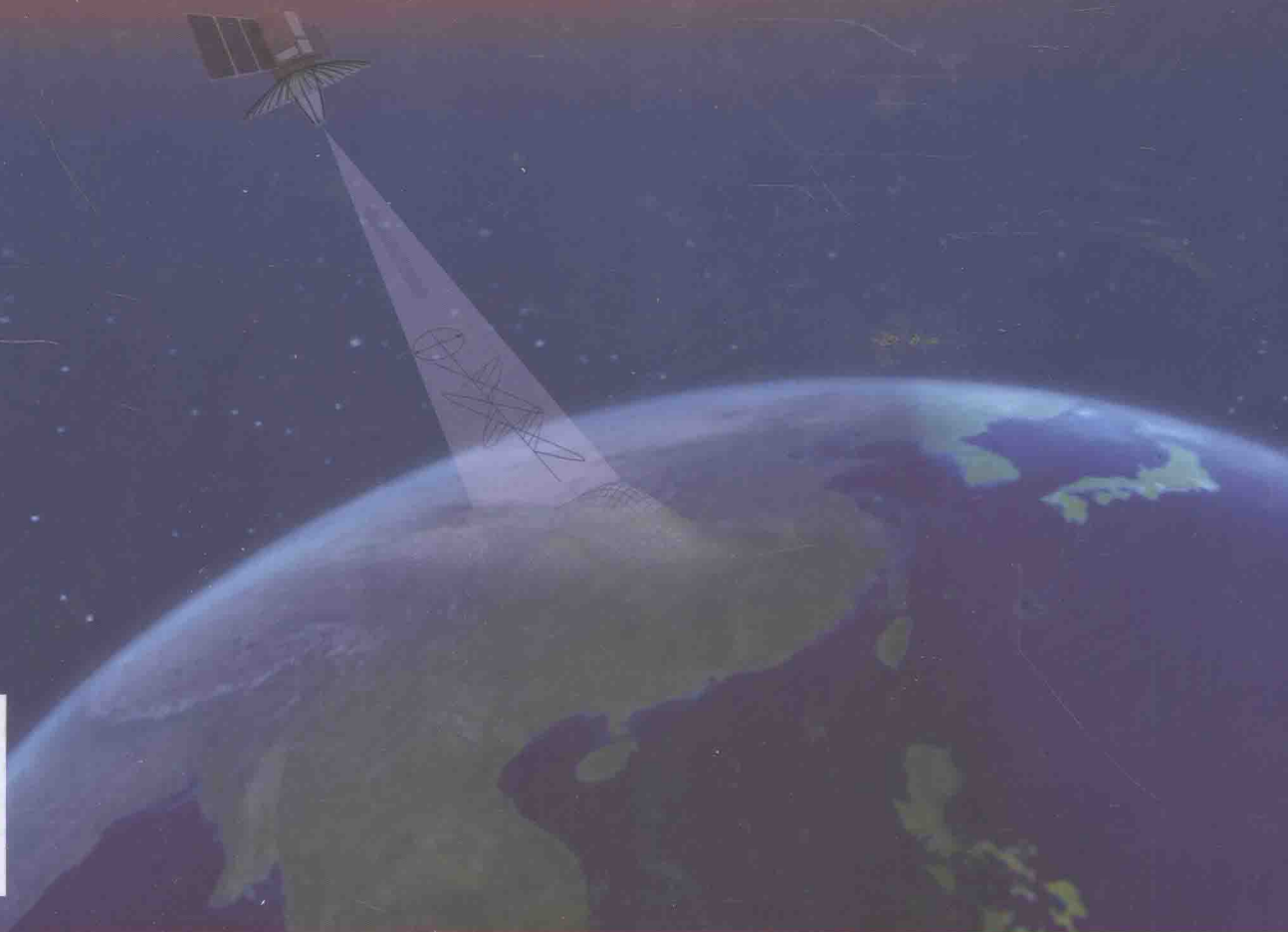




航天科技图书出版基金资助出版

# 卫星极化微波遥感技术

张庆君 等 编著



中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

# 卫星极化微波遥感技术

张庆君 等 编著



中国宇航出版社

·北京·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

卫星极化微波遥感技术 / 张庆君等编著. -- 北京 :  
中国宇航出版社, 2015. 3

ISBN 978 - 7 - 5159 - 0898 - 4

I. ①卫… II. ①张… III. ①卫星遥感-微波遥感-  
遥感技术 IV. ①TP722.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 047059 号



责任编辑 赵宏颖

责任校对 祝延萍

封面设计 文道思

出版  
发行 **中国宇航出版社**

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830  
(010)68768548

网址 [www.caphbook.com](http://www.caphbook.com)

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)  
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑  
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京画中国画印刷有限公司

版次 2015 年 3 月第 1 版

2015 年 3 月第 1 次印刷

规格 787 × 1092

开本 1/16

印张 24.75

字数 469 千字

书号 ISBN 978 - 7 - 5159 - 0898 - 4

定价 198.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

# 目 录

缩略词对照表 .....	1
--------------	---

## 第一部分 基础篇

第 1 章 绪论 .....	7
1.1 引言 .....	7
1.2 极化雷达成像发展概述 .....	9
1.3 典型星载极化微波遥感系统 .....	13
1.4 小结 .....	20
第 2 章 极化基本原理 .....	21
2.1 极化基本原理概述 .....	21
2.2 极化获取 .....	30

## 第二部分 微波遥感卫星总体技术篇

第 3 章 微波遥感卫星总体设计 .....	35
3.1 微波遥感卫星设计 .....	35
3.2 微波遥感卫星制造 .....	43
3.3 卫星演示验证 .....	44
第 4 章 合成孔径雷达总体设计 .....	46
4.1 合成孔径雷达成像原理 .....	47
4.2 频率 .....	48
4.3 极化 .....	50
4.4 入射角 .....	50
4.5 天线体制 .....	51
4.6 辐射阵面 .....	51
4.7 极化模式 .....	52
4.8 成像模式分析 .....	53
4.9 图像质量分析 .....	54

4.10	系统幅相误差分配 .....	65
4.11	数据压缩对数据质量影响分析 .....	66
4.12	合成孔径雷达载荷的几个关键指标计算 .....	69
4.13	合成孔径雷达系统仿真分析与设计 .....	71
<b>第5章</b>	<b>雷达高度计总体设计 .....</b>	<b>75</b>
5.1	雷达高度计原理 .....	76
5.2	海洋动态地形图 .....	78
5.3	主要误差因素分析 .....	79
5.4	主要误差分析预计 .....	80
5.5	风速测量 .....	81
5.6	有效波高测量 .....	82
5.7	雷达高度计关键技术指标分析 .....	83
5.8	跟踪技术 .....	86
5.9	脉冲压缩技术 .....	86
5.10	传输路径校正 .....	87
5.11	全去斜坡技术 .....	88
5.12	新型雷达高度计介绍 .....	90
<b>第6章</b>	<b>微波散射计总体设计 .....</b>	<b>99</b>
6.1	散射计工作原理 .....	100
6.2	风速、风向的反演 .....	101
6.3	微波散射计主要技术指标 .....	101
6.4	入射角的设计 .....	103
6.5	全极化散射计测量精度 .....	104
6.6	全极化高分辨率信号处理技术 .....	104
6.7	高精度全极化微波散射计定标技术 .....	105
<b>第7章</b>	<b>微波辐射计总体设计 .....</b>	<b>107</b>
7.1	微波辐射计工作原理 .....	108
7.2	微波辐射计测温算法 .....	108
7.3	微波辐射计主要技术指标 .....	110
7.4	全极化辐射计 .....	112
7.5	入射角 .....	113
7.6	极化测量方式选择 .....	113

<b>第 8 章 载荷对卫星总体需求分析</b> .....	115
8.1 轨道分析设计 .....	115
8.2 数传能力分析 .....	117
8.3 姿态、轨道控制需求分析 .....	118
8.4 定轨、定位需求分析 .....	128
8.5 微波遥感卫星机电热一体化设计 .....	136
8.6 非理想因素对图像质量影响分析 .....	140

### 第三部分 微波载荷技术篇

<b>第 9 章 极化合成孔径雷达</b> .....	173
9.1 组成与工作原理 .....	173
9.2 功能 .....	174
9.3 工作模式 .....	175
9.4 指标 .....	175
9.5 方案设计 .....	176
9.6 对外接口关系 .....	196
9.7 试验验证 .....	197
<b>第 10 章 雷达高度计</b> .....	199
10.1 组成与工作原理 .....	199
10.2 功能 .....	200
10.3 工作模式 .....	200
10.4 指标 .....	200
10.5 方案设计 .....	201
10.6 对外接口关系 .....	204
10.7 试验验证 .....	204
10.8 三维雷达成像高度计 .....	205
10.9 波谱仪 .....	206
<b>第 11 章 极化散射计</b> .....	209
11.1 组成与工作原理 .....	209
11.2 工作模式 .....	210
11.3 功能 .....	210
11.4 指标 .....	210
11.5 方案设计 .....	211

11.6	对外接口关系 .....	214
11.7	试验验证 .....	214
<b>第 12 章</b>	<b>极化辐射计 .....</b>	<b>215</b>
12.1	组成与工作原理 .....	215
12.2	工作模式 .....	215
12.3	功能 .....	216
12.4	指标 .....	216
12.5	方案设计 .....	217
12.6	对外接口关系 .....	221
12.7	试验验证 .....	221
<b>第 13 章</b>	<b>其他载荷 .....</b>	<b>222</b>
13.1	盐度计/湿度计 .....	222
13.2	气象雷达 .....	230
13.3	地球同步轨道合成孔径雷达 .....	240
13.4	干涉合成孔径雷达 .....	251
13.5	其他微波雷达 .....	259

## 第四部分 处理与定标篇

<b>第 14 章</b>	<b>数据处理技术 .....</b>	<b>263</b>
14.1	处理内容和流程 .....	263
14.2	非成像数据处理方法 .....	266
14.3	成像数据处理方法 (SAR) .....	271
<b>第 15 章</b>	<b>定标和验证 .....</b>	<b>285</b>
15.1	雷达高度计定标与检验方法 .....	285
15.2	散射计定标与检验方法 .....	288
15.3	辐射计定标与检验方法 .....	293
15.4	合成孔径雷达定标与检验方法 .....	301

## 第五部分 应用与展望篇

<b>第 16 章</b>	<b>极化数据应用 .....</b>	<b>317</b>
16.1	概述 .....	317
16.2	合成孔径雷达微波遥感应应用 .....	317
16.3	星载雷达高度计应用 .....	344

---

---

16.4 星载微波散射计和辐射计应用 .....	346
<b>第 17 章 新技术展望</b> .....	<b>351</b>
17.1 多维度合成孔径雷达成像 .....	351
17.2 稀疏多输入多输出雷达成像 .....	351
17.3 星载视频合成孔径雷达 (Video-SAR) .....	352
17.4 基于数字波束形成星载合成孔径雷达 (DBF-SAR) .....	353
17.5 圆迹合成孔径雷达 .....	354
17.6 紧致极化合成孔径雷达 .....	355
17.7 连续变重频技术 .....	356
<b>附 录</b> .....	<b>357</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>373</b>



## 缩略词对照表

AASR	Azimuth Ambiguity Signal Ratio	方位模糊比
A/D	Analogue to Digital	模数变换
AGC	Automatic Gain Control	自动增益控制
AIT	Assemble Integration Test	总装集成测试
AMTI	Aero Motive Target Indication	空中动目标指示
AOCC	Attitude Orbit Control Computer	姿态轨道控制计算机
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	特定用途集成电路
ASR	Ambiguity Signal Ratio	模糊比
ATI	Along Track Interferometry	沿航迹干涉
ATU	Adaptive Tracking Unit	自适应跟踪单元
BAQ	Block Adaptive Quantification	块自适应量化
BER	Bit Error Rate	比特误码率
CP	Compact Polarimetry	紧致极化技术
CPA	Co-Polarization Attenuation	同极化衰减
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
C/V	Calibration/Validation	定标验证
CS	Chirp Scaling	调频比例
DC/DC	Direct Currency /Direct Currency Converter	直流/直流变换器
DCT	Discrete Cosine Transformation	离散余弦变换
DDS	Direct Digital Signal	数字直接信号
DEM	Digital Elevation Model	数字高程模型
DINSAR	Differential Interference Synthetic Aperture Radar	差分干涉 SAR
DN	Digital Number	图像灰度值
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated System	多普勒地球无线电定位系统
DPCA	Displaced Phase Center Antenna	相位中心偏置天线
DTED	Digital Terrain Elevation Data	数字化地形高程数据
EMC	Electro Magnetic Compatibility	电磁兼容性

ESPRIT	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques	旋转不变技术估计信号参数
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅里叶变换
GEOSAR	Geosynchronous Synthetic Aperture Radar	地球同步轨道合成孔径雷达
GMTI	Ground Motive Target Indication	地面动目标指示
GPS	Global Position System	全球定位系统
G/T	Gain to Temperature	地面站品质因素
HH	Horizontal/Horizontal	水平/水平
HV	Horizontal/Vertical	水平/垂直
HRWS	High Resolution Wide Swath	高分辨率宽测绘带
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	快速傅里叶逆变换
INSAR	Interference Synthetic Aperture Radar	干涉合成孔径雷达
ISAR	Inverse Synthetic Aperture Radar	逆合成孔径雷达
ISLR	Integrated Sidelobe Ratio	积分旁瓣比
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟
LNA	Low Noise Amplifier	低噪声放大器
MGC	Manual Gain Control	手动增益控制
MIMO	Multiinput Multioutput	多输入多输出
MSJos SAR	Multidimensional Space Joint observation Synthetic Aperture Radar	多维度 SAR
MUSIC	Multiple Signal Classification	多重信号分类
NET	Noise Equivalent Temperature	等效噪声温度
NEBC	Noise Equivalent Backscattering Coefficient	噪声等效后向散射系数
OBDH	On—Board Data Handle	星上数据管理
OCOG	Offset Center Of Gravity	重心偏移的重新跟踪算法
PHS	PIN Shift	二极管移相器
POL—INSAR	Polarization Interference Synthetic Aperture Radar	极化干涉 SAR
PRF	Pulse Repetition Frequency	脉冲重频
PRT	Pulse Repetition Time	脉冲重复时间
PSLR	Peak Sidelobe Ratio	峰值旁瓣比
PSK	Phase Shift Keying	相移键控
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交幅度调制
RASR	Range Ambiguity Signal Ratio	距离模糊比
RCCM	Range Cell Migration Correction	距离徙动校正
RCS	Radar Cross Section	雷达截面积

---

RD	Range Doppler	距离多普勒
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成孔径雷达
SBR	Space-based Radar	天基雷达
SLR	Satellite Laser Ranging	卫星激光测距
SNR	Signal to Noise Ratio	信噪比
SRC	Secondary Range Compression	二次距离压缩
SSH	Sea Surface Height	海面高度
SSPA	Solid State Power Amplifier	固态放大器
SSS	Sea Surface Salinity	海表盐度
SST	Sea Surface Temperature	海表温度
STAP	Space Time Adaptive Processing	空时自适应处理
SWH	Significance Wave Height	有效波高
T/R modules	Transmit and Receive module	收发组件
TWTA	Travelling Wave Tube Amplifier	行波管放大器
TZDS	Total Zero Doppler Steering	全零多普勒牵引
VH	Vertical/ Horizontal	垂直/水平
VV	Vertical/Vertical	垂直/垂直
VQ	Vector Quantification	矢量量化
WT	Wavelet Transformation	小波变换
XPD	Cross Polarization Discrimination	交叉极化鉴别率



## 第一部分 基础篇

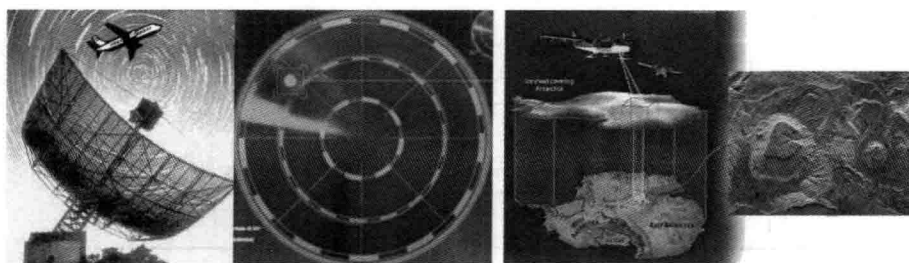


# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引言

雷达一般是利用电磁波，通过目标的散射并接收回波，对未知目标进行反演，获取未知目标信息。

雷达技术历经半个多世纪的发展得到了重要应用。特别是雷达探测技术已发展得较为成熟，它能准确地探测到动目标的存在（见图 1-1）。由于雷达成像能提供更加丰富的目标识别信息，有利于目标认知与分类，同时其良好穿透能力确保了它能全天候全天时地工作（见图 1-1），雷达探测与成像和光学与红外遥感一起成为相互鼎立的重要信息获取手段，得到了广泛应用。



(a) 雷达探测

(b) 雷达成像

图 1-1 探测与成像示意图

雷达成像技术具有多样化的特点，目前存在着合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）成像、逆合成孔径雷达（Inverse Synthetic Aperture Radar, ISAR）成像、干涉合成孔径雷达（Interference Synthetic Aperture Radar, INSAR）成像、实孔径雷达成像、分布式雷达成像、多基雷达成像和多输入多输出（Multiinput Multioutput, MIMO）雷达成像等多个雷达体制。

合成孔径雷达成像是在真实孔径雷达基础上发展起来的，由于真实孔径雷达分辨率低，而 SAR 采用大时宽带宽信号，利用脉冲压缩技术获得距离向高分辨率，结合 SAR 运动产生的虚拟线阵获得方位向高分辨率，从而得到目标区域的二维高分辨率图像。可见，纵向分辨和横向分辨是通过不同手段获取的，那么能否存在一种成像方式，使得采用一种手段便可完成二维的目标成像呢？分布式雷达和 MIMO 雷达即是满足该种需求的成像雷达（这里所谓的分布式成像是指利用空间上充分展开的多发射机和多接收机同时进行目标观测的一种成像方式，着重强调的是多发射机之间和多接收机之间相对于目标的空间展开性）。ISAR 技术通过目标运动以时间序贯的方式完成目标多角度的空间采样来提高方位分辨率，这两者的方位

向分辨率均以雷达与目标之间存在相对运动为基本前提，这一特点在特定场合下使得 SAR 获得了广泛的应用，但同时也限制了 SAR/ISAR 的应用场景，尤其是针对某一特定区域的连续凝视成像，利用 SAR/ISAR 无法实现。而凝视成像则可以较好地避免相对运动这一问题，实现对目标的不间断探测，如若在单传感器（比如面源）直接构造具有成像分辨能力的系统，将显著地降低系统的复杂度，这不仅可以避免运动成像带来的困难，还将直接打破分布式雷达必须以空间展开为成像基本前提的瓶颈，有可能带来一种新的应用方式，因而具有潜在的应用价值。在这方面的尝试中，传统的实孔径雷达凝视成像，在同一波束照射区域内，仅依靠天线波束实现目标分辨是极其困难的，目标成像分辨率必然受限于天线孔径。毫米波焦平面阵列成像本质上即是多个单波束的非相干固定组合，这种组合方式直接限定了波束场的分布属性，这与单波束的实孔径雷达成像并没有实质区别，焦平面阵列成像的空间分辨率仍将受限于焦平面天线孔径。实孔径和焦平面雷达阵列成像均受限于天线孔径，使得它们仅适用于对分辨率要求低或近距离成像的场合，严重阻碍了实孔径凝视成像的发展，20 世纪 90 年代以后实孔径凝视成像逐渐被合成孔径等高分辨雷达成像所取代。目前除了雷达成像技术得到空前发展外，雷达专业测量技术、被动微波辐射测量等多种微波遥感技术也在大力发展中。

微波遥感频段在电磁波谱中的位置如图 1-2 所示。

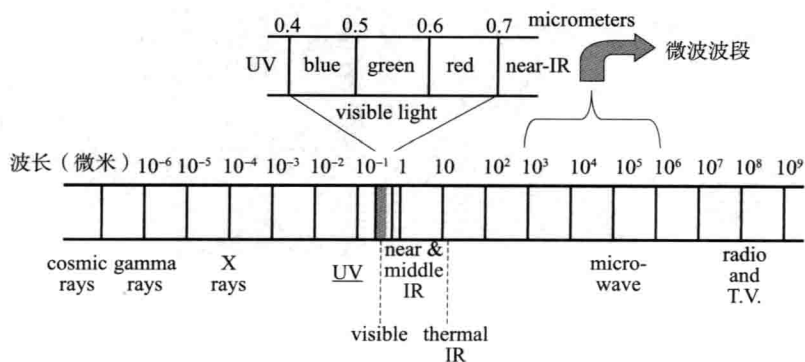


图 1-2 微波频段在电磁波谱中的相对位置

常用微波频段、频率范围、波长分段如表 1-1 所示。

表 1-1 频段范围分布

频段	频率范围/GHz	波长范围/cm	
P	0.3~1	100~30	
L	1~2	30~15	分米波
S	2~4	15~7.5	
C	4~8	7.5~3.75	
X	8~12	3.75~2.5	厘米波
Ku	12~18	2.5~1.67	
Ka	18~27	1.67~1.11	
V	27~40	1.11~0.75	毫米波
W	40~110	0.75~0.27	
mm	110~300	0.27~0.1	



任一类型的主动式微波雷达成像均要通过发射信号形成辐射场，辐射场照射到目标上，形成散射场，并逆回雷达进行接收和反演（电磁逆散射）。电磁逆散射过程是一个场与目标相互作用的过程。充分获取待求散射体信息对电磁逆散射来说是至关重要的。当把散射体视为一个黑箱，把描述散射体参数看做黑箱内部未知量时，那么相应的辐射场和散射场就成为与黑箱联系的输入和输出量。图 1-3 为散射体黑箱。



图 1-3 散射体黑箱

不管是相控阵天线还是多波束天线阵列，均可以等效为一个相位中心，即天线辐射始终为点源辐射，当辐射信号为固定周期的宽带信号时，不同时刻形成辐射波场分布基本一致。因此，不同的取样时刻，该辐射场与目标相互作用的结果使回波中包含了基本相同的散射场信息，同一波束内的回波没有包含可用于目标分辨的额外信息。增加照射次数仅能使同一波束内目标回波中的杂波和干扰得到抑制，增加信噪比，而对目标的成像与反演没有实质的收益，即使发射变周期的信号，其目的也只是为提高抗干扰能力。

由图 1-4 可见，固定照射仅能提高接收信噪比，却无法增加目标冗余信息量。显然，作为输出量的体外散射场不仅与辐射场有关，而且还被印上了黑箱内部未知量的标记，为了充分地获取内部信息，就需要寻求一种目标能充分调制辐射场，且能体现最大差异化特征的信息获取方式。这些方式除了可以利用信号的空域信息、时域信息和频域信息以外，还可以利用电磁场的矢量信息，即极化信息，作为第四维的电磁波有用信息，为提取目标结构、属性等提供可识别信息。

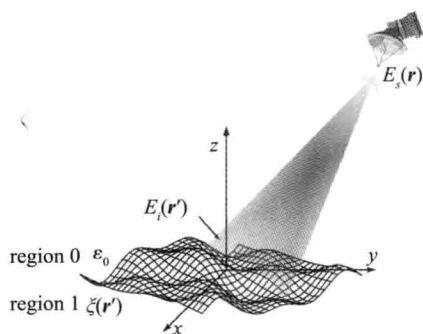


图 1-4 物体散射模型

## 1.2 极化雷达成像发展概述

极化是电磁波矢量传播的固有属性，极化信息描述的是电磁波矢量在传播方向的横截面上随时间变化的旋转特性，能够充分反映电磁波的矢量特性，因此也成为了处理时域、