

TDR 技术监测地下水位

史彦新^{1,2} 张青¹

(1. 中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所 保定 071051

2. 中国地质大学(武汉) 430074)

摘要：本文介绍了一种监测地下水位的新技术，该方法利用脉冲波遇到电缆中空气与水的接触面时会产生反射波的原理，用监测系统对反射波的到达时间进行测量、计算，就能确定地下水位。文章给出了一个室内模拟试验的实例，证实了 TDR 监测地下水位的新技术方法是有效的、可行的。

关键词：时域反射技术，地下水位，监测

1. 前言

TDR 技术是时域反射技术 (Time Domain Reflectometry) 的简称，是一种电子测量技术，由于其测量原理简单，且测量具有省时、高效、精度高的特点，已被用于很多方面，在电力方面，用于测量通讯电缆的通断^[1]；在农业方面，TDR 测量土壤含水率的方法已经非常成熟，在我国也有许多该方面的研究报道^[2]；在工程方面，TDR 用于监测滑坡位移、确定滑动面的位置，国内外的研究人员也在积极探索，已有一些成功的案例和经验^[3]；在地下水监测方面，TDR 可用于地下水压力和地下水位的动态监测^[4]，这里介绍 TDR 技术监测地下水位的新技术方法。

2. TDR 监测地下水位的原理

一个脉冲波（快速的阶跃信号）被发射入同轴电缆中，脉冲信号在同轴电缆中传播的过程中，能够反映同轴电缆的阻抗特性。电缆的阻抗特性是电缆固有的属性，取决于电缆内部的介质以及电缆的直径等因素。当电缆发生变形或者遇到水之类的外界物质时，它的阻抗将发生变化。当测试脉冲遇到电缆的阻抗变化时，就会产生反射波。测量并计算反射波的到达时间，就可确定电缆阻抗发生变化的位置。

选择空气作填充介质的电缆，把电缆安装在监测井内，在空气与水的接触面，电缆的特性阻抗会大大减小。若向电缆内发射 TDR 测试脉冲，在空气与水的接触面处，就会产生反射波。测量反射波的到达时间，就可以推算出监测井的地下水位埋深。

图 1 是一段测试电缆在未进水和已充水两种情况的 TDR 监测信号示意曲线。a 点是测试电缆与监测系统的连接处（电缆头），b 点是电缆中空气与水的接触面，c 点是浸入水中的测试电缆的尾部，c 点是未浸入水中的测试电缆的尾部。可见，未放入水中的测试电缆的 TDR 信号（图中的 abc 段），是一条平滑的直线，在电缆尾部（开路处），有一个上升的脉冲；浸入水中的电缆，水位在 b 点（电缆 bc 段充水），在空气与水的接触面，TDR 信号呈现一向

史彦新，女，生于 1971 年 5 月，中国地质大学（武汉）在读硕士，工程师，主要从事地质仪器和地质灾害监测系统的研制。

下的脉冲，并渐渐趋于平稳，在电缆尾部 c 点，出现一上升的脉冲。可以看到，图中 abc

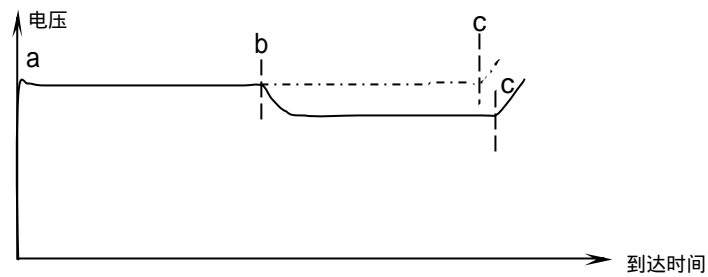


图 1 TDR 监测信号示意图

段要比 abc 段长，这是由于波在水中传播的速度比在空气中传播的速度慢，浸入水中的电缆，水作为电缆的介质，所以反射波的到达时间要比同等长度的未浸入水中的电缆的反射波的到达时间要长（图中 c c 段）。我们不必了解电缆在水中的传播速度，只要知道 ab 段的时间，就可判断空气与水的接触面的位置。

如果 TDR 测试脉冲信号在测试电缆中的传播速度为 V_p ，反射信号的到达时间为 T_d ，那么电缆头至空气与水的接触面的距离 d 可由式(1) 来表示

$$d = V_p \times T_d / 2 \quad (1)$$

通常情况下，电脉冲信号在同轴电缆中的传播速度 V_p 可以由下式表示：

$$V_p = \frac{C}{\sqrt{K^2}} \quad (2)$$

其中：C---光速（ 3×10^{10} cm/s）；

K---与同轴电缆的特性有关的常数。

由(1)式和(2)式可知，只要知道 K 的值（通常可通过室内的电缆标定获得），就可计算出波在电缆中的传播速度 V_p ，测量得到 TDR 反射信号的到达时间 T_d ，即可确定监测井的地下水位。

当井内水位发生变化时，反射波到达的时间也发生变化。当水位上升，电缆头至空气与水的接触面的距离缩短，反射波到达的时间提前；当水位下降，电缆头至空气与水的接触面的距离增大，反射波到达的时间延长。这样通过监测反射信号的变化，就可以实现地下水位的动态监测。

3. 模拟试验

为了验证理论的正确性，进行了室内模拟试验。图 2 是 TDR 监测系统室内模拟水位监测试验得到的一条曲线。试验选择的电缆型号为 SYKV75-5，空芯（空气作填充介质），将电缆的最后 8m 浸入水中，用 TDR 监测系统接收反射信号。图 2 横轴为电压，纵轴已换算为深度（长度），TDR 信号曲线在 66.4m 处开始向下弯曲，在 74.4m 处出现上升脉冲，已达电缆尾部，显示电缆 66.4m ~ 74.4m 处已经充水，与放入水中的电缆长度基本相符。

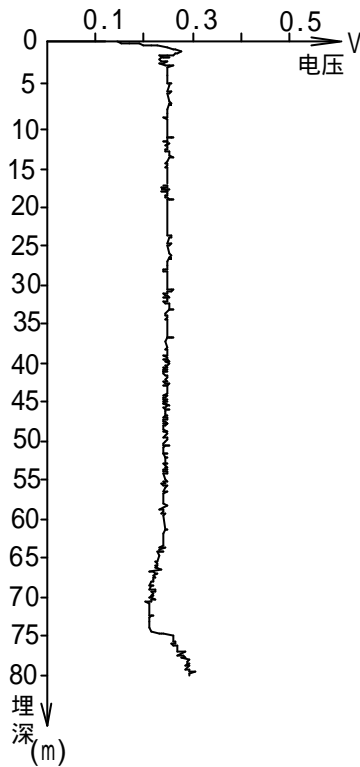


图2 室内模拟水位监测 TDR 曲线

4. 结束语

通过以上论述可知，TDR 技术用于监测地下水位，无论从理论上还是从实践上都是可行的。TDR 监测地下水位，安装非常简单，不需加额外的传感器，也不需要进行野外校准，只要把监测用的同轴电缆垂直放入监测井中（水位以下），连接好地面上的监测接收仪器，既可实现地下水位的动态监测。

参考文献：

- [1]. Andrews, Time Domain Reflectometry, Symposium and Workshop on Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining Applications held at Northwestern University, Evanston, Illionis, 1994.
- [2]. 孙玉龙, TDR 技术及其在土壤水分及土壤溶质测定方面的应用, 灌溉排水, 2000 (1), 37-41.
- [3]. William F. Kane, Development of a Time Domain Reflectometry System to Monitor Landslide, 1996.
- [4]. Charles H. Dowding, Ground Water Pressure Measurement with Time Domain Reflectometry, 1994.