文章编号：1009-6248(2012)04-0145-10

新疆黄山东岩体 Hf-Nd 同位素特征及其地质意义

钱壮志[1,2]，张江江[2]，孙涛[1,2]，段俊[2]，姜超[2]，夏明哲[1,2]

（1. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室，陕西 西安 710054；
2. 长安大学地球科学与资源学院，陕西 西安 710054）

摘 要：黄山东镁铁质-超镁铁质岩体位于东天山北部的土墩-黄山-镜儿泉-图拉尔根镁铁-超镁铁质岩带中段，侵位于元古宙变质岩中。主要岩石类型有二辉橄榄岩、角闪橄榄岩、苏长岩、辉长苏长岩、辉长岩、角闪辉长岩和闪长岩，是一个由 3 次侵入形成的复式岩体。黄山东岩体单颗粒锆石的$^{176}Hf/^{177}Hf$值为 0.283 008～0.283 077，平均值为 0.283 038；$^{176}Yb/^{177}Hf$ 值为 0.013 483～0.050 167，平均值为 0.031 085；$^{176}Lu/^{177}Hf$ 值为 0.000 602～0.002 129，平均值为 0.001 338；$\varepsilon Hf_{(t)}$（t=274 Ma）值为 14.20～16.60，平均值为 15.20；$\varepsilon Hf_{(0)}$ 值为 8.30～10.80，平均值为 9.40。$\varepsilon Nd_{(t)}$ 值为 6.6～8.3，初始$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.703 1～0.703 8。锆石单颗粒 Hf 同位素和全岩 Sr-Nd 同位素组成特征表明，岩体的岩浆源区具有亏损型地幔特征，可能与 MORB 有关，岩浆在上升过程中只有少量的（小于 2%）地壳物质的加入。

关键词：Hf 同位素；Sr-Nd 同位素；铜镍矿床；黄山东；东天山
中图分类号：P597 **文献标识码**：A

锆石原位 Lu-Hf 同位素分析已经成为地质研究的重要工具。近 20 年来，锆石的 Lu-Hf 同位素分析已经成功的用于示踪原岩来源和地壳、地幔随时间的演化（Amelin et al.，1999，2000；Bodet et al.，2000；Griffin et al.，2000，2002；徐平等，2004；杨进辉等，2005；郑永飞等，2007；吴福元等，2007）。其原因是锆石具有很强的抗风化和抗干扰能力，锆石中 Hf 含量高，而且 Hf 同位素体系具有很高的稳定性，即使经历多次地质事件后仍能保留其初始 Hf 同位素信息。另外，由于 Hf 在锆石晶格中扩散很慢，不同锆石域的不同 Hf 同位素信息能够长期保留，而不会均一化。所以，锆石 Hf 同位素示踪在地质研究中得到越来越广泛的应用（Amelinet et al.，2000；Harrison et al.，2005；张少兵等，2007）。新疆东天山目前已成为我国乃至全球铜镍岩浆硫化物矿床的重要成矿区带之一，分布有土墩、黄山西、香山、黄山东、葫芦、图拉尔根、白石泉和天宇等铜镍岩浆硫化物矿床（图 1）（王润民等，1987；三金柱等，2003，2010；秦克章等，2002，2007；唐冬梅等，2009；钱壮志等，2009；孙涛等，2010；张照伟等，2012；Qin et al.，2011；Tang et al.，2011；Song et al.，2011）。笔者通过对单颗粒锆石进行原位 Lu-Hf 同位素和全岩 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素分析，结合前人研究成果，探讨黄山东岩体的岩浆源区特征、岩浆演化及其成矿过程。

收稿日期：2012-09-08；**修回日期**：2012-10-08
基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金（CHD2011TD007、CHD2012JC004）、西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室开放基金（CHD2011SY014）和中国地质调查局地质大调查项目（1212011085611）
作者简介：钱壮志（1959-），男，博士，主要从事矿床学与区域成矿的教学与研究。Email：zyxyqzz8@chd.edu.cn

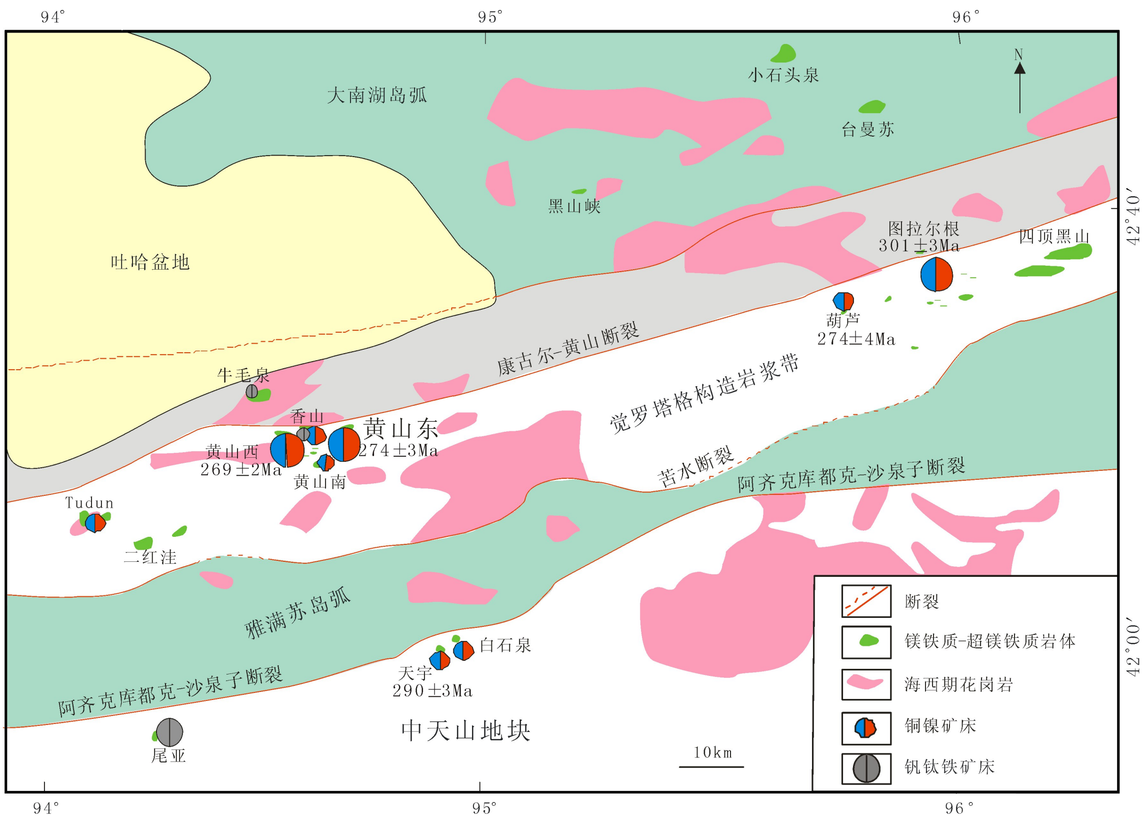

图 1 东天山地区铜镍矿床分布图

（据秦克章等，2007 修改）

Fig. 1 Simplified regional geological map and distribution of magmatic Ni-Cu deposits in East Tianshan, north Xinjiang (Modified from Qin KZ et al., 2007)

锆石 U-Pb 年龄来源：黄山东据韩宝福等，2004；黄山西据 Zhou et al.，2004；葫芦据孙涛等，2010；图拉尔根据三金柱等，2010；天宇据唐冬梅等，2009

1 矿床地质概况

黄山东镁铁-超镁铁质岩体位于东天山北部的土墩-黄山-镜儿泉-图拉尔根镁铁-超镁铁质岩带中段，距离哈密市 160 km，是黄山岩带中规模最大的矿床（Ni＋Cu 大于 50×10^4 t），平均品位较低（Ni 平均为 0.52%；Cu 平均为 0.27%），是具代表性的典型矿床。岩体侵位于元古宙变质岩中，为一复式岩体（图 2）。按侵位顺序可分为 3 个阶段：第一阶段由橄榄辉长岩、辉石角闪辉长岩、辉长闪长岩和闪长岩组成，构成复式岩体的主体，约占岩体总面积的 75%；第二阶段由橄榄辉长苏长岩组成；第三阶段由二辉橄榄岩和辉石角闪橄榄岩组成，为黄山东岩体主要含矿岩性。整个复式岩体出露面积 2.8 km^2，空间上为漏斗状，地表呈菱形透镜体（王润民等，1987；夏照德等，2011）。

岩体的地质年龄研究较为丰富，研究程度相对较高。李华芹（1998）测得岩体全岩 Sm-Nd 年龄为（320±28）Ma，矿石 Sm-Nd 年龄为（314±14）Ma；毛景文等（2002）测定黄山东矿石 Re-Os 等时线年龄为（282±20）Ma；韩宝福等（2004）测得岩体中橄榄苏长岩相锆石 SHRIMP 年龄为（274±3）Ma，表明黄山东岩体形成于早二叠世，应为后碰撞时期的产物。岩体硫化物的 $\delta^{34}S$ 值为－0.8～＋2.8 ‰（王润民等，1987）。硫化物平均 γOs 值为 100（Zhang et al.，2008）。

根据矿体赋存部位、矿石类型、形态和产状，可以将矿体划分为 4 种：一是在超镁铁质岩体的中下部呈悬浮状分布；二是在超镁铁质岩体底部或边部与辉长岩的接触带上；三是在辉长苏长岩体中呈陡倾斜的侧幕状排列；四是在辉长岩体中呈富 Cu

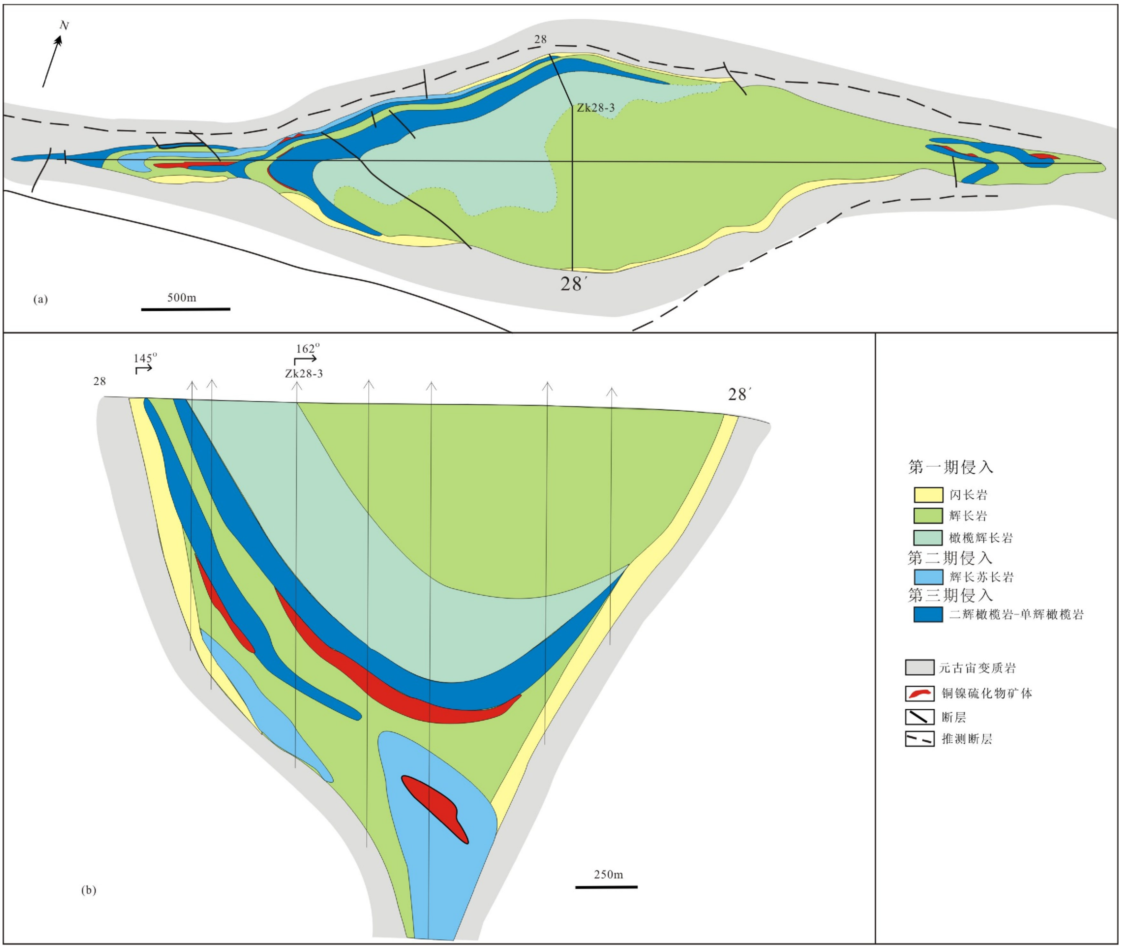

图 2　黄山东岩体地质略图（a）和 28 勘探线剖面图（b）

（据王润民等，1987 略修改）

Fig. 2　Plan view (a) and cross-section of the Huangshandong sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion

(Modified from Wang et al., 1987)

的小矿脉；矿石类型主要有块状矿石、稠密浸染状、稀疏浸染状和星散状矿石。块状矿石与围岩界线清楚，并有围岩蚀变现象，在第二种和第四种矿体中都有分布。稠密浸染状、稀疏浸染状和星散状矿石分布广，在各种矿体中均可见到，它们间的接触界线不明显（王润民等，1987）。

2　岩石学与矿相学

黄山东镁铁-超镁铁质岩体主要岩石类型有二辉橄榄岩、角闪橄榄岩、苏长岩、辉长苏长岩、辉长岩、角闪辉长岩和闪长岩；主要造岩矿物为橄榄石、辉石、斜长石及角闪石和黑云母，常发生有透闪石化、绿泥石化、蛇纹石化、钠黝帘石化、高岭土化及绢云母化等蚀变；常见结构有自形-半自形中-细粒结构、包含结构、包橄结构、反应边结构、辉长结构等一些典型的镁铁-超镁铁质深成岩结构特征（图 3）。

矿石中金属矿物主要有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿（图 3），其次有黄铁矿、钴黄铁矿、富镍黄铁矿、紫硫镍矿、方黄铜矿、三方硫铁镍矿、四方硫铁矿（马基诺矿）、针镍矿、毒砂、白铁矿、斑铜矿、辉铜矿、辉铁镍矿、墨铜矿、铜蓝、铬铁矿、钛铁矿、磁铁矿、金红石、白钛矿、铁镍辉砷钴矿、砷铂矿、碲银矿等；非金属矿物主要有橄榄石、辉石、斜长石、角闪石、蛇纹石、绿泥石、纤

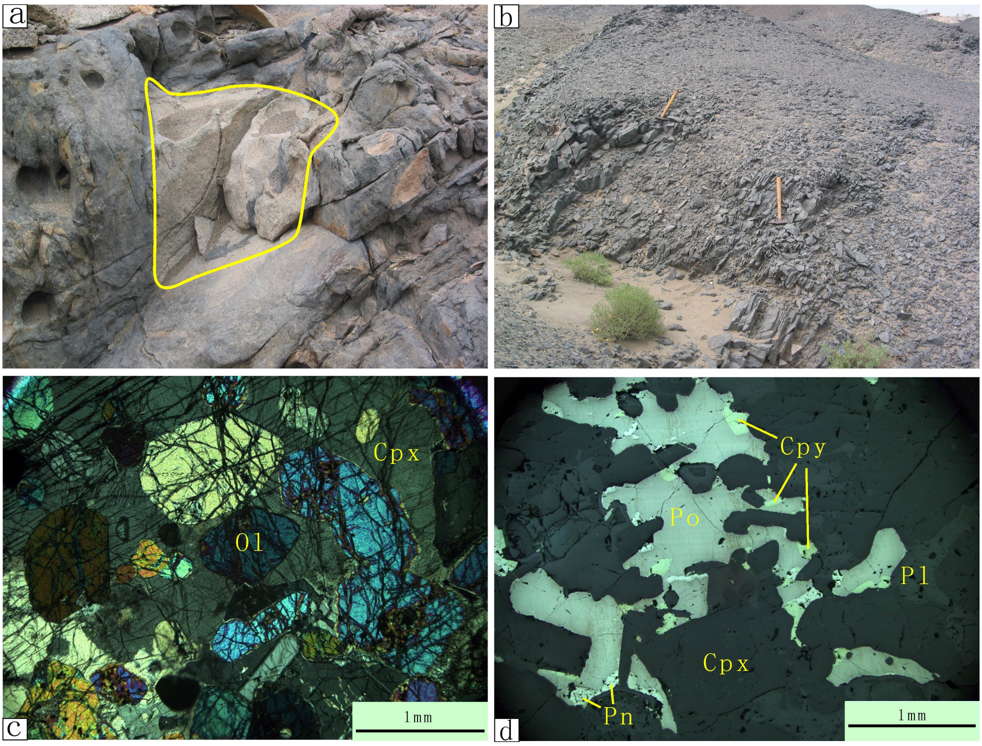

图 3 黄山东侵入岩显微照片

Fig. 3 Field photos and microphotographs of the Huangshandong intrusion

a. 岩体边部围岩捕虏体；b. 岩体边部的剪切变形；c. 橄榄石的碓晶结构；d. 浸染状矿石

闪石（王润民等，1987）。

3 测试方法

分选出无色、自形的单颗粒锆石，在西北大学大陆动力学国家重点实验室利用 MC-ICP-MS 方法进行 Lu-Hf 同位素分析。激光剥蚀以氦气作为剥蚀物质的载气，斑束直径为 40 μm，频率为 10 Hz，激光能量为 90 mJ，每个分析点的气体背景采集时间为 30 s，信号采集时间为 40 s。采用的锆石标准为 91500 和 GJ-1，分析过程中标准锆石的 Hf 同位素组成都分别在 0.28 2307±0.000 031（2σ）和 0.282 015±0.000 019（2σ）范围内。主要测试流程及数据采集分析见 Yuan H L et al.，(2008)。

Rb-Sr、Sm-Nd 同位素测试在中国科学院广州地球化学研究所完成。其中，微量元素采用 ICP-MS 测试，分析精度优于 10%。Sr、Nd 同位素分析仪器为 Micromass Isoprobe 型多接收器等离子体质谱仪，Sr、Nd 的全流程空白分别为 20、10 pg，对样品的贡献可以忽略。测试时 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值标准化到 $^{146}Nd/^{144}Nd$ = 0.721 906 和 $^{145}Nd/^{144}Nd$ = 0.348 440，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值标准化到 $^{86}Sr/^{88}Sr$ = 0.11 940。该仪器测量 La Jolla 标准的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值为 0.511 861±10，测量 SRM～987 标准的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.710 263±10。

4 分析结果

4.1 Hf 同位素

黄山东岩体的 26 颗锆石的 Hf 同位素分析结果见表 1。$^{176}Hf/^{177}Hf$ 值为 0.283 008～0.283 077，平均值为 0.283 038。$^{176}Yb/^{177}Hf$ 值为 0.013 483～0.050 167，平均值为 0.031 085，大部分小于 0.05，表明锆石中几乎没有积累放射性 Hf。$^{176}Lu/^{177}Hf$ 值为 0.000 602～0.002 129，平均值为 0.001 338；$\varepsilon Hf_{(t)}$（t = 274 Ma）值为 14.20～16.60，平均值为 15.20（图 4）；$\varepsilon Hf_{(0)}$ 值为 8.30～10.80，平均值 9.40。

4.2 Sr、Nd 同位素

黄山东岩体全岩 Sr、Nd 同位素分析结果见表 2。

表 1　黄山东岩体单颗粒锆石 Hf 同位素组成特征

Tab. 1　Hf isotopes of zircon from the 274 Ma Huangshandong intrusion

No	$^{176}Yb/^{177}Hf$	2σ	$^{176}Lu/^{177}Hf$	2σ	$^{176}Hf/^{177}Hf$	2σ	$^{176}Hf/^{177}Hfi$	$\varepsilon_{Hf}(t)$
HD01	0.044 042	0.000 236	0.001 799	0.000 009	0.283 051	0.000 013	0.283 042	15.6
HD02	0.031 636	0.000 045	0.001 362	0.000 002	0.283 073	0.000 007	0.283 066	16.4
HD03	0.025 945	0.000 065	0.001 121	0.000 002	0.283 008	0.000 007	0.283 002	14.2
HD04	0.029 814	0.000 304	0.001 248	0.000 012	0.283 033	0.000 007	0.283 027	15.0
HD05	0.031 872	0.000 183	0.001 351	0.000 008	0.283 026	0.000 011	0.283 019	14.8
HD06	0.044 980	0.000 103	0.001 896	0.000 004	0.283 021	0.000 008	0.283 011	14.5
HD07	0.023 698	0.000 114	0.000 995	0.000 004	0.283 038	0.000 008	0.283 033	15.3
HD08	0.031 377	0.000 091	0.001 341	0.000 004	0.283 037	0.000 007	0.283 030	15.2
HD09	0.038 425	0.000 067	0.001 654	0.000 003	0.283 037	0.000 010	0.283 028	15.1
HD10	0.024 254	0.000 040	0.001 050	0.000 002	0.283 014	0.000 012	0.283 008	14.4
HD11	0.019 305	0.000 333	0.000 860	0.000 014	0.283 022	0.000 007	0.283 017	14.7
HD12	0.024 107	0.000 169	0.001 017	0.000 007	0.283 063	0.000 007	0.283 057	16.1
HD13	0.021 797	0.000 035	0.001 004	0.000 002	0.283 028	0.000 010	0.283 023	14.9
HD14	0.050 167	0.000 141	0.002 129	0.000 005	0.283 075	0.000 007	0.283 064	16.4
HD15	0.038 228	0.000 136	0.001 572	0.000 006	0.283 070	0.000 009	0.283 062	16.3
HD16	0.032 124	0.000 234	0.001 391	0.000 010	0.283 024	0.000 008	0.283 017	14.7
HD17	0.025 215	0.000 033	0.001 050	0.000 001	0.283 021	0.000 008	0.283 016	14.6
HD18	0.018 502	0.000 218	0.000 817	0.000 009	0.283 016	0.000 009	0.283 012	14.5
HD19	0.013 483	0.000 078	0.000 602	0.000 003	0.283 016	0.000 007	0.283 013	14.6
HD20	0.031 484	0.000 035	0.001 367	0.000 002	0.283 037	0.000 008	0.283 030	15.2
HD21	0.046 333	0.000 185	0.002 007	0.000 008	0.283 014	0.000 007	0.283 004	14.2
HD22	0.020 573	0.000 023	0.000 970	0.000 001	0.283 033	0.000 010	0.283 028	15.1
HD23	0.035 730	0.000158	0.001570	0.000 007	0.283 066	0.000 012	0.283 058	16.1
HD24	0.030 781	0.000 261	0.001 356	0.000 011	0.283 077	0.000 008	0.283 070	16.6
HD25	0.028 010	0.000 380	0.001 214	0.000 014	0.283 013	0.000 007	0.283 007	14.3
HD26	0.046 331	0.000 079	0.002 042	0.000 003	0.283 064	0.000 012	0.283 054	16.0

表 2　黄山东岩体 Sr-Nd 同位素组成特征

Tab. 2　Sr-Nd isotopic compositions of whole rock samples from the Huangshandong mafi-ultramac intrusion

样　品	岩　性	Sm($\times10^{-6}$)	Nd($\times10^{-6}$)	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	Rb($\times10^{-6}$)	Sr($\times10^{-6}$)	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$
XH04-12	Lherzolite	0.622	2.79	0.512 952	8.29	2.61	153	0.703 326	0.703 326
XH04-13	Lherzolite	0.891	3.33	0.512 961	7.53	3.68	125	0.703 455	0.703 455
XH04-14	Lherzolite	0.759	3.23	0.512 965	8.29	5.47	79.1	0.703 867	0.703 088
HD12/1	Wehrlite	2.04	6.88	0.512 919	7.8	1.13	242.9	0.703 179	0.703 200
HD10/1	Gabbronorite	2.23	9.08	0.512 889	6.6	9.29	540.9	0.703 726	0.703 500
HD11/1	Gabbronorite	3.03	12.5	0.512 889	6.7	15.4	481.7	0.704 145	0.703 800
XH04-1	gabbro	1.37	4.7	0.512 982	7.46	2.65	435	0.703 376	0.703 307
XH04-3	gabbro	1.38	4.56	0.512 987	7.32	2.63	428	0.703 345	0.703 275
XH04-6	gabbro	1.04	3.61	0.512 990	7.66	0.74	426	0.703 415	0.703 415
XH04-8	gabbro	1.34	4.22	0.513 003	7.28	1.47	377	0.703 223	0.703 223

注：t=274 Ma；n. a. =not analyzed. XH 样品来自邓宇峰等，2011。

$\varepsilon Nd_{(t)}$ 值为 6.6～8.3，初始$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.703 1～0.703 8。Sr、Nd 同位素组成特征表明，黄山东岩体低的初始$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值和高的 $\varepsilon Nd_{(t)}$ 值型岩浆源区。

5　讨论

5.1　岩浆源区特征

由于不同性质岩石及其源岩的 Hf 同位素组成存在一定的差别，所以 Hf 同位素为研究岩浆源区

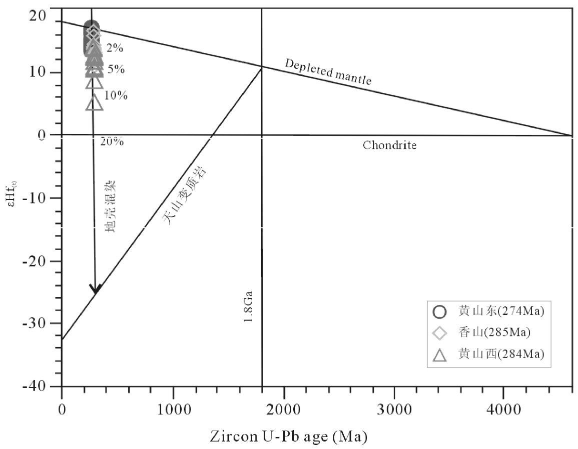

图 4　黄山东岩体 $\varepsilon_{Hf}(t)$-锆石 U – Pb 年龄关系图

Fig. 4　Plot of $\varepsilon_{Hf}(t)$ versus U-Pb age of zircon from the Huangshandong intrusion

（天山变质岩年龄来自 Hu 等，2000；N-型 MORB 的 Hf 含量被用来代表亏损的地幔派生岩浆成分，数据来自 Sun et al.，1989；天山基底 Hf 同位素演化计算用上地壳界限，参数来自 Amelin 等，1999）

以及岩浆作用过程中不同组分的混入提供了重要依据（吴福元等，2007）。黄山东岩体的 Hf 同位素组成特征表明岩体来源于亏损型地幔（表 1，图 4），在 $\varepsilon Hf_{(t)}$-$\varepsilon Nd_{(t)}$ 图中（图 5-a），样品点远离塔里木镁铁质-超镁铁质岩石和玄武岩范围，接近火山岛弧玄武岩，完全落入在大洋中脊玄武岩（MORB）范围内，表明黄山东岩体的岩浆源区可能不同于与塔里木有关的玄武岩和镁铁质-超镁铁质岩石，可能与 MORB 型源区有关；Sr-Nd 同位素组成特征也得到相似的结论（图 5-b）。

5.2　岩浆演化与成矿过程

黄山东岩体是在中亚造山带后碰撞伸展背景下岩石圈地幔拆沉和软流圈地幔上涌、熔融，形成了具有亏损型地幔特征的岩浆，经过深部液态重力分异、硫化物熔离和橄榄石结晶作用之后，在构造-岩浆作用下取同道、占据同一构造空间形成的复式岩体（倪志耀，1992，1993）。岩浆在深部发生过早期硫化物熔离（钱壮志等，2009），其母岩浆为高 Mg 拉斑玄武质岩浆（柴凤梅，2006；钱壮志等 2009），在岩浆上升过程中具有少量的地壳物质的加入，可能小于 2%（图 4、图 6）。岩体 S 同位素特征表明几乎没有地壳 S 的加入（王润民等，1987），硫化物发生熔离的主要因素可能是橄榄石、辉石等矿物的分离结晶和地壳富Si组分的加入

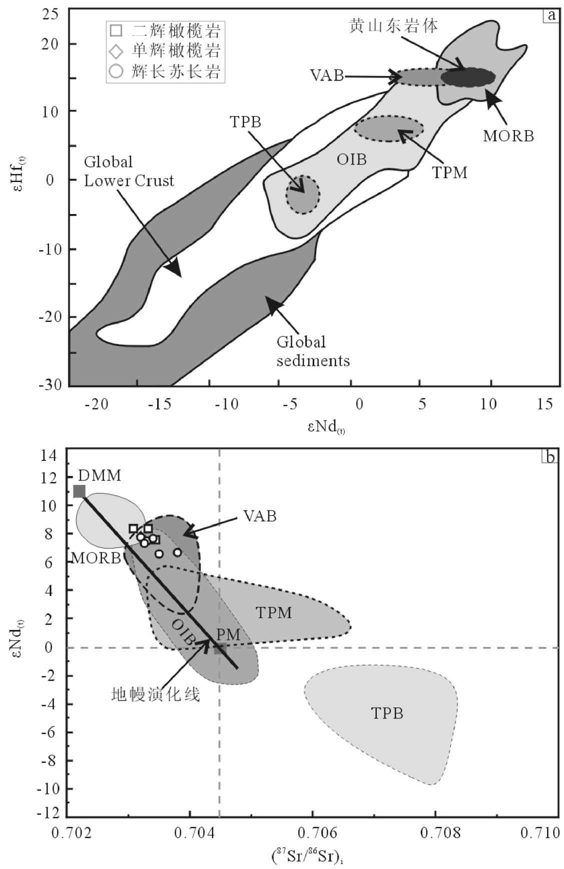

图 5　黄山东岩体 $\varepsilon_{Hf}(t)$-$\varepsilon Nd(t)$ 关系图（Dobosi et al.，2003）(a) 和 $\varepsilon Nd(t)$-$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 关系图 (b)

Fig. 5　Sr-Nd-Hf isotopes of the Huangshandong mafic-ultramafic intrusion

（亏损地幔和上、下地壳数据分别来自 Zindler et al.，1986 和 Rudnick et al.，2003；火山岛弧玄武岩数据来自 http://www.petdb.org；塔里木二叠纪镁铁质-超镁铁质岩石数据来自姜常义等，2004；Zhou et al.，2009；塔里木二叠纪玄武岩数据来自 Zhou et al.，2009；Yuan et al.，2011）

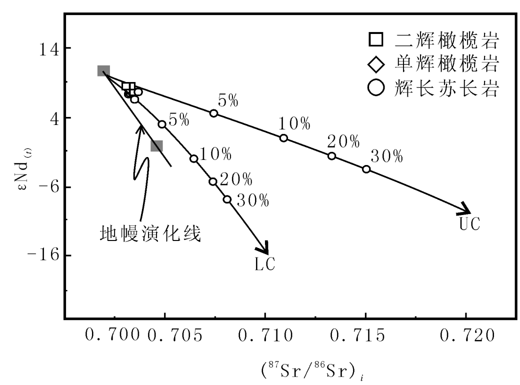

图 6　$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$-$\varepsilon Nd(t)$ 关系图

Fig. 6　The plot of $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ vs. $\varepsilon Nd(t)$

LC. 下地壳；UC. 上地壳

（上、下地壳数据均来自 Rudnick et al.，2003）

（钱壮志等，2009；刘小舟等，2008）。

6　结论

黄山东镁铁质-超镁铁质岩体侵位于元古宙变质岩中，主要岩石类型有二辉橄榄岩、角闪橄榄岩、苏长岩、辉长苏长岩、辉长岩、角闪辉长岩和闪长岩，共有 3 次侵位的复式岩体。岩体的岩浆源区具有亏损型地幔特征，可能与 MORB 有关，岩浆在上升过程中只有少量的（小于 2%）地壳物质的加入。

致谢：本项研究是在汤中立院士指导下完成的，工作过程中得到了新疆有色地勘局 704 队三金柱总工、新疆地矿局六队邓刚总工和新鑫矿业雅克斯铜镍矿谢军辉工程师的大力支持，在此一并致谢。

参考文献（References）：

柴凤梅．新疆北部三个与岩浆型 Ni-Cu 硫化物矿床有关的镁铁-超镁铁质岩的地球化学特征对比研究［D］．中国地质大学，2006.

Chai Fengmei. Comparison on Petrologic Geochemistry of Three Mafic-ultramafic intrusions Associated with Ni-Cu Sulfide Deposits in Northern Xinjiang：Ph. D. thesis［D］. China University of Geosciences，2006（in Chinese）.

邓宇峰，宋谢炎，颉炜，等．新疆北天山黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁岩体的岩石成因：主量元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素证据［J］．地质学报，2011，85（9）：1435-1451.

Deng Yufeng，Song Xieyan，Xie Wei，et al. Petrogenesis of the Huangshandong Ni-Cu sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion，Northern Tianshan，Xinjiang：Evidence from major and trace elements and Sr-Nd isotope［J］. Acta Geologica Sinica，2011，85（9）：1435-1451.

张照伟，李文渊，高永宝，等. 青海化隆基性-超基性岩带铜镍矿成矿条件与找矿潜力［J］．西北地质，2012，45（1）：140-148.

Zhang Zhaowei，Li Wenyuan，Gao Yongbao，et al. Ni-Cu Mineralization Conditions of Hualong Basic-Ultrabasic Rocks Belt in Qinghai Province and Its Prospecting Potentiality［J］. Northwestern Geology，2012，45（1）：140-148.

韩宝福，季建清，宋彪，等．新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义［J］．科学通报，2004，49（22）：2324-2328.

Han Baofu，Ji Jianqing，Song Biao，et al. SHRIMP U-Pb zircon age of t he mafic-ultramafic rocks and geological significance in Kalatongke and Huangshan，Xinjiang［J］. Chinese Science Bulletin，2004，49（22）：2324-2328（in Chinese）.

姜常义，张蓬勃，卢登荣，等．新疆塔里木板块西部瓦鸡里塔歌地区二叠纪超镁铁岩的岩石成因与岩浆源区［J］．岩石学报，2004，20（6）：1433-1444.

Jiang Changyi，Zhang Pengbo，Lu Dengrong，et al. Petrogenesis and magma source of the ultramafic rocks at Wajilitag region，western Tarim Plate in Xinjiang［J］．Acta Petrologica Sinica，2004，20：1433-1444.

李华芹，谢才富，常海亮，等．新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学［M］．北京：地质出版社，1998.

Li Huaqin，Xie Caifu，Chang Hailiang，et al. Study on MetallogeneticChronology on Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang，China［M］. Geological Publishing House，Beijing，1998（in Chinese）.

毛景文，杨建民，屈文俊，等．新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义［J］．矿床地质，2002，21（4）：323-330

Mao Jingwen，Yang Jianmin，Qu Wenjun，et al. Re-Os Dating of Cu-Ni Sulfide Ores from Huangshandong Deposit in Xinjiangand Its Geodynamic Significance［J］. MineralDeposits，2002，21（4）：323-330（in Chinese with English abstract）.

刘小舟，王轩，张江，等. 陕西金堆城斑岩型钼矿床地质地球化学特征［J］．西北地质，2008，41（3）：71-78.

Liu Xiaozhou，Wang Xuan，Zhang Jiang，et al. The geological and geochemical characteristics of the Jinduicheng Mo deposit，Shaanxi［J］．Northwestern Geology，2008，41（3）：71-78.

倪志耀．新疆哈密黄山东镁铁-超镁铁杂岩体成因探讨［J］．西北地质，1992，13（2）：9-16.

Ni Zhiyao. Discussion on the origin of the Huangshandong mafic- ultramafic complex，Hami，Xinjiang［J］. Northwest Geol. 1992，13：9-17（in Chinese with English abstract）.

倪志耀．岩浆深渊分异在新疆黄山东杂岩体成岩成矿中的作用［J］．成都地质学院学报，1993，20（2）：33-39.

Ni Zhiyao. The Role of Deep-Seated Magmatic Differentiation in the Rock-and-ore forming Process of Huanghshandong Mafic-ultramafic Complex [J]. Journal of Chengdu College of Geology，1993，20 (2)：33-39 (in Chinese with English abstract).

钱壮志，孙涛，汤中立，等. 东天山黄山东铜镍矿床铂族元素地球化学特征及其意义[J]. 地质论评，2009，55 (6)：873-884.

Qian Zhaungzhi，SunTao，Tang Zhongli，et al. Platinum group Elements Geochemistry and Its Significances of the Huangshandong Ni-Cu Sulfide Deposit，East Tianshan，China [J]. Geological Review，2009，55 (6)：873-884 (in Chinese with English abstract).

秦克章，方同辉，王书来，等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质，2002，20 (4)：302-308.

Qin Kezhang，Fang Tonghui，Wang Sulai，et al. Plate Tectonics Division and Metallogenic Settings in East Tianshan Mountains，NW-China [J]. Xinjiang Geology，2002，20 (4)：302-308 (in Chinese with English abstract).

秦克章，丁奎首，许英霞，等. 东天山图拉尔根、白石泉铜镍钴矿床钴、镍赋存状态及原岩含矿性研究[J]. 矿床地质，2007，26 (1)：1-14.

Qin Kezhang，Ding Kuishou，Xu Yingxiaet，et al. Ore Potential of Protoliths and Modes of Co-Ni Occurrence in Tulargen and Baishiquan Cu-Ni-Co Deposits，East Tianshan，Xinjiang [J]. Mineral Deposits，2002，26 (1)：1-14 (in Chinese with English abstract).

三金柱，田斌，雷军文，等. 新疆东天山新发现图拉尔根全岩矿化岩浆铜镍矿床[J]. 矿床地质，2003，22 (3)：270.

San Jinzhu，Tian Bin，Lei Junwen，et al. The discovery of magmatic Cu-Ni deposit of Tulargen with whole-rock mineralization at eastern Tianshan，Xinjiang [J]. Mineral Deposits，2003，22 (3)：270 (in Chinese).

三金柱，秦克章，汤中立，等. 东天山图拉尔根大型铜镍矿区两个镁铁-超镁铁岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报，2010，26 (2)：523-532.

San Jinzhu，Qin Kezhang，Tang Zhongli，et al. Precise zircon U-Pb ages of Tulargen large Cu-Ni-ore bearing mafic-ultramafic complex and their geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica，v. 2010，26：(2) 523-532 (in Chinese with English abstract).

夏昭德，姜常义，夏明哲，等. 镁铁质-超镁铁质层状岩体基本特征及岩浆作用[J]. 西北地质，2011，44 (1)：85-94.

Xia Zhaode，Jiang Changyi，Xia Mingzhe，et al. Characteristics and magmatism of mafic-ultramafic layered intrusions [J]. Northwestern Geology，2011，44 (1)：85-94 (in Chinese).

孙涛，钱壮志，汤中立，等. 新疆葫芦铜镍矿床锆石 U-Pb 年代学、铂族元素地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报，2010，26 (11)：3339-3349.

Sun Tao，Qian Zhuangzhi，Tang Zhongli，et al. Zircon U-Pb chronology，platinum group element geochemistry characteristics of Hulu Cu-Ni deposit，East Xinjiang，and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica，2010，26 (11)：3339-3349 (in Chinese with English abstract).

唐冬梅，秦克章，孙赫，等. 天宇铜镍矿床的岩相学、锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征：对东疆镁铁-超镁铁质岩体源区和成因的制约[J]. 岩石学报，2009，25 (4)：817-831.

Tang Dongmei，Qin Kezhng，Sun He，et al. Lithological，chronological and geochemical characteristics of Tianyu Cu-Ni deposit：Constraints on source and genesis of mafic-uitrumafic intrusions in eastern Xinjiang [J]. Acta Petrologica Snica，2009，25 (4)：817-831 (in Chinese with English abstract).

王润民，刘德权，殷定泰. 新疆哈密土墩-黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究[J]. 矿物岩石，1987，7 (1)：178.

Wang Runmin，Liu Dequan，Yin Dingtai. The conditions of controlling metallogeny of Cu-Ni sulfide ore deposits and the orientation of finding ore Hami，Xingjiang，China [J]. Minerals and Rocks，1987，7 (1)：178 (in Chinese).

吴福元，李献华，郑永飞，等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用[J]. 岩石学报，2007，23 (2)：185-220.

Wu Fuyuan，Li Xianhua，Zheng Yongfei，et al. Lu-Hf isotopic systematics and their applications in petrology [J]. Acta Petrologica Sinica，2007，23 (2)：185-220 (in Chinese with English abstract).

徐平，吴福元，谢烈文，等. U-Pb 同位素定年标准锆石的 Hf 同位素[J]. 科学通报，2004，49：1403-1410.

Xu Ping，Wu Fuyuan，Xie Liewen，et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons for U-Pb dating [J]. Chinese Science Bulletin，2004，49：1403-1410 (in Chinese with English abstract).

杨进辉，吴福元，柳小明，等. 北京密云环斑花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及其地质意义[J]. 岩石学报，

2005，21：1633-1644

Yang Jinhui，Wu Fuyuan，Liu Xiaoming，et al. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes and their geological significance of the Miyun rapakivi granites from Beijing，China [J] . Acta Petrologica Sinica，2005，21：1633-1644（in Chinese with English abstract).

张少兵，郑永飞．扬子陆核的生长和再造：锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素研究[J]．岩石学报，2007，23（2)：393-402.

Zhang Shaobing，Zheng Yongfei. Growth and reworking of the Yangtze continental nucleus：evidence from zircon U-Pb ages and Hf isotopes [J] . Acta Petrologica Sinica，2007，23（2)：393-402

郑永飞，陈仁旭，张少兵，等．大别山超高压榴辉岩和花岗片麻岩中锆石 Lu-Hf 同位素研究[J]．岩石学报，2007，23（2)：317-330

Zheng Yongfei，Chen Renxu，Zhang Shaobing，et al. Zircon Lu-Hf isotope study of ultrahigh-pressure eclogite and granitic geniss in the Dabie orogen [J] . Acta Petrologica Sinica，2007，23（2)：317-330（in Chinese with English abstract).

Amelin Y，Lee D C，Halliday A N，et al. Nature of the Earth's earliest crust from hafnium isotopes in single detrital zircons [J] . Nature，199，399：252-255.

Amelin Y，Lee D C，Halliday A N. Early-middle Archean crustal evolution deduced from Lu-Hf and U-Pb isotopic studies of single zircon grains. Geochim. Cosmochim [J] . Acta，2007，64：4205-4225.

Bodet F，Scharer U. Evolution of the SE-Asian continent from U-Pb and Hf isotopes in single grains of zircon and baddeleyite from large rivers. Geochim. Cosmochim [J] . Acta，2000，64：2067-2091.

Dobosi G，Downes H，Embey-Isztin A，et al. Origin of megacrysts and pyroxenite xenoliths from the Pliocene alkali [J] . basalts of the Pannonian Basin（Hungary)：Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen，2003，178：217-237.

Griffin WL，Pearson NJ，Belousova E，The Hf isotope composition of cratonic mantle：LA-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites. Geochim. Cosmochim [J] . Acta，2000，64：133-147.

Griffin W L，Wang X，Jackson S E，et al. Zircon Chemistry and Magma Genesis，SE China：In-situ analysis of Hf isotopes，Tonglu and Pingtan Igneous Complexes [J] . Lithos，2002，61：237-269.

Han Baofu，Ji Jianqing，Song Biao et al. SHRIMP U-Pb zircon age of t he mafic-ultramafic rocks and geological significance in Kalatongke and Huangshan，Xinjiang [J] . Chinese Science Bulletin，2004，49（22)：2324-2328（in Chinese).

Harrison T M，Blichert-Toft J，Muller W，et al. Heterogeneous Hadean Hafnium：evidence of continental crust at 4.4 to 4.5 Ga [J] . Science，2005，310：1947-1950.

Hu A Q，Jahn B，Zhang G X，et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang：Nd isotopic evidence [J] . Part I. Isotopic characterization of basement rocks：Tectonophysics，2000，328：15-51.

Qin KZ，Su BX，Sakyi PA，SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-bearingmafic-ultramaifc intrusions in eastern Tianshan and Beishan in correlation withfiood basalts in Tarim Basin（NW China)：constraints on a ca. 280 Ma mantle plume [J] . American Journal of Science，2011，311：237-260.

Rudnick RL，Gao S. Composition of the continental crust，in Rudnick，R. L.，ed.，Treatise on geochemistry，v. 3：the crust. Elsevier [J] . Amsterdam，2011，1-64.

Song XY，Xie W，Deng YF，et al. Slab break-off and the formation of Permian mafic-ultramafic intrusions in southern margin of Central Asian Orogenic Belt，Xinjiang，NW China [J] . Lithos，2011，127：128-143.

Sun S S，McDonough W F. Chemical and isotopic systematics in ocean basalt：implication for mantle composition and processes，in Saunders，A. D.，and Norry，M. J.，ed.，Magmatism in the Ocean Basins [J] . Geological Society of London Special Publications，1989，42：313-345.

Tang D M，Qin K Z，Li C S，et al. Zircon dating，Hf-Sr-Nd-Os isotopes and PGE geochemistry of the Tianyu sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion in the Central Asian Orogenic Belt，NW China [J] . Lithos，2011，126：84-98.

Yuan F，Zhou TF，Zhang DY，et al. Siderophile and chalcophile metal variations in basalts：Implications for the sulfide saturation history and Ni-Cu-PGE mineralization potential of the Tarim continental：Ore Geol. Rev.，doi：10.1016/j. oregeorev. 2011-04-003.

Yuan H L，Gao S，Dai M N et al. Simultaneous determinations of U-Pb age，Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser ablation quadrupole and multiple collectors ICP-MS [J]. Chem. Geol. 2008, 247: 100-117.

Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Du Andao, et al. Re-Os dating of two Cu-Ni sulfide deposits in northern Xinjiang, NW China and its geological significance [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 32: 204-217 (in Chinese with English abstract).

Zhou M F, Lesher C M, Yang Z X. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu- (PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt [J]. Chemical Geology, 2004, 209: 233-257.

Zhou M F, Zhao J H, Jiang C Y, et al. OIB-like, heterogeneous mantle sources of Permian basaltic magmatism in the western TarimBasin, NWChina: implications for a possible Permian large igneous province [L]. Lithos, 2009, 113: 583-594.

Zindler A, Hart S R. Chemical geodynamics. Annu Rev Earth Planet [J]. Sci. Lett., 1986, 14: 493-571.

Hf-Nd Isotoptic Characteristics of the Huangshandong Mafic-ultramafic Intrusion, Eastern Xinjiang, and Their Geological Implications

QIAN Zhuang-zhi[1,2], ZHANG Jiang-jiang[2], SONG Tao[1,2], DUAN Jun[2], JIANG Chao, XIA Ming-zhe[1,2]

(1. *Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an* 710054, *China*; 2. *College of Earth Science and Recourses, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: The Huangshandong mafic-ultramafic intrusion, is located at the centre segment of Tudun-Huangshan-Jing`erquan- Tulaergen mafic-ultramafic rock belt, the northern of the East Tianshan, controlled by the Kangurtag- Huangshan ductile sheer zone, and it is a multiple intrusion formed by at least three pulses of magmas with different compositions, and composes of lherzolite, olivine gabbro, gabbro norite, and gabbro diorite. Sulfide mineralization is associated with the second (gabbronorite) and third (plagioclase-bearing lherzolite-wehrlite) intrusive phases that are volumetrically minor in the intrusion. The $^{176}Hf/^{177}Hf$ ratios of the Huangshandong zircons range from 0.283 037 to 0.283 165 with an average of 0.283 098; $^{176}Yb/^{177}Hf$ ratios range from 0.013 590 to 0.046 774 with an average of 0.030 491, that these ratios are all less than 0.05 indicates that little radiogenic Hf has accumulated in these zircons; $^{176}Lu/^{177}Hf$ ratios range from 0.000 700 to 0.002 094 and average 0.001 318; the $\varepsilon Hf_{(t)}$ ($t=274$ Ma) values range from 15.38 to 19.91 and average 17.57; $\varepsilon Hf_{(O)}$ values range from 9.50 to 14.30 with an average of 11.78. The calculated $\varepsilon Nd_{(t)}$ values and initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ values ($t=274$ Ma) of the Huangshandong intrusive rocks between 6.6 and 8.3, and between 0.703 1 and 0.703 8, respectively. The Hf and Sr-Nd isotopic compositions of the Huangshandong intrusion are significantly different from that of the Tarim basalts and coeval mafic-ultramafic dykes in the Tarim basin, similarly with the volcanic arc basalts and consistent with the mid-ocean basalts (MORB). The results of mixing calculations using Sr-Nd isotopes show that crustal contamination is $<2\%$ in the Huangshandong parental magmas.

Key words: Hf isotope; Sr-Nd isotope; Ni-Cu deposit; Huangshandong; east Tianshan