Table S1 Major elements

Sample No.	Sample name	Al_2O_3	CaO	TFe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	LOI	Fe/Mn	Fe/Ti	SiO_2/Al_2O_3	$Al_2O_3/(Al_2O_3+TFe_2O_3)$	$Al/(Al+Fe+Mn)$
QSG-R-1	manganese oxide (I)	5.94	0.59	2.67	4.87	0.41	28.69	0.45	0.12	47.07	0.32	6.11	0.08	9.73	7.92	0.69	0.12
QSG-R-2		2.25	0.62	8.02	2.91	0.17	45.69	0.48	0.14	24.95	0.09	9.97	0.16	103.9	11.09	0.22	0.03
Q1601-7	Rhodochrosite (I)	6.78	3.55	2.57	2.08	3.28	19.74	0.16	0.11	45.56	0.19	11.72	0.12	15.78	6.72	0.73	0.17
Q1601-6		5.27	2.57	4.63	3.44	2.26	21.08	0.21	0.11	44.97	0.24	12.61	0.20	22.50	8.53	0.53	0.12
QSG-2-2	manganese oxide (II)	3.76	0.37	5.30	3.53	0.18	42.14	0.91	0.29	31.76	0.21	7.74	0.11	29.44	8.45	0.42	0.05
Q-01	Rhodochrosite (II)	9.12	11.75	3.91	0.79	2.16	14.52	0.16	0.02	29.37	0.14	-	0.24	32.58	3.22	0.70	0.26
Q-02		11.11	12.34	4.49	1.17	2.08	13.35	0.09	0.03	37.26	0.13	-	0.30	40.29	3.35	0.71	0.30
Q-03		7.91	21.24	3.42	1.21	3.11	16.43	0.12	0.03	30.08	0.13	-	0.19	30.69	3.80	0.70	0.22
Q806-4	Mn-bearing siliceous rocks (Interval I-II)	2.95	5.32	2.63	2.12	2.62	6.70	0.06	0.07	65.00	0.13	2.18	0.35	23.60	22.03	0.53	0.18
Q806-3		3.44	4.13	3.00	2.47	2.42	7.21	0.05	0.08	65.75	0.14	2.52	0.38	25.00	19.11	0.53	0.19
Q806-8	Siliceous rock (Interval I-II)	4.55	4.39	1.14	3.76	2.14	1.28	0.04	0.04	75.02	0.16	7.02	0.80	8.31	16.49	0.80	0.57
QP-7		2.63	0.01	0.32	2.11	0.03	0.01	0.02	0.01	94.69	0.09	0.32	28.89	4.15	36.00	0.89	0.86
QP-9		2.56	0.01	0.28	2.04	0.03	0.01	0.02	0.01	94.57	0.09	0.38	25.28	3.63	36.94	0.90	0.87
Q704-8	Siliceous dolomitite	4.79	14.55	2.49	2.31	10.80	2.98	0.09	0.08	37.87	0.27	23.52	0.75	10.76	7.91	0.66	0.39
Q704-6		4.64	15.55	1.48	1.14	8.78	3.43	0.06	0.03	43.56	0.10	21.06	0.39	17.26	9.39	0.76	0.40
Q704-1		5.34	15.05	2.10	2.64	13.30	0.57	0.10	0.11	35.36	0.35	24.46	3.33	7.00	6.62	0.72	0.60
Q1403-3	Carbonaceous siltstone	14.30	0.04	0.61	10.30	0.16	<0.01	0.05	0.10	67.50	0.64	5.94		1.11	4.72	0.96	
Q1403-10		17.24	0.11	0.60	9.21	0.38	<0.01	0.05	0.16	61.29	0.86	9.77		0.81	3.56	0.97	
QSG-7	Fine sandstone	14.62	0.13	0.81	10.40	0.73	<0.01	0.07	0.09	70.60	0.60	1.43		1.57	4.83	0.95	
QSG-8		15.31	0.13	1.34	10.60	0.96	<0.01	0.08	0.09	69.35	0.63	1.65		2.48	4.53	0.92	

Sample Q-01, Q-02 and Q-03 from Wang et al., 2022; I-Ore layer I; II-Ore layer II

Table S2 Trace elements

Sample No.	Sample name.	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Hf	Nb	Ba	Pb	Th	U	V/Cr	V/(V+Ni)	Ni/Co	Co/Zn	U/Th	Cu+Co+Ni
QSG-R-1	manganese oxide (I)	26	40	24.9	25.8	5.3	31.1	68.7	1205	209	5.5	8.9	406	10.4	7.42	5.17	0.65	0.50	1.04	0.80	0.70	56.0
QSG-R-2		24	20	25.9	20.5	9.3	25.2	21.2	401	82	2	3.9	184.5	16	5.76	6.36	1.20	0.54	0.79	1.01	1.10	55.7
ZK1601-7		35	30	41.8	28.4	23.4	54.1	38.1	1240	202	4.8	4.7	456	10.2	4.69	5.78	1.17	0.55	0.68	0.77	1.23	93.6
ZK1601-6	Rhodochrosite (I)	25	30	10.2	26.3	11.1	32.3	59	383	86	2.4	6.6	166	7.2	6.06	2.97	0.83	0.49	2.58	0.32	0.49	47.6
QSG-2-2	manganese oxide (II)	22	30	9.7	18.8	21.7	34.4	46.4	3830	61	1.6	5.2	287	26.8	5.98	6.4	0.73	0.54	1.94	0.29	1.07	50.2
Q-1	Rhodochrosite (II)	5.62	33.	5.34	13.2	-	-	48.0	222.5	-	-	0.56	96.6	-	2.23	2.81	0.17	0.30	2.47	-	1.26	
Q-2	Rhodochrosite (II)	4.64	22	6.45	12.5	-	-	31.0	238.4	-	-	0.31	215.6	-	2.32	1.96	0.21	0.27	1.94	-	0.84	
Q-3	Rhodochrosite (II)	2.87	23	4.45	11.2	-	-	21.0	215.1	-	-	0.27	85.6	-	2.34	2.23	0.12	0.20	2.52	-	0.95	
Q806-4	Mn-bearing siliceous rocks (Interval I-II)	15	60	4.1	3.6	2.0	6.0	36.7	45.8	118	3.2	4.6	253	9.0	4.07	1.8	0.25	0.81	0.87	0.28	0.44	9.7
Q806-3		18	90	5.4	3.6	2.3	6.3	45.2	29.5	156	4.2	5.1	310	8.7	4.36	1.4	0.20	0.83	0.67	0.90	0.32	11.3
Q806-3	Siliceous rock (Interval I-II)	19	70	2.5	3.1	3.5	2.2	51.6	26.5	230	5.8	6.1	291	5.6	6.57	2.46	0.27	0.82	1.24	1.25	0.37	9.1
QP-7		10	160	1.8	4.3	3.1	2.2	38.6	15.9	262	6.7	3.2	195	5.1	2.77	0.85	0.06	0.71	2.39	0.90	0.31	9.2
QP-9		10	150	1.6	4.2	2.9	2.4	41.1	19.2	264	6.5	3.2	213	4.7	2.82	0.87	0.07	0.71	2.63	0.80	0.31	8.7
Q704-8	Siliceous dolomitite	34	20	6.2	7.5	4.5	15.0	53.8	61	72	2.1	7.6	199.5	5.2	4.95	1.84	1.7	0.83	1.21	0.41	0.37	18.2
Q704-6		13	10	2.9	2.3	2.1	3.2	21.1	31.9	36	1.0	4.2	73.7	2.4	2.42	0.75	1.3	0.85	0.79	0.97	0.31	7.3
Q704-1		39	30	5.0	5.9	5.4	13.1	58.2	38.5	96	2.5	8.7	255	4.8	6.25	1.14	1.3	0.87	1.18	0.38	0.18	16.3
Q1403-3	Carbonaceous siltstone	65	70	1.7	6.3	16.3	5.3	169.5	285	142	4.2	17.0	850	30.6	15.3	4.29	0.93	0.92	3.71	0.34	0.28	24.3
Q1403-10		81	90	1.6	9.9	18.6	7.1	176.5	314	177	5.1	20.8	902	31.9	19.25	3.23	0.90	0.89	6.19	0.23	0.17	30.1
QSG-7	Fine sandstone	55	50	3.9	14.2	20.1	23.0	173.5	27.6	352	9.6	18.6	390	4.6	19.75	2.45	1.10	0.79	3.64	0.17	0.12	38.2
QSG-8		67	50	5.7	23.4	36.1	34.1	191.1	28.2	333	9.4	19.2	392	4.9	20.9	2.45	1.34	0.82	4.11	0.17	0.12	65.2

I-Ore layer I; II-Ore layer II

Table S3 Rare earth elements

Sample No.	Sample name	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Y/Y*	(Nd/Yb)$_{PAAS}$	La/Ce
QSQ-R-1	Manganese ores	24.50	49.10	5.55	22.40	3.99	0.74	3.94	0.60	3.59	22.70	0.77	2.09	0.31	1.92	0.31	143	0.88	0.97	1.09	0.93	0.50
QSG-R-2		20.00	47.30	4.90	19.84	4.32	0.97	5.06	0.77	4.39	22.50	0.85	2.07	0.29	1.66	0.26	135	0.96	1.10	0.93	0.82	0.42
Q1601-7		25.80	58.20	5.29	18.90	3.59	0.70	3.35	0.51	2.89	15.60	0.58	1.52	0.23	1.41	0.23	139	0.95	1.15	0.96	1.12	0.44
Q1601-6		20.60	46.30	4.75	19.60	3.24	0.58	2.82	0.41	2.40	13.50	0.49	1.34	0.20	1.24	0.20	118	0.90	1.08	0.99	1.18	0.44
QSG-2-2		15.40	34.50	3.75	16.70	2.69	0.52	2.90	0.48	2.65	15.00	0.55	1.49	0.21	1.22	0.18	98	0.87	1.05	0.99	1.00	0.45
Q806-3-4	Mn-bearing siliceous rocks (Interval I-II)	11.10	22.80	2.61	9.90	2.16	0.46	2.19	0.36	2.19	12.30	0.43	1.14	0.17	1.04	0.16	69	0.99	0.98	1.01	0.79	0.49
Q806-3-3		12.50	28.90	3.01	10.90	2.16	0.43	2.00	0.30	1.73	9.90	0.35	0.99	0.14	0.96	0.15	74	0.97	1.09	1.01	0.94	0.43
Q806-3-1	Siliceous rock (Interval I-II)	18.30	39.10	4.40	15.80	3.02	0.51	2.68	0.39	2.48	13.60	0.50	1.35	0.21	1.33	0.22	104	0.84	1.01	0.97	0.99	0.50
QP-7		9.90	22.40	2.63	9.80	1.82	0.32	1.33	0.18	1.08	6.30	0.21	0.62	0.10	0.63	0.11	57	0.97	1.01	1.05	1.29	0.42
QP-9		9.90	22.30	2.63	9.50	1.77	0.32	1.36	0.19	1.03	6.40	0.23	0.65	0.10	0.66	0.12	57	0.97	1.01	1.05	1.20	0.44
Q704-8	Siliceous dolomitite	18.40	37.80	4.30	15.70	2.95	0.51	2.49	0.36	2.17	11.70	0.42	1.15	0.17	1.07	0.16	99	0.89	0.98	0.98	1.22	0.49
Q704-6		7.10	16.10	1.84	7.00	1.53	0.30	1.44	0.21	1.21	6.60	0.23	0.63	0.09	0.55	0.08	45	0.95	1.03	1.00	1.06	0.44
Q704-1		17.60	35.50	3.89	14.20	2.60	0.46	2.15	0.32	2.00	11.40	0.42	1.20	0.18	1.08	0.17	93	0.92	0.99	0.99	1.09	0.50
Q1403-3	Carbonaceous sandstone	60.60	124.50	14.45	52.60	8.65	1.39	5.24	0.72	3.97	24.00	0.84	2.47	0.39	2.55	0.38	303	0.96	0.97	1.05	1.72	0.49
Q1403-10		67.40	127.00	14.80	50.80	7.94	1.35	5.49	0.90	4.62	21.80	0.84	2.44	0.38	2.48	0.38	309	0.96	0.93	0.88	1.70	0.53
QSG-7	Fine sandstone	47.90	94.30	10.40	37.40	6.88	1.16	6.33	1.00	6.38	37.90	1.35	3.79	0.61	3.76	0.62	260	0.83	0.97	1.03	0.83	0.51
QSG-8		48.60	92.80	10.35	36.80	6.88	1.14	6.49	1.02	6.53	38.40	1.39	3.90	0.62	3.88	0.62	259	0.80	0.95	1.02	0.79	0.52

Eu/Eu*= 2 Eu_N / (Sm_N + Gd_N); Ce/Ce*= 2 Ce_N / (La_N + Pr_N); Y/Y* =2Y_N / (Dy_N + Ho_N); I-Ore layer I; II-Ore layer II