

以在 CNN 部分引入空间注意力机制,让模型自动聚焦于降水云团等关键区域;在 LSTM 部分引入时间注意力机制,使模型更加关注降水发生前后的关键时间段。通过引入注意力机制,深度学习模型能够更加精准地捕捉短时强降水的特征和演变规律,从而提高预报精度。

4.2.3 基于 Transformer 架构的降水预报模型

Transformer 架构凭借其自注意力机制和并行计算能力,在自然语言处理和计算机视觉领域取得了巨大成功。近年来,Transformer 也逐渐应用于气象领域,为降水预报提供了新的思路。基于 Transformer 的降水预报模型能够直接处理长序列数据,捕捉数据中的长距离依赖关系,同时具有较好的并行计算性能,能够提高模型的训练效率。在短时强降水预报中,Transformer 模型可以同时考虑气象要素的空间和时间信息,通过自注意力机制自动学习不同位置和时刻之间的相关性,从而更准确地预测降水的发生和发展。

4.3 训练策略优化

4.3.1 样本不平衡处理

短时强降水事件属于小概率事件,在历史气象数据中正样本(发生强降水)相对较少,负样本(未发生强降水)较多,导致数据样本不平衡。样本不平衡会影响深度学习模型的训练效果,使模型倾向于预测负样本,从而降低对正样本的识别能力。为了解决样本不平衡问题,可以采用过采样、欠采样、合成样本等方法增加正样本数量,或者采用加权损失函数,在训练过程中对正样本赋予更高的权重,使模型更加关注正样本的学习。

4.3.2 迁移学习与预训练

由于短时强降水数据相对稀缺,直接使用有限的数据进行模型训练容易导致过拟合问题,影响模型的泛化能力。迁移学习和预训练技术可以有效解决这一问题。迁移学习可以将在一个相关任务上训练好的模型参数迁移到短时强降水预报任务中,利用预训练模型学习到的一般性特征表示,加速模型的收敛速度,提高模型的性能^[9]。例如,可以先在大规模的气象数据集上进行预训练,学习气象要素之间的通用特征和模式,然后将预训练模型应用于短时强降水预报任务中进行微调,使模型更好地适应特定任务的需求。

4.3.3 集成学习

集成学习通过组合多个基学习器的预测结果,能够提高模型的稳定性和泛化能力。在短时强降水预报中,可以采用集成学习方法,训练多个不同类型的深度学习模型,如 CNN、LSTM、Transformer 等,然后将它们的预测结果进行融合,得到最终的预报结果。集成学习可以充分利用不同模型的优势,降低单个模型的预测误差,提高预报的准确性和可靠性。

5 挑战与展望

5.1 面临的挑战

尽管深度学习在短时强降水预报中具有巨大潜力,但

仍面临一些挑战。首先,气象数据的复杂性和不确定性给深度学习模型的训练和应用带来困难。气象数据受到观测误差、模型误差、数据缺失等多种因素的影响,数据质量参差不齐,如何有效处理和利用这些复杂数据是提高预报精度的关键。其次,深度学习模型的可解释性较差,难以理解模型内部的决策过程和特征重要性,这在一定程度上限制了模型在气象业务中的应用。此外,深度学习模型的训练需要大量的计算资源和时间,如何优化模型结构和训练算法,提高模型的训练效率,也是亟待解决的问题。

5.2 未来展望

未来,随着人工智能技术的不断发展和气象观测数据的不断积累,基于深度学习的短时强降水预报将取得更大突破。一方面,可以进一步探索更加先进的深度学习架构和算法,如图神经网络、强化学习等,将其应用于短时强降水预报中,提高模型的性能和预报精度。另一方面,加强深度学习与传统数值预报模型的融合,充分发挥两者的优势,构建更加准确、可靠的短时强降水预报系统。此外,还应注重深度学习模型的可解释性研究,开发可解释的深度学习方法和工具,使气象业务人员能够更好地理解和应用深度学习模型,推动深度学习在气象领域的广泛应用。

6 结论

本研究围绕基于深度学习的短时强降水预报精度提升展开探讨,分析了深度学习提升预报精度的内在机制,从数据融合与预处理、模型架构创新、训练策略优化等方面提出了精度提升策略。深度学习凭借其强大的特征提取、非线性建模和数据融合能力,为短时强降水预报提供了新的技术手段和方法。然而,目前深度学习在短时强降水预报中仍面临数据复杂性、模型可解释性等挑战。未来,应进一步加强相关研究,不断探索创新,推动基于深度学习的短时强降水预报技术向更高水平发展,为防灾减灾和气象业务发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 张亚萍,张焱,翟丹华,等.深度学习方法在强降水临近预报技术中的应用及其改进思考[J].暴雨灾害,2022,41(05):506-514.
- [2] 庄潇然,刘梅,蔡凝昊,等.基于深度学习的降水临近预报方法及其在2023年江苏汛期的应用评估[J].暴雨灾害,2025,44(01):1-8.
- [3] 路志英,任一墨,孙晓磊,等.基于深度学习的短时强降水天气识别[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2018,51(02):111-119.
- [4] 任一墨.深度学习方法在短时强降水天气及光伏发电方面的研究[D].天津大学,2018.
- [5] 范娇,曾小团,黄荣成,等.深度学习在降水预报中的研究和应用进展[J].气象研究与应用,2024,45(03):1-11.
- [6] 马志峰,张浩,刘劼.基于深度学习的短临降水预报综述[J].计算机工程与科学,2023,45(10):1731-1753.

Analysis of the technical points of acoustic environment status monitoring for environmental protection acceptance upon completion of substation projects

Yan Li

China Power Construction Group East China Survey and Design Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311100, China

Abstract

This study takes a 500kV substation expansion project in Zhejiang as a case, systematically exploring the technical specifications and practical points of acoustic environmental monitoring during the environmental protection acceptance inspection of completed projects. Through field monitoring and data analysis, the principles for noise measurement points at the plant boundary and sensitive points (such as setting points 1 meter outside the fence and monitoring 1 meter outside sensitive points) were clarified, and the measurement methods for steady-state and non-steady-state noise were standardized according to the “Acoustic Environment Quality Standards” (GB3096-2008). The results showed that using the background noise correction method (no correction is needed when $\Delta L \geq 10\text{dB}$) can effectively improve data accuracy. The research conclusion points out that strictly implementing the requirements of HJ705-2020 regarding monitoring time periods (daytime/nighttime), operating loads (rated voltage), and information disclosure (publicizing for 20 working days) is key to ensuring the quality of acceptance inspection. This achievement provides a reproducible technical framework for similar projects, facilitating the green and high-quality development of power grid construction projects.

Keywords

substation project; completion environment; protection; acceptance; acoustic environment; monitoring

浅析变电站工程竣工环境保护验收声环境现状监测技术要点

李燕

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 311100

摘 要

本研究以浙江某500kV变电站扩建工程为案例,系统探讨了竣工环境保护验收中声环境监测的技术规范与实践要点。通过实地监测与数据分析,明确了厂界噪声的布点原则(如围墙外侧1米处设点、敏感点户外1米监测),并依据《声环境质量标准》(GB3096-2008)对稳态与非稳态噪声的测量方法进行了标准化处理。结果表明,采用背景噪声修正法($\Delta L \geq 10\text{dB}$ 时无需修正)可有效提升数据准确性。研究结论指出,严格执行HJ705-2020规范中关于监测时段(昼/夜间)、运行负荷(额定电压)的要求,是保障验收质量的关键。本成果为同类工程提供了可复制的技术框架,助力电网建设项目绿色高质量发展。

关键词

变电站工程; 竣工环境; 保护; 验收; 声环境; 监测

1 引言

电力建设项目与污染型的建设项目相比,运行期基本没有污染物排放,作为“生态影响型项目”,变电站作为电力系统的核心枢纽,其运行噪声是影响周边声环境质量的重要因素之一。竣工环境保护验收阶段的声环境现状监测,是检验变电站噪声治理成效、保障区域声环境质量达标的关键环节^[1]。本研究聚焦变电站竣工环保验收中的声环境监测,通过剖析浙江某500kV扩建案例,系统梳理监测点位优化、

数据修正等关键技术。研究成果不仅可为验收人员提供标准化操作指南,更能推动《声环境质量标准》(GB3096-2008)在电力行业的精准实施,对平衡电网建设与声环境保护具有双重实践价值。

2 实例项目概况

浙江某500kV变电站扩建工程位于浙江省中部某市,项目南侧厂界约70米处为某乡道,南侧厂界330米处为某高速公路,区域声环境受交通噪声影响较小。根据环评批复要求,工程运行期厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)1类标准,即昼间 $\leq 55\text{dB(A)}$ 、夜间 $\leq 45\text{dB(A)}$ 。变电站主要噪声源包括主变压器、电抗器及

【作者简介】李燕(1988-),女,中国山东济宁人,本科,工程师,从事环境保护研究。

冷却风机等设备，通过采用低噪声设备、合理布局及隔声屏障等措施进行控制^[2]。监测需重点关注交通噪声与设备噪声的叠加影响，特别是夜间时段需确保厂界及敏感点噪声达标。

3 声环保措施建设情况

本项目在声环境保护方面采取系统性措施：设备选型采用低噪声主变压器，实测第三台主变在 2 米处声压级仅为 69.8dB(A)，优于 70dB(A) 的环保标准。站区布局采用“核心隔离+定向防护”策略，将主变置于站区中央，并通过防火墙实现本期扩建的三台单相变压器间的声学隔离^[3]。针对 500kV 侧噪声传播路径，创新设计模块化降噪系统——由 H 型钢立柱支撑的可拆卸式声屏障总长 36 米，配合插入式隔声板、消声器及隔声门形成立体防护体系；220kV 侧则建设 5 米高防火墙进行声波阻隔。所有钢结构均采用地脚螺栓连接，既满足 8 级抗震要求，又实现材料的 100% 可回收性。经模拟计算，该措施可使厂界噪声昼间降至 55dB(A) 以下，夜间 45dB(A) 以下，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》1 类标准要求。

4 变电站工程竣工环境保护验收声环境现状监测方案

4.1 监测目的与法规依据

变电站工程竣工环境保护验收中的声环境现状监测方案，旨在验证工程投产后厂界达标情况，确保其符合国家声环境质量标准及技术规范要求。该监测的法规依据主要包括以下两方面：（1）变电站工程需根据其所在功能区类别或环评报告要求执行相应限值，并通过监测验证厂界的噪声是否达标^[4]。（2）《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2021）。该导则明确了噪声影响评价的技术要求，强调需通过现状监测获取基础数据，包括噪声源分布、敏感目标噪声水平及气象条件等。监测方法需符合标准规范，如固定声源需设置衰减测点，流动声源需考虑距离衰减特性。此外，导则要求验收监测期间主要噪声源设备（如变压器、风机等）需正常运行，且运行负荷应接近设计值，以确保监测数据的代表性。总之，监测方案需严格遵循上述标准，通过科学布点、规范测量和数据比对，为工程环保验收提供技术依据，同时保障周边声环境质量。

4.2 监测范围与点位布设

根据变电站工程竣工环境保护验收要求，声环境现状监测方案需科学布设监测点位，全面反映厂界的噪声水平^[5]。具体实施方案如下：厂界监测共设 6 个点位，采用均衡覆盖原则：东、西侧围墙各布设 2 个监测点，优先选择靠近主变压器室及风机等主要噪声源的位置；南、北侧围墙各布设 1

个监测点以形成闭环监测网络。所有点位测量高度一般为 1.2 米，若为实体围墙则为高于围墙 0.5m 处，距反射面（围墙）保持 1.2 米距离，确保数据采集符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）技术规范。点位选择均避开临时声屏障和障碍物，保证监测数据的代表性和准确性。该方案通过厂界闭环监测相结合，可系统评估变电站运行对周边声环境的影响，为环保验收提供客观依据。监测过程需同步记录气象条件、设备工况等干扰因素，确保数据真实有效。厂界噪声监测点位描述结果如表 1 所示。

表 1 厂界噪声监测点位描述结果

序号	监测点位描述		监测结果(dB(A))		验收执行标准
			昼间	夜间	
1	厂界噪声监测	变电站东侧偏北围墙外 1m	50.9	43.2	昼间 ≤55 夜间 ≤45
2		变电站东侧偏南围墙外 1m	51.6	43.8	
3		变电站南侧偏西围墙外 1m	54.3	44.8	
4		变电站南侧偏西围墙外 1m	54.1	44.7	
5		变电站西侧偏南围墙外 1m	53.7	43.8	
6		变电站西侧偏北围墙外 1m	53.3	43.2	
7		变电站北侧偏西围墙外 1m	50.6	43.2	
8		变电站北侧偏东围墙外 1m	49.4	43.1	

4.3 监测频次与时段

根据生态环境部发布的《建设项目竣工环境保护验收技术规范 输变电》，变电站工程竣工环境保护验收的声环境现状监测方案应严格遵循以下频次要求：对于稳态噪声（如主变压器、电抗器等设备噪声），每个监测点需在昼间（6:00 ~ 22:00）和夜间（22:00 ~ 6:00）各进行一次监测，每次测量 1 分钟的等效声级（Leq）；若涉及非稳态噪声（如临时施工噪声或间歇性设备运行），则需测量声源代表性时段的等效声级，必要时覆盖整个正常工作时段，每次监测时长不少于 10 分钟^[6]。对于无明显生产周期的连续排放噪声，监测频次应不少于 2 天，每天昼夜各 1 次，且站界噪声测试需与 GB12348-2008 标准保持一致。此外，若噪声排放不稳定，应适当增加采样频次以反映实际情况。监测数据需通过自动审核与人工复核相结合的方式确保准确性，并保留原始记录备查。监测对象、时段、测量时长及频次等关键参数设置结果如表 2 所示。

表 2 监测对象、时段、测量时长及频次等关键参数设置结果

监测对象	时段	测量时长	频次	点位数量	测量条件
厂界噪声	昼间 / 夜间	稳态 1min	连续 2 天	6 个	高度 1.2m，距反射面 1.2m
敏感点	昼间 / 夜间	非稳态 10min	连续 3 天	2 个	户外无遮挡