

碰撞与花岗岩

——碰撞是构造事件,不是构造环境

张 旗

(中国科学院 地质与地球物理研究所,北京 100029)

摘 要:碰撞与花岗岩的关系是学术界关心的问题,但是,当前在碰撞与花岗岩关系的研究中存在许多误区。本文认为,碰撞是地壳浅部的构造事件,不属于构造环境范畴。碰撞本身不产生花岗岩,花岗岩形成需要热,热主要来自地幔,是来自地幔的热使下地壳底部熔融才形成了花岗岩。碰撞和碰撞后花岗岩地球化学性质不同,原因与碰撞或碰撞后无关,而与碰撞导致的地壳厚度变化有关。碰撞不是构造环境,现今所用的花岗岩构造环境判别图如果包含有碰撞的内容全部是错误的。

关键词:碰撞;碰撞后;花岗岩;构造环境;构造事件

中图分类号:P588.12⁺1

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2012)05-0745-05

Collision and granite: Collision is a tectonic event, not a tectonic environment

ZHANG Qi

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The relationship between the collision and the granite is a problem of common concern among geologists, nevertheless, many misunderstandings exist in the current study. This paper argues that collision is a tectonic event in shallow crust and hence does not belong to the category of tectonic setting. Granite is probably formed by the partial melting of the bottom of the lower crust. The formation of granite needs heat, and the heat mainly comes from the mantle. Collision can't produce granite. The differences of granite geochemistry between syn-collision and post-collision are related to the change of crust thickness caused by collision. So, the discrimination diagrams of tectonic settings, if they contain collision, are completely wrong.

Key words: collision; post-collision; granite; tectonic setting; tectonic event

花岗岩与构造环境的关系是花岗岩研究中最引人注目的问题,花岗岩与碰撞的关系也是学术界极感兴趣的话题。许多人认为碰撞和构造环境是一回事,其实不然。花岗岩构造环境研究中一个最大的错误是把碰撞搅进来。碰撞是构造事件,不是构造环境。外国人厘定的花岗岩构造环境判别图中,几乎无一例外地包含有碰撞和碰撞后的内容。殊不知,不论从科学角度、哲学角度,还是从逻辑学角度

来看,这都是绝对错误的。

学术界还普遍认为,碰撞不仅能够产生花岗岩,还能制约花岗岩的成分。例如,同碰撞和碰撞后的花岗岩化学成分是不同的,并成为花岗岩构造环境判别图的基础。实际上这也是错误的。例如 Pearce 等(1984)将富 Rb 贫 Y 和 Yb 的花岗岩确定为同碰撞的。Harris 等(1986)更强调 Rb 的意义,在他们拟定的 Rb-Hf-Ta 三角图中,主要随着 Rb 含量的变

化(由高到低),花岗岩由同碰撞变为后碰撞又变为板内花岗岩。此外,还有 Maniar 和 Piccoli(1989)的判别图和 de La Roche 等(1980)的 R_1 和 R_2 图等。笔者认为,上述判别图大多反映的是花岗岩源区的信息,与碰撞或碰撞后并无密切的关系。

碰撞的变形主要发生在地壳浅部,花岗岩来自下地壳底部,需要来自地幔的热,碰撞所产生的热不足以产生具有一定规模的花岗岩。

这里有几个问题需要讨论:碰撞的概念是什么?它与构造环境是什么关系?碰撞能否产生花岗岩?同碰撞和碰撞后的花岗岩是怎么形成的?碰撞和碰撞后花岗岩性质上的差别受什么因素制约?能够区分开同碰撞、后碰撞和碰撞后花岗岩吗?

1 碰撞的概念

(1)碰撞是构造事件,不是构造环境。什么是构造环境?构造环境指的是大的构造背景,就是洋中脊环境、岛弧环境和洋岛(板内)环境,全球构造环境仅此 3 种而已。至于弧后盆地环境、弧前盆地环境、活动陆缘环境以及裂谷环境等,则是从上述 3 种构造环境中派生出来或具有过渡特征的环境。碰撞是两个地质体的对接,是构造事件,不是构造环境。碰撞可以发生在上述各种构造环境中。把构造环境和碰撞事件放在一起讨论是混淆了两种不同的概念。

(2)碰撞是地壳浅部的物理效应,主要表现为挤压、断裂、叠加、扭曲、变形、逃逸、滑脱等,是地质体发生的脆性和塑性变形,是物理变化而非化学变化。两个汽车相撞,汽车可以发生破坏、扭曲、变形,但是,汽车的化学性质不会变化,地质过程也大致如此。大陆与大陆可以相撞,大陆与岛弧可以相撞,大洋中脊可以相撞,岛弧和洋岛也可以相撞。大陆花岗岩与岛弧花岗岩相撞,大陆花岗岩仍然是大陆花岗岩,岛弧花岗岩仍然是岛弧花岗岩,只是花岗岩破碎、混杂、变形了,其地球化学性质不可能发生变化。

2 与碰撞有关的花岗岩是怎么形成的?

花岗岩与构造环境有关,不同的构造环境产生不同的花岗岩,原因在于不同构造环境的源岩不同。在洋中脊环境,最主要的岩石是 MORB(大洋中脊玄武岩)。如果有来自地幔的热,达到使 MORB 部分

熔融的条件,形成的花岗岩即为洋脊型花岗岩。相应的,在岛弧环境,岛弧拉斑玄武岩(IAT)部分熔融形成的花岗岩是岛弧型的;在洋岛环境,洋岛玄武岩(OIB)部分熔融形成的花岗岩是洋岛型的(Pearce *et al.*, 1984)。因此,不同的构造环境产生不同的花岗岩。

两个大陆的碰撞与花岗岩的形成有什么关系呢?通常认为,碰撞产生摩擦,摩擦生热,热使地壳熔融,从而形成花岗岩。这里的关键是:碰撞的热是否足以使地壳物质熔融形成花岗岩?野外在大的断层、剪切带可以见到厚达几或十几公里的糜棱岩化现象,有的变质程度可高达角闪岩相,并伴有强烈的混合岩化,有许多浅色的分异条带,部分分异条带具有花岗岩的地球化学特征,它们显然与碰撞导致的部分熔融事件有关。问题是,这些混合岩化形成的浅色分异条带能够汇聚起来形成具有一定规模的花岗岩吗?以这种方式形成的花岗岩能够向上侵位吗?这种可能性非常小,至少野外见不到这样的现象。花岗岩如果足够大,需要大量的持续的热的供给,这个热必定来自下地壳底部,或者是来自软流圈地幔上涌带来的热,或者是玄武质岩浆底侵带来的热,使下地壳发生部分熔融,才能形成花岗岩。这是花岗岩起源的最可能的、最佳的部位(张旗等, 2008, 2011)。地幔的热来自地幔深部,要么与板块俯冲有关,要么与下地幔活动有关。板块碰撞前,热来自俯冲板片的脱水熔融。陆陆碰撞,洋盆消失,俯冲终止,只有深部地幔来源一种可能性了。深部地幔来源于 660 km 的上下地幔之间或更深的下地幔(核幔边界),而碰撞是地壳上部至多包括全部地壳的事情,涉及的深度不会超过 80 km,与地幔深部活动(至少 >660 km)无关。因此,碰撞本身不产生花岗岩,仅靠碰撞带来的热不可能形成具有一定规模的花岗岩。虽然碰撞时或碰撞后可能有花岗岩出现(也可以没有),但是,该花岗岩的形成是与来自地幔的热有关而不是与碰撞有关(张旗等, 2008, 2011)。

如图 1 所示,碰撞引发的构造变形主要发生在地壳浅部,很少能够深入到下地壳。因为上地壳由于温度低是脆性的,下地壳由于温度高是塑性的。发育在地壳上部的断层很少能够进入具塑性流变特征的下地壳,上部地壳的伸展和挤压应力也很少能够传递到地幔。花岗岩来自何处?来自下地壳底部。花岗岩熔融需要热,热主要来自地幔深部。因此,下地壳底部是花岗岩熔融的最佳位置。许多教

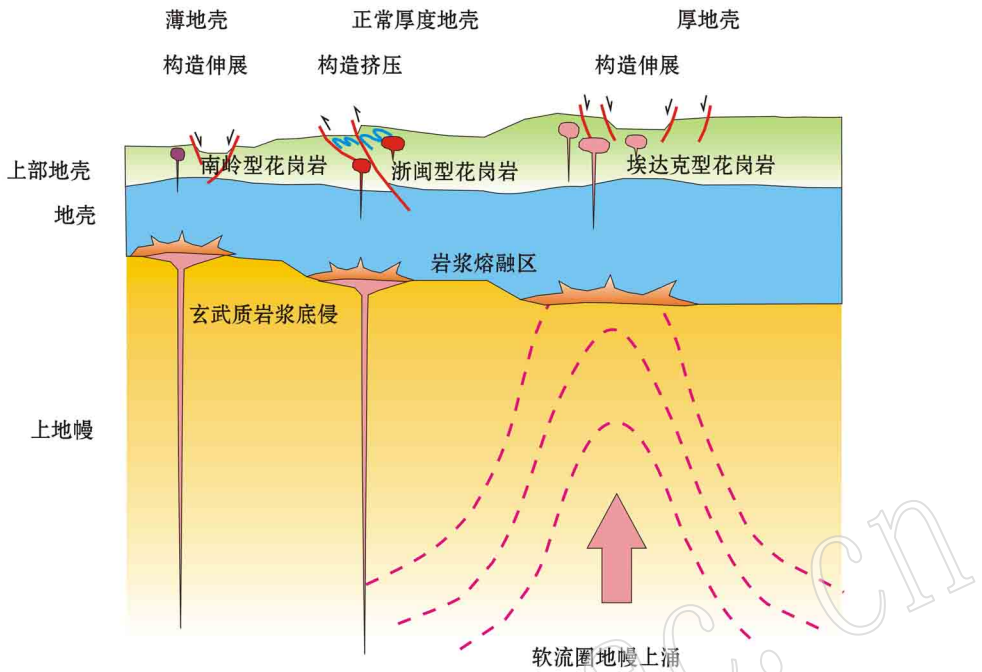


图 1 上部地壳构造变形与花岗岩形成的关系示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing relationship between structural deformation of the upper crust and granite formation

科书认为地壳中部也能熔融形成花岗岩，如果有玄武质岩浆进入地壳中部的话。其实这种可能性是微乎其微的，原因是侵入到地壳中部或上部的基性岩浆提供的热对于花岗岩的形成是不够的。

大陆为什么会碰撞？大陆是漂浮在地幔之上随板块运动而位移的，地幔对流是大陆移动的主因。在板块消减带，一个板块向另一个板块之下俯冲，俯冲的深度可到达 660 km 的上下地幔界面，然后向板块扩张脊方向回流。上地幔对流就是这样周而复始进行的：从板块扩张脊向两侧扩张，至消减带转而向下，至上地幔底部再逆向回流，至扩张脊转而向上。一旦发生陆块碰撞，地幔对流即受阻，这时可能出现两种情况：

(1) 两个大陆碰撞，地幔对流受阻，继而停止对流，板块俯冲随之停止，因板块俯冲导致的岩浆活动也随之终止，碰撞不产生花岗岩。

(2) 两个大陆碰撞，地幔继续对流，造成两个大陆持续的挤压和地壳的持续缩短(图 2)。例如青藏高原，在 60~50 Ma 前印度板块与欧亚板块对接，碰撞后直至今日，青藏高原地壳仍然在缩短，表明青藏高原之下的地幔对流还一直在进行，印度洋板块还在向北运移，但是，板块俯冲没有了，从消减带的 B 俯冲(约 60 Ma 之前)转变为陆陆之间的 A 俯冲(约

50~60 Ma 之后)。图 2a 表示在板块俯冲阶段(B 俯冲)，两个大陆汇聚，在活动陆缘产生活动陆缘花岗岩；图 2b 表示在板块碰撞阶段，洋盆消失，大陆碰撞，B 俯冲转变为 A 俯冲，地幔持续对流，来自地幔的热使下地壳底部熔融产生花岗岩；图 2c 表示在大陆缩短加厚阶段，地幔对流持续进行，大陆持续汇聚、压缩、加厚，由地幔深部带来的热加热下地壳底部使之形成花岗岩，在正常地壳厚度和薄的地壳厚度下形成的是浙闽型和南岭型花岗岩，在加厚的地壳底部形成的可能是埃达克型或喜马拉雅型花岗岩。A 俯冲不同于 B 俯冲的一个最重要的差别是后者可以携带大量的水而前者可能缺水。A 俯冲对地幔造成的扰动也可能触发地幔的部分熔融(图 2b、2c)，所形成的玄武岩的规模可能远远不及岛弧带，其性质也不是岛弧环境的，而可能是板内环境的，或以板内环境为主，有一些岛弧的迹象。这时，下地壳也可能由于底侵的玄武质岩浆的加热而发生部分熔融形成花岗质岩浆，这种花岗质岩浆也应当是板内环境的。

花岗岩熔融需要水，水来自何处？有人认为主要来自地幔，这种可能性很小。地幔也含水，但很少。水主要来自下地壳，主要来源于下地壳变质岩中含水矿物的分解，其中最重要的含水矿物是角闪

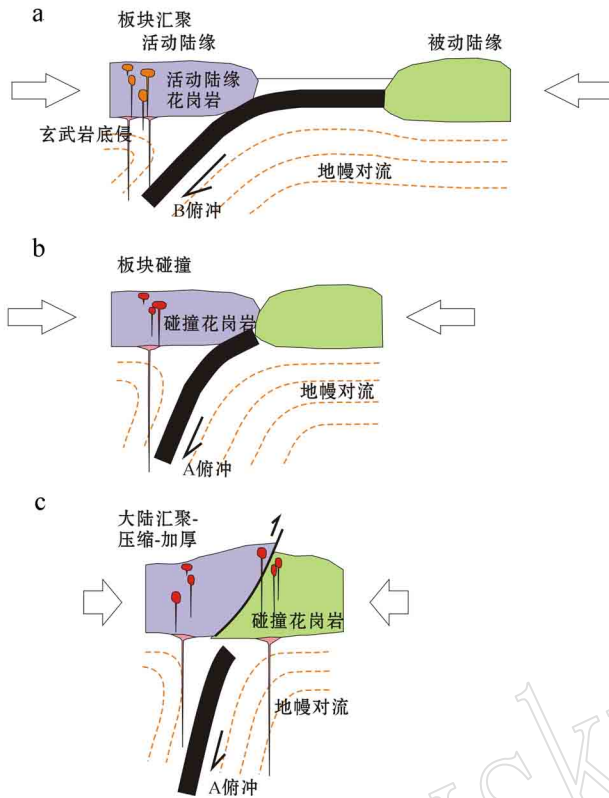


图 2 与大陆碰撞有关的花岗岩形成的示意图

Fig. 2 Schematic diagram of collision granites

石,其次是黑云母和帘石类等矿物。下地壳底部最常见的岩石为斜长角闪岩、麻粒岩和榴辉岩,麻粒岩和榴辉岩中也可以有少量角闪石产出(如角闪麻粒岩、角闪榴辉岩等)。

说碰撞产生摩擦,摩擦生热,热产生花岗岩,无论怎样还有一些道理,可以解释同碰撞花岗岩的形成。但是,减薄与花岗岩有关则令人匪夷所思了。碰撞产生摩擦,产生热;碰撞后构造伸展,热从哪里来?没有热,怎么会有花岗岩?

有人认为减薄是由于软流圈地幔上涌造成的,是软流圈地幔带来的热使花岗岩得以熔融,这是对的,那正好说明花岗岩与热有关,而不是与减薄的构造事件有关。这时的关系是,软流圈地幔上涌造成了两个结果:地壳抬升伸展减薄和加热下地壳使之熔融形成花岗岩。此时的减薄恰恰是与软流圈上涌有关而不是与碰撞有关。也就是说:与花岗岩伴生的地壳减薄是软流圈活动所为,单纯的构造伸展与花岗岩无关。两种减薄,此减薄(与软流圈有关)非彼减薄(与碰撞有关)。

3 碰撞花岗岩性质不同的原因是什么?

碰撞和碰撞后花岗岩在地球化学性质上存在差异,这是显而易见的,原因是什么?通常解释为与碰撞或碰撞后不同有关,例如有一种说法,俯冲产生的花岗岩大多是 I 型的,碰撞花岗岩大多是 S 型的。这种情况是有的,但不是处处如此(张旗等,2008)。构造挤压也好,构造伸展也好,与花岗岩地球化学性质不存在实质性联系。笔者认为,碰撞和碰撞后花岗岩之所以不同,可能主要受源岩和地壳厚度两个因素制约。

(1) 不同的源岩形成不同的花岗岩,这是最基本的概念。源岩如果是岛弧玄武岩,不论是碰撞还是碰撞后背景,不论地壳是处于挤压条件还是伸展条件,不论是在板块俯冲带还是下地壳底部,产生的都是岛弧型花岗岩。例如,中亚造山带三叠纪碰撞或碰撞后花岗岩的 Sr-Nd 同位素组成与大别-苏鲁地区的三叠纪碰撞或碰撞后花岗岩不同,原因即在于源区性质不同,前者的源岩具洋壳特征,后者的源岩是古老的大陆壳。

(2) 碰撞如果导致地壳厚度发生了变化,则可能形成不同类型的花岗岩。碰撞如果导致地壳加厚,在加厚的地壳背景下如果有花岗岩侵位,这个花岗岩要么是埃达克型的,要么是喜马拉雅型的。但是,碰撞也不一定伴随地壳加厚,如果碰撞并未明显改变地壳厚度或改变的厚度不超过 10 km,在花岗岩类型上没有反映,地壳仍然处在正常或薄的地壳厚度的情况下,形成的花岗岩要么是浙闽型的,要么是南岭型的。例如印度板块与欧亚板块的碰撞,在板块碰撞开始时(50~60 Ma),冈底斯地壳并未加厚,加厚是在 20 Ma 前出现的。因此,碰撞开始出现的花岗岩是浙闽型的(林子宗组),冈底斯 20 Ma 左右的埃达克岩(与铜矿有关的斑岩)才指示青藏高原抬升了(张旗等,2008)。碰撞后是个什么背景?碰撞后挤压的力量消失了,加厚的地壳即处于一种不稳定的状态,地壳将减薄,或拆沉或向周围流动,以抵消重力导致的不平衡。因此,碰撞可以使地壳加厚,也可以使地壳不加厚。但是,碰撞后必然是减薄,处于伸展的构造背景,这时出现的花岗岩不是浙闽型的,就是南岭型的。

埃达克型花岗岩形成于加厚地壳的底部,最可

能与碰撞有关。但是,国内外文献十之八九将埃达克型花岗岩归入碰撞后背景,令笔者百思而不得其解。如前所述,青藏高原目前仍然处于碰撞阶段,还没有到碰撞后阶段(如果到了碰撞后阶段,青藏高原即垮塌了,高原即消失了),青藏高原 20 Ma 以后的花岗岩不是埃达克型的就是喜马拉雅型的,不可能是碰撞后的。

流行的观点认为“ A 型花岗岩是碰撞后的,处于伸展减薄环境”,这句话是有毛病的。因为,伸展和减薄是两个不同的概念。减薄是指地壳厚度的变化,伸展是指构造应力的变化。通常情况下,构造的伸展导致地壳的减薄,但减薄的地壳照样可以有挤压。同样,加厚必然是挤压所为,但也可以有伸展。例如现在的青藏高原,它仍然处于挤压状态,每年缩短几厘米,高原仍然在升高。但是,高原内部既有强烈的挤压作用,也有强烈的伸展作用(如南北向的裂谷、东西向的藏南拆离系以及斜交的走滑断层等)。南岭地区侏罗纪时地壳很薄,花岗岩主要是 A 型的。但是,南岭某些地方在侏罗纪时也有强烈的构造挤压作用,不全部是伸展。因此,伸展和减薄不是一回事。A 型花岗岩不是必然与(构造的)伸展有关,而是必然与(地壳的)减薄有关。

4 小结

(1) 碰撞是地壳浅部的构造作用,花岗岩熔融需要热,热主要来自地幔深部。因此,碰撞与花岗岩无必然的成因关系和因果联系。碰撞产生摩擦,摩擦生热。但是,这个热的规模很小,持续的时间很短,不足以形成具有一定规模的花岗岩。世界上产于碰撞带的绝大多数花岗岩与碰撞形成的热无关。碰撞与花岗岩有时具有时空联系,主要是因为引发碰撞的地幔仍然在持续的对流,是来自地幔深部的熔体和热使下地壳底部熔融产生了花岗岩。

(2) 碰撞和碰撞后花岗岩在地球化学性质上存在差异,与碰撞或碰撞后构造事件无关,主要受源岩和地壳厚度两个因素制约。不同的源岩形成不同的花岗岩(例如 I 型和 S 型),不同的地壳厚度形成不同的花岗岩(如埃达克型、喜马拉雅型、浙闽型和南岭型)。

(3) 玄武岩构造环境判别取得了很大的成功,大大推进了玄武岩理论的进展。玄武岩研究构造环境,不研究与碰撞的关系。花岗岩构造环境研究引入碰撞的概念,是花岗岩理论研究的重大失败。碰撞不是构造环境,将构造环境和碰撞混为一谈是错误的。现今所用的花岗岩构造环境判别图如果包含有碰撞的内容都是不对的,是哲学思想混乱的产物。

目前花岗岩研究中存在的问题很多,本文的上述见解不同于当前学术界的主流认识。笔者认为,不突破现有认识,花岗岩研究就很难前进一步。笔者的认识是否杞人忧天,可以让实践来检验,让我们拭目以待。

References

- de La Roche H, Leterrier J, Grandclaude P, *et al.* 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 - R_2 diagram and major element analyses. Its relationships with current nomenclature [J]. *Chemical Geology*, 29: 183~210.
- Harris N B W, Marzouki F M H and Ali S. 1986. The Jabel Sayd Complex, Arabian shield: geochemical constraints on the origin of peralkaline and related granites [J]. *Journal of the Geological Society-London*, 143: 287~295.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 635~643.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 25: 956~983.
- Zhang Qi, Jin Weijun, Li Cengdong, *et al.* 2011. On the relationship of granitic rocks and their formation depth in the crust [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 255~265.
- Zhang Qi, Wang Yan, Xiong Xiaolin, *et al.* 2008. Adakite and Granite: Challenge and Opportunity [M]. Beijing: China Land Press (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 张旗,金惟俊,李承东,等. 2011. 花岗岩与地壳厚度关系探讨 [J]. *大地构造与成矿学*, 35: 255~265.
- 张旗,王焰,熊小林,等. 2008. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇 [M]. 北京: 中国大地出版社.