

文章编号:1004-4116(2023)04-0001-12

甘肃金塔县黑石山 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义

霍勤知,杨维刚,王海博,李通元,王小成

(甘肃省地质调查院,甘肃 兰州 730000)

摘要:黑石山序列花岗岩位于甘肃金塔县以北,由粗中粒黑云二长花岗岩、中细粒斑状二长花岗岩和中细粒正长花岗岩岩类组成,其中,中细粒斑状二长花岗岩和粗中粒黑云二长花岗岩中分获 $(396.8 \pm 0.71) \text{ Ma}$ 、 $(414.2 \pm 0.69) \text{ Ma}$ 的锆石 U-Pb 年龄,成岩时代为早泥盆世。岩石地球化学显示其为高碱性强过铝质 A 型花岗岩,微量元素总体富集 Rb、Th、Ta、Y,明显亏损 Ba、Sr、P、Ti,轻稀土分馏较重稀土略强,具显著负 Eu 异常,反映岩浆源区斜长石的分离结晶良好。属于陆内壳源花岗岩,构造环境为早泥盆世造山后初始伸展体制下大陆地壳熔融的产物。

关键词:A 型花岗岩;锆石 U-Pb 年龄;地球化学特征;早泥盆世;甘肃金塔县

中图分类号:P584;P597

文献标志码:A

北山地区位于中亚造山带的南缘,花岗岩类岩石较为发育。大地构造位置隶属塔里木板块(克拉通),构造单元为敦煌地块内部柳园裂谷带^[1-3],区域岩浆岩属塔里木构造岩浆岩省敦煌构造岩浆岩带之柳园裂谷构造岩浆岩亚带重要组成部分^[4]。侵入岩主要为加里东期—华力西期中酸性花岗岩,其中加里东期侵入岩位于研究区南部碱泉子一带,为志留纪石英闪长岩,研究区广泛发育华力西期侵入岩,侵入时代为泥盆纪、二叠纪,基本以大规模侵入中酸性侵入岩为主,并有二叠纪侵入岩呈岩枝、岩脉产出。前人对北山地区晚古生代晚期侵位的花岗岩做了大量研究,但研究范围多集中在西部柳园—马鬃山一带^[5-13],以及北部内蒙古盘陀山等地区^[14-18],而对北山以东南部金塔地区花岗岩时代及成因研究较少。

研究区黑石山花岗岩的形成时代和成因,前人认识存在较大分歧,1:20万《五道明幅》区调^①,认为形成时代为华力西晚期(相当于早二叠世),前人在该岩体中经锆石 U-Pb 测得同位素年龄 467 Ma,归属为中奥陶世^②,在研究区以北内蒙古盘陀山岩体

内获得 U-Pb 同位素年龄值 $(383.3 \pm 1.8) \text{ Ma}$,岩浆来源于地壳,具有明显的重熔型花岗岩特征;在区内内蒙古乱石山北 1:5 万矿调获得锆石 U-Pb 同位素年龄值 $(284.8 \pm 3.9) \text{ Ma}$,时代为早二叠世^③,认为成因为壳幔混合型。基于以上对该区花岗岩类岩石时代和成因研究的不同认识,本次工作在对侵入体分布、岩石类型、结构构造、野外产状、接触关系等方面的研究基础上,开展了岩石学、岩石地球化学、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年工作,进而探讨了岩石成因、源岩、岩浆形成机制和形成的构造环境,以期对北山地区岩浆活动及地质构造的形成演化提供基础地质数据。

1 地质背景

北山造山带作为中亚古生代造山带的一部分,经历了前寒武纪古陆裂解及洋盆扩张,早古生代板块俯冲及碰撞造山,以及晚古生代陆内裂谷阶段。区域上出露地层主要有长城纪古铜井群变石英杂砂

收稿日期:2023-07-17

基金项目:甘肃省基础地质调查项目(甘财经二[2018]132号)资助

作者简介:霍勤知(1968~),男,高级工程师,地质矿产专业,主要从事区域地质学、矿床学和矿床地球化学调查研究。

E-mail:312833375@qq.com

① 甘肃省地质局,1:20万《五道明》幅区域矿产地质调查报告,1977

② 内蒙古第八地质队,月牙山幅(K47E019015)1:5万区域地质调查报告,1995

③ 甘肃省地矿局第三地质矿产勘查院,内蒙古自治区阿拉善盟乱石山北等四幅1:5万区域矿产地质调查报告,2016

岩、变粉砂岩、粉砂质板岩、绢云绿泥片岩、二云母片岩、微晶灰岩等；蓟县纪平头山组灰岩、白云岩等；石炭纪红柳园组长石石英砂岩、粉砂质板岩、硅质岩、砾屑灰岩、微晶—泥晶灰岩夹少量砾岩等；甘泉组中酸性火山岩流纹岩—硅质岩建造及碳酸盐岩—硅质岩—碎屑岩建造；二叠纪双堡塘组杂砂岩—粉砂岩—泥岩为主的浅海—滨海碎屑岩建造^[1]。区内岩浆活动期主要为泥盆纪和二叠纪中酸性侵入体。其中泥盆纪主要发育二长花岗岩和正长花岗岩，二叠纪花岗岩主要分布于黑石山序列南北两侧，基性和中酸性岩皆有发育，其中基性岩为辉绿岩、辉绿玢岩等，多以岩株、岩脉的形式产出，中—酸性岩规模较大，有二长花岗岩、正长花岗岩等。辉绿岩、辉长岩明显受断裂控制。区域构造总体为 NWW—SEE 向逆冲断裂系统，后期受到北东向走滑断层切割，研究区地质简图见图 1。

2 岩体地质与岩相学特征

黑石山花岗岩类岩石位于金塔县以北黑石山以南地区，总体形态呈 NWW—SEE 向“豆荚”状展布，长轴方向与区域构造线方向基本一致，南北宽 0.9 ~ 3.3 km，东西长约 15.5 km。由粗中粒黑云二长花岗岩、中细粒斑状二长花岗和中细粒正长花岗岩 3 个侵入体组成，前两者为渐变式涌动接触关系，二长花岗岩体和正长花岗岩之间为脉动接触。北西边界与蓟县纪平头山组呈侵入接触，二者共同构成穹隆构造，其上被早石炭世红柳园组角度不整合覆盖，局部受后期断裂切割呈断层接触。在黑石山以南岩体南缘发育韧性变形带，内接触带存在糜棱岩化、碎裂岩化，伴随有较强的高岭土化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化等蚀变，并有(含)萤石石英脉沿构造薄弱

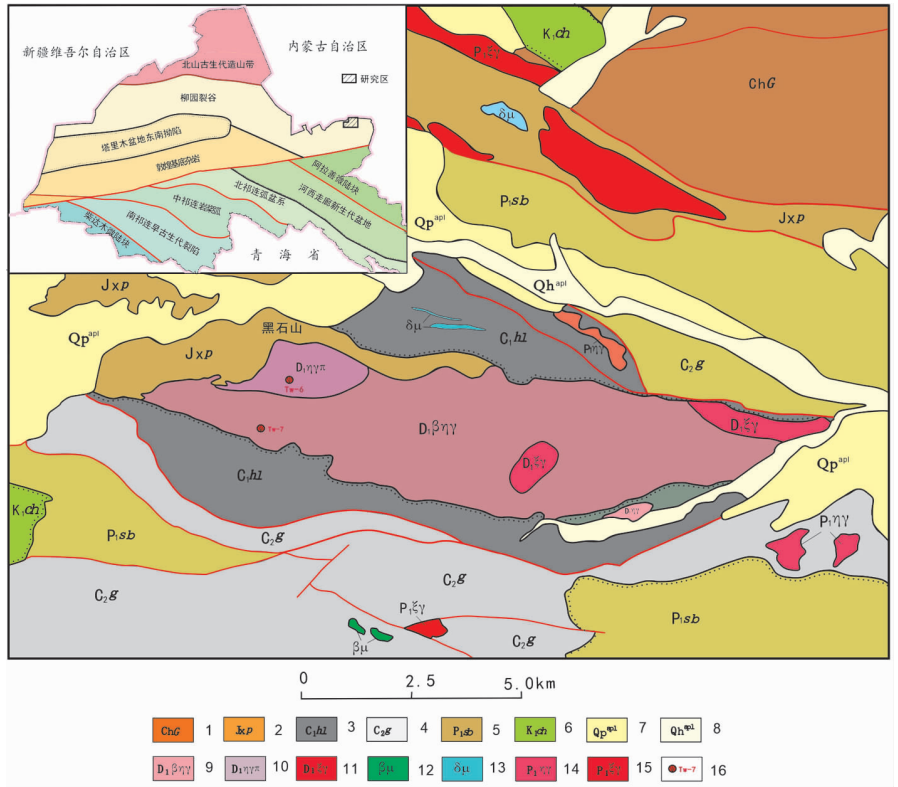


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological map of the study area

- 1—长城纪古铜井群；2—蓟县纪平头山组；3—石炭纪红柳园组；4—石炭纪干泉组；
- 5—二叠纪双堡塘组；6—白垩纪赤金堡组；7—更新统；8—全新统；9—早泥盆世黑云二长花岗岩；
- 10—早泥盆世斑状二长花岗岩；11—早泥盆世正长花岗岩；12—早二叠世辉长岩；13—闪长玢岩；
- 14—早二叠世二长花岗岩；15—早二叠世正长花岗岩；16—同位素采集点及编号

面贯入。

(1)中细粒斑状二长花岗岩：岩石新鲜面为深灰色，斑状结构，基质具中细粒花岗结构，块状构造。斑晶含量约 10%，粒径一般 5 ~ 20 mm 之间，主要为钾长石，呈近半自形板状，为条纹长石，轻高岭土化，局部交代斜长石。基质具中细粒花岗结构，粒径 0.2 ~ 3 mm 之间，由斜长石(35%)、钾长石(30%)、石英(25%)和少量黑云母组成。斜长石呈半自形板状，高岭土化、绢云母化明显，可见碎裂、双晶弯曲、波状消光等受力现象。钾长石呈半自形—它形粒状，为条纹长石，轻高岭土化。石英受构造作用多见细粒化重结晶、拉长定向、强波状带状消光等受力现象。黑云母几乎已全被绿泥石交代，少见棕色黑云母残留(图 2 a,b)。

(2)粗中粒黑云二长花岗岩：岩石新鲜面为灰色，具块状构造，粗中粒花岗结构。斜长石 25% ~ 30%、钾长石 40% ~ 45%、石英 20%、黑云母 10%。矿物粒度一般 2 ~ 5 mm，少部分 5 ~ 7 mm，少数

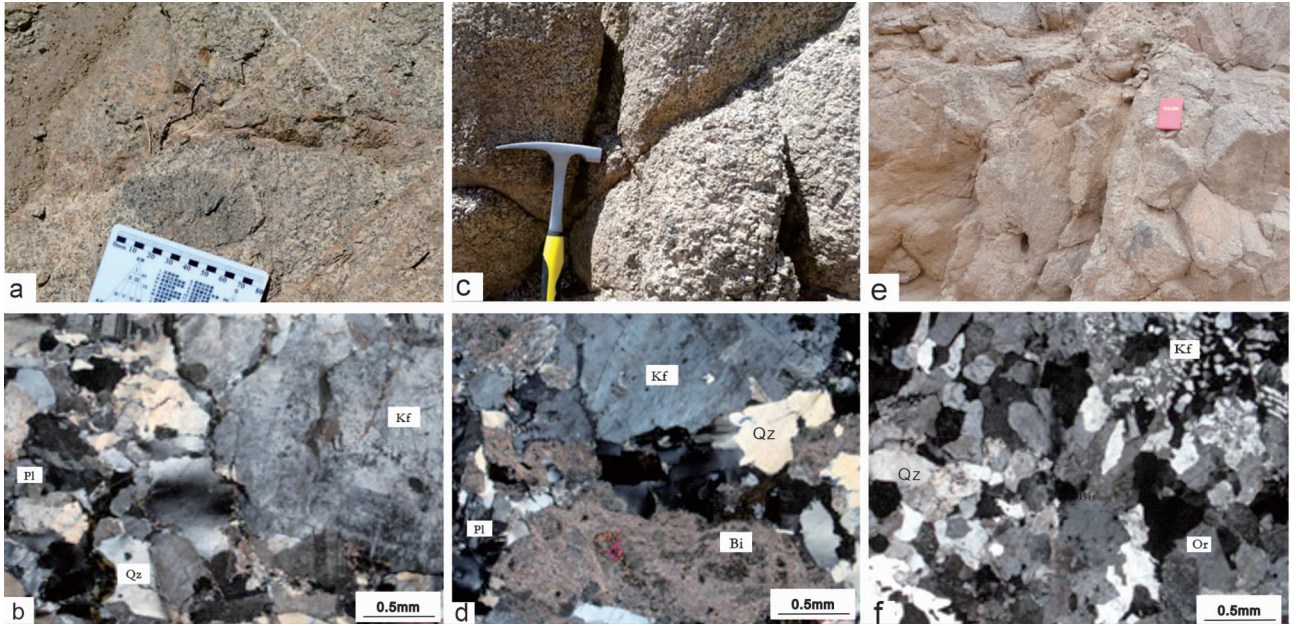


图2 黑石山序列花岗岩岩石特征

Fig. 2 Outcrop and mineral composition of granite rock in Heishishan
中细粒斑状二长花岗岩(a,b);粗中粒黑云二长花岗岩(c,d);中细粒正长花岗岩(e,f)
Kf—钾长石;Pl—斜长石;Qz—石英;Bi—黑云母

0.2 ~ 2 mm。钾长石为条纹长石;斜长石为板条状、短柱状,具绢云母化、粘土化、帘石化,晶面浑浊,双晶模糊,应为酸性斜长石;石英呈它形粒状,粒内波状带状消光明显;黑云母呈片状,多色性明显(图2 c,d)。

(3)中细粒正长花岗岩:中细粒花岗结构,块状构造,矿物粒径在0.5 ~ 2 mm之间。组成矿物主要为斜长石(15%)、钾长石(57% ~ 58%)、石英(20%)、黑云母(< 6%)、白云母(< 2%)、绿泥石(< 5%)及微量的绿帘石、磷灰石、锆石、金属矿物。斜长石粒径< 4.0 mm;钾长石为它形晶粒状,为正长石、条纹长石和微斜长石,粒径多在5.0 mm以下,绿泥石化;石英多为彼此呈锯齿状镶嵌分布,消光不均匀;暗色矿物为黑云母,已基本上绿泥石化、绿帘石化,偶见黑云母的残余(图2 e,f)。

3 样品采集和分析方法

本次工作在黑石山序列未发生后期蚀变的中细粒斑状二长花岗岩(TW-6)和粗中粒黑云二长花岗岩(TW-7)采得锆石U-Pb同位素样品2组各8 kg,采样位置见图1。同位素样品由武汉上谱分析科技有限责任公司分析,先将新鲜样品粉碎至60 ~ 80 μm ,经磁选、电磁选和重液分离后,在双目镜下选取

晶形完好且无明显裂纹的典型锆石。锆石样品制靶及透射光、反射光、阴极(CL)图像采集,标准样品采用微量元素校正:NIST 610,同位素比值校正标准样品:91 500,同位素比值监控标准样品:GJ-1。以上样品均为国际标准物质。实验室洁净度:< 1 000级。分析用激光剥蚀系统为GeoLasHD,等离子体质谱仪为Agilent 7900。激光能量80 mJ,频率5 Hz,激光束斑直径32 μm 。

主量、微量元素样品采集选用弱蚀变或未蚀变的新鲜岩石,并选取构造变形较弱的岩石,由武汉上谱分析科技有限责任公司测试分析,主量元素采用AxiosmaxX射线荧光光谱仪(X-RF)分析,FeO测试采用氢氟酸、硫酸溶样和重铬酸钾滴定的容量法,其测试精度优于2%;微量元素采用XSeries 2型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)分析,其精度和准确度优于5%。

4 同位素年代学特征

同位素样品分析测试有效点分别为53个和54个点,锆石颗粒以自形—半自形柱状晶体为主,粒径一般60 ~ 80 μm 和60 ~ 150 μm ,锆石内部结构比较简单,部分锆石颗粒具有窄的浅色边和港湾状的溶蚀边,但多数锆石显示出清晰的岩浆环带特

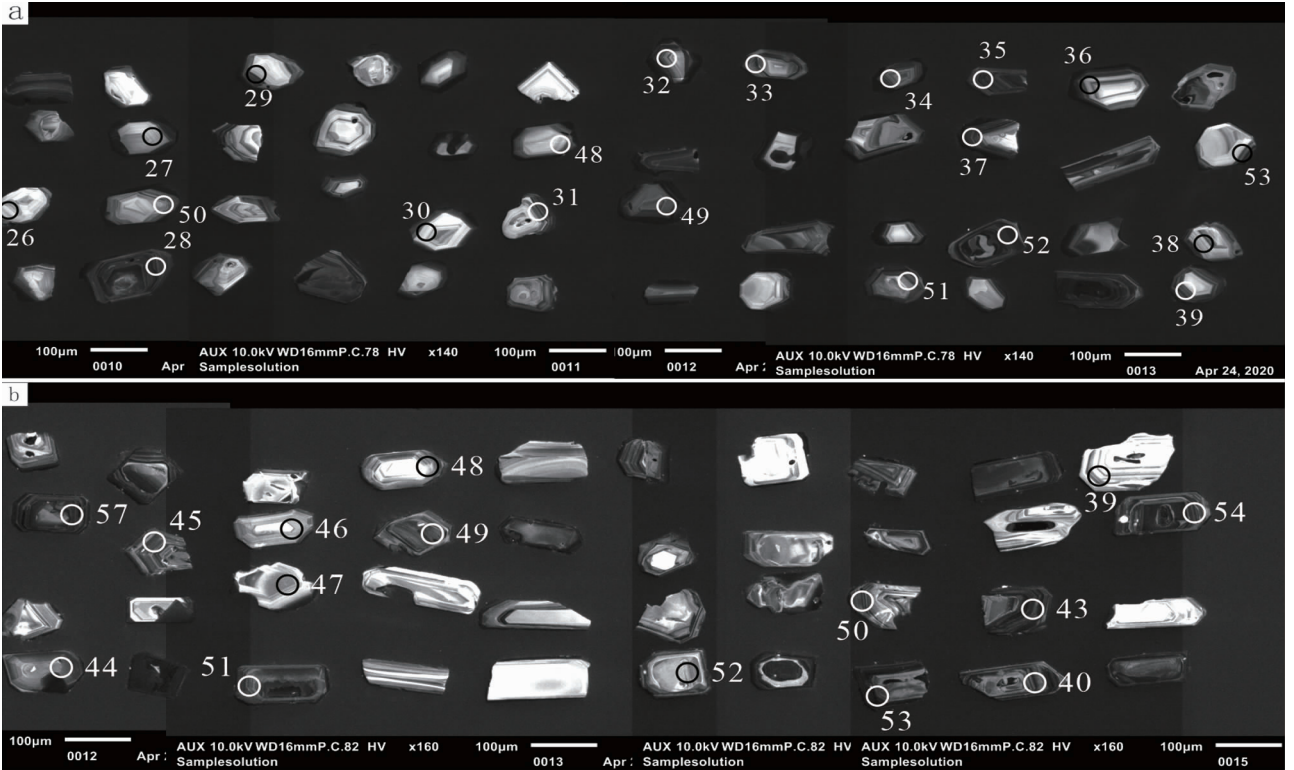


图 3 代表性锆石CL图像
Fig. 3 CL images of representative zircons
TW-6(a), TW-7(b)

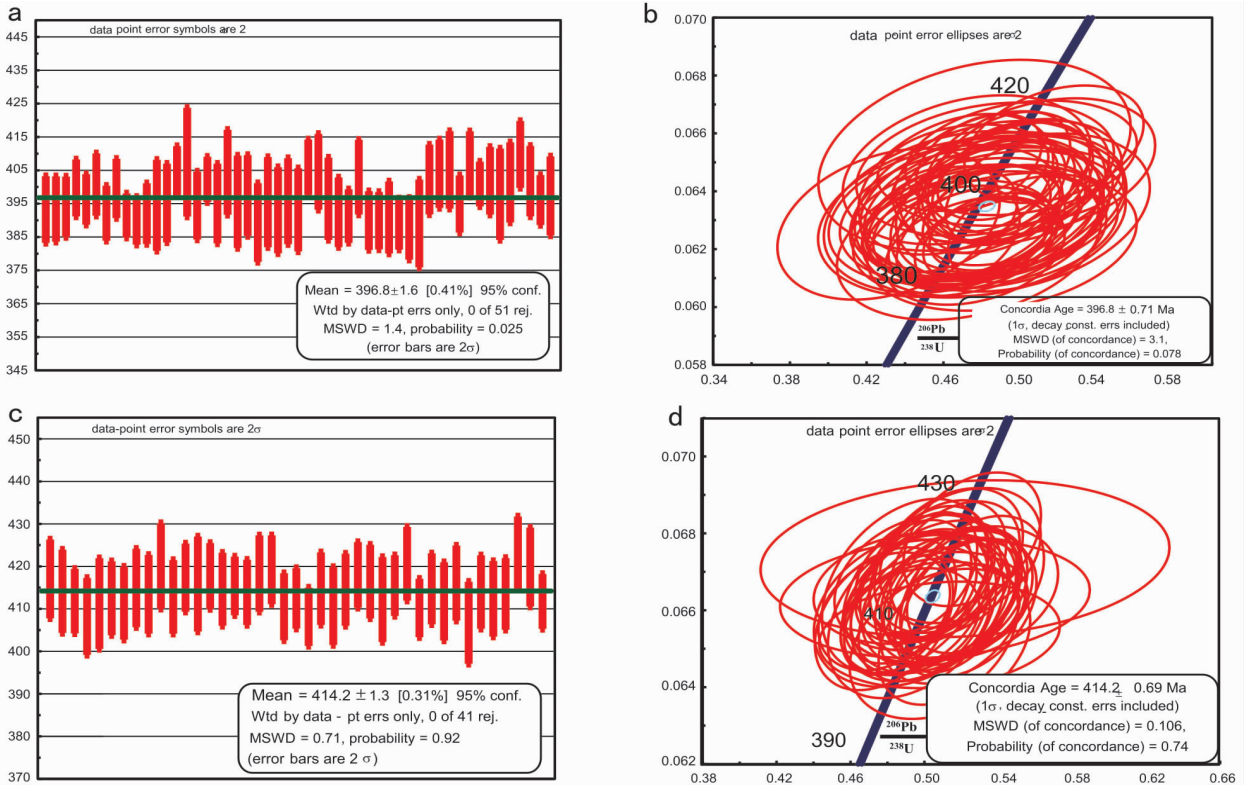


图 4 黑石山序列花岗岩锆石U-Pb同位素测年结果图

Fig. 4 Zircon U-Pb isotope dating results of granite samples from Heishishan

a. ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄 (TW-6); b. ²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和年龄图 (TW-6); c. ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄图 (TW-7); d. ²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和年龄图 (TW-7)

表1 黑石山序列中细粒斑状二长花岗岩(TW-6)U-Pb同位素测试数据表

Table 1 U-Pb isotope data of medium-fine grained porphyritic monzonitic granite sample (TW-6) in Heishishan

	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma
TW6-01	0.053 6	0.002 6	0.472 0	0.021 0	0.062 9	0.000 8	354	109.247 5	393	14.486 903 14	393	5.006 562 34
TW6-02	0.056 4	0.002 5	0.489 7	0.022 0	0.062 9	0.000 8	478	98.14	405	14.986 944 2	393	4.906 7916 86
TW6-03	0.052 6	0.001 8	0.458 8	0.016 2	0.063 0	0.000 7	309	77.77	383	11.276 560 65	394	4.535 724 473
TW6-04	0.055 2	0.001 9	0.492 0	0.018 2	0.064 0	0.000 7	420	75.917 5	406	12.401 753 01	400	4.270 254 064
TW6-05	0.054 6	0.001 7	0.480 0	0.014 6	0.063 4	0.000 6	398	68.512 5	398	10.050 540 65	396	3.794 609 624
TW6-06	0.054 2	0.001 9	0.480 4	0.017 6	0.064 1	0.000 8	389	79.62	398	12.096 803 84	401	4.676 175 245
TW6-07	0.053 4	0.002 5	0.467 6	0.020 3	0.062 7	0.000 7	346	107.397 5	390	14.069 665 96	392	4.126 004 388
TW6-08	0.056 1	0.001 6	0.494 9	0.013 8	0.063 9	0.000 7	454	62.957 5	408	9.365 474 335	400	4.446 311 745
TW6-09	0.056 1	0.001 6	0.486 1	0.013 6	0.062 6	0.000 5	454	62.957 5	402	9.307 493 7	391	3.319 200 663
TW6-10	0.056 0	0.001 6	0.482 1	0.013 3	0.062 3	0.000 6	450	67.585	399	9.119 520 559	390	3.580 692 736
TW6-11	0.057 7	0.001 8	0.501 6	0.016 0	0.062 7	0.000 8	517	66.657 5	413	10.800 446 96	392	4.555 782 288
TW6-12	0.053 9	0.003 9	0.469 1	0.030 4	0.063 1	0.001 1	365	164.792 5	391	21.012 914 89	394	6.823 797 48
TW6-13	0.053 4	0.003 2	0.461 1	0.024 9	0.063 2	0.001 0	343	132.392 5	385	17.298 285 43	395	5.897 444 263
TW6-14	0.053 1	0.002 3	0.470 2	0.018 2	0.064 8	0.000 6	345	99.99	391	12.566 138 83	405	3.703 755 949
TW6-15	0.053 7	0.004 1	0.476 2	0.033 2	0.065 2	0.001 3	367	165.72	395	22.864 998 24	407	8.153 971 457
TW6-16	0.055 7	0.003 4	0.477 9	0.026 8	0.063 1	0.000 8	443	135.172 5	397	18.439 429 75	394	5.094 389 996
TW6-17	0.054 7	0.001 4	0.488 3	0.012 7	0.064 4	0.000 6	398	59.252 5	404	8.700 965 688	402	3.405 977 275
TW6-18	0.055 7	0.003 7	0.476 3	0.028 7	0.063 2	0.001 0	443	148.13	396	19.751 767 93	395	5.970 566 18
TW6-19	0.054 0	0.003 4	0.472 2	0.026 4	0.064 7	0.001 1	372	136.097 5	393	18.210 167 6	404	6.368 823 395
TW6-20	0.053 4	0.003 4	0.465 9	0.027 8	0.063 3	0.001 1	346	144.425	388	19.292 042 98	396	6.926 529 763
TW6-21	0.055 5	0.003 4	0.482 5	0.026 9	0.063 6	0.001 0	435	132.395	400	18.405 695 9	397	6.074 560 896
TW6-22	0.057 9	0.003 8	0.490 6	0.028 7	0.062 3	0.001 0	524	142.572 5	405	19.530 404 07	389	5.906 632 919
TW6-24	0.058 6	0.003 5	0.500 0	0.027 6	0.063 3	0.001 1	554	131.462 5	412	18.687 362 08	395	6.762 891 889
TW6-25	0.051 4	0.003 2	0.431 4	0.023 7	0.062 9	0.001 1	257	142.572 5	364	16.785 310 75	393	6.463 048 162
TW6-26	0.054 7	0.003 4	0.476 5	0.026 6	0.063 3	0.001 1	467	173.127 5	396	18.303 922 17	396	6.453 444 434
TW6-27	0.056 8	0.003 8	0.486 3	0.028 1	0.062 9	0.001 0	483	150.905	402	19.185 754 15	393	6.233 995 116
TW6-28	0.053 2	0.001 5	0.478 5	0.013 4	0.065 0	0.000 7	345	62.957 5	397	9.189 286 374	406	4.168 342 975
TW6-29	0.054 2	0.003 5	0.481 8	0.027 4	0.064 8	0.000 9	389	144.43	399	18.794 394 37	405	5.689 637 043
TW6-30	0.055 7	0.003 4	0.487 0	0.027 9	0.063 4	0.001 0	443	137.022 5	403	19.078 662 12	396	6.174 790 878
TW6-31	0.055 7	0.003 3	0.487 1	0.026 1	0.062 8	0.000 9	443	131.467 5	403	17.798 237 94	392	5.221 877 934
TW6-32	0.053 9	0.002 2	0.468 2	0.019 5	0.062 6	0.000 7	365	60.18	390	13.486 462	391	4.019 500 401
TW6-33	0.054 4	0.002 3	0.485 0	0.020 9	0.064 5	0.000 9	387	89.805	402	14.317 872 23	403	5.602 300 014
TW6-34	0.055 3	0.002 1	0.475 5	0.018 0	0.062 4	0.000 7	433	80.547 5	395	12.409 311 94	390	4.407 684 441
TW6-35	0.054 2	0.001 5	0.467 7	0.013 1	0.062 3	0.000 7	389	62.957 5	390	9.067 972 136	390	4.301 613 951
TW6-36	0.055 9	0.003 5	0.479 0	0.027 0	0.062 5	0.000 9	456	142.575	397	18.521 225 12	391	5.405 068 66
TW6-37	0.055 9	0.001 7	0.480 9	0.014 6	0.062 2	0.000 6	456	70.362 5	399	10.029 208 64	389	3.845 267 893
TW6-38	0.056 1	0.002 4	0.476 4	0.019 1	0.061 9	0.000 8	457	92.582 5	396	13.151 466 86	387	4.632 890 866
TW6-39	0.055 9	0.003 8	0.473 4	0.028 1	0.062 2	0.001 1	456	153.685	394	19.379 715 48	389	6.579 739 542
TW6-40	0.055 9	0.002 3	0.497 6	0.019 9	0.064 4	0.000 9	456	123.132 5	410	13.484 450 21	402	5.229 016 051
TW6-41	0.054 4	0.002 0	0.489 0	0.015 1	0.064 7	0.000 8	387	87.955	404	10.333 384 35	404	5.134 810 448
TW6-42	0.057 2	0.002 9	0.510 4	0.024 5	0.064 9	0.001 0	498	112.947 5	419	16.459 565 19	405	5.817 157 567
TW6-43	0.056 2	0.002 0	0.490 2	0.016 7	0.063 2	0.000 7	461	74.992 5	405	11.388 774 49	395	4.291 104 639
TW6-44	0.055 4	0.002 6	0.500 6	0.024 6	0.065 2	0.000 8	428	105.545	412	16.669 749 2	407	4.896 831 617
TW6-46	0.055 7	0.002 9	0.493 6	0.024 6	0.064 2	0.000 6	443	116.655	407	16.702 232 22	401	3.350 459 628
TW6-47	0.055 4	0.001 8	0.496 1	0.017 1	0.064 3	0.000 8	428	65.735	409	11.619 075 73	402	5.078 222 92
TW6-48	0.056 7	0.003 9	0.479 1	0.026 7	0.063 7	0.001 1	480	156.46	397	18.323 735 2	398	6.852 165 63
TW6-49	0.053 0	0.002 5	0.466 5	0.020 7	0.064 2	0.001 0	332	105.545	389	14.355 212 37	401	6.012 054 868
TW6-50	0.057 5	0.002 2	0.517 6	0.019 1	0.065 6	0.000 8	509	80.545	424	12.767 505 1	410	5.015 375 468
TW6-51	0.056 7	0.002 7	0.499 9	0.021 7	0.064 3	0.000 9	480	108.32	412	14.695 807 62	402	5.286 140 234
TW6-52	0.055 5	0.001 6	0.486 3	0.014 0	0.063 4	0.000 6	432	64.807 5	402	9.585 533 731	396	3.745 189 249
TW6-53	0.056 7	0.002 9	0.495 0	0.024 4	0.063 6	0.001 0	480	112.95	408	16.571 546 15	397	5.923 818 464

表 2 黑石山序列粗—中粒黑云二长花岗岩(TW-7)U-Pb同位素测试数据表

Table 2 U-Pb isotope data of coarse-medium grained biotite monzonitic granite sample (TW-7) in Heishishan

	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma	Age(Ma)	1sigma
TW7-01	0.054 2	0.001 5	0.500 1	0.014 3	0.066 8	0.000 8	389	60.18	412	9.651 742 955	417	4.636 299 909
TW7-02	0.054 4	0.002 1	0.505 3	0.018 5	0.066 4	0.000 8	391	88.88	415	12.452 260 26	414	4.899 426 861
TW7-04	0.052 1	0.001 5	0.478 3	0.014 6	0.066 0	0.000 6	300	60.18	397	10.001 399	412	3.793 545 582
TW7-05	0.056 7	0.001 7	0.512 9	0.015 4	0.065 4	0.000 7	480	66.66	420	10.354 358 3	408	4.527 966 685
TW7-06	0.054 5	0.002 1	0.493 3	0.018 6	0.065 9	0.000 9	391	87.03	407	12.663 040 12	411	5.338 498 072
TW7-07	0.053 0	0.001 4	0.486 0	0.012 8	0.066 1	0.000 7	332	26.85	402	8.727 150 536	413	4.346 562 391
TW7-08	0.054 6	0.001 6	0.499 5	0.014 4	0.065 9	0.000 7	394	64.807 5	411	9.721 963 524	411	4.294 899 958
TW7-09	0.053 0	0.001 5	0.490 6	0.014 2	0.066 5	0.000 8	332	64.807 5	405	9.670 535 133	415	4.611 077 98
TW7-10	0.054 1	0.001 6	0.497 2	0.015 2	0.066 2	0.000 8	376	68.512 5	410	10.306 457 34	413	4.631 387 987
TW7-11	0.053 1	0.004 5	0.522 0	0.045 2	0.067 3	0.000 8	332	197.197 5	426	30.152 461 11	420	5.038 406 398
TW7-12	0.056 5	0.001 3	0.518 4	0.012 7	0.066 1	0.000 7	472	49.995	424	8.520 823 654	413	4.331 124 665
TW7-13	0.054 4	0.001 5	0.504 1	0.013 9	0.066 9	0.000 7	391	61.105	414	9.401 876 877	417	4.006 643 936
TW7-14	0.053 3	0.002 0	0.489 5	0.018 4	0.066 6	0.000 9	339	83.325	405	12.514 577 63	416	5.589 343 294
TW7-16	0.053 9	0.001 6	0.499 6	0.015 1	0.066 9	0.000 6	369	66.66	411	10.213 376 98	418	3.884 483 8
TW7-17	0.056 2	0.001 7	0.516 8	0.015 9	0.066 4	0.000 7	461	66.66	423	10.647 040 82	415	4.301 145 318
TW7-19	0.053 8	0.001 5	0.495 5	0.013 4	0.066 6	0.000 6	365	62.957 5	409	9.089 201 878	415	3.452 198 542
TW7-20	0.054 1	0.003 5	0.505 7	0.034 2	0.066 3	0.000 6	376	148.132 5	416	23.093 865 58	414	3.841 116 56
TW7-21	0.054 5	0.001 6	0.507 3	0.015 1	0.067 0	0.000 7	391	64.81	417	10.184 494 44	418	4.492 177 728
TW7-22	0.055 3	0.001 5	0.516 5	0.014 3	0.067 2	0.000 7	433	61.105	423	9.577 637 07	419	4.054 775 254
TW7-25	0.054 5	0.001 8	0.496 0	0.016 2	0.065 7	0.000 7	391	72.215	409	10.972 290 7	410	3.946 047 659
TW7-27	0.055 8	0.002 4	0.506 4	0.020 3	0.066 1	0.000 6	456	94.435	416	13.690 223 01	412	3.565 324 779
TW7-28	0.056 1	0.002 9	0.508 2	0.026 6	0.065 4	0.000 6	454	110.175	417	17.919 901 58	408	3.429 671 53
TW7-29	0.057 0	0.002 1	0.524 4	0.019 6	0.066 5	0.000 7	494	81.472 5	428	13.047 414 35	415	4.266 558 476
TW7-30	0.052 2	0.002 1	0.478 1	0.015 3	0.065 8	0.000 8	300	92.577 5	397	10.499 857 46	411	4.589 691 755
TW7-32	0.056 6	0.001 4	0.519 8	0.013 5	0.066 4	0.000 7	476	55.55	425	8.995 496 282	414	4.248 313 79
TW7-34	0.053 9	0.001 3	0.499 5	0.011 9	0.067 0	0.000 6	369	49.07	411	8.045 712 024	418	3.863 043 632
TW7-36	0.054 0	0.002 0	0.496 4	0.018 4	0.066 7	0.000 7	369	85.177 5	409	12.502 727 86	416	4.333 411 949
TW7-37	0.053 7	0.002 2	0.491 5	0.021 0	0.066 0	0.000 8	367	94.435	406	14.280 877 29	412	4.999 188 544
TW7-38	0.053 5	0.002 3	0.492 6	0.021 5	0.066 6	0.000 6	350	93.51	407	14.598 049 96	415	3.573 837 973
TW7-39	0.055 5	0.001 8	0.519 3	0.017 8	0.067 4	0.000 7	435	69.437 5	425	11.899 798 98	421	4.337 227 342
TW7-40	0.053 9	0.001 6	0.492 1	0.015 3	0.065 7	0.000 6	365	66.66	406	10.435 683 2	410	3.439 862 087
TW7-41	0.056 1	0.001 5	0.516 0	0.014 4	0.066 4	0.000 7	457	62.03	422	9.656 175 085	415	4.172 118
TW7-44	0.056 3	0.002 0	0.515 6	0.016 1	0.066 0	0.000 8	465	77.77	422	10.808 865 85	412	4.607 355 46
TW7-45	0.057 1	0.002 1	0.527 6	0.015 1	0.066 7	0.000 7	494	81.475	430	10.068 909 71	416	4.415 314 729
TW7-46	0.057 0	0.002 3	0.508 4	0.020 0	0.065 1	0.000 8	500	95.357 5	417	13.434 650 87	407	4.829 747 557
TW7-47	0.056 3	0.002 1	0.515 9	0.017 4	0.066 3	0.000 7	465	81.472 5	422	11.674 254 5	414	4.318 972 502
TW7-49	0.056 8	0.002 0	0.522 3	0.015 6	0.066 1	0.000 7	483	47.217 5	427	10.441 705 68	412	4.439 424 693
TW7-50	0.055 2	0.003 2	0.506 3	0.016 4	0.066 3	0.000 7	420	129.615	416	11.044 021 66	414	4.225 217 45
TW7-51	0.055 9	0.001 6	0.525 8	0.015 2	0.067 8	0.000 7	450	62.957 5	429	10.120 183 85	423	4.289 288 748
TW7-52	0.055 3	0.001 8	0.513 1	0.016 4	0.067 3	0.000 8	433	74.067 5	421	11.018 013 46	420	4.641 497 985
TW7-54	0.055 1	0.002 1	0.504 2	0.019 3	0.066 0	0.000 5	417	85.177 5	415	13.035 856 62	412	3.230 434 166

征(图3)。锆石U-Pb同位素测试数据见表(表1,表2),获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值分别为 $(396.8 \pm 1.6)\text{Ma}$ 、 $(414.2 \pm 1.3)\text{Ma}$ (图4a,图4b),同位素 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄值分别为 $(396.8 \pm 0.71)\text{Ma}$ 、 $(414.2 \pm 0.69)\text{Ma}$ (图4c,图4d),样品谐和图中谐和度好,指示时代为早泥盆世。

5 岩石地球化学特征

在该序列花岗岩中采集岩石全分析、稀土元素、微量元素样品共7件,其中二长花岗岩样品6件,正长花岗岩样品1件。经分析测试,黑石山序列主量元素、微量元素和稀土元素数据及相关参数见表3。

5.1 主量元素特征

从岩石化学分析数据中可以看出,黑石山序列花岗岩 SiO_2 含量 $70.33\% \sim 75.86\%$,平均值 72.99% , $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, K_2O 含量 $4.18\% \sim 5.28\%$,平均值 4.57% , Na_2O 含量 $2.45\% \sim 3.10\%$,平均值 2.77% , Al_2O_3 含量 $11.34\% \sim 14.24\%$,平均值 13.34% , MgO 含量 $0.30\% \sim 0.49\%$,平均值 0.39% , CaO 含量 $0.92\% \sim 1.34\%$,平均值 1.12% 。上述数据表明,黑石山序列花岗岩 SiO_2 、 K_2O 含量都高于中国花岗岩类的平均值,其余氧化物 Na_2O 、 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 含量均低于中国花岗岩类平均值^[21-23]。里特曼指数(σ) $1.42 \sim 1.94$,平均 1.81 ;铝饱和度 $1.33 \sim 1.71$,平均 1.58 ;碱度率(AR) $2.64 \sim 4.28$,平均 3.16 ,岩石碱性程度较高; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值 $0.51 \sim 0.63$,平均

0.61 ;分异指数(DI) $85.78 \sim 92.32$,平均 88.71 ;固结指数(SI) $2.88 \sim 4.99$,平均 3.85 ,总体分异指数高、固结指数低,反映岩石分离结晶程度高,分异好;岩石具有较高的长英指数(FL)和镁铁指数(MF),FL介于 $170.26 \sim 194.59$,MF变化于 $77.7 \sim 91.48$ 之间,也表明花岗岩分离结晶程度高。

在 SiO_2 - K_2O 图解中(图5a),所有样品均投入高钾钙碱性系列区域;在 A/NK - A/CNK 图解(图5b)上,样品投入准铝质—过铝质花岗岩区,说明黑石山序列花岗岩为碱性或高钾钙碱性系列铝质花岗岩。

从常量元素分析结果来看,随着 SiO_2 的增高, TiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 含量降低比较明显, Al_2O_3 、 P_2O_5 、 CaO 也有降低,但不太明显, MnO 、 Na_2O 、 K_2O 随着 SiO_2 含量增加有所降低,但个别样品偏离拟合线。

5.2 微量元素特征

微量元素数据及相关参数表可以看出,黑石山序列花岗岩具有富Rb、Th、Ta、Y,贫Ba、Sr、P、Ti等元素特征。Y/Nb比值 $4.75 \sim 11.19$,均大于 1.2 ,为A2型花岗岩性质(Eby,1992)^[26]。在与原始地幔标准化的微量元素蛛网图中(图6a),Ba、Sr、P、Ti亏损明显。

5.3 稀土元素特征

由稀土元素数据及相关参数表可以看出:黑石山序列花岗岩稀土分配相近,轻稀土总量 $75.93 \times 10^{-6} \sim 223.74 \times 10^{-6}$,重稀土含量 $52.12 \times 10^{-6} \sim$

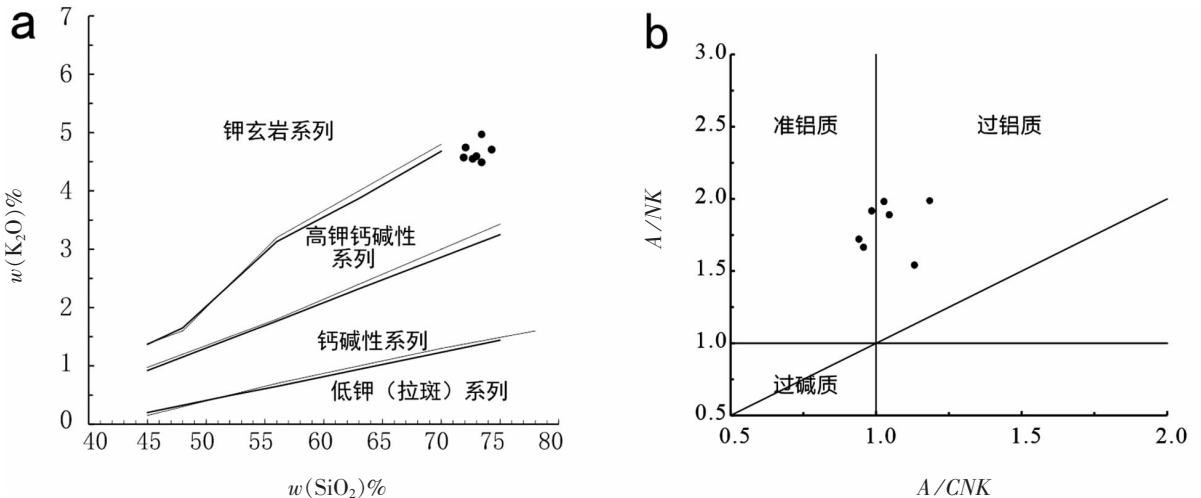


图5 黑石山序列花岗岩类碱性判别图解

Fig. 5 Alkaline discriminant of granites in Heishishan

a. SiO_2 - K_2O 图解(细线据Peccerillo R, Taylor S R.1976,粗线据 Middlemost E A K.1985); b. A/NK - A/CNK 图解(J B Wright, 1969)

表 3 黑石山序列花岗岩岩石地球化学数据表

Table 3 Geochemical data of granite in Heishishan

SAMPLE	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	灼减	Σ	σ	DI
PM03YQ43-1	正长花岗岩	75.86	0.17	11.34	0.8	0.9	0.03	0.49	0.92	2.94	4.68	0.05	0.2	0.88	0.21	1.42	100.9	1.77	92.32
XYQ-10	黑云二长花岗岩	73.88	0.48	13.52	1.28	0.81	0.02	0.41	0.96	2.45	4.18	0.06	0.68	0.88	0.18	-	99.78	1.42	89.22
XYQ-23	黑云二长花岗岩	72.1	0.64	14.24	0.78	2.21	0.04	0.38	1.05	3.1	4.32	0.09	0.36	1	0.27	-	100.57	1.89	87.07
XYQ-24	黑云二长花岗岩	72.85	0.7	13.95	0.93	2.31	0.04	0.37	1.1	2.72	4.42	0.1	0.5	0.72	0.2	-	100.92	1.71	86.77
XYQ-25	黑云二长花岗岩	70.33	0.7	14.46	1.31	2.02	0.04	0.31	1.34	2.74	4.37	0.1	0.56	1.19	0.12	-	99.59	1.85	85.78
PM104YQ6	黑云二长花岗岩	73.87	0.15	13.06	0.77	0.77	0.03	0.3	1.15	2.69	5.28	0.06	0.94	0.78	0.21	1.6	101.65	2.06	91.66
PM104YQ7	黑云二长花岗岩	72.07	0.42	12.86	0.74	2.08	0.04	0.49	1.34	2.77	4.74	0.11	0.79	0.93	0.46	1.86	101.72	1.94	88.12
SAMPLE	岩石名称	Ba	Rb	Th	K	Nb	U	Zr	Sr	Ta	P	Hf	Co	Ti	Y	Yb	Ni	Cr	La
PM03YQ43-1	正长花岗岩	554	244	14.3	39 561.25	6.08	1.35	117	74.9	0.90	240.06	0.2	17.9	1 050.18	42.35	4.37	2.14	10.4	33.2
XYQ-10	黑云二长花岗岩	61	264	10.7	35 388.32	6.84	1.47	77.4	48.4	1.28	276.05	2.8	7.5	2 916.84	32.51	3.08	1.7	3.7	13.45
XYQ-23	黑云二长花岗岩	384.5	239.7	17.8	36 272.6	6.95	4.99	244.4	116.3	1.07	388.22	9	7.4	3 847.49	45.21	4.46	1.7	3.7	38
XYQ-24	黑云二长花岗岩	382.4	239	20.5	36 880.55	6.97	4.35	268.9	79.6	1.54	421.17	9.5	7.5	4 241.9	47.52	4.57	1.7	3.7	45.58
XYQ-25	黑云二长花岗岩	418	234	12.2	37 117.27	6.98	3.12	261.4	80.7	1.03	428.82	9.8	8	4 306.68	36.33	3.42	1.9	3.7	28.35
PM104YQ6	黑云二长花岗岩	390.66	273	17.2	28 993.67	6.7	3.1	135.2	65.7	1.12	131.58	3.4	1.34	922.16	75	8.06	3.03	7.43	36.4
PM104YQ7	黑云二长花岗岩	654.23	238	24.7	26 049.24	13.1	4.03	273.9	92.4	1.57	237.85	6.8	1.98	2 531.35	40	4.22	2.96	5.97	37.9
SAMPLE	岩石名称	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	LREE	HREE	ΣREE	LREE/HREE
PM03YQ43-1	正长花岗岩	75.3	10.02	35.05	8.18	1.21	6.82	1.36	7.92	1.7	4.83	0.74	4.37	0.62	42.35	162.97	70.72	233.69	2.3
XYQ-10	黑云二长花岗岩	33.9	4.46	17.96	5.68	0.48	4.66	0.95	5.85	1.07	3.11	0.46	3.08	0.45	32.51	75.93	52.12	128.06	1.46
XYQ-23	黑云二长花岗岩	88.23	10.14	39.34	9.05	1.21	7.27	1.31	8.24	1.61	4.65	0.67	4.46	0.67	45.21	185.98	74.09	260.07	2.51
XYQ-24	黑云二长花岗岩	105.43	12.37	48.26	10.73	1.36	8.48	1.48	9	1.73	4.93	0.7	4.57	0.67	47.52	223.74	79.08	302.81	2.83
XYQ-25	黑云二长花岗岩	63.11	7.54	30.33	7.17	1.25	5.86	1.08	6.76	1.32	3.73	0.53	3.42	0.5	36.33	137.74	59.53	197.28	2.31
PM104YQ6	黑云二长花岗岩	79	10.1	38.6	9.2	0.75	9.52	2.05	12.3	2.6	7.5	1.35	8.06	1.04	75	173.96	44.44	218.4	3.91
PM104YQ7	黑云二长花岗岩	77.1	9.86	37.5	7.88	0.97	7.3	1.33	7.29	1.42	3.87	0.69	4.22	0.57	40	171.21	26.69	197.9	6.42

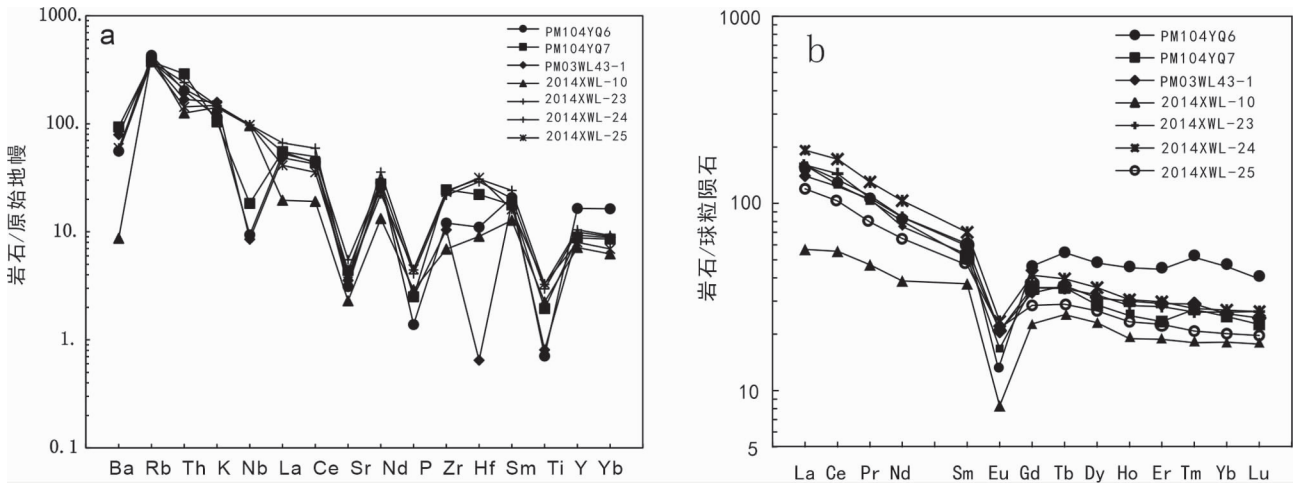


图 6 黑石山序列花岗岩微量元素蛛网图(a)及稀土元素分布模式图(b)

Fig. 6 Primitive-mantle normalized trace element patterns (a) and chondrite-normalized REE patterns (b)

79.08 × 10⁻⁶,为轻稀土富集型,稀土总量 128.06 × 10⁻⁶ ~ 302.81 × 10⁻⁶,平均值 219.74 × 10⁻⁶;La_N/Yb_N值介于 2.95 ~ 6.72 之间,平均 5.23,反映轻重稀土存在分馏明显;δEu 值介于 0.28 ~ 0.57 之间,平均值 0.44,显示比较明显的负 Eu 异常。

在球粒陨石标准化的稀土配分模式图上(图 6 b),稀土分配形式为“海鸥”型,样品的稀土元素分布为右倾式,曲线斜率不大,轻重稀土分异程度不高,轻稀土斜率略大,重稀土曲线近于平坦,说明轻稀土分馏较重稀土略强,与参数计算结果一致。所有样品在 Eu 处形成明显沟谷,存在显著的负 Eu 异常,反映岩浆源区存在强烈的斜长石的分离结晶。显示同源岩浆演化特征。

6 讨论

6.1 成岩条件

在花岗岩 Sr-Yb 图解(图 7 a)中,黑石山序列花岗岩所有样品均投入 V 区,在相应相图中反映该花岗岩形成于高温低压环境,在 Q-Ab-Or 三角图解(图 7 b)中,大多数样品投入高温低压区域,显示围岩压力约 0.5 GPa,成岩温度约 750°C,与前述 Sr-Yb 图解反映的成岩温压条件基本一致,成岩温度在 750° ~ 800° 之间。利用 K60 与地壳厚度关系的经验数学方程式计算得出岩体侵位时地壳厚度,正长花岗岩与二长花岗岩对应的计算结果接近,分别为 67.82 km、65.80 km,平均深度为 66.20 km。

6.2 岩石成因

黑石山序列在花岗岩 K₂O-Na₂O 成因判别图解中(图 8 a),绝大多数样品投入 A 型花岗岩区域,显示该侵入体具 A 型花岗岩特征;在 Nb-Y-Ce 图解

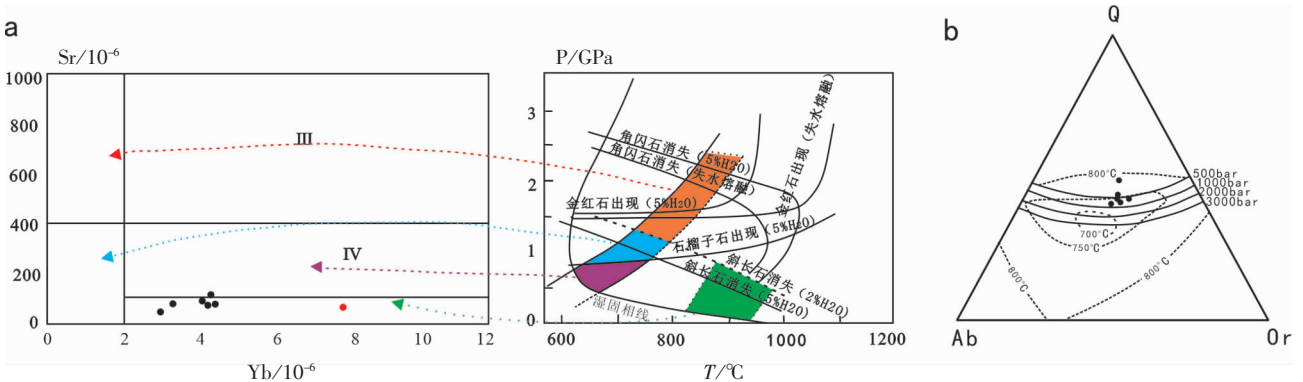


图 7 黑石山序列花岗岩成因、源岩及环境判别图解

Fig. 7 Petrogenesis, source rock and environmental discrimination of granite in Heishishan

a. Sr-Yb图解及相应相图(Defant and Drummond, 1990); b. Q-Ab-Or相图解(Platen等, 1969)

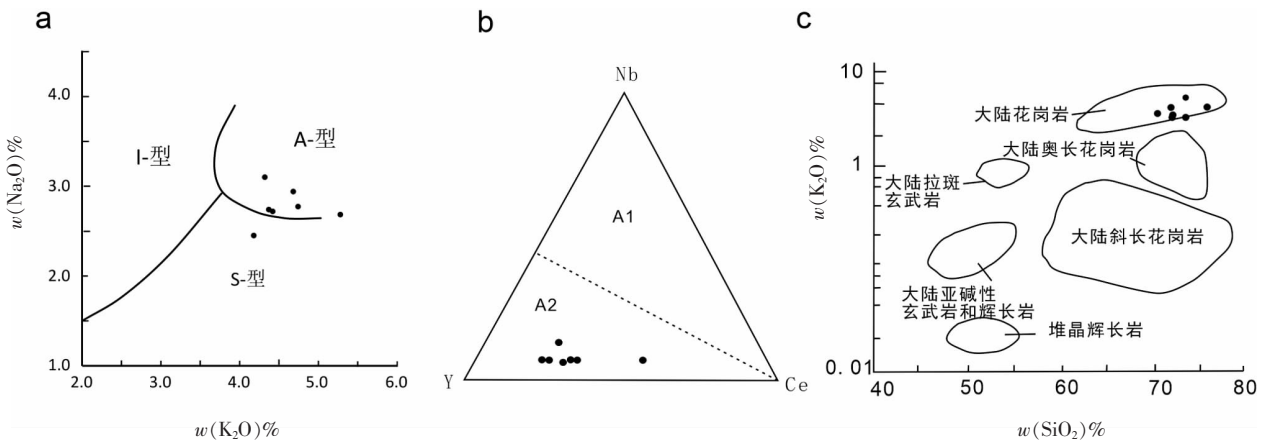


图 8 黑石山序列花岗岩成因类型判别图解

Fig. 8 Discriminant diagram of genetic type of granite in Heishishan

a. 花岗岩成因系列 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图解 (Collis等, 1982); b. A型花岗岩判别图解 (Eby, 1992); c. $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 判别图解 (Pearce, 1982)

(图 8 b) 中所有样品皆落入 A2 型花岗岩区, 在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图解 (图 8 c) 中, 样品均落入大陆花岗岩区, 说明该花岗岩属壳源花岗岩, 为造山后大陆壳熔融的产物。

6.3 构造意义

在花岗岩 $\text{Rb}-(\text{Y} + \text{Nb})$ 构造环境判别图 (图 9 a) 中, 所有样品全部投入碰撞后花岗岩区 (post-COLG), 在 $\text{Nb}-\text{Y}$ 图解 (图 9 b) 中, 绝大多数样品投入板内花岗岩 (WPG) 区和洋中脊斜长花岗岩 (ORG)

区, 说明黑石山序列花岗岩形成于碰撞造山期后板内拉张环境下, 为地壳熔融产生的 A2 型花岗岩。

结合区域构造演化, 研究区在中志留世发生碰撞挤压造山后, 至早泥盆世开始, 随着造山阶段结束, 区内处于俯冲碰撞后由挤压向伸展构造体系转换阶段, 该时期位于下地壳底部或壳幔过渡带附近发生玄武岩浆沿着壳幔边界或下地壳发生底侵 (或者拆沉) 作用, 垂向添加到地壳浅部引起上地壳物质部分熔融形成岩浆, 由于区域应力的释缓, 岩浆沿着构造薄弱带上升, 在上升的过程中, 经历

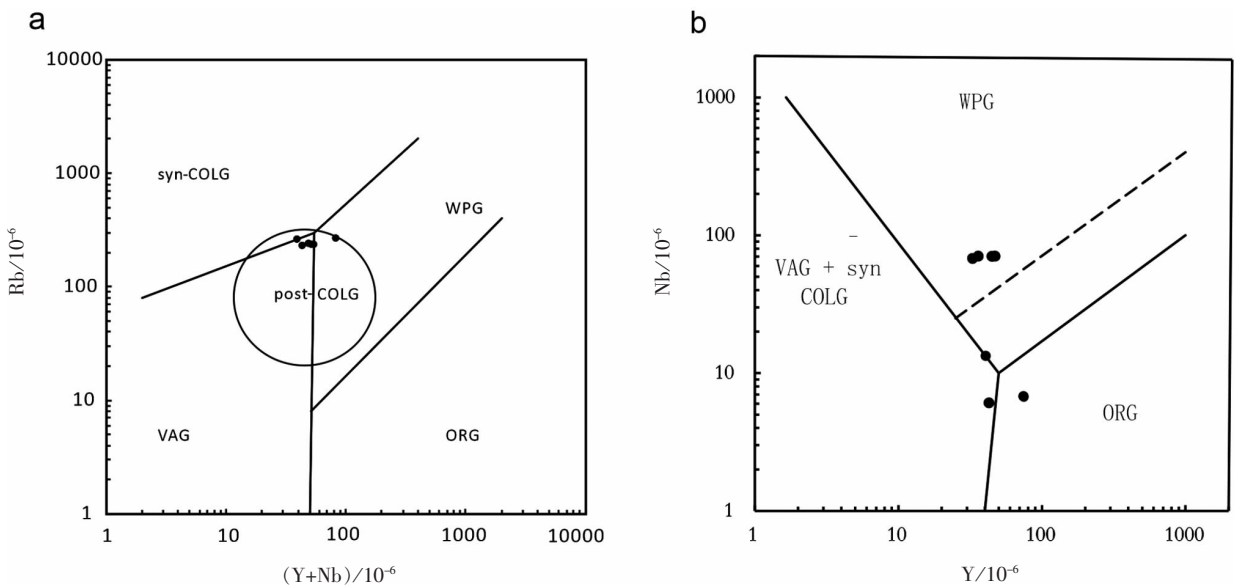


图 9 黑石山序列花岗岩构造环境判别图解

Fig. 9 Tectonic environment discrimination of granite in Heishishan

a. $\text{Rb}-(\text{Y} + \text{Nb})$ 图解 (Batchelor R A and Bowden P., 1984); b. $\text{Nb}-\text{Y}$ 图解 (Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G, 1984)

WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩; post-COLG—碰撞后花岗岩; ORG—大洋中脊斜长花岗岩

了早期形成的富镁铁质碱性岩石及长期表生旋回而高度成熟的陆缘碎屑沉积物同化混染作用,相应的陆缘弧在伸展构造体制下A型花岗岩侵入就位^[31-32]。

7 结论

(1)花岗岩锆石U-Pb测年结果表明,黑石山序列花岗岩成岩年龄值为(396.8 ± 0.71) Ma、(414.2 ± 0.69) Ma,形成时代为早泥盆世。

(2)岩石学及主微量元素特征表明:黑石山序列花岗岩岩石化学特征显示为碱性系列准铝质—过铝质岩石,岩石富集Rb、Th、Ta、Y,亏损Ba、Sr、P、Ba、Ti、Cr、Co、Ni,轻稀土分馏较重稀土略强,有显著的负Eu异常,斜长石的分离结晶好,具壳源花岗岩性质,其类型为A2型花岗岩。形成环境为早泥盆世造山后初始伸展体制下大陆地壳熔融的产物。

参 考 文 献

- [1] 甘肃省地质调查院. 中国区域地质志·甘肃志[M]. 北京:地质出版社,2021
- [2] 何世平,周会武,任秉信,等. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质,2005,38(3):6-15
- [3] 何世平,任秉信,姚文光,等. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. 西北地质,2002,35(4):30-40
- [4] 梁明宏,张新虎,刘建宏,等. 甘肃侵入岩及岩石构造组合特征[J]. 甘肃地质,2014,23(3):1-8
- [5] Li S, Wilde S A, Wang T. Early Permian post-collisional high-K Granitoids from Liuyuan area in southern Beishan Orogen, NW China: Petrogenesis and tectonic implications [J]. Lithos, 2013, 179:99-119
- [6] 赵泽辉,郭召杰,王毅. 甘肃北山柳园地区花岗岩类的年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 岩石学报,2007,23(8):1847-1860
- [7] 冯继承,张文,吴泰然,等. 甘肃北山桥湾北花岗岩体的年代学、地球化学及其地质意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012,48(1):61-70
- [8] 吕鑫,于晓飞,杜泽忠,等. 甘肃北山南带晚泥盆世岩浆事件: 锆石U-Pb年代学、地球化学和Sr-Nd-Hf同位素体系约束[J]. 岩石学报,2022,38(3):693-712
- [9] 计波,余吉远,郭琳,等. 甘肃北山中泥盆世哈尔特勒德花岗岩体的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质力学学报, 2017,23(3):358-368
- [10] 蒲万峰,严镜,汪宏涛,等. 甘肃金塔县碱—凹井岩体岩石地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质,2015,33(2):263-269
- [11] 孙海瑞,吕志成,于晓飞,等. 甘肃柳园地区早二叠世正长花岗岩脉锆石U-Pb年代学、岩石地球化学特征—对北山造山带晚古生代构造背景的指示[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020,50(5):1433-1449
- [12] 贺锋,许立权,苏宏伟,等. 内蒙古西部甜水井地区中二叠世A型花岗岩[J]. 西北地质,2004,37(3):7-14
- [13] 许伟,徐学义,卢进才,等. 北山野马井地区泥盆纪富钾酸性岩浆岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地球科学,2019,44(08):2775-2793
- [14] 赵国斌,李文明,杨合群,等. 内蒙盘陀山含钨花岗岩体地质地球化学特征及成因讨论[J]. 地质与勘探,2011,47(05):828-836
- [15] 郑小明,管浩,王宏伟,等. 甘肃北山红石山地区晚石炭世英云闪长岩锆石U-Pb年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 地质论评,2023,69(01):219-233
- [16] 杨镇熙,赵青虎,张晶,等. 甘肃北山地区黑山头石英二长闪长岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报,2022,41(06):1165-1177
- [17] 孙新春,王怀涛,李通国,等. 甘肃北山双峰山花岗闪长岩锆石LA-ICP-MS定年及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志,2021,40(02):171-184
- [18] 杨鑫,马宝军,张善明,等. 内蒙古北山盘陀山地区地质特征及成矿条件分析[J]. 西部资源,2016(05):66-67
- [19] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. GSA Bulletin, 1989, 101(5):635-643
- [20] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4):956-983
- [21] 王国辉,王志忠,严城民. 花岗岩成因类型划分与地球化学图解判别综述[J]. 云南地质,2019,38(01):28-37
- [22] 史长义,鄢明才,迟清华. 中国不同构造单元花岗岩类元素丰度及特征[J]. 地质学报,2007,81(01):47-59
- [23] 史长义,鄢明才,刘崇民,等. 中国不同岩石类型花岗岩类元素丰度及特征[J]. 物探化探计算技术,2005,27(03):256-262
- [24] 贾小辉,王强,唐功建. A型花岗岩的研究进展及意义[J]. 大地构造与成矿学,2009,33(03):465-480
- [25] Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects [J]. Lithos, 2007, 97(1-2):1-29
- [26] Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis [J]. Geological Magazine, 1969, 106(4):370-384
- [27] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95(4):407-419
- [28] 洪大卫,王式洸,韩宝福,等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. 中国科学(B辑 化学 生命科学 地学),1995,25(04):418-426
- [29] 赵泽南,魏民,杨建坤,等. 内蒙古阿巴嘎旗阿德拉嘎嘎长花岗岩锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 地质论评,2023,69(02):779-794
- [30] 胡鹏,段明,熊金莲,等. 内蒙古西乌旗沙尔哈达晚侏罗世A型花岗岩:地球化学特征、岩石成因与动力学背景[J]. 地质通报,2022,41(08):1394-1408

[31] 孙晓东,陈海云,于光宁. 内蒙古海拉斯图乌拉 A 型花岗岩年代学、地球化学特征及其构造意义 [J]. 现代地质, 2021, 35(05):1218-1230

[32] 陈超,滕学建,潘志龙,等. 内蒙古北山造山带中段石板井地区 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年龄及对北山洋闭合时间的限定[J]. 地质通报,2020,39(09):1448-1460

ZIRCON U-PB AGE, GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC SIGNIFICANCE OF HEISHISHAN A-TYPE GRANITE IN JINTA COUNTY OF GANSU PROVINCE

HUO Qin-zhi, YANG Wei-gang, WANG Hai-bo, LI Tong-yuan, WANG Xiao-cheng
(*Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Heishishan sequence granite is located in the northern margin of Jinta County, Gansu Province. It is composed of coarse-medium-grained biotite monzonitic granite, medium-fine-grained porphyritic monzonitic granite and medium-fine-grained syenogranite stage 3 rocks. The rock geochemistry shows that it is a highly alkaline and strongly peraluminous A type granite. The zircon U-Pb ages of 396.8 ± 0.71 Ma and 414.2 ± 0.69 Ma were obtained in the medium-fine grained porphyritic monzonitic granite and coarse-medium grained biotite monzonitic granite. The rocks are rich in Rb, Th, Ta and Y, and obviously depleted in Ba, Sr, P and Ti. The fractionation of light rare earth is slightly stronger than that of heavy rare earth, with significant negative Eu anomaly, reflecting the good separation and crystallization of plagioclase in the magma source area. It belongs to the nature of continental crust source granite rock, and the tectonic environment is the product of continental crust melting under the initial extensional system after Early Devonian orogeny.

Key words: A type granite; zircon U-Pb age; geochemical characteristics; Early Devonian Period; Gansu Province