

DM-10冻土试验仪的研制与应用

谢茵琦 王建国

(黑龙江省水利科学研究所)

一、研制目的

随着冻土研究的日益深入，迫切需要对土的冻结特性试验实施有效的边界条件控制，并进行多因素综合试验和短缩试验周期。由于室内冻土试验的模拟相似律目前尚不完善，在“水、土、温、压”等实际物理过程方面的模拟相似关系尚未完全建立，因而对冻土的室内模拟试验提出了更高、更精确的试验边界条件的控制要求。过去在大型低

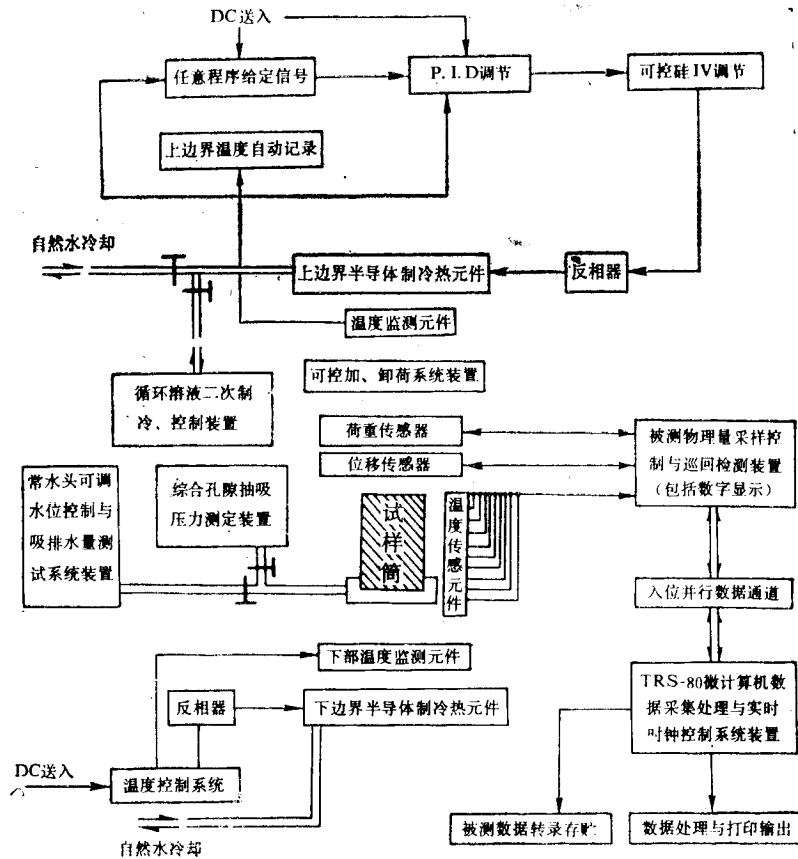


图1 DM-10型可控程序半导体冻土仪原理框图

Fig. 1 Principal scheme of DM-10

温室内进行冻土模拟试验，工作条件恶劣，而所需的检测元件和仪器设备均需在低温条件下工作，给某些边界的控制造成困难，如对开敞系的水源补给和迁移水量的测量就难以实现。为了解决上述困难，使室内冻土模拟试验技术向常规化、标准化、自动化方向发展，我们利用半导体制冷技术和碳膜程序控制原理，研制出了DM-10冻土试验仪。

DM-10半导体制冷任意程序冻土试验仪，是一台多功能的冻土试验装置。它可以完成任意约束方式下土的冻胀特性试验，并可对试验过程中的上边界温度过程实行任意程序自动控制、检测、记录，可完成冻胀力、冻胀量、冻结过程中吸、排水量，综合抽吸压力，物理参数的定时检测。该仪器具有体积小、功耗低、无噪音、操作简便、功能齐全，以及试验精度和自动化程度高等特点。

该仪器的主要构成和系统控制原理见图 1。

二、DM-10 的主要组成部分

该仪器由主机箱，控制仪表柜，检测仪表柜三大部分组成。主机箱长1400mm，宽

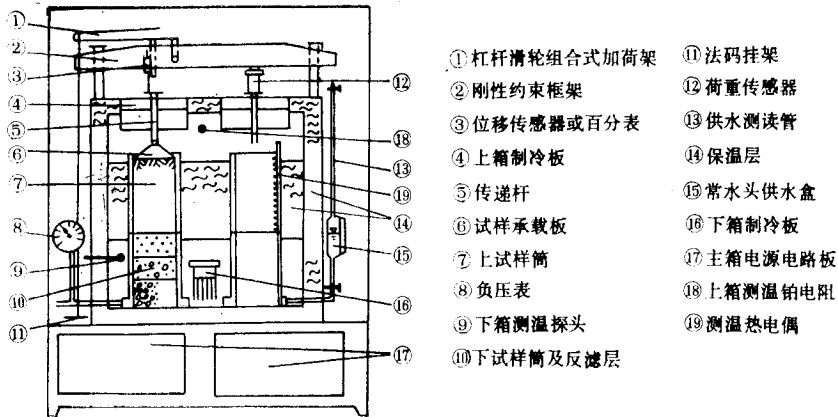


图 2 主箱体剖面示意图

Fig. 2 Test apparatus of DM-10

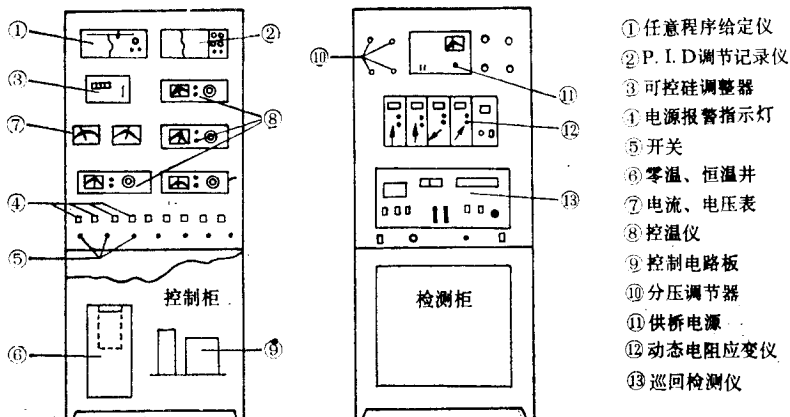


图 3 控制柜、检测柜示意图

Fig. 3 Control and Measure system

950mm，高1800mm；控制仪表柜和检测仪表柜长300mm，宽500mm，高1700mm，其主要结构型式和组成部分见图2和图3。

三、控制原理与检测流程

1. 上边界环境温度的任意程序自动控制原理

依据半导体温差制冷中制冷量与供给制冷原件的电流和电压成比例的珀耳粘效应，利用碳膜程序控制原理，用聚脂薄膜涂碳银质电极纸绘出已给定的任意程序在某一时刻的标准电压值，与温度传感元件在同一时刻检测出的被控制环境温度所产生的电压值进行放大比较，再经P、I、D（比例、积分、微分）调节后，送出调节控制信号，经可控硅调正放大后，结合设定的控制周期，控制供给半导体制冷板的电流和电压，达到上边界环境温度任意程序自动控制的目的。通过调整程序过程和控制周期，亦可达到控制升、降温速率的目的。

2. 下边界环境温度和零温恒温井的温度控制

同样利用温度传感元件随时检测某一时刻被测（被控）环境温度所得到的电压信号与给定的定值信号相比较，控制继电器接通或断开供给制冷元件的电源，达到手调控制恒温的目的。

3. 温度越限报警与自动保护

用非电量-电量转换原理控制报警电路开关；当被控环境温度超过预定的上、下限值时，即发出报警信号并自动切断该系统供电电源。

4. 半导体制冷元件的自动保护

由于制冷板的工作电流较大，当循环冷却水停止供水时，制冷板会因急剧升温而烧坏。为保护制冷板，在每块板的循环冷却水管路上都装有一个电磁阀。当循环冷却水因故受阻时，即自动报警，同时切断供电电源。

上述的试验仪控制原理、基本构成和工作流程见图4和图5。

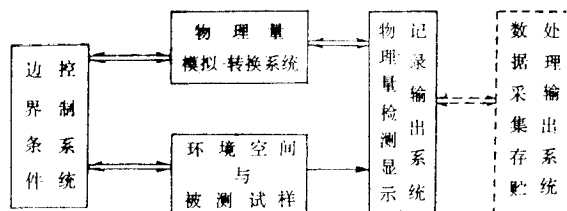


图4 DM-10冻土试验仪系统构成框图

Fig. 4 DM-10 system

5. 主要物理量的检测过程

温度（环境温度和试样内部温度）的检测采用自制的镍铬铜热电偶作为测温元件；冻胀量和冻胀力的检测分别用电阻应变式的位移传感器和荷重传感器作为检测元件。其物理量的非电量-电量转换与显示过程如图 6 所示。其中检测上、下边界环境温度及试样内部温度的热电偶直接接入巡检仪。冻胀力的测量则利用动态电阻应变仪作为荷重传感器的供桥电源及放大转换器，将转换出的电压信号经分流电路分压后，送巡检仪进行模数转换，显示出原物理量。冻胀量的检测过程与冻胀力的检测大致相同，只是利用动态应变仪的标定偏置电路，可以对位移传感器的任意初始位置进行零点零位调节，使用更加方便。

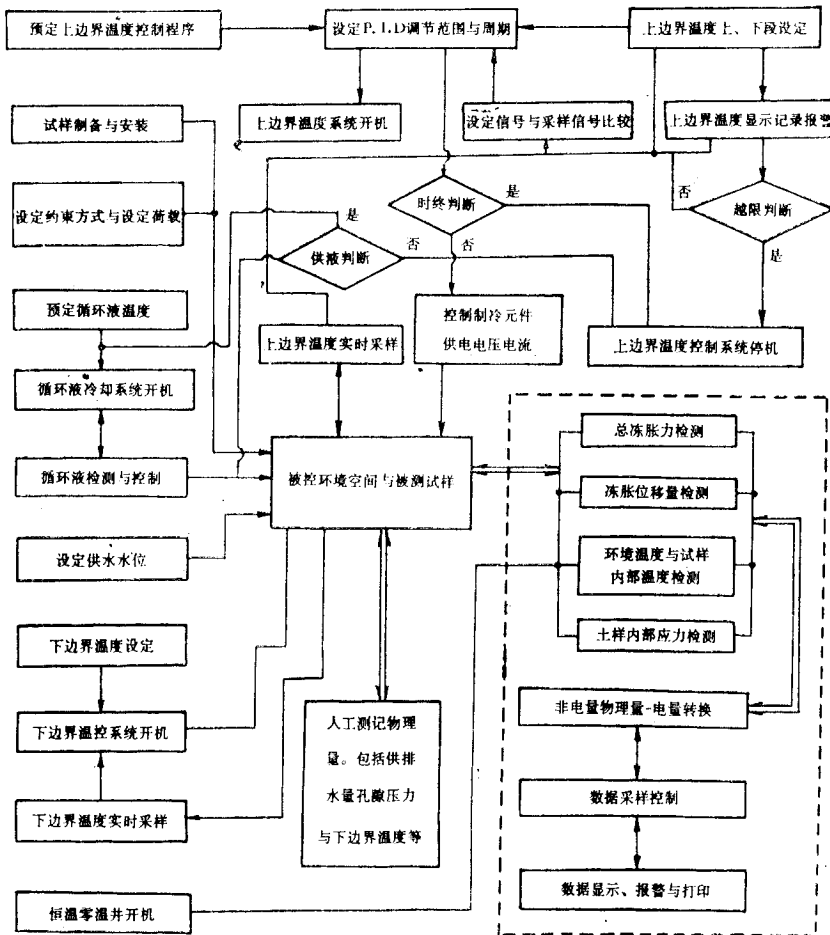


图 5 DM-10冻土试验仪工作流程图

Fig. 5 Working processes of DM-10

侧面系统用二等标准温度计，测力系统用三等标准测力计，位移系统用百分表标定。检测系统的最大误差：温度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，冻胀力为 $\pm 2.5\text{kg}$ ，冻胀量为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，能满足试验要求。

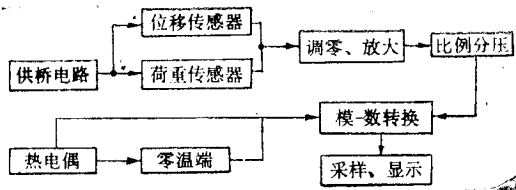


图6 主要物理量检测流程框图

Fig. 6 Observation processes of physical parameters

四、仪器的主要技术性能

(1) 一次可以同时进行4个试样的任意冻结控制方式的模拟试验。

(2) 对任一个试样或全部试样都可进行以下约束方式的冻结、融解试验：(a) 无约束的自由冻结、融解试验；(b) 施加任一级荷载的半约束冻结、融解试验；(c) 不允许试样有冻胀变形的全约束冻结、融解试验。

(3) 每个试样的加荷范围为0—1500kg，加荷控制精度为 ± 2.0 kg。

(4) 每个试样都可按开敞或封闭条件进行试验，均有常水头可调水位供水装置。水位调节范围： $+0.5 - -0.6$ m（以上试样筒底为零点）。

(5) 对每个试样都可进行供、排水水量的测量，测读精度为 ± 0.5 ml。亦可进行冻结期综合抽吸压力的测定，测读精度为 ± 5.0 mm汞柱。

(6) 对每个试样都能进行冻胀量、冻胀力、冻胀应力和温度的数字化自动显示监测，并且具有限值设定和越限报警功能。

(7) 对试验的上边界环境温度过程可以进行任意程序自动控制或手动控制，并有显示、检测和连续记录功能。在环境气温为 20°C ，冷却水温为 14°C 时的温度控制范围为： $-20^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$ ，控温精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

(8) 可以对上边界程序执行周期进行128h以内任意控制周期长度的设定，以及环境温度的上、下限值设定。下边界环境温度实行手动调节控制，控制范围：环境气温至 $+2.0^{\circ}\text{C}$ ，控温精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

五、实际应用简介

1. 上边界环境温度的制冷效果

仪器内装入4个试样，在环境气温为 20°C ，冷却水温度为 14°C 的情况下，开机后的初始降温速度为 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，20min后逐渐变慢，4h后箱内温度下降到了 -21.0°C 。当环境气温为 28°C ，冷却水温为 22°C 时，开机4h后，箱内温度降至 -13.0°C 。其降温过程如图7所示。如果冷却水温进一步下降，可获得更好的降温效果。

2. 上边界环境温度的任意程序控制效果

按图8所示的温度过程线，进行了连续五个不同周期的程序控制试验。试验结果，

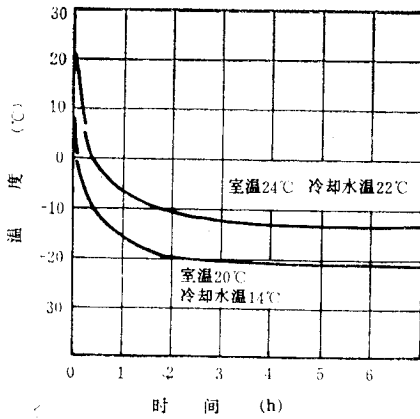


图7 DM-10实际降温过程线
Fig. 7 Cooling process

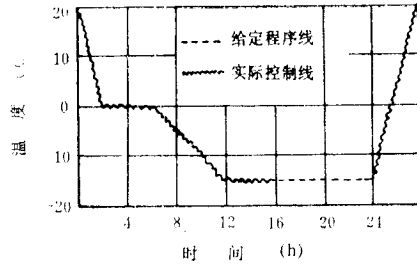


图8 程序自动控温过程线
Fig. 8 Automatic temperature control process

上边界环境温度的实际被控温度过程线与给定的程序过程线很吻合。实际温度过程线在程序曲线上的上、下最大波动范围为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3. 整机的试验运行考核

通过实际运行考核证实，该仪器的各项性能均达到了设计标准。在试验中曾进行了连续108h运行，初步证实了本仪器具有长期连续稳定工作的能力。能够满足室内冻土试验中对各种边界条件的控制要求，适用于多种要求的冻土试验。

DM-10的研制与应用，为冻土试验增添了新的测试手段，取得了较好的效果。该仪器虽然能够满足室内模拟试验的要求，但其各项性能指标仍需进一步提高，并应向微机控制方面发展。

Design and Application of Frost Test Instrument Named DM-10

Xie Yinqi and Wang Jianguo
(Water Conservancy Institute of Heilongjiang Province)

Abstract

DM-10 frost test instrument was made by semi-conductor cooler with automatic temperature controller. Its basic principle, construction, characteristics and applications are discussed in this paper.