

文章编号:1006-1355(2019)03-0133-06+198

考虑声强测试网格的汽车雨刮器驱动系统 噪声定位精度研究

郭帅平¹, 廖子豪², 黄源², 宾光富^{1,2}

(1. 湖南科技大学 机械设备健康维护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 机电工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:针对某型汽车雨刮器驱动系统噪声源定位问题,研究不同尺寸的测试网格对噪声源定位精度的影响。首先根据驱动电机实际尺寸与各组成构件,选定有效测量面积,以测量点尽量靠近各噪声源位置为基本原则,结合实际中传声器测试条件,在测量面上分别设置尺寸为4.5 cm、3 cm和1.5 cm的3种测试网格来进行主噪声源定位研究,以及基于尺寸为1 cm的测试网格进行整体声强分布精度的研究;利用B&K声强测试设备及其系统,采用离散点测量法进行声强测试,得到声强云图,进行噪声源定位分析。结果表明:测试中采用尺寸为4.5 cm的网格声源定位精度最低,尺寸为1.5 cm的网格声源定位精度高,但测量周期长,操作繁琐,而采用尺寸为3 cm的网格能快速精准地实现主噪声源定位,综合效果最佳;基于尺寸为1.0 cm的测试网格,结合悬针辅助定位方法,得到准确的汽车雨刮器驱动系统整体声强分布。

关键词:声学;声强测试;声源定位;网格尺寸

中图分类号:TB95

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2019.03.026

Study on Noise Positioning Accuracy for Automotive Wiper Drive Systems considering Sound Intensity Test Grids

GUO Shuaiping¹, LIAO Zihao², HUANG Yuan², BIN Guangfu^{1,2}

(1. Key Lab of Health Maintenance for Mechanical Equipment of Hunan Province, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 41120, Hunan China)

Abstract: In order to solve the problem of noise control for a certain type of vehicle wiper drive systems, the influence of test grids of different sizes on the localization accuracy of noise sources is studied. First of all, the effective measurement area is selected according to the actual sizes of the drive motors and the combined components. Based on the basic principle that the measurement point should be as close as possible to the noise source position, and according to the actual microphone test conditions, three kinds of square test grids, 4.5 cm, 3 cm and 1.5 cm, are set up in the measurement area for the main noise source positioning. Furthermore, for studying the accuracy of the overall sound intensity distribution, the square test grid with size of 1cm is used in the measurement area. Using B&K sound test equipment and its system and discrete point measurement method, the sound intensity at each grid node is tested, the sound intensity cloud diagram and the sound intensity three-dimensional diagram are obtained and the noise source is located. The results show that the square grid of 4.5 cm has the lowest positioning accuracy, and the grid of 1.5 cm has high accuracy, but the measurement period is long and the operation is cumbersome. The grid of 3cm can realize the source positioning quickly and accurately, and its comprehensive effect is the best. Based on the test grid with a size of 1.0 cm and combined with the dangling needle assisted positioning method, the overall sound intensity distribution of the vehicle wiper drive system can be obtained accurately.

Keywords: acoustics; sound intensity test; source localization; grid size

收稿日期:2018-08-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51575176、51875196)

作者简介:郭帅平(1987-),男,长沙市人,博士,硕士生导师,主要研究方向为机械动力学与故障诊断、振动噪声控制。

E-mail: guoshuaiping@163.com

由于汽车后雨刮器驱动系统设置在车内,难以进行消声处理,工作时产生的噪声直接影响乘车的舒适度。控制噪声主要从三个方面入手:控制噪声源、切断噪声传播途径以及隔绝噪声^[1];其中,控制噪声源是最有效的方法,如何快速准确找到主噪声源

的位置是噪声控制的关键。传统的声强级定位测试方法有两种:扫描法和离散法。扫描法在测量时需保持一定的进给速度,沿着被测件上布置的扫描轨迹进行连续扫描,通过所测得的声音信号绘制出被测件的声强分布图。离散法是在被测件上布置测点,将每个测点所测得的声音信号绘制成声强分布图。对于小、微型设备,由于其尺寸小、布置的测点少,尤其是在没有配套绘图模块而无法使用扫描法时,离散法测量更能精确定位噪声源位置;对于小、微型设备中包含多个零、部件,存在多个声源的问题,在测量过程中保证测点定位准确是得到较高精度声强分布图的关键。

许多学者^[2-4]针对不同环境下的驱动系统进行了大量的研究。胡伊贤等^[5]总结噪声源识别的各种方法,得出传统声压噪声识别方法虽然简单,但信息分析不全面。李晶等^[6]研究了近场碰摩声音特性并提出一种定位方法。程志伟等^[7]对声压法和声强法进行对比试验,并在汽车车身上进行实际验证。舒歌群等^[8]用声强测量法内燃机噪声进行测量,并证明声强测量适用于近场测量。颜猛等^[9]研究了声强探头到测量表面距离对测量值的影响。宋艳华等^[10]对声场求展开系数,证明测量点位置分布不均时识别效果最好。金岩等^[11]利用声强云图对汽油机进行噪声识别。程发斌等^[12]基于FFT分析仪对电动机进行声强测量。杨远等^[13]对电动汽车动力装置进行声源定位并进行噪声控制。韩军等^[14]用声强云图对柴油机进行噪声识别。戴冠帮等^[15]针对如火箭之类的大型结构提出一种新的配置测点的方法。以上研究多针对大型测件,且网格尺寸的设置都是按照操作者个人经验进行,对于有多个零、部件组成的小、微型测件,以及测量时对划分网格尺寸的定量研究涉及较少。

本文基于声强测量法、国家标准 GB/T16404-1996《声学声强法测定噪声源的声功率级第1部分:离散点上的测量》,针对某型汽车雨刮器驱动系统,采用不同尺寸的测试网格进行声强测量,得到驱动系统表面声辐射的声强云图。通过对比不同网格尺寸所测的声强云图,研究噪声声源位置定位精度和网格尺寸之间的关系,用最少测量点来实现较高精度声源定位。同时,针对密集网格下网格尺寸远小于传声器探头,测点定位精度低直接影响声强分布图精度的问题,提供一种可以精确定位测点的辅助测量方法,并通过实验验证了此方法的有效性。

1 声强测量法

声强是描述声能流动大小和方向的声学量^[16]是

单位时间内通过垂直于单位面积声波传播方向的声能。空间上某点A在*r*方向的声强可表示为

$$I_r(t) = P(t)U_r(t) \quad (1)$$

式中: $I_r(t)$ 为点A在*r*方向的声强; $P(t)$ 为A点的瞬时声压; $U_r(t)$ 为A点*r*方向上的空气质点瞬时振动速度; t 为时间。

设在沿*r*方向且在A点附近相距为*d*的两点A₁、A₂的声压分别记为*P_A*、*P_B*,对于无粘性理想液体,A点的欧拉方程为

$$\frac{\partial U_r}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial d} \quad (2)$$

式中: ρ 为空气的密度; d 为2传声器之间的距离。用A₁、A₂ 2点声压差分近似式(2)中A点声压梯度,即

$$U_r = -\frac{1}{\rho d} \int (P_A - P_B) dt \quad (3)$$

A点的声压也可用A₁、A₂ 2点的声压平均值来近似,即

$$P = \frac{P_A + P_B}{2} \quad (4)$$

根据式(4)得出的质点速度和式(4)的平均声压,代入(1)中可以求出空间中A点的声强

$$I_r = \int_0^{\infty} \frac{I_m(G_{1,2})}{2\pi f \rho d} df \quad (5)$$

式中: $G_{1,2}$ 是*P_A*和*P_B*的互谱(双边谱); I_m 表示虚部。这样,用2个相距为*d*的传声器,测得A₁和A₂两点的声压*P_A*和*P_B*,通过求它们的互谱,即可求得声强。

测量网格尺寸大小会影响测点的数量与分布,网格尺寸过大则测点较少,影响定位精度;网格尺寸过小,虽能提高测量精度,但会使得测点数量呈几何级增长,测量周期变长,并且测点间距过小,相互影响系数增加,可能造成主噪声源辐射区域向着其他无噪声或噪声强度低的方向辐射,使得测量精度和测量成本之间不相称。

2 主噪声源的定位试验

2.1 测试系统介绍

试验对象为某型汽车后雨刮器驱动系统,包括驱动直流电机、蜗轮和蜗轴3种零部件,其结构示意图如图1所示,试验地点处于较为安静的地下室,备有一张大于该型汽车后雨刮器驱动系统尺寸的海绵垫,模拟实际装配时的支撑;声强测试系统采用3599型手持式声强探头仪器箱,传声器为1/2英寸4197型声强传声器组,软件为PULSE噪声、振动多分析仪系统中的Labshop声强测试模块,其声强测器结构为(P-P)型,采用5269型间隔器(长度为12 mm)可以测量频率在250 Hz~5 kHz之间的声强,用CPB进行数据采集分析,对1/3倍频中心频率进行测量。测量前已对传声器进行标定,为了更好地反映平均噪

声水平,每个测点的测量时间为10 s。

2.2 测试方案

由于所使用的测量系统中无扫描法所需绘图模块,且所测电机为微型电机,故本次试验选用离散点测试法进行声强的测试。

根据该电机结构,电机有两处啮合,直流电机与蜗轮啮合以及蜗轮与输出蜗杆啮合。由驱动系统的整体结构推测,噪声源可能出现位置为2处啮合位置以及电机位置。根据试验所用雨刮器驱动系统的实际尺寸,选取有效测量平面为19.5 cm×13.5 cm。依照测量点尽可能接近噪声源的原则,结合研究网格尺寸和噪声源定位精度之间关系的目的是,将网格尺寸按照等差数列进行设置,分别为4.5 cm、3 cm和1.5 cm。

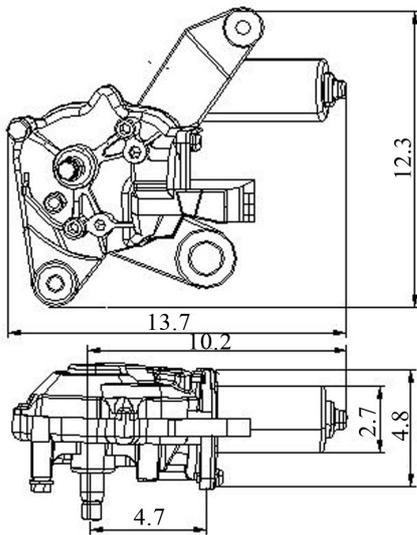


图1 某型汽车雨刮器驱动系统结构示意图

如图2所示,由于输出端蜗杆伸出过多,将蜗杆朝上进行摆放,且根据驱动系统的整体结构,测量面中测点的测量顺序定为从右到左,从下到上,该方法有利于测得的声强云图清楚完整地显示噪声源位置。设坐标轴,横向为X轴,方向朝右,竖向为Y轴,方向朝上,原点位置为右下角。

本次测量起始网格尺寸为4.5 cm,将测量面划为15格网格,共24个测点,右侧偏离噪声位置较远,即最右侧区域所测声强受驱动系统噪声影响较小,受背景噪声影响较大,故而将右侧3格划为1.5 cm×4.5 cm,其余网格为4.5 cm×4.5 cm。

在原测量平面上,选取网格尺寸为3 cm,将所测面划分为35格网格,共48个测点,下侧和右侧偏离噪声源可能出现位置较远,故而下方的6个网格尺寸为3 cm×1.5 cm,右侧4个网格尺寸为1.5 cm×3 cm,右下角1个网格尺寸为1.5 cm×1.5 cm,中间的24个单元网格尺寸为3 cm×3 cm。

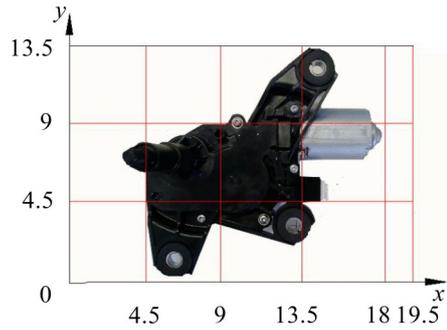


图2 15格驱动系统网格划分示意图

在35格网格基础上将其进一步细化。选取网格尺寸为1.5 cm,将所测面划分为117格网格,共140个测点,每个网格尺寸均为1.5 cm×1.5 cm。

2.3 测试结果与分析

图3为15格24测点网格所测声强云图。由声强云图可知,在坐标点(13.5、9)上的声强为最大值45.3 dB,对应的是电机处,但不是电机中心,而是接近电机齿轮和涡轮啮合处,电机中心的声辐射面等级和电机齿轮与涡轮啮合处的等级有差异,故排除电机是主噪声源的可能性。

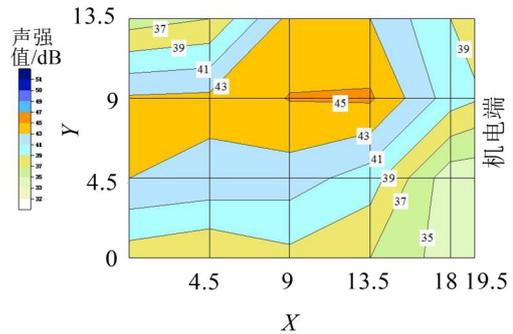


图3 15格网格声强分布图

坐标点(9、9)和坐标点(13.5、9)属于同一声强级,两点连线穿过的电机齿轮和涡轮啮合区域为主噪声源可能出现位置。由于4.5 cm网格过大,得到的声强分布图没有准确地指示出主噪声源,可能导致重要的噪声信息被遗漏,故对于该型汽车雨刮器驱动系统,需进一步的加密网格进行测试。

图4显示了尺寸为3 cm的网格所测声强云图。由声强云图可看出,在坐标点(12、12)上的声强为最大值47 dB,此位置为电机输出齿轮和蜗轮啮合区域。44 dB~44 dB声强区域呈较明显的不对称分布,说明在左侧偏下区域可能存在较强噪声源,但其声强等级没有电机输出齿轮和蜗轮啮合处高,根据汽车雨刮器驱动系统的结构可知,左侧偏下区域为蜗轮和蜗杆啮合处,说明在蜗轮和蜗杆啮合时也产生了较大的噪声;而驱动电机部分,除了在和涡轮啮合处的声强高之外,其余地方呈梯度减少,和外围区

域处于同一梯度,说明电机的电磁噪声是非主要噪声源。基于尺寸为3 cm的网格基本可以确定雨刮器驱动系统的主噪声源在电机输出齿轮和蜗轮啮合处。

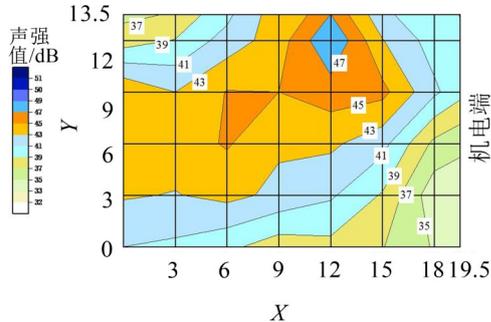


图4 35格声强分布图

图5显示了在尺寸为1.5 cm的网格上的声强云图,共117格140测点。由图可知,在坐标点(12、10.5)点上的声强最大为49.2 dB,此位置为电机输出齿轮和蜗轮啮合区域,与尺寸为3 cm网格上测得位置是一致的,说明加密网格后主噪声源位置已经收敛。所以当网格尺寸为3 cm时已经准确的显示出主噪声源位置。

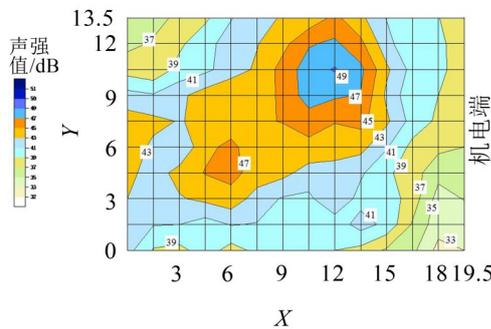


图5 117格格声强分布图

通过尺寸分别为4.5 cm、3 cm和1.5 cm的3种网格进行声强测试可知,随着网格的细化,噪声源定位精确将提高,整个声强分布图显示的噪声梯度也会愈加明确;但细化后网格过多,将给测量者带来更多的测量工作,且对于一些不适合长时间运行的设备,如长时间持续运行造成设备温度过高,磨损加剧,反而会影响到最终的测量结果,不利于噪声测量定位精度的提升。综合考虑测量效果和测量工作的经济性,尺寸为3 cm的网格对该型汽车雨刮器驱动系统测得主噪声源的最佳网格。

3 整体声强分布测试试验

对于该型汽车雨刮器驱动系统,主噪声源通过划分尺寸为3 cm的网格即可实现声源定位,但该驱动系统可能存在一个能量较强的次噪声源未能识

别。主噪声源测试结果在对主噪声源进行降噪优化后,次噪声源可能会取代原主噪声源,尤其当次噪声源能量仅略小于主噪声源时更加明显,所以对于主噪声源和次噪声源的能量较为接近的声强测试中,整体声强分布测试十分重要。

本次测量试验在尺寸为19.5 cm×13.5 cm的有效测量平面上,在已开展的测试实验数据基础上,进一步选取网格尺寸为1 cm,共划分280个网格和315个测点。划分网格后存在不足1 cm的部分,其中下方划分20个网格尺寸为1 cm×0.5 cm,右侧划分14个尺寸为0.5 cm×1 cm的网格,右下角存在一个尺寸为0.5 cm×0.5 cm的网格。由于网格尺寸已经很小而声强探头的U型弯跨度为3.6 cm,仅用目力进行声强探头的定位已十分困难。

本文采用辅助测量方法进行声强探头定位,在2683型探头的U型弯上用细线悬挂一根细针,细线位于U型弯中点,细针由于自身重力拉扯使细线形成一个铅锤。如图6所示。

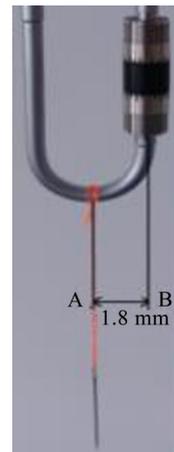


图6 辅助定位测量方法

针尖A和声音测量探头B之间有1.8 cm的间距,若在原测量网格节点上使用针尖进行测点定位,会造成定位测点和所需测点位置不相符。为了避免定位偏差,沿BA方向平移1.8 cm形成针尖定位网格面,通过针尖对准定位网格节点,确保声强探头对准测试网格节点,即可准确地得到测量面的声强分布图。测试网格、定位网格与AB线段测量方向示意图如图7所示。

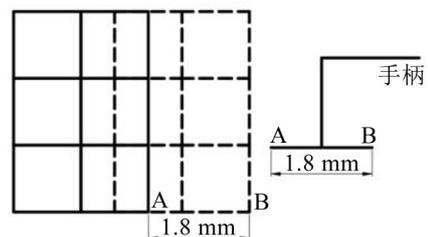


图7 辅助测量面偏移示意图

其中虚线为测量面的测试网格,实线为偏移后的辅助定位网格面即针尖定位面,手柄位置保证AB线段与网格平移方向重合。

图8为未加悬针时所测得的280格网格声强云图,其主噪声源点出现在坐标点(12,9)处,此位置偏离电机输出齿轮和蜗轮啮合区域;次噪声源为坐标点(5,6)处。

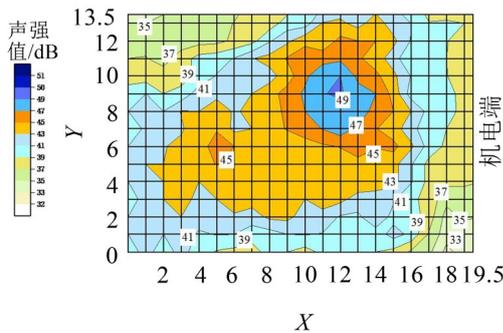


图8 未用悬针法测得的声强云图

图9为加悬针辅助定位后测得的280格网格声强云图,其主噪声源点为坐标点(12,9)处,此位置为电机输出齿轮和蜗轮啮合区域;次噪声源为坐标点(6,6)处,此位置为蜗轮和蜗杆啮合区域。

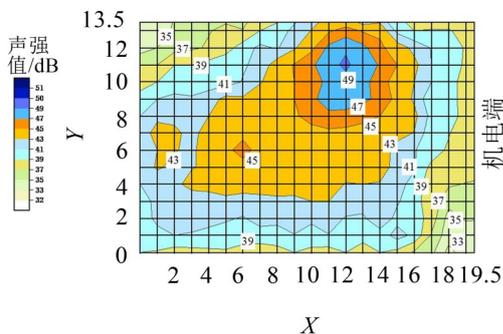


图9 悬针式测量声强云图

对比图8和图9可知,两次测量所得到的声强云图整体相近,图9中各级声强图边缘更加光滑,且两图中的主噪声源位置存在偏差,图5中主噪声源与图8收敛位置不相符,与图9中收敛位置相同,说明图8的声强云图存在较大的误差,此时的测试网格尺寸已足够小,测量误差主要来源于实际测量中的定位偏差。通过分析,悬针辅助定位方法能有效减少小尺寸网格测试时的定位偏差,显著提高声强测试精度。

为研究雨刮器驱动系统的整体声强分布,进一步对比图9和图5中的次噪声源位置,两图中显示的次噪声源距离X边位置有0.5 cm差距,但两图显示的次噪声源位置都处于蜗轮和蜗杆啮合区域,说明次噪声源的定位准确;图9中网格点(20,10)处出现

一个可能的第三噪声源,此处为伸出的蜗杆,由于蜗杆伸出高度高于测量平面,蜗杆处的测试点无法直接测量,对测试结果有一定影响,即使再次加密网格,此处的测试精度也无法改善,且在图9中已显示出了此噪声源,所以针对该雨刮器驱动系统,尺寸为1.0 cm的测试网格为雨刮器驱动系统整体声强分布测试的最佳网格。

4 结语

(1) 在声强分布测试中,测试网格尺寸将影响测试精度的重要因素,针对含多个零部件的小微型设备的汽车雨刮器驱动系统包,采用文中提出的悬针辅助定位方法可确保测试位置的准确性。

(2) 主噪声源定位测试中,最佳测试网格尺寸为3 cm,整体声强分布测试时,最佳测试网格尺寸为1.0 cm,通过声强测试与噪声源分析,雨刮器驱动系统主噪声源在电机输出齿轮和蜗轮啮合处;次噪声源为蜗轮和蜗杆的啮合处,第三噪声源为蜗杆处;

(3) 类似汽车雨刮器驱动系统之类的小微型设备划分声强测试网格时,声强测试网格的设置应基于被测物的结构特征,测试网格平面应覆盖可能的噪声源,测试网格设置应同时考虑适当减小网格尺寸和控制测试定位误差两个因素来提高测试精度。

参考文献:

- [1] 陈心昭. 噪声源识别技术的进展[J]. **合肥工业大学学报(自然科学版)**, 2009, 32(5): 609-614.
- [2] 伍先俊, 李志明. 汽车电机噪声机理和降噪方法[J]. **微特电机**, 2003, 14(1): 14-16.
- [3] 谷爱昱. 电机噪声在线测量系统[J]. **微特电机**, 2005, 39(12): 39-40.
- [4] 彭若龙, 夏博雯, 杨涛. 箱式大功率电机的噪声控制[J]. **噪声与振动控制**, 2014, 34(04): 202-204.
- [5] 胡伊贤, 李舜酩, 张袁元, 等. 车辆噪声源识别方法综述[J]. **噪声与振动控制**, 2012, 31(5): 11-15.
- [6] 李晶, 邓艾东, 杨勇, 等. 近场子空间聚焦的碰摩故障声发射定位方法[J]. **声学学报**, 2017, 42(6): 703-712.
- [7] 程志伟, 叶子文, 刘雯, 等. 声压法和声强法在车身隔声性能测量中的应用和对比[J]. **噪声与振动控制**, 2012, 32(1): 174-176.
- [8] 舒歌群, 郝志勇, 谭从民. 内燃机噪声测量中的声强测试技术[J]. **内燃机学报**, 1998, 16(1): 69-74.
- [9] 颜猛, 傅亮, 夏博雯, 贺才春. 声强探头到试件表面距离对隔声测量值的影响[J]. **噪声与振动控制**, 2015, 35(6): 172-175.
- [10] 宋艳华, 姜哲. 测量点位置对声源识别的影响[J]. **振动与冲击**, 2008, 27(3): 35-37.

(下转第198页)