

# 软土地基强夯加固效果评价

单娜琳 黄英娣

喻立平 甘伏平

(桂林工学院资源与环境工程系)

(岩溶地质研究所)

**摘要** 根据瑞雷面波在层状介质中的传播理论,波速的变化可以反映出岩土力学性质的变化。利用瑞雷面波法,结合少量的工程地质工作,可进行软地基加固处理检测,评价处理后地基的物理力学性质改善的程度,同时可以快速、方便地得到处理后场地水平方向的均匀性。结合动力触探,可间接计算承载力。

**关键词** 瑞雷面波;强夯效果;动力触探;承载力

利用地震勘探中的瑞雷面波法可以进行浅部,高精度速度分层,并换算出横波波速、密度及弹性模量等参数;并可利用波速与动力触探结果的相关关系计算承载力。测试方法简便、快速,可以进行原位无破损、连续大面积检测。用瑞雷面波法检验强夯效果,可得到面积性检测结果,且检测周期短,测量一个点仅需几分钟的时间。因此,采用瑞雷面波法进行检测,可以快速检测强夯效果,监测强夯施工,且不破坏场地、快速连续测定。

## 1 瑞雷面波法强夯效果检测

### 1.1 瑞雷波法检测岩土软、硬的基本原理

瑞雷面波速度与介质的密度和力学性质有关。因而,波速是反映介质性质的重要参数,这是瑞雷面波法勘探的基础。由介质的弹性模量和泊松比之间的关系,可得到纵波和横波的波速比:

$$V_s / V_p = \sqrt{(1-2\nu) / 2(1-\nu)}$$

其中:  $V_s$  为横波速度;  $V_p$  为纵波速度;  $\nu$  为泊松比。将此关系代入含有面波波速的瑞雷方程,可得到:

$$\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^6 - 8\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^4 - \frac{8(2-\nu)}{1-\nu}\left(\frac{V_R}{V_s}\right)^2 - \frac{8}{1-\nu} = 0$$

其中  $V_R$  为面波速度。对此式求解,得到面波波速与横波波速近似的关系式:

$$V_R = (0.87 + 1.12\nu)V_s / (1 + \nu)$$

在工程勘察中,一般土层的泊松比为0.45到0.49,则面波速度约为横波波速的0.95倍。影响横波波速的主要因素是介质的密度及弹性力学参数,因此,瑞雷波的波速同样与介质的密度及弹性力学参数紧密相关。

当软土地基被夯实之后,地基土中的压缩比减小,承载力、波速随介质密度增大而增加,如强夯施工不均匀或夯击次数不够,则承载力达不到要求,面波速度低;如强夯效果好,承载力满足要求,面波速度也相应较大。因而,面波速度的高低,直接反映了承载力的大小。强夯前后面波波速的变化,即反映了岩土力学性质的变化,因此,可直接用测量面波波速的方法检测强夯效果。也可利用相关分析计算动力触探数据和面波波速的相关系数,间接求出承载力。

## 2 检测实例

强夯工区为广东支浮硫铁矿硫酸车间地基,经强夯处理后,要求进行动力触探和波速检测,评价强夯效果。

### 2.1 场地工程地质特征

场地主要由第四纪人工填土、冲积、残积层以及泥盆系沉积岩组成。场地已基本整平,地面标高在47~48m之间。

素填土分为2层。素填土I由粉质粘土,粉土组成,局部夹碎石,料径5~50mm,个别达数10cm,含量5%~30%,结构松散。厚0.9~15.25m,平均厚7.93m。主要力学参数为:天然容重 $1.90\text{g}/\text{cm}^3$ ;标贯6.44N;承载力标准值110kPa。

素填土II组成基本与素填土I相同,稍密-可塑状,厚2.8~18.9m。主要力学参数为:天然容重 $1.94\text{g}/\text{cm}^3$ ;标贯7.05N;承载力标准值120kPa。

淤泥质土呈透镜体出现,局部分布。

残积土由粉质土和粉质粘土组成,厚2.5~19m,标贯3.4~16.5N;承载力标准值190~210kPa。

微风化碳质灰岩致密坚硬,岩溶发育。

场地地下水为第四系孔隙水,水位在29.6~41.8之间。

硫酸车间拟采用桩基础和条形基础,要求场地6~8m深处,承载力标准值在160kPa以上。在这个深度内,地层为素填土,承载力标准值在110~120kPa之间,显然达不到建筑基础的要求。

## 2.2 试夯结果

试夯采用40T或120T落锤夯击,最多击数14,最小击数6,大多数击数9~12。夯坑最大沉降量为2.44m,最小为0.6m,平均0.71m。

2周后进行动力触探检测,共测11个点,分为2个试验组,5.2~5.4m间,2组的平均击数分别为9.3和11.8,承载力标准值为160~190kPa;8.1~8.4m间,2组平均击数为14.7和15,承载力标准值为236kPa。

试验结论为:除局部因含水量较大,达不到150kPa外,此场地土经强夯处理后,承载力一般可达160~200kPa,加固影响深度为6~7m。加固后的场地可满足建筑要求。

## 2.3 瑞雷面波测量野外工作方法

面波检测采用瞬态法,使用sws-1G系列面波仪进行数据采集。用于浅部探测时,采用12道检测器,检波距1m,偏移距2m。因软土地基吸收能量较多,采用重磅大锤作为震源,一般叠加3~5次增强有效信号。

面波测线均匀布置在测区之内,测线一般通过动力触探检测点,以便对比分析。面波测点距离为5~10m,测线距离约为10m,测点(线)尽可能在测区均匀分布。

## 2.4 动力触探检测

动力触探采用重型触探器进行检测,落锤质量63.5kg,落锤距离76cm,触探指标为贯入10cm锤击数,触探杆外径为42mm。

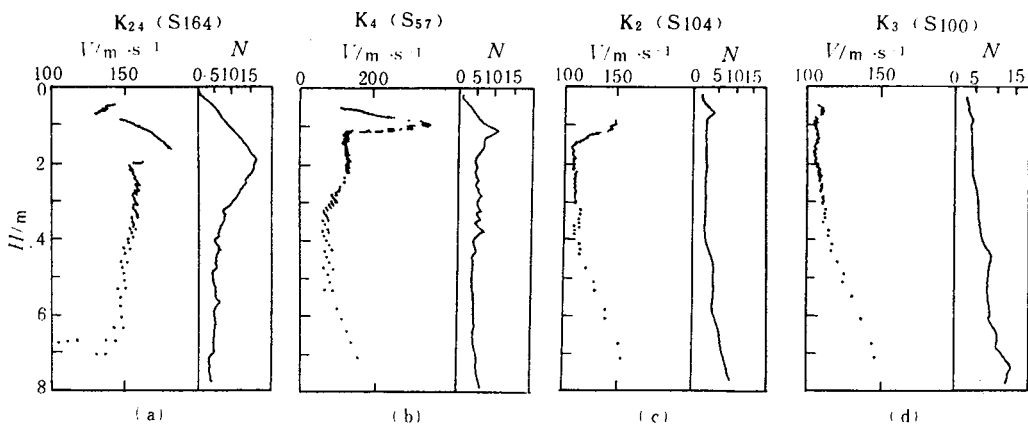


图1 面波频散曲线与动力触探对比(N为 $N_{63.5}$ 击数)

## 2.5 面波波速测定和动力触探的对比

动力触探点k24位于I线要164点。从面波频散曲线与动力触探对比图(图1a)上可以看到,面波速度在1m之内在130~145m/s之间,在2m处达到最大值180m/s后逐渐下降,在6.5~7m处波速突然降

至  $100\text{m/s}$ ; 与触探记录之比, 在  $1\text{m}$  内击数从 1 迅速增至 7, 在  $2\text{m}$  处达到极大值 16 击后逐渐下降, 至  $7\text{m}$  后击数为 3。根据击数计算结果可知,  $7\text{m}$  以下, 承载力小于  $160\text{kPa}$ 。

从图 1b、c、d 的 k4(s57)、k2(s104)、k3(s100) 等探测点的动力触探和面波频散曲线可看到两种方法的测量结果非常相似, 反映的岩土力学性质变化的深度也基本吻合, 面波波速与动力触探都反映出了强夯效果。根据动力触探计算出的承载力分析, 介质的面波波速小于  $130\text{m/s}$  时, 承载力低于  $160\text{kPa}$ 。

## 2.6 承载力的计算

利用面波波速与动力触探击数的相关性, 通过相关分析得到击数与面波波速的关系公式。

$$N = -13.832 + 0.13248V_R$$

其中  $N$  为击数;  $V_R$  为面波速度。公式采用了多个动力触探点的  $N_{63.5}$  击数和在同点测量的波速数据, 用相关分析计算出的击数与实测击数的对比曲线, 并经过多个点数据验证。图 2 为根据动力触探击数与用相关分析公式计算的承载力对比曲线, 误差一般在  $1\%$  左右, 只有一个点达到  $3\%$ , 这说明所采用的相关系数是合适的。

## 2.7 检测结果

图 3 为 I 线强夯效果检测综合剖面, 从频散曲线的形态变化及波速等值线图可以看出 164 点  $7\sim 8\text{m}$  处、170 点  $4\sim 8$  深度范围内波速低于  $130\text{m/s}$  (见波速等值线图阴影部分), 同样在此范围内承载力也达不到标准。等值线图上反映了强夯效果差的位置。

施工单位根据面波测量和动力触探划出的  $160\text{kPa}$  以下的范围, 立即在此范围内进行了补夯, 使建筑基础的稳定性得到保证。

## 3 结论

在强夯效果检测工作中, 结合少量触探工作, 利用瑞雷面波法进行强夯效果检测, 可缩短检测周期, 不破坏场地, 连续、大面积测量, 提高质量检测的精度。这种检测方法还可以进行现场监督, 及时检测施工质量。

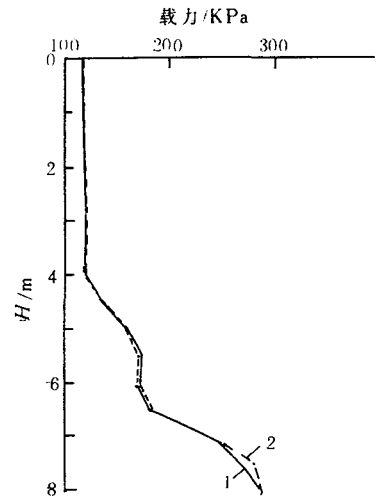


图 2 用实测击数和计算击数计算的承载力对比

1—根据实测  $N_{63.5}$  计算的承载力;  
2—根据面波速度计算的承载力

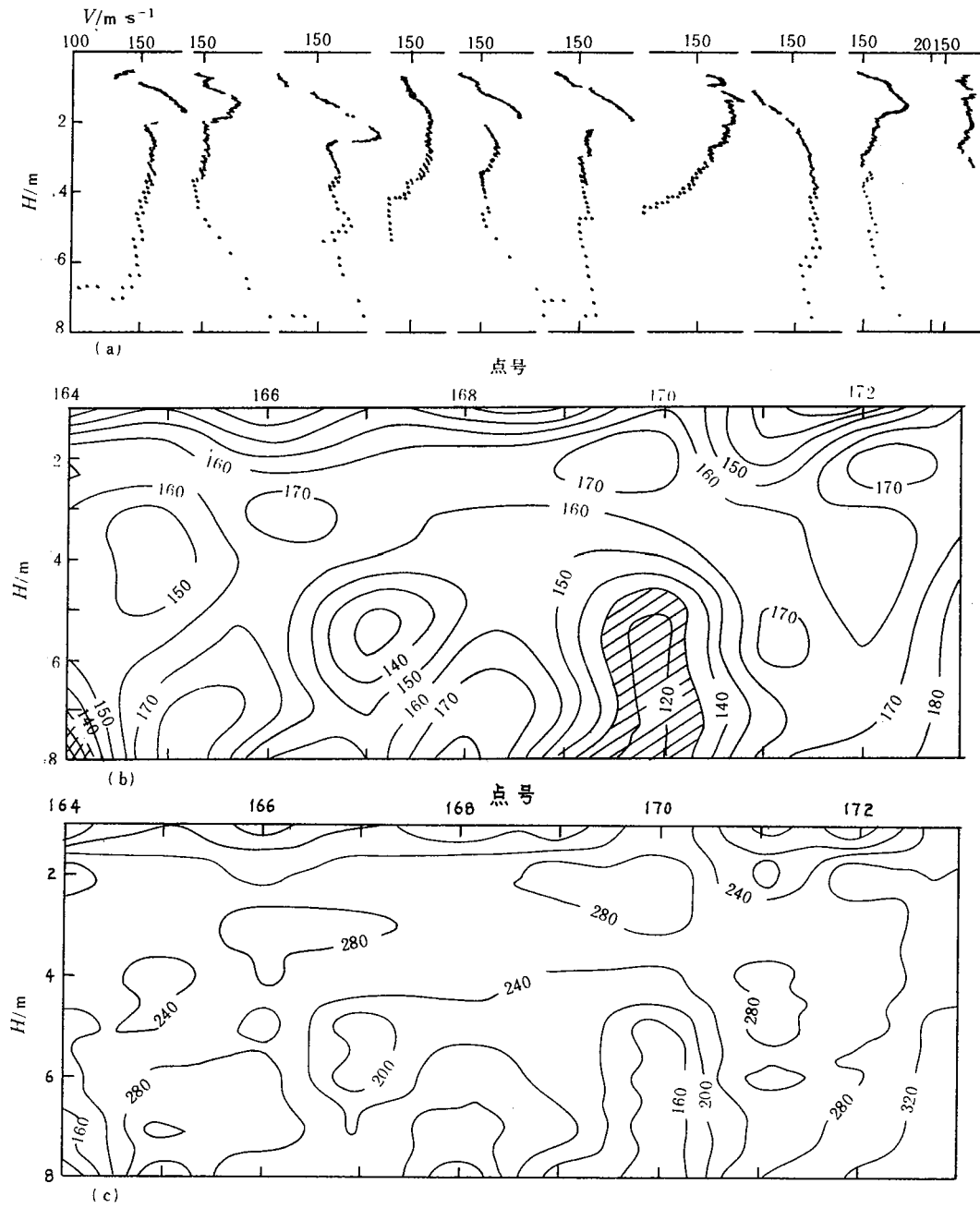


图3 强夯效果检测综合剖面  
 a—频散曲线; b—面波速度等值线; c—原承载力等值线

参 考 文 献

1 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术. 北京: 地质出版社, 1996. 41~59