

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2024081

木结构建筑木蜂危害规律观察及 固态防治药剂的研发

张斌¹, 权小江², 侯菲菲², 张景朋¹

(1. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 宁海县文物保护管理所, 浙江宁波 315699)



摘要: 木蜂在木结构建筑上筑巢严重威胁木结构建筑的结构安全。本研究通过调查木蜂的生活习性, 确定其生活史的薄弱环节, 有针对性地研发杀灭木蜂的药剂。通过对木蜂巢穴解剖构造的观察发现, 黄胸木蜂、赤足木蜂等主要危害种类的木蜂都是以成虫在巢穴内越冬, 每年3月中旬开始出洞, 6~7月份羽化成成虫, 北方10月上中旬开始越冬。选择木蜂越冬期间进行集中灭杀, 通过对药剂和固化剂的不断筛选优化, 研发出具有熏蒸和触杀作用的固态药剂。测试结果显示, 浙江宁波地区古戏台建筑中木蜂的综合防治效果可达97%以上, 北京地区试验蜂巢中的综合防治效果在84%以上, 杀灭木蜂的效果良好。该固态药剂施药简单, 不污染环境, 同时还具有驱避木蜂的效果, 减少蛀蚀木结构的害虫数量。

关键词: 木结构建筑; 木蜂; 危害规律与防治; 固态药剂

中图分类号: TU366; S893.73

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2025) 02-0076-06

Observation of Damages Caused by Carpenter Bees in Wood Structure Buildings and the Development of Solid State Control Agents

ZHANG Bin¹, QUAN Xiaojiang², HOU Feifei², ZHANG Jingpeng¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Ninghai County Cultural Relics Protection and Management Institute, Ningbo 315699, Zhejiang, China)

Abstract: The nesting of carpenter bees in wood structures poses a serious threat to the structural safety of timber buildings. The study intended to investigate the living habits of carpenter bees, identify the weak links, and develop a target pesticide to kill them. Through observation of the anatomical structure of the carpenter bee nest, the main harmful species of carpenter bees were identified, including the *Xylocopa appendiculata* and the *Xylocopa rufipes*, which are overwinter as adults in the nest. Carpenter bees emerge in mid-March, the eclosion occurs in June-July. In the northern regions overwintering stars in mid-October. Concentrated disinfection and sterilization were carried out during the overwintering period of carpenter bees. Through continuous screening of formulations, a solid-state pesticide with fumigation and contact actions was developed. The test results show that the comprehensive control effect of carpenter bees in ancient theater buildings in Ningbo, Zhejiang reached 97%, and the comprehensive control effect in experimental beehives in Beijing was over 84%. The killing effect of carpenter bees was

收稿日期: 2024-08-06; 修改日期: 2024-11-11

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“木结构木蜂危害规律及防治技术研究”(CAFYBB2022ZC004-3)。

作者简介: 张斌 (1987—) 男, 助理研究员。Email: mgszb@caf.ac.cn

通讯作者: 张景朋, 男, 助理研究员。Email: zhangjp@caf.ac.cn

good. This solid pesticide was easy to apply, did not pollute the environment, and has a positive effect on repelling carpenter bees, reducing the number of pests that erode structures.

Key words: wood structure buildings; carpenter bee; occurrence and management; solid-state pesticide

我国的古建筑多数以木结构为主, 木材作为天然材料极易遭受腐朽和虫蛀, 从而威胁古建筑的结构安全^[1-3]。危害木结构建筑的常见害虫有白蚁、蠹虫、天牛和木蜂等, 其中针对木蜂防治的研究较少^[4]。木蜂多喜欢在干燥、安静的环境中筑巢生活, 古建筑刚好满足其生活习性需要。因此, 部分地区古建筑的梁、檩条、椽、柱等位置是木蜂危害的重灾区, 甚至一个椽子的头部就有十几个木蜂巢穴, 严重威胁建筑的结构安全(图1)。常见的对木结构产生危害的木蜂主要有赤足木蜂(*Xylocopa rufipes*)、黄胸木蜂(*Xylocopa appendiculata*)、朱胸木蜂(*Xylocopa ruficeps*)、灰胸木蜂(*Xylocopa phalothorax*)和中华木蜂(*Xylocopa sinensis*)等, 其中又以赤足木蜂和黄胸木蜂的危害最为广泛^[5]。



图1 木蜂危害的木结构建筑(浙江省宁波市宁海县深甌镇永丰庙戏台)

Fig.1 Wood structures damaged by carpenter bees (Yongfeng temple stage, Shenzhen, Ninghai, Ningbo, Zhejiang Province)

大多数种类木蜂筑巢时是使用强有力的上颚啃咬木材, 经过不断的啃噬, 形成直径8~10 mm的孔洞, 并不断向内发展形成巢穴。以赤足木蜂为例, 其会在巢口向内挖掘一段主蛀道, 然后建巢室, 有母坑道和子坑道2种类型。子坑道数目2~10条, 蛀道长22.97~144.48 mm, 每条子坑道有1~8个巢室, 巢室长度10.66~21.98 mm, 巢室直径9.79~14.4 mm, 产卵后巢室之间有木屑整齐排列间

隔^[6]。采用计算机断层扫描技术扫描黄胸木蜂巢穴, 估算发现黄胸木蜂巢穴体积平均值介于1 200~2 000 cm³之间, 这对木构件的危害非常严重^[7]。马星霞等^[7]根据古建筑木构件上木蜂虫孔数量将木蜂危害程度划分为4个等级, 即木构件上木蜂孔洞数仅且只有1个, 定义为“1”级危害; 木构件上木蜂孔洞数有2~3个, 定义为“2”级危害; 木构件上木蜂孔洞数有4~5个, 定义为“3”级危害; 木构件上木蜂孔洞数有6个以上, 定义为“4”级危害。

我国针对木结构中木蜂防治的研究工作较少。部分研究人员在防治木结构中白蚁的同时, 顺便喷洒杀白蚁药剂来防治木蜂, 但防治效果不理想; 有的向木结构周边的花朵喷洒药剂, 在木蜂采蜜时将其杀灭, 这危害了其他生物的安全, 不建议使用; 有学者尝试使用驱避性挥发物或者信息素处理木结构建筑, 达到驱赶木蜂的目的, 此方法理论上既可以保护木蜂, 又可以保护古建筑木构件, 但此类挥发性物质的持效期较短, 且在户外环境下难以达到驱避的浓度, 实地测试驱避效果不明显, 因此有待进一步发掘高效的防治办法。

笔者拟通过观察木蜂的生活习性, 从其生活中的薄弱环节入手, 选择具有熏蒸和胃毒作用的固体防治药剂, 定点高效杀灭木构件中的木蜂, 降低木结构建筑中木蜂种群的数量, 减少因大范围喷洒药剂带来的负面影响, 旨在保护木结构建筑和维护木蜂种群安全提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杀虫剂: 有机磷杀虫剂马拉硫磷, 质量分数为95%; 敌敌畏, 质量分数为95% (山东科源化工有限公司); 甲基嘧啶磷 (一帆生物科技集团有限公司); 拟除虫菊酯类杀虫剂选用溴氰菊酯, 质量分数为98%; 氯氰菊酯, 质量分数为95%; 高效氯氟氰菊酯 (江苏扬农化工集团有限公司)。

固化剂: 58# 石蜡、微晶蜡、聚乙二醇

(20 000)、羧甲基纤维素、硬脂酸(钠),阿拉丁生化科技股份有限公司。

有机溶剂:分析纯丙三醇、丙二醇、*N,N*-二甲基甲酰胺(*N,N*-Dimethylformamide, DMF)、150#溶剂油、正丁醇、油酸甲酯、异丙醇和乙醇,阿拉丁生化科技股份有限公司。

测试木蜂:黄胸木蜂,中国林业科学研究院木材工业研究所(简称中国林科院木材所)实验中心气干棚内;赤足木蜂,浙江省宁波市宁海县深甽镇永丰庙戏台。

1.2 试验方法

1.2.1 木蜂生活习性观察 观察北京地区黄胸木蜂的生活习性,为后期施加药剂寻找最佳时机。

2020年1月初,搜集中国林科院木材所实验中心气干棚内带有木蜂巢穴的木板,将其集中堆放搭建成木蜂巢穴,堆叠时不封堵蜂巢口,以便更好地集中观察。木板以轻木(*Ochroma pyromidale*)为主,掺杂少量松木(*Pinus* spp.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等。观察发现木蜂喜欢选择质地松软、易于啃食的材质筑巢。

解剖黄胸木蜂巢穴,并用内窥镜辅助观察黄胸木蜂的生长阶段,从而寻找黄胸木蜂生活史中便于防治的薄弱环节。每月不定期观察,观察周期为1年,得出北京地区黄胸木蜂的生活习性。

1.2.2 固态防治药剂的制备 多数木蜂巢穴的孔洞开口朝下,以往使用液态药剂处理时,药液滴落、流失,既污染环境,又存在安全问题,防治效果不甚理想。因此,设计开发了固态防治药剂。另外,木蜂常年居住在蜂巢中,为全年度随时防治木蜂,特研发配制适用于不同季节的固态防治药剂。

适用于秋冬季的固态药剂:称取马拉硫磷原药5.26 g,溴氰菊酯原药2.04 g,置于500 mL烧杯中,分别称取并加入适量150#溶剂油、正丁醇、丙三醇等溶剂,电磁搅拌至原药完全溶解后,继续加入适量的58#石蜡、聚乙二醇、硬脂酸(钠),升温到65℃,搅拌均匀,倒入模具冷却备用。

适用于春夏季的固态药剂:称取适量油酸甲酯、丙二醇、异丙醇等溶剂,置于500 mL圆底烧瓶中,继续加入适量微晶蜡和58#石蜡、聚乙二

醇、硬脂酸(钠),升温到溶剂回流,搅拌均匀,然后,称取敌敌畏原药0.53 g,氯氰菊酯原药0.53 g,电磁搅拌至原药完全溶解,倒入模具冷却备用。

1.2.3 固态防治药剂防治效果计算 为显示木蜂危害程度和药剂对木蜂危害的防治效果,自定义木蜂危害率(H)和综合防治效果(E)的计算方法。

$$H = (1 \text{ 级构件数} \times 1 + 2 \text{ 级构件数} \times 2 + 3 \text{ 级构件数} \times 3 + 4 \text{ 级构件数} \times 4) / \text{勘查构件总数} \times 100\%$$

通过计算木蜂危害率,可了解某建筑木蜂的危害程度,公式中用木构件的危害等级乘以其数量,充分反映了不同木蜂危害等级的权重。该数值越大,说明木蜂危害程度越严重。

$$E = [1 - \text{新增危害木构件数} / (\text{初始危害数} + \text{新增危害数})] \times 100\%$$

综合防治效果的数值越大,说明药剂防治木蜂的效果越好。

1.2.4 固态防治药剂防治效果测试 2021年底,中国林科院木材所实验中心气干棚搜集得到带有木蜂巢穴的木板,摆放到搭建的两个支架上用于测试,一组作为实验组,另一组作为对照组。

常见害虫防治的最佳时期一般为幼虫期,此时虫体的体壁较薄,抵抗力差,易于杀灭。因此,首先选择木蜂的卵期、幼虫期进行防治。

2022年4月底,中国林科院木材所实验中心气干棚内测试适用于春夏季的固态药剂在木蜂卵期及幼虫期的防治活性。傍晚时分,待木蜂已归巢,用固态防治药剂封堵木蜂孔洞,每孔用量2~3 g,以完全封堵为准。待7天后刨开蜂巢观察木蜂的存活状态,共处理6个木蜂巢穴。

另外,考虑木蜂成虫越冬时期不外出,有利于集中杀灭。2023年初,为扩大药剂的使用地区,分别在北京和浙江宁波对木蜂成虫进行防治测试。

首先,对浙江省宁波市宁海县深甽镇永丰庙戏台的木蜂危害程度进行调查,统计每一个木构件上木蜂蛀蚀的孔洞数目,对木构件的木蜂危害进行分级,计算木蜂危害率。然后通过人工注射的方式用打胶枪将适用于秋冬季的固态药剂打到所有能观测到的木蜂孔洞中,每个孔洞完全被药

剂封堵，由于木蜂处于冬眠状态，注射时间选在白天。图2为药剂施药过程及效果。2023年9月中旬调查永丰庙戏台的防治效果，统计固态药剂是否被木蜂破坏，以及木蜂新蛀蚀孔洞的数量。



图2 固态防治药剂施药过程及效果
Fig.2 Application process and result of solid-state pesticide

北京地区中国林科院木材所实验中心气干棚内，采用相同的方式将固态药剂注入到实验组木板上木蜂的巢穴内。试验前标记两组木板上所有的木蜂孔洞，待秋天通过统计新增的木蜂孔洞数来反映药剂的综合防治效果。

2 结果与讨论

2.1 北京地区黄胸木蜂的生活习性

北京地区黄胸木蜂每年发生1代，以成虫在巢穴内越冬，多是亲代与子代群居越冬，翌年3月中下旬结束越冬，开始外出觅食并交配产卵，多数会继续使用老巢穴，同巢群体数量过多时会在周边继续打洞筑巢。4月上中旬开始产卵，6月中旬到7月上旬为羽化高峰，同期蜂巢周围出现大量新蛀蚀木屑，此为木蜂加深巢穴或挖掘新巢所致。9月下旬，黄胸木蜂外出减少，10月上旬以后未见黄胸木蜂外出，已进入巢穴准备越冬，此时黄胸木蜂活动能力降低，但有外来刺激仍可以出巢飞行。12月中下旬，解剖木蜂巢穴观察其活力，发现此时木蜂活力极低，处于深度越冬状态，直到次年3月中下旬天气回暖结束冬眠。

2.2 卵期、幼虫期木蜂防治

繁殖期的木蜂每个巢穴内一般只有1只成虫，测试固态药剂所选的6个巢穴中，只有1巢存在2

只木蜂成虫，对6个巢穴进行锯截，观察发现成虫均已死亡，最靠近洞口的幼虫虫龄较大者亦死亡，而处于卵期的则未被杀灭。空白对照组的木蜂巢穴未进行破坏性观察，只通过观察是否有木蜂飞进飞出反映其是否正常存活，未见任何异常。

通过锯截实验组木蜂巢穴，观察统计固态药剂对木蜂成虫、幼虫和卵的消杀效果，具体见表1。

表1 固态防治药剂对木蜂卵期、幼虫期的防治结果
Tab.1 Effects of solid-state pesticides on carpenter bee eggs and larvae

编号	成虫数/只	成虫死亡数/只	成虫防效/%	卵、幼虫数/只	卵、幼虫死亡数/只	卵、幼虫防效/%
1	1	1	100	2	1	50
2	1	1	100	1	1	100
3	1	1	100	1	1	100
4	2	2	100	4	0	0
5	1	1	100	1	0	0
6	1	1	100	2	1	50

由表1可知，6个蜂巢的成虫死亡率均为100%，说明固态防治药剂可快速杀灭蜂巢内的成虫；而固态药剂对木蜂卵、孵化期幼虫的防效差异较大，有的防效为100%，有的防效为0%。分析原因是固态药剂的作用机理是熏蒸和触杀，木蜂成虫多位于巢穴外侧，可以自由活动，当施药后，成虫首先受到杀虫剂蒸气的毒害，此时，木蜂不管是试图冲出巢穴，还是在巢穴深处躲避，都会直接暴露于杀虫剂蒸气下或直接接触到药剂而中毒死亡，因此，该药剂对木蜂成虫的防效极佳。

木蜂卵和幼虫会受到巢穴间的隔板保护（图3），不直接暴露于杀虫剂蒸气下，木蜂巢穴隔板外沿厚，中间薄，且湿度较大，能够很好的阻隔空气流通，因此，短时间内杀虫剂蒸气很难穿过多层隔板对深处的幼虫起到杀灭作用；其次，还与最外侧木蜂幼虫的虫龄有关，若虫龄较大，其呼吸作用较强，则易于杀灭；如果是处于卵期，则较难杀灭。虽然，药剂对木蜂成虫的防治效果极佳，但不能对卵和幼虫进行有效防治，因此，就本研究配制的固态防治药剂而言，卵期和幼虫期不是最佳防治时期。考虑该固态药剂对成虫的杀灭效果较好，木蜂又以成虫越冬，尝试在其越冬时进行防治。



图3 黄胸木蜂巢穴内部构造
Fig.3 Internal structure of the *Xylocopa appendiculata* honeycomb

2.3 越冬时期木蜂防治

浙江省宁波市宁海县共勘查构件 1 151 个，具体调查结果详见表 2。

表2 永丰庙戏台木蜂危害程度调查结果
Tab.2 Carpenter bee damage level in the Yongfeng temple

木蜂危害等级	构件数量/件	危害比例/%
0	873	—
1	247	21.5
2	8	0.7
3	5	0.4
4	18	1.6

调查永丰庙戏台木蜂的防治效果，通过勘查统计木蜂新筑巢数量，评价药剂防治效果，具体结果见表 3。

表3 永丰庙戏台木蜂的防治效果
Tab.3 Control results of carpenter bee in the Yongfeng temple

木构件数	初始危害构件数	木蜂危害率/%	新增危害构件数	综合防效/%
1 151	278	30.4	7	97.5

由表 3 可知，药剂处理后经过木蜂半年的生长周期，勘查发现永丰庙戏台共新增 7 个 1 级木蜂危害构件，绝大多数被药剂封堵的木蜂巢穴药剂保持完好，可知其内部木蜂均已被杀灭（或原为空巢），部分巢穴出口处有木蜂尝试冲出药剂的封堵，最终在巢穴口处中毒死亡。整体评价使用固态防治药剂处理的戏台杀灭了绝大多数的木蜂成

虫，并且可以驱赶外来使用旧巢的木蜂，防治木蜂效果优良，综合防效高达 97.5%。

北京地区中国林科院木工所实验中心，调查统计两组蜂巢木蜂新筑巢情况，具体见表 4。

表4 北京地区木蜂防治效果
Tab.4 Control results of carpenter bees in Beijing area

处理	木构件数	初始孔数	新增孔数	综合防效/%
空白组	10	134	102	—
处理组	10	147	27	84.5

表 4 显示，药剂处理后经过木蜂半年生长周期，处理组新增蛀蚀孔洞数为 27，综合防效为 84.5%。绝大多数被药剂封堵的木蜂巢穴药剂保持完好；空白组新增蛀蚀孔洞数高达 102，明显高于处理组。

图 4 为北京地区固态防治药剂处理前后的对比图，发现空白组密布各类大大小小的蛀孔，而处理组则比较少，空白组较小的蛀孔经解剖得知为切叶蜂（*Megachile*）所蛀，大而圆的蛀孔为木蜂所蛀。可见该固态防治药剂不单有杀灭木蜂的作用，还有很强的驱避木蜂和切叶蜂的功能。



图4 北京地区固态防治药剂处理效果对比
Fig.4 Comparison of treatments of solid-state pesticide on managing carpenter bee damages in Beijing area

2.4 固体药剂防治效果评价

根据表3和4可以看出, 固体药剂对木蜂成虫的杀灭活性很高, 所处理的蜂巢中只有1~2只木蜂, 药剂的防效可达到100%。固态防治药剂既有熏蒸作用, 又有触杀胃毒作用。木蜂巢穴内只有1~2只木蜂时, 即使将封堵的药剂推出巢穴外, 也会因为接触药剂而中毒; 如果巢穴内木蜂数量很多, 后续的木蜂则有机会避免与药剂直接接触而逃生。因此, 综合考虑, 建议在木蜂冬眠时期对其进行处理, 使其在冬眠过程中被熏蒸杀灭, 并且建议进行连续几年的防治巩固防效。若对于十几只木蜂成虫在同一个巢穴内越冬的情况, 防治药剂能否杀灭全部木蜂, 还有待进一步验证。

本研究开发的固态防治药剂为蜡黄色, 便于远距离肉眼观察和统计, 将药剂调制成蓝色, 后期可根据建筑物的颜色进行调整。在室温条件下, 固态药剂为膏状(蜡状), 具有挤压流动性, 可塑性强, 固体含量高, 不会因为木材对药剂溶剂的吸收而明显收缩; 另外, 还可以根据需要将固态药剂制作成圆柱形胶条状, 采用打胶枪挤压注射的方式施药, 简便易操作, 治理结束后可通过简单工具(钩子等)恢复古建筑原貌, 对古建筑的影响可控。

木蜂虽然对木质古建筑存在危害, 但作为传粉昆虫, 具有很高的生态价值, 在治理古建筑木构件木蜂危害时应充分考虑这一点, 即要有效防治木质文物建筑免受木蜂危害, 又不忽略木蜂传粉的生态价值。可以考虑根据需要在古建筑以外的地方为木蜂搭建蜂巢, 供其繁衍生息。

3 结论

1) 北京地区黄胸木蜂以成虫形态在巢穴内越冬, 每年3月中下旬结束冬眠, 6月中旬到7月上旬为羽化高峰, 9月下旬至10月中旬以后减少外出, 进入巢穴开始越冬。

2) 开发的防治固态药剂在浙江宁海地区和北京地区单次综合防治效果分别为97%和84%, 效果良好, 很大程度上避免了木蜂对古建筑木结构的危害; 另外, 该药剂对木蜂还有较好的驱避作用。

3) 开发的固态药剂避免了因液态药剂流失导致的环境污染等问题, 且施药简便易操作, 在治理结束后容易将古建筑恢复原貌, 对古建筑的影响可控。

参考文献:

- [1] 张景朋, 蒋明亮, 马星霞, 等. 甲氧基丙烯酸酯类制剂的木材防腐性能研究[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(3): 131-137.
ZHANG J P, JIANG M L, MA X X, et al. Wood decay performance of strobilurins preservatives[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(3): 131-137.
- [2] 张斌, 马星霞, 张景朋, 等. 含石蜡水基型有机木材保护复合制剂的性能研究[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(2): 423-429.
ZHANG B, MA X X, ZHANG J P, et al. Preparation and properties of containing paraffin water based organic wood protective agent[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2022, 39(2): 423-429.
- [3] 刘波, 付跃进, 马星霞, 等. 木材生物病害严重区域古建筑木构件树种选择及与生物病害的关系[J]. 林业科学, 2021, 57(12): 108-121.
LIU B, FU Y J, MA X X, et al. Relationship between wood species selection and biological diseases of ancient building wooden components in severe wood biological diseases area[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2021, 57(12): 108-121.
- [4] 马星霞, 乔云飞, 黎冬青, 等. 古建筑木构件生物危害预防性保护体系框架构建[J]. 木材科学与技术, 2023, 37(1): 83-90.
MA X X, QIAO Y F, LI D Q, et al. Biological hazard prevention and protection system for wood components in ancient buildings[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2023, 37(1): 83-90.
- [5] 马星霞, 王麟, 朱海燕, 等. 全国木结构古建筑木蜂危害风险区域划分[J]. 林业科学, 2021, 57(4): 116-123.
MA X X, WANG L, ZHU H Y, et al. Risk zones of carpenter bees for wooden structure of ancient buildings in China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2021, 57(4): 116-123.
- [6] 贺春玲, 朱朝东, 吴燕如. 赤足木蜂的形态和筑巢行为[J]. 昆虫学报, 2017, 60(9): 1074-1082.
HE C L, ZHU C D, WU Y R. Morphology and nesting behavior of *Xylocopa rufipes* (Hymenoptera: Apidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2017, 60(9): 1074-1082.
- [7] 马星霞, 王麟, 乔云飞, 等. 基于木蜂筑巢习性的古建筑木构件木蜂危害等级划分[J]. 林业科学, 2022, 58(3): 167-174.
MA X X, WANG L, QIAO Y F, et al. Evaluation of damage grades for wooden components of ancient buildings based on nesting habits of carpenter bee[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2022, 58(3): 167-174.

(本文编校 孟凡丹)

(上接第66页)

- [17] SHI W, CABALLERO J, HUSZÁR F, et al. Real-time single image and video super-resolution using an efficient sub-pixel convolutional neural network[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016: 1874-1883.
- [18] OUYANG D L, HE S, ZHANG G Z, et al. Efficient multi-scale

attention module with cross-spatial learning[C]//ICASSP 2023 -2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Rhodes Island, Greece. IEEE, 2023: 1-5.

(本文编校 向 琴)