

北羌塘沃若山地区火山岩年代学及区域地球化学对比——对晚三叠世火山-沉积事件的启示

王剑^{①*}, 付修根^{①②}, 陈文西^{①②}, 谭富文^①, 汪正江^{①②}, 陈明^①, 卓皆文^{①②}

① 成都地质矿产研究所, 成都 610082;

② 中国地质科学院研究生部, 北京 100037

* E-mail: Jianwang@mail.sc.cninfo.net

收稿日期: 2007-03-16; 接受日期: 2007-11-22

国家油气专项“青藏高原油气资源战略选区调查与评价”(编号: 科油[2006]02 号)和国家自然科学基金项目(批准号: 40472070)资助

摘要 藏北羌塘沃若山地区三叠系肖茶卡组之上不整合沉积超覆了一套沉火山碎屑岩夹火山岩地层, 该套地层底部的玻屑凝灰岩夹层的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(216.1±4.5) Ma, 该年龄代表了沃若山地区晚三叠世火山-沉积事件的时代, 它与最近获得的羌塘盆地广泛分布的那底岗日、石水河等地区的那底岗日组火山岩的形成时代基本一致, 同属晚三叠世。微量元素及同位素地球化学特征表明, 沃若山地区火山岩的地球化学特征与其相邻的那底岗日、石水河等地区的那底岗日组火山岩十分相似, 表明该时期羌塘地区的火山岩可能具有相同的岩浆源区和相似的构造环境。羌塘盆地晚三叠世大规模火山喷发与火山-沉积事件的正确认识, 对于探讨东特提斯域晚三叠世生物绝灭、气候变化与海退事件具有重要的意义, 同时, 对于了解晚三叠世-侏罗纪北羌塘地区新一轮盆地演化的开启时间、盆地性质及沉积特征也具有重要的意义。

关键词

那底岗日组火山岩
锆石 U-Pb 年龄
地球化学
火山-沉积事件
藏北羌塘

藏北羌塘盆地北部沃若山地区, 三叠系肖茶卡组含煤系地层之上角度不整合沉积超覆了一套沉火山碎屑岩夹火山岩地层。由于该套地层在区域上相变较大, 且分布不连续, 同时又缺少可定年的古生物化石, 因此地层划分与对比非常困难, 不同的学者与地质调查成果提出了差别较大的划分方案, 有的将其归属为中侏罗统雁石坪群^[1]或中侏罗统雀莫错组(J_{2q})^[2-4], 有的将其归属为下侏罗统^[2,3], 但这些都没有确切的古生物依据与定年数据。

由于沃若山地区火山岩与北羌塘雀莫错、那底岗日、石水河、菊花山等地区的那底岗日组火山岩具有相同的层位, 因此, 沃若山地区火山岩时代归属的确定, 对于正确认识羌塘盆地火山-沉积事件的时代、三叠纪生物灭绝与火山事件的关系均具有十分重要的意义; 另一方面, 鉴于北羌塘这一层位的火山岩普遍角度不整合在中生界古风化壳之上^[5,6], 火山岩的年龄可能代表了晚三叠世-侏罗纪羌塘地区新一轮盆地演化的开启时间。

1) 成都地质矿产研究所. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:25 万江爱达日那幅). 北京: 中国地质调查局, 2005. 18—150

2) 成都环境地质与资源开发研究所. 羌塘盆地西区综合地质工程(QT96YZ-01). 中国石油天然气总公司勘探局青藏项目经理部内部资料, 1996. 43—192

3) 成都环境地质与资源开发研究所. 青藏地区羌塘盆地区域石油地质调查报告(QZ-97-102101). 中国石油天然气总公司勘探局青藏项目经理部内部资料, 1997. 20—44

本文作者在野外剖面测制与沉积学研究的基础上, 在沃若山地区不整合面之上的沉火山碎屑岩底部火山岩夹层之中, 采集了多个凝灰岩样品, 经室内薄片鉴定与分析, 挑选了其中一个典型的玻屑凝灰岩样品进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年测试. 在此基础上, 对采自沃若山地区的火山碎屑岩与其相邻的那底岗日地区和石水河地区的那底岗日组火山岩的常量元素、微量元素和同位素地球化学特征进行了区域对比分析.

1 地质背景

藏北羌塘盆地位于特提斯构造域东段, 南北分别以可可西里-金沙江缝合带和班公湖-怒江缝合带为界, 由北羌塘凹陷(北羌塘次级盆地)、中央隆起带和南羌塘凹陷(南羌塘次级盆地)3 部分组成 [7,8]. 最新研究认为, 位于中央隆起的龙木错-双湖带是青藏高原 3 条主要的晚三叠世板块缝合带之一 [9]. 沃若山剖面即位于北羌塘盆地南缘, 中央隆起带北侧, 东西两侧分别与那底岗日和石水河的那底岗日组火山岩出露

区相邻.

区域上, 在羌塘盆地的菊花山、石水河、那底岗日、肖茶卡、胜利河、藏夏河等地区, 肖茶卡组顶部普遍发育一层厚数十厘米至一米左右的褐-紫红色古风化壳 [5,6]. 古风化壳之上角度不整合沉积超覆了一套火山-火山碎屑岩地层, 即那底岗日组(T_3nd)火山-火山碎屑岩 [10].

在沃若山地区, 上三叠统(?)肖茶卡组构成了沃若山背斜的核部(图 1), 其岩相为三角洲平原相组合, 主要由一套灰至深灰色泥灰岩、钙质泥岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩、钙质页岩夹石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑长石砂岩、粉砂岩、炭质泥岩页岩夹煤线组成(图 2, 剖面①~②小层), 普遍发育平行层理或水平层理, 见大量植物化石. 已有的资料在肖茶卡组上部发现的双壳类和孢粉化石包括: *Yunnanpohorus boulei*(Patte)、*Tulongocardium* sp., *palaeocardita*? sp., *Trigonia* (*Kumatrigonia*) cf. *Huhxilensis* Lu, *Osmundacidites* sp., *Leiotriletes* sp., *Deltoidospora* sp., *Biretisporites* sp., *Cadargasporites* sp., *Concavissisporites*

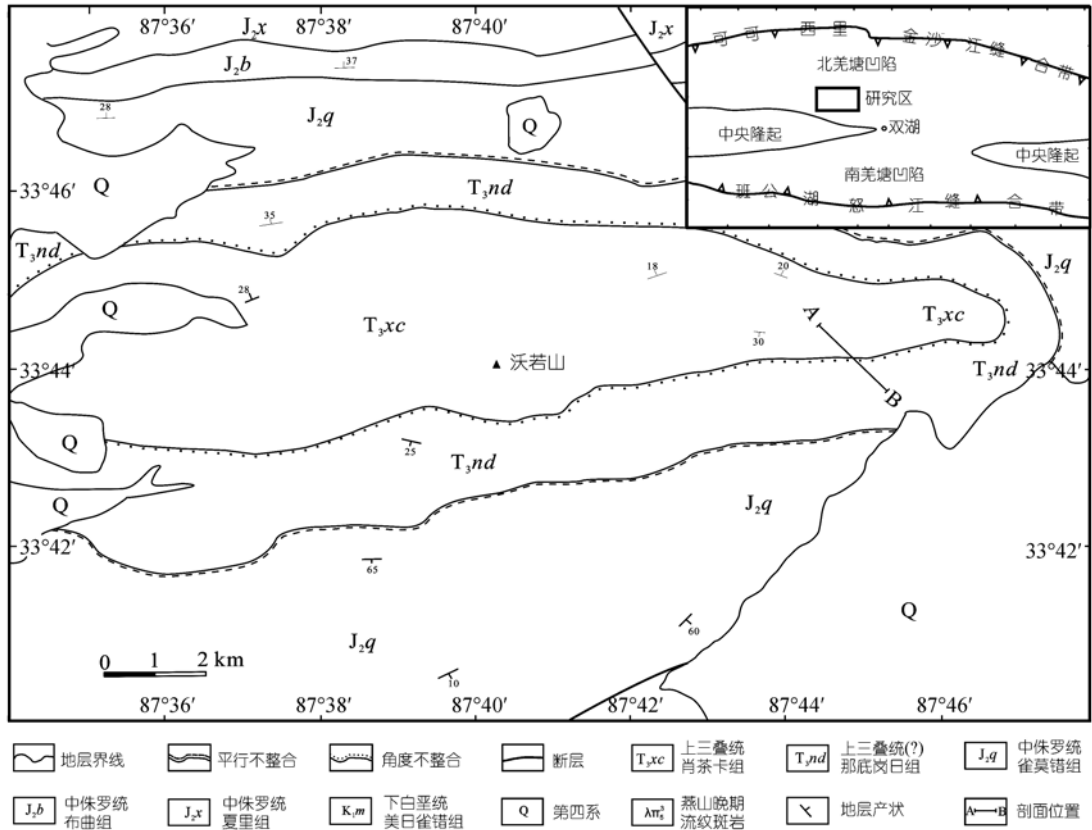


图 1 沃若山地区地质图(据 1:10 万地质图修编)

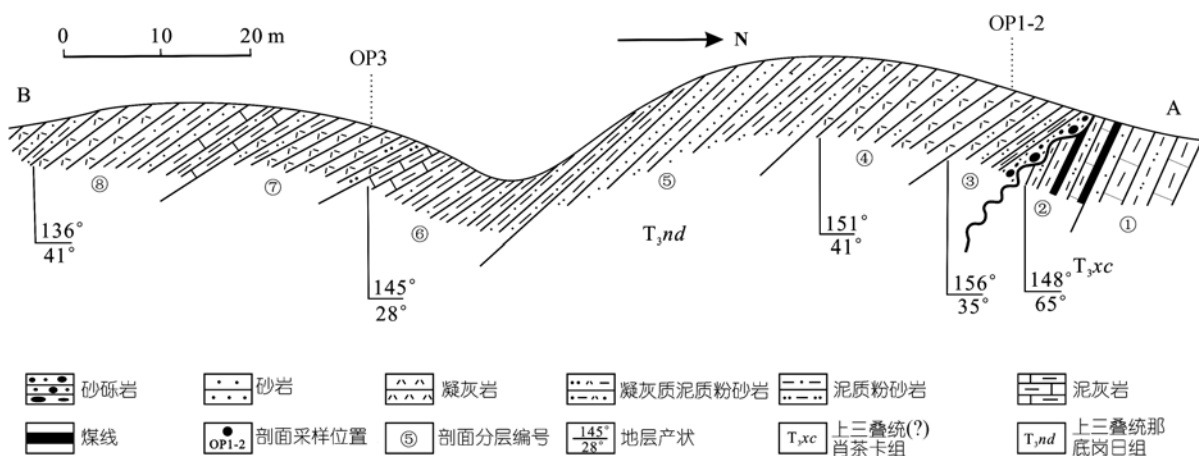


图 2 羌塘盆地沃若山实测剖面及取样位置

sp., *Clathroidites* sp., *Dictyophyllidites* sp., *Pinuspollenites* sp., *Classopollis* sp., *Araucariacites* sp., *Striomonosaccites* sp.等^{1)~3)}。

肖茶卡组地层与上覆地层之间为角度不整合接触(图 2, 第②~③小层之间)。在不整合面之上, 局部发育了一套紫红色河流相底砾岩(图 2, 第③小层), 分布不连续, 呈楔状产出, 砾石的分选较差、磨圆中等, 成分较复杂, 见火山岩砾石、碳酸盐岩砾石及下伏肖茶卡组生物灰岩碎屑砾石。底砾岩之上, 沉积超覆了一套三角洲河流相沉火山碎屑岩、陆源碎屑岩、泥灰岩夹火山岩地层(图 2, 第④~⑧小层), 构成了沃若山背斜的两翼, 主要由灰绿色、紫红色的泥岩、凝灰质泥质粉砂岩、沉凝灰岩、细砂岩、透镜状泥灰岩等夹少量玻屑、晶屑凝灰岩构成, 见大量浪成沙纹层理、波痕、水平虫迹、泥裂及浅水暴露标准, 偶见分布于凝灰质粉砂岩层面之上的大气降落玻璃质火山小球粒, 且与水平虫迹、泥裂等浅水暴露标准共生。最近完成的 1:25 万江爱达日那幅地质调查报告将该套地层归属为中侏罗世雀莫错组第一段(J_2q^1)¹⁾, 而以往资料及 1:10 万区域地质填图将其与那底岗日组火山岩相对比²⁾, 并将其时代归属为早侏罗世^[1,7,11~14]。事实上, 新的定年资料已证实那底岗日组火山岩归

属晚三叠世诺利期^[10]。

2 锆石 U-Pb 年龄样品的岩石学和矿物学特征

采自北羌塘盆地沃若山背斜东南侧的凝灰岩锆石 U-Pb 年龄样品 OP1-2 位于背斜核部肖茶卡组顶部不整合面之上约 10 m(图 2), 其 GPS 位置为: N33°44', E87°45'。野外露头上, 凝灰岩呈夹层状产于以灰绿色为主的泥质粉砂岩、钙质粉砂岩及泥岩中(图 2)。凝灰岩样品呈灰色、灰绿色, 显弱水平纹层状构造。

对所取得的样品 OP1-2 进行薄片鉴定表明, 岩石具明显的火山凝灰结构, 矿物成分主要由玻屑、石英晶屑、少量岩屑及蚀变水云母、方解石等组成。玻屑大小不一, 形态各异, 多呈尖棱角状且气孔发育, 都已不同程度脱玻化而具有类似石英的光性和高级白干涉色。石英晶屑由熔蚀作用产生熔蚀港湾且裂纹发育。水云母呈纤维状集合体, 在正交偏光镜下隐约可见玻屑棱角和不完全水云母化的玻屑, 可能为火山玻璃碎屑经粘土化而成。染色后在镜下更清楚的看到方解石团块具原生玻屑棱角尖锐的形态, 部分水云母已蚀变为方解石。从玻屑和晶屑的形态分析表明, 火山灰可能是火山喷发降落在沉积盆地中, 未经任何介质再搬运就原地埋藏成岩, 其岩性定为

1) 见第 33 页脚注 1)

2) 见第 33 页脚注 2)

3) 见第 33 页脚注 3)

蚀变玻屑凝灰岩。

样品由手工方法破碎, 按常规方法分选后在双目镜下分类挑选, 并分别对反射光、透射光及阴极发光成像照片进行分析, 分类标识出残留锆石、次生加大锆石及其他不符合测试分析条件的锆石颗粒。样品 OP1-2 锆石以短柱状为主, 大小约 $80\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, 个别为长柱状, 大小约 $50\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$, 两者晶形都较好, 裂缝极少, 晶体干净透明, 大部分锆石的阴极发光影像显示具有明显的岩浆成因的韵律环带构造(图 3)。残留锆石极少, 少量锆石颗粒见包体。

3 锆石 U-Pb 测试分析与结果

锆石的 SHRIMP U-Pb 法年龄测定在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP-II 型离子探针上完成。应用标准样 TEM(417 Ma) 进行分馏校正。锆石 SHRIMP U-Pb 测定年龄原理、样品靶制作和测定流程等参见宋彪等 [15] 和 Compston 等 [16]。有关年龄的数据处理由中国地质科学院北京离子探针中心万渝生采用 SQUID 及 ISOPLOT 程序完成, 表 1 中均给出 1σ 误差, 采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值年龄, 其置信度为 95%。

普通铅校正使用直接测定 ^{204}Pb 方法 [17]。因年轻锆石(<1000 Ma)中放射成因 ^{207}Pb 量较少, 分析中容易产生较大的误差, 因此对年轻锆石(<1000 Ma)均使用其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 而对较老锆石(>1000 Ma)则使用其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄。本文表 1 中所列数据均为同一测点连续 5 次分析的平均值, 误差为 1σ , 但样品最终年龄的加权平均值的误差则为 2σ 。

OP1-2 样品共测试了 14 颗锆石的 14 个测试点, 锆石 U-Pb 主要测试数据和计算结果列于表 1。锆石

的阴极发光图像及探针点的位置和年龄如图 3 所示。U-Pb 年龄结果见图 4。

锆石的分析数据可分为 2 组。分析点 13.1 和 14.1 为一组, 在阴极发光图像中为环带结构不清的浑圆状锆石(图 3), 2 个锆石核分别给出 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (1377 ± 43) 和 (918 ± 29) Ma, 可能是继承性的或在岩浆侵位过程中捕获的围岩锆石。其余 12 个点为另一组, 这些锆石分析点的普通铅含量较低($\text{Pb}_c = 3.6\% \sim 0.83\%$), U, Th 含量较高, Th/U 比值较小但较为集中, 除 6.1 测点为 1.74 外, 其余在 $\text{U} = 131 \sim 321 \times 10^{-6}$, $\text{Th} = 65 \sim 236 \times 10^{-6}$, $\text{Th}/\text{U} = 0.45 \sim 0.76$ 之间。但 11.1 测点的 Pb_c 含量偏低(0.4%), U, Th 的含量较高(807×10^{-6} , 757×10^{-6}), 阴极发光图像显示该分析点靠近核部, 可能受残留的前存岩浆锆石的影响, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄偏高((250.1 ± 8.2) Ma), 所以不参与平均年龄的计算。其余 11 个测点的 U-Pb 年龄在误差范围内具有很好的一致性, 均落在一致曲线之上(图 4), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 (216.1 ± 4.5) Ma(95% 置信度, $\text{MSWD} = 0.78$)。这一年龄代表了样品 OP1-2 锆石的结晶年龄, 也就是沃若山地区火山岩的喷发与角度不整合沉积超覆地层的形成年龄。

4 地球化学特征

4.1 常量和微量元素地球化学

沃若山地区火山岩的喷发年龄为 (216.1 ± 4.5) Ma, 事实上, 新的定年资料已证实, 羌塘盆地广泛分布的那底岗日组火山岩的形成时代都归属晚三叠世 [10], 两者在形成时间上具有一致性; 在地理位置上, 沃若山地区的凝灰岩正好位于那底岗日与石水河地区的

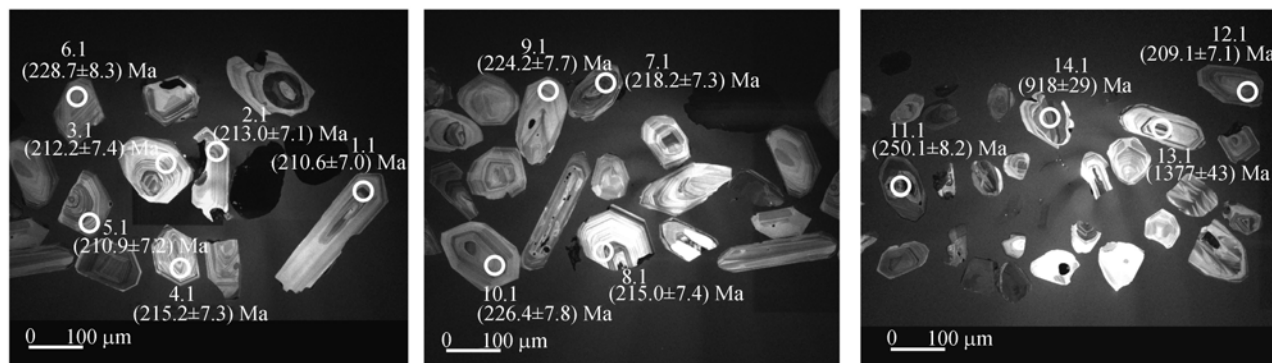


图 3 锆石的阴极发光图像、测点位置和年龄

表 1 凝灰岩样品 OP1-2 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定结果

点号	Pb _c /%	U ×10 ⁻⁶	Th ×10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* ×10 ⁻⁶	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb*	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* ±1σ	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U ±1σ	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U ±1σ	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U 年龄/Ma
OP1-2—1.1	0.83	321	236	0.76	9.23	30.1	0.0505±4.5	0.231±5.6	0.0332±3.4	210.6±7.0
OP1-2—2.1	1.52	276	121	0.45	8.09	29.8	0.0450±6.8	0.208±7.6	0.0336±3.4	213.0±7.1
OP1-2—3.1	2.93	145	65	0.46	4.29	29.9	0.0415±17	0.192±18	0.0335±3.5	212.2±7.4
OP1-2—4.1	2.37	160	108	0.70	4.77	29.5	0.0478±10.	0.224±11	0.0340±3.5	215.2±7.3
OP1-2—5.1	1.90	241	118	0.51	7.01	30.1	0.0423±11	0.194±12	0.0333±3.5	210.9±7.2
OP1-2—6.1	3.60	141	238	1.74	4.54	27.7	0.0366±24	0.182±24	0.0361±3.7	228.7±8.3
OP1-2—7.1	0.87	303	166	0.57	9.05	29.05	0.0521±4.2	0.247±5.4	0.0344±3.4	218.2±7.3
OP1-2—8.1	2.15	131	65	0.51	3.91	29.5	0.0516±8.3	0.241±9.0	0.0339±3.5	215.0±7.4
OP1-2—9.1	2.42	152	72	0.49	4.75	28.26	0.0512±11	0.250±11	0.0354±3.5	224.2±7.7
OP1-2—10.1	1.72	160	89	0.58	4.98	27.98	0.0536±7.6	0.264±8.4	0.0357±3.5	226.4±7.8
OP1-2—11.1	0.40	807	757	0.97	27.5	25.28	0.04965±1.8	0.271±3.8	0.0396±3.4	250.1±8.2
OP1-2—12.1	2.00	197	96	0.50	5.69	30.3	0.0471±9.1	0.214±9.7	0.0330±3.4	209.1±7.1
OP1-2—13.1	0.46	149	115	0.80	30.7	4.20	0.0966±1.9	3.17±4.0	0.2382±3.5	1377±43
OP1-2—14.1	0.08	867	183	0.22	114	6.54	0.07149±0.53	1.508±3.4	0.1530±3.3	918±29

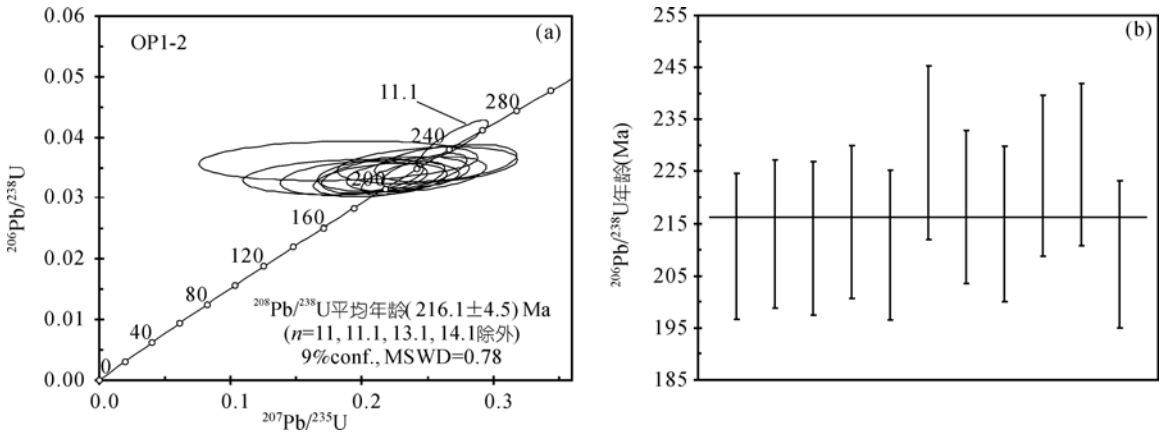


图 4 沃若山凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄谱和图和数据离群性特征

那底岗日组火山岩之间，这是偶然还是必然？为了探讨这一问题，本文对采自沃若山地区火山岩与其相邻的那底岗日地区和石水河地区的那底岗日组火山岩及火山碎屑岩的常量元素、微量元素和同位素地球化学特征进行了对比分析。

常量元素由成都地质矿产研究所分析测试中心采用原子吸收分光光度计和紫外可见光光度计测试，分析精度优于 5%。微量元素由国家地质实验测试中心采用等离子光谱(IRIS)和等离子质谱(ICP-MS)分析完成，分析精度优于 5%。Sr, Nd, Pb放射性同位素测试由中国科学院地质与地球物理研究所利用MAT262 分析完成，利用瑞利法则进行分馏校正，Rb, Sr, Sm, Nd 丰度用同位素稀释法测定，⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 用 ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 用 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 标准化，该仪器的NBS987 标准的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr= 0.710272±

24 (N=30), Ames标准的 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd= 0.512165±14 (N=21)。详细的分析过程见Chen等 [18]。

常量元素、微量元素及同位素分析样品分别取自沃若山剖面(样品编号为 OP)、那底岗日剖面(样品编号为 Nd)和石水河剖面(样品编号为 SS)。OP1-2 为前述 U-Pb 同位素测年的备份玻屑凝灰岩样品(图 2, 第④小层)，OP3 同样为取自沃若山剖面的玻屑凝灰岩样品(图 2, 第⑦小层)；Nd1 及 Nd2 均采自那底岗日剖面，岩性为流纹质晶屑凝灰岩；SS1, SS3, SS4, SS5 采自石水河剖面，其中，SS1, SS3 为灰绿—灰紫色流纹质英安岩，SS4, SS5 为黄灰—灰色凝灰岩。

那底岗日火山岩的常量元素分析结果见表 2。从表 2 中可以看出，样品 OP1-2, OP3 具有较高的烧失量(分别为 13.63%和 19.56%)，显微镜下观察表明，这些样品具明显的碳酸盐化，表明这些样品高的烧失量

表 2 沃若山凝灰岩及邻区那底岗日组火山岩化学成分(主元素: wt%; 微量元素: $\times 10^{-6}$)^{a)}

地区	那底岗日		石水河				沃若山	
岩性	流纹质凝灰岩	流纹质凝灰岩	英安岩	英安岩	英安质凝灰岩	英安质凝灰岩	安山质凝灰岩	英安质凝灰岩
样号	Nd1	Nd2	SS 1	SS 3	SS 4	SS 5	OP1-2	OP3
SiO ₂	78.10	76.46	66.58	71.84	77.96	80.90	45.08	40.18
Al ₂ O ₃	10.79	11.75	12.96	12.89	11.77	10.60	13.97	9.35
Fe ₂ O ₃	2.16	1.78	2.19	1.22	1.28	0.64	2.46	1.53
FeO	0.10	0.13	2.19	0.90	0.086	0.31	4.40	2.18
CaO	0.37	0.61	2.57	1.87	0.40	0.26	10.73	21.00
MgO	0.36	0.25	2.86	0.91	0.45	0.53	3.59	2.11
K ₂ O	4.54	4.73	1.12	3.40	1.23	0.70	3.98	2.32
Na ₂ O	1.68	2.42	4.70	3.74	4.57	4.33	0.32	0.74
TiO ₂	0.15	0.12	0.40	0.42	0.13	0.13	0.69	0.34
MnO	0.012	0.015	0.049	0.058	0.009	0.018	0.15	0.23
P ₂ O ₅	0.081	0.040	0.23	0.13	0.052	0.063	0.19	0.13
烧失量	1.43	1.21	4.14	2.16	1.45	1.27	13.63	20.80
总量	98.34	98.31	99.99	99.54	99.39	99.75	99.19	100.91
A/NKC	1.4	1.3	1.1	1.1	1.5	1.6		
σ	1.10	1.53	1.44	1.77	0.96	0.67		
Mg [#]	25.94	20.2	11.5	46.48	41.16	61.2		
La	23.4	21.0	27.6	26.6	31.3	28.1	32.7	26.2
Ce	32.6	33.6	52.5	49.3	52.7	47.9	64.3	51.0
Pr	5.16	4.99	6.21	5.92	5.65	5.05	7.54	6.23
Nd	18.3	18.4	22.8	22.0	18.4	16.5	28.5	23.7
Sm	3.34	3.75	4.45	4.40	3.07	2.65	5.77	5.03
Eu	0.87	1.03	0.74	0.96	0.54	0.46	1.17	1.03
Gd	2.79	3.23	3.95	3.97	2.66	2.31	4.96	4.48
Tb	0.38	0.46	0.58	0.57	0.32	0.27	0.74	0.66
Dy	2.40	2.92	3.58	3.53	1.92	1.75	4.36	3.91
Ho	0.44	0.54	0.66	0.65	0.33	0.31	0.80	0.73
Er	1.59	1.82	2.11	2.08	1.23	1.17	2.56	2.28
Tm	0.18	0.22	0.25	0.24	0.14	0.13	0.30	0.27
Yb	1.57	1.79	1.95	1.83	1.29	1.23	2.32	2.05
Lu	0.19	0.22	0.26	0.23	0.16	0.15	0.29	0.26
Σ REE	93.21	93.97	127.64	122.28	119.71	107.98	156.31	127.83
(La/Yb) _N	10.69	8.42	10.15	10.43	17.40	16.39	10.11	9.17
(La/Sm) _N	7.00	5.60	6.20	6.05	10.20	10.60	5.67	5.61
δ Eu	0.85	0.88	0.53	0.69	0.56	0.56	0.65	0.65
δ Ce	0.70	0.78	0.94	0.92	0.90	0.91	0.97	0.95
Sc	7.20	4.61	22.5	18.5	2.23	2.40	19.2	11.9
Cr	4.56	3.61	110	80.4	8.68	5.99	122	59.0
V	24.3	13.4	99.8	92.7	10.8	6.85	98.8	54.5
Rb	115	92.9	16.3	92.3	41.9	27.9	154	86.0
Ba	921	983	391	939	242	301	506	424
Th	15.6	16.7	10.5	9.76	9.42	14.1	14.3	8.83
Nb	5.84	5.21	7.68	7.73	5.48	4.60	13.8	8.37
Ta	0.51	0.55	0.66	0.60	0.70	0.61	1.36	0.74
Sr	141	164	139	149	93.4	134	196	201
Y	13.7	17.0	20.3	20.1	15.4	23.3	24.6	23.5
Zr	158	124	218	189	100	86.1	151	132
Hf	4.68	3.80	5.77	5.09	3.18	2.77	4.10	3.47
U	1.16	1.10	1.34	1.08	1.06	1.45	1.92	1.40

a) Mg[#] = 100 mol Mg²⁺ / (Mg²⁺ + TFe²⁺), wt%为质量分数, 下同

可能与碳酸盐蚀变作用有关. 去除较高烧失量的 2 件样品外, 其余 6 件样品烧失量在 1.21%~4.14%, 平均 1.94%, 表明样品相对新鲜. 6 件样品的 SiO_2 含量介于 66.58%~80.90%, 铝饱和指数 $A/\text{CNK}=0.84\sim1.35$, 均值 1.04, 小于 1.10; 里特曼指数 (σ) 变化于 0.96~1.77 之间, 属铝弱过饱和钙碱型系列. $\text{Mg}^\#$ 在各剖面中存在一定的差异, 那底岗日剖面具有低的 $\text{Mg}^\#$, 两件样品的 $\text{Mg}^\#$ 分别为 20.20 和 25.94, 石水河剖面的 $\text{Mg}^\#$ 介于 11.50~61.20, 平均 40.09. 采用蚀变火山岩分类图解($\text{Nb}/\text{Y}-\text{Zr}/\text{TiO}_2$ 图解)进行判断, 各剖面那底岗日组样品均落在中—酸性火山岩区(图 5), 以英安质火山岩为主.

野外观察、薄片鉴定表明, 沃若山地区的凝灰岩蚀变作用较强, 为蚀变玻屑凝灰岩, 蚀变作用主要为碳酸盐化, 原岩的矿物组合及结构构造已基本不可辨认, 这就给恢复蚀变前原岩的特征及了解区域构造背景带来一定的困难. 但目前研究认为, REE 及不活泼的微量元素如 Nb, Ta, Zr, Hf, Th, Y 等元素在蚀变作用过程中较为稳定, 活动性较低, 因而能反映原岩的特征 [19].

沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩稀土元素总量较高, $\Sigma\text{REE}=127.83\times10^{-6}\sim156.31\times10^{-6}$, 平均 142.07×10^{-6} , 与之相比, 那底岗日及石水河地区火山岩-火山碎屑岩具有相对较低的稀土含量, $\Sigma\text{REE}=93.21\times10^{-6}\sim127.64\times10^{-6}$ 之间, 平均 109.28×10^{-6} (表 2), 这可能与各样品中陆源碎屑含量差异有关. 尽管上述 3 个地

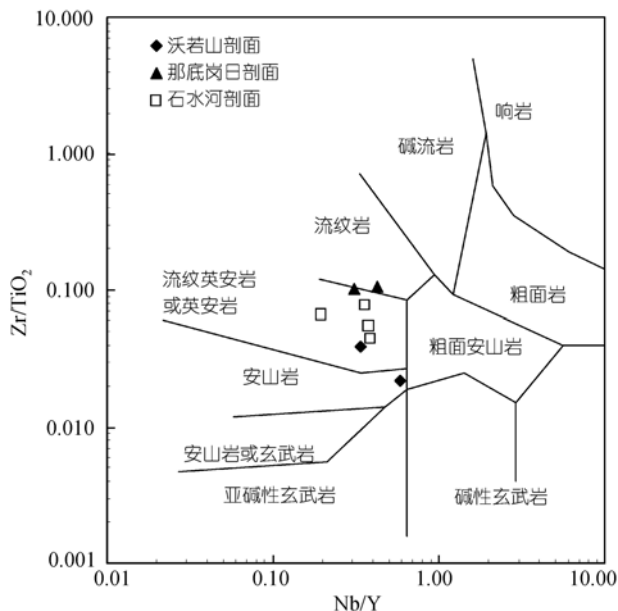


图 5 那底岗日组火山岩的 Zr/TiO_2 - Nb/Y 判别图解

区的火山-火山碎屑岩的稀土元素特征存在一定的差异, 但它们的稀土元素配分曲线具有很大的相似性: 轻稀土曲线明显右倾(即右倾型); 重稀土曲线较为平直; Eu 具明显-弱的负异常(0.53~0.88), Ce 显示弱的负异常(0.70~0.97); 这 3 个地区的火山-火山碎屑岩的 LREE/HREE (7.39~8.77) 以及 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 变化范围 (8.42~10.43) 也较为一致(图 6(a)), 表明它们可能具有相同的源区. 值得注意的是, 在石水河剖面获得的两件样品(SS4 和 SS5)表现出了异常的稀土元素配分模

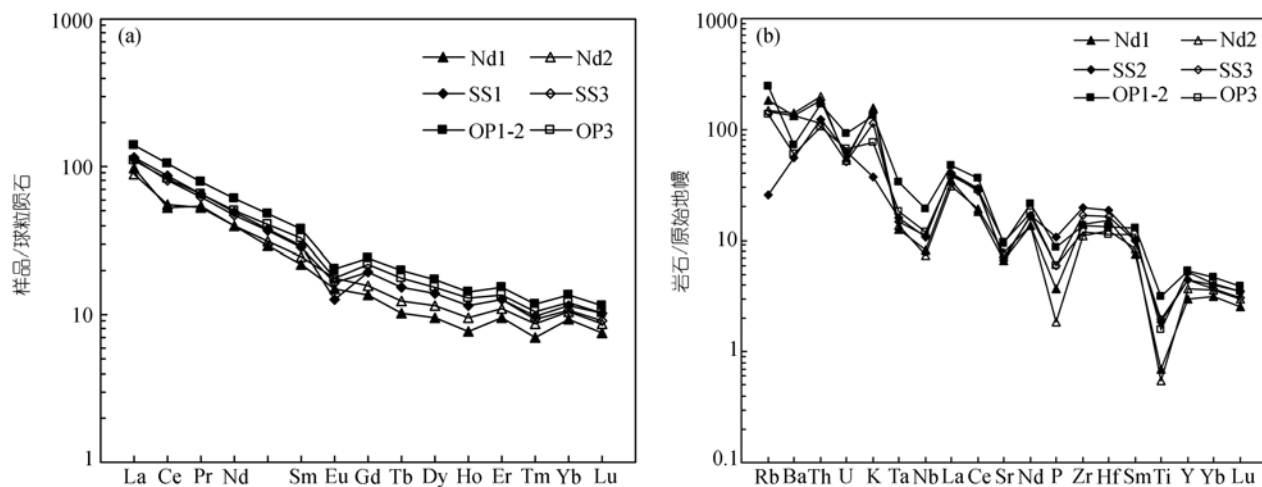


图 6 沃若山凝灰岩及邻区那底岗日组火山岩稀土元素配分模式(a)和微量元素蛛网图(b)对比

球粒陨石据 Haskin 等 [20], 原始地幔据 Pearce 等 [21]

式,即重稀土表现为明显的锯齿状,考虑到两件样品均表现为类似的特征,分析误差的可能较小,是样品的原因还是其它什么原因需要进一步研究。

由于部分样品经历了明显的蚀变,大离子亲石元素如 Rb, Ba, K 等在蚀变过程中性质活泼而可能发生迁移,从而表现出较大的差异性(图 6(b), 表 2)。尽管如此,沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩与羌塘盆地其他地区那底岗日组火山岩-火山碎屑岩具有非常相似的微量元素蛛网图(图 6(b)): 相对于高场强元素, Rb, Ba, Th 和 K 等大离子亲石元素(LILE)明显富集,而其他元素如 Sr, P 和 Ti 等由于结晶分异明显亏损,虽然不相容微量元素总体上呈现出不同程度的富集,但 Nb-Ta 相对 La 和 Th 明显亏损,表明这些火山岩-火山碎屑岩石的岩浆或者来源于地壳重熔,或者是岩浆在结晶分异过程中受到地壳物质的混染,或者有富集 Nb-Ta 的矿物结晶分异。但无论什么来源,沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩与羌塘盆地其他地区那底岗日组火山岩-火山碎屑岩具有非常相似的微量元素特征表明,这些地区的火山岩-火山碎屑岩可能具有相似的源区和构造环境。

4.2 岩石同位素地球化学

沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩与羌塘盆地其他地区那底岗日组火山岩-火山碎屑岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 和Pb同位素的测试值及年龄校正见表 3。沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩的($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_t值为 0.71114~0.71220。该区蚀变玻屑凝灰岩与那底岗日及石水河地区火山岩-火山碎屑岩相似,具有较高的初始Sr同位素比值(表 3),可能与后期蚀变作用有关,这可以从本区样品的Nd同位素值不变得得到证明(表 3)。沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩的($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_t值为 0.511847~0.511926,与那底岗日及石水河地区火山岩-火山碎屑岩的($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_t值(0.511777~0.511872)较为一致,也与古生代上地壳平均($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_t值

(0.51212)^[22]接近,显示上地壳来源的特征;该区蚀变玻屑凝灰岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-8.5~-10.0,那底岗日及石水河地区火山-火山碎屑岩也具有一致低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(表 3),也显示了上地壳来源的特征。在铅同位素 $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$ 图解(图 7)上,沃若山地区蚀变玻屑凝灰岩与羌塘盆地其他地区那底岗日组火山-火山碎屑岩一样,均落在了 2 区,即反映这些火山-火山碎屑岩的铅来源为上地壳。

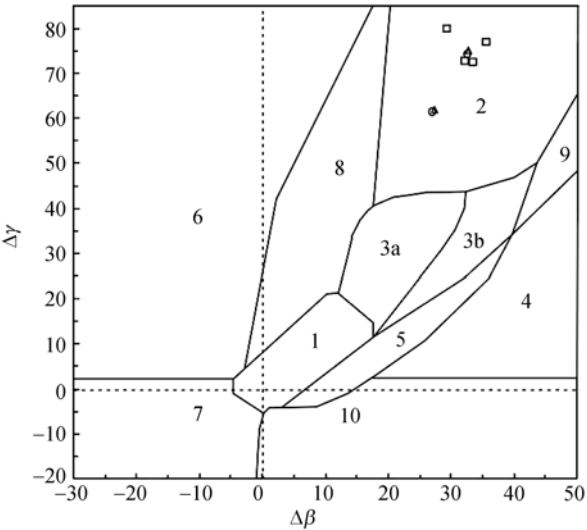


图 7 沃若山凝灰岩及邻区那底岗日组火山岩铅同位素 $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$ 图(据朱炳泉^[23]修改)

1. 地幔源铅; 2. 上地壳铅; 3. 上地壳与地幔混合的俯冲带铅(3a. 岩浆作用; 3b. 沉积作用); 4. 化学沉积型铅; 5. 海底热水作用铅; 6. 中深变质作用铅; 7. 深变质下地壳铅; 8. 造山带铅; 9. 古老页岩上地壳铅; 10. 退变质铅

5 讨论

5.1 沃若山地区火山碎屑岩时代归属问题

20 世纪 90 年代完成的 1:10 万石油地质调查及最近完成的 1:25 万区域地质填图资料表明¹⁾⁻⁶⁾, 那底岗日组火山岩主要分布于北羌塘凹陷的弯弯梁-雀莫错及中央隆起带北侧,呈北西向条带状分布,以北羌

1) 见第 33 页脚注 1)

2) 见第 33 页脚注 2)

3) 见第 33 页脚注 3)

4) 宜昌地质矿产研究所. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:25 万赤布张错幅). 北京: 中国地质调查局, 2003, 10—44

5) 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:25 万黑虎岭幅). 北京: 中国地质调查局, 2005, 30—62

6) 贵州地质调查院. 中华人民共和国区域地质调查报告 (1:25 万丁固幅). 北京: 中国地质调查局, 2005, 73—75

表 3 沃若山凝灰岩及邻区那底岗日组火山岩 Sm-Nd-Pb 同位素组成^{a)}

取样点	那底岗日			石水河			沃若山	
样品号	Nd1	Nd2	SS1	SS3	SS4	SS5	OP1-2	OP3
Sr ($\times 10^{-6}$)	141	164		149	93.4	134	196	201
Rb ($\times 10^{-6}$)	115	92.9	16.3	92.3	41.9	27.9	154	86
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	2.3620	1.6400	0.3390	1.9740	1.2990	0.6030	2.2760	1.2390
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr $\pm 2\sigma$	0.717146 ± 12	0.715618 ± 13	0.711857 ± 13	0.716513 ± 14	0.712322 ± 12	0.711214 ± 13	0.719 ± 13	0.715 ± 9
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	0.71016	0.71077	0.71085	0.71067	0.70848	0.70943	0.71220	0.71114
Sm ($\times 10^{-6}$)	3.34	3.75	4.45	4.40	3.07	2.65	5.77	5.03
Nd ($\times 10^{-6}$)	18.3	18.4	22.8	22.0	18.4	16.5	28.5	23.7
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.1103	0.1232	0.1180	0.1209	0.1009	0.0971	0.1224	0.1283
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd $\pm 2\sigma$	0.511998 ± 14	0.511990 ± 14	0.511938 ± 13	0.511960 ± 13	0.512032 ± 10	0.512004 ± 13	0.512020 $\pm$	0.512107 $\pm$
(¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) _i	0.511850	0.511821	0.511777	0.511795	0.511895	0.511872	0.511847	0.511926
$\varepsilon_{Nd}(t)$	-10.2	-10.7	-11.6	-11.2	-9.3	-9.7	-10.0	-8.5
(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _m	18.7845	18.9446	19.0337	19.0153	19.0428	19.0300	19.0119	18.8776
(²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _m	15.7616	15.8192	15.8709	15.8349	15.7732	15.8156	15.8067	15.7585
(²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _m	39.4413	39.8999	40.0084	39.8430	40.1168	39.8604	39.7489	39.3498
(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _i	18.531	18.709	18.790	18.788	18.637	18.838	18.379	18.6159
(²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _i	15.749	15.807	15.859	15.824	15.753	15.806	15.742	15.8026
(²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _i	37.365	37.242	37.835	37.917	37.138	37.906	38.481	39.2414

a) $\varepsilon_{Nd}(t)$ 采用的参数值为: (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}=0.1967, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}=0.512638, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{DM}=0.2136, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{DM}=0.513151; 沃若山、石水河、那底岗日火山岩/火山碎屑岩分别取 SHRIMP 锆石 216.1, 208 和 208 进行同位素年龄校正

塘拗陷西南部最为发育, 主要出露于菊花山、石水河、那底岗日、拉雄错、拉相错、江爱达日那和玛威山一带, 宽约 50 km, 长约 300 km.

本次对藏北沃若山地区角度不整合沉积超覆于上三叠统(?)肖茶卡组之上的玻屑凝灰岩锆石定年结果表明, 其火山作用的年龄为(216.1 $\pm$ 4.5) Ma, 相应的火山-火山碎屑岩地层时代应归属晚三叠世诺利期. 这一结果与那底岗日及石水河等地区的晚三叠世诺利期那底岗日组(T₃nd)火山岩-火山碎屑岩的形成时代十分接近: 那底岗日地区为(205 $\pm$ 4)~(210 $\pm$ 4) Ma, 而在石水河地区为(208 $\pm$ 4) Ma, 后两者同样归属晚三叠世诺利期^[10].

微量元素及同位素分析表明, 这 3 个地区的火山-火山碎屑岩具有相同的源区, 由此表明, 沃若山地区上三叠统(?)肖茶卡组之上角度不整合沉积超覆的火山碎屑岩、沉积岩夹火山岩地层, 虽然与邻区的那底岗日组(T₃nd)火山岩夹陆源碎屑岩存在一定的相变, 但其时代归属仍为晚三叠世诺利期, 与那底岗日组(T₃nd)相当, 而不是现有资料认为的中侏罗统雁石坪

群^[1]或雀莫错组一段(J₂q¹)^[2~4], 也不能归属为下侏罗统^{2,3)}.

5.2 那底岗日组火山-沉积事件的地质意义

藏北沃若山地区的火山碎屑岩与那底岗日和石水河地区火山-火山碎屑岩为同期同源火山作用的产物, 这一发现不仅对区域地层对比具有重要意义, 同时也表明, 藏北晚三叠世存在广泛的火山-沉积事件, 即在晚三叠世中期(诺利期), 羌塘盆地(特别是北羌塘盆地)发生过大规模的火山喷发与火山沉积事件. 这一火山喷发与火山沉积事件不仅在北羌塘盆地西南部得到证实, 同时在北羌塘盆地东部地区也得到证实. 在各拉丹冬一带, 与那底岗日组层位相应、岩石组合相似的鄂尔陇巴组(成都环境地质与资源开发研究所报告⁴⁾、赵政璋等^[7,12]称为“下侏罗统那底岗日组”)中获得的火山岩单颗锆石 U-Pb 年龄(212.0 $\pm$ 1.7) Ma^{5)[24]}, 其时代为晚三叠世. 在羌塘盆地中部玛依岗日地区, 层位和岩性组合与那底岗日组相似的望湖岭组获得的火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 214 Ma⁶⁾.

1) 见第 33 页脚注 1)
2) 见第 33 页脚注 2)
3) 见第 33 页脚注 3)
4) 成都环境地质与资源开发研究所. 青藏高原地层特征研究. 中国石油天然气总公司勘探局青藏项目经理部内部资料, 1996, 111—132
5) 宜昌地质矿产研究所. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:25 赤布张错幅). 北京: 中国地质调查局, 2003, 10—44
6) 吉林大学地质调查院. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:25 玛依岗日幅). 北京: 中国地质调查局, 2005, 44—114

这些资料表明,晚三叠世羌塘地区曾发生过大规模的火山喷发与火山沉积事件,这一火山喷发与火山-沉积事件具有明显的区域性与广泛性特征。

值得注意的是,在晚三叠世-早侏罗世期间,东特提斯域发生了规模较大的区域性海退事件和生物绝灭事件。这一事件在时间上恰好与该地区广泛发生的火山-沉积作用事件相吻合。晚三叠世,由于全球海平面的下降以及北羌塘盆地的隆升,致使北羌塘盆地大部分地区暴露地表,并接受风化和剥蚀,从而形成了肖茶卡组顶部广泛分布的风化壳^[5,6]。近年来,生物绝灭事件的研究在青藏高原也取得了突破性进展,阴家润等^[25,26]在青藏高原的聂拉木县发现了特提斯地区唯一未曾“压缩”的三叠系/侏罗系地层剖面,具有瑞替阶Marshi菊石带、赫塘阶Tibeticum, Callyphyllum和Pleuronotum菊石带。在该剖面,大量的生物绝灭事件是发生在瑞替期末,计有Cassianella, Unionites, Palaeocardita, Schafaeutlia和Krumbeckiella等5个属的双壳(共24个属)在Marshi和Tibeticum菊石带之间绝灭^[26]。来自碳稳定同位素的资料表明,在喜马拉雅地区格米格剖面有两次有意义的 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏移,第一次发生在晚三叠世瑞替阶Marshi菊石带的下部,第二次发生在三叠系/侏罗系界线^[26],它和其他各大洲所记录的 $\delta^{13}\text{C}$ 负值偏移作用几乎是同步的,同时,与东特提斯地区大规模的火山喷发与火山沉积事件同期。岩浆活动、生物绝灭事

件以及海退事件在青藏高原有着惊人的一致,这并非偶然的,而是全球性构造运动(事件)在东特提斯地区的反映。青藏高原的那底岗日组火山岩对东特提斯地区的晚三叠世生物绝灭、气候变化以及海退事件可能有重要的影响。

长期以来,对于羌塘盆地的性质存在较大的争议,但对于盆地演化阶段的划分却没有太大的歧义,一般认为,晚二叠世以来的羌塘盆地存在3个阶段性盆地,即晚二叠世-中三叠世($\text{P}_3\text{-T}_2$)盆地、晚三叠世盆地(T_3)盆地和侏罗纪盆地^[27]。在这些划分中,常把晚三叠世作为一个独立的整体,羌塘侏罗系盆地是在晚三叠世盆地基础上发育起来的复合盆地^[27]。事实上,晚三叠世末,由于全球海平面的下降以及区域性构造作用的影响,北羌塘大部分地区已经隆升成陆,并接受风化和剥蚀,从而形成了肖茶卡组顶部广泛发育的风化壳。那底岗日组火山-沉积岩沉积超覆在该套风化壳之上,羌塘侏罗系盆地是在该套火山岩基础上发育起来的盆地。因此,从盆地演化角度分析,北羌塘盆地的晚三叠世诺利期-侏罗纪沉积应该属于同一构造层,而与卡尼期构造层(肖茶卡组)相区别。那底岗日组火山岩的形成年龄,代表了羌塘晚三叠世-侏罗系盆地形成的开启年龄,这一结论对于正确认识羌塘中生代沉积盆地性质、演化特征等具有重要意义。

致谢 成都地质矿产研究所王雁洪、杨哲超、陈宁及邓青春等同志在藏北无人区给予积极合作与十分宝贵的后勤保障;室内资料整理与分析过程中,与朱同兴研究员、冯心涛高级工程师、朱弟成博士等开展了有益的交流与讨论,在此一并致以衷心的感谢。

参考文献

- 1 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志,地质专报一,第31号. 北京:地质出版社,1993. 178—194
- 2 王成善,伊海生,李勇,等. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价. 北京:地质出版社,2001. 86—128
- 3 李勇,王成善,伊海生. 西藏晚三叠世北羌塘前陆盆地构造层序及充填样式. 地质科学,2002, 37(1): 27—37
- 4 朱同兴,董瀚,李才,等. 青藏高原北羌塘地区晚三叠世地层展布和沉积型式. 沉积与特提斯地质,2005, 25(3): 18—23
- 5 王剑,付修根,陈文西,等. 藏北北羌塘盆地晚三叠世古风化壳地质地球化学特征及其意义. 沉积学报,2007, 25(4): 487—494
- 6 付修根,王剑,汪正江,等. 藏北羌塘盆地上三叠统那底岗日组与下伏地层沉积间断的确立及意义. 地质论评,2007, 53(3): 329—336
- 7 赵政璋,李永铁,叶和飞,等. 青藏高原大地构造特征与盆地演化. 北京:科学出版社,2001. 23—25

- 8 王剑, 谭富文, 李亚林, 等. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析. 北京: 地质出版社, 2004. 34—88
- 9 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录. 地质通报, 2007, 26(1): 13—21
- 10 王剑, 汪正江, 陈文西, 等. 藏北羌塘盆地那底岗日火山岩时代归属新发现. 地质通报, 2007, 26(4): 404—409
- 11 李永铁, 罗建宁, 卢辉楠, 等. 青藏高原地层. 北京: 科学出版社, 2001. 10—30
- 12 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原地层. 北京: 科学出版社, 2001. 125—139, 439
- 13 李勇, 王成善, 伊海生. 中生代羌塘前陆盆地充填序列及演化过程. 地层学杂志, 2002, 26(1): 62—68
- 14 王剑, 谭富文, 王小龙, 等. 藏北羌塘盆地早侏罗世-中侏罗世早期沉积构造特征. 沉积学报, 2004, 22(2): 198—205
- 15 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26—30
- 16 Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon age U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. J Geol Soc, London, 1992, 149: 171—184
- 17 Compston W, Williams I S, Mayer C. U-Pb geochronology of zircons from Lunar Breccia 73217 using a Sensitive High Resolution Ion Microprobe, Proc. XIV Lunar Planetary Science Conference. J Geophys Res, 1984, 89(Suppl.): 525—534
- 18 Chen F, Siebel W, Satir M, et al. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the Istanbul zone. Int J Earth Sci, 2002, 91: 469—481 [\[DOI\]](#)
- 19 Hildreth W, Halliday A N, Christiansen R L. Isotopic and chemical evidence concerning the genesis and contamination of basaltic and rhyolitic magma beneath the Yellowstone plateau volcanic field. J Petrol, 1991, 32(1): 63—138
- 20 Haskin M A, Haskin L A. Rare earths in European shales: a redetermination. Science, 1966, 154: 507—509
- 21 Pearce J L A, Harris B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Petrol J Part, 1984, 4: 956—983
- 22 李志昌, 路远发, 黄圭成. 放射性同位素地质学方法与进展. 北京: 中国地质大学出版社, 2004. 116
- 23 朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳演化. 北京: 科学出版社, 1998. 226
- 24 马丽艳, 白云山, 牛志军, 等. 长江源各拉丹冬地区晚三叠世火山岩锆、铷同位素地球化学特征及其意义. 中国地质, 2004, 31(2): 174—178
- 25 阴家润. 西藏喜马拉雅瑞替阶和赫塘阶菊石组合及其生物年代学对比. 地质学报, 2005, 79(5): 277—587
- 26 阴家润, 蔡华伟, 周志广, 等. 西藏海相三叠系—侏罗系界线及晚三叠世生物绝灭事件研究. 地学前缘, 2006, 13(4): 244—254
- 27 高春文, 贾庆军, 魏春光. 羌塘盆地晚三叠世原型盆地性质探讨. 地质论评, 2006, 52(2): 198—206