

排水板测深中脉冲法的测量误差研究*

曹永华^{1,2,3}, 诸葛爱军^{1,2,3}, 于健^{1,2,3}

(1. 中交天津港湾工程研究院有限公司, 天津 300222;

2. 港口岩土工程技术交通行业重点实验室, 天津 300222; 3. 天津市港口岩土工程技术重点实验室, 天津 300222)

摘要: 为研究脉冲法在排水板打设深度方面的测量误差, 进行了室内试验: 将排水板浸入水中不同长度, 得到不同浸入长度条件下排水板的测量长度。将测量误差与浸入长度比较, 得到测量误差变化的一般规律, 指出影响测量误差的主要因素。

关键词: 排水板; 打设深度; 测量误差; 脉冲法

中图分类号: U 655.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0043-03

Measuring error of impulse method for detection of installation depth of prefabricated vertical drains

CAO Yong-hua^{1,2,3}, ZHUGE Ai-jun^{1,2,3}, YU Jian^{1,2,3}

(1. CCCC-Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical Engineering, Ministry of Transport, Tianjin 300222, China; 3. Key Laboratory of Geotechnical Engineering of Tianjin, Tianjin 300222, China)

Abstract: Laboratory test is conducted to study the measuring error of impulse method for detection of installation depth of PVD: Measuring lengths of PVD are obtained for different immersion lengths in water. Comparing measuring errors with immersion lengths, we obtain the general tendency of variation of measuring errors and main influential factors.

Key words: prefabricated vertical drains; installation depth; measuring error; impulse method

在软土地基排水加固处理中, 无论是真空预压还是堆载预压都广泛采用塑料排水板作为竖向排水通道, 以加速地基固结。近几年, 我国排水板的平均年用量都在1亿 m^3 以上。在排水固结法的设计中, 排水板的打设深度和间距是两项重要的内容。排水板的间距决定了土体最小的排水路径, 主要对加固周期产生影响; 而打设深度则决定了地基中有多少土体能产生排水固结, 对加固深度产生影响。因此, 从加固效果的角度来说, 排水板打设深度的准确到位是保证预压加固取得预期效果、减少建筑物工后沉降量的关键步骤。由于排水板打设后属于隐蔽工程, 很

难直接测量, 因此研究塑料排水板打设深度的测试方法具有非常重要的现实意义。目前, 对于排水板测深已经提出了一系列的方法——数字法、电阻法、记录仪法、脉冲法等。这些方法的优缺点及其比较可见相关文献^[1-6]。脉冲法是一种比较适合工程应用的方法, 也有研究进行过报导^[1-2], 但对其测量误差及其产生的原因的研究相对较少, 因此本文进行了此方面的研究。

1 脉冲法简介

波动现象伴随着能量的传播, 无论是机械

收稿日期: 2012-01-31

*基金项目: 天津市自然科学基金(11JCYBJC03300)

作者简介: 曹永华(1977—), 男, 博士, 高级工程师, 从事港口工程和岩土工程的科研与检测工作。

波还是电磁波，在其传播过程中，当传播介质发生改变时，在介质的分界面均能产生反射。利用波在介质界面的反射现象，可以解决很多工程问题。在岩土工程中，机械波的反射最常见的应用是动力测桩技术，而电磁波的反射则可以应用于排水板的测深中，这就是排水板测深中的脉冲法。排水板的深度可以根据式(1)计算：

$$L=c\Delta t/2 \quad (1)$$

式中： L 为排水板深度； c 为电磁波传播速度，受传播介质阻抗的影响，在真空中的传播速度为 3×10^8 m/s； Δt 是脉冲信号接收和发送时间的差值。

为实现脉冲电磁波的传播与反射，该测深技术须在排水板滤膜层搭接处预先埋入导线（铜丝）。为了减小周围介质的影响，采用塑料在导线周围对导线进行包裹，形成塑料隔离层。该隔离层还可提高导线的抗拉强度，而且在地下环境中可保持导线测量的耐久性。打设排水板后，采用低压脉冲反射法，测量导线两端之间脉冲波信号传输时间，计算导线长度，进而得到排水板的打设深度。

该测量技术实际上使用2根导线，但由于在施工时不存在导线连接，不增加工序，不影响施工效率，因而弥补了2根导线电阻测量法的技术缺陷，而且2根导线被封存至塑料膜内，看起来跟一根导线无异（图1）。为加以区别，也有文献称该方法为单导线方法^[2]。

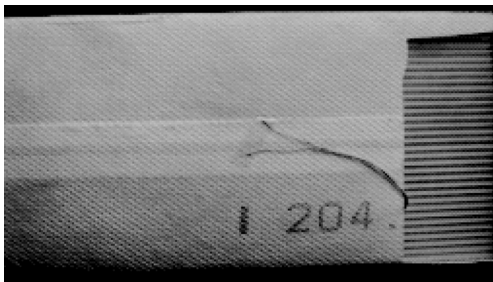


图1 脉冲法可测深排水板

该方法的优势之一是测量结果不基于施工过程，只检测最终的排水板打设深度，因此减少了检测中的人为因素。排水板打设后，在地面采用专用测量仪测量排水板的埋设深度，可在任意时间抽查

测读，可有效防止偷工减料，确保工程质量。

由于采用了电测技术，该方法目前还只能在陆上使用。采用该方法不能接板，实际上这也是所有电测深技术的共有缺陷。当使用接头排水板时，因为导线断开，所以采用该技术测得的排水板埋深为上面一截排水板的长度。

由式(1)可知，脉冲法测量得到的排水板深度由 c 和 Δt 确定。一般来讲， Δt 是测量的直接指标，其测试精度很高；而 c 受导线周围介质阻抗的影响，不是定值。由于 c 的不确定性，在空气中和在土体中测得的排水板长度是不一样的，因此排水板测量的误差主要来源于 c 。实际上，当排水板打入地基一段时间后，地下水位以下的排水板内会被水充满，因此对已经埋入排水板内的导线而言，其周围介质也只有水或者空气这2种情况。在实际工程中，导线周围介质情况取决于地下水位和排水板外露长度。因此，地下水位或者外露长度的改变，会引起测量精度的改变。对于脉冲法测试精度的研究，可以从周围介质是水或者空气的情况展开。

2 室内试验

前文已经指出导线周围介质不同时，会导致测试结果不同。由于排水板在绝大部分实际工程检测时，导线周围只可能为水或者空气这两者的任意一种。位于地下水位以上排水板，其导线周围为空气；位于地下水位以下排水板，其导线周围为水。这两者相对长度的变化，会导致检测精度的变化。为了检验和评估这种影响，特进行了下述室内试验。

试验研究思路为：将排水板浸入水中不同的长度比例，分别测试其检测长度，研究浸入比例与测试精度之间的关系。

为便于精确量测导线的入水深度，将铜导线从排水板中分离出来单独试验。为便于测量，在铜导线上按0.5 m的间距进行标记。

标记完毕，将铜导线浸入水中一定的长度，采用专用的测深仪对导线长度（对应现场的排水板深度）进行测试（图2~3）。同时记录该浸入

长度时铜导线的测量长度。对每个浸入长度，测量5次后取测量长度的平均值作为测量值。测量完毕，加大浸入长度0.5 m，继续测量。测出多组数据，对周围介质的影响进行评估。



图2 脉冲法检测设备



图3 导线入水测量

3 试验结果与讨论

试验采用导线的实际长度为20.07 m，浸入水中不同长度后的测量结果的统计分析见图4~5。

从图4来看，室内试验验证了导线周围介质不同时，会导致测量结果的差异，且导线在水中长度越大，测量误差会越小，且规律性良好。

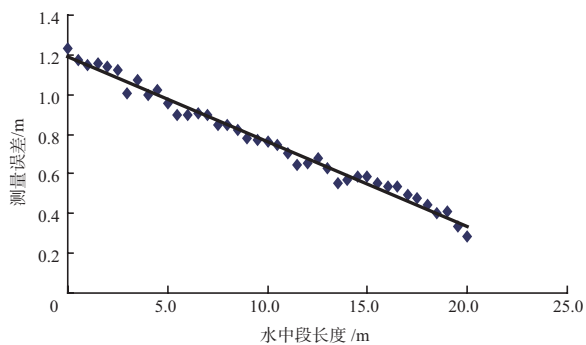


图4 测量误差随水中长度的变化

为研究不同导线浸入长度引起的相对误差，绘制了图5。

从图5可以看到，当导线全部在空气中时（即

图中水中段长度与总长度比值为0时），测量长度为实际长度的约94.1%，也就是误差约为5.9%；而当导线全部置于水中时（即图中水中段长度与总长度比值为1.0时），测量长度为实际长度的约98.5%，也就是误差约为1.5%；中间的测量误差基本随水中段长度与总长度比值呈线性变化。

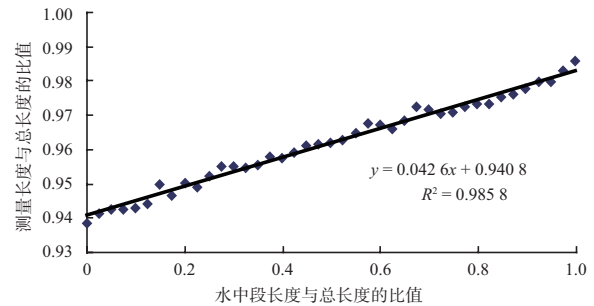


图5 相对误差随水中长度的变化

实际工程中几乎不可能达到5.9%的相对误差，因为排水板打入土中后，导线周围很快会被水包裹。从试验结果不难推断，排水板打设完毕后，应静置一段时间（比如12 h后），以使导线被水充分包裹，然后再进行打设深度的测量，以提高测量精度。

若排水板深度为5~40 m，外露长度为0.5 m，地下水位与地表齐平，则水中段长度与总长度的比值范围为0.909~0.988，按照图5的关系，算出的测量长度与实际长度的比值范围为0.980~0.983，也就是说测量误差为1.7%~2.0%。因此，按脉冲法，大部分工程的测量误差大致可以控制在2%以内。当外露长度和地下水位变化时，测量误差可能超出此范围。

实际上，空气中的测试精度也可以有很大的提高。脉冲法的测试仪中有一个内置的参数，该参数的设置影响着测试结果。导线位于空气中或水中时，该参数的设置是不一样的。当将参数设置成适宜于实际情况的数值时，测量精度都是比较高的。但由于实际工程中，导线的绝大部分是被水包裹的，所以，该参数一般设置成适宜于水中的数值。而实际工程中，受地下水位和外露长度的影响，总有部分排水板内的导线不被水包裹，从而影响了测试精度。

（下转第50页）