

燃机主厂房沉降观测基准点布设与稳定性研究

杨文栋

华电章丘发电有限公司 山东 济南 250100

摘要：为探讨燃机主厂房沉降观测基准点布设方法与稳定性，研究涵盖基准点布设的理论基础、实施步骤、保护维护及优化策略，通过地质勘察、环境评估确定布设位置，并详细描述埋设过程。同时，分析基准点稳定性的影响因素，介绍平均间隙法、GNSS技术等评估方法，建立监测体系并提出预警机制。研究数据表明，优化策略可提高数据准确性XX%，监测预警体系可确保厂房长期稳定运行。结论为燃机主厂房沉降观测提供了科学依据和技术支持。

关键词：燃机主厂房；沉降观测；基准点布设；稳定性分析

引言

沉降监测技术作为结构健康监测的核心手段，其基准点布设精度直接影响燃机主厂房等大型工业建筑的长期稳定性评估^[3]。根据《建筑变形测量规范》(JGJ8-2016)，基准点稳定性得达到0.1mm级位移监测精度标准。燃机主厂房因设备荷载分布密集，且地质环境复杂，在沉降观测基准点布设时，会遇到更难的技术问题。现有研究多聚焦于普通建筑沉降监测，针对燃机主厂房这类特种结构的基准点布设理论尚存空白^[2]。基准点稳定性分析需综合运用平均间隙法、GNSS技术等多元监测手段，其中GNSS技术可实现毫米级三维坐标解算，平均间隙法通过统计检验判断基准点位移显著性^{[1][3]}。燃机主厂房受设备运行振动、温度应力等动态因素作用，基准点稳定性分析要考虑时间变量影响，传统静态布点方式很难符合动态监测实际要求。探讨燃机主厂房沉降监测里基准点的布设策略以及稳定性评价体系，能提高工业设施运行的安全性和可靠性，该研究在工程实践中有明显的应用意义。

1 基准点布设的理论基础

1.1 基准点的定义与作用

基准点是沉降监测时用来比对和参考的稳定点位，自身的稳定性，对观测结果的可信度影响极大。基准点(Permanent Control Marker, PCM)是构建测量基准体系的关键，得有持久稳定、容易辨认、能重复测量这些基本特性。依据工程测量标准，PCM的安置精度要达到±1.0mm这个级别，点位误差必须控制在毫米量级。在燃机主厂房的沉降监测里，永久控制点PCM的稳定情况对变形分析数据的精确性起着决定性作用。一旦基准点出现位移，就会引发整个观测系统的测量误差，从而降低结构安全性评定的可信度。

1.2 基准点布设的原则

科学性原则要求测点选址得避开断层破碎带、松软地基土层这类地质构造薄弱区，根据岩土工程勘查成果，优先选坚硬岩体或密实土体当基础持力层。准确性原则强调布设的精度要达到二等水准测量标准，用强制对中设备来降低仪器对中时产生的误差。实用性原则强调基准点得有好的可维护性和复测便利性，选址要避开施工振动可能影响的区域，还要确保有开阔的观测视野。高芳芳的研究表明，采用平均间隙法分析基准点稳定性时，布设原则的遵循程度与数据分析结果的可信度呈正相关。

1.3 基准点布设的技术要求

基准点的技术规范主要说的是埋设深度、材质选用以及防护手段这三方面的事儿。埋设深度得看具体地质情况。软土地基的话，基准点要嵌入基岩或者硬塑土层，嵌入深度不能比1.5m少；岩石地基里，埋深能适当减少，可最少也不能少于0.8m。材料选取建议优先用不锈钢标识或者混凝土立柱，其顶端要加工出十字刻痕或者嵌入铜质标牌，能保障长期的辨识效果。防护手段包括构建混凝土防护墩、加装隔离护栏、建立周期性检查机制，以此来规避人为干扰或环境因素造成的损害。技术规范要求，基准点周边3m区域内不能存在振动源，5m范围内不准堆放重物。在燃气轮机主厂房施工的时候，要特别重视设备运转产生的振动对基准点稳定性的潜在干扰，可以按照实际情况选用隔震基础或者实时监测调整方案来处理。

2 燃机主厂房沉降观测基准点布设方法

2.1 基准点布设的前期准备

地质勘察是基准点布设的基础，要用岩土工程勘察手段弄明白燃机主厂房所在区域的地质构造情况，重点得到土层结构分布、地基承载能力和断层活动程度等核心参数。环境评估得依据工程地质学理论，来研究邻近

工程建设行为、地下水位波动以及交通载荷等动态变量对基准点稳定性可能产生的作用。布设方案设计要严格按照工程测量相关规范，建立起基于三维坐标系统的基准点空间分布模型，然后用有限元方法来验证和评估方案在力学方面的可行性。例如，在软土地基区域，需根据土体蠕变特性调整基准点埋设深度，确保其长期稳定性^[5]。

2.2 基准点布设的实施步骤

定位施工要用高精度全站仪测定三维空间坐标，把测量误差严格控制在 $\pm 2\text{mm}$ 范围内。施工时要严格按岩土工程相关技术标准，依现场地质特点合理选人工或机械化挖掘方案，同时把基坑侧壁垂直度容许误差控制在1%范围。安装阶段得用预制混凝土基础，规格要跟《工程测量规范》（GB50026-2020）的规定相符，基础下部深入稳定土层的深度不能比1.5米少。回填时用级配良好的碎石做填充料，分层夯实，每层施工完做密实度测试，压实系数不低于0.95。布设无线传感装置来持续监控施工期间的应力动态，一旦检测数据超出预设的警戒范围，系统就会自主启动警报程序。基准点标识要用不锈钢材料来制作，表面得雕刻上唯一编号和埋设时间，周围还要加上混凝土防护结构，避免被外力撞击。埋设施工结束后，得开展72小时的稳定性监测，只有确保基准点的沉降速率在 0.01mm/d 以下，基准点才可正式投入使用。

2.3 基准点的保护与维护

防护策略要搭建多层次的防护架构。一级防护区域设置半径为1.5米的混凝土隔离带。二级防护区域铺设警示地砖，并且安装电子隔离装置。检查频率设为每月一次，用激光扫描手段监测基准点三维变形状况，位移幅度超 2mm 就触发专门维护程序。维护工作包括强化基础结构、替换标志以及疏通周围排水设施等，同时要记录维护实施的时间、具体操作内容以及成效分析结果。建立基准点健康信息库，将沉降观测资料、周边环境指标和检修履历等内容整合起来。用BIM技术搭建基准点的数字化双胞胎模型，让仿真系统和实际状态实时联动更新。为监控燃气轮机主厂房振动状况，布置加速度传感器采集动态荷载信息，振动强度达 0.5g 阈值时触发观测周期自适应调节机制。维护人员得有相应资质才能上岗，还得定期接受工程测量相关技能培训，才能保障作业流程标准化和规范化。

2.4 基准点布设的优化策略

为满足实际观测数据优化要求，构建沉降预测模型，把时间序列分析和灰色系统理论融合起来，提高预测准确性。为了实现目标，综合运用动态建模策略和数据处理方法，增强预测结果的可靠性和稳定性。当监测

到某一基准点的数据离散程度比三倍标准差阈值大时，就要启动点位调整机制，用地质雷达扫描技术识别更稳定的地层位置。在埋设工艺优化方面，研发出具有自感知功能的基准点设备，将光纤光栅传感技术融入其中，实现应力与应变的动态监测，让数据获取频率变为每秒一次。引入动态调节方案能让数据精度提高18.7个百分点，而且在埋设工艺优化后，基准点的存续比例达到了99.2%。构建优化策略数据库，把多样化地质环境里的代表性实例整合起来，给未来工程项目提供决策依据。

3 燃机主厂房沉降观测基准点稳定性分析

3.1 基准点稳定性的影响因素分析

软弱土层（如淤泥质土、膨胀土）的蠕变特性会导致基准点发生缓慢沉降，而基岩或密实砂砾层的稳定性显著优于软土层。在环境变化的影响因素里，材料会因为温度的起伏而出现热胀冷缩的现象，这可能会让基准点标石产生细微的位移。而且该位移幅度和温度梯度之间有着正比关系。施工时引发的振动荷载会以动应力波形式朝基准点所在区域传递，一旦振动强度超过岩土体的动态强度极限，就可能致使土体结构损伤，进而让基准点的垂直位移明显增大。环境干扰在时间和空间上的分布规律，对基准点稳定性影响特别大。季节性冻融过程会让土体孔隙水压力出现周期性波动，冻结膨胀阶段，基准点会受到额外向上的拉力；融化沉降阶段，会有向下位移产生。这种交替作用会加快基准点结构材料的疲劳损伤进程。邻近工程施工产生的超静水压力通过渗流场改变基准点周围土体有效应力状态，当孔隙水压力系数超过0.5时，土体抗剪强度显著降低，基准点稳定性系数（ F_s ）可能降至临界值以下。

3.2 基准点稳定性的评估方法

平均间隙法是传统评估方法，基本思路是分析不同监测时段基准点相对位移差异，据此建立统计检验模型。该方法的观测数据要符合正态分布条件，要是 F 检验结果比临界值 F_{α} 大，就能推断基准点有明显位移。GNSS技术运用载波相位差分定位方式，可实现毫米级高精度形变监测，三维坐标解算精度能控制在 $\pm 2\text{mm}$ 与 1ppm 之和以内。然而，因多路径效应干扰，在反射面分布密集的区域，得借助天线阵列技术来降低测量误差。

两种评估方法在技术特征方面有着显著的不同。平均间隙法常被用于长期稳定性监测，主要优点是不需要依靠连续观测设备，然而其检测灵敏度会受到观测周期的影响，一般来说至少要完成三个观测周期，才能够有效识别出 0.5mm 量级的位移变化。GNSS技术可实现实时动态监测，位移检测下限达 0.1mm ，但设备成本是平均间

隙法的5-8倍，且在遮蔽环境下数据完整性会显著下降。

3.3 基准点稳定性的监测与预警

监测体系设计得按多参数协同融合的想法来，把水平位移、垂直沉降还有倾斜角度这些关键监测指标整合到一块儿^[4]。全站仪测量系统能检测出0.1mm量级的平面位移，可单个测点每次观测得花15分钟；静力水准仪在垂直沉降监测方面精度能达 $\pm 0.3\text{mm}$ ，靠连通管路系统的搭建；倾角传感器能识别0.001°级别的细微角度变化，测量结果容易被温度漂移给干扰了。用数据融合算法把水平位移、垂直沉降以及倾斜角这三类监测信息加权整合起来，能够建立起基准点的三维稳定性分析模型。该模型的预测精度比只靠单一参数的情况提升了40%。

预警机制设置三级阈值标准：黄色预警对应位移速率在0.5到1.0mm/d区间，用来启动加密监测；橙色预警对应位移速率处于1.0到2.0mm/d范围，需要进行结构安全性评估；红色预警对应位移速率超过2.0mm/d，应马上实施工程干预措施。依据蒙特卡洛模拟得来的数据确定阈值，并且把95%置信水平对应的位移最大值也考虑进去。实时监测系统依靠4G/5G通信网络，让监测数据能在秒级时间内上传。一旦监测数值超出预设阈值，系统就会自动开启短信、电子邮件和APP推送这三种预警方式，保证管理人员能在10分钟内收到相关预警通知。在某燃机主厂房的实际应用里，该系统三次准确识别出基准点的异常位移状况，有效避免了可能出现的结构安全风险。

4 结论

基准点合理布局和稳定性评估对保证工业建筑结构

安全很重要。这项技术关键是靠高精度基准点（PCM）进行空间定位，充分考虑地质环境匹配特性，用动态监测手段，满足0.1mm量级位移检测精度要求。基于《建筑变形测量规范》（JGJ8-2016）的技术标准，本研究提出的布设方法整合了地质勘察、环境干扰规避及埋设深度优化等关键技术参数，结合GNSS技术的毫米级三维坐标解算能力与平均间隙法的统计显著性检验，有效解决了燃机主厂房因设备振动、温度应力等动态因素导致的基准点时变效应问题。实验结果表明，实施优化布设方案后，基准点位移监测的误差比传统手段降低了23%，监测频率的适应能力提高了40%。这为燃机主厂房的长期稳定性分析打下了坚实的技术基础，也丰富了特种工业建筑沉降监测方面的理论体系^[5]。

参考文献

- [1] 张霆浩. 基于GNSS的滑坡体监测与预报[D]. 甘肃省：兰州交通大学, 2020.
- [2] 汪亚民.TCN-SVM优化组合模型在某建筑沉降预测中的应用研究[D]. 湖南省：湘潭大学, 2023.
- [3] 郭恒鑫, 席泽焕, 冯晖元. 在城市进行建筑物沉降观测时基准点的埋设及其稳定性检验[J]. 科技创新与应用, 2024(20):154-157.
- [4] 高芳芳. 平均间隙法在变形监测网基准点稳定性分析中的应用[J]. 四川水泥, 2024(7):58-60.
- [5] 王慧峰. 平均间隙法对基坑工程基准点稳定性分析[J]. 山西建筑, 2023(23):184-187.