

热泵机组降噪措施探究与噪声治理实践

郭 佳 刘 建

中国中元国际工程有限公司 北京 100089

【摘 要】：伴随双碳政策的加速实施，风冷热泵机组的应用进入快发展期，其噪声治理问题也广泛得到关注。本文通过分析风冷热泵的噪音特点，从不同方向提出了风冷热泵机组的降噪措施。结合热泵机组噪音治理实际工程案例，介绍了封闭式隔声罩的设计要点，尤其强调通风散热的重要性，并给出了噪音治理效果。

【关键词】：风冷热泵；降噪措施；噪音治理；封闭式隔声罩；通风散热

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.049

引言

风冷热泵机组属于可再生能源，在减少二氧化碳排放的同时还能通过回收冷凝节约能源。热泵机组不必占用室内机房面积，可以充分利用屋顶空间，摆放灵活，系统简单可靠。因此广泛应用于各类项目空调冷热源。随着双碳政策的加速实施，风冷热泵机组的应用也越来越广泛，进入快发展期。然而，热泵机组是项目内的主要噪声源，其噪声会干扰周边居民区，引发扰民投诉。因此，明确风冷热泵机组的噪音特点及噪声控制方法具有重要意义。

1 热泵的噪音特点分析

风冷热泵机组的主要噪音源为风机的噪声及压缩机的噪声。风机位于风冷热泵顶部，风机的噪音包括叶片转动时产生的压力、空气紊流声以及这两项共振引起的噪声。

压缩机的噪声大小因机型不同而不同，全封闭压缩机比半封闭压缩机的噪声低；螺杆式压缩机比活塞式压缩机的噪声低；压缩机带隔声罩比不带隔声罩的噪声低；多台小制冷量压缩机比单台相同制冷量压缩机的噪声低。压缩机位于风冷热泵底部，压缩机运转时也会造成热泵机组轻微震动，产生固体传声。

热泵噪声以低、中频段为主，噪声主要集中在低频段63Hz~1000Hz中，声压级均在70dB以上。该频段声音传播能力较强，对系统低频段的消声降噪措施要求较高。热泵机组的噪声会从顶部、底部及两侧向外传播，当热泵体量较大时，会形成一个很大的面声源。该频带的噪声沿空间衰减很慢，影响范围广，不容易消除。有数据显示，在热泵两侧的3米范围内噪声基本无衰减，在热泵长度范围内，距离衰减为3dB（1）。

2 热泵的噪音控制要点及措施

风冷热泵机组以空气声响为主，主要噪音源为风机及压缩机。相应的噪音控制措施也从风机及压缩机入手。主要控制要点及措施如下，项目设计阶段应重点考虑第2~4项措施，尽量从设计层面解决热泵的噪音问题。然而对已建成的项目，噪音控制目前应用较多的为第5项，主要通过消声、吸声和隔声等手段。第1项措施为对风冷热泵厂家的建议，希望能从设备研

发上解决噪音问题。

（1）合理降低压缩机和排风机的噪声，此项为积极主动的降噪措施。建议设备厂商研发新材料新工艺，改善压缩机及叶轮结构，从而减轻震动及气流扰动，降低噪声，改善环境。

（2）选择低噪声热泵机组并合理确定热泵的位置。在规定的建筑用地内，风冷热泵的位置应尽可能远离对环境要求比较高的区域，如病房，居民区等。并优先选择噪声低，震动小的风冷热泵机组。但在民用建筑中，尤其是大中型城市，由于建筑用地紧张，热泵机组难以远离建筑，因此建议将其放置于高层建筑屋顶，选用低噪声设备，并辅以适当的消声减震措施。

（3）压缩机包裹，设置隔声罩。利用隔声罩将风冷热泵的压缩机包裹，并在隔声罩内壁贴附吸声材料，对压缩机进行隔声吸声处理。目前部分风冷热泵厂家已将该项措施作为风冷热泵订货时的可选项，可降低噪音3dB。

（4）采用变频风机或双速风机，降低排风机的转速。在部分负荷时采用低转速可有效降低风机的噪声。电动机减速与降低噪声的关系如下：由4级改变为6级运转时，噪声级可降低5~7dB；由4级改变为8级运转时，噪声级可降低12~13dB（2）。

（5）增加消声措施，热泵机组设置消声器、隔声屏或隔声罩。

如果采取以上措施仍无法满足环境的要求，则需要对热泵机组采取降噪措施。主要包括消声、吸声和隔声等手段。根据机组与受影响建筑的不同空间关系可采取在进、排风口设置消声器、在热泵机组周围设置隔声屏以及对整个热泵机组设置隔声罩等措施。这种做法需重点考虑：消声器的有效进风面积需满足风冷热泵的通风散热要求；进、排风消声装置的空气阻力需<50Pa，以满足热泵风机的余压要求；隔声罩内热泵机组两侧要留有满足热泵检修的空间；屋面的荷载要满足热泵机组及隔声构件的荷载要求；隔声构件的造型、颜色等要与建筑整体协调一致。这种做法降噪效果比较好，但需要满足的条件比较苛刻，同时造价也比较高，设置隔声罩的消声量一般在20dB。

3 噪音治理实例

项目位于某医院裙房楼顶, 设有3台大型风冷热泵机组, 包括1台型号ACDSX330R-FCNG自然冷却风冷冷水(热泵)机组和2台型号ACDXHP330TR-QR风冷四管多功能机组。自然冷却风冷冷水机组每台有20台风机, 每台风机风量为24000m³/h, 制冷量为1192kW, 排风余压为50Pa, 热泵尺寸为10726*2300*2600mm。四管多功能机组每台热泵有18台风机, 每台风机风量为24000m³/h, 制冷量为1178kW, 排风余压为50Pa, 热泵尺寸为11510*2235*2400mm。自然冷却风冷冷水机组全年运行制冷, 四管制多功能风冷热泵机组在夏季及过渡季同时供冷供热。

这些机组运行时产生的噪声对周边声环境影响较大, 需要进行综合降噪处理。现状情况如下图, 可见1号机组与其南侧现状建筑距离仅为4米, 尤其是对其南侧5层的办公室和6-15的层病房声环境影响较大。

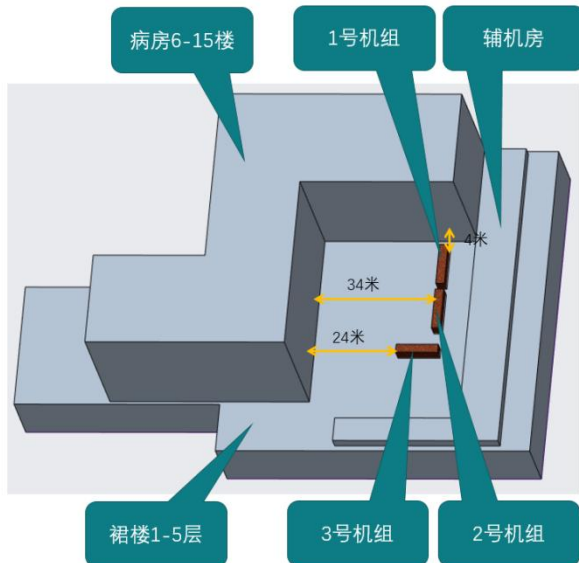


图1 热泵机组布置图

使用B&K2270声级计对设备运行时的噪声进行测量, 测量结果显示设备噪声值在82.1dB至87.0dB之间。5层办公室及6~15层病房内的噪声值在53.0dB至58.4dB之间, 室外噪声值在64.9dB至78.5dB之间。设备噪声频段主要集中在低频和中高频段(63Hz~1000Hz)。噪声测量数值及频谱图如下:

表1 热泵机组噪音测量 (dB(A))

序号	测点位置	LAeq
1	1#机组左侧进风口1米处	83.2
2	1#机组右侧进风口1米处	86.8
3	1#机组顶部排风口1米处	83.9

4	2#机组左侧进风口1米处	83.2
5	2#机组右侧进风口1米处	82.1
6	2#机组顶部排风口1米处	83.0
7	3#机组左侧进风口1米处	82.9
8	3#机组右侧进风口1米处	87.0
9	3#机组顶部排风口1米处	77.7
10	机组关闭, 5层楼顶中心	54.4

表2 室内噪音测量 (dB(A))

序号	测点位置	LAeq
1	5层办公室内距离窗户一米(门窗关闭)	53.0
2	5层办公室外距离窗户一米	78.5
3	6层病房内距离窗户一米(门窗关闭)	57.2
4	6层病房外距离窗户一米	73.0
5	8层病房内距离窗户一米(门窗关闭)	58.0
6	8层病房外距离窗户一米	68.9
7	12层病房内距离窗户一米(门窗关闭)	56.1
8	12层病房外距离窗户一米	64.9
9	15层病房内距离窗户一米(门窗关闭)	58.4
10	15层病房外距离窗户一米	66.1

由上可见5层的办公室和6-15层的病房噪声超标比较严重, 且热泵机组在夜间部分负荷时需开启一台制冷, 夜间影响最为严重。本项目治理目标值设为: 5层-15层距离风冷热泵机组最近的房间内夜间噪声值≤40dB(A)(门窗关闭时)。

考虑到设备离南侧建筑距离很近为4m, 压缩机包裹等措施降噪效果有限, 故采取设置隔声罩的降噪措施。采取的措施包括: 消声处理、吸声处理、隔声处理。

隔声罩的设计需充分考虑以下几点:

(1) 风冷热泵的通风散热要求, 即进、排风口消声器的面积要足够大, 同时进风排风消声装置的空气阻力要<50Pa, 满足热泵的风机余压要求; 但增大消声器的面积同时会带来屋面荷载及投资的增加。显然无限增加消声器的尺寸是不可取的, 进、排风口消声器需要选择一个合适的风速, 即满足通风散热的需求同时又使屋面的荷载及项目投资降到最低。本项目排风口消声器片间平均风速为6~8m/s, 进风口消声器片间平均风速为3~4 m/s。

(2) 隔声罩内热泵机组两侧要留有满足热泵检修的空间；本项目隔声罩内风冷热泵机组一侧预留2米宽的检修通道，同时在合适部位设置检修门。

(3) 屋面的荷载要满足热泵机组及隔声构件的荷载要求；本项目隔声罩的楼面荷载约为265Kg/m²（仅为隔声罩荷载，不含风冷热泵机组荷载）。

(4) 隔声构件的造型、颜色等要与建筑整体协调一致。本项目选择暖灰色，与周围建筑及环境协调一致。

(5) 隔声罩内考虑排水及照明措施。

(6) 隔声罩隔振及密封处理：隔声罩底部与屋顶面之间设置橡胶垫，避免损坏屋面。所有连接部位密封良好，防止噪声泄漏。

隔声罩初步设计方案如下：

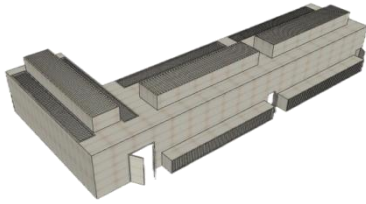


图2 隔声罩模型示意图

隔声罩上部为排风口，考虑到气流组织进风口优先设置在两侧较低处，两侧无空间的设置在排风罩上部，同时在上部排风口处设置导风筒，导风筒高度不小于2米。

由于对房间噪声影响最大的为1号机组，且夜间部分负荷时可开启1号机组满足供冷需求，同时考虑经济性，本项目优先治理1号机组。既满足本次噪音治理目标，又可根据此次噪音治理效果及通风散热效果，对后续两台风冷热泵机组噪音治理方案进行优化。

1号机组隔声罩尺寸为（含消声器尺寸）：长度：14.6米，宽度：9.4米，高度：6.7米。隔声罩上部风机正上方设置导风筒及排风消声器，两侧设置进风消声器。

隔声罩平均隔声量达到25dB以上，其中隔声板结构如下：
a. 阻尼多层复合隔声板， $RW \geq 31dB(A)$ ；
b. 外护板：镀锌钢板外层喷漆内含阻尼材料；
c. 吸声材料：玻璃棉采用平纹无碱憎水玻璃丝布包裹，玻璃棉容重：48kg/m³，NRC（隔声降噪系数） ≥ 0.85 ；
d. 内护板：穿孔钢板，内含龙骨结构。隔声罩实施方

案如下图：

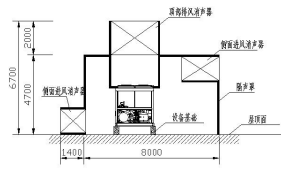


图3 隔声罩剖面图

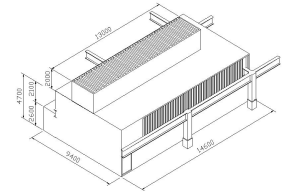


图4 隔声罩等轴测图

工程实施后，结果令人满意。以下几点均达到了预期效果：

1. 隔声效果：隔声罩的隔声量达到设计要求，不低于20dB。

2. 通风效果：通风口的通风量满足设备散热需求。

3. 结构稳定性：隔声罩的框架和外壳安装牢固，无松动现象。隔声罩在设备运行时无明显振动。

4. 外观检查：隔声罩的外观平整、美观，无明显瑕疵。涂层均匀，无剥落现象。从外观看与建筑也比较协调，效果如下图：



图5 隔声罩效果图（一）



图6 隔声罩效果图（二）

4 结论

随着双碳政策的加速实施，风冷热泵越来越频繁的进入到人们的视野，热泵机组的噪声治理问题也广泛得到关注，治理的手段和措施也随着声学材料的发展日新月异。但工程设计初期应优先通过合理选择热泵机组位置，选用低噪声型风冷热泵机组，以规避其噪音问题。

从噪声控制及治理的角度看，本工程实例具有一定的推广价值和意义。本工程通过采用全封闭式隔音罩，在进、排风口设置消声器的方式，将热泵的A声级噪声降低20dB左右。同时较好地解决了热泵机组通风散热进风排风问题、确保热泵正常运行。为在某些特殊场合的噪声治理工程设计提供了一个可以借鉴的成功实例，对设计隔声消声装置的进风排风系统可以有一个具体的计算依据。

参考文献：

- [1] 王庭佛. 热泵机组的噪声影响及治理[J]. 上海环境科学, 2001, 20(3), 146~148.
- [2] 项端祈. 空调系统消声与隔振设计[M]. 北京：机械工业出版社, 2005. 1, 136.