文章编号：CSTAM2016-P66-E0126

手机保护套防屏幕跌落破坏分析研究

刘子尚[1]，*王　飞[2]，付志一[3]，汪长智[2]，杨风利[2]

(1. 中国科学院力学研究所，北京 100190；2. 中国电力科学研究院，北京 100055；3. 中国农业大学，北京 100083)

摘　要：手机屏幕是手机上一个容易受到冲击破坏的部件，日常生活中一个常见的解决方式是用手机保护套来保护。该文用模拟仿真的方式，对带有不同的保护套的手机进行了不同情况下的跌落模拟，并与没有保护套的情况进行了对比。得到的结论主要有：硅胶材质保护套保护作用要优于金属保护套；保护套的保护状况并不是与厚度成简单的正相关；不同的地面工况以及跌落高度，硅胶保护套都可以降低大约 15%的屏幕应力。对于手机保护套的设计和选择具有重要的指导意义。

关键词：跌落；手机保护套；CAE 仿真；优化设计

ANALYSIS OF SCREEM DROP DAMAGE BY MOBILE PHONE PROTECTIVE SLEEVE

Abstract: The screen of the mobile phone is a vulnerable part on the destruction, a common way in daily life being used to protect the mobile phone is wearing the protective sleeve. An experiment which using a simulation method in this paper set different condition of the mobile phone’s drop test. They were compared with the condition of no protective sleeve in this paper. Main conclusions are: silica gel material protection is superior to that of the metal protective sleeve; conservation status of the protective sleeve is not just into a simple positive correlation with the thickness; different ground conditions and dropping height, the silica gel protective sleeve can reduce the stress of the screen about 15%. This paper has an important guiding significance for the design and selection of mobile phone protective sleeve.

Key words: drop; mobile phone’s protective sleeve; CAE simulation; optimization design

当今社会，手机产品迅猛发展，在人们的生活中发挥着日益重要的作用。而手机的跌落在日常生活中又是难免会出现的一种情况。对于现在市面上比较常见的直板手机，手机屏幕是其主要零部件之一。一旦手机跌落，手机屏幕是很容易受到冲击破坏的一个部件。屏幕的破坏将影响手机的美观和使用，而且屏幕的维修费用也较为高昂。为了有效地保护手机屏幕，市面上有两种常用的方法：其中一种是贴钢化膜，但贴钢化膜会降低手机屏幕触摸的灵敏性，影响用户体验；另一种是给手机添加一个保护套。本文便主要就手机跌落时手机保护套对手机屏幕的保护作用进行了模拟仿真，得出保护套生产的参考数据。

关于手机无保护套跌落，祖景平、薛澄岐[1]运用 MSC.PATRAN/DYTRAN 软件就手机自由跌落试验进行了仿真分析，并得出加强筋厚度的通用参考数据。他的成果为本文中对带有保护保护套的手机进行跌落分析提供了通用的参考数据。本文在分析时主要考虑的是手机屏幕和手机中框，彭必友[2]等在进行直板手机跌落破坏分析时，对非关键部件进行简化的思想对本文也有很大启发。本文在建模时也同样只创建关键部件，对其他部件进行了简化，从而降低了分析时间，有利于快速计算。

作者简介：*王　飞，从事输电杆塔结构的研究(E-mail: 499422978@qq.com).

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1　计算原理和手机模型构建

1.1　计算原理

本文考虑的是一个动态的过程，整个过程涉及到了几何非线性和材料非线性，在接触的时候还会有接触非线性，计算起来比较复杂。对于这一问题，祖景平[1]、彭必友[2]在其研究中都采用了一种算法，显式积分算法。显式积分法主要是相对于传统的逐步积分法所提出的。显示积分法主要特点就是不需要求解耦联的方程组，可以有效地减小内存占用。郭泽英[4]在其对显式积分法的研究中也表明，显式积分法具有良好的稳定性，随着时间步长的增大，显式积分法的精度优于传统的方法。

显式积分法主要原理如下：

总体坐标系下建立碰撞的运动方程：

$$[M]\{a\}+[C]\{v\}+[K]\{d\}=\{F^{ex}\} \tag{1}$$

其中：$[M]$为结构的质量矩阵；$[C]$为结构的阻尼矩阵；$[K]$为结构的刚度矩阵；$\{a\}$为加速度向量；$\{v\}$为速度向量；$\{d\}$为位移向量；$\{F^{ex}\}$为包括碰撞力在内的外力向量。

将(1)式$[M]\{a\}$以外的都移到等号右边，可以得出$[M]\{a\}$的表达式，令其为$\{F^{ex}\}$，便可以得到以下的关系式(2)：

$$[M]\{a\}=\{F^{re}\} \tag{2}$$

关系式(2)中$[M]$不一定是一个对角矩阵，利用数学解耦的方式化简，可以将其化为若干个不再耦合的方程[5]。由这组方程可以解出各个自由度方向的加速度 a_i，将其积分一次可以得到速度 v_i，积分两次可以得到位移 x_i。积分的过程可以采用中心差分法求得各离散点处的位移、速度、加速度。中心差分法能够有效地减少迭代工作量，保持一定的计算精度，而且收敛条件易于保证[6]。

1.2　手机模型构建

整体来看，本文使用的机型为 155x78mm，厚度为 7mm，重量为 151g，和目前市场上主流尺寸相近。主要部件的材料采用实际参数，具有较强的代表性。手机的触摸屏是主要研究部件之一，市面上主流采用的是 LCD 以及触摸屏,其中触摸屏基本结构为钢化玻璃+ITO 玻璃双层叠加。另一个主要考虑的部件为中框，其材质为不锈钢。经《数字技术与应用》中的一篇文章[3]查询到以上主要零部件的参数(表格 1)。

表 1　主要部件材料参数

主要部件名称	弹性模量/MPa	泊松比	屈服应力/MPa
LCD	10500	0.3	—
金属中框	206000	0.3	268
触摸屏	2500	0.2	—

具体来看，为了更好地将手机从物理力学模型抽象成有限元数学计算模型，经过合理的简化之后，手机主要包含以下几个部分：屏幕、金属中框、前面板、后面板，内部电路板，电池。对电路板忽略其上细小的电子元件，只保留主体结构，其他元件基本保持原样。并通过简单的重新构型，使模型的质量中心(距离底部 90mm)在相对几何位置上与实物保持一致。经过简化与简单的重新构型，手机的模型如图 1 所示。

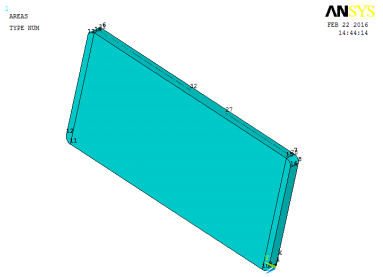

图 1　手机 CAD 模型

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

手机的 CAD 模型构建好了之后，就可以进行下一步的有限元分析模型建立。把材料参数输入进去。其中手机中框采用不锈钢材料，手机屏幕采用 LCD 材料，后置面板和前置面板非屏幕部分采用普通的 ABS 塑料。单元类型中前后面板，手机屏幕金属中框采用壳单元(shell181)，为了计算更快以及更好地收敛，且内部电池和电路板都不是主要分析指标，两者也采用了壳单元(shell181)。网格剖分采用自动化分，这样得到了手机的抽象模型。

2 工况分析

ANSYS 软件进行跌落分析比较方便，比如张改梅[7]就用该软件进行了易拉罐的跌落研究。结合以往经验以及本例实际情况，本试验采用 ANSYS 软件进行分析。考虑到手机跌落情况复杂多样，有着多个影响因素，本文在试验时采用了控制变量法。在某一个单一变量的对照试验组中，控制其他变量不变。本文主要考虑了四种变量对试验结果的影响，分别是保护套材质、保护套厚度、地面工况、跌落高度。

2.1 保护套材质

市面上保护套材质多种多样，本文主要考虑了两种典型材质，分别是铝合金和硅胶。将带有这两种材质保护套情况下的跌落和无保护套情况下跌落作对比。其中铝合金材质保护套取弹性模量为 69GPa，泊松比为 0.33，密度取 2700kg/m^3；硅胶材质保护套取弹性模量为 1.2GPa，泊松比取 0.48，密度取 1200 kg/m^3。保护套厚度统一采用 1mm，地面工况中采用混凝土地面，弹性模量取 20GPa，泊松比取 0.15，密度取 2500kg/m^3。跌落高度采用 1500mm。跌落方式采用背部无初速度垂直向下撞击地面。

首先是对不带任何保护套的手机进行跌落测试，计算结果表明，手机在 0.567062s 时与地面相撞，当手机刚与地面相撞时，LCD 屏幕左右两侧应力较大，如图 2，碰撞之后手机会相对于地面有一个跃起，此时屏幕中部仍然有应力，但数值上小于碰撞时的应力，因此我们主要考虑碰撞时屏幕受到的最大的力。在无保护套保护的情况下，手机 LCD 屏幕受到的最大应力为 6.84MPa。

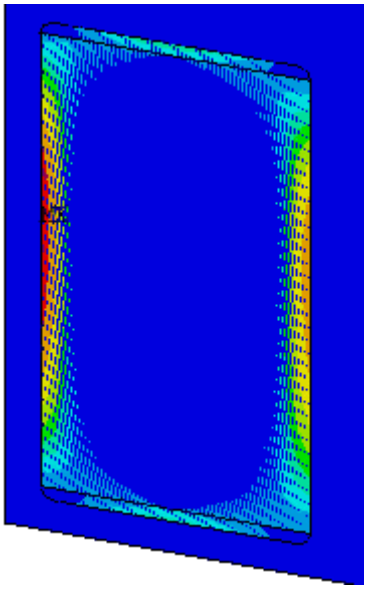

图 2 刚与地面接触

最终，三种条件下手机跌落后，屏幕最大应力和最大应变如表 2 所示：

表 2 不同材料保护套跌落对比

手机情况	无保护套	铝合金保护套	硅胶保护套
屏幕承受最大应力/MPa	6.84	6.26	5.83
对屏幕的保护作用	—	8.5%	14.8%

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由于分析的情况属于背部无初速度垂直落向地面，整体受力较为均匀，故手机屏幕承受应力较小。但经过对比依然可以发现，硅胶由于相较于铝合金具有更好的缓冲性能，同等厚度下对于手机屏幕更好的保护作用。而且由于金属会对手机的电磁信号有较强的屏蔽作用[8]，综合以上两个因素，我们推荐用硅胶来保护手机屏幕。

2.2 不同厚度

同种材质，不同厚度的保护套对于手机的保护作用对比试验结果见表 3。由于上面得出结论，硅胶的保护效果更好，本组试验的保护套统一使用硅胶材质。

表 3 不同厚度实验结果

保护套厚度/m	0	0.0005	0.0007	0.001	0.0013	0.0015	0.002
最大应力/MPa	6.84	6.35	6.01	5.83	5.90	5.96	6.12
保护作用	—	7.2%	12.1%	14.8%	13.7%	12.9%	11.8%

在实验涉及到的尺度范围内，屏幕受到的保护程度并不仅仅是单纯的随着保护套的厚度增加而增加，而是呈现先增后减的状况。因此，可以得出结论，针对所研究的手机模型，在选用硅胶保护套的情况下，所试验的尺度范围内，保护套的厚度并不是越厚越好，而且过厚的保护套还会影响手机握持的手感，在本例中 1mm 厚度的硅胶保护套起到了最好的保护效果，最佳的保护套厚度在 0.0007~0.0013m 范围内。

2.3 不同地面工况

同样的跌落高度，同样的保护套厚度，不同的地面工况，对于手机屏幕应力的影响也是不同的，本组试验用 1mm 厚度的硅胶手机保护套，从 1500mm 处分别背部垂直跌落在混凝土、木制地板、大理石瓷砖三种地面工况。三种材料所用到的材料参数[9−10]如表 4：

表 4 三种典型地面工况材料参数

材料类型	弹性模量/MPa	密度/(kg/m^3)	泊松比
混凝土	20000	2500	0.15
木制地板	5000	750	0.49
大理石瓷砖	30000	3000	0.26

经过试验，得到三种地面工况情况下，屏幕所承受的最大应力见表 5。

表 5 不同地面工况下的保护作用

类型	混凝土	木制地板	大理石瓷砖
无保护套跌落/MPa	6.84	7.10	7.10
有保护套跌落/MPa	5.83	5.79	5.88
保护作用	14.8%	18.5%	17.2%

通过本组试验结果，可以得出结论：在三种常见的地面工况中，硅胶保护套都起到了 15%左右的保护作用。如果在室内活动，室内的常见装修方式为大理石瓷砖或者木制地板，而在本组试验中，这两种工况下保护效果在三种情况中又是优于混凝土的，在室内情况进行的保护略优于室外。

2.4 不同高度

不难想到，随着高度的增加，手机与地面撞击时的速度将增大，保护套的保护作用也将发生变化。本组试验采用 1mm 厚度的硅胶保护套以及混凝土地面，选取了几个不同的高度进行了对比。结果见表 6。

表 6 不同高度工况下的保护作用

厚度或条件	500mm	1000mm	1500mm	2000mm
无保护套跌落(MPa)	1.40	4.24	6.84	9.12
有保护套跌落(MPa)	1.11	3.47	5.83	7.50
保护作用	20.7%	18.2%	14.8%	17.8%

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过本组试验结果，可以得出结论：在选用的几个高度上，硅胶保护套对于手机屏幕的应力都起到了一定的减小作用。且对于本试验中的手机模型，1mm 硅胶保护套对屏幕最大应力的减小百分比都达到了15%以上，对于手机屏幕起到了一定的保护作用。

3 结论

经过对本试验中构建的手机模型进行的一系列的试验，可以得出结论以下结论：

(1) 硅胶保护套以及金属保护套，都能在手机跌落过程中，对手机屏幕起到保护作用，减小屏幕上的最大应力，从而降低屏幕摔坏的概率。而对于筒一部手机，同一种材质的保护套，也并不是越厚保护效果就越好，需要经过实验探究，确定一个最佳厚度范围，并在握持舒适度与最佳保护程度之间作一个权衡。在常见跌落高度以及地面工况下，选择 1mm 厚度的硅胶材质保护套都可以降低大概 15%的保护作用。

(2) 在本组试验中，由于主要探究保护套的保护作用，采用了垂直跌落的方式，导致屏幕应力并没有超过 10MPa。但如果在其他情况下，如果由于某种原因导致手机背部与地面冲击力增大，那么屏幕上的最大应力减少 15%，将可以有效地降低屏幕损坏的概率。因此，硅胶材质的保护套可以对手机屏幕起到很好的保护作用。

(3) 手机屏幕是手机上的一个易坏部件。为了保护屏幕，市面上一个人比较常见的方法就是给手机戴上手机保护套。本文利用 CAE 工具对手机保护套材质、厚度、不同的地面工况以及跌落高度进行了探究，从动力学数值分析角度得到了手机保护套设计或选择的参考数据，从而可以在实际生活中更好地保护手机屏幕，降低产生意外的风险。

参考文献：

[1] 祖景平，薛澄岐．手机跌落破坏仿真分析研究[A]．中国制造业信息化, 2006, 35(11): 68－70.

[2] 彭必友，谢佳斌，冯权和，殷国富．直板手机跌落破坏数字化分析研究[A]．西华大学学报(自然科学版), 28(1): 74－77.

[3] 吴剑．基于有限元仿真的大屏幕超薄手机抗跌落研究[A]．数字技术与应用, 2012, 11: 89－90.

[4] 郭泽英，李青宁．动力反应分析的显式积分方法及其稳定性[A]．地震工程与工程振动, 2008, 28(2): 15－19.

[5] 陈奎孚．机械振动基础[M]．第 1 版．北京：中国农业大学出版社, 2011.

[6] 郭建烨，李景春，王燕．中心差分法在多自由度系统强迫振动中的应用[A]．沈阳航空工业学院学报，1999，16(3)：15－19.

[7] 张改梅，仵季红，郭福宾．基于 ANSYS/LS-DYNA 的易拉罐跌落研究[A]．包装工程, 2011, 3: 4－6.

[8] 刘涤尘．金属网的屏蔽效能试验及分析研究[A]．武汉水利电力大学学报, 1996, 29(4): 69－74.

[9] 顾晓鲁，等．地基与基础[M] 第 3 版．北京：中国建筑工业出版社, 2003.

[10] 朱丽滨，顾继友，谭海彦，毛国琪．低毒脲醛树脂胶结实木复合地板的性能研究[A]．林产工业, 2008, 35(1): 36－40.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net