

文章编号: 1671-6612 (2025) 03-426-05

地铁上盖车辆段冷却塔降噪分析及应用探讨

龚胜强 郑 聪

(广州地铁设计研究院股份有限公司 广州 510010)

【摘 要】 伴随着城市轨道交通站点开发的白热化, 地铁车辆段上盖 TOD 开发模式应运而生, 作为典型的居住、商业、工业混杂区域, 上盖车辆段配套用房冷却塔噪声控制成为通风空调设计的一大难点。以广州地铁某上盖车辆段综合楼屋面冷却塔运行引起的临近上盖物业住宅楼噪音扰民问题为例, 从冷却塔噪声频谱特性分析、噪声评价地点主要噪声源的判定、冷却塔噪声治理方案比选等方面进行研究, 并结合治理效果对上盖车辆段冷却塔消声降噪提出建议。

【关键词】 地铁; 上盖车辆段; 冷却塔; 噪声治理

中图分类号 TB535/TB65 文献标志码 B

Noise Reduction Analysis and Application Exploration of Cooling Towers for Subway Upper Vehicle Depots

Gong Shengqiang Zheng Cong

(Guangzhou Metro Design&Research Institute Co., Ltd, Guangzhou, 510010)

【Abstract】 With the intensification of urban rail transit station development, Transit-oriented Development for upper vehicle depot has emerged as the times require. As a typical mixed residential, commercial, and industrial area, noise control of cooling towers in the supporting buildings of the overlying vehicle depot has become a major challenge in ventilation and air conditioning design. Taking the noise disturbance issue caused by the operation of cooling towers on the roof of a comprehensive building in an upper vehicle depot of Guangzhou Metro as an example, the author conducted research on the analysis of the frequency spectrum characteristics of cooling tower noise, the identification of the main noise sources at the noise evaluation location, and the comparison and selection of cooling tower noise control schemes. Based on the treatment effect, suggestions for noise elimination and reduction of cooling towers in the overlying vehicle depot were proposed.

【Keywords】 Metro; Upper vehicle depots; Cooling tower; Noise control

0 引言

随着我国城镇化率的不断提高, 城市土地资源愈发吃紧, 出现大量地铁车辆段 TOD 上盖开发物业, 而地铁车辆段作业用房的动力设备设施会给上盖物业带来严重噪声问题, 引起居民投诉, 其中制冷空调系统的冷却塔是主要的噪声源, 根据实测, 机械通风冷却塔设备区可产生 80dB(A)以上的噪声^[1]。为减少冷却塔运行对周围居民的影响, 研究人员在冷却塔噪声噪声控制设计^[1-3]等方面进行了广泛研究。但现有研究大多采用 A 声级噪声评价

方法, 造成达标但扰民的现象时有发生; 少有结合 A 声级及倍频带声压级差异大小来进行噪声评价的研究。此外, 现有冷却塔降噪基本采用对冷却塔设备增加声屏障或消声百叶围蔽等被动降噪形式, 少有对冷却塔设备动力设备进行改造从而达到主动降噪的方案。本文通过对受车辆段综合楼冷却塔运行引起的噪声影响较大的上盖物业住宅楼户外进行噪声实测, 对冷却塔噪声评价方法及主动降噪治理方案进行研究。

1 工程概况

广州地铁某上盖车辆段上盖盖板投影面积约 21.48 万平方米, 盖上建有车辆段综合楼等配套设施并进行上盖物业开发。车辆段综合楼为地上 16 层(其中盖板以上 12 层, 盖板以下 4 层), 综合楼设置集中冷站, 负责双周三月检, 运用库, 综合楼、公寓、餐厅、控制大厅等的供冷, 集中冷站的定频冷却塔设置于综合楼屋面, 冷却塔额定水量为 400m³/h, 额定风量为 200000m³/h。上盖 TOD 项目为广州首个百万级社区 TOD 项目, 总建筑面积约 133 万平方米, 上盖高层住宅 35#西侧与综合楼冷却塔距离约 60m, 屋面冷却塔高度与 16~18 层住户接近, 高层西侧住户视线可见冷却塔。16#、17#与综合楼冷却塔距离约 75m, 屋面冷却塔高度与 16~18 层住户接近, 2~24 层住户视线可见冷却塔。综合楼与敏感建筑位置关系如图 1、图 2 所示。

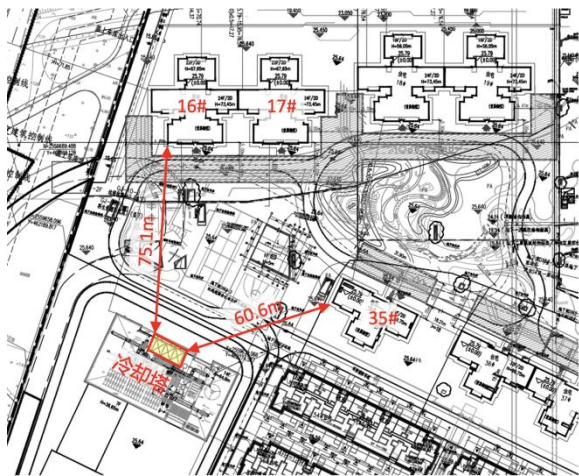


图 1 综合楼与敏感建筑水平位置关系

Fig.1 The horizontal position relationship between the comprehensive building and sensitive buildings

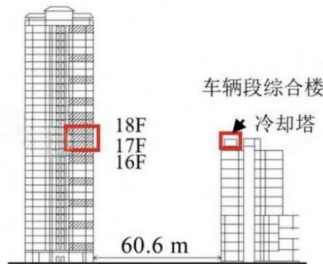


图 2 综合楼屋面与 35#住宅竖直位置关系

Fig.2 The vertical position relationship between the roof of the comprehensive building and the 35 # residential building

随着上盖小区陆续交楼入住, 地铁运营部门收

到了多起关于车辆段综合楼屋面冷却塔噪声扰民的投诉, 因此有必要对车辆段综合楼屋面冷却塔噪声进行评估和治理。

2 声环境评价及测试结果分析

2.1 声环境评价

2.1.1 声环境标准

根据《声环境质量标准》(GB 3096-2008)^[4]及《广州市声环境功能区区划》, 敏感建筑(以上盖开发小区 16 栋和 35 栋住宅楼为例)所在区域声环境功能区为 2 类, 上述声功能区环境敏感点户外声环境执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008)^[5]中的 2 类声功能区噪声排放限值。即等效 A 声级昼间(6:00~22:00) 60dB(A), 夜间(22:00~次日 6:00) 50dB(A)。

2.1.2 主要噪声源的判断

影响评价地点声环境质量主要噪声源的判据参考《民用建筑物室内噪声监测和评价》^[6]研究项目的研究成果。若要判断影响评价地点声环境质量的主要噪声源, 可根据该噪声源运行与停止运行时, 评价地点 A 声级及倍频带声压级差异的大小来作出判断。

(1) A 声级的判断: 主要噪声源运行与停止运行时, 评价地点 A 声级的差异至少应大于 3dB(A);

(2) 倍频带声压级的判断: 主要噪声源运行与停止运行时, 评价地点噪声频谱中存在一个或若干个倍频带中心频率对应声压级的差异大于 5dB。

2.2 噪声测试结果分析

2.2.1 噪声测试信息的说明

为方便下文对噪声源评价地点的描述, 现对噪声源评价地点进行编号, 详见表 1。

表 1 噪声源评价信息表

Table 1 Noise Source Evaluation Locations			
评价地点编号	评价时间	评价地点类型	评价地点名称
1#			1#冷却塔进风口外 1 米
2#	夜间	噪声源	2#冷却塔进风口外 1 米
3#			3#冷却塔进风口外 1 米
4#			16 栋 2402 单元阳台外(面对冷却塔进风口侧)
5#		敏感点	35 栋 2902 单元主卧窗外(面对冷却塔进风口侧)

2.2.2 测试仪器

本项目采用 HY128 手持型声级计，符合国家标准 GB/T 3785.1-2010 和国际标准 C61672:2013 对 1 级声级计的要求，满足《声环境质量标准》（GB

3096-2008）要求测量仪器精度为 2 型及 2 型以上的积分平均声级计或环境噪声自动监测仪器的规定。设备保存完好，并定期校核，保证采集数据的有效性。

2.2.3 测试结果分析

表 2 噪声源评价地点 A 声级测量结果 单位：dB(A)

Table 2 Noise Source Evaluation Location A Sound Level Measurement Results Unit: dB(A)			
比较项目	1#评价地点	2#评价地点	3#评价地点
噪声测试值	59.6	64.3	74.5
换算成进风口当量直径 5.2m 处噪声值	47.4	52.1	62.3

表 3 敏感点评价地点 A 声级测量结果 单位：dB(A)

Table 3 Measurement Results of A-Sound Level at Sensitive Point Evaluation Sites Unit: dB(A)				
比较项目	4#评价地点		5#评价地点	
	夜间工况： 仅开启 1#冷却塔	昼间工况： 3 台冷却塔全部开启	夜间工况： 仅开启 1#冷却塔	昼间工况： 3 台冷却塔全部开启
设备运行	53.3	54.6	55.6	57
设备停止运行 (背景噪声)	52.1	52.1	54.8	54.8
运行噪声与背景噪声差值	1.2	2.5	0.8	2.2
空气传声的实际结果	<50.3 (47.2)	<51.6 (51.0)	<52.6 (47.7)	<54.0 (53.0)

注：表中括号内的数值为扣除背景值后的冷却塔运行噪声的空气传声理论值。

表 4 敏感点评价地点噪声倍频带声压级测量结果 单位：dB

Table 4 Measurement results of noise octave band sound pressure level at sensitive point evaluation locations Unit: dB											
评价地点	比较项目	倍频带中心频率 倍频带声压级									
		16	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
4# 评价地点	仅开启 1#冷却塔	55.8	60.5	57.8	56.3	52.7	51	49.4	43.9	35.1	23.4
	1#冷却塔停止运行 (背景噪声)	55.7	59.7	55.8	55	52.3	49	47.7	43.4	33.5	22.7
	运行噪声与背景噪声差值 1	0.1	0.8	2	1.3	0.3	2	1.7	0.5	1.6	0.7
	3 台冷却塔运行	56.9	61.4	59	56.9	53.6	51.6	49.8	44.1	45.3	29
	3 台冷却塔停止运行 (背景噪声)	55.7	59.7	55.8	55	52.3	49	47.7	43.4	33.5	22.7
	运行噪声与背景噪声差值 2	1.2	1.7	3.1	1.9	1.2	2.6	2.1	0.7	11.8	6.3
5# 评价地点	仅开启 1#冷却塔	59.4	59.2	59.3	58.9	57.6	51.8	51.6	45.8	36.6	22.6
	1#冷却塔停止运行 (背景噪声)	57.2	58.9	59.1	57.2	55.1	50.6	50.5	44.6	36.4	22.6
	运行噪声与背景噪声差值 3	2.3	0.3	0.2	1.7	2.5	1.3	1.1	1.2	0.2	0.1
	3 台冷却塔运行	56.7	60.1	60.5	58.8	58.2	52.4	51.5	46.4	49.2	31.9
	3 台冷却塔停止运行 (背景噪声)	56.5	58.9	59.1	57.2	55.1	50.6	50.5	44.6	36.4	22.6
	运行噪声与背景噪声差值 4	0.2	1.2	1.4	1.6	3.1	1.9	1	1.9	12.7	9.3

从表 2 看到，三台冷却塔按设备采购用户需求书中要求的《中小型玻璃纤维增强塑料冷却塔》（GB/T 7190.1-2008）^[7]中的超低噪声限值 62dB(A) 校核，1#、2#塔大幅度低于标准值，说明上述的两台冷却塔的动力系统存在异常（猜测是

皮带打滑），3#冷却塔相对处于正常工作状态，排放噪声超出限值 0.3dB(A)。从表 3 和表 4 看到，开启 3 台冷却塔的昼间工况和仅开启一台冷却塔的夜间工况，A 声级的结果均符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）^[5]中有关

声功能区 2 类区户外昼间和夜间的噪声排放限值: 60dB(A)和 50dB(A), 且敏感点处冷却塔运行工况与背景噪声 A 声级的差值均小于 3dB(A); 但昼间工况 4#敏感点评价地点在 4kHz~8kHz 中心频率及 5#敏感点评价地点在 4kHz~8kHz 中心频率对应声压级差异大于 5dB。

综上, 地铁车辆段综合楼天面 3 台型号相同的定冷却塔, 其分别运行时 A 声级相差较大, 而且其频谱特性也各不相同, 说明设备的运行时间、磨损程度和工作状态存在较大的差异, 应定期进行维护保养。虽然测试工况敏感点评价地点 A 声级测试结果均达标, 但在对人主观感受的影响更为突出的中高频带声压级相对背景噪声出现显著增长, 表明冷却塔运行噪声通过空气传声方式对附近的敏

感建筑户外声环境造成污染。

3 冷却塔噪声治理

3.1 方案对比

车辆段综合楼屋面现有三台横流式定频冷却塔, 由于冷却塔已运行数年, 部件磨损较为严重, 因此优先考虑主动降噪措施, 即对塔体本身进行改造。冷却塔噪声包括风机噪声、电机噪声和淋水噪声, 其中风机和电机的噪声为主要噪声。针对冷却塔本体噪声, 可采取改造冷却塔动力系统或将冷却塔整体更换为标准工况 I 噪声等级 I 级标准的冷却塔等两种方案。被动降噪主要是在冷却塔进风口和靠上盖住宅一侧的出风口增加消声措施。三种方案对比如表 5 所示。

表 5 冷却塔降噪方案对比表

Table 5 Comparison of Cooling Tower Noise Reduction Plans

项目	主动降噪		被动降噪
	方案 1: 动力系统改造	方案 2: 冷却塔整体更换	方案 3: 增加消声措施
主要施工内容	单风机改双风机 风机叶片数增加 增设变频器	冷却塔拆除和安装 冷却塔基础改造 冷却塔管路改造	进、出风口增设消声器 电机更换 (阻力增大导致风机功率提档) 消声器荷载较重, 屋面结构需进行加固
工期	70 天	130 天	120 天
造价	约 40 万元/台, 3 台共计 120 万元	约 48 万元/台, 3 台共 144 万元	65 万元

由表 5 比较可知, 动力系统改造内容较少, 几乎不需要改动原有管线, 可采取逐台改造的施工方式, 不影响现有车站供冷、施工灵活、工期短、费用低; 冷却塔整体更换方案改造内容多, 需要整体统一更换, 影响车站供冷、工期长、费用高; 增加消声措施方案改造量大, 需要更换风机电机并对综合楼屋面进行加固, 工期长、施工影响范围较大且对冷却塔热力性能产生影响, 增加运行费用。因此本工程采取改造冷却塔动力系统的方案。

3.2 治理方案

风机旋转噪声与叶轮的圆周速度的 10 次方成正比, 涡流噪声的频率取决于叶片的形状及叶片与气体的相对速度, 涡流噪声声功率与叶轮圆周速度的 6 次方成正比^[8]。在风机叶轮直径一定的情况下, 转速是影响轴流风机噪声的重要因素, 转速越高, 噪声越大。基于此, 本次对冷却塔动力系统的改造是在保证冷却塔所需风量的前提下, 通过将风机的运行转速降低的方式将设备噪声降低。同时由于风机线速度降低, 在同叶轮质心的前提下, 不平衡力

矩减少, 振动能量减少, 设备运行更平稳, 低频传播的概率也大幅下降。

将原冷却塔 3360mm-5p (5 叶片) 单叶风机设计, 改造为 3360mm-7p×2 (7 叶片双风叶) 同轴双风机系统。同轴双风机由前动风机、后动风机、导流风机、电机及减速箱等构成, 原冷却塔单叶风机需要在 220r/min 的转速下才可满足冷却塔所需要的风量, 改造为同轴双风机并增加风机叶片数后, 只需 110r/min 转速即可达到同等风量。风机转速降低 1/2, 风机的理论降噪量可达 15.0dB^[9]。

冷却塔动力系统构造如图 3 所示。

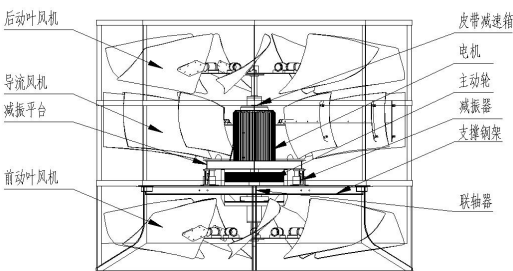


图 3 冷却塔动力系统构造

Fig.3 Construction of cooling tower power system

集中冷站共设置三台冷机，单台冷机冷量为 1364kW。夜间冷负荷为 607kW，夜间冷负荷仅占单台冷机冷量的 44%。冷却塔原为定频冷却塔，为满足上盖开发地产商对本次改造预留一定噪声余量的要求，进一步降低夜间冷却塔运行噪声，更换冷却塔动力系统的同时配备变频器，昼间按工频运行，低负荷的夜间通过降低运行频率降低运行噪声。根据冷却塔厂家提供的数据，夜间冷却塔运行频率由工频 50Hz 降至 35Hz 时，超低噪冷却塔运行噪声可降低 5~7dB(A)。

更换风机后配电功率不变，无须对配电系统进

行改造。改造后冷却塔运行风量不少于原塔风量，其散热能力不受影响，改造范围均在冷却塔顶部，不改变塔体大小，不影响冷却塔的检修空间。

4 治理效果评价

风亭冷却塔噪声治理完成后，由于降噪效果显著，在敏感点评价地点主观上完全感觉不到冷却塔运行与停止运行的差异，故第三方检测单位采用 3 台冷却塔全工频运行的最不利工况进行噪声测量。监测结果如表 6、表 7 所示。

表 6 敏感点评价地点 A 声级测量结果 单位：dB(A)

Table 6 Measurement Results of A-Sound Level at Sensitive Point Evaluation Sites Unit: dB(A)

比较项目	4#评价地点		5#评价地点	
	治理前	治理后	治理前	治理后
3 台冷却塔运行	54.6	53.3	57	53.2
3 台冷却塔停止运行（背景噪声）	52.1	52.1	54.8	52.4
运行噪声与背景噪声差值	2.5	1.2	2.2	0.8
空气传声的实际结果	<51.6（51.0）	<50.3（47.2）	<54.0（53.0）	<50.2（45.5）

注：表中括号内的数值为扣除背景值后的冷却塔运行噪声的空气传声理论值。

表 7 敏感点评价地点噪声倍频带声压级测量结果 单位：dB

Table 7 Measurement results of noise octave band sound pressure level at sensitive point evaluation locations Unit: dB

评价地点		倍频带中心频比较项目率									
		倍频带声压级									
		16	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
4#评价地点	3 台冷却塔运行（噪声治理前）	56.9	61.4	59	56.9	53.6	51.6	49.8	44.1	45.3	29
	3 台冷却塔运行（噪声治理后）	58.4	61.6	59.3	56.2	52.4	48.3	44.6	39.6	34.9	30.2
	3 台冷却塔停止运行（噪声治理后背景噪声）	57.5	60.6	57.6	55.7	50.8	47.6	44.4	39.3	34.5	29.8
	运行噪声与背景噪声差值 1	0.9	0.9	1.7	0.5	1.5	0.7	0.1	0.3	0.3	0.5
5#评价地点	3 台冷却塔运行（噪声治理前）	56.7	60.1	60.5	58.8	58.2	52.4	51.5	46.4	49.2	31.9
	3 台冷却塔运行（噪声治理后）	62.5	59.7	60.5	58.9	56.5	50.2	47	43.8	38.6	32.8
	3 台冷却塔停止运行（噪声治理后背景噪声）	62.3	59.4	60.2	57.9	56.2	49	45.9	42.6	37.1	31.9
	运行噪声与背景噪声差值 2	0.2	0.3	0.3	1	0.3	1.3	1.1	1.2	1.5	0.9

由表 6、表 7 可知，3 台冷却塔全工频运行情况下，冷却塔降噪治理前后比较，敏感点评价地点治理前受到噪声影响的异常峰值频率 4kHz 对应的声压级降噪达 10.4dB~10.5dB，倍频带噪声频谱 31.5Hz~8kHz 中心频率对应声压级的差值均小于 5dB，且敏感点户外 A 声级噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）的 2 类标准的限值要求。综上所述，冷却塔经过改造，已消除通过空气传声方式对敏感点评价地点户外声环境造成的影响。

5 结论与建议

（1）应定期对冷却塔动力及传送部件进行维护保养，避免非正常运转产生对人主观感受的影响更为突出的中高频噪声；

（2）地铁上盖 TOD 作为一种新的土地开发模式，上盖物业住宅与上盖车辆段共用上盖盖板使得车辆段厂界概念变的模糊，因地制宜选取上盖物业噪声敏感建筑物外 1 米外位置作为地铁车辆段厂界环境噪声测点是一种经济适用的方案；

（下转第 454 页）