

二叠纪末安加拉分子南侵塔里木和 全球气候变凉事件^{*}

方宗杰

(中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

提 要 从分析塔里木西南缘杜瓦二叠-三叠系界线剖面入手, 确认二叠纪末期塔里木曾广泛发生安加拉温湿型生物群分子的南侵事件, 华北同期也曾发生类似事件, 表明当时北半球的气候带曾突然向赤道方向移动。来自澳大利亚和印度的资料进一步证实这是一次短暂的全球性气候变凉事件。二叠纪末期, 西伯利亚爆发了显生宙以来规模最大的溢流玄武岩事件, 与此同时, 在赤道区的华南及南半球, 也都发生了强烈的火山活动。二叠纪末全球气候变凉事件即为火山冬天效应的具体表现。特提斯海区二叠系顶部礁生态系的突然消亡很可能是火山冬天效应的直接后果。

关键词 安加拉生物群 全球气候变凉事件 塔里木 二叠纪末 泛大陆动物群 火山冬天

1 介绍一条陆相二叠-三叠系界线剖面

皮山县杜瓦 47 团煤矿东支沟剖面(插图 1)是塔里木目前已知保存最好、研究最详的二叠-三叠系界线剖面, 其缺点是早三叠世乌尊萨依组保存太少, 仅厚 0.5m。此组在杜瓦水泥厂附近和杜瓦河东出露较多(陈金华等, 1996), 可补充本剖面之不足。东支沟剖面的岩性描述请参见方宗杰(1996)。此剖面有如下几个特点:

1. 剖面顶部第 9 层虽未获动物化石, 但所含 *Chasmosporites-Taeniasporites* (CT) 孢粉组合带时代属早三叠世并无疑问; 下伏第 2 层至第 8 层产 *Piceapollenites-Gardenasporites* (PG) 孢粉组合带, 则显示明确无误的晚二叠世晚期面貌; 这两个孢粉组合带之间总体差异颇为明显, 但 *Hamiapollenites*, *Limitisporites*, *Vittatina* 等共同分子的存在, 表明它们之间在发展上的连续性(朱怀诚, 1997)。如插图 1 所示, 第 2 层至第 8 层尚产动物化石, 包括双壳类 *Anthraconauta*, 叶肢介 *Eolimnadia gennadiyi* 及 *Panxiania-Volganella-Darwinuloides* 介形类动物群, 它们均仅限于晚二叠世, 这就证实了孢粉研究得出的时代意见。

2. 第 9 层的顶面明显呈凹凸不平状, 表明与上覆下、中侏罗统叶尔羌群存在着沉积间断。第 9 层产 CT 孢粉组合的 AET1013 与第 8 层顶部产 PG 孢粉组合的 AET1012 之间仅以一层透镜体状砂岩相隔, 厚不足 30cm。此层砂岩之上下的岩性并未发生明显变化, 颜色

^{*} 八五国家重点科技攻关项目(85-101-01-02-09)成果之一。并得到中国科学院院长基金的资助。

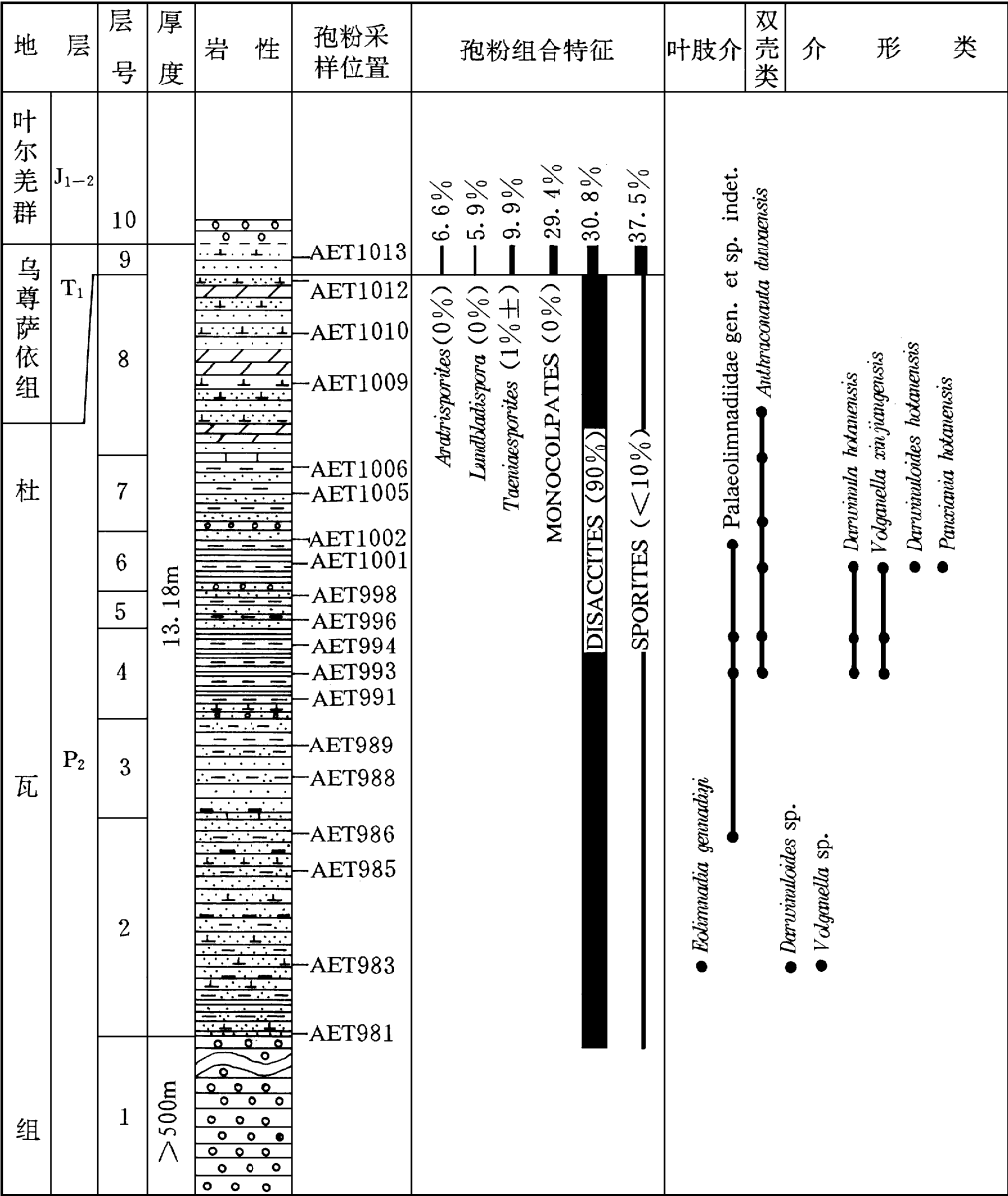


插图 1 皮山杜瓦 47 团煤矿东支沟二叠-三叠系界线柱状剖面图(引自方宗杰等,1996)

Stratigraphic section across the Permo-Triassic boundary at Duwa, Pishan County of Xinjiang, showing fossil distribution
(From Fang *et al.*, 1996)

均以灰黑色为主,未见沉积间断的迹象。因此,本剖面二叠-三叠系应为连续沉积。

3. 杜瓦组主体部分属洪积平原沉积相,为一套红、紫、褐色砂砾岩,厚五百余米,由 29 个厚度不等的正韵律组成。每个正韵律都从砾岩开始到粉砂岩或砂岩结束,反映出周期性洪水作用的影响。顶部 13.18m 则以灰色和黑色为基本色调,以细碎屑沉积为主,钙质和有机质比较丰富,夹多层泥灰岩或介壳灰岩,具有湖相沉积的特点。两者之间形成鲜明对照,对

比强烈。从宏观上看,由洪积平原向湖相沉积的转变颇为突然,表明其间环境曾发生相当明显的变化,使湖泊得以形成(或明显扩展)。值得注意的是,凡塔里木保存有同期地层的均可见到类似的由红转黑的现象。因此,本剖面近顶部发生的这种转变,并非只是局部沉积环境的改变,而应与整个塔里木的气候变化相联系,此时塔里木的气候显然曾经变得较为湿润。在本剖面顶部的十余米湖相沉积中,往上部泥灰岩沉积明显增加,似与湖水矿化度的增加相关。

4. 本剖面杜瓦组顶部所产化石均具强烈的安加拉色彩,如双壳类 *Anthraconauta* 和叶肢介 *Eolimnadia gennadiyi* (Novojilov) 属安加拉温带煤沼型动物群(方宗杰,1996),孢粉组合也明显具有安加拉区系的特征(朱怀诚,1997)。下伏普司格组上部所产化石则属泛大陆动物群,其分布受当时盛行于泛大陆中低纬度的季风气候的控制(方宗杰,1996)。如下所述,类似的生物群替换转变曾发生于整个塔里木地块。也就是说,二叠纪末塔里木曾广泛发生安加拉生物群分子大举南侵的事件。

2 二叠纪末安加拉分子南侵塔里木事件

吴绍祖(1983,1993)和李星学、姚兆奇(1983)已经注意到二叠纪安加拉植物群入侵塔里木北缘的现象。笔者等(1996)将塔里木二叠纪的植物化石划分为4个组合,并将植物群的发展分为3个阶段,即由早二叠世早期的欧美型植物群逐渐演变为早二叠世晚期(卡赞期)的亚安加拉-欧美混生植物群,晚二叠世晚期则演变为亚安加拉型植物群,这一发展历程显然从一个侧面反映了塔里木地块的漂移、拼合历史。对卡赞期和鞑靼期晚期这两个植物组合的进一步分析表明,卡赞期植物群分异度很低,仅包括 *Sphenophyllum*, *Sphenopteris*, *Paracalamites*, “*Noeggerathiopsis*”⁴ 属,后两个属具亚安加拉区的色彩。当时塔里木与北疆之间的海域已经闭合,实际上已不存在严重妨碍植物群迁移交流的地理隔障。推测塔里木和北疆之间此时在植物群方面的明显差异,主要受气候条件的控制。从总体看,塔里木当时仍受半干燥的季风气候的控制,不适于安加拉型植物的扩展,仅少数适应能力较强的类型得以生存。鞑靼期晚期的情况则显然不同,植物群的分异度高于卡赞期,且其中出现一些比较典型的安加拉分子,如 *Feonia* (“*Callipteris*”) *zeilleri*, *Yavorskya mungatica*, *Koretophyllites deliquescens*, *Comia*, *Iniopteris* 等,它们对气候条件的要求相对比较严格。因此,这些安加拉分子在南天山分区的出现,应当与北温湿气候带的向南扩张相关。

值得注意的是,据肖世禄(1989)报道,在南天山分区比尤勒包谷孜干沟的比尤勒包谷组顶部的黑色粉砂质泥岩中发现小个体的 *Anthraconauta*,情况与塔西南杜瓦组相仿。此外,根据沙漠覆盖区的钻探资料,二叠系阿恰群顶部地层普遍出现由红转黑的现象。也就是说,前述杜瓦⁴⁷团煤矿东支沟剖面顶部地层所显示的环境变化在整个塔里木地块均有反映,证明当时塔里木的古气候确曾发生过相当明显的变化,正是这种变化导致了安加拉植物群和动物群分子大举南侵塔里木。

Anthraconauta 是安加拉温带煤沼动物群的重要成员。此属在塔里木早二叠世的 *Palaeonodonta sophiae*-*Microdontella tarimensis* 组合中偶有发现,当时塔里木正逐渐靠近北

疆并与之拼合。然而在上覆卡赞期至鞑靼期早期的泛大陆双壳类动物群(即 *Palaeonodonta subcastor*-*Palaeomutela verneuili* 组合)中却未见此属的踪影(方宗杰, 1996); 直至二叠纪末期, 它才又重新入侵塔里木。

古植物学家一般将北疆归入亚安加拉区的范畴, 但泛大陆双壳类动物群却曾入侵北疆, 并一度替代了 *Anthraconauta*-*Mrassiella*-*Microdontella* 安加拉煤沼型动物群。北疆当时位处北温湿带的南部外围地带, 位近中、低纬度季风气候带(泛大陆动物地理区), 这一地带容易发生不同区系动物群的交替或混生。看来在构造格局和古气候格局这两大控制因素中, 后者对生物分布、迁移的影响往往比较直接, 且表现出更多的突然性; 而动物对气候变化的反应似乎较植物更为灵敏、更为迅速。

曾经广布于塔西南、南天山和北疆红色地层中的泛大陆型 *Palaeonodonta*-*Palaeomutela* 动物群至二叠纪末期普遍被安加拉温带煤沼型分子替代(方宗杰, 1996)。这一替代事件与安加拉植物群分子的大举南侵事件完全吻合, 这恐非偶然, 证明当时北温湿气候带确曾明显向南扩张。塔西南一带目前除少量植物碎片外, 尚未发现具有研究价值的植物化石, 但朱怀诚(1997)对孢粉植物群的研究表明, 杜瓦组 PG 孢粉组合的一般特征及数量关系均完全可以和天山南北对比, 明显具有安加拉区系的特征。由此推断安加拉植物群也南侵至塔西南一带, 似乎并不过分。此外, 杜瓦组顶部除找到大量 *Anthraconauta* 外, 还发现西伯利亚通古斯卡鞑靼期晚期分子 *Eolimnadia gennadiyi*, 这就从另一个侧面证实, 安加拉分子的南侵事件涉及整个塔里木地块。

综上所述, 塔里木在二叠纪末期曾发生安加拉温湿型动、植物群分子南侵的事件, 沉积学方面的证据也证实发生了与之同步的环境变迁。众所周知, 气候带向赤道方向移动标志着气候变凉。因此, 塔里木二叠纪末曾经发生气候变凉事件。种种迹象表明, 这一事件应属全球性的气候事件。

3 华北二叠纪末安加拉分子入侵事件

自 Bexell 在甘肃南山剖面 C 化石层中发现安加拉植物群分子以来, 引起众多中外学者的重视和讨论。李星学(1963)强调, 南山剖面的植物化石, 除 C 化石层外, 均与华北相同。刘洪筹等(1981)的工作澄清了以下几个问题:

(1) 南山剖面 C 化石层即现今采用的肃南组, 时代为晚二叠世晚期。

(2) 所谓南山的安加拉植物群实属以华北型华夏植物群为主体的华夏-安加拉混生植物群。

(3) 南山一带二叠纪时始终属于华北型华夏植物地理区, 并非安加拉和华北之间的过渡带。混生现象的发生起因于晚二叠世末安加拉植物群分子的向南迁移。

王自强等(1986)报道了华北孙家沟组中发现若干安加拉分子, 后来王自强(1989)又进一步讨论了所谓安加拉分子的入侵事件。他们强调:

(1) 华北石盒子植物群中没有真正的安加拉分子。不论孙家沟组还是肃南组中, 出现的均为西安加拉区(包括俄罗斯地台、伯绍拉盆地和前乌拉尔区)分子, 如 *Peltasperмум*, *Phylladoderma*, *Tatarina*, *Zamiopteris* 等。

(2) 西安加拉分子的入侵事件发生于二叠纪末期。

看来华北在二叠纪末期也曾发生安加拉分子的入侵事件,但其入侵分子系西安加拉分子;而入侵塔里木的则是来自北疆的亚安加拉分子。王自强(1989)着重从构造格局的角度讨论了这一问题。本文认为,古气候因素的控制作用同样不容忽视。

笔者(1991)曾经指出,对于混生植物群的形成,不宜过分强调不同植物区系之间的陆地联系,对于当时植物的散布能力应有充分的估计。此外,应充分考虑古气候因素的控制作用。例如,塔里木在早二叠世晚期已与北疆拼合,但此时的植物群(即 *Sphenophyllum verticillatum*-*Paracalamites* sp.-“*Noeggerathiopsis*” *subangusta* 组合,参见吴秀元等,1997)却并不显示强烈的安加拉色彩。同期的孢粉植物群(AV 组合)也同样未显示明显的安加拉面貌(朱怀诚,1997)。与之同时的双壳类动物群则属泛大陆型,其中未见安加拉煤沼型双壳类的踪影。不仅如此,泛大陆动物群还曾一度向北入侵至北疆(方宗杰,1996)。因此,正是当时盛行于塔里木的季风气候遏制了亚安加拉植物群的南侵。如前所述,直到二叠纪末气候变凉事件的发生,才为安加拉分子的南侵带来了机会。

华北在二叠纪末的气候可能不如塔里木那样湿润,这也许是造成上述差异的重要原因之一。无论如何,以盾籽类为代表的西安加拉植物群似乎更适应较为干旱的气候。镁灰岩(Zechstein)植物群曾被看作是具有中生代面貌的植物群,然而, *Meyen*(1973)指出,这一植物群在二叠-三叠系界线之下即已告绝灭,实际上并未对中生代植物群的发展作出多少直接贡献。以盾籽类为代表的西安加拉植物群于二叠纪末期迅速向东扩展,进入通古斯地区(*Meyen*, 1973)和华北(王自强, 1989);西安加拉区本身此时广泛存在沉积间断,故情况不明。据王自强(1989)研究,这一植物群虽然在二叠纪末的绝灭事件中也遭受重大打击,但以盾籽目为代表的先进种子蕨对三叠纪植物群的发展,尤其是对考依波(*Keuper*)植物群的形成,显然作出了重要贡献。因此,这才是一个真正具有中生代面貌的植物群,它似乎更能适应三叠纪的温室气候。

据刘本培、李子舜(1980)报道,在陕西耀县、韩城等地的孙家沟组(石千峰组)上部发现 *Abiella* sp., *Microdontella* sp. 等安加拉煤沼型分子,未见以 *Palaeonodonta*-*Palaeomutela* 组合为特征的泛大陆动物群,也证实存在安加拉生物群的南侵现象。

总之,根据以上动、植物化石资料,可以推断华北在二叠纪末也曾发生与塔里木相仿的气候变凉事件。下文所述种种证据,将进一步证明这是一次全球性的事件。

4 来自世界其它地区的证据

70 年代相继在东澳和西伯利亚的卡赞期地层中发现可能与冰海相相关的沉积(*Crowell and Frakes*, 1971; *Ustritskiy*, 1974; *Frakes et al.*, 1975), *Stanley* (1984a, b, 1988a, b)据此提出晚二叠世全球变凉,并认为这是造成二叠纪末全球生物大绝灭的原因所在。

本文所述全球气候变凉事件发生于二叠纪末期,与所谓卡赞期冰期并无直接关系。根据皮山杜瓦剖面及其它地点的资料分析,此次气候变凉事件延续时间不会太长。从地质时间的尺度看,是一次较为突然的全球性气候波动;可能开始于二叠纪末生物大绝灭前夕。推测正是这一事件,以及与之相关连的一系列其它事件,造成了二叠纪末全球生物的大绝灭事

件。

4.1 东澳大利亚

Conaghan 等(1994)探讨了澳大利亚东部悉尼盆地晚二叠世 Illawarra Coal Measures 顶部常见的波状石隆(stone-rolls)现象,通过与现代串珠状泥炭丘(string-palsamires)的详细类比,令人信服地证明这一现象实属永久冻土构造。串珠状泥炭丘沼地在当今欧亚大陆和北美的副极区(subpolar)颇为常见,是特定气候条件和地形条件下的产物。悉尼盆地的永久冻土构造见于两个层位:一是位于二叠系最顶部的 Bulli 煤层的底板,另一位位于 Bulli 煤层之下 40m 的 Wongawilli 煤层的底板。位于这两者之间的 Balgownie 煤层的底板页岩(上距 Bulli 煤层仅 6m)则缺乏永久冻土构造,表明其间气候仍是温暖的。Conaghan 等(1994)将 Wongawilli 煤层底板的永久冻土构造解释为石炭—二叠纪冰期最后一期的产物,此时在同期海相地层 Dempsey 组中出现浮冰落石(dropstone),两者可以对应。二叠系最顶部 Bulli 煤层底板出现的永久冻土构造则被解释为西伯利亚暗色岩(Siberian Traps)喷发所导致的火山冬天(volcanic winter)的直接后果。也就是说,在二叠纪末曾发生一次突然的气候变凉事件。

4.2 印度半岛

据 Tiwari 和 Vijaya(1994)的孢粉学研究,印度半岛在二叠纪末气候曾由暖湿变为温凉,表现为具环带单囊(girdling monosaccate)花粉的再度繁荣。可惜他们未对此作进一步的阐述。单囊粉在冈瓦纳冰期曾经繁盛一时。

4.3 特提斯海区

Flügel 和 Reinhardt(1989)对中国四川土地垭和希腊斯基罗斯岛(Skyros)的长兴期生物礁进行了研究,它们与古 带相当,代表迄今已知的最年轻的二叠纪礁。他们惊奇地发现,这两处礁均显示了很高的分异度,而且由底向顶,不论是分类上的分异度还是生物相的类型,均表现出增加的倾向;这一增加的倾向一直延续到二叠系近顶部礁体发育突然结束为止。因此,这两位作者对 Stanley(1988a)的假说表示了怀疑。

从华南二叠纪生物礁的发育状况看,晚二叠世礁体对早二叠世的继承性相当明显,且成礁期由南向北,由西向东存在逐渐推迟的趋势(曾鼎乾等,1988;张维等,1992;王立亭等,1994)。过去认为以珊瑚为主的礁仅见于早二叠世,最近在长兴期也有发现(沈建伟、杨万容,1996;王永标等,1997)。Flügel 和 Reinhardt(1989)强调长兴期礁发育的继承性,并明确指出,尚无迹象表明礁生态系在二叠纪末以前曾经受到集群绝灭事件的影响。总之,从二叠纪生物礁的发育状况看,卡赞期冰期导致生物绝灭的假说恐难成立,主张绝灭是逐渐发生的假说似乎也说不大通。

值得注意的是,四川土地垭礁,至二叠系最顶部,礁灰岩突然消失,被粗枝藻灰岩取代。在特提斯海区,与此层位相当的粗枝藻分布相当广泛。Flügel 和 Reinhardt(1989)据此推断特提斯海区当时仍保持了正常的热带海水温度。

据 Stehli 和 Wells(1971)对现代珊瑚礁的观察,当二月的海水表面温度保持在 28°C 以上时,珊瑚礁生物群保持正常;但当水温降低至 26°C 时,一半左右的属即告消失。因此,就热带海域而言,温度下降 2°C 或 3°C ,似不至于改变海水的热带性质;但对于礁生态系而言,一些物种也许因此消失,并可能由此引发一系列连锁反应,从而导致礁体的消亡。笔者推断,四川土地垭二叠纪末期海水温度的下降幅度大概超出了礁生态系所能承受的最低温度,

但又高于粗枝藻所能承受的最低温度。特提斯海区长兴期生物礁的突然消亡很可能是二叠纪末期全球气候变凉事件的后果之一。

5 二叠纪末期的全球气候变凉事件与西伯利亚溢流玄武岩事件

综上所述,在二叠纪末期的北半球,温带生物群向赤道方向迁移,南侵塔里木和华北;与此同时,在南半球,澳大利亚悉尼盆地突然出现永久冻土构造,印度半岛的气候也由暖湿变为温凉,证明当时曾发生全球规模的气候变凉事件。在赤道的特提斯海区,二叠纪以来基本处于正常演替状态的礁生态系突然消亡,似乎也可解释为这一气候变凉事件的直接后果。

鉴于一些典型剖面的孢粉地层已经得到系统研究,如浙江长兴煤山(Ouyang and Utting, 1990)、巴基斯坦盐岭(Balme, 1970)、东格陵兰(Balme, 1979)、南阿尔卑斯(Visscher and Brugman, 1988)等,孢粉组合在二叠-三叠系界线研究中的作用及其可靠性为学术界所公认。此外,与本研究相关的一些剖面,如悉尼盆地、北疆吉木萨尔大龙口剖面等,综合研究程度颇高。故上述事件的同时性应无疑问。

早在 1784 年,人类即已注意到火山爆发所造成的气候变凉效应。Benjamin Franklin 当时正出访欧洲,曾注意观察他后来称之为“干雾”(“dry fog”)的现象,并将它归因于 1783 年冰岛的 Laki 火山。近年来,对火山活动气候效应的研究渐受重视。对人类历史时期火山事件的综合分析研究,尤其 1963 年 Agung 火山爆发后,对同温层(平流层)气悬体(stratospheric aerosol)的直接采样研究,进一步证明气悬体主要由微米级的硫酸微滴构成,从而最终确认了其火山成因。人类对引发火山冬天的机制逐渐有了比较清晰的认识。事实证明,由火山作用触发的气候变凉效应主要与喷出的含硫气体及由其派生的同温层硫酸气悬体相关;过去比较重视的火山灰则在气悬体烟云中居次要地位,其沉降速度较快,一般在大气圈中滞留时间不长。火山冬天效应明显与否及其强度、延续时间等主要取决于硫酸气悬体的总量及其在同温层中的分布状况和滞留时间等。气悬体在同温层中的滞留时间则取决于硫酸微滴聚集增长的微物理过程。当微滴的体积增长到一定程度,便以酸雨的形式降落到地面。因此,气悬体的滞留时间还取决于微滴增长和降落过程之间的动态平衡(Bryson and Goodman, 1980; Hammer *et al.*, 1980; Rampino *et al.*, 1982, 1984, 1985, 1988; Loper *et al.*, 1988; Courtillot, 1990a; Luhr, 1991; Westrich and Gerlach, 1992; Kerr, 1996)。由于 SO_2 、 H_2S 等火山气体的气候效应与以 CO_2 为代表的温室气体恰好相反,不妨称之为冰室气体。

应当指出,就人类历史时期发生的火山事件(均属小型孤立的火山事件,无法与地史时期发生的大规模火山事件比拟)而言,由冰室气体所导致的火山冬天属于短期气候效应,至多延续几年或几十年(Hammer *et al.*, 1980; Bryson and Goodman, 1980; Rampino *et al.*, 1988),不易在地质记录中留下痕迹。另一方面,火山活动也喷发出大量温室气体,如 CO_2 等,一般认为其长期气候效应是全球变暖(Loper *et al.*, 1988; Courtillot, 1990a; Luhr, 1991)。

岩石学研究表明,溢流玄武岩(flood basalts)属高硫火山活动。由于基性熔岩粘度小,易于流动,传统上将此类火山活动归为平静式喷发类型;认为它缺乏类似于硅质火山活动的爆发性,缺乏高耸入同温层的喷发烟柱(eruption column),难以将 SO_2 等冰室气体送至同温

层的高度,因此,不大可能造成明显的气候效应(Sigurdsson, 1990)。但另一些学者认为,由于大型溢流玄武岩喷发速率甚高,巨大的火泉(fire fountains)完全有能力将含硫气体和火山灰送至同温层的高度(Stothers *et al.*, 1988; 引自 Rampino *et al.*, 1988; Courtillot, 1990b)。Courtillot (1990a)还提出,玄武岩的上升柱状体在喷发前必须穿过大陆地壳,熔化出一条通道,这就可能产生粘性较强的富硅质岩浆,从而导致爆发性的火山活动。

大规模溢流玄武岩喷发仅见于地史时期,故人们对其喷发状况所知甚少。在人类历史时期,类似的裂隙式玄武岩喷发,只有 1783 年冰岛的 Laki 火山一例。其规模甚小,只持续了 8 个月,从 13km 长的裂缝中总共仅喷出 12.3km^3 的玄武岩岩浆。然而此次喷发的灾害效应相当严重,毒气杀死了冰岛 75% 的牲畜,并最终导致全国 24% 人口死亡,北半球(欧洲、北非、亚洲)广泛出现“干雾”和异常寒冷的冬季(Rampino *et al.*, 1988; Courtillot, 1990a)。这一实例对于我们了解地史时期的大规模溢流玄武岩事件的灾难效应,也许会有所启示。

Campbell 等(1992)和 Renn 等(1995)明确将二叠纪末生物大绝灭事件与西伯利亚暗色岩喷发事件相联系。他们认为这一事件产生大量同温层硫酸气悬体烟云,造成火山冬天效应,出现小冰期和海退,并广泛形成酸雨,随之而来的则是温室气候。正是由于环境的这种极端变化,导致了生物的大绝灭。他们虽然强调了气候突然变凉事件在触发绝灭事件中的重要性,却并未提供任何有关的证据。Campbell 等(1992)曾不无遗憾地指出,在地质记录中恐怕很难找到这样的证据。如前所述,就小型、孤立的火山事件而言,其火山冬天效应属短期气候现象,一般不易在地质记录中留下痕迹。然而,延续时间较长的大规模火山事件完全有可能在地质记录中找到相应的痕迹。例如,据 Alexrod (1981)研究,第三纪火山活动恰好与低温期吻合,并在化石植物群中得到反映。再如,Conaghan 等(1994)为二叠纪末期火山冬天的存在提供了证据;本文则提供更多的事实,证明二叠纪末期确曾发生全球规模的气候变凉事件。尽管如此,目前仍无任何证据支持二叠纪末期极地曾出现冰盖,或冰盖曾发生扩张的假说。

本文支持将二叠纪末的全球气候变凉事件视为火山冬天效应的假说,这是因为:

(1) 西伯利亚暗色岩是显生宙以来规模最大的一次溢流玄武岩喷发活动,其分布面积达 $2.5 \times 10^6 \text{km}^2$, 厚达 3 000m; 其喷发速率甚高,以平均计,达每年 3km^3 (Campbell *et al.*, 1992; Renn *et al.*, 1995)。

(2) 据估计,西伯利亚暗色岩火山活动持续约 0.6Ma—1Ma (Campbell *et al.*, 1992; Renn *et al.*, 1995)。由于冰室气体能源源不断地得到补充,从而较长时间地抑制和延缓了温室气候的到来,使本属短期气候效应的火山冬天得以在地质记录中留下痕迹。

(3) 西伯利亚暗色岩含有大量火山碎屑物质,凝灰岩约占喷发总量的 20%,其中含有大量来自下伏地层的岩石碎屑,如二叠纪含煤的通古斯岩组等。一些白云岩和泥灰岩碎块来自暗色岩以下 300—1 500m 的泥盆系,个别岩屑甚至来自地下 10km 深处 (Campbell *et al.*, 1992)。这些都充分显示了爆发型火山活动的特点。因此,这一火山事件具备有将冰室气体和火山灰送入同温层的能力。

(4) 西伯利亚暗色岩尤以富硫为特点,与之同期的同源岩浆侵入体赋存有丰富的硫化矿床。溢流玄武岩喷发本身属高硫火山活动,不仅如此,玄武岩浆在上升过程中还穿越了 5km 厚富含硫酸盐矿物(硬石膏等)的泥盆系和石炭系 (Campbell *et al.*, 1992)。也就是说,

西伯利亚暗色岩喷发可为火山冬天效应提供充分的冰室气体。据研究,硫同位素曲线在二叠-三叠系界线附近达到显生宙以来的最低点(Claypool *et al.*, 1980; Holser and Margaritz, 1987),这可能与大量地幔来源的轻硫进入海洋有关。

(5) 现有资料证明,二叠纪末期是显生宙以来全球火山活动最强烈的时期之一。经 Renn 等(1995)校正,西伯利亚暗色岩的喷发始于二叠纪末期;在华南广泛分布的二叠-三叠系界线粘土已被证明属硅质火山活动的产物(Zhou and Kyte, 1988; 殷鸿福等, 1989; Yin *et al.*, 1992; Chung and Jahn, 1995),其分布面积至少达 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$,估计喷发量大于 $1\,000 \text{ km}^3$ (相当于长江一年的流量);此外,南半球此时也广泛发生火山活动(Veevers and Tewari, 1995),如西澳和东澳的新英格兰等。二叠纪末期全球发生如此广泛而强烈的火山活动,这就为形成世界性分布的同温层气悬体烟云创造了条件。

以殷鸿福为代表的学者比较强调华南硅质火山活动在生物绝灭事件中的作用。Erwin (1993, 1996)对此表示了不同看法。根据对过去 80Ma 以来 4 次规模与华南相仿的硅质火山事件的研究,他认为此类事件不足以导致生物绝灭事件。一般说来,与相同规模的玄武岩喷发相比,硅质火山活动所喷出的含硫气体要少一个数量级(Rampino *et al.*, 1988),其气候变凉效应显然不如玄武岩喷发活动。如果将华南的硅质火山活动当作一次孤立的火山事件,Erwin 的观点无疑是正确的。既然现已确认了它和西伯利亚暗色岩事件的同时性,作为位于低纬度赤道区的爆发性极强的硅质火山活动,它必然会对后者的灾难效应作出重要补充,我们必须充分考虑它们的叠加效应。

总之,二叠-三叠纪之交,当时的南、北半球及低纬度赤道区均发生了强烈的火山活动,其分布范围之广,强度之大,在地球历史上是空前的,且持续时间较长,从而造成较长时间的全球气候变凉效应,并在地质记录中留下了痕迹。尽管就地质时间尺度而言,这仍然是一次短暂的气候事件,随之而来的则是十分漫长的温室气候。

参 考 文 献

- 方宗杰, 1991. 滇缅马生物区系及其在古特提斯中的位置. 古生物学报, **30**(4): 511—532
- 方宗杰, 1996. 塔里木二叠纪非海相双壳类化石. 古生物学报, **35**(增刊): 60—79
- 方宗杰, 朱怀诚, 吴秀元, 朱自力, 陈中强, 罗 辉, 曹美珍, 虞子治, 1996. 塔里木地块二叠系研究的新进展. 见“塔里木盆地石油地质研究新进展”. 北京: 科学出版社. 41—53
- 王立亭, 陆彦邦, 赵时久, 罗晋辉, 1994. 中国南方二叠纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社
- 王永标, 徐桂荣, 林启祥, 1997. 湖南慈利晚二叠世海绵礁与珊瑚礁的古生态研究. 地球科学——中国地质大学学报, **22**(2): 135—138
- 王自强, 1989. 华北二叠纪大型古植物事件. 古生物学报, **28**(3): 314—343
- 王自强, 王立新, 1986. 华北石千峰群下部晚二叠世植物化石. 中国地质科学院天津地质矿产研究所刊, **15**: 1—120
- 刘本培, 李子舜, 1980. 三叠纪瓣鳃类. 见“陕甘宁盆地中生代地层古生物”, 下册. 北京: 地质出版社. 1—27
- 刘洪筹, 史美良, 梁建德, 沈光隆, 1981. 柏克塞尔南山剖面的几个生物地层问题. 见“中国古生物学会第十二届学术年会论文选集”, 北京: 科学出版社. 137—146
- 朱怀诚, 1997. 塔里木盆地二叠系孢粉组合及生物地层学. 古生物学报, **36**(增刊): 38—64
- 沈建伟, 杨万容, 1995. 湘西武陵源晚二叠世长兴期珊瑚礁. 科学通报, **40**(16): 1491—1494
- 李星学, 1963. 中国晚古生代陆相地层. 北京: 科学出版社

- 李星学,姚兆奇,1983. 东亚石炭纪和二叠纪植物地理分区.见“中国古生物地理区系”.北京:科学出版社.74—82
- 肖世禄,1989. 南天山地区二叠-三叠系的划分.见“中国天山二叠-三叠系界线的研究”.北京:海洋出版社.23—25
- 吴秀元,孙柏年,沈光隆,王永栋,1997. 塔里木盆地北缘二叠纪植物化石.古生物学报, **36**(增刊):1—37
- 吴绍祖,1983. 新疆二叠纪植物地理分区的初步探讨.见“中国古生物地理区系”.北京:科学出版社.91—99
- 吴绍祖,1993. 塔里木北缘晚二叠世外区植物入侵事件.新疆地质, **11**(2):140—146
- 张 维,张孝林,1992. 中国南方二叠纪生物礁和古生态.北京:地质出版社
- 殷鸿福,黄思骥,张克信,杨逢清,丁梅华,毕先梅,张素新,1989. 华南二叠纪-三叠纪之交的火山活动及其对生物绝灭的影响.地质学报, **63**(2):169—181
- 陈金华,黎文本,曹美珍,曹正尧,刘兆生,肖书海,1996. 塔里木三叠纪和侏罗纪生物地层研究新进展.见“塔里木盆地石油地质研究新进展”.北京:科学出版社.26—33
- 曾鼎乾,刘炳温,黄蕴明,1988. 中国各地质历史时期生物礁.北京:石油工业出版社
- Alexrod, D. I., 1981. Role of volcanism in climate and evolution. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **185**:1—32
- Balme, B. E., 1970. Palynology of Permian and Triassic strata in the Salt Ranges and Surghar Range, west Pakistan. In Kum-mel, B. and Teichert, C., eds., *Stratigraphic Boundary Problems: Permian and Triassic of West Pakistan*. Univ. Kansas, Dep. Geol., Spec. Publ., **4**:305—453
- Balme, B. E., 1979. Palynology of Permian-Triassic boundary beds at Kap Stosch, East Greenland. *Medd. Greenland*, **200**(6):1—37
- Bryson, R. A. and Goodman, B. M., 1980. Volcanic activity and climatic changes. *Science*, **207**:1041—1044
- Campbell, I. H., Czamanski, G. K., Fedorenko, V. A., Hill, R. I. and Stepanov, V., 1992. Synchronism of the Siberian Traps and the Permian-Triassic Boundary. *Science*, **258**:1760—1763
- Chung Sun-lin, Jahn, Bor-ming, 1995. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary. *Geology*, **23**(10):889—892
- Claypool, G. E., Holser, W. T., Kaplan, I. R., Sakai, H., Zak, I., 1980. The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate, and their mutual interpretation. *Chem. Geol.*, **28**:199—259
- Conaghan, P. J., Shaw, S. E., Veevers, J. J., 1994. Sedimentary evidence of the Permian/Triassic global crisis induced by the Siberian hotspot. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, **17**:785—795
- Courtillot, V., 1990a. What caused the mass extinctions? A volcanic eruption? *Sci. Amer.*, **263**(4):85—92
- Courtillot, V., 1990b. Deccan volcanism at the Cretaceous-Tertiary boundary: Past climatic crises as a key to the future? *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **89**:291—299
- Crowell, J. C., Frakes, L. A., 1971. Late Paleozoic glaciation: part IV, Australia. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **82**:2515—2540
- Erwin, D. H., 1993. The great Paleozoic crisis: life and death in the Permian. New York: Columbia Univ. Press
- Erwin, D. H., 1996. Permian global bio-events. In Walliser, O. H., ed., *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer, Berlin. 251—264
- Flügel, E. and Reinhardt, J., 1989. Uppermost Permian reefs in Skiros (Greece) and Sichuan (China): Implications for the Late Permian extinction event. *Palaio*, **4**(6):502—518
- Frakes, L. A., Kemp, E. M., Crowell, J. C., 1975. Late Paleozoic glaciation, part VI, Asia. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **86**(4):454—464
- Hammer, C. U., Clausen, H. B., Dansgaard, W., 1980. Greenland ice sheet evidence of post-glacial volcanism and its climatic impact. *Nature*, **288**:230—235
- Holser, W. T., Magaritz, M., 1987. Events near the Permian-Triassic boundary. *Modern Geology*, **11**:155—180
- Kerr, R. A., 1996. Volcano-ice age link discounted. *Science*, **272**:817
- Loper, D. E., McCartney, K., Buzyana, G., 1988. A model of correlated episodicity in magnetic-field reversals, climate and mass extinctions. *Jour. Geol.*, **96**:1—15
- Luhr, J. F., 1991. Volcanic shade causes cooling. *Nature*, **354**:104—105
- Meyen, S. F., 1973. The Permian-Triassic boundary and its relation to the Paleophyte-Mesophyte floral boundary. *Mem. Can.*

- Soc. Petrol. Geol., **2**, 662—667
- Ouyang, S., Utting, J., 1990. Palynology of Upper Permian and Lower Triassic rocks, Meishan, Changxing County, Zhejiang Province, China. *Rev. Palaeobot. Palyn.*, **66**, 65—103
- Rampino, M. R., Self, S., 1982. Historic eruptions of Tampora (1815), Krakatau (1883) and Agung (1963), their stratospheric aerosols and climatic impact. *Quart. Res.*, **18**, 127—143
- Rampino, M. R., Self, S., 1984. Sulphur-rich volcanic eruptions and stratospheric aerosols. *Nature*, **310**, 677—679
- Rampino, M. R., Self, S., Stothers, R. B., 1988. Volcanic winters. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **16**, 73—99
- Rampino, M. R., Stothers, R. B., Self, S., 1985. Climatic effects of volcanic eruptions. *Nature*, **313**, 272
- Renne, P. R., Zhang Zichao, Richards, M. A., Black, M. T., Basu, A. R., 1995. Synchrony and causal relations between Permian-Triassic boundary crises and Siberian flood volcanism. *Science*, **269**, 1413—1416
- Sigurdsson, H., 1990. Evidence of volcanic loading of the atmosphere and climate response. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **89**, 277—289
- Stanley, S. M., 1984a. Marine mass extinctions; a dominant role for temperature. In Nitecki, M. H., ed., *Extinctions*. Chicago: Univ. Chicago Press. 69—117
- Stanley, S. M., 1984b. Temperature and biotic crises in the marine realm. *Geology*, **12**, 205—208
- Stanley, S. M., 1988a. Climatic cooling and mass extinction of Paleozoic reef communities. *Palaios*, **3**, 228—232
- Stanley, S. M., 1988b. Paleozoic mass extinctions; Shared patterns suggest global cooling as a common cause. *Amer. Jour. Sci.*, **288**(4), 334—352
- Stehli, F. G., Wells, J. W., 1971. Diversity and age patterns in hermatypic corals. *Syst. Zool.*, **20**, 115—126
- Tiwari, R., Vijaya, S., 1994. Synchronicity of palynological events and patterns of extinction at Permo-Triassic boundary in terrestrial sequence of India. *Mem. Geol. (Lausanne)*, **22**, 139—154
- Ustritskiy, V. I., 1974. The bipolarity of Late Paleozoic faunas. *Engl. transl., Paleont. Jour.*, **8**(2), 148—151
- Veevers, J. J., Tewari, R. C., 1995. Permian-Carboniferous and Permian-Triassic magmatism in the rift zone bordering the Tethyan margin of southern Pangea. *Geology*, **23**(5), 467—470
- Visscher, H., Brugman, W. A., 1988. The Permian-Triassic boundary in the southern Alps; a palynological approach. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **34**, 121—128
- Westrich, H. R., Gerlach, T. M., 1992. Magmatic gas source for the stratospheric SO₂ cloud from the June 15, 1991, eruption of Mount Pinatubo. *Geology*, **20**, 867—870
- Yin Hongfu, Huang Siji, Zhang Kexing, Hansen, H. J., Yang Fengqing, Ding Meihua, Bie Xianmei, 1992. The effects of volcanism on the Permo-Triassic mass extinction in South China. In Sweet, W. C., Yang Zunyi, Dickens, J. M. and Yin Hongfu, eds., *Permo-Triassic events in the eastern Tethys*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 146—157
- Zhou, L., Kyte, F. T., 1989. The Permian-Triassic boundary event; A geochemical study of three Chinese sections. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **90**, 411—421

SOUTHWARD INTRUSION OF ANGARAN MIGRANTS INTO TARIM DURING THE LATEST PERMIAN AND THE GLOBAL CLIMATIC COOLING EVENT

Fang Zong-jie

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Key words: Angaran biota, global climatic cooling event, Tarim, latest Permian, Pangean fauna.

volcanic winter

Summary

The Permian of Tarim was dominated by the Pangean fauna, representing the warm, semi-arid, seasonal climate (Fang, 1996). Towards the end of the Permian, however, many migrants of Angaran biota, such as the *Feonia zeilleri*-*Yaworskyia mungatica* plant assemblage, bivalve *Anthraconauta*, conchostracan *Eolimnadia gennadiyi*, intruded southward into Tarim, suggesting a sudden climatic cooling event, since these elements were adapted to the cool temperate, humid, seasonal climate and showed equatorward expansions. The same event also happened in North China. These plus some other evidences of climatic cooling in eastern Australia (Conaghan *et al.*, 1994) and India (Tiwari and Vijaya, 1994) suggest a global climatic cooling event during the terminal Permian corresponding to the volcanic winter of Campbell *et al.* (1992) and Renn *et al.* (1995). The sudden disappearance of reefs at the close of the Permian (Flügel and Reinhardt, 1989) is probably one of the consequences of that event.