

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.03.26

# 定体积黄土崩解仪器的研制与应用

王念秦,魏精瑞

(西安科技大学地质与环境学院,陕西 西安 710054)

**摘要:**基于对黄土灾害认识,设计研制一种定体积黄土体崩解仪器,可用于模拟不同浸水深度的整个崩解过程。采用原状离石黄土试样进行实验,设计了不同浸水范围(单面、双面、三面、整体)与不同浸水深度(3 cm、6 cm、9 cm)的控制条件,获得了离石黄土崩解规律实验数据,得到了不同浸水条件下,离石黄土崩解率 $A_t$ 与时间 $t$ 关系曲线及崩解速率 $v$ 与时间 $t$ 关系曲线。实验结果表明:能够获取黄土崩解参数,真实反映离石黄土体的崩解破坏机理。

**关键词:**原状离石黄土;土体崩解仪;研制;应用

中图分类号:P642.13+1;P694

文献标识码:A

文章编号:1003-8035(2015)03-0145-05

## Development and application on the instruments of constant volume loess disintegration

WANG Nianqin, WEI Jingrui

(College of Geology and Environment, Xi'an university of Science and Technology, Xi'an, Shannxi 710054, China)

**Abstract:** Designed and developed based on the understanding of the loess disasters, a constant volume loess disintegration instrument, it can be used to simulate loess different immersion depth of the whole process of disintegration. it take original state lishi loess sample experiment to design the different extent of flooding (single side, double side, on three sides, as a whole) with different immersion depth (3 cm, 6 cm, 9 cm) control condition and obtain the rule of lishi loess disintegration in the experimental data, The experiment was obtained the relation of between lishi loess amount of disruption of changes and time and the relation of between lishi loess disintegration rate and time. Experimental results show that can get parameters of the loess disintegration and reflect truly disintegration mechanism about lishi loes.

**Keywords:** undisturbed Lishi loess; soil disintegration test instrument; development; application

### 0 引言

长期以来,相关学者对黄土崩解性做了大量的研究工作<sup>[1-9]</sup>,但由于研究手段的局限,目前相关实验仪器的研究尚显薄弱。研究崩解性常规的方法是将尺寸为5 cm×5 cm×5 cm的试块浸入水中观察其崩解过程<sup>[4]</sup>,由于试样尺寸的限制,不但不能对不同空隙率的试样进行实验,而且由于试样浸水比表面远大于实

际情况而造成误差偏大,同时相关的原位崩解实验则尚未开展。正因为如此,致使许多与黄土崩解机制有关的基本问题尚未获得较为满意的答案,如黄土崩解的物质基础,黄土崩解的驱动力,以及黄土坡面侵蚀或坡体潜蚀过程中的崩解远没有实验中那么迅速的原因,哪些因素限制了崩解过程的继续进行等。同样,对于崩解性影响因素方面的研究也比较少,仅有的部分也因受研究目的局限,初步得出的一些结论往往带有

收稿日期:2014-09-23;修订日期:2014-11-28

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41130753);国家自然科学基金项目(40972174,41002101)

第一作者:王念秦(1964-)男,河南孟津人,教授,工学博士,主要从事岩土体稳定及地质灾害防治方面的教学、科研工作。E-mail: younglock@163.com

一定片面性。

为探索不同类型黄土边坡浸水崩解破坏的规律,了解不同浸水范围,不同浸水深度下的黄土试样崩解情况,本文在前人众多研究成果基础上<sup>[2-6]</sup>,自主研制黄土崩解实验装置、仪器,参考相关实验方案,模拟不同浸水范围、不同浸水深度黄土边坡浸水情况,探索研究水对黄土边坡的破坏作用产生的相关崩解规律。

## 1 基本构思与实验原理

黄土崩解破坏规律具有非常复杂的空间特征。物理、力学性质不同,结构构造不同,选样区域不同等都将造成实验结果有所差异。另外,改变浸水范围,如“一”字型边坡,“L”型边坡,“U”型边坡等,或者改变浸水深度,其崩解破坏规律也是不同的,实验结果也不尽相同。为确定研究方案,选取不同类型黄土边坡为研究区,研究对象为离石黄土,模拟不同浸水范围条件及不同浸水深度条件,对原状离石黄土崩解规律进行实验研究。

本次实验为便于分析土样崩解破坏变化规律,包括崩解过程曲线(崩解率  $A_t$  与时间  $t$  关系曲线)与崩解速率以及浸水深度—全崩解时间关系、不同浸水范围—全崩解时间关系,实验方案主要考虑以下几个控制因素:含水率、密度、孔隙率、浸水深度、浸水范围,在不考虑其他因素(即水的浮力、流水对土样的剥蚀作用、土样的吸水能力等)的影响下,设计实验基本原理,即采用质量守恒定律,模拟黄土边坡的浸水情况,黄土体通过崩解逐步塌陷,质量减少。

(1) 崩解量计算的基本公式为:

$$A = M_0 - M_{ti} \quad (1)$$

式中:  $A$ —— $t$  时刻的崩解量/kg;

$M_0$ ——土试样质量(电子称的初始读数)/kg;

$M_{ti}$ —— $t$  时刻的土试样剩余质量(土试样本身的质量,不包括土试样吸收的水量)/kg,可由下式计算:

$$M_{ti} = M_t - (V_L - V_l - V_s) \times \rho_w \times 1000 \quad (2)$$

式中:  $M_t$ —— $t$  时刻的电子称读数(包括土试样吸收的水量)/kg;

$V_L$ —— $t$  时刻通过流量计的水流量/ml;

$V_l$ —— $t$  时刻量筒读数/ml;

$V_s$ ——实验大烧杯中水的体积(可由烧杯的直径和高度计算)/ml;

$\rho_w$ ——水的密度,取  $1\text{g/cm}^3$ 。

(2) 崩解率计算基本公式为:

$$A_t = \frac{M_0 - M_{ti}}{M_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $A_t$ —— $t$  时刻试样崩解率/%;

$M_0$ ——开始时刻电子称读数/kg;

$M_{ti}$ —— $t$  时刻土样剩余质量/kg,可由(1.2)式计算得出。

(3) 崩解速率计算公式为:

$$v = \frac{(M_2 - M_1)}{t} \quad (4)$$

式中:  $v$ ——崩解速率/(kg/min);

$M_2$ ——崩解开始后  $t_2$  时刻土样崩解量/kg;

$M_1$ ——崩解开始后  $t_1$  时刻的土样崩解量/kg,崩解量计算见式(1)。

## 2 仪器研制

### 2.1 设备组成

本次实验利用黄土试样遇水发生湿化散解的特性,通过秒表控制时间,电子称、流量计、量筒控制质量变化,测试黄土试样崩解过程中质量损失过程及单位体积土样的崩解时间,并观察黄土试样吸水后的崩解破坏情况。

依据实验相关基本原理,参考有关实验装置及相关文献<sup>[1-4]</sup>,制作实验仪器见图1:

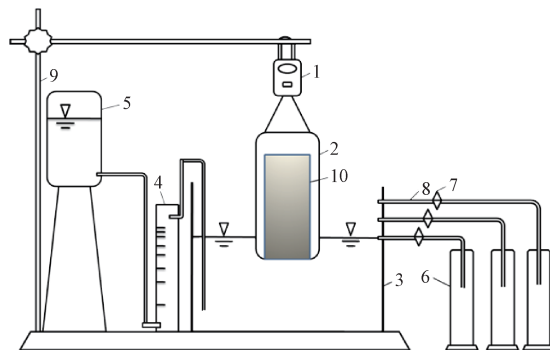


图1 实验装置设计图

Fig.1 The design of experimental device

1—电子称;2—细铁丝网篮;3—水槽;4—流量计;5—供水水瓶;

6—量筒;7—镊子开关;8—导管;9—铁架台;10—黄土试样

实验用实验仪器全貌照片见图2。

### 2.2 设备功能

实验仪器具有完成崩解实验及控制水流量两大基本功能,而两者约束条件不同,所对应的仪器功能也各不相同,具体分析如下:

(1) 崩解实验装置:将土样放在细铁丝网篮中,在水槽内进行土样崩解实验。实验利用秒表控制时间,



图2 仪器全貌图

Fig.2 Instrument close-up view

利用电子称读数确定土样崩解量。

另外,利用三根导管进行分流,控制不同的浸水深度。

(2)控制水流量装置:实验过程须保证水流量稳定,浸入土样的水位稳定,故利用流量计和供水水瓶控制流量,而导管、镊子和量筒可控制排出水的水量,进而计算土样崩解过程中的吸收水量。

### 3 崩解实验

#### 3.1 实验内容

(1)设计实验装置;

(2)测定黄土试样的含水率、密度、液限、塑限等基本参数;

(3)进行原状离石黄土试样崩解性实验,测定实验数据,具体内容如下:

a)黄土试样单面浸水情况下,浸水深度分别为3 cm、6 cm、9 cm时,记录黄土试样的初始重量,之后每隔30s记录电子称、流量计和量筒的读数、崩解过程中的各种现象、崩解破坏情况,完全崩解破坏所需时间(模拟“一”字型黄土边坡浸水崩解破坏情况);

b)黄土试样双面浸水情况下,浸水深度分别为3 cm、6 cm、9 cm时,记录黄土试样的初始重量,之后每隔30s记录电子称、流量计和量筒的读数、崩解过程中的各种现象、崩解破坏情况,完全崩解破坏所需时间(模拟“L”型黄土边坡浸水崩解破坏情况);

c)黄土试样三面浸水情况下,浸水深度分别为3 cm、6 cm、9 cm时,记录黄土试样的初始重量,之后每隔30s记录电子称、流量计和量筒的读数、崩解过程中的各种现象、崩解破坏情况,完全崩解破坏所需时间(模拟“U”型黄土边坡浸水崩解破坏情况);

d)黄土试样整体浸水情况下,浸水深度分别为3 cm、6 cm、9 cm时,记录黄土试样的初始重量,之后

每隔30s记录电子称、流量计和量筒的读数、崩解过程中的各种现象、崩解破坏情况,完全崩解破坏所需时间(模拟地下水位上升时黄土边坡浸水崩解破坏情况);

(4)对比实验数据,分析不同浸水深度、不同浸水范围对黄土崩解破坏的影响;

(5)黄土的崩解性对黄土边坡稳定性的影响研究。

#### 3.2 实验操作流程

实验开始时将试样放在悬挂于电子称下的网篮中,固定电子称顶端,同时记下电子称读数,控制左端仪器中的水匀速进入右端的盛水器皿中,开动秒表,直至水位达到指定高度。实验开始后每隔30s测记电子称读数、流量计及量筒的读数,并描述试样在崩解过程中的各种现象及破坏情况。当试样完全崩解破坏后,记录时间,实验即可结束。具体过程如下:

(1)试样制备,按设计要求取10 cm × 10 cm × 30 cm长方体试样,在试样三个侧面及底面外涂抹凡士林并粘贴隔水纸;

(2)安装试样,将试样放入电子称下的网篮中,读数;

(3)供水,关闭开关1、2,打开开关3,此时浸水高度为3 cm,通过左侧导管将水注入水槽中,直至水从右侧的导管3中流出,此时开始计时,注意保证水位不变;

(4)此后每隔30s读数一次,读数包括电子称的读数,流量计的读数,以及量筒的读数,填写“崩解规律”记录表格,并描述黄土试样的崩解和破坏情况,直至黄土试样完全崩解破坏,记录完全崩解破坏所需的时间;

(5)清洗仪器;

(6)试样制备,按设计要求取10 cm × 10 cm × 30 cm长方体试样,在试样两个侧面及底面外涂抹凡士林并粘贴隔水纸;

(7)重复步骤2~5;

(8)试样制备,按设计要求取10 cm × 10 cm × 30 cm长方体试样,在试样其中一个侧面及底面外涂抹凡士林并粘贴隔水纸;

(9)重复步骤2~5;

(10)试样制备,按设计要求取10 cm × 10 cm × 30 cm长方体试样,不粘贴隔水纸;

(11)重复步骤2~5;

(12)关闭开关1、3,打开开关2,此时浸水高度为6 cm;重复步骤1~11;

(13)关闭开关2、3,打开开关1,此时浸水高度为

9 cm;重复步骤 1~11;

(14)整理仪器及实验数据。

### 3.3 实验的物理过程描述

土样制备及安装完成后,读取电子称读数,此时开动秒表,实验开始,水槽内的水位逐渐上升到接触至土样底面,土样开始崩解,电子称读数开始变化,由于土体内部存在虫孔或结构面,土体吸水能力增加,崩解速率加快,同时土样侧面出现吸水渗流现象,电子称读数迅速减小,一段时间后土体稳定崩解,电子称读数开始稳定减小,直至浸水水位达到实验设计的土样浸水深度,此时水从水槽侧壁导水管流出,电子称读数减少的速度开始变缓,土体侧面渗流锋面基本稳定,在此过程中由于各个侧面浸水崩解速度的差异,土样突然朝着一面倾倒,土体吸水速度迅速增加,崩解速度迅速加快,电子称读数减少的速度也突然加快,经过一段时间后电子称读数才再次稳定减小,土样开始稳定崩解,直至土样完全浸入水中,崩解实验完成,崩解完成后的土样只剩土体内部的姜结石和部分流态的土体。

## 4 实例应用

本次实验设计模拟不同类型黄土边坡在浸水条件下的崩解破坏情况,实验中对原状离石黄土土样在不同浸水深度,注水流量约为 0.8 L/min 条件下,进行崩解实验,实验取西安某地原状离石黄土试样 4 组,共 12 件,分别做不同浸水范围(单面,双面,三面,整体浸水)情况下,浸水深度为 3 cm、6 cm、9 cm 的崩解实验,得到离石黄土在不同浸水条件下,黄土体的崩解时间、崩解过程、崩解现象资料,获得浸水深度一定体积土体崩解时间关系,不同浸水范围一定体积土体崩解时间关系,不同浸水深度、不同浸水范围下的黄土试样崩解过程中土体崩解率(质量损失/原质量)—时间关系与崩解速率—时间关系。实验得到了一系列水—土作用过程中崩解规律的实验数据,基本达到了实验设备设计的目的,并绘制了离石黄土崩解率  $A_t$  与时间  $t$  关系曲线图(图 3)及崩解速率  $v$  与  $t$  关系曲线图(图 4)。

由图 3 可知,崩解率  $A_t$  与时间  $t$  关系大致呈线性分布,试样浸水后,土体崩解开始发生,直至土体完全崩解,证明了水对土体的崩解破坏影响,验证了此黄土体崩解仪器的有效性。图 4 亦表明:离石黄土根据其崩解速率的不同可划分为浸水水位上升过程中的快速崩解阶段及浸水水位稳定后的趋稳崩解阶段,符合自然情况下黄土体遇水后崩解破坏规律,证明了实验设备具有可操作性和可行性。

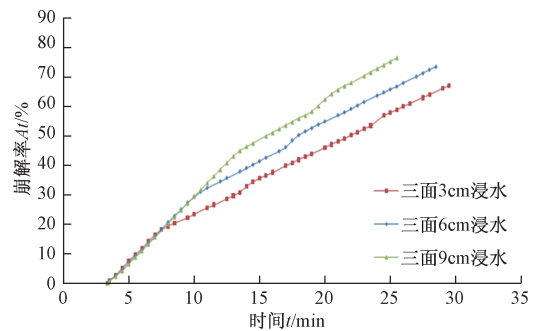


图 3 三面浸水不同浸水深度条件下  $A_t$ - $t$  关系图

Fig. 3 Diagram of  $A_t$ - $t$  that three sides of flooding under the condition of different immersion depth

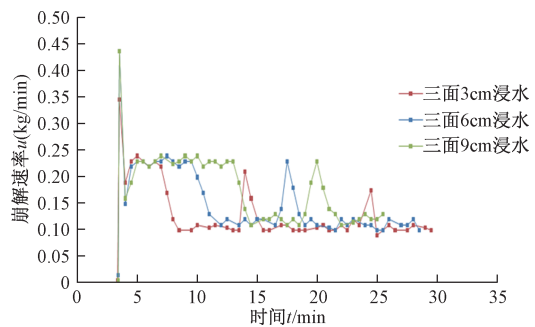


图 4 三面浸水不同浸水深度条件下  $v$ - $t$  关系图

Fig. 4 Diagram of  $v$ - $t$  that three sides of flooding under the condition of different immersion depth

## 5 结论

基于黄土灾害认识,研制了黄土体崩解仪器,以期揭示水-土作用机理。研制设备由完成崩解实验所需要的电子称、秒表、细铁丝网篮、水槽及控制水流量所采用的流量计、供水水瓶、量筒、镊子、导管等组成,可用于模拟“一”字型坡、“L”型坡、“U”型坡、地下水位上升等情况下不同浸水深度的整个崩解过程。所研制设备具有简单、灵活、占用空间小、操作方便、取样较易等特点。利用研制设备对原状离石黄土样品进行实验研究,设计了不同浸水范围(单面、双面、三面、整体)与不同浸水深度(3 cm、6 cm、9 cm)的控制条件,获得了离石黄土崩解规律实验数据,得到了不同浸水条件下,离石黄土崩解率  $A_t$  与时间  $t$  关系曲线图及崩解速率  $v$  与  $t$  关系曲线图。实验结果符合实际,说明实验设备能够真实反映离石黄土土体的崩解破坏机理,效果较好。

黄土浸水后崩解过程十分复杂,影响因素亦十分多样,本实验仪器仅利用简单装置真实再现大块定体积黄土体崩解过程,研究是初步的,未来研究将引入多

种传感器,测定崩解实验过程中渗流条件、土体浮力、基质吸力、孔隙水压变化等方面的影响因素,逐步完善设备功能。

#### 参考文献:

- [1] 蒋定生,李新华,等.黄土高原土壤崩解速率变化规律及影响因素研究[J].水土保持通报,1995,15(3):20-27.  
JIANG Dingsheng, LI Xinhua, et al. The loess plateau soil disintegration rate change rule and influence factors of research [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1995, 15(3):20-27.
- [2] 李家春,崔世富,田伟平.公路边坡降雨侵蚀特征及土的崩解试验[J].长安大学学报(自然科学版),2007,27(1):23-26.  
LI Jiachun, CUI Shifu, TIAN Weiping. Highway side slope rainfall erosion characteristics and the disintegration of the soil [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science), 2007, 27(1):23-26.
- [3] 李家春,田伟平.工程压实黄土崩解试验研究[J].重庆交通学院学报,2005,24(5):74-77.  
LI Jiachun, TIAN Weiping. Engineering experimental study compaction loess disintegration [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2005, 24(5):74-77.
- [4] 李喜安,黄润秋,彭建兵.黄土崩解性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(Z1):3207-3207.  
LI Xi'an, HUANG Runqiu, PENG Jianbing. The loess disintegration test research [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(Z1):3207-3207.
- [5] 李家春,马保成,田伟平,等.黄土地区公路边坡降雨失稳预报研究[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(3):38-41.  
LI Jiachun, MA Baocheng, TIAN Weiping, et al. The loess highway slope in rainfall forecast research of instability [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(3):38-41.
- [6] K Wastson. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials[J]. Water Resources Res, 1966(2):709-715.
- [7] 李维朝,戴福初,闵弘,等.基于降雨滑坡机理的水文过程监测系统设计[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(4):22-26.  
LI Weichao, DAI Fuchu, MIN Hong, et al. Based on the mechanism of rainfall landslides hydrological process monitoring system design [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(4):22-26.
- [8] 许领,李宏杰,吴多贤.黄土台缘滑坡地表水入渗问题分析[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(2):32-34.  
XU Ling, LI Hongjie, WU Duoxian. The loess platform margin landslide surface water infiltration problem analysis [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(2):32-34.
- [9] 卢靖,程彬.非饱和黄土土水特征曲线的研究[J].岩土工程学报,2007,29(10):1591-1592.  
LU Jing, CHENG Bing. The research of unsaturated loess soil water characteristic curve [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(10):1591-1592.

## 敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部