



振弦式传感器读数模块
VM5x1/6x4/6x8/704/S

用
户
手
册



河北稳控科技有限公司（固件版本：V3.52）

2022年10月（文档版本：V1.46）

前言

感谢使用稳控科技生产的 VM5XX/VM6XX/VM7XX 系列模块。本产品专门针对单线圈式振弦传感器研发,可完成传感器的线圈激励、频率读数、温度测量等工作,具有标准的 UART (TTL/RS232/RS485) 和 IIC 数字接口、模拟量输出接口(电压或电流),通过数字接口数据交互,可完成振弦传感器检测、激励、读数等工作。本模块提供振弦频率以及温度传感器的读取输出功能,针对振弦传感器特性的专业电路和固件设计以及较小的模块体积、多样的封装、标准化的工业通讯协议等诸多特性便于将此产品快速集成到您的采集监测设备或手持读数设备。使用前请仔细阅读本手册,了解本模块特性并获取完整的使用方法。

请务必按照本手册具体说明操作或设计外围电路,本公司不承担由于不正常操作造成的财产损失或者人身伤害责任。请严格按照手册中的技术规格和参数使用或设计开发相应的产品。

主要特性

■ 外形尺寸:

VM501/604/608	30.0mmX26.0mmX4.3mm	贴插封装-20
VM511/614/618	60.0mmX36.0mmX4.8mm	直插-22
VM704	30.0mmX26.0mmX6.0mm	直插-20
VM704S	32.0mmX32.0mmX15.0mm	直插-20

■ 数字接口: UART+I2C

UART: TTL/RS232/RS485, 通讯速率 9.6~460.8kbps (默认 9600bps)

I2C: 通讯速率 50~500kHz

■ 模拟输出: 频率值转电流、电压输出, 分辨率 1/4095

■ 测频范围: 30~12000Hz

■ 测量速率: 平均 1Hz (高速模式每秒可达 20 次)

■ 兼容性强: 可测量绝大多数厂家的单线圈式振弦传感器。可完成多弦传感器数据读取 (如: 锚索应力计、多点位移计等)

■ 高精度: 0.005Hz~0.25Hz

■ 传感器自动识别: 可识别线圈 50Ω~5kΩ 的传感器 (其它阻值可定制)

■ 多种测量模式: 自动连续测量、单次测量

■ 多种激励方法: 可编程激励电压, 高压激励、智能扫频

■ 信号质量评定: 采样数据质量评估、信号幅值检测、信号质量评估

■ 温度检测:

热敏电阻: NTC1~10k

18B20: 远距离的两线或三线制, 可读取 18B20 序列号, 自适应线缆长度

■ 唯一识别码: 全球唯一识别码

■ 工业温度范围: -40℃~+85℃

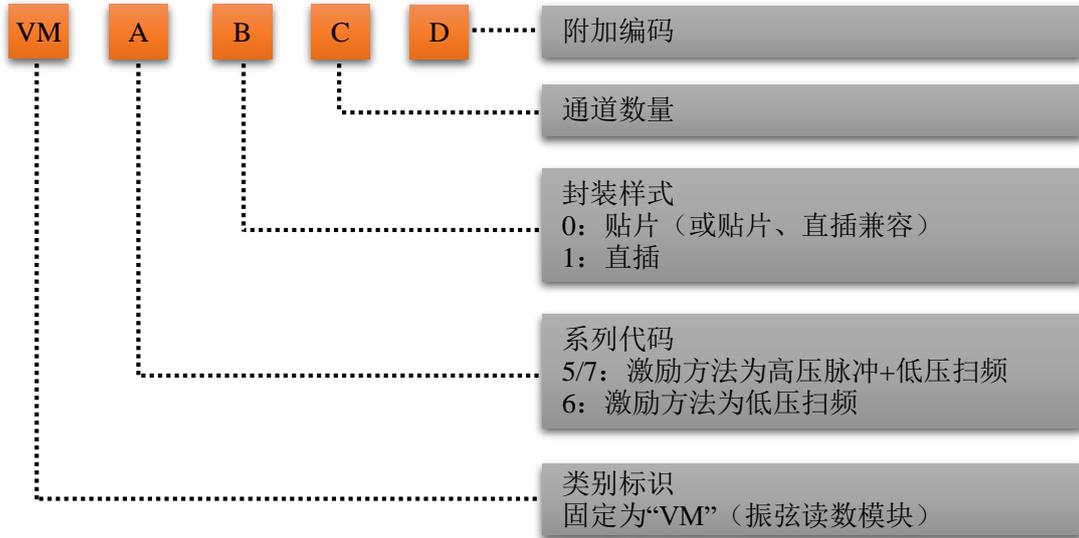
应用领域

应力应变：结构应力应变、基坑支护、管廊、地下工程

仪器仪表：振弦读数仪表开发

自动化、信息化：结合物联网技术替代传统人工检测

订购信息



型号	外形尺寸 (mm)	封装	通道	接口				附加功能			激励方法	
				UART			IIC	模拟 输出	SFC	两线制 18B20	高压	低压
				TTL	232	485						
VM501	30*26*4.5	贴片	1+1	●			●	V3.3	●	●	●	●
VM511	60*36*4.8	直插	1+1	◎	◎	◎	●	V/I	●	●	●	●
VM604	30*26*4.5	贴片	4+4	◎			●		●	▶		●
VM608	30*26*4.5	贴片	8+1	◎			●		●	▶		●
VM614	60*36*4.8	直插	4+4	◎	◎	◎	●		●	▶		●
VM618	60*36*4.8	直插	8+1	◎	◎	◎	●		●	▶		●
VM704	30*26*7.5	直插	4+4	◎			●		●	●	●	●
VM708	30*26*4.5	直插	8+1	◎			●		●	●	●	●
VM704S	32*32*15	直插	4+4	◎	◎	◎	●		●		●	●

通道：频率测量通道数量+温度测量通道数量。

◎◎：关系为“或”，◎为默认。▶：性能不完整



版权及商标

本手册版权属于河北稳控科技有限公司，所有内容受著作权保护，且为我公司之财产。任何个人或团体未经我公司书面同意，严禁重制、复制、引用或者修改本手册中的任何部分，稳控科技保留一切解释权利。

我公司拒绝任何超出法律保证的赔偿要求。对于手册内容正确性，不承担任何责任。本手册内容或手册所述之产品（或固件程序）若有变动，恕不预先通知。

COMWIN[®]为我公司注册商标，对本商标造成危害、损失的一切行为，本公司保留所有权利。

联系电话：0316-3093523 400-096-5525

企业网址：www.winkooo.cn

邮箱：info@GEO-INS.com

info@GEO-Explorer.cn

河北稳控科技有限公司

关于本手册

本手册是系列产品 VM5XX/VM6XX/VM7XX 模块的使用指导书，专门提供给终端客户和电子产品设计工程师，完成不同层面的应用。

VM 系列模块具有近乎相同的使用方法，以下介绍中，如无特殊说明，均以 VM5XX 为例。

产品默认出厂参数已设置为适用于绝大多数传感器，一般无需修改，可直接从“第五章 快速测试”开始阅读。

在您使用、操作 VM5XX 前请务必认真阅读一遍，对模块功能有大体的了解，按照先宏观后具体、先整体后细部的顺序，必要时结合本手册中推荐的测试工具 (VMTool) 进行逐一操作。VMXXX 不断升级改进，力争集成度更高、操作更为简便来改善用户使用接口，具体的操作请随时查阅本手册相关章节。

VM5XX 即可直接作为终端产品使用，也可基于模块进行进一步的二次产品开发，不同的使用目的对用户的要求也不同，相较而言，简单的直接使用需要用户具备一定计算机操作、硬件接口（特别是串口 RS232）、数据指令帧等的常识；当您需要基于此模块进行新产品开发时，则需要具备相当的电子技术基础知识以及电路设计、程序设计的能力。在本模块使用过程中，可能需要您通过其它途径查阅相关基础知识、概念，本手册不会面面俱到，关于上述辅助知识及操作能力，请用户自行解决。

第五章“快速测试”描述了如何使用计算机实现本模块的快速测试，在手册阅读过程中，也可以使用专用的配置测试工具 VMTool 进行参数修改验证，以加深对产品的认识和参数理解。

本手册中表示不同进制数字时会使用明确的标识符号，以 0x 为前缀的数字为 16 进制数据，以 B 为后缀的为 2 进制数据，无任何前缀或后缀的数字为 10 进制数据。“\r\n”表示非可见的回车符和换行符。

寄存器通常以简称表示（多个大写字母组合），某寄存器中的某些“位”则以“寄存器简称.[高位数字:低位数字]”形式表示。

带有“*”的章节表示功能尚不稳定或未经充分测试，请在咨询后使用。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新，请根据本手册对应的硬件及固件程序版本使用，必要时向我们索要与您实际使用产品相匹配的技术手册。

除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、建议和举例不构成任何明示或暗示的担保，对此造成的损失不承担任何责任，本手册所述内容最终解释权归我公司所有。

基本概念

振弦传感器：(vibrating wire sensor) 是以拉紧的金属钢弦作为敏感元件的谐振式传感器。当弦的长度确定之后，其固有振动频率的变化量即可表征钢弦所受拉力的大小。根据这一特性原理，即可通过一定的物理（机械）结构制作出测量不同种类物理量的传感器（如：应变传感器、压力传感器、位移传感器等），从而实现被测物理量与频率值之间的一一对应关系，通过测量频率值变化量来计算出被测物理量的改变量。

振弦传感器读数模块：在本手册中，专指针对振弦传感器的特性而设计的传感器激励、读数模块。具有集成度高、功能模块化、数字接口的一系列特性，能完成振弦传感器的激励、信号检测、数据处理、质量评估等专用针对性功能，进行传感器频率和温度物理量模数转换，进而通过数字接口实现数据交互。振弦传感器读数模块是振弦传感器与数字化、信息化之间的核心转换单元。

激励：也称为“激振”，是振弦类传感器频率数据获取的必须过程，仅当传感器收到合适的激励信号后才能产生自振，而仅当振弦传感器产生自振后才能输出频率信号，进一步的，读数电路会检测并读取振弦传感器的自振信号，才能通过计算得到振动频率值。振弦传感器的激励信号（能够使传感器产生自振的外部信号）一般分为两类，一类为高压短促脉冲，一类为特定频率的多组连续低压脉冲信号。

高压脉冲激励：使用较高电压（100~200V）向振弦传感器线圈发送短促脉冲，使任意频率的振弦传感器产生自振的过程或方法。

低压扫频激励：使用与传感器自振频率相当（接近）的频率向振弦传感器发送连续的低压（3~10V）脉冲信号，使传感器产生自振的过程或方法。

振弦传感器返回信号：当传感器产生自振后，钢弦自振切割传感器线圈，在线圈中产生微弱电流，这种随钢弦振动变化的正弦电信号称为“振弦传感器返回信号”。

采样值：或称为“单个样本”，在本手册中尤指传感器返回的单个正弦信号，为了提高正弦波频率值的测量精度，需要采集多组正弦信号进行综合计算。由于传感器返回的正弦信号是由强变弱逐渐消失，且本身信号十分微弱，不同厂家振弦传感器返回信号强度和时长均不相同，因此振弦模块在数据采集时采用部分抽样的方法获取若干采样数据进行综合计算，对于每个采集到的正弦波称之为“一个样本”或“一个采样值”。

标准差：(Standard Deviation)，中文环境中又常称均方差，是总体各单位标准值（采样值）与其平均数的算术平均数之差的平方根。标准差能反映一个数据集的离散程度（平均数相同的两组数据，标准差未必相同）。一个较大的标准差，代表大部分数值和其平均值之间差异较大；一个较小的标准差，代表这些数值较接近平均值，质量较高。

频模：根据振弦的振动微分方程可推导出钢弦应力与振动频率具有 $f = \frac{1}{2} \times L \times \sqrt{\frac{\delta}{\rho}}$ 的关系，即“频率 f 的平方与钢弦所受张拉应力呈线性正比关系”，因此在实际测量时，往往使用频率的平方值更能直观反映出应力值，但由于频率的平方往往数值

较大，不易读取，所以一般使用频率的平方/100，即“频模”。频模是由频率值得到的一个计算值而非测量值。

信号幅值：在本手册中专指振弦传感器返回的信号经模块滤波放大后的信号幅值大小，用百分比表示。

样本质量：在本手册中专指模块对传感器的信号进行多次采样后，对采样的质量评定，用百分比表示。也称为“采样数据质量评定”或“样本数据质量评定”。

信号质量：对采集信号的综合评定值，在本手册中，根据参数设置不同，判定标准也有所不同，在具体功能讲解时会明确说明。

目录

封面	1
前言	2
主要特性	4
应用领域	5
订购信息	5
版权及商标	6
关于本手册	7
基本概念	8
一、总体说明	14
1.1 产品概述	14
1.2 功能框图	14
1.3 绝对最大值	15
1.4 推荐使用条件	15
1.5 特性及指标	15
1.6 管脚定义	17
1.6.1 VM5XX 管脚定义	17
1.6.2 VM6X4 管脚定义	18
1.6.3 VM6X8 管脚定义	19
1.6.4 VM704S 管脚定义	20
1.7 封装尺寸	21
二、硬件接口	23
2.1 电源接口	23
2.2 参数复位管脚	24
2.3 运行状态指示器	24
2.3.1 运行状态指示	24
2.3.2 硬件握手信号	24
2.4 信号质量指示	24
2.5 数字接口 1 (UART/RS232/RS485)	25
2.6 数字接口 2 (IIC)	25
2.6.1 设备地址	25
2.6.2 IIC 协议硬件层信号类别及说明	26
2.7 传感器线圈接口	26
2.8 温度传感器接口	26
2.8.1 数字式温度传感器 18B20 的连接	26
2.8.2 热敏电阻式温度传感器连接	26
三、模块使用	28
3.1 模块启动	28
3.1.1 启动信息	28
3.1.2 启动流程	28
3.1.3 获取版本信息及序列号	28
3.2 模块复位 (重启)	28
3.3 恢复出厂参数	29

3.3.1 恢复出厂参数.....	29
3.3.2 修改出厂参数.....	30
3.3.2 恢复默认参数.....	30
3.4 通讯协议.....	30
3.4.1 UART 通讯协议.....	31
3.4.2 通讯协议 (IIC)	35
3.4.3 主动上传测量数据 (UART)	36
3.5 寄存器概述 (汇总)	38
3.6 模块地址操作 (UART)	41
3.6.1 修改已知设备地址的地址.....	41
3.6.2 读取未知设备地址的地址.....	41
3.6.3 修改未知设备地址的地址.....	41
3.7 通讯速率和软件握手 (UART)	41
3.7.1 通讯速率.....	41
3.7.2 软件握手.....	42
3.7.3 修改已知设备地址的通讯速率.....	42
3.7.4 读取未知设备地址的通讯速率.....	42
3.7.5 修改未知设备地址的通讯速率.....	42
3.8 系统状态.....	42
3.8.1 工作状态.....	42
3.8.2 运行状态.....	43
3.9 测量模式.....	44
3.9.1 连续测量模式.....	44
3.9.2 单次测量模式.....	45
3.10 振弦传感器测量流程.....	47
3.11 传感器接入检测.....	48
3.12 传感器激励方法.....	48
3.12.1 高压脉冲激励法.....	49
3.12.2 低压扫频激励法.....	50
3.12.3 频率反馈激励法.....	51
3.12.4 SFC 激励法 (推荐)	52
3.13 信号检测与分析计算.....	52
3.13.1 延时采样.....	52
3.13.2 信号幅值检测.....	53
3.13.3 信号检测与采样.....	54
3.13.4 频率计算与质量评定.....	54
3.14 数据滤波.....	57
3.15 测量时长与优化.....	59
3.16 快速测量 (10Hz)	61
3.17 低压扫频频率自校准*.....	63
3.18 温度传感器使用.....	63
3.19 辅助功能寄存器.....	64
3.19.1 UART 通讯参数.....	64
3.19.2 频率值模拟量输出.....	65

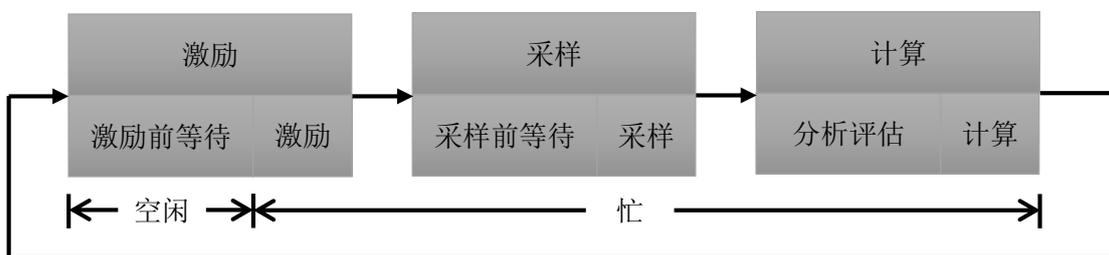
3. 19.3 信号纹波滤除*	66
3. 19.4 振动避让	66
3. 19.5 底噪测量	66
3. 19.6 半功耗	66
3. 19.7 低功耗休眠	66
3. 19.8SFC 辅助测频	67
3. 20 多通道专用寄存器	67
3. 21 频率值与温度值的修正	68
四、参数配置工具的使用	71
4. 1VMTTool 概述	71
4. 2 准备工作	72
4. 3VMTTool 基本功能	72
4. 3.1 模块的连接与断开	72
4. 3.2 固件版本读取	74
4. 3.3 模块参数读取	74
4. 3.4 模块参数修改	74
4. 3.5 参数导入导出	74
4. 3.6 实时数据读取	75
4. 3.7 软件握手协议	76
4. 3.8 生成寄存器值	76
4. 4VMTTool 扩展功能	77
4. 4.1 通用串口调试模块	77
4. 4.2MODBUS 工具模块	78
4. 4.3 指令生成器	79
4. 4.4 实时曲线	80
4. 4.5 数据存储	81
五、快速测试	83
5. 1 检查 COM 接口名称	83
5. 2 连接 VMXXX 模块	83
5. 3 传感器数据读取	84
六、常见问题	86
6. 1 计算机无法与模块通讯	86
6. 2 传感器频率值不稳定	87
6. 3 传感器频率偏大或者偏小	88
6. 4VMTTool 通讯错误	88
6. 5 其它问题	90
七、附录	91
7. 1 功能码	91
7. 2 错误码	91
7. 3 提示信息	91
7. 4 注意事项	91
7. 5 寄存器参数汇总表（按位）	93
7. 6 应用电路	98
7. 7 字符\$指令汇总	100

7.8 固件升级.....	101
八、 修订历史.....	102
8.1 固件修改历史.....	102
8.2 文档修订历史.....	106

一、总体说明

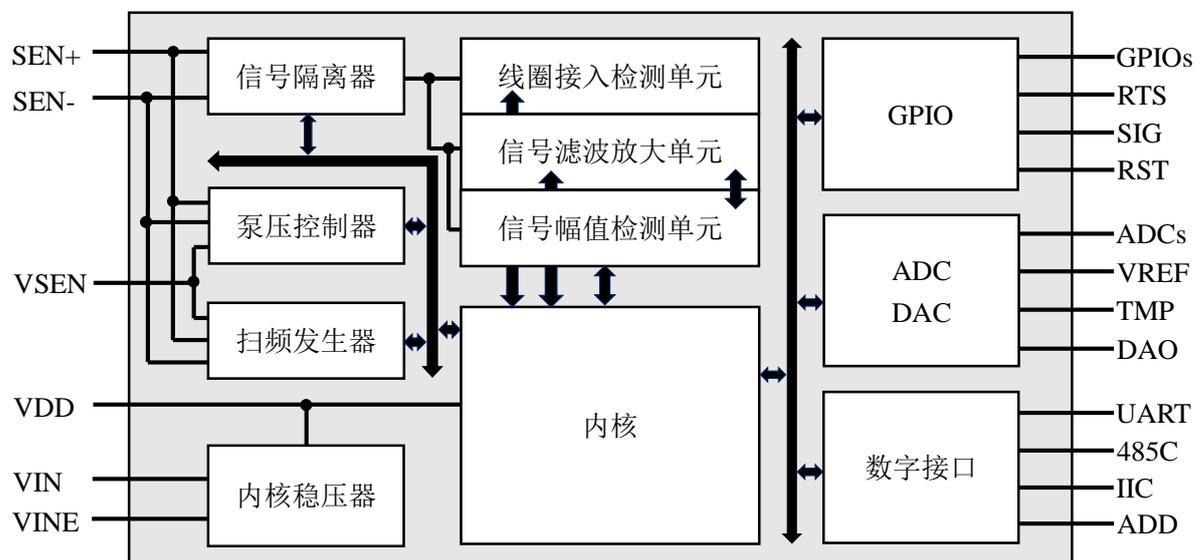
1.1 产品概述

VM 系列模块是单振弦式传感器激励、频率读取、温度转换的专业化读数模块，具有集成度高、体积小、精度高、适应能力强、极少的外围电路设计等突出特性，具有多种激励方法、传感器接入检测、可编程激励电压、信号幅值检测和信号质量评定等先进功能，能够测量传感器信号质量、幅值、频率、频模、温度并转换为数字量和模拟量输出。VM 系列模块可应用于国内外大部分单振弦式传感器的数据读取，目前在土木工程、自动化监测、地质灾害等领域均得到了广泛应用。



VM 系列工作流程（主）

1.2 功能框图



VM 系列产品功能框图

1.3 绝对最大值

参数	条件 (备注)	最小值 ^①	典型值	最大值 ^①	单位
环境温度		-40		85	°C
储存温度		-65		150	°C
V _{IN}		-0.3		15	V
V _{SEN} ^②		-0.3		15	V
	VM6xx	-0.3		8.5	V
V _{DD}		-0.3		3.6	V
V _{I/O}		-0.3		V _{DD} +0.3	V
I _{IN}				100	mA
I _{OUT}				100	mA
最大结温				125	°C

注 1: 长时间在最大允许值或超过最大允许值的条件下工作可能导致器件永久性损坏。

注 2: 请咨询传感器厂家适用的激励电压。过高的激励电压源可能导致传感器或读数模块永久性损坏, 厂家不能提供激励电压范围时建议最高 6V

1.4 推荐使用条件

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
环境温度		-40	25	85	°C
V _{IN}		5.0	8.0 (推荐)	15	V
V _{SEN}		5.0	8.0 (推荐)	15	V
	VM6xx	5.0	8.0	8.5	V
V _{DD}		2.5	3.3	3.6	V
I/O		0		V _{DD} +0.3	V
I _{IO}		0	5	20	mA

1.5 特性及指标

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源					
I _{VDD} ^①	空闲	22	25		mA
	忙		45	48	mA
	休眠	1.1	1.3	1.6	mA
I _{VIN} ^①	空闲		30		mA
	忙		50		mA
I _{VSEN} ^①	空闲/休眠		0		mA
	忙 (泵压)		10	15	mA
	忙 (扫频)		20	40	mA
传感器激励与读取					
计时分辨率			20		ns

时基准确度	@1000Hz		10^{-4}		
	@5000Hz		10^{-4}		
频率分辨率	@1000Hz	0.02			Hz
频率测量范围		30		12000	Hz
扫频输出精度				0.05	%
高压激励电压		30	150	180 ^①	V
随机读数误差 (标准信号)	30~12000Hz	±0.001		±0.01	Hz
频率绝对误差 (标准信号)	300~6000Hz		±0.05	±0.25	Hz
重复性				0.01	Hz
温度分辨率			0.1		°C
温度测量范围	VM5XX	2k	-57	140	°C
	HW120	3k	-52	155	
	其它		-72	110	
			-68	125	
随机读数误差			0.05		°C
温度测量精度			0.5	1.5	°C
测量速度			1.0	20.0	Hz
模拟量输出					
输出分辨率	VMXXX/VM4XX@电流或电压		1/4095		
驱动能力			1		mA
UART					
通讯速率		9600		460800	bps
高电平	TTL 接口	1.2	3.3	3.6	V
低电平	TTL 接口	0		0.8	V
以上数据在室温 25°C，VIN=8.0V，VSEN=8.0V，VDD=3.3V 时测试所得 外接传感器频率 1300Hz，线圈电阻 500Ω。 注①：为了防止传感器意外短路、断路造成模块损坏，自 SF3.50_210831 版本开始限制为最高 180V。此限制电压可修改，请联系厂家。					

1.6 管脚定义

1.6.1 VM5XX 管脚定义



VM501 管脚定义



VM511 管脚定义

VM501/VM511 管脚定义

符号	编号		类型	说明
	501	511		
SEN+	1	1		振弦传感器线圈正极
SEN-	2	2		振弦传感器线圈负极
TMP	3	3/20		温度传感器正极
DAO/DAO1	4	4		频率值模拟量输出管脚
SIG	5	5		振弦信号质量指示管脚
REF	6			参考电压输入，连接到 VDD
IO2/SCL	7	6		备用 IO/IIC_SCL
NC	8			悬空
GND	9	9/10		
VDD	10	8		核心电源 2.5~3.6V
GND	11	12		
TXD	12	13		UART 发送管脚
RXD	13	14		UART 接收管脚
UDM/485CR	14			UART 发送指示，可用作 485 收发控制
UDP	15			
IO1	16	18		备用 IO
RST/SDA	17	19/21		参数复位检测/IIC_SDA
RTS	18	15		运行状态指示
GND	19	16/22		
VSEN	20	17		振弦传感器激励电源输入
DAO2		7		频率值模拟量输出管脚
VIN		11		模块电源 5.0~15V

注：VDD、VIN 不可同时使用，当使用 VIN 时，VDD 是输出。
 注：VMx1x 模块时，VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN，请在确认后再使用 VSEN。

1. 6. 2VM6X4 管脚定义



VM604/704 管脚定义



VM614/714 管脚定义

VM6X4/VM7X4 管脚定义

符号	编号		类型	说明
	604	614		
SEN-	1	1		振弦传感器线圈负极
S1+	2	2		振弦传感器通道 1 线圈正极
S2+	3	3		振弦传感器通道 2 线圈正极
S3+	4	4		振弦传感器通道 3 线圈正极
S4+	5	5		振弦传感器通道 4 线圈正极
REF	6			参考电压输入(VM704 时为 NC)
IO2/SCL	7	6		IIC-SCL
NC	8			
GND	9	9/10		
VDD	10	8		核心电源 2.5~3.6V
GND	11	12		
TXD	12	13		UART 发送管脚
RXD	13	14		UART 接收管脚
485	14			RS485 收发控制管脚
RST/SDA	15	7		IIC-SDA
T4	16	18		温度输入/模拟输出, 通道 4
T3	17	19		温度输入/模拟输出, 通道 3
T2	18	20		温度输入/模拟输出, 通道 2
T1	19	21		温度输入/模拟输出, 通道 1
VSEN	20	17		振弦传感器激励电源输入
VIN		11		模块电源 5.0~15V
NC		15		
GND		16/22		

注: VDD、VIN 不可同时使用, 当使用 VIN 时, VDD 是输出

注: VMx1x 模块时, VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN, 请在确认后再使用 VSEN。

1. 6. 3VM6X8 管脚定义



VM608 管脚定义



VM618 管脚定义

VM608/VM618 管脚定义

符号	编号		类型	说明
	608	618		
SEN-	1	1		振弦传感器线圈负极
S1+	2	2		振弦传感器通道 1 线圈正极
S2+	3	3		振弦传感器通道 2 线圈正极
S3+	4	4		振弦传感器通道 3 线圈正极
S4+	5	5		振弦传感器通道 4 线圈正极
DAO/TMP	6	15		温度传感器接口
IO2/SCL	7	6		IIC-SCL
NC	8			
GND	9	9/10		
VDD	10	8		核心电源 2.5~3.6V
GND	11	12		
TXD	12	13		UART 发送管脚
RXD	13	14		UART 接收管脚
RTS/IO1	14			RS485 收发控制管脚
RST/SDA	15	7		IIC-SDA
S8+	16	18		振弦传感器通道 8 线圈正极
S7+	17	19		振弦传感器通道 7 线圈正极
S6+	18	20		振弦传感器通道 6 线圈正极
S5+	19	21		振弦传感器通道 5 线圈正极
VSEN	20	17		振弦传感器激励电源输入
VIN		11		模块电源 5.0~15V
GND		16/22		

注：VDD、VIN 不可同时使用，当使用 VIN 时，VDD 是输出

注：VMx1x 模块时，VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN，请在确认后再使用 VSEN。

1. 6. 4VM704S 管脚定义



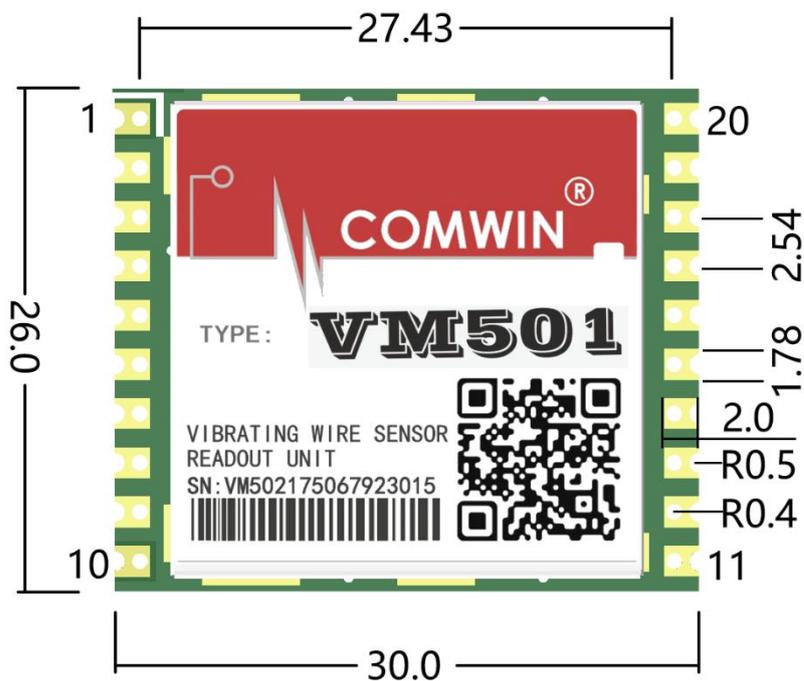
VM704S 管脚定义

VM704S 管脚定义

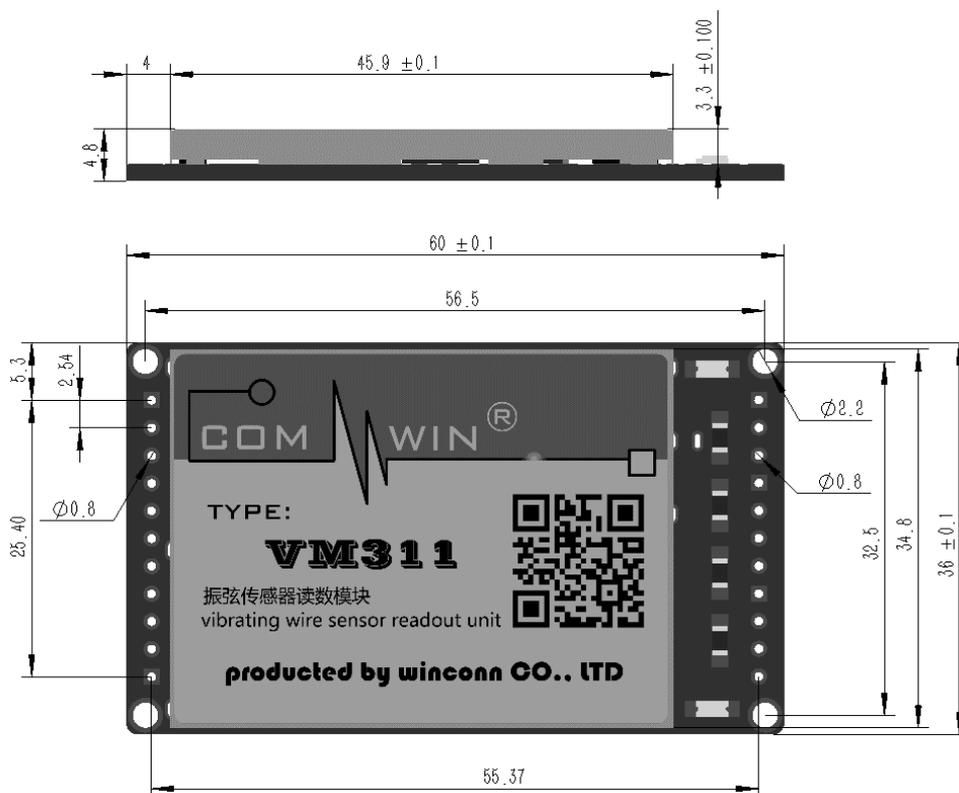
符号	编号	类型	说明
	608		
SEN-	1		振弦传感器线圈负极
S1+	2		振弦传感器通道 1 线圈正极
S2+	3		振弦传感器通道 2 线圈正极
S3+	4		振弦传感器通道 3 线圈正极
S4+	5		振弦传感器通道 4 线圈正极
NC	6		
SCL	7		IIC-SCL
NC	8		
GND	9		
VDD	10		电源 2.5~3.6V
GND	11		
TXD	12		UART 发送管脚
RXD	13		UART 接收管脚
485	14		RS485 收发控制管脚
RST/SDA	15		IIC-SDA
T4+	16		温度输入/模拟输出, 通道 4
T3+	17		温度输入/模拟输出, 通道 3
T2+	18		温度输入/模拟输出, 通道 2
T1+	19		温度输入/模拟输出, 通道 1
VSEN	20		振弦传感器激励电源输入

注: VMx1x 模块时, VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN, 请在确认后再使用 VSEN。

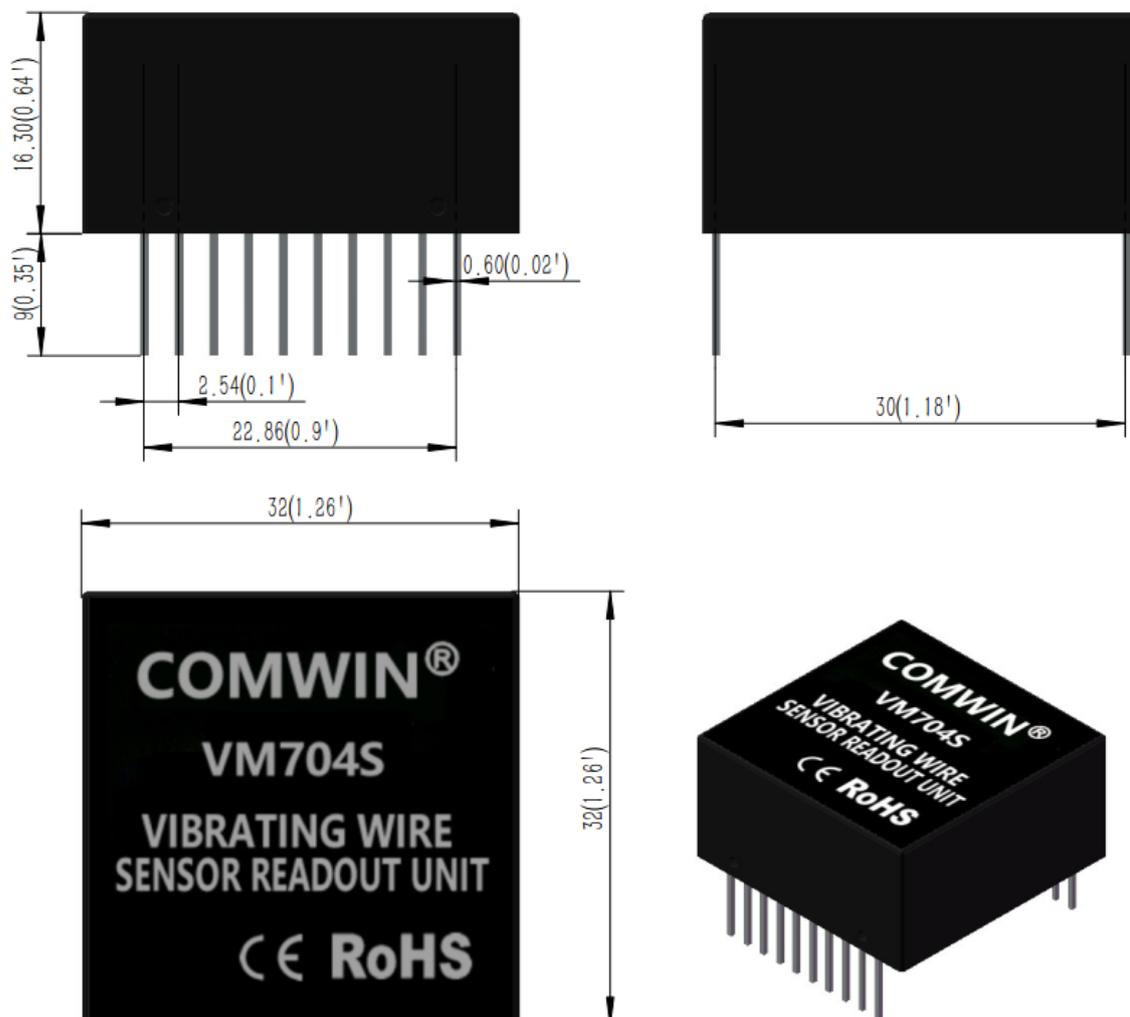
1.7 封装尺寸



VM501/VM604/VM608/VM704 机械尺寸



VM511/VM614/VM618/VM714 机械尺寸



VM704S 机械尺寸

二、硬件接口

2.1 电源接口

VMXX 模块有多个电源接口，分别为：宽电压电源输入（VIN）、内核电源（VDD）、参考电压源（VREF）、振弦传感器激励电源（VSEN），各电源共用 GND。

电源输入（VIN）：宽电压 VIN 管脚为模块供电（DC5~15V），推荐电压为 6.0V~10.0V，VIN 可产生内核电源 VDD，当使用 VIN 管脚为模块供电时，VDD 管脚为输出，输出能力为 200mA，尽量不要使用 VDD 输出过大电流，以免影响模块内核的正常工作。

内核电源（VDD）：可由 VIN 产生，当不使用 VIN 时，此管脚作为电源输入，需要外接 DC3.3V 电源。模块工作时峰值电流约为 100mA，建议使用输出能力 200mA 或以上的电压源。VMXX 模块内部有电压校准机制，对 VDD 电压值无严格要求。

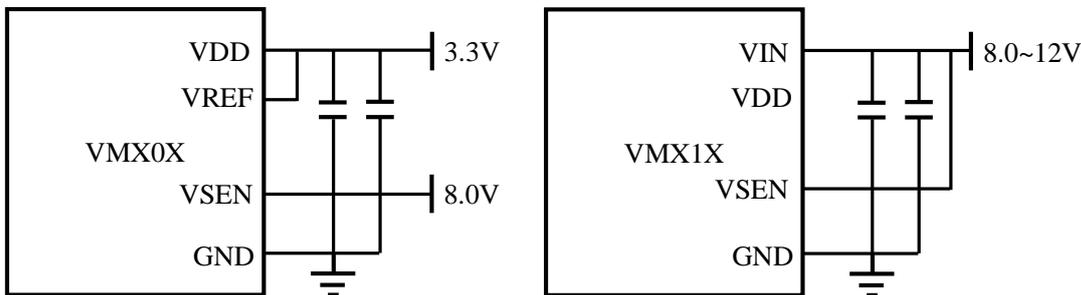
参考电压（VREF）：此管脚为输入，应直接连接到 VDD（无需精准的参考电压源）。

激励电源（VSEN）：VSEN 为传感器激励过程提供电能，当采用高压激励方法时，VSEN 作为泵压源，一般情况下 VSEN 电压越高则可获取的激励电压也越高；当采用低压扫频激励方法时，VSEN 电压即是扫频电压。建议采用 200mA 或以上的电压源为 VSEN 供电，供电电压推荐为 DC8V~12V。

注意：VMx1x 模块时，VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN，请在确认后再使用 VSEN。

请特别注意电源的设计。振弦传感器返回信号为微弱的正弦波，为减少电源纹波对传感器信号的影响，建议所有电源均使用纹波较小的 LDO 稳压器。当使用交流电转直流的供电方式时，**模块地线（GND）一定要可靠接地（大地）**，某些低端的交流转直流适配器会将交流干扰引入，严重影响模块信号处理质量，甚至完全无法使用。

建议靠近电源管脚（VDD 尤其重要）使用一个 10 μ F 钽电容（低 ESR）和一个 0.1 μ F 的陶瓷电容并联。增加并联的电容可以有效去除高频干扰。同时为防止浪涌对芯片的损坏，建议在模块电源输入管脚使用一个适合电压的 500mW 的齐纳二极管防止模块的超压损坏。PCB 布局时，电容和二极管应尽可能靠近模块的电源输入管脚。



电源连接示意

注：严禁同时使用 VIN 和 VDD 为模块供电。

注：模块没有反接电源及超压保护措施，反接电源及超压使用会导致永久性损坏。

2.2 参数复位管脚

RST 管脚为双向管脚，在不同运行阶段具有不同功能：

上电启动时

上电启动时 RST 管脚为输入，当检测到管脚为低电平时复位参数为出厂值。详见“3.3 恢复出厂参数”。在启动完成后此管脚为 IIC-SDA 功能。

VMx0x 模块的 RST 管脚未连接上拉电阻，为了防止上电时参数复位，外部必须连接 2k~4.7k 上拉电阻，其它型号模块此管脚已内置了 4.7k 上拉电阻。

2.3 运行状态指示器

2.3.1 运行状态指示

在模块正常运行时 RTS 管脚输出逻辑 1 表示模块“正忙”，输出逻辑 0 表示模块“空闲”，详见“3.10 振弦传感器测量流程”。

模块“正忙”是指模块正在对振弦传感器进行读数操作，特别的，本模块具有传感器是否连接的检测功能，默认情况下仅当检测到有效的传感器接入时才会发起一次读数过程，而未检测到传感器连接时，模块会继续不断检测，此时 RTS 管脚持续输出 10Hz 的脉冲方波，这种快速的“忙”与“不忙”两个状态间切换可以理解为“正在搜索传感器”。

运行阶段	信号描述	状态说明
上电启动	5 个 100mS 周期的脉冲	模块完成初始化及自检，进入正常运行阶段
正常运行	传感器未连接 连续 10Hz 的高、低电平脉冲输出	未检测到有效的传感器接入 正在搜索传感器
	传感器已连接 逻辑 1：模块正“忙” 逻辑 0：模块“空闲”	传感器已接入 高低电平切换频率与多个参数有关 逻辑 1 表示正在激励、采样传感器频率， 建议等待 RTS 输出逻辑 0 时再向模块发送指令
	每 3 秒输出一次 10ms 高脉冲	模块处于单次测量模式，正在等待指令

RTS 管脚为强推挽输出，可直接驱动 LED 指示灯（串联 1k 的限流电阻），直观的表现模块的工作状态。

2.3.2 硬件握手信号

基于 RTS 输出信号的时域特点，此管脚还可作为数字接口的硬件握手信号使用。当模块的 UART 接口为 RS232 时，RTS 管脚已经转换为 RS232 电平信号，直接连接上位机 RS232 接口的 CTS 即可。

2.4 信号质量指示

SIG 管脚用于输出振弦传感器的返回信号质量，当信号质量达到或超过预期值时输出高电平。硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM
河北稳控科技有限公司 <http://www.winkooo.com> 技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [24/109]

平，否则输出低电平。信号质量预期值由寄存器 EXS_TH 定义，详见“3.12.4 中预定信号质量寄存器说明”。

信号质量与多种因素有关，使用多种表征值来描述（幅值、采样值数量、标准差等），SIG 管脚的高、低电平两种输出状态不足以完全表示信号质量，也不能反映出信号质量的具体数值大小，在模块使用过程中，应尽量使用软件方法读取与信号质量有关的多个寄存器值（详见“3.13.4 频率计算与质量评定”），进行综合判断。

2.5 数字接口 1（UART/RS232/RS485）

VM 系列模块提供全双工串行 TTL 电平的 UART 接口以及基于 TTL 扩展的 RS232 或 RS485 接口（详见前述“订购信息”中的选型表），默认端口设置为“9600,N,8,1”，并支持由软件修改为 9600~460800bps 通讯速率。

UART 的 TTL 电平逻辑高为 VDD，逻辑低为 GND，与非 3.3V 单片机进行连接时，要注意逻辑电平的转换。

TXD 为强推挽输出管脚，RXD 为输入管脚。

管脚 485CR 为数据收发指示管脚，模块向外发送数据时管脚 485CR 输出高电平（强推挽），非发送时输出低电平。利用这一逻辑特性，当在 UART 外部连接 RS485 电平转换芯片时，发送指示管脚可作为半双工 485 芯片的收发控制管脚使用。

注：当模块为 RS485 接口版本时，485CR 管脚已在模块内部连接到了 485 芯片（VM511、VM614、VM618、VM704S）。

2.6 数字接口 2（IIC）

VM5XX 支持双向 IIC 总线和数据传输协议，支持最高 500kHz 的通讯速率。

在总线中，VM5XX 为从设备，与之通讯的上位机为主设备，主设备控制整个通讯过程。向总线发送数据的设备定义为发送器，接收数据的设备定义为接收器。总线必须由主设备来控制，由主设备产生串行时钟（SCL）、控制总线访问以及产生开始和停止信号（条件）。VM5XX 设备通过 SCL 和 SDA 线与总线连接，两根数据线均为漏极开路，与非 3.3V 单片机进行连接时，要注意逻辑电平的转换。

部分型号的 SDA 和 SCL 管脚已内置了上拉电阻，详见下表。

模块型号	上拉电阻
VM501/604/608/704	需要外接上拉电阻
VM511/614/618/714/704S	已内置 4.7k 上拉电阻

2.6.1 设备地址

使用 IIC 总线时，VM5XX 使用 IIC 专用的设备地址，设备的 IIC 地址默认为 0xA0(160)，可通过特殊的 UART 接口指令来完成 IIC 地址的修改，修改后的地址永久保存。

IIC 地址修改指令为：\$IICA=xxx\r\n

需要注意的是，IIC 地址必须为偶数，否则修改不能成功。

2.6.2 IIC 协议硬件层信号类别及说明

为了降低使用难度，VM 系列模块的 I2C 接口采用了与 AT24C02 完全相同的读写时序，在此不再描述更多细节。

2.7 传感器线圈接口

传感器线圈接口由 SEN+和 SEN-管脚组成，分别连接到振弦传感器线圈两端。

通常情况下，传感器线圈不区分正负极，直接连接即可。

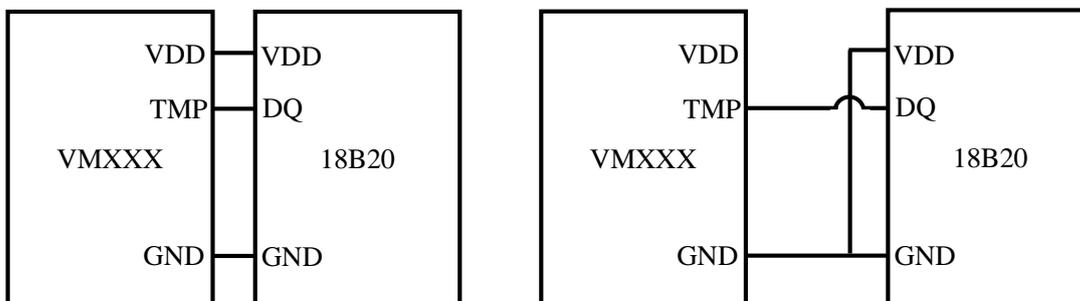
注：当传感器激励方式设置为高压激励时，SEN+管脚会周期性（几百毫秒~几秒）输出高压，在使用过程中应注意人员及外围电路的保护。

2.8 温度传感器接口

温度传感器接口由 TMP 和 GND 两个管脚组成，内部已连接有上拉电阻。温度传感器接口是复用接口，可连接数字式温度传感器 18B20 或热敏电阻温度传感器，任意时刻，只允许连接某一种温度传感器（可通过对应的寄存器进行参数设置，详见“3.18 温度传感器使用”）。

2.8.1 数字式温度传感器 18B20 的连接

VM 模块支持 18B20 的两线制和三线制两种连接方法，如下图示。



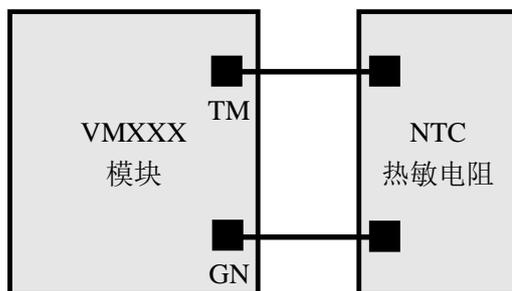
18B20 数字温度传感器三线制、两线制连接示意图

注：仅 VM501_HW120/VM704 支持 18B20 两线制连接

注：目前生产 18B20 的厂商有很多，不同品牌的 18B20 通讯参数会有一些差异，基本上可以保证 500 米以内正常通讯，有些品牌可以达到 1000 米。

2.8.2 热敏电阻式温度传感器连接

热敏电阻与模块温度测量接口管脚连接，如下图所示。



热敏电阻连接示意

三、模块使用

本章主要内容为 VM 模块基本工作原理以及工作参数、实时数据解释说明。

模块出厂时的默认参数值能够满足大部分振弦传感器的数据读取，**无特殊情况不需要修改参数**。若需要修改某些参数时，务必仔细阅读本章内容以便参数含义。错误的参数值可能导致模块无法正常工作，必要时请使用参数复位功能将参数恢复为出厂值。

3.1 模块启动

3.1.1 启动信息

模块上电自行启动，初始化完成后输出如下启动信息（UART 接口）

```
VM501           //模块系列名称
HW:1.10         //硬件版本号
SF:3.35_201227 //固件版本号
ADDR:001        //模块地址
IICA:A0H(160)   //I2C 地址
SN=46705731203936BA //模块机器码（序列号）
```

3.1.2 启动流程

- （1）读取存储的工作参数，进行参数校验，若校验错误则自动恢复为出厂值；
- （2）将参数加载到对应的寄存器；
- （3）若 RST 引脚为低电平则恢复寄存器值为出厂值；
- （4）初始化各部分功能模块，期间检测各功能模块，发生错误时输出错误信息；
- （5）经由 UART 接口输出启动信息；
- （6）根据寄存器定义的工作模式，开始工作。

模块上电启动过程为 200~500ms 不等，建议在模块上电后 500ms 再开始向模块发起数据通讯操作。

3.1.3 获取版本信息及序列号

向系统功能寄存器 SYS_FUN 写入功能码 03，模块返回固件版本信息及唯一序列号，输出信息格式详见“3.1.1 启动信息”。

3.2 模块复位（重启）

以下几种情况（或操作）可使模块产生复位动作，重新启动。

- （1）在模块正常工作期间，向寄存器 SYS_FUN 发送软复位指令 0x01；
- （2）内核电压过低或受到强电磁干扰；
- （3）未知的非法参数设置，导致的工作异常；

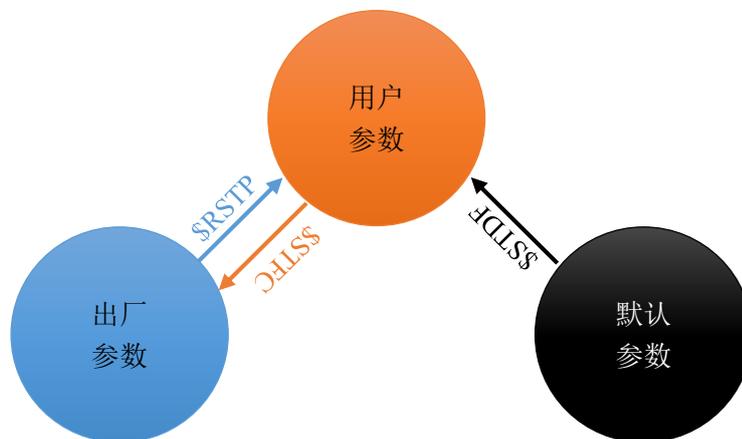
3.3 恢复出厂参数

设备内部存在三类系统参数，分别为：用户系统参数、出厂系统参数和默认系统参数。

用户系统参数：也称“工作参数”，可修改可保存，每次上电时自动加载并按照此参数运行。在设备使用过程中对参数的修改、设备运行逻辑均是指用户参数，用户参数是使用最频繁的参数类别。

出厂系统参数：保存于独立分区中的一组系统参数，仅当收到“恢复出厂参数”指令或者设备检测到用户参数异常而无法工作时才会读取并覆盖用户系统参数。出厂参数可使用特殊指令进行修改。设备出厂时此参数已由厂家进行了设置，建议不要修改（慎用）。

默认系统参数：默认参数是仅能保证设备能完成基本通讯工作的一组系统参数，此参数为固定参数，用户无法通过任何途径修改。当恢复出厂参数后，内部判断设备仍无法正常工作时会自动加载默认系统参数，以使基本的数字通讯可以进行。



3.3.1 恢复出厂参数

有两种方法实现所有参数（寄存器）恢复为出厂值

(1) 硬件参数复位：在模块启动时，检测到参数复位管脚 RST 为低电平时复位参数为出厂值，在管脚电平未恢复为高电平前，模块一直处于暂停状态。复位后，由 UART 输出提示信息“RST\r\n”。

(2) 软件参数复位：向寄存器 SYS_FUN 写入 0x02。

以下几种情况时，模块会自动恢复为出厂参数

(1) 参数 CRC 错误：上电过程中，检测到参数区校验码错误，自动恢复为出厂参数值，由 UART 输出提示信息“CRC Err\r\n”。

(2) UART 通讯速率错误：上电过程中，检测到参数 BAUD 值为非法的通讯速率值，自动恢复为出厂参数值，由 UART 输出提示信息“BAUD Err\r\n”。

3.3.2 修改出厂参数

使用当前的用户参数写入到出厂参数区。**此操作建议专业人员使用，普通用户不要轻易修改出厂参数。**

使用指令设置

\$STFC\r\n

设备响应后返回字符串：OK\r\n

也可向系统功能寄存 SYS_FUN 器写入 0x0A 实现相同的功能。

3.3.2 恢复默认参数

将设备内部预先设置的一组固定参数加载到用户系统参数。指令如下：

\$STDF\r\n

设备响应后返回字符串：OK\r\n

也可向系统功能寄存 SYS_FUN 器写入 0x0B 实现相同的功能。

3.4 通讯协议

通讯协议是上位机通过 VMXXX 模块支持的数字接口完成信息交互的数据格式、传输步骤、通讯速率等的一系列预先约定。上位机必须按照本章描述的通讯协议规则来完成与 VMXXX 的数据交互工作。

寄存器机制

VMXXX 内部维护有若干寄存器，模块在寄存器参数值的控制下完成振弦传感器的测量工作。寄存器的值总是以整数形式存在，基本操作单位为“字”（2 字节整数，大端模式），有掉电保存和掉电丢失两种类型（对应“读/写”和“只读”两种属性）。通过模块的数字接口可完成对寄存器的读取和写入（修改）操作。寄存器写（修改）寿命典型值为 10 万次，读取次数没有限制。

数据模式

寄存器数据值采用大端模式，数据的高字节保存在内存的低地址中，而数据的低字节保存在内存的高地址中，数据帧传输时先传输低地址字节后传输高字节。每个寄存器对应两个字节，则单个寄存器的值=低字节值*256+高字节值。

使用握手协议

在读写寄存器时，建议使用 VMXXX 模块的握手协议（非必须），当检测到模块空闲时发起寄存器操作（硬件握手详见“2.3.2 硬件握手”，软件握手详见“3.7.2 软件握手”）。

冲突解决

当模块收到上位机指令时原则上会立即处理并返回应答信息，若模块“正忙”时，VMXXX 采用测量优先的原则，等待当前测量周期结束才会响应。不同的工作参数会有不同的“忙”时长（详见“3.15 测量时长与优化”），在发送指令后，若模块未能及时回复，应继续等待其响应并返回响应信息。在模块未回复前，向模块发送多条指令没有意义，模块仅会响应最先收到的一条指令。

注：数字接口通讯会在一定程度上影响振弦传感器频率采集精度，不要过于频繁的对数字接口发送指令。

3.4.1 UART 通讯协议

UART 接口支持标准的工业 MODBUS 通讯协议（03、04、06、16 指令码）和自定义的简单 AABB 协议以及\$字符串指令集。前两种协议均支持基于模块地址和总线连接的一主多从应用结构，在总线中，VMXXX 模块始终作为从机使用（被动等待指令，不主动上传数据，但“自动上传数据”和“软件握手”除外，详见后续对应章节说明）。

建议使用专用的 VMTool 工具进行寄存器指令的生成和测试，关于 VMTool 的基本用法，请详见“第四章：参数配置工具的使用”。

根据下述通讯协议规则，读写寄存器。

在使用 MODBUS 或 AABB 通讯协议时，请确认模块的软件握手参数处于关闭状态（默认）。

（一）MODBUS 通讯协议

在 MODBUS 协议下，VMXXX 内部所有寄存器被定义为“保持寄存器”（详见 MODBUS 通讯协议标准说明），模块支持基于 MODBUS 协议的多个连续寄存器读取、单个寄存器写入、多个连续寄存器写入三种指令，对应指令码分别为 0x03（或 0x04）、0x06、0x10。下面逐一说明每种指令码的指令和返回数据帧格式。

（1）03/04（0x03/0x04）指令码：读取多个连续的寄存器数据，指令格式如下
指令数据帧结构

地址码	功能码 0x03	开始地址	寄存器数量	CRC 校验
1 字节	1 字节	2 字节	2 字节	2 字节

返回数据帧结构

地址码	功能码 0x03	数据长度	数据	CRC 校验
1 字节	1 字节	1 字节	n 字节	2 字节

例：读取地址为 0x01 的模块寄存器值，寄存器开始地址为 0，连续读取 10 个寄存器

主机发送指令：0x01 0x03 0x00 0x00 0x00 0x0A **0xC5 0xCD**

从机返回应答: 0x01 0x03 0x14 0x00 0x01 0x00 0x60 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
0x00 0x01 0x01 0xF4 0x00 0x00 0x00 0x64 0x00 0xC8 0x5F 0x8F (下划线为读取到的 10 个寄存器值)

主机发送指令: 0x01 0x04 0x00 0x00 0x00 0x0A **0x70 0x0D**

从机返回应答: 0x01 0x04 0x14 0x00 0x01 0x00 0x60 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
0x00 0x01 0x01 0xF4 0x00 0x00 0x00 0x14 0x14 0xC8 0xB7 0x62 (下划线为读取到的 10 个寄存器值)

读取多个连续寄存器时, 单次读取不要超过 64 个寄存器, 不要试图读取不存在的寄存器(地址大于 63 的寄存器)。

(2) 06 (0x06) 指令码: 修改单个寄存器的值, 指令格式如下

指令数据帧结构

地址码	功能码 0x06	寄存器地址	寄存器值	CRC 校验
1 字节	1 字节	2 字节	2 字节	2 字节

返回数据帧结构

地址码	功能码 0x06	寄存器地址	寄存器值	CRC 校验
1 字节	1 字节	2 字节	2 字节	2 字节

例: 将地址为 0x01 的模块中的寄存器 8 的值修改为 100

主机发送指令: 0x01 0x06 0x00 0x08 0x00 0x64 **0x09 0xE3**

从机返回应答: 0x01 0x06 0x00 0x08 0x00 0x64 **0x09 0xE3**

(3) 16 (0x10) 指令码: 修改连续的多个寄存器的值, 指令格式如下

指令数据帧结构

地址码	功能码 0x10	起始地址	寄存器数量	字节数	寄存器值	CRC 校验
1 字节	1 字节	2 字节	2 字节	1 字节	n 字节	2 字节

返回数据帧结构

地址码	功能码 0x06	起始地址	寄存器数量	CRC 校验
1 字节	1 字节	2 字节	2 字节	2 字节

例: 修改地址为 0x01 的模块中 0~31 寄存器的值

主机发送指令 (16 进制指令): 01 10 00 00 00 20 40 00 01 00 60 00 00 00 03 00 00
00 01 01 F4 00 00 00 C8 C8 C8 00 01 82 35 00 05 03 E8 00 A0 05 DC 06 40 00 05 00 64
00 00 00 0A 00 0A 00 04 01 77 03 15 00 00 00 00 03 E8 00 01 00 00 00 00 00 00 **A3 70**
 (下划线数据为 32 个寄存器值)

从机返回应答: 0x01 0x10 0x00 0x00 0x00 0x20 **0xXX 0xXX**

VMXXX 的 UART 接收缓存为 80 字节, 向模块发送多寄存器写指令时, 单帧指令长度不要超

限。

(二) AABB 通讯协议

AABB 通讯协议是一种非标准自定义协议，相较于 MODBUS 通讯协议，结构更简单，指令生成方法更容易，便于进行快速测试。AABB 通讯协议支持单寄存器读写两种指令。

(1) 读取单个寄存器

指令数据帧结构

指令头 0xAA 0xBB	地址码	寄存器地址	和校验
2 字节	1 字节	1 字节	1 字节

返回数据帧结构

指令头 0xAA 0xBB	地址码	寄存器地址	寄存器值	和校验
2 字节	1 字节	1 字节	2 字节	1 字节

指令头：固定为 16 进制 AABB

地址码：VMXX 模块的地址（1~255，其中地址 255 为通用地址，详见后续“通用模块地址”说明）

寄存器地址：要访问的寄存器地址（0~63），寄存器地址字节最高位是读写标志位，为 0 时表示读寄存器，为 1 时表示写寄存器。

和校验：之前所有数据之和，0xAA+0xBB+地址码+寄存器地址，校验和超过 255 时，仅使用低字节。如下例中，校验和=0xAA+0xBB+0x01+0x08=0x016E，则只使用 0x6E 作为最终和校验码。

例：读取地址为 0x01 的模块寄存器值，寄存器地址为 8

主机发送指令：0xAA 0xBB 0x01 0x08 **0x6E**

从机返回应答：0xAA 0xBB 0x01 0x08 0x00 0x60 **0xCE**

(2) 修改单个寄存器

指令数据帧结构

指令头 0xAA 0xBB	地址码	寄存器地址 0x80	寄存器值	和校验
2 字节	1 字节	1 字节	2 字节	1 字节

写寄存器指令中，寄存器地址字节的最高位应为 1，即地址值与 0x80 做“或”运算。

返回数据帧结构

指令头 0xAA 0xBB	地址码	寄存器地址	寄存器值	和校验
2 字节	1 字节	1 字节	2 字节	1 字节

例：修改地址为 0x01 的模块寄存器值，寄存器地址为 8，修改值为 100

主机发送指令：0xAA 0xBB 0x01 0x88 0x00 0x64 **0x52**

从机返回应答：0xAA 0xBB 0x01 0x08 0x00 0x64 **0xD2**

(3) 通用模块地址

AABB 通讯协议支持模块通用地址，无论模块的当前地址为何值，使用 0xFF 作为地址对模块发送读写指令，均可得到模块正确应答。

例：使用通用地址，读取任一模块的寄存器 8

主机发送指令：0xAA 0xBB 0xFF 0x08 **0x6C**

从机返回应答：0xAA 0xBB 0x01 0x08 0x00 0xC8 **0x36**

注：当总线上连接有多个模块时（通常为 RS485 总线），使用通用地址时总线上所有模块均会响应指令，导致指令无法正常使用。

注：严禁在连接有多个 VM 模块的总线中使用通用地址修改模块地址。

(4) 特殊模块地址

模块地址保存于寄存器 ADDR.[7:0]，取值范围为 1~255，这些地址中，255 在 AABB 协议中作为通用地址使用，地址 128 (0x80) 用于特殊用途，故此对模块地址进行修改时可使用的地址有：1~127、129~254，共 253 个。

模块地址寄存器 (0x00)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8			暂未定义	0
bit7:0		1~254	模块地址	1

(三) 校验码算法

无论是向模块发送指令还是接收模块返回的答应数据，均应严格进行数据校验。极少情况下，模块返回的答应数据会存在错误，通过数据帧的校验码验证可避免读取到错误的数

(1) CRC16-MODBUS 算法

```
unsigned int crc16(unsigned char *dat, unsigned int len)
{
    unsigned int crc=0xffff;
    unsigned char i;

    while(len!=0)
    {
        crc^=*dat;
        for(i=0;i<8;i++)
        {
            if((crc&0x0001)==0)
                crc=crc>>1;
            else
            {
                crc=crc>>1;
                crc^=0xa001;
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    len-=1;
    dat++;
}
return crc;
}
    
```

(2) 和校验算法

```

unsigned char AddCheck(unsigned char *dat, unsigned char count)
{
    unsigned char i, Add=0;
    for (i=0; i<count; i++)
        Add+=dat[i];
    return Add;
}
    
```

(四) \$字符串指令集

\$字符串指令集使用更加易于手工操作的字符串做为控制指令，方便对模块进行快捷的功能测试与演示。字符串指令集见下表。

指令符	功能描述	参数说明
\$GETP=A	读取寄存器值	A: 寄存器地址
\$SETP=A, B	修改寄存器值	A: 寄存器地址, B: 寄存器值
\$SAVE	保存参数	
\$MSFR=C	单次测量, 返回频率	C: 测量次数
\$MSFT=C	单次测量, 返回频率和温度	详见“3.9.2 单次测量”
\$RSTP	恢复出厂参数	详见“3.3 节 恢复出厂参数”
\$STFC	设置出厂参数	
\$STDF	恢复默认参数	
注：字符串指令必须以回车结尾		

3.4.2 通讯协议 (IIC)

IIC 通讯协议本身即是基于设备地址和寄存器的物理层通讯协议，VMXXX 使用 IIC 接口对传感器的访问，请遵循前述硬件接口时序及协议说明即可。

IIC 访问时使用与 UART 相同的寄存器地址，地址定义请详见“3.5 寄存器概述”。需要注意的是寄存器的类型为“字”，占用 2 字节，在使用 IIC 读写寄存器时，读取和写入的字节数必须为偶数。

IIC 中的 STOP 信号是不可省略的，若省略则当次访问不会生效。

向寄存器写操作时，在每次发送 STOP 后应延时 10ms 后再发起下次访问。

通过 IIC 修改单个寄存器后会立即保存，而连续寄存器的修改不会自动保存(仅当时生效)，

下次上电自动恢复，若要保存所有寄存器的当前值，需要向 FUN 寄存器写入功能码 0x0C（详见“7.1 功能码汇总”）。

IIC 为同步串行接口，在 IIC 总线中作为从设备的 VMXXX 无法主动输出任何数据，本手册中所述的与自动上传有关的特性均是指 UART 接口。

3.4.3 主动上传测量数据（UART）

默认情况下 VMXXX 模块总是以从机身份与主机完成数据交互，在这种主从结构中，VMXXX 从不主动上传数据，可通过修改自动上传寄存器（ATSD_SEL）来实现模块主动输出测量数据功能，ATSD_SEL 寄存器的每 1 位对应了一种数据类型，见下表。

自动上传寄存器 ATSD_SEL (0x07)

位	符号	值	描述	默认值
bit15		0/1	系统运行错误码，数据前缀“\$ER”	0
bit14		0/1	传感器线圈电阻值，数据前缀“\$RE”	0
bit13		0/1	样本质量，数据前缀“\$QU”	0
bit12		0/1	频率值，数据前缀“\$FR”	0
bit11		0/1	频模值，数据前缀“\$FM”	0
bit10		0/1	温度值，数据前缀“\$TE”	0
bit9		0/1	输入电压/ADC01，数据前缀“\$IV”	0
bit8		0/1	激励电压，数据前缀“\$SV”	0
bit7		0/1	当前扫频频率值，数据前缀“\$SF”	0
bit6		0/1	暂未定义功能	0
bit5		0/1	傅里叶变换 FFT 数据	0
bit4		0/1	暂未定义功能	0
bit3		0/1	暂未定义功能	0
bit2		0/1	复合信息	0
bit1		0/1	采样数据，数据前缀“\$TS”“\$TM”	0
bit0		0/1	实时信号幅值数据，数据前缀“\$AV”	0

注：主动上传数据破坏了主从通讯机制，为避免主动上传数据与响应主机指令的应答数据同时发送导致的冲突，当收到主机指令后会暂停自动发送 5 秒。

当某位被设置为 1 时，模块通过 UART 接口主动上传数据。除实时信号幅值数据外，其它数据均在每次完成传感器频率计算及温度采集后自动以字符串形式上传。自动上传的数据以“\$”开始，字符串结构为：\$aa=bbbb-[cc]-[dd]\r\n

\$：固定符号

aa：数据类型标识，见上表说明

=：固定符号

bbbb：数据值

cc：数据单位，无单位数据为空

dd：附加信息，当为信号实时幅值数据时，dd 表示数据索引值

\r\n：回车符

实时信号幅值主动上传

自动上传的实时幅值数据发送时间间隔为 100ms，以大约 10Hz 的速率主动输出信号的实时幅值数据（若 ATSD_SEL.[0]为 1）。

数据格式（字符串）：`$AV=AAA%BBBB\r\n`

`$AV`：固定标识-实时信号幅值

`AAA%`：信号幅值百分比值，数字部分固定为 3 位，不足时补 0。

`BBBB`：信号幅值索引号（值），每次开始测量时归零，最大 9999。

信号幅值数据举例

`$AV=65%07\r\n$AV=65%08\r\n$AV=60%09\r\n$AV=.....$AV=23%230\r\n`

注：实时幅值主动上传功能开启时，尽量不要再向模块发送其它指令（关闭自动上传指令除外），严禁调用较为耗时的功能（如：读取版本信息、读取参数、保存参数等）。

采样数据集主动上传

采样数据主动上传与传感器频率值计算过程同时发生（若 ATSD_SEL[1]为 1），使用一帧数据连续输出采样到的所有原始值，之间用“|”分隔。

采样数据举例

`$TM=000001\r\n` 数据倍值，以下所有数据*倍值=真实值

`$TS=xxxx.x|xxxx.x|.....\r\n`

FFT 数据主动上传

FFT 数据主动上传在传感器测量完成后发生（若 ATSD_SEL[5]为 1），使用一帧数据连续输出 FFT 的所有幅值数据。数据格式说明如下：

字节	内容描述	内容
0~6	固定前缀	字符串“SIG_FFT”
7	通道号	数字的 ASCII 码
8~11	FFT 分辨率	浮点数
12~13	幅值数据个数	16 位整数
14~...	幅值数据序列	每 2 个字节为 1 个 16 位整数

举例：详见“FFT 数据抓包与解析.pdf”

其它数据主动上传

除上述自动上传数据外，其它自动上传数据均在传感器频率值计算完成后输出（若 ATSD_SEL.[x]为 1）。

举例

`$FR=1234.5Hz\r\n` 当前传感器频率值为 1234.5Hz

`$FM=15239.9\r\n` 当前传感器频模值为 15239.9，无单位

\$TE=28.6°C\r\n 当前温度值为 28.6°C

自动上传与主从协议冲突解决

当设置了自动上传功能，又需要向模块发送主从结构的 MODBUS 或 ABB 协议指令时，模块采用主从协议优先的原则，在自动发送过程中，若收到了主从指令，则自动上传立即暂停 5 秒钟。这样导致的一个现象是，当向模块发送了修改自动发送寄存器后（主从协议指令），并不会立即收到模块的自动上传数据，而是在约 5 秒后才会收到。

3.5 寄存器概述（汇总）

VMXX 模块的工作过程完全依赖于寄存器（参数）值，寄存器是 16 位二进制表示的整数，分为可读可写寄存器与只读寄存器，可读写寄存器又分为掉电保存和上电复位两种类型，可以通过 UART 或 IIC 数字接口访问这些寄存器来修改模块各种参数，实现控制模块、与模块交互的目的。

以下汇总表列出了所有寄存器及概要功能描述，更加详细的寄存器使用会在后续功能介绍时一一具体说明。

不同的固件版本对寄存器的定义可能有微小不同，操作寄存器前应确认固件版本是否与手册对应。

寄存器总表（固件版本 3.50）

地址	符号	读写	名称	默认值	单位
0x00(0)	ADDR	读/写/存	模块地址（UART）	0x0001	
0x01(1)	BAUD ^①	读/写/存	通讯速率（UART）	0x0060	100bps
0x02(2)	AUX	读/写/存	辅助功能寄存器	0x0018	
0x03(3)	SYS_FUN	读/写/复	系统功能寄存器	0x0000	
0x04(4)	预留		暂未定义功能	0x0000	
0x05(5)	WKMOD	读/写/存	工作模式	0x0001	
0x06(6)	MM_INTE	读/写/存	连续测量时间间隔	0x01F4	ms
0x07(7)	ATSD_SEL	读/写/复	自动上传	0x0000	
0x08(8)	RD_INTE	读/写/存	延时采样	0x0064	ms
0x09(9)	RD_COUNT	读/写/存	期望采样数量	0x14C8	个
0x0A(10)	EX_METH	读/写/存	激励方法	0x0064	
0x0B(11)	预留		暂未定义功能	0x0000	
0x0C(12)	预留		暂未定义功能	0x0000	
0x0D(13)	HP_DUR	读/写/存	泵压时长	0x03E8	ms
0x0E(14)	HP_EXP	读/写/存	期望电压	0x8096	V
0x0F(15)	FS_FMIN	读/写/存	扫频下限	0x012C	Hz
0x10(16)	FS_FMAX	读/写/存	扫频上限	0x1388	Hz
0x11(17)	FS_STEP	读/写/存	扫频步进	0x0005	Hz
0x12(18)	FS_SCNT	读/写/存	扫频信号周期	0xC80A	个
0x13(19)	FIT_TYPE	读/写/存	软件滤波方法	0x0000	
0x14(20)	FIT_COUNT	读/写/存	滤波样本数量	0x000A	个
0x15(21)	CAL_PAR1	读/写/存	粗差剔除参数因子	0x0014	

0x16 (22)	CAL_PAR2	读/写/存	优质样本数限制因子	0x0004	
0x17 (23)	AMP ^①	读/写/存	信号放大倍数	0x0001	
0x18 (24)	FSG_TH	读/写/存	反馈渐进频率上下限	0x1414	Hz
0x19 (25)	DAO_TH	读/写/存	模拟输出频率上下限	0x2100	百 Hz
0x1A (26)	TEMP_PAR1 ^①	读/写/存	温度计算参数 1	0x0F6E	
0x1B (27)	TEMP_PAR2 ^①	读/写/存	温度计算参数 2	0x0064	0.01
0x1C (28)	TEMP_EX ^①	读/写/存	温度传感器设置	0x0202	
0x1D (29)	EXS_TH	读/写/存	信号质量限值	0x0046	%
0x1E (30)	SIG_TH	读/写/存	信号幅值上下限	0x6400	%, %
0x1F (31)	CRC	只读	参数 CRC 校验		
0x20 (32)	SYS_STA	读/写/复	系统状态寄存器	0	
0x21 (33)	SFV	只读	当前扫频频率		Hz
0x22 (34)	SMP_QUA	只读	优质样本质量评定值		%
0x23 (35)	S_FRQ	只读	传感器频率值		0.1Hz
0x24 (36)	F_REQM	只读	频率模数高 16 位		100Hz ²
0x25 (37)			频率模数低 16 位		
0x26 (38)	预留	只读	暂未定义功能		
0x27 (39)	S_RES	只读	线圈电阻		Ω
0x28 (40)	V_SEN	只读	实时激励电压		0.01V
0x29 (41)	TEMP	只读	温度值		0.1℃
0x2A (42)	SMP_STD	只读	样本标准差		Hz
0x2B (43)	HQ_COUNT	只读	“优质”样本数量		个
0x2C (44)	SIG_VAL	只读	信号幅值		%, %
0x2D (45)					%, %
0x2E (46)	V_POW	只读	VDD 电压值		mV
0x2F (47)	NOISE_FRQ	只读	底噪频率		0.1Hz
0x30 (48)	NOISE_AMP	只读	噪声强度		dBm
0x31 (49)	CH_STA	只读	多通道测量模块专用 通道状态和测量完成的 频率值（温度值） ③		
0x32 (50)	CH_NUM	只读			
0x33 (51)	CH01	只读			
0x34 (52)	CH02	只读			
0x35 (53)	CH03	只读			
0x36 (54)	CH04	只读			
0x37 (55)	CH05	只读			
0x38 (56)	CH06	只读			
0x39 (57)	CH07	只读			
0x3A (58)	CH08	只读			
0x3B (59)	18B20_ID	只读	18B20_ID (63~48bit)		
0x3C (60)		只读	18B20_ID (47~32bit)		
0x3D (61)		只读	18B20_ID (31~16bit)		
0x3E (62)		只读	18B20_ID (15~0bit)		
0x51 (81)	CH01_HQ	只读	通道 1 信号质量 ^④		%%
...	...	只读	通道 n 信号质量		%%

0x58 (88)	CH08_HQ	只读	通道 8 信号质量		%%
<p>读：可读取；写：可修改；存：掉电不遗失；复：上电后复位为默认值 不要修改预留寄存器（位）的上电初始值。</p> <p>①：这些寄存器（参数）在下次启动时生效</p> <p>②：实际值为 0x8082，即：启用期望电压功能，期望电压为 120V</p> <p>③：寄存器 CH_STA. [7:0]1~8 通道线圈接入状态, CH_STA. [15:8]表示每通道的频率值是否来自 SFC 估值。</p> <p>④：高 8 位字节为“优质样本占全部样本的百分比值”，低 8 位字节为“优质样本评估质量”。</p>					

3.6 模块地址操作（UART）

将地址为 0x01 的模块地址修改为 0x02

3.6.1 修改已知设备地址的地址

模块地址 0x01

MODBUS 指令：0x01 0x06 0x00 0x00 0x00 0x02 **0x08 0x0B**

AABB 指令：0xAA 0xBB 0x01 0x80 0x00 0x02 **0xE8**

3.6.2 读取未知设备地址的地址

未知地址的模块仅可使用 AABB 协议的通用地址 0xFF

AABB 指令：0xAA 0xBB 0xFF 0x00 **0x64**

3.6.3 修改未知设备地址的地址

AABB 指令：0xAA 0xBB 0xFF 0x80 0x00 0x02 **0xE6**

修改模块地址后,新的地址立即生效,收到的应答信息中的模块地址码部分是新的地址值。后续的指令应使用新的地址对模块进行操作。

3.7 通讯速率和软件握手（UART）

3.7.1 通讯速率

VMXXX 的 UART 接口支持 9600~460800bps 通讯速率,通过设置寄存器 BAUD. [13:0]来改变通讯速率,BAUD. [13:0]的单位为“每秒百位”或“百 bps”。寄存器取值与对应的通讯速率如下表。

UART 通讯速率寄存器 BAUD (0x01)

位	符号	值	描述		默认值
bit15			是否启用软件握手协议功能		0
bit14			是否忽略“测量正忙”标志而立即响应指令		0
bit13:0		值	速率	值	速率
		96	9600bps (默认)	768	76800bps (NR)
		128	12800bps	1152	115200bps
		144	14400bps	1280	128000bps
		192	19200bps	1536	153600bps
		288	28800bps (NR)	2304	230400bps
		384	38400bps (NR)	2560	256000bps
		560	56000bps (NR)	4608	460800bps
		576	57600bps (NR)		
通讯速率在下次启动时生效,非法的通讯速率值会引起参数恢复出厂值。NR 为不推荐					

在条件允许情况下，尽量使用较高的通讯速率，缩短数据传输时间。

注：关于 UART 通讯的其它参数（校验位、数据位、停止位），详见 3.22 辅助功能寄存器说明。

3.7.2 软件握手

模块开始一次测量时，从 UART 接口主动发送 XOFF 信号（0x13），表示模块开始忙于测量数据，当测量完成时主动发送 XON 信号（0x11），表示模块本次测量完成，正处于空闲状态。

在开启模块的软件握手功能后，若需要向模块发送指令，建议 UART 的通讯流程为：首先等待模块返回 XON 信号（0x11），当收到 XON 信号或等待超时后立即向模块发送指令。

注：在一主多从的总线应用中，严禁开启模块的软件握手功能。

3.7.3 修改已知设备地址的通讯速率

模块地址 0x01，将波特率修改为 115200bps

MODBUS 指令：0x01 0x06 0x00 0x01 0x04 0x80 **0xDB 0x6A**

AABB 指令：0xAA 0xBB 0x01 0x81 0x04 0x80 **0x6B**

3.7.4 读取未知设备地址的通讯速率

未知地址的模块仅可使用 AABB 协议的通用地址 0xFF

AABB 指令：0xAA 0xBB 0xFF 0x01 **0x65**

模块返回：0xAA 0xBB 0x01 0x01 0x00 0x60 **0xC7**

3.7.5 修改未知设备地址的通讯速率

AABB 指令：0xAA 0xBB 0xFF 0x81 0x04 **0x80 0x69**

修改 UART 通讯速率后，新的值会在下次启动时生效，未重启之前模块会继续使用修改前的通讯速率。重启后应使用新的通讯速率与模块进行通讯。

除上述模块地址、通讯速率寄存器外，其它所有寄存器的访问方法均相同，不再一一举例。

3.8 系统状态

3.8.1 工作状态

VMXX 模块有 3 种工作状态，分别为空闲状态、忙状态、休眠状态，模块自动完成空闲和忙两种状态的切换，当需要使模块进入休眠模式时，需要向系统寄存器 SYS_FUN 发送指令码 0x0006 或者字符串指令 \$SLEP\r\n（详见“3.21.6 低功耗休眠”）。

忙状态：模块正在进行传感器激励或正在采样传感器返回的频率数据，在忙状态下，管脚 RTS 输出高电平，在此期间应尽量减少频繁的通过数字接口对模块进行访问。

空闲状态：模块“非忙”状态均可视为“空闲”。

休眠状态：模块内核休眠以实现较低的电流消耗，数字接口可将模块从休眠状态唤醒。

注：休眠后，模块检测到数字接口变化时自动唤醒，但当次的数据接收会不完整，模块仅在被唤醒后才能正常处理数字接口的指令。

3.8.2 运行状态

寄存器 SYS_STA 内包含了 VMXXX 运行过程中的状态信息，通过读取此寄存器可以获取模块当前的工作状态以及是否发生了某种错误。系统状态寄存器仅在条件满足时将某些特定位置 1，在读取并获取状态寄存器后应向其写入 0 来清除状态标志。

运行状态寄存器 SYS_STA (0x20)

位	符号	值	描述	自动清除	默认值
Bit15		0/1	未检测到有效线圈	是	0
bit14		0/1	温度传感器异常	是	0
bit13		0/1	是否检测到了电子标签		0
bit12:10		0	预留，暂未定义功能		
Bit9		0/1	VSEN 电压低	是	
bit8		0/1	SFC 频率已填充至 S_FRQ	是	0
bit7		0/1	预留		
Bit6		0/1	扫频超时	否	0
bit5		0/1	频率溢出	是	0
bit4		0/1	测量完成	否	0
bit3		0/1	信号质量低	是	0
bit2		0/1	采样超时	是	0
bit1		0/1	UART 接收溢出	否	0
bit0		0/1	指令校验错误	否	0

指令校验错误：收到错误的指令标志。

UART 溢出：UART 收到的单帧数据超出了缓存大小。

采样超时：未完成指定数量的信号采集且采样过程超过了预定时长。

信号质量低：信号质量未达到预期要求（寄存器 EXS_TH）。

测量完成：此位为 1 表示已完成一次测量，可以通过读取频率寄存器 S_FRQ 获得本次测量的频率结果。当为连续测量时，每次测量完成均会置位，当为单次测量时，仅当完成指定次数的测量后才会置位，用以表示单次测量完成（详见“3.9.2 单次测量模式”）。

频率溢出：测量到的传感器频率超过了 6553.5Hz，则此时真实频率值=测量值+6553.6Hz，详见“3.13.4 频率计算与质量评定中实时频率值寄存器 S_FRQ”。

VSEN 电压低：当检测到 VSEN 低于 3V 时会放弃测量。

硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkooo.com>

技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [43/109]

3.9 测量模式

模块有连续测量和单次测量两种测量模式，通过向测量模式寄存器 WKMOD.[0]写入 1 使模块工作于连续测量工作模式，写入 0 使模块工作于单次测量工作模式。WKMOD.[15]用来设置是否在模块“忙”时禁用数字接口，当数字接口被禁用期间，模块不会收到任何经由数字接口传输的数据或指令，当数字接口不被禁用时，模块内部维持传感器测量优先的逻辑，收到的指令会在模块完成当次测量后得到响应。

工作模式寄存器 WKMOD (0x05)

位	符号	值	描述	默认值
bit15		数字接口工作策略		0
		0	从不关闭数字接口	
		1	忙时关闭数字接口	
bit14 ^①		0	修改参数时自动保存	0
		1	修改参数时不保存（下次上电恢复）	
bit13		0	是否按照通道顺序依次回应实时数据	0
bit12		0	是否测量电子标签	0
bit11:4		0	预留	0
bit3:1		频模寄存器显示内容设置		0
		0	显示频率模数	
		1	显示高分辨率频率值，分辨率：0.01Hz	
		2~7	暂未定义功能	
bit0		工作模式设置		1
		0	将模块切换至单次测量模式	
		1	将模块切换至连续测量模式	

注 1: 当需要频繁的修改模块参数时, 建议此位设置为 1, 以减少写操作对 EEPROM 寿命的影响。

3.9.1 连续测量模式

在连续测量模式下，模块每间隔一定的时间自动进行一次传感器激励和数据读取操作，相邻两次测量的时间间隔由寄存器 MM_INTE 进行设置，单位为毫秒。

连续测量时间间隔寄存器 MM_INTE (0x06)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0		5~60000	连续测量时间间隔，单位：mS	500
		60001~65535	时间间隔=(此值-60000)*60000mS	

无论是连续测量模式还是单次测量模式，在每次向传感器发送激励信号之前均会等待 MM_INTE 毫秒，所以，连续测量时间间隔也称为“激励前等待时长”。

3.9.2 单次测量模式

单次测量是指模块一直处于“空闲”状态，当收到单次测量指令后，立即启动单次测量过程的工作流程。在单次测量模式，每隔 3 秒在 RTS 管脚输出一短促高脉冲（10ms）表示当前处于单次工作模式。有四类指令可以触发一次单次测量。

(1) 使用专用\$指令集指令

通过 UART 接口向模块发送单次测量指令\$MSFR=x 或者\$MSFT=x。

例：在单次测量模式下

向模块发送单次测量指令：\$MSFR=3\r\n

模块开始完成 3 次测量，当完成后输出频率测量结果数据：\$FR=1343.3Hz\r\n

向模块发送单次测量指令：\$MSFT=3\r\n

模块开始完成 3 次测量，当完成后输出频率和温度测量结果数据：

\$FR=1343.3Hz\t\$TE=30.2' C\r\n

(2) 使用专用单次测量指令 0xAAAA 或 0xAAAB

通过 UART 接口向模块发送特定的单次测量指令，模块测量完成后主动上传频率和温度测量结果，指令格式为：

指令数据帧结构

指令头 0xAA 0xA?	地址码	功能码	和校验
2 字节	1 字节	1 字节	1 字节

返回数据帧结构

指令头 0xAA 0xA?	地址码	功能码	频率值/温度值	和校验
2 字节	1 字节	1 字节	2/4 字节	1 字节

指令头：固定为 16 进制 AAAA 或者 AAAB 两个字节，AAAA 指令仅返回频率值，AAAB 指令返回频率和温度值。

功能码：0x1x、0x3x 或 0x7x，末尾“x”表示进行几次激励和读数操作。0x1x 功能码表示直接进行 x 次测量读数，0x3x 表示测量前清除历史数据（历史数据会影响到数据滤波，详见“3.14 数据滤波”），0x7x 表示测量过程中检测到传感器信号质量合格或者达到 x 次立即停止测量过程。

当使用 AAAA 指令进行单次频率测量时，在指定的 x 次测量完成后会主动输出频率值（上述“返回数据帧”），若当前设置了滤波功能则输出频率值为 x 次的滤波值，若未设置滤波功能，则输出频率值为最后一次测量的实时频率值。频率值用 2 个字节表示，高字节在前，单位为 0.1Hz。

当使用 AAAB 指令进行单次频率测量时，在指定的 x 次测量完成后会主动输出频率值和温度值，若当前设置了滤波功能则输出值为 x 次的滤波值，若未设置滤波功能，则输出频率和温度

硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkooo.com>

技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [45/109]

值为最后一次测量的实时值。频率值用 2 个字节表示、温度值用 2 个字节表示。

单次测量时，测量次数尽量 ≥ 3 次，且推荐使用高压激励方法、开启历史数据滤波功能。若采用扫频法，可能首次测量失败，影响最终结果计算（若使用了历史数据滤波功能）。

例：在单次测量模式下

向模块发送单次测量指令：AA AA 01 13 68

模块开始完成 3 次测量，当完成后输出频率测量结果数据：

单通道模块返回：AA AA 01 13 **34 3A** D6，频率值为 $(0x34*256+0x3A)/10=1337.0\text{Hz}$ 。

4 通道模块返回：

8 通道模块返回：

向模块发送单次测量指令：AA AB 01 13 69

模块开始完成 3 次测量，当完成后输出频率和温度测量结果数据：

单通道模块返回：AA AB 01 13 **34 3A 00 F5** CC，频率值 1337.0Hz，温度值 24.5℃。

4 通道模块返回：

8 通道模块返回：

（3）向系统功能寄存器写入单次测量指令码

使用数字接口，任意一种通讯协议，向系统功能寄存器 SYS_FUN 写入 0x1x、0x3x 或者 0x7x 指令码，触发一次单次测量。使用这种方法时，模块遵循主从通讯机制，在完成测量后不会主动上传数据，可以通过读取系统状态寄存器 SYS_STA. [4]来判断当前是否已经完成了本次单次测量，并在检测到完成时读取频率寄存器 S_FRQ 获得本次测量的频率结果。

例：在单次测量模式下使用 MODBUS 协议

向模块发送单次测量指令：01 06 00 03 00 13 38 07

模块返回 MODBUS 应答数据：01 06 00 03 00 13 38 07

模块开始完成 3 次测量，当完成后不输出任何信息，需要读取 SYS_STA. [4]来判断测量是否完成。

（4）直接读取频率寄存器 S_FRQ

在单次测量模式下使用 MODBUS 或 AABB 通讯协议读取频率寄存器 S_FRQ，VM 模块执行 0x73 指令码，并根据使用的通讯协议返回寄存器值。

单次测量指令举例（模块地址为 0x01）

单次测量指令	模块应答	备注说明
AA AA 01 13 68	AA AA 01 13 35 B3 50	进行 3 次测量并返回频率值
AA AA 01 33 88	AA AA 01 33 35 B4 71	清空历史频率值后进行 3 次测量并

		返回频率值。
AA AA 01 73 C8	AA AA 01 73 <i>35 B4</i> B1	检测到合格的返回信号后立即停止测量并返回频率值（最多测量 3 次）。
01 06 00 03 00 13 38 07	01 06 00 03 00 13 38 07 ^①	进行 3 次测量并将频率值保存于频率寄存器。
01 06 00 03 00 33 39 DF	01 06 00 03 00 33 39 DF ^①	清空历史频率值后进行 3 次测量并将频率值保存于频率寄存器。
01 06 00 03 00 73 38 2F	01 06 00 03 00 73 38 2F ^①	检测到合格的返回信号后立即停止测量并将频率值保存于频率寄存器（最多测量 3 次）。
AA BB 01 83 00 13 FC	AA BB 01 03 00 13 7C ^①	
AA BB 01 83 00 33 1C	AA BB 01 03 00 33 9C ^①	
AA BB 01 83 00 73 5C	AA BB 01 03 00 73 DC ^①	
01 03 00 23 00 01 75 C0	01 03 02 <i>35 B0</i> AE A0	检测到合格的返回信号后立即停止测量并返回频率值（最多测量 3 次）。
AA BB 01 23 89	AA BB 01 23 <i>35 B0</i> 6E	
注 1：此条数据是模块对修改系统功能寄存器指令的标准应答（非频率值）。 斜体字为模块返回的频率值。		

3.10 振弦传感器测量流程

如下图所示，VMXXX 的测量过程分为激励、采样、计算三个大的步骤。在连续测量模式，计算完成后立即重新开始一次新的测量过程，而在单次测量模式时，仅会在收到单次测量指令后才会触发指定次数的测量过程，测量完成后进入待机等待状态，等待指令。

激励：采用高压脉冲或低压扫频方法向传感器发送激励信号，使传感器钢弦发生自振。本模块支持八种激励方法。

采样：采集多组传感器钢弦自振产生的正弦波信号。

计算：将采集到的传感器信号进行质量评定、平差运算，计算得到传感器钢弦振动频率值。



振弦传感器测量流程

3.11 传感器接入检测

模块可实时检测传感器线圈的接入状态，如前所述，当未检测到传感器接入时，RTS 管脚输出约 10Hz 的周期电平信号（高电平 50ms，低电平 50ms）。

传感器是否接入的判断标准是传感器线圈电阻的值，线圈电阻值保存于寄存器 S_RES 中。当检测到 SEN+和 SEN-管脚之间电阻值位于 $50\Omega \sim 5k\Omega$ 之间时，认为传感器已接入；当电阻值小于 50Ω 时，应检查 SEN+和 SEN-是否短路；当电阻值为 $5k\Omega \sim 30k\Omega$ 时应检查传感器接入是否接触良好；当电阻值为 $30k\Omega$ 以上时，基本可以判断为未连接传感器。

默认情况下，仅当检测到有效的传感器接入后，模块才会向传感器发送激励信号，并完成振弦传感器频率读取工作。寄存器 EX_METH.[4]定义了是否忽略传感器接入检测而强制发送激励信号功能，详见后续激励方法中 EX_METH 寄存器说明。

线圈电阻值寄存器 (0x27)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0		0~65535	传感器线圈电阻，单位：欧姆	0

3.12 传感器激励方法

通过修改寄存器 EX_METH.[3:0]来完成激励方法的选择，EX_METH[4]用于设置是否忽略传感器的接入检测而强制发送激励信号。

激励方法寄存器 EX_METH (0x0A)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:7		0	预留，不可写入非 0 数据	0
bit6:5		第一激励法定义（仅“反馈激励法”时有效）		VM501:3 VM60x:2 VM70x:3
		0	第一激励法：高压脉冲	
		1	第一激励法：段域扫频-自定频段	
		2	第一激励法：全频段扫频法（VM6XX 默认）	
bit4		是否强制发送激励信号		0
		0	仅在检测到传感器接入后发送激励信号	
bit3:0		激励方法定义		4
		1	高压脉冲激励法	
		2		
		3		
		4	频率反馈固定频率扫频法（默认，推荐）	
		5	频率反馈渐进频率扫频法	
		6	高压脉冲+SFC 辅助	
		7	低压扫频+SFC 辅助	
8	分段渐进低压扫频法-自定频段（FMIN~FMAX）			

	9	分段渐进低压扫频法-第 1 频段 (300~1500Hz)
	10	分段渐进低压扫频法-第 2 频段 (1500~2700Hz)
	11	分段渐进低压扫频法-第 3 频段 (2700~3900Hz)
	12	分段渐进低压扫频法-第 4 频段 (3900~5100Hz)
	13	全频段扫频法 (FMIN~FMAX)

3.12.1 高压脉冲激励法

高压脉冲激励法 HPM (High Voltage Pulse Excitation Method)。向振弦传感器发送单个瞬时高压脉冲信号, 使钢弦产生自主振动的方法。在高压脉冲激励法中, 以 VSEN 为电压源, 将低电压抬升至高压 (一般 100V~200V 之间), 泵压后的高压值及向传感器释放的电量与泵压持续时长、泵压源电压等参数有关。

VMXXX 可产生 30~180V 的高压脉冲激励信号, 较高的 VSEN 电压可以获得较高的高压值。泵压时长寄存器 HP_DUR (0x0D)

位	符号	值	描述	默认值
bit15			是否智能提前终止泵压过程	0
		1	达到期望电压后立即结束泵压过程	
		0	使用固定时长完成泵压过程	
bit14:12		0	预留, 暂未定义功能	0
bit11:0		0~4095	泵压过程持续时长。单位: ms	1000

期望电压寄存器 HP_EXP (0x0E)

位	符号	值	描述	默认值
bit15			是否启用期望电压限制功能	1
		0	不启用期望电压调节功能	
		1	启用期望电压调节功能	
bit14:12		0	预留, 暂未定义功能	0
bit11:8		0~15	程控 VSEN 电压值 ^①	6
bit7:0		0~240	泵压过程中, 模块努力维持的电压值。 单位: V	150

①: 仅 VM704S 支持此程控 VSEN 参数

使用 80V~180V 的高压脉冲激励信号均能使振弦良好起振, 为不影响传感器寿命, 在满足测量需求前提下, 应尽量利用 HP_EXP 寄存器使高压激励信号维持在一个尽量低的电压值, 高电压有可能烧毁传感器线圈。

高压激励时激励电压除受到期望电压参数限制外, 根据实时线圈电阻阻值大小还会进行进一步的一定的限制

- (1) 强制激励时, 若外接线圈电阻不在正常范围内, 限制为最高 50V;
- (2) 正常连接传感器时, 线圈电阻越小时限制的电压越低;

线圈电阻	限制电压	线圈电阻	限制电压
50 Ω	75V	200 Ω	140V
100 Ω	100V	500 Ω	180V

150	120V	600	180V
-----	------	-----	------

无论是高压脉冲激励还是低压扫频激励，最近一次传感器激励时加载到传感器上的实际电压值均可通过读取寄存器 VSEN_RT 获取，单位为 0.01V。

激励电压值寄存器 VSEN_RT (0x28)

位	符号	值	描述	默认值
bit15		0	预留，暂未定义功能	0
bit14:0		0~24000	最近一次传感器激励时加载到传感器上的实际电压值。 单位：0.01V（或 10mV）	0
当未检测到传感器线圈时，VSEN_RT 的电压值为实际的 VSEN 管脚电压。				

3.12.2 低压扫频激励法

低压扫频 LSM (Low Voltage Sweeping Method) 是指使用一个与振弦传感器钢弦频率相近的周期性信号，使钢弦产生自振。低压扫频时，VSEN 电压即是扫频电压。

与低压扫频有关的寄存器有起始频率寄存器 (FS_FMIN)、终止频率寄存器 (FS_FMAX)、频率步进寄存器 (FS_STEP) 以及单步扫频信号周期数量寄存器 (FS_SCNT)。

起始频率寄存器 FS_FMIN (0x0F)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:13		0	预留，暂未定义功能	0
bit12:0		300~8000	扫频激励的起始频率值。单位：Hz	1000

终止频率寄存器 FS_FMAX (0x10)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:13		0	预留，暂未定义功能	0
bit12:0		300~8000	扫频激励的终止频率值。单位：Hz	2000

频率步进寄存器 FS_STEP (0x11)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0	预留，暂未定义功能	0
bit7:0		0~255	相邻扫频激励信号频率差。单位：Hz	5
推荐的取值为 5~20，优先设置为 5 或 10Hz				

单步扫频信号周期数量寄存器 FS_SCNT (0x12)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0~255	固定频率扫频时输出的扫频激励信号周期数。单位：个	200
bit7:0		0~255	渐进频率扫频时每步扫频激励信号输出的周期数。单位：个	10

固定频率扫频时推荐值为：50~100
 渐进频率扫频时推荐值为：5~20

当前扫频频率寄存器 SFV_RT (0x21)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:13		0	预留，暂未定义功能	0
bit12:0		0~8000	当前正在进行的扫频信号输出过程正在使用的频率值。 单位：Hz	0

此寄存器为只读，由模块刷新内容

● 全频段扫频

根据起始频率与终止频率范围，频率由低向高向传感器发送渐进的扫频激励信号，直到传感器产生共振并返回共振电流信号。在输出激励信号的过程中，激励信号的频率变化由频率步进和信号周期数量决定。

此激励方法较为耗时，若要中断扫频过程，可向系统功能寄存器 SYS_FUN 发送指令 07，立即结束当前测量过程，跳转到下次测量过程。

● 分段扫频

将 300Hz~5000Hz 分为固定的 4 段，通过激励方法寄存器指定频段范围进行扫频和拾振。在输出激励信号的过程中，激励信号的频率变化由频率步进和信号周期数量决定。

3.12.3 频率反馈激励法

频率反馈激励法 (Frequency Feedback Sweeping Method) 是指利用前述高压脉冲或者全频段扫频方法对传感器进行激励并获取传感器的振动频率，在获取到传感器的钢弦振动频率后使用这个固定的频率信号对传感器进行后续的激励。

● 频率反馈固定频率扫频法

频率反馈固定频率扫频法 FFF (Frequency Feedback Fixed Frequency Sweeping Method)。首次激励时采用预先指定的“第一激励法”，对传感器返回信号进行采样、评估、计算等操作，若信号质量达到预定值 (寄存器 EXS_TH. [7:0])，则以后的激励自动改为固定频率的低压扫频法，激励信号的频率即是最近一次计算得到的传感器频率值。在低压扫频过程中，当检测到信号质量低于预定目标时，自动切换为预先指定的“第一激励法”对传感器进行激励。以上步骤周而复始。

预定信号质量寄存器 EXS_TH (0x1D)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:12		0	预留，暂未定义功能	0
bit11:8			用哪种数据作为信号质量的评判标准	0
		0	采样评定质量值	
		1	信号幅值平均值 (推荐)	

		2	剩余优质样本百分比值	
		3	样本标准差-全部	
		4	样本标准差-优质	
bit7:0		0~100	信号质量门限值，等于或高于此值即表示信号质量达到要求。	70

注：本参数与其它相关参数配合，即可实现多条件判断规则，如：将剩余样本限制寄存器 CAL_PAR2 设置为 2，本寄存器设置为 EXS_TH=0x0050，即可实现优质样本必须大于期望样本数量的 50%，且采样评定质量必须大于 80%。

● 频率反馈渐变频率扫频法

频率反馈渐变频率扫频法 FFG (Frequency Feedback Gradual Frequency Sweeping Method)。首次激励时采用预先指定的“第一激励法”，对传感器返回信号进行采样、评估、计算等操作，若信号质量达到预定值（寄存器 EXS_TH. [7:0]），则以后的激励自动改为渐进低压扫频法，在渐进低压扫频法中，起始频率和终止频率自动设置为最近一次计算得到的传感器频率值（中心频率值）上下各 20Hz（默认值，可通过修改寄存器 FSG_TH 修改频率区间上下限）。在低压扫频过程中，当检测到信号质量低于预定目标时，自动切换为预先指定的“第一激励法”对传感器进行激励。

反馈区间频率扫频上下限 FSG_TH (0x18)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0~255	扫频频率下限距离中心频率差值，单位 Hz	20
bit7:0		0~255	扫频频率上限距离中心频率差值，单位 Hz	20

3.12. 4SFC 激励法（推荐）

SFC (Smart Frequency capture) 激励方法是利用高压或者快速全频段扫频获取采样数据特征分析得到大致的频率范围，然后使用固定低压扫频得到传感器频率的方法。

SFC 激励测频是全自动方法，与扫频参数起始频率寄存器 (FS_FMIN)、终止频率寄存器 (FS_FMAX)、频率步进寄存器 (FS_STEP) 以及单步扫频信号周期数量寄存器 (FS_SCNT) 无关。

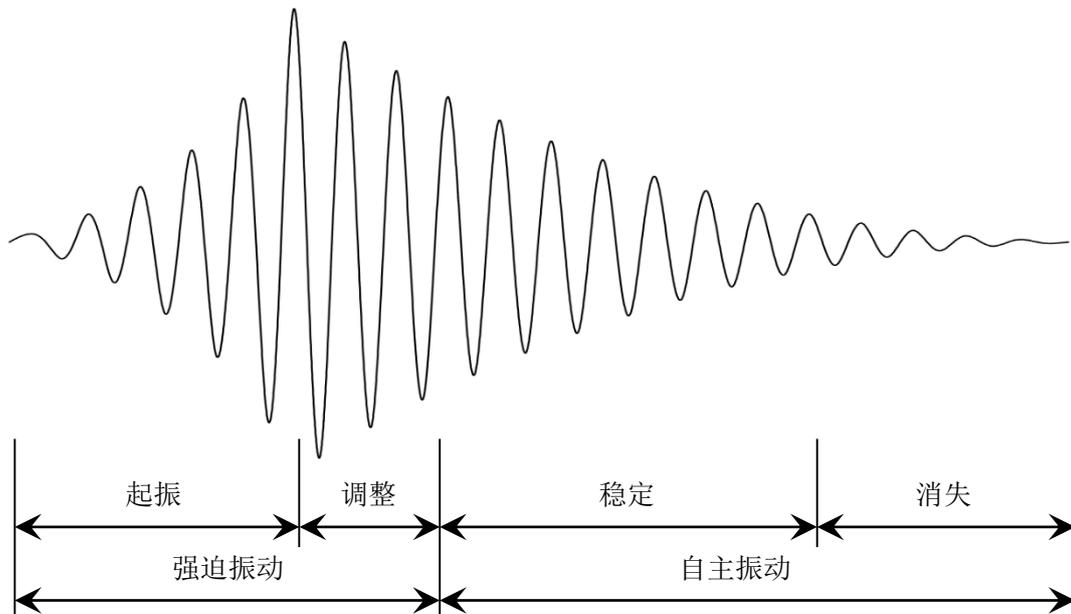
3.13 信号检测与分析计算

3.13.1 延时采样

如下图所示，振弦传感器钢弦起振后，信号强度在短时间内迅速达到最大，然后在钢弦张力及空气阻力作用下逐渐恢复静止。我们可将整个振动过程分为起振、调整、稳定、消失几个阶段，上述几个阶段中，起振和调整阶段的振动又叫做强迫振动，稳定与消失阶段合称为自主振动。

强迫振动：是指传感器的输出波形受到激振信号的影响，所输出的振动信号不是十分稳定且不能完全代表自身自振频率的振动。

自主振动：以传感器钢弦自有的振动频率进行有规律的振动（谐振）。



为了得到传感器真实的频率值，需要对自主振动期间的周期信号频率进行采样、计算。故此，当完成对传感器的激励后，需要有一段延时才开始对传感器返回信号进行采样，这个延时长度受读取延时寄存器 `RD_INTE` 的数值控制。

读取延时寄存器 `RD_INTE` 规定了激励后的延时时长以及是否由模块根据上一次测量计算得出的信号质量来调整本次延时长。 `RD_INTE`. [11:0] 中的数值决定激励信号发送后延时多长时间再开始传感器返回信号采样，时长的单位由 `RD_INTE`. [14] 来定义，可以是“毫秒值”或“信号个数值”。 `RD_INTE`. [15] 用于设置是否采用智能延时时长调整功能，当 `RD_INTE`. [15] 为 1 时，若上次测量信号质量未达到预计要求时，模块自动调整本次延时寄存器的延时时长值为设置值的 1/2 时长。

读取延时寄存器 `RD_INTE` (0x08)

位	符号	值	描述	默认值
bit15		读取延时方法设置		0
		0	一直使用固定的延时时长	
		1	根据上一次测量返回信号质量，动态调整本次延时时长	
bit14		延时单位		0
		0	延时单位为：mS	
		1	延时单位为：个（返回信号周期个数）	
bit13:12		0	预留，暂未定义功能	0
bit11:0		0~4095	读取等待延时时长值	100

3.13.2 信号幅值检测

信号幅值是指传感器产生自振后输出的原始信号经过滤波放大处理后的信号幅度大小，用百分比表示。信号幅值 100% 表示信号过强，80%~95% 为优良，60%~80% 为一般，接近或低于 30% 硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM
 河北稳控科技有限公司 <http://www.winkoo.com> 技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [53/109]

为较差或无信号。传感器被激励后的首个返回信号幅值存储于 SIG_VALH. [15:8]，开始采样时的信号幅值存储于 SIG_VALH. [7:0]，采样结束时信号幅值存储于 SIG_VALL. [15:8]，上述三个信号幅值的平均值存储于 SIG_VALL. [7:0]。

若前三个信号幅值均大于 90%且无递减趋势，则可能返回信号过盈，可考虑适当降低激励信号强度（强振对传感器寿命有一定影响）。

信号幅值的高低直接影响到传感器频率的可信度。信号幅值受激励信号影响较大，若检测到信号幅值不理想，则应设法调整传感器的激励方法、调整激励电压来进行改善。

信号幅值实时值寄存器 SIG_VALH (0x2C)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0~100	激励后首个信号幅值，单位：%	0
bit7:0		0~100	采样时首个信号幅值，单位：%	0

信号幅值实时值寄存器 SIG_VALL (0x2D)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0~100	采样结束时信号幅值，单位：%	0
bit7:0		0~100	平均信号幅值，单位：%	0

3. 13. 3 信号检测与采样

VMXXX 内部有振弦传感器的信号检测、有效性检测机制，仅信号幅值位于预设的合理区间时，才会进行数据采样，当完成足够数量的样本采样后立即进行信号质量分析计算，得到频率、频模值及多个信号质量表征值更新于对应的只读寄存器内，读取这些寄存器值，即可得到当前测量结果数据和信号质量。

有两个事件可使模块终止（或完成）数据采样，一为采集到了 RD_COUNT. [8:0]指定数量的样本，二为采样时长超时 RD_COUNT. [15:9]（默认为 1000mS）。

信号幅值限制寄存器 SIG_TH (0x1E)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0~100	信号幅值上限，单位：%	100
bit7:0		0~100	信号幅值下限，单位：%	0

在信号采样过程中，每个信号发生时均会检测当前信号的幅值，当信号幅值大小位于 SIG_TH 规定的上下限之间时，才会被采样。SIG_TH 的默认值为 0x6400，即上限为 100%，下限为 0%，所有数据均认为是“有效”的。

本模块在采样计算过程中还有另外的样本错误剔除规则，即便不进信号幅值限制也会在剔除计算时将异常数据剔除，故此通常情况下使用默认值不会对测量结果造成太大影响，详见“3. 13. 4 频率计算与质量评定”。

3. 13. 4 频率计算与质量评定

运用采集到的若干信号样本数据，首先估算得到一个频率值，称为“伪频率值”；然后在模块异常数据剔除算法模型中，以寄存器 CAL_PAR1 的值作为主要判定参数，每个采样值与伪频

率值进行运算，将不符合要求的异常数据进行剔除，剩余数据被认定为“优质”样本；原始样本标准差、优质样本标准差分别保存于寄存器 SIG_STD. [15:8]和 SIG_STD. [7:0]中，优质样本数量更新到寄存器 HQ_COUNT 中，优质样本质量评定值保存于寄存器 SMP_QUA 中，最终的传感器频率值和频模值分别更新到寄存器 S_FRQ 和寄存器 F_REQM。当剩余“优质”样本数量低于 CAL_PAR2 限制或标准差过大时，本次测量样本质量评结果强制为 0%。

预期采样数量寄存器 RD_COUNT (0x09)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:9		1~127	采样超时时长，单位 100ms	0/10
bit8:0		0~300	期望的采样数量	200

过采样次数寄存器 AMP (0x17)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:12				
bit11:8			过采样次数	0
bit7:5				
bit4:0				

RD_COUNT 是组合参数寄存器，包含了预期采样数和采样超时两个参数，RD_COUNT. [8:0]规定了预期的采样数量，RD_COUNT. [15:9]定义了采样超时时长，若采样过程中超过此时间时仍未完成预期数量的采样，则强制结束采样过程。采样超时时长单位为 100ms，参数取值范围为 1~127（即：最大超时时长可以为 $127 \times 100\text{ms} = 12.7$ 秒），当超时时长设置为 0 时，使用默认超时时长 1000ms。

AMP. [11:8]定义了采样完成后再次采样几次。若设置了非 0 值，则会在完成了上述指定数量的信号采样后再重复 n 次，最终的频率值会是多次采样的平均值。这个功能可以最大限度的采样最多的信号，使最终的频率精度更加精准。

误差限制寄存器 CAL_PAR1 (0x15)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:12		粗大误差数据剔除方法		0
		0	中值比例剔除	
		1	标准差剔除（拉依达准则）	
Bit11:8			预留	
Bit7:0		0~100	数据剔除因子 当数据剔除方法为中值比例剔除时将 $(\text{单个采样值} - \text{伪频率值}) > \left(\frac{\text{伪频率值}}{\text{CAL_PAR1}} \right)$ 的采样数据剔除 当数据剔除方法为拉依达法则时，将大于 CAL_PAR1*标准差的采样数据剔除（常规为 3 倍标准差）	20

			以能保证全部采集数据 90%以上通过为宜	
--	--	--	----------------------	--

剩余样本限制寄存器 CAL_PAR2 (0x16)

位	符号	值	描述	默认值
Bit15			是否当信号质量不合格时使用 SFC 频率	0
Bit14:8			预留	0
Bit7:0		0~100	当异常数据剔除完成后剩余的“优质”样本数量过低时放弃频率计算及采样质量评定（强制为 0%）。 $\text{门限数量} = \frac{\text{期望采样数量}}{\text{CAL_PAR2}}$	

信号综合质量寄存器 SMP_QUA (0x22)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0	SFC 频率误差	0
bit7:0		0~100	传感器返回信号综合质量。单位：%	0

信号综合质量：样本质量用百分数表示，一般情况下，样本质量为 50%及以上时的频率值能够代表传感器真实的频率，低于 50%则认为频率值可信度较差或不可信，在模块使用过程中，尽量使用样本质量在 75%以上的频率值做为最终结果。

SFC 频率误差是指 SFC 方法计算得到的频率值(寄存器 SFC_FRQ)的误差范围,单位为 0.1Hz。例如：38 表示当前 SFC 频率值的误差范围为正负 3.8Hz。

传感器频率值寄存器 S_FRQ (0x23)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0		1000~65535	最近一次测量得到的传感器读的频率值 单位：0.1Hz (100.0~6553.5Hz)	0
读取超过 6553.5Hz 频率时会产生寄存器溢出，则实际频率=测量值+6553.5Hz 频率溢出时，寄存器 SYS_STA 的 bit5 自动置位为 1。				

SFC 计算得到的频率值 SFC_FRQ(0x26)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0		1000~65535	单位：0.1Hz (100.0~6553.5Hz)	0

S_FRQ 寄存器频率和 SFC 频率的区别

S_FRQ 寄存器频率是推荐读取并使用的频率值，精度较高，但当信号未达到预定要求时会强制为 0，另外，S_FRQ 频率计算过程中无法区分出传感器信号中夹杂的幅值较大的干扰杂散信号，在一些极端条件产生时可能计算得到错误频率（概率很低）；SFC 频率值是一个信号分析预估值，抗干扰能力很强，通常情况下总能代表传感器的正确频率，但相对于 S_FRQ 寄存器中的频率值

硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkooo.com>

技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [56/109]

而言，这个值有一定的误差。

当 CAL_PAR2[15] 设置为 1 时，模块会在 S_FRQ 计算结果为 0 时将 SFC 频率填充到 S_FRQ 寄存器内，此时状态寄存器 SYS_STA[8] 置位为 1。

传感器频模值寄存器 F_REQM (0x24-0x25)

位	符号	值	描述	条件	默认值
bit31:16	F_REQM_H	0~2 ³²	频模值高 16 位 ^①	WKMOD. [3:1]=0	0
bit15:0	F_REQM_L		频模值低 16 位 ^①		
bit31:16	FRQ_H	0~655350	频率值高 16 位 ^②	WKMOD. [3:1]=1	0
bit15:0	FRQ_L		频率值低 16 位 ^②		

注 1: 频模值=频率值 (Hz) * 频率值 (Hz) / 100
 频模值=频模值高 16 位*65536+频模值低 16 位。频模值单位为：百 Hz²。
 注 2: 频率值= (FRQ_H*65536+FRQ_L) / 100Hz
 注 2: 因计算过程精度取舍不同，当显示为高精度频率值时的显示结果会与 S_FRQ 寄存器显示结果有较小差异。

读取实时测量结果的频率值时，若测量值与传感器标称频率相差过大时，应读取运行状态寄存器 SYS_STA. [5]，判断是否产生了频率寄存器溢出，若 SYS_STA. [5] 为 1，真实的频率值应等于 (S_FRQ/10+6553.5)Hz。

优质样本数量寄存器 HQ_COUNT (0x2B)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:9		0	预留，暂未定义功能	0
bit8:0		0~300	采样数据进行异常样本剔除后剩余的样本数量。单位：个。	0

样本标准差寄存器 SIG_STD (0x2A)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0~255	原始样本标准差，单位：Hz	0
bit7:0		0~255	优质样本标准差，单位：Hz	0

当前频率的数值可信度可由以下几种方法来判断：

(1) 平均信号幅值大于 60%，优质样本数量大于预期采样数量的 50% 且不低于 50 个，优质样本评估值大于 80%。

(2) 优质样本数量大于预期采样数量的 50% 且不低于 50 个，优质样本评估值大于 80%。

(3) 优质样本评估值大于 80%。

3.14 数据滤波

数据滤波是指对临近的多次测量结果进行平滑过滤的数据处理方法（递推滤波）。通过设置

硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkooo.com>

技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [57/109]

滤波方法寄存器 FIT_TYPE. [3:0]来指定滤波方法，滤波样本数量寄存器 FIT_COUNT. [7:0]用来指定参与计算的历史数据个数。

VMXX 支持 4 种历史数据滤波方法，分别为：中值滤波法、算术平均滤波法、中位值平均滤波法（推荐）、加权平均滤波法。历史数据基于每次测量结果的递推存储，计算结果作为最终频率值更新到寄存器 S_FRQ。

(1) 中值滤波法：对指定数量的历史数据进行排序，取位于中间位置的值作为最终值。

(2) 算术平均滤波法：指定数量的历史数据的平均值作为最终值。当数据读取出现随机错误的机率比较大时，建议不要使用这种滤波方法，随机出现的错误数据在一段时间内均会参与滤波计算，影响此段时间内的滤波结果。

(3) 中位值平均滤波法：对指定数量的历史数据进行排序，去掉最大值和最小值，剩余数据计算平均值作为最终值。可以有效剔除偶尔出现的错误数据。

(4) 加权平均滤波法：回溯指定数量的历史数据，时间点越接近当前时间的数据权重越大（当前值权重最大），根据不同权重计算平均值作为最终值。

滤波方法寄存器 FIT_TYPE (0x13)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:4		0	预留，暂未定义功能	0
bit3:0		历史数据滤波方法		0
		0	不进行历史数据滤波（默认）	
		1	中值滤波法	
		2	算术平均滤波法	
		3	中位值平均滤波法（推荐）	
		4	加权平均滤波法	

滤波样本数量寄存器 FIT_COUNT (0x14)

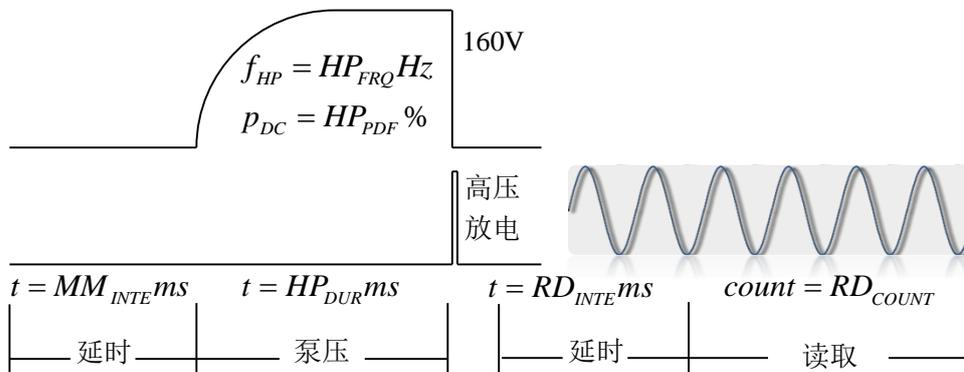
位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		0	预留，暂未定义功能	0
bit7:0		3~30	使用多少个历史数据进行滤波运算	10

历史数据滤波功能适用于对某一固定传感器频率进行长时间测量的应用场景，必须有足够的历史数据（测量足够多次）才能逐渐显现滤波效果。当被测传感器不唯一或需要快速得到测量结果时，则应关闭历史数据滤波功能或通过调整参数使模块测量速率增高（比如每秒 5 次测量，详见“3.16 快速测量”），以便在较短时间内能够进行多次测量完成滤波。

3.15 测量时长与优化

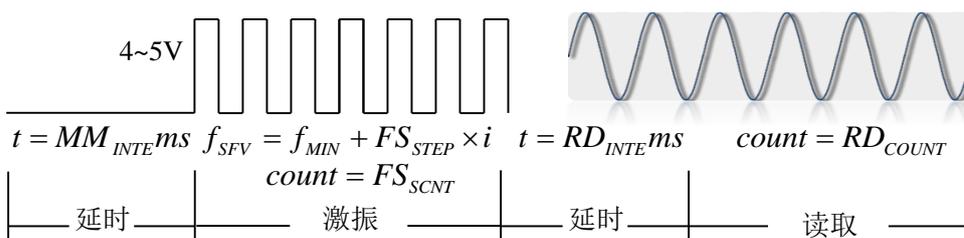
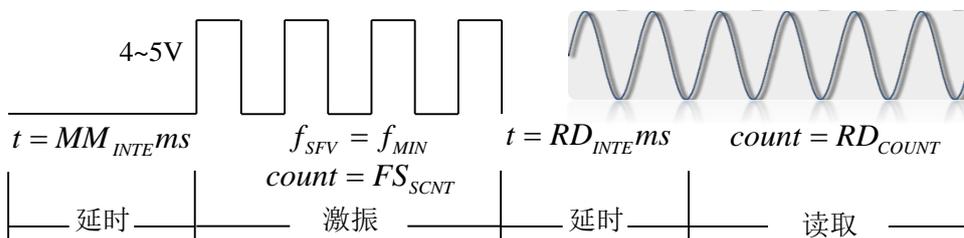
不同的激励方法、延时参数值设置会导致传感器测量时长不同，下面仅以三种基本激励方法进行时长分析，另外三种组合激励方法均可通过这三种基本激励方法推导得出。

(1) 单次高压脉冲法

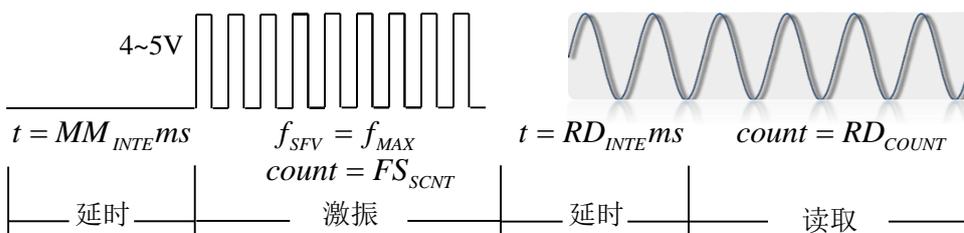


$$T_{SGL} = \left(MM_{INTE} + HP_{DUR} + \frac{1}{f_{sen}} \times RD_{COUNT} \times 1000 \right) \text{ ms}$$

(2) 步进式低压扫频法



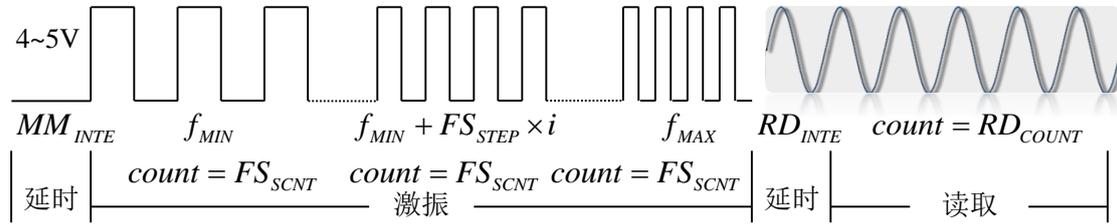
... ..



$$T_{SGL} = \left(MM_{INTE} + \frac{1000}{f_{SFV}} \times FS_{SCNT} + \frac{1000}{f_{sen}} \times RD_{COUNT} \right) \text{ ms}$$

$$T_{TOTAL} = \left(\left(MM_{INTE} + \frac{1000}{f_{sen}} \times RD_{COUNT} + \frac{2000 \times FS_{SCNT}}{f_{MIN} + f_{MAX}} \right) \times \left(\frac{f_{MAX} - f_{MIN}}{FS_{STEP}} + 1 \right) \right) ms$$

(3) 渐进式低压扫频法



$$\left\{ \begin{array}{l} T_{FOR} = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{1000}{f_i} \times FS_{SCNT} \right) \right) ms \\ n = \frac{(f_{MAX} - f_{MIN})}{FS_{STEP}} + 1 \\ f_i = f_{MIN} + FS_{STEP} \end{array} \right. \Rightarrow T_{FOR} = \left(\frac{2000 \times FS_{SCNT}}{f_{MIN} + f_{MAX}} \times \left(\frac{f_{MAX} - f_{MIN}}{FS_{STEP}} + 1 \right) \right) ms$$

$$T_{SGL} = \left(MM_{INTE} + \frac{1000}{f_{sen}} \times RD_{COUNT} + \frac{2000 \times FS_{SCNT}}{f_{MIN} + f_{MAX}} \times \left(\frac{f_{MAX} - f_{MIN}}{FS_{STEP}} + 1 \right) \right) ms$$

注意事项:

传感器起振后，输出信号会持续一段时间，为避免传感器未恢复平稳前进行下次激振，在每次激振前会有一段强制延时时间，可以通过寄存器 MM_INTE 来设置延时时长，单位为 ms。T_{FOR} 渐进式低压扫频法中，总激振时间不得大于 1000ms。

传感器起振后，延时一段时间再读取信号频率有利于提高精度。对同一传感器不同时间的测量，此延时时间应相同，不同的延时时间得到的传感器频率值会有小幅变化。

读取信号时，样本数量与最终精度有直接关系，样本数量与读取时间成正比。

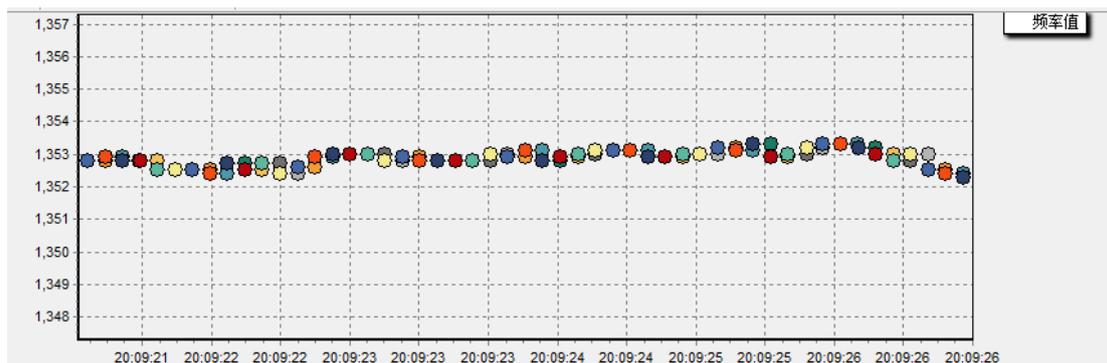
3.16 快速测量（10Hz）

快速测量是上一节“测量时长与优化”的一种具体应用，通过时间参数合理设置，可以实现快速频率激励、读取，最高可达每秒 10 次或更高。

具体各寄存器设置如下：

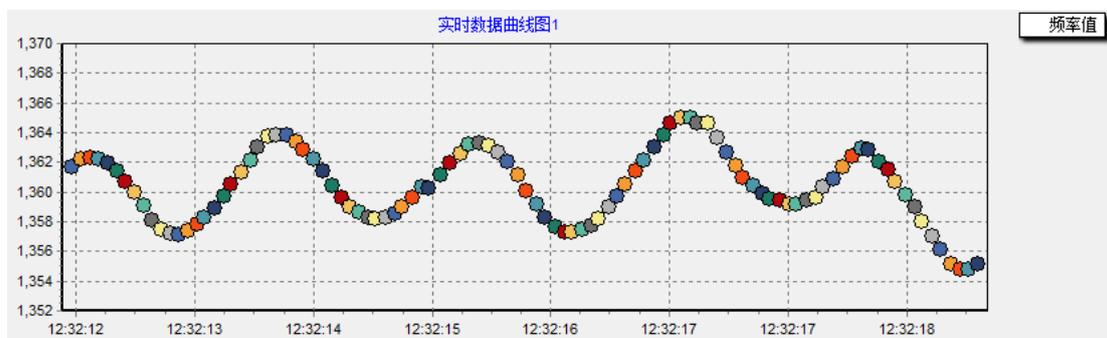
激励方法	EX_METH	4	频率反馈固定频率扫频法
期望采样数量	RD_COUNT	20	每次测量采样 20 组传感器信号
连续测量间隔	MM_INTE	0	相邻两次测量不等待
采样延时	RD_INTE	0	激励后立即采样，不等待
单频输出周期	FS_SCNT	30	输出 30 个周期的低压激励信号
质量门限	EXS_TH	70	采样质量低于 70%时使用高压激励一次
自动输出	ATSD_SEL	0x3000	非必须，测量完成后自动输出结果
其它未列出寄存器使用出厂默认值			

下图为实际测量“时间-频率”曲线图，在 5 秒左右时间内，完成了约 50 次振弦传感器频率测量。



时间-频率曲线（10Hz）

快速测量即是使用尽量少的等待时间、尽量快速的激励信号、尽量少的采样数据来缩短单次测量时间，是以损失测量精度为代价的，在以上参数条件下，振弦读数精度约 2Hz（传感器频率 1355Hz，静置实测）。



传感器在周期外力作用下的动态频率测量（15Hz）

当希望以尽量快的速率进行传感器激励和数据读取时，应使用测量结果的自动上传功能，若仍使用主从指令实时向模块发送读取指令来获取数据一方面会严重影响模块的测量工作效率，另一方面，因为模块“忙”时无法回复指令，在高频测量时，存在指令同步问题无法实时返回每一次的测量结果，仅可读取到少量的实时数据。自动上传功能在每次上电开机时均会复位，需要发送指令重新设置，详见“3.4.3 主动上传测量数据”。

在某些极端参数下（如本节的高速测量），模块可能因为大部分时间处于“忙”状态而不会响应每一条收到的指令，此时应尝试多次发送指令的方法并结合指令应答数据的判断来确认模块是否响应了外部指令。

3.17 低压扫频频率自校准*

此功能在固件版本 3.14 及之后已取消。

3.18 温度传感器使用

VMXXX 模块支持外接温度传感器，通过设置寄存器 TEMP_EX 的值来选择外接温度传感器的类型，通过读取寄存器 TEMP 来获取实时的温度传感器测量值，温度计算参数寄存器 TEMP_PAR1 和 TEMP_PAR2 是温度计算参数。TEMP_EX. [6:0] 定义了外接温度传感器类型，当传感器类型为热敏电阻时，TEMP_EX. [15:8] 用于定义热敏电阻的标称阻值，单位为 KΩ，TEMP_PAR1. [12:0] 是热敏电阻的关键参数 B 值（此值请向热敏电阻厂商索要）。

外部温度传感器类型寄存器 TEMP_EX (0x1C)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		1~255	NTC 标称电阻值，单位：KΩ	2
bit7		0	预留，暂未定义功能	
bit6:0		外接温度传感器类型		2
		0	无外接温度传感器（实时采集内核温度）	
		1	18B20	
		2	热敏电阻	

温度计算参数寄存器 TEMP_PAR1 (0x1A)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:13		0	预留，暂未定义功能	0
bit12:0		1000~8000	热敏电阻 B 值，由电阻厂商提供	3950

温度计算参数寄存器 TEMP_PAR2 (0x1B)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0		-32768 ~32767	电阻校正系数，单位：0.01 采样电阻值*TEMP_PAR2*0.01=电阻值	100

温度值寄存器 TEMP (0x29)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0		-32768 ~32767	温度寄存器值=温度值*10 单位：0.1℃，即：读取 TEMP 寄存器的整数 值后，除以 10 即是温度值	0
注：当外部温度传感器类型寄存器 TEMP_EX 为 0 时，温度值寄存器内的值为模块内核温度。				

3.19 辅助功能寄存器

辅助功能寄存器 AUX (0x02)

位	符号	值	描述	默认值
bit15		UART 数据位数定义		0
		0	8 位	
		1	9 位	
bit14:13		UART 停止位数定义		0
		0	1 位	
		1	1.5 位	
bit12:11		UART 校验方法定义		0
		0	无, 不校验	
		1	奇校验	
bit10:5		0	预留, 暂未定义功能	
		1	使能休眠功能	1
		1	半功耗模式	1
bit2		0	禁用振动避让功能	0
		1	使能振动避让功能	
bit1		0	禁用信号纹波滤除功能	0
		1	使能信号纹波滤除功能	
bit0		0	禁用模拟输出功能	0
		1	使能模拟输出功能	

3.19.1 UART 通讯参数

此功能可设置 UART 通讯接口的校验位、数据位和停止位三个参数。

校验位: 设置 AUX. [12:11]为 0 表示不使用校验位, 设置 AUX. [12:11]为 1 表示使用奇校验, 设置 AUX. [12:11]为 2 表示使用偶校验。

数据位: 设置 AUX. [15]为 0 表示 8 位, 为 1 表示 9 位。

停止位: 设置 AUX. [14:13]为 0 表示停止位为 1 位, 为 1 表示停止位为 1.5 位, 为 2 表示停止位为 2 位。

UART 通讯参数举例

数据位	停止位	校验	寄存器 AUX 值 (二进制)	备注
8	1	无	00000XXX XXXXXXXX	“X”表示 与 UART 参数无关
9	1	无	10000XXX XXXXXXXX	
8	1.5	无	00100XXX XXXXXXXX	
8	2	无	01000XXX XXXXXXXX	
9	1.5	无	10100XXX XXXXXXXX	
9	2	无	11000XXX XXXXXXXX	

8	1	奇	00001XXX XXXXXXXX
9	1	奇	10001XXX XXXXXXXX
8	1.5	奇	00101XXX XXXXXXXX
8	2	奇	01001XXX XXXXXXXX
9	1.5	奇	10101XXX XXXXXXXX
9	2	奇	11001000 00000000
8	1	偶	00010XXX XXXXXXXX
9	1	偶	10010XXX XXXXXXXX
8	1.5	偶	00110XXX XXXXXXXX
8	2	偶	01010XXX XXXXXXXX
9	1.5	偶	10110XXX XXXXXXXX
9	2	偶	11010XXX XXXXXXXX

3.19.2 频率值模拟量输出

VMXXX（仅 VM501、VM511）模块支持将当前实时频率值以模拟量形式从管脚输出，模拟量有电流和电压两种输出形式。为了使用此功能，需要将辅助功能寄存器 AUX.[0] 设置为 1，并且设置模拟量所代表的频率值范围，DAO_TH.[15:8] 为频率上限，DAO_TH.[7:0] 为频率下限，此寄存器默认值为 0x2100，即模拟量的最大值和最小值分别代表 3300Hz 和 0Hz（不同版本的固件此默认值可能不同，请根据需要自行修改这两个参数）。

模拟量输出频率范围 DAO_TH (0x19)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8		1~80	模拟量最大值对应的频率值	33
bit7:0		1~80	模拟量最小值对应的频率值	0

模拟量输出特性

模块型号	模拟量类型	模拟量范围		单位	分辨率
		下限	上限		
VM5X1	电压	0	3300	mV	1/4095
	电流	0	20	mA	

VM511 有两个电压输出管脚，DA01 输出电压范围为 0~3300mV，DA02 输出电压范围为 DA01 电压两倍（即：0~6600mV）。当为电流输出时，0~20mA 由 DA01 流向 DA02。电压、电流均为绝对值。

使用建议：建议在使用模拟输出时同时连接 SIG 管脚，用以判断当前传感器信号是否有效，仅在信号有效情况下采集 DA0 管脚的电压或电流。

3.19.3 信号纹波滤除*

此功能用于滤除振弦传感器返回信号及电源中包含的小幅值纹波干扰信号，避免纹波信号被采集到频率采样数据中。通过将寄存器 AUX. [1] 设置为 1 使能此功能。

此功能会将传感器返回信号中幅值较低的信号一并滤除，仅适用于传感器返回信号较强的情况，可一定程度上提高信号采样质量。传感器返回信号较弱时启用此功能会导致无法采样到频率数据。

注：此功能在下次启动时生效。

3.19.4 振动避让

仅在振弦传感器内部钢弦处于静止状态时才向线圈发送激励信号。在钢弦静止状态时向其发送激励信号，有利于钢弦的良好起振，可以得到质量更高的采样数据。通过将寄存器 AUX. [2] 设置为 1 使能此功能。当启用此功能时，读数模块会在激励前抑制钢弦的振动并等待振动完全停止。

在工程现场往往存在各种各样的随机干扰振动，使钢弦产生随机振动信号，振动避让功能可有效规避这种不利因素的影响，但会一定程度上导致测频变慢。

3.19.5 底噪测量

此功能无需设置开启或者关闭，一直为开启状态。

在每次测量频率前，模块自动测量信号输入接口处的信号噪声和信号强度，测量值分别保存于寄存器 NOISE_FRQ 和 NOISE_AMP 中。

NOISE_FRQ 的单位为 0.1Hz，NOISE_AMP 的单位为 dB，一般噪声强度小于 20。

3.19.6 低功耗

在模块空闲时关闭一些非必须硬件资源，从而达到节省电流消耗的目的，约可节省一半电流（对于 VM501，VDD 电流可从 45mA 降低到 25mA）。设置 AUX. [3] 为 1 启用此功能，设置为 0 关闭此功能。

3.19.7 低功耗休眠

在收到休眠指令后，完成当次测量后立即进入低功耗的休眠模式，休眠模式下，VDD 电流可降至 1mA 左右，当收到数字接口任意数据后自动唤醒。此功能会使硬件看门狗失效，存在模块意外死机（受到强电磁干扰或者电压不稳定、参数设置错误等）而无法自动复位恢复的隐患。设置 AUX. [4] 为 1 启用此功能，设置为 0 关闭此功能，开启此功能后必须重新启动方可生效。

一次休眠与唤醒的流程如下：

(1) 使用任意通讯协议，向系统功能寄存器 SYS_FUN 发送指令码 0x06 或者使用专用字符串指令 \$SLEP\r\n。

(2) 模块在收到指令后关闭所有无关功率开关，输出 “Sleep\r\n” 进入低功耗休眠状态。

- (3) 通过数字接口，向模块发送任意数据，模块自动唤醒，并输出“WakeUP\r\n”。
- (4) 模块被唤醒后继续休眠前的工作（首先返回对指令码 0x06 的响应信息）。
- (5) 等待其它指令。

3.19. 8SFC 辅助测频

SFC (Smart Frequency capture) 是 SF3.50 增加的新功能，此辅助功能可在测频失败时对采样数据进行分析，获取最大可能的频率值，然后进一步扫频确认得到最终频率数据。

3.20 多通道专用寄存器

● 多通道频率、温度值寄存器 51~58 (0x33~0x3A)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:0			频率/温度值	0

单通道模块时，寄存器 51 内为频率值，寄存器 55 内为温度值

4 通道模块时，寄存器 51~54 内为频率值，寄存器 55~58 内为温度值

8 通道模块时，寄存器 51~58 内为频率值，温度值可通过读取 TEMP 寄存器获取。

● 18B20 温度传感器 ID 寄存器 59~74 (0x3B~0x4A)

每 4 个寄存器代表 64 位唯一 ID，59~62 为通道 1、63~66 为通道 2、67~70 为通道 3、71~74 为通道 4。

● 通道状态寄存器 CHSTA (0x31)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8			每个通道是否检测到了传感器线圈 Bit8 表示通道 1，bit15 表示通道 8	0
bit7:0			多通道的频率值数据是否来 SFC Bit0 表示通道 1，bit7 表示通道 8	0

● 通道号码寄存器 CHNUM (0x32)

位	符号	值	描述	默认值
bit15			是否已经完成了所有通道至少一次的测量	0
Bit14			是否已连接的传感器已经全部采集到了合格的频率	0
Bit13:12			预留	
Bit11:8			已检测到的线圈数量	
Bit7:4			预留	

Bit3:0		1~8	刚刚完成测量的通道号	
--------	--	-----	------------	--

● 多通道信号质量寄存器

寄存器 81~88 为 8 个通道的信号质量数据，每个寄存器的高 8 位为优质样本百分比，低 8 位为信号评估质量。例如：寄存器 81 的值为 0x645E 时，高 8 位和低 8 位分别为 100 和 94，则表示通道 1 的优质样本数为 100%、信号评估质量为 94%。寄存器 82 表示通道 2，以此类推。

● 按照通道顺序响应实时数据

VM 模块的实时数据寄存器 32~48 为各通道共用，在读取实时数据时应同时读取 CHNUM，使用低 4 位判断当前读取到的实时数据属于哪个通道。

另外，当设置 WKMOD[13] 为 1 时，VM 模块会按照通道顺序依次响应实时数据读取指令。

例：向模块发送实时数据读取指令，模块返回第 n 通道的实时寄存器的值，再次向模块发送实时寄存器读取指令，模块返回第 n+1 通道的实时数据寄存器的值。

● 多通道电子标签状态 TAGSTA (0x59)

位	符号	值	描述	默认值
bit15:8				0
bit7:0			各通道电子标签是否已经完成测量 bit0 表示通道 1, bit7 表示通道 8	0

3.21 频率值与温度值的修正

此功能在 SF3.51 版本时增加。

测量、计算完成后的频率值和温度值，经过一个 2 次多项式进行修正，最终更新到频率和温度寄存器。（下式中，加常数 A 的单位为 Hz 和 °C）

$$Y = A + Bx + Cx^2 \quad \text{即：寄存器值} = A + B \times \text{测量值} + C \times \text{测量值}^2$$

多项式中的常数项 A、B、C 默认为 0.0、1.0、0.0，可以使用字符串指令来读取和修改。

读取频率修正参数：\$GTFP\r\n，模块返回：FrePars=0.000000,1.000000,0.000000\r\n

修改频率修正参数：\$STFP=A,B,C\r\n

例如：\$STFP=0.0,1.0,0.0\r\n

模块返回：OK\r\n

读取温度修正参数：\$GTTP\r\n，模块返回：TmpPars=0.000000,1.000000,0.000000\r\n

修改温度修正参数：\$STTP=A,B,C\r\n

例如：\$STTP=0.0,1.0,0.0\r\n

模块返回：OK\r\n

注意：VM 模块不进行频率、温度修正时，即可以保证频率 0.1Hz、温度 0.5℃的绝对精度，多项式修正仅用于微小的调整使用。当出现测量值与预期值相差较大的情况时，应排查造成误差的原因，不应该直接用参数进行修正。

注意：温度修正仅适用于 NTC 热敏电阻类型的温度传感器。

3.22 电子标签测量

此功能在 SF3.52 版本时增加。

电子标签必须按照正负极连接于温度测量引脚，TMP 和 GND，注意正负极。

读取内嵌有智能电子标签的振弦传感器的传感器信息。使用此功能时，应先将工作模式寄存器 bit12 置 1，然后读取电子标签状态寄存器 89(TAG_STA)，此寄存器从低位 bit0 开始表示各个通道电子标签的检测状态，某位为 1 时表示对应通道已经检测到了电子标签。

使用 \$RDDT 指令可以读取电子标签信息。

指令格式：\$RDDT=通道号, 信息协议

例如：读取连接于通道 1 上的电子标签信息

向 VM 模块发送指令：\$RDDT=1,2

VM 模块返回（16 进制，共 99 字节）：

```
44 49 47 5F 54 41 47 28 48 29 3D B0 D4 5B 9F D5 9F BD 88 57 49 4E 43 4F 4D 00 00 47 45 4F
2D 49 4E 53 00 53 59 4A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 CD CC CC 3E 03 01 00 0F 00 00 A0 41 08 45 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 2C D4 BA 3E 02 2B C7 3E 93 18 84 3E 5E BA 89 3E 16 0A
0D 4D 50 61 00 00
```

数据解析说明如下

数据	名称	解析
44 49 47 5F 54 41 47 28 48 29 3D	固定前缀	字符串 “DIG_TAG(H)=”
B0 D4 5B 9F D5 9F BD 88	无意义	
57 49 4E 43 4F 4D 00 00	厂商名称	字符串 “WINCOM”
47 45 4F 2D 49 4E 53 00	品牌	字符串 “GEO-INS”
53 59 4A 00 00 00 00 00	传感器型号	字符串 “SYJ”
00 00 00 00	传感器量程-下限	浮点数 0.0
CD CC CC 3E	传感器量程-上限	浮点数 0.4
03	传感器类型码	03: 渗压计 ^①
01	钢弦数量	01: 1 根钢弦
00 0F	线缆长度	0x000F=15(米)
00 00 A0 41	传感器编号	0x0000A041=41025
08 45 00 00 00 00 00 00	钢弦 1~4 出厂频率	0x0845=2117(Hz)
00 00 00 00 00 00 00 00	钢弦 5~8 出厂频率	
2C D4 BA 3E	K 值 1 ^②	浮点数
02 2B C7 3E	K 值 2 ^②	浮点数

93 18 84 3E	B 值 1 ^②	浮点数
5E BA 89 3E	B 值 2 ^②	浮点数
16 0A 0D	传感器生产日期	0x16 表示 22 年 0x0A 表示 10 月 0x0D 表示 13 号
4D 50 61 00 00	传感器物理单位	字符串“MPa”
<p>注①：0x01 土压力、0x02 钢筋计、0x03 渗压计、0x04 锚索计、0x05 位移计、0x06 应变计、0x07 轴力计</p> <p>注②：系数值的单位及用法，请详见具体型号的传感器说明书。</p>		

四、参数配置工具的使用

通常情况下，在计算机端对模块进行测试、读写时，可使用一些通用的免费工具完成，如基于 MODBUS 通讯协议的调试工具 MODSCAN、通用串口调试助手等，这些工具可以通过网络搜索下载使用，在此不再一一列举。

4.1 VMTool 概述

VMTool 是专门为振弦模块 VMXXX 开发的用于指令生成、参数读取、配置、模块测试、实时数据读取的工具，具有模块版本识别、参数导入导出等实用功能，可以在不了解模块通讯协议情况下实现模块的快速使用，另外，VMTool 还提供了通用串口调试、MODBUS 测试、实时数据曲线绘制、数据存储、数据网络发布等附加功能，这些功能可以作为小型的数据管理软件来使用，详情请咨询我们技术人员（0316-3093523 400-096-5525 info@geo-ins.com）。

不同版本所针对的模块固件不完全相同，请选择适合模块固件的专用版本程序。

VMTool 默认运行界面如下图所示，主界面由标题栏、指令区、参数区、实时数据区、功能扩展区、状态栏等几部分构成。

标题栏：位于界面顶部，显示了程序名称和版本信息以及适用的模块固件版本提示。

指令区：位于主界面左侧，包含了串口设置、参数读取、参数写入、参数导入导出等功能按键，对模块的实际操作均在此区完成。

端口：COM3 ：端口连接状态指示器，红色表示端口处于连接状态。

T ：数据发送指示器，蓝色表示正在向 VMXXX 发送数据。

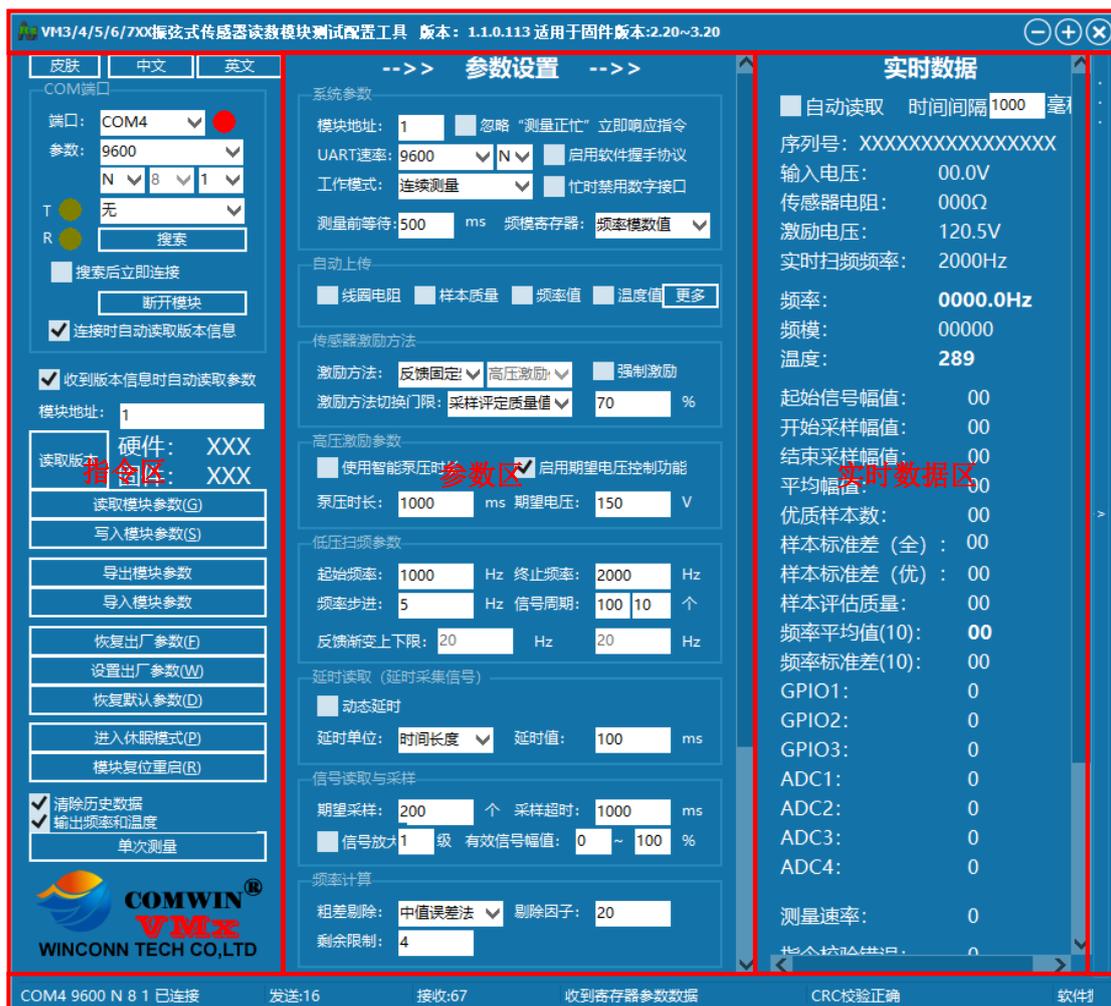
R ：数据接收指示器，红色表示收到了 VMXXX 的数据。

参数区：显示了从模块读取到的各种参数信息，可在此区域进行参数修改、选择等操作，然后使用指令区按键完成对模块的操作。

实时数据区：以只读形式显示了模块返回的实时数据（传感器频率、信号质量、温度等）。

功能扩展区：位于界面最右侧，默认不显示，可通过双击界面右侧的扩展条切换显示状态。

状态栏：实时显示 VMTool 的多种运行状态，如串口连接、收发情况，指令发送及模块交互提示等。



VMTool 主界面（默认精简）

4.2 准备工作

- (1) 将 VMXX 模块的 UART_TTL、RS232（或 RS485）接口与计算机的 COM 端口连接；
- (2) 连接振弦传感器及温度传感器到 VMXX 的对应接口（非必须）；
- (3) 连接模块电源（3.3V 或者 DC5~12V），连接 VSEN 电源（非必须）；

4.3 VMTool 基本功能

在进行以下操作或任何点击按钮发送指令的操作前，请保持【自动读取】复选框为非选中状态。

4.3.1 模块的连接与断开

在指令区的【COM 端口】组合框内操作完成。

【端口】下拉框：列出了本计算机当前已经存在的所有 COM 端口名称，若与模块连接的端口名称未在下拉框中列出，还可通过手工输入端口名的方法自由输入。

硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkoo.com> 技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [72/109]

【速率】下拉框：包含了常用的通讯速率，选择与模块通讯速率相同的项即可（默认为9600bps）。

【搜索】按钮：使用所有可能与模块连接的 COM 端口及通讯速率进行指令探测，自动搜索出当前连接有 VMXX 模块的端口并自动设置为正确的通讯速率。

【连接模块】按钮：使用当前【端口】下拉框的“端口名称”和【速率】下拉框的“速率值”执行“连接模块”操作。详见下述。

（一）搜索模块

点击【搜索】按钮，程序开始尝试使用所有可能的端口和通讯速率向模块发送测试指令字，状态栏显示“正在搜索 COMxx 通讯速率值”的提示，当发现模块正确的回复字时，停止搜索，状态栏显示“搜索完成 COMxx 通讯速率”，若整个搜索过程均没有收到正确的模块回复，则状态栏显示“搜索完成 未发现”。

正在搜索COM1 19200 搜索完成：COM3 9600 搜索完成：未发现

若【搜索】按钮右侧复选框 为选中状态，则在搜索到模块后会进行以下的连接模块操作。

（二）连接模块

若未使用上步中的搜索功能或搜索失败，则需在【端口】下拉框内选择计算机上与模块连接的 COM 端口名称，在【速率】下拉框内选择通讯速率（VMXX 模块默认为 9600bps），点击【连接模块】按钮，即可完成与模块的连接（假设此前已完成了模块和计算机的数字接口物理连接且模块处于正常工作状态）。

连接模块时，VMTTool 完成 COM 端口连接、模块版本读取、模块参数读取三项工作。

（1）COM 端口连接：根据选择的端口名称及通讯速率，打开计算机 COM 端口，建立与 VMXX 的通讯渠道。若一切正常，则在状态栏会有类似“COM3 9600 N 8 1 已连接”的提示，若连接过程发生错误，则会弹出提示框，提示发生错误。



端口连接及错误提示框

（2）模块版本读取：若【连接时自动读取版本信息】复选框为勾选状态，则自动向模块发送固件版本读取指令，并等待返回版本信息，详见“4.3.2 固件版本读取”小节。

（3）模块参数读取：若【收到版本信息时自动读取参数】复选框为勾选状态，则在收到上一步返回的版本信息后自动向模块发送参数读取指令，并等待模块返回参数数据，详见“4.3.3 模块参数读取”小节。

（三）断开模块

处于连接状态时，【连接模块】按钮文字内容显示为“断开模块”，此时点击此按钮即可实现 VMT001 与模块的断开。

处于断开状态时，无法与模块进行通讯，以下内容均在连接状态下完成，不再重复说明。

注：【COM 端口】组合框中的端口名称和通讯速率会在程序退出时自动保存，下次启动时动态加载。

4.3.2 固件版本读取

点击指令区【读取版本】按钮，读取当前连接模块的固件版本信息，读取到的版本信息显示于按钮右侧。VMT001 会根据读取到的版本不同对功能和界面做出调整，故此，在使用 VMT001 时，应首先进行模块固件版本读取工作。



4.3.3 模块参数读取

点击指令区【读取模块参数】按钮，向模块发送参数读取指令（寄存器 0~31），读取到的参数自动更新到参数显示区。在指令发送和收到模块返回信息后，状态栏均会有相应的提示信息“发送指令…”、“收到寄存器参数数据”。

4.3.4 模块参数修改

在参数区列出了模块所有参数寄存器的当前值，通过界面选择、输入等操作在界面上完成参数值的修改，参数修改完成后，必须点击指令区【写入模块参数】按钮，将当前参数区显示的所有参数一次写入模块。关于参数区各参数的含意及功能，请详第 3 章的具体描述说明。固件版本低于 3.01 的模块不支持连续多寄存器写指令，需要使用单个寄存器修改指令，详见“4.4.2MODBUS 工具模块”中“单个寄存器修改”说明。

大部分参数在修改完成后立即生效，可直接观察到修改后的运行状态，仅 UART 通讯速率、信号放大参数在下次启动时才能生效。若需要重启模块，可以通过重新连接电源的方法实现模块重启，也可以通过点击指令区【模块复位重启】按钮用软指令控制模块自动重启。

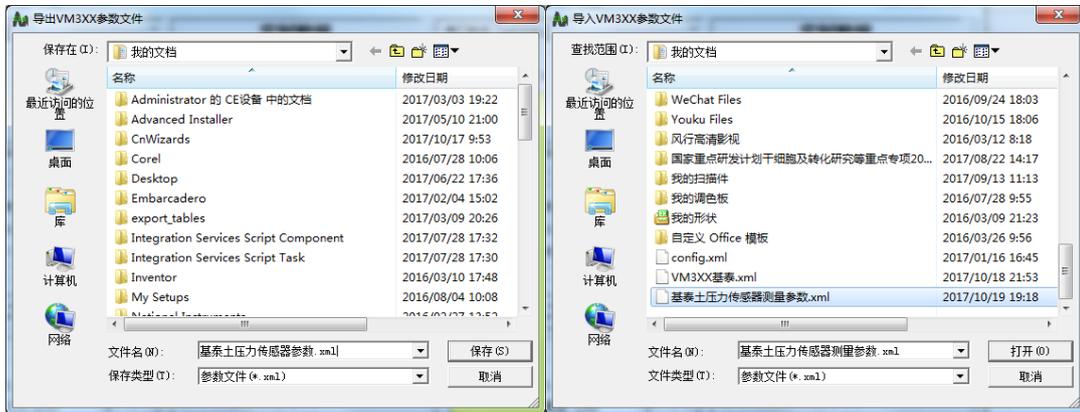
某些情况下，由于参数设置不正确可能导致模块不能正常工作，此时可通过点击【恢复出厂设置】按钮，实现模块参数复位。一些极端情况下，模块无法正常接收指令，此时则需要使用硬件参数复位的方法来恢复出厂设置，详见前述内容“3.3 恢复出厂参数”。

4.3.5 参数导入导出

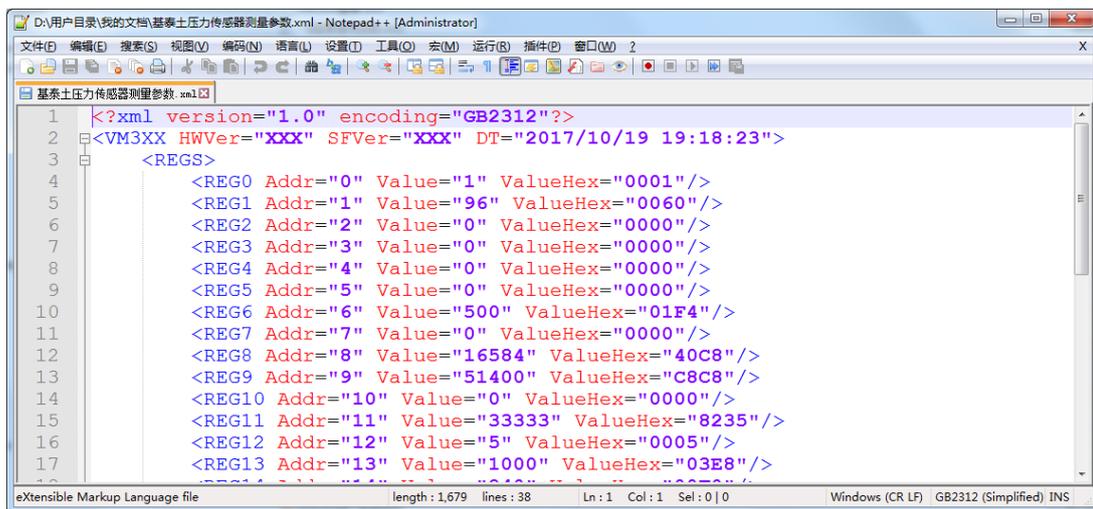
VMXXX 参数寄存器较多，不便记忆每个寄存器的具体功能定义及取值范围，另外，由于振弦传感器生产厂家众多、传感器特性、质量不尽相同，不同型号的传感器可能需要特定的参数组合才能有效读数，故此 VMT001 提供了参数导入导出功能，可以将配置并验证后的当前参数以文件形式保存，以便在需要时再次写入到 VMXXX 模块。

参数导入导出分别由指令区的【导出模块参数】和【导入模块参数】两个按钮实现，导出操作是将当前界面显示的参数保存为文件，导入操作是将指定的文件显示到当前界面，因此若要

将模块参数导出需要首先点击【读取模块参数】按钮执行一次参数读取，将模块实际参数显示到界面，而若要将外部参数文件导入模块则需要打开参数文件后点击【写入模块参数】按钮将界面显示参数值写入 VMXXX 模块，导入和导出操作较为简单不再详述。导出的文件名最好能见名知意，以备今后使用。



模块参数的导出与导入



模块参数文件内容

4.3.6 实时数据读取

当 VMTTool 与模块为连接状态时（4.3.1 模块的连接与断开），勾选实时数据区的【自动读取】复选框，VMTTool 开始自动向模块发送实时数据读取指令，修改【时间间隔】文本框内的数值可改变相邻两条读取指令的时间间隔，单位为毫秒。自动发送读取指令后，VMTTool 等待模块返回实时数据，直到模块返回了正确的实时数据后才会启动下次指令发送。

实时数据	
<input checked="" type="checkbox"/> 自动读取	时间间隔 1000 毫秒
序号:	57685746203138C1
输入电压:	0.00V
传感器电阻:	590Ω
激励电压:	3.1V
实时扫频频率:	1000Hz
频率:	1343.3Hz
频模:	18044
温度:	0.0°C
起始信号幅值:	93%
开始采样幅值:	91%
结束采样幅值:	91%
平均幅值:	91%
优质样本数:	197个
样本标准差 (全):	110Hz 7.8H
样本标准差 (优):	6Hz 0.4Hz
样本评估质量:	0%
频率平均值(10):	940.24Hz
频率标准差(10):	648.83Hz
GPIO1:	False
GPIO2:	False
GPIO3:	False
ADC1:	0
ADC2:	3252
ADC3:	0
ADC4:	0
测量速率:	0.7Hz
指令校验错误:	False
UART接收溢出:	False
采样超时:	False
信号质量低:	False
测量完成:	True
频率溢出:	False
扫频超时:	False
未检测到线圈:	False

实时数据读取与显示

实时数据区中各物理量的含意见第 3 章中的相关寄存器说明。

测量频率: VMTool 根据最后两次收到 VMXXX 实时数据的时间差估算得到的数据接收速率。由于 VMXXX 模块采用测量优先的工作策略,若模块“正忙”时收到指令,则会等待当前测量完成后才会响应并执行指令,返回指令的响应信息,故此,当使用本节介绍的“自动读取”功能时,将读取时间间隔设置为小于模块实际测量速率的值,此时模块每次的测量结果均被读取到,这种情况下计算得出的数据接收速率其实就是模块的读数速率。如:若通过观察,模块的读数速率为 1Hz 左右时,此处的自动读取时间间隔应设置为比 1000 毫秒低的值,推荐为 500ms,这样得到的测量频率值就是模块读数速率,若此时时间间隔设置为大于 1000ms 的值时,得到的测量频率值仅能说明界面的更新速率,而与模块的读数速率没有直接关系。

运行状态:包括指令校验、采样超时等数个运行状态标志,True 表示状态为真(或“是”),False 表示状态为假(或“否”)。

4.3.7 软件握手协议

VMTool 支持与模块之间的软件握手协议,在模块启用了软件握手前提下(详见“3.7 小节中关于软件握手的说明”),VMTool 可以利用软件协议实现仅在模块处于空闲时才会向模块发送指令。通过点击主界面指令区内的握手协议下接框,选择【软件握手】选项,开启 VMTool 的软件握手功能。启用软件握手之前,向模块发送指令后模块通常不会立即响应(数据发送指示器闪烁后数据接收指示器不会立即闪烁),启用软件握手之后,会观察到数据发送指示器闪烁后数据接收指示器也会立即闪烁,即:向模块发送的指令得到了即时响应。

若 VMTool 开启了软件握手功能而 VMXXX 模块未开启此功能时,会导致 VMTool 因为未接收到有效的软件握手协议信号而长时间处于指令准备发送状态,并在等待超时后才会向模块发送,从 VMTool 状态栏可以观察到这一过程,如下图所示。



4.3.8 生成寄存器值

VMXXX 有很多按位使用的寄存器,使用 VMTool 工具可进行方便的设置,当需要知道寄存器的实际值时,可通过以下两种方法获取。(保持【自动读取】复选框为非选中状态)

(1) 振弦模块与 VMTTool 工具连接时

在界面上进行参数设置：

点击【写入模块参数】按钮，将当前界面显示的参数写入模块；

点击【读取模块参数】按钮，模块的寄存器值会自动更新到 MODBUS 显示区的表格内。

(2) 振弦模块未与 VMTTool 工具连接时

在界面上进行参数设置：

双击【参数设置】区的标题“参数设置”文字；

当前界面显示的参数自动更新到 MODBUS 显示区的表格内；



4. VMTTool 扩展功能

双击主界面右侧扩展工具条可实现扩展功能区的显示与隐藏切换。扩展功能包括串口调试、MODBUS、实时曲线及数据存储等几个功能模块。扩展功能区显示效果如下。



VMTTool 主界面（扩展）

4.4.1 通用串口调试模块

串口调试模块直接使用当前已连接的 COM 端口，实时显示接收到的数据内容，提供指令手动发送功能，如下图所示。



串口调试面板

串口调试面板由上部的接收区和下部的发送区构成，发送和接收均支持字符串和 16 进制两种数据格式。

显示时间复选框：在显示接收到的数据前显示实时的计算机日期和时间信息。

自动清空复选框：当接收区显示内容超限时，自动清空整个接收区域。

清空接收区按钮：直接清除整个接收区域。

发送区有两个作用，一是手工输入指令内容，点击【发送】按钮实现指令的手动发送，另外，在 VMTool 工作过程中自动发送的所有指令，均会显示于发送区，以方便观察具体的指令内容。例如：点击某个指令按钮后，发送区显示的即是此按钮点击后向模块发送的指令内容。

4.4.2 MODBUS 工具模块

(1) 寄存器查看

此功能模块提供标准的 MODBUS 协议寄存器显示及单个寄存器修改功能，通过点击扩展功能区的【MODBUS】标签切换到此模块，如下图所示。

地址	名称	值 (10进制)	值 (16进制)	值 (2进制)	备注说明
0	模块地址	1	0001	0000000000000001	模块地址，应设置为1
1	通讯速率	96	0060	0000000001100000	百bps，此值*100即为
2		0	0000	0000000000000000	预留，暂未定义功能
3	系统功能	3	0003	0000000000000011	系统功能寄存器，0x0
4		0	0000	0000000000000000	预留，暂未定义功能
5	工作模式	3	0003	0000000000000011	连续测量或单次测量
6	测量间隔	500	01F4	0000001111110100	每次发送激励信号前延
7	自动上传	0	0000	0000000000000000	自动上传哪些数据值。
8	延时读取	200	00C8	0000000110010000	对传感器钢弦进行激励
9	采样数量	5320	14C8	0001010011001000	每次测量时采集传感器
10	激励方法	77	004D	0000000010011010	采用什么方法对传感器

MODBUS 面板

此模块将 VMXX 所有寄存器以表格形式显示，包括寄存器地址、名称、不同进制的数值和寄存器备注说明信息等。

(2) 寄存器名称自定义

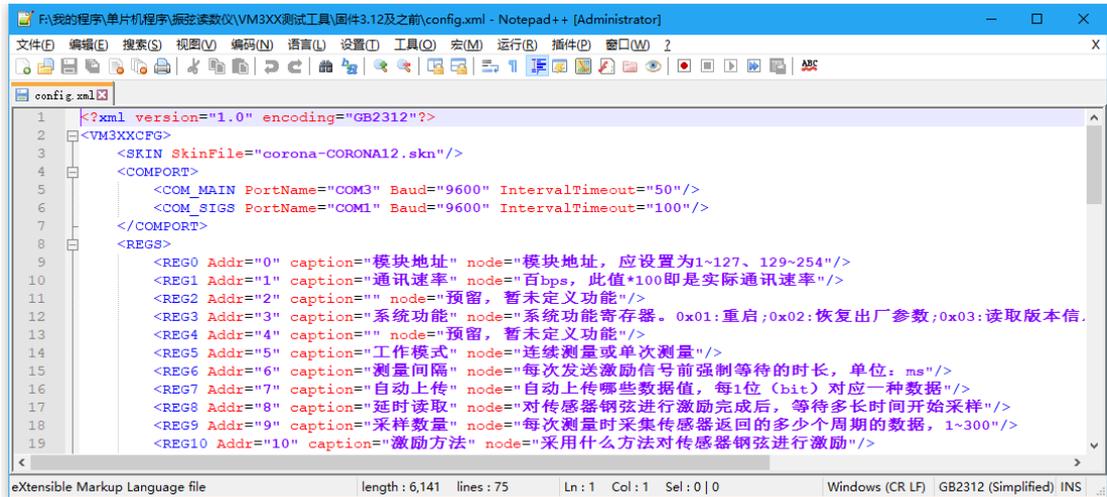
硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkoo.com>

技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [78/109]

寄存器名称和备注说明信息可通过修改位于本工具程序相同路径中的 config.xml 修改，文件内容如下图所示。

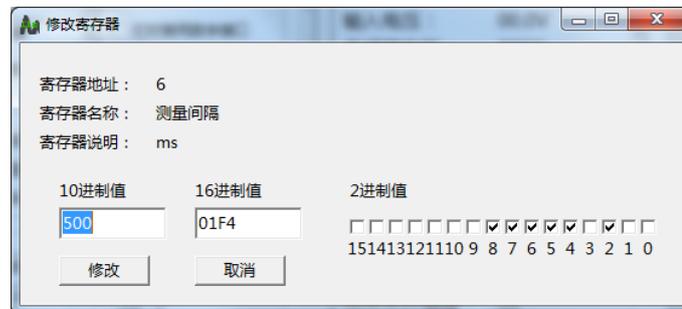
图中，位于【REGS】节点内的多行内容即为寄存器定义信息，每一行对应一个寄存器，Addr 是寄存器地址，caption 是寄存器名称，node 是寄存器的备注说明信息。VMTool 在每次启动时动态读取此文件内容并显示到界面表格中，可根据需要自行修改、添加或删除，未在此文件内的寄存器，在界面表格中以空白显示。



寄存器说明配置文件

(3) 单个寄存器数值的修改

在 MODBUS 功能模块内，通过双击某个单元格即可调出寄存器值修改窗口，如下图所示。



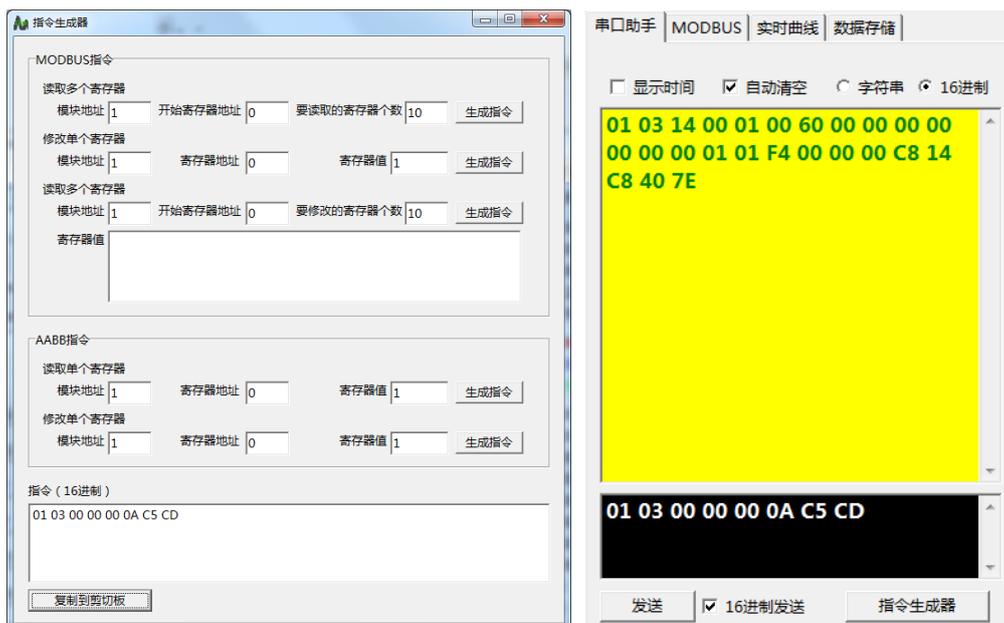
单寄存器修改窗口

根据参数修改需要，可任选择一种进制进行修改，修改一种进制数据时，另外两种进制数据也会同步更新，点击【修改】按钮向模块发送寄存器修改指令，完成单个寄存器值的修改操作。

4.4.3 指令生成器

(1) 指令生成

指令生成器可根据需要生成符合 MODBUS 和 AABB 通讯协议的读取和控制指令。通过点击串口调试工具内的【指令生成器】按钮，可打开指令生成器窗口，如下图示。



指令生成器及指令测试

在指令生成器窗口中，输入需要修改或读取的寄存器地址、寄存器值，点击【生成指令】按钮，即可在界面底部的文本框生成 16 进制指令，点击【复制到剪切板】按钮可将当前显示的指令内容复制到剪切板。

(2) 指令测试

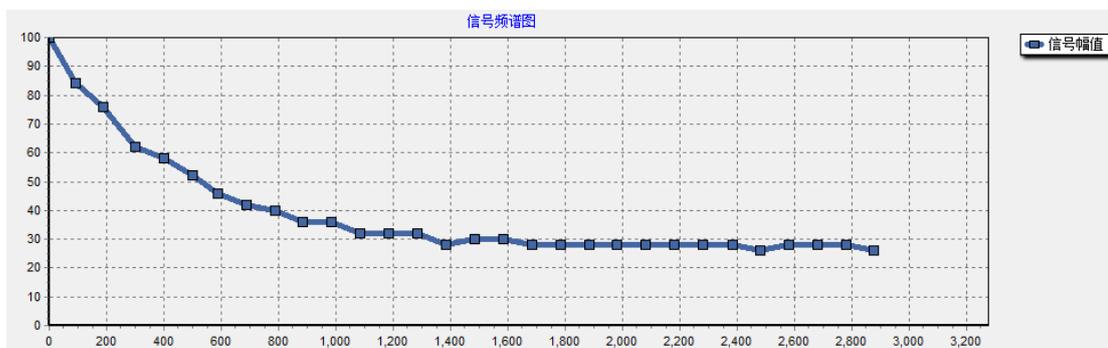
可以将生成的指令粘贴到串口调试工具的发送区，点选 16 进制发送，点击【发送】按钮向模块发送指令，验证指令的正确性。

4.4.4 实时曲线

实时曲线面板提供将采集到的若干种类的实时数据进行图形绘制展示功能，包括传感器信号实时幅值频谱、可选择数据类型的曲线绘制两类。

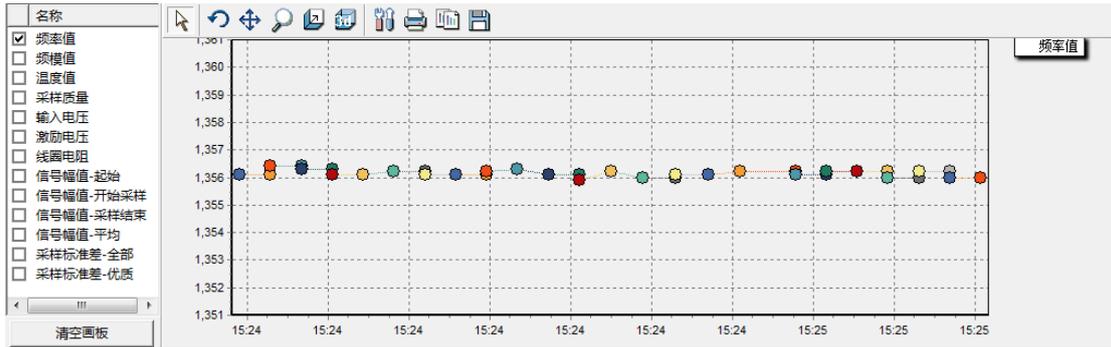
(1) 信号频谱图绘制

将 VMXXX 实时上传的信号幅值数据和采样数据以绘制到画板上，需要打开自动上传中的“实时幅值”。

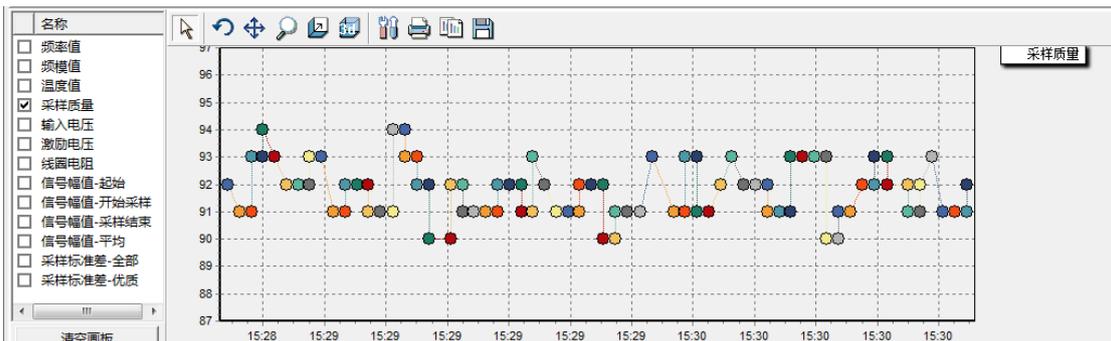


实时幅值曲线图

(2) 实时曲线绘制



实时数据曲线图-频率值



实时数据曲线图-采样质量

4.4.5 数据存储

数据存储功能模块支持自动或手动将实时数据寄存器值存储到数据库, 并支持导出为 Excel 文件功能。

(1) 手动存储

每点击数据存储面板内的【手动存储】按钮一次, 将当前寄存器实时值添加到数据库, 如下图所示。

ID	时间	REG00	REG01	REG02	REG03	REG04	REG05
19	2017/12/14 13:02:23	1	96	0	3	0	
20	2017/12/14 13:02:24	1	96	0	3	0	
21	2017/12/14 13:02:26	1	96	0	3	0	

手动存储

(2) 自动存储

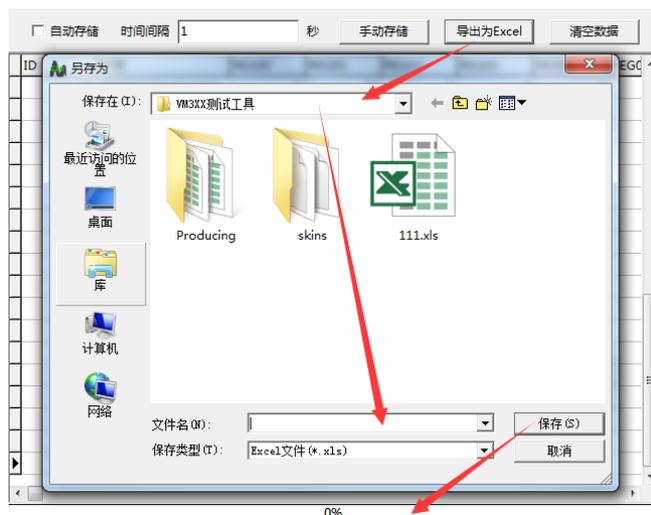
在时间间隔文本框内输入自动存储数据的时间间隔值(单位为“秒”), 勾选【自动存储】复选框, 之后每间隔指定的时长自动进行一次寄存器数据存储, 如下图所示。

ID	时间	REG00	REG01	REG02	REG03	REG04	REG05
23	2017/12/14 13:08:08	1	96	0	3	0	
24	2017/12/14 13:08:18	1	96	0	3	0	
25	2017/12/14 13:08:28	1	96	0	3	0	

自动存储

(3) 导出数据

将当前界面数据表内显示的所有数据导出为 Excel 文件，便于进一步数据处理。点击【导出为 Excel】按钮，弹出文件保存窗口，选择保存路径，输入要导出的文件名，点击【保存】按钮，数据存储面板底部显示导出的进度提示，如下图所示。



(4) 清空数据

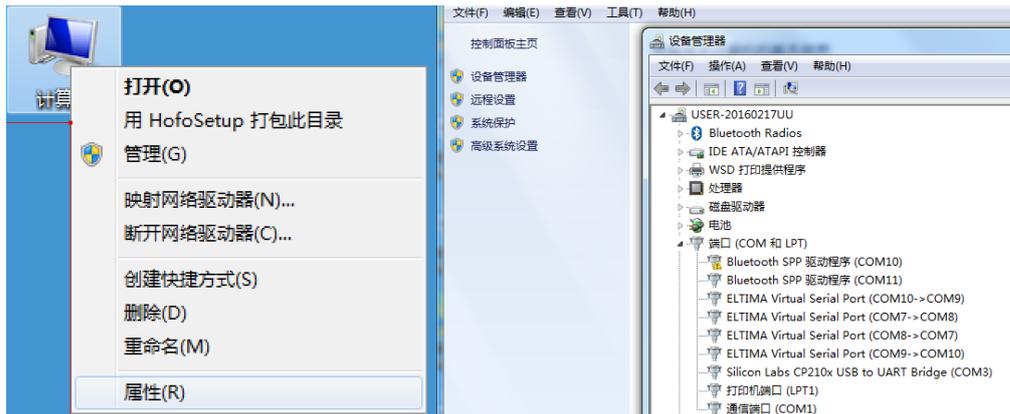
点击【清空数据】按钮，将已经存储的数据全部删除，此操作无法恢复，在操作前，请确认数据已经进行了导出操作。

五、快速测试

本章演示在计算机上通过 VMTool 工具读取振弦传感器数据。假设您的计算机已经有至少一个空闲的 COM 接口。

5.1 检查 COM 接口名称

在操作系统桌面右键点击“我的电脑”，选择【属性】，弹出计算机属性对话框，点击左侧【设备管理器】按钮，弹出设备管理器窗口，如下图所示。



在设备管理器窗口内找到【端口（COM 和 LPT）】，点击前面的 ▾ 图标展开（见上图），查看计算机所有的 COM 接口，并决定使用哪个接口连接 VM511 模块。

5.2 连接 VMXXX 模块

(1) 连接数据接口

根据实际的数字接口类型，将 VM 模块的 UART 接口的数个管脚与计算机数字接口互相连接，要保证计算机 COM 接口与 VM 模块的 UART 接口电平类型一致，见下表。

VM511 与计算机的数字接口连接-RS232

计算机 COM 接口管脚	VM 模块 接口管脚	说明
2	TX/B	计算机接收管脚连接到 VM 模块的发送管脚
3	RX/A	计算机发送管脚连接到 VM 模块的接收管脚
5	GND	统一参考“逻辑地”

当 VM 模块为 RS485 接口时，仅需两根数据线与计算机的 RS485 接口连接。计算机的 485 接口一般由 RS232 或 UAB 转换器转换得到，接口会有明确的管脚标识（A、B）。

VM511 与计算机的数字接口连接-RS485

计算机 485 接口管脚	VM 模块 接口管脚	说明
B	TX/B	A 接 A, B 接 B, 无需交叉
A	RX/A	

模块数字接口为 TTL 电平时，若与计算机连接，需要计算机使用 USB 转 TTL 电平的转换器，此时接线方法如下表。TTL 转换器有明确的管脚名称标识（TX、RX、GND）。

VM511 与计算机的数字接口连接-TTL

计算机 USB 转 TTL 接口	VM 模块 接口管脚	说明
RX	TX/B	计算机接收管脚连接到 VM 模块的发送管脚
TX	RX/A	计算机发送管脚连接到 VM 模块的接收管脚
GND	GND	统一参考“逻辑地”

(2) 连接传感器

将振弦传感器两根线圈引线分别连接到 VM 模块的 SEN+和 SEN-两个管脚。通常不分正负极，任意连接即可。

(3) 连接模块电源

使用 5V~12V 直流电源连接到 VM 模块的 VIN 和 GND，电源正极连接到 VIN 管脚，负极连接到模块的 GND 管脚。若一切正常，则可观察到 VM 模块运行指示灯开始闪烁（1~2 秒一次）。



VM 模块外围连接示意图（虚线为可选）

请在确认电源的正负极及电压后再连接到模块，模块没有反接电源保护措施，电源接反或电压不在模块适用范围均会导致模块损坏无法使用。

5.3 传感器数据读取

打开 VMTool 工具，做如下操作。

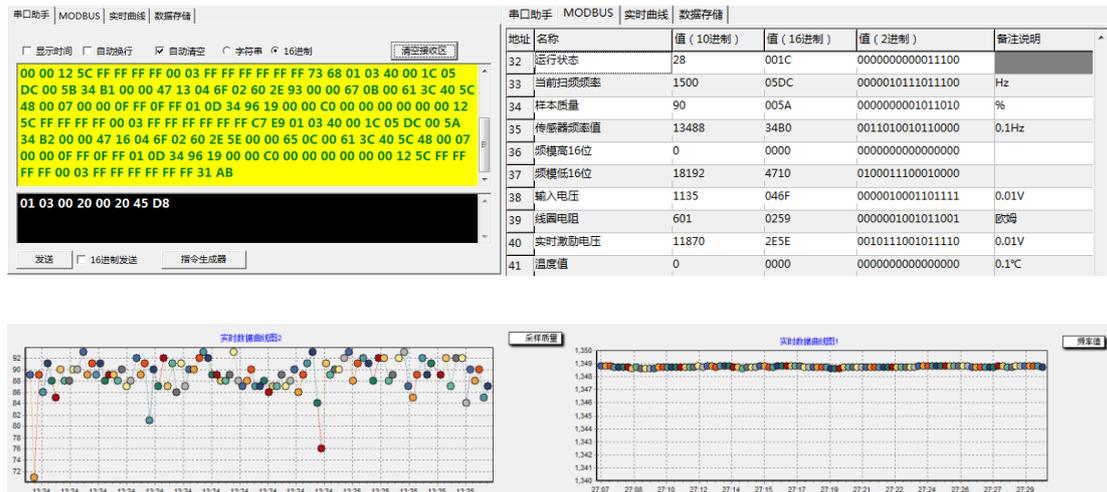
(1) 在界面左上角区域，选择前述计算机 COM 接口名称（若备选下拉框内没有需要的串口名称时，可直接手工输入）；

(2) 点击【连接模块】按钮，若连接成功，则按钮文字变为“断开模块”，并自动读取当前连接模块的版本信息和参数值；

(3) 勾选界面右上部的【自动读取】复选框，2~3 秒后，在界面上即可显示测量到的传感器数据。



在实时数据的右侧（默认为隐藏，见“4.4VMT001 扩展功能”），可在串口助手查看原始接收数据（16 进制），在 MODBUS 工具中以表格形式查看实时寄存器值，在实时曲线中查看实时数据曲线。



不同方式下的实时数据查看

六、常见问题

6.1 计算机无法与模块通讯

应通过以下步骤逐一排查问题

(1) 观察振弦模块状态灯是否正常闪烁，若不正常则应基本断定是模块问题，此时应尝试对模块进行出厂参数恢复。在高速测量时，因模块“忙”而无暇响应串口指令，也会造成通讯不正常，此时可尝试多次发送指令或恢复出厂参数。

(2) 检查模块数字接口类型是否与计算机 COM 接口类型一致 (RS232 或 RS485 或 TTL 电平)。

(3) 检查模块数字接口与计算机 COM 接口三根线是否正确连接 (RS485 接口时是两根线)。详见“5.2 连接 VM 模块”。

(4) 检查计算机 COM 端口是否能够正常收发数据。将计算机 COM 接口与模块的物理连接断开，将计算机 COM 接口的发送、接收两管脚短接 (RS232 的 DB9 接口应是管脚 2 和 3)，打开任意一个串口调试工具，进行任意数据的发送操作，若端口收发正常，则接收区会收到发送区发送的内容，如下图示。



(5) 尝试不同的通讯速率。使用串口调试助手，接收区设置为“字符串(非 16 进制显示)”，将 COM 口设置为不同的通讯速率，保持模块数字接口与计算机 COM 口的物理连接，对模块进行断电、上电操作，若串口调试助手无法收到正确的启动信息则继续改变 COM 口的通讯速率。

(6) 恢复模块出厂参数。将上位机测试工具软件 COM 口通讯速率修改为 9600，断开模块的电源，按下模块上 KEY1 按键 (或将模块 TMP1 与 GND 短接)，接通模块电源，约 500ms 后松开 KEY1 按键，观察测试工具软件是否收到了模块的启动信息。

6.2 传感器频率值不稳定

以下均在出厂默认参数前提下逐步排查问题，若修改过模块参数则应首先恢复出厂设置。

(1) 观察采样质量评定寄存器数据，若低于 90%则可基本认定传感器信号质量较差，若质量很高则测量到的数据是真实的传感器数据。

(2) 切换至高压激励方法（默认值），观察激励电压值，激励电压应为 100V 以上，若激励电压低于此值，则应检查 VSEN 管脚电压是否正常（3~6V）。

(3) 检查模块测量到的传感器线圈电阻值，此值应为数百欧姆或几千欧姆（通常为 500~600 Ω ）。若电阻很小应检查传感器是否短路，若电阻很大则应检查传感器是否断路（没有真正连接到模块）。

(4) 尝试设置更高的激励电压（详见“电源接口”“高压激励方法”等章节）。

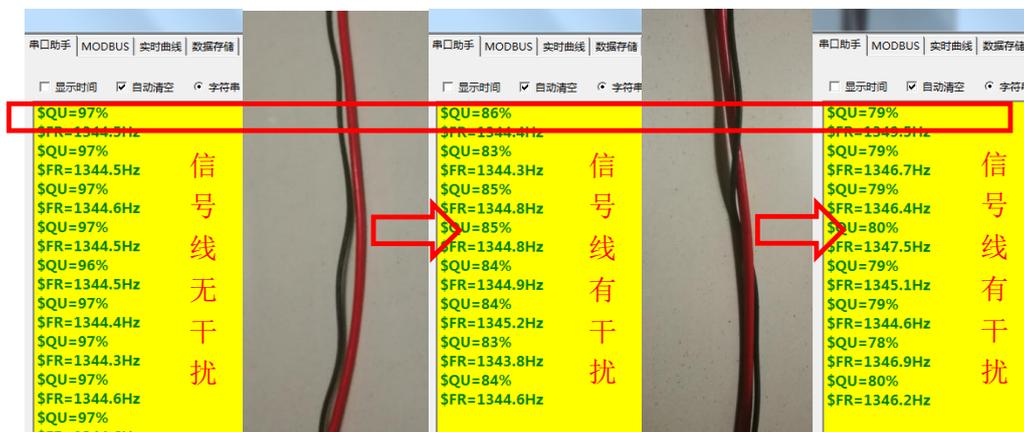
(5) 尝试调整放大倍数电阻，使用更高的信号放大倍数。

(6) 在交直流混合环境使用时，必须将模块可靠接地。

(7) 为模块更换为电池供电或更换不同型号的电源适配器，电源适配器会将交流串入振弦信号，严重时完全无法正常工作。

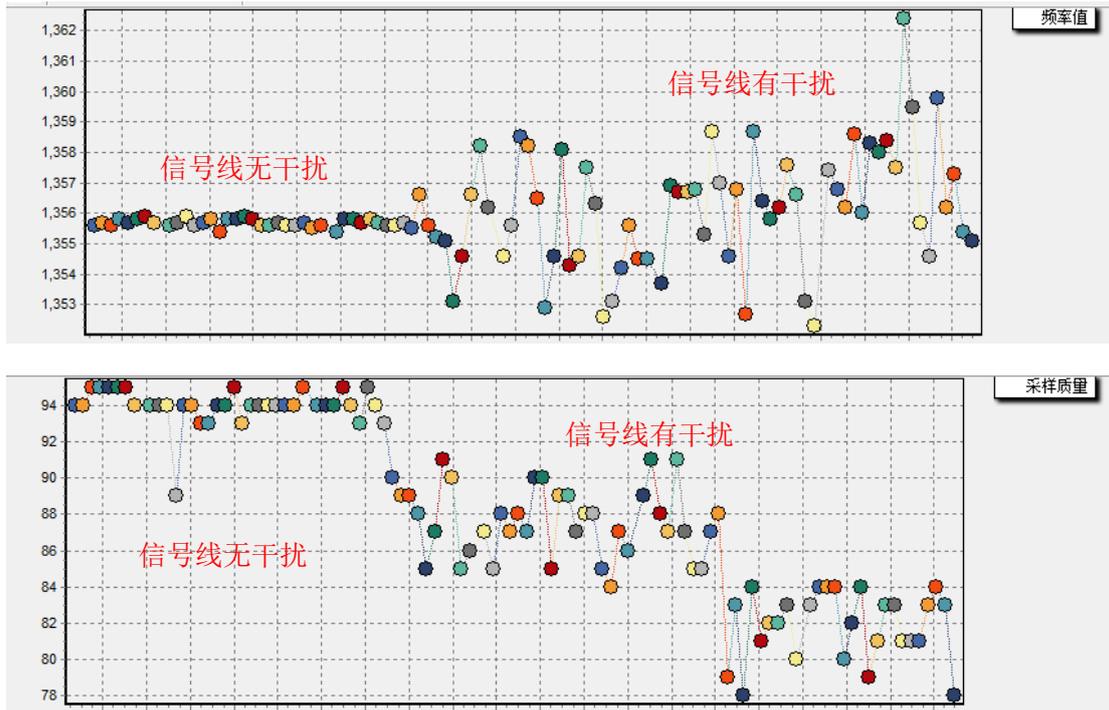
(8) 使用更短的信号传输线（建议排查问题时使用不超过 50 米的信号传输线）。

(9) 严禁传感器信号线与其它带电线路接触（包括其它弱电或信号线）。下图是振弦传感器线路单独走线以及和其它弱电信号交叉走线对传感器测量精度的对比。



不同布线方式对信号质量的影响

上图中，左侧为不受其它信号干扰的测量结果，信号质量 97%，振弦频率基本在小数点后 0.2Hz 跳动，中间为振弦传感器信号线与 5V 直流电线平行走线的测量结果，信号质量下降为 80% 左右，数据跳动最大达到 1.5Hz，右侧为将 5V 电线与振弦信号线缠绕的测量结果，数据跳动最大达到 5Hz。



信号有无干扰时信号质量对比

另外，振弦传感器的频率变化也极易受到震动的影响，若周边有施工、大型车辆运行，也会造成测量值的波动，这是振弦原理的传感器无法回避的问题，可以用多次采集软件滤波平差的方法去除这种随机干扰。

6.3 传感器频率偏大或者偏小

振弦传感器中钢弦的振动频率与钢弦的振动幅度有关，振动幅度越大时频率越高（可能会偏差1~2Hz），所以在传感器使用过程中，应使用相同的激励方法、激励电压才能保证不同时间测试数据的可比性。

6.4 VMTool 通讯错误

状态栏提示“MODBUS 数据长度错误：xx，xx”字样。

这一问题通常是计算机配置较低或使用了接收数据机制不健全的硬件所致，处理方法是：使用文本查看软件打开与 VMTool 同路径下的 config.xml 文件，修改下图所示 IntervalTimeout 的值为更大，例如改为“20”。

```
<?xml version="1.0" encoding="GB2312"?>
<VM3XXCFG>
  <COMPORT>
    <COM_MAIN PortName="COM3" Baud="9600" IntervalTimeout="10"/>
    <COM_SBQ PortName="COM1" Baud="9600" IntervalTimeout="100"/>
  </COMPORT>
  <REGS>

```

修改配置文件后点击保存，重新启动 VMTool 工具。在能保证与模块的正常通讯前提下

IntervalTimeout 的值应该越小越好，有利于提高数据传输效率，过大的 IntervalTimeout 值会导致快速测量时数据接收不正常。

6.5 其它问题

民用级和工业级模块的主要区别

工业或民用等级主要区别在模块的工作温度范围，民用级在 0~65℃ 范围内可以基本保证测量精度（低于 0℃ 仍可工作，但精度会受较明显的影响），工业级具有更高的测量精度且工作温度范围更宽（-40~85℃）。

远距离测量时注意事项

当模块与传感器之间距离较远时，建议使用屏蔽性能优良的电缆进行连接，电缆导线不低于 0.3 平方。信号线的质量（尤其是屏蔽层）和现场布线会直接影响振弦传感器的数据读取，当两方面条件均较理想时，传感器信号线与采样模块距离可达数千米。导线电阻大小也会影响信号强弱，0.3 平方的线缆，每千米的电阻约为 70Ω，测量时为往返线，则电阻为 70*2=140Ω，而振弦传感器线圈电阻一般为 500Ω 左右，会产生较大的分压效应，降低对线圈的有效激励信号幅值。测量传感器热敏电阻时，同样存在上述导线电阻问题，导致测量到的电阻值偏大，温度值偏低（热敏电阻是负温度系数电阻器）。

为什么传感器的频率值越来越小？

连续激振时，传感器频率会有小幅降低，属正常现象（与钢弦材料的力学特性有关），基本在 1~2Hz。

为什么分辨率是 0.1Hz 而精度可以达到 0.2Hz？

输出频率值分辨率为 0.1Hz 是为了使用单个 16 位整数能够表示 6000Hz 以内的值，简化数据读取，若采用保留两位小数的输出格式，16 位整数就会超限溢出，实际上模块内部是采用浮点计算的，计算过程中的频率分辨率远高于 0.1Hz。固件版本 V3.12 已增加传感器频率值高分辨率寄存器，可显示 0.01Hz。

为什么读取到的频率值精度不是 0.2？

测量模块的读数精度仅可用标准信号（如精度较高的信号发生器）来衡量，在实际连接传感器测量时，受到传感器本身精度、现场走线干扰、信号传输衰减等多种因素影响，均会导致模块接收到的信号自身精度下降。一般来说，**信号幅值低说明激励不够，采样质量差说明干扰较多**。另外，频率越低时测量精度越高，反之测量精度会有所下降。

是否可以测量低频传感器（如 300Hz）？

可以，本模块支持 30Hz~12000Hz 的频率采集，需要注意低频率传感器在采样时需要更长的时间，应根据实际频率和期望采样数量设置合理的采样超时时长。

测量频率（读数速度）还能再高吗？

目前模块仅可实现最高 20Hz 的读数速度，对于绝大多数的应用足够了。高频的数据采集一般用于震动测量，缘于振弦传感器的测量原理，外界的震动本身对传感器就是一种干扰，故此振弦传感器仅适于测量静态的力或位移等物理量而不适合测量震动，在工程应用中，对于震动的测量应使用加速度传感器，而非振弦传感器。一秒钟几十次或几百次的读数毫无应用意义。

七、附录

7.1 功能码

功能码	功能说明
0x0001	复位重启
0x0002	恢复出厂参数
0x000A	将当前参数设置为出厂参数
0x000B	恢复参数为默认值
0x000C	保存参数到用户参数区
0x0003	读取固件版本信息
0x0006	进入休眠模式
0x0007	立即结束当次测量过程
0x001x	单次测量 x 次后输出结果
0x003x	单次测量，测量前清空历史数据
0x007x	单次测量，最多 x 次

7.2 错误码

暂无

7.3 提示信息

提示内容	说明
CRC Err	检测到参数校验错误，已恢复为出厂值
BAUD Err	检测到 UART 通讯速率错误，已恢复为出厂值
KEY1 或 RST	检测到按键复位，所有参数已恢复为出厂值
SNReadErr	模块序列号读取错误
Unregistered	模块未注册，无法使用
FlashWriteErr	内部 EEPROM 存储器写入错误
FlashReadErr	内部 EEPROM 存储器读取错误
AMPErr	动态放大倍数设置错误
WakeUp	模块被唤醒
Coil Err	检测到振弦传感器线圈电阻异常
DSEE	目前参数存储区为禁用状态

7.4 注意事项

- (1) 供电电压必须稳定可靠，GND 必须连接大地。
- (2) 远离强电磁干扰。
- (3) 严禁在修改参数或参数复位（恢复出厂参数）时断开电源。
- (4) 不要频繁修改参数，若确需频繁修改建议先请 WKMD.14 设置为 1（仅在 RAM 中修改），

需要掉电存储时将 WKMD.14 设置为 0（保存到 EEPROM）。

7.5 寄存器参数汇总表（按位）

寄存器地址		名称	功能描述（按位）																备注说明	
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01		00
0	00	ADDR	模块地址（UART）	预留								模块地址 1~127、129~254								
			默认值	0								1								0x0001
1	01	BAUD ^①	通讯速率（UART）	UART 通讯速率，单位：百 bps																bit15: 是否软件握手
			默认值	0	0	96, bit14: 是否忽略“测量正忙”标志而立即响应指令														0x0060
2	02	AUX ^①	辅助功能寄存器	预留																3.22 辅助功能寄存器
			默认值	0	0	0	0	0	0							1	1	0	0	0
3	03	SYS_FUN	系统功能寄存器	预留								系统功能码								
			默认值（上电复位）	0								0								0x0000
4	04		预留																	
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
5	05	WKMOD	工作模式	预留，详见“3.9 测量模式”																bit12:5: 预留
			默认值	0	0	0							0			1				
6	06	MM_INTE	连续测量时间间隔	连续测量时间间隔，单位：mS																
			默认值	500																0x1F4
7	07	ATSD_SEL	自动上传																	3.4.3 主动上传测量数据
			默认值（上电复位）	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	08	RD_INTE	延时采样	预留				延时值。bit15: 动态延时 bit14: 延时单位，默认 mS												3.13.1 延时采样
			默认值	0	0	0	100												0x0064	
9	09	RD_COUNT	期望采样数量	采样超时值，单位 1000mS								期望采样数量，单位：个								
			默认值	10								200								0x14C8

DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
10	0A	EX_METH	激励方法	预留。Bit6:5 第一激励法选择										激励方法				bit4: 强制激励		
			默认值	0										3/2	0	4		0x0001		
11	0B		预留																	
																				0x0000
12	0C		预留																	
																				0x0000
13	0D	HP_DUR	泵压时长	预留				泵压时长 mS												bit15: 智能泵压时长
			默认值	0	0				1000											
14	0E	HP_EXP	期望电压	预留								期望高压, 单位 V								bit15: 启用电压调节
			默认值	1	0								130							
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
15	0F	FS_FMIN	扫频下限	预留				扫频下限, 单位 Hz												
			默认值	0				1000												0x05DC
16	10	FS_FMAX	扫频上限	预留				扫频上限, 单位 Hz												
			默认值	0				2000												0x0640
17	11	FS_STEP	扫频步进	预留								扫频步进, 单位 Hz								
			默认值	0								5								0x0005
18	12	FS_SCNT	扫频周期数量	固定频率扫频输出信号数量								渐变频率扫频输出信号数量								
			默认值	100								10								0x640A
19	13	FIT_TYPE	软件滤波方法	预留												滤波方法				
			默认值	0												0				0x0000
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
20	14	FIT_COUNT	滤波样本数量	预留												滤波样本数量 3~30				
			默认值	0												10				0x000A

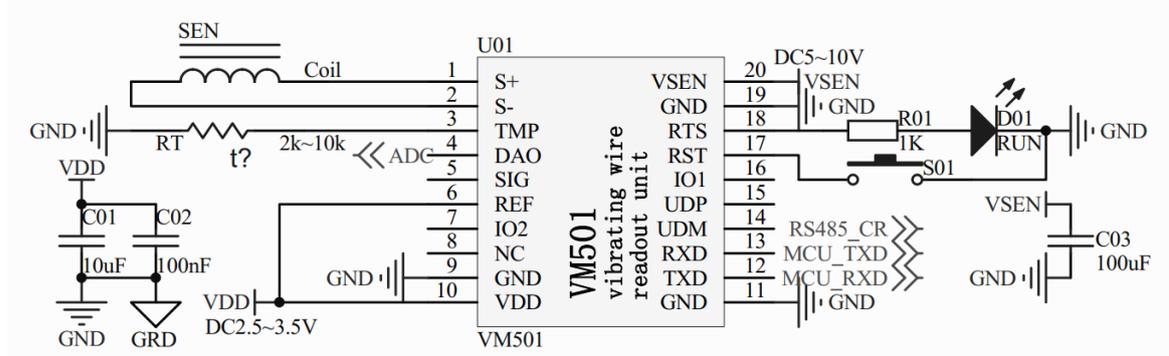
21	15	CAL_PAR1	粗差别除参数因子	粗差别除方法				粗差别除因子												
			默认值	0	0	0	0	20	0x0014											
22	16	CAL_PAR2	优质样本数限制	预留				优质样本数限制因子				bit15: 允许 SFC 频率								
			默认值	0	4	0x0004														
23	17	AMP ^①	信号放大倍数	预留		过采样次数		放大级别 0~31				bit15: 启用动态放大								
			默认值	0	0	0	1	0x000F												
24	18	FSG_TH	反馈扫频上下限	反馈扫频频率上限差				反馈扫频频率下限差												
			默认值	20	20	0x1414														
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
25	19	DAO_TH	模拟输出频率范围	模拟量最大值对应的频率值				模拟量最小值对应的频率值				百 Hz								
			默认值	30	10	0x1E0A														
26	1A	TEMP_PAR1 ^①	温度计算参数 1	预留		热敏电阻 B 值														
			默认值	0	3950	0x0F6E														
27	1B	TEMP_PAR2 ^①	温度计算参数 2	热敏电阻电阻值修正系数, 单位 0.01																
			默认值	100	0x0064															
28	1C	TEMP_EX ^①	温度传感器设置	热敏电阻标称值, 单位 K Ω				温度传感器类型				3.17 温度传感器读取								
			默认值	2	0	2	0x0201													
29	1D	EXS_TH	信号质量限值	预留		限制值类别		限制值				3.12.4 频率反馈扫频法								
			默认值	0	0	80	0x0050													
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
30	1E	SIG_TH	信号幅值上下限	信号幅值上限				信号幅值下限												
			默认值	100	0	0x6400														
32	20	SYS_STA	运行状态	预留								3.8.2 运行状态								
			只读	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0x0000		

33	21	SFV	实时扫频频率	预留	实时扫频频率，单位：Hz															
			只读	0	0	0x0000														
34	22	SMP_QUA	采样质量	预留						优质采样评估质量值										
			只读	0	0	0x0000														
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
35	23	S_FRQ	频率值	振弦传感器实时频率值，单位 0.1Hz																
			只读	0	0x0000															
36	24	F_REQMH	频模值	WKMOD. [3:1]=0 时：振弦传感器实时频模值=F_REQMH*65536+F_REQML WKMOD. [3:1]=1 时：实时高分辨率频率值=F_REQMH*65536+F_REQML																0x0000
			只读																	
37	25	F_REQML																		0x0000
38	26	V_POW/ADC1	通用 AD 转换 1	ADC1/VIN 实时采集值																
			只读	0	0x0000															
39	27	S_RES	线圈电阻	振弦传感器线圈电阻值，单位：欧姆																
			只读	0	0x0000															
DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
40	28	V_SEN	激励电压	传感器实时激励电压值，单位：0.01V																
			只读	0	0	0x0000														
41	29	TEMP	温度	实时温度值，单位：0.1℃																
			只读	0	0x0000															
42	2A	SMP_STD	样本标准差	全部采样标准差，单位：Hz						优质采样标准差，单位：Hz										
			只读	0	0	0x0000														
43	2B	HQ_COUNT	样本质量	预留						优质样本数量值										
			只读	0	0	0x0000														
44	2C	SIG_VAL1	信号幅值 1	激励完成信号幅值						开始采样信号幅值										

DEC	HEX	符号	名称	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	备注说明
			只读	0								0								0x0000
45	2D	SIG_VAL2	信号幅值 2	采样结束信号幅值								平均信号幅值								
			只读	0								0								0x0000
46	2E	VPOW	VDD 实时电压	单位: mV																
			读写	0																0x0000
47	2F	NOISE_FRQ	底噪频率	单位: 0.1Hz																
			只读	0																0x0000
48	30	NOISE_AMP	底噪强度	单位: dB																
			只读	0																0x0000
49	31	CH_STA	多通道状态	每通道是否检测到了线圈								每通道频率值是否来自 SFC								
			只读																	0x0000
50	32	CH_NUM	多通道的通道号			预留	线圈数量	预留				刚刚完成的通道								
			只读	0	0			0								0x0000				
51~54	33~36	CH01~CH04	通道 1~4 频率值	通道 1~通道 4 实时频率值																
			只读																	0x0000
55~58	37~3A	CH05~CH08		VM608/VM708: 通道 5~通道 8 实时频率值																
				VM604/VM704: 通道 1~通道 4 实时温度值																0x0000
59~62	3B~3E	18B20_ID	18B20 的 64 位 ID	共 4 个寄存器 (8 字节, 64 位)																0x0000
51~58	81~88	CH01_HQ~CH08_HQ	通道 1~8 频率信号的质量值	每个寄存器的高 8 位字节是优质样本数占全部采样数的百分比 低 8 位字节是优质样本的评估质量百分比																
①: 这些参数在下次模块启动时生效																				

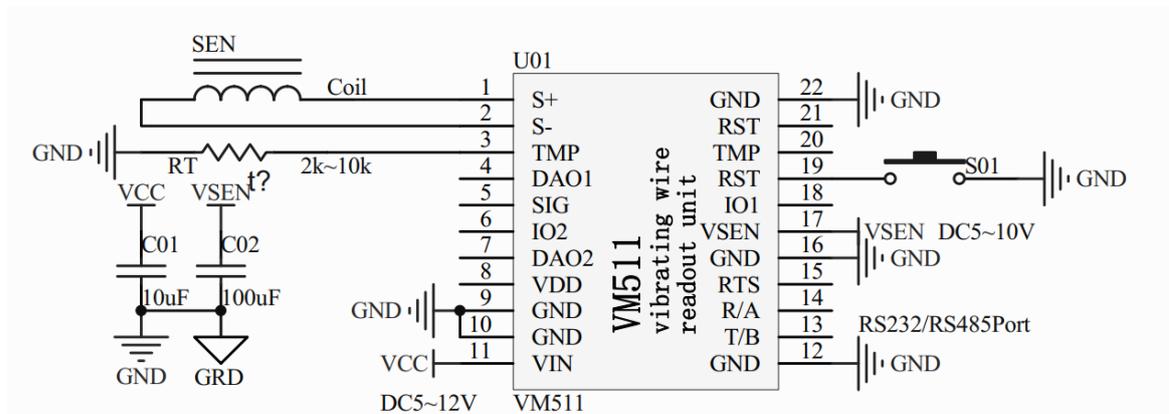
7.6 应用电路

VM501



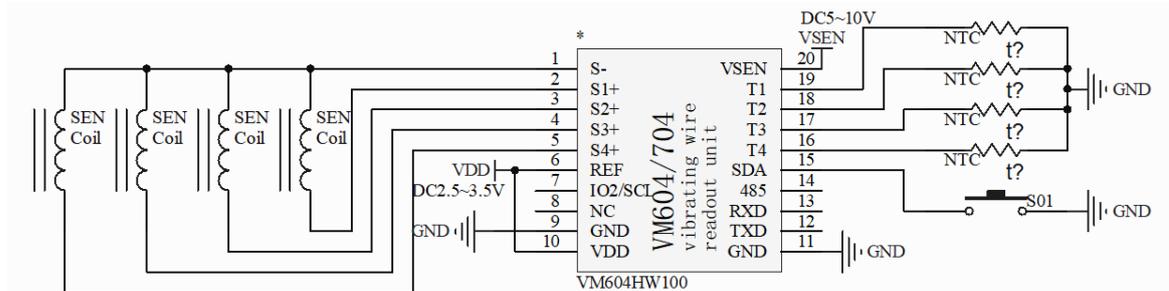
VM501 基本应用电路

VM511

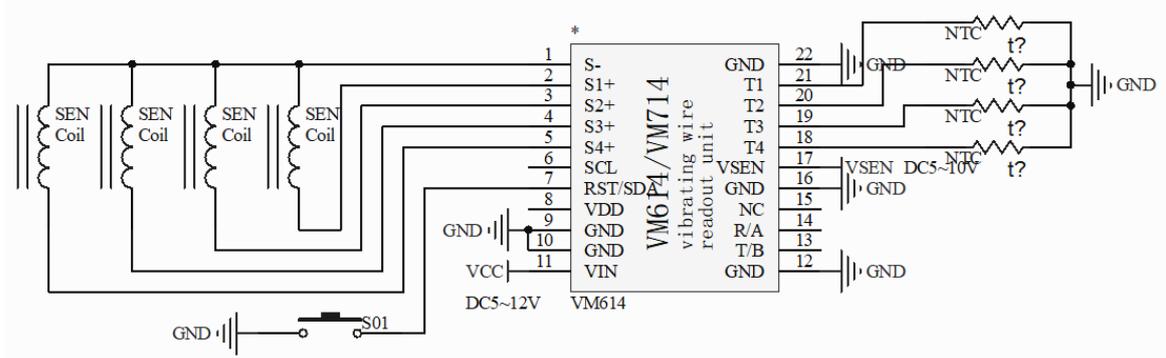


VM511 基本应用电路

注：VMx1x 模块时，VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN，请在确认后再使用 VSEN。

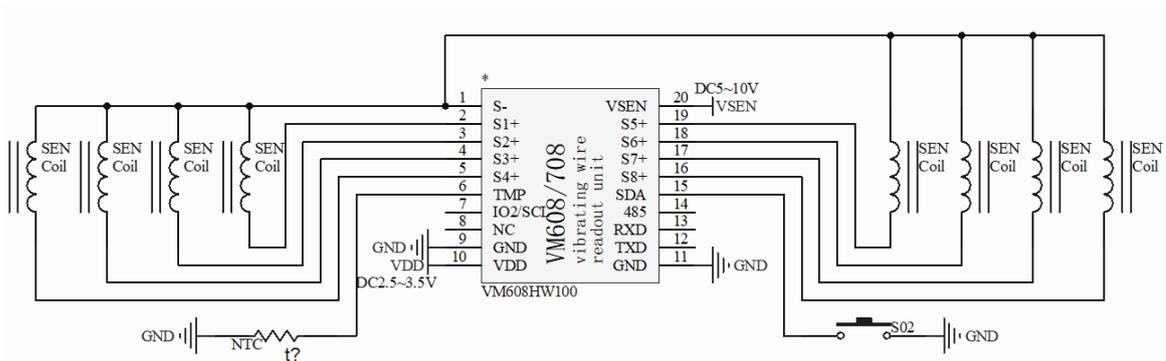


VM604/704 基本应用电路

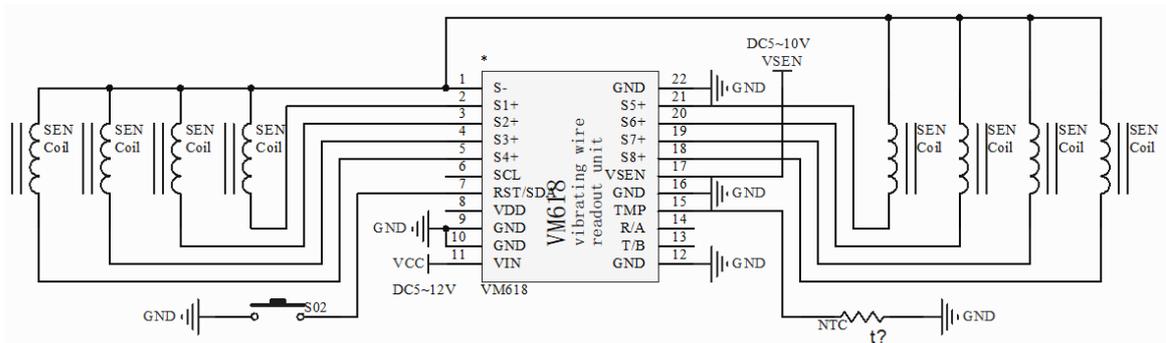


VM614/714 基本应用电路

注：VMx1x 模块时，VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN，请在确认后再使用 VSEN。



VM608 基本应用电路



VM618 基本应用电路

注：VMx1x 模块时，VSEN 可选择是否在内部连接于 VIN，请在确认后再使用 VSEN。

7.7 字符\$指令汇总

指令	功能描述
\$GETP=regAddr	
\$SETP=regAddr, value	
\$SAVE	
\$SLEP	
\$MSFR=times	单次测量，输出频率值
\$MSFT=times	单次测量，输出频率和温度值
\$RSTP	恢复为出厂参数
\$STFC	将当前参数覆盖到出厂参数区
\$STDF	恢复为生产商预设的默认值
\$IICA=I2CAddr	修改 IIC 设备地址（偶数）
\$STFP=A, B, C	设置频率修正参数
\$GTFP	读取频率修正参数
\$STTP=A, B, C	设置温度修正参数
\$GTTP	读取温度修正参数

7.8 固件升级

更新固件存在一定风险，可能导致设备无法使用，请慎重操作。

BL4VM 是预置于 VM 系列振弦模块内的一段程序，可以完成基于 UART 的固件下载。

通讯速率：固定为 115200bps

固件程序：扩展名 hwf 文件

下载工具：BLDown.exe

准备工作

(1) 检查模块是否具有 BootLoader 功能

使用任意串口工具，通讯速率设置为 115200bps

确认模块上电时是否输出“BOOT LOADER FOR VM V1.0.0”信息。

(2) 固件程序文件

从网站下载需要的固件程序文件，扩展名为 hwf

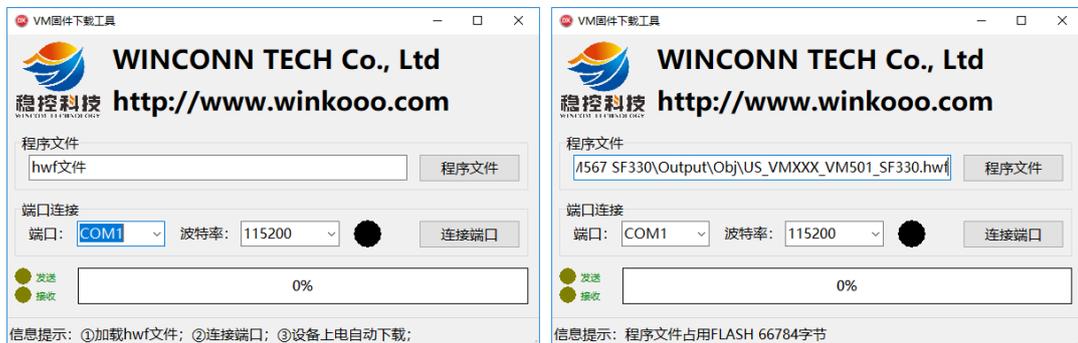
(3) 固件下载工具

从网站下载 BLDown.exe 程序

开始固件更新

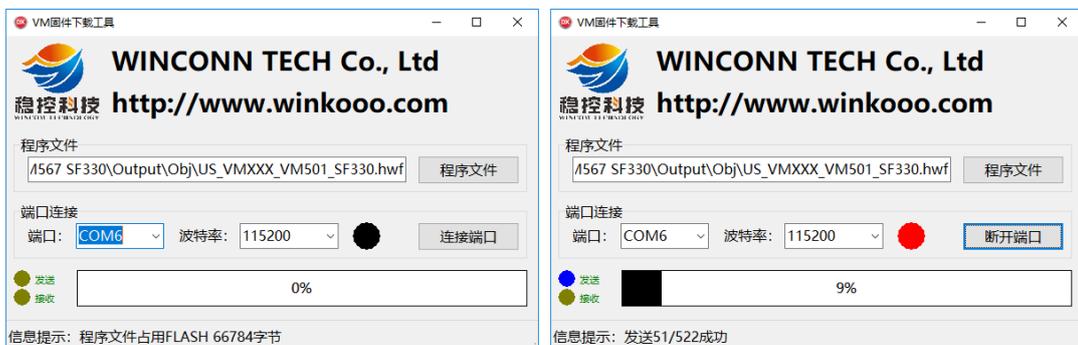
(1) 加载固件文件

打开 BLDown.exe，点击【程序文件】按钮，选择要下载的 hwf 固件程序文件。加载成功后，状态栏显示固件文件的基本信息。



(2) 选择端口开始下载

选择与模块连接的 COM 端口，通讯速率保持默认值 115200bps。将模块与 COM 端口连接并保持模块为未上电状态。点击【连接端口】按钮，在 5 秒内给 VM 模块上电，固件下载过程自动开始。



(3) 当下载进度 100% 完成后，重新给模块上电。

硬件：V1.20 固件：V3.52 文档版本：1.45 QQ 交流群：257424855 邮箱：INFO@GEO-INS.COM

河北稳控科技有限公司 <http://www.winkooo.com>

技术支持：400-096-5525 0316-3093523 [101/109]

八、修订历史

8.1 固件修改历史

固件版本 V3. 52

- 修改固件版本号为 V3. 52_2201009。
- 增加了电子标签测量功能。WKMOD. [12]用于控制是否使用此功能
- 新增状态位 STATUS. [13]，用来表示是否检测到了电子标签。
- 增加了电子标签信息读取指令\$RDDT=1, 2。
- 增加了寄存器 89（多通道电子标签状态）

固件版本 V3. 51

- 修改固件版本号为 V3. 51_2200827。
- 增加了频率和温度的多项式修正参数和对应指令。\$STFP、\$GTFP、\$STTP、\$GTFP
- 增加了 FFT 频幅数据输出功能。设置 ATSD_SEL. [5]为 1。
- 修正了 VM608 采集 NTC 温度时电阻会小 100 欧姆的 BUG。

固件版本 V3. 50

- 修改固件版本号为 V3. 50_2200529。
-

固件版本 V3. 50

- 修改固件版本号为 V3. 50_220215。
- 增加工作参数存储区设置指令，重新指定存储区、禁用或者启用存储区，请咨询厂家。

固件版本 V3. 50

- 修改固件版本号为 V3. 50_220117。
- 修复完善了采样数量过少时可能出现的假死现象
- 进一步加强了 SFC 激励方法的激励信号强度（达到固定频率反馈的效果）

固件版本 V3. 50

- 修改固件版本号为 V3. 50_210813。
- 限制高压激励电压最高 180V。
- 增加传感器线圈电阻异常检测功能，电阻异常时暂停 2~10 秒。

固件版本 V3. 50

- 修改固件版本号为 V3. 50_210612。
- 修正“未连接 VSEN 上电时线圈电阻测量错误”的 BUG。
- 修改多通道模块未连接任何传感器时 CHNUM[15]为 1（以前为 0）。
- 修正滤波数据大于 19 时死机的 BUG。
- 修正可能的错误频率值引起的历史数据滤波结果异常。
- 增加了多通道寄存器 81~88，用于保存每个通道的优质样本百分比和信号评估质量百分比
- 增加了过采样参数位 AMP. [11:8]。

固件版本 V3.50

- 修改固件版本号为 V3.50_2104xx。
- 修正单次测量死机 BUG

固件版本 V3.50

- 修改固件版本号为 V3.50_210217。
- 增加高压保护措施，传感器线圈电阻不在正常范围内时高压限制为 50V 或者固定泵压 100ms。
- 线圈电阻范围调整为 $50\Omega \sim 5000\Omega$ 。（以前固件为 $50\Omega \sim 10000\Omega$ ）
- 修改默认参数值。扫频范围由 1000Hz~2000Hz 更改为 300Hz~5000Hz。
- 修正上电后 2 秒内读取得到错误频率值的 BUG。
- 修改连续测量时间间隔，可设置为 5ms~92 小时。
- 修改测量前等待时长逻辑，未完成测量时固定为 500ms，不受参数设置值限制。
- 寄存器 CH_NUM 功能位增加&修改
 - ✓ CH_NUM.[15]：已完成了所有通道至少一次测量。
 - ✓ CH_NUM.[14]：所有通道已完成测量并且信号质量均达到或超过了预定值。
 - ✓ CH_NUM.[11:8]：已检测到的有效线圈数量（传感器数量）。
 - ✓ CH_NUM.[3:0]：修正低 4 位含义不清问题，已修正为“刚刚测量完成的通道号（1~8）”。
- 修改状态位策略，调整部分状态标志位为自动模式（无需指令清零）。
自动设置 0/1 的标志位：**【采样超时】、【信号质量低】、【频率值溢出】、【未检测到线圈】、【温度传感器异常】。**
需要手动清零的标志位：**【指令校验错误】、【UART 接收溢出】、【测量完成】、【扫频激励时间过长】。**
- 信号质量未达到预设值时强制设置频率值为 0。
- 优化了 1Wire 接口通讯方法，可实现两线制远距离温度测量、获取唯一 SN 码。
- 取消了温度传感器类型“智能判断”参数。
- 取消了温度传感器类型中的“间接连接 NTC”参数。
- 增加了高压脉冲激励时电压值限制。
- 增加了实时寄存器 59~74（18B20 唯一 ID 码）。
- 修正了不能输出低频扫频信号的 BUG。
- 修正了 MODBUS 指令码 0x10 不能从非地址 0 开始的 BUG。
- 增加 SFC 辅助功能，增加了 SFC 辅助使能位 AUX[5]：是否使用 SFC 辅助功能。
- 增加寄存器 SFC_FRQ（地址 38），用于存储实时频谱计算得到的频率值。
- 定义寄存器 SMP_QUA[15:8]，表示 SFC_FRQ 的误差范围。
- 删除寄存器 GPIO（地址 46），重定义为实时工作电压寄存器 V_POW。
- 删除寄存器 ADC02、ADC03、ADC04。
- 优化、修改了信号幅值算法，提高了信号幅值准确性。
- 增加了“SFC 辅助激励方法”。
- 增加了是否允许使用 SFC 频率的参数项。增加了当前频率值是否来自 SFC 的寄存器。
- 修改休眠逻辑为“当次测量完成后”，用来减少模块休眠功能启用时的无响应几率。
- 休眠唤醒引脚 RXD 和 SCL 增加内部弱上拉，防止外部干扰意外退出休眠状态。
- **修正了特定条件时 SIG 和 DAO 引脚输出不正确的 BUG。**
- 修改默认参数值，扫频起始频率为 300Hz，终止频率为 5000Hz，修改“智能泵压时长”为

启用状态。

- 修改了高压放电时长策略，由固定时长修改为动态时长。
- 优化了写寄存器响应速度（由以前的“当次测量完成后响应”改为“测量过程间隙响应”）。
- 增加了“是否按照通道顺序依次响应（回传）实时数据”。WKMOD[13]。
- VSEN 电压值含义修改。检测到线圈时表示加载到线圈上的电压，无线圈时表示实际的 VSEN 电压。
- 增加了 VSEN 电压低标志位 SYS_STA. [9]，当 VSEN 电压低于 3V 时放弃测量。
- 优化了通道共用寄存器准确性，保证“刚刚完成的通道值”与读取到的实时共用寄存器同步。
-

固件版本 V3. 33

- 修改固件版本号为 V3. 33_190604。
- 增加 VM604、VM704 模块 RS485 收发控制管脚功能
- 修正上电后 2 秒内读取得到错误频率值的 BUG

固件版本 V3. 32

- 修改固件版本号为 V3. 32_190516。
- 增加 BootLoader 引导固件程序
- 修正单次测量时传感器电阻测量错误的 BUG

固件版本 V3. 30

- 修改固件版本号为 V3. 30_190310。
- 增加 IIC 接口支持
 - ✓ IIC 地址可修改，必须使用专用指令。
 - ✓ 读写时序与 AT24C08 兼容。
- 修正固件 3. 21 之后出现的“分段扫频完成后立即拔出传感器会死机”的 BUG。
 - ✓ 增加了分段扫频及全频段扫频过程中检测传感器线圈拔出的功能。

固件版本 V3. 23

- 修改固件版本号为 V3. 23_190218。
- 完善外接温度传感器测量
 - ✓ 增加了无外接温度传感器标志位 SYS_STA. [14]。
 - ✓ 无外接温度传感器时温度值自动为 65535。
 - ✓ 优化温度测量稳定性。
-

固件版本 V3. 22

- 修改固件版本号为 V3. 22_190125。
- 增加了系统指令码 07，可立即结束当次正在进行的测量过程，直接转向下次测量。
- 修改了固定扫频周期数与以往固件的兼容性。

固件版本 V3.20 (3.21)

- 修改固件版本号为 V3.20_181202。
- 公开出厂参数修改功能，相应的增加了三条\$指令\$RSTP、\$STFC、\$STDF。
 - ✓ \$RSTP：恢复参数为出厂值
 - ✓ \$STFC：设置当前参数为出厂值（将当前参数写入出厂参数区）
 - ✓ \$STDF：恢复参数为厂家预设的一组固定的默认值
- 增加 MODBUS 指令码 04 支持
- 增加半功耗设置功能，对应辅助功能寄存器 AUX. [3]
- 增加固定频率扫频输出周期专用参数 FS_SCNT. [15:8]
- 增加单次测量指令 AAAB，可同时输出频率和温度值
- 增加休眠模式，相应的增加了指令码 0x0006
- 增加第一激励法 3 “高压激励优先”
- 完善\$指令集，增加\$GETP、\$SETP、\$SAVE、\$MSFR、\$MSFT、\$SLEP 指令，根据\$指令功能添加系统功能寄存器指令码 0x06、0x0A、0x0B、0x0C。
- 删除模块内部自用寄存器 11 和 12，改为备用寄存器，暂未定义功能。
- 其它优化
 - ✓ UART 指令响应速度优化
 - ✓ 优化高压激励性能

固件版本 V3.14

- 修改固件版本号为 V3.14_180917。
- 辅助功能寄存器增加 AUX. [15]UART 数据位、AUX. [14:13]UART 停止位和 AUX. [12:11]UART 校验位参数位定义。
- 修改模拟量输出算法，由原来 VDD 比例输出改为基于电压基准的绝对值物理量输出，不再受供电电压波动影响。
- 增加单次测量指令码 0x7X。
- 增加直接读取频率寄存器激活单次测量功能。

固件版本 V3.14

- 修改固件版本号为 V3.14_180901。
- 辅助功能寄存器增加 AUX. [1]纹波过滤和 AUX. [2]振动回避参数位定义。

固件版本 V3.14

- 修改固件版本号为 V3.14_180801。
- 增加频率值模拟量输出功能，相应的增加了模拟量频率上下限寄存器 DAO_TH、辅助功能寄存器 AUX。

固件版本 V3.13

- 修改固件版本号为 V3.13_180701。
- 修正未检测到传感器时收到单次测量指令后会自动切换为连续测量模式的 BUG
- 修正频率超过 6553.6Hz 时溢出标志位不置位的错误。
- 修正实时频率寄存器与高精度频率寄存器数值不一致的错误。
- 优化低压扫频输出频率算法。

- 修正了反馈固定扫频法中，第一激励法与固定扫频频率输出周期数的冲突。

固件版本 V3.12

- 修改固件版本号为 V3.12_180621。
- 增加参数 UART.[14]，是否忽略“测量正忙”标志而立即响应指令。
- AABB 读取指令响应部分增加保护措施（减少响应码发生错误的机率）。
- 增加低压扫频频率自校准功能，参数固定，不随恢复出厂参数变化。
- 增加“反馈区间频率扫频上下限”寄存器 FSG_TH (0x18)。
- 改善激励电压显示值稳定性和正确性。
- 增加实时数据稳定性控制算法。
- 增加频模寄存器显示内容设置参数 WKMOD.[3:1]。
- 增加新的激励方法“全频段扫频法”
- 激励方法寄存器 EX_METH.[6:5]定义为“第一激励法”设置位。

固件版本 V3.11

- 修改固件版本号为 V3.11_180318。
- 号信幅值限制功能生效（以前此寄存器没起作用）。
- 修正 UART 通讯速率 19200bps 不能使用的 BUG。

固件版本 V3.10

- 2018 年 02 月 01 日，修改固件版本号为 V3.10_180201。
- 2018 年 02 月 01 日，增加自定义分段域扫频法方法（方法 8）。
- 2018 年 02 月 01 日，激励方法寄存器 EX_METH.[5]定义为“第一激励法”设置位。
- 2018 年 03 月 14 日，修改固件版本号为 V3.10_180314。
- 2018 年 03 月 14 日，修正实时幅值输出时向模块发送其它指令可能会死机的 BUG。
- 2018 年 03 月 14 日，修正强制激励时反馈激励法的 BUG。
- 2018 年 03 月 14 日，修正自定义段域扫频激励法输出频率不正确的 BUG。

固件版本 V3.02

- 2018 年 01 月 10 日，修改固件版本号为 V3.02_180110。
- 2018 年 01 月 10 日，修复传感器线圈电阻较大（接近或大于 1k）时上电初始化不能正确识别的 BUG。
- 2018 年 01 月 10 日，出厂默认参数修改。启用期望电压控制功能（HP_EXP.[15]=1）、期望电压为 130V（HP_EXP.[7:0]=130）。
- 2018 年 01 月 10 日，运行状态寄存器 SYS_STA.[6]定义为激励时长超时标志位。
- 2018 年 01 月 10 日，运行状态寄存器 SYS_STA.[15]定义为线圈未接入状态标志位。
- 2018 年 01 月 10 日，未激励时（未检测到线圈并且未设置强制激励）将一些状态寄存器设置为没有歧义的值，防止读取这些寄存器时产生误判。

8.2 文档修订历史

V1.00	V3.01	2015 年 06 月	初次创建
-------	-------	-------------	------

V1.01	V3.01	2017年07月	修正温度传感器寄存器说明 增加泵压时长动态调节说明
V1.02	V3.01	2017年08月	增加应用电路
V1.03	V3.01	2017年10月	增加 VM4XX 系列
V1.04	V3.02	2018年01月	修改“寄存器概述”小节、“寄存器参数汇总表”、“高压脉冲激励法”小节中寄存器 HP_EXP 的默认值。 修改“寄存器参数汇总表”、“运行状态”小节中 SYS_STA. [6]. [15]定义。
V1.10	V3.10	2018年03月	传感器激励方法小节增加“分段渐进低压扫频法-自定频段”方法描述及功能说明。 增加 EX_METH. [5]为“第一激励法”设置位描述说明。 反馈激励法小节中增加了“第一激励法”的描述。 增加“VM4XX 内部运放连接框图” 修正 VM301 尺寸图
V1.11	V3.12	2018年6月	增加 UART. [14]参数说明 增加扫频频率自校准章节 增加反馈区间频率扫频上下限寄存器说明 增加工作模式寄存器 WKMD. [3:1]参数说明 完善频模寄存器内容说明 修改输入电压、激励电压推荐范围 修正外接温度传感器 18B20 的接线错误说明 增加新的激励方法“全频段扫频法” 增加扫频输出频率自校正操作方法说明
V1.12	V3.14	2018年8月	增加 VM5XX 相关内容。 增加频率值模拟量输出章节 3.22.1。 增加信号纹波滤除章节 3.22.2。 增加辅助寄存器 AUX1 说明。 修改 RTS 管脚输出信号表述方式，将原高低电平改为逻辑正负。
V1.12	V3.14	2018年9月	修改 3.22 章节，增加了 UART 通讯接口的数据位、停止位和校验位参数说明。 修改模拟量输出文字说明为绝对值（电压或电流）。 增加单次测量指令码 0x7X 说明。 增加“直接读取频率寄存器”激活单次测量功能说明。
V1.20	3.20	2018年12月	修改通讯协议说明，增加 MODBUS04 功能码支持 增加出厂参数、默认参数设置说明 测温范围表格内增加 VM501 列（3.19）

增加辅助功能寄存器 AUX. [3]说明			
V1.20	3.21	2018年12月	
修改 FS_SCNT 寄存器说明 (3.12.2) 完善单次测量指令 AAAB, 增加温度值输出 (3.9.2) 增加休眠模式说明 (3.8.1、3.21.6) 增加 AUX. [4]参数说明 (3.21) 修改第一激励法寄存器说明表, 增加第3种第一激励方法 (3.12) 修正指标参数表格中的功耗参数 增加\$指令集通讯协议说明 (3.4.1) 增加\$指令单次测量说明 (3.9.2) 增加了 VM501 应用电路 (7.6) 删除系统内部自用寄存器 11 和 12 相关内容 (3.5、7.5) 硬件接口部分 (第二章), 分系列分型号进一步明确接口功能及使用方法, 修正了一些错误描述。			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 修改电源接口 VDD 描述, 明确了不同型号模块对 VDD 的要求。2.1 ✓ 增加参考电压说明。2.1 ✓ 删除了单电源供电示意图中的 VEN 管脚连接。2.1 ✓ 根据不同型号, 将 RST 管脚分别说明。2.2 ✓ 增加 VM5XX 模块中参考电压管脚 VREF 的使用说明。2.10 修改“复位值”为“默认值”, 更正了部分寄存器表格中的默认值			
V1.22	V3.22	2019年01月	
添加了 07 指令码说明。3.12.6、3.12.7、7.1			
V1.23	V3.23	2019年02月	
修改 SYS_STA 寄存器说明, 添加了外接温度传感器检测标志位。3.8.2			
V1.30	V3.30	2019年03月	
修订了 IIC 接口协议说明。2.6、3.4.2 修正了 VM5XX 管脚定义。1.6.3 修正了功能框图中传感器线圈接入管脚的标识错误。1.2			
V1.31	V3.33	2019年06月	
增加了 VM604/614/704/714 管脚定义。1.6.4 更正了第3章寄存器详细介绍中的错误地址值。 增加 BootLoader 固件升级方法说明。7.8			
V1.32	V3.35	2021年01月	
删除了与 VM3、VM4 相关的内容, 本文档专用于 VM5/6/7 删除了不常用的激励方法。 增加了基本应用电路。			
V1.32	V3.50	2021年02月	
增加了固件 SF3.50 的相关功能说明。主要为两线制 18B20 和 SFC 测频率功能。			
V1.33	V3.50	2021年04月	
增加了 WKMOD[13]功能说明 增加了 SFC 激励方法小节 增加了 SFC 辅助功能说明			

删除 18B20 前缀 “DS”			
修正两线制 18B20 接线示意图			
V1.34	V3.50	2021 年 06 月	
增加了“过采样”参数位说明			
增加了多通道寄存器 81~88 说明，同步更新了寄存器汇总表			
V1.39	V3.50	2022 年 05 月	
增加了 VMx1x 模块中 VSEN 可能已经在模块内部连接到了 VIN 的提示说明。			
V1.40	V3.50	2022 年 06 月	
增加了 VM6xx 的 VSEN 最高为 8.5V 的信息（极大值表格）			
V1.45	V3.51	2022 年 08 月	
增加了 \$ 指令汇总表内容（频率、温度修正系数指令）			
增加了 FFT 输出控制位（3.4 节“主动上传”）			
增加 3.21 “频率值与温度值的修正”			
V1.46	V3.52	2022 年 10 月	
增加了电子标签测量功能控制位说明（3.9 测量模式寄存器）			
增加了电子标签状态位说明（3.8 工作状态寄存器）			
增加了 \$ 指令 \$RDDT（3.20、3.22）			