină a piroxenului

În general, piroxenii din bazaltul bazei lunare au următoarele caracteristici principale:

- (1) Conform compoziției chimice, piroxenul poate fi împărțit în augit, augit cu conținut scăzut de calciu, augit din titan, augit cu conținut scăzut de fier, augit cu conținut scăzut de calciu și fier scăzut, piroxferroit, bronzit și pigeonită etc.
- (2) Fie că este vorba despre piroxenul găsit în bazaltul bazei lunare sau piroxenul găsit în rocile din zonele muntoase, compoziția fierului există sub formă de Fe^{2+} , în loc de Fe^{3+} , ceea ce indică faptul că piroxenul s-a format în condiții de reducere.
- (3) Conținutul foarte scăzut de azot se datorează conținutului său global foarte scăzut în bazaltul bezei lunare.
- (4) Datorită fugacității scăzute a oxigenului în timpul procesului de cristalizare a bazaltului bazei lunare, alte elemente de valență variabilă, cum ar fi Ti, Cr etc. apar la mineralele cu valență scăzută. Conform analizei bazaltului eșantionat de Apollo 17, aproximativ 30% - 40% din Ti există sub forma titanului trivalent în bazaltul bazei lunare și aproape tot titanul trivalent se găsește în piroxen.

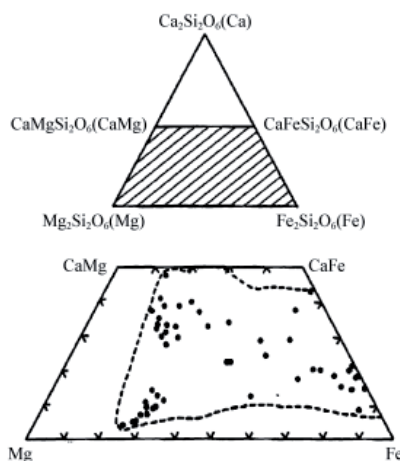


Figura 1-6 Compoziția piroxenului în bazaltul Yuehai

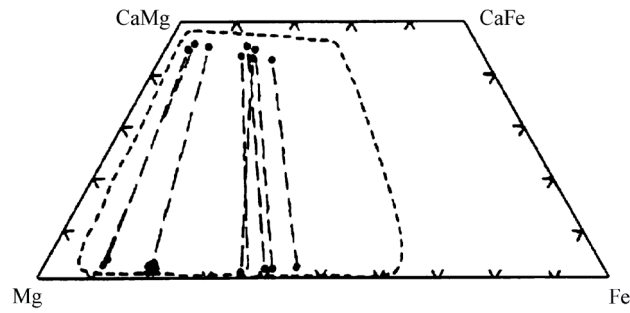


Figura 1-7 Compoziție piroxenică în breccie de munte, lavă clastică slabă și rocă KREEP

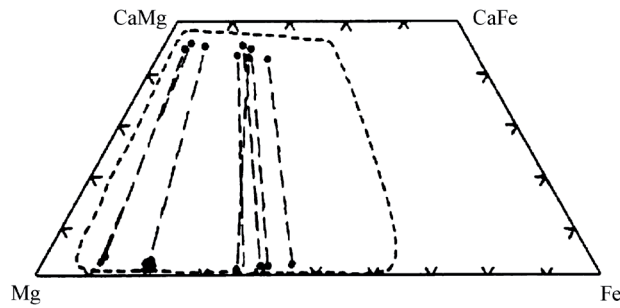


Figura 1-8 Compoziția piroxenului în roca magmatică cu granulație grosieră (anortozit de fier și rocă bogată în magneziu)

2. Plagioclaza

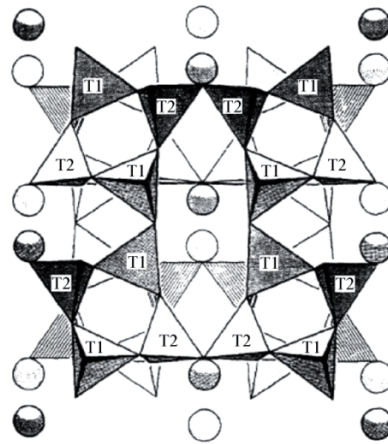


Figura 1-9 Structura cristalină a plagioclazei

Structura cristalină a plagioclazei este prezentată în Fig. 1-9. Majoritatea mineralelor de feldspat din rocile lunare aparțin seriei plagioclazelor.

Plagioclaza este răspândită pe scară largă printre rocile lunare și este principalul mineral care se găsește în bazaltul bazei lunare și în rocile din regiunile de munte, inclusiv toate serile de plagioclază de tranziție de la feldspat sodic la anortit. Plagioclaza se găsește în general sub formă de agregată granulară albă sau sub formă de placă asemănătoare cristalului. Cristalele individuale de plagioclază au lungimea de 1 mm, sunt incolore în secțiuni subțiri și conțin, în general, feldspat sodic cristal.

Intervalul său de compoziție este $An_{60} \sim An_{90}$, ce conține aproximativ 0,1% potasiu, 0,5% fier și 0,1% titan. Cercetările arată că variația compoziției dintre particulele de plagioclază este foarte mică și gama sa este în general mai mică de 5% din moleculele de anortită. Cu toate acestea, variația compoziției plagioclazei în brechie este mai semnificativă. Datorită lipsei de metale alcaline pe lună, în comparație cu plagioclaza de pe pământ, conținutul de element de sodiu din plagioclaza găsită pe lună este foarte scăzut, adică este în principal anortit.

Pe baza studiului diferitelor plagioclaze găsite pe lună, se constată că:

- (1) Diferența de compoziție dintre feldspat sodic ($NaAlSi_3O_8$) și anortit ($CaAl_2Si_2O_8$) este cea mai mare.
- (2) În bazaltul bazei lunare, conținutul de plagioclază este corelat pozitiv cu raportul Ca / Na din întreaga rocă.
- (3) Comparativ cu alte roci de pe lună, plagioclaza din rocile topite, din brechie și din rocile KREEP este evident bogată în Na, ceea ce se datorează în principal comportamentului similar sferochimic al Na cu elemente precum K, Rb și P.
- (4) Variația compoziției plagioclazei din rocile magmatice cu granulație grosieră este mai mică, iar cantitatea conținutului său de metale alcaline este corelată pozitiv cu conținutul de plagioclază.
- (5) La fel ca piroxenul, plagioclaza lunară a suferit și ea reacții sub-solide, deci eterogenitatea compoziției aceluiași mineral este relativ evidentă.
- (6) În general, feldspatii găsiți pe lună sunt săraci în conținutul de metale alcaline în comparație cu feldspatii de pe pământ.

3. Olivina

Structura cristalină a olivinei este structura lanțului octaedric, așa cum se arată în Fig. 1-10, unde Fe și Mg apar aleatoriu în punctele de rețea M1 sau M2, în timp ce Ca apare doar în punctele de rețea M2.

Olivina este larg distribuită în rocile lunare. Conținutul de olivină din diverse roci este diferit. De exemplu, conținutul de olivină în bazaltul bazei lunare este mai mare, în care este produs ca fază minerală principală, în timp ce în unele roci este scăzut, în care este produs ca fază minerală secundară. În plus, s-au descoperit roci metalizate cu magneziu ce conțin Co și Fe care coexistă cu olivina. Conținutul de Cr_2O_3 în olivină este mai mare decât cel din rocile magmatice ale pământului, iar conținutul de Cr_2O_3 scade odată cu scăderea moleculelor de forsterit, în timp ce conținutul de MnO și TiO_2 crește odată cu scăderea moleculelor de forsterit.

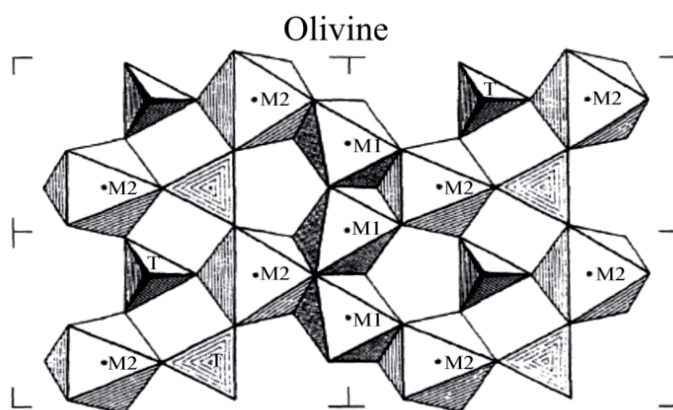


Figura 1-10 Structura cristalină a olivinei

Pe baza studiului sistematic al olivinei din diferite tipuri de roci de pe lună, se constată că:

- (1) Variația compoziției olivinei este complet constrânsă de schimbul de ioni dintre elementele majore Fe și Mg, adică odată cu scăderea conținutului de Fe și creșterea conținutului de Mg, constituenții minerali ai olivinei schimbându-se din mineralul membru faialit (reprezentat de Fa) în mineralul membru de capăt forsterit.
- (2) Compoziția olivinei în bazaltul bazei lunare este, în general, $Fe_{20}\sim Fe_{70}$, și rareori $Fe_{70}\sim Fe_{100}$; cu toate acestea, în faza reziduală a topirii bazaltului bazei lunare, mineralul produs de cristalizarea lentă a piroxenului Ca Mg, faialitului și cuarțului, în egală măsură, nu este olivină bogată în Fe, ci olivină bogată în Mg.
- (3) Celelalte elemente majore care se găsesc în olivina din bazaltul lunar (cum ar fi Ca, Mn, Cr și Al) se schimbă complet odată cu modificarea Fe, iar această modificare este controlată de rata de răcire a topiturii bazaltului lunar.

1.1.3 ELEMENTE CHIMICE CE SE GĂSESC PE LUNĂ

Toate elementele chimice găsite pe pământ au fost găsite și pe lună, dar compoziția și caracteristicile de distribuție ale elementelor chimice de pe lună sunt diferite de cele de pe pământ. Etapele de evoluție ale lunii și ale pământului sunt foarte diferite. Lunii îi lipsește un nucleu de fier, precum cel al pământului. Luna duce lipsă de apă, din nucleu până la suprafață, iar atmosfera este aproape inexistentă, astfel nu există intemperii fizice sau chimice la care să ia parte acestea, așa cum se întâmplă pe pământ.

Elementele lunare pot fi împărțite în șase categorii: elemente majore, microelemente incompatibile, microelemente neregulate, elemente siderofile, elemente volatile și infuzii ale vântului solar. De fapt, nu există o linie de conturare absolută pentru cele șase elemente majore ale lunii și multe dintre ele fac parte din categorii încrucișate. De exemplu, P aparține atât categoriei de microelemente incompatibile, cât și a categoriei de microelemente neregulate.

Elementele lunare majore sunt principalele componente ale substanței lunare, iar abundențele lor de la mare la mic sunt în următoarea ordine: O, Si, Al, Mg, Fe, Ca, Ti și Na. Asemenea pământului, scoarța lunară este relativ bogată în Si și Al, dar săracă în Fe și Mg. Componenta principală a nucleului lunar este Fe.

Microelementele incompatibile de pe lună, datorită comportamentului lor geochimic special și a abundenței cosmice relative extrem de scăzută, nu pot forma minerale majore în timpul formării lunii, astfel încât acestea adesea se îmbogățesc în roci și minerale unice, în timp ce prezența lor în alte roci și minerale este extrem de scăzută, iar elementele rare de pământ sunt îmbogățite în principal în norit de tip KREEP.

Comparativ cu elementele majore și microelementele incompatibile, abundența și regularitatea distribuției microelementelor neregulate pe lună este relativ scăzută. Mai mult, la unele roci, conținutul poate ajunge la categoria elementelor majore, ele având adesea caracteristicile microelementelor incompatibile în comportamentul geochimic. Dintre acestea, P, K și Ba sunt concentrate în principal în roci și minerale speciale, precum noritul KREEP. Abundența lor în regolitul lunar este invers proporțională cu dimensiunea particulelor din regolitul lunar.

Abundența elementelor siderofile din regolitul lunar este în mod evident mai mare decât cea din rocile lunare. Deși elementele F, S, Cl, Cu, Zn, As, Se, Br, Ag, In și Te din compoziția lunii nu au aceeași afinitate ca cea a elementelor siderofile în comportamentul geochimic, ele sunt totuși foarte similare în abundență și volatilitate relativă, adică toate au un anumit grad de volatilitate, iar conținutul lor în rocile lunare este foarte scăzut, în timp ce cel din regolitul lunar este foarte mare.

În eșantioanele de regolit lunar, elementele incompatibile extrem de îmbogățite se corelează foarte bine; de exemplu, coeficientul de corelație dintre Th și Sm este de 0,99, iar cel dintre Gd și Sm este de 0,998. Conform măsurării fluxului de căldură de pe suprafața lunii, conținutul de U pe lună este de aproximativ 33-34ng /g. 60% - 70% din totalul depozitelor lunii de U, Th și K se îmbogățesc în scoarța lunară din zonele înalte, iar aproximativ 50% din Eu se îmbogățesc în scoarța lunară din zonele înalte, indicând că cel puțin 50% din volumul lunii a experimentat fuziunea și diferențierea.

1.1.3.1 Elemente majore ale lunii

În primul rând, O este cel mai abundent element din lună. 60% din atomii din lună sunt atomi de O, dar toți s-au combinat cu alte elemente pentru a forma compuși stabili. În al doilea rând, Si reprezintă 16% - 17% din numărul total de atomi. Al este al treilea element cel mai abundent, reprezentând 10% din numărul total de atomi găsiți în zonele muntoase lunare, în timp ce doar 4,5% se găsesc distribuiți în 20% din zona bazaltului baze lunare din partea apropiată a lunii. Cantitățile de Ca și Mg sunt aproximativ egale, reprezentând aproximativ 5% din totalul atomilor, din care, cantitățile din zona bazei lunare sunt de aproximativ 5%. Atomii de Fe găsiți în zonele muntoase reprezintă aproximativ 2,5% din totalul atomilor, în timp ce, cei găsiți în zona bazei lunare reprezintă aproximativ 6% din totalul atomilor.

Dacă procentul atomic este convertit în procent de masă, O este încă elementul cel mai abundent, reprezentând aproximativ 45%; Si este de aproximativ 21%; Al este de aproximativ 13% în zonele muntoase și de aproximativ 5% în zona bazei lunare; Ca este de aproximativ 10% în zonele muntoase și de aproximativ 8% în zona bazei lunare. În general vorbind, este cunoscută compoziția chimică a elementelor majore ce conțin O, astfel încât conținutul de oxid elementar poate fi calculat.

1. Relația dintre Al_2O_3 —FeO și Al_2O_3 —(FeO+MgO)

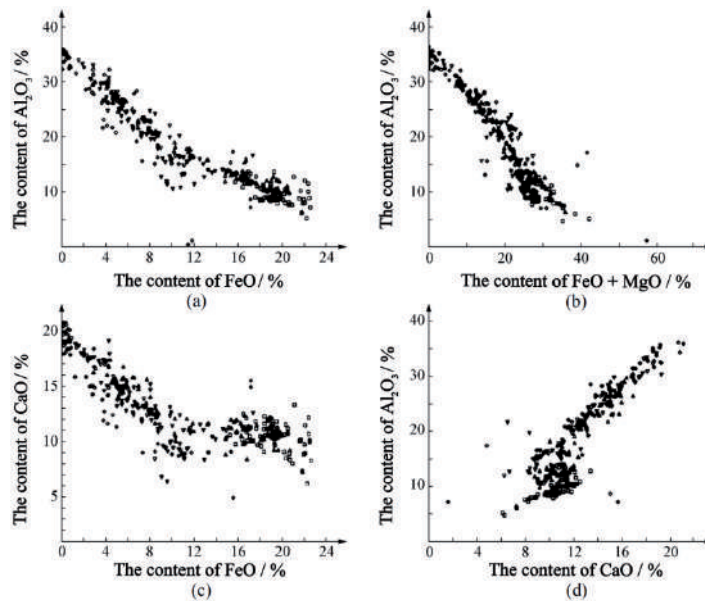
Prin examinarea corelației pozitive și a corelației negative a elementelor majore găsite în eșantioanele lunare, se constată că diferențele de compoziție dintre baza lunară și zonele înalte sunt extrem de evidente. Corelația negativă între conținutul de FeO și Al_2O_3 este prezentată în Fig. 1-11 (a). Compoziția minerală majoră a majorității rocilor lunare este, în principal, formată din mineralele plagioclazice și mafice (piroxen și olivină). Cu cât conținutul de plagioclază este mai mare, cu atât este mai mare conținutul de Al_2O_3 . Cu cât conținutul de plagioclază din roci este mai mare, cu atât este mai mic conținutul de minerale mafice și cu atât este mai mic și conținutul de FeO. Prin estimare brută, această corelație negativă reflectă pur și simplu schimbările în proporția de plagioclază și minerale mafice.

Abscisa prezentată în Fig. 1-11 (b) reprezintă suma conținutului de FeO și MgO, iar ordonata reprezintă conținutul de Al_2O_3 . În figură, linia de corelație a bazaltului bazei lunare ($Al_2O_3 < 15\%$) este mai abruptă decât cea a monomictului din zonele înalte, acest lucru se datorează conținutului de piroxen bogat în calciu din materialele bazei lunare.

2. Relația dintre CaO— FeO și Al_2O_3 —CaO

Așa cum se vede în Fig. 1-11 (c), probele de monomict din zonele muntoase (FeO <8%) au descris o pantă negativă, observându-se cum conținutul de plagioclază este mai mare decât cel al mineralelor mafice. Pentru Al_2O_3 , tendința descrescătoare a valorii CaO a monomictului din zona muntoasă este mai mare decât cea a tendinței principale. Gabbronoritul alcalin al monomictului din zonele muntoase (aproximativ 17% marca diamantului) se încadrează pe partea bogată în CaO a bazaltului bazei lunare. Pentru bazaltul bazei lunare și pentru regolitul lunar din aceeași zonă, conținutul de CaO nu depinde de conținutul de FeO, deoarece piroxenul bazaltului bazei lunare se încadrează la tipul bogat în calciu, astfel conținutul de CaO rămâne constant. Același efect se poate observa în Fig. 1-11 (d). În intervalul

în care conținutul de CaO al probelor de bazalt este de aproximativ 10% și conținutul de Al_2O_3 este de aproximativ 10%, există o tendință de convergență relativ slabă.



· Bazalt din zona mărilor lunare · Rocă dintr-un singur minereu din zona muntoasă · Regolit lunar și regolit lunar din brechie · Brechie

Figura 1-11 Corelația dintre fracțiile de Al_2O_3 -FeO, Al_2O_3 -(FeO+MgO), CaO-FeO și Al_2O_3 -CaO în probele eșantionate

1.1.3.2 Microelementele incompatibile ale lunii

Microelementele incompatibile se referă la elementele care nu pot pătrunde în cantități mari, în rețeaua mineralelor obișnuite, astfel încât acestea intră adesea în faza lichidă în care rocile și mineralele încep să se topească. Când zona de fuziune începe să cristalizeze, aceste elemente rămân în faza lichidă. Dacă sunt suficient de abundente în faza lichidă, își vor forma propriile minerale. Zirconul, de exemplu, este un mineral format atunci când abundența de Zr devine suficient de mare. Astfel de microelemente includ, de asemenea, și Hf, Y și REE etc.

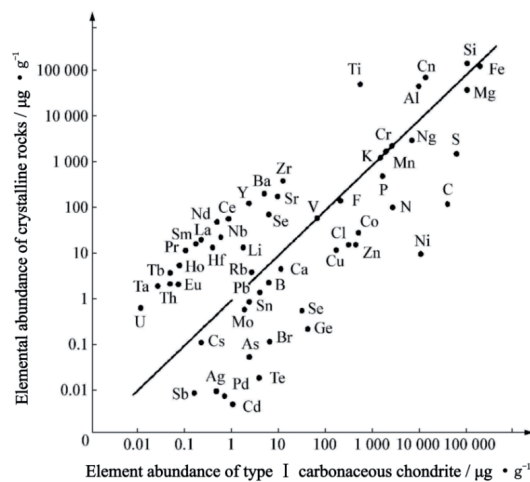


Figura 1-12 Comparația abundențelor elementelor de rocă cristalină obținută de Apollo 11 și condrit carbonic de tip I

Figura 1-12 prezintă comparația abundențelor elementelor de rocă cristalină obținută de Apollo 11 și condrit carbonic de tip I. Rocile lunare sunt bogate în elemente litofile refractare. Abundențele tuturor elementelor siderofile și calcofile (cu excepția plumbului) sunt reduse, iar elementele volatile sunt, de asemenea, reduse. Asemenea bazaltului, rocile din zonele înalte prezintă aceleași caracteristici geochemice, cu un raport K/U mai mic, un raport Cr/V mai mare și aceeași anomalie, dar sunt, în același timp, evident diferite în ceea ce privește compoziția chimică.

D. L. Anderson a subliniat că îmbogățirea și epuizarea unor elemente de pe Lună pot fi explicate prin procesul de condensare în nebuloasa solară în etapele inițiale. Calculele termodinamice arată că ordinea condensării elementelor și compușilor din interiorul nebuloasei solare reci este după cum urmează: în faza incipientă, compușii cu conținut de calciu și aluminiu, cum ar fi gehlenitul (C_2As), spinelul și perovskitul, s-au condensat; în condițiile de echilibru precar și de presiune scăzută, diopsidul, forsteritul și anortitul s-au format înainte de condensarea Fe.

1.1.4 MEDIUL SUPRAFETEI LUNARE

1.1.4.1 Mediul de radiații

Pe orbita din jurul lunii sau pe suprafața acesteia, radiația particulelor încărcate provine în principal de la raze cosmice galactice, raze cosmice solare și vânt solar. Diferit de mediul de radiație al particulelor încărcate de pe orbita satelitului pământului, câmpul magnetic al lunii este extrem de slab, astfel nu poate forma un mediu stabil al particulelor încărcate în jurul lui, prin urmare, nu există un mediu de radiație a particulelor încărcate similar centurii de radiații a Pământului.

Particulele de vânt solar sunt cele mai influente particule în procesul aterizării ușoare, dar datorită energiei lor relativ scăzute, primesc mai puțină atenție decât razele cosmice galactice și razele cosmice solare.

Erupții solare mari apar, în medie, de peste zece ori pe an, emițând un număr mare de particule cu energie ridicată (1-100MeV), cu o durată de câteva ore până la câteva zile, care pot deteriora suprafața, integritatea structurală și componentele electronice ale sondei lunare. Acești protoni cu energie mare ionizează ușor materialele optice. În același timp, deoarece aceste particule sunt mari și grele, ar putea bloca echipamentul optic. Prin urmare, acești factori de radiație trebuie luați în considerare când vine vorba despre selectarea materialelor și componentelor care urmează să fie instalate pe modulele cu aterizare ușoară și sondele lunare.

Frecvența razelor cosmice galactice nu este mare, dar au o energie ridicată. Deși este posibil ca numărul acestor particule să nu fie îngrijorător, energia sa mare poate deteriora componentele electronice. Este probabil ca o singură particulă să provoace daune componentelor electronice prin pierderea de energie și prin procesul de împrăștiere elastică și inelastică, cauzând paralizarea sistemului.

- (1) Spectru posibil de protoni solari în vecinătatea lunii. Manifestările protonilor solari variază de la mari la mici, astfel că spectrul acestora, care ajunge în vecinătatea lunii este, de asemenea, diferit.
- (2) Spectrul de transfer liniar de energie al razelor cosmice în vecinătatea lunii. Razele cosmice din vecinătatea lunii includ raze cosmice galactice și raze cosmice solare, ce pot produce activități cu o singură particulă pe sateliți.