

500kV直流变电站土建改造工程建（构）筑物变形监测方法及费用水平研究

胡 科

国网上海市电力公司经济技术研究院 上海 200235

摘 要：500kV直流变电站土建改造工程加固量和施工难度都很大，这对土建改造施工过程中及完工后的变电站建构筑物的稳定性提出了更高的要求。变形监测手段可以实现对直流变电站土建改造工程的建（构）筑物变形有效地控制。本文通过对变形监测技术和费用水平研究，形成费用计列方法和评价手段，能够切实解决项目评审中该技术应用存在的问题和需求。

关键词：土建改造工程；建（构）筑物；变形监测；费用水平

1 引言

随着我国经济持续发展和用电需求快速增长，许多早期建设的500kV变电站已接近或达到设计使用年限，设备老化问题日益凸显，亟需进行土建改造与基础设施升级。

陈庆伟^[1]等人以山东省东营市某500kV变电站为研究对象，介绍该工程场地的地质条件和地基处理情况，分析该工程各变电站建筑实地监测沉降数据，总结变电站建筑的地基沉降规律。

杨素娟等^[2]指出由于变电站选址受诸多因素的影响，对于占地面积大的变电站，站址往往会存在着地理环境复杂、特殊地基土等情况。

上海500kV虹杨变电站基坑工程^[3]的研究人员通过对

变形监测数据的分析，得出基坑及周围环境的位移变化规律，验证了基坑支护设计的可靠性及监测方法的合理性，为相似工程提供了有益参考。

国际大电网会议（CIGRE）、国际电工委员会（IEC）和国际标准化组织（ISO）等^[4]机构发布了一系列与电力设施监测相关的标准和导则，为变电站变形监测提供了技术指导。

2 500kV 直流变电站改造工程现状

当前，无论是全国还是华东地区，500kV变电站的建设和改造都处于一个非常活跃的时期（表2-1），其核心驱动力是为了增强供电可靠性、适应新能源接入以及提升电网智能化水平。

表2-1 华东地区典型500kV变电站土建改造工程

序号	项目名称	地区	工程类型	技术特征	改造目的
1	上海顾路-杨高500kV线路增容	上海	改造/增容	"利旧塔、换新线"，变电站内将原AIS敞开式配电装置升级为大容量HGIS配电装置	提升上海东部电网供电能力，已投运
2	上海东吴-黄渡-徐行500kV线路改造	上海	改造	涉及多个500kV变电站的间隔扩建和改造工程	提高上海电网交流受电能力，计划2025年开工，2027年投产
3	丽水永丰500kV变电站	浙江	新建	采用"标准化、模块化"为核心的钢结构建筑，使用装配式围墙、探索预制化电缆沟	满足浙西南清洁能源外送与消纳需求，预计2027年6月投产
4	宁波河姆500kV变电站	浙江	扩建	第4台主变压器扩建，同步开展相关母线、闸刀等设备的更换或消缺工作	提升宁波地区供电能力，增强华东电网迎峰度夏能力，已投运
5	江苏茅山500kV变电站	江苏	扩建	新增主变压器及相关电气设备	增强新能源消纳能力，缓解长三角保供压力，已投运

综合来看，500kV变电站的土建和改造工程呈现出以下几个明显的趋势：

传统的现场浇筑（湿作业）正被预制装配式技术替代，这能大幅缩短工期、减少建筑垃圾。在复杂环境（如跨越交通干线）的施工中，三维建模、无人机监测等数字化技术已成为标准手段，以实现厘米级精度的安全施工。

经济增长、尤其是夏季高温带来的用电负荷，是推动电网升级最直接的动力。为服务"双碳"目标，电网迫切需要增强对风电、光伏等新能源的接纳和输送能力，这在浙江丽水等清洁能源富集地区尤为突出。

区域一体化发展：长三角作为用电负荷中心，其电网建设强调区域互联互通，共同提升电力供应的韧性与可靠性。

3 500kV 直流变电站土建改造工程建（构）筑物变形监测技术

土建改造工程中，对建（构）筑物进行变形监测是

一项至关重要的安全工作，这项工作已经形成了从通用技术要求到电力等行业特定应用的完整标准体系。表3-1梳理了当前变形监测的核心技术方法与主要适用规范。

表3-1变形监测的核心技术方法与主要适用规范^[5、6、7、8]

序号	监测内容	主要技术方法	相关技术标准/规范
1	沉降/垂直位移	静力水准测量、卫星定位（GNSS）测量、水准测量	T/CSGPC042-2025,T/CEPPEA5014-2022,DL/T5578-2020
2	水平位移	极坐标法、测量机器人自动监测、卫星定位（GNSS）测量	T/UNP515-2025,T/CEPPEA5014-2022
3	倾斜	倾角仪、位移传感器、全站仪/测量机器人	DL/T5578-2020,T/UNP515-2025
4	整体形变	三维激光扫描、近景摄影测量	T/CEC900-2024,DL/T5578-2020
5	裂缝	裂缝计、智能传感器、图像识别	T/UNP515-2025,T/CEPPEA5014-2022
6	自动化监测系统	集成多种传感器，实现数据自动采集、传输、分析和预警	T/CSGPC042-2025,T/CEPPEA5014-2022,DB37/T5331-2025

目前监测技术可以整体分为三大类。

（1）传统测量技术。尽管新技术层出不穷，但水准测量、全站仪极坐标法等传统方法依然不可或缺。它们常作为基准校核、人工巡检或在小范围、特定工况下的补充手段，与自动化监测技术形成有效互补。

（2）自动化与智能化发展。通过部署静力水准仪、GNSS、测量机器人等传感器，构成自动化监测系统。该系统能实现数据的自动采集、无线传输、云端处理和智能分析。一旦数据超过预设阈值，系统便会自动分级预警，实现“无人值守、实时监控”。

（3）三维可视化技术应用。通过获取高精度的三维点云数据，可以生成真实反映设施现状的“实景复制体”。这项技术不仅能用于形变分析，还能用于体积计算、变形趋势预报等，为管理决策提供直观依据。

4 土建改造工程建（构）筑物结构稳定评估方法

目前土建改造工程建（构）筑物结构稳定评估方法主要包括传统分析方法、检测与监测技术、数值模拟分析等。

传统分析方法：基于规范的计算分析，是最基本和核心的方法。或者依赖于资深工程师的工程经验，对复杂问题或难以量化的损伤进行定性或半定量评估。

检测与监测技术：采用全站仪、静力水准仪、GPS\三维激光扫描技术等，对关键部位的沉降、倾斜、位移进行长期、实时监测，尤其适用于施工过程中的安全监控。

数值模拟分析：有限元分析（FEA）对于结构复杂、受力状态不明确或改造方案特殊的情况，可采用有限元软件进行精细化模拟。

评估变形是否趋于稳定的过程主要通过以下步骤：

第一步：数据采集与整理

获取时间序列数据：拥有一系列按时间顺序排列的监测点数据（如沉降量、水平位移量、倾斜值等）。监测频率和持续时间必须足够长，以捕捉变形规律。

第二步：核心分析——变形趋势判断

判断变形是否稳定，本质上是判断变形的发展速率是否收敛于零。主要通过以下方法进行：

稳定状态：曲线逐渐变得平缓，最后几乎与时间轴平行，形成一个“收敛”或“台阶”状。这表明变形量不再随时间显著增加。

不稳定状态：曲线持续保持一定的斜率向下或向上发展，甚至斜率（即变形速率）越来越大。

第三步：综合判断

结合以上分析，并考虑荷载、环境（如季节变化、地下水波动）等因素，出具评估结论。

5 变形监测技术应用的费用研究

无论是人工监测还是自动化监测，或者是两种方法相结合的监测方案，总费用都可以归纳为以下计算公式：

$$\text{总费用} = [\text{直接费} \times (1 + \text{管理费}) + \text{利润} + \text{风险准备金}] \times (1 + \text{税率})$$

5.1 人工监测费用

人工监测的直接费核心是“人天”和“点·次”。

$$\text{直接费} = \text{设备使用费} + \text{安装与实施费} + \text{运营与维护费}$$

5.1.1 设备使用费

购置费：通常按折旧计算。设备购置费 × (项目工期 / 设备折旧年限) × 年使用率

租赁费（更常见）：∑ (各类设备台班单价 × 租赁台班数)

5.1.2 安装与实施费（一次性投入）

人工费：技术人员日均工资 × 人员数量 × 安装调试天数

材料与消耗品费：∑ (各类标志/棱镜/辅材单价 ×

数量)

5.1.3 运营与维护费(核心周期费用)

人工费(数据采集): 测量员日均工资×人员数量×
单次外业天数×监测总次数

人工费(数据处理与报告): 数据分析师日均工资×
单次内业人天×报告份数

交通与差旅费: 单次往返成本×监测总次数

人工监测简化公式(实用版):

按监测点次计算:

直接费≈(监测点总数×监测总次数)×综合单价

其中,综合单价(元/点·次)已包含了设备折旧、
人工、材料、交通等所有直接成本。

5.2 自动化监测费用

直接费=系统建设费+系统运维费

5.2.1 系统建设费(一次性投入)

设备购置费: \sum (传感器单价×数量+采集仪单价×数
量+软件平台费+...)

安装与调试费: 安装工程师日均工资×人员数量×安
装调试总人天+安装辅材费

5.2.2 系统运维费(周期费用)

系统维护费: 维护工程师日均工资×单次巡检人天×
巡检次数

数据服务与分析费:

数据分析师月薪/每月工作日×项目月数(包月制)

或: 报告单价×报告份数(按报告计费)

通讯与电费: (单点SIM卡月租×监测点数量+总电费
估算)×项目月数

耗材与备件费: 按设备原价的百分比预留,例如设
备购置费×年损耗率×项目年限。

5.3 间接费用

管理费: 管理费=直接费×管理费率(管理费率通常
为8%~15%)

利润: 利润=(直接费+管理费)×利润率(利润率
通常为10%~20%)

风险准备金: 风险准备金=(直接费+管理费+利
润)×风险系数(风险系数通常为5%~10%,用于应对工
期延长、设备意外等)。

税费: 税费=(直接费+管理费+利润+风险准备金)
×税率(税率根据国家规定,如增值税及其附加)。

5.4 算例

以某变电站项目监测为例,需进行自动化沉降监
测,共20个测点,工期12个月。

系统建设费(直接费):

静力水准系统(含传感器、采集仪): 30万元

软件平台费: 5万元

安装调试费: 2万元

小计: 37万元

系统运维费(直接费):

数据服务与维护(包月): 0.3万元/月×12月=3.6万元

小计: 3.6万元

总直接费=37+3.6=40.6万元

计算总费用(假设管理费10%,利润率15%,风险
系数5%,税率6%):

管理费=40.6×10%=4.06万元

利润=(40.6+4.06)×15%=6.699万元

风险准备金=(40.6+4.06+6.699)×5%≈2.568万元

税费=(40.6+4.06+6.699+2.568)×6%≈3.236万元

总费用≈40.6+4.06+6.699+2.568+3.236≈57.2万元

6 结论

通过对直流变电站土建改造工程的调查与研究,对
建(构)筑物的土建改造过程中和施工后的稳定情况进
行调查分析,制定500kV变电站土建改造工程建(构)筑
物变形监测及结构稳定评估方法,分析变形监测技术应
用的费用水平。

通过算例验证、确定变形监测技术指标、评价方法
及费用水平;进一步对变电站土建改造工程结构变形控
制措施进行研究,分析控制措施对工程费用及成本控制
作用与效果。

参考文献

- [1] 陈庆伟,杨臻,谢丹,等.软土地基变电站沉降
监测与预测分析[J].广东电力,2022,35(3):124-131.
- [2] 杨素娟等.变电站选址与特殊地基土问题研究
[J].(具体期刊待补充),2018.[6]
- [3] 上海500kV虹杨变电站基坑变形监测与支护设计
验证报告[R].(2022年)
- [4] 国际大电网会议(CIGRE).CIGRE Guide on
Deformation Monitoring of Power Facilities [R].巴黎:
CIGRE,(2020)
- [5] 变电站建(构)筑物变形自动化监测技术规程:T/
CSGPC042-2025[S].北京:中国标准出版社,2025.
- [6] 电力建设工程建(构)筑物变形监测技术规范:T/
CEPPEA5014-2022[S].北京:中国电力出版社,2022.
- [7] 电力工程测量规范:DL/T5578-2020[S].北京:中
国电力出版社,2020.
- [8] 中国标准化协会.建(构)筑物倾斜监测技术要
求:T/UNP515-2025[S].北京:中国标准出版社,2025.