

从世贸中心9/11灾难中的尘埃物里发现烈性炸药

Niels H. Harrit (尼尔斯·哈里特)^{*1}, Jeffrey Farrer (杰弗里·法拉)², Steven E. Jones (史蒂芬·琼斯)^{*3}, Kevin R. Ryan (凯文·莱恩)⁴, Frank M. Legge (弗兰克·莱吉)⁵, Daniel Farnsworth (丹尼尔·法恩斯沃思)², Gregg Roberts (格雷格·罗伯茨)⁶, James R. Gourley (詹姆斯·果力)⁷ and Bradley R. Larsen (布拉德利·拉森)³

¹ Department of Chemistry, University of Copenhagen, Denmark

² Department of Physics and Astronomy, Brigham Young University, Provo, UT 84602, USA

³ S&J Scientific Co., Provo, UT, 84606, USA

⁴ 9/11 Working Group of Bloomington, Bloomington, IN 47401, USA

⁵ Logical Systems Consulting, Perth, Western Australia

⁶ Architects & Engineers for 9/11 Truth, Berkeley, CA 94704, USA

⁷ International Center for 9/11 Studies, Dallas, TX 75231, USA

材料摘要：经研究，在世贸中心被毁产生的全部尘埃样品中，均发现了独特的红/灰碎片。本文报告了从不同地点采集的4份样品的检测情况。四个样品中的这些红/灰碎片均显示出显著的相似性。其中一块样品由曼哈顿居民在2号世贸中心塔楼倒塌约十分钟后采集，另两块是第二天采得，第四块则在约一周后集得。对这些碎片的性质，运用了光学显微镜、扫描电子显微镜 (SEM)、X射线能量色散谱 (XEDS) 和差示扫描量热仪 (DSC) 进行分析。红色物质包含宽约 100nm 的晶粒，大部分为氧化铁。铝则被包含在较小的片状结构里。利用甲基乙基酮将组分分开，证明了元素铝的存在。氧化铁和铝在红色材料中紧密混合。当在 DSC 装置中点燃时，碎片在约 430°C 时出现大而窄的放热曲线，该温度远低于传统铝热剂的正常着火温度。从这些特别的红/灰碎片燃烧之后的残余物中可以清晰地观察到无数富含铁的球体。我们发现，这些碎片的红色部分是一种尚未反应的铝热剂材料，具有很高的能量。

关键字：扫描电子显微镜，X射线能量色散谱，差示扫描量热仪，DSC 分析，世界贸易中心，世贸中心尘埃，9/11，富含铁的微球体，铝热剂，超级铝热剂，高能纳米复合物，纳米铝热剂。

引言

2001年9月11日，三座摩天大楼（世贸中心1号、2号和7号楼）被轰然撞毁，死伤无数，对成千上万的人们和家庭来说，无疑是一场巨大灾难。同时，这场灾难也促成了无数内政、外交政策上不惜代价的巨变。鉴于此以及其他诸多原因，将灾难当日的真相大白于世，显得至关重要。

政府赞助和出资进行了诸多调查，其形成的大量报告，由 FEMA 和 NIST 两大机构发布。关于此次 9/11 事件，仍有许多鲜为人知的研究，对于向灾难受害者揭露事实真相的使命，这些研究同样重要。其中一些研究适时地

调查了公众所掌握的证据材料，包括残留的实物、可供利用的照片和录像，这些材料直接反映了三座摩天大楼被摧毁的方式。

这三座世贸最高大楼的垮塌因其完整性、近乎自由落体的垮塌速度、显著的辐射对称特征及意想不到的随之产生的大量纤细有毒尘埃而备受瞩目。为更好地了解该破坏事件的特征，本文作者倡议对这些尘埃物开展研究。2007年6月，Steven Jones 博士在世贸中心尘埃的样品中发现一种具有与众不同的包含红色与灰色双层结构的碎片。起初，这种碎片被疑为干燥的油漆碎片；但经过更细致的检测，以上怀疑被否定。为了确定这些红灰双层碎片的成分和性质，随后对其做了进一步的测试。另外，作者还获得并检测了世贸中心尘埃的其他样品，这些样品均系9/11发生之际或之后不久由不同的观察员采集。所有被检测的样品都包含这些特别的微小红灰碎片。有关世贸中心尘埃的

*Address correspondence to these authors (NH) Department of Chemistry, University of Copenhagen, Copenhagen, DK-2100, Denmark; Tel: (+45)35321846; Fax: (+45)35320460; E-mail: harrit@nano.ku.dk, (SEJ) at S&J Scientific Co., Provo, UT, 84606, USA; Tel: 801-735-5885; E-mail: Hardevidence@gmail.com

前人研究包括由 RJ Lee 公司、美国地理调查、McGee 等及 Lioy 等所作的报告。其中一些研究证实了存在富含铁的微球体，这些微球体十分独特，然而本研究分析的红灰碎片在前人公开的报告中显然并未被讨论。值得强调的是，有一个样品是在2号楼倒塌后10分钟采集到的，因此排除了其因清理工作而受到污染的可能。

材料与方法

1. 本报告所分析样品的来源

2006年秋，一篇有关在世贸中心破坏事件中所观察到的反常现象的论文率先发表在网络上。该论文向人们发出了征集世贸中心倒塌尘埃样品的普遍请求。当时的期望是通

过对尘埃样品深入检测，来支持“导致世贸中心大楼极其迅速和彻底毁坏的原因是爆炸性材料而非喷气机燃油”这一假设。

据了解，当时尘埃遍布曼哈顿，量大而密集，很多人都收集了样品。其中一些人将部分样品送至本研究小组的成员。本论文讨论了2001年9月11日当天或之后不久采集到的四个不同的尘埃样品。在每个样品中都发现含有红灰碎片。四个样品最初全部由灾难发生时居住在纽约的普通公民搜集。这些公民为了公众利益前来提供样品以供分析，期许对 9/11 尘埃样品的研究可以揭露出事发当天的任何真相。四个样品采集位置如图1所示。

最早的样品由 Frank Delessio 先生收集。根据他的录像资料，这些样品是在当2号楼北楼倒塌之际，从布鲁克林



图1. 本研究中尘埃样品的采集地点与世贸中心建筑群（靠近1号地点的标志区域）的相对位置图。样品1地点：Mackinlay（113 Cedar St./110 Liberty St）；样品2地点：Delessio/Breidenbach (Brooklyn Bridge)；样品3地点：Intermont (16 Hudson St)；样品4地点：White (1 Hudson St)。（底图经同意引自<http://www.openstreetmap.org>；版权条款在<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>上注明）。

大桥靠曼哈顿的一边采得。他看见大楼坍塌，随之产生的浓雾覆盖了整个区域，将他也包裹其中。当北楼倒塌约十分钟之后，他在桥头附近人行道的栏杆上抓了一把尘土。然后，他攥着尘土去拜访他的朋友 Tom Breidenbach 先生。两人讨论后决定将其保存在一个塑料袋里。2007年11月15日，Breidenbach 将这些尘埃的一部分送给 Jones 博士分析。Breidenbach 也用录像带记录了他收集这块尘埃样品的过程。由此可知，Delessio/Breidenbach 样品是在2号楼倒塌约十分钟后采集的。因此，它绝对不会受随后在原爆点进行的切削钢和清理操作的污染。此外，它未与几小时后垮塌的世贸中心7号楼的尘埃混合。

2001年9月12日清晨，家住纽约的 Stephen White 先生进入了距离世贸中心约5个街区的 Hudson街1号八楼的公寓房间。他发现，有扇窗开了约4英尺（10厘米），靠近窗叠放的一摞衣物上积了一层约有1英寸厚的尘埃。显然，打开的窗户使得前一天世贸中心遭破坏时产生的尘埃大量涌入屋内、覆盖衣物。他保存了一些尘埃，于2008年2月2日将一份样品直接送至 Jones 博士处分析。

另一份样品是在2001年9月12日大约下午2点时，由 Jody Intermont 先生从 Hudson街区16号的公寓楼中搜集。这份尘埃的两块小样品于2008年2月2日同时送至 Jones 博士和 Kevin Ryan 处进行分析。Intermont 先生随每块样品附送了一份签名的宣誓书，以证实他亲自搜集了该样品（现已分开）。他这样写道：

“这块来自垮塌的世界贸易中心大楼的尘埃是于2001年9月12日在位于 Reade街与 Hudson街转角处的我家阁楼上采集得到的。我允许使用此证时公布我的姓名。”（以上于2008年1月31日在一位见证人在场的情形下签字确认，该见证人也签上了他的姓名）。

2001年9月11日早上，Janette MacKinlay 夫人正在她位于四层的公寓里，该公寓地处纽约 Cedar街113号/ Liberty街110号，街对面即为世贸中心广场。在南楼垮塌之际，尘埃与残骸形成的浮云冲破公寓的窗户，顿时尘埃弥漫全屋。她迅速用湿毛巾缠住头，离开大楼以逃生。大楼被关闭，禁止进入约一周。一旦被允许重新进入公寓，MacKinlay 夫人即刻进去并开始清理。地板上积了厚厚的一层尘埃。她搜集了其中的一些，装入一个很大的可封装

的塑料袋内，以备日后可能作为艺术品之需。应Jones博士发表于2006年的论文中的请求，MacKinlay 夫人寄给了他一块尘埃样品。2006年11月，Jones 博士行至加利福尼亚，前往 MacKinlay 夫人新住所拜访，并在几位见证人的陪同下直接从她当初存放尘埃的大塑料袋内又采集了一份世贸中心尘埃的样品。她还将样品直接寄给了 Jeffrey Farrer 博士和 Kevin Ryan。他们的研究结果构成了这份报告的一部分。

另一块尘埃样品由一个人从纽约市 Potter街一座大楼的窗台上搜集得来。他不同意公开他的姓名，因此这次研究并未包括他提供的材料。然而，那块样品含有与本文描述的样品成分大致相同的红灰碎片。

2. 碎片尺寸、隔离和检测

为便于识别，由 Janette MacKinlay 夫人搜集并送至本文作者的尘埃样品将记为样品1，Delessio/Breidenbach 收集的样品记为样品2；由 Jody Intermont 先生收集的样品记为样品3；Stephen White 先生收集的样品记为样品4。用一块磁铁来吸引红灰碎片，促进碎片从块体尘埃中收集并分离。将一块小的永久磁铁单独放在一个塑料袋内，用于从尘埃样品中吸引并富集碎片。这些碎片特别小，但因其颜色独特而用肉眼易于辨别。它们尺寸不一，主要尺寸约为0.2~3mm。每层（红灰）厚度大约从10到100微米不等。以上和其他一些采集者都把世贸中心尘埃样品直接送达了各位科学家（包括一些本研究小组以外的人士）。这些科学家也曾从世贸中心被毁产生的尘埃中发现了这样的红灰碎片。

使用一台 EI XL30-SFEG 扫描电子显微镜（SEM）来呈现二次电子（SE）图像和背散射电子（BSE）图像。SE图像用于观察红灰碎片的表面形貌和孔隙，BSE图像则用于辨别平均原子序数Z的变化。该显微镜还配备了 EDAX X射线能量色散分析谱仪（XEDS）系统。XEDS系统使用了分辨率高于135eV的硅探头（SiLi）。分析仪的分辨率设置为10eV/光束。获取的XEDS光谱的操作条件为：电子束能量（除非另有说明）20keV，采集时间（在线）40–120s。XEDS图像是在电子束能量为10keV时，运用同样的系统获得。

为在 SEM 里做大体的表面分析，尘埃样品被置于碳导电胶上。如无特别说明，样品未经清洗和涂覆处理。为更

细致地观察红色层和灰色层的特征，并完全消除可能来自其它尘埃粒子的表面影响，四个世贸中心尘埃样品中的每一个样品均有一些红灰碎片被折断。对清洁的剖面，运用 BSE 图像和 XEDS 进行了研究。

一些样品还用差示扫描量热仪 (Netzsch DSC 404C) 进行了测试，以测量进出红灰碎片的热流量。DSC 测试的执行条件是线性加热速率 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，升至 700°C 。加热期间，样品盛放在铝坩埚内，加热时空气流速为 $55\text{mL}/\text{min}$ 。曲线按 20°C 或 $200^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率采集数据点绘制而成。经校正的仪器以 W/g 显示数据。设置曲线显示流出样品的正热流量，样品放热生成峰，吸热则生成谷。

我们还利用 Nikon Epiphot 200 立体显微镜、Olympus BX60 立体显微镜、Nikon Labophot 显微镜和照相机对尘埃样品进行了可见光显微镜 (VLM) 测试。

结果

1. 红灰碎片特征描述

在采集的全部尘埃样品中均发现了红灰碎片。通过对这些碎片的分析来评估碎片的相似程度并确定组成碎片的

化学成分及材料。图 (2) 显示了四个世贸中心尘埃样品中每个样品的红灰碎片的显微照片。注意各图的标度，它们是在不同的放大倍数下拍摄的。图 (2a) 中的碎片长约 2.5mm ，是采集到的最大的碎片之一。该碎片重约 0.7mg 。用于本研究的全部碎片均含有一灰色层和一红色层，并被一磁铁吸引。图 (2d) 中的插图显示为灰色层。从这些照片可知，样品间的相似程度已经十分明显。

图 (3) 是用不同方法拍摄同一组碎片而得到的三张对比图像。图 (3a) 是一群粒子的 VLM 显微照片，可看到红色的材料和有些粘附的灰色材料。图 (3b,c) 分别为同一群粒子的二次电子 (SE) 图像和背散射电子 (BSE) 图像，对样品并未做导电涂覆处理，运用扫描电子显微镜 (SEM) 拍得。从 SE 图像中可看出，粒子的红色层出现因电子束下电荷少量堆积所致的很明亮的区域，这是缘于红色层相对较弱的导电性 (见讨论部分)。BSE 图像显示，红色层比灰色层暗，说明红色层由平均原子序数相对

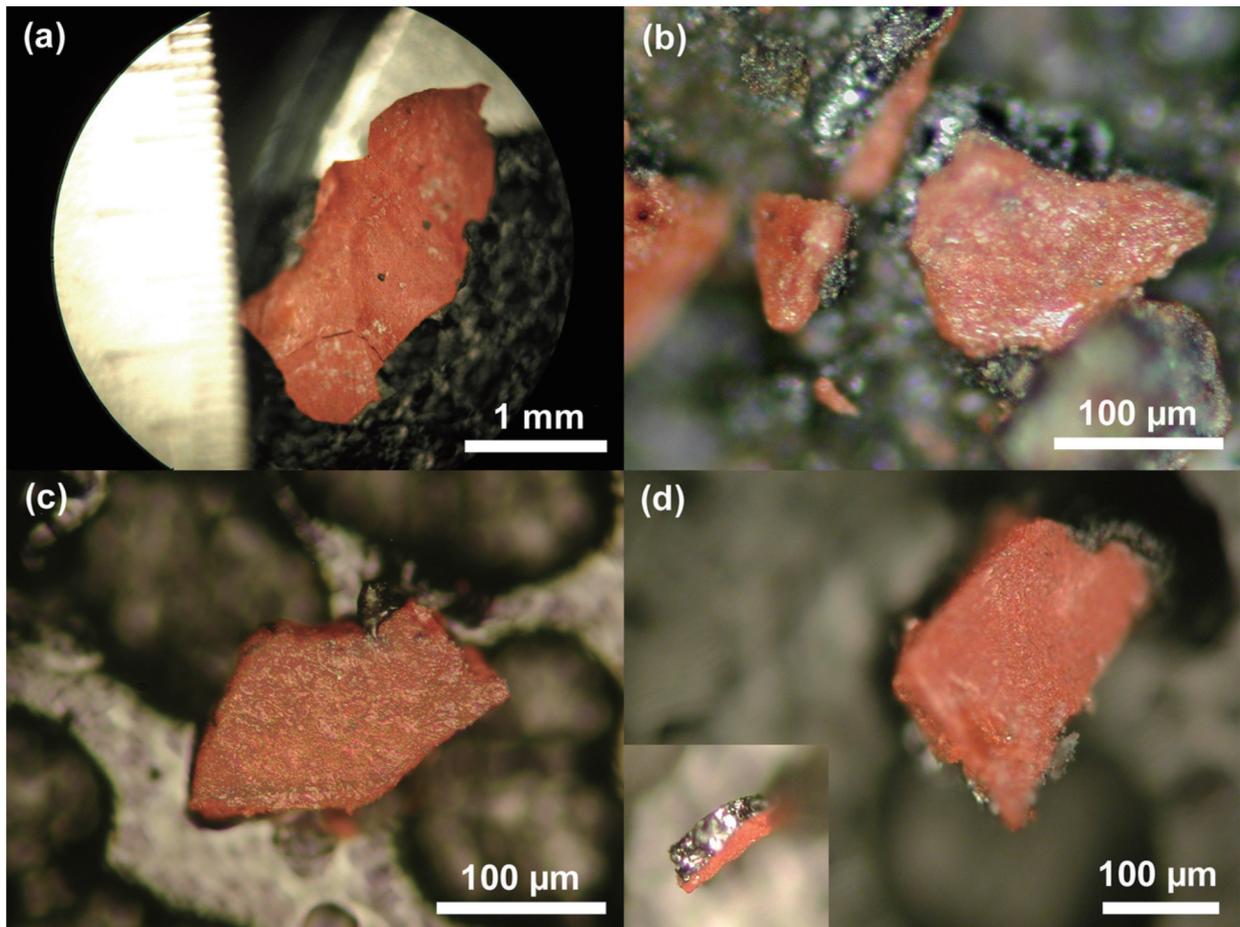


图2. 本研究中世贸中心尘埃1-4号样品的红/灰碎片的显微照片，分别见图(a)-(d)。(d)中的插图显示碎片边缘为灰色层。为便于用扫描电子显微镜 (SEM) 观察，用碳导电胶将红/灰碎片固定在铝基底上。

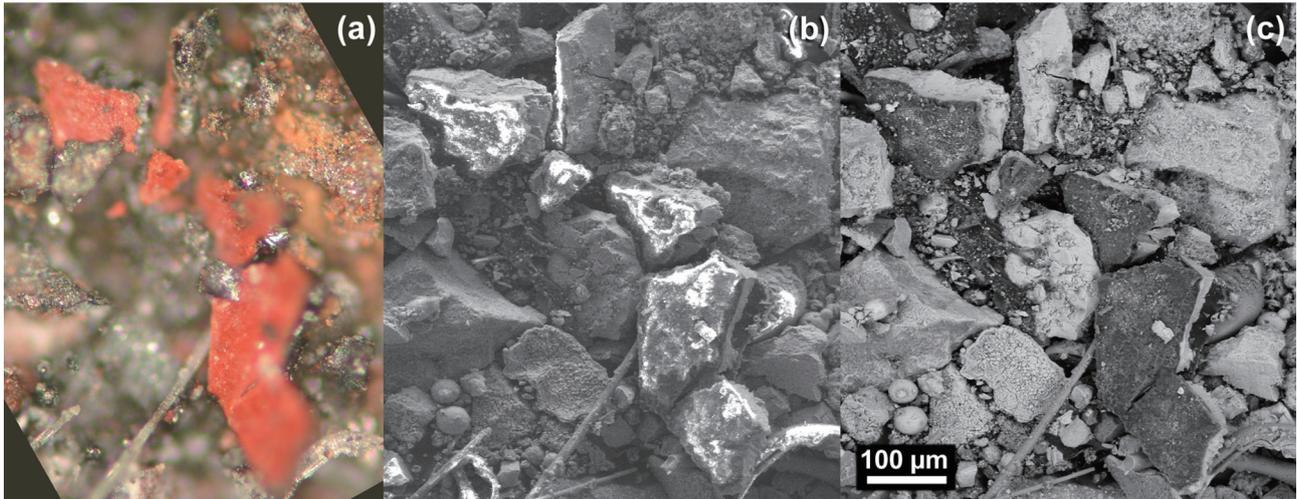


图3. 从样品2中用磁石提取的同一组微粒的一系列图片。(a)中的彩色显微照片由 VLM 获得, 定位及辨别红/灰碎片; 由 SEM 获得的 SE 图像(b)给出了微粒更清晰的尺寸和形状; BSE 图像 (c) 则通过灰度强度显示出红色层、灰色层及其它尘埃微粒之间平均原子序数的差异。

低于灰色层的材料组成。

其中一块碎片一角的更高放大倍数的 BSE 图像 (如图 (4) 所示) 可用来对两层的灰度强度区别做更细致的检查, 证实了灰色层由原子序数更高的材料组成。红色层还显示有斑点和其它异物, 与光滑的灰色层形成鲜明对照。

四个不同的尘埃样品中红灰碎片刚被折断的剖面 BSE 图像如图 (5) 所示。这四个剖面图代表了尘埃样品中被研究的全部红灰碎片。被研究的所有红色层含有具有高平均原子序数的小而亮的粒子或颗粒, 这一发现可由 BSE 图像证明。并且, 颗粒的大小及存在方式在各层之间都是一致的, 不过由图中可以看出, 粒子的分布密度是随着样品采

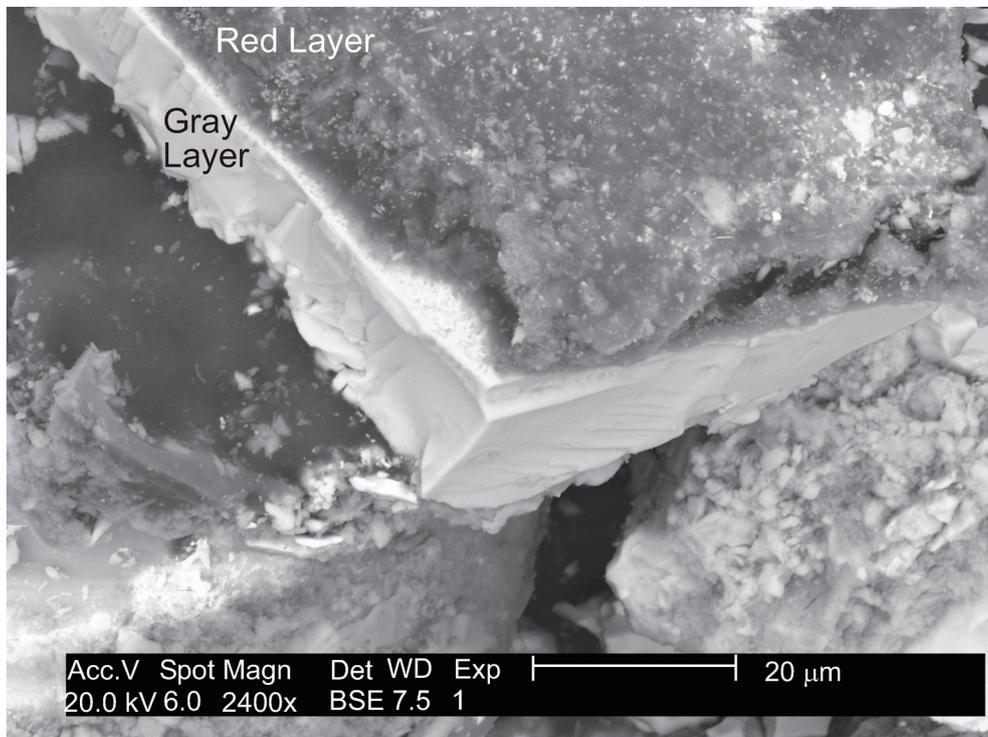


图4. 上图中碎片之一的高放大倍数 BSE 图像。红色层显得较暗, 位于灰色层的上方。

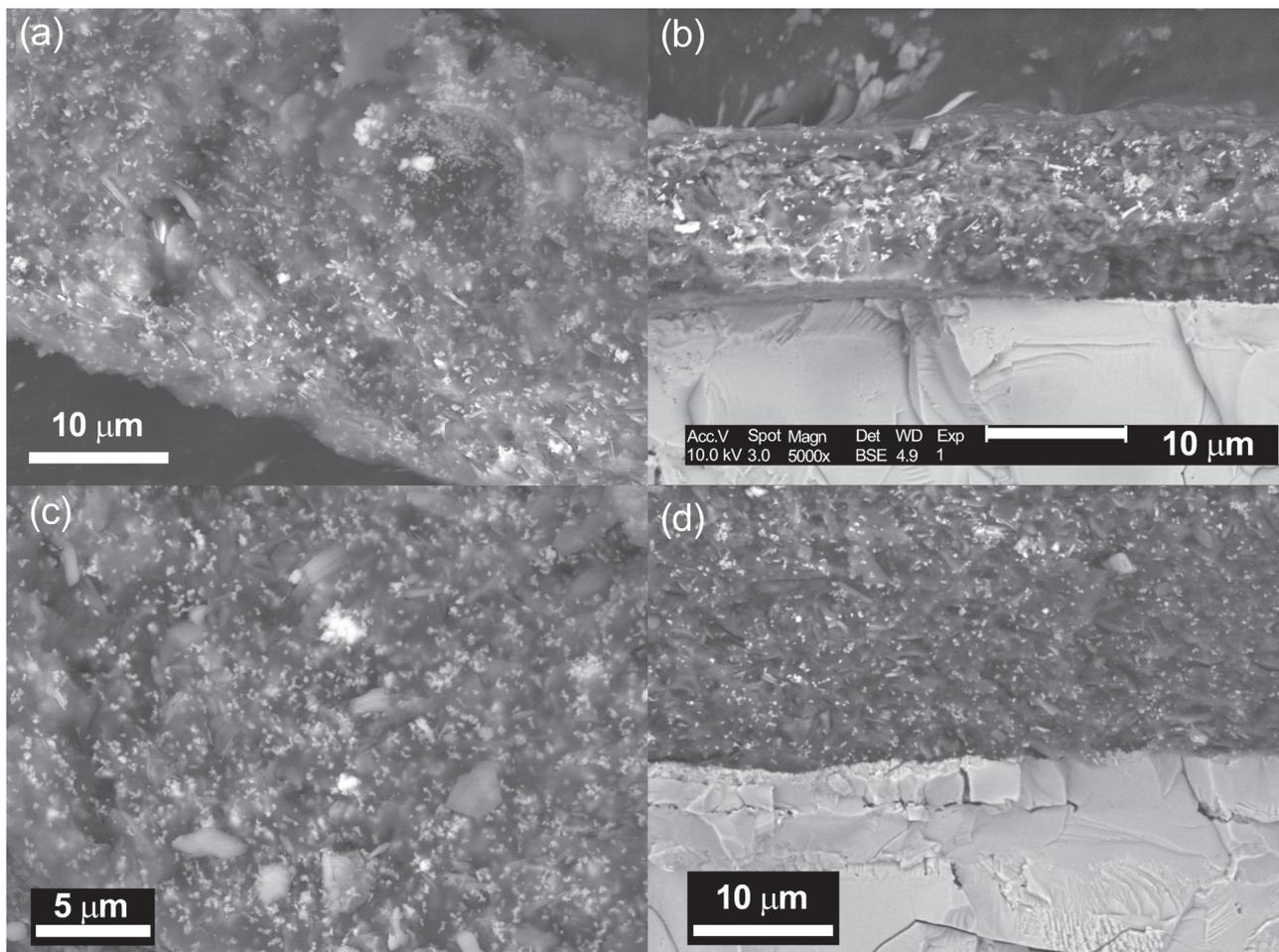


图5. 样品红/灰碎片剖面的 BSE 图像。图(a)-(d)分别对应样品1-4。样品2的图像(b)和样品4的图像(d)的剖面还显示出附着的灰色层。

集的位置不同而不同。

我们对由四个尘埃样品制备的剖面的红色层和灰色层进行了X射线能量色散光谱 (XEDS) 分析, 各自的谱图如图 (6,7) 所示。图 (6) 中的四张谱图表明, 灰色层一致的特征为很高的铁和氧含量, 包括相对少量的碳。红色层中发现的化学特征也十分一致, 每张图中都显示有铝 (Al)、硅 (Si)、铁 (Fe) 和氧 (O), 也存在一个显著的碳 (C) 峰。

在更高的放大倍数下, 红色层的 BSE 图阐明了不同尘埃样品之间的相似性。每个红色层剖面小却颇具代表性的部分的 BSE 谱图如图 (8) 所示。结果表明, BSE 强度 (亮度) 非常高的小粒子的尺寸一致为 100nm 并具有多层结构。观测得知, 这些明亮的粒子与片状粒子混杂, 片状粒子具有中级 BSE 强度, 约 40nm 厚, 近1微米宽。此外, 通过对比图 (8a) 中的 BSE 图像与图 (9) 中的 SE 图

像可知, 所有的粒子被嵌在一个 BSE 强度较低的松散基质里。

红色层剖面表面的 XEDS 图是在电子束能为 10kV 时获得的。图像的采集区域如图 (10a) 中的 BSE 图像所示。部分 XEDS 图如图 (10b-f) 所示, 该图用不同颜色做了标记, 颜色的深度表明某特定元素在整个区域的表面或接近表面处存在的密度。结果表明, BSE 强度非常高的较小粒子与 Fe 和 O 含量高的区域有关。BSE 强度中等的片状粒子似与 Al 和 Si 含量高的区域相关。O 元素的图 (图 d) 还说明有 Al 和 Si 存在的区域有少量的 O。然而, 由这些数据并不能对 O 与 Si、Al 或二者是否相关做出结论。碳元素的图看起来较模糊, 换言之, 它好像与特定的粒子或粒群并无关联, 而是与基质材料相关。

为了从这些发现中得知更多的信息, 我们将聚焦的电子束直接打在不同的粒子上, 采集了 XEDS 数据。通过将

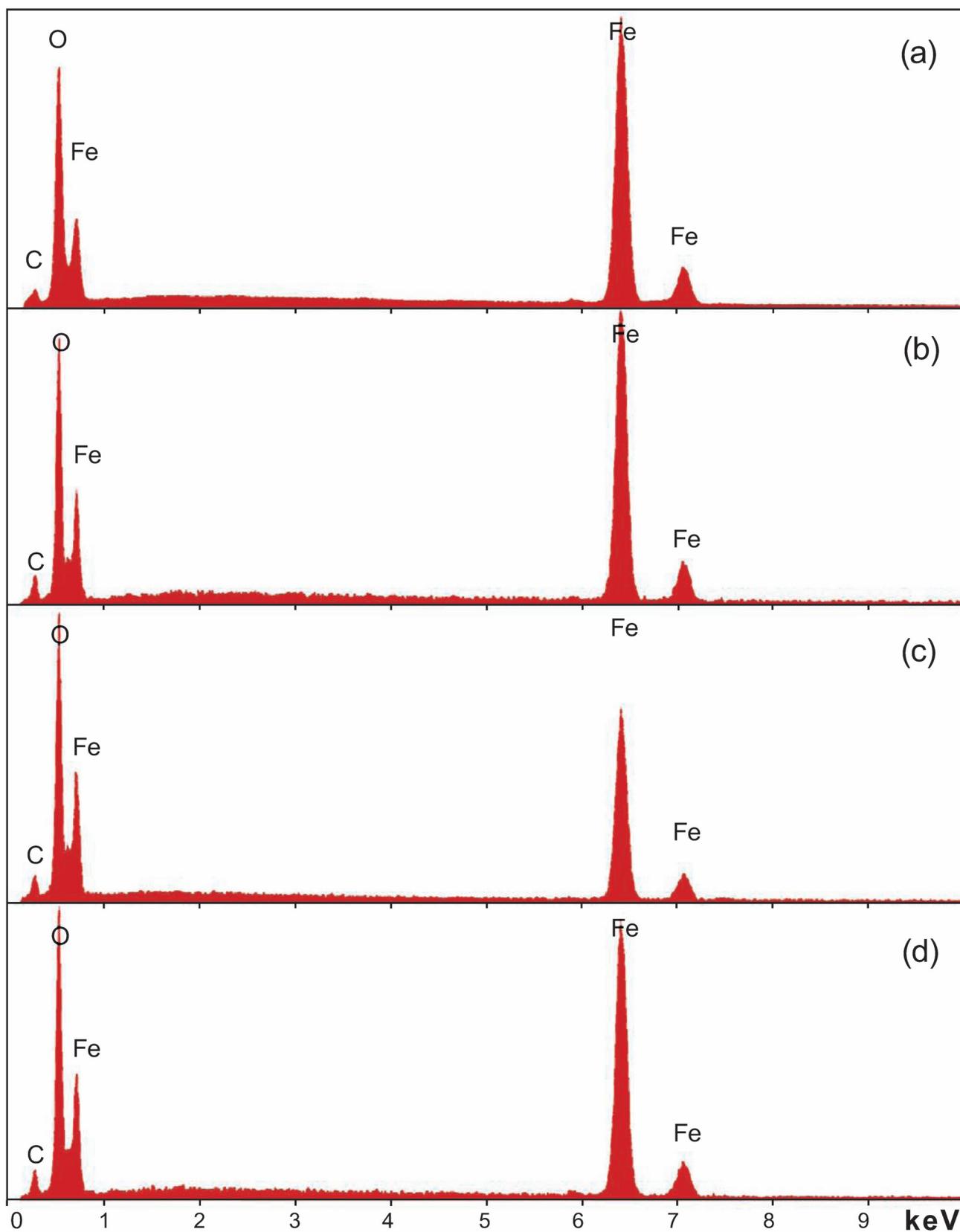


图6. 每块世贸中心尘埃样品的灰色层的 XEDS 谱图。样品1对应图(a)，以此类推。

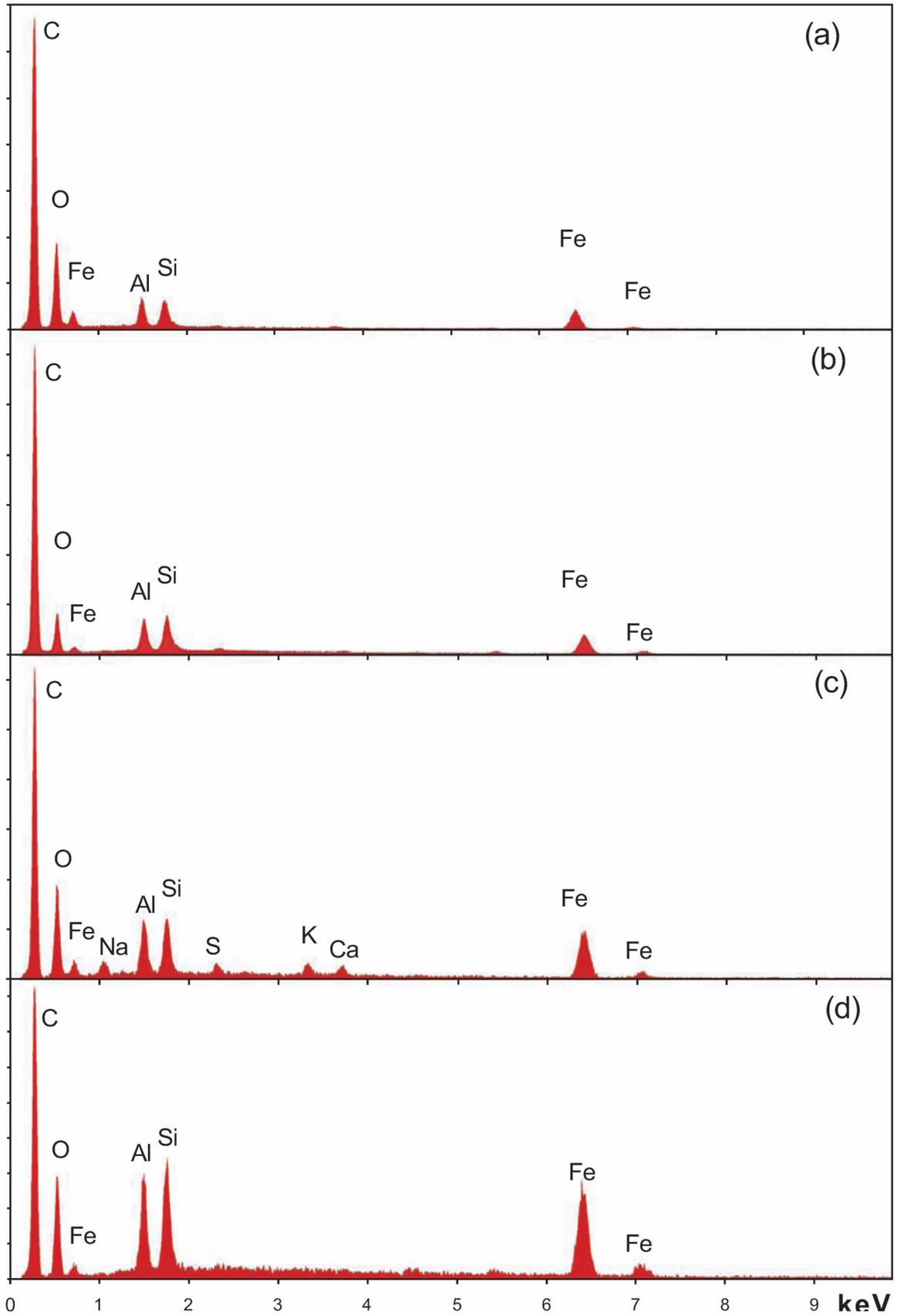


图7. 每块世贸中心尘埃样品的红色层的 XEDS 谱图。样品1对应图(a), 以此类推。

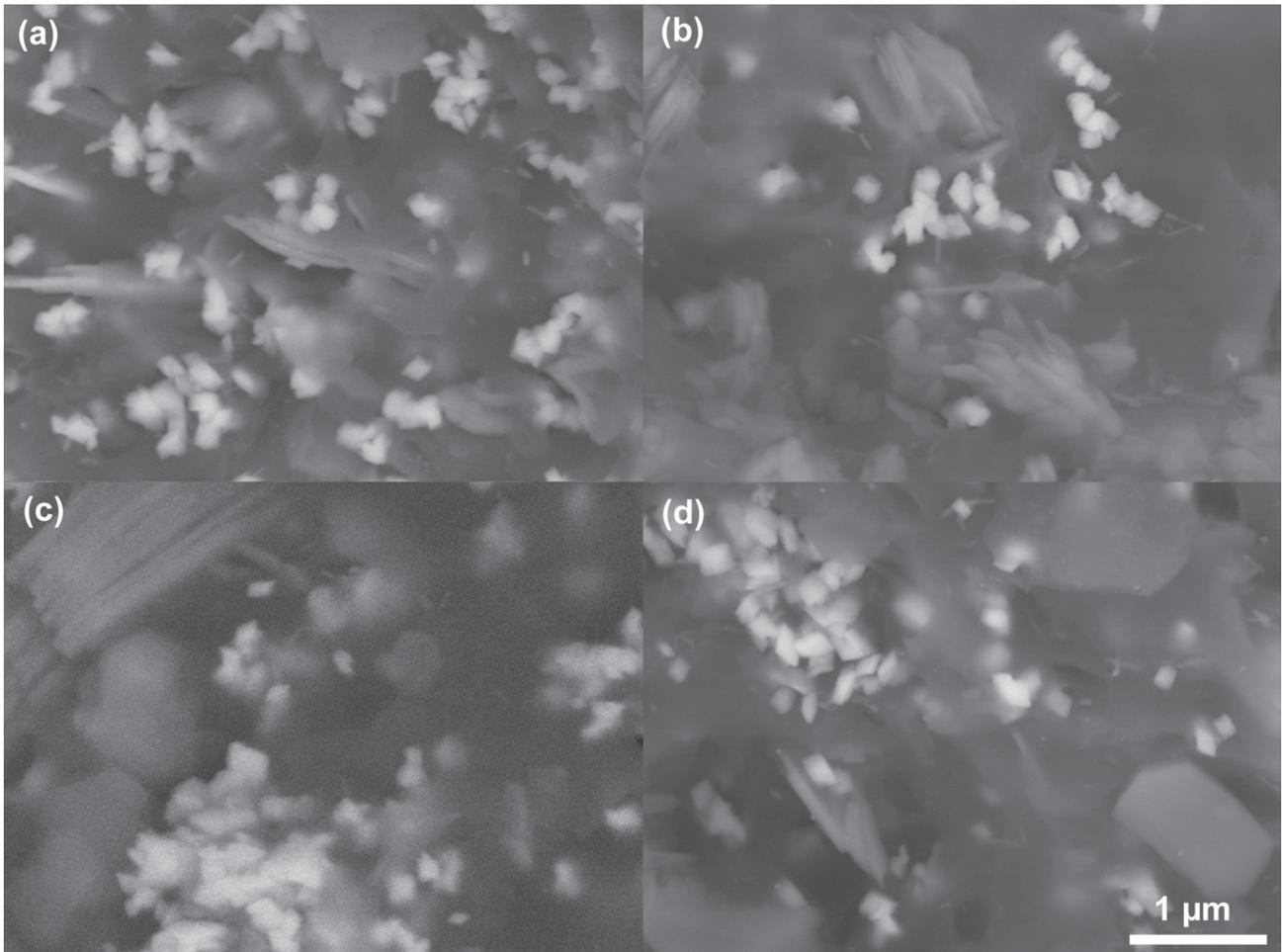


图8. 每块尘埃样品的红色层剖面的 BSE 图像。图(a)–(d)分别对应样品1–4。

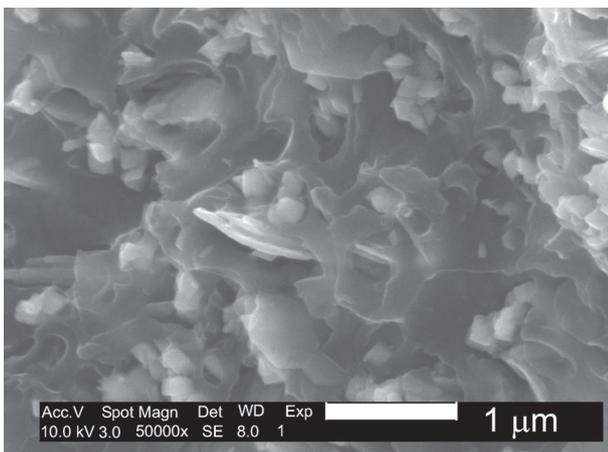


图9. 图8(a)所示的剖面的 SE 图像。

电子束打在一堆片状粒子上得到图 (11a) 中的谱图。图 (11b) 中的谱图则是从一群较小而明亮的多层粒子获得的。再次观察到, 薄的片状粒子富含 Al 和 Si, 反之明亮的多层粒子则富含 Fe。两张谱图均呈现显著的碳峰和氧峰, 这可能部分缘于电子束散射并从基质材料和表面下的粒子

接收重叠的 X 射线信号。电子束能量 (20keV) 决定了产生 X 射线信号的材料体积大于粒子。因此, 在图 (11b) 中可看到一些 Al 和 Si, 而这可能并非多层粒子所固有的; 在图 (11a) 中可观测到一些 Fe, 而这可能并不是片状粒子所固有的。

这些富含 Fe 的颗粒一致的菱形多层外形表明它们是晶体。从这些数据可以确定, 不同世贸中心尘埃样品的红灰碎片具有极为相似的化学和结构组成。研究还发现, 富含 Fe 的颗粒与含 Al 或 Si 的片状粒子在红色层里密切混合, 而这些粒子又嵌在富含碳的基质中。

2. 甲基乙基酮溶剂法检测

通过使用特定方法分离材料的不同成分, 更为精确地确定了红色层里不同粒子的化学成分。最初的目的是为比较红色层和油漆分别浸渍于可软化和溶解油漆的强有机溶剂中表现的行为。红灰碎片被浸渍于甲基乙基酮 (MEK)

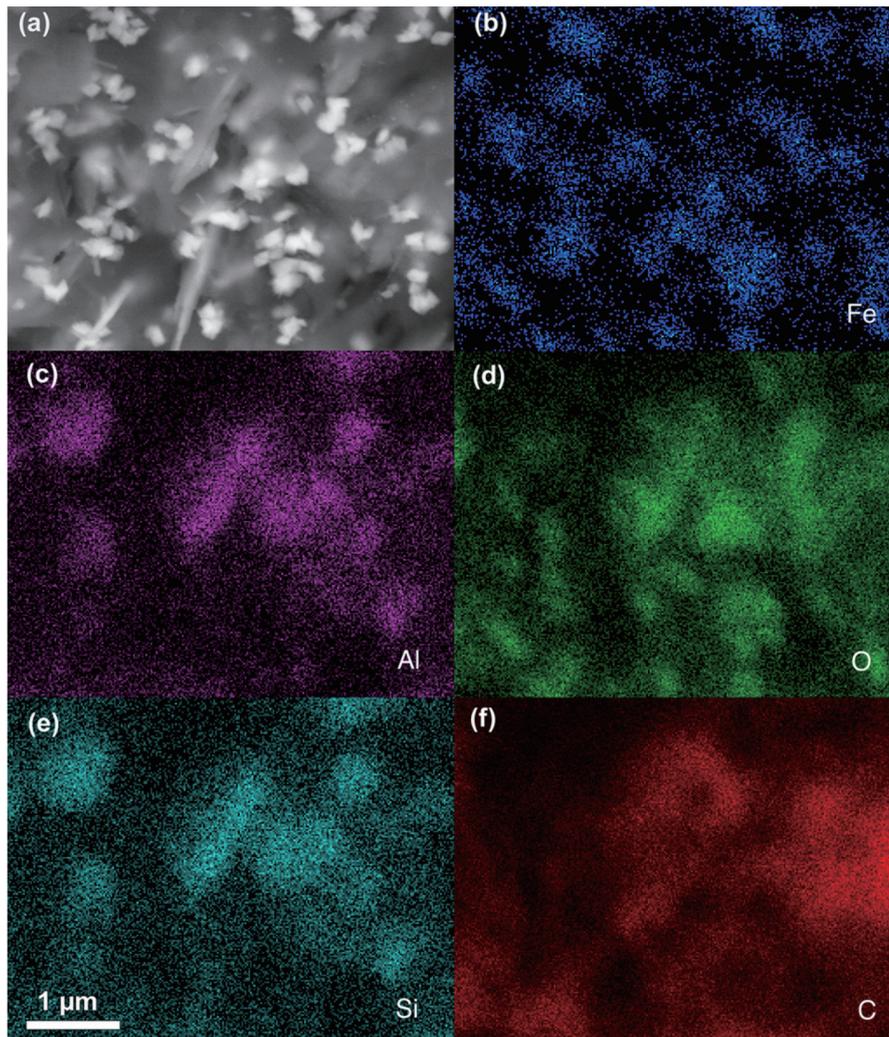


图10. 图(a)为尘埃样品1的红/灰碎片的剖面的 BSE 图像；图(b)– (f)为其 XEDS 图像，显示的元素依次为 Fe、Al、O、Si 和 C。

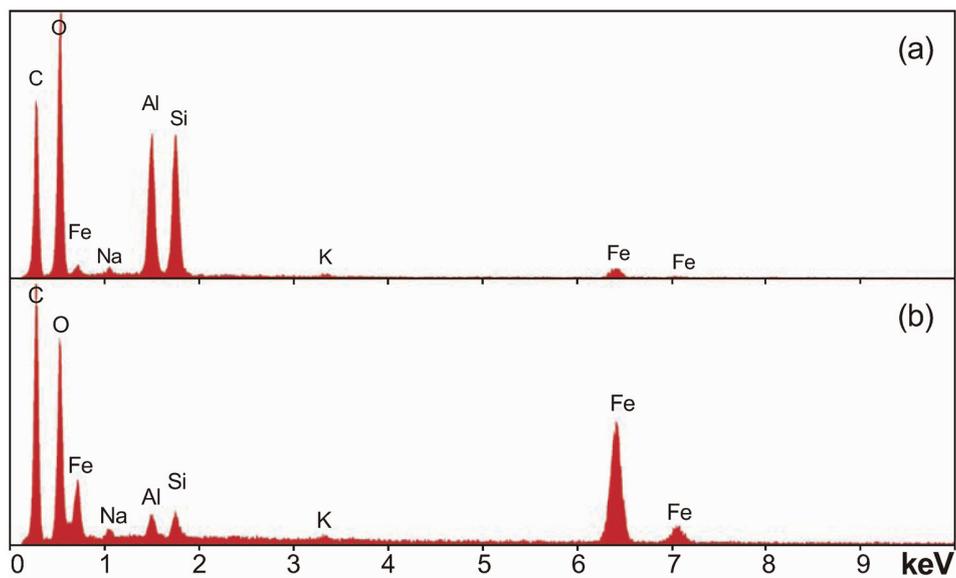


图11. 图(a)为显示一组薄板的元素组成的 XEDS 谱图；图(b)为一组白色薄板的元素组成的 XEDS 谱图，与在红色层的高放大倍数图像（见图8）所观察到的相同。

中55h 并伴有频繁搅拌, 然后在空气中干燥数天。碎片显示红色层显著膨胀, 但并无明显的溶解迹象。与此形成鲜明对照的是, 按相似方法将油漆碎片浸渍于 MEK 中, 碎片软化并部分溶解。在红色碎片材料中发现, 铝在此过程中发生了显著的迁徙和分离。这使得我们猜测其中是否有一些铝以元素形式存在。

用于本实验的碎片提取自2号尘埃样品, 如下图所示。图(12a)是碎片经过 MEK 处理之前的 SE 图像。摆放时, 红色层与灰色层之间的界面和图像的平面几乎平行。图(12b)是碎片经过 MEK 浸渍后的 BSE 图像。注意: 碎片在 MEK 浸渍和处理期间发生断裂。在此图中, 红色层与绿色层并排放置, 故层间的界面是侧立的(与纸面垂直), 灰色层在右边。目测发现, 碎片的红色层已经从灰色层向外膨胀, 约为其原有厚度的 5倍。图(13)里所示的显微照片也显示了经过 MEK 处理之后的碎片。可以看

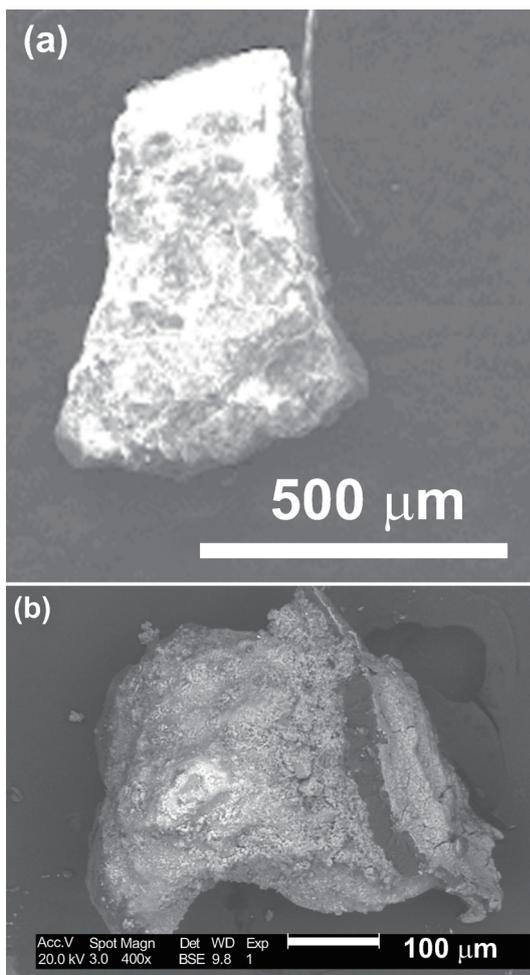


图12. 在甲基乙基酮中浸泡55小时后的红/灰碎片的 SE 图像。(a)为浸泡之前的图像, (b)为浸泡之后的图像。

到, 红色层从灰色层向外延伸。

碎片经过 MEK 浸渍之前, 我们从红色层表面区域得

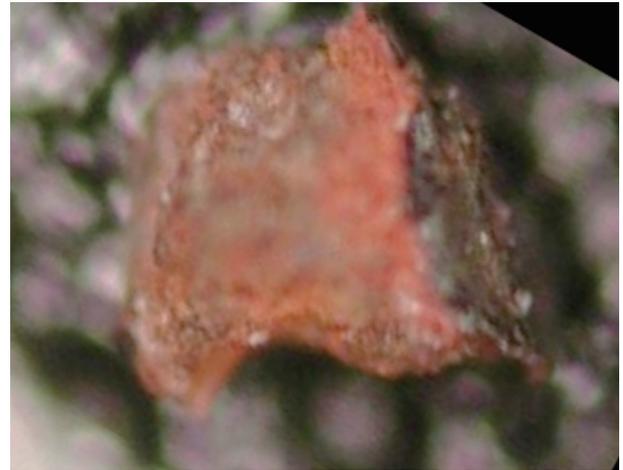


图13. 甲基乙基酮处理的碎片的显微照片。

到了 XEDS 谱图。如图(14)所示, 得到的谱图生成预期的 Fe、Si、Al、O 和 C 的峰值。其它的峰值包括钙、硫、锌、氯和钾。这些元素的出现可以归因于表面污染, 因为以上分析是在红色层收集表面进行的。Ca 和 S 的峰值较大则可能是由于大楼里墙料粉末中的石膏的污染而导致的。

为确定经过 MEK 处理后的各种元素的位置, 我们在电

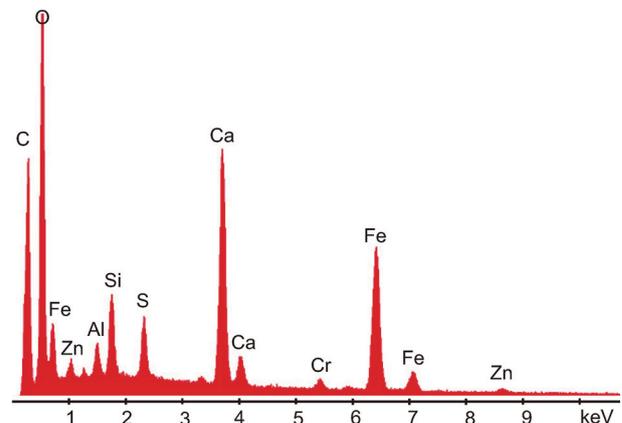


图14. 在甲基乙基酮中浸泡前的红色面的 XEDS 谱图。注意到有 Zn 和 Cr 存在, 它们有时见于红色层中。Ca 和 S 的强峰可能是由于受到墙体材料的污染所致。

子束能为 10kV 时从肿胀的红色材料上得到了 XEDS 图。图(15)中的数据阐明了 Fe、Al 和 Si 集中的区域。此外, 数据表明, Si 和 Fe 富集的地方, O 浓度也很高。另一方面, 还有一些区域的 Al 浓度很高, 但 O 的含量并未相应增多。为了确认并量化这些观测, 我们从 Si、Al 和 Fe 浓度高的特殊区域得到了 XEDS 图(接下的几张图)。

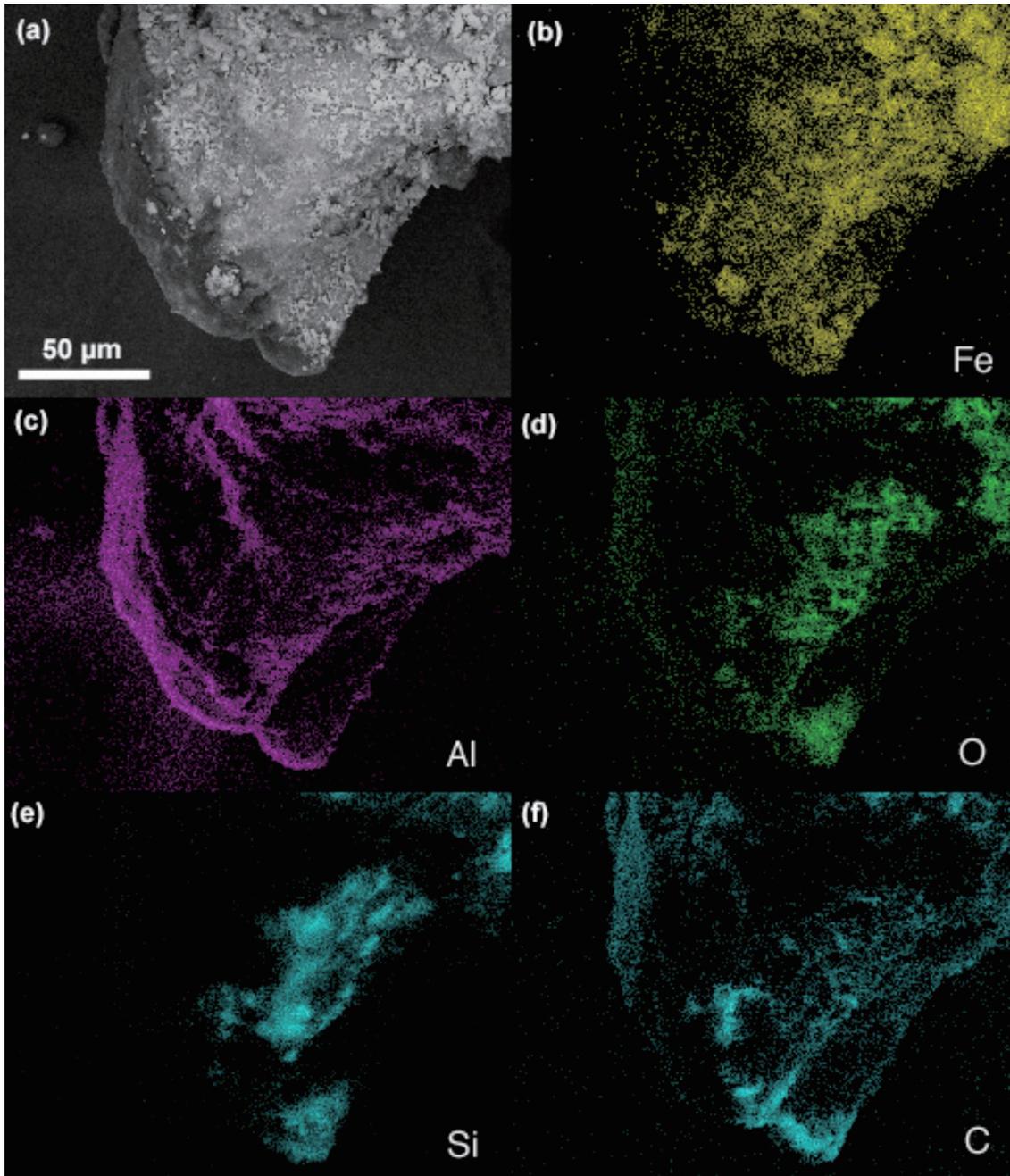


图15. 图(a)为在甲基乙基酮中浸泡55小时后的碎片的红色层的 BSE 图像；图(b)-(f)为其 XEDS 图像，对应依次为 Fe、Al、O、Si 和 C 的图像。

将电子束聚焦在富含 Si 的区域，如图 (15e) 的位置，我们发现 Si、O 和少量的其它元素，如图 (16) 所示。很明显，溶剂已经破坏了支撑诸多微粒的基底，使得组成成分有部分迁移和分离。这一结果意义重大，因为它意味着 Al 和 Si 不是以化学方式结合。

从一富含 Al 的区域获得了下一张 XEDS 图 (图17)。运用传统的量化程序发现，Al 的含量显著地超过了现有的

O 元素 (接近3:1)。因此，尽管一些铝可能被氧化，现有的氧却不足以氧化全部的铝；一些铝必定在红色材料中以元素形式存在。这是一个重要的结论。铝粒子被一层任意大小的氧化铝覆盖，因此如果这些非常精细的微粒具有非常高的比表面积，在含铝的位置理应发现相应的含量显著的氧。

接着，我们分析了一富含 Fe 的区域，产生了如图 (18) 所

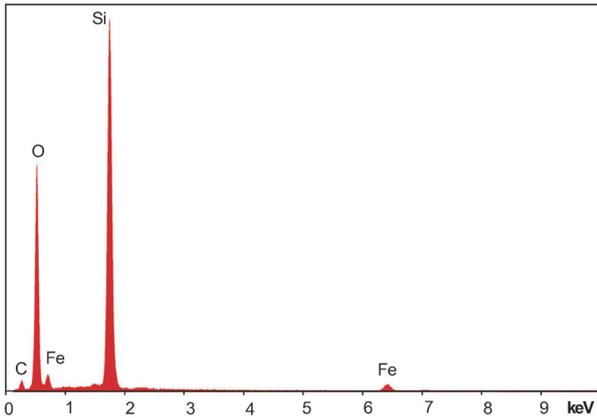


图16. 经甲基乙基酮处理的红色材料的孔状红色基质上一富含硅的区域的 XEDS 谱图。

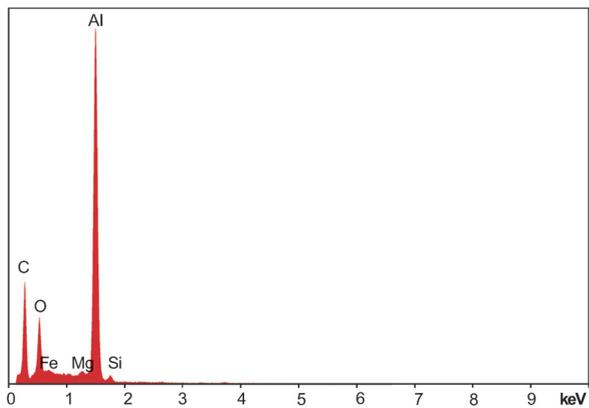


图17. 在 10kV 下观察甲基乙基酮浸泡的红色碎片上含高浓度铝区域获得的 XEDS 谱图。

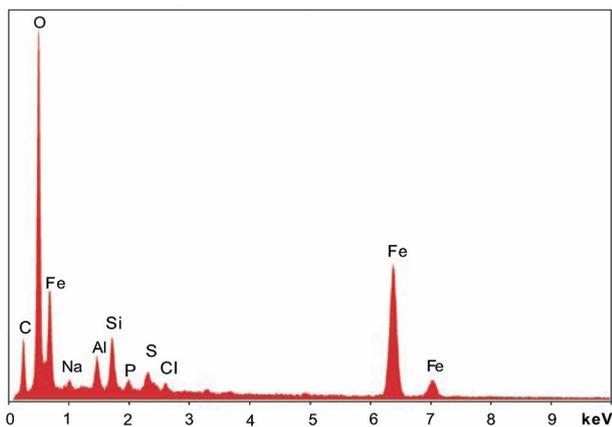


图18. 用 15kV 的电子束观察甲基乙基酮浸泡的红色碎片上含高浓度铁区域获得的 XEDS 谱图。

示的 XEDS 图谱。

由图 (15) 发现, 即使经过 MEK 溶剂浸渍处理, 总能在红色材料中测出较高的含铁量。从图 (18) 中可知, 大量的氧与铁相关。基于 XEDS 的量化并在将氧含量作为微

量元素后, 发现图 (18) 中图谱的 Fe 和 O 的比接近 2:3。这说明, 铁被氧化并且显然氧化态为三价, 表明可能有 Fe_2O_3 或三价铁氧桥聚合物存在。

为核实量化方法, 我们对已知的化学物 Fe_2O_3 进行了测试, 发现对铁和氧元素定量可得到一致且可重复的结果。我们特别对 Fe_2O_3 样品进行了 8 次 50s 的测量, 发现当 O/Fe 的比例持续接近期望值 1.5 时, 铁的一致性为 6.2%, 氧的一致性为 3.4%。

元素铝和三氧化二铁的存在无疑使我们猜测材料中可能含有铝热剂。然而, 在下结论断言世贸中心尘埃中发现的红色材料具有铝热性之前, 还需要进一步的检测。例如, 材料在敏感量热计中受热会呈现什么样的特征? 如果材料反应并不剧烈, 可能表明, 尽管铝热剂的成分存在, 但材料可能并非真的具有铝热特性。

3. 运用差示扫描量热仪进行热分析

我们运用差式扫描量热仪 (DSC) 对红灰碎片进行加热处理。图 (19) 中显示的数据表明, 来自不同世贸中心样品的红灰碎片的燃点全都在 $415 - 435^\circ\text{C}$ 范围内。每条放热曲线释放的能量可通过对窄峰以下求时间的积分来进行估算。从最小的峰直到最大的峰, 积分估算后分别约为 1.5、3、6 和 7.5KJ/g 。峰高的不同以及积分估算的不同都并非足为奇, 因为用来决定 DSC 曲线所显示的信号大小的质量包括了灰色层的质量。灰色层被发现大部分由 Fe_2O_3 组成, 从而它很可能对放热曲线没有影响, 但是这层结构在不同的碎片中质量含量差异很大。

4. 观测差示扫描量热仪中碎片燃烧形成的富含铁的球体

在 DSC 处理后的残留物中发现有焦黑多孔的物质、不计其数的微球体及球状体物质。对其大多数进行了分析发现, 有些富含铁, 在光学显微镜下呈闪亮的银色, 而另一些则富含硅, 当用白光观测时呈透明或近乎透明的状态, 详见用尼康显微镜拍摄的照片 (如图 20 所示)。

这次研究中最有意思的是大量的富含铁的球状体, 在进行 DSC 热处理之前并未在这些特殊的碎片里发现这些物质。铁和氧化铁具有很高的熔点, 从这点来看, 富含铁的球状体已经表明有很高的温度存在, 这温度远高于 DSC 中达到的 700°C 。如此高的温度说明发生了化学反应。

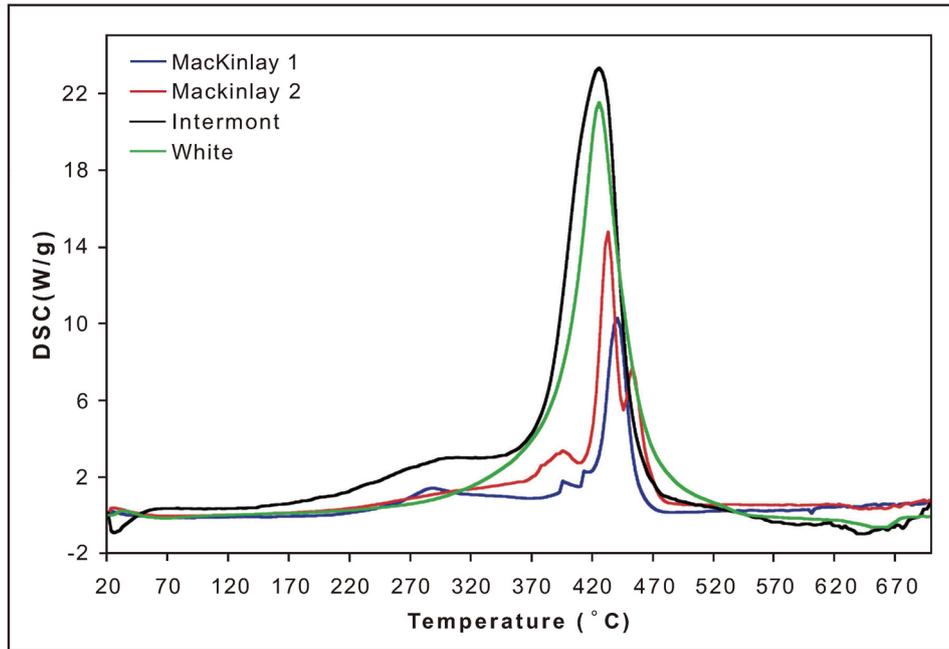


图19. 在世界贸易中心尘埃采集物中发现的四个红/灰碎片样品的差示扫描量热仪 (DSC) 曲线。

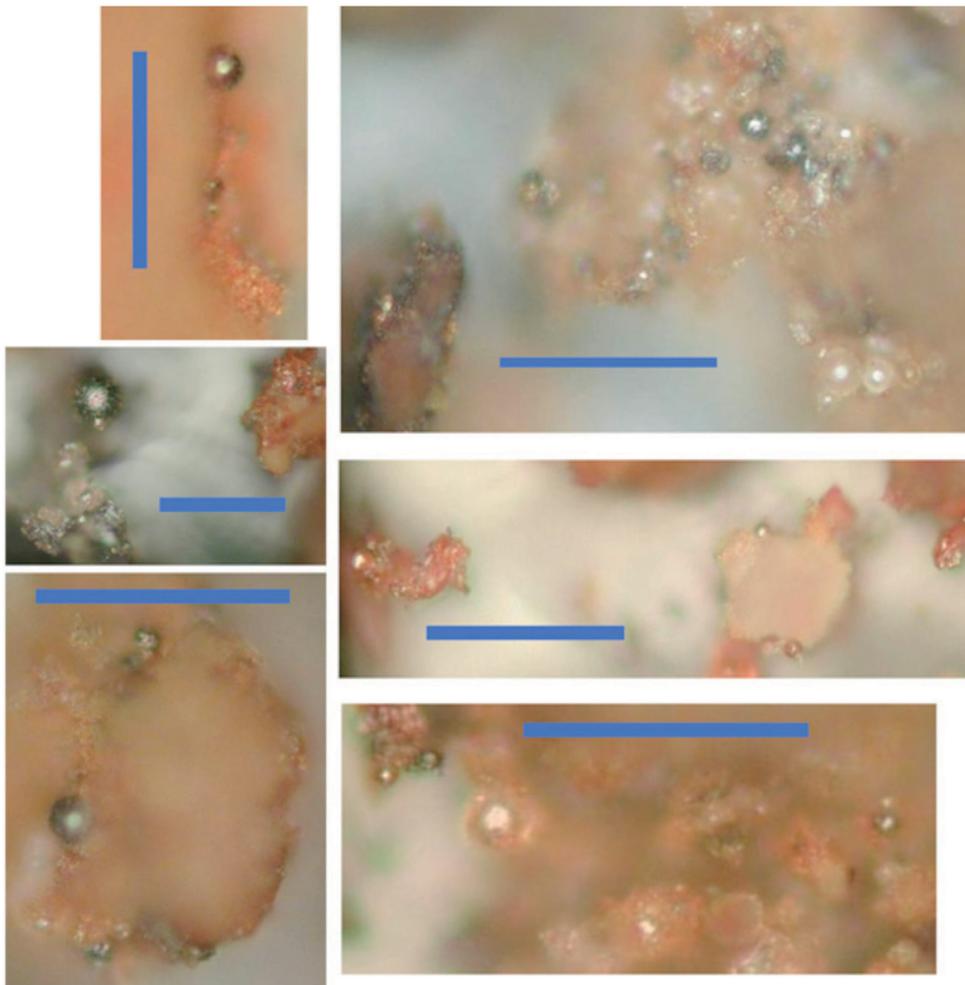


图20. 在 DSC 中燃烧的红/灰碎片残留物的显微照片。注意到存在有金属光泽的球状物及透明的球状物。每条蓝色的标尺代表 50 微米。

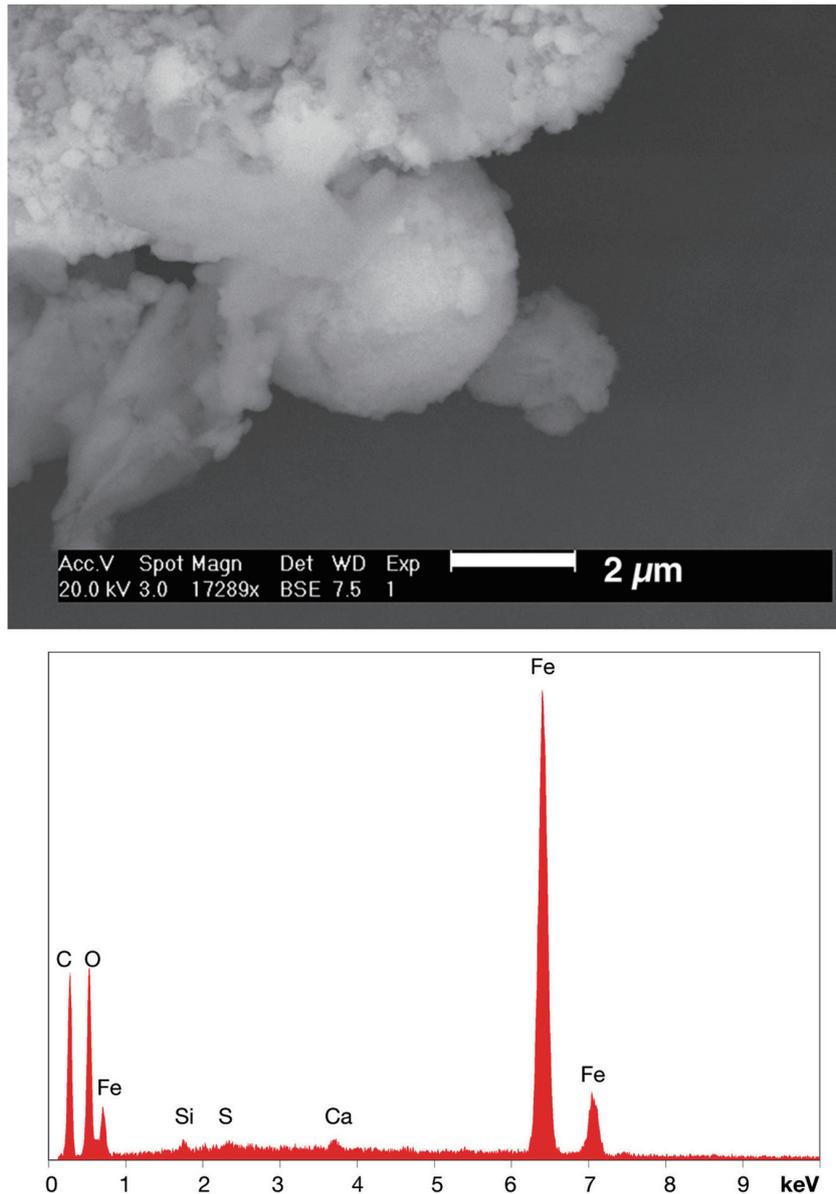


图21. 从显示有富含铁球体的 DSC 后残留物中发现的球状体及相应的 XEDS 谱图。由于为防止电子束下放电，将样品与一薄碳层燃烧，所以这里碳峰被认为是不确定的。

运用 BSE 成像，我们从 DSC 处理后的残留物里挑选出含铁量貌似比较高的球状体。例子如图21 所示，并附上与该区域相应的 XEDS 图谱。

我们采用传统的定量分析方法来估计元素含量。就该富含铁的球状体而言，铁含量超过氧含量约两倍，所以一定有大量的元素铁存在。在 DSC处理后的样品中的其它富含铁的球状体及未形成球状体的残余物的斑点中也得出了同样的结论。观测得知，球状体中的铁氧比多达约4:1。在 DSC 处理后的残留物中发现一些富含铁的球状体中铁和铝、氧同时存在。（见讨论部分）

来自红灰碎片的铝热反应确实在 DSC（点火升温法）中有发生。一系列的观测结果证实了这一事实：1）约 430 °C 时发生了高能量的反应；2）富含铁的区域组成，因此产物必须得足够热以致熔化（对铁和氧化铁来说需要超过 1400 °C 的高温）；3）无论球体、球状体还是非球状的残留物质中铁含量都超过了氧含量。正如铝与氧化铁发生的铝热氧化还原反应所预料的，现证实有大量的元素铁存在。

表明世贸中心尘埃中存在活性高能铝热材料的证据十分具有说服力。



图22. 左图为将一个小火炬应用到一块很小的红色碎片上；在物质喷出几秒钟以后，产生的水平橙黄色条纹朝操作员手的方向移动（右图）。（画面来自该火焰/点火测试的录像）。

5. 火焰/点火测试

用于我们研究的 DSC 并不允许对能量反应进行可见监测。所以我们对红灰碎片还进行了小型的氧火焰测试。样品或是放在碳板上加热（见图22），或是用镊子夹住置于火焰中。我们还对一些涂料样品做了测试，每块涂料样品遇灼热的火焰立即变为灰烬。然而，对于任何来自世贸中心尘埃的红灰碎片却并非如此。

我们首先对一块规格约为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 的世贸中心红灰碎片进行了测试。加热几秒后，在持火炬的人手下观察到有灼热的颗粒高速喷出，如图22 所示。颗粒的强光及明

亮的橙色证明其温度很高。在这种情况下，尝试恢复微小的反应终产物以失败告终。我们提供了一个测试的短视频剪辑（包括慢动作），

网址为：http://journalof911studies.com/volume/2008/oxy_redchip_slow.mov。

在随后进行的火焰-点火测试中，我们复原了终产物，如图23 中的光学显微图像和 SEM 图像所示。富含铁的半球形的形成再次表明残留物已被熔化，使得液体的表面张力将其拉伸为球形。然而，DSC 分析获得的证据更令人信服，当红色材料受热不到 430°C 时就被点燃，表明在该情况下确实发生了铝热反应。

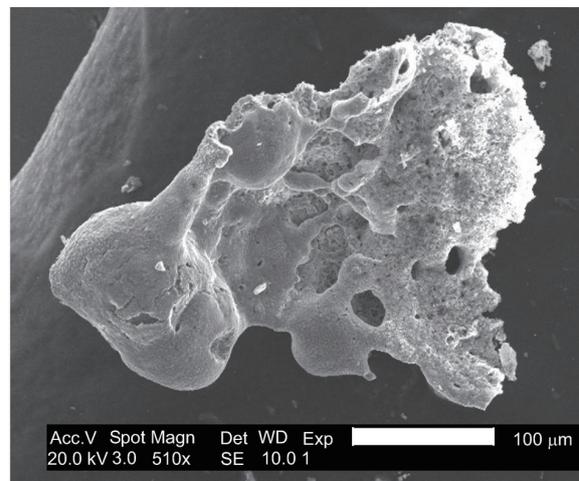


图23. 在来自样品1的红/灰碎片点火测试之后，可以观察到银灰色的类球体（左图）；留有一些多孔的红色物质；在对应的 SEM 图像（右图）中，两者均可见。

讨论

所有检测的尘埃样品中都含有红灰碎片。碎片的特征为：红色层，XEDS 分析确认组成元素为 C、O、Al、Si 和 Fe；灰色层，发现其组成主要为 Fe 和 O。这些元素各自所占的比例基本相同，特别是在对层状物的一个洁净的断面进行分析时，体现得更加明显。BSE 图像还通过揭示包含在大部分层中的微粒的尺寸和形态显示了红色层的一致性。结果清楚地表明，从四处地点搜集的不同尘埃样品中的红灰碎片基本没什么差别。

由观测结果，我们提出了一系列问题。

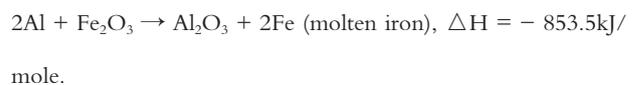
1. 在世贸中心被摧毁期间有多少高能红色材料幸存？

在收集者 J. Mackinlay 提供的样品中，我们粗略估算了红灰碎片的质量分数。在用手除去容易辨识的玻璃和混凝土碎片后，我们从 1.6g 的尘埃样品中提取了总质量为 1.74mg 的 15 块小碎片。所以红灰碎片在分离后的尘埃样品中的质量分数约为 0.1%。另一抽样显示 4.9g 分开的尘埃样品中有 69 块小碎片。世贸中心倒塌产生了数量惊人的尘埃，其总量难以确定。但是考虑到在这些抽样实验中得到的质量分数，显然世贸中心尘埃中红灰碎片的总量一定很大。

2. 红色材料本身就具有铝热性吗？

我们的观测显示，红色材料含有大量的 Al、Fe 和 O，这些元素非常精细地混杂在一起。在用 MEK 浸渍过的样品里，我们发现 Al 远离其它元素，发生了明显的迁移和聚集，确定一定存在元素铝和氧化铁。在 DSC 燃烧后收

集的产物中，我们发现了之前没有的球状体。很多这样的球状体都富含铁，在燃烧后的残骸中发现有元素铁。更进一步，DSC 跟踪表明红灰碎片发生了剧烈的反应，而这一反应温度低于 Al 的熔点和超细晶粒 (UFG) Al 在空气中的燃点。这些观测让我们回想起在 Lawrence Livermore National Laboratory 和其它地方组装的纳米铝热剂；现有的文章把这种材料形容为一种由超细晶 Al 和氧化铁组成的紧密混合物，置于纳米铝热剂复合物中以制造烟火或炸弹。该铝热反应是指 Al 和一种金属氧化物（在这个特殊反应中即氧化铁）进行以下反应：



现有商业的铝热剂表现为需要点燃的燃烧弹，但是当成分为超细晶粒并且紧密混合时，这种纳米铝热剂反应极为迅猛，甚至发生爆炸，有时被称为超级铝热剂。

我们会将红色碎片与已知的超级铝热复合物进行详尽的对比，并将各自燃烧后的产物也进行对比，但是这种高科技的铝热剂有很多形式，这种对比必须有待于进一步研究。同时，我们将其与现有的商业（宏观）铝热剂的产物进行对比。在铝热剂燃烧期间，我们已经观察到形成了许多球体和类球体物质，这是反应过程中部分熔融产物迅速分散所造成的。这些颗粒由于表面张力倾向于变为球形，并逐渐变小，在降落过程中迅速冷却和凝固，从而保持球形。

为便于比较红灰碎片燃烧产物与商业铝热剂燃烧产物，我们借助了各自的图像和 XEDS 图谱。

我们发现，红碎片燃烧得到的类球体残留物（图25、26）

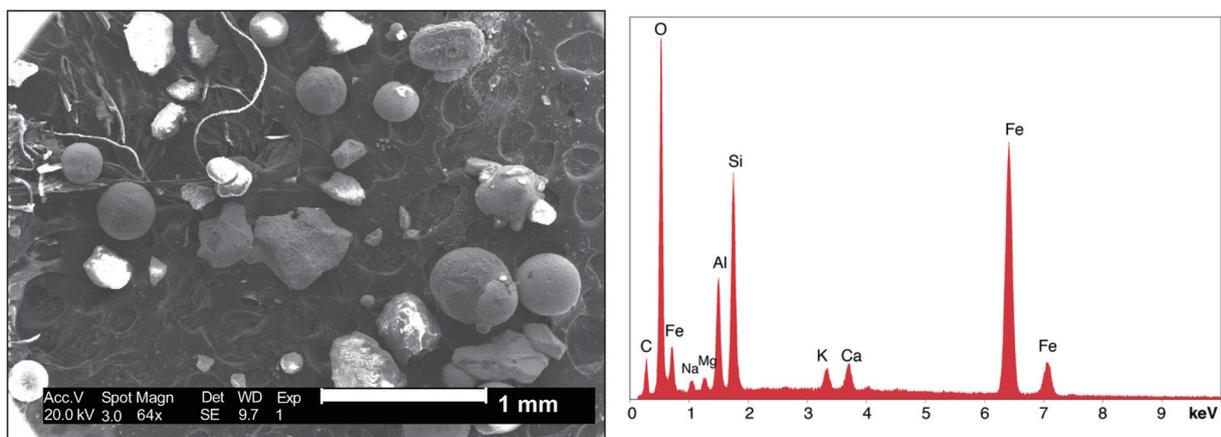


图24. 商业铝热剂燃烧期间形成的球体及相应的典型 XEDS 图谱。

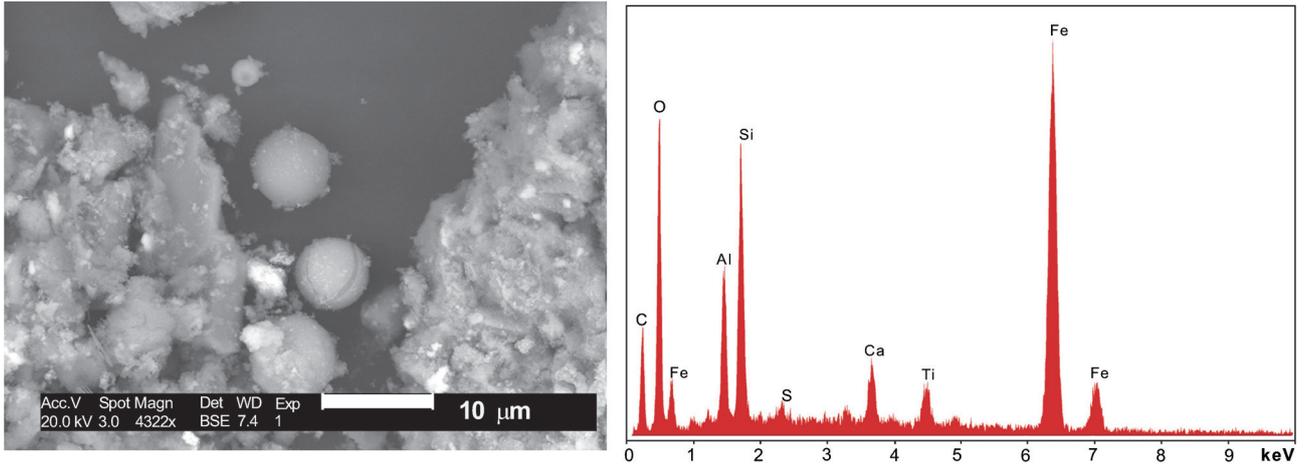


图25. DSC 里的红/灰碎片燃烧期间形成的球体及相应的典型 XEDS 图谱（尽管在燃烧后的残留物中仍可观察到富含铁及一些氧的球体）

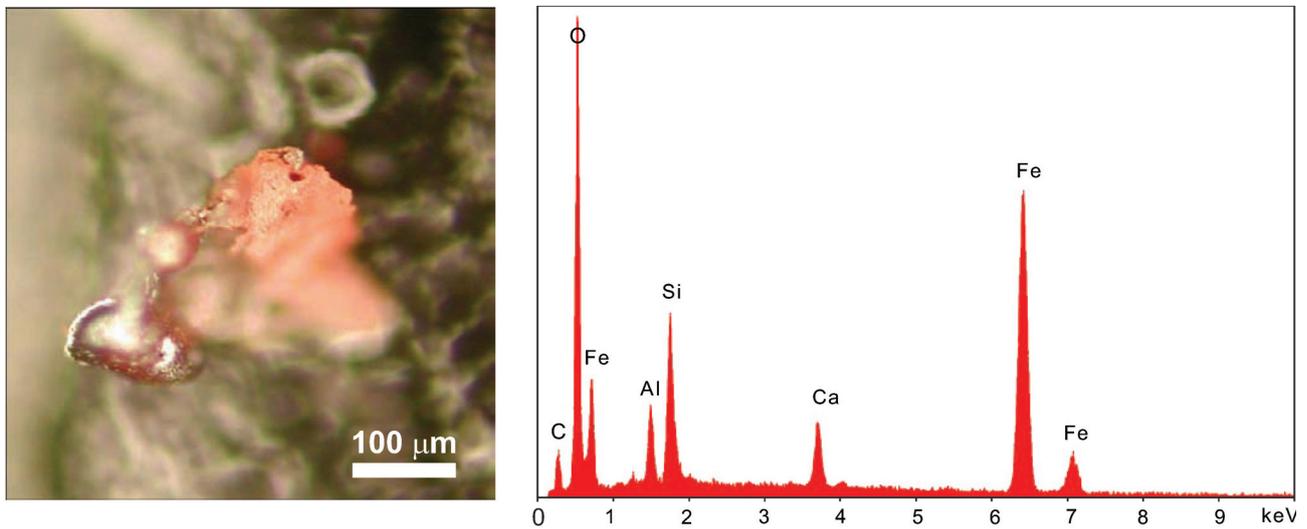


图26. 对于火焰测试的红色碎片的残留物；最左边的微球体的 XEDS 图谱。

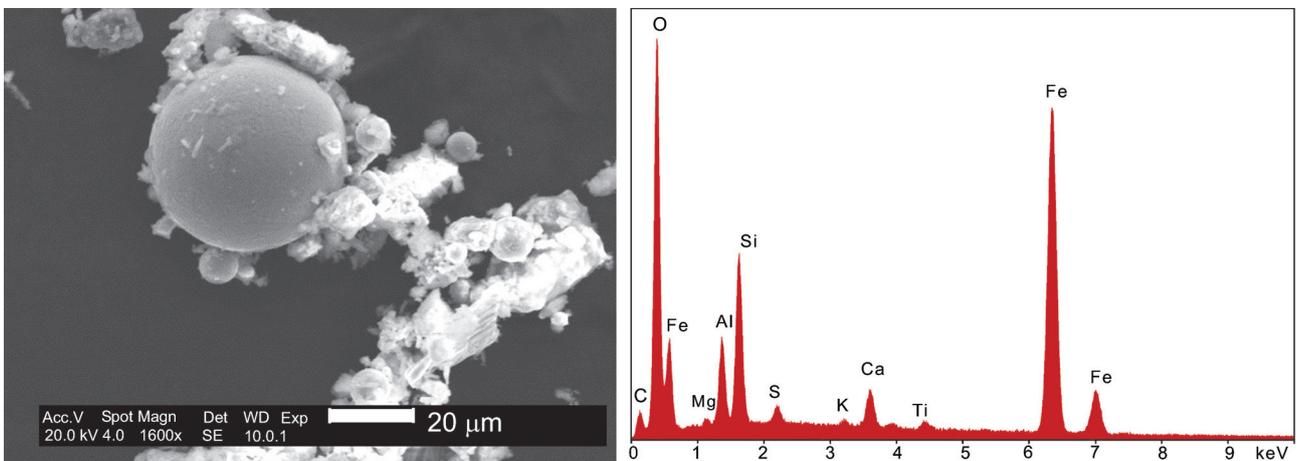


图27. 从世贸中心尘埃中提取的球体。

图28. 世贸中心尘埃中发现的某球体的 XEDS 图谱。

具有与商业铝热剂燃烧产生的类球体物的典型 XEDS 图谱 (图24) 惊人相似的化学特征。这支持了我们的设想, 红灰片确实是一种铝热剂。

除了红灰碎片, 我们小组在世贸中心尘埃样品中发现了很多小的球体物质。如一篇先前的文章所述, 这些物质含有与铝热剂的残留物相同的元素。我们给出了在世贸中心尘埃样品中找到的球状体物质 (图27) 以及一张来自这样的球状物的颇具代表性的 XEDS 图谱 (图28); 我们请读者比较由商业铝热剂燃烧和红灰碎片燃烧 (见上) 得出的这些结论。

3. 红色材料可能是未反应的超级铝热剂吗?

我们已经说过, 普通的铝热剂在引燃时表现为燃烧弹。然而, 当成分为超晶细粒并紧密混合时, 混合物反应非常迅猛, 甚至发生爆炸。这样就出现了一种高能量形式的铝热剂, 以高能纳米复合物或超级铝热剂著称, 由铝和氧化铁组成, 至少有一种成分约为 100nm 或以下, 通常伴有硅和碳。

“纳米尺度的铝和金属氧化物的反应速率远高于传统的微米大小的铝热剂粉末。发生在金属和金属氧化物之间的反应伴有高温 (3000K) 产生。由铝和金属氧化物的纳米颗粒混合而成的超级铝热剂在能量释放速率方面比类似的含有微米大小的反应剂的混合物高出两个数量级。”

红灰碎片的红色层最为有趣, 它由 Al、Fe 和 O 组

成, 这些成分以约 100nm 或更小的尺度紧密混合。现在我们来对比一下世贸中心的红灰碎片和已知的超级铝热剂 (图29) 的 DSC 曲线。

一般铝热剂的燃点要高得多 (约 900°C 或以上), 较超级铝热剂的 DSC 曲线明显要宽。所有这些数据说明, 世贸中心尘埃样品中发现的铝热物质是一种纳米铝热剂, 而不是一般 (微米) 铝热剂。在对红色材料特别是它所包含的有机物的性质有更多了解之前, 我们目前尚无法探究纳米铝热剂的特殊形式。

4. 制造高热量纳米复合物的技术在2001年9月11日之前就存在了吗?

我们在一篇由 Gash 等于 2000年4月即悲剧发生 17个月之前发表的报告中找到了答案:

“纳米结构复合物是指其中至少有一种组成相的一个或多个维度 (长度、宽度、厚度) 在纳米尺度范围内, 定义为 1~100nm。高能纳米复合物是一类燃料与氧化剂成分紧密混合并且至少其中一种组成相符合纳米尺度定义的材料。溶胶凝胶衍生得到的烟火是高能纳米复合物的一个实例, 当中的金属氧化物纳米微粒与金属或其他燃料反应放热十分剧烈。燃料位于固体基质的孔隙中, 而基质的骨架至少有一部分由氧化剂构成。” “例如, 由 Fe_xO_y 和金属铝组

我们搜集得出, 制造极为符合红色碎片特征的材料

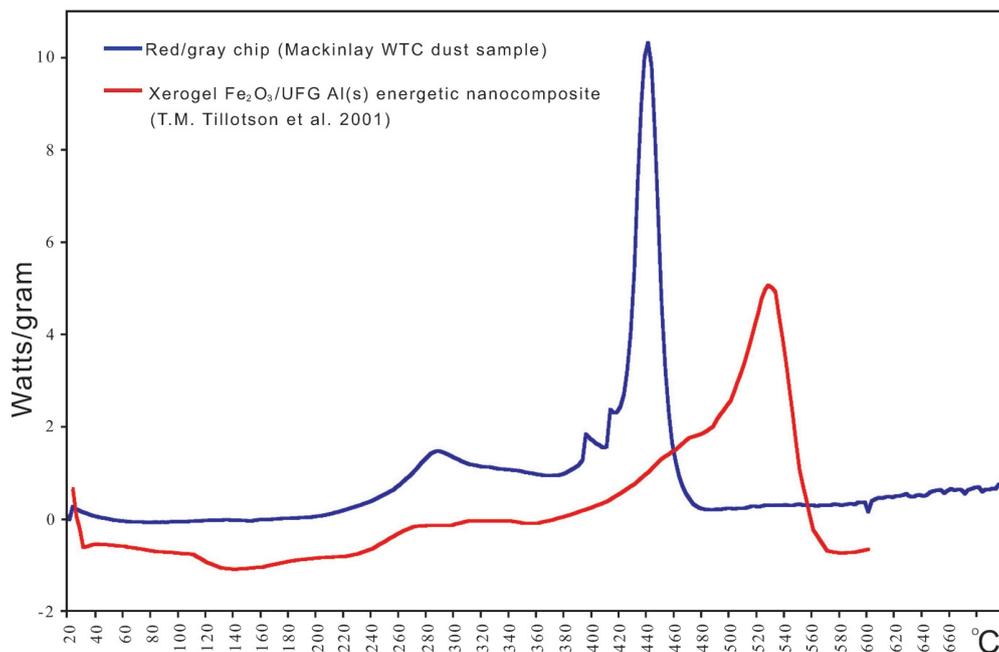


图29. 蓝线为样品1的 DSC 曲线; 与之对比的为 xerogel Fe_2O_3 /UFG Al 铝热剂的 DSC 曲线 (援引 Tillotson et al. [28])。两条 DSC 曲线均显示反应在低于 560 °C 时即完成。

成的高能纳米复合物很容易合成。该组成稳定、安全，容易燃烧。”

技术在 2000 年 4 月就有了。在同一篇报告中，科学家们声称聚合物可以加入纳米复合物中：

“这种溶胶凝胶法允许不溶物质（如金属或聚合物等）在凝胶化之前加入粘稠的溶胶中，经凝胶化得到均匀分散且能量很高的纳米复合物。金属铝（超微粒，直径约 6 μm ）正是在凝胶化之前加入 Fe_xO_y 溶胶合成液中，制备了 $\text{Fe}_x\text{O}_y/\text{Al}(\text{s})$ 烟火纳米复合物……这些纳米复合物经加工制成干凝胶和气凝胶……烟火纳米复合物可以用丙烷火炬引燃。”

事实上，红碎片可以用火炬点燃，它们具有烟火纳米复合物的性质。它们具有所有必需的成分— Al、Fe、O、Si 和 C，这些成分以特定形式结合，使得碎片在燃烧时形成（有时喷出）炙热的物质。Gash 的报告描述了表征该高能材料的 FTIR 图谱。我们也进行了同样的测试，将在别处公布结果。我们注意到，基质中的聚合物可能是我们观察到的材料吸收 MEK 和随后发生膨胀的原因。

一篇 2001 年 4 月的会议文章揭示了当时谁在研究这样的爆炸物：

2001 年 4 月期间，在圣地亚哥举办的第 221 届美国化学会全国会议研讨了纳米材料的国防应用。4 部分之一起名为纳米含能材料……这部分很好地表现了约 10 年来该领域所做的工作的广度……目前，所有的军方机构和一些 DOE 及学术实验室均拥有积极的研发项目，这些项目着眼于开发有潜力应用于实现高能的高级爆炸装置的纳米材料的特性……纳米含能材料很被看好作为热压弹及类热压弹武器的有用成分，特别是因为它们能在能量释放和冲力控制方面具有高度的可调性。

冲力控制的特征可能意义重大。选择的方案可能在最小化噪音水平的同时正好可以达到足以令人震惊的预想的破坏效果。

5. 超级铝热剂可以安全处理吗？

Gash 等发表于 2000 年 4 月的报告中指出：

对可塑的溶胶凝胶材料安全处理使得表面（如：钢）

“湿态纳米复合物的特性也使其安全性更高。在我们手里，湿态的烟火纳米复合物要等干燥的过程完成才可以点燃。这一特性可以允许生产的大量烟火在一段时间内安全储存，在使用之前进行简短的干燥。”

很容易涂层，该小组在随后的一篇报告中声称他们已经实现这一技术。

“溶胶凝胶过程对于运用滴涂、旋涂及喷涂等技术进行表面包覆都十分友好。我们已经使用这一特性对不同基底的表面进行了滴涂，制备了溶胶凝胶 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}$ / 氟橡胶的涂覆物。高能涂层干燥后得到一层不错的黏着的薄膜。”“我们已经制备了由杂交的无机/有机高能纳米复合物构成的超微粒、压片、铸块及薄膜。”

所以，高能纳米复合物可以喷涂甚至刷涂到表面上，有效地构成一种高能甚至爆炸性的涂料。我们在世贸中心尘埃样品中发现的红碎片与他们由杂交的无机/有机高能纳米复合物构成的薄膜的描述一致。事实上，“高能包覆”和“不错的黏着的薄膜”十分贴合我们对在世贸中心破坏时幸存的红色碎片的观察。然而，我们现在还不能确定，是应用方法还是反应形式造成碎片很薄。尽管薄膜应用可能已经达到了特定的预期结果，也有可能是与材料接触的钢的淬灭效应防止了更大量的薄膜发生反应。多数碎片具有明显的灰色层的事实暗示，未反应的材料与其它物质密切接触，有可能是它的目标、容器或者胶黏剂。

Clapsaddle 等在他们的报告中进一步指出：

“这些结论表明，在外界条件下，杂交的无机/有机高能复合物十分稳定、易于压缩，对火花不敏感而且对摩擦仅仅轻微的敏感。正如本文的实验部分所提及的，在我们手中，湿态的杂交纳米复合物可安全处置，不易热引燃。然而，一旦干燥，这种材料剧烈迅猛燃烧，生成数量可观的气体物质。”

干燥时气体迅疾演化及这些高能超级铝热剂的爆炸特性正是有机成分所致。

超级铝热剂电点火头已在 Los Alamos 国家实验室里研制成功，其应用包括爆破等用的触发爆炸物。这样的点火

头设计成由简单的电脉冲引燃，确实有可能包含与我们在世贸中心尘埃样品中发现的红色材料相似的成分。关于超级铝热剂点火头的安全性，Los Alamos 的声明里提到：

“不幸的是，传统电点火头使用的含铅化合物对压缩、摩擦、静电及热刺激极为敏感，因此致使操作很危险。另外，这些化合物生成有害的烟雾。而超级铝热剂电点火头不会产生有毒害铅雾，因其抵抗成分间的摩擦、挤压、受热及静电放电而可安全使用，这样一来最小化了意外引燃的机会。它们可用于设计创造不同的热引发输出物—简单的电火花、热渣、飞沫或者火焰，这取决于不同应用的需求。”

6. 与传统爆炸物相比，超级铝热剂的能量释放情况是怎样的？

据一篇有关纳米结构高能材料的文章的图表显示，Al/Fe₂O₃ 复合材料的能量/体积比超过了一般用于爆破的 TNT、HMX 和 TATB 等爆炸物（见图30）。

令人惊讶的是，一些红灰碎片释放的能量（以 kJ/g 计）比普通铝热剂还多，如上图的蓝色柱形条所示。铝热剂的理论最大值为 3.9 KJ/g。我们认为红灰碎片里证实存在的有机物也是高能物质，很有可能生成气体以提供爆炸所需的压力。与前一样，传统铝热剂被认为是燃烧弹，而

超级铝热剂，因其迅速生成气体而可能含有有机成分，被看做烟火或爆炸物。因为测试是在空气中完成的，有些能量输出的提高可能来自于有机成分在空气中的氧化。

7. 红色碎片材料有可能是普通的涂料吗？

为了与普通的涂料进行比较，我们运用 Fluke 8842A 万用表测试了红色材料（有一边附着有很少量的灰片）的电阻率，并用到了以下公式：

$$\text{比电阻} = RA/L$$

其中 R 为电阻（欧姆），A 为横截面积（m²），L 为厚度（m）。

考虑到红碎片的尺寸较小，约为 0.5mm × 0.5mm，我们采用了双探针法，得到了约 10 欧姆·米的粗略值。这比涂料包覆物要小好几个数量级，我们查表发现后者的典型值为 1010 欧姆·米以上。

另一测试，如前所述，是指在搅拌的条件下，将红色碎片浸渍在甲基乙基酮中数十小时。红色材料确实膨胀但并未溶解，经过这一处理后留有一块坚硬的富含硅的基底。另一方面，同样暴露在 MEK 溶剂中的涂料样品变软且溶解迹象明显，这与预想的 MEK 作为涂料的溶剂所达到的效果一样。

此外，上文已经显示：红色材料含有元素铝和氧化铁，作为铝热剂的成分，它们在幸存的碎片中构造独特、紧密混合（见第一部分的结果）。在含有硅和碳的基质

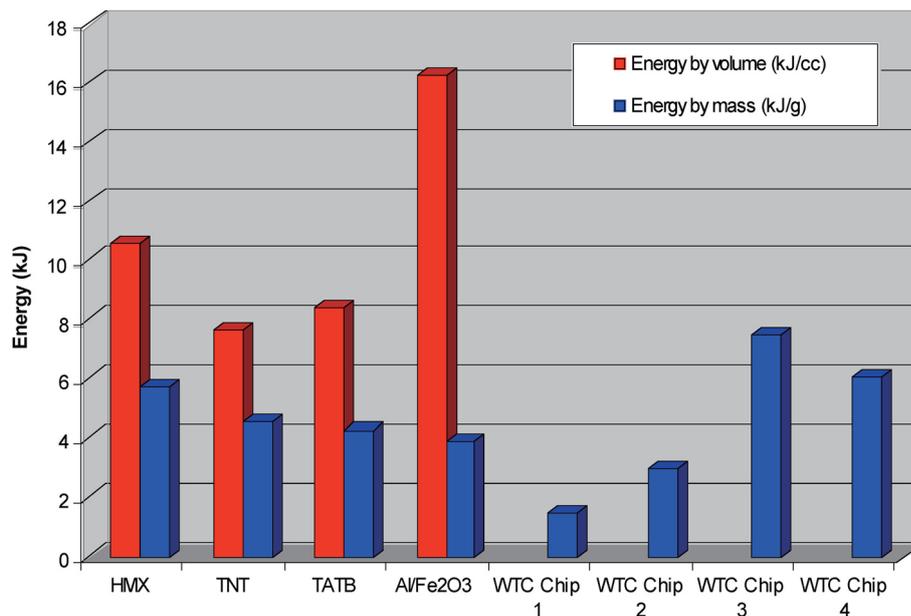


图30. 单分子爆炸物 HMX、TNT 和 TATB 的能量释放条形图；高能复合物 Al/Fe₂O₃ 的能量释放条形图[21]；差示扫描量热仪测过的，从世贸中心尘埃中发现的四块红/灰碎片按质量计算的能量释放条形图。

中，物种很小（例如氧化铁晶粒宽约 100nm），说明其为超级铝热剂复合物。正如观察到的明亮光芒和生成的熔化的富含铁的球状体（见上面图20 中的光学显微镜照片）所示，即使是现在，距 911 惨剧发生多年之后，红碎片一引燃就生成非常高的温度。相应地，DSC 测试显示释放的焓值很高，实际上超过了纯铝热剂。更重要的是，能量在很短的时间内释放，如图29所示，峰很窄。DSC 处理后的残留物中含有铁含量超过氧的微球体，暗示至少部分氧化铁在反应中被还原。如果涂料在设计时混入了这些非常高能量的材料，当干燥时会非常危险，通过一般许可作为建筑用料的可能性微乎其微。值得考虑的是，对于平常物质（如涂料）能符合前述特征的任何断言都必须用提出的材料作为样品，运用包括 SEM/XEDS 和 DSC 分析在内的实验方法进行验证。

8. 未来的研究是怎么计划的？

我们发现，有些红碎片释放的总能量超过了单独铝热剂的理论极限（3.9KJ/g）。一种可能就是红色层里的有机材料本身就是高能物质。确定红色材料的有机组成中的化合物将促进对其的了解。在接下来的研究中，将依次用 DSC、TGA 和 FTIR 等分析手段对红色材料（从灰色材料分离而得到）与已知的超级铝热剂进行比较。特别是急需采用 NMR 和 GC-MS 图谱及相关研究确定有机材料。

我们已经发现，一些碎片中含有诸如 K、Pb、Br 和 Cu 等其他元素。这些元素重要吗？为什么这些元素只出

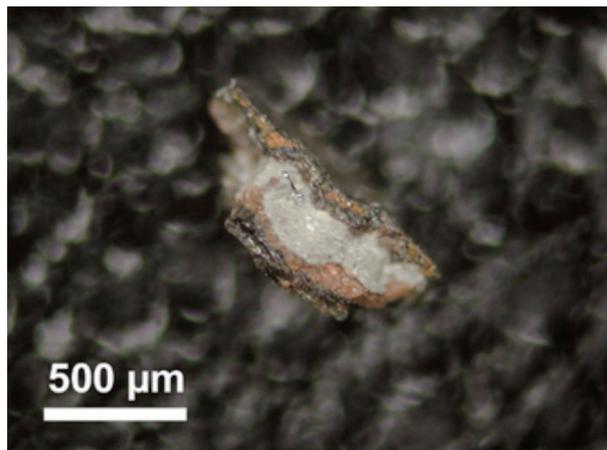


图31. 在样品3中发现的一块红/灰碎片的显微照片，显示为多层，在红色层之间有一层不常见的浅灰色层。

现在一些红色碎片中，而其它的又没有呢？实例如图31 所示，除含有 C、O、Fe 和 Al 以外，还含有显著的 Pb，并显示为多个红色和灰色层。

此外，还需要对灰色层材料进一步研究。它的用途是什么？有时灰色材料出现在多层结构中，见图32。

红色介孔材料位于该图的左侧，接下来是与之相邻的深灰色层，右侧则是浅灰色的材料，正如拍摄的同一碎片的照片（图32右图）所观察到的情形。与红色层接触的灰色层的 XEDS 图谱见图33 所示，图中未发现铁，而更靠外的灰色材料的 XEDS 图谱跟图6 所显示的相像。

因此，中间层的灰色材料含有碳和氧，可能还含有氢，但是太轻以至于用这种方法看不到。由于灰色的内层

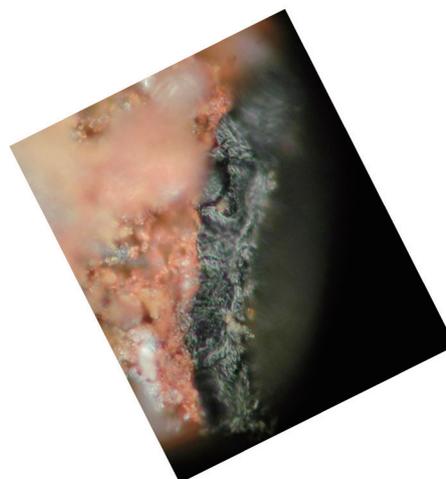
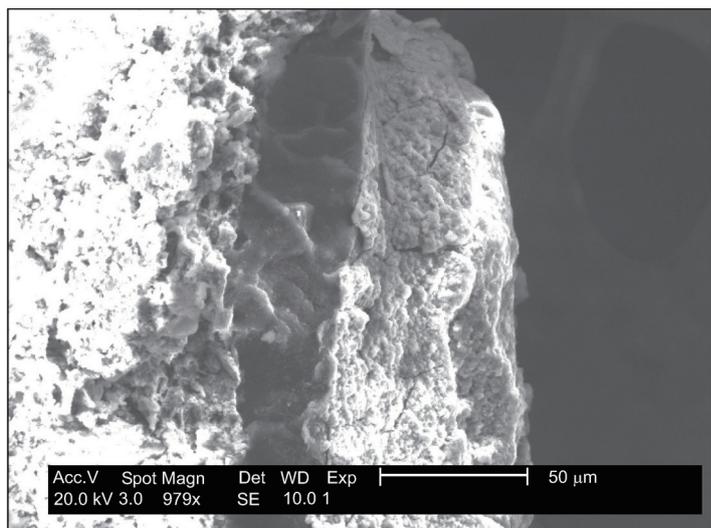


图32. 右图碎片的特写 SEM 图像，源自同一块碎片但不一定是同一位置。该碎片已经用甲基乙基酮溶液处理，因此红色层膨胀，明显呈多孔状。

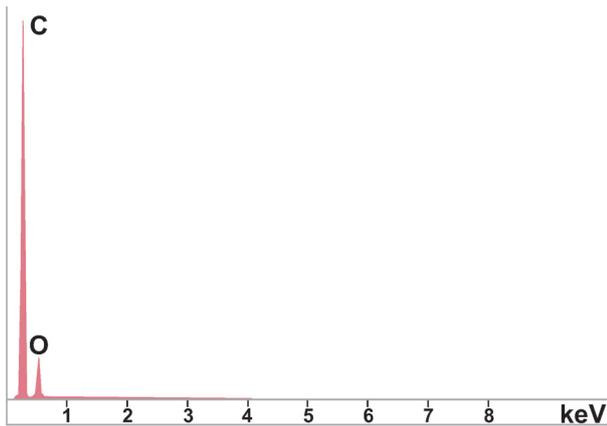


图33. 与上图所示碎片的红色层接触的灰色层的 XEDS 图谱。

出现在另外两层中间，它可能是一种胶黏剂，将红色的多孔铝热剂材料与另一富含铁的材料结合。有人也许怀疑，红色铝热剂材料已经通过胶黏剂依附在铁锈上。这些铁之间如此贴近，其冷却效应就如同散热剂，可能会淬灭反应，从而解释了我们总是在薄层中发现的未反应的铝热材料仍保留于尘埃样品中的事实。这些假设都需要进一步验证。

采用传统爆炸物和方法施行可控爆破，如位于拉斯维加斯的 the Stardust Resort & Casino (2007年3月13日爆破)、盐湖城的 Key Bank (2007年8月18日爆破)，产生的尘埃中并未发现具有这里提及的特征的红灰碎片。当然，我们并不认为世贸中心摩天大楼的破坏是以传统方式发生的。

如 DSC 所示，红色材料确实燃烧很快，我们在点火时已经观察到了明亮的火光，但是确定红色材料的燃烧速率可能有助于区分这一爆炸物的快慢程度。有可能该材料本身并不是起聚能切割机的作用，而是用于点燃超级铝热剂点火头中的高级爆炸物。在观察了世贸中心残留物中未引燃的铝热材料之后，我们建议在世贸中心尘埃样品中还应寻找符合聚能切割机或爆炸物要求的其它高能材料。NIST 已经承认他们尚未寻找到这类残留物。

结论

我们在与世贸中心被毁相关的尘埃样品中发现了数量可观的特别的红灰碎片。我们运用 SEM/XEDS 及其它方法表征了这些碎片尤其是红色成分的微型结构及化学特征。红色材料是最有意思的，它具有以下特征：

基于以上的这些观测，我们得出结论，我们在世贸中

1. 它由 Al、Fe、O、Si 和 C 组成。有时也存在少量的其它潜在反应元素，如 K、S、Pb、Br 和 Cu。
2. 从数十至数百纳米大小不等的颗粒都含有典型的主要元素 (Al、Fe、O、Si、C)，详尽的 XEDS 图显示其紧密混合。
3. 在用甲基乙基酮溶剂处理后，一些成分发生了分离。元素铝充分富集，可以在点火前的材料中清楚辨识。
4. 氧化铁出现在约 100nm 宽的有多面的晶粒中，铝则出现在薄片状结构中。氧化铁颗粒的小尺寸使材料具有纳米铝热剂或超级铝热剂的特征。
5. 分析表明，铁和氧存在的比例与 Fe_2O_3 一致。就这一点来说，全部四块世贸中心尘埃样品中的红色材料很相似。在点火前的材料中发现有氧化铁，而不存在元素铁。
6. 从红色材料中存在元素铝和氧化铁来看，我们得出结论，它含有铝热剂的成分。
7. 正如用 DSC 所测得的，材料在温度约为 430 °C 时点燃、剧烈反应，伴有一个相当窄的放热曲线，这与已知的超级铝热剂样品的独立观测结果极为贴合。点火温度低、氧化铁晶粒还不到 120nm，也表明该材料并非传统的铝热剂（着火温度在 900 °C 以上），而很有可能是一种超级铝热剂。
8. 在点火后，DSC 中的有些红灰碎片温度升至 700 °C，我们在残留物中发现无数的富含铁的球状体和类球状体；由于这些形状的物质很显然是富含铁的生成物熔化形成的，表明发生了温度极高的反应。在一些球状体中，因为铁含量显著超过了氧含量而确认存在元素铁。我们得出结论，在受热的碎片中发生了高温氧化还原反应，即铝热反应。
9. 从 DSC 测试和火焰测试生成的类球状体物质的 XEDS 图 (Al、Fe、O、Si、C) 中发现，与原有红色材料相关的 C 和 Al 被耗尽。这一化学特征与引燃商业铝热剂生成的类球状体物质和从世贸中心尘埃样品中发现的许多微球体物质惊人地一致。
10. 红色材料中的碳含量表明存在有机物质。这被预料构成超级铝热剂以在点火时产生很高的气体压力，从而使其爆炸。这些碎片中有机材料的性质还待于进一步探究。由于有时在 DSC 测试中观测到，它释放的能量总值超过了经典铝热反应的理论能量最大值，我们认为它有可能也是一种高能材料。

心尘埃样品中发现的红灰碎片中的红色层是未反应的铝热

活性材料，结合纳米技术来看是一种高能的烟火弹或者爆炸物。

致谢

我们感谢 Tom Breidenbach, Frank Delessio, Jody Intermont, Janette MacKinlay, and Steve White 为我们提供在世贸中心911灾难发生后不久搜集的尘埃样品。我们感谢

David Griscom, Mark Basile, David Allan, Branton Campbell, Wes Lifferth, Crockett Grabbe, David Ray Griffin, Mike Berger, Frank Carmen, Richard Gage, Shane Geiger, Justin Keogh, Janice Matthews, John Parulis, Phillippe Rivera, Allan South and Jared Stocksmith 的阐述讨论及鼓励。谢谢 John Parulis 从反应后的商业铝热剂中收集残留物样品。

参考文献

- [1] Federal Emergency Management Authority, World Trade Center Building Performance Study: Data collection, preliminary observations and recommendations, May 2002, Figure 1-7, Schematic depiction of areas of collapse debris impact, based on aerial photographs and documented damage, pp.1-9. [Accessed February 7, 2009]. Available from partial mirrored version: http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/wtc/WTC_ch1.htm
- [2] Sunder S, Grosshandler W, Lew HS, et al. Final report on the collapse of the World Trade Center towers, NIST NCSTAR. National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD 2005.
- [3] Gourley JR, McIlvaine B, Jones SE, Ryan K, Gage R. Appeal filed with NIST pursuant to earlier request for correction. J 9/11 Studies 2007; 17:1-16. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.journalof911studies.com/volume/2007/AppealLetterToNISTGourleyEtAl.pdf>
- [4] Ryan KR, Gourley JR, Jones SE. Environmental anomalies at the World Trade Center: evidence for energetic materials. Environmentalist 2009; 29(1):56-63. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.springerlink.com/content/f67q6272583h86n4/>
- [5] Jones SE, Farrer J, Jenkins GS, et al. Extremely high temperatures during the World Trade Center destruction. J 9/11 Studies 2008; 19: 1-11. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.journalof911studies.com/articles/WTCHighTemp2.pdf>
- [6] Jones SE. Why indeed did the WTC buildings completely collapse? J 9/11 Studies 2006; 3: 1-47. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.journalof911studies.com/volume/200609/WhyIndeedDidtheWorldTradeCenterBuildingsCompletelyCollapse.pdf>
- [7] Roberts G, Jones V. Robertson: a physicist and a structural engineer debate the controlled demolition of the World Trade Center. J 9/11 Studies 2007;10: 1-37. [Accessed February 7, 2008]. Available from: <http://journalof911studies.com/volume/200704/RobertsAnnotatedJonesRobertsonTranscript.pdf>
- [8] Jones SE. Revisiting 9/11 – applying the scientific method. J 9/11 Studies 2007; 11: 55-82. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://journalof911studies.com/volume/200704/JonesWTC911SciMethod.pdf>
- [9] Legge F, Szamboti T. 9/11 and the twin towers: sudden collapse initiation was impossible. J 9/11 Studies 2007; 18: 1-3. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://journalof911studies.com/volume/200703/Sudden_collapse_initiation_impossible.pdf
- [10] Gourley J. Discussion of ‘mechanics of progressive collapse: learning from World Trade Center and building demolitions’ by Bazant ZP, Mathieu V. J Eng Mech 2008; 134(10): 915-16. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JENMDT000134000010000915000001&idtype=cvips&gifs=yes>
- [11] Jones SE, Legge FM, Ryan KR, Szamboti AF, Gourley JR. Fourteen points of agreement with official government reports on the World Trade Center destruction. Open Civil Eng J 2008; 2: 35-40. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.bentham-open.org/pages/content.php?TOCIEJ/2008/00000002/00000001/35TOCIEJ.SGM>
- [12] Hoffman J. The Demolition-Like symmetry of the Twin Towers’ falls. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://911research.wtc7.net/wtc/analysis/collapses/symmetry.html>
- [13] McGee JK, Chen LC, Cohen MD, et al. Chemical analysis of world trade center fine particulate matter for use in toxicologic assessment. Environ Health Perspect 2003; 111: 972-80. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.ehponline.org/members/2003/5930/5930.html>
- [14] Lee RJ Group. WTC dust signature report, composition and morphology. December 2003. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.nyenvirolaw.org/WTC/130%20Liberty%20Street/Mike%20Davis%20LMDC%20130%20Liberty%20Documents/Signature%20of%20WTC%20dust/WTC%20Dust%20Signature.Composition%20and%20Morphology.Final.pdf>
- [15] Lowers HA, Meeker GP. Particle atlas of World Trade Center dust. September 2005; [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1165/508OF05-1165.html>
- [16] Liroy PJ, Weisel CP, Millette JR, et al. Characterization of the dust/smoke aerosol that settled east of the World Trade Center (WTC) in lower manhattan after the collapse of the WTC 11. September 2001. Environ Health Perspect 2002; 110(7): 703-14. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.ehponline.org/members/2002/110p703-714liroy/liroy-full.html>
- [17] Delessio F, Breidenbach T. Videotaped testimonies at Faneuil Hall, Boston, MA, December 2007. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://video.google.com/videoplay?docid=1957490867030316250>, start at timestamp 34:54.
- [18] Sun J, Pantoya ML, Simon SL. Dependence of size and size distribution on reactivity of aluminum nanoparticles in reactions with oxygen and MoO₃. Thermochem Acta 2006; 444(2): 117-27. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6THV-4JRVFRD-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=cb52f0f9dbc4aa13bc6fc39e223afa2f
- [19] Gash AE, Simpson RL, Tillotson TM, Satcher JH, Hrubesh LW. Making nanostructured pyrotechnics in a beaker. pre-print UCRL-JC-137593, Lawrence Livermore National Laboratory: Livermore, Ca; April 10, 2000. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=15007525

- [20] Miziolek AW. Nanoenergetics: an emerging technology area of national importance. *Amptiac Q* 2002; 6(1): 43-48. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://www.p2pays.org/ref/34/33115.pdf>
- [21] Gash AE, Satcher JH, Simpson RL, Clapsaddle BJ. Nanostructured energetic materials with sol-gel methods. *Mater Res Soc Symp Proc* 2004; 800: 55-66. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://www.mrs.org/s_mrs/sec_subscribe.asp?CID=2642&DID=115856&action=detail
- [22] Puszynski JA. Reactivity of nanosized Aluminum with metal oxides and water vapor. *Mater Res Soc Symp Proc* 2004; 800: AA6.4.1. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://www.mrs.org/s_mrs/sec_subscribe.asp?CID=2642&DID=115976&action=detail
- [23] Puszynski JA, Swiatkiewicz JJ. Research Topic: Investigation of Ignition Characteristics of Heterogeneous Strongly Exothermic Reactions. Department of Chemical and Biological Engineering, South Dakota School of Mines and Technology, Current Projects. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://ret.sdsmt.edu/projectdescr.htm>
- [24] Clapsaddle BJ, Zhao L, Gash AE, et al. Synthesis and characterization of mixed metal oxide nanocomposite energetic materials. UCRL-PROC-204118, Lawrence Livermore National Laboratory: Livermore, Ca; 12 May 2004. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://www.mrs.org/s_mrs/sec_subscribe.asp?CID=2642&DID=115879&action=detail
- [25] Gash AE, Simpson RL, Satcher JH. Energetic nanocomposites with sol-gel chemistry: Synthesis, safety, and characterization. LLNL UCRL-JC-146739, Lawrence Livermore National Laboratory: Livermore, Ca; 2002. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/244137.pdf>
- [26] Zhao L, Clapsaddle BJ, Satcher JH, Jr, Schaefer DW, Shea KJ. Integrated chemical systems: the simultaneous formation of hybrid nanocomposites of iron oxide and organo silsesquioxanes. *Chem Mater* 2005; 17(6): 1358-66. [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/cmater/2005/17/i06/abs/cm048231i.html>
- [27] Clapsaddle BJ, Zhao L, Prentice D, et al. Formulation and performance of novel energetic nanocomposites and gas generators prepared by sol-gel methods. LLNL UCRL-PROC-210871, Lawrence Livermore National Laboratory: Livermore, Ca; March 2005; [Accessed February 7, 2009]. Available from: <http://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/318263.pdf>
- [28] Tillotson TM, Gash AE, Simpson RL, Hrubesh LW, Satcher JH, Jr, Poco JF. Nanostructured energetic materials using sol-gel methodologies. *J Non-Cryst Sol* 2001; 285: 338-345. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TXM-435KKJV-2G&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=96168ef14a007c2cc1dee1667b0d1b2f
- [29] Bandyopadhyay A, de Sarkar M, Bhowmick AK. Polymer-filler interactions in sol-gel derived polymer/silica hybrid nanocomposites. *J Polym Sci Part B: Polym Phys* 2005; 43(17): 2399-412. [Accessed August 4, 2008]. Available from: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/110572549/abstract>
- [30] R&D Awards. super-thermite electric matches. [Accessed February 7, 2009]. Available from: http://awards.lanl.gov/PDFfiles/Super-Thermite_Electric_Matches_2003.pdf
- [31] Abu Ayana YM, El-Sawy SM, Salah SH. Zinc-ferrite pigment for corrosion protection. *Anti-Corros Methods Mater* 1997; 44(6): 381-8. Available from: <http://www.emeraldinsight.com/Insight/ViewContentServlet?Filename=Published/EmeraldFullTextArticle/Articles/1280440604.html>

Received: August 12, 2008

Revised: February 10, 2009

Accepted: February 13, 2009

© Harrit et al.; Licensee Bentham Open.

This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/bync/3.0/>) which permits unrestricted, non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

Chinese translation November 2012 by Scientific Translation Team.

Layout Chinese translation by Ingar Holst Publishing Co.