

DOI :10.3880/j. issn. 1006-7647. 2011. 04. 020

季节冻结深度自动监测技术试验

汪恩良^{1,2}, 孙景路^{1,2}, 高占坤^{1,2}, 常俊德^{1,2}

(1. 黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080 ; 2. 黑龙江省季节冻土区工程冻土重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150078)

摘要 通过测试土样初始冻结温度, 建立野外现场温度自动化远程实时监测系统, 利用初始冻结温度等温线深度代替冻结锋面, 计算季节冻土层厚度, 为冻土学冻结深度观测自动化提供依据。试验结果表明 冻结过程相关系数为 0.97, 融化过程相关系数为 0.98, 整个冻融过程相关系数为 0.98 ; 用温度场冻结点等温线观测冻深的方案是可行的, 可以实现冻融过程自动化实时监测, 且观测精度较高。

关键词 冻土 ; 季节冻结深度 ; 自动监测 ; 冻结温度等温线

中图分类号 : P951 **文献标识码** : B **文章编号** : 1006-7647(2011)04-0087-03

Automatic monitoring technology for depth of seasonal freezing // WANG En-liang^{1, 2}, SUN Jing-lu^{1, 2}, GAO Zhan-kun^{1, 2}, CHANG Jun-de^{1, 2} (1. Heilongjiang Provincial Hydraulic Research Institute, Harbin 150080, China ; 2. Heilongjiang Seasonal Frozen Soil Region Engineering Frozen Soil Key Laboratory, Harbin 150078, China)

Abstract : By testing the initial freezing temperature of soil samples, an automatic and remote real-time field temperature monitoring system was established. The thickness of seasonally frozen soil was calculated by substituting the freezing front by the depth of the initial freezing temperature isotherm so as to provide basis for the automatic observation of freezing depth in cryopedology. The test results show that the correlation coefficient of the freezing process is 0.97, that of the thawing process is 0.98, and that of the whole freezing-thawing process is 0.98. The scheme of observing freezing depth by means of the freezing point isotherm of temperature field is feasible, the real-time monitoring of the freezing-thawing process can be automatically achieved, and the observation accuracy is much higher.

Key words : frozen soil ; thickness of seasonally frozen soil ; automatic monitoring ; freezing temperature isotherm

冻土, 一般指温度在 0℃ 或 0℃ 以下并含有冰胶结体的各种岩土和土壤^[1], 我国约有 98.9% 的国土面积被不同类型的冻土所覆盖, 其中季节冻土区面积为 513.7 万 km², 占国土面积的 53.5%, 主要集中在东北、西北和华北地区^[2]。在广大的季节冻土区, 工程建筑物因基础土体冻胀而引起的冻害现象随处可见, 至今未能得到根本解决^[3]。因此, 开展季节冻土区工程建筑物冻胀破坏的试验研究工作, 具有重大意义。

因为冻土的许多物理、力学特性的形成条件十分复杂、随机, 很难通过理论计算和室内试验加以确定, 所以, 工程建筑物抗冻技术研究必须有相应的室内模拟试验和相应的野外试验场来揭示工程建筑物冻害破坏的特征与规律。SL 23—2006《渠系工程抗冻胀设计规范》^[4] 和 SL 211—2006《水工建筑物抗冰冻设计规范》^[5] 中对工程所在地的冻深(以下简称冻深)要求统计资料系列不宜短于 20a, 因此, 季节冻深的长系列观

测对工程设计、施工和研究工作至关重要。

目前, 我国在工程冻土试验研究设施、试验手段、数据采集装置、模拟程度等方面进展很快, 基本能够实现试验数据的自动采集与分析。然而, 在冻土室内模拟试验和野外观测时, 冻深这一参数常用丹尼林冻深器人工测量, 尚不能实现高精度自动化实时监测, 因此, 有必要开展这方面的试验研究。

1 试验内容及方法

1.1 冻深常规人工观测

黑龙江省水利科学研究院野外冻土试验场位于哈尔滨市郊区 19 km 的万家干渠东侧, 属于强冻胀土地区。年平均气温为 3.5℃, 最低气温为 -38.5℃, 最大冻结指数为 2 371℃·d, 场地土质在 6 m 以内为低液限粉质黏土。每年 11 月上旬开始稳定冻结, 至翌年 3 月上中旬地表融化, 6 月中旬冻土层全部融透。

基金项目 水利部“948”计划(200726)
作者简介 汪恩良(1971—), 男, 河北滦南人, 高级工程师, 博士, 从事工程冻土及水工建筑物冻害防治技术研究。E-mail : hjskvwel@163.com

常规的冻深观测主要是采用丹尼林冻深器测量冻土层厚度,用分层冻胀仪测量冻胀量,然后,利用观测的冻土层厚度减去地表冻胀量即可得到冻深。

丹尼林冻深器外管为塑料管,底部及接头处密封防水,保证管内形成稳定的温度梯度。内管为橡胶软管,用水充填,该水用浸泡观测场地相同土料的溶液进行过滤处理,使其与观测场地土壤具有相同的含盐种类。观测时,用手触摸,查看橡胶管内水结冰的位置以确定冻深,测量精度只能到厘米级。

1.2 冻深测量的理论依据

季节冻土冻深计算公式^[6]为

$$H_f = H_m - \Delta h \quad (1)$$

式中: H_f 为冻深, m ; H_m 为冻结厚度, m ; Δh 为冻胀量, m 。

通过摸索冻土冻深与场地温度场之间的相关关系,提出采用土体初始冻结温度等温线代替冻结锋面,利用温度场数据得到冻土层厚度,从而实现季节冻土层冻深的自动化实时监测。

1.3 试验方案

首先,测量试验场地的土样初始冻结温度,然后,在试验场地建立温度自动化实时监测系统,测量其温度场分布,同时采用丹尼林冻深器人工测量冻土层厚度,最后,将人工测量结果与自动监测结果进行对比。

1.3.1 初始冻结温度试验

本次试验土样取自黑龙江省水利科学研究院综合试验研究基地,参照 SL 237—1999《土工试验规程》^[7]的要求进行初始冻结温度试验。

按照《土工试验规程》^[7]冻结温度试验的量热法测定原理,设计加工了冻结温度试验装置,见图 1。图 1 中数据采集仪表可以自动实时采集试样内部温度的变化过程。

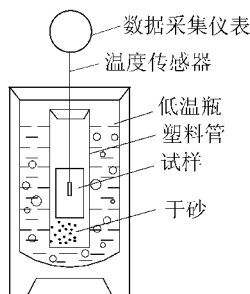


图 1 冻结温度试验装置示意图

1.3.2 现场试验实时监测系统

在黑龙江省水利科学研究院野外冻土观测场建立了温度自动化远程实时监测系统,试验装置由温度传感器、数据采集系统、无线传输模块、太阳能供电系统、数据接收及处理系统等组成。

a. 温度传感器 采用日本 A 级 PT100 温度传感器芯片,测量精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,采用不锈钢外壳封装,铠装长度为 50 mm,外径为 5 mm,内部填充导热材料和密封材料,按照 0.6 MPa 要求防水;三线制接线,消除导线线路电阻带来的测量误差。

b. 供电系统 太阳能供电系统配备 200 W 太阳能板、195 AH 的蓄电池和 20 A 的充电控制器,可以为数据采集系统和无线传输模块提供工作电能。

c. 数据采集机箱 由 1 台 DT515 数据采集仪主机、2 台 CEM 扩展模块和 1 台 GPRS DTU 无线传输模块集成在一起,负责传感器数据的采集和远程传输。

d. 数据处理系统 通过计算机将程序发送给 DT515 数据采集仪主机,采集系统按照设定程序定时采集数据,使用 1 台远程计算机终端,通过 GPRS DTU 无线传输模块可以实现对数据采集系统的控制和数据的远程传输,实现自动化远程实时监测。

2 试验结果分析

2.1 初始冻结温度试验结果

利用数据采集仪采集数据,绘制温度和时间过程曲线,见图 2。

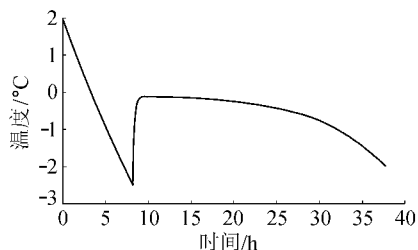


图 2 土的冻结过程曲线

文献^[8]指出,细粒土的冻结过程分为 4 个区段:土体开始冷却和过冷却阶段、土体温度突变阶段、孔隙水结冰阶段、土体继续冷却阶段。从图 2 可以看出,完全符合细粒土的冻结过程一般规律。该土样的初始冻结温度为 $-0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 温度自动化实时监测结果

利用数据采集仪采集的数据,绘制 2007—2008 年野外观测场不同埋深地温观测实时曲线,见图 3。初始冻结日和最大冻深日的土中温度场曲线见图 4。

2.3 冻深人工观测结果

利用丹尼林冻深器人工测量冻深结果绘制 2007—2008 年野外观测场冻融过程线,见图 5。从图 5 可以看出,2007 年 11 月 4 日开始冻结,2008 年 3 月 13 日最大冻深为 152.0 cm,2008 年 3 月 10 日出现融深,2008 年 5 月 6 日完全融化。

2.4 2 种冻深观测结果相关性分析

为了验证采用温度场冻结点等温线代替冻结锋

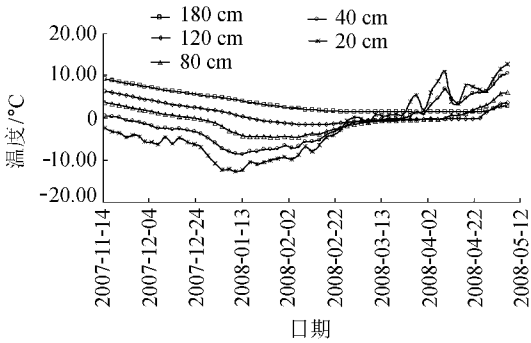


图3 2007—2008年野外观测场不同埋深地温观测实时曲线

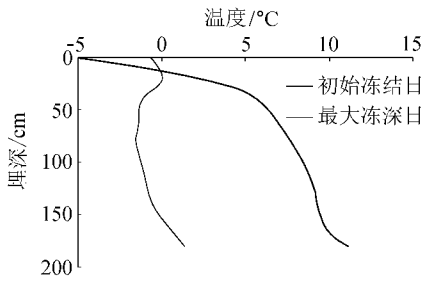


图4 初始冻结日和最大冻深日的土中温度场曲线

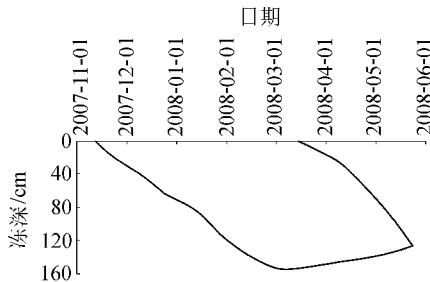


图5 2007—2008年野外观测场实测冻融过程线

面测冻土层厚度的方法,对2007—2008年野外观测场不同埋深地温观测数据进行分析,计算不同时刻-0.15℃等温线深度值,将其与2007—2008年野外观测场冻融过程进行对比分析,得到2种观测方式的冻融过程线,见图6。

比较人工观测冻融过程线和自动观测冻融过程线可以看出,图形趋势基本一致。对整个冻融过程中2个样本进行相关性分析,结果表明:冻结过程相关系数为0.97,融化过程相关系数为0.98,整个冻融过程相关系数为0.98,可见用温度场冻结点等温

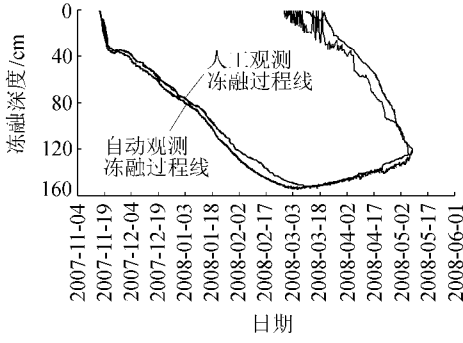


图6 2种方式观测冻融过程线比较

线观测冻深的方案是完全可行的。

野外观测场 2007—2008 年人工观测冻融过程与自动观测冻融过程结果如下:初始冻结日期均为2007年11月4日,最大冻深日期分别为2008年3月13日和7日,初始融化日期分别为2008年3月10日和2月27日,完全融化日期分别为2008年5月6日和8日,冻融过程历时分别为187 d和189 d,最大冻深分别为152.0 cm和153.5 cm。

由图6及上述观测结果可知:①冻结温度等温线代替冻结锋面测量最大冻深值为153.5 cm,比人工观测值大1.5 cm,出现的时间早6 d。②冻结温度等温线代替冻结锋面测量冻深时,初始融化时间早11 d。自动监测过程线融化阶段波动较大,是由于温度场测量时间间隔为30 min,能够准确记录气温变化对表层40 cm厚度土层的影响,测量更精确,更能真实反映实际情况。③丹尼林冻深器人工观测完全融化时间比冻结温度等温线法观测完全融化时间提前2 d,主要原因是人工观测时,每次读数需要将冻深器的橡胶管拿出来,外界气温及观测者的手温对测试的最终结果有影响。因此,观测结果与实际冻结锋面的位置误差较大,而采用温度场冻结点等温线代替冻结锋面的方法理论上更加科学,通过试验确定土的初始冻结温度值,以此作为冻结锋面确定的冻土层厚度更加精确,可以到毫米级,精度提高10倍以上。同时,由于可以采用温度场来观测冻深,从而解决了长久以来冻深观测不能实现自动化的难题。

3 结 论

- 通过测试场地土样初始冻结温度,利用温度场冻结温度等温线深度代替冻结锋面,计算季节冻土冻结深度的方法可行。
- 冻融过程可以实现自动化远程实时监控,观测结果精确度较高。

参考文献:

- [1] 周幼吾,郭东信,邱国庆,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000:1-2.
- [2] 徐学祖,王家澄,张立新,等.冻土物理学[M].北京:科学出版社,2001:9-12.
- [3] 汪恩良.季节冻土区水工加筋挡墙筋材与筋土复合体试验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [4] SL23-2006 渠系工程抗冻胀设计规范[S].
- [5] SL211-2006 水工建筑物抗冰冻设计规范[S].
- [6] 曲祥民,张滨.季节冻土区水工建筑物抗冻技术[M].北京:中国水利水电出版社,2008:22-23.
- [7] SL237-1999 土工试验规程[S].
- [8] 童长江,管枫年.土的冻胀与建筑物冻害防治[M].北京:水利电力出版社,1985:9-12.

(收稿日期:2010-09-07 编辑:方宇彤)