

[变电站]

全模块化预制舱式变电站降噪措施及验证

文/左涛^{1,5} 刘建涛² 李敏^{3,5} 朱西平^{4,5}

1. 乐山一拉得电网自动化有限公司；2. 西南交通大学；3. 乐山师范学院；4. 西南石油大学；
5. 四川省预制舱式电力设备工程技术研究中心

变电站运行时产生的噪声给周围居民的正常生活造成一定干扰，随着国家环保法律法规的健全和人们环保意识的增强，近年来由于变电站噪声问题导致的投诉和纠纷越来越多，采取合理措施对变电站噪声进行有效治理已经刻不容缓。以四川省乐山市建成投运的龙口110 kV全模块化预制舱式变电站为研究对象，结合变电站厂界噪声标准，提出降低变电站噪声的治理措施，并采用现场测量方式对降噪效果进行实地测量和评价，为预制舱行业生产企业提供绿色环保的预制舱式电力设备产品提供参考依据。

变电站运行时产生的噪声给周围居民的正常生活造成一定干扰，随着国家环保法律法规的健全和人们环保意识的增强，近年来由于变电站噪声问题导致的投诉和纠纷越来越多，采取合理措施对变电站噪声进行有效治理已经刻不容缓^[1-2]。

全模块化预制舱式变电站将变电站一次、二次和通信等设备集成在金属或非金属材质的预制舱体内，形成以功能划分的能以整体或拼接单元运输的模块化设备，具备建造速度快、占地面积小、工艺细节精、建设投资省、装配方式活、形态外观美、绿色环保、能源消耗低和环境影响小的性能优势，极大满足新时代变电站建设需求^[3-4]。这种类型的预制舱式变电站已在国内上百个变电站工程建设项目中推广应用，但是业内对变电站噪声的分析和治理研究主要集中在户外变电站^[5]，尚未见有对全模块化预制舱式变电站噪声方面的研究文献。

本文以四川省乐山市建成投运的龙口110 kV全模块化预制舱式变电站为研究对象，结合变电站

厂界噪声标准，提出降低变电站噪声的治理措施，并采用现场测量方式对降噪效果进行实地测量和评价，为预制舱行业生产企业提供绿色环保的预制舱式电力设备产品提供参考依据。

工程概况

四川乐山龙口110 kV全模块化预制舱式变电站位于乐山国家级高新区，按照当地环保部门的要求，区内变电站厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348—2008）1类标准（即厂界昼间不超过55 dB，夜间不超过45 dB）。

乐山龙口变电站工程中主变压器规格为：SZ11-50000/110 110±8×1.25%/10.5kV YND11,UK=17%含中性点、含电流互感器 1台；110 kV间隔：7个；10 kV间隔：单母线分段，18个；10 kV无功补偿装置：2×4 800 kvar；10 kV接地变压器兼站用变压器：1×700 kV·A（站用变100 kV·A）。整站以具有非金属特性的玄武岩纤维复合材料预制

基金项目：2022年四川省科学技术厅省级科技计划项目（重点研发项目）；预制舱式电力设备关键技术、预备研制与应用研究（No.2022ZYGX005）。

舱为载体,由110 kV GIS组合电器预制舱、主变压器预制舱、10 kV开关设备预制舱、二次组合设备预制舱、电容器成套装置预制舱、接地变压器消弧线圈预制舱和生活预制舱7个模块化功能预制舱组合而成,如图1所示。

舱体、舱顶围护结构均是在工厂内用玄武岩纤维复合预制件,通过干式工法拼装而成。预制舱内部电力设备在工厂内完成制作、组装、配线和调试等工作,以模块化箱房形式整体配送至变电站建设现场吊装、组合、就位,从而快速完成模块化预制舱式变电站的建设,是一种创新的快速配送式、快速装配式变电站建设模式^[6]。



图1 龙口110 kV非金属模块化预制舱式智能变电站鸟瞰图

变电站噪声原因分析

常规户外变电站的噪声源主要有两大类:一是电气设备产生的噪声;二是通风散热设备的噪声,包括用于电气设备功能用房的通风散热的风机,如主变压器室、电抗室、GIS室和电容室等;主控室等工作用房的空调外机;以及主变压器散热器辐射噪声^[5]。与常规户外变电站不同的是,本变电站由7个模块化功能预制舱组成,其噪声也主要来源于两部分:一是各预制舱内电气设备(如主变压器、GIS组合电器、10 kV开关设备、二次组合设备、电容器和接地变压器消弧线圈等设备)运行的声音,并透过预制舱体向外传递的噪声;二是预制舱空调外机及风机运行时向外直接辐射的噪声。本模块化预制舱式变电站噪声传播的主要途径如图2所示。

由图2可知,主变压器等电气设备、空调外机和风机是主要的噪声源,要使变电站站界噪声达到1类标准限制,就需要对主要噪声源进行相应的降噪处理。

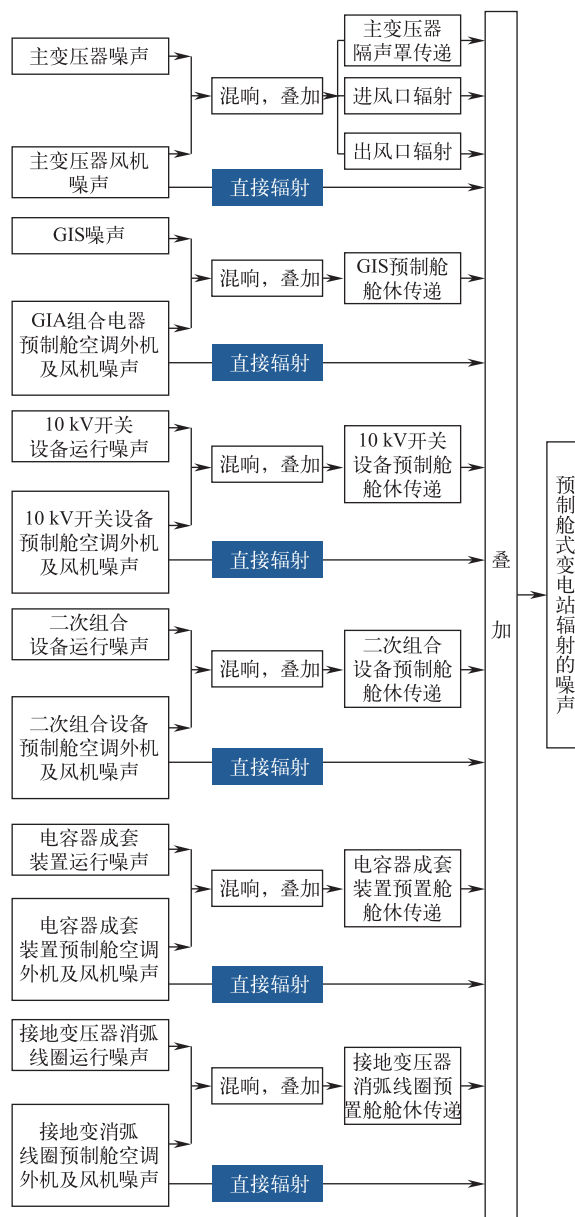


图2 预制舱式变电站噪声传播的主要途径

预制舱式变电站降噪措施

从噪声产生原理的角度,变电站降噪措施主要有三种措施:一是控制噪声传播途径,以减小噪声对站界环境的影响。声传播途径控制主要是采取隔声、吸声、消声和隔振技术,实现噪声强度在传播过程中得到衰减,满足站界环境噪声限值^[7];二是从噪声源上降低噪声;三是在接收点处(受体)采取防护措施。本文重点在第一方面进行降噪研究。

1. 主变压器噪声的隔声措施

隔声是通过材料、构件或结构等隔绝空气传播

噪声的途径,实现噪声强度的降低。在变压器周围架设隔声罩是一种见效较快的降噪方案。目前Box-in形式的隔声罩在换流变降噪中已广泛应用^[8],本项目借鉴了Box-in隔声罩的经验,在主变压器外安装整体隔声罩,如图3所示。



图3 主变压器Box-in隔声罩

由于隔声罩将变压器本体、散热片和中性点避雷器等均包裹在内,且罩体靠近变压器,自然通风与散热动力不足,需要设置进排风消声器并配备强制送风机以满足内部散热与消声的要求。而要解决好隔声罩内部的散热问题,设计好风机通风量是关键。

根据乐山当地夏季高温数据,按夏季不利条件下进风温度 30°C ,同时考虑到本站变压器对散热要求高,所以设计隔声罩内温度不超过 35°C 。结合变压器铭牌给出的参数,变压器负载损耗 174.2 kW ,空载损耗 23.8 kW ,可依据公式(1)计算后取整^[9],即可得出达到主变压器散热要求的送风量。

$$L=1\,000Q_n/[0.337(t_n-t_w)] \quad (1)$$

式中, L 为达到主变压器散热要求所需送风量, m^3/h ; Q_n 为变压器负载及空载损耗(也称余热), kW ; t_n 为机房内设计空气温度, $^{\circ}\text{C}$; t_w 为室外通风计算温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

经计算,主变压器隔声罩风机通风量为 $120\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。风机设置温控、手动两种控制方式,在主变压器预制舱舱内温度升高时自动启动风机,从而达到主变压器预制舱散热的要求。

2. 预制舱体的降噪措施

预制舱体隔声降噪非常有效且常用的技术手段就是利用板材和结构件作为屏障,使噪声在往外传播时受到阻隔,来实现降噪的目的。这就要求用于预制舱体和舱内各舱室隔断的板材有良好的隔音性能,能将声音进行反射、吸收以及气压缓冲^[10],满足GB/T 23450—2009《建筑隔墙用保温条板》对空气声计权隔声量的要求。

本项目预制舱体采用的是玄武岩纤维复合预制件,该预制件是以玄武岩纤维作为混凝土改性掺料,以低碱快硬硫铝酸盐水泥作为胶凝材料,与聚苯乙烯泡沫、河砂和化合物等多种集料按特定比例混合搅拌后,高压喷射浇筑在用槽钢、钢筋制作成型的模具内,经 24 h 静置形成的纤维复合预制件产品。由于该预制件集中了高性能纤维、高分子材料和金属钢材的性能优势,使得以该预制件作为预制舱围护结构的非金属预制舱具有隔声效果好、燃烧性能等级高、耐火性能长、防腐能力强和隔热性能好等良好物理性能^[11]。

验证玄武岩纤维复合预制件的隔声性能的影响,可以依照GB/T 19889.5—2006标准,采用扬声器噪声测量法,对该材料进行表观隔声量测定。采用一块尺寸为 $1\,450\text{ mm}$ (长) $\times 600\text{ mm}$ (宽) $\times 100\text{ mm}$ (厚)的试件,将试件安装于测试洞口上,试件与洞口四周缝隙采用密封材料填充,发声室体积 62.4 m^3 ,受声室体积 52.8 m^3 ,如图4所示。用带宽1/3倍频程滤波器,且中心频率从 $100\sim 5\,000\text{ Hz}$ 的连续频谱稳态声场进行测量,在发声室5个传声器位置测量出每个声场的平均声压级。

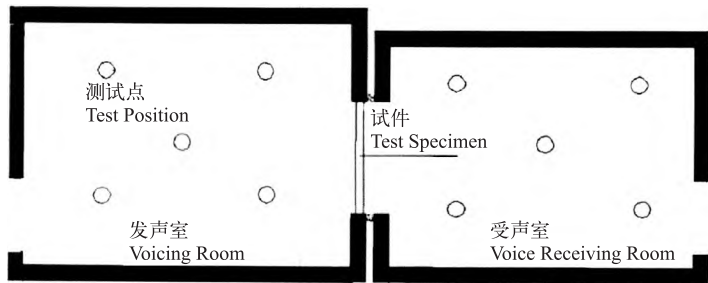


图4 预制件空气声隔声测点布置图

测得1/3倍频程空气声隔声测量量见表1。隔声量（传声损失）R是入射至被测试件上的声功率W1与透过试件辐射至接受室的声功率W2之比值，取以10为底的对数再乘以10，即R=10lg（W1/W2）。

表1 1/3倍频程空气声隔声测量量

序号	频率/Hz	1/3倍频程基准值/dB	隔声量R/dB
1	100	-19	29.7
2	125	-16	28.0
3	160	-13	28.9
4	200	-10	29.3
5	250	-7	31.4
6	315	-4	36.3
7	400	-1	36.0
8	500	0	39.3
9	630	1	38.4
10	800	2	37.5
11	1 000	3	38.9
12	1 250	4	39.4
13	1 600	4	39.1
14	2 000	4	39.8
15	2 500	4	42.2
16	3 150	4	45.6
17	4 000	4	49.6
18	5 000	4	50.7

用曲线比较法确定试件的空气声隔声单值评价量。如图5所示，将一组精确到0.1 dB的1/3倍频程空气声隔声测量量在坐标纸上绘制成一条测量量的频谱曲线，则基准曲线上0 dB线所对应的绘有测量量频谱曲线的坐标纸上纵坐标的整分贝数，就是该组测量量所对应的单值评价量[12]。

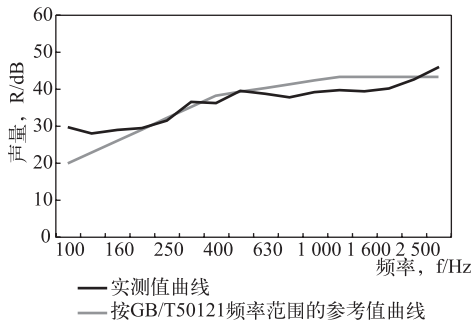


图5 确定空气声隔声单值评价量的曲线比较图

由此得出的玄武岩纤维复合预制件计权隔声量为Rw(C;C1r)=39(0;-2)dB，高于GB/T 23450—2009《建筑隔墙用保温条板》35 dB的要求，能够有效防止舱内噪声传递至外部，也可以有效阻止外部噪

声传递至预制舱内，起到隔声降噪作用。

3. 空调器及风机噪声的优化

采用在空调器、风机处加装阻抗复合式消声器，在空调器安装固定支架处配置弹性材料，能够实现对空调器和风机本体噪声的有效控制。在舱内增加2 cm厚隔音棉专用门，将空调器安装在预制舱同一端侧，在空调器外部使用消音材料设立隔断等措施也能有效减小空调器和风机噪声。

降噪措施验证与分析

降噪措施验证采用变电站厂界测量方式，即在变电站围墙外侧进行噪声测量，以评估和验证降噪措施的实际效果。

1. 测量期间变电站运行工况和现场检测基本条件

测量期间变电站运行工况见表2。

表2 检测期间变电站运行工况

项目	容量/MV·A	电压/kV	电流/A	允许电流/A	有功功率/MW	无功功率/Mvar	负荷百分比(%)
龙口变电站1#主变压器	50	高压侧：110 kV 低压侧：10 kV	高压侧：262 A 低压侧：2 886 A	高压侧：210 A 低压侧：2 199 A	42.5	26.3	80

测量期间变电站现场的基本气候状况见表3。

表3 现场检测条件基本情况

检测日期	天气	环境温度/℃	相对湿度(%)	风速/(m/s)
2023.04.23	阴	16.8~17.2	62.3~63.5	<1

2. 测量方法

按照GB 12348规定的方法，厂界噪声测试时，测点选在变电站厂界外5 m，高度1.2 m以上，距任一反射面距离不小于5 m的位置。其布点示意图如图6所示。使用的测量仪器为AWA6228+多功能声级计和AWA6021A声校准器。

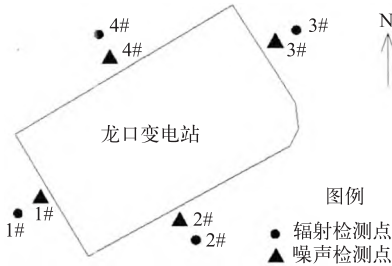


图6 龙口110 kV检测布点示意图

3. 测量点位、检测项目及检测频次

测量点位、检测项目及检测频次见表4。

表4 检测点位、检测项目及检测频次

类别	点位编号	检测点位	检测项目	监测频次
电磁环境	1#	西面厂界外5 m	工频电场强度、工频磁感应强度	检测周期为1天，每天检测1次
	2#	南面厂界外5 m		
	3#	东面厂界外5 m		
	4#	北面厂界外5 m		
厂界环境噪声	1#	西面厂界 103° 41′ 57″ E；29° 31′ 43″ N	各测点处的等效连续A声级	检测周期为1天，昼夜各1次
	2#	南面厂界 103° 41′ 58″ E；29° 31′ 42″ N		
	3#	东面厂界 103° 42′ 0″ E；29° 31′ 44″ N		
	4#	北面厂界 103° 41′ 58″ E；29° 31′ 45″ N		

4. 测量结果与分析

变电站厂界测量结果见表5。

表5 厂界环境噪声检测结果

点位编号	检测点位	东经；北纬	检测结果		标准限值	评价结果
			昼间	夜间		
1#	西面厂界	103° 41′ 57″；29° 31′ 43″	47	41	1类 昼间≤55 dB 夜间≤45 dB	达标
2#	南面厂界	103° 41′ 58″；29° 31′ 42″	44	42		达标
3#	东面厂界	103° 42′ 0″；29° 31′ 44″	49	41		达标
4#	北面厂界	103° 41′ 58″；29° 31′ 45″	48	41		达标

可见，各测点处的噪声水平值均未超过准限值满足厂界环境噪声昼间≤55 dB，夜间≤45 dB的标准限值。

结束语

根据全模块化预制舱式变电站的噪声来源和噪声传播的主要途径，重点研究抑制噪声传播途径的措施，提出在主变压器外安装整体隔声罩、预制舱体采用武岩纤维复合预制件、减少空调器和风机本体噪声可以有效降噪。经测量变电站厂界噪声，各测点处的噪声水平值均未超过准限值，达到1类标准限制，为预制舱式电力设备生产企业提供了借鉴

和参考。[EA](#)

(收稿日期：2024-09-09)

参考文献

[1] 李想, 肖军, 朱夕连. 变电站噪声问题分析与降噪措施研究[J]. 电子测试, 20121(8): 114-115+88.

[2] 冯仁祥, 毛文利, 冯政宁. 大型运行变电站噪声治理研究[J]. 浙江建筑, 2021, 38(2): 56-58.

[3] 左涛, 李敏, 朱西平, 等. 110 kV全模块化高性能纤维预制舱式变电站消防研究[J]. 电气时代, 2023(9): 53-58.

[4] 左涛, 刘建涛, 蒋强, 等. 非金属模块化预制舱式变电站节能环保关键技术[J]. 电气技术, 2024, 25(4): 59-65+76.

[5] 陈晓琳, 张明, 张体强等. 城区典型变电站噪声预测及治理措施研究[J]. 四川环境, 2022, 41(2): 118-123.

[6] 左涛, 张新太. 智能变电站高性能纤维预制舱防凝露设计[J]. 宁夏电力, 2022(2): 24-30.

[7] 刘敏, 崔亚兵, 陈聪等. 变电站噪声污染分析及优化控制[J]. 电力科技与环保, 2019, 35(4): 1-4.

[8] 刘辉, 尹建光, 张国英等. 110kV户外变电站噪声污染分析与治理方案[J]. 广东电力, 2018, 31(12): 12-19.

[9] 黄季宜, 孙敏生. 变配电机房通风空调节能方案选择、计算和控制[J]. 暖通空调, 2008, 38(9): 35-39.

[10] 张永峰, 窦辉, 丁丽平. 智能变电站预制舱噪声控制[J]. 中国科技信息, 2017, (12): 54-55+57.

[11] 左涛, 李敏, 宋英杰, 等. 变电站预制舱围护结构建设能耗与碳排放计算及分析[J]. 电气时代, 2024(3): 88-92.

[12] 建筑隔声评价标准: GB/T 50121-2005 [S].