

广东连平大顶铁矿区石背岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义*

林小明¹, 李宏卫¹, 黄建桦¹, 娄峰²

(1. 广东省地质调查院, 广东 广州 510080;

2. 中山大学地球科学与地质工程学院, 广东 广州 510275)

摘要: 广东连平大顶铁矿被誉为华南第一大铁矿床, 为华南地区最为典型的矽卡岩型矿床。对大顶铁矿区与成矿作用有关的石背岩体粗粒斑状黑云母花岗岩和中粒斑状黑云母花岗岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 获得的同位素年龄分别为 (174.3 ± 3.6) Ma (MSWD = 1.6) 和 (176.9 ± 4.3) Ma (MSWD = 2.6), 表明石背岩体侵位时代为早侏罗世晚期-中侏罗世早期, 是燕山第一幕岩浆活动之产物。石背岩体形成于早中生代古太平洋板块向欧亚板块俯冲过程中的挤压构造背景, 其物源主要来自于地壳, 为壳内物质熔融-岩浆固结而成, 与佛冈岩体相似, 均为陆壳改造型(S-型)花岗岩。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 地质意义; 大顶铁矿; 石背岩体

中图分类号: P581 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2016) 01-0131-06

LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Shibei pluton at Dading iron mine area in Lianping, Guangdong and its geological significance

LIN Xiaoming¹, LI Hongwei¹, HUANG Jianhua¹, LOU Feng²

(1. Guangdong Geological Survey, Guangzhou 510080, China;

2. School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Dading iron mine in Lianping, Guangdong province is well known as the largest iron ore deposit, and is also the most typical skarn type deposit in South China. The LA-ICP-MS zircon U-Pb age of coarse-grain porphyritic biotite granite and medium-grain porphyritic biotite granite from Dading pluton, closely related to mineralization in Dading mining area, are (174.3 ± 3.6) Ma (MSWD = 1.6) and (176.9 ± 4.3) Ma (MSWD = 2.6), respectively, and it shows the emplacement age of Shibei pluton belonged to the early Jurassic-middle Jurassic, and it was the product of the first magma activity of yanshanian period. The Shibei pluton was formed in extrusion tectonic setting, in the process of subduction of the Pacific plate under Eurasian plate in the early Mesozoic. Its source mainly from crust, formed by crustal material melting and magma consolidation, similar to the Fogang pluton, is crustal transformation type (S-type) granite.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; geological significance; Dading iron mine; Shibei pluton

大顶铁矿被誉为华南第一大铁矿, 为华南地区最为典型的矽卡岩型矿床^[1]。储量高达 1.6 亿 t, 是国内罕见的量大质好、易采易选的露天富铁矿

区。铁矿石年产量 200 万 t 以上, 同时副产锡、锌、钨等金属。区内的石背花岗岩体又称大顶岩体^[2], 与本区铁多金属矿床成矿作用关系密

* 收稿日期: 2015-02-09

基金项目: 国土资源部中国地质调查局公益性行业基础地质调查专项资金资助项目 (1212011220047, 12120113063100, 1212010511106)

作者简介: 林小明 (1975 年生), 男; 研究方向: 花岗岩与成矿; E-mail: wjnlxm@126.com

切^[1-3]。然而，有关大顶铁多金属矿床的成矿时代以及成矿有关的岩浆岩成岩时代尚缺乏可靠的年代学数据。据中国科学院贵阳地化所发表的资料，石背岩体中黑云母 K-Ar 同位素年龄为 165 Ma，属中侏罗世燕山期第二幕岩浆活动产物。其后，中国地质科学院对中粗粒斑状黑云母花岗岩进行 Rb-Sr 法测定，其年龄为 225 ~ 229 Ma，桂林冶金地质研究所获得的黑云母钾—氩年龄为 201 ~ 269 Ma，均为印支期^[2]。目前，多采用广东省地质局的划分建议，石背花岗岩厘定为燕山期第三期（ γ_5^{2-3} ）岩浆岩。

野外调查表明，石背花岗岩与围岩晚三叠世大顶群（T₃d）呈明显的侵入接触，且在矿区内蕉园段（T₃dj）第 5、6 层内发现中晚三叠世的标准化石^[3]，故岩体的形成时代必然晚于印支期。因此，为获得精确的成岩同位素年龄，作者对石背岩体主体岩性粗粒斑状黑云母花岗岩和中粒斑状黑云母花岗岩分别取样进行定年。并在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学基础上，探讨石背岩体的成岩地质意义。

1 区域地质概况

大顶铁矿处于南岭 EW 向构造—岩浆岩带之佛冈复式岩体东端，东以 NE 向河源深大断裂为界与中国东南沿海中生代火山岩带毗邻，属于华南褶皱系东南部的闽南、粤东铁矿带内^[1]。矿区中心为石背穹窿构造，穹窿构造以石背花岗岩体为中心，形成轴线为 N66°-75°E 的背斜，背斜长约 20 ~ 22 km，宽约 12 ~ 16 km^[2,4]。穹窿中心部位的周边形

成一系列张性断裂，铁多金属矿床主要产于岩体外接触带张性断裂构造中。

石背岩体呈近圆状，出露面积约 26 km²。南半部产状较缓，东南缘为厚度不大的似层状“岩舌”，沿地层贯入，北部边缘较陡，局部有超覆现象。岩体具有明显的岩相分带：中心相为粗粒斑状黑云母花岗岩，中间相为中粒斑状黑云母花岗岩，边缘相为细粒少斑状黑云母花岗岩。岩体主体岩性为粗粒斑状黑云母花岗岩和中粒斑状黑云母花岗岩。与岩体相接触的围岩地层为晚三叠世大顶群（T₃d），受岩浆作用影响，在接触带附近产生不同程度的角岩化和矽卡岩化。

矿区铁多金属矿床（点）围绕石背岩体呈环状产出，其中大顶铁矿与深坑铁矿为大型矿床。矿床以铁矿（磁铁矿）为主，锡矿化也较普遍，常见有闪锌矿、辉钼矿、黄铜矿细脉穿插于铁矿体中。矿床类型大致可分为锡石磁铁矿型、多金属磁铁矿型以及 W/Sn 石英脉型 3 种类型：① 锡石磁铁矿型：为区内主要矿床类型，见于大顶、茅岭、桂林等地段，矿化产于外接触带，沿接触带顺层产出，似层状、透镜状，矿物组合以磁铁矿为主，少量锡石、赤铁矿、褐铁矿；② 多金属磁铁矿型：见于大席矿点，矿体产于接触带外带，沿接触带呈层状、透镜状产出，金属矿物有磁铁矿、褐铁矿、辉钼矿、闪锌矿等；③ W/Sn 石英脉型：见于岩体外围白沙楼矿点，含 W/Sn 石英脉在地表呈密集细脉带分布。金属矿物有黑钨矿、白钨矿、锡石、辉钼矿等^[2,4]。

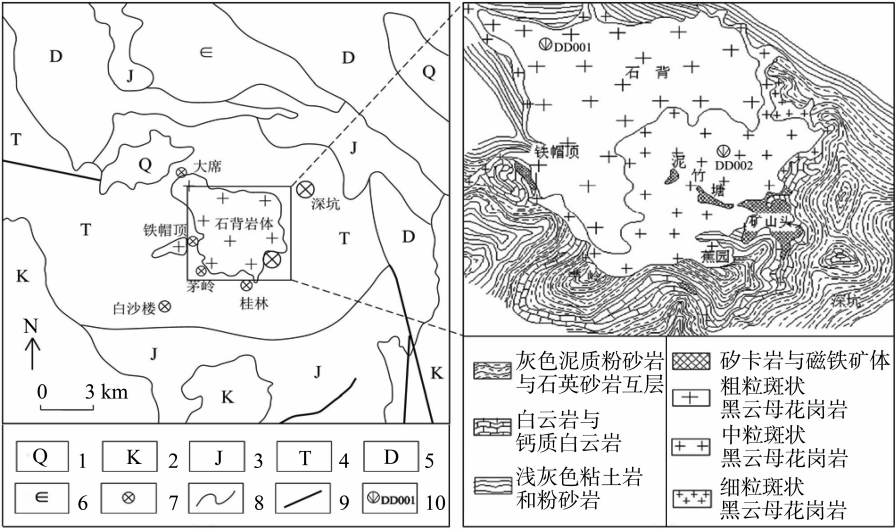


图 1 广东连平大顶铁矿区地质简图

Fig. 1 Geological map of Dading iron area in Lianping, Guangdong province

1 - 第四系；2 - 白垩系；3 - 侏罗系；4 - 三叠系；5 - 泥盆系；6 - 寒武系；7 - 矿床（点）；8 - 地质界线；9 - 断层；10 - 采样位置及编号

2 样品及分析方法

对石背岩体主体岩性粗粒斑状黑云母花岗岩和中粒斑状黑云母花岗岩分别采样，所采集的样品相对较新鲜，样品编号为 DD001（GPS：N24°08′3.7″；E114°33′18.3″）和 DD002（GPS：N24°07′37″；E114°36′33.6″）。

锆石单矿物分选在河北省区域地质矿产调查研究所进行。锆石制靶、透反射和阴极发光（CL）照相在北京锆年领航科技有限公司完成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年在合肥工业大学资源与环境工程学院开展，由 ICP-MS 和激光剥蚀系统联机完成。ICP-MS 为美国 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a，激光剥蚀系统为美国生产的 GeoLasPro。样品激光熔样光斑大小选择 32 μm。数据处理采用 ICPMSDataCal 软件^[5-7]。U-Pb 同位素定年采用标准锆石 91500 作外标进行同位素分馏校正。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等^[8]。采用标准锆石 Plesovice 作为监控样，该锆石的 TIMS 测定²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为（337.13 ± 0.37）Ma（2σ）^[9]。样品 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ ver3^[10]完成。使用 ComPbCorr#3.18 程序^[11]进行普通 Pb 校正。

粗粒斑状黑云母花岗岩（DD001）和中粒斑状黑云母花岗岩（DD002）中的锆石除个别为浑圆状外，多为自形长柱状，晶形较好，呈浅黄、浅玫瑰色或无色，聚形由柱面（110）（100）与锥面（111）（131）组成，锆石颗粒长轴方向大小为 100~300 μm，长宽比在 1~4 之间。

3 锆石 U-Pb 测年结果

大顶铁多金属矿区石背岩体花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果分别见表 1、表 2。

所分选的锆石韵律环带发育（图 2），测定的锆石 Th/U 比值较大（集中在 0.2 和 0.52 之间），具有岩浆锆石的特征。因此，用于同位素测年的锆石为岩浆结晶过程中所形成的锆石，故主群锆石 U-Pb 年龄即代表岩浆的侵位年龄。

对样品 DD001 选取了 20 颗锆石进行 U-Pb 同位素组成分析，共 20 个分析点。其中 6 个分析点（点 3，7，8，10，15，19）谐和度 < 90%，在计算年龄时被剔除，其余 14 个点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄在 166~185Ma 之间，用 Isoplot 软件求得加权平均年龄为（174.3 ± 3.6）Ma（MSWD = 1.6），该年龄代表大顶铁矿区粗粒斑状黑云母花岗岩的结晶年龄。

表 1 石背岩体粗粒斑状黑云母花岗岩锆石 LA-ICP-MS 分析结果¹⁾

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb results of coarse-grain porphyritic biotite granite from Shibei pluton

序号	$w/(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{Th})$	$w(^{207}\text{Pb})$	$w(^{206}\text{Pb})$	$w(^{208}\text{Pb})$	$^{207}\text{Pb} - ^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb} - ^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb} - ^{232}\text{Th}$	谐和度
	Th	U	$w(\text{U})$	$w(^{235}\text{U})$	$w(^{238}\text{U})$	$w(^{232}\text{Th})$	Age/Ma	Age/Ma	Age/Ma	%
DD001-01	447	131.9	0.34	0.216 1 (0.008 6)	0.028 3 (0.000 8)	0.009 0 (0.000 3)	199 (7.2)	180 (4.8)	181 (6.7)	90
DD001-01	447	1 319	0.34	0.216 1 (0.008 6)	0.028 3 (0.000 8)	0.009 0 (0.000 3)	199 (7.2)	180 (4.8)	181 (6.7)	90
DD001-02	173	403	0.43	0.208 0 (0.010 9)	0.027 7 (0.000 8)	0.008 4 (0.000 3)	192 (9.2)	176 (4.9)	168 (6.6)	91
DD001-03	426	1 077	0.40	0.225 5 (0.010 1)	0.028 4 (0.000 8)	0.008 8 (0.000 3)	206 (8.3)	181 (5.0)	176 (6.6)	86
DD001-04	353	1 210	0.29	0.222 9 (0.011 2)	0.029 2 (0.000 9)	0.009 5 (0.000 4)	204 (9.3)	185 (5.4)	191 (8.5)	90
DD001-05	530	1 542	0.34	0.219 6 (0.010 4)	0.028 7 (0.000 8)	0.009 1 (0.000 4)	202 (8.6)	182 (5.2)	183 (7.4)	90
DD001-06	374	927	0.40	0.215 9 (0.010 1)	0.028 5 (0.000 8)	0.008 3 (0.000 3)	199 (8.5)	181 (5.1)	167 (6.6)	90
DD001-07	1 902	4 678	0.41	0.170 2 (0.007 6)	0.018 5 (0.000 6)	0.009 4 (0.000 4)	160 (6.6)	118 (3.7)	190 (7.1)	69
DD001-08	300	804	0.37	0.227 0 (0.010 3)	0.027 6 (0.000 8)	0.008 3 (0.000 3)	208 (8.5)	176 (4.8)	167 (6.5)	83
DD001-09	691	1 663	0.42	0.194 5 (0.008 3)	0.026 6 (0.000 7)	0.006 3 (0.000 2)	180 (7.1)	169 (4.7)	127 (5.0)	93
DD001-10	719	1 641	0.44	0.426 7 (0.021 6)	0.030 3 (0.000 9)	0.012 6 (0.000 6)	361 (15.3)	193 (5.6)	252 (11.7)	39
DD001-11	243	466	0.52	0.1 87 6 (0.009 7)	0.026 5 (0.000 8)	0.007 3 (0.000 3)	175 (8.3)	169 (4.8)	147 (6.4)	96
DD001-12	1 144	2 281	0.50	0.175 5 (0.008 4)	0.026 0 (0.000 7)	0.006 2 (0.000 3)	164 (7.2)	166 (4.7)	124 (5.4)	99
DD001-13	813	5 587	0.15	0.200 2 (0.007 8)	0.027 6 (0.000 8)	0.008 3 (0.000 3)	185 (6.6)	176 (4.8)	168 (6.4)	94
DD001-14	482	1 312	0.37	0.204 8 (0.008 8)	0.027 0 (0.000 7)	0.007 8 (0.000 3)	189 (7.4)	172 (4.7)	156 (5.9)	90
DD001-15	963	2 153	0.45	0.214 2 (0.010 3)	0.027 7 (0.000 8)	0.004 8 (0.000 2)	197 (8.6)	176 (4.9)	97 (4.3)	88
DD001-16	652	1 324	0.49	0.197 5 (0.009 3)	0.026 1 (0.000 7)	0.005 5 (0.000 2)	183 (7.9)	166 (4.7)	112 (4.6)	90
DD001-17	422	1 244	0.34	0.204 1 (0.009 5)	0.027 5 (0.000 8)	0.007 6 (0.000 3)	189 (8.0)	175 (4.8)	153 (5.8)	92
DD001-18	884	2 290	0.39	0.196 8 (0.008 2)	0.026 8 (0.000 7)	0.007 8 (0.000 3)	182 (6.9)	170 (4.6)	157 (5.7)	93
DD001-19	935	4 612	0.20	0.246 6 (0.012 1)	0.029 2 (0.000 8)	0.010 5 (0.000 5)	224 (9.8)	186 (5.1)	211 (10.6)	81
DD001-20	1 079	2 675	0.40	0.202 0 (0.008 7)	0.028 2 (0.000 8)	0.007 9 (0.000 3)	187 (7.4)	179 (5.1)	159 (6.4)	95

1) 括号里的数字为 1σ 值

表 2 石背岩体中粒斑状黑云母花岗岩锆石 LA-ICP-MS 分析结果¹⁾

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb results of middle-grain porphyritic biotite granite from Shibei pluton

序号	$w/(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$		$w(\text{Th})$	$w(^{207}\text{Pb})$	$w(^{206}\text{Pb})$	$w(^{208}\text{Pb})$	$^{207}\text{Pb}-^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}-^{232}\text{Th}$	谐和度 %
	Th	U	$w(\text{U})$	$w(^{235}\text{U})$	$w(^{238}\text{U})$	$w(^{232}\text{Th})$	Age/Ma	Age/Ma	Age/Ma	
DD002-01	447	1 315	0.34	0.215 1(0.011 2)	0.030 4(0.000 9)	0.009 7(0.000 4)	198(9.3)	193(5.6)	195(8.0)	97
DD002-02	112	309	0.36	0.187 9(0.012 0)	0.027 6(0.000 9)	0.008 5(0.000 5)	175(10.2)	175(5.4)	170(9.9)	99
DD002-03	345	1 215	0.28	0.207 9(0.011 1)	0.029 9(0.000 9)	0.009 6(0.000 4)	192(9.3)	190(5.4)	193(8.5)	99
DD002-04	1 027	3 123	0.33	0.204 1(0.010 2)	0.029 1(0.000 8)	0.009 2(0.000 4)	189(8.6)	185(5.2)	186(7.9)	98
DD002-05	605	1 904	0.32	0.200 9(0.011 8)	0.029 7(0.000 9)	0.008 9(0.000 4)	186(9.9)	189(5.4)	180(8.7)	98
DD002-06	845	3 476	0.24	0.207 9(0.010 1)	0.027 9(0.000 8)	0.007 8(0.000 3)	192(8.5)	178(4.9)	157(6.8)	92
DD002-07	377	1 052	0.36	0.196 2(0.009 2)	0.026 3(0.000 7)	0.008 0(0.000 3)	182(7.8)	167(4.6)	161(6.7)	91
DD002-08	581	2 074	0.28	0.184 1(0.007 9)	0.025 4(0.000 7)	0.008 0(0.000 3)	172(6.8)	162(4.5)	161(6.4)	94
DD002-09	417	856	0.49	0.187 1(0.008 7)	0.027 5(0.000 8)	0.008 1(0.000 3)	174(7.4)	175(4.8)	162(6.3)	99
DD002-10	272	591	0.46	0.194 9(0.009 2)	0.027 1(0.000 8)	0.008 1(0.000 3)	181(7.8)	173(4.9)	162(6.5)	95
DD002-11	890	2 185	0.41	0.226 4(0.009 3)	0.028 2(0.000 8)	0.009 8(0.000 4)	207(7.7)	179(4.9)	198(7.3)	85
DD002-12	130	313	0.42	0.199 5(0.010 8)	0.028 1(0.000 8)	0.008 5(0.000 4)	185(9.1)	179(5.0)	170(7.2)	96
DD002-13	562	1 371	0.41	0.198 5(0.008 4)	0.027 4(0.000 8)	0.008 9(0.000 3)	184(7.1)	174(4.8)	179(6.8)	94
DD002-14	330	745	0.44	0.203 8(0.009 7)	0.027 7(0.000 8)	0.009 2(0.000 4)	188(8.2)	176(4.9)	186(7.6)	93
DD002-15	590	1 410	0.42	0.276 1(0.013 6)	0.030 9(0.000 9)	0.012 1(0.000 5)	248(10.8)	196(5.7)	243(10.7)	76
DD002-16	148	290	0.51	0.207 3(0.011 3)	0.028 2(0.000 8)	0.009 3(0.000 4)	191(9.5)	180(5.1)	187(8.2)	93
DD002-17	518	1 561	0.33	0.200 8(0.008 6)	0.027 9(0.000 8)	0.008 8(0.000 3)	186(7.3)	177(4.9)	176(6.9)	95
DD002-18	198	449	0.44	0.244 4(0.011 8)	0.029 9(0.000 9)	0.010 4(0.000 4)	222(9.6)	190(5.4)	210(8.5)	84
DD002-19	137	1 235	0.11	1.686 4(0.066 5)	0.161 4(0.004 5)	0.049 2(0.001 8)	1 003(25)	965(24.7)	970(35.0)	96
DD002-20	233	475	0.49	0.184 4(0.009 1)	0.027 1(0.000 8)	0.007 9(0.000 3)	172(7.8)	172(4.8)	159(6.4)	99

1) 括号里的数字为 1σ 值

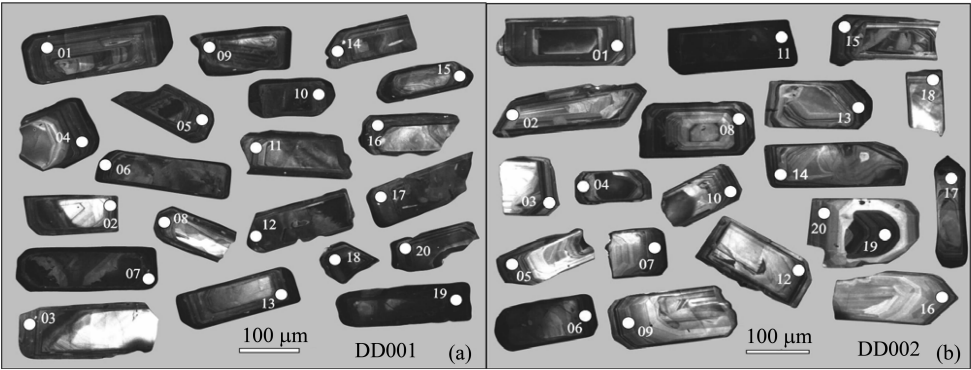


图 2 石背岩体锆石 CL 图像

(a) 来自粗粒斑状黑云母花岗岩；(b) 来自中粒斑状黑云母花岗岩

Fig. 2 CL images for zircons from Shibei coarse-grain porphyritic biotite granite (a) and medium-grain porphyritic biotite granite (b)

对样品 DD002 选取了 19 颗锆石进行 U-Pb 同位素组成分析，共 20 个分析点。其中 3 个分析点（点 11，15，18）谐和度 < 90%，在计算年龄时被剔除。分析点 19 打在锆石核部，为岩浆结晶时捕获的早世代锆石，锆石岩浆震荡环带清晰，分析点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 965 Ma，表明研究区很可能存在晋宁期岩浆事件。分析点 19 不代表主群锆石年龄而应被剔除。其余 16 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 162 ~ 193 Ma 之间，用 Isoplot 软件求得加权平均年龄为 $(176.9 \pm 4.3) \text{ Ma}$ (MSWD = 2.6)，该年龄代表石背岩体中粒斑状黑云母花岗岩的结晶年龄。

上述分析数据表明石背岩体粗粒斑状黑云母花岗岩与中粒斑状黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄在误差范围内基本一致，说明本次测试数据真实可靠。同位素年龄显示二者为同期岩浆活动产物，前者为中心相，后者为中间相或过渡相，这与野外地质调查成果相一致。我们获得的石背岩体花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 174.3 ~ 176.9 Ma，表明成岩时代为早侏罗世晚期 - 中侏罗世早期。因岩浆活动与固结成岩存在一定的年龄差，故大顶铁矿区石背花岗岩体应为早侏罗世岩浆活动的产物。

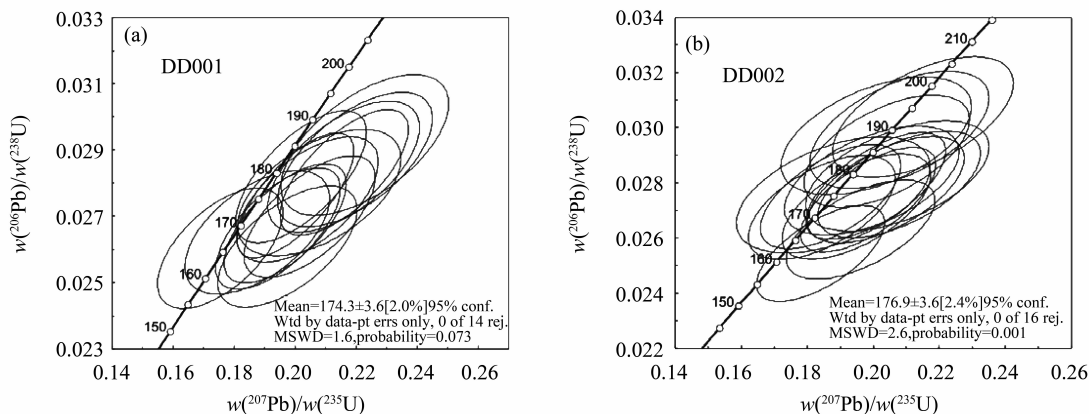


图 3 石背岩体锆石年龄谐和图

(a) 来自粗粒斑状黑云母花岗岩；(b) 来自中粒斑状黑云母花岗岩

Fig. 3 Concordia plot showing the zircon U-Pb analyses of the Shibei coarse-grain porphyritic biotite granite (a) and medium-grain porphyritic biotite granite (b)

4 讨 论

石背岩体位于佛冈复式岩体北东侧，重力资料揭示二者在深部连为一体^[12]。前人资料^[13-14]表明两岩体主体岩性中粗粒黑云母花岗岩均为弱过铝质花岗岩，且属高钾钙碱类岩石类型。在微量元素蛛丝网图上，花岗岩 Nb、Ta 较相邻的 Th、Ce 显示明显的亏损。这与华南改造型（S-型）花岗岩的地球化学特征十分相似，表明其成岩物源来自地壳。本次获得的粗粒斑状黑云母花岗岩与中粒斑状黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 (174.3 ± 3.6) 和 (176.9 ± 4.3) Ma，取其平均值 175.6 Ma 为大顶铁多金属矿区石背岩体成岩同位素年龄。该年龄与佛冈复式岩体边部零星出露的燕山早期花岗岩同位素年龄相当。南岭地区最早的燕山早期花岗岩是赣南的柯树背岩体（SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (189 ± 3) Ma^[15]）和湖南沅山巷子口岩体（LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (187 ± 4) Ma^[16]）。

据凌洪飞等^[14]研究，佛冈岩体（包括石背岩体）花岗岩 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.709~0.712，均大于 0.706，表明成岩物质来自地壳，即陆壳改造型（S 型）花岗岩。然而，其所采用的岩体同位素年龄较陈旧，本文用最新的同位素年龄数据代替之，样品编号 FG-1（佛冈）、FG-10（佛冈）和 SB-1（石背）的成岩同位素年龄分别为 156.4、167.3 和 175.6 Ma，获得的 $\varepsilon\text{Nd}(t)$ 值分别为 -10.98、-8.81 和 -4.50，两阶段模式年龄 1.84、1.67 和 1.33 Ga。在 $\varepsilon\text{Nd}(t)-t$ 图上，佛冈岩体

样品投点位于南岭地区前寒武纪地壳演化域内，而 SB-1 投点位于南岭地区前寒武纪陆壳演化域之上。此外，石背岩体过铝质花岗岩 Nd 模式年龄为 1.33 Ga，明显区别于佛冈岩体弱过铝质花岗岩（ $T_{2\text{DM}} = 1.76$ Ga）。相反，与其东部大埔岩体较相似（ $T_{2\text{DM}} = 1.34$ Ga； $\varepsilon\text{Nd}(t) = -4.9$ ），二者均位于东南沿海 Nd 模式年龄低值带^[13,17-18]。

中国东南沿海燕山期岩浆活动为西太平洋构造-岩浆旋回的一部分。早中生代（~200 Ma）太平洋板块向亚洲板块发生俯冲，导致地壳增温，壳内物质熔融形成岩浆，地壳受压缩而形成一系列 NE 向凹陷盆地^[19-20]。于晚侏罗世（~140 Ma），岩浆活动强度和规模空前之大。而后，俯冲的太平洋板块（片）发生后撤，岩石圈伸展，地壳系统内能降低，岩浆活动减弱，地壳受拉张形成众多 NE 向断陷盆地^[19-20]。因此，石背岩体（175.6 Ma）的形成应处于岩石圈挤压构造应力背景，其成因很可能与板块俯冲、地壳增温、壳内物质熔融有关。亦有学者认为燕山早期花岗岩多是岩浆侵位于伸展构造环境下的产物^[14,21-22]，目前该区域未见同时期的典型的伸展构造环境中形成的碱性岩-正长岩-花岗岩组合，石背岩体明显有别于邻区的南昆山碱性花岗岩（ (147 ± 0.8) Ma）^[23]、江西全南正长岩（164 Ma）^[24] 以及从化亚髻山霞石正长岩（ (125.3 ± 3.5) Ma）^[25]。

5 结 论

对大顶铁矿区粗粒斑状黑云母花岗岩和中粒斑状黑云母花岗岩进行的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测

年,获得的同位素年龄分别为 (174.3 ± 3.6) 和 (176.9 ± 4.3) Ma, 其年龄平均值为 165.5 Ma。表明石背岩体侵位时代为早侏罗世晚期 – 中侏罗世早期,是燕山第一幕岩浆活动之产物。

石背岩体形成于早中生代古太平洋板块向欧亚板块俯冲过程中的挤压构造背景。其物源主要来自地壳,为地壳物质熔融 – 固结而成,与佛冈岩体相似均为陆壳改造型 (S – 型) 花岗岩。且岩浆源区因板块俯冲、地壳增温、壳内物质熔融有关。因此,石背岩体不具有典型的伸展构造环境中形成的碱性岩 – 正长岩 – 花岗岩组合特征。

致谢: 感谢李全忠老师在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试及数据处理等方面提供的支持和帮助。

参考文献:

- [1] 程裕淇,赵一鸣,林文蔚. 中国矿床(中)[M]. 北京:地质出版社,1993:392–400.
- [2] 邓景. 广东连平大顶富铁矿床成因探讨[J]. 大地构造与成矿学,1979(02):35–50.
- [3] 郑昌能,欧阳玉飞,王涌泉. 广东连平大顶铁矿床地质特征及成因探讨[J]. 甘肃冶金,2009,31(1):53–55.
- [4] 蓝恒春. 石背岩体成矿特征及其周边找矿远景[J]. 中国矿山工程,2008,37(2):53–55.
- [5] LIU Y S, HU Z C, GAO S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34–43.
- [6] LIU Y, GAO S, HU Z, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51: 537–571.
- [7] LIU Y, HU Z, ZONG K, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. Chinese Science Bulletin, 2010b: 1535–1546.
- [8] WIEDENBECK M, ALLE P, CORFU F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 1995, 19: 1–23.
- [9] SLAMA J, KOSLER J, CONDON D J, et al. Plesovice zircon_A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis [J]. Chemical Geology, 2008, 249: 1235.
- [10] LUDWIG K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [R]. California, Berkeley:

Berkeley Geochronology Center, 2003.

- [11] ANDERSEN T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chem Geol, 2002, 192: 59–79.
- [12] 肖光铭,邸文. 粤北地区钨成矿规律研究[J]. 华南地质与矿床, 2011, 27(2): 132–140.
- [13] 庄文明,陈绍前,黄有义,等. 广州—佛冈地区显生宙花岗岩类 Nd-Sr 同位素失踪研究[J]. 广东地质, 2000, 15(3): 50–55.
- [14] 凌洪飞,沈渭洲,孙涛,等. 广东省 22 个燕山期花岗岩的源区特征及成因:元素及 Nd-Sr 同位素研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(11): 2687–2703.
- [15] LI Z X, LI X H. Formation of the 130 km-wide intra-continental orogen and post-orogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model [J]. Geology, 2007, 35: 179–182.
- [16] 丁兴,陈培荣,陈卫锋,等. 湖南浏山花岗岩中锆石 LAICPMS U-Pb 定年:成岩启示及意义[J]. 中国科学 D 辑:地球科学, 2005, 35(7): 606–616.
- [17] CHEN J F, JAHN B M. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence[J]. Tectonophysics, 1998, 284(1–2): 101–133.
- [18] SHEN W Z, LIANG H F, LI W X, et al. 2000. Crust-evolution in Southeast China: evidence from Nd model ages of granitoids [J]. Science in China, 43(1): 36–49.
- [19] CHEN G N, GRAPES R, ZHANG K. A model for Mesozoic Crustal Melting and Deformation of SE China [J]. International Geology Review, 2003, 45: 948–957.
- [20] CHEN G N, GRAPES R. Granite Genesis: In-situ Melting and Crustal Evolution [M]. Netherlands: Springer, 2007.
- [21] 李献华,李武显,李正祥. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义[J]. 科学通报, 2007, 52(9): 981–991.
- [22] 陈培荣,周新民,张文兰,等. 南岭东段燕山早期正长岩 – 花岗岩杂岩的成因和意义[J]. 中国科学 D 辑:地球科学, 2004, 34(6): 493–503.
- [23] 刘昌实,陈小明,王汝成,等. 广东龙口南昆山铝质 A – 型花岗岩的成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1): 1–10.
- [24] 陈志刚,李献华,李武显. 全南正长岩的地球化学特征及成因[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 77–83.
- [25] 李宏卫,林小明,黄建桦. 广东从化石岭碱性杂岩体角闪石正长岩 LA-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 地球科学前沿, 2015(5): 27–32.