

这次发现的沙火山与汶川地震后的沙火山几乎一样大小,至少说明,15亿年前,在北京西山地区曾发生7~8级的强地震;同时证明在北京西山地区曾存在一条古断裂带。

15亿年前古地震遗迹寻踪

——京西门头沟沙火山调查

■本报记者 魏刚

在109国道67公里处、永定河左岸,有一座小小的村落——门头沟区雁翅镇付家台村。如果不是这两年盛产红富士苹果和文玩核桃,这个人口不到千人的村庄很难让过往的游客驻足。然而随着一个重要的发现,它的名字不但出现在世界权威地质刊物上,而且将在今年9月迎来世界顶尖的地质学家。

这个发现就是15亿年前的“沙火山”,它完好地保留了当年大地震的痕迹,读懂它,将为找到古地震活动规律的路径提供一把难得的钥匙。

小山村旁的奇怪石头阵

5月8日,记者跟随它的发现者,中国地质科学院地质研究所研究员苏德辰,来到这座宁静的村庄。一行人顺着付家台村至珍珠湖景区的Y606公路前行,不远处的山脚下,在一条假村公路西侧,一些大石块赫然出现在眼前,一个个排列整齐,好像摆着某种阵法。苏德辰告诉记者,当他在2011年8月的一次野外考察中发现这些石块时,首先感觉这是一种极特殊的软沉积物变形现象。

在众多石块中,一块直径2.8米的灰白色大圆石头格外醒目。猛一看,很像一个倒扣的碟子,但与周围石头不同的是,石头上布满了像蜘蛛网一样由放射状、环状组成的裂痕,裂痕中镶嵌着黑色的坚硬物质。

“这就是类似沙火山喷发形成的液化溢出丘。”苏德辰指着这块石头对《中国科学报》记者说:“你看,它整体由白云岩构成,自中心向外,裂纹很规则,有6个同心环状和13条放射状裂纹,裂纹中充填了黑色的硅化成分。丘的中心有1~2厘米的下凹,且被黑色的硅化物质充填。”

从这个液化溢出丘向南大约100米,沿着公路还有9块类似的石头。其中最南边的是一个直径1.1米的类似火山锥形的构造,从火山锥的顶部到中心最低点的高差约0.3米,火山锥的主体成分为白云岩,锥中心点低凹处被暗色硅质层覆盖。锥体有3~5条放射状裂纹,并被黑色硅化物充填。

汶川沙火山的远古亲戚

这些奇怪的石头究竟是什么?它们又是怎样形成的?

曾经到现场考察过,83岁高龄的中国地质科学院地质研究所研究员乔秀夫在接受《中国科学报》记者采访时,回忆起刚看到这些石头的情景:“太精彩了,几十年来,我一直在地层中苦寻的沙火山和溢出丘终于被中国的科学家发现了。”

说到沙火山,不能不提2008年的汶川地震。当时,中国地质科学院地质研究所研究员李海兵正在汶川考察,地震后,他发现在稻田中出现了许多圆形的地表隆起,表面出现放射状和环状裂纹,有的还从中心喷出砾石。

乔秀夫告诉记者,这些是地下沙层液化造成的。因为,强地震发生时造成的地壳震动可使地下深处含水的沙层强烈液化,在挤压应力作用下,强液化的沙层沿一定的通道向地表垂直流动或喷发,在地表堆积成锥状沙体,一般称为“沙火山”(Sand Volcano)。在相当多的情况下,地下深处沙层液化喷射至地表后呈圆丘状,称之为“液化溢出丘”或“液化溢出丘”,液化溢出丘大部分呈线状排列。

苏德辰正是对比了汶川地震后液化溢出丘和沙火山的照片后,才确定京西付家台村发现的这些石头应为沙火山遗迹。

那么,是如何知道这些沙火山遗迹来自15亿年前的古地震呢?苏德辰告诉记者,首先,发现沙火山和液化溢出丘的这套岩层在地质学上属于雾迷山组(最早发现该岩层的地点命名,雾迷山位于天津蓟县),其次,2007年至2010年,高林忠、苏文伯等学者利用离子探针定年方法(SHRIMP)在雾迷山组的相邻层位已经获得了精确的年龄数据,据此推算,雾迷山组的形成年龄介于距今14.50亿年至15.50亿年之间。这次付家台村的沙火山遗迹发现于雾迷山组的上部,因此推算,在14.5亿~15亿年前,这里曾发生过大地震。

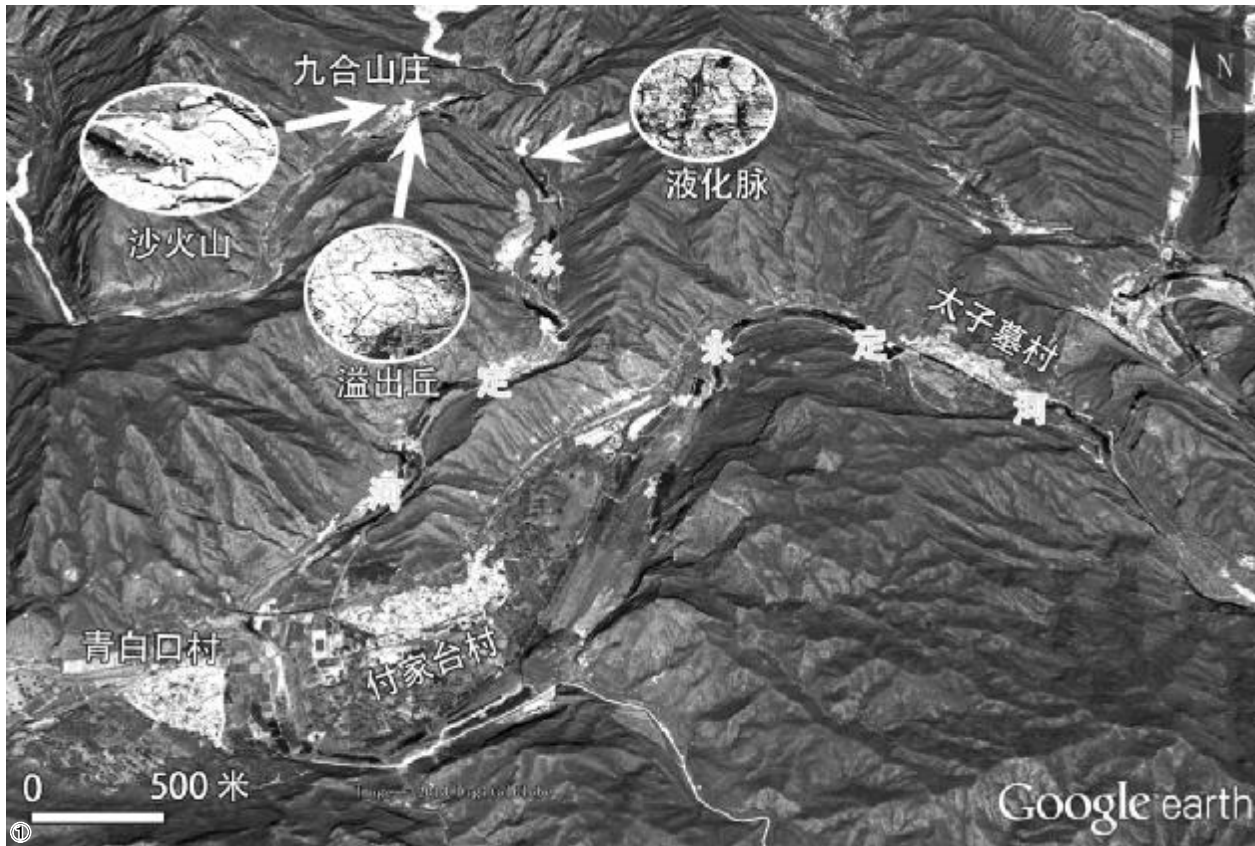
参加考察的《地质论评》编辑部主任章雨旭对《中国科学报》记者表示,这里确实是中元古代雾迷山组地层,而石头上的环状与放射状裂纹也符合沙火山成因解释。

2013年2月13日,苏德辰接到了爱尔兰《地质学杂志》(Geological Journal)的Robert Hillier博士的邮件:“很高兴地通知您在北京发现地震触发的碳酸盐液化丘和沙火山的论文已被正式接收。”至此,标志着苏德辰等人在北京西山发现的地震成因的碳酸盐液化溢出丘和沙火山得到了国际同行的正式承认。2013年3月25日,该论文正式在线发表。

特殊的浅海环境 让遗迹躲过沧海桑田的变迁

15亿年,对我们人类来说简直是个天文数字,我们的地球不知经历过多少次沧海桑田的变迁。而沙火山遗迹为何能保存得如此完好呢?

在苏德辰看来,沙火山遗迹的保留确实是难题,5亿年前,汶川地震的液化溢出丘由于“长”在农田里,没过几天即被人为削平。即使没有人破坏,在自然状态下,溢出沙丘也是极难保存的,原因有二:首先,地震时,地下沙层液化流动



①地震成因沙火山、溢出丘和液化脉位置图(Google Earth)。苏德辰制

②苏德辰在15亿年前古地震溢出丘遗迹前讲解。

③15亿年前沙火山遗迹。

④溢出丘纵剖面中有一个鸡蛋大的砾石。

⑤15亿年前古地震遗迹的发现地,永定河畔的付家台村。

⑥岩石上远古藻类生长的印迹。

②~⑥本报记者魏刚摄

溢出至地表,地震之后,液化作用停止,地下沙层体积收缩,在地表整个溢出沙丘的重压下,诱发溢出至地表的物质沿原有喷射溢出通道向地下贯入,地表沙丘地形消失而代之以呈线状排列的坑状地形及填充的混杂堆积,称之为draw-in现象。其次,呈正地形的溢出沙丘很容易被外力作用剥蚀而被削平。在现代地震形成的溢出沙丘尚难以以长时间保存。在古老地层中这种溢出沙丘更难以保存。迄今为止,溢出丘只发现于第四纪的地层中。

而这次京西沙火山遗迹保留完好,主要是当时的地形起了作用。乔秀夫告诉记者,15亿年前,北京西山地区是一片茫茫的陆表海。所谓陆表海就是很浅的海,海底很平坦,容易受海面变化影响,一会被海水覆盖,一会又暴露出海面,当大地震发生导致沙火山在海底喷发后,还没来得及被自然剥蚀,马上就被海水掩埋保护起来了。

记者在永定河床中看到一片身披一层层波纹的岩石,坐在上面犹如在海滩晒太阳。苏德辰介绍,这就是当时海底沙子的波纹,沉积后就成



为这个样子。除此之外,很多巨石表面还有不同形状的棕黑色印记,据苏德辰介绍,这些都是当时海底的藻类生长过程的印迹。

正是因为当时西山地区特殊的浅海环境,所以即使历经沧桑,沙火山遗迹还能让今天的我们一睹真颜。

历史最久、结构最全的沙火山样本

目前,年代最老的沙火山只发现于爱尔兰西部的晚石炭世地层中(距今3.2亿~3.2亿年间,Gill and Kuennen, 1958)和东印度的早二叠世地层中(距今3亿~2.7亿年间, Van Loon & Maulik, 2011),此外,再没有更古老和更多的记录。这次苏德辰等人发现的液化溢出丘和沙火山却保存在大约14.5亿至15.5亿年间的雾迷山组地层中。

在苏德辰的指点下,记者实地探访时,在被剖开的溢出丘截面上,发现了一个鸡蛋大的圆形砾石。这里是沙火山喷射通道的纵截面。

古地震的发震频率和周期估算

■苏德辰

变形特征定量地确定古地震的周期,所识别出的古地震记录频率要远低于实际的发震频率。乔秀夫等(1994, 2001)通过对华北台地上震旦统野外大区域的实际调查与研究,划分出4个地震活跃期;刘鹏举(2001)对河北平泉中元古界高于庄组震积岩及地震节律进行研究后提出了燕山裂陷槽北部边缘的断裂活动存在着65Ma±(Ma是地质年代单位,相当于百万年)的地震节律;段吉业等(2002)对华北燕山中—新元古代震积岩系统及其地震节律的研究结果认为,燕山裂陷槽中新元古代有10个地震活跃期。这些认识都是基于当时能够识别出的震积岩而初步估算的,远低于现代人们所认识的大地震的发生频率。

记者在永定河床中的一块巨大砾石上又发现了一个有趣的现象。在周围都是水平纹路的石块中央,居然是一些鸽子蛋大的碎石组成的圆形。这究竟是一种怎样的地质现象?专家各有各的看法。但多年研究古地震的乔秀夫在实地考察过这一场景后,坚持认为那些碎石是通道里的,呈现出来的是沙火山喷射通道的横截面。

而这,也是这一发现的难得之处,能集纵向剖面、横向剖面于一体的中元古代沙火山遗迹群实属罕见。

沙火山为预测地震提供刻度尺

沙火山是地震运动的标志,汶川地震,芦山地震后,当地都出现了沙火山,但是对古代沙火山的研究又有哪些意义呢?

对此,苏德辰指出,一般现代的液化溢出丘和沙火山产在陆相碎屑岩环境,而京西付家台的液化溢出丘和沙火山产在海相碳酸盐浅海环境,说明陆地与海底发生地震时,陆相碎屑沉积物与海



相碳酸盐沉积物的液化机制是类似的,更进一步证明碳酸盐岩沉积物的沉积过程不是化学沉淀,而是先形成碳酸盐砂或泥,之后才固结成岩。因此,北京西山15亿年前地层中发现的新型的古地震记录填补了全球古地震学领域的一项空白。

同时,乔秀夫认为,这一发现对研究北京地区古地震规律也有重要的应用价值。由于这次发现的沙火山与汶川地震后的沙火山几乎一样大小,至少说明,15亿年前,在北京西山地区曾发生7~8级的强地震。而汶川的沙火山就分布在映秀断裂带沿线,这次发现的沙火山遗迹也能证明在北京西山地区曾存在一条古断裂带。对古地震规律的研究,将有助于我们更好地了解未来地震的趋势。

在溢出丘和沙火山发现前,苏德辰等人已经在相邻层位发现了很多由地震形成的构造,如碳酸盐液化脉、同沉积褶皱和微型断层构造。在一段17米的地层剖面中,一共发现了30余个古地震事件,进一步说明当时存在不只一次古地震。

的庄户洼17米河床露头的形成时限为94万年。综合以上结果,可以初步认为庄户洼河床剖面地层的形成时限在94万年至57万年之间,而这期间的地震记录目前共识别出29层,以此计算的雾迷山组沉积期古地震发生频率大约在距今3.2万年至2万年之间。尽管这一推算结果仍然明显低于现代强地震的频率周期,但精确度比前人的数据提高了几个数量级。若要进一步弄清古地震的发生规律,需要从成因机理上对软沉积物变形进行更加精细的观察与对比研究,进而可以为大地构造学等其他学科研究提供新的思路。

(作者系中国地质科学院地质研究所研究员)