

T/NMRJ

内蒙古认证和检验检测协会团体标准

T/NMRJ 028—2025

单孔剪切波速测试方法

Single hole method for shear wave velocity testing

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

内蒙古认证和检验检测协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 方法原理 2

5 试验准备 3

 5.1 钻孔 3

 5.2 振源 3

6 现场测试 4

 6.1 测点选择 4

 6.2 数据采集 4

 6.3 注意事项 4

 6.4 质量控制 4

7 资料处理 4

 7.1 波形判读 4

 7.2 剪切波速计算 5

8 精密度 6

 8.1 重复性 6

 8.2 再现性 6

9 检测报告 7

附录 A（规范性） 土的类型划分标准 8

附录 B（规范性） 建筑场地类别划分标准 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由包钢勘察测绘研究院提出。

本文件由内蒙古自治区检验检测标准化技术委员会（SAM/TC 61）归口。

本文件起草单位：包钢勘察测绘研究院、上海市建筑科学研究院有限公司、河南省地质局矿产资源勘查中心、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司、巴彦淖尔市地质调查研究中心、包钢（集团）公司白云鄂博铁矿、内蒙古自治区产品质量检验研究院、内蒙古自治区检验检测标准化技术委员会。

本文件主要起草人：张加刚、刘海波、王亚茹、李彦婷、张强、邸兴盛、刘浩、王凯、芦安贵、王芳、郭希静、梁晓燕。

单孔剪切波速测试方法

1 范围

本文件规定了单孔剪切波速的测试方法。

本文件所述的测试方法适用于50 m深度范围内的单孔剪切波速测试,要求钻孔为直孔,即倾角为90°,倾角偏差3°以内的钻孔可近似为直孔按照本文件方法进行测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 8170—2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB 50011—2010 (2016 年版) 建筑抗震设计规范

GB 50021—2001 (2009 年版) 岩土工程勘察规范

GB 55002—2021 (2021 年版) 建筑与市政工程抗震通用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弹性波 **elasticity wave**

应力波的一种,扰动或外力作用引起的应力和应变在弹性介质中传递的形式和传播过程。在地层介质中传播的弹性波可分为体波和面波。

3.2

压缩波(P波) **compressional wave**

体波存在于整个介质体中,可分为纵波和横波。其中,纵波又称为压缩波,其质点振动方向与波的传播方向平行。

3.3

剪切波(S波) **shear wave**

体波存在于整个介质体中,可分为纵波和横波。其中,横波又称为剪切波,其质点振动方向与波的传播方向垂直,横波比纵波传播速度慢。

3.4

波速测试 **wave velocity testing**

根据压缩波、剪切波或瑞利波在岩土体内的传播速度,间接测定岩土体在小应变条件下动弹性模量的原位测试。

3.5

单孔法 single hole method

在一个垂直钻孔内，自上而下（或自下而上）按地层划分逐层检测每一地层的压缩波波或剪切波速度。

3.6

振源 vibration source

剪切波振源，要求具有偏振性，能产生优势剪切波，并具有可反向性、重复性好和产生足够能量等特点。

3.7

钻孔 drill hole

利用钻探设备向地下钻成的直径较小、深度较大的柱状圆孔，又称钻井。

3.8

走时 (T) travel time

剪切波从振源传到观测点所经过的时间。

3.9

波速 (V) wave velocity

单位时间内某种一定的振动相所传播的距离，称为波速。

4 方法原理

单孔法测试剪切波速，是在钻孔附近设置振源，采用人工锤击的方法产生纵波（压缩波，P 波）和横波（剪切波，S 波）。当剪切波在钻孔中顺序穿过不同性质的岩土层时，因遇到不连续构造面发生折射或反射，传播速度发生变化。此时设在钻孔中的检波器接收到震动信号后将其转换为电信号，即可拾取剪切波的传播时间（走时）。以振源到检波器间的直线距离作为传播距离，则传播距离与传播时间的比值即为剪切波的传播波速。测试示意图如图 1 所示。

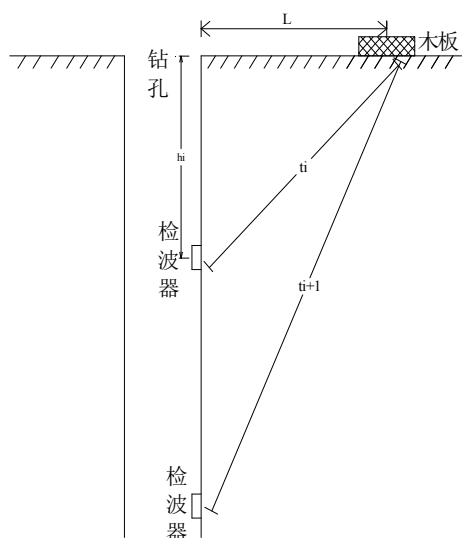


图1 剪切波速测试示意图

5 试验准备

5.1 钻孔

5.1.1 孔径

按照测试探头口径的需要，钻头一般经常使用 50 mm~60 mm、90 mm~105 mm、110 mm~130 mm，根据测井需要，钻孔直径应该比测试探头直径大 30 mm~50 mm。

5.1.2 井壁

要求井壁光滑，井径变化较小，上下一致。在松散和结构复杂的地层钻井，除了更换钻具外，钻进的速度也要适当控制以保证井壁质量。

5.1.3 倾角

钻孔应为直孔，即倾角应为 90°，倾斜不能超过 3°，否则测井资料的可靠程度大大降低。

5.1.4 套管

剪切波速应在拔出套管的条件进行测试。

5.1.5 时间

打完钻孔后，应立即对钻孔进行扩孔、泥浆护壁等工作，以上工作完成后立即进行剪切波速测试。要求在钻孔完工后 24 h 内完成剪切波速测试工作。

5.2 振源

5.2.1 采用人工锤击木板的方式作为振源，沿木板纵轴从两个相反方向分别水平锤击木板产生剪切波。

5.2.2 在距孔口 1 m~2 m 处放置长约 2 m~3 m、宽约 0.3 m~0.5 m、厚约 0.1 m 的弹性和韧性较好的木板。木板锤击的两头可包上铁皮或用一块比木板截面稍大的铁板垫在木板两头以便多次使用。

5.2.3 在木板下方铺设砂土保证其与地面贴紧，上压 500 kg 左右的重物以防木板滑移，保证木板的中垂线通过孔口。

5.2.4 锤击采用 8 磅或 10 磅大锤。

6 现场测试

6.1 测点选择

初步勘察阶段，大面积的同一地质单元测试钻孔数不宜少于 3 个；详细勘察阶段，单幢建筑测试钻孔数不少于 2 个，若测试数据变化较大可适量增加。

6.2 数据采集

6.2.1 平整场地。钻孔附近地面应尽量可能平整。

6.2.2 放置木板。将地面整理平整后，铺上一层砂子，再将木板放在平整的砂子上，上面压上重物，使木板与地面紧密接触。

6.2.3 采样间隔。根据工程情况和地质分层合理设置，采样间隔越密集，获取的岩土层剪切波速信息越接近真实地层，但同时增加了工作量和工作成本。目前常用的采样间隔是 1 m。

6.2.4 信号采集。仪器连接后，将测试探头放入钻孔，缓慢匀速下降，在孔内不同深度处接收剪切波时，应与孔壁贴合良好，停留约 10 s 后进行测试从而避免泥浆扰动干扰。在探头上配接钢丝细绳，可增强抗拉性减少缠绕。对于有泥浆护壁的钻孔，可从孔底由下至上测试，以免因泥浆沉淀卡住探头。

6.3 注意事项

6.3.1 井孔应与木板长轴线垂直，即井孔到木板的距离相等，这是保证木板两面敲击后，剪切波恰好反向的基础。

6.3.2 木板与表土层耦合的好坏直接关系波形采集的好坏。现场可在选定放木板的地方撒一层砂子，放上木板来回磨动，然后拿开木板，在有空缺处再撒砂子，反复数次可达到最佳效果。

6.3.3 测试时锤击力要尽量保证水平。锤击要干净利索，避免二次或多次击打。

6.3.4 随着测试深度的增加，有效信号的频率会有所降低，对数据的准确读取有一定的影响。

6.3.5 随着测试深度的增大，剪切波信号能量逐渐减小，单纯增加激发能量也会增大噪声的干扰。可以在选择适当激发能量的同时，采用多次叠加的方法压制噪声，提高有效信号的幅度。

6.4 质量控制

6.4.1 遵循“二同二不同”原则，即按相同点位、相同仪器、不同时间、不同操作员的原则进行检查观测。检查工作量一般应为总测点的 3%，且不少于 2 个测点。检查测量的总均方误差不应大于 5%。

6.4.2 对每个独立的测点进行两次测定，取其平均值。

7 资料处理

7.1 波形判读

7.1.1 采集得到的波形由直达波、纵波、横波三部分组成：

- a) 直达波：从零时开始至直达波能量的到达，表现为一条带有毛刺（干扰）的近似直线；
- b) 纵波：从波的第一个初至起到第二个初至止，表现为小振幅高频率；
- c) 横波：初至波到达后以横波为主的部分，振幅大，频率低。

7.1.2 根据正反两个方向激发的横波极性相反的特点，确定横波的初至，读取第一个剪切波到达的时刻为传播时间。

7.2 剪切波速计算

7.2.1 层速度

由图 2 所示的几何关系进行推导，剪切波在第 i 层土中传播的层速度为：

$$V_i = H_i / (T_i \cos \alpha_i - T_{i-1} \cos \alpha_{i-1}) \quad (1)$$

式中：

V_i ——第 i 层土的剪切波速，米/秒（m/s）；

H_i ——检波器置于孔中第 i 个测点时它与第 $(i-1)$ 测点之间的距离，米（m）；

T_i ——检波器置于钻孔中第 i 个测点时波的旅行时，秒（s）；

α_i ——检波器置于钻孔中第 i 个测点时，它与激震点连线与铅直方向的夹角，度（°）。

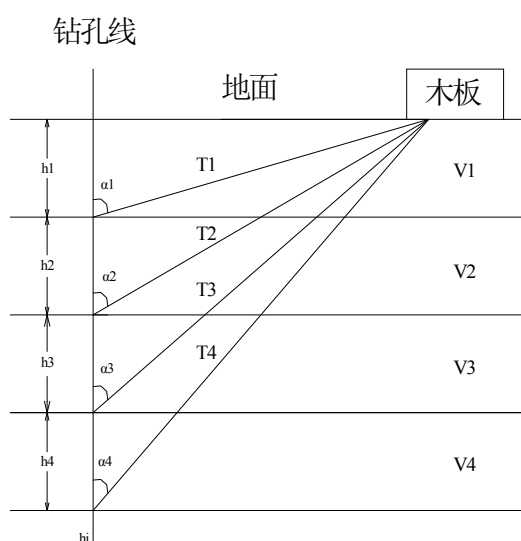


图 2 剪切波传播速度计算示意图

7.2.2 等效剪切波速

等效剪切波速可按下列公式计算：

$$V_{se} = d_0 / T \quad (2)$$

$$T = \sum_{i=1}^n (d_i / V_i) \quad (3)$$

式中：

V_{se} ——土层等效剪切波速，米/秒（m/s）；

d_0 ——计算深度，取覆盖层厚度和 20 m 二者之间的较小值，米（m）；

T ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间，秒（s）；

d_i ——计算深度范围内第 i 土层的厚度，米（m）；

V_i ——计算深度范围内第 i 土层的剪切波速，米/秒（m/s）；

n ——计算深度范围内土层的分层数。

7.2.3 平均速度

平均速度可按下列公式计算：

$$V=d_0/T \quad (4)$$

$$T = \sum_{i=1}^n (d_i/V_i) \quad (5)$$

式中：

V——土层平均速度，米/秒（m/s）；

d₀——测试深度，米（m）；

T——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间，秒（s）；

d_i——计算深度范围内第 i 土层的厚度，米（m）；

V_i——计算深度范围内第 i 土层的剪切波速，米/秒（m/s）；

n——计算深度范围内土层的分层数。

7.2.4 走时随斜距的校正

在实际测试中，振源与测试钻孔间必定存在一定距离且可能存在高差，使剪切波的实际传播距离与孔口至检波器点位的直线距离产生偏差。因此，在数据处理时应考虑振源至孔口的距离因素，利用几何关系消除传播距离引起的误差。校正后的走时计算公式为：

$$T' = T \times \frac{H + H_0}{\sqrt{L^2 + (H + H_0)^2}} \quad (6)$$

式中：

T'——剪切波从孔口到达测点的时间，秒（s）；

T——剪切波从振源到达测点的实测时间，秒（s）；

H——测点深度，米（m）；

H₀——振源与孔口的高差，米（m）；

L——木板中心到孔口的水平距离，米（m）。

8 精密度

8.1 重复性

在重复性条件下，两次测量结果的相对误差 u_i 应小于 $\sqrt{2}m$ ，其中，m 表示设计的无位均方相对误差（本试验方法的设定值为 3%）。 u_i 的计算公式为：

$$u_i = \frac{|V'_i - V_i|}{(V'_i + V_i)/2} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

V_i, V_i'——原始观测与检查观测的波速值。

8.2 再现性

在再现性条件下，检查工作量一般应为测区总工作量的 3%，且不少于 2 个测点。检查测量的总均

方误差 M 不应大于 5%。 M 的计算公式为：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (8)$$

式中：

M ——总均方相对误差

n ——参加统计计算的数据个数

u_i ——诸受检点的相对误差（第 i 个参加评定的测点的相对误差）

9 检测报告

9.1 检测报告应包括工程概况、方法名称及编号、数据采集、资料处理、和检测结论等内容。

9.2 工程概况。描述任务来源、具体任务、工作目的。

9.3 方法名称及编号。《单孔剪切波速测试方法（T/NMRJ 028—2025）》。

9.4 数据采集。描述工作所使用的的仪器及其参数指标；描述测线测点的布置情况。

9.5 资料处理。描述资料处理的方法；计算各钻孔土层的层速度、平均速度、和等效剪切波速；绘制走时曲线。

9.6 检测结论。参照附录 A 土的类型划分标准和附录 B 建筑场地类别划分标准，判断土层类型和建筑场地类别。

附 录 A
(规范性)
土的类型划分标准

表 A.1 土的类型划分标准

土的类型	剪切波波速 (m/s)
岩土	$V_s > 800$
坚硬土或软质岩土	$800 \geq V_s > 500$
中硬土	$500 \geq V_s > 250$
中软土	$250 \geq V_s > 150$
软弱土	$V_s \leq 150$

附 录 B
(规范性)
建筑场地类别划分标准

表 B.1 建筑场地类别划分标准

等效剪切波速 (m/s)	场地类别的覆盖层厚度 (m)				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$V_s > 800$	0				
$800 \geq V_s > 500$		0			
$500 \geq V_s > 250$		<5	≥ 5		
$250 \geq V_s > 150$		<3	3-50	>50	
$V_s \leq 150$		<3	3-15	15-80	>80
