

施工智能监测结果分析

在科技馆实时监测的过程中，当监测数据超过提前设置的阈值时，系统将会记录下预警值并进行表格展示。以加速度监测数据为例，采用 2.2 节的安全预警方法建立传感器数据的高斯混合模型。采用建立的模型确定各加速度的上下限阈值，并对施工阶段的监测数据进行实时分析。分析结果表明，在卸载施工过程中加速度测点 3J1 的监测数据存在异常情况。加速度测点 3J1 阈值上限的计算值为 0.31 m/s^2 ，实际监测值为 0.51 m/s^2 。产生该现象的原因是钢结构构件吊装所产生的异常振动。安全监测平台设置了定位按钮以快速定位预警传感器的位置，点击定位按钮即可迅速确定如图 1 所示预警区域。同时，传感器所在区域设置了高亮警示以提示相关管理人员快速开展预警区域的巡查。



图 1 加速度监测数据预警结果

在科技馆施工阶段，引起结构构件应力变化的主要因素是环境气温和施工荷载。通过研究不同结构层典型构件的应力发展规律，分析卸载施工对于结构的影响和结构应力和气温的关系。利用传感器测得应变后，应根据气温对钢材热膨胀产生的影响进行修正，实测应变值如下：

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - K(T_1 - T_0) \quad (1)$$

式中： ε_0 为实测应变值； ε_1 为修正应变值； K 为钢材热膨胀系数，取 $2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ； T_1 和 T_2 分别为初始阶段和现阶段的气温。利用修正后的应变值，可得到测点处的应力：

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

式中： E 为弹性模量。图 2 为科技馆施工全过程的气温变化和典型测点的应力时程。由图可知，部分测点的应力受到施工活动的影响存在局部突变，在施工结束后应力变化趋于平缓。其中，拉应力最大的点为 1Y26，应力值为 105.4 MPa ，压应力最大的点为 1Y22，应力值为 -121.6 MPa ，应力比均未超过 0.4。计算可得测点 1Y26 和测点 1Y22 的应力预警的绝对值分别为 189.5 MPa 和 178.9 MPa ，均未超过预警范围。在施工全过程中钢结构应力随着气温发

生了较为明显的周期性变化。以测点 1Y22 为例, 在 2022 年 9 月 10 日(现场停工并调试卸载设备)由气温变化所引起的应力变化超过了 50 MPa。卸载施工所引起的应力变化应考虑环境温度所产生的影响。在计算卸载前后关键构件的应力变化时, 应基于气温监测数据取前后温度较为接近的时刻进行计算。利用数值模型对上述监测结果进行对比分析, 应力实测值和模拟值的对比如图 3 所示。图中分别罗列了卸载阶段拉压应力变化最大的 10 个测点。计算得到的应力平均相对误差不超过 10%, 应力实测值和模拟值的变化趋势基本保持一致, 说明了卸载施工模拟的可靠性和有效性。在卸载过程中, 钢桁架中应力变化较为明显的部位为桁架的上下弦杆和核心筒的竖向支撑构件。其中, 柱应力的相对误差较梁应力的相对误差更大。造成这种现象的主要原因包含两方面: 柱应力测点的安装区域杆件数量较多, 施工过程中积累的各项误差有所累计, 导致数值模型和实际结构存在一定差异; 构件数量多且连接复杂导致柱应力测点所在构件受到了更多焊接残余应力的影响。

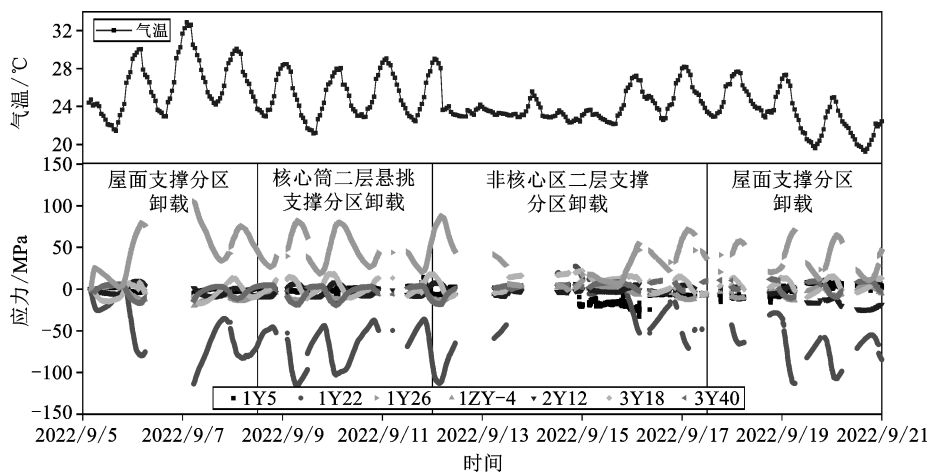


图 2 施工全过程的应力时程

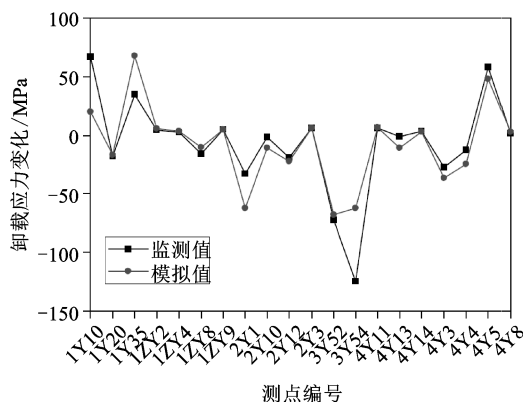


图 3 应力实测值和模拟值对比分析

结构施工过程中, 布置了 127 个位移传感器对钢桁架各结构层的整体位移进行监测。由监测结果可知, 施工卸载过程中 z 向位移最大的点为 3W12, 位移值为 43.92 mm, z 向位移最

小的点为 1W54，位移值为 0.03 mm。钢桁架整体的 z 向位移均满足规范所要求的跨度的 $1/400$ 。根据本文所提出的安全预警方法可得 3W12 的预警值为 76.4 mm，实测位移值未超过预警范围。考虑位移利用 3.1 节建立的数值模型对位移监测结果进行对比分析，卸载施工阶段的位移的模拟值和实测值如图 4 所示。图中分别罗列了卸载阶段 z 向位移变化最大的 10 个测点。由图可知， z 向位移的模拟值与实测值的变化趋势基本吻合，计算得到的平均相对偏差不超过 10%。部分位移测点的相对偏差较大，造成这种现象的原因包含了 2 个方面：①复杂建筑结构体系的精确建模难度较大；②在卸载施工过程中，临时支撑的拆除无法保证完全同步。 z 向位移实测值变化较大的点集中分布竖向荷载较大的区域，如二层的核心筒区域和屋面层的悬挑端。上述区域设置的临时支撑较多，在卸载过程中边界条件产生明显的变化，进而导致 z 向位移变化较大，该实测结果进一步反映了位移监测的有效性。

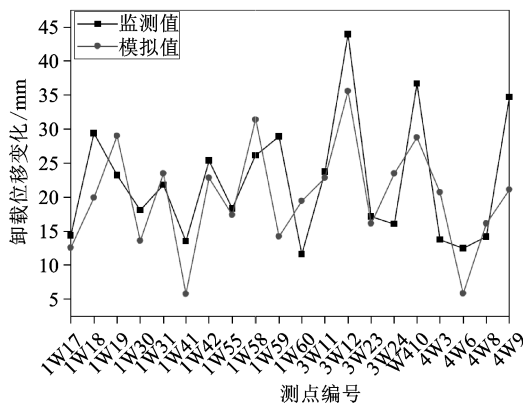


图 4 卸载施工阶段典型测点的挠度变化