兰州地区季节冻土声波现场测试研究

张建明[1]，刘 旭[2]，朱元林[1]，王兰民[2]

（1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所，甘肃 兰州 730000；
2. 中国地震局兰州地震研究所，甘肃 兰州 730000）

摘要：通过对兰州地区 4 个不同地貌单元季节冻土的现场声波波速测试，获得了 0～1.5 m 深度范围内冻土和融土的纵、横波波速. 实测了相应的黄土的密度、含水量及地温资料. 分析了波速与土的胶结状态、温度和含水量的关系. 结果表明，土的胶结程度对波速有重要影响. 土质疏松，波速较小；土质密实，波速较大. 温度在 0 ℃以上时，波速随含水量的增大而减小；温度在 0 ℃以下时，波速随温度的降低而增大.

关键词：兰州；季节冻土；波速；声波测试
中图分类号：TU435 文献标识码：A 文章编号：1000－0844(2001)02－0185－04

0 引言

声波探测是弹性波探测技术的一种. 它是利用频率为数千赫至数百千赫的声频弹性波通过土体，研究其在不同性质和结构的土体中的传播特性，从而解决某些工程地质问题[1]. 为了研究冻土的声波特性，作者于 1997 年 12 月 29 日至 1998 年 1 月 6 日对兰州地区 4 个不同地貌单元的季节冻土进行了现场声波测试，获得了 0～1.5 m 深度范围内冻土和融土的纵、横波波速. 通过与实测的黄土密度、含水量及地温资料的对比分析，初步揭示了波速与土的胶结状态、温度和含水量的关系，为进一步研究冻土的声波特性提供参考.

1 声波测试的技术和方法

现场测试主要采用国产 SYC-3 型声波仪，其扫描宽度为 2～300 μs，频带宽度为 1.0～1.5 MHz，纵波探头频率为 250 kHz，横波探头频率为 50 kHz. 测试方法采用直达波法，即在探井壁内挖出 5～10 cm 的小槽，将探头置于槽内，选择 2～5 cm 厚的原状土层测量直达波到达的时间，由土层厚度除以时间得出波速. 沿探井深度，每隔 15～20 cm 布设一个测点.

地温测量采用热敏电阻温度计，其室内标定的精度可达 0.02 ℃. 现场使用时，先在探井壁上打一个 10～20 cm 深的小孔，再将热敏电阻插入小孔内并封口. 大约经过半个小时，用数字式万用电表测量其电阻值，待读数稳定后记下电阻值，然后根据室内标定的回归方程换算出温度值.

土的密度采用环刀法测量，含水量用烘干法测量，均在现场取样，室内测定.

收稿日期：2000-11-09
基金项目：中国科学院“九五”重点项目(KZ952-J1-216)资助.
作者简介：张建明(1963－)，男(汉族)，陕西汉中人，副研究员，在职博士研究生，主要从事冻土力学及寒区工程方面的研究工作.

2 现场实测资料

2.1 彭家坪测点

该测点位于黄河Ⅳ级阶地上. 在测量深度范围内均为 Q_3 风成黄土, 土质均匀、干燥, 其中裂隙、虫孔发育, 上部土层含有大量的植物根系. 实测的密度、含水量、地温及波速资料如图 1 所示. 由图 1c 中可以看出, 该测点的土壤冻结深度为 0.3 ~ 0.4 m. 由于黄土含水量很小(图 1b), 虽然上部土层温度在 0 ℃以下, 但并未被完全冻结. 波速沿深度变化不大(图 1d). 横波波速为 200 ~ 400 m/s, 纵波波速为 400 ~ 600 m/s.

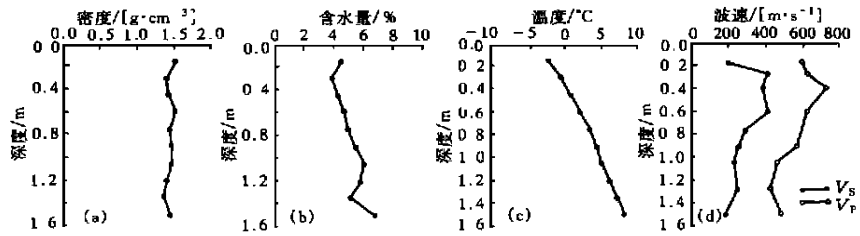

图 1 彭家坪测点黄土密度、含水量、温度和波速随深度的变化

Fig. 1 Changes of density, moisture content, temperature and wave velocity of loess with depth at Pengjiaping.

2.2 九洲台测点

该测点位于黄河Ⅵ级阶地上. 在测量深度范围内均为 Q_2 风成黄土, 土质均匀、干燥, 有一定程度的胶结. 实测资料如图 2 所示. 由图 2c 可知, 该测点土壤的冻结深度为 0.5 ~ 0.6 m. 同样由于土的含水量很小(图 2b), 仅相当于土的风干含水量, 虽然上部土层温度在 0 ℃以下, 但其物理力学性质与下部的融土相差无几. 从总体上看, 波速沿深度基本上无明显变化(图 2d). 横波波速为 300 ~ 500 m/s, 纵波波速为 600 ~ 800 m/s.

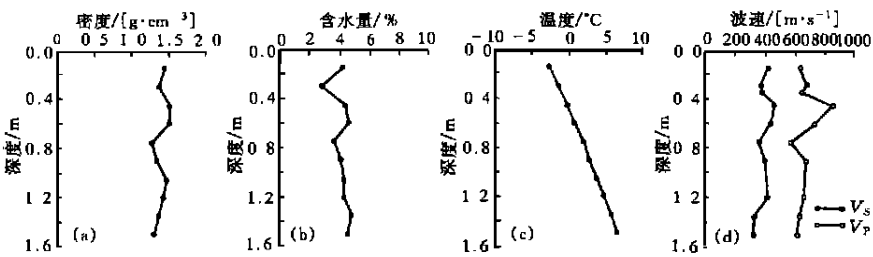

图 2 九洲台测点黄土密度、含水量、温度和波速随深度的变化

Fig. 2 Changes of density, moisture content, temperature and wave velocity of loess with depth at Jiuzhoutai.

2.3 柳沟河测点

该测点位于桃树坪东柳沟河Ⅰ级阶地上. 在测量深度范围内主要为河漫滩相沉积的 Q_4 褐黄色亚砂土, 有细微状层理, 表层土中含有大量的有机质. 上部土层中含水量较大, 呈坚硬的冻结状态, 其中可见明显的针状冰晶体; 下部土层含水量较小, 未冻结, 较松散. 现场实测资料如图 3 所示. 由图 3c 可见, 该测点土壤的冻结深度为 0.6 ~ 0.7 m. 温度在 0 ℃以下的区域, 由于呈冻结状态, 土的弹性性质显著加强, 波速比温度在 0 ℃以上的区域增大许多倍. 并且, 随着冻土温度的降低, 波速急剧增大. 温度在 0 ℃以上的土层中的波速沿深度基本上不发生变化,

见图 3d.

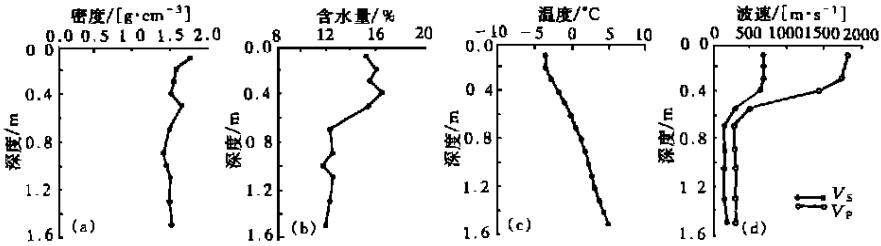

图 3　柳沟河测点黄土密度、含水量、温度和波速随深度的变化

Fig. 3　Changes of density, moisture content, temperature and wave velocity of loess with depth at Liugouhe.

2.4　皋兰山测点

该测点位于黄河 Ⅵ级阶地上. 在测量深度范围内均为 Q_3 风成黄土, 土质均匀、干燥, 其中含有大量的植物根系, 裂隙发育. 实测资料如图 4 所示. 由图 4c 可见, 该测点土壤的冻结深度为0.5～0.6 m. 由于土壤的含水量很小(图4b), 测量深度范围内的土层均呈松散状态, 波速沿深度变化不大. 横波波速为 200～400 m/s, 纵波波速为 500～800 m/s.

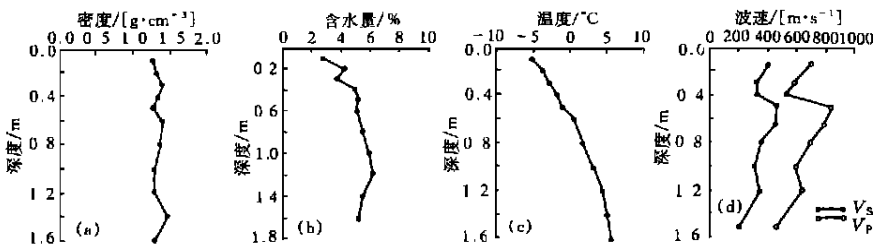

图 4 皋兰山测点黄土密度、含水量、温度和波速随深度的变化

Fig. 4 Changes of density, moisture content, temperature and wave velocity of loess with depth at Gaolanshan.

3　讨论与结论

分析以上 4 个测点的资料可以看出, 土的物理力学性质与波速存在着比较明显的对应关系. 影响波速的主要因素有: 土的胶结程度、含水量和温度. 现分别讨论如下:

3.1　土的胶结程度

分析对比 4 个测点的波速资料可以看出, 土的胶结程度对波速有极为重要的影响. 当土质较为疏松时, 波速较小; 当土质较为密实, 胶结程度较好, 特别是当土中有孔隙冰存在时, 波速较大. 具体表现为: 冻土的波速较大, Q_2 黄土次之, Q_3 黄土较小.

3.2　土壤含水量

对比 4 个测点融土部分的波速资料可以看出, 土壤的含水量对波速有一定的影响. 当含水量较小时, 土的弹性性质比较明显, 波速较大; 当含水量较大时, 尤其是有重力水存在时, 土的弹性性质明显减弱, 塑性增强, 导致波速较小.

3.3　土壤温度状况

由图 3d 中可以看出, 当土壤中存在一定量的孔隙水时, 其温度状况对波速具有决定性的影响. 当土壤温度在 0 ℃以下时, 其波速比在 0 ℃以上的土壤中大得多. 并且, 在冻结状态下,

波速随冻土温度的降低而增大.但在含水量很小的情况下,由于土冻结后不产生孔隙冰,温度对波速的影响不太明显,见图 1d、图 2d 和图 4d.

本次现场声波波速测试结果表明,波速与土的物理力学性质,尤其是土的冻结状态明显相关.说明声波测试是一种简便、快捷的在现场确定冻土物理力学性质的有效手段.但要获得波速与冻土的各种物理力学指标之间的定量关系,还须进一步开展研究工作,积累资料和经验.特别是应该开展波速与冻土强度、变形模量的定量关系的试验研究,以便使该方法在冻土工程地质勘察中得到较广泛的应用.

[参考文献]

[1] 工程地质手册编写委员会.工程地质手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.130—132.

A TEST STUDY ON WAVE VELOCITY DETERMINED BY USING SONISCOPE IN SEASONALLY FROZEN GROUND IN LANZHOU

ZHANG Jian-ming[1], LIU Xu[2], ZHU Yuan-lin[1], WANG Lan-min[2]

(1. *State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou* 730000, *China*;
2. *Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: By using soniscope, the wave velocities in depth of 0 to 1.5 m of seasonally frozen ground at four geomorphic units in Lanzhou are obtained during the winter and the soil density, moisture content and ground temperature are measured respectively. Relations between the wave velocity and the cementation of soil, ground temperature and moisture content are analyzed. The results show that the cementation of soil has an important effect on the wave velocity. The better the cementation of soil, the greater the wave velocity. When the temperature of soil is above 0 ℃, wave velocity decreases with the increase of moisture content. When the temperature is below 0 ℃, wave velocity increases with decrease of the temperature of soil.

Key words: **Lanzhou; Seasonally frozen ground; Wave velocity; Sonic measure**