

用激光仪器测定建筑结构的垂直变形

[苏联] В.И.Твердовский

在原子能发电站使用装卸机(РЭМ)时,产生垂直变形。变形情况如下:如图1所示,当装卸机倾斜时,挂在吊车2上的吊斗1产生了力矩 M ,在力矩的作用下,吊斗绕吊挂点转动,并带动密封仓也跟着转动。这时,与桁架3牢固地联在一起的密封仓的上部产生弹性变形。

为了测定装卸机密封仓的垂直度,新西北利亚测绘学院工测教研室研制了一台叫做测斜计的激光仪器样机。全套仪器(图2)包括带电源箱1的激光双向垂线器和获取远距离测量信息的电视系统。测定装卸机的倾斜和变形的主要部件是激光双向垂线器,也就是测斜计本身。仪器固放在一个金属机壳内。在机壳上有制动旋钮3,有螺纹盖7盖着的窗口6。为了校正仪器以及为了向减震器中灌油,在机壳上还装有活盖4,它可以取下来。在活盖4上有用来接通电源的接头。在装卸机上安装测斜计时,把手5可以取下来。

为了获取远距离测量信息,用了电视系统。它由一个带坐标网的半透明基片11,双向电视摄像机《Электроника Л-801》9,电源10,转换器12,监视器(ВКУ)8组成。作

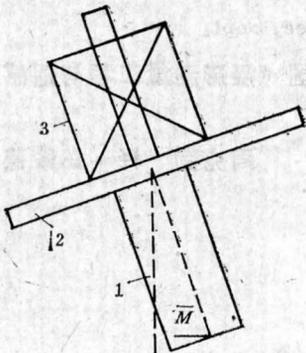


图1 桁架-密封仓-吊斗系统

为监视器,使用了电视接收机《Сапфир-401》。

本电视系统与参考文献[1-3]中介绍的系统相比较,其主要区别如下:由于应用了双坐标网,因此缩小了观测值的范围,相应增大了影像的比例尺,达到4:1。由于应用了转换器,在一台电视机上可以转播两台电视摄像机的影像。有了半透明坐标网,就可将摄像机沿屏幕平面的法线安放,从而可以消除影像的畸变。

图3展示出了激光双向垂线器在取下机壳后的情景。仪器的主要部件是(ЛГН-105型)氩氛激光管4,此激光管与光学系统2固定在一起。后者把激光聚焦并射向两个相反的方向。光束调焦要经过窗口1,进入望远镜的调焦部位。

仪器的倾斜按摆的原理进行补偿,摆的作用由挂在万向关节5上的光学系统及激光器来完成。为了消除摆的自由摆动,在仪器内装有液体减震器12。为了减弱装卸机移动时的强烈摆动,采用了由多孔橡胶构成的机械减震器3。当仪器在存储和运输的时候,用制动旋钮11把摆牢牢地固定起来。仪器的光学系统安置在用垫板8和支柱9构成的牢固的桁架里面。在这个桁架上套着机壳,并固定着其它附加装置,如:对接用的支柱7,水准器6,螺钉10等,

仪器光学系统的工作原理如下(图4):由激光器2发出的光束,进入安置在圆柱形机壳1上的与光束同轴的望远镜中。为了把望远镜安置在正确的位置上,有校正螺旋3。然后光束射到有50%镀银的反射镜6上,被分成光束A和B。由反射镜6反射出来的光束B,通

过五角棱镜 7 后与光束 A 方向相反。反射镜 6 和五角棱镜 7 安在机架 8 内，并有校正螺旋可

把光束 B 调到铅垂位置，五角棱镜有一个平衡重 5。

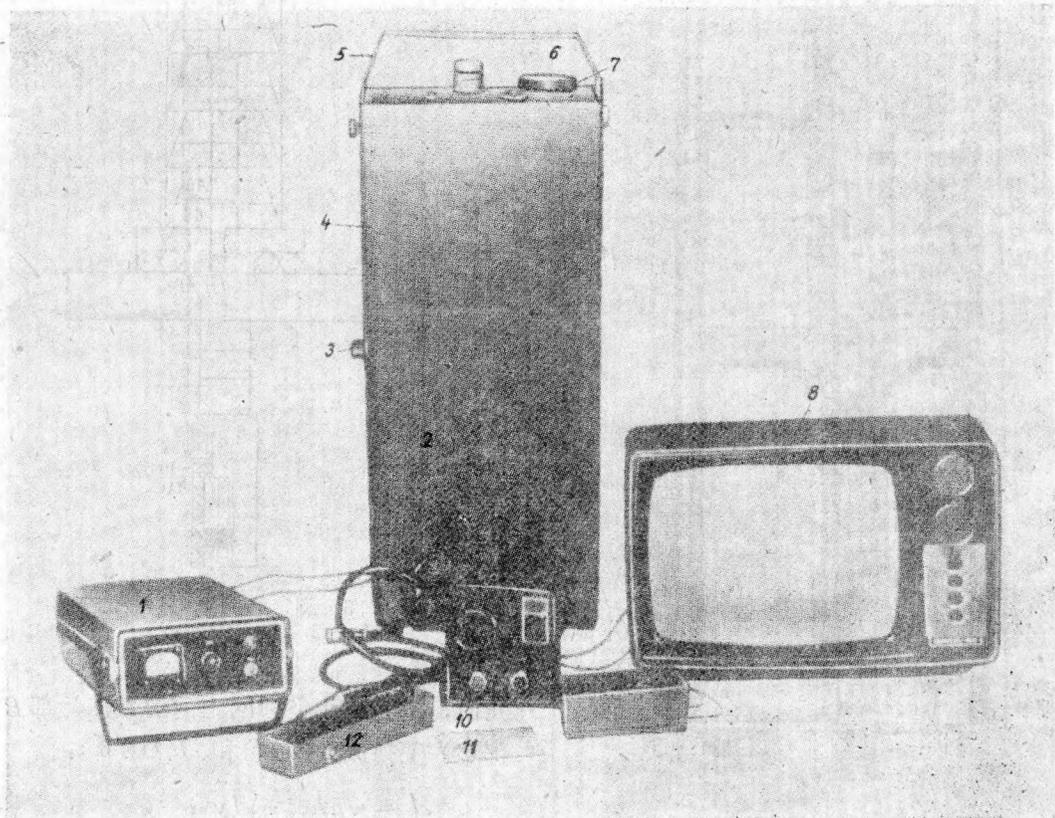


图 2 全套测斜计

为了测定装卸机密封仓的倾斜与变形，在点 A (图 5) 安装了一块 0.8 米长的槽钢，在槽钢上挂双向激光垂线器。在点 B (密封仓上端) 有一块长 1.6 米的槽钢，在槽钢上安置带有坐标网 3 的电视摄像机 2，安置在密封仓下端 (点 C) 的电视摄像机 11 和坐标网 9，固定在与密封仓直连在一起的铁架 10 上。由吊斗的窟窿中伸出来的闸板 8，用来作联结的铁架。仪器的这种安放方法，可以测定密封仓的底部相对其上部 and 吊斗的位置，而不必打开用于生物防护的可以移动的部件，这就有可能在运载燃料的过程中，完成全部测定工作。

为了测定桁架、密封仓、吊斗之间的相互位置，把测斜计 6 挂在吊车 7 上，坐标网 3 和 9 则应相应地装在桁架 4 和吊斗 8 的机壳上。

把测斜计安装在装卸机上之后，便进行坐标网的相互定向，而当装卸机位于试验台上时，便应当把坐标网调到零位置。

激光器通电以后，就可按已知的方法 [1] 测定密封仓的倾斜，并要求按坐标网 x_0, y_0, x'_0, y'_0 读数。装卸机移动到工作地带以后，依次停留在反应堆各个工艺轨道中心点上方。在装卸机每次停留时 (当吊斗与摆停止摆动以后)，按坐标网读取读数 x_i, y_i 和 x'_i, y'_i ，并记入手簿中。在每一个点上测定密封仓的倾斜，不超过 2~3 分钟。

在原子反应堆大厅中的任一点上所测定的密封仓倾斜值 K_i ，就是在试验台上测定的起始倾斜值 K_0 和为本点测定的倾斜增量 ΔK_i 的和，即 $K_i = K_0 + \Delta K_i$ 。当密封仓倾斜 α_x

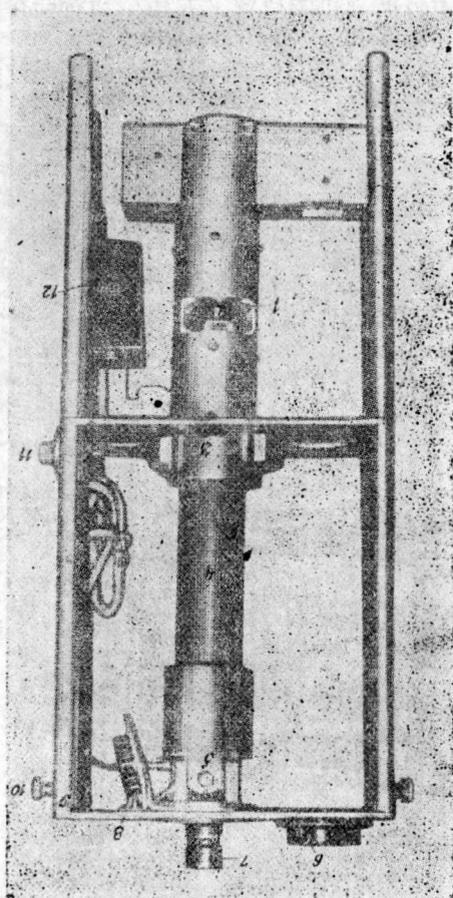


图 3 双向激光垂线器

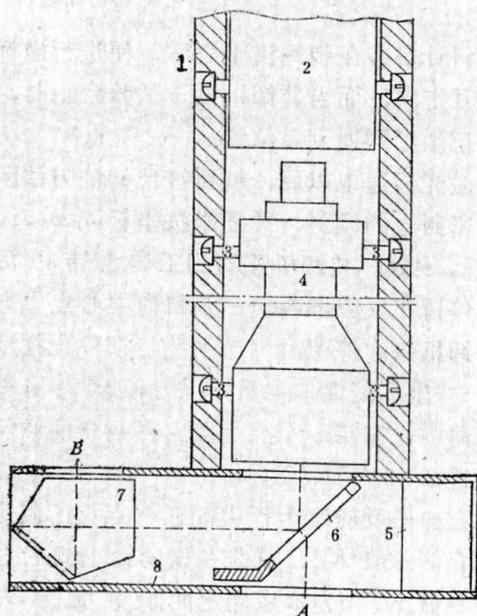


图 4 仪器光学系统的工作原理

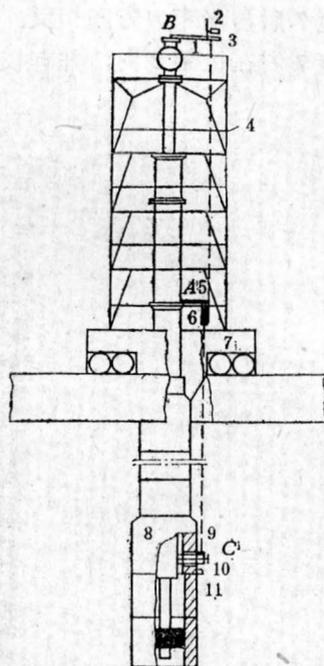


图 5 测定装卸机密封仓倾斜和变形的略图

角时，激光束在坐标网上的影像(上部B，下部C)变换成数值 Δ_i 和 Δ'_i (图 6)：

$$\Delta_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2};$$

$$\Delta'_i = \sqrt{(\Delta x'_i)^2 + (\Delta y'_i)^2}.$$

数值 Δx_i , Δy_i 和 $\Delta x'_i$, $\Delta y'_i$ 作为试验台上和在 i 点上的坐标读数的差数计算出来

$$\Delta x_i = x_0 - x'_i; \quad \Delta y_i = y_0 - y'_i.$$

$$\Delta x'_i = x'_0 - x'_i; \quad \Delta y'_i = y'_0 - y'_i.$$

由于测斜计和光学系统的特殊性，由悬摆点A至坐标格网的距离 s_1 和 s_2 不相等(图7)。所以数值 $\Delta x'_i$ 和 $\Delta y'_i$ ，在计算处理时要乘上系数 $P = s_1/s_2 = 0.9$ 。这样，校正后的值可按下式求得：

$$\Delta'_0 = \sqrt{(P_{\Delta} x'_i)^2 + (P_{\Delta} y'_i)^2}$$

知道了数值 Δ_i 和 Δ'_0 ，就可以测定密封仓在点A的曲折为 $\sigma = \Delta_i - \Delta'_0$ 。(以 mm/10m 为单位)。密封仓上下部移动的方向角 α_1 和 α_2 ，按下式计算：

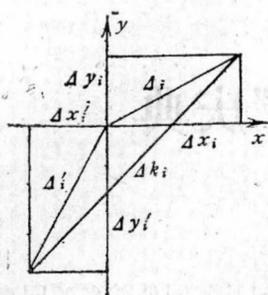


图 6 Δ_i 和 Δ'_i 的测定

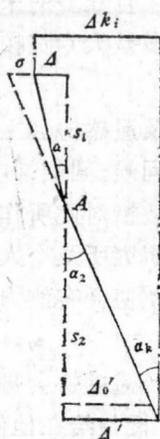


图 7 倾斜增量 ΔK_i 的测定

$$\alpha_1 = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad \alpha_2 = \arctg \frac{\Delta y'}{\Delta x'}$$

倾斜增量

$$\Delta K_i = \sqrt{x^2 \cdot K_i + y^2 \cdot K_i},$$

式中 $x_{K_i} = \Delta x_i - \Delta x'_i$; $y_{K_i} = \Delta y_i - \Delta y'_i$ 。

密封仓倾斜的方向为 $\alpha_K = \arctg y_K/x_K$,

倾斜值以角度为单位, 可按下式计算

$$K' = 3438 \cdot 2 \cdot 10^{-4} K$$

式中 K ——倾斜值单位为 mm/20m。

为了测定密封仓桁架和吊斗的相互位置, 必须观测吊斗和桁架在原子反应堆上一些点上时的倾斜, 在这些点上必须曾经测定过密封仓的倾斜和变形。测定密封仓和吊斗 (桁架) 的

相互位置的方法, 是将数值 Δ 和 Δ_i 以及 α_1 和 α_2 进行比较。这些数值是在该点上时为密封仓和吊斗 (桁架) 所观测的数值。全部必要的计算均在可编程的微型计算机上进行。用本仪器测定装卸机密封仓倾斜的精度, 可按下式计算:

$$m_K^2 = m_{K_0}^2 + m_{\Delta K}^2,$$

式中 m_{K_0} 和 $m_{\Delta K}$ ——在试验台上测定倾斜和测定倾斜增量的中误差。

本测定方法能够消除测定倾斜增量的误差的系统部份, 所以

$$m_{\Delta K}^2 = 4m_{\text{读}}^2 + m_{\text{接}}^2 + m_{\text{稳}}^2,$$

式中 $m_{\text{读}}$ ——坐标网读数误差; $m_{\text{接}}$ ——悬垂方向接头的误差; $m_{\text{稳}}$ ——激光束稳定性的误差。

在本系统中, $m_{\text{读}} = 2''.1$, $m_{\text{稳}} = 4''[2]$, 假设 $m_{\text{接}}$ 的误差值为 $3''$ (根据文献 [2] 中相类似的仪器所获得的数量), 则 $m_{\Delta K} = 6''.5$ 。在试验台上借助于仪器 PZL, 得到测定密封仓倾斜的中误差等于 $3''.2$ 。因此, 可得 $m_K = 7''.3$ 。密封仓轨道曲折的测定误差为:

$$m_{\sigma}^2 = 4m_{\text{读}}^2 + m_{\text{稳}}^2.$$

当 $m_{\text{读}} = 2''.1$ 和 $m_{\text{稳}} = 4''$ 时, 可得 $m_{\sigma} = 5''.8$, 那末当长度为 10 米时, 相应为 0.28 毫米。

根据本测斜计在两组装卸机上进行试验的数据, 在原子能发电站中得到的一组误差分别为: 测定密封仓倾斜的误差为 $3''$, 轨道曲折的误差为 $5''.6$, 这同预先估算的数据是相符合的。

原载苏联《测量与制图》1986 年第 9 期

李继才 译 陈龙飞 李锡泉 校

* 此式原文有误, 应当是 $\alpha_1 = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}$ ——译者。