附件2：

**投稿须知**

1.论文要求紧扣本次论坛主题，研究成果具有较高学术价值或理论水平。

2.来稿应具有科学性、先进性和实用性，论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字简练、图表清晰。每篇论文的篇幅应在8000字以内，请使用中华人民共和国法定计量单位。论文格式请参考“论文模板”及“中文样稿”。

3.所投稿件不得涉及国家及本单位机密，投稿时请附本单位保密审查意见，由审查者签名并加盖公章。

4.文章标题字数应在20字以内。文中图、表应有自明性，所有图题、图注、表题、表注均为中、英文对照，图、表中的文字一律用英文。

5.第一作者应确保全体作者同意文章署名，请提供第一作者、通讯作者简介（姓名、出生年、性别、职称、学位、研究方向等），以及所有联系方式（通信地址、邮政编码、电话号码、传真、电子邮箱等），以备联系。请注明论文（工作）的资助项目（资助项目名称和批准号），简要介绍工作背景和论文意义。

6.来稿应保证文章版权的独立性，严禁抄袭，文责自负，请勿一稿多投。

重点注意事项

▲中英文摘要摘要用第三人称书写，语言要简练，应有具体内容。要求：（1）拥有与论文同等量的主要信息，重点包括4个要素：即研究目的、方法、结果和结论。（2）以提供论文梗概为目的，不得评论、解释论文内容。中文摘要应在200～400个字之间，英文摘要不少于120个实词。为便于国外数据库收录，英文摘要中尽量避免特殊字符（各种数学符号、上下脚标及希腊字母）及由特殊字符组成的数学表达式；第一句不要与英文题名重复；尽量用短句子并避免句形单调；用过去时态叙述主要工作，用现在时态叙述结论，尽量用主动语态代替被动语态。

▲参考文献参考文献应是公开出版物。请充分著录参考文献，引用条数不宜太少，并尽量引用近期国内外文献，采用“顺序编码制”著录。中文参考文献必须附英译文，著录项目应齐全。

▲版权与稿酬凡经本刊录用的稿件，其著作权（包括光盘版和网络版出版权）便自动转让给《高压物理学报》编辑部，编辑部不再另行通知。来稿一经发表，即付稿酬（包括光盘版和网络版稿酬）。

▲每位与会者提交的论文限2篇。

▲本次论坛的论文将编成论文集，优秀论文推荐到国内核心期刊《高压物理学报》或《凝聚态物理学报》上发表。

▲征稿截止时间：2015年6月20日（请一并提交参会回执）。[论文及回执请发送至ifp.hr@caep.cn](mailto:论文及回执请发送至ifp.hr@caep.cn)。回执中请明确所在设站单位、工作单位或学校、作者姓名、性别、电话、通讯地址、E-mail。

**论文模板：**

中文题目（二号，黑体）[[1]](#footnote-2)

作者名11，3，作者名21，2，3，作者名32（四号，仿宋体）

（1.单位全称，省份城市邮编；（小五号，宋体，Times New Roman，单倍行距）

2.单位全称，北京 100000；

3.中国工程物理研究院流体物理研究所，四川绵阳 621900）

摘 要：（小五号，仿宋体，Times New Roman）□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

关键词：（小五号，仿宋体，Times New Roman）关键词1；关键词2；关键词3（3～8个）

中图分类号：XXXX.X 文献标志码：A

1 引言（四号黑体，段前0.5行）

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□[1-3]（正文五号宋体，Times New Roman，单倍行距，段前段后0行，参考文献采用顺序编码制）

2 □□□□（四号黑体，段前0.5行）

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□[2,4-6]

2.1 □□□□（小四号，黑体，Times New Roman，单倍行距）

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

 （1）

 （2）

2.2 □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

2.2.1 □□□□(五号楷体，Times New Roman，单倍行距)

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

表1 表题（小五号，黑体，居中）

Table 1 Table title(Times New Roman)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | *ρ*0/(g/cm3) | Flyer thickness/(mm) | *λ* | *n* |
| Steel(1) | 7.800 | 1.998 | 2.7 | 0.31 |
| Alloy(2) | 2.470 | 1.623 | 2.8 | 0.35 |

Note:(1) □□□□□□□□□□（六号，宋体，Times New Roman，单倍行距）

(2) □□□□□□□□□□

2.2.2 □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

3 □□□□□□

3.1 □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



(a) April (b)June (c)August

图1 图名（小五，宋体，居中，单倍行距）

Fig.1 Figure caption（小五，Times New Roman，单倍行距）

3.2 □□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



图2 图名（小五，宋体，居中，单倍行距）

Fig.2 Figure caption（小五，Times New Roman，单倍行距）

4 结 论

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

致谢 □□□□□□□□□□□□□□□□□□（小五号，宋体，Times New Roman单倍行距）

附录

□□□□□□□□□□□□□□□（五号，宋体，Times New Roman单倍行距）

参考文献（只列出常用的文献类型，其他参考GB/T 7714-2005）

1. （专著）著者.专著名[M].译者.版次.期刊名,出版年,卷（期）:引用起始页-终止页. （五号，宋体。注意：中外作者姓前名后；作者多于3人时，只著录前3人；若文献为中文文献，请给出中、英文两种形式；外文文献题名实词首字母大写，其余小写；确保参考文献准确无误，不得缺项）

例如: Jing F Q.Introduction to Experimental Equation of State ［M］.2nd Ed.Beijing:Science Press,1999:199-200.(in Chinese)

经福谦.实验物态方程导引［M］.第2版.北京：科学出版社，1999:199-200.

1. （期刊）作者.题名[J].期刊名,出版年,卷（期）:起始页-终止页.（期刊名缩写应使用标准缩写）

例如：① Tan H.Shock temperature measurements for meltals (Ⅰ)－Calibration of pyrometers and data reduction for the temperature at the interface ［J］.Chinese Journal of High Pressure Physics,1994,8(4):254-263.(in Chinese)

谭华.金属的冲击波温度测量（Ⅰ）——高温计的标定和界面温度的确定［J］.高压物理学报,1994,8(4):254-263.

②Radousky H B,Nellis W J,Ross M,et al.Molecular dissociation and shock-induced cooling in fluid nitrogen at high densities and temperatures ［J］.Phys Rev Lett,1986,57(19):2419-2423.

1. （会议论文）作者.会议文集中的文章题名[C]//会议文集编者.会议文集名,出版地:出版者,出版年:起始页-终止页.

例如：① Petrovtsev A V,Bychenkov V A.Numerical simulation of elasticviscousplastic properties,polymorphous transformations and spall fracture in iron ［C］//Furnish M D,Thadhani N N,Horie Y.Shock Compression of Condensed Matter-2001.Atlanta:American Institute of Physics,2002:591-594.

② Sun C W,Zhao J H,Wang G J,et al.Magnetically driven quasi-isentropic compression and highspeed flyer plate experiments ［C］//Academic Conference on Mechanics of China.Beijing,2007:17.(in Chinese)

孙承纬,赵剑衡,王桂吉,等.磁驱动准等熵压缩和高速飞片的实验研究［C］//中国力学学会学术大会.北京,2007:17.

1. （学位论文）著者.学位论文题目 [D].出版地:学位授予单位,出版年:引用起始页-引用终止页.

例如: Wu Q.Studies on equation of state and Gruneisen parameter for metals at high pressures and temperatures ［D］ .Mianyang:China Academy of Engineering Physics,2004:3-5.(in Chinese)

吴强.金属材料高压物态方程及Grunesisen ［D］.绵阳：中国工程物理研究院,2004:3-5.

1. （专利）专利申请者.专利题名:专利国别,专利号 [P].公告日期.

例如: Weng J D,Hu S L,Ma Y,et al.A fiber displacement interferometer:China,200510022172.X ［P］.2006-07-12.(in Chinese)

翁继东,胡绍楼,马云,等.一种全光纤位移干涉仪：中国，200510022172.X ［P］.2006-07-12.

1. （科技报告）作者.报告题名,编号[R].出版地：出版者，出版年.

例如: Christiansen E L.Shield sizing and response equations, NAS 1.15:105527 ［R］.USA:NASA Johnson Space Center,1991.

1. （电子文献）作者.题名 [文献类型标志/文献载体标志].出版地：出版者，出版年（更新或修改日期）[引用日期].获取和访问路径.（文献类型标志：图书M、会议录C、汇编G、报纸N、期刊J、学位论文D、报告R、标准S、专利P、数据库DB、计算机程序CP、电子公告EB，电子文献载体标志：磁带MT、磁盘DK、光盘CD、联机网络OL）

例如: Smith G P,Golden D M,Frenklsch M,et al.GRI-Mceh ［EB/OL］.(1999-07-30) http://www.me.berkeley.edu/gri\_mech.

Title in English（四号，Times New Roman）

Author 11,3，Author 11，2，3，Author 32（小四，例：ZHOU Jing-Jing,WANG Ying）

(*1.Department,University ,city postalcode,China;*

*2. ……，Beijing 100000,China;*

*3. Institute of Fluid Physics,CAEP,Mianyang 621900,China*)（*五号斜体*）

**Abstract:** ……（五号Times New Roman，单倍行距）

**Key words:** key word 1;key word2;key word 3（五号Times New Roman，单倍行距）

**中文样稿：**

非饱和黏土平板撞击实验及状态方程研究[[2]](#footnote-3)

丁育青1，汤文辉1，张若棋1，冉宪文1，张明建2

（1.国防科学技术大学理学院工程物理研究所，湖南长沙 410073；

2.西南交通大学高压物理实验室，四川成都610031）

摘 要：利用口径为24 mm的二级轻气炮实验装置，结合磁测速和光纤探针动态测试技术，针对含水率分别为0%、8%和15%的3种非饱和黏土试样进行了平板撞击实验，试样的压力峰值区间为1.29~32.54 GPa。实验结果表明，含水率对非饱和黏土的冲击压缩特性影响明显，当非饱和黏土受到冲击压缩时，孔隙被进一步压实，滞留在黏土孔隙中的水和空气来不及排出，并与黏土中的固体颗粒一起，共同支配着非饱和黏土的冲击压缩特性，而水的相对不可压缩性，导致黏土的可压缩性随着含水率的升高而下降。提出一种修正的三相混合物状态方程，对3种含水率试样的压力-密度曲线进行了拟合，结果表明，该状态方程能够较好地描述不同含水率试样的压力-密度关系。

关键词：非饱和黏土；含水率；二级轻气炮；平板撞击实验；状态方程

中图分类号：O521.2；TU411.5文献标志码：A

1 引言

土是目前各类民用和国防工程中最常用的基层材料，当上层构筑物在承受爆炸、冲击等强动载荷时，土的冲击特性与整体结构的抗冲击性能有着密切的关系，因此，研究强动载荷下土的冲击特性具有重要的实际意义。

一般认为，土是由构成土骨架的固体颗粒、孔隙中的水和气体组成的三相介质]。Tsembelis等]，Resnyansky等]，Chapman等-5]，Brown等]，Bragov等]，Arlery等]利用一级轻气炮实验装备，应用锰铜压阻计或VISAR等测试技术，分别对不同粒径分布、初始密度以及含水率的砂土试样进行了平板撞击实验，试样的压力峰值均在10 GPa以下，结果表明，粒径分布，初始密度以及含水率等因素对砂土的冲击性能影响明显。从目前来看，针对黏土在高压下的平板撞击实验研究却未见报道。在状态方程方面，Resnyansky等]提出了一种两相混合物状态方程，方程基于混合物状态方程的思想，当描述干砂土时，由气体和固体颗粒的状态方程组成；当描述含水砂土时，则由水和固体颗粒的状态方程组成，该模型忽略了孔隙气体对非饱和土冲击压缩性能的影响]。Wang等-12]根据Kaudaur]的设想，将固体颗粒、水和气体按照各自组分混合在一起，使用三相混合物状态方程开展相关动态过程数值模拟，结果表明，该模型能够较好地描述土在爆炸载荷下的动态行为。

本研究利用二级轻气炮实验装置，对3种含水率的非饱和黏土试样进行平板撞击实验研究，分析含水率对非饱和黏土冲击特性的影响规律，研究并改进土的三相混合物状态方程。

2 实验介绍

2.1 实验准备

土具有很强的地域特征，不同类别土的冲击特性差异很大。实验所用黏土取自洛阳地区，采用密度计法进行土样的颗粒分析实验，测得固体颗粒密度**s=2.74 g/cm3，颗粒分析结果如表1所示。试样干密度**d=1.70 g/cm3，孔隙比*e*=0.61，试样尺寸为Φ16 mm×3 mm，含水率*w*分别为0%，8%，15%，对应的饱和度*Sr*分别为0%，35.9%，67.4%。

2.2 实验方法

实验是在西南交通大学高压物理实验室口径为24mm的二级轻气炮上完成的。实验所用飞片材料及相关参数如表2所示，飞片尺寸为Φ24 mm×3 mm。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表1黏土试样颗粒分析结果  Table 1 Particle size distribution in the clay sample   |  |  | | --- | --- | | Particle dimension/(mm) | Mass Proportion/(%) | | <0.005 | 28.6 | | 0.075~0.005 | 71.4 | | >0.075 | 0 | | 表2 飞片材料参数表]  Table 2The parameters of flyer plate materials   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Material | *ρ*0/(g/cm3) | *c*0/(km/s) | *λ* | | Al alloy | 2.785 | 5.328 | 1.338 | | Cu | 8.93 | 3.940 | 1.489 | | Ta | 16.656 | 3.437 | 1.19 | |

实验利用磁测速系统测量飞片速度，在飞片飞行途中的几个固定位置上放置磁环，如图1所示。当金属飞片在磁环产生的非均匀强磁场中运动时会在表面感应产生涡旋电流，在线圈中产生感应电动势，利用示波器记录这种感生电动势随时间的变化曲线，在已知线圈间距的条件下，再利用示波器读取间隔时间，便可计算得到飞片速度。

实验采用光探针技术]测量飞片或冲击波在试样中的到达时刻，试样碰撞面的外缘均匀布置四根光探针（编号A~D），用于测量飞片撞击试样的时刻，两对角线光探针构成一组测量通道，共两组测量通道，对角布置的光探针还可修正碰撞过程中飞片倾斜的影响。同时，在试样后界面中心位置布置一根光探针（编号E），用于测量冲击波到达时刻，试样装配及测试原理如图2所示。冲击波作用于光纤使其发光，由此产生的光脉冲信号经光纤传输到光电探测器转换为电信号再由示波器记录，通过判读就可以确定飞片或冲击波到达光纤探针的时刻。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图1 磁测速原理示意图  Fig.1 Schematic magnetic measurement of velocity | 图2 平板撞击实验示意图  Fig.2 Schematic plate-impact configuration before impact |

实验过程中，两组测量通道测得的典型信号波形如图3所示。图3(a)中的信号由编号为E、A、B和C四个光探针测得，图3(b)中的信号则由编号为E、B、C和D四个光探针测得，其中，编号为E、B和C 3个探针的信号为重复测量。从图(3)可以看出，A、B、C、D四个光探针的信号起跳时刻基本吻合，说明飞片撞靶时的平面性较好，偏转角度误差较小。信号的第一个拐点指示了飞片或冲击波到达每根探针的时刻，由此，试样中的冲击波速度*D*可由下式求出

 (1)

式中：Δ*h*、Δ*t*分别为试样厚度与冲击波在试样中的传播时间。对于大多数材料，冲击波速度*D*与波后质点速度*u*之间成线性关系，即

 (2)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) Signal of fiber-optic pins measured by channel I | (b) Signal of fiber-optic pins measured by channel II |
| 图3 实验测得的典型探针信号  Fig.3 Signal of fiber-optic pins measured in experiments | |

根据冲击阻抗匹配的压力平衡方程和界面连续方程

 (3)

 (4)

可得试样的质点速度

 (5)

式中：**f、**s分别为飞片和试样的密度，*u*f、*u*s分别为飞片和试样的质点速度，*c*f、**s为飞片Hugoniot参数，*W*为飞片速度。

2.3 实验结果

按照3种含水率的试样，将实验分为3组，每组4发实验，各发实验情况如表3所示。对黏土

表3平板撞击实验结果

Table 3The results of plate impact experiments

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Sample condition | Flyer material | Flyer velocity  /(km/s) | Shock arrival time/(ns) | Sample thickness  /(mm) | Particle velocity  /(km/s) | Shock velocity  /(km/s) | Longitudinal stress/(GPa) |
| Dry clay | Al | 0.561 | 1868 | 2.98 | 0.48 | 1.60 | 1.29 |
| Cu | 1.042 | 1054 | 2.96 | 0.92 | 2.81 | 4.40 |
| Cu | 2.340 | 658 | 2.94 | 1.97 | 4.47 | 14.95 |
| Ta | 3.180 | 556 | 3.02 | 2.79 | 5.43 | 25.71 |
| Wet clay  (Moisture content=8%) | Al | 0.563 | 1564 | 2.94 | 0.46 | 1.88 | 1.58 |
| Cu | 1.101 | 956 | 2.98 | 0.95 | 3.12 | 5.46 |
| Cu | 2.290 | 640 | 3.00 | 1.89 | 4.69 | 16.26 |
| Ta | 3.190 | 500 | 2.94 | 2.74 | 5.88 | 29.60 |
| Wet clay  (Moisture content=15%) | Al | 0.495 | 1192 | 3.00 | 0.37 | 2.52 | 1.84 |
| Cu | 1.142 | 848 | 2.98 | 0.97 | 3.51 | 6.63 |
| Cu | 2.370 | 538 | 2.88 | 1.89 | 5.35 | 19.81 |
| Ta | 3.130 | 478 | 3.01 | 2.64 | 6.30 | 32.54 |

试样的*D*-*u*实验结果按照式(2)进行线性拟合，结果如图4所示，得到含水率为0%的黏土试样*c*0= 1.078 km/s、**=1.624，含水率为8%的黏土试样*c*0=1.913 km/s、**=1.707，含水率为15%的黏土试样*c*0=1.289 km/s、**=1.722。由此，可得3种含水率试样的Hugoniot曲线，如图5所示，可以看出，随着含水率的上升，试样的可压缩性随之下降，这是由于在高应变率和高压加载条件下，滞留在试样孔隙中的水和空气不能排出，并与固体颗粒一起，共同支配着非饱和黏土的冲击压缩特性。而水的相对不可压缩性，导致黏土的可压缩性随着含水率的升高而下降。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图4黏土试样的*D*-*u*关系  Fig.4The relationship between *D*and*u*of clay specimen | 图5黏土试样的*P*-**Hugoniot曲线  Fig.5The *P-*Hugoniot curves of clay specimen |

3 三相混合物状态方程

如前所述，土可看作是固体颗粒、孔隙中的水和气体组成的三相介质。土在未压缩的初始状态时体密度为*ρ*0，记为

 (6)

其中，*m*为质量，*V*0为初始体积，下标*g*，*w*，*s*分别表示气体，水和固体颗粒。

引入各相的初始相对体积*ɑ*g，*ɑ*w，*ɑ*s

 (7)

显然有

 (8)

当土承受较大压力时，土的压缩性质决定于各组分介质的体积压缩量。由此，当土中压力为*p*时，土各组分介质的相对体积分别为

 (9)

因而有

 (10)

式中：*V*=*Vsp*+*Vwp*+*Vgp*，为压力*p*时土的体积。利用质量守恒原理，可得到在压力*p*时，土的密度为

 (11)

上式中的*gp*，*wp*可用气体和水的状态方程求出。对于气体，采用空气的状态方程描述]

 (12)

式中：*p*0=101.3 kPa，为大气压力；*ρ*g0=1.2255 kg/m3，*k*g=1.4。

对于水]，可用状态方程

 (13)

式中：*ρ*w0=1.0 g/cm3，*c*w0=1415 m/s，*k*w=3。

对于固体颗粒，Henrych]提出形式与水相似的状态方程

 (14)

式中：*s*0=2.74 g/cm3，*c*s0=4500 m/s，*k*s=3。

将式(12)式、(13)式和(14)式代入(11)式，可得土的三相混合物状态方程为

 (15)

通过与实验结果的比对发现，上式的描述并不准确，与实验结果差别较大，如图6和图7所示，图中model-I曲线代表上式描述结果，可以看出，model-I曲线明显低于根据实验数据拟合的曲线。本文提出使用下式作为固体颗粒的状态方程

 (16)

通过与实验数据的拟合得到，*A*0=4.52 GPa，*n*=10.6。

将(16)式取代(14)式，可得修正后土的三相混合物状态方程为

 (17)

将上式与实验结果进行比对，如图6和图7所示，图中model-II曲线代表修正后的状态方程。可以看出，经过修正的三相混合物状态方程能够较好地描述黏土试样的压力-密度关系曲线，并能反映由于含水率的变化，带来的非饱和黏土冲击压缩特性的变化。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图6含水率为8%试样的压力-密度关系比对  Fig.6Comparison between the test data with the two three phase EOS of clay specimen with 8% moisture content | 图7 含水率为15%试样的压力-密度关系比对  Fig.7Comparison between the test data with the two three phase EOS of clay specimen with 15% moisture content |

4 结 论

(1)本研究采用二级轻气炮加载，对3种含水率的非饱和黏土试样进行了平板撞击实验研究，获得了3种含水率试样的冲击压缩数据。实验结果表明，在本研究的压力范围内，黏土试样中的冲击波速度*D*与波后质点速度*u*之间满足线性关系。

(2)含水率对非饱和黏土的冲击特性影响显著，分析表明，在高应变率和高压力下，滞留在黏土孔隙中的水、气体不能排出，并与固体颗粒组成三相介质，共同支配着非饱和黏土的冲击压缩特性。而水的相对不可压缩性，导致非饱和黏土的可压缩性随着含水率的升高而下降。

(3)针对非饱和黏土的组成特性，提出使用三相混合物状态方程描述其压力-密度关系，并通过与实验结果的比对分析，提出了一种修正的固相状态方程，结果表明，修正后的三相混合物状态方程能够更好地描述非饱和黏土的压力-密度关系。

参考文献

[]　Henrych J.The dynamics of explosion and its application[M].Translated by Xiong Jian-guo.Beijing: Science Press, 1987: 161-170.(in Chinese)

Henrych J.爆炸动力学及其应用[M].熊建国译.北京: 科学出版社, 1987:161-170.

[]　Tsembelis K,Proud W G,Vaughan B A M.The behavior of sand under shock wave loading:Experiments and simulations [C]//Benitez F G.Proceedings of the 14th DYMAT Technical Meeting on Behavior of Materials at High Strain Rates:Numerical Modeling.Sevilla,2002: 193-203.

[]　Resnyansky A D,Bourne N K.Shock compression of dry and hydrated sand [C]//Furnish M D.Shock Compression of Condensed Matter2003.New York:American Institute of Physics,2004: 1474-1477.

[]　Chapman D J,Tsembelis K,Proud W G.The behaviour of dry sand under shock-loading [C]//Furnish M D.Shock Compression of Condensed Matter-2005.New York:American Institute of Physics, 2006: 1445-1448.

[]　Chapman D J,Tsembelis K,Proud W G.The behavior of water saturated sand under shock-loading [C]//O’Brien E.Proceedings of the 2006 SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics.Saint Louis:The Society for Experimental Mechanics,2006:834–840.

[]　Chapman D J,Braithwaite C H,Proud W G.Shock-loading of statically compacted soil [C]//Elert M,Furnish M D,Cliau R,et al.Shock Compressionof Condensed Matter-2007.New York:American Institute of Physics,2007:1367-1370.

[]　Brown JL,Vogler TJ,Chhabildaz LC,et al.Shockresponse of dry sand,SAND2007-3524[R].USA:Sandia National Laboratories,2007.

[]　Bragov A M,Lomunov A K,Sergeichev I V,et al.Determination of physicomechanical properties of soft soils from medium to high strain rates[J]. Int J Impact Eng, 2008,35(9): 967-976.

[]　Arlery M,Gardou M,Fleureau J,et al.Dynamic behaviour of dry and water-saturated sand under planar shock conditions[J].IntJ Impact Eng,2010,37(1):1-10.

[]　Qian Q H,Wang M Y.Impact and Explosion Effects in Rock and Soil[M].Beijing:National Defence Industry Press,2010:205-213.

钱七虎,王明洋.岩土中的冲击爆炸效应[M].北京:国防工业出版社,2010:205-213.

[] Wang Z,Lu Y.Numerical analysis on dynamic deformation mechanism of soils under blast loading[J].Soil Dyn Earthq Eng,2003,23(8):705-714.

[] Wang Z,Hao H,Lu Y.A three-phase soil model for simulating stress wave propagation due to blast loading[J].Int J Numer Anal Met, 2004, 28(1): 33-56.

[] Tang W H,Zhang R Q.Introduction to Theory and Computation of Equations of State[M].2nd ed.Beijing:Higher Education Press,2008:293-295.

汤文辉,张若棋.物态方程理论及计算概论[M].第2版.北京:高等教育出版社,2008:293-295.

[] Wang R B,Tian J H,He L H,et al.Application of fiber-optic pin to nonmetallic shock experiments[J].Explosion and Shock Waves,2006,26(3): 284-287.

王荣波,田建华,何莉华,等.石英光纤探针在非金属材料冲击实验中的应用[J].爆炸与冲击,2006,26(3):284-287.

**State Equation of Unsaturated Clay Investigated with**

**the Plane Shock Wave Experiments**

DING Yu-Qing1，TANG Wen-Hui1，ZHANG Ruo-Qi1，

RAN Xian-Wen1，ZHANG Ming-Jian2

1. *Institute of Engineering Physics,College of Science,National University of*

*Defense Technology,*410073*,Changsha,China;*

*2.Laboratory of High-pressure Physics of Southwest Jiaotong University,*

*Chengdu* 610031*,Sichuan,China*)

**Abstract:**Using a 24 mm bore two-stage light gas gun,plate impact experiments were performed on unsaturated clay at 3 moisture contents－0,8% and 15%－to obtain its Hugoniot data.The shock wave motions in the samples were detected by fiber-optic pins,and the pressure in the sample ranged from 1.29 to 32.54 GPa.The experiment results indicate that the moisture content has a significant effect on the shock compression properties of unsaturated clay.While compressed,the gas and water in pores cannot escape promptly due to the transient loading time,thus they dominate the shock compression properties of unsaturated clay together with the solid grains.Since water is much stiffer than gas,the compressibility of unsaturated clay decreases as the moisture content increases.Besides,a modified three-phase equation of state is introduced to describe the pressure-density relationship of the unsaturated clay,which shows good agreement with the experimental data.

**Key words:**unsaturated clay;moisture content;two-stage light-gas gun;plate impact;equation of state

1. 收稿日期：xxxx-xx-xx；修回日期：xxxx-xx-xx

   基金项目：基金项目全称（批准号）；基金项目全称2（批准号）

   作者简介：作者名1（出生年－），性别，学位，职称，主要从事……研究.E-mail:…… TEL: ……

   通讯作者：作者名（出生年－），性别，学位，职称，主要从事……研究.E-mail:…… TEL: …… [↑](#footnote-ref-2)
2. 收稿日期：2012-12-17；修回日期：2013-03-06

   基金项目：国家安全重大基础研究项目；国家自然科学基金（11002162）

   作者简介：丁育青（1985－），男，博士研究生，主要从事材料动态力学性能研究.E-mail: yuqingding@nudt.edu.cn

   通讯作者：汤文辉（1964－），男，教授，博士生导师，主要从事冲击波物理研究.E-mail: wenhuitang@163.com [↑](#footnote-ref-3)