

第三节 系统测试及检验

为保证可靠地采集数据，在发动机数据采集系统的软硬件设计完成之后，对发动机数据采集系统的各项性能指标进行测试，主要包括采样频率、数据一致性、发动机转速采集以及系统可靠性测试。对功能的测试采用加标准信号的方法来进行，具体做法是：利用北京测振

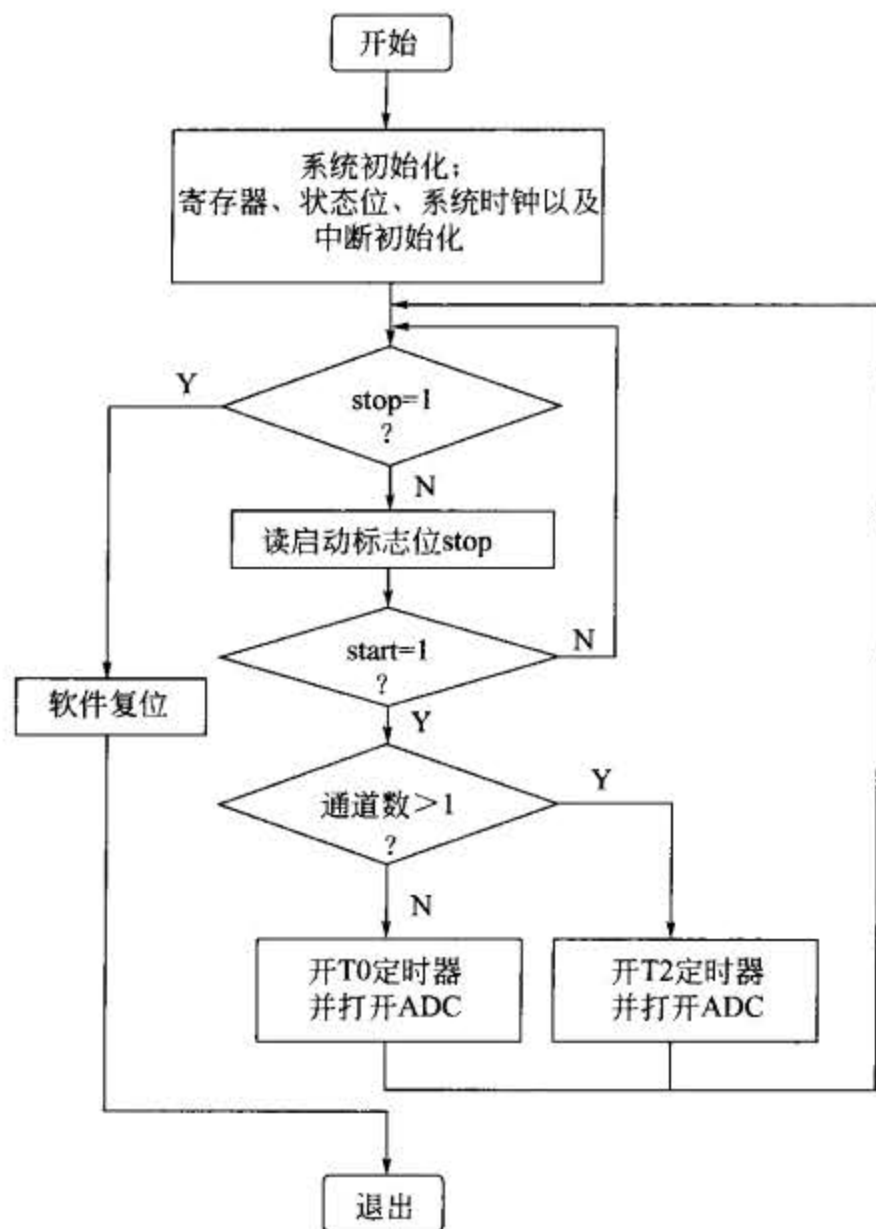


图 7-17 主循环程序流程图

仪器厂生产的 JX-3B 振动传感器校准仪对传感器加一标准振动信号（正弦振动信号），利用发动机数据采集系统对传感器信号进行采集，然后根据上位机接收到的数据对各项性能进行分析。另外，通过在现场进行数据采集来对可靠性进行测试。

一、采样频率检验

将传感器装在 JX-3B 振动传感器校准仪上，并将信号频率设置为 320Hz，振动加速度幅值为 20m/s^2 。利用发动机数据采集系统进行采集（采样频率分别设为 76.8kHz、51.2kHz、25.6kHz 和 12.8kHz），上位机接收数据，并将最后的 4096 个采样数据存盘，从中取出 1000 个采样数据进行分析，其波形图如图 7-18 所示。

在图 7-18 中，在正弦信号相邻两个峰值之间，对采样点进行统计，并对理论采样点数进行计算。对理论采样点数进行计算的公式如下：

$$N_0 = \frac{f_{\text{sample}}}{f_{\text{signal}}}$$

式中 f_{sample} —— 采样频率；

f_{signal} —— 信号频率；

N_0 —— 理论采样点数。

将统计数据 and 计算结果列成表 7-1。

表 7-1 4 种采样频率在一个信号周期内的采样点数统计表

f_{sample} \ N	1	2	3	4	5	理论值 (N_0)
76.8kHz	240	240	241	240	240	240
51.2kHz	159	161	159	160	160	160
25.6kHz	80	80	80	80	80	80
12.8kHz	40	40	40	40	40	40

由表 7-1 可知，通过上位机设定采样频率值，由单片机通过设置定时器初始值来达到设置实际采样频率的方案是完全可行的，通过对 5 次一个信号周期内的数据统计可以看出，在一个信号周期内平均采样点数与理论采样点数是完全吻合的。

另外，JX-3B 振动传感器校准仪的信号，将信号频率设置为 1280Hz，振动加速度幅值为 20m/s^2 。按同样的方法进行实验并对结果进行统计，所得结果如表 7-2 所示。

实验结果进一步证明了用发动机数据采集系统所设置的采样频率是准确的，在不同采样频率下，系统所要求的采样点数与实际采样点数是完全一致的。

表 7-2 对 1280Hz 信号采样点数的统计表

f_{sample} \ N	1	2	3	4	5	理论值 (N_0)
76.8kHz	60	60	60	60	60	60
51.2kHz	40	40	40	40	40	40
25.6kHz	20	20	20	20	20	20
12.8kHz	10	10	10	10	10	10

二、一致性检验

系统分析对数据的准确性要求很高，特别是数据的一致性，主要表现在同一通道不同增益之间的数据一致性、同一通道不同信号的采集一致性以及不同通道采集的数据一致性方面。

1. 不同增益的采集数据一致性检验

将传感器装在 JX-3B 振动传感器校准仪上，并将信号频率设置为 320Hz，振动加速度幅值为 40m/s^2 。采集频率设为 51.2kHz，按 1、2、4、8、16 五种增益倍数分别进行采集，将 1000 个采集数据绘制波形如图 7-19 所示。

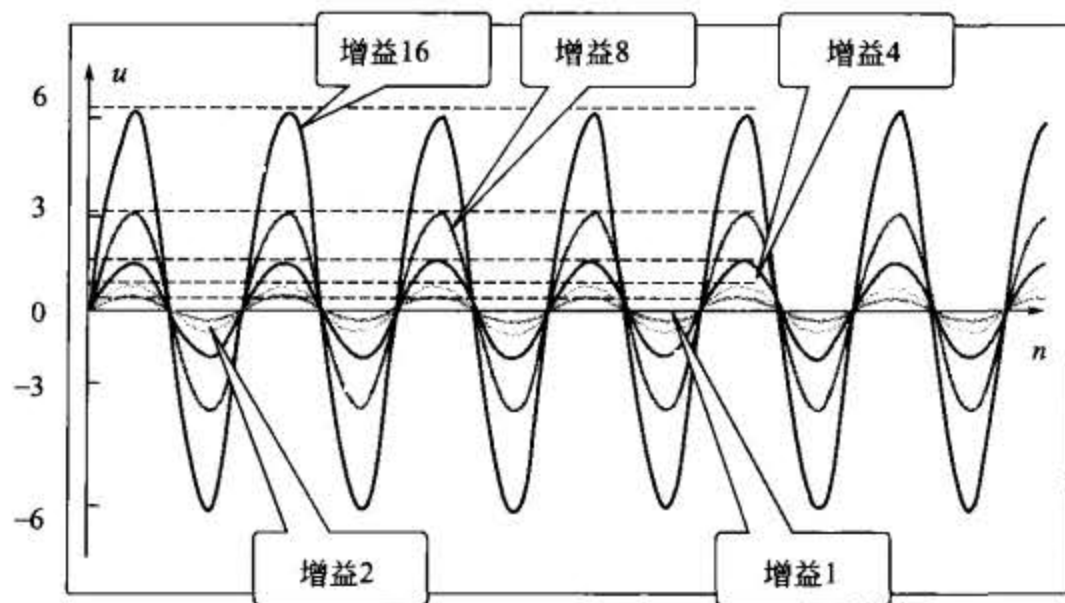


图 7-19 5 种增益的采样波形图

为便于统计，在每种增益情况下分别取 5 个采集数据幅值进行统计，结果如表 7-3 所示。

表 7-3 5 种增益的采集数据的幅值统计表

增益 \ 幅值	1	2	3	4	5	平均值
1	0.386	0.381	0.384	0.381	0.381	0.383
2	0.768	0.764	0.773	0.766	0.770	0.768
4	1.527	1.536	1.530	1.526	1.529	1.530
8	3.071	3.093	3.081	3.064	3.093	3.080
16	6.106	6.147	6.183	6.138	6.167	6.148

由表 7-3 可知, 对 5 次采集的幅值求平均之后进行比较, 在表中选增益为 1 和增益为 2 进行误差分析, 其误差为

$$\delta = \frac{|0.768/0.383 - 2|}{2} \times 100\% = 0.3\%$$

选增益为 1 和增益为 4 所采集数据进行误差分析:

$$\delta = \frac{|1.530/0.383 - 4|}{4} \times 100\% = 0.1\%$$

选增益为 1 和增益为 8 所采集数据进行误差分析:

$$\delta = \frac{|3.080/0.383 - 8|}{8} \times 100\% = 0.5\%$$

选增益为 1 和增益为 16 所采集数据进行误差分析:

$$\delta = \frac{|6.148/0.383 - 16|}{16} \times 100\% = 0.3\%$$

由分析结果可知, 在设置增益时可以保证增益的误差不超过 0.5%, 这完全满足对振动信号进行分析时的要求。

同时, 信号频率仍为 320Hz, 振动加速度幅值调到 20m/s², 并进行同样试验可以得到图 7-20 所示波形, 按同样的统计方法进行统计, 可以得到相同的结果。

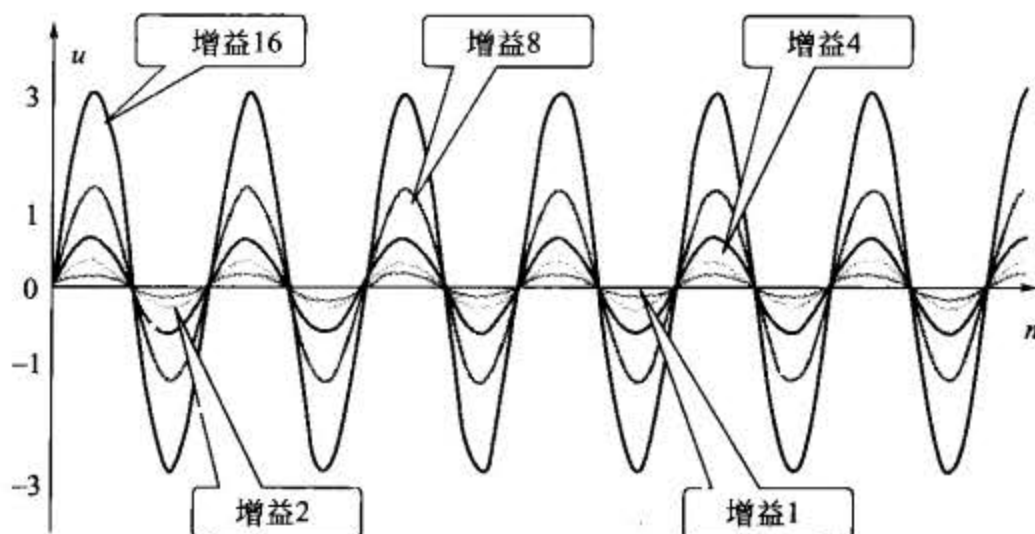


图 7-20 对加速度幅值为 20m/s² 的 5 种增益采情况波形图

2. 不同信号的采集数据一致性检验

在传感器上分别加载不同幅值和频率的振动信号, 并进行数据采集, 对采的 500 个数据进行分析。选出 4 种信号的数据作波形图如图 7-21 所示。

将信号幅值分别设为 20m/s²、30m/s²、40m/s²、50m/s², 并进行数据采集, 分别对幅值点求平均, 可得表 7-4 所示数据。

表 7-4 4 种信号采集数据对照表

信号加速度幅值/(m/s ²)	20	30	40	50
采样值	0.192	0.287	0.383	0.477

将该组数据拟合一条直线, 如图 7-22 所示。

由图 7-22 可以看出, 采集的数据随信号的幅值变化而变化, 线性度良好, 根据次线性规律进行验证, 在信号加速度幅值为 35m/s² 时, 采集数据幅值为 0.337, 进行误差分析:

$$\delta = \frac{|35 \times 0.0096 - 0.337|}{0.337} \times 100\% = 0.3\%$$

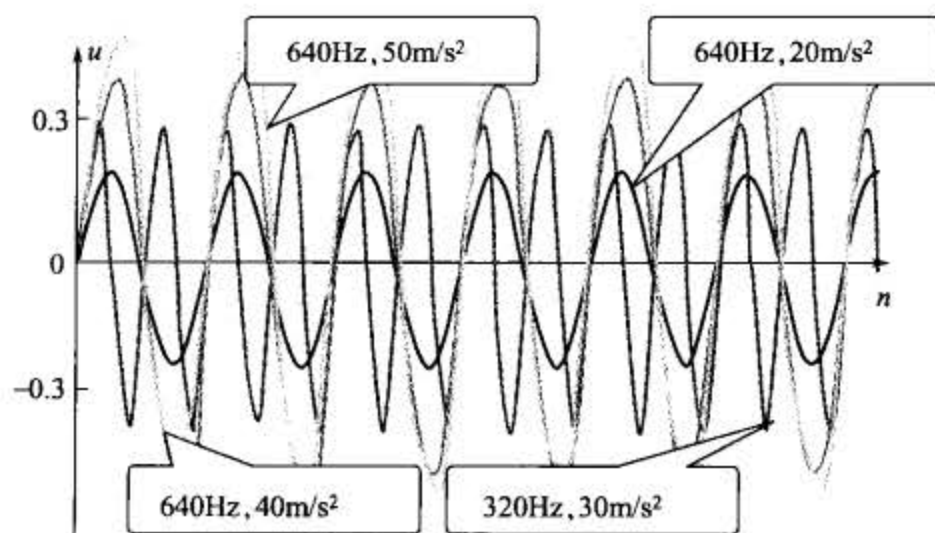


图 7-21 4 种信号的采集波形图

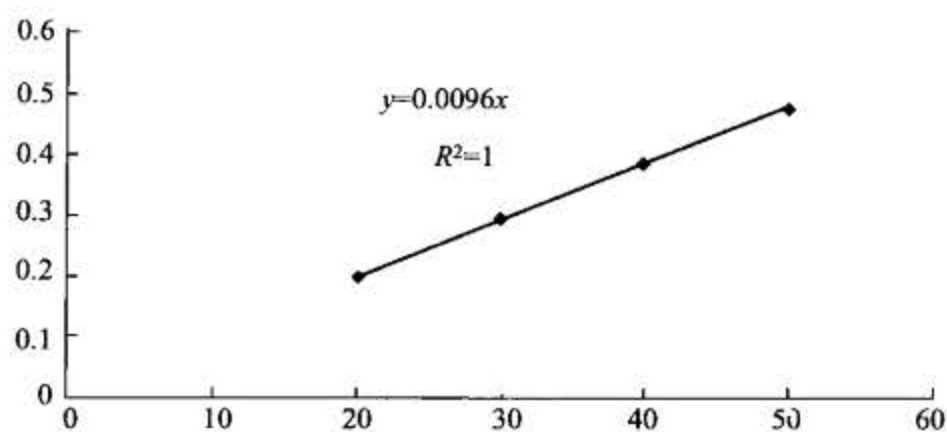


图 7-22 拟合的线性关系图

同样，对信号加速度幅值为 45m/s^2 、 55m/s^2 和 65m/s^2 时采集的数据（0.43、0.53 和 0.621）进行误差分析，可以得出其误差不超过 0.5%，这完全满足对振动信号进行分析时的要求。

3. 不同通道采集数据一致性检验

将信号频率设置为 640Hz ，振动加速度幅值为 30m/s^2 。分别用通道 1、通道 2 以及通道 3 对信号进行采集（采集频率为 51.2kHz ），将采集的 1000 个数据点作出波形图如图 7-23 所示。

从图 7-23 所示波形图上可以看出，3 条曲线的波形几乎完全重合，对幅值点的数据进行统计，如表 7-5 所示。

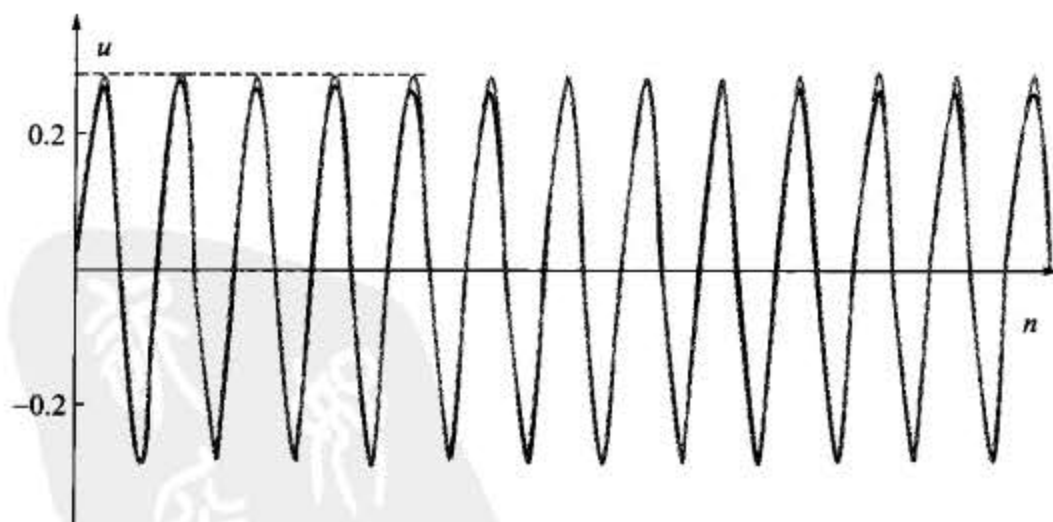


图 7-23 同一信号不同通道的采集波形图

表 7-5 3 通道采样数据幅值的统计表

通道 \ 数据	1	2	3	4	5	平均值
1	0.293	0.290	0.283	0.285	0.284	0.287
2	0.297	0.284	0.288	0.296	0.285	0.290
3	0.280	0.291	0.297	0.286	0.281	0.286

对统计数据进行分析, 通道 2 和通道 3 数据相差较大, 差距的比例为

$$\Delta = \frac{|0.286 - 0.290|}{0.286} \times 100\% = 1.4\%$$

分析通道间差距的原因, 由于每一通道都有一套信号调理电路, 而电子器件 (运放 OP07、电流源 LM334)、电阻以及电容参数存在分散性, 导致不同通道之间采集的数据有少量差别, 因此, 在实际应用中, 对同一个检测点进行分析时, 尽量使用同一个通道采集的数据来分析。

三、发动机转速采集检验

在工作车间, 利用发动机数据采集系统对康明斯发动机转速进行采集, 同时, 利用转速表对发动机转速进行监测, 得到一组发动机转速的采集对照表, 如表 7-6 所示。

表 7-6 两种方式采集的发动机转速对照表

转速表读数/(r/min)	857	1213	1506	1850	2103	2542	2983
采集转速/(r/min)	859	1208	1512	1847	2110	2551	2970

针对表 7-6 中的采集结果, 对采集转速进行误差分析, 选择其中一组分析如下:

$$\delta = \frac{|1213 - 1208|}{1208} \times 100\% = 0.41\%$$

通过对其他组数据进行分析可得, 对发动机转速的采集误差小于 5%, 这对于系统分析是有效的。

四、系统可靠性检验

对发动机数据采集系统的可靠性测试主要是在现场进行数据采集实验。在发动机维修车间, 对康明斯发动机运转时的振动信号进行分析, 由于车间同时有电动机和启动电源等高压电器设备在工作, 这样会产生一定的电磁干扰, 也相当于对系统的抗干扰性能进行测试。实验表明, 在一定的干扰环境中, 发动机数据采集系统仍然能正常工作, 采集的数据真实有效。图 7-24 所示的波形图, 是发动机在转速为 1800r/min 时, 对在油底壳与缸体结合处右侧对发动机连杆轴承振动情况进行采集的结果。

图 7-25 所示是对该信号进行 Fourier 变换时频谱图, 该采集结果对于分析发动机工况是准确有效的。

通过实验对发动机数据采集系统的各项性能指标进行测试和检验, 测试和检验结果的数据表明, 发动机数据采集系统的实际采样频率和理论采样频率是完全一致的; 采样数据的一致性都能达到系统

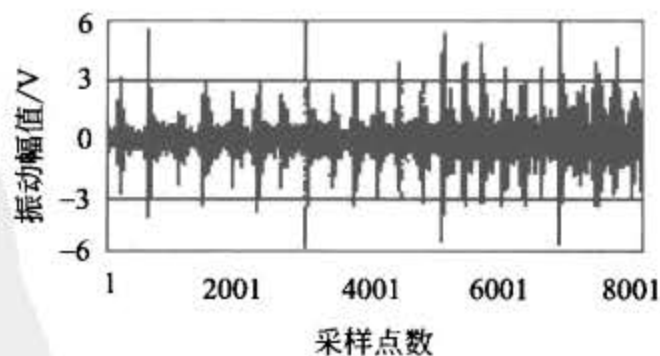


图 7-24 1800r/min 时油底壳与缸体结合处右侧采集的振动信号波形图

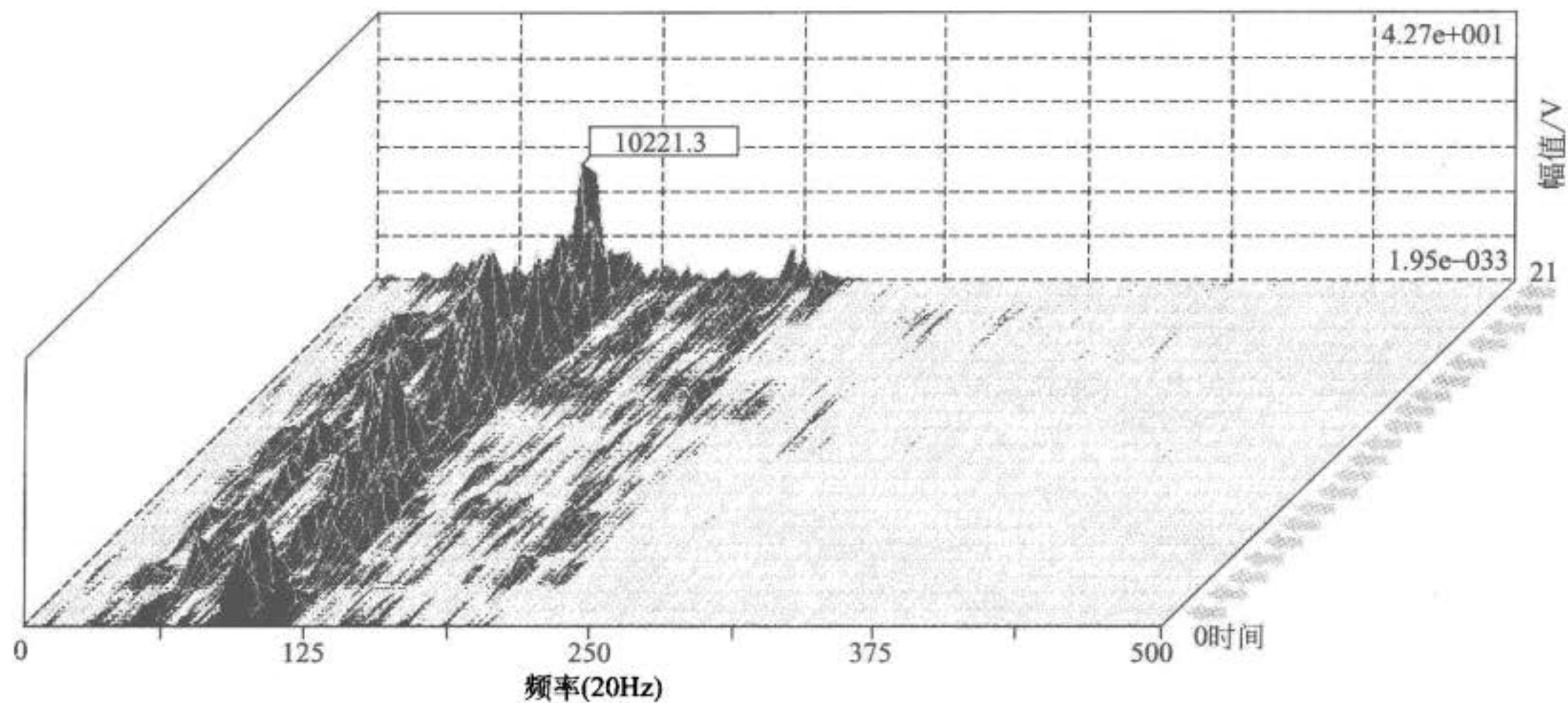


图 7-25 对振动信号的 Fourier 变换时频图

分析的精度要求；转速采集精度高；系统的抗干扰能力强，工作可靠性高。