

Table S1. Major element composition of apatite in Shaxiongdong carbonatite.

Spot No.	02-1	02-2	02-3	02-4	02-5	02-6	02-7	02-8	02-9	02-10
SXD15-02										
CaO	53.19	53.12	52.89	52.50	53.13	54.13	52.72	54.60	52.34	52.70
Ce ₂ O ₃	0.63	0.42	0.39	0.47	0.41	0.37	0.45	0.41	0.37	0.54
La ₂ O ₃	0.34	0.23	0.31	0.28	0.27	0.26	0.29	0.14	0.19	0.18
SrO	0.29	0.46	0.53	0.69	0.61	0.50	0.71	0.55	0.57	0.92
BaO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.01	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.03	0.02
Na ₂ O	0.19	0.33	0.34	0.42	0.34	0.35	0.39	0.44	0.26	0.27
Pr ₂ O ₃	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.03	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.13	0.06
Nd ₂ O ₃	0.12	0.09	b.d.l.	0.05	b.d.l.	b.d.l.	0.03	b.d.l.	b.d.l.	0.31
P ₂ O ₅	40.64	40.48	41.19	41.05	40.77	41.01	40.87	40.52	41.55	41.66
SiO ₂	0.40	0.08	0.07	0.08	0.11	0.09	0.08	0.09	0.06	b.d.l.
SO ₃	0.11	0.15	0.11	0.08	0.09	0.16	0.11	0.18	0.02	0.11
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	3.50	3.39	3.43	3.46	3.19	4.00	3.84	3.61	3.31	3.78
Cl	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.01	0.02	b.d.l.	0.02	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
O-(F, Cl) ₂	1.48	1.43	1.44	1.46	1.35	1.69	1.62	1.52	1.39	1.59
total	97.94	97.32	97.82	97.68	97.60	99.18	97.88	99.03	97.43	98.97
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations									
Ca	4.91	4.92	4.88	4.86	4.90	4.93	4.87	4.96	4.85	4.84
Na	0.03	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.04	0.05
Sr	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.05
Ba	—	—	—	—	0.00	—	—	—	0.00	0.00
La	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Ce	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Pr	—	—	—	0.00	—	—	—	—	0.00	0.00
Nd	0.00	0.00	—	0.00	—	—	0.00	—	—	0.01
P	2.97	2.96	3.00	3.00	2.97	2.95	2.99	2.91	3.04	3.02
Si	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	—
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	0.96	0.93	0.93	0.95	0.87	1.08	1.05	0.97	0.90	1.02
Cl	—	—	—	0.00	0.00	—	0.00	—	—	—
Spot No.	04B-1	04B-2	04B-3	04B-4	04B-5	04B-6	04B-7	04B-8	04B-9	04B-10
SXD15-04B										
CaO	53.31	53.67	52.74	53.16	52.87	53.57	52.68	52.99	51.86	52.49
Ce ₂ O ₃	0.34	0.31	0.36	0.31	0.21	0.28	0.68	0.30	0.53	0.27
La ₂ O ₃	0.08	0.14	0.16	0.13	0.11	0.10	0.43	0.05	0.31	0.10
SrO	1.01	1.32	1.23	1.30	0.92	1.10	1.03	1.15	1.05	1.09
BaO	b.d.l.	0.04	0.05	b.d.l.	0.03	0.01	0.02	b.d.l.	b.d.l.	0.06

Na ₂ O	0.20	0.18	0.19	0.20	0.20	0.19	0.56	0.22	0.29	0.26
Pr ₂ O ₃	0.05	0.11	b.d.l.	b.d.l.	0.05	0.07	b.d.l.	b.d.l.	0.01	b.d.l.
Nd ₂ O ₃	0.12	0.13	0.13	0.17	0.08	0.14	0.04	0.18	0.13	0.11
P ₂ O ₅	41.44	40.57	41.58	41.25	41.69	40.82	40.56	41.33	40.53	41.95
SiO ₂	0.11	0.05	b.d.l.	b.d.l.	0.04	0.02	0.06	0.05	0.11	0.02
SO ₃	0.05	0.12	0.05	b.d.l.	0.08	b.d.l.	0.18	0.07	0.05	0.05
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	4.41	4.24	4.03	4.29	3.71	3.86	3.71	4.04	3.75	3.63
Cl	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.03
O-(F, Cl) ₂	1.86	1.79	1.70	1.81	1.56	1.63	1.56	1.70	1.58	1.53
total	99.26	99.08	98.82	99.01	98.42	98.55	98.37	98.68	97.04	98.51
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations									
Ca	4.89	4.93	4.86	4.89	4.87	4.93	4.85	4.88	4.85	4.83
Na	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.09	0.04	0.05	0.04
Sr	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Ba	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	—	—	0.00
La	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Ce	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
Pr	0.00	0.00	—	—	0.00	0.00	—	—	0.00	—
Nd	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
P	3.00	2.94	3.03	3.00	3.03	2.97	2.95	3.00	3.00	3.05
Si	0.01	0.00	—	—	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
S	0.00	0.01	0.00	—	0.00	—	0.01	0.00	0.00	0.00
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	1.19	1.15	1.10	1.16	1.01	1.05	1.01	1.10	1.04	0.99
Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00
Spot No.	09-1	09-2	09-3	09-4	09-5	09-6	09-7	26-1	26-2	26-3
SXS15-09							SXD15-26			
CaO	52.52	51.91	52.23	54.60	53.07	53.16	53.32	54.12	53.06	52.52
Ce ₂ O ₃	0.08	0.16	0.16	0.15	0.38	0.32	0.36	0.39	0.22	0.52
La ₂ O ₃	0.05	0.01	0.10	0.12	0.14	0.10	0.20	0.11	0.03	0.24
SrO	1.94	1.75	1.88	1.71	2.10	1.82	1.96	1.67	1.02	1.35
BaO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.03	b.d.l.	0.02	b.d.l.	0.04	b.d.l.
Na ₂ O	0.09	0.11	0.12	0.10	0.18	0.21	0.22	0.21	0.16	0.41
Pr ₂ O ₃	0.03	b.d.l.	0.03	b.d.l.	0.01	0.02	0.10	0.02	b.d.l.	b.d.l.
Nd ₂ O ₃	0.10	b.d.l.	b.d.l.	0.12	0.02	0.15	0.11	0.25	0.07	0.48
P ₂ O ₅	40.90	41.59	41.45	42.60	41.48	40.58	41.34	41.95	41.43	40.67
SiO ₂	b.d.l.	0.01	0.01	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.04	0.02
SO ₃	0.04	0.02	0.06	0.03	0.12	0.08	0.07	0.07	0.01	0.04
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	3.91	3.68	3.82	4.78	4.10	5.05	4.33	3.85	3.41	4.20
Cl	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.03

O-(F, Cl) ₂	1.64	1.55	1.61	2.01	1.73	2.13	1.82	1.62	1.43	1.77
total	98.01	97.70	98.25	102.20	99.91	99.38	100.21	101.03	98.04	98.71
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations									
Ca	4.88	4.83	4.84	4.88	4.85	4.90	4.86	4.87	4.89	4.85
Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07
Sr	0.10	0.09	0.09	0.08	0.10	0.09	0.10	0.08	0.05	0.07
Ba	—	—	—	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—
La	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Ce	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Pr	0.00	—	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
Nd	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
P	3.00	3.06	3.03	3.01	2.99	2.95	2.98	2.98	3.02	2.97
Si	—	0.00	0.00	—	—	—	—	—	0.00	0.00
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	1.07	1.01	1.04	1.26	1.10	1.37	1.17	1.02	0.93	1.14
Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00
Spot No.	26-4	26-5	26-6	26-7	26-8	26-9	26-10			
SXD15-26										
CaO	52.26	52.39	54.60	53.72	53.82	54.38	53.53			
Ce ₂ O ₃	0.26	0.59	0.33	0.28	0.09	0.20	0.28			
La ₂ O ₃	0.05	0.24	0.21	0.10	0.13	0.11	0.06			
SrO	0.89	1.39	0.42	0.97	0.75	0.95	0.86			
BaO	b.d.l.	0.02	0.06	0.06	b.d.l.	b.d.l.	0.05			
Na ₂ O	0.15	0.38	0.26	0.16	0.12	0.09	0.17			
Pr ₂ O ₃	0.04	0.04	b.d.l.	0.08	0.07	b.d.l.	0.09			
Nd ₂ O ₃	0.13	0.47	0.23	0.08	b.d.l.	0.12	0.11			
P ₂ O ₅	41.42	41.22	40.40	41.62	41.78	42.58	42.11			
SiO ₂	0.01	0.01	0.21	0.04	0.03	0.02	b.d.l.			
SO ₃	b.d.l.	0.06	0.10	0.05	0.02	b.d.l.	b.d.l.			
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.			
F	4.14	3.35	4.20	3.34	3.81	3.43	3.29			
Cl	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.			
O-(F, Cl) ₂	1.74	1.41	1.77	1.41	1.60	1.44	1.38			
total	97.63	98.75	99.26	99.09	99.03	100.45	99.18			
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations									
Ca	4.87	4.82	4.98	4.90	4.91	4.90	4.88			
Na	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.03			
Sr	0.05	0.07	0.02	0.05	0.04	0.05	0.04			
Ba	—	0.00	0.00	0.00	—	—	0.00			
La	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00			
Ce	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01			

Pr	0.00	0.00	—	0.00	0.00	—	0.00
Nd	0.00	0.01	0.01	0.00	—	0.00	0.00
P	3.05	3.00	2.91	3.00	3.01	3.03	3.03
Si	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	—
S	—	0.00	0.01	0.00	0.00	—	—
Mn	—	—	—	—	—	—	—
F	1.14	0.91	1.13	0.90	1.03	0.91	0.88
Cl	—	—	—	—	—	—	—

Table S2. Major element composition of apatite in Shaxiongdong syenite.

Spot No.	08-1	08-2	08-3	08-4	08-5	08-6	08-7	08-8	10-1
SXD15-08					SXD15-10				
CaO	51.80	51.61	53.08	52.16	51.51	51.23	51.21	49.94	51.38
Ce ₂ O ₃	0.31	0.73	0.32	0.46	0.45	0.60	0.89	1.07	0.39
La ₂ O ₃	0.08	0.37	0.12	0.25	0.13	0.38	0.35	0.39	0.16
SrO	1.85	1.80	1.68	1.84	1.83	2.23	1.99	1.86	1.76
BaO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.02	0.01	b.d.l.	b.d.l.	0.02	b.d.l.
Na ₂ O	0.25	0.47	0.23	0.34	0.30	0.38	0.46	0.55	0.22
Pr ₂ O ₃	b.d.l.	0.11	b.d.l.	0.03	0.07	0.04	0.11	0.05	0.05
Nd ₂ O ₃	0.20	0.37	0.10	0.30	0.31	0.27	0.41	0.41	0.09
P ₂ O ₅	40.59	40.98	40.47	41.06	41.91	41.22	40.94	41.91	41.73
SiO ₂	0.03	0.02	b.d.l.	0.02	0.02	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.02
SO ₃	0.10	0.06	0.06	0.07	0.10	0.13	0.05	0.06	0.12
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	3.64	3.71	4.48	4.95	3.76	4.15	3.87	3.88	3.48
Cl	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.01	b.d.l.	0.02	b.d.l.
O-(F, Cl) ₂	1.53	1.56	1.89	2.08	1.58	1.75	1.63	1.64	1.47
total	97.32	98.67	98.64	99.41	98.82	98.89	98.63	98.52	97.94
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations								
Ca	4.84	4.78	4.90	4.82	4.76	4.75	4.76	4.66	4.78
Na	0.04	0.08	0.04	0.06	0.05	0.06	0.08	0.09	0.04
Sr	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.11	0.10	0.09	0.09
Ba	—	—	—	0.00	0.00	—	—	0.00	—
La	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Ce	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01
Pr	—	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nd	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
P	3.00	3.00	2.95	3.00	3.06	3.02	3.01	3.09	3.07
Si	0.00	0.00	—	0.00	0.00	—	—	—	0.00
S	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	1.00	1.01	1.22	1.35	1.02	1.14	1.06	1.07	0.96
Cl	—	—	—	—	—	0.00	—	0.00	—
Spot No.	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6	10-7	10-8	10-9	
SXD15-10									
CaO	52.84	52.77	52.97	52.28	51.95	52.39	52.43	52.57	52.89
Ce ₂ O ₃	0.19	0.21	0.25	0.20	0.69	0.32	0.25	0.26	0.20
La ₂ O ₃	0.01	0.12	0.12	0.04	0.29	0.13	0.07	0.14	0.08

SrO	1.69	1.53	1.54	1.51	1.64	1.76	1.64	1.54	1.60
BaO	b.d.l.	b.d.l.	0.02	b.d.l.	b.d.l.	0.03	0.06	b.d.l.	b.d.l.
Na ₂ O	0.22	0.15	0.19	0.15	0.34	0.30	0.17	0.17	0.16
Pr ₂ O ₃	b.d.l.	0.02	b.d.l.	b.d.l.	0.05	0.04	0.01	b.d.l.	b.d.l.
Nd ₂ O ₃	0.05	0.05	b.d.l.	b.d.l.	0.26	0.10	0.15	0.05	0.08
P ₂ O ₅	41.21	41.54	41.87	41.89	41.52	41.48	42.12	41.53	42.09
SiO ₂	b.d.l.	0.02	0.01	0.02	b.d.l.	0.02	b.d.l.	b.d.l.	0.01
SO ₃	0.06	0.06	0.09	0.12	0.12	0.08	0.04	0.05	0.07
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	3.72	3.65	3.91	3.63	3.67	4.14	3.65	3.63	3.56
Cl	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.01	b.d.l.	b.d.l.	0.02	0.01	b.d.l.
O-(F, Cl) ₂	1.57	1.54	1.64	1.53	1.55	1.74	1.54	1.53	1.50
total	98.44	98.58	99.32	98.32	98.98	99.05	99.06	98.40	99.25
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations								
Ca	4.87	4.86	4.85	4.83	4.79	4.82	4.81	4.85	4.84
Na	0.04	0.02	0.03	0.02	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03
Sr	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
Ba	—	—	0.00	—	—	0.00	0.00	—	—
La	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Ce	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Pr	—	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00	—	—
Nd	0.00	0.00	—	—	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
P	3.00	3.02	3.03	3.06	3.02	3.02	3.06	3.03	3.04
Si	—	0.00	0.00	0.00	—	0.00	—	—	0.00
S	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	1.01	0.99	1.05	0.99	1.00	1.12	0.99	0.99	0.96
Cl	—	—	—	0.00	—	—	0.00	0.00	—

Table S3. Major element composition of apatite in Shaxiongdong hornblendite.

Spot No.	21-1	21-2	21-3	21-4	21-5	21-6	21-7	21-8	21-9	21-10
SXD15-21										
CaO	56.33	56.95	55.71	55.56	55.34	56.17	55.29	55.47	55.96	55.04
Ce ₂ O ₃	0.16	0.07	0.03	0.09	0.15	0.10	0.07	b.d.l.	0.14	0.08
La ₂ O ₃	0.10	0.07	b.d.l.	b.d.l.	0.10	0.10	0.11	b.d.l.	0.04	0.09
SrO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
BaO	b.d.l.	0.01	b.d.l.	b.d.l.	0.08	0.02	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Na ₂ O	0.11	0.03	0.11	0.09	0.12	0.17	0.10	0.07	0.17	0.14
Pr ₂ O ₃	b.d.l.	0.09	0.10	b.d.l.	0.03	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.13
Nd ₂ O ₃	0.02	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.06	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
P ₂ O ₅	42.68	42.74	42.58	41.41	41.47	41.08	41.48	41.80	41.32	39.83
SiO ₂	0.16	0.13	0.11	0.12	0.30	0.28	0.18	0.07	0.40	0.21
SO ₃	0.09	0.12	0.21	0.11	0.52	0.46	0.20	0.13	0.52	0.36
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	2.97	3.47	4.04	3.76	3.69	3.70	3.20	3.42	3.02	2.91
Cl	0.06	b.d.l.	b.d.l.	0.01	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.02
O-(F, Cl) ₂	1.26	1.46	1.70	1.59	1.55	1.56	1.35	1.44	1.28	1.23
total	101.41	102.22	101.18	99.58	100.25	100.53	99.34	99.54	100.31	97.59
in apfu	Structural formula calculated for 8 cations									
Ca	4.98	5.00	4.96	5.01	4.97	5.02	4.99	5.00	4.99	5.04
Na	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02
Sr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	—	0.00	—	—	0.00	0.00	—	—	—	—
La	0.00	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00
Ce	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr	—	0.00	0.00	—	0.00	—	—	—	—	0.00
Nd	0.00	—	—	—	—	—	0.00	—	—	—
P	2.98	2.97	3.00	2.95	2.94	2.90	2.96	2.98	2.91	2.88
Si	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.02
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	0.77	0.90	1.06	1.00	0.98	0.98	0.85	0.91	0.80	0.79
Cl	0.01	—	—	0.00	—	—	—	—	—	0.00