

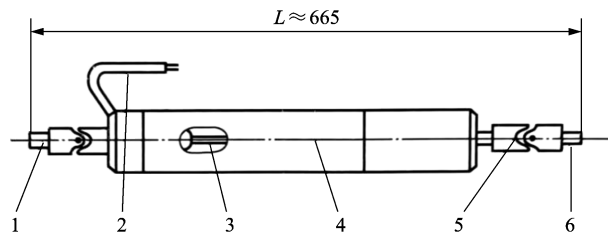
路基变形监测传感器

随着现代交通基础设施建设的蓬勃发展，路基工程规模持续扩大，对其变形监测的要求也越发严格。大地测量技术虽经典但效率欠佳，全球导航系统监测技术在复杂环境下信号易受干扰，难以满足日益增长的监测需求。在此背景下，基于传感器的监测技术凭借其独特优势成为路基变形监测领域的重要补充，为获取精准、全面的监测数据提供了有力支持。基于传感器的监测技术包含丰富多样的监测手段，其核心在于利用各类传感器实现对路基变形的精准感知。路基变形监测传感器可分为水平位移监测传感器和沉降监测传感器。

1. 水平位移监测

(1) 差动电阻式位移计

差动电阻式位移计是一种供长期测量土体或其他结构物间相对位移的观测仪器。在外界提供电源时，它输出的电阻比变化量与位移变化量成正比，而输出的电阻值变化量与温度变化量成正比。差动电阻式位移计由变位敏感元件、密封壳体、万向铰接件和引出电缆四部分组成，如图 1 所示。变位敏感元件是差动电阻式传感器。仪器两端万向铰接件配有柱销连接头和螺栓连接头，可用于连接锚固板或长杆等。



1—螺栓连接头；2—引出电缆；3—变位敏感元件；4—密封壳体；5—万向铰接件；6—柱销连接头。

图 1 差动电阻式位移计

差动电阻式位移计的工作原理为：被测位移量作用下，差动电阻式变位敏感元件的两组电阻钢丝产生差动变化，即引起电阻比变化。位移量变化与电阻比变化量具有线性关系。其埋设与安装，应根据实际需要配制不同规格的锚固板（一般为法兰盘）、支架、固定桩等。

(2) 钢弦式位移计

钢弦式位移计采用钢弦式传感器，工作于谐振状态，迟滞、蠕变等引起的误差小，温度使用范围宽，抗干扰能力强，能适应于恶劣环境中工作，广泛应用于地基基础、路基工程、水工建筑及其他土工建筑物的位移监测。钢弦式位移计由位移传动杆、传动弹簧、钢弦传感器、电磁线圈、钢弦支架、防水套管、导向环、内外保护套筒、两端连接拉杆和万向节等部件构成，如图 2 所示。电缆常用二芯屏蔽电缆。

工作原理为：当位移计两端伸长或压缩时，传动弹簧 7 使钢弦传感器 5 处于张拉或松弛状态，此时钢弦频率产生变化，受拉时频率增高，受压时频率降低。位移与频率的平方差呈

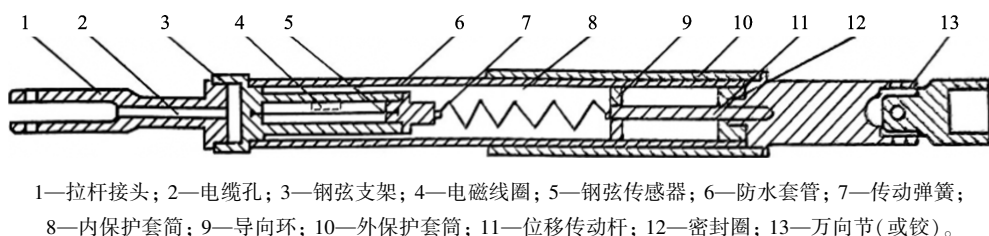


图2 钢弦式位移计结构示意图

线性关系。因此，当测出位移后的频率，即可按公式算出土体的位移量。

(3) 引张线式水平位移计

引张线式水平位移计是由受张拉的钢瓦合金钢丝构成的机械式测量水平位移的装置，其优点是工作原理简单、直观、耐久，观测数据可靠，适合于长期观测，被广泛用于填土建筑物及边坡工程中，观测其水平位移。引张线式水平位移计主要由锚固板、钢瓦合金钢丝、钢丝头固定盘、分线盘、保护管、伸缩接头、固定标点台和游标卡尺等组成，如图3所示。

工作原理为：在测点高程水平铺设能自由伸缩、经防锈处理的镀锌钢管(或硬质高强度塑料管)，从各测点固定盘引出钢瓦合金钢丝至观测台固定标点，经导向轮，在其终端系一恒重砝码，测点移动时，带动钢丝移动，在固定标点处用游标卡尺量出钢丝的相对位移，即可算出测点的水平位移量。测点位移大小等于某时刻 t 时读数与初始读数之差，加相应观测台内固定标点的位移量。

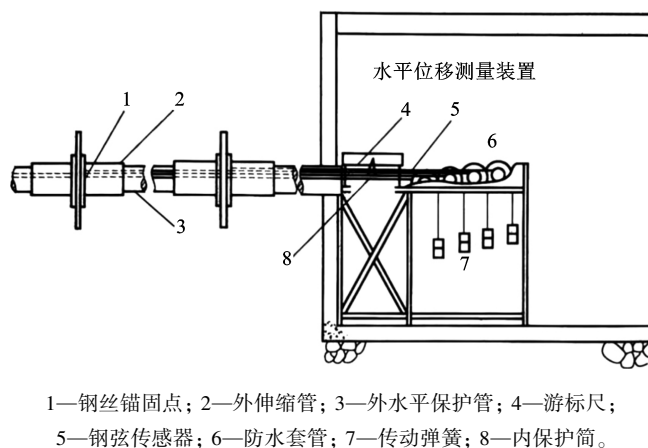


图3 引张线式水平位移计

(4) 测斜仪

测斜仪是通过测量测斜管轴线与铅垂线之间夹角变化量，来监测土、岩石和建筑物的侧向位移的高精度仪器，测斜仪被广泛用于路基路肩及边坡、土石坝、混凝土坝的坝肩、坝基和坝体中侧向位移的监测。

测斜仪有常规型和固定型两种，常规型就是习惯称之为滑动型测斜仪。带有导向滑动轮

的测斜仪在测斜管中逐段测出产生位移后管轴线与铅垂线的夹角，分段求出水平位移，累加得出总位移量及沿管轴线整个孔深位移的变化情况；固定型是把测斜仪固定在测斜管某个位置上进行连续、自动、遥控测量仪器所在位置倾斜角的变化。它不能测量沿整个孔深的倾角变化，但它可以观测人员难以到达的高边坡上或已知滑坡段滑面的位置的动态监测。测斜仪工作原理及安装示意图如图 4 所示。

测斜仪的基本配置包括测斜仪套管、测斜仪探头(传感器)、控制电缆及测斜读数仪。测斜仪的传感器包括伺服加速度计式、电阻应变片式、电位器式、钢弦式、电感式、差动变压器式等，国内多采用伺服加速度计式和电阻应变片式。

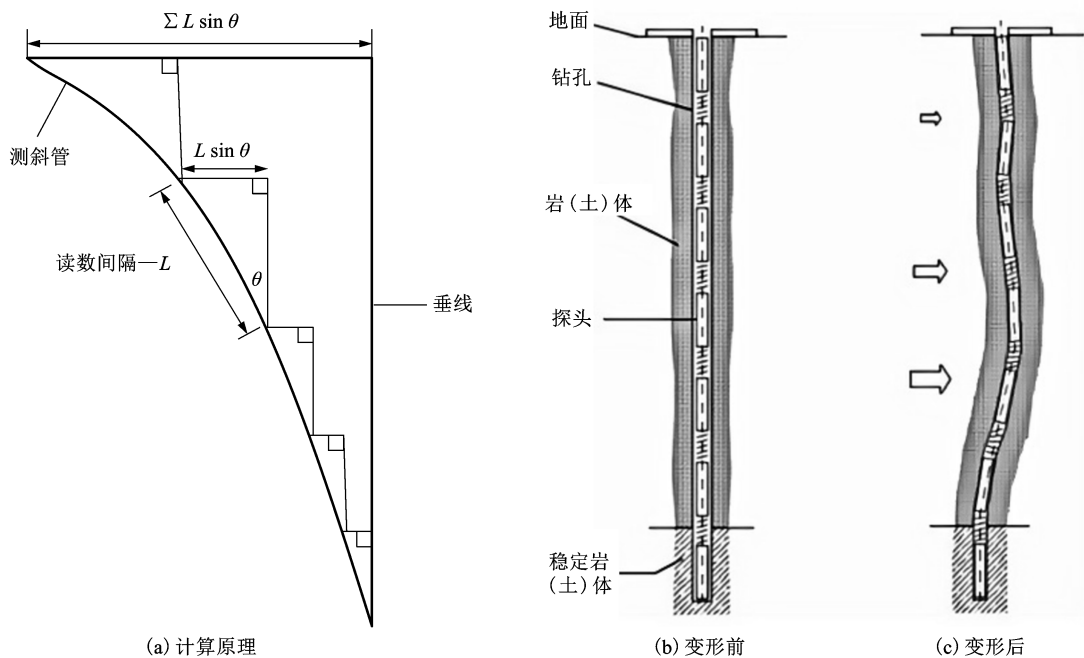


图 4 测斜仪原理及固定测斜仪安装示意图

2. 沉降监测

(1) 水压式剖面沉降仪

水压式剖面沉降仪是一种将沉降管与二次测量一起结合起来的沉降监测仪。沉降管即为常见的 PVC 管，二次测量仪器主要组成部件为传感器探头、注水管以及注水架。其中传感器为静水压力传感器，可以探测探头所处位置静水压力(如图 5 所示)。当使用沉降仪进行沉降监测时，如果土体发生沉降，探头位置就会发生变化，探头上的静水压力传感器测得静水压力也会发生变化。根据静水压力值即可得到探头所处高程，从而求得土体的沉降量。

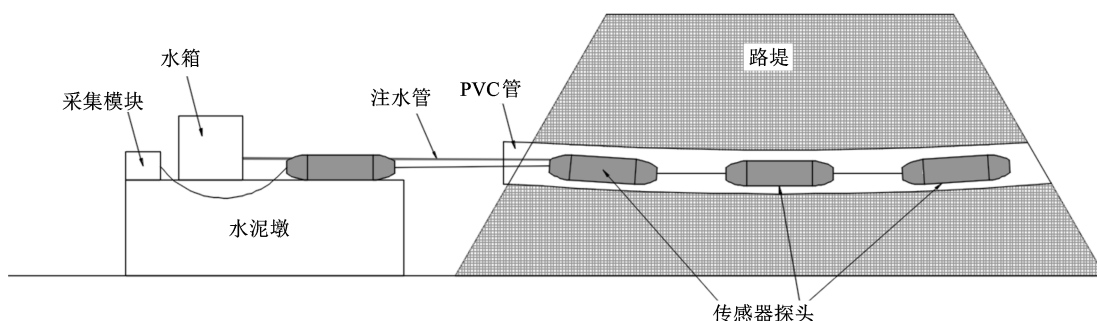


图 5 水压式剖面沉降仪

(2) 钢弦式剖面沉降仪

钢弦式剖面沉降仪主要包括三个组成部分：传感器探头、拉弦、缆管以及显示仪，其中传感器为钢弦式压力传感器，如图 6 所示。使用沉降仪进行沉降测量时，先将测管埋入填土之中，然后将沉降探头放入测管之中。沉降探头一段连接充液缆管，另一端连接拉弦，在充满液体的测管内水平移动。在探头移动时，探头上的压力传感器与放置于稳定的基准点上的液体容器相连，测得测管内液体压力以后，就能得出探头和容器内液体的水位差，根据水位差的变化就可以到相应点的土体沉降量。

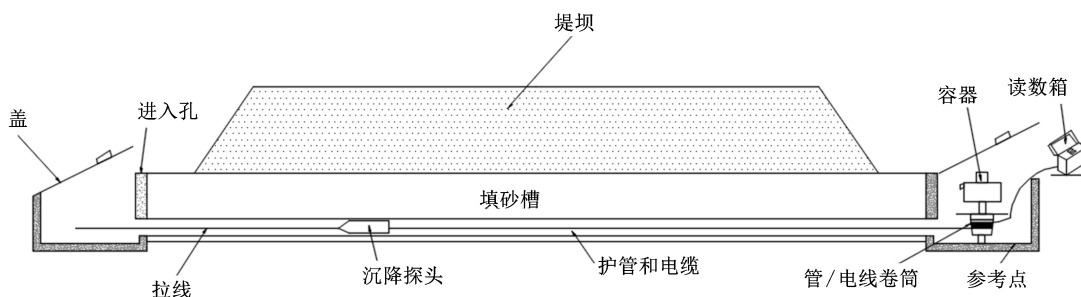
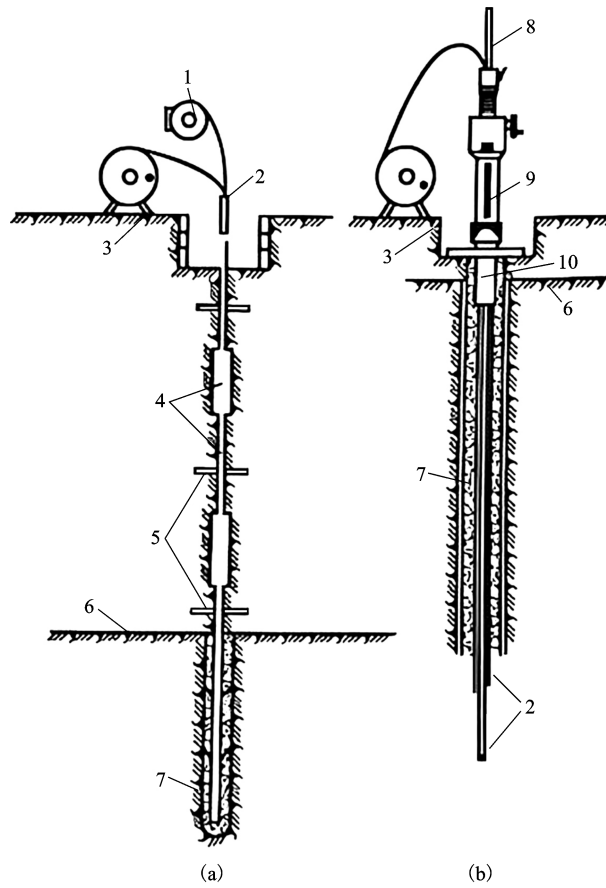


图 6 钢弦式沉降系统

(3) 电磁式沉降仪

电磁式沉降仪适用于路基体内的分层沉降量的观测，以及路堤、地基处理过程中的堆载试验，也可测得一般堤坝的水平位移即侧向位移。电磁式沉降仪主要由测头、三脚架、钢卷尺和沉降管组成，如图 7 所示。

其工作原理为：埋入土体的沉降管要按设计需要隔一定距离设置一铁环，当土体发生沉降时该环也同步沉降，利用电磁探头测出沉降后铁环的位置，与初始位置相减，即可算出测点的沉降量，如图 8 所示。



1—测尺；2—测头；3—回填土；4—伸缩式接管；5—铁环；6—天然土；
7—灌浆；8—测杆；9—显读测尺；10—基准环。

图 7 电磁沉降仪

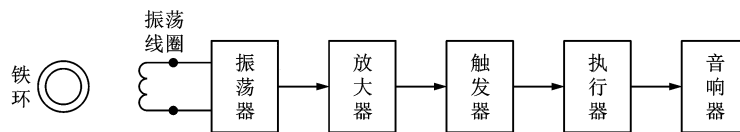


图 8 电磁式沉降仪的工作原理