# 地外撞击和沉积

# 肖永林 译编

(成都地质矿产研究所)

# 1 引言

1994年北京时间7月17日至7月22日,已被撕裂成21个碎核和长长尘埃云的苏梅克 -列维9号彗星以60km • s<sup>-1</sup>的宇宙速度,从侧向连续撞击木星。撞击产生了强烈的爆炸,总 能量约达40亿吨TNT当量;爆炸在木星大气层上造成了直径从千公里到上万公里的黑 斑,升起的火球状蘑菇云高达数千公里。这次被准确预报了的罕见事件引起了全世界天文学 家和行星地质学家的关注,并考虑这样的事件发生在地球上的可能和对策。

星际间运动物体的相互撞击实际早已为科学家所熟知,从伽利略用望远镜识别出月球 上的环形山和圆形洼地到现在已有 380 余年,天文学家已确认,发现在类地行星,如火星、水 星、金星和月球上的许多环形构造是小天体撞击这些星体的产物,在撞击坑周围还散布有撞 击抛出沉积物(ejecta deposit)(格拉斯,1982;Melosh,1989)。这样的撞击对于地球也不能幸 免,如按地球质量、体积和引力场分析,受撞击的频率要高于其他类地行星,更超过于月球。 Shoemaker(1977)的一段话:"作为理论推断的第一步,我认为固体撞击是发生在类地行星 上的所有作用中最基本的…,没有撞击,就不会有地球、火星、金星以及水星的存在,较小物 体的相互碰撞,就是产生类地行量的过程",非常恰当的表述了撞击作用的意义。由 Hartmann 和 Davis(1975)提出,在 1984 年于夏威夷科纳的一次学术会议上受到广泛支持的新 月球起源假说,即月球是在地球形成初期,由于一个巨大的撞击体斜向轰击地球,大爆炸抛 出了巨量物质,再由这些抛出物质聚集形成的大撞击理论(Taylor,1994)。这一假说成功地 解释了过去各种成月理论中有关运动学和物质成分方面的种种难题,它更戏剧性地提高了 撞击事件的地位。

近 30 年来,关于地外物体撞击作用,撞击坑及隐伏撞击构造,特别是巨大撞击事件和因 之可能诱发的各种变动与灾难性的结果的研讨,已经成为行星地质学和地学界的热门话题 之一。最近,一些研究者已把注意力延伸到了过去未受到重视的沉积地质学领域,有代表性 的文章是"Impacts,tillites and the breakup of Gondwana land"("撞击、冰碛岩和冈瓦纳大 陆的解体")(Oberbeck, et al. 1993)和"Tillites, diamictites, and ballistic ejecta of large impects"("冰碛岩、混积岩和巨大撞击的弹道抛出物")(Rampino, 1994)。作者们运用数学分析 和比较研究的方法,论证了撞击抛出沉积在地球上的岩石记录中存在和保存的可能性与广 泛性;根据已知的抛出沉积物特征和撞击爆炸过程在陆上和水域中必然引起的弹道抛出作 用与水体的激烈应变动荡,探讨了抛出沉积模式;进而对有些混积岩(diamictite)的古冰川 成因质疑,认为一些混积岩应为撞击抛出沉积;作者还讨论了大陆溢流玄武岩的喷发和冈瓦 纳大陆解体与撞击作用的联系。由于 Oberbeck 等的论述具有很强的挑战性,已引起了争论 (Young,1993;Le Roux,1994)。本文将综合介绍以上作者提出的涉及撞击沉积作用的基本 论点。

2 地质记录中应该保存有相当广泛的抛出沉积物

从观测到的月球撞击坑总体分析,月球上因为撞击作用产生了平均≤2km 厚的巨厚表 土层。地球受小行星或彗星撞击的几率高于月球,所以,在地球的岩石记录中应该有广泛的 弹道抛出沉积。在地球形成初始的 10 亿年中,撞击的破坏和增积在地壳演化中起着非常巨 大的作用,以后撞击速率减低并保持相对稳定。根据从北美和东欧克拉通区域识别的撞击坑 量和数学分析,Oberbeck 等推算出了地球上从 2Ga 以来发生过的撞击次数、规模和撞击抛 出沉积复盖面积与厚度的期值。

## 2.1 撞击坑规模与数量

数学推算表明,在这一时段内可能发生过 3 次撞击坑直径>750km 的撞击,成坑直径>500km 者约 6 次,>20km 者约 110 次,>10km 者为 6974 次,>5km 者达 24283 次。实际上,在水星和火星表面上观测到的撞击坑直径最大的可达 1300km 和 1200km (Melosh, 1989)。与之相比,这个推算值可能还是保守的。

# 2.2 可期望的抛出物沉积分布面积与厚度

. .

由撞击爆炸产生的弹道抛出物的数量主要受撞击体的质量和运动速度控制,要估量一 个撞击坑产生了多少抛出沉积物,则主要考虑其深度对撞坑半径的比值。抛出物撒布距离通 常可达撞坑半径的 10 倍那么远,其中约 50%在 1—2 倍范围内,75%撒落在半径的 1—4 倍 间距内。按月球撞击坑的深度与半径比值 0.02—0.4 算,可以得出最小期值为地表面积 10%应有≥10m 厚的抛出物覆盖层,2%面积有≥200m 的覆盖层,一个直径 500km 的撞击 坑坑缘覆盖层可达 1.94km 厚;用新鲜撞击坑的深度与半径比可以达 0.4 这个值引入方程, 推导出上限期值,即地表之 61%有≥10m 厚的撞击抛出物覆盖层,10%≥200m 和 5.5%≥ 500m。

虽然在古陆地上产生的小撞击坑沉积保存能力很差,可能被剥蚀掉,但在 2Ga 以来的 漫长时期中,大陆的广大范围为浅海淹没,在陆架或陆内浅海中发生>5km 坑的撞击会激 发几百米高的泥浆浪和巨大回冲浪,并诱出复杂的流动,由此将产生分布更广、厚度也较大 的与抛出物有关的沉积,这些沉积物应有较好的保存能力。由此可见,岩石记录中可能有相 当数量的撞击抛出沉积存在。

3 撞击坑抛出沉积

# 3.1 陆地上形成的撞击坑抛出沉积

Oberbeck(1975)根据爆炸试验和月球地层观测分析,曾提出一个陆上撞击坑抛出物的 弹道路线和沉积作用模式。从撞击坑抛溅出的物质循弹道轨迹运动,构成开圆锥形的抛出物 幕(ejecta curtain),紧靠撞击处抛出的物质具有最高的速度,并分布在抛出幕顶部,于最远 距离处回落;从近坑缘抛出的物质速度最低,并沉积在坑缘附近。大撞坑抛出物有极大的速 度,在没有大气、引力较弱的月球上,产生 100km 撞坑造成的碎屑流约有 300m • s<sup>-1</sup>的地平 速度,地球上产生的巨大抛出碎屑受大气阻力的影响较小,但抛出幕中的细粒物质会受低密 度空气涡动阻滞下沉(Rampino,1994)。高速抛出的碎屑和冲击波刮起的地面碎块有足够的 动量挖凿,刻蚀地面,并从坑缘向外推移。在这一过程中增加了被抛出物刮、掘出的当地岩石 研磨物质数量,并与原来的抛出物混合。这种复杂混合物在抛射幕之后以紧贴地面流动的形 式移离撞击区,因而在被改造、刻蚀和侵蚀的基岩面上停积了在细粒基质中含岩屑的混杂混 合物。

陆地上的古撞击坑抛出沉积易被侵蚀,如生成于 290Ma 前的加拿大 Clear Water 湖撞 击坑的抛出物和部分环边均被蚀去(格拉斯,1982)。不过,也有一些比较年青的撞击坑抛出 沉积物保存得比较完好,一个典型例证是见于德国南部的 Ries 撞击坑(坑直径 22-26km, 形成年代14.8Ma前)的抛出沉积物,钻探和揭露出的抛出沉积物是无分选的杂乱混合物, 在细粒基质中含单质或复成碎屑(0.01-1m)和数十米大的巨碎块,接近撞坑的沉积物以抛 出物为主,较远处则以被抛出物击碎和刮蚀出的当地物质占优势,并有大达 200m 的被移动 了的巨岩块。从被扭曲的碎屑和基质构造揭示出非常巨大能量的就位机制。抛出沉积层下 部单元是以陆上碎屑流形式定位的 Bunte 角砾岩,在距坑缘 10-20km 间有 50-100m 厚, 局部可达 200m,在抛出物就位时,磨蚀和刻蚀了下伏的侏罗系石灰岩表面,产生了具擦痕和 刻蚀痕的碎屑,基岩面上也出现有擦痕和磨蚀面。这些曾被一些人作为"Ries冰川"的证据。 上部单元为盖在 Bunte 角砾岩上的陨击角砾岩,这是由占 75-85%的细小玻璃质基质夹各 种晶质碎屑、撞击熔融弹、玻璃和沉积碎屑(直径变幅达数十厘米)构成的无分选混合物,撞 击玻璃呈现脱玻化特征。陨击角砾岩与 Bunte 角砾岩为突变接触,表明它们可能在以低密度 湍波和尘降方式沉积时,碎屑流物质已就位(Hörz 等,1977、1982,1983)。另一例为直径仅 1.2km,形成年代是 0.03-0.04Ma 的得克萨斯 Meteor 坑,残余的抛出沉积层可以追寻到 距坑缘一个直径的范围,抛出沉积物是无分选的混合物,粒级从<1μm的粘土级至>30m 的大岩块;覆盖层顺序表现出被反转的原地基岩层序,来自最上层基岩的大块抛出物见于最 低层位,其下岩层的抛出物覆盖在上面,从而可以区分出基泡、弹道抛出物及回落沉积物;抛 出碎屑有被熔融或部分熔融的特征,但大部分没有受到冲击和变质作用影响(金,1976;格拉 斯,1982)。

# 3.2 水体中形成的撞击坑沉积物

撞击如发生在浅海中,撞击抛出物可以被激发起的巨浪搬运到很远距离,并在岩石记录 中保存下来。直径 5km 的撞击坑深度可超过 1km,在浅水域只能产生较少抛出物,只有> 15km 的撞击坑才能抛出深洋底部的物质。

# 3.2.1 已知产生于水体中的撞击抛出沉积物

出现于海洋沉积物中的白垩/第三纪边界层铱异常早已被发现,且被认为与地外撞击事件有关(Alvarez et al.,1980)。直到 90 年代,才在墨西哥尤卡坦半岛北端发现了直径达 180km,被称为 Chicxulub 的隐伏撞击坑,在撞击坑缘外 50km 处,含有冲击变质证据的角砾 岩层厚达 100m(Hildebrand et al.,1991)。在墨西哥湾底部揭示出一个不完整的近端剖面,厚 45m 的砾质泥岩上,覆有 4m 厚粒级呈向上变细、含玻璃质抛出物的水流层理砂岩,再上覆盖有被改造了的钙质软泥(Alvarez et al.,1991)。在距原坑约 1770km 处的海地 Beloc,发现在白垩/第三纪边界处有 40—72.5cm 厚的相关沉积,其层序从上向下为:(a)石灰岩;(b) 有铱异常的薄粘土层;(c)纹层状砂质泥灰岩,含粗球粒(蚀变的微玻陨石)小透镜体;(d) 白色白垩透镜体;(e)粒变砂质泥灰岩;(f)含粗球粒的泥灰岩透镜体;(g)含大量球粒的泥灰岩

和(h)富粗球粒的蚀变蒙皂石层。层序界面呈突变特征,顶界面不显突变。这一层序显示出 由撞击引起的一系列突发事件,底层为撞击爆炸的抛出沉积,其后的沉积是爆炸引起的强烈 海啸冲蚀、改造而成。理论计算表明,一个 10km 直径的火流星在海洋撞击可以激起 4km 振 幅的巨大海啸,其影响可及洋底。据化石特征,Beloc 事件沉积的水深超过 2km,只有巨大能 量的波浪和其引发的浊流才能影响到深部(Florentin et al.,1991)。在得克萨斯布拉索斯河 附近也发现白垩/第三纪边界的海啸沉积(Bourgeois et al.,1988)。根据底栖有孔虫的古生 态,估计沉积于 75-200m 水深处的泥岩中夹有厚 0.3-1.3m 的事件砂岩层,粒序砂岩层底 有局部起伏达 0.75m 的侵蚀面,下部粗砂岩含介壳碎片、海绿石和磷灰石团粒,以及改造的 粗大泥岩碎屑与碳酸盐结核,向上变细为具平行和浪成波痕交错层的细砂岩、粉砂岩、上部 粉砂岩和泥岩间层有高铱异常。研究者认为,只有巨大撞击产生的高达 50-100m 的海啸浪 才能引起产生复成粒序层的多次波,也才有足够的能量在陆架深部造成大规模侵蚀、搬运和 再造作用。研究者估计粒级砂在大约一天内沉积;上部厚 0.2-0.3m 的泥岩在初始事件后 几周内沉积,因撞击回落的铱浓集在沉积更慢的泥岩夹层中。DSDP 岩心的研究证实,各大 详盆地在跨白垩/第三纪边界的沉积物中,普遍存在富地外源组分(铱浓集和熔体抛溅物微 玻陨石)的薄粘土层(Smit 和 Romein,1985)。

类似的邻近撞击坑的水成抛出沉积发现于弗吉尼亚东南海岸平原,厚 10—60m 的始新 世海相混杂岩(mixtite)分布面积达 14000km<sup>2</sup>。这个层为一个向上变细粒序层,在海绿石、粘 土、砂质基质中见棱角状砾屑和大达 1m 的漂砾。

南澳大利亚 Adelaide 地向斜 600Ma 的前寒武系页岩中,水成抛出沉积物可追踪 260km 的距离。抛出物沉积区离位于其西部的源撞击坑(Lake Acraman 多环撞坑,直径约 160km)至少 300km 远。具滴石(dropstone)的抛出沉积物在 Bunyeroo 组页岩中厚度可达 40cm,其典型结构和成因解释如下:(a)无分选、棱角状粗砂和稀少的棱角状至次圆状碎块 的底层,有大达 30cm 的碎屑,大碎屑压入下伏页岩构成滴石构造,这是撞击后很快穿过水 柱垂直回落的弹道抛出物;(b)含具冲击特征砂屑的页岩,代表撞击波浪搅动海底沉积物后 的再沉积;(c)薄细砂级碎屑粒序层,代表稍后时间后通过大气和水柱淀积的细粒抛出碎屑 物;(d)复粒序砂岩透镜状层,具交错层和流动波痕,代表撞击后一定时间由浊流和风暴流作 用改造的沉积。这些结构应当存在于离撞坑缘稍远的海洋沉积物内(Gostin, et al.,1986; Williams,1986)。

# 3.2.2 水成大撞击坑模式

1. 浅水中大撞击引发事件的理论顺序。海洋中发生的巨大撞击可以产生公里规模的巨 浪,因为冲击波在地壳中的传送速度超过水体,撞坑形成时,来自海底的物质将和海水混合, 抛出物为稠泥砂浆。撞坑始成时,隆起的坑缘脊由这种不稳定的稠泥砂浆浪构成。在坑缘坍 陷前,超音速的弹道抛射幕已扩散了一定距离,抛出物回落到海底之前,受到空气动力和水 动力分选,使回落抛出物产生粒序层。砂泥浆质坑缘崩坍产生中央海龙卷(central waterspout)和海啸,海龙卷坍落又引发二次海啸,多次大浪强烈侵蚀海底,使一些抛出沉积物和 原先的海底沉积物受到改造。海啸席卷遭到巨大破坏的邻近的三角洲和滨岸区,大量沉积物 将崩坍到前积区。并伴随多次浊流。在滨岸/三角洲带的事件因为回流和冲刷陆地的海啸返 流携入陆源沉积物而更加复杂化。

2. 水中撞击事件产生的沉积相特征。在水中的撞击产生的沉积相具横向与垂向广泛、非

常复杂、各位置显高度可变性等特征。通常在细基质中含岩石碎屑,底部碎屑物粒径最大,并 有底侵蚀。抛出沉积物向上递变为由浊流沉积的具纹理细粒沉积。当岩石碎块回落海底扰 动松软的海相沉积物时,在水成撞击沉积物中形成滴石特征。随与撞击位距离的不同,沉积 物可能既有分选的、也有未分选的块状粒序层、漂砾、层状层和交错层。近端的抛出沉积含最 大的碎屑,厚度最大,多呈块状;稍远处的沉积物厚度减薄,更层理化,有较好的分选,可能含 包括钙质沉积物的再造物质;更远处,抛出碎屑破坏原来的松软海底沉积出现滴石构造;极 远处,出现非常薄的微玻陨石富集层,它们是由冲击加热物质冷却的蒸汽云造成。

4 混积岩和混积岩的成因问题

混积岩(diamictite,同义词 mixtite)是弱或无分选的非钙质陆源碎屑岩,一般在细粒基质中混有广泛粒级,甚至巨大漂砾级碎屑。其原义无成因限定。

# 4.1 地质记录中的混积岩及其冰川成因解释

地质记录中的一些混积岩已被解释为冰碛岩(tillite),并将其与晚新生代冰期的冰川沉 积物类比。确定为冰碛岩的判别标志包括磨面石、擦痕石、擦痕岩面、掉落碎屑证据的滴石 等。具有这些特征的混积岩在有些地质时代显得特别发育,主要时期有早元古代(约2.5至 2.3Ga)、晚元古代(约900至600Ma)、晚奥陶至早志留世(约440Ma)、晚泥盆世法门期(约 365Ma)、石炭和二叠纪(约从320至250Ma)。其分布遍及世界各大洲。

近 10 多年来,对各种时代的许多混积岩与相伴沉积岩的沉积学和相分析获得了大量证据。它们主要是碎屑流和与较细粒物质关联的重力流沉积作用造成,附加有垂直落下的碎 屑。于是,把具前述特征的许多混积岩重新解释为:它们是在陆架或浅盆地环境中,通过重力 流再沉积的冰川源沉积物,同时从融化冰山落下粗碎屑。因此,冰海重力流方案已成为适用 于冰川混积岩沉积作用的一般工作模式。

对许多混积岩的冰川成因解释已受到不少研究者的质疑,主要问题有:(a)要形成广泛 规模的大陆冰川需要邻近的大洋供应充足的大气降水来源,在远离大洋的古泛大陆内部不 可能有充足的降水;(b)元古代冰川期正是按碳循环模式预测的大气 CO2 非常高水平的时 期,这时全球温度都很高,而且"冰碛"混积岩普遍地与暖热气候条件下形成的沉积物直接接 触,这样的突变很难给以说明;(c)混积岩有十分广泛的纬度分布,一些地方则处于低纬度, 如中国南方的南沱期"冰川"混积岩的古纬度是 7°—34°(夏文杰等,1994),在这样低的纬度 上不会存在直达海面的大陆冰川;(d)现代冰架的沉积作用局限于海平面附近,沉积物很少 能搬运过开阔陆架,通过冰筏搬运在开阔陆架区的沉积速率一般<1mma<sup>-1</sup>,南极 Ferrar 峡 湾冰川头在更新世的平均沉积速率仅为 0.064mma<sup>-1</sup> (Eyles et al., 1985; Barrett et al., 1992),即使较近的第四纪更新世冰期,冰碛物也不超过 300m 厚(Weller, 1960),然而,一些 "冰川"混积岩厚度可超过 1000m,即便假定古冰川期延续时间较长久,但要产生如此大规模 的混积岩就要求巨大的侵蚀总量,由更新世大陆冰席引起的侵蚀作用仅限于剥蚀表层物质, 或至多移走几百米厚的盖层(White,1972),而南美的 Parana 盆地就有 4×10<sup>5</sup>km<sup>3</sup> 那么多的 推测冰碛物沉积(晚古生代),这需要围绕结晶地盾区的冰川侵蚀达约1.5km 深,对此 Frakes 等(1969)也觉得可疑;(e)一些"冰成"混积岩已知是在接近大规模绝灭事件时期沉 积的,这包括前寒武纪/寒武纪,奥陶纪/志留纪和晚泥盆世的弗拉斯/法门期边界。现已发现 在或靠近这些边界处有铱和其他微量金属富集,而冰期很难引起如此的灾变事件,如更新世 冰期并未产生海洋生物的大规模绝灭;(f)作为冰川作用标志特征的磨光面、擦痕面、擦痕、 漂砾、无分选混杂堆积以及滴石,也可能由其他非冰川的地质作用产生,诸如水石流或陆上 碎屑流。撞击抛出沉积以及构造活动等,在没有可靠的地貌标志佐证时,仅据结构资料很难 确定其冰川成因(施雅风等,1989;Weller,1960;Schermerhorn,1974;),而且,就在 Hambrey 和 Harland(1981)描述的古冰碛岩/混积岩的下垫面上,擦痕也并不普遍。

#### 4.2 一些混积岩的撞击成因解释

对撞击抛出沉积的数学分析表明,在 2Ga 以来的地质记录中它们应当是相当普遍的。 Oberbeck 等推算出 2Ga 期间可产生的撞击坑沉积的厚度分配,结果近似于《2Ga 的冰碛岩 /混积岩的厚度分配,而这两种成因大相径庭的沉积物又具有非常类似的外貌特征,促使他 们和 Rampino 先后提出一些混积岩应是撞击抛出沉积物,和重新研究评论混积岩成因的设 想和意见。

撞击沉积物和冰川沉积物具有相似的外貌和特征,这是因为它们在定位时有近似的运动过程。两者均产生极差分选的混杂碎屑组合;接地冰川和撞击抛射幕下界面均为固相/固相界面,定位时都侵蚀下垫层;两者都把外来物质搬运很远距离并与地面侵蚀物质混合向外运移;两者都把碎屑物撒落水中,形成粒级层和滴石;都可能改变或破坏陆架斜坡的平衡,产生浊流或重力流和相应的沉积构造。这个事实说明,一些撞击成因混积岩确实有可能被误认为是冰碛混积岩。

#### 4.2.1 具冰川沉积特征的撞击坑抛出沉积

(1)Ries 撞击坑的抛出角砾含有擦痕的砾石,曾被作为"Ries 冰川"的证据;(2)在俄罗 斯的高尔基附近,含沉积岩和结晶岩碎屑和巨块的角砾岩覆盖面积约 6000km<sup>2</sup>,最初被认为 是中生代冰川混积岩,在钻探揭露出沉积中心之下的 Puchezh-Katunki 撞坑(220±10Ma) 后,才确定为这个直径约 80km 的撞击坑的抛出沉积(Chumakov,1981);(3)加拿大撒斯喀 彻温见到的一处含外来漂砾的混积岩,基岩垫面有擦痕,也曾被认为是中生代(?)冰碛岩,而 它们是 Deep Bay 撞击坑(100±50Ma)的产物;(4)在西伯利亚,直径约 100km 的 Popigai 撞 击构造(约 36Ma)产生有类似于 Ries 抛出物的近源连续抛出沉积;(5)西班牙东北的第三系 Palarda 组是一套混积岩,在细基质中含有圆至次圆状被擦痕和磨尖的漂砾与砾石,下垫的 古新统砾岩砾石普遍呈现镜面状磨光、细擦痕和凹面坑,Pelarda 沉积物中还有一系列冲击 变形证据,如塑性变形、脆性破裂和石英颗粒的复式平面变形特征,现已确定 Pelarda 组混 积岩是附近的 Azuara 撞击构造(直径>30km,晚始新至早渐渐时期)的抛出沉积(Ernston 和 Fiebag,1992)。

### 4.2.2 一些混积冲击变形证据的找寻

Rampino 注意到要准确判别古混积岩究竟是什么成因尚需做不少调查研究,他指出应 着重冲击变形和熔融证据的找寻,由于撞击角砾可能只受到较轻微的冲击(<10GPa),要获 得充足证据也有困难。

现认为是冲击变形的特征包括:石英颗粒平行 C 轴延长的波状消光带,以不同角度指向 C 轴的气泡状包裹体的行列或面,开张裂缝及菱形状解理和多组面状变形特征。经初步研究,已经在一些地方的混积岩中发现:如南非出露的几处石炭一二叠纪的 Dwyka 组混积岩,其中的石英颗粒具有交叉和面状的气态包体,呈现波状消光,一些长石、石英颗粒被扭曲或有开张破裂;南非 Vischkuil 的 Dwyka 冰碛岩中,各种成分的砾石有不同程度的破裂,包

括平行的张开裂口,交叉和辐射状裂口,一些碎屑已与裂口一起旋转,这类特征同于在 Pelarda 组抛射物的砾石中见到的情况;弗吉尼亚西南部上元古代的 Konnrock 组混积岩 中,长石砂岩的石英颗粒呈波状消光,许多颗粒具行状或面状包体,弯曲的单向纹理 (Lamellae)和多向纹理。

铱异常也是鉴别地外撞击事件的一个重要标志,现在已从前寒武纪/寒武纪,奥陶纪/志 留纪,弗拉斯期/法门期边界或邻近处发现有铱和其它微量金属浓集的现象,只是不及白垩/ 第三纪边界那样高,这或许是彗星或铱亏损的撞击体撞击之故。事实上,Ries 撞击坑的抛出 沉积也没有明显的铱富集。

# 5 结语

Oberbeck 等和 Rampino 从比较行星学和系统的数学分析出发,根据若干事实和冰成 论面临的难题,提出了某些混积岩应是撞击抛射沉积的新颖主张。一种新观念的产生总会遇 到不少困难,这包括本身的不尽完善,实际事例的不足,以及固有认识的责难。但科学的争论 也将促进和激励对有争议领域的探索和研究,甚至打开一个崭新的局面。就我国而言,已知 南方的震旦系有广布的混积岩,习称为南沱冰碛岩,对其冰川成因也早有疑问,有的学者认 为其中一些是碎屑流或火山碎屑流沉积,而不是冰川沉积,那么,南沱冰碛层会不会也有撞 击影响呢? 在如此低的纬度上能生成大规模的大陆冰川吗?

#### 主要参考文献

施雅风,崔之久,李吉均等著,1989,中国东部第四纪冰川与环境问题,科学出版社。

夏文杰等著,1994,中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用,地质出版社。

格拉斯, B. P., 1982, 陈书田等译, 行星地质学导论(1986), 地质出版社。

金, E.A., 1976; 王道德等译、字宙地质学概论(1983), 科学出版社。

Taylor, G. J., 1994, 阿波罗计划的科学遗产, 科学, No. 11, 9-17。

Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F. and Michel, H. V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous – Tertiary extinction ; Science, Vol. 208, pp. 1095–1106.

Alvarez, W., Smit, J. and Asaro, F. et al., 1991. Proximal impact deposits at the Cretaceous – Tertiary boundary in the Gulf of Mexico, reinterpreting DSDP sites 536 and 540; Geol. Soc. America Abs. With Prog., Vol. 887, pp. A420.

Barrett, P. J. and Hambrey, M. J., 1992. Plio – Pleistocene sedimentation in Ferrar Fiord, Antarctical; Sedimentology, Vol. 39, pp. 109–123.

Bourgeois, J. and Hansen, T. A. et al., 1988. A tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Texas; Science, Vol. 241, pp. 567-570.

Chumakov, N. M., 1981. Mesozoict tilloids of the middle Volga, USSR. In Hambrey. M. and Harland, W. B. (eds.), Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record; London, Cambridge University Press, p. 570.

Ernston, K. and Feibag, J., 1992. The Azuara impact structure (Spain); new insights from geophysical and geological investigations; Geol. Rundschau, Vol. 81, pp. 403-427.

Eyles, C. H. Eyles, N. and Miall, A. D., 1985. Models of glaciomarine sedimentation and the application to the interpretation of ancient glacial sequences; Palaeogeogr. Palaeoclimatol., Palaeoecol., Vol, 51, pp. 15-84.

Florentin, J., Maurrasse, M. R. and Gautam, S., 1991. Impacts, tsunamis, and the Haitian Cretaceous - Tertiery boundary layer; Science, Vol. 252, pp. 1690-1693.

Frakes, L. A. and Crowell, J. C., 1969. Late Paleozoic glaciation: I, South America; Geol. Soc. America Bull., Vol. 80, pp. 1007-1042.

Gostin, V. A. , Haines , P. W. et al , 1986. Impact ejecta horizon within Late Precambrian shales , Adelaide Geosyncline .

South Australia; Science, Vol. 233, pp. 198-200.

Hambrey, M. J. and Harland, W. B. (eds), 1981. Earth's pre-Pleistoceene Glacial Record London, Cambridge University Press, p. 1004.

Hartmann, W. K. and Davis, D. R., 1975. Satellitesized Planetesimals and Lunar origin; Icarus, Vol. 24, pp. 504-515.

Hildebrand, A. R., Penfield, G. T. et al, 1991. Chicxulub Crater, a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico; Geology, Vol. 19, pp. 867-871.

Hörz, F., Gall, H. et al., 1977. Shallow drilling in the "Bunte Breccia" impact deposits, Ries Crater, Germany. In Roddy, D. J. et al. (eds.), Impact and Explosion Cratering, Now York, Pergamon, pp. 425-448.

Horz, F., 1982. Ejecta of the Ries Crater, Germany; Geol. Soc. America Spec. Paper 190, pp. 39-56.

Hörz. F., Ostertag, R. and Rainey, D. A., 1983. Bunte Breccia of the Ries; continuous deposits of large impact craters; Rev. Geophys. Space Phys., Vol. 21, pp. 1667-1725.

Le Roux, J. P., 1994. Impacts, tillites, and the breakup of Gondwana land, a second discussion. The Journal of Geology, Vol. 102, pp. 483-485.

Melosh, H. J. 1989. Impact Cratering; New York, Oxford University Press, p. 245.

Oberbeck, V. R., 1975. The role of ballistic erosion and sedimentation in lunar stratigraphy; Rev. Geophys. Space Phys. Vol. 13, pp. 337-362.

Oberbeck, V. R., Marshall, J. R. and Aggarwal, H., 1993. Impacts, tillites, and the breakup of Gandwana land. The Journal of Geology, Vol. 101, pp. 1–19.

Rampino, M. R., 1994. Tillites, diamictites, and ballistic ejecta of large impacts; Jour. Geology, Vol. 102, pp. 439-456.

Schermerhorn, L. J. G., 1974. Late Precambrian mixtites, glacial and /or non glacial?; Am. Jour. Sci., Vol. 274, pp. 673-824.

Shoemarker, E. M., 1977. Why study impact craters? In: Impact and Explosion Cratering, pp. 1-10.

Smit, J. and Romein, A. J. T., 1985. A sequence of events across the Cretaceous – Tertiary boundary; Earth and Planet. Sci. Lett., Vol. 74, pp. 155–170.

Weller, J. M., 1960. Stratigraphic principles and practice; New York, Harpet, p. 725.

White, W. A., 1972. Deep erosion by continental ice sheet; Geol. Suc. Am. Bull., Vol. 86, pp. 737-748.

Williams, G. E., 1986. The Acraman impact structure, source of ejecta in Late Precambrian shales, South Australia; Science, Vol. 233, pp. 200-203.

Young, G. M., 1993. Lmpact, tillites, and the break up of Gondwana land a discussion; Jour, Geology, Vol. 101, pp. 675-679.

# 《岩相古地理》1995年度学术论文总目次

# 第一期

事件性海侵与煤聚积规律——鲁西晚石炭世富煤单元的形成

	: 李守春	魏久传(1)
碳酸盐准同生成岩作用分析在层序地层研究中的意义	杜远生	颜佳新(10)
断块运动与中生代济源盆地的演化	陈传寺	苏现波(18)
一种用于沉积相分析的新型模式识别方法	冉启全	李士伦(24)

# 第二期

1994年国际计算机和数据库在沉积学中的应用学术讨论会专刊