

# 攀枝花地区典型地层剪切波速与埋深间的统计关系

赵 晶<sup>1</sup> 李建亮<sup>1</sup> 李福海<sup>2</sup>

(1. 四川省地震局, 四川成都 610041; 2. 西南交通大学, 四川成都 610031)

**【摘 要】** 基于攀枝花地区工程场地地震安评工作中收集整理到的 338 个测点的剪切波速资料, 利用线性拟合  $v_s = a + bH$ 、乘幂拟合  $v_s = cH^d$  和多项式拟合  $v_s = e + fH + gH^2$ , 对该地区分布较为广泛的昔格达粘土岩和昔格达粉砂质泥岩的剪切波速进行了统计分析, 得到了此二类土剪切波速沿埋深变化的经验公式。该结果可为攀枝花地区场地土类别的划分和城市防震减灾规划中土层地震反应计算提供依据。

**【关键词】** 剪切波速; 统计分析; 经验公式

**【中图分类号】** P 315.9

**【文献标识码】** B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.02.006

## The Statistical Relationship between Panzhihua Area Typical Soil Layer Shear Wave Velocity and Depth

Zhao Jing<sup>1</sup> Li Jianliang<sup>1</sup> Li Fuhai<sup>2</sup>

(1. Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China)

**【Abstract】** The shear wave data of 338 testing points had been gotten from a lot of engineering geology drilling holes in Panzhihua area. Because of more testing points for Xigeda clay rock and Xigeda silty mudstone, shear wave datas of the two sorts of soil were analyzed statistically, using linear-formed ( $v_s = a + bH$ ), exponential-formed ( $v_s = cH^d$ ) and polynomial-formed ( $v_s = e + fH + gH^2$ ) shear wave experience formula. Then the experience formulae of shear wave for the two types of soil were obtained, which could show the common rule that shear wave changed along with the depth. The shear wave datas will can be speculated in the engineering sites lack of the wave datas, in order to give reference in the classification of engineering site sort and calculate subsoil earthquake response, etc.

**【Key words】** shear wave; statistical analysis; experience formula

### 0 引 言

剪切波速是评价场地土动力特性的重要指标,也是工程场地地震安全性评价和地震小区划工作中所需的重要参数之一,它可结合纵波波速计算出土的动剪切模量、动弹性模量和动泊松比,为土工设计提供依据。同时,剪切波速又是场地类别划分和判别饱和砂土、粉土液化的重要依据<sup>[1-2]</sup>。但在工程实践中,波速测试钻孔偶尔就会出现沉陷或坍塌等现象,这便迫使虽然测试深度未达到规定的深度要求,也不得不提前结束波速测试工作;或者是虽然钻孔测试深度已达到相关规范规定的极限深度,而剪切波速测试结果仍未满足实际工作要求(如仍小于 500 m/s)。在

这种情况下,就需要工程人员根据相关规范,结合岩土名称、性状和埋深等资料,利用当地经验值或经验公式给出各土层的剪切波速值。

许多学者对土层剪切波速( $v_s$ )与埋深( $H$ )间的关系进行了统计分析<sup>[3-9]</sup>,无论是把土层埋深看作一段整体考虑,还是分为几段分别考虑,主要的经验关系都是以下 3 种:①线性拟合: $v_s = a + bH$ ;②称幂拟合: $v_s = cH^d$ ;③多项式拟合  $v_s = e + fH + gH^2$ 。邱志刚等得到结论:除粗砂是多项式拟合略好于线性拟合外,其他各土类的剪切波速与埋深间的关系均是采用线性拟合方式要优于多项式和乘幂拟合方式;齐文浩等认为用乘幂拟合的经验公式来推测剪切

**基金项目:**中国地震烈度表中 B、C 类房屋震害程度和震害指数的细化研究(LY1308)

**作者简介:**赵 晶,1981 年生,女,汉族,河北唐山人,博士,工程师,主要从事工程地震、地震应急、地震灾害损失评估和应急救援训练基地建设等工作。E-mail:122529855@qq.com

波速是目前较为成熟的方法。本文采用上述较为成熟且应用最多的三种拟合方式对攀枝花地区分布较广泛的昔格达组地层中的昔格达粘土岩和昔格达粉砂质泥岩进行了剪切波速与埋深间关系的统计分析。

## 1 统计资料及统计方法

### 1.1 资料来源与土层岩性

文中的统计资料来源于攀枝花地区的工程场地地震安全性评价报告和地震小区划报告,其剪切波速测试采用的是工程上常用的检层法。钻孔最深测试深度为 56.3 m,测点间距为 1 m,共 338 个测试点数据。各钻孔的剪切波速随深度分布的规律具有相似性,并且每个钻孔的剪切波速规律性也较强。现场实测的资料表明,昔格达粘土岩和昔格达粉砂质泥岩的剪切波速测点较多,具有可统计性。昔格达粘土岩和昔格达粉砂质泥岩的岩性及结构特征如下:

1)昔格达粘土岩:浅黄、灰黄色,主要由粘性土组成,主要矿物由于风化作用已粘土化,泥质结构,薄层状构造,半成岩状,具水平层理,节理、裂隙较发育,稍湿。钻孔岩芯为长柱状,钻进中不漏水,孔壁不垮塌,钻孔揭露厚度为 1.8~35.0 m。

2)昔格达粉砂质泥岩:浅黄灰色、褐灰色,由粘土矿物及粉砂粒石英、长石组成,泥质结构,薄—中厚层状构造。半成岩,岩质软,水平层理发育,少量垂直节理,深度 1~23 m 左右风化裂隙发育,岩芯呈 1~5 cm 块状,少量短柱状,深度 24~56.3 m 岩芯较完整,呈 8~15 cm 柱状,少量短柱状。

### 1.2 统计方法

在统计分析昔格达粉砂质泥岩的波速数据时,发现其剪切波速度与埋深间的相关性在 20 m 左右变化较大,具有较明显的差异和离散性,再结合其岩性和结构特征描述,以埋深 20 m 为界,分别对其不同深度段的剪切波速与埋深间的关系进行了相关性统计分析,并给出了各区间的统计关系公式。土层各深度区间的线性拟合、乘幂拟合及二次多项式拟合的拟合曲线见图 1—图 4,回归参数及适用深度见表 1。

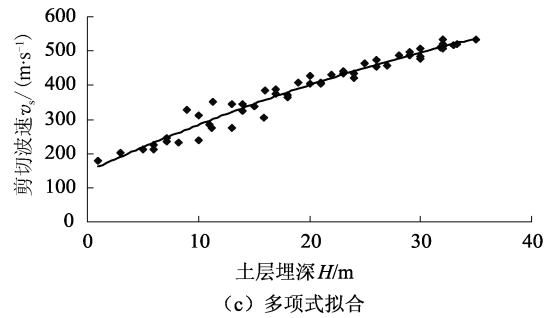
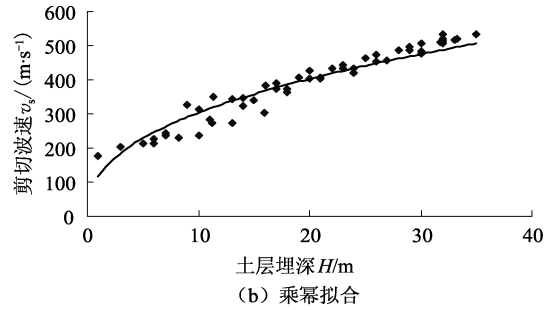
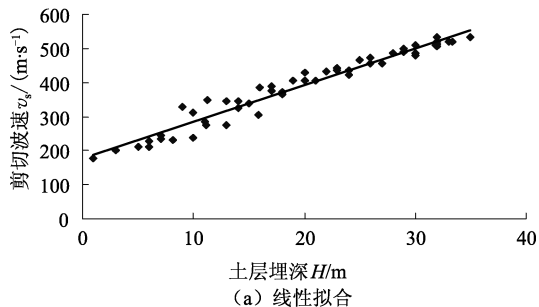


图 1 昔格达粘土岩剪切波速-埋深拟合曲线

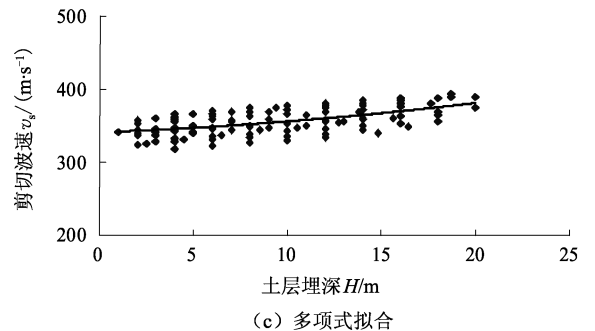
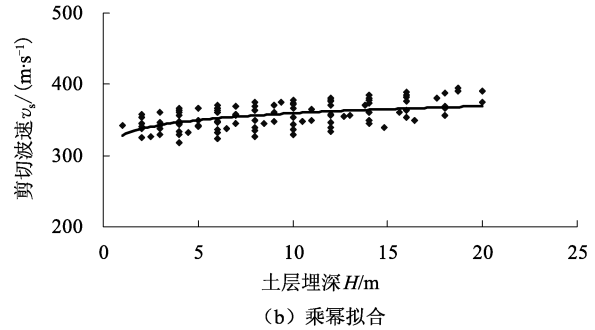
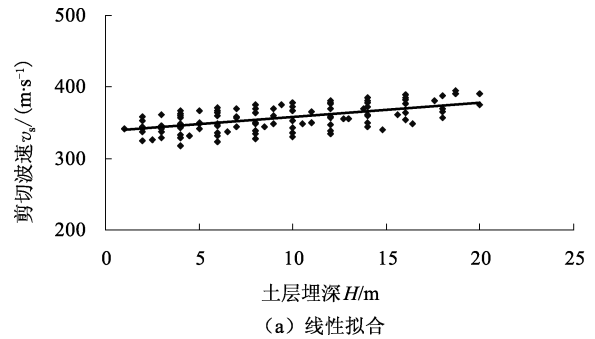


图 2 昔格达粉砂质泥岩剪切波速-埋深 (1~20 m) 拟合曲线

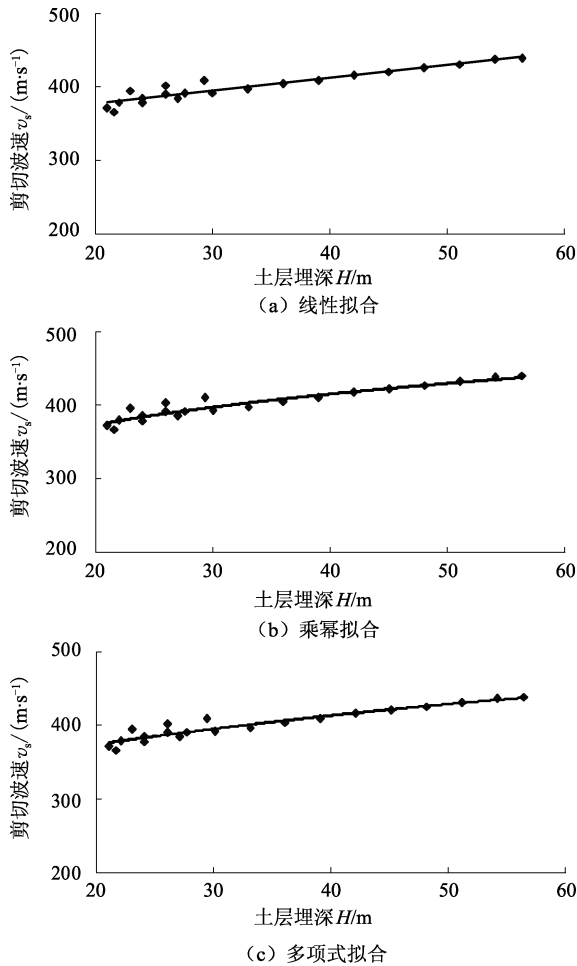


图3 昔格达粉砂质泥岩剪切波速-埋深(20.1~56.3 m)拟合曲线

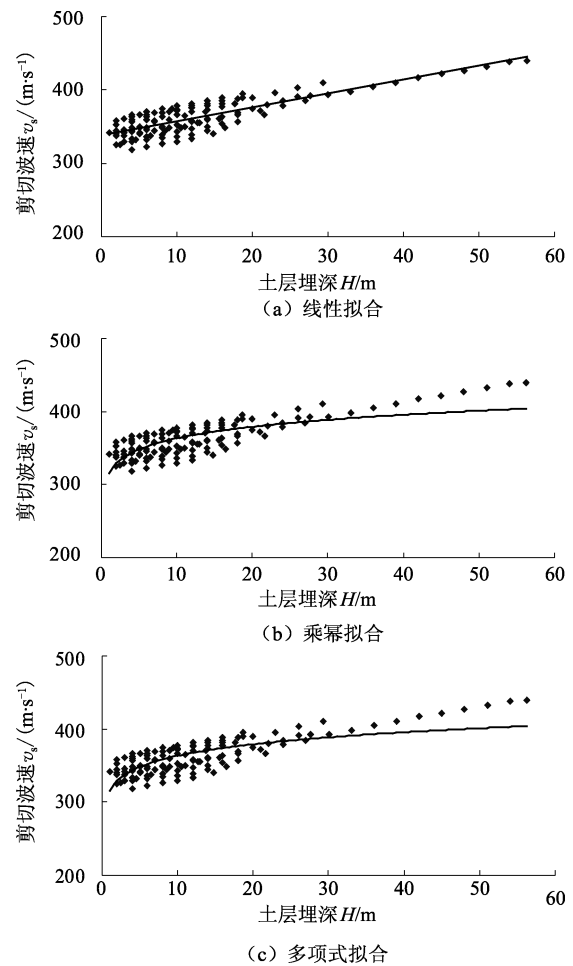


图4 昔格达粉砂质泥岩剪切波速-埋深(1~56.3 m)拟合曲线

2 统计结果与分析

根据图1—图4,得到了昔格达粘土岩和昔格达粉砂质泥岩分别在线性拟合、乘幂拟合和二次多项式拟合下的各拟合参数值及适用深度范围,其统计

结果见表1。在统计结果里, $R^2$ 称为方程的确定性系数或决定系数,表示方程中变量  $H$  对  $v_s$  的解释程度。 $R^2$ 取值在0到1之间,越接近1,表明方程中  $H$  对  $v_s$  的解释能力越强。

表1 土的剪切波速与埋深关系的统计结果

土类	拟合函数	回归参数值	$R^2$ 值	适用深度/m	样本数
昔格达粘土岩	$v_s = a + bH$	$a = 175.5; b = 10.824$	0.9547	1~35	62
	$v_s = cH^d$	$c = 118.25; d = 0.4089$	0.8904		
	$v_s = e + fH + gH^2$	$e = 147.27; f = 14.712; g = -0.1022$	0.9609		
昔格达粉砂质泥岩	$v_s = a + bH$	$a = 337.51; b = 2.0142$	0.3426	1~20	276
	$v_s = cH^d$	$c = 328.39; d = 0.0392$	0.2860		
	$v_s = e + fH + gH^2$	$e = 388.17; f = -8.3327; g = 0.446$	0.2671		
	$v_s = a + bH$	$a = 342.97; b = 1.7562$	0.8943	20.1~56.3	
	$v_s = cH^d$	$c = 235.86; d = 0.1536$	0.8945		
	$v_s = e + fH + gH^2$	$e = 214.86; f = 8.5317; g = -0.0834$	0.5447		
昔格达粉砂质泥岩	$v_s = a + bH$	$a = 338.71; b = 1.8842$	0.7145	1~56.3	276
	$v_s = cH^d$	$c = 315.69; d = 0.0612$	0.5599		
	$v_s = e + fH + gH^2$	$e = 337.32; f = 2.0849; g = -0.0043$	0.7155		

修正后的公式算得的 CFG 桩复合地基的沉降值更接近实测值。

### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准 . JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京, 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 张钦喜, 刘鸿哲, 等. 地基沉降计算方法的研究与改进[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(1): 78-83.
- [3] GEDDES J D. Stress in foundation soil due to vertical

subsurface loading [J]. Geotechnique, 1966, 16(3): 289-295.

- [4] 郑俊杰, 区碱化, 邢泰高. 参变量变分原理求解土的变形模量与压缩模量的关系[J]. 固体力学学报, 2004, 25(1): 53-57.
- [5] 梁发云. 基于多孔介质理论的地基土变形模量估算方法[J]. 岩土力学, 2004, 25(7): 1147-1150.

收稿日期: 2015-01-27

(上接第 78 页)

从表 1 中可以看出, 昔格达粘土岩的三种拟合方程均较好, 其决定系数  $R^2$  均在 0.9 左右, 以二次多项式拟合最优, 线性拟合次之, 乘幂拟合最差。

对于昔格达粉砂质泥岩, 1~56.3 m 埋深区间的剪切波速与埋深间关系的拟合方程以线性拟合和二次多项式拟合较好, 其决定系数  $R^2$  均大于 0.71, 以二次多项式拟合最优, 其决定系数  $R^2$  为 0.7155; 1~20 m 埋深区间的剪切波速与埋深间关系的三种拟合均很差, 其决定系数  $R^2$  均在 0.3 左右, 由于 1~20 m 区间含在了 1~56.3 m 区间内, 故推荐其采用 1~56.3 m 区间的二次多项式拟合方程; 20.1~56.3 m 埋深区间的剪切波速与埋深间关系的拟合方程以线性拟合和乘幂拟合较好, 其决定系数  $R^2$  均大于 0.89, 以乘幂拟合最优, 其决定系数  $R^2$  为 0.8945, 该值大于 1~56.3 m 埋深区间的最优拟合(二次多项式拟合)的决定系数, 故此深度区间推荐采用此乘幂拟合。

### 3 结 论

本文采用了三种较为成熟的拟合方法对攀枝花地区分布较为广泛的昔格达粘土岩和昔格达粉砂质泥岩的剪切波速与埋深间的关系进行了统计分析, 得到了其拟合方程、确定性系数和适用深度。对于昔格达粘土岩, 其剪切波速与埋深间的拟合方程建议采用二次多项式拟合方程  $v_s = 147.27 + 14.712H - 0.1022H^2$ 。对于昔格达粉砂质泥岩, 埋深在 1~20 m 区间的土层剪切波速与埋深间的拟合方程建议采用二次多项式拟合方程  $v_s = 337.32 + 2.0849H - 0.0043H^2$ ; 埋深在 20.1~56.3 m 区间的土层剪切波速与埋深间的拟合方程建议采用乘幂拟合方程  $v_s = 235.86H^{0.1536}$ 。本文的成果可作为攀枝花地区工程

建设规划和设计的基础资料, 利用其拟合方程可计算得出该地区未进行剪切波速测试的或虽已进行剪切波速测试但未达到要求的场地的剪切波速值, 为场地类别的划分和土层地震反应计算中基岩输入面的确定提供依据。

### 参 考 文 献

- [1] 程国勇, 王建华. 应用剪切波速判别砂土液化的研究综述[J]. 世界地震工程, 2004, 20(1): 112-116.
- [2] 高印立. 剪切波速与土性指标间的统计关系[J]. 建筑科学, 1998, 14(5): 19-21.
- [3] 邱志刚, 薄景山, 罗奇峰. 土壤剪切波速与埋深关系的统计分析[J]. 世界地震工程, 2011, 27(3): 81-88.
- [4] 齐史浩, 刘德东, 张宁东, 等. 剪切波速推测的工程应用[J]. 防灾科技学院学报, 2007, 9(4): 17-21.
- [5] 齐史浩, 刘德东, 兰景岩, 等. 西安阎良区土层剪切波速统计分析[J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10(4): 10-12.
- [6] 刘红帅, 郑桐, 薄景山, 等. 粘性土剪切波速不确定性的统计分析[J]. 世界地震工程, 2010, 26(增): 99-103.
- [7] 安卫平, 兰青龙, 贺明华, 等. 太原地区剪切波速的深度分布[J]. 山西地震, 1997(1-2): 87-94.
- [8] 李平, 薄景山, 孙有为, 等. 西昌市场地剪切波速与土层深度经验关系[J]. 世界地震工程, 2010, 26(4): 13-17.
- [9] 陈国兴, 徐建龙, 袁灿勤. 南京城区岩土体剪切波速与土层深度的关系[J]. 南京建筑工程学院学报, 1998, 45(2): 32-37.

收稿日期: 2014-06-16