

当障碍物是三维时, 如果 $U_0/(NH) \gg 1$, 则流体没有足够的能量越过山丘而是环绕着山丘流过。但是, 是不是所有流线都是环绕着流过呢? 在山顶下距离为 Δz 的流线上, 如果 $\Delta z \sim U_0/N$, 则流体质点有足够的动能 $(\rho/2)U_0^2$ 越过山顶。这告诉我们, 关于分层流动什么时候环绕着山丘流过, 什么时候越过山顶流过, 其判断准则是山丘迎风面流线的高度 H , 应分别满足 $|(M_2/H) \leq F$ 或 $\geq F$, 式中 $F = U_0/(NH)$, 这个结果告诉我们, 当 $F \geq 1$ 时, 所有中心线流线都能越过山顶。

建立在Drazin理论[53]基础上的这些预言, 对于 $F \ll 1$ 的情况已发现和绕轴对称障碍物如半球、锥体、钟形山丘等的流动结构的实验室观测结果很一致, 也和一些现场观测结果符合[54, 55]。

(汪金透 董绪民译)

(未完待续)

多孔材料动态实验方法述评

[美] Stanford 研究所 L. Seamen

摘要 人们已经发展了几种获得多孔材料动态本构关系的方法。主要是透射波技术、冲击反射技术和拉格朗日分析。本文评述了这些方法并考察了它们适用的范围, 以指导我们在将来的研究工作中选择方法, 也指出在哪些方面尚无满意的实验技术。在动态条件下要测量偏应力的方法, 尤其是为了多维的计算模型所必需的数据 这些方法就更加必要了。

符号: t ——时间; u ——质点速度; x ——通过靶板的距离。

引 言

实验工作者希望获得完整的计算多孔材料本构关系的数据, 多孔材料却对他们提出了特殊的问题。多孔材料的弹-塑性性能不再遵从已经建立的理论关系; 卸载显著地不同于加载, 并且在许多实体材料中观察到的陡峭冲击阵面, 在多孔材料中却由一个逐渐上升的波所代替。另外, 多孔材料的网络组织结构会损坏实验工作者的测量探头, 或使他们的记录模糊不清。然而现有的实验技术表明, 借助于仔细的设计和对所需要的那类数据的知识, 就能得到描述多孔材料应力-应变关系各个侧面的满意结果。

实验通常是模拟一种实际的条件, 或者得到用计算方法处理实际过程所用的应力-应变关系。这里仅仅考虑要建立一个计算模型或者应力-应变关系的情况。这种处理要求人们非常

透彻地了解材料，同时规定了实验的最大范围。因此，我们首先描述多孔材料的一般计算模型。这种描述将帮助我们鉴别需要些什么资料使模型定量化，从而可能进行计算，并且也帮助我们判断我们的数据近似或者不完整到什么程度。

我们讨论了三个主要的实验技术和其它一些技术，为了确定每种技术最好的应用场合，文中提到了它们的优点和缺点。然后，我们考虑怎样根据这些数据构造模型。最后，对不同实验方法的应用作了某些介绍，同时也指出了它们目前存在的问题。

图1，图2和图3描写了所料想的多孔材料的应力-应变关系或者本构模型。图3是密实铝的数据，料想多孔材料也有类似的形式。为了便于处理，将应力分成压力分量和偏应力分量：图1和图2讨论了压力分量，图3是偏应力分量。图1是两个面，相应于连续体材料或压实材料的状态方程的压力-比容-能量面和多孔材料的屈服面或者压实面。状态方程代表实体材料在加载或卸载，加热或冷却的任意组合下所达到的所有平衡状态。另一方面，压实面代表材料已开始屈服或者压实后的加载或者加热轨迹上的点。屈服过程不但预期在偏应力关系中，而且也预期在压力-比容关系中表示出来。这些面上的Hugoniot曲线，表示材料从室温下，受到低应力撞击时通过状态面的区域。多孔材料仅仅到熔化时，这个面才延伸进入能量的方向，这条线平行于比容轴。在这个面上，随着能量增加，压力幅值减少，说明了温度对压实强度的影响。压实材料的状态面继续向右延伸，超过熔化区进入汽化区。在这篇报告中，我们的注意力主要集中在从室温开始的撞击上，但也常常利用这些实验结果来描述这两个面。然后，利用这两个面来计算X射线或电子束载荷突然加热过程中的性质，这时的状态在图的右边很远的地方。显然，如果利用模型来计算辐射加热的情况，那就必须利用很高的撞击应力或者利用这里所考虑的以外的方法，得到高能量的数据。

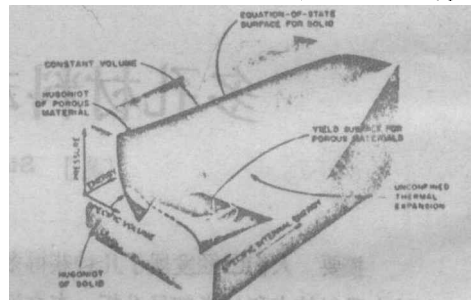


图1 多孔材料本构关系的能量-压力-体积空间图

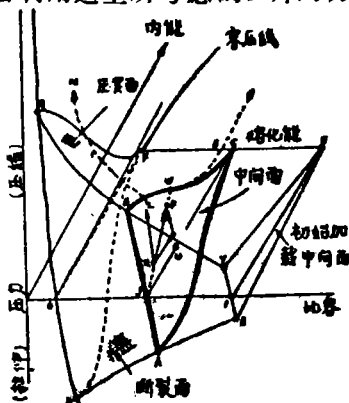


图2 多孔材料的本构关系，突出了可恢复的加载，加热的中间面

图2详细介绍了多孔材料的压实面，此图也画了一个中间平面ABC，它表示加载和加热的可逆过程，以及从压实面开始的卸载，加载或者卸载沿着一条如同RL的轨迹发生，而后的加载轨迹是在压实面上的LM。比容不变的加热（瞬时加热）沿着中间面上的如同RPW的轨迹进行，以后则沿着压实面上的WS进行。

状态方程和压实面都代表了平衡态或准静态的性质。当出现速率有关的过程时，应力点在这些面的上方。描述表征这些性质特点的方法，Herrman在参考文献[1]中综述了，Seaman等人在参考文献[2]中进行了详细的阐述，这里就不再多说了。

偏应力会显示出一条复杂的轨迹，就象图3所表示的由密实铝的实验所得到的那样（文献3）。这条轨迹显示加载屈服点接近于2 kb，加工硬化一直到6 kb，然后是卸载时Bauschinger效应的平滑曲线。这些效应，连同随着围压增加而增加的屈服强度，都是在多孔材料中所预料到的。

这里介绍的模型必须由以下的数据得到一系列函数来描写, 这些数据是: 固体的状态方程, 体积模量, 压实面, 强度随温度降低的函数, 速率效应以及偏应力。如图中所看到的, 体积模量是密度、内能和应力能级的函数。其它函数同样也是复杂的。所有的函数都必须从实验中得到。参考文献 [2] 中更加详细地讨论了这些函数。模型应指导我们选择实验方法, 并且警告我们, 我们所说的材料是复杂的, 对试验结果不要做过分简化的解释。

动态实验技术

在这一篇评论中, 我们仅仅介绍和讨论几种实验技术。这里, 首先讨论最简单、最普遍的, 在这里称为透射波的技术。然后介绍两种更复杂的常常也是更有效的方法, 同时也简要地提到两种其它测量。

透射波测量 透射波的测量是用图 4 或者对图 4 稍作某些改变的结构取得的。飞板或者弹体撞击到靶上, 产生一个压缩波传入靶板中。在靶板与缓冲体材料(在图 4 中用的是环氧树脂)的交界面上, 波反射和折射, 在此用应力或质点速度探头(图 4 a 中用锰铜应力探头)测量波形。这种结构可以模拟人们感兴趣的几何形状和加载条件, 并提供一种获得材料应力-应变关系的方法。图 4 也表明了实测的应力波形和由模拟实验 [4] 计算的应力波形。

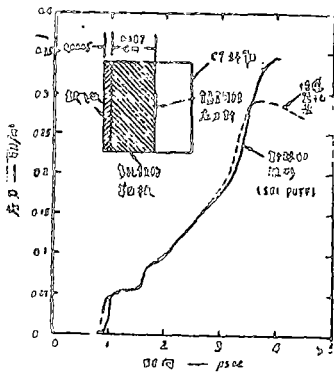


图 4 多孔铁受冲击后实测的和计算的应力波形

为了得到应力-应变关系, 常常需要进行一系列的透射波实验测量。这些应力-应变关系可以象 Linde [5] 等描写的, 由再现波的相互作用来得到。对于速率有关材料, 这样的再现是不可能的。对于多孔材料, 通常因为波的相互作用太多, 而不采用这种有用的处理方法。于是用多组模拟实验或者用一组实验, 与波传播的计算机程序配合起来得到应力-应变关系。根据近似的波的相互作用图, 可以初估应力-应变关系。对实测的和密集的应力或质点速度波形进行比较, 提出对应力-应变关系进行必要修正的建议。所能调整的材料参数是屈服面上的压力和偏应力分量, 卸载曲线, 和初始加载曲线。通常在透射波实验中, 所有的记录受加载关系和卸载关系的影响。因此, 不清楚改变应力-应变关系的哪一部分, 才能使之符合于实验记录, 也不清楚是否与记录符合得很好, 就意味着应力-应变关系是正确的。随着多孔材料正常的变化, 一组靶板中这一组靶板与另一组靶板之间的应力-应变关系也会有某些不同, 不见得会符合得很好。

虽然透射波实验相对来说是简单些, 但是已经用于研究复杂的现象了, 诸如前驱波衰减和 Bauschinger 效应。我们可以利用与靶板具有同样阻抗的缓冲体材料, 以避免在探头平面上有波的相互作用, 从而简化对实验结果的解释。排除了波的相互作用, 就分辨开了记录的加载部分和卸载部分, 并使应力-应变关系的确定大大简

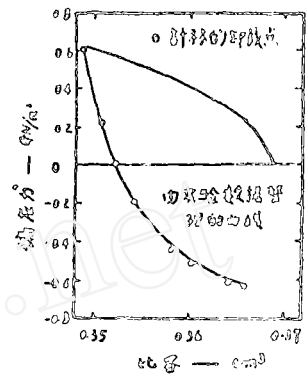


图 3 6061-T 6A1 5.0 GPa/cm³ 试验得到的动态应力和密度的关系

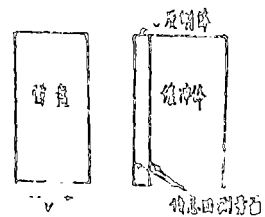


图 5 用击波反射法得到应力-应变资料的冲击实验布置图

化。如果弹体在我们所感兴趣的范围内是弹性材料，而且足够厚，卸载波就可以从加载波中区别出来：这样就只要处理的波数减到最少，并增加了得到唯一的应力—应变关系的可能性。

在波阵面是“倾斜”的或逐渐上升的情况下，加载路径更容易研究。在这种情况下，加载路径将在状态方程面内，而不象击波前阵面那样在状态方程面的上方。因此，完整的加载和卸载轨迹可以从实验得到。

透射波技术使用起来简单，适用于各种材料，并且应力可以一直达到探头标定的应力极限（约 100 GPa），而且各种试验结构都可以使用这种方法。

然而，在透射波的实验中，我们必须精确地知道弹体和缓冲体材料的性质。此外，因为仅仅有单一的应力记录或者单一的质点速度记录，为了考查诸如波的衰减，前驱波的衰变和其它非稳态现象的过程，就要做一系列实验。卸载曲线可以由多次试算得到。但是，一般说来这样的卸载曲线没有用下面讨论的两个方法得到的曲线那么详细和精确。

冲击反射方法 冲击反射技术是利用气枪撞击来测 Hugoniot 资料和卸载数据。这种方法是由 Lysne 等人 [7] 研究出来的，Butcher [8] 已经利用了这种方法。实验的设计表示在图 5 中，弹体是所要研究的材料，靶板设计成一个高阻抗的反射盘和一个缓冲体，但是也可以设计成一个低阻抗的反射盘，而不用缓冲体。在反射盘的前面或后面，或在前后两面同时测量应力或质点速度。撞击应力应当足够低，以使反射盘的性质总是线弹性的，并且反射盘在实验前要很好地标定过。图 6 是撞击后，波的相互作用图。认为弹体和缓冲体中的弹性波和塑性波是由撞击引起的。在反射盘表面上记录的应力或质点速度显示出一个个台阶的形状，每个台阶对应于如图 6 中的 3, 5, 6 或 7 的一种状态。根据已知反射盘的膨胀波速度，就可以得到图 7 中的应力—质点速度图，象 Lysne [7] 所描写的那样。实验结果是 Hugoniot 点和弹体卸载曲线上的若干点，以及缓冲体材料加载曲线上的一些点。图 8 表示无缓冲体时，得到的对应的压力—速度图。在这种情况下，得到的点在卸载路径下部。

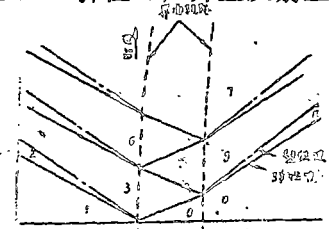


图 6 冲击在反射体和缓冲体上引起的弹性波的位置—时间图

加载和卸载可以利用反射法，并且每次实验都给出了若干数据点。我们能够精确地确定第一点上的应力—速度值，但是对于以后的一些点，精度逐渐下降。因此，可以用较高或者较低的阻抗反射盘和缓冲体，也可以不用缓冲体得到材料各种各样的数据。

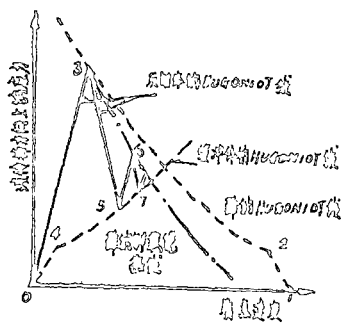


图 7 带有缓冲体的击波反射实验获得的 Hugoniot 点和卸载点的应力—质点速度图

不幸，在材料的加载和卸载轨迹上只有几个点，甚至连曲线剩余部分的外貌也不可能定性地说。正如 Butcher [8] 曾指出的，在数据处理中需要 Hugoniot 弹性极限，但是从这些数据中却得不到。这种方法对测量卸载曲线特别有用，卸载曲线上所得到的第一点远低于 Hugoniot 点，因此卸载曲线的初始部分，包括弹—塑性转变，Bauschinger 效应，以及类似的其它性质，通常是不可能得到的。

Butcher [8] 注意到，在多孔材料中的压实波速度是卸载波速度的一小部分这样一个特殊的问题。于是卸载波从压实波反射，从图 6 的左边进入弹体，这样就大大的增加了解释记录数据的复杂性。Butcher 得到的结论是，应当在应力大小是几倍于材料弹性极限的情况下进行测量。

1) 1 GPa = 10 kb. —— 译者注

发展这种技术的人 [7] 指出, 这种技术也能用于速率相关的过程。然而, 速率相关效应将使图 6 中每一个稳定状态区充满了波, 以至不可能用简单的分析来整理数据。

因此, 即使这种技术相当普通, 它实际上仅仅适合于有少量孔隙的与速率无关的材料, 也只能用来得到加载和卸载轨迹的某一部分。

多组埋入式探头的拉格朗日分析 在拉格朗日方法中, 靶板材料内埋入了一系列的应力或质点速度探头, 正如图 9 中所表示的那样 (见 Petersen 和 Erlich [9])。记录表示压缩波通过靶板的过程。根据清楚的记录, 如图 9 中的那些, 很容易看到前驱波的发展前驱波的衰减 (如果它发生), 加载和卸载波的相对速度, 应力峰值的衰减, 卸载屈服点, 以及如此等等。因此, 即刻得到材料性能的一个好的定性图片。

我们可以用前面提到过的透射波实验的多组模拟技术或者用所谓的拉格朗日分析 [10-12] 来定量地整理数据。在拉格朗日分析中, 用动量和质量守恒关系与应力或质点速度波形来计算加载和卸载的应力-应变关系。为了进行数据分析, 应力或者质点速度波形数字化了。利用了应力值或质点速度 (u) 值,

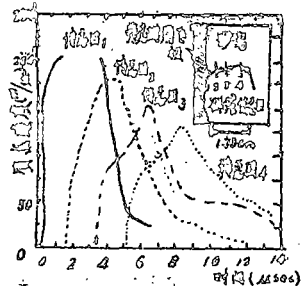


图 9 气枪内对砂岩的冲击实验所得的质点速度记录

也利用了沿波形的微商 (例如 $\frac{du}{dx}$) 和从一个测点到另一个测点的微商 ($\frac{du}{dt}$) 的数值近似。这里的 t 是波传过靶板的时间, x 是波传过靶板的距离。由于分析中利用了从靶板到靶板的微商, 自然地要求所有的探头显示出各自的重要特性 (例如前驱波), 而且探头与探头之间必须隔得不远, 使得材料的各种特性由一个探头到另一个探头只是逐渐变化。

拉格朗日分析的结果就是加载和卸载过程中全部的应力-应变关系。这些关系定量地提供了 Hugoniot 弹性极限 (如出现前驱波) 以及卸载时的屈服现象 (屈服点或者 Bauschinger 效应)。这个分析只适合埋入探头的那部分材料, 既不需要关于弹体或缓冲体材料的资料, 也没有利用弹速。这种分析可以用于定常波, 或者更一般的常幅值波, 甚至用于衰减波。在拉格朗日分析中, 所有的数据是通过单一的脉冲得到的, 单一的脉冲就是指没有能变更材料的响应和探头标定值的多次加载和卸载。可以选择脉冲, 使它具有近似于我们感兴趣的载荷振幅和波形, 从而使得实验既是获得应力-应变数据的方法, 也是一种模拟。多组埋入式探头, 引起了一些重要的实验问题。探头材料 (通常是箔)、探头的绝缘和探头的加固必须构成很薄的标准件, 使得在处理波传播通过靶板的问题时, 探头可以忽略不计。在探头的标定, 以及在一系列探头中, 确定每个探头的相对定时上, 都要求高精度。记录的数据必须非常清晰, 没有滞后。实际上, 对多组埋入式探头的要求并不比用单个探头的要求高, 但是, 多组探头实验的不精确性是明显的, 因为必须要求多组探头的记录在波到达时间、波的衰减和波形上一致。

分析多组探头测得的数据, 受到几种不精确度的影响, 因为它取决于数值微商。图 10 和图 11 表示了波形随距离变化的情形, 为了进行分析, 得到了它们的微商。图 11 代表最可能的应力-

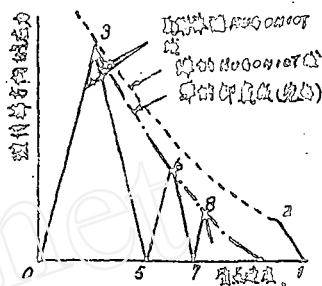


图 8 没有缓冲体的击波反射和卸载点的应力-质点速度图

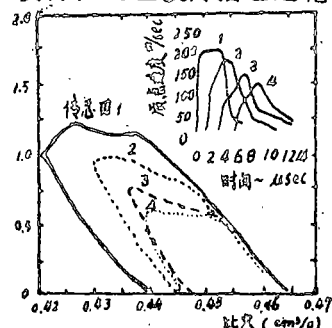


图 10 砂岩的应力-比容计算路径测量布置中忽略前驱波

应变结果，因此，探头布置是可行的。两种情况的对比表明，由衰减波得到的加载和卸载曲线都是不确定的。用拉格朗日分析 [12] 来处理理论上的应力波形表明，这些不确定性与衰减量是成比例的。

拉格朗日方法看来适用于各种材料加载条件，尽管实验中的问题很棘手，但是在许多情况下它们已经解决了。通常可以用适当的安排探头间隔和通过传感器的衰减量，把计算的问题减到最少。

球面拉格朗日分析 根据一维的、球对称实验的多组埋入式探头的记录，可以作拉格朗日分析。实验是将一个球形药包埋入一块材料中，材料中的探头放在距药包不等半径的一些位置上 [13, 14]。拉格朗日分析是利用探头记录的数据，得出材料的应力—应变关系。这种分析按理也可以提供偏应力—应变关系，这在相应的平面分析中是不可能得到的。然而，只对理论波形计算了偏应力，偏应力从来没有依据实际记录计算出来过 [14]。

球形实验和分析可以用来考查大块现场材料，能够处理衰减量很大时的情况。

大衰减使应力—应变不精确，尤其是在偏应力关系中。球形实验中如何安放传感器才不扰动流场，也是一个特殊问题。

回收实验 在回收实验中，靶或靶的一部分在撞击实验以后被取回，考察残余效应。对于多孔材料的靶板，我们常常考察回收的试样的最终密度，这样就可以把它作为卸载时应力—比容轨迹上的零应力点。

为了进行精确的测量，回收实验必须仔细设计，使得靶板经受单一的压缩脉冲，或者是一个压缩脉冲和一个拉伸脉冲的叠加，而无其它脉冲。否则，最终状态就不可能与已知应力波形相联系。把靶板中通常传播的不希望有的后续波用周围的材料块带走，称为动量捕捉。在一个箱子内装上碎布或别的软材料来捕捉回收的试样，这样，试样在回收过程中不被损伤。

Barbee 等人 [15] 以及 Shockey 等人 [16] 在最近研究材料的断裂问题中，用了分段回收的试样，数一下观察到的孔隙和裂纹，把结果按尺寸分布进行整理。这种方法可以用来考察多孔材料在撞击前后应力波引起的孔隙率的详细变化。这么详细的数据，是描述孔隙和裂隙闭合率的计算机模型的基础。

回收实验提供了完全是另一种类型的数据。不能直接同先前的实验比较。因此，这种实验可以用来补充别的实验，但不能代替它们。

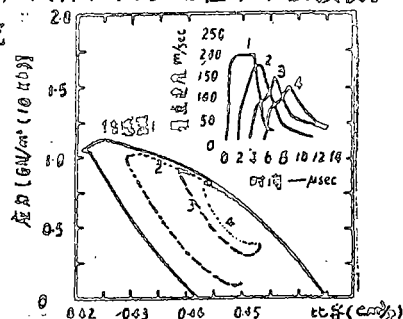


图 11 砂岩的应力—比容计算路径；
探头布置中考虑到前驱波

根据数据建立模型

根据实验数据来建立计算模型是我们的主要任务，即使有令人满意的数据，也是这样。但是，数据从来是不会完全的，所以，要形成一个能代表这些数据的模型，而且这个模型在实验没有考查的范围内也具有物理上的合理性，就需要大量的判断。

应力—应变关系的计算模型是按照实验中的加载和卸载轨迹建立的（在这个讨论中，忽略了加热和冷却的轨迹）。另外，这个模型提供了内插函数或者说内插面，以扩大所得数据的范围。因此，我们延伸两三条卸载轨迹，以提供计算通过 Hugoniot 曲线上任一点的卸载曲线的方法。

建立模型的第一步是将应力数据分成压力和偏应力的。对于一维平板实验，这样的分离是为了便于把数据组合成函数形式，因为没有资料指导应该如何分离，仅仅对平面情况可以任意地进行分离。多维的模型经常利用一维的数据。然而，在多维实验中，压力和偏应力分量是有差别的，可测量的，而且这个差别不是任意的。因而，一维的数据用来建立多维模型是不可靠的。

根据分离开的压力分量和偏应力分量，画出加载的压力—比容曲线和一簇卸载的压力—比容轨迹。同时也画出加载和卸载的偏应力关系。加、卸载曲线绘制以后，就选择适当的函数形式，斜率换算成模量，并且选择了屈服点。如果要求材料在感兴趣的应力范围内，那么就绘出了实体的完整的状态方程面，包含一个压实点，例如图2中的G点。因此模拟计算的模型就准备好了。

根据静态数据，用延伸函数到另一个应力水平，或提供一些更加详细的函数的办法，来增补动态数据。Butcher [8] 在多孔铝的研究中，给出了静态和动态结合的范例。

利用静态载荷数据，能够排除对压力和偏应力分离的任意性。在静态实验中，三个主应力是能够测量的，因此，压力和偏应力分别是知道的。通常，材料性质与速率有关，所以动态的轨迹与静态的轨迹完全不匹配。因此，静载荷函数的参数必须稍稍作些修改，才能代表动态的数据。

总结和建议

以上介绍的几种动态测量技术，每一种只适合某些材料和某些加载条件。没有哪一种在什么时候都最合适。最好的结果大概是由前三种方法相结合得到的：

- 1、用多组埋入式探头和平面的拉格朗日分析得到所有函数的一般形式和描述材料的主要特征。
- 2、用反射盘方法精确地确定卸载时的一些低应力点。
- 3、对于应力—应变关系的最后调整和验证，用多重波的传播计算，去模拟多组探头的记录。

这些结合利用了这三种方法的最得力的地方。无论在哪里都应尽可能地利用静态数据补充动态的结果。

这篇评论已经指出，在动态条件下需要测量偏应力的方法。为了更好地理解一维时的性质，为了把计算模型延拓到二维、三维几何结构中去，偏应力的资料是必不可少的。

参考文献

[1] Herrman, W. (1971), Constitutive equations for compaction of porous materials, Symp. on Appl. Mech. Aspects of Nuclear Effects in Materials, ASME, Winter Annual Meeting, Nov. 28—Dec. 3, 1971, Washington, D. C.

[2] Seaman, L., Tokheim, R. E., and Curran, D. R. (1974), Computational representation of constitutive relations for porous material, DNA 3412F, May 1974, Stanford Research Institute, Menlo Park, California.

[3] Seaman, L., Williams, R. F., Rosenberg, J.T., Erlich, D.C., and Linde, R. K. (1969), Classification of materials by shock properties. AFWL—TR—69—96, Nov. 1969, Stanford Research Institute, Menlo Park, California.

- [4] Seaman, L., and Linde, R. K. (1969). Distorted Material Model Development, AFWL -TR - 68 - 143, vol. 1, May 1969, Stanford Research Institute, Menlo Park, California.
- [5] Linde, R. K., Seaman, L., and Schmidt, D. N. (1972), Shock response of porous copper, iron, tungsten, and polyurethane, J. Appl. Phys. 43, 8: 3367-3375
- [6] Barker, L. M., and Hollenbach, R. E. (1970), Shock wave studies of PMMA, fused silica, and sapphire, J. Appl. Phys. 41, 10: 4208-4236.
- [7] Lysne, P. C., Boade, R. R., Percival, C. M., and Jones, O. F. (1969), Determination of Release Adiabats and Recentered Hugoniot curves by shock reverberation techniques, J. Appl. 40, 2
- [8] Butcher, D. M. (1973), Dynamic response of partially compacted porous aluminum during unloading, J. Appl. Phys., 44, 10: 4576-4582.
- [9] Petersen, C. F., and Erlich, D. C. (1972), Dynamic properties of rock required for prediction calculations, DNA 3123F, Nov. 1972, Stanford Research Institute, Menlo Park, California.
- [10] Fowles, R., and Williams, R. F. (1970), Plane stress wave propagation in solids, J. Appl. Phys. 41, 1: 360-363
- [11] Cowperthwaite, M., and Williams, R. F. (1971), Determination of constitutive relationships with multiple gages in nondivergent waves, J. Appl. Phys. 42, 1: 456
- [12] Seaman, L. (1974), Lagrangian analysis for multiple stress or velocity gages in attenuating waves, J. Appl. Phys., 45, 10: 4304
- [13] Swift, R. P. (1971), The dynamic response of westerly granite to spherical stress waves, DASA 2712, 1971, Physics International company, San Leandro, California.
- [14] Grady, D. C. (1973), Experimental analysis of spherical wave propagation, J. Geophys. Res. 78, 8: 1299-1307
- [15] Barbee, T. W. Jr., Seaman, L., Crewdson, R. C., and Curran, D. R. (1972) Dynamic fracture criteria for ductile and brittle metals, J. Mater. 7, 1: 398-401
- [16] Curran, D. R., Shockey, D. A., and Seaman, L. (1973) Dynamic fracture criteria for a polycarbonate, J. Appl. Phys. 44, 9: 4025-4038.
- 译自: Seaman, L. (1976), An evaluation of dynamic experimental methods for porous in The Effects of Voids on Material Deformation (1976 Applied Mechanics Division Meeting, Salt Lake City, Utah, June 14, 1976), eds., S. C. Cowin and M. M. Carroll, ASME., 1976: 125-139.

(杨根宏译 寇绍全 孟 勤校)