

18-20, 17

容矿断裂和含金石英脉的成因机制

邵世才

(中国科学院地球化学研究所·贵阳)

p618.510.1

A

详细地回顾了水力压裂作用和同构造石英脉的研究历史和现状,指出了今后的发展方向。探讨了影响和控制水力压裂作用发生和同构造脉形成的各种因素,指出“裂隙—矿脉”系统的形成是裂隙的多次张开和矿脉的多次愈合(封闭)过程综合作用的结果。而裂隙的形成和张开是水力压裂作用所致。

关键词 水力压裂作用 同构造含金石英脉 裂开—愈合作用

近年来,随着容矿(控矿)断裂和含金石英脉研究的不断深入,特别是含金剪切带型矿床的提出和该类矿床的不断发现,人们逐渐认识到越来越多的含矿(特别是含金)石英脉为同构造石英脉,其容矿(控矿)断裂为水力压裂作用(或称液压致裂)(hydrofracturing或hydraulic fracturing)^①。详细研究容矿断裂和同构造石英脉,对解决矿床和断裂的形成机制,丰富构造控矿和成矿理论,建立成矿模式,乃至确定找矿方向等都有重要的理论和实际意义。本文对容矿断裂和同构造石英脉的研究历程、现状、未来的发展方向进行了富有启发性的综述,以期达到抛砖引玉之功效。

1 同构造含金石英脉的提出^①

传统上绝大多数学者都认为裂隙(或断裂)的生成和脉体的充填是两个独立的在成因上互不关联的阶段,裂隙的形成和张开为区域构造应力所致(兰姆赛,1967;翟裕生等,1984;陈国达,1985;曾庆丰,1986;朱志澄,1987),这种脉称为后构造脉。但是自从 Sibson(1977)提出韧性剪切带双层模式,特别是80年代全球找金热的掀起,将剪切带理论引入石英脉型金矿床的研究中,结果发现绝大

多数原定为石英脉型的世界著名太古代金矿床都属于“剪切带型”矿床,如 Red Lake (Andrews et al., 1986; Roberts, 1987)、Sigma (Robert et al., 1986)、Kalgoorlie (Phillips, 1986; Muller, 1988)、Good Mile (Boulter, 1987; Eisenlohr et al., 1989)、Kolar (Siddaiah et al., 1989)、小秦岭(邵世才, 1992)、胶东(王吉琰, 1990)、夹皮沟(孙胜龙, 1990)、金厂峪(许晓峰, 1990)等,且认为含金石英脉为同构造脉,即含金石英脉的定位与容矿裂隙几乎同时形成,且容矿裂隙为水力压裂作用所致(Kerrick et al., 1988; Moritz et al., 1990; Cox et al., 1991; 邵世才等, 1991、1992、1993)。至此,提出了含金同构造石英脉,并阐明了裂隙和脉体的形成机制,并得到了公认。

2 水力压裂和同构造脉的研究历史和现状

早在50年代,Anderson(1951)在研究岩墙充填的力学机制时,发现流体对岩石具有劈裂作用,Hubbert(1959)详细研究了流体对形成岩石裂隙的控制作用,并首次提出了“水

本文1993年12月收到,侯庆有编辑。

① 邵世才,1992,中南工业大学博士学位论文。

力压裂作用”的概念。随后受到部分地质学家重视,如 Phillips(1972)讨论了水力压裂作用对成矿的意义;Ramsay(1980)讨论了“裂开—愈合”作用;Sibson(1981)讨论了低应力状态条件下,水力压裂作用对形成各类断层控制作用;Beach(1980)建立了水力压裂作用的数学模型。水力压裂作用在采油工艺方面得到实际应用,即通过向井下注入高压流体(主要是水),可使岩石发生破裂,从而增加岩石的连通性,提高了产油率(Howard, 1970; 丁健民, 1989)。但是将水力压裂作用应用于矿床或矿田的容矿(控矿)断裂的研究,则一直没有受到地质学家的注意或重视。直到 80 年代中期,提出剪切带型矿床以后,容矿断裂和含金同构造石英脉体的研究才真正受到重视,但在国内,仍没引起注意,只有奚小双(1987)^②和邵世才(1992)^③分别论述了西华山钨矿脉和小秦岭含金石英脉的同构造形成机制。

现在众多的学者都在探讨剪切带型金矿床的形成机制、控矿因素和成矿模式,^②如 Sibson(1988)的断裂—阀门模式, Bonnemaison(1990)的三阶段成矿模式。Boulter et al(1987)、刘喜山等(1991)和刘劲鸿(1991)探讨了剪切带型金矿床的控矿因素或参数。笔者认为,这些研究固然重要,但要真正解决剪切带型矿床的形成机制或成矿模式,只有深入剖析容矿断裂和含金石英脉体本身的裂开、定位的机制后,才能获得令人满意的成效。令人欣慰的是,这方面的研究工作已取得了可喜的进展,①证明了地壳内确实存在着高压流体(Fyfe, 1978; Etheridge et al., 1984)。②探讨了水力压裂作用的理论依据(Kerrick et al., 1988),流体的存在可降低有效正应力,即 $\sigma_n' = \sigma_n - P_f$,水力压裂作用发生的条件是: $P_f \geq \sigma_3 + T + \sigma_1 - \sigma_3 < 4T$ 。③建

立了水力压裂断层的判别标志(邵世才, 1992; 邵世才等, 1993)。④探讨了同构造脉体形成的控制因素,首先是裂隙的张开,它受 P_f 、 T 、 $\Delta\sigma$ 岩石各向异性和有无先成裂隙等因素影响,而流体的沉淀主要受因温度、压力降低而发生的相分离的控制(Cox, 1987; Roberts, 1987; 卢焕章, 1991)。⑤裂隙—矿脉系统的形成是裂隙的多次张开和脉体的多次充填愈合所致。

此外,奚小双(1987)和於崇文(1988)还分别认为西华山钨矿脉和个旧锡矿中陡倾互相平行的电气石脉为同构造脉。笔者认为它们的形成机制与含金石英脉相同。

从上述讨论可知,水力压裂作用和同构造脉的形成的研究虽然得了很大进展,但从矿床的形成和演化的角度探讨水力压裂作用和同构造脉体仅算刚刚起步,特别是在我国几乎是空白。所以在此方面的研究将会大有可为。

3 发展方向

由于水力压裂作用和同构造脉的形成相当复杂,对它们的研究涉及到断裂力学、流体热力学和动力学、腐蚀化学、构造地质学和地球化学等多门学科,因此属于交叉学科,研究范围较广。笔者认为其发展方向主要在流体与岩石相互作用方面(广义的水—岩相互作用),归纳起来,有如下几个方面:

(1)水力压裂作用的控制因素。前人已进行了不少研究,但都是较简单的情况,要研究多因素(P_f 、 T 、 σ_n 、岩石各向异性以及是否存在先成裂隙等)相互作用对水力压裂的控制。

(2)流体驱动裂纹扩展(张开)的动力学。这方面高合明(1992)^④已进行了尝试性研究,认为同构造脉体的形态主要取决于供给流体的流速,流体驱动力较大时裂纹扩展会

② 奚小双, 1987, 中南工业大学博士学位论文。

③ 邵世才, 1992, 中南工业大学博士学位论文。

发生动力学分叉,结果多股流体驱动裂纹扩展便形成了网脉状矿脉群,如德兴斑岩铜矿。

(3)高温流体的热致裂隙作用。由于成矿流体的温度一般都在 170℃ 以上,其巨大的热能可使围岩发生热膨胀,而其释放体能的最佳方式就是产生裂隙。这方面还无人进行过理论和实验研究。

(4)区域应力状态对水力压裂的影响及其裂隙产状的控制。Moritz et al(1990)从理论上解释了地表上部裂隙的产状较为平缓,而向深部则逐渐变为直立;何绍勋等(1988)探讨了区域应力场发生旋转时,裂隙产状的变化规律。^④

(5)流体的成分、酸碱度和压力对岩石产生的化学腐蚀和应力腐蚀作用。如有 H₂O 存在条件下, SiO₂ 可与 H₂O 结合形成一种含羟基(OH)的化合物,从而降低岩石的抗张强度(化学腐蚀作用的一种);而中南工业大学采矿工程系(1992)已得到国家自然科学基金资助研究应力腐蚀作用对岩石断裂的影响,从而服务于采矿工业。

(6)实验研究,在实验室内再现水压裂隙的形成和脉的充填。

参考文献

- 1 丁健民等.水力压裂应力测量及其在油气田开发中的应用.中国地质科学院地质力学研究所刊,1989,12号,185~195.
- 2 於崇文等.云南个旧锡多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系.中国地质大学出版社,1988.
- 3 卢焕章.从包裹体研究探讨太古代一些金矿的成矿机理.矿物学报,1991,11(4):289~297.
- 4 朱志澄.构造地质学.北京:地质出版社,1987.
- 5 邵世才等.太古宙含金石英脉型金矿床的定位机制.地质与勘探,1991,27(7).
- 6 邵世才等.小秦岭脉型金矿床容矿断裂及石英脉形成机制探讨.地质找矿论丛,1993,8(2):26~33.
- 7 陈国达.成矿构造研究法(第2版).北京:地质出版社,1985.
- 8 曾庆丰.论热液矿床的形成条件.北京:科学出版社,1986.

- 9 翟裕生等.矿田构造学概论.北京:冶金工业出版社,1984.
- 10 兰姆赛 J G. 岩石的褶皱作用和断裂作用(单文琅等译).地质出版社,1985.
- 11 Howard G C 等.水力压裂作用.北京:石油工业出版社,1980.
- 12 Anderson E M. The dynamics of faulting and dike formation with applications to Britain. Oliver & Boyd, 1951.
- 13 Beach A. Numerical models of hydraulic fracturing and the interpretation of syntectonic veins. J. Struct. Geol., 1980, 2(4): 425~438.
- 14 Boulter C A et al. The Gold Mile, Kalgoorlie: A giant deposit localized in ductile shear zones by structurally induced infiltration of a auriferous metamorphic fluid. Econ. Geol., 1987, 82: 1661~1678.
- 15 Bonnemaison M et al. Auriferous mineralization in some shear zone: A three-stage model of metallogenesis. Mineral Deposit., 1990, 25(2): 96~104.
- 16 Cox S F et al. The role of fluids in syntectonic mass transport and the localization of metamorphic vein-type deposits. Ore Geol. Rev., 1987, 2: 65~86.
- 17 Cox S F et al. Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein-hosted deposits—example from the Lachlan Fold Belt in central Victoria, Australia. Ore Geol. Rev., 1991, 6: 391~423.
- 18 Etheridge M A et al. High fluid pressures during regional metamorphism and deformation; implication for mass transport and deformation mechanisms. J. Geophys. Res., 1984, 86: B4344~B4358.
- 19 Fyfe W S et al. Fluids in the Earth's crust, Elsevier, 1978.
- 20 Hubbert M K et al. Mechanics of hydraulic fracturing. Trans. Ame. Inst. Min. Engr., 1959, 210: 153~168.
- 21 Kerrich R et al. The formation of gold deposits with particular reference to Archean greenstone belts and Yellowknife. Contrib. Geol. N. W. Territories, 3: 37~62.
- 22 Moritz R P et al. Mechanics of formation of the gold-bearing fushaite vein at the Dome mine, Timmins area, Ontario, Can. J. Earth Sci., 1990, 27: 1609~1620.

(下转第 17 页)

④ 高合明,1992,中国地质大学(武汉)博士学位论文。

在几何学、运动学和动力学上,为构造体系的发展、成型起到了承上启下的作用。其特殊的成因机制决定它在构造转换的过程中,始终表现为深层次的构造;随着构造的递进变形和变形分阶段的演化,早期表现为水平作用下的韧性剪切及同沉积构造,后期为垂直作用下的脆性变形和岩浆底辟,构造层次逐渐升高。所以彭山地区北北东向断裂在空间上控制着穹窿构造的发展,左右着以彭山变质核杂岩为主体的多层次滑脱剥离系统⁽²⁾,外貌上又被穹窿构造所限,在平面上无明显的断距,剖面上有正断层效应。

在构造的发展、演化过程中,北北东向断裂一方面是转换着东西向构造的性质,另一方面又在递进变形中诱发深层次的垂直运动,完成新一轮的构造转换,起到导岩、控岩作用。彭山地区即处在这种“转换构造”产生的局部拉伸区,伴有多层次的滑脱剥离及燕

山中期壳型花岗岩浆的底辟穿刺,自然,北北东向断裂在其自身构造的不断转换过程中,为上、下滑离盘的滑离(拆离)、物化条件(地热梯度、氧化还原环境)变化创造了积极的动态条件,深部滑离断层出现在基底与盖层之间,是这种应力传递最直接的力学界面,也是温度、压力、氧化还原电位等物化条件发生重大变化的地带,其与上下滑离盘的动力学状态差异明显,所以彭山地区有工业意义的锡—多金属矿床多集中分布在基底滑离断层面上,下震旦系洞门组石英砂砾岩中。

本文得到了吕光工程师的许多帮助,刘少昌总工程师、薛文桂主任工程师审阅了全文,并提出了宝贵意见,在此一并致谢!

参考文献

- 1 马长信等. 赣东北前震旦纪地质, 北京, 地质出版社, 1992.
- 2 周开明等. 江西德安普家垅锡矿, 矿产专著—有色金属矿产.

NNE Fracture in Pengshan Area and its Controlling of Rocks and Ores

Liu Nanqing, Huang Jianfeng

As viewed from varying scales, different layers, NNE fracture which is disharmonic with domal structures, is dynamically analysed. It is believed that it has been active since Caledonian, and is a terrestrial transform active fault with many kinds of deformational systems, and that it has been played a special role in rock and ore control.

(上接第20页)

- | | |
|---|--|
| 23 Phillips WJ. Hydraulic fracturing and mineralization. J. Geol. Soc., London, 1972, 128: 337~359. | dilatancy in thrust, wrench and normal fault terrains. Nature, London, 1981, 289: 593~603. |
| 24 Ramsay JG. The crack-seal mechanism of rock deformation. Nature, London, 1980, 284: 135~139. | 26 Sibson RH et al. High-angle reverse faults, fluid pressure cycling and mesothermal gold deposits. Geology, 1988, 16: 551~555. |
| 25 Sibson RH. Controls on low-stress hydraulic fracturing | |

Genetic Mechanism of Ore-hosted Fractures and Gold-bearing Quartz Veins

Shao Shicai

The research history and present situation of the hydraulic fracturing and syntectonic quartz veins were reviewed and future research focus was predicted. Many factors affecting and controlling the occurrence of hydraulic fracturing and formation of syntectonic veins were discussed. It was pointed out that the development of "fracture-veins" system resulted from the united actions of repeatedly opening of fractures and sealing of ore veins, and that the formation and opening of fractures were caused by the hydraulic fracturing.