科 学 通 报
第 38 卷 第 24 期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1993 年 12 月

太湖蕴山岛发现震裂锥*

王尔康 朱 政 张海祥 曹 会
(南京大学地球科学系,南京 210008)

关键词 震裂锥、陨石坑、弧形破裂、太湖成因

震裂锥 (Shatter cone) 是锥状岩石碎块，以锥面具有放射状条纹为特征。1905 年首次见于德国 Steinheim。震裂锥在美国最著名的发育地是印地安那州的 Kentland。1938 年，当地球上存在陨石坑还处于假说阶段时，J. D. Boon 就认为它是陨石冲击的产物。1947 年，R. S. Dietz 在多次考察该地的采石坑后指出，Kentland 的这种锥形体其轴部都垂直于地层而顶角均指向地层顶板。因此，形成这些锥的巨大作用力来自地层上方。由于除陨石冲击外地球上没有任何来自上方的巨大作用力，因此震裂锥应该是陨石坑的"根"[1]。这一论断由于 1961 年在该地发现了柯石英而得到证实。60 年代早期世界上已知震裂锥的产出地均发现了柯石英，从此震裂锥便成为判定陨石坑的必要显观依据。我国迄今尚无关于震裂锥的正式报道。

1 研究背景与蕴山岛震裂锥

太湖成因是受到地学领域不同学科学者关注的重大课题，地理学范畴研究的焦点在于第四纪是否为泻湖[2,3]；地质学范畴内的焦点则是地质历史上是否为陨石坑。

太湖冲击成因从假说走向实质性研究是从三个不同尺度上展开的。宏观上它的环形构造首先成为研究的对象(徐道一，1985)，随后是应用陆地卫星资料研究围绕太湖的多层弧形构造的展布(姜凤琪等，1987)和应用机载合成孔径雷达图像进行岩性解释和构造分析(王尔康等，1992；石火生，1992)。V. L. Sharpton 等 (1988)应用卫星资料从中国领土上 41 个环形构造中识别出 5 个可能的陨石坑构造，太湖即为其中之一。Wang Kun (1992) 根据华南上泥盆统海相石灰岩中发现微玻璃陨石，推测太湖就是晚泥盆世的陨击坑[4]。更多的中外学者进行了实地考察，观察到一些重要迹象，但未能发现判定冲击成因的露头尺度的地质证据。微观的研究同时展开，运用偏光显微镜研究石英变形纹(何永年等，1990；傅成义等，1990；王尔康等，1990)，应用费氏台测定结晶学方位[5,6]和透射电镜研究(石火生，1992；杨主恩等[7]，)，还应用了激光拉曼探针测定粒径几微米大小的石英颗粒[5,6,8]，显微尺度的研究终于取得突破，在泽山岛发现了五通组石英岩遭受冲击变质的直接证据[9]。这样，问题便尖锐地提出：如果太湖确系冲击成因，那么必然会在露头尺度上留下冲击作用的岩石记录。本文所报道的正是其中的标型特征——震裂锥。

太湖水域最南端有三个小岛呈品字形分布，即三山岛、泽山岛与蕴山岛。蕴山岛居西，在

1993-08-19 收稿。
* 国家自然科学基金资助项目。

三岛中面积最小仅有 0.45km²，海拔 37.7m. 按《吴县志》记载，清康熙年间有寺庙两座，村民六七十户. 咸丰十年以后逐渐荒芜，现为无人居住的荒岛.

该岛东岸有大片强烈角砾化的五通组石英岩，在临水浅滩上的角砾岩碎块中，我们发现了震裂锥. 锥体大部分暴露在外，长约 9cm，锥顶角 45°. 锥体表面具有清晰的条纹，这些条纹自顶部开始呈放射状展布，从图 2 可以清楚地看出发现于蕨山岛的锥形岩石碎块与 Dietz 对震裂锥的描述完全吻合. 国外对震裂锥的研究表明，完整的锥体较为少见，绝大多数已发现的震裂锥都是锥体的一部分(D. J. Milton 1977). 蕨山岛所发现的震裂锥也是这样.

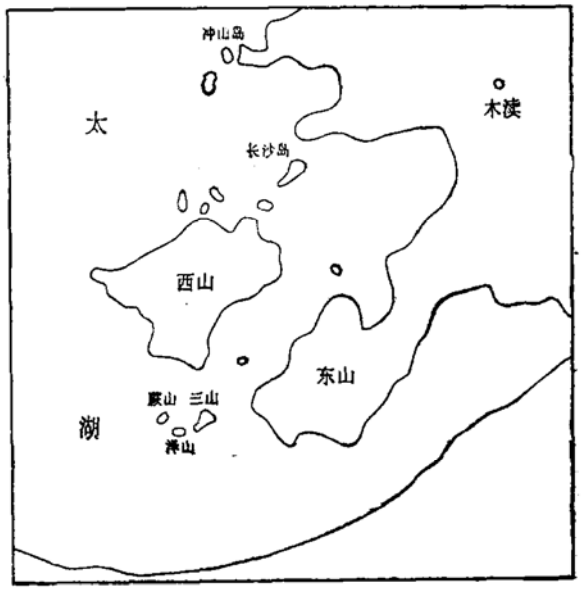

图 1 太湖东南部地理位置与采样点

对该岛赋存锥体的角砾岩及附近同类型的角砾岩作了偏光显微镜研究，多个切片所观察到的现象相同，五通组石英岩中原有的互相嵌镶边界分明的中粗粒石英晶粒全部转变为细粒花岗变晶结构至显微花岗变晶结构的石英，即没有物质成分的带入带出而发生了强烈的结构改变，石英由中粗粒转变为细粒、超细粒. 表明岩石曾受到高温作用并很快冷却. 令人感兴趣的是在震裂锥产出点的相邻角砾岩中，还可以看到一种特殊型式的弧形破裂. 弧度大小相近，弧与弧相互交切. 弧形破裂外侧的岩石有的因风化而脱落(图 3(b))，有的则尚无位移(图 3(a)). 在岩石的风化面上还可以看到几组隐约显现的弧形破裂呈干涉波状展布.

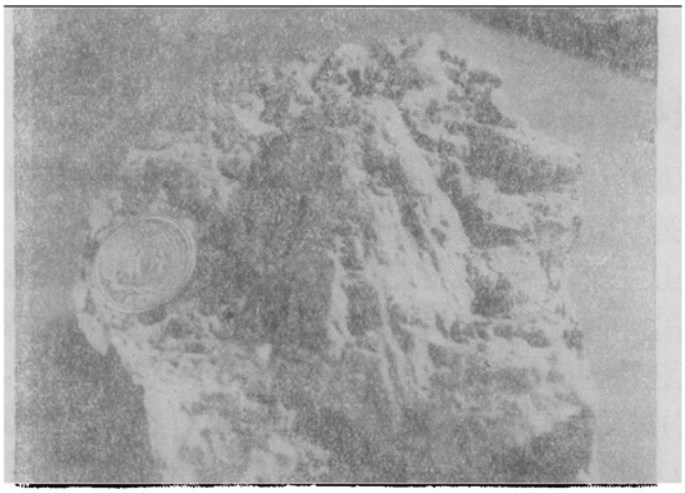

图 2 震裂锥（太湖蕨山岛）

2 讨 论

震裂锥具有鲜明的造型特征，不须借助仪器仅凭肉眼即可鉴定. 但发现它却非易事. 本文第一作者 1987 年对我国两处可能的陨石坑广东龙斗嶂与内洞进行了以寻找震裂锥为目标的考察，均未获结果. 在国外，有几十年开采与研究史的 Sudbury 直到 1962 年才发现震裂锥. 全世界震裂锥的产出地到 1964 年一共才发现 8 处[10]. 鉴于蕨山岛震裂锥是我国正式报道的首例，因此有必要作进一步的探讨.

(1) 在成因机制方面，G. P. Johnson 等 (1964)认为是复合冲击波的弹性前驱波进入受到异常压缩的小区域产生散射波，散射波相互作用的结果，在一个锥形范围内应力超过岩石的

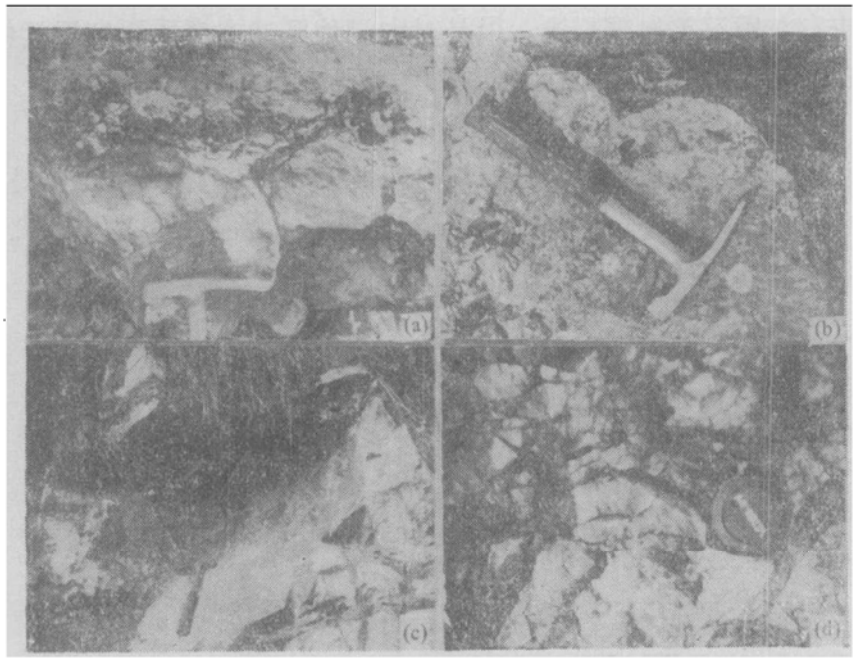

图 3　五通组石英岩中的弧形破裂

(a)、(b) 蕨山岛，(c) 冲山岛，(d) 宜兴兰山

弹性极限，而锥形范围之外的应力仍低于岩石的弹性极限．当应力推移后，锥形范围内的岩石已永久变形，而锥形范围之外的岩石则恢复到原来的状态，于是沿着锥形边界分离，形成了独立的锥体(美国空军技术研究所未公开发表的论文，转引自文献[11])．Gash (1977)认为震裂锥是由压性波和自由表面反射的张性波之间相互作用所形成．D.J. Milton，则认为是岩石中不均匀或不连续的冲击波的前峰相互作用而形成[11]．虽然认识尚不一致，但共同的前提是冲击波自冲击点向周围岩石的传播．既然这样，靶区岩石必然保存着除震裂锥以外的其它显观岩石记录．在对太湖地区的多次考察中我们观察到发育于五通组石英岩中的一种弧形破裂．这种破裂分布广泛，除前述蕨山岛等湖中岛屿外，在南岸的宜兴兰山和北岸太湖乡均见到(图 3(c),(d))．如果按破裂的弧度恢复成圆锥，其大小为几厘米到几米，与世界已知震裂锥的大小 (1cm—10m) 相吻合．因此有理由设想弧形破裂是冲击波作用于岩石的显观记录，是震裂锥的雏形，也是寻找震裂锥的线索．

(2) 国外对震裂锥的研究表明虽然各种岩石都可形成震裂锥，但在一个地区震裂锥常常仅出现于一种岩石类型之中．如在 Vredefort 仅局限于页岩中，页岩中所夹的石英岩则不出现．但在 Sudbury 则仅出现在层状石英岩之中．蕨山岛的震裂锥系出现在五通组石英岩中．多个研究者对已知陨石坑的考察表明，震裂锥直接见于基岩中者少，多数出现在分散的岩石碎块和漂砾中，如 Steinheim, Wells Creek 等处．蕨山岛震裂锥的产状正是这样．这些特点对于进一步发现更多的震裂锥也许有参考价值．

(3) 各国学者对陨击和爆炸成坑作用已作过大量研究[12]．世界上 100 多个已知陨石坑的研究表明，地球上的冲击构造分为两种类型．直径小于 4km 呈碗形的简单陨石坑和直径大于 4km 具有中央隆起和环形构造的复杂陨石坑[13]．它们共同的特点都是由单个陨石 (小天体) 撞击爆炸成坑，属于同一种模式．王尔康等通过对太湖的研究提出了另一种成因模式，即多点爆炸包络圆式冲击成坑．这种模式的特点是爆炸强度低，成坑大而浅[1]．现在虽然泽山岛与蕨

1) 王尔康、张永康、胡中为，彗星爆炸——太湖成因新说，全国第四届陨石学与空间化学学术讨论会，1990.

山岛分别发现了冲击变质石英与震裂锥，但是对太湖地区冲击变质强度远远低于世界已知陨石坑的这一特点必须有足够的认识，更加细致的考察与室内研究尚待进行。

致谢 吴思本副研究员对本项研究给予无私帮助。V. Sharpton 博士进行了有益的讨论。三山岛村民韦鹤鸣、许天成、吴雪芬同志热情协助考察，在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

[1] Dietz, R. S., *Science*, 1947, **105**: 42.
[2] 孙顺才等，中国科学，B辑，1987，(12)：1330。
[3] 马燕等，科学通报，1991，**36**(21)：1641。
[4] Wang Kun, *Science*, 1992, **234**: 1547.
[5] 何永年等，科学通报，1990，**35**(15)：1163。
[6] 王尔康等，机载雷达遥感应用试验研究，中国科学技术出版社，北京，1992，133—139。
[7] 杨主恩等，地质科学，1993，**28**(2)：161。
[8] Wang Erkang *et al.*, 29th IGC Abstracts, Vol. 3, 1990, 650.
[9] 王尔康等，科学通报，1993，**38**(1)：1974。
[10] Dietz, R. S., *Nature*, 1964, **204**: 280.
[11] Milton, D. J., in *Impact and Explosion Cratering* (eds. Roddy, D. J. *et al.*), Pergamon Press, New York, 1977, 703—714.
[12] Roddy, D. J. *et al.*, in *Impact and Explosion Cratering*, Pergamon Press, New York, 1977.
[13] Grieve, R. A. E., *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 1987, **15**: 245—270.