

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

昆仑山南部西大滩盆北花岗岩的年龄与热历史

吴珍汉¹⁾, 胡道功¹⁾, 宋彪²⁾, 周春景¹⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

2) 北京离子探针中心, 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

内容提要:对南昆仑缝合带中段西大滩盆北花岗岩,应用不同的年代学方法,测定岩浆结晶时代和构造热事件年龄,分析构造地貌演化过程。应用离子探针方法,测出西大滩盆北花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄为196.4~212.1 Ma,平均年龄 204.1 ± 2.6 Ma,代表岩浆侵入结晶时代。西大滩盆北花岗岩的黑云母 K-Ar 和 Ar-Ar 同位素年龄为134.47~145.3 Ma,指示晚期韧性剪切变形时代。应用矿物对热年代学方法,揭示出204.1~134.47 Ma、57.67~26.0 Ma、26 Ma 以来3期构造热事件,降温速率分别为6.46°C/Ma、4.91°C/Ma、3.84°C/Ma,对应的隆升速率分别为0.21 mm/a、0.16 mm/a、0.13 mm/a;说明134.47~57.67 Ma 为缓慢降温和剥蚀夷平时期,对应的降温速率为0.64°C/Ma、差异隆升速率为0.02 mm/a。结合磷灰石裂变径迹测年和风火山群、五道梁群挤压缩短时代、区域伸展走滑起始年龄资料,推断昆仑山南部新生代山脉快速隆升发生于渐新世—中新世早期,估算隆升速率达0.26 mm/a。

关键词:离子探针 U-Pb 同位素测年;矿物对热年代学分析;西大滩盆北花岗岩;昆仑山南部

青藏高原碰撞造山与构造地貌演化过程是国际地球科学领域的重要研究内容,受到国内外地质学家的关注(Dewey et al., 1988; 潘裕生等, 1998; 钟大赟等, 1996; 肖序常等, 2000; 尹安, 2001; Tapponnier et al., 2001)。昆仑山作为青藏高原北部重要的构造地貌单元,其研究对发展青藏高原大陆动力学理论具有特殊意义。前人对昆仑山地区进行了区域构造分析(青海省地质矿产局, 1991; 李廷栋等, 1996; 尹安, 2001; 郭宪璞等, 2003; 潘桂棠等, 2004)、深部探测(崔作舟, 1996; 吴功健, 1996; Wei et al., 2002)与活动断裂研究(Kidd et al., 1990; 任金卫等, 1993; 青海省地震局等, 1999; Van der Woerd et al., 2000, 2002; Tapponnier et al., 2001),厘定出西大滩韧性推覆剪切带(崔军文等, 1996),对西大滩花岗岩进行了同位素测年和成因分析(柴耀楚等, 1984; 陈文等, 2002),提出欧亚大陆板块沿昆仑山向南俯冲模式(高锐等, 1996)。但前人对昆仑造山带的深部探测精度和地质研究程度低于喜马拉雅造山带,缺乏地壳结构和深部构造的高精度深反射资料,对区域构造样式、碰撞造山过程、山脉

隆升历史存在不同认识,亟待加强工作。本文在横穿昆仑造山带路线地质观测的基础上,对西大滩盆北花岗岩进行了锆石离子探针测年及矿物对热年代学测试,为分析昆仑山南部岩浆侵入时代、岩体热演化历史和山脉隆升过程提供基础资料和地质依据。

1 区域地质背景

青藏高原地质构造与特提斯古大洋的扩张增生、俯冲消减存在密切关系。青藏高原自北向南发育南昆仑缝合带(SKS)、可可西里—金沙江缝合带(HJS)、班公湖—怒江缝合带(BNS)与雅鲁藏布江缝合带(YZS)(图1)。青藏高原南部为喜马拉雅山脉,发育印度大陆北向俯冲形成的主边界逆冲断裂系(MBF)、主中央逆冲断裂系(MCT)、藏南拆离系(STD)(Zhao et al., 1993);青藏高原北部为昆仑山脉,发育多期构造变形、岩浆活动、变质作用,形成复杂的区域构造格局(青海省地质矿产局, 1991; 李廷栋等, 1996; 潘桂棠等, 2004)。昆仑山南侧为海拔高达4500~5000 m 的青藏高原,北侧为海拔仅2500~2800m的柴达木盆地。南昆仑缝合带(SKS)位于昆

注:本文为国际合作 INDEPTH-IV 项目及国家重点基础研究发展规划2001CB711001子项目部分研究成果。

收稿日期:2004-11-24;改回日期:2005-05-31;责任编辑:刘淑春。

作者简介:吴珍汉,1965年生,博士,研究员。长期从事青藏高原地质调查与大陆动力学研究工作。通讯地址:100081,中国地质科学院地质力学研究所。

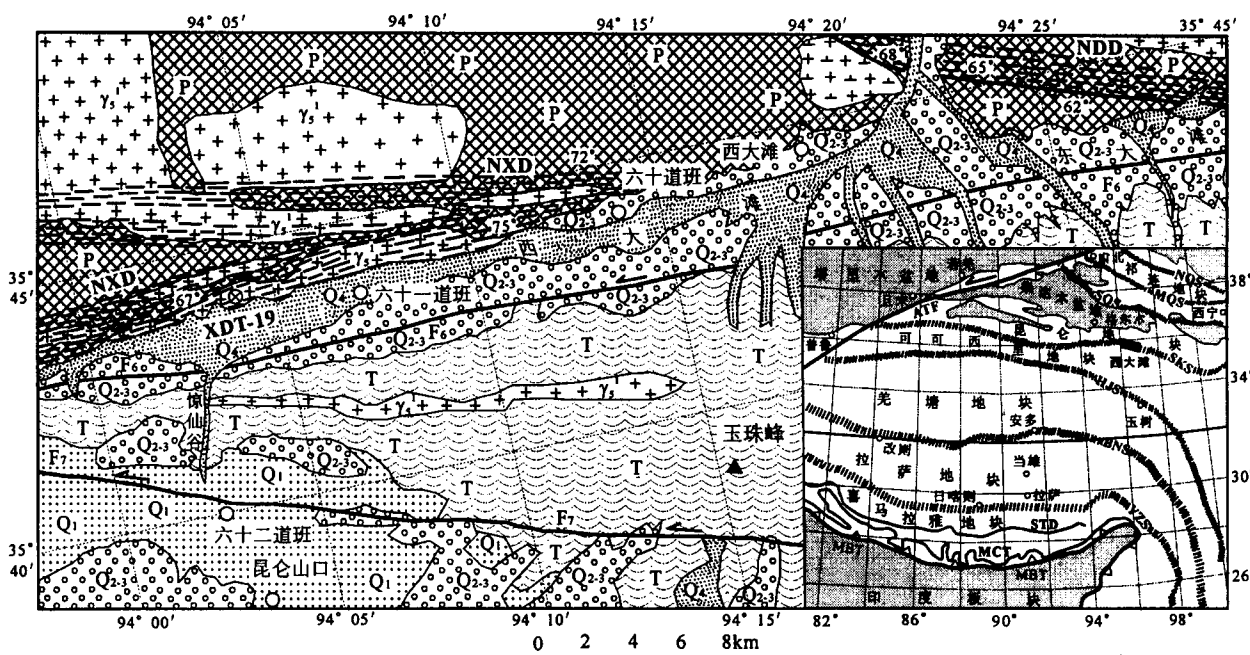


图 1 昆仑山南部西大滩地区地质图

Fig. 1 Geologic map of Xidatan area within south Kunlun Mts. in north of the Xizang (Tibetan) Plateau

NXD—西大滩北韧性剪切带;NDD—东大滩北韧性剪切带;XDT-19—取样位置;Q₄—全新世冲洪积砂砾石层;Q₂₋₃—中—晚更新世冰碛、冰水沉积砂砾石;Q₁—早更新世湖相泥砂质沉积;T—三叠系板岩;P—二叠纪浅变质砂砾岩;γ₃—印支期花岗岩;F₆—西大滩走滑断裂;F₇—昆仑山南缘库赛湖走滑断裂;NQS—北祁连缝合带;MQS—祁连山中部缝合带;SQS—南祁连缝合带;SKS—南昆仑缝合带;HJS—可可西里—金沙江缝合带;BNS—班公湖—怒江缝合带;YZS—雅鲁藏布江缝合带;ATF—阿尔金山走滑断裂系;STD—藏南拆离系;MCT—主中央逆冲断裂系;MBT—主边界逆冲断裂系

NXD—North Xidatan ductile shear zone; NDD—north Dongdatan ductile shear zone; XDT-19—sampling location; Q₄—Holocene fluvial and alluvial sands and pebbles; Q₂₋₃—Middle-Late Pleistocene moraine and glacial-flood deposits of sands and pebbles; Q₁—Early Pleistocene lacustrine sandy deposits; T—Triassic slate; P—Permian low-grade metamorphic sandstone and conglomerate; γ₃—Triassic granite; F₆—Xidatan strike-slip fault; F₇—Kusai Lake strike-slip fault; NQS—north Qilian suture; MQS—middle Qilian suture; SQS—south Qilian suture; SKS—south Kunlun suture; HJS—Hohxil—Jinsha suture; BNS—Bangoin—Nujiang suture; YZS—Yarlung Zangbo suture; ATF—Altyn Tagh fault; STD—south Xizang (Tibet) detachment; MCT—main central thrust; MBT—main boundary fault

昆仑山南部,由北西西向逆冲断层、褶皱构造、韧性剪切带和岩浆侵入体、变质岩片组成,第四纪发育东昆仑走滑断裂系,构成可可西里地块与昆仑地块的重要边界(图1)。西大滩盆地位于南昆仑缝合带(SKS)中段,由西大滩谷地和东大滩谷地组成;南侧为玉珠峰雪山,出露三叠纪浅变质砂板岩,原岩为复理石建造,发育库赛湖走滑断裂(F₇);北侧为昆仑山主脉,发育北西西向逆冲断裂、韧性剪切带和紧闭褶皱构造,出露浅变质砂砾岩、千枚岩、片岩和不同规模的岩浆侵入岩(图1)。西大滩盆地南部发育西大滩走滑断裂(F₆),与库赛湖走滑断裂(F₇)呈斜接复合关系,同属东昆仑左旋走滑断裂系的重要组成部分。

西大滩盆地北韧性剪切带是南昆仑缝合带(SKS)的重要构造型式,走向以北西西向为主,局部呈近东

西走向,包括东大滩北侧韧性剪切带(NDD)和西大滩北侧韧性剪切带(NXD),穿切不同时代、不同类型的岩石单元(图1)。在西大滩东北侧,NDD韧性剪切带穿切二叠纪浅变质砂砾岩,形成宽达千余米的糜棱岩,糜棱岩片理强烈置换原岩沉积层理,形成构造片岩(图版 I-1);其中砾石发生强烈的塑性变形,发育眼球状构造、S-C组构和片理构造,形成构造成因千枚岩和片岩(图版 I-2)。西大滩盆地北韧性剪切带具有左旋斜冲运动特征,眼球状糜棱岩对剖面方向的逆冲运动和水平方向的左旋走滑运动具有指向意义(图版 I-3,4)。在西大滩盆地北侧,NXD韧性剪切带穿切花岗岩侵入体,导致部分花岗岩发生韧性剪切变形,形成花岗质糜棱岩和糜棱岩化花岗岩(图版 I-5),其中长石眼球体发育碎斑结构,石英具

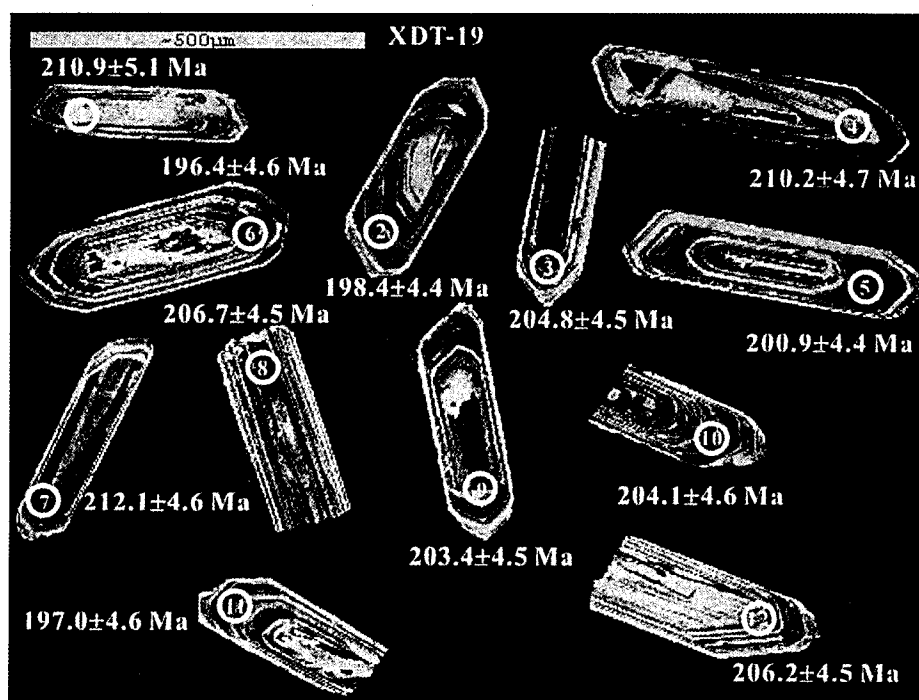


图2 西大滩盆北花岗岩锆石阴极发光形态及离子探针测点位置

Fig. 2 Photos of zircons from north Xidatan granite for U-Pb isotopic dating by CL and BSE

有波状消光和动态重结晶、亚颗粒结构,云母呈明显的定向分布,局部发育“云母鱼”构造,指示NXD的左旋斜滑运动。根据韧性剪切带对花岗岩的穿切关系,推断西大滩盆北韧性剪切变形发生于西大滩盆北花岗岩侵位结晶期后。

西大滩盆北花岗岩位于61道班北侧,呈近东西走向、长条状侵入于二叠纪浅变质火山—沉积岩系;向北与更大规模的花岗岩侵入体断续相连,之间隔以NXD韧性剪切带(图1);向南潜入西大滩盆地,上覆第四纪冰碛、冰水沉积和冲洪积成因松散砂砾石。岩性为灰色中粗粒黑云母二长花岗岩,主要矿物组成包括黑云母20%~25%、斜长石30%~35%、钾长石20%~25%、石英20%~25%;发育似斑状构造,斑晶以斜长石、钾长石为主,斑晶含量小于15%。西大滩盆北花岗岩被NXD韧性剪切带穿切(图1),岩体内部普遍发生不同程度的韧性剪切变形,导致黑云母和钾长石斑晶的定向分布(图版I-5),曾被前人称为片麻状花岗岩(柴耀楚等,1984;崔军文等,1996)。

2 年代学测试分析

西大滩盆北花岗岩样品XDT-19采自西大滩西

部惊仙谷北侧(图1)人工采石场,岩石新鲜,未发生明显的风化作用。按常规方法对测试矿物进行初选后,采用人工方法在双目镜下挑选锆石、黑云母、钾长石和磷灰石4种单矿物,分选出来的矿物粒径为0.2~0.3 mm,均未发生明显蚀变。锆石以自形一半自形柱状晶体为主,呈浅黄色—无色,晶面光滑,晶棱平直;阴极发光影像显示清晰的自形生长环带(图2),属比较典型的岩浆结晶锆石。对分选出来的单颗粒锆石,应用离子探针方法作U-Pb同位素测年和裂变径迹测年,对钾长石和黑云母作K-Ar法同位素测年。

2.1 锆石离子探针U-Pb同位素测年

将挑纯、待测的锆石颗粒与一片RESE参考样SL13及数粒TEM置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,进行阴极发光(CL)、背散射电子成像(BSE)(图2)及随后的SHRIMP U-Pb分析。阴极发光(CL)、背散射电子成像(BSE)在中国地质科学院矿产资源研究所的牛津MiniCL阴极发光探测器上完成(周剑雄等,2002)。

SHRIMP锆石U-Pb分析在北京离子探针中心SHRIMP II上完成,详细分析流程和原理参考宋彪等(2002)及Williams等(1987)。测试中使用标准锆

表 1 西大滩盆北花岗岩锆石 U-Pb 同位素 SHRIMP 测年表
Table 1 SHRIMP U-Pb isotopic dating of zircons from north Xidatan granite

序号	Pb _c (%)	U (×10 ⁻⁶)	Th (×10 ⁻⁶)	Th/U	²⁰⁶ Pb* (×10 ⁻⁶)	放射性同位素比值						年龄 (Ma)
						²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
W19-1	2.13	421	225	0.55	12.3	0.0474	11	0.217	11	0.03326	2.4	210.9±5.1
W19-2	0.58	1363	387	0.29	36.8	0.0493	3.3	0.2126	4.0	0.03125	2.2	198.4±4.4
W19-3	0.35	1312	417	0.33	36.5	0.0501	3.0	0.2230	3.8	0.03228	2.2	204.8±4.5
W19-4	0.80	891	343	0.40	25.6	0.0476	6.0	0.217	6.4	0.03314	2.3	210.2±4.7
W19-5	0.31	1718	1298	0.78	46.9	0.0506	2.3	0.2210	3.2	0.03165	2.2	200.9±4.4
W19-6	1.85	476	162	0.35	12.9	0.0443	9.6	0.189	9.9	0.03093	2.4	196.4±4.6
W19-7	0.39	2237	638	0.29	64.5	0.0492	2.3	0.2268	3.2	0.03345	2.2	212.1±4.6
W19-8	0.39	1949	809	0.43	54.8	0.0488	2.3	0.2191	3.2	0.03259	2.2	206.7±4.5
W19-9	0.48	1465	517	0.36	40.5	0.0490	3.5	0.2164	4.1	0.03205	2.2	203.4±4.5
W19-10	0.76	888	282	0.33	24.7	0.0471	6.2	0.209	6.6	0.03217	2.3	204.1±4.6
W19-11	1.76	482	301	0.64	13.1	0.0451	9.7	0.193	10	0.03103	2.4	197.0±4.6
W19-12	0.48	1595	616	0.40	44.8	0.0487	2.8	0.2182	3.6	0.03251	2.2	206.2±4.5

注:加权平均年龄为204.1±2.6 Ma,测点数 N=12,MSWD=1.3;Pb_c表示普通铅,²⁰⁶Pb*表示放射性成因铅同位素。

表 2 西大滩盆北花岗岩黑云母和钾长石 K-Ar 法
同位素年龄表

Table 2 K-Ar isotopic dating of biotite and K-feldspar
from north Xidatan granite

测试对象	K (%)	⁴⁰ K (μmol/g)	⁴⁰ Ar _{rad} (nmol/g)	⁴⁰ Ar _{rad} (%)	⁴⁰ Ar _{rad} / ⁴⁰ K	年龄 (Ma)
黑云母	7.57	0.2259	1.833	96.92	0.0081120	134.47±1.96
钾长石	11.33	0.3382	1.129	95.74	0.0033393	56.57±0.82

注:测试分析过程中采用参数:γ=5.543×10⁻¹⁰/a,γ_c=0.581×10⁻¹⁰/a,γ_p=4.962×10⁻¹⁰/a,n(⁴⁰K)/n(K)=1.167×10⁻⁴。

石 SL13 和 TEM。SL13 年龄为 572 Ma, U 含量为 238 μg/g, 用于标定所测定的未知样品的 U 含量; TEM 年龄为 417 Ma, 用于校正所测定的未知样品的年龄。在样品测定过程中, TEM 和未知样品交替测定, 其比例为 1:3。测定的 TEM 重现性为 2%。数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISOPLOT 程序 (Ludwig, 1999, 2001)。普通铅根据实测 ²⁰⁴Pb 校正。测试数据详见表 1, 所列单个数据点的误差均为 1σ, 加权平均年龄具有 95% 的置信度。各锆石颗粒的离子探针测点位置和 U-Pb 同位素测年结果如图 2。

2.2 其他方法测年

将西大滩盆北花岗岩分选出的黑云母与钾长石单矿物进行 K-Ar 同位素测年, 测试分析在中国石油勘探开发研究院 K-Ar 同位素实验室完成。使用仪器为 MM5400 静态真空质谱计, 将样品加热到 1500℃ 左右进行融化, 同时加入准确定量的 ³⁸Ar 稀释剂, 测定混合稀释剂后的同位素比值 (⁴⁰Ar/³⁸Ar)_m 和 (³⁸Ar/³⁶Ar)_m, 求出样品放射成因 ⁴⁰Ar, 再根据样品的 K 含量计算表面年龄。将西大滩盆北花岗岩的 K-Ar 同位素测年结果列于表 2。

将西大滩盆北花岗岩分选出的磷灰石单矿物进

表 3 西大滩盆北花岗岩磷灰石裂变径迹测年表

Table 3 Fission track dating of apatite from
north Xidatan granite

序号	Ns	Ni	Na	Ratio	U (×10 ⁻⁶)	RHOs	RHOi	年龄 (Ma)
1	5	62	100	0.081	5.2	5.000E+4	6.200E+5	20.9±9.9
2	7	68	100	0.103	5.7	7.000E+4	6.800E+5	26.7±10.8
3	1	35	100	0.029	2.9	1.000E+4	3.500E+5	7.4±7.5
4	3	47	80	0.064	4.9	3.750E+4	5.875E+5	16.5±9.9
5	3	41	80	0.073	4.3	3.750E+4	5.125E+5	19.0±11.4
6	4	39	100	0.103	3.3	4.000E+4	3.900E+5	26.6±14.1
7	7	54	70	0.130	6.5	1.000E+5	7.714E+5	33.5±13.8
8	4	46	60	0.087	6.4	6.667E+4	7.667E+5	22.5±11.9
9	2	43	60	0.047	6.0	3.333E+4	7.167E+5	12.1±8.8
10	3	38	100	0.079	3.2	3.000E+4	3.800E+5	20.4±12.4
11	1	23	50	0.043	3.9	2.000E+4	4.600E+5	11.3±11.6
12	4	34	70	0.118	4.1	5.714E+4	4.857E+5	30.5±16.3
13	5	48	70	0.104	5.8	7.143E+4	6.857E+5	27.0±12.9
14	3	32	70	0.094	3.8	4.286E+4	4.571E+5	24.3±14.8
15	9	78	80	0.115	8.2	1.125E+5	9.750E+5	29.9±10.8
16	10	84	100	0.119	7.1	1.000E+5	8.400E+5	30.8±10.6
17	27	172	100	0.157	14.4	2.700E+5	1.720E+6	40.6±9.1
18	3	34	100	0.088	2.9	3.000E+4	3.400E+5	22.9±13.9
19	5	49	60	0.102	6.9	8.333E+4	8.167E+5	26.4±12.6
20	4	38	100	0.105	3.2	4.000E+4	3.800E+5	27.3±14.5
21	5	53	100	0.094	4.4	5.300E+4	5.300E+5	24.4±11.6
22	3	35	100	0.086	2.9	3.000E+4	3.500E+5	22.2±13.5
23	5	72	70	0.069	8.6	7.143E+4	1.209E+6	18.0±8.5
24	4	41	100	0.098	3.4	4.100E+4	4.100E+5	25.3±13.4

注: Ns—单颗粒自发径迹数; Ni—单颗粒诱发径迹数; Na—单颗粒测试面积格数; Ratio—单颗粒自发径迹与诱发径迹比值; U—单颗粒轴含量; RHOs—自发径迹密度; RHOi—诱发径迹密度; 统计单位格面积为 ×10⁻⁶ cm²; 测试颗粒相关系数为 0.967; 自发径迹方差为 0.6913794; 诱发径迹方差为 281379。Zeta 标定选用国际标样 SRM612 玻璃, Zeta=354.2±29。Pooled age=26.0±3.2Ma, Central age=26.0±2.5Ma, 方差为 2.86%。

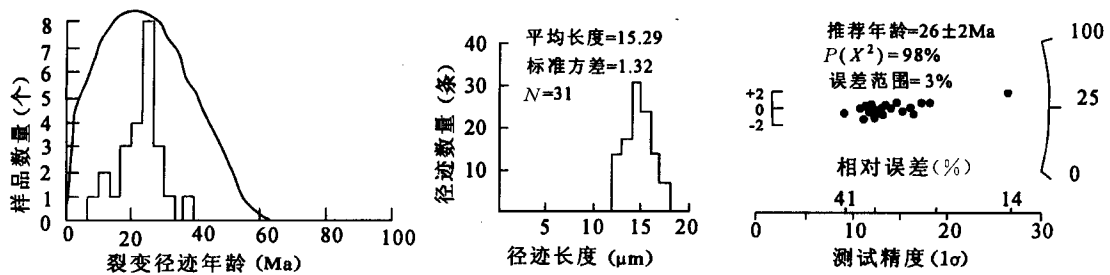


图3 西大滩盆北花岗岩磷灰石裂变径迹及年龄统计分布图

Fig. 3 Statistic pattern of fission track length and age of apatites from north Xidatan granite

行裂变径迹测年,由中国地震局地质研究所裂变径迹实验室协助完成,采用外探测器法和Zeta法标准测试流程。磷灰石蚀刻条件为7% HNO_3 、室温,蚀刻时间为40 s;外探测器采用低铀含量白云母,蚀刻条件为40% HF 、室温,蚀刻时间为20 min。Zeta标定选用国际标准样,标准玻璃为美国国家标准局SRM₆₁₂玻璃。样品送中国原子能科学研究院492反应堆进行辐射,径迹统计采用OLYMPUS偏光显微镜在放大1000倍油浸条件下完成。西大滩盆北花岗岩的磷灰石裂变径迹测年结果详见表3,统计分析如图3。

3 U-Pb 同位素年龄的地质意义

西大滩盆北花岗岩12颗结晶锆石的年龄分布范围较小,年龄值比较集中(图4)。自形锆石的最大年龄值为 212.1 ± 4.6 Ma,最小年龄值为 196.4 ± 4.6 Ma,加权平均值为 204.1 ± 2.6 Ma,MSWD=1.3,说明锆石结晶时代为196.4~212.1 Ma,平均年龄为 204.1 ± 2.6 Ma(图4、表1)。锆石U-Pb测年结果与西大滩盆北花岗岩侵入二叠纪浅变质岩的地质事实基本吻合,揭示西大滩盆北花岗岩的结晶侵位时代为印支晚期。由于西大滩盆北花岗岩属南昆仑缝合带(SKS)的组成部分,其锆石U-Pb同位素测年资料为分析SKS的形成时代提供了重要的年代学依据,反映昆仑山南部SKS俯冲消减及相关构造热事件(花岗岩侵位)的发生时代为印支晚期,晚于可可西里—金沙江缝合带古大洋板块的俯冲时代(潘裕生等,1998;肖序常等,2000),早于班公湖—怒江缝合带板块俯冲事件(李廷栋等,1996)。

4 矿物对热年代学分析

对取自西大滩盆北的中粗粒黑云母二长花岗岩进行热年代学分析,不同矿物的测年资料详列于表1~3。矿物年龄的封闭温度取自前人实验资料;锆石

U-Pb年代学封闭温度取 $750^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ (Wagner, 1992, 1998),黑云母K-Ar法封闭温度取 $300^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 或 $300 \sim 350^\circ\text{C}$ (Harrison et al., 1979),钾长石K-Ar法封闭温度取 $250^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ (Harrison et al., 1979),磷灰石裂变径迹法封闭温度为 $100^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ (Wagner, 1992, 1998)。地温梯度取大陆地壳平均值 $30^\circ\text{C}/\text{km}$ 进行分析。将不同方法的测年数据和封闭温度联系在一起,作矿物对热年代学曲线(图5),分析西大滩盆北花岗岩的热历史,半定量揭示构造地貌演化过程。

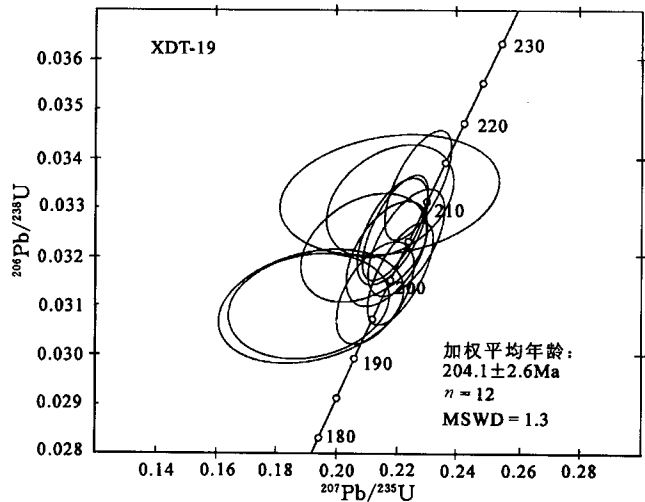


图4 西大滩盆北花岗岩锆石U-Pb同位素谱和曲线图

Fig. 4 Concordia plot of SHRIMP U-Pb data of zircon from north Xidatan granite

根据矿物对的热年代学资料,分析西大滩盆北花岗岩的岩浆热演化过程(图5)。三叠纪晚期196.4~212.1 Ma(平均 204.1 ± 2.6 Ma),由于板块俯冲消减和逆冲推覆构造运动,导致地壳内部发生局部熔融和岩浆侵位,在南昆仑缝合带(SKS)形成西大

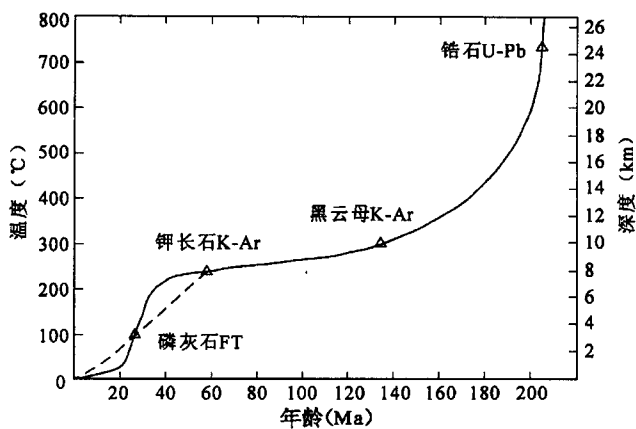


图5 西大滩盆北花岗岩热年代学曲线图

Fig. 5 Thermo-chronological diagram of north Xidatan granite

滩盆北花岗岩。西大滩盆北花岗岩在204.1 Ma(锆石 U-Pb 年龄)~134.47 Ma(黑云母 K-Ar 年龄)发生早期快速冷却和构造隆升事件,温度自750°C(锆石 U-Pb 法封闭温度)降低到300°C(黑云母 K-Ar 法封闭温度),平均降温速度约6.46°C/Ma,对应的平均差异隆升速率为0.21 mm/a。由于岩浆结晶初期与围岩之间存在显著温差,热平衡效应和岩浆自然冷却过程对降温速率具有一定贡献,因此实际差异隆升速率应小于0.21 mm/a。自134.47 Ma(黑云母 K-Ar 年龄)至56.67 Ma(钾长石 K-Ar 法年龄),西大滩盆北花岗岩处于长期缓慢的冷却降温过程,温度自300°C(黑云母 K-Ar 法封闭温度)缓慢降低到250°C(钾长石 K-Ar 法封闭温度),平均降温速率为0.64°C/Ma,对应的差异隆升速率为0.02 mm/a。自56.67 Ma(钾长石 K-Ar 法年龄)至26.0 Ma(磷灰石裂变径迹年龄),西大滩盆北花岗岩发生比较快速的冷却降温过程,温度自250°C(钾长石 K-Ar 法封闭温度)快速降低到100°C(磷灰石裂变径迹封闭温度),平均降温速率为4.91°C/Ma,对应的差异隆升速率为0.16 mm/a。自26.0 Ma(磷灰石裂变径迹年龄)以来,西大滩盆北花岗岩的温度自100°C(磷灰石裂变径迹封闭温度)比较快速地降低到0°C(现今地表温度),平均降温速率约3.84°C/Ma,对应的平均差异隆升速率为0.13 mm/a。

5 结论与讨论

对西大滩盆北花岗岩,应用离子探针方法,测出具有自形环带结构的岩浆锆石 U-Pb 同位素年龄为196.4~212.1 Ma,平均年龄204.1±2.6 Ma,对应

于岩浆侵位结晶时代,反映昆仑山南部 SKS 俯冲消减和相关构造热事件的发生时代为印支晚期。锆石离子探针 U-Pb 同位素年龄(204.1±2.6 Ma)小于陈文等(2002)测出的锆石蒸发-沉积法 U-Pb 同位素年龄(228~229)Ma。黑云母 K-Ar 法同位素年龄(134.47±1.96 Ma)略小于陈文等(2002)激光微区³⁹Ar-⁴⁰Ar 测出的黑云母年龄(145.3±0.6 Ma),两者应同属晚期构造热事件年龄。由于黑云母 K-Ar、Ar-Ar 同位素封闭温度仅为300°C±50°C或300~350°C(Harrison et al., 1979),低于韧性剪切变形温度(300~350°C),而 NXD 韧性剪切变形对西大滩盆北花岗岩具有显著的改造作用(图1、图版 I-5),因此推断西大滩盆北花岗岩黑云母 K-Ar 与 Ar-Ar 同位素年龄(134.47~145.3 Ma)反映西大滩盆北 NXD 韧性剪切变形的发生时代。

西大滩盆北花岗岩的热历史较好地揭示了昆仑山南部构造地貌演化过程,反映3期快速山脉隆升事件,揭示出204.1~134.47 Ma, 57.67~26.0 Ma, 26 Ma 以来三期构造热事件,降温速率分别为6.46°C/Ma、4.91°C/Ma、3.84°C/Ma,对应的隆升速率分别为0.21 mm/a、0.16 mm/a、0.13 mm/a。印支晚期—燕山早期(204.1~134.47 Ma)的山脉快速隆升与南昆仑缝合带(SKS)的逆冲推覆(图1)、韧性剪切变形(图版 I-3~5)、褶皱变形及地壳缩短增厚存在动力学成因联系;喜马拉雅早期(57.67~26.0 Ma)的山脉快速隆升与青藏高原北部风火山群褶皱变形、逆冲推覆导致的地壳缩短增厚时代相近,可能存在动力学成因联系;喜马拉雅晚期(26.0 Ma 以来)的山脉快速隆升与中新世五道梁群及多格错仁中新世红层的褶皱变形(吴珍汉等,2002)时代相近,可能存在动力学成因联系。西大滩地区印支晚期—燕山早期快速隆升形成的古山岳地貌经历了134.47~56.67 Ma 的长期缓慢剥蚀,基本夷平;昆仑山南部的现代山岳地貌应该是喜马拉雅期地壳挤压缩短和构造隆升的产物。根据区域地质资料,风火山群红层沉积时代为晚白垩世—始新世(青海省地质矿产局,1991),推断青藏高原北部喜马拉雅早期的地壳挤压缩短和山脉隆升开始时代应晚于始新世;青藏高原北部自13.5 Ma 开始发生地壳伸展(Blisniuk et al., 2001),自4~5 Ma 发生广泛的地壳伸展走滑运动(吴珍汉等,2001);在地壳伸展走滑时期形成的地层如昆仑山口早更新世湖相沉积没有发生显著的褶皱变形,地层呈近水平产状(图版 I-6),地壳缩短增厚和快速隆升时代应早于地壳伸展走滑时代(Dewey

et al., 1988)。综合矿物对热年代学资料和区域地质资料,结合磷灰石裂变径迹年龄(表3),推断昆仑山南部山脉快速隆升时代为渐新世—中新世早期(33.5~11.3 Ma),峰值年龄为26 Ma(图3、5),估算隆升速率为0.26 mm/a。这些资料对深化认识昆仑山南部的构造演化历史和山脉隆升过程具有重要意义。

尽管西大滩盆北花岗岩的测年资料为分析南昆仑缝合带(SKS)构造变形时代、岩浆热历史和构造地貌演化过程提供了重要依据,但依据西大滩盆北花岗岩的现有年代学测试分析资料尚不足以揭示南昆仑缝合带(SKS)构造变形和地壳缩短的详细过程;矿物对热年代学方法也只能粗略地描述热演化和山脉隆升历史,估算的隆升速率包括隆升速率和剥蚀速率,估算误差较大;如果能够对不同高度的花岗岩进行磷灰石裂变径迹测年,将获得山脉隆升过程的详细观测资料(王彦斌等,1998;吴中海等,2003)。相关认识有待于更多观测资料的补充和验证。

参 考 文 献

- 柴耀楚,冯秉贵,杨经绥. 1984. 东昆仑中段西大滩花岗岩的基本特征及其成因探讨. 见: 青藏高原地质论文集(15). 北京: 地质出版社, 79~90.
- 陈文, 郭彦如, 崔彬, Arnaud N, 张建新, 张彦. 2002. 东昆仑西大滩岩系变质和变形事件的同位素年代学研究. 地质论评, 48(增刊): 103~109.
- 崔军文, 武常得, 朱红, 唐哲民, 邓宗策, 冯晓枫. 1996. 青藏高原岩石圈变形及其动力学. 见: 中国地质科学院岩石圈研究中心、地质矿产部地质研究所著. 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 58~59.
- 崔作舟. 1996. 地壳—上地幔速度结构及深部构造. 见: 中国地质科学院岩石圈研究中心、地质矿产部地质研究所著. 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 126~137.
- 高锐, 吴功建. 1996. 地球物理综合解释模型与现今地球动力学过程. 见: 中国地质科学院岩石圈研究中心、地质矿产部地质研究所著. 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 138~148.
- 郭宪璞, 王乃文, 丁孝忠. 2003. 青海东昆仑纳赤台群基岩系统与外来系统. 地质通报, 22(3): 160~164.
- 李廷栋, 肖序常. 1996. 青藏高原地体构造分析. 见: 中国地质科学院岩石圈研究中心、地质矿产部地质研究所著. 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 6~13.
- 潘桂棠, 丁俊. 2004. 青藏高原及邻区地质图(附说明书). 成都: 成都地图出版社.
- 潘裕生, 孔祥儒, 钟大赟. 1998. 高原岩石圈结构、演化和动力学. 见: 孙鸿烈, 郑度编. 青藏高原形成演化与发展. 广州: 广东科技出版社, 1~71.
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省地质志. 北京: 地质出版社.
- 青海省地震局, 中国地震局地壳应力研究所. 1999. 东昆仑活动断裂带. 北京: 地震出版社, 1~186.
- 任金卫, 汪一鹏, 吴章明, 叶建青. 1993. 青藏高原北部库玛断裂东西大滩段全新世地震形变带及其位移特征和水平滑移速率. 地震地质, 15(3): 285~288.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(增刊): 26~30.
- 王彦斌, 王军, 王世成. 1998. 喜马拉雅地区聂拉木花岗岩快速抬升的裂变径迹证据. 地质论评, 44(4): 430~434.
- 吴功建. 1996. 岩石圈结构构造及其动力学. 见: 中国地质科学院岩石圈研究中心、地质矿产部地质研究所著. 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 149~159.
- 吴珍汉, 吴中海, 江万, 周继荣. 2001. 中国大陆及邻区新生代构造—地貌演化过程与机理. 北京: 地质出版社, 37~99.
- 吴珍汉, 江万, Doug Nelson, Bill Kidd. 2002. 藏北多格错仁红层及孢粉组合特征. 现代地质, 16(3): 225~231.
- 吴中海, 吴珍汉. 2003. 燕山及邻区山脉隆升历史的低温热年代学分析. 地质学报, 77(3): 399~406.
- 肖序常, 李廷栋. 2000. 青藏高原的构造演化与隆升机制. 广州: 广东科技出版社.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化. 地球学报, 22(3): 193~230.
- 周剑雄, 陈振宇. 2002. 锆石等测年矿物的电子探针及阴极射线致发光综合研究新方法. 地质论评, 48(增刊): 31~35.
- 钟大赟, 丁林. 1996. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨. 中国科学(D辑), 26(4): 289~295.

References

- Blisniuk M P, Hacker R B, Glodny J, et al. 2001. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5Ma ago. *Nature*, 412: 628~632.
- Chen Wen, Guo Yanru, Cui Bin, Arnaud N, Zhang Jianxin, Zhang Yan. 2002. Research on the isotopic ages of the deformations and metamorphisms of the Xidatan rocks series, East Kunlun Mountains. *Geological Review*, 48(supp.): 103~109 (in Chinese with English abstract).
- Dewey J F, Shackleton R M, Chang Chengfa, Sun Yiyin. 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A327: 379~413.
- Harrison T M, Armstrong R L, Naeser C W. 1979. Geochronology and thermal history of the coast plutonic complex near Prince Rupert, British Columbia. *Can. J. Earth Sci.*, 16: 400~410.
- Kidd W S F, Molnar P. 1990. Quaternary and present active faults of Lhasa-Golmud of the Tibetan Plateau. *Roy. Soc. London, A*, 327: 332~352.
- Ludwig K R. 1999. Using Isoplot/EX, Version 2, a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a, 47.
- Ludwig K R. 2001. Squid 1.02: A User Manual. Berkeley Geochronological Center Special Publication 2, 19.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(supp.): 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibetan Plateau. *Science*, 294: 1671~1677.
- Van der Woerd J, Ryerson F J, Tapponnier P, et al. 2000. Uniform slip-rate along the Kunlun fault: implications for seismic behaviour and large-scale tectonics. *Geophysical Research Letters*, 27(16): 2353~2356.
- Van der Woerd J, Tapponnier P, Ryerson F J, et al. 2002. Uniform

- postglacial slip-rate along the Kunlun fault (Tibet), from ^{26}Al , ^{10}Be and ^{14}C dating of riser offsets, and climatic origin of the regional morphology. *Geophysical Journal International*, 148: 356~388.
- Wagner G A. 1992. Fission-track dating. Germany: Kluwer Academic Publisher, 145~158.
- Wagner G A. 1998. Age Determination of Young Rocks and Artifacts. Springer-Verlag, Berlin, 219~294.
- Wang Yanbin, Wang Jun, Wang Shicheng. 1998. Fission track evidence for rapid uplift of the Nyalam, higher Himalaya, Tibet, China. *Geological Review*, 44(4): 430~434 (in Chinese with English abstract).
- Wei W, Unsworth M, Jones A, et al. 2002. Detection of widespread fluids in the Tibetan crust by magnetotelluric studies. *Science*, 292: 716~718.
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, I. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97: 205~217.
- Wu Zhonghai, Wu Zhenhan. 2003. Low-temperature thermochronological analysis of the uplift history of the Yanshan Mountain and its neighboring area. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 399~406 (in Chinese with English abstract).
- Zhao W, Nelson K D, Project INDEPTH Team. 1993. Deep seismic reflection evidence for continental underthrusting beneath southern Tibet. *Nature*, 366: 557~559.
- Zhou Jianxiong, Chen Zhenyu. 2002. A new integrated method for dating minerals like zircon using electron microprobe and cathodoluminescence. *Geological Review*, 48(supp.): 31~35 (in Chinese with English abstract).

图版说明

昆仑山南部西大滩及邻区野外构造照片。

1. 西大滩东北侧 NDD 糜棱片岩的宏观产状(镜头向东)。
2. 西大滩东北侧 NDD 糜棱岩片理(镜头向下)。
3. 西大滩东北侧 NDD 糜棱岩眼球状构造指示逆冲运动方向(镜头向西)。
4. 西大滩东北侧 NDD 糜棱岩化辉长质透镜体指示左旋走滑运动(镜头向下)。
5. 西大滩盆北 XDT-19 取样部位 NXD 花岗质糜棱岩(镜头向下)。
6. 昆仑山口南侧早更新世湖相沉积地层(镜头向南西)。

Ages and Thermo-chronological Evolution of the North Xidatan Granite in the South Kunlun Mts.

WU Zhenhan¹⁾, HU Daogong¹⁾, SONG Biao²⁾, ZHOU Chunjing¹⁾

1) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*

2) *Institute of Geology and SHRIMP Center, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

Isotopic dating and thermo-chronological analyses were finished for the north Xidatan granite in the south Kunlun suture, giving a crystallization age of granitic magma and providing constraints on thermo-tectonic events and the tectono-geomorphic evolution history of the south Kunlun Mts. According to SHRIMP U-Pb isotopic dating, the zircon ages of the north Xidatan granite range from 196.4 to 212.1 Ma with an average of 204.1 ± 2.6 Ma, representing the mineral crystallization age of the granite. And K-Ar and Ar-Ar ages of biotite from the north Xidatan granite, 134.47~145.3 Ma, indicate the ductile shearing time of the granite. The thermo-chronological diagram based on U-Pb isotopic dating and K-Ar and fission-track dating of apatite shows that the north Xidatan granite cooled at rates of 6.46°C/Ma, 4.91°C/Ma, 3.84°C/Ma in period from 204.1 to 134.47 Ma, from 57.67 to 26.0 Ma, from 26 Ma to the present, respectively, corresponding to the uplift rates of 0.21 mm/a, 0.16 mm/a, 0.13 mm/a, and the period of 134.47 ± 57.67 Ma is a stable one characterized by very slow cooling and long-term erosion and planation. It is further inferred that the south Kunlun Mts. uplifted rapidly from the Eocene to early Miocene at a rate of 0.26 mm/a according to thrusting and folding periods of the Fenghuoshan and Wudaoliang Groups, initial time of regional extension and strike-slip faulting and fission-track dating of apatite from the north Xidatan granite.

Key words: SHRIMP U-Pb isotopic dating of zircon; thermo-chronological analyses; north Xidatan granite; south Kunlun Mts.

