

土压力传感器的标定方法

刘宝有

(铁道部科学研究院铁道建筑研究所)

Calibration Methods for Soil-pressure Sensors

Liu Baoyiu

(Institute of Railway Construction of Academy of Ministry of Railway)

一、概述

土压力测量中要求每个土压力传感器有一条供数据分析用的土中标定曲线，而目前大多数土压力传感器的制造厂家只提供一条经过处理的、在气压或水压作用下的标定曲线，这是不够的。因此，要求每个土压力传感器必须在一个专用的大型土压标定箱中，用现场的土介质，按预定的现场埋设方法安装，进行标定得到其土中标定曲线。

土压力传感器土中标定用的标定箱，其箱中压力分布不均匀且存在侧壁摩擦，影响了标定数据的准确度。为了更好地解决土压力传感器的标定问题，若干国家进行过理论和试验研究，对传感器的土中标定提出了某些看法。

澳大利亚 D.H.Trilope 等人，从理论上推导出，若使传感器的工作状态与现场情况相同，传感器受压面上产生拱效应所需的土层厚度，必须为承压面有效直径的 0.9 倍以上。外径为 150mm、有效直径

为 100mm、厚度为 17mm 的薄板式土压力传感器在标定箱中进行标定试验的结果表明：当传感器埋深大于 150mm 时，在离开箱壁大于 100mm 处可不受边壁摩擦的影响。

日本的市原和古川二人指出，当传感器安设在标定的压力箱中，除考虑拱效应的作用外，还要考虑应力集中的问题。在标定箱中为使应力集中系数与现场条件相同，且成为一定值，所需的最小土层厚度可按下式决定：

$$Z_0 = 60 \frac{H}{D} \quad (1)$$

式中， H ——土压力传感器的厚度；
 D ——土压力传感器的外径。

此外，瑞典土工所研究出一种环圈仪加载设备，经国内外许多试验表明利用此设备可以大大减少边壁摩擦的影响，满足土中标定的要求。

根据上述各方面的研究可以认为，为

— — — — —
 收稿日期：1989年9月1日

了使传感器在土中标定定时拱效应现象和应力集中影响与现场条件一致，标定时，传感器要有一定埋深，离标定箱的箱壁要有一定距离，以尽量设法减少边壁摩擦的影响。

二、土压力传感器的标定设备

目前国内外常用的土压力传感器的标定设备大致可分为三类。

(一) 只能加垂直荷载的圆筒压力标定箱

图1为圆筒压力标定箱的结构示意图。在设计加工时为了减少边壁摩擦的影响，将标定箱的内壁加工成具有很高的光洁度，使用时再涂一层肥皂或粘性油，也有的在其内壁涂一层粘性油后再粘一层塑料薄膜。虽有这些措施，但边壁摩擦影响仍然较大。

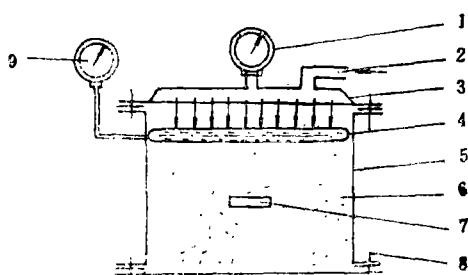
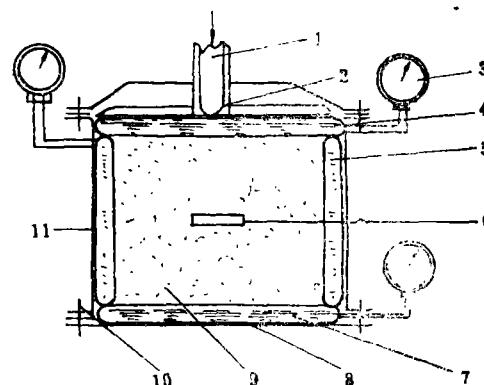


图1 圆筒压力标定示意图

这类圆筒压力标定箱的直径为50~100cm，高度为30~90cm。如国内建筑科学研究院地基所使用的标定箱的内径为75cm，高度可变，从30~90cm，筒身为两节，用钢板卷成焊制，上盖和箱底为半球型。

(二) 垂直和侧向均可加压的圆筒压力标定箱

图2为垂直和侧向均可加压的标定箱



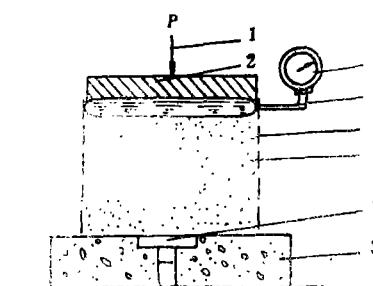
1—油压千斤顶；2—刚性加载板；3—水压表；
4、5、7—充水橡皮囊；6—土压传感器；8—底板；
9—砂介质；10—连接螺栓；11—压力箱筒壁。

图2 双向加压的圆筒压力标定箱的结构示意图。标定箱置于加力架下，用液压千斤顶加垂直压力，通过上下两个充气橡皮囊传给土介质，侧壁和橡皮圆筒之间充水加侧压力。该类设备的优点是，消除了边壁摩擦的影响；缺点是，因为底部、侧面采用橡皮圆筒及橡皮囊，导致装砂时难以控制均匀的密度。

这类设备的直径为50~110cm，高度为40~100cm。

(三) 环圈仪

环圈仪的设计思想是，在减小甚至消除边壁摩擦影响的条件下对土压力传感器进行土介质中的标定，它是由若干个直径相同的环圈重叠在一起，环圈间保持一定



1—在加力架下的集中荷载；2—加载板；3—压力表；4—充水或充气橡皮囊；5—环圈；6—砂介质；7—土压传感器；8—混凝土底座。

图3 用作土压标定的环圈仪

间隙的一个圆环式标定装置。当环圈仪中装砂和埋设传感器的工作就绪后，即可将环圈仪置于加力架下，通过橡皮囊充气加载，把压力传递给环圈仪中的土体和土压力传感器上，见图 3。

三、土压力传感器的标定方法

(一) 边界式土压力传感器的标定

采用环圈仪可以对边界式土压力传感器和量测土中自由场压力的传感器进行土中标定试验。

1. 环圈仪的性能

环圈仪的结构示意见图 3，环圈内径为 50cm，环圈壁厚为 0.8cm，每一环圈高度为 5 cm，装砂时的环圈间隙为 0.2cm。由于各环圈之间存在间隙，侧壁摩擦的影响基本上可以消除。所加荷载可以较均匀地作用到土压力传感器承压面上。

由于环圈的径向变形很小，所以土的水平应变很小，土体对环圈侧壁作用的水平压力 σ_k 可用下式表示：

$$\sigma_k = k_0 \sigma \quad (2)$$

式中， k_0 —土对环圈的静侧压系数；

σ —土中所受的均匀垂直压力。

如环圈的重量不计，为了保持环圈的静力稳定，则在每个环上作用的摩擦力，在环圈上半部方向向下，下半部的方向向上，如图 4 所示。对每个环圈来说，在环圈高度上半部和下半部作用着方向相反的摩擦力，其值均为：

$$P_f = 2\pi R \cdot \frac{h}{2} \cdot k_0 \cdot \sigma \cdot f$$

式中， f —土对环圈的摩擦系数。

R —环圈的半径。

P_f 对垂直荷载 $\pi R^2 \sigma$ 的比值，即试验中环圈下半部分对荷载造成的相对误差 δ_0 为：

$$\delta_0 < \frac{h}{R} \cdot k_0 \cdot f$$

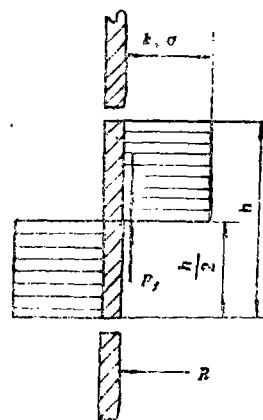


图 4 环圈受力状态

由于环圈间隙的存在，每环之间没有摩擦力的影响。假设环圈上半部分的影响为零，而下半部分的影响均布整个环高，则对整个土体的相对误差 δ_0 为：

$$\delta_0 < \frac{h}{2R} \cdot k_0 \cdot f \quad (3)$$

假定， $f = 0.4$, $k_0 = 0.4$ ，若环圈高度 5 cm，环半径 25cm，则计算的相对误差值 $< 1.6\%$ ，故由侧壁摩擦引起的误差可以忽略不计。

2. 标定前的准备

传感器在土中标定之前，首先对传感器进行气压或油压标定。

按式 (1) 的要求，当传感器的直径为 10cm、高度为 2cm，所需的最小土层厚度只要 12cm 即可。用环圈仪标定试验时，可逐环加高，直到土压力传感器的读数稳定为止。

3. 标定试验的步骤

(1) 土压力传感器的安装固定

标定之前先把土压力传感器安装于预制的混凝土块 ($60 \times 60 \times 15\text{cm}^3$) 中央的预留孔中，要求传感器表面与混凝土块表面齐平，用熟石膏粉或早强水泥浆固定。为检查传感器是否固定稳妥，可直接在橡皮囊上加压，如试验结果与气压标定结果相同，则认为土压力传感器固定良好，否则应重新安装固定。

(2) 放置环圈

在放置环圈时，使传感器位于环圈中心，在环圈间垫好间隙块（2 mm），用透明胶纸或白胶布将间隙内壁贴封，以防漏砂。

(3) 装砂

若用标准砂，则根据其粒径选用筛子，用撒砂法使标准砂通过筛孔，均匀地装入环圈中，落砂高度始终保持在35cm，撒满环圈，刮去多余的砂。

如用现场的土（黄土、砂土或粘土等），则逐环装入圈中，人工夯实到与现场相近的密度为止，将顶面的土刮平。

(4) 环圈仪就位

把载有环圈仪的小车推入加力架下，对准方位，分别放好橡皮囊和加载板，再把加力架上的加力头紧固在加载板上，连好加气装置。

(5) 预压

加载一次至传感器的满量程，然后卸载，去掉环圈间垫块。

(6) 标定

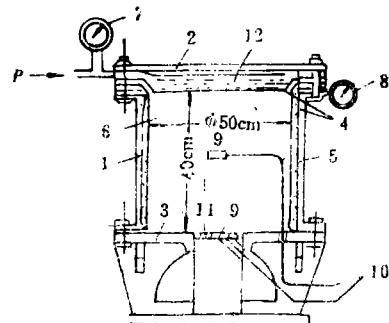
根据土压力传感器的量程，加、卸载三次，标准压力由0.35级的标准压力表给出。传感器的输出读数根据不同类型的传感器选用不同的二次仪表记录各次加、卸载的读数。

(二) 土中压力传感器的标定

土中压力传感器系指埋入土中量测自由场压力的传感器，即埋入式传感器。

1. 标定设备

埋入式传感器的标定设备，最好用带有弹性壁的压力标定箱，如图5所示。图5—(a)为苏联曾标定埋入式土压力传感器的标定箱。这种设备为目前标定埋入式传感器较好的一种。该设备的垂直和水平荷载可按不同比率进行，从标定的条件来看，与土压力传感器实际的工作条件相近。图5—(b)为荷兰Planmuma设计制



1—箱体；2—盖子；3—基座；4—橡皮薄膜；
5—水；6—砂；7—垂直压力用压力表；8—水平压力
用压力表；9—土压传感器；10—导线；11—传感器
模具；12—充气或充水的橡皮囊。

图5—(a) 苏联埋入式土压传感器标定设备

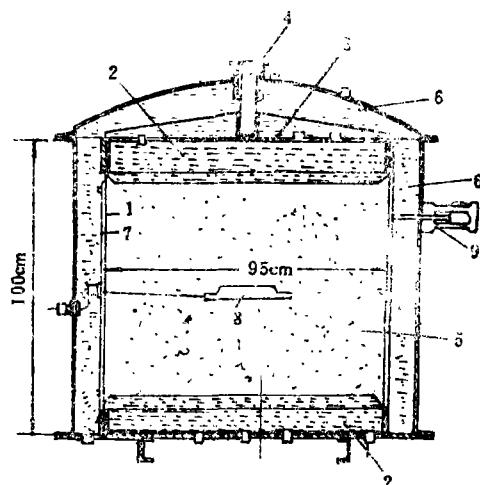


图5—(b) 荷兰Planmuma的土压传感器标定设备

作的一种标定设备。该设备为了消除侧壁摩擦力，在箱侧专门设计了可以充水的橡皮圆筒1，顶部的垂直压力是利用橡皮囊2均匀地分布于土介质之上，橡皮囊2上面放一块钢板3，液压千斤顶4的压力施加在钢板3之上，同时底部也设有充水橡皮囊2，垂直压力和水平压力可以同时按不同的比率给出。

(下转63页)

**薄膜应变式
压力变送器**

目前，日本共和电业公司推出一种高精度压力变送器。该压力变送器主要是由一种采用溅射薄膜工艺形成的应变计而构成。该应变计由绝缘层、电阻薄膜与电极组成，其中主要使用了无机物，膜厚是以前箔应变计的 $1/10$ ，也不需采用粘接剂，从而使应变计不仅形状效应好，还提高了耐热性，现已取代了箔应变计。最近，采用薄膜应变计制成的压力变送器具有精度高、体积小及耐热性强等特点，可在 200°C 高温下长期稳定使用。

这种薄膜应变计式压力变送器的应用范围也很广泛，可用于超低温、高温、真空或超高压、高加速度等苛刻环境中，一般适合宇宙、航空领域中应用。

(马丽杰)

**红外CO₂
传 感 器**

美国康科德Valtronics公司推出的2015BMC型传感器是一种红外CO₂传感器，它可制成手提式或安装在设备中使用。它可用于计算机多点控制系统中对CO₂进行

(上接45页)

2. 标定方法

以图5-(b)所示标定箱为例加以说明：

(1) 放好橡皮圆筒和底部的橡皮囊，并给予充水；(2) 装砂是用落高一致的撒砂器装砂，当装砂到筒高的一半

时，把埋入式土压力传感器安放在砂上，固定稳妥，把导线从导管中引出筒外，继续撒砂装满圆筒为止；(3) 放好顶部橡皮囊和钢板，用液压千斤顶顶住；(4) 加载时，垂直压力和水平压力按不同的比率给出；(5) 一次装砂进行逐级加、卸三个循环。

(吴雄)

(上61接页) 加热时，其晶体表面因产生自然极化而出现电荷的现象，称为热释电效应。

强电介质BaTiO₃的热释电效应比较明显。当BaTiO₃的上下表面设置电极，并用红外线加热，当温度升高 ΔT 时，晶体原子排列将发生变化，进而产生自然极化 ΔP ，由于整个晶体要保持自身的电中性，于是，在其表面产生 ΔQ 电荷。

表征某种材料焦电效应大小的参数称为热释电系数，热释电系数 λ 为：

$$\lambda = \frac{\Delta P}{\Delta T} \text{ 或 } \lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

热释电效应被应用于研制开发新型红外光敏元器件只是近20年的事。热释电或红外光敏元器件具有响应光谱范围宽，不需冷却和价格低等一系列优点。

**“七·五”期间国家重点
传感 器 攻 关 项 目**

经1989年

“七·五”期间

国家重点科技

攻关工作会议研讨，确定出以国内外市场为导向的400个重大新产品、新材料项目。其中，传感器有12项是以国家指令性计划正式公布的作为《“七·五”国家重点科技攻关项目计划》的主攻目标和完成计划的最基本考核任务。具体项目为：

1. 溶氧电极；2. 耐高温pH值电极；
3. 料液计量传感器；4. 自动消沫检测传感器；5. 排氧检测传感器；6. 排二氧化碳检测传感器；7. 葡萄糖酶传感器；8. 谷氨酸酶传感器；9. 青霉素酶传感器；10. 细胞浓度检测传感器；11. 氯离子酶场效应晶体管；12. 青霉素酶场效应晶体管。

(吴雄)