

文章编号:1001-4888(2005)02-

冻土试验微机控制系统研究与应用^{*}

汪仁和^{1,2}, 王秀喜¹, 崔 灏²

(1. 中国科学技术大学 力学和机械工程系, 合肥 230022; 2. 安徽理工大学 土木工程系, 淮南市 232001)

摘要: 根据人工冻土力学性能的特点和试验规程, 研究在同一台试验机上, 设计出冻土单轴抗压强度试验和单轴蠕变强度试验的微机控制系统, 系统设置了应力控制加载、应变控制加载和蠕变试验三个独立系统, 并可以根据人为要求设定试验参数和微机控制试验; 系统记录了全部试验数据, 设置了查询、报表和图形等输出功能。文中介绍了冻土试验微机控制系统的关键技术, 给出了冻土试验实例, 对冻土力学性能的研究以及冻土试验机研制有较好的参考价值。

关键词: 冻土; 试验机; 微机控制; 应力加载; 应变加载; 蠕变

中图分类号: TD265.3

文献标识码: A

1 引言

冻结法是在深厚不稳定含水地层矿区的一种最常用的特殊凿井方法。近年来, 随着我国对煤炭能源需求的日益增大, 煤矿新井建设任务非常艰巨。例如: 淮南、淮北两个华东煤炭基地, 计划近期新建煤矿就达 10 多个矿井, 几十个井筒。山东也在建设几对特大型矿井, 它们穿越表土地层的厚度越来越大, 大多数在 300m~650m 左右。这些井筒绝大部分都采用冻结法凿井。另外, 我国西部永久性冻土与季节性冻土区域面积占国土总面积的 60% 以上, 在我国西部大开发建设中, 西气东输、西电东输工程、青藏铁路、青藏公路等大型国家建设项目中的冻土地基问题, 都涉及到冻土的力学性能试验和力学性能指标的确定^[1-3]。

冻土的力学性能指标与其试验方法密切相关, 为了能够按不同的工程特点和要求进行冻土力学性能的试验, 获取准确的冻土力学性能指标, 必须有一套严格试验控制系统, 包括恒温控制精度、加载方式和数据采集系统。由于工程条件的千差万别, 其试验条件和目的不一样。因此, 试验机应能满足各种工程条件的要求和试验要求^[4-7]。

目前我国进行冻土试验的单位主要有中科院兰州冻土研究所、中国煤炭科学研究院北京建井研究所、安徽理工大学冻土研究所等为数不多的几家单位。以往冻土试验大多在冷库中进行, 设备和人员均在冷库中工作, 环境差, 且由于冷库空间大, 温度难于精确控制。为了克服如上缺点, 中科院兰州冰川冻土研究所利用国外设备进行改造, 即在 MTS 试验机上加装低温箱进行冻土试验。但真正属于国产冻土试验机微机控制试验产品(包括试验过程计算机程序控制、数据采集软件的设计等)尚未见到报道。为此, 研究我国冻土控制试验机十分必要。

2 控制系统

实现冻土试验过程的自动控制, 避免过多的人为影响因素, 是提高试验的真实性、科学性和向智能型

^{*} 收稿日期: 2004-03-11; 修订日期: 2004-09-29

基金项目: 安徽省自然科学基金资助(01044503)

通讯作者: 汪仁和(1956-), 男, 教授, 安徽理工大学土木工程系主任, 在职申请中国科技大学博士学位。主要从事冻土工程与岩土力学的教学与科研。E-mail: rhwang@hnit.edu.cn

试验发展的过程,也是客观地掌握冻土力学性能的基础条件,是课题研究的目标。

2.1 温度控制系统

冻土强度的大小主要取决于冻结温度的高低,因此,研究试验装置中的冷冻方式和恒温控制就成了冻土试验的关键技术之一。为了实现低温箱的制冷速度快、恒温效果好,以及温度和位移传感器(适用于低温环境)的安设,同时考虑将低温箱安置在试验机内部、低温箱的设计容积为 $450 \times 450 \times 450 \text{ mm}$ 。低温箱的制冷方式采用热平衡式(温度控制精度高)以保证箱内温度的恒温控制,低温箱内温度的不均匀度达到 $\pm 0.3^\circ\text{C}$,温度显示精度为 0.1°C ,符合试验规范的要求。整个压力机设备的其余装置均在室温下工作,为试验人员提供良好的工作条件。

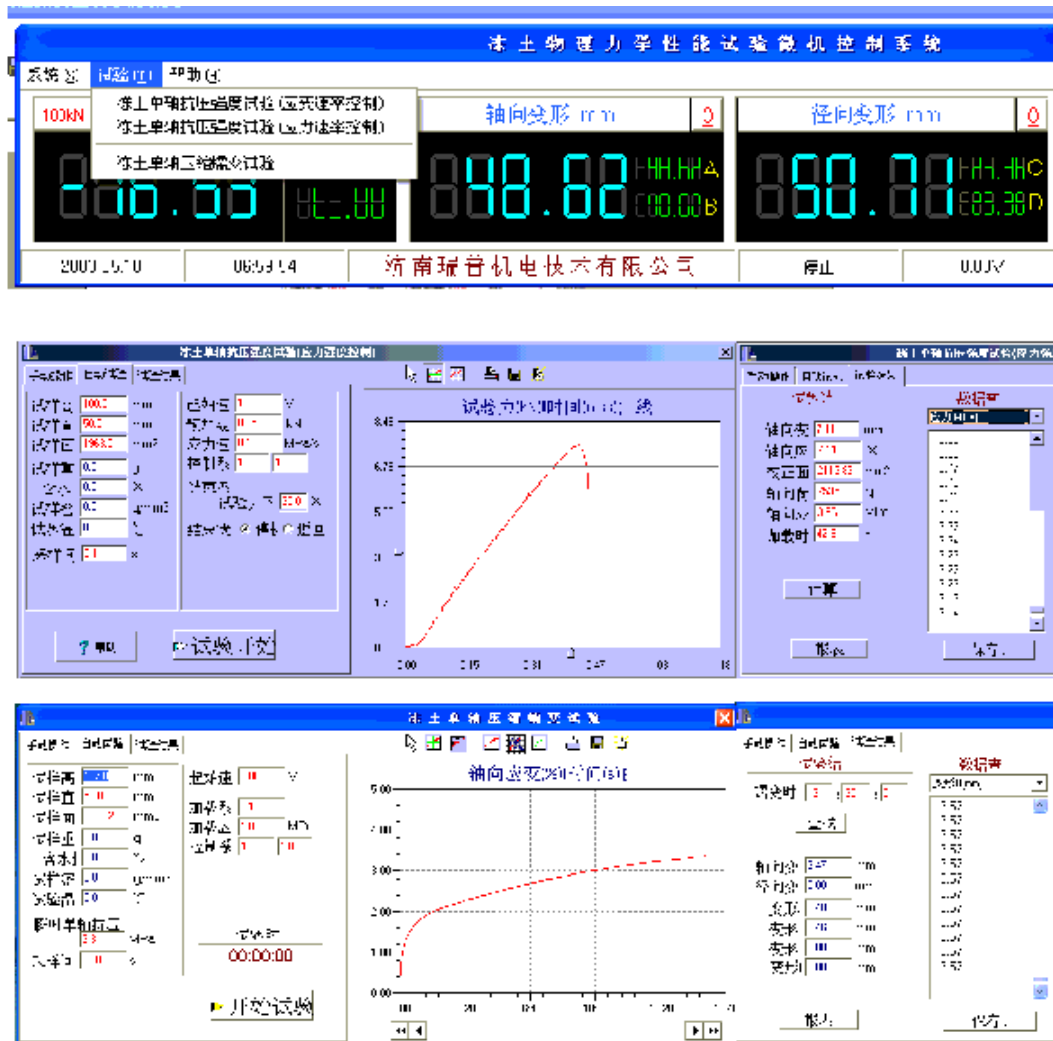


图1 TDW-100kN 试验机功能显示

Fig. 1 Functional screen of TDW-100kN testing machine

2.2 加载方式的控制

加载方式与控制是冻土力学性能特性的研究核心。为此,作者根据多年对冻土力学性能的研究,提出冻土力学性能试验首先应该保证加载方式的可选和试验过程的稳定和可控目标。在冻土试验机的设计上采用了液压比例加载系统,并选用进口的液压泵机组、溢流阀及电液比例伺服阀等液压元件,实现了系统的稳压工作。另外,在试验机的控制系统上,还要求其具有较宽的选择性,加载方式和试验条件的控制可以根据工程具体要求设定。具体说,对冻土试验应该具有应力加载和应变加载两种不同的方式,并根据工程的具体情况选择加载方式和设定加载速率、结束标准等。研制的冻土试验机同时具备了:应力控制加载系统、应变控制加载系统和蠕变加载的界面和选项卡,如图1所示。可以看出,试验机具有较强的冻土试验功能^[8,9],满足冻土力学性能的试验要求。

3 试验结果

3.1 应变控制加载与应力控制加载试验

制作直径 $\varphi 50\text{mm}$ 高度 100mm 的砂土试样,放在低温箱中在 -10°C 的环境下养护 48 小时后进行冻土试验。试验加载方式选择应变控制和应力控制两种方式。试验结果如图 2、图 3 所示。

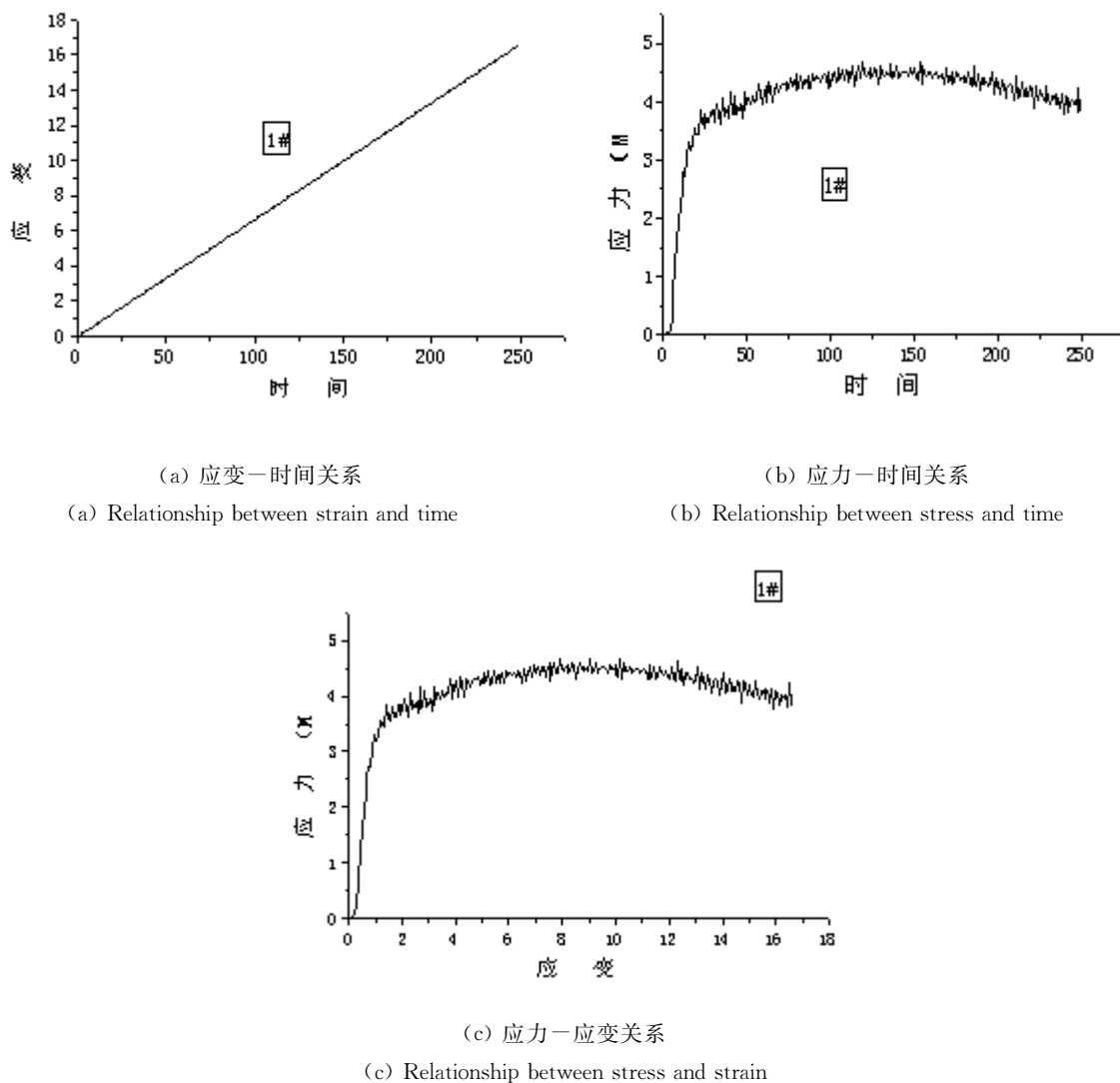


图 2 应变式加载应变、应力与时间的关系

Fig. 2 Relationship among strain, stress and time under strain control loading

图 2 为应变控制加载方式,应变控制速率为 $2\%/min$ 。可见,整个试验过程中应变的增加与时间呈线性关系,实现了应变控制加载。图中三条曲线,分别对应应变与时间的关系、应力与时间的关系和应力与应变的关系。从 3 条曲线的对应关系完全可以得出,加载时间在 25 秒时,对应应变为 1.5% ,冻土达到弹性极限,所对应的冻土强度为 3.6MPa 。

图 3 为应力控制加载方式,应力控制速率为 0.1MPa/s 。显然,在试验过程中应力呈等速增加,实现了应力控制加载。图 3 提供了应力加载方式下,应力与时间、应变与时间和应力与应变之间的关系。分析曲线的对应关系可见,在试验加载初期(加载时间在 35 秒内),应力增加与时间关系基本呈线性,而后加载应力出现波动,处于不稳定状态,此时,对应的应变与时间关系曲线,表现出应变急剧增大,同时,应力与应变关系曲线也出现波动,冻土达到弹性极限,此时冻土强度为 3.4MPa 。

3.2 蠕变试验

蠕变试验温度取 -8°C ,蠕变试验荷载分别为:1.236 MPa、2.060 MPa 和 2.884 MPa,试验结果如图 4。在整个试验过程中,蠕变应力十分稳定,偏差小于 1%。

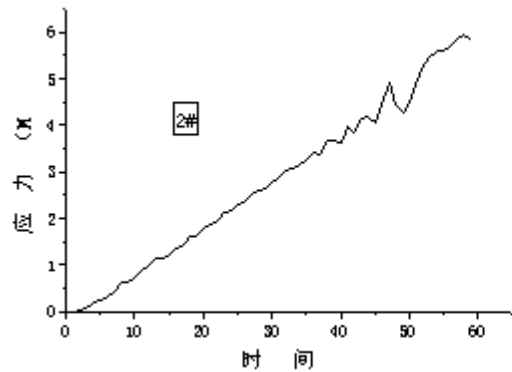


图 3(a) 应变—时间关系

Fig. 3(a) Relationship between strain and time

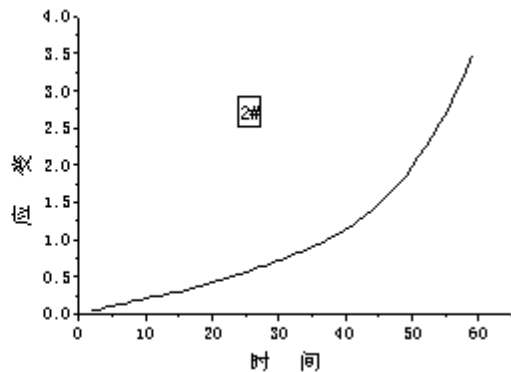


图 3(b) 应力—时间关系

Fig. 3(b) Relationship between stress and time

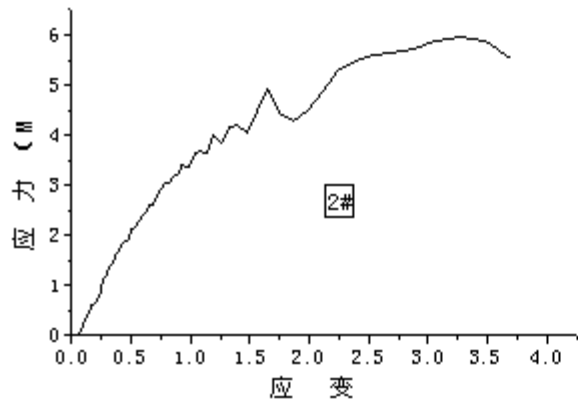


图 3(c) 应力—应变关系

Fig. 3(c) Relationship between stress and strain

图 3 应力控制加载应力、应变与时间的关系
Fig. 3 Relationship among strain, stress and time under stress control loading

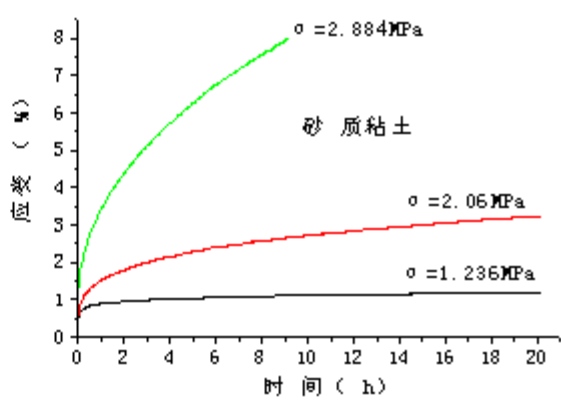


图 4 冻土蠕变试验曲线

Fig. 4 Curves of creep tests for frozen soil

4 结语

冻土试验机研制可分为试件的冷冻部分、试验机部分和试验控制三大部分。冷冻部分重点是箱体的绝热和冻结温度的恒定;试验机部分重点是恒压控制;试验控制重点是提出试验要求和自动控制试验的软件设计,该部分本身就试验技术和科学试验来说是非常关键的,可以说它已成为现代实验的一个标准样式。该冻土试验机的研制从构想上,致力于设备结构紧凑、试验内容丰富、试验过程参数设定、自动采集试验数据等目标,并成功地实现了如下控制试验部分的软件设计,使试验过程智能化。

- 1) 试验初始条件的设定,包括预加荷载、各传感元件读数的归零等;
- 2) 应力和应变加载方式下,加载速率可调、采集时间和试验结束方式可按要求设定;
- 3) 蠕变荷载大小、数据采集间隔时间和试验结束条件可按具体试样条件设定;
- 4) 试验全过程的计算机图形跟踪显示,采集数据内容丰富,输出方式多样、可选。

参考文献:

- [1] 陈瑞杰等. 人工地层冻结应用研究进展和展望[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 40~44 (CHEN Rui-jie *et al.* Development and Prospect of Research on Application of Artificial Around Freezing. Chinese. Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(1): 40~44 (in Chinese))
- [2] 章金钊等. 青藏公路冻土路基设计研究[J]. 高速, 2000, 22(1): 13~17 (Zhang Jin-zhao *et al.* Design Research of Embarkment of Qingzang Highway in Frozen Soil Regions. HIGHWAY, 2000, 22(1): 13~17 (in Chinese))
- [3] 窦明健等. 多年冻土地区路基设计原则及其应用[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 403~406 (DOU Ming-jian, *et al.* the Design Principles of Embarkment of Highway in Permafrost Regions and their Application. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(4): 403~406 (in Chinese))
- [4] 令锋等. 冻土应力—应变曲线的分形逼近[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(增刊): 15~20 (LING Feng *et al.* Fragmentation approach of frozen soil stress—strain curve. Chinese Science(D), 1999, 29(supplement): 15~20 (in Chinese))
- [5] 李宁等. 冻土力学的研究进展与思考[J]. 力学进展, 2001, 31(1): 95~102 (LI Ning *et al.* Research Development and Consideration of Frozen Mechanics. Mechanics Development, 2001, 31(1): 95~102 (in Chinese))
- [6] 马魏等. 加载卸载对人工冻结土强度与变形的影响[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 563~566 (MA Wei, *et al.* Influence of Loading and Unloading on Strength and Deformation of Frozen Soil. Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 23(5): 563~566 (in Chinese))
- [7] 林斌等. 淮南地区冻土力学性能试验结果与分析[J]. 西安科技大学, 2003, 23(4): 389~393 (LIN Bin *et al.* Mechanical Performance Study of Typical Frozen Soil in Huainan Coalmine. Journal of XI'AN University of Science and Technology, 2003, 23(4): 389~393 (in Chinese))
- [8] 《人工冻土单轴抗压强度试验方法》MT/T593. 4—1996 (Standard of Artificial Frozen Soil Compression Strength Experiment. MT/T593. 4—1996 (in Chinese))
- [9] 《人工冻土单轴蠕变强度试验方法》MT/T593. 5—1996 (Standard of Artificial Frozen Soil Uniaxial Creep Experiment. MT/T593. 5—1996 (in Chinese))

A Study and Application on Computer Control System for Frozen Soil Experiments

WANG Ren-he' WANG Xiu-xi, CUI Hao

(1. Department of Power and Mechanical Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230022, China;

2. Department of Civil Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China)

Abstract: According to the characteristic of the mechanics performance of artificial frozen soil and experimental rules, a computer controlled system for artificially frozen soil was developed at a single testing machine. The machine can carry on tests not only for the compression strength of single axis but also for the creep strength of single axis. In the experiment system three individual loading ways were set up and allowed to be chosen according to the test demands. They are the stress control, strain control and creep test. At the same time, the system can completely assign experiment parameters according to requests and carry on the computer to control tests. The system can write down all test data, and has the outputting functions of setting up inquiry, report form and figure, etc. The key technology of the computer controlled system was introduced. A few of experiment examples were presented. The results have valuable reference meaning for studying frozen soil mechanics experiments and for manufacturing frozen soil testing machines.

Key words: frozen soil; testing machine; computer control; stress loading; strain loading; creep