

黄上恒

(西安交通大学工程力学系, 西安 710049)

人们开始关注和研究反射断裂现象, 可以追溯到本世纪初叶. 1914年由B. Hopkinson 完成了一个颇具意义的实验, 当引爆了放置在厚钢板表面的适量炸药后, 他发现与炸药位置相对的钢板背面却发生了拉伸断裂, 一块圆帽状的金属“痂片”(scab)携带动量飞迸出来(图1). 这是一个典型的“反射断裂”过程, 而它又是如何发生的呢?

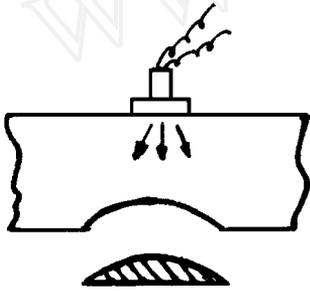


图1

在固体中传播的波可分为两种, 即集散波(又称膨胀波, 无旋波)和畸变波(又称等容波, 剪切波). 当任何一种波入射到两种介质的交界面上时, 将同时产生反射与折射, 在最一般的情况下, 将产生4种不同的波. 这里我们只考虑一种最简单的情况, 即一压力脉冲垂直入射到某自由边界时所发生的波的变化. 如果将入射压力脉冲记作

$$(\alpha)_i = f\left(t - \frac{x}{C_p}\right)$$

式中, C_p 是指集散波速. 显然, 当 $\xi < 0$ 时, $f(\xi) = 0$. 又由于反射应力脉冲是沿 x 的负向传播, 便可将其记作

$$(\alpha)_r = g\left(t + \frac{x}{C_p}\right)$$

在自由边界 $x = a$ 处, 应有 $\alpha = (\alpha)_i + (\alpha)_r = 0$. 对于 $t < a/C_p$, 意味着 $g\left(t + \frac{x}{C_p}\right) = 0$; 而当 $t \geq a/C_p$ 时

$$g\left(t + \frac{a}{C_p}\right) = -f\left(t - \frac{a}{C_p}\right)$$

如果设 $\eta = t + a/C_p$, 可以得出

$$g(\eta) = -f\left(\eta - 2\frac{a}{C_p}\right)$$

于是, 反射应力脉冲可以表示成

$$(\alpha)_r = -f\left(t - \frac{a}{C_p} + \frac{x-a}{C_p}\right)$$

上式告诉我们这样一个事实: 反射应力脉冲与入射应力脉冲具有相同的形状, 但是应力符号在反射后改变了. 也就是说, 一个短波压力脉冲经自由表面反射后成为一个拉伸脉冲. 如果传播脉冲的介质的抗拉强度较低, 反射后的拉应力便可能造成自由表面附近的介质断裂. 可以用反射断裂观点成功地解释装甲车着弹时内壁“痂片”的剥落及抛撒, 还可以解释在淤泥中打桩时桩底的破裂, 这时仅需注意到淤泥对桩的位移不能限制, 所以可将桩底视为自由端面. 有意思的是, 若第1次反射断裂面一旦形成, 它便充当新的“自由表面”, 后续的压力脉冲又将在新的自由表面上产生反射, 而引起第2次、第3次……的拉伸断裂. 王仁教授在文献[2]中提供的珍贵照片, 真实地记录下了1975年辽宁海城地震中, 由于地面铅直运动而造成的烟囱多节反射断裂现象(图2).

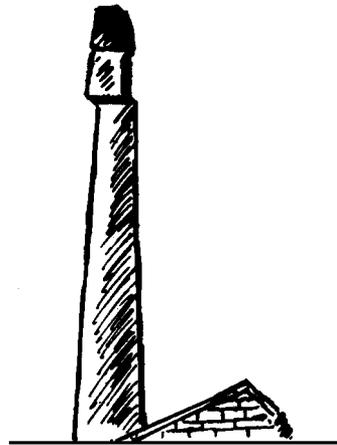
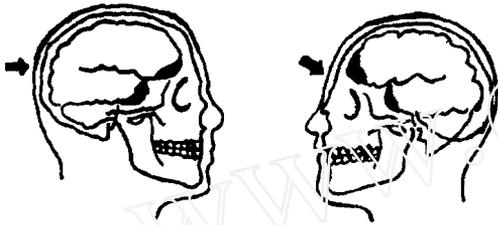


图2

医院外科急症中有一类称之为“脑对冲伤”(cerebral contrecoup)的病例占有较高的比例,它常见于交通事故和建筑事故中。什么是脑对冲伤呢?它是指这样一种脑损伤:当人的头颅受到直接外力打击时,脑组织的损伤灶却发生在打击点对面的极点处,这种脑损伤多发生在颅枕部受打击的病人身上,据资料统计,颅枕部遭受打击发生对冲伤的概率高达80%左右(图3(a))。图中的箭头表示冲击力,黑色部分表示脑组织损伤灶。



(a) 脑对冲伤示意图 (b) 脑冲击伤示意图
图3

颅脑部分的构造与解剖关系是极其复杂的,其力学参数又不易获得,而力学参数与生理反应之间关系更是难以建立。所以依照常规就真实的颅脑结构来分析应力波在其中的传播特性,应力、应变和位移场,进而分析脑对冲伤发生机理是不可能的。如果对颅脑结构进行大胆的简化,再利用反射断裂的观点或可部分解释它。若把脑简化为一个被刚性颅骨壳体(实际上颅骨应属弹性模量较大的粘弹性固体)包围,漂浮在脑脊液中的弹性球(实际上脑组织应属粘弹性流变体),再假设这个“脑球”在触及

硬物后骤然停止了高速运动,这时便有一个压力脉冲经撞击点输入。由于惯性作用,脑脊液仍继续向撞击点方向流动,于是“脑球”中与撞击点相对的极点附近暴露出一局部自由表面,压力脉冲在这个自由表面上反射为拉伸脉冲时,就有可能将局部自由表面附近的血管与神经拉断,而形成威胁生命的水肿及一系列神经障碍。脑组织的抗拉强度显然要远远低于抗压强度的事实是已经试验证明的。

可以想见,前述关于脑对冲伤的反射断裂“假说”肯定不能令外科医生满意:如此粗糙的模型根本解释不了头颅前方受撞击时,为什么多发生冲击伤——脑挫伤灶发生于直接受撞击部位的伤型,而罕见对冲伤发生?这恐怕是留待医学界和生物力学领域的专家们联手解决的一个有诱惑力的难题吧!

在结束这篇小文的时候,顺便再说一句话,“反射断裂”并不总是充当“反面角色”,在结构定向爆破时,它恰恰是受欢迎的。

参 考 文 献

- 1 阿肯巴赫著.徐植信,洪锦如译.弹性固体中波的传播.上海:同济大学出版社,1992
- 2 王仁.大地构造分析中的一些力学问题.力学进展,1989,19(2)
- 3 黄家驷主编.外科学.北京:人民卫生出版社,第2版,1972
- 4 马和中.生物力学导论.北京:北京航空学院出版社,1986

(本文于1996年1月12日收到)

史 料 拾 零

老 亮

有两则史料涉及动载问题。

北齐刘昼《新论·贵速》：“谚曰：‘力贵突，智贵卒’。”从力学上讲，“力贵突”似乎包含了动载的效果要比静载大的意思。

元代纪君祥《赵氏孤儿》二：“爬的高来，可也跌的来肿。”明代陆粲《说听》：“爬得高，跌得重”。清末刘鹗《老残游记》三：“俗说攀得高，跌得重”。从力学上讲，这些话定性地表了落体冲击效果的大小与落下的距离有关。

有两则史料涉及杠杆原理。在《西游记》第三十三回中，吴承恩通过孙行者的口说：“正担好挑，偏担儿难挨。”在第三十一回中，还是通过孙行者的口说：“俗语云：‘尿泡虽大无斤两，秤砣虽小压千斤。’”清代天花藏主人《麟儿报》六中也有类似的话：“岂不知秤锤虽小，能压千斤”。

有两则史料涉及强度问题。

北齐魏收编的《魏书·列传第八十九·吐谷浑》中，讲了吐谷浑国王阿豺临终前折箭的故事：