\mathbf{CH}

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXX—XXXX

星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产 品

Deformation field products of spaceborne synthetic aperture radar differential interferometry

(送审稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

言 言	IIJ
言	IIV
范围]
规范性引用文件	
术语和定义	
缩略语	2
产品描述	2
产品构成及文件要求	
6.1 产品构成	
6.2 文件要求	
技术要求	
7.1 数学基础	
7.3 产品数据类型	
7.4 产品格网尺寸	
7.5 产品精度 7.6 产品命名	
质量检验	
产品存储	
, m 存 m	
录 B(规范性) 产品命名规则	
* 支献	
<u> </u>	1 હ

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会(SAC/TC230/SC3)归口。

本文件起草单位:自然资源部国土卫星遥感应用中心、江苏省测绘工程院、自然资源陕西省卫星 应用技术中心、自然资源部第一大地测量队、中南大学、同济大学。

本文件主要起草人: 唐新明、李涛、张祥、张雪飞、禄競、窦显辉、丘晓枫、李坛、丁刘建、卢 刚、张文龙、李国鹏、李志伟、张磊。

引言

合成孔径雷达作为一种主动式微波成像遥感器,具有全天时、全天侯的对地观测能力,是对地观测领域不可或缺的工具,其中合成孔径雷达差分干涉技术可以监测厘米级形变,提供大范围、高密度的测量点,从而获取高分辨率形变场,在地质灾害监测、城市沉降、矿山及地震形变、基础设施形变监测、冰川冻土和滑坡灾害监测等多个领域可发挥重要作用。

随着国产干涉合成孔径雷达卫星的发展,差分干涉技术形变场产品规范化需求迫切。然而国内形变监测产品体系化不足,导致泛行业应用所需的持续处理、动态更新、持续服务能力欠缺,严重限制了形变产品发挥相应作用,尤其是国内目前仍没有统一的形变场产品规范。本文件是对形变场产品的构成、技术要求和验证方法等相关内容进行规定,以充分发挥形变场产品在各行业的作用,提升形变场产品的应用效率,最大程度发挥卫星使用效益,服务于我国形变监测任务。

星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品

1 范围

本文件规定了星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品的产品描述、产品构成及文件要求、技术要求、质量检验、产品存储等内容。

本文件适用于星载合成孔径雷达差分干涉技术(二轨法、三轨法和四轨法)形变场产品(以下简称"产品")的设计、生产、管理和使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 17798 地理空间数据交换格式

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

单视复数影像 single-look complex image 视数为1的复数SAR影像。

3. 2

视线向 line of sight; LOS 雷达传感器照射参考椭球表面的方向。

3. 3

入射角 incidence angle

雷达视线向与参考椭球表面法线方向之间的夹角。

3. 4

形变场 deformation field

自然和(或)人为因素作用下地表垂直向升降、水平向位移、倾斜、错动等形变的分布状况。

3. 5

解缠相位 unwrapped phase

恢复相位主值中2π整周模糊度之后得到的相位。

3. 6

重缠绕相位 rewrapped phase

将解缠相位缠绕到(-π, π]区间得到的相位。

3. 7

大气相位 atmospheric phase

由电离层扰动和对流层延迟所引起的误差相位。

3.8

固体潮相位 solid earth tide phase

在日、月引潮力作用下,固体地球产生周期性形变引起的误差相位。

3 9

海潮负荷相位 ocean tide loading phase

在海洋潮汐力作用下,固体地球产生周期性形变引起的误差相位。

3.10

垂直向 vertical

垂直于参考椭球表面的方向。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS2000: 2000国家大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000)

DInSAR: 差分合成孔径雷达干涉(Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar)

GeoTIFF: 地理标签图像文件格式(Geographic Tagged Image File Format)

SAR: 合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar)

XML: 可拓展标记语言 (eXtensible Markup Language)

5 产品描述

产品包含解缠相位产品、重缠绕相位产品、LOS向形变产品以及垂直向形变产品共四类,其中以LOS向形变产品为核心产品,其余产品为辅助产品。产品描述见表1,产品关系图见图1。

表 1 产品描述

产品名称	产品英文名称	描述
解缠相位产品	Unwrapped Phase	利用 DInSAR 技术对重复轨道的两景单视复数影像进行处理,在干涉基线满足相关要求的情况下,获取的解缠相位
重缠绕相位产品	Rewrapped Phase	将解缠相位产品进行缠绕生成的产品。该类产品相位值域范围为(-π, π]
LOS 向形变产品	LOS Deformation	将解缠相位转换为 LOS 向形变量,可利用大气相位文件、固体潮相位文件 和海潮负荷相位文件进行相关误差改正
垂直向形变产品	Vertical Deformation	利用 DInSAR 技术对重复轨道的两景单视复数影像进行干涉处理,并将 LOS 向形变量转换为垂直向形变量。仅适用于垂直向形变占主导的应用场 景。

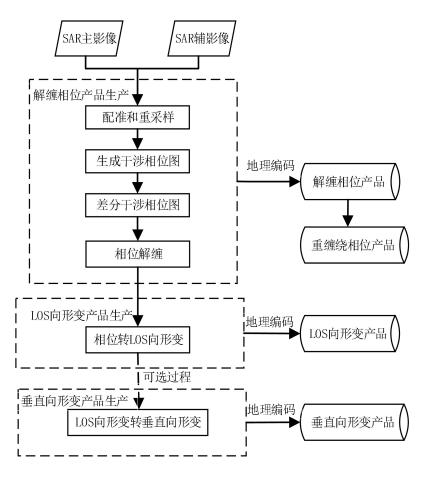


图 1 产品关系图

6 产品构成及文件要求

6.1 产品构成

产品构成文件见表2。

表 2 产品构成文件

产品名称	必备文件	可选文件
解缠相位产品	解缠差分相位文件、浏览图文件、缩略图文件、元数据文件	_
重缠绕相位产品	重缠绕相位文件、浏览图文件、缩略图文件、元数据文件	_
LOS 向形变产品	LOS 向形变量文件、相干系数文件、浏览图文件、缩略图文件、元数据文件、处理参数文件、入射角文件	大气相位文件、固体潮相位文 件、海潮负荷相位文件
垂直向形变产品	垂直向形变量文件、浏览图文件、缩略图文件、元数据文件	大气相位文件、固体潮相位文 件、海潮负荷相位文件

6.2 文件要求

产品构成文件应符合表3的要求。产品构成文件示例见表B.2。

表 3 产品构成文件要求

文件类型	文件描述	要求	文件格式
解缠相位文件	描述真实的相位变化,可计算出形变信息	采用 CGCS2000 坐标系和高	
重缠绕相位文件	检验解缠相位文件的准确性,取值范围为(-π, π]	斯-克吕格地图投影,高程	
LOS 向形变量文件	描述形变沿 LOS 向的变化情况,形变量单位为 m	基准采用 1985 国家高程基	*.tif
垂直向形变量文件	描述形变沿垂直向的变化情况,形变量单位为 m	准,以 GeoTIFF 格式存	٠.١١١
相干系数文件	描述一景影像的相干性,取值范围为[0,1]	储,数据格式应符合 GB/T 17798 的要求	
浏览图文件	采用灰度图像显示	亚田<u></u> 英田 英大团 确 护 四 拉 子 左 体	*.jpg
缩略图文件	采用灰度图像显示	· 采用静态图像编码格式存储 	*.jpg
元数据文件	描述主辅影像的基本信息、产品处理信息、形变信		
九数派人口	息等参数	采用 XML 描述的纯文本格式	
处理参数文件	描述产品处理过程的参数	存储,产品元数据文件见附	*.xml
入射角文件	描述从一景影像多个像素的入射角信息,用于将	录 A	
八加州太正	LOS 向形变转换为垂直向形变		
大气相位文件	描述一景影像的大气相位信息,用于降低大气相位	采用 CGCS2000 坐标系和高	
八四世太日	影响	斯-克吕格地图投影,高程	
固体潮相位文件	描述一景影像的固体潮相位信息,用于降低固体潮	基准采用 1985 国家高程基	*.tif
四件份加匹入厂	相位影响	准,以 GeoTIFF 格式存储,	
 海潮负荷相位文件	描述一景影像的海潮负荷相位信息,用于降低海潮	数据格式应符合 GB/T	
再研页何相世又计	负荷相位影响	17798 的要求	

7 技术要求

7.1 数学基础

大地基准采用CGCS2000坐标系。必要时,可采用经批准的其他坐标系。

高程基准采用基于1985国家高程基准。采用其他高程基准时,应与1985国家高程基准建立联系。

地图投影采用高斯-克吕格投影,根据国家基本比例尺系列,1:5 000、1:10 000按3°分带,1:25 000、1:50 000、1:100 000按6°分带。

时间系统采用北,京时间。

7.2 产品分幅

可采用如下三种产品分幅方式:

- a) 标准景: 长度、宽度一般为 SAR 卫星标准景影像的长宽;
- b) 欠景: 长度、宽度不应超过一个标准景, 且由一标准景覆盖;
- c) 超景: 如果不符合标准景和欠景要求,可根据行业场景应用范围确定。

7.3 产品数据类型

产品数据类型为栅格数据及文本数据。

7.4 产品格网尺寸

产品格网尺寸应符合表4的规定。

表 4 产品格网尺寸

单位为米

比例尺	格网尺寸
1:5 000	2. 5
1:10 000	5
1:25 000	10
1:50 000	25
1:100 000	50

7.5 产品精度

7.5.1 平面定位精度

产品平面定位中误差应符合表5的要求。

表 5 平面定位中误差

单位为米

	平面定位中误差			
比例尺	平地、丘陵	山地、高山地		
1:5000	2.5	3.75		
1:10 000	5	7.5		
1:25 000	12.5	18.75		
1:50 000	25	37.5		
1: 100 000	50	75		

7.5.2 形变监测精度与产品等级

产品形变监测精度及等级划分见表6。各类产品合格性判定要求如下:

- a) LOS向形变产品和垂直向形变产品形变监测中误差应优于5cm, 否则为不合格产品。对于突变型大梯度形变, 例如地震、崩塌等现象, 不应以精度考核产品质量;
- b) 解缠相位产品和重缠绕相位产品90%目标区域的相干性应高于0.3,否则为不合格产品;
- c) 当形变监测精度等级与90%目标区域的相干性等级出现冲突时,宜取较高产品等级进行评判。

表 6 产品等级划分

精度指标	,	形变监测中误差 cm	90%相干性
	一级	(0, 1]	(0.8, 1.0]
产品等级	二级	(1, 3]	(0.6, 0.8]
	三级	(3, 5]	(0.3, 0.6]

7.6 产品命名

产品文件命名由基本部分和补充部分组成,其中基本部分为主体文件信息,补充部分为相关附属文件信息。产品命名规则应符合附录B的规定。产品命名示例见表B.2。

8 产品检验

产品提供使用前应进行质量检验,产品检查应包括但不限于表7所列的检查项目。

表 7 产品质量检查项目

	质量子元素	检查项	检查方法
	大地基准系	坐标系统	检查坐标系是否符合 7.1 的要求
空间参考系	高程基准	高程基准	检查高程基准是否符合 7.1 的要求
	地图投影	投影参数	检查地图投影各参数是否符合 7.1 的要求
时间系统	时间系统	时间系统	检查时间系统是否符合 7.1 的要求
产品分幅	产品分幅	分幅方式	检查分幅方式是否符合 7.2 的要求
产品数据类 型	产品数据类型	产品数据类型	检查产品数据类型是否符合 7.3 的要求
产品质量	格网尺寸	产品格网尺寸	检查产品格网尺寸是否符合 7.4 的要求
	平面定位精度	平面位置中误 差	检查影像数据的平面位置中误差是否符合 7.5.1 的要求
产品精度	形变监测精度	形变监测中误 差	检查形变场数据的形变监测中误差是否符合 7.5.2 的要求
		数据归档	检查数据文件存储的组织方式是否符合 7.6 的要求
그면 샤무 , ㅈ/৮ 샤나	₩ ★ . Zb. W+	数据格式	检查数据文件格式是否符合 7.6 的要求
逻辑一致性	格式一致性	数据文件	检查数据文件是否缺失、多余、数据无法读取
		文件命名	检查数据文件名称是否符合 7.6 的要求
附件质量	附尾文件	错漏项	检查除了影像文件外的其他文件的数据项错漏个数
門汀竹川里	附属文件	内容错漏	检查除了影像文件外的其他文件的数据项内容错漏个数

9 产品存储

对生产的各级产品进行存储,具体要求如下:

- a) 产品存储方式分为网络存储与离线存储;
- b) 产品网络存储介质为磁盘阵列, 离线存储介质为物理硬盘;
- c) 产品文件命名应符合附录B规定,产品文件命名示例见表B.2。

附录A

(规范性)

产品元数据文件

产品元数据文件采用 xml 格式存储,文件包含 65 个参数,各参数采用的标签名称见表 A.1。

表 A. 1 产品元数据文件

	参	参数名称		 	加儿数据义计	数据类型	说明	示例
		主影像ID	InSAR		rimary	String	十位数字组成, 影像名称最后一 串数字字符	0000291391
基本		辅影像ID		InSARSec	condary	String	十位数字组成, 影像名称最后一 串数字字符	0000315197
头信	景	/像生产时间	BasicInfor mation	Produce	Time	Datetime	北京时间	2020-06-28 T08:52:01
息		产品级别		Leve	el	Enum	形变场产品级别	S3A
100		产品格式		ProductF	ormat	Enum	_	GEOTIFF
		产品号		Produc	etID	Long	_	100226
		生产方式		TaskT	ype	String	常规	STANDARD ORDER
		lπ /1. → . N				a	订购	
		极化方式			Polarization	String	— — — — — — — — — — — — — — — — — — —	HH
	-	成像模式			ImageMode	String	条带模式2	STRIP2
		侧视角 主影像日期			LookingAngle MasterDate	Double Date	—————————————————————————————————————	43.95° 20231123
	数据获取信息	<u> </u>		DataInformation	SlaveDate	Date	年月日	20241123
		距离向分辨 率			RgResolution	Double	单位: m	11.5
		方位向分辨 率			AzResolution	Double	单位: m	11.5
		产品分辨率			ProductResolu tion	Double	单位: m	24
		时间基线			TimeBaseline	Double	单位:天	72
		垂直基线			PerpBaseline	Double	单位: m	15
产品信	图 像 数	图 像 产品行数 ProductIn	ProductInfo mation	ImageDataInform	LinesInPixels	Long	_	2056
息	据信息	产品列数	11001011	ation	SamplesInPixe ls	Long	_	2000
		景中心纬度			CenterLatitude	Double	单位为度(°)	17.853564°
		景中心经度			CenterLongitu de	Double	单位为度(°)	28.903941°
	场	左上角纬度			TopLeftLatitu de	Double	单位为度(°)	18.190219°
	景信	左上角经度		SceneInformation	TopLeftLongit ude	Double	单位为度(°)	28.688468°
	息	右上角纬度			TopRightLatit ude	Double	单位为度(°)	18.06942°
		右上角经度			TopRightLong itude	Double	单位为度(°)	29.250542°
		左下角纬度			BottomLeftLat itude	Double	单位为度(°)	17.516966°

表A.1 (续)

	参	数名称		标签		数据类型	说明	示例
		左下角经度			BottomLeftLo ngitude	Double	单位为度(°)	29.118552°
		右下角纬度			BottomRightL atitude	Double	单位为度(°)	17.637652°
		右下角经度			BottomRightL ongitude	Double	单位为度(°)	28.558202°
	生产信息	软件版本		ProductionInform ation	SoftwareVersi on	String	I	1.3.0
	坐标信息	坐标系统		CoordinateInform ation	CoordinateSys tem	String	_	CGCS2000
	高程信息	高程基准		VerticalInformati on	VerticalDatum	String	_	1985国家高程基 准
	投影信息	地图投影		ProjectionInforma tion	MapProjection	String	_	高斯-克吕格投影
		基线相干性		BaselineCo	herence	Double	_	0.9978
	平均相干性			AverageCoherence CoherentNoisePhase		Float	_	0.82
	相干噪声相位					Double	单位为度(°)	43°
	影像配准精度			ImageRegistrat	ionAccuracy	Double	单位: 像素	0.1
	DEM配准精度		1	DEMRegistrati		Double	单位: 像素	1
		多视比		MultipleLookRatio		Double	距离向:方位向	4:1
		参考DEM	_	Reference		String	——————————————————————————————————————	TANDEM-X 90m
		滤波方法		FilteringN		String	_	ADAPTIVE FILTERING
处		滤波次数		FilterTi	imes	Int	单位:次	1
理		滤波因子	ProcessInfo	FilterFa	actor	Double	_	0.6
信		滤波窗口	rmation	FilterWi	ndow	Int		32
息	相	目干系数窗口	1	CoherenceCoeff		Vector	_	5×5
		干性掩膜阈值	1	CoherenceMas		Double	_	0.3
		解缠方法	1	Unwinding		String	无迹卡尔曼	UKF
			1	.5			实时轨道	RT
	主	主影像精轨数据		MasterOrbitAccuracy		String	精密星历解算科 学轨道	SCIE
							实时轨道	RT
	辅	影像精轨数据		SlaveOrbitAccuracy		String	精密星历解算科 学轨道	SCIE
形		形变场数量	D.C.	NumbersOfDeformationFields		Int	个	54
变信息		最大形变量	Deformatio nInformatio n	MaxDefor	MaxDeformation		单位: mm	90
轨	卫	星星下点Path		SatPa	nth	Long		181
道信息	卫	星星下点Row	OrbitInfor mation	SatRo	SatRow		_	160

表A.1 (续)

	参	参数名称		标签		数据类型	说明	示例
		多项式0阶系 数			coefficient exponent="0"	Double	_	-226.4784673726
	距离	多项式1阶系 数		rangeOffsetPolyn	coefficient exponent="1"	Double	_	-0.0006717579
	向偏	多项式2阶系 数			coefficient exponent="2"	Double	_	0.0000434819
距离	移多	多项式3阶系 数		omial	coefficient exponent="3"	Double	_	0.0000000008
向和	项式	多项式4阶系 数			coefficient exponent="4"	Double	_	0.0000000040
方位		多项式5阶系 数	rangeandAz		coefficient exponent="5"	Double	_	0.0000000002
向偏		多项式0阶系 数	imuthOffset Polynomial		coefficient exponent="0"	Double	_	9539.9154397868
移多	方位	多项式1阶系 数			coefficient exponent="1"	Double	_	0.000001234563
项式	向偏	多项式2阶系 数		azimuthOffsetPol	coefficient exponent="2"	Double	_	0.0000000002
	移多	多项式3阶系 数		ynomial	coefficient exponent="3"	Double	_	0.0000000002
	项式	多项式4阶系 数			coefficient exponent="4"	Double	_	0.0000000002
		多项式5阶系 数			coefficient exponent="5"	Double	_	0.0000000002

附录B

(规范性)

产品命名规则

文件名用于标识文件的主要及公共属性,包括卫星标识、成像模式、主影像产品号、辅影像产品 号、中心经度、中心纬度、主影像获取日期、辅影像获取日期、产品不同数据、产品文件后缀名等。 产品命名规则如图 B.1 所示。

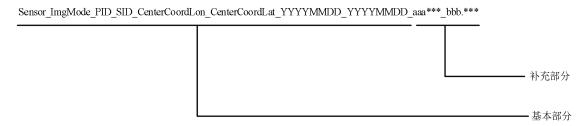


图 B.1 产品命名规则

文件命名字符串采用下划线"_"分割成多个字段,各字段表示不同文件属性信息。表 B.1 给出了产品文件命名字段标识描述。产品构成文件及产品命名示例见表 B.2

表 B. 1	产品文件命名字段标识描述
1X D. I	/ 111 X IT 111 11 T-12 111 M IB V I

字段	说明	赋值描述
Sensor	卫星系列标识	值域为自由文本,如LT1A表示陆探1号A星,LT1B表示陆探1号B星,LT1AB表示陆探1号A星与B星干涉且以A星为主影
Consor	工生从70000	像,GF3A表示高分三号 A 星,GF3B表示高分三号 B 星
ImgMode	成像模式	值域为自由文本,如 STRIP1(条带模式 1),SL(聚束模式)等
PID	DInSAR 技术使用的主影像 产品号	编号不足 10 位的左边以"0"补足
SID	DInSAR 技术使用的辅影像 产品号	编号不足 10 位的左边以"0"补足
CenterCoordLon	产品的中心经度	以东经或西经开头,保留小数点后一位,如东经: E100.5,西经: W100.5
CenterCoordLat	产品的中心纬度	以南纬或北纬开头,保留小数点后一位,如南纬: S30.5,北纬: N30.5
YYYYMMDD	DInSAR 技术使用的主、辅 影像获取日期	YYYY 指影像获取年份; MM 指影像获取月份; DD 指影像获取日。 共计 8 位。其中第一列日期为主影像获取日期、第二列日期为辅 影像获取日期

表B.1 (续)

⇒ FIL	2H BB	14. 44. 44.
字段	说明	赋值描述
		值域为下列枚举:
		coh_geo 表示地理编码后相干系数文件;
		filt_geo 表示地理编码后滤波未解缠差分相位;
		unw_geo 表示地理编码后解缠差分相位;
		rewrap_geo 表示地理编码后重缠绕差分相位;
aaa*** bbb1)	产品不同数据	los_geo 表示地理编码后 LOS 向形变量;
_		vd_geo 表示地理编码后垂直向形变量;
		atm_geo 表示地理编码后差分大气相位;
		otl_geo 表示地理编码后差分海潮负荷相位;
		set_geo 表示地理编码后差分固体潮相位
		值域为下列枚举:
		xml 表示参数文件;
***	产品文件后缀名	tif表示数据文件;
		txt 表示文本文件;
		jpg 表示图片文件
¹⁾ aaa***字段最	是长为5位,最短为2位。	

表 B. 2 产品构成文件及产品命名示例

文件类型	产品命名示例
解缠相位文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_unw_geo.tif
重缠绕相位文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_rewrap_geo.tif
LOS 向形变量文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_los_geo.tif
垂直向形变量文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_vd_geo.tif
相干系数文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_coh_geo.tif
浏览图文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_los_geo.jpg
缩略图文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_los_geo.thumb.jpg
元数据文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205.xml
处理参数文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_pro.xml
入射角文件	LT1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_inc.xml
大气相位文件	T1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_atm_geo.tif
固体潮相位文件	T1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_set_geo.tif
海潮负荷相位文件	T1A_STRIP1_0000291391_0000315197_E88.0_N41.3_20240108_20240205_otl_geo.tif

参考文献

- [1] GB/T 18316 数字测绘成果质量检查与验收
- [2] GB/T 35642-2017 1:25 000 1:50 000 光学遥感测绘卫星影像产品
- [3] GB 35650-2017 国家基本比例尺地图测绘基本技术规定
- [4] GB/T 35653.1—2017 地理信息 影像与格网数据的内容模型及编码规则 第1部分:内容模型
 - [5] CH/T 3011-2012 1:50000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定
 - [6] CH/T 6006-2018 时间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范
- [7] CH/T 9009.2-2010 基础地理信息数字成果 1:5 000 1:10 000 1:25 000 1:50 000 1:100 000 数字高程模型
- [8] CH/T 9009.3—2010 基础地理信息数字成果 1:5000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 数字正射影像图
 - [9] T/CAGHP 013-2018 地质灾害 InSAR 监测技术指南

《星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品》 编制说明

行业标准项目名称:	星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品	
行业标准项目编号:	202233002	
送审行业标准名称:		
(此栏送审时填写)		
报批行业标准名称:		_
(此栏报批时填写)		
承担单位:	自然资源部国土卫星遥感应用中心	_
当前阶段:_□征求意	见 ☑送审稿审查 □报批稿报批	_
编制品	旬. 一○一四年六月	

星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品 编制说明

1. 概况

1.1 任务来源

2021年09月06日,自然资源部下达《自然资源部办公厅关于印发2022年度自然资源标准制修订工作计划的通知》(自然资办发[2022]39号),本文件是自然资源部发布的2022年自然资源卫星应用行业标准计划项目之一,项目编号:202233002,标准计划名称《星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品》。本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会归口,由自然资源部国土卫星遥感应用中心牵头起草。计划周期:24个月。

1.2 目的意义

我国是世界上突发性地质灾害最严重的国家之一,地质灾害种类多样,且具有点多面广的特点,防范难度大。我国中高地质灾害易发区的面积高达 394万 km²,据统计,"十三五"期间,我国共发生崩塌、滑坡、泥石流等各类地质灾害 34218 起,造成 1234 人死亡或者失踪,直接经济损失 160 亿元。2021 年,经自然资源部统计,全国共发生地质灾害 4772 起,造成 80 人死亡、11 人失踪,直接经济损失 32 亿元。从灾情类型看,滑坡 2335 起、崩塌 1746 起、泥石流 374起、地面塌陷 285 起、地裂缝 21 起、地面沉降 11 起。

合成孔径雷达作为一种主动式微波成像遥感器,具有全天时、全天候的对地观测能力,是对地观测领域中不可或缺的工具,其中合成孔径雷达差分干涉 (Differential Interferometric SAR, DInSAR)技术可以监测厘米级形变,能够提供大范围、高密度的测量点,从而获取高分辨率形变场,因此 DInSAR 技术越来越

广泛的应用于地面新形变监测之中。DInSAR 形变监测产品主要服务于我国地质灾害监测,并在城市沉降、矿山形变、地震形变、基础设施形变、冰川冻土、滑坡灾害等多个领域获得了丰富的应用,但国内形变监测依然面临着产品体系不规范的问题,导致泛行业应用所需的持续处理、动态更新、持续服务能力不足,严重限制了形变产品发挥相应作用。尤其是随着 L 波段差分干涉 SAR 卫星2022 年初成功发射,其业务化产品将围绕 DInSAR 形变场展开,但国内目前仍没有统一的形变场产品规范,亟需根据合成孔径雷达卫星的实际情况以及未来发展趋势,制订能够充分发挥形变场产品在各行业的作用的形变场产品规范,以最大程度发挥卫星使用效益,服务于我国地质灾害的监测任务。

1.3 主要起草人及工作分工

编制任务下达后,自然资源部国土卫星遥感应用中心为牵头单位,江苏省测绘工程院、自然资源陕西省卫星应用技术中心、自然资源部第一大地测量队、中南大学、同济大学等共同成立了编制组。编制组成员包括总体技术负责人和长期从事卫星应用合成孔径雷达差分干涉技术研究和形变监测专业领域的专业技术人员和专家分工合作开展标准各章节的编写,编制组主要人员组成及分工见表 1。

	农工 细胞组入贝刀工				
序号	姓名	单位	任务分工	备注	
1	唐新明	自然资源部国土卫星遥感应	规范编制负责人,总体统筹标准编制等		
1	店 胡 明	用中心	工作		
2	李涛	自然资源部国土卫星遥感应	负责标准编制与形成标准(征求意见		
2		用中心	稿)主体框架等工作		
2	张祥	自然资源部国土卫星遥感应	负责组织协调、审查报批等工作		
3		用中心	— 贝贝组织协响、甲 恒 报机寺工作		
4	张雪飞	自然资源部国土卫星遥感应	A 丰标处尔式辛用箱炉写工炉		
4		用中心	负责标准征求意见稿编写工作		
5	禄競	自然资源部国土卫星遥感应	负责标准审核校准工作		

表 1 编制组人员分丁

		用中心		
6	窦显辉	自然资源部国土卫星遥感应 用中心	负责标准征求意见汇总处理	
7	丘晓枫	自然资源部国土卫星遥感应 用中心	负责标准征求意见稿修改	
8	李坛	自然资源部国土卫星遥感应 用中心	负责编制说明修改	
9	丁刘建	自然资源部国土卫星遥感应 用中心	负责编制说明审核	
10	卢刚	江苏省测绘工程院	负责送审稿编制工作	
11	张文龙	自然资源陕西省卫星应用技 术中心	负责报批稿编制工作	
12	李国鹏	自然资源部第一大地测量队	负责拟订编制说明	
13	李志伟	中南大学	负责技术指标审核	
14	张磊	同济大学	负责技术方案审核	

1.4 主要工作过程

1.4.1 起草阶段

2022年09月-2022年10月,编制组开展了大量的调研工作,包括国内外有关现有标准,以及星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品的实际实施情况,编制组开始起草标准草案。

2022年11月,编制组与标准秘书处进行深入沟通,结合前期工作情况以及项目总体安排,制定了标准的工作方案,规定了技术方案以及计划安排,并对任务进行了分工。

1.4.2 征求意见稿阶段

2022年11月-2023年08月,以标准草案为基础,编制组又以电话、社交软件、电子邮件和视频会议的形式与SAR领域生产作业单位、大学、科研院所的多位技术专家和生产专家进行多次交流探讨,并根据专家意见对标准草案进行修改完善,于2023年8月完成了标准征求意见稿和编制说明。

2023年9月-2023年12月,按照全国地理信息标准化技术委员会卫星应用

分技术委员会标准化工作管理规定要求,征求意见稿发至卫星应用分技委全体委员、相关测绘单位和相关单位的专家,并在自然资源标准化信息服务平台开始广泛征求有关单位及专家的意见。收到的回函单位或专家数 18 个,回函并有建议或意见的单位或专家数 11 个。共收到 65 条意见,其中采纳意见 52 条,部分采纳意见 3 条,未采纳意见 10 条。编制组按照专家的意见对标准征求意见稿进行了详细的修改,形成送审讨论稿。

1.4.3 送审稿阶段

2024年4月23日,由牵头单位组织召开了标准预审会,来自全国地理信息标准化技术委员会、中国科学院精密测量科学与技术创新研究院、中国地质环境监测院、河海大学、上海航天技术研究院、武汉大学、国家测绘产品质量检验测试中心、中国地质大学、西南交通大学、中国资源卫星应用中心、应急管理部国家自然灾害防治研究院、中国科学院空天信息创新研究院和中国矿业大学的13位专家参加预审会,专家对标准送审讨论稿和编制说明提出了针对性意见。会后,编制组积极采纳预审会专家意见,并根据专家建议进行相关修改,于2024年6月形成送审稿。

1.4.4 报批稿阶段

暂无。

2. 标准编制原则和确定标准主要内容的依据

2.1 标准编制原则

2.1.1 一致性与规范性

本文件与 GB/T 17798《地理空间数据交换格式》、GB/T 18316《数字测绘成果质量检查与验收》等相关标准相互协调,保持标准内容间的一致性,避免新

制定标准同已经颁布实施或正在报批的相关标准之间的冲突和矛盾。标准编制的所有阶段均遵守国家标准 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第一部分:标准的结构和编写规则》的规定,保证标准编制的规范性。

2.1.2 适用性和可扩展性

本文件编制过程中充分考虑了数据质量、星载合成孔径雷达差分干涉技术、 形变场产品特点等影响因素,依据形变区域监测多年的工作经验,能够满足未 来一定时期内的形变场产品应用需求,具有广泛的适用性和可扩展性。

2.1.3 有效性与可操作性

星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品标准基于专项调查的经验积累和总结编制,并随着相关工作的不断发展和深入完善形变场产品的内容和构成等。目前,自然资源部国土卫星遥感应用中心已经在多个有关形变监测公益性专项、重点研发计划项目任务中使用了本文件,该标准的使用有效提高了形变场产品的利用率以及不同单位之间衔接的工作效率,便于规范工作流程、统一数据格式、保证成果有效性和可操作性。

2.1.4 科学性与系统性

本文件为有效提高星载合成孔径雷达差分干涉技术监测形变区域的产品的利用率,依据内容完整、技术规范科学合理的原则,以产品类型、产品构成、产品命名规则、产品精度、产品质量等分别开展相关内容的编制。

2.2 国内外调研情况

近几十年来,合成孔径雷达干涉测量技术凭借其大范围、高精度、全天时、全天候的优势在地球物理学和大地测量学科中扮演着十分重要的角色。其发展的合成孔径雷达差分干涉技术更是在地表形变监测、地质灾害监测等领域展现出十分广阔的应用前景。

用的 Imperial 谷的微小地表形变,并获取了 Imperial Valley 灌溉区的形变监测数据; 1993 年法国 Massonnet 等[2]人利用 D-InSAR 技术实现了对 California 地区的地震形变场的模拟,获取了 1992 年的 Landers 地区 7.3 级地震的同震形变场模型,其处理获取的形变结果与野外 GPS 测量的结果具有较高的一致性,该成果经《Nature》相关期刊发布,便引起了全球的轰动,从而掀起了对 DInSAR 技术研究的全球热潮。2003 年 Raucoules 等[3]利用 DInSAR 技术在法国某盐矿区开展了地表沉降监测; 2004 年 GeLinlin 等[4]将 DInSAR 监测结果和采矿地质工程图相结合进行分析,进一步证明了 DInSAR 技术在监测矿山采空区引起的地表形变的有效性; 2020 年 Ridwan Arif 等[5]基于星载 SAR 影像利用 DInSAR 技术进行喀斯特地貌形变监测,并分析了影响喀斯特景观因素; 2021 年 Krisztina 等[6]利用改进的自动 DInSAR 时间序列技术实时监测自然灾害,并在火山和黄石地区验证其精确性。

 技术利用 ALOS-2 数据对中国西南部灾害易发区进行监测,发现大量形变区域,经过各省级单位对比验证,形变识别效果良好;2022 年,许耀宗等[12]运用 DInSAR、Stacking 和 SBAS-InSAR 对山西大同地区的开采煤田进行了监测研究,并分析了三种方法在监测煤炭开采过程中的适用性。

国内外研究已经充分证明了 DInSAR 技术在地表沉降监测、地震灾害监测、 滑坡泥石流、冰川移动等各领域拥有着广泛的应用前景。DInSAR 形变监测技术 己应用于多个公益性专项、重点研发计划项目等,经国家标准、行业标准共享 服务平台检索。目前国内已发表的相关行业标准包含: 1) CH/T 6006—2018 时 间序列 InSAR 地表形变监测数据处理规范,主要介绍了区域性地表形变监测和 重点目标(如高速铁路、高速公路、大坝等)地表形变监测的时序 InSAR 数据 处理流程: CH/T 6006—2018 为星载合成孔径差分干涉技术形变场产品处理流程 提供参考。2) T/CAGHP 013-2018 地质灾害 InSAR 监测技术指南(试行), 主 要介绍了滑坡、崩塌(危岩体)、泥石流、地面塌陷、地面沉降与地裂缝等地质 灾害的 InSAR 识别与监测技术规程: T/CAGHP 013-2018 在地表形变监测部分为 星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品生成提供参考。3)GB/T 32874-2016 机载InSAR系统测制1:100001:500003D产品技术规程,主要介绍了机载InSAR 系统测制 1:10 000 和 1:50000 数字高程模型、数字正射影像图、数字线划图的生 产作业流程、技术要求、作业方法及其质量控制; 星载合成孔径差分干涉技术 形变场产品中所需的数字高程模型,可参考 GB/T 32874-2016。

但是目前并没有标准的 DInSAR 形变场产品,特别是随着国产星载 SAR 卫星的不断发展,缺乏标准的 DInSAR 技术形变场产品将无法为未来国产星载 SAR 卫星的 DInSAR 技术形变场产品规模化生产处理提供有效的技术支撑。因此急需制定星载 DInSAR 技术形变场产品标准,来指导形变场产品的规范性,提高

形变监测结果的可靠性及应用水平。

2.3 主要技术内容的说明

2.3.1 标准的范围

本文件针对全球形变区域监测的需求,总结近年来形变监测的实践经验,充分考虑技术的实用性,规范相关的作业过程。由于形变区域数量庞大且分布范围较广,传统测量技术存在一定局限性和困难。星载 DInSAR 技术凭借其大范围、高精度、全天时、全天候的优势在地表形变监测、地质灾害监测等领域展现出十分广阔的应用前景,是对地观测领域不可或缺的重要手段。自从上世纪80年代以来,一系列 SAR 传感器获得了大量形变区监测成果,我国区域内更是具有大量形变易发区,为星载 DInSAR 技术监测形变的研究提供了丰富的遥感资料。基于形变产品,可以直观看到形变区域的空间分布情况、形变程度及范围,这是常规手段难以做到的。

以产品描述、产品构成和文件要求、产品技术要求、产品命名规则、产品精度、产品质量等分别开展相关内容的编制。

本文件针对基于星载 DInSAR 技术形变场产品的产品描述、产品构成、产品命名规则、产品精度、产品质量等提出规范要求,适用于全球形变区域的监测工作。

2.3.2 关于产品描述

本文件给出了星载 DInSAR 技术形变场相关产品的描述和产品级别关系。 形变场产品主要包含解缠相位产品、重缠绕相位产品、LOS 向形变产品、垂直 向形变产品,其中以 LOS 向形变产品为核心产品,其余产品辅助 LOS 向形变产 品。产品级别关系构成首先是主影像与辅影像依次进行配准、重采样、生成干 涉条纹图、去平去地形相位、相位解缠进而得到解缠相位产品,为了更清楚的 看到形变信息,将解缠相位以非线性的方式缠绕进(-π,π]区间,进而得到重缠绕相位产品,LOS 向形变产品的生成是将解缠相位产品进行相位转 LOS 向形变,垂直向形变产品是将 LOS 向形变转换成垂直向形变。所有形变场相关产品的大地基准采用 CGCS 2000 坐标系,必要时,可采用经批准的其他坐标系;高程基准采用 1985 国家高程基准,若无法实现,可采用数据源的高程基准或已公开的其他高程基准;时间系统采用世界协调时;地图投影采用高斯克吕格投影。

2.3.3 关于产品构成

星载 DInSAR 技术进行形变监测过程中,因侧视成像、大气延迟、地形、基线、处理效果等因素导致形变识别具有一定的困难。因此,在对形变场产品进行分析时,需借助 DInSAR 技术处理过程中的相关文件,增加形变区域识别的准确性和有效性。因此,本文件给出了形变场产品的构成,形变场产品主要包括解缠相位产品、重缠绕相位产品、LOS 向形变产品、垂直向形变场产品四种。其中必选文件包括解缠差分相位文件、重缠绕差分相位文件、LOS 向形变文件、垂直向形变文件、相干系数文件、浏览图文件、缩略图文件、元数据文件、处理参数文件;可选文件包括大气相位文件、固体潮相位文件、海潮负荷相位文件。

星载 DInSAR 技术形变场产品所包含的构成文件内容要求说明如下:

a)生产解缠差分相位文件。利用 DInSAR 技术对重复轨道的两景单视复数影像进行干涉处理,在基线满足相关要求的情况下,通过干涉图生成、去平去地形、滤波、解缠等处理后获取的掩膜后解缠相位,经地理编码生成的文件,该文件相位值域范围为(-∞,+∞),因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;

- b)生产重缠绕差分相位文件。为了更清晰的看出误差及形变场分布,利用解缠相位文件进行缠绕,并经地理编码生成的文件,该文件相位值域范围为(-π, π],因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;
- c)生产 LOS 向形变文件。将解缠差分相位文件转换为 LOS 向形变,并经地理编码生成该文件,因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;
- d)生产垂直向形变文件。将 LOS 向形变转换为垂直向形变生成该文件,因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;
- e)生产相干系数文件。利用重复轨道两景单视复数影像生成的用复相干系数的幅度或模定量表达生成的雷达后向散射波之间相关程度的图像。对图像进行地理编码处理,其值介于 0 到 1 之间,因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;
- f)生产浏览图文件。利用解缠差分相位文件、重缠绕差分相位文件、LOS 向 形变文件和垂直向形变文件生成,文件是便于查看且较为清晰的图片,因此采 用静态图像编码格式存储,后缀为".ipg"格式;
- g)生产缩略图文件。利用解缠差分相位文件、重缠绕差分相位文件、LOS 向形变文件和垂直向形变文件经过压缩处理生成,文件是缩略展示的图片,因

此采用静态图像编码格式存储,后缀为".jpg"格式;

h)生产元数据文件。将原始参数以及产品生产处理过程中相关结果信息注入 到文本文件中,生成该文件,因此采用可拓展标记语言(Extensible Markup Language, XML)描述的纯文本格式存储,后缀为".xml";

i)生产处理参数文件。将产品生产处理过程中涉及的相关处理参数及处理结果等信息注入到文本文件中,生成该文件,可确保该产品具有一定的回溯性,因此采用 XML 描述的纯文本格式存储,后缀为".xml";

j)生产入射角文件。将原始入射角文件进行采样处理,注入到文本文件中,以便后续使用入射角进行不同方向的形变信息抽取,因此采用 XML 描述的纯文本格式存储,后缀为".xml";

k)生产大气相位文件。使用大气相位模型生产对流层干扰信息,以及使用分频等方法生产的电离层干扰信息。坐标范围与产品坐标范围一致,因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;

I)生产固体潮相位文件。使用固体潮模型生产地表形变干扰信息。坐标范围与产品坐标范围一致;因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求;

m)生产海潮负荷相位文件。使用通过海洋潮汐模型生产地表形变干扰信息。 坐标范围与产品坐标范围一致,因此该文件需要采用 CGCS 2000 坐标系和高斯 克吕格地图投影,高程基准采用 1985 国家高程基准,并以 geotiff 格式存储,后 缀为".tif",数据格式满足 GB/T 17798 的要求。

2.3.4 关于产品要求

本文件给出了星载 DInSAR 技术形变场产品的生产时的有关要求。其中主要包括存储分发、产品命名、精度和质量等。存储分发上采用标准景、欠景和超景三种模式,解决不同形变范围、不同应用场景的需求;产品命名的统一规范有利于提高形变场产品的利用率,规范产品体系,提高持续服务能力,扩展应用领域,充分发挥形变场产品的作用;形变场产品以 LOS 向形变产品为核心产品,其余产品为形变场产品的有机构成,产品格网尺寸应满足与多视后的单视复数影像的地距分辨率一致,其比例尺与格网尺寸要求如表 2 所示。

表 2 产品格网尺寸

单位为米

比例尺	格网尺寸
1:5000	2.5
1:10 000	5
1:25 000	10
1:50 000	25
1:100 000	50

产品的精度主要包含平面定位中误差、形变监测中误差与产品等级。产品平面定位中误差见表 3。

表 3 平面定位中误差

单位为米

	平面定位中误差		
比例尺	平地、丘陵	山地、高山地	
1:5000	2.5	3.75	
1:10 000	5	7.5	
1:25 000	12.5	18.75	
1:50 000	25	37.5	
1:100 000	50	75	

产品形变监测精度及等级划分见表 6。各类产品合格性判定要求如下:

- a) LOS 向形变产品和垂直向形变产品形变监测中误差应优于 5cm, 否则为不合格产品。对于突变型大梯度形变, 例如地震、崩塌等现象, 不应以精度考核产品质量;
- b) 解缠相位产品和重缠绕相位产品 90%目标区域的相干性应高于 0.3, 否则为不合格产品;
- c) 当形变监测精度等级与90%目标区域的相干性等级出现冲突时,建议两者取较高产品等级进行评判。产品等级划分如表 4 所示。

表4 产品等级划分

精度指标		形变监测中误差 cm	90%相干性
	一级	(0, 1]	(0.8, 1.0]
产品等级	二级	(1, 3]	(0.6, 0.8]
	三级	(3, 5]	(0.3, 0.6]

2.3.5 关于产品质量检验

产品提供使用前应进行质量检验。规定形变场产品质量元素的检查项如表

5, 且各质量元素的检查项不限于表 5 所示, 可根据具体情况进行补充。

表 5 形变场产品质量检查项

		~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	1111/12/22
质量元素	质量子元素	检查项	检查内容
	大地基准系	坐标系统	软件自动检查坐标系是否符合要求
空间参考系	高程基准	高程基准	软件自动检查高程基准是否符合要求
	地图投影	投影参数	软件自动检查地图投影各参数是否符合要求
时间系统	时间系统	时间系统	软件自动检查时间系统是否符合要求
产品分幅	产品分幅	分幅方式	自动检查分幅方式是否符合要求
产品数据类型	产品数据类型	产品数据类型	软件自动检查产品数据类型是否符合要求
产品质量	格网尺寸	产品格网尺寸	检查产品格网尺寸是否符合要求
文口姓庇	平面定位精度	平面位置中误差	人工检查产品的平面位置中误差是否符合要求
产品精度	形变监测精度	形变监测中误差	人工检查产品的形变监测中误差是否符合要求
	格式一致性	数据归档	软件自动检查数据文件存储的组织方式是否符合要
			求
逻辑一致性		数据格式	软件自动检查数据文件格式是否符合要求
		*************************************	软件自动检查数据文件是否缺失、多余、数据无法读
		数据文件	取

		文件命名	软件自动检查数据文件名称是否符合要求
产品质量	格网尺寸	产品格网尺寸	人工检查形变场产品格网尺寸是否符合要求
附件质量	附属文件	错漏项	软件自动检查除了影像文件外的其他文件的数据项
			错漏个数
		内容错漏	软件自动检查除了影像文件外的其他文件的数据项
			内容错漏个数

3. 验证试验的情况和结果

3.1 技术方法

以下验证试验所采用的方法均为二轨法 DInSAR 处理。DInSAR 的关键处理流程包括影像配准与重采样、干涉图生成、平地和地形相位的去除、干涉图滤波与质量评价、相位解缠、地理编码等。本文给出的仅为主要处理环节,其他处理环节,例如基线精估计、相位拟合、二次去平去地形等,本文不再深入讨论。本文以产品构成为主,所提技术方法不形成标准。

3.1.1 影像配准与重采样

在 SAR 卫星重复轨道测量过程中,每次经过同一区域时的影像的方位向分辨率、距离向分辨率以及影像范围会有微小变化。所以为了能够保证干涉的顺利进行并达到需求精度,需要对 SAR 影像进行配准,从而保证配准后 SAR 影像上的每个像元都能够一一对应。配准包括粗配准和精配准,粗配准的配准精度一般在十个像元之内,目的是为精配准提供可靠的偏移量初始值。精配准是在粗配准偏移量上进行精化,以达到 1/8 像元以上的配准精度,从而使得主副影像干涉精度满足要求。

配准的目的是为重采样拟合多项式提供可靠的观测量。通过配准观测值拟合的多项式体现了主辅影像对应像元坐标之间的函数关系。获取拟合多项式后,即可将辅影像插值到主影像对应的像元空间中。插值算法有双线性插值、sinc

函数插值、反距离加权插值等。

3.1.2 干涉图生成

通过 SAR 影像生成干涉图的过程,就是主辅影像对应像元共轭相乘的过程。 干涉所能获取的有效信息量,取决于两景 SAR 影像的成像质量。即干涉过程中 需要尽可能使得影像受到的失相干较小。

3.1.3 平地和地形相位的去除

平地相位是指参考椭球面本身所引起的干涉相位,相对于地形相位和形变相位来说,平地相位是初始干涉图中呈现的主要分量,这也就是为什么原始干涉图呈现出近似平行的密集干涉条纹的原因。平地相位的去除可以先均匀选取几个点,计算其平地相位,然后拟合出对应的平地相位多项式,从而获取每个像元的平地相位,以便将其从干涉图中去除。地形相位的去除需要估计出由地形引起的相位变化。这可以通过数字高程模型(DEM)来实现。DEM 提供了地表的高程信息,结合 SAR 系统的参数(如波长、飞行高度等),可以计算出每个像素点的地形相位,在得到地形相位信息后,可以通过相位减法将其从原始SAR 数据中去除。这一步骤的目的是消除地形的相位影响,使得雷达波在平坦地面上的传播相位成为主要的参考。除此之外,也可以通过公式和地形相位一并去除。

在去除平地相位和地形相位后,忽略大气相位,失相干噪声的影响,剩余的相位即为形变相位。

3.1.4 干涉图滤波与质量评价

实际处理中,去平去地形后的干涉图中往往存在着较多的相位噪声,使得干涉图出现干涉条纹不清晰、周期不明显以及连续性不强等问题,从而增加了相位解缠的难度。为了提高干涉图质量,减少解缠误差,需要对干涉相位进行

滤波处理。另外,为了评价滤波后的干涉图质量,为相位解缠提供指导,需要 对滤波后的干涉相位进行评价,即生成与干涉图对应的相干系数图。

3.1.5 相位解缠

为了获取真实的形变相位值,需要对差分干涉图进行相位解缠,以恢复整周未知数。相位解缠是一个二维复变函数,使用留数定理完成二维积分,目前常用的算法有最小二乘相位解缠、枝切法相位解缠、最小费用流相位解缠、无迹卡尔曼滤波相位解缠等。

3.1.6 地理编码

将 SAR 影像投影到地理坐标空间,使每个像素点恢复正确的地理位置关系。 编码过程中需要使用外部 DEM 数据,并将 DEM 与影像进行精确配准。在无法 精确配准的情况下,可采用粗配准结果。

3.2 L-SAR 卫星山西大同矿区星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品

试验采用 2023 年 2 月 25 日和 2023 年 3 月 21 日获取的山西大同矿区 L-SAR 数据,时间基线为 24 天,空间基线为 1151.1m,模糊高为 29.56m,进行 DInSAR 处理,其中 DInSAR 影像对参数如表 6 所示。

表 6 山西大同 L-SAR 数据 DInSAR 影像对参数	表 6	山西大同	L-SAR	数据	DInSAR	影像对参数
--------------------------------	-----	------	-------	----	---------------	-------

参数	L-SAR
起止时间	20230225-20230321
时间基线	24 天
斜距向/方位向多视数	4:4
地距向/方位向分辨率	3.87 m/4.66 m

如表 7 所示为 L-SAR 卫星山西大同形变场产品构成及产品命名。

表 7 L-SAR 卫星山西大同形变场产品构成及产品命名

产品名称	必备文件	产品命名
解缠相位产	地理始初后规始关八担任文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
	地理编码后解缠差分相位文件	0230225_20230321_unw_geo.tif
品	地理炉缸与扣工乏粉之供	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
	地理编码后相干系数文件	0230225_20230321_coh_geo.tif

	浏览图文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2 0230225 20230321 filt geo.jpg
	缩略图文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
		0230225_20230321_filt_geo.thumb.jpg
	元数据文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
	, 53300 611	0230225_20230321_SLC.xml
	地理编码后重缠绕差分相位文	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
	件	0230225_20230321_rewrap_geo.tif
	浏览图文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
重缠绕相位		0230225_20230321_unw_geo.jpg
产品	缩略图文件	LT1A SPRIP2 0000074991 0000084983 E112.9 N40.4 2
,		0230225_20230321_unw_geo.thumb.jpg
		LT1A SPRIP2 0000074991 0000084983 E112.9 N40.4 2
	元数据文件	0230225 20230321 SLC.xml
		LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
	地理编码后 LOS 向形变文件	0230225_20230321_los_geo.tif
	浏览图文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
		0230225_20230321_los_geo.jpg
	缩略图文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
LOS 向形变		0230225_20230321_los_geo.thumb.jpg
产品	元数据文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
		0230225_20230321_SLC.xml
	处理参数文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
		0230225_20230321.xml
	入射角文件	LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
		0230225_20230321.incidence.xml
	地理编码后垂直向形变文件	LT1A SPRIP2 0000074991 0000084983 E112.9 N40.4 2
		0230225 20230321 vd geo.tif
	浏览图文件	LT1A SPRIP2 0000074991 0000084983 E112.9 N40.4 2
垂直向形变		0230225 20230321 vd geo.jpg
产品	缩略图文件	LT1A SPRIP2 0000074991 0000084983 E112.9 N40.4 2
	元数据文件	0230225_20230321_vd_geo.thumb.jpg
		LT1A_SPRIP2_0000074991_0000084983_E112.9_N40.4_2
		0230225_20230321_SLC.xml

对原始 SAR 经过前置滤波、配准、重采样、干涉处理、去除平地相位和地 形相位生成差分干涉图;在生成差分干涉图之后,由于各种失相干因素的影响, 干涉图常会存在一定的相位噪声,这部分噪声会使相位数据存在不连续性和不 一致性,使得后续的相位解缠过程出现局部误差。因此,在形成差分干涉图之后,一个重要工作就是滤除噪声、提高信噪比。后置滤波完成后,需要将相位由主值或相位差值恢复为真实值即相位解缠,而后将解缠结果进行地理编码,生成解缠相位产品,其结果如图 1、图 2 和图 3 所示。

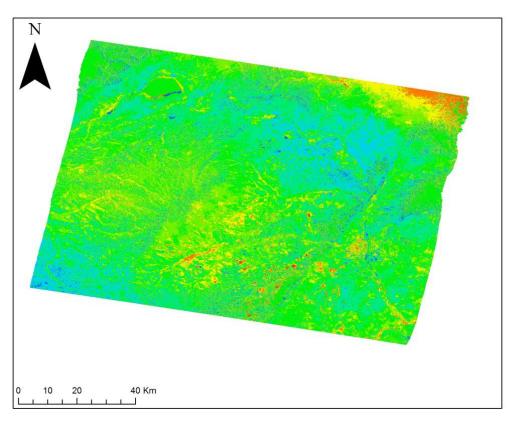


图 1 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后解缠差分相位文件

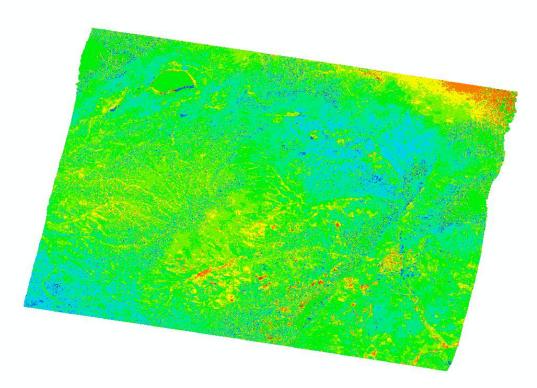


图 2 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后解缠差分相位浏览图文件

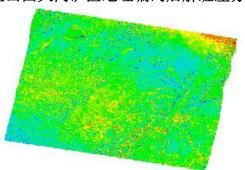


图 3 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后解缠差分相位缩略图文件

为了更清晰看出误差分布及形变场信息,将解缠差分相位重新缠绕回缠绕相位并地理编码后,生成重缠绕相位产品,其结果分别如图 4、图 5、图 6。

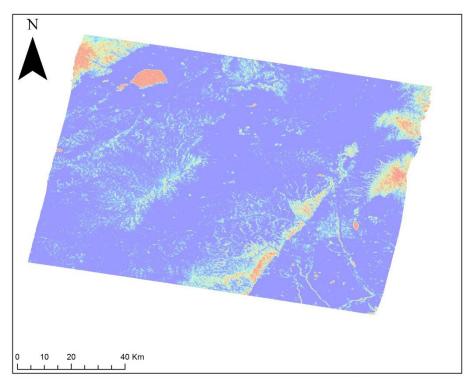


图 4 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后重缠绕差分相位文件

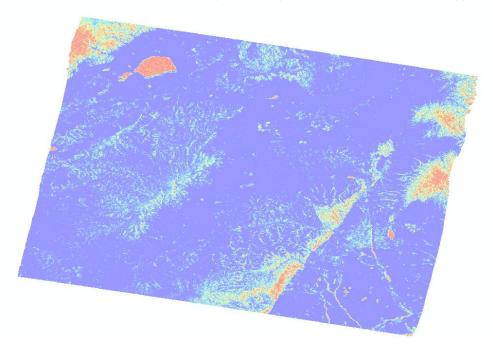


图 5 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后重缠绕差分相位浏览图文件

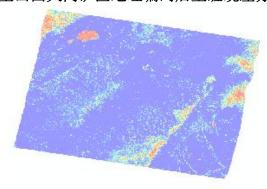


图 6 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后重缠绕差分相位缩略图文件

L-SAR 卫星山西大同矿区影像元数据文件、形变场产品处理参数文件和入射角文件,其结果分别如图 7、图 8 和图 9 所示

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<SARProcessingParametersofLASAC_XML>
  <SARParametersofCommonModule>
     <sensor>SAR</sensor>
     cproductType>
     <mission>LT1A</mission>
     <acquisitionDate>2023 2 25 22 42 56.9570</acquisitionDate>
     cproductID>0000074991
     <polarisationList>
        <numbernofPolLayer>1</numbernofPolLayer>
        <polLayer>HH</polLayer>
     </polarisationList>
     <imagingMode>STRIP2</imagingMode>
     <refTimeofImage>
        ctimeofImageStart units="s">81776.9569940000</timeofImageStart>
<timeofImageCenter units="s">81785.8102640000</timeofImageCenter>
<timeofImageStop units="s">81794.6628640000</timeofImageStop></ti>

     </refTimeofImage>
     <timeofImage>
        <timeofImageStart units="s">81776.9550229067</timeofImageStart>
<timeofImageCenter units="s">81785.8082929067</timeofImageCenter>
<timeofImageStop units="s">81794.6608929067</timeofImageStop>
     </timeofImage>
     <timePerAzimuthLine units="s">0.000669866686368</timePerAzimuthLine>
     <headerSizeinBytes>0</headerSizeinBytes>
     <imageDataType>SCOMPLEX</imageDataType>
     <imageGeometryType>SLANT_RANGE</imageGeometryType>
<numberofRangePixels units="pixel">26669</numberofRangePixels>
<numberofAzimuthPixels units="pixel">26433</numberofAzimuthPixels>
     <azimuthLooks>1</azimuthLooks>
     <rangeLooks>1</rangeLooks>
     <rangePixelSpacingScaleFactor>1.000000</rangePixelSpacingScaleFactor>
     <azimuthPixelSpacingScaleFactor>1.000000</azimuthPixelSpacingScaleFactor>
     <slantRangePixelSpacing units="meter">1.66551366</slantRangePixelSpacing>
     <AzimuthPixelSpacing units="meter">4.66017333</AzimuthPixelSpacing>
     <sceneCenterCoord>
        <lat units="degree">40.429610641300002</lat>
        units="degree">112.926284922700006
     </sceneCenterCoord>
     <sceneLeftTopCoord>
<lat units="degree">40.870468438600000</lat>
        <lon units="degree">113.736011671499995
     </sceneLeftTopCoord>
     <sceneRightTopCoord>
        <lat units="degree">41.055030901999999</lat>
        units="degree">112.506968788899997
     </sceneRightTopCoord>
     <sceneLeftBottomCoord>
        <|at units="degree">39.785680806300000</|at>
<|on units="degree">113.438653776400002</|on>
     </sceneLeftBottomCoord>
     <sceneRightBottomCoord>
        <lat units="degree">39.969173346500000</lat>
<lon units="degree">112.231274163099997</lo>
```

(a)2023年2月25日

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<SARProcessingParametersofLASAC_XML>
   <SARParametersofCommonModule>
      <sensor>SAR</sensor>
       cproductType>SSC
       <mission>LT1A</mission>
       <acquisitionDate>2023 3 21 22 43 5.6363</acquisitionDate>
      cproductID>0000084983
       <polarisationList>
          <numbernofPolLayer>1</numbernofPolLayer>
           <polLayer>HH</polLayer>
       </polarisationList>
      <imagingMode>STRIP2</imagingMode>
       <refTimeofImage>
           <timeofImageStart units="s">81785.6363340000</timeofImageStart>
          <timeofImage>
          <timeofImageStart units="s">81785.6343629067</timeofImageStart>
<timeofImageCenter units="s">81794.1264899067</timeofImageCenter>
<timeofImageStop units="s">81802.6179499067</timeofImageStop>
       <timePerAzimuthLine units="s">0.000667333348253</timePerAzimuthLine>
      <headerSizeinBytes>0</headerSizeinBytes>
      <imageDataType>SCOMPLEX</imageDataType>
<imageGeometryType>SLANT_RANGE</imageGeometryType>
<numberofRangePixels units="pixel">26669</numberofRangePixels>
<numberofAzimuthPixels units="pixel">25451</numberofAzimuthPixels>
       <azimuthLooks>1</azimuthLooks>
       <rangeLooks>1</rangeLooks>
      <rangePixelSpacingScaleFactor>1.000000</rangePixelSpacingScaleFactor>
      <a>azimuthPixelSpacingScaleFactor> 1.000000 </azimuthPixelSpacingScaleFactor> <slantRangePixelSpacing units="meter"> 1.66551366 </slantRangePixelSpacing> <AzimuthPixelSpacing units="meter"> 4.64267486 </AzimuthPixelSpacing>
       <sceneCenterCoord>
          <|at units="degree">40.118088600800000</|at>
<|on units="degree">112.906610830100007</|on>
       </sceneCenterCoord>
       <sceneLeftTopCoord>
  <lat units="degree">40.533820069400001</lat>
  <lat units="degree">113.724553244199996</la>
       </sceneLeftTopCoord>

       <sceneLeftBottomCoord>
          <|at units="degree">39.493227879199999</|at>
<|on units="degree">113.439427301199999</|on>
       </sceneLeftBottomCoord>
       <sceneRightBottomCoord>
          <lat units="degree">39.681371087800002</lat>
<lon units="degree">112.210707994299995</lon>
```

(b)2023 年 3 月 21 日 图 7 L-SAR 卫星山西大同矿区影像元数据文件

```
xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
  <BasicInformation>
          <InSARMaster>0000074991</InSARMaster>
<InSARSlave>0000084983</InSARSlave>
           <ProduceTime>2023-04-30T03:40:24Z 北京时间</ProduceTime>
            <Level>S3A</Level:
            <ProductFormat>GEOTIFF</ProductFormat>
           <ProductID>2305301140
<ProductID>STANDARD

  </BasicInformation>
<ProductInformation>
           <DataInformation
                  DataInformation>
<Polarization>HH-/Polarization>
<ImageMode>STRIP2</ImageMode>
<LookingAngle>25.361876481787320</LookingAngle>
<MasterDate>20230225</MasterDate>
<SlaveDate>20230231</SlaveDate>
<RgResolution>1.66551366</RgResolution>
<AZResolution>4.66017333</AZResolution>
<ProductResolution>
<ProductResolution>
<PreductResolution>

                    <Pre><ProductResolution>10/ProductResolution>
<TimeBaseline>24</TimeBaseline>
<PerpBaseline>1137.792880886397</PerpBaseline>
            </DataInformation>
          <SceneInformation>
                   iceneInformation>

<pre
           </SceneInformation>
<ProductInformation>
                   <DDSFlag>True</DDSFlag>
            <SoftwareVersion>1.0</SoftwareVersion>

  </ProductInformation>
<ProcessInformation>
         ProcessInformation>

&BaselineCoherence>0.970981</BaselineCoherence>

<AverageCoherence>0.570790</AverageCoherence>

<CoherentNoisePhase>0.087081</CoherentNoisePhase>

<ImageRegistrationAccuracy>0.074195</ImageRegistrationAccuracy>

<DEMRegistrationAccuracy>0.00699865</DEMRegistrationAccuracy>

<MultipleLookRatio>4.44</MultipleLookRatio>
            <ReferenceDEM></ReferenceDEM>
          <ReferenceDEM></ReferenceDEM>
<FilteringMethod>自适应玻坡</FilteringMethod>
<FilterTimes>2</FilterTimes>
<FilterFactor>0.6</FilterTimes>
<FilterFactor>0.7</FilterFactor>
<FilterWindow>256</FilterWindow>
<CoherenceCoefficientWindow>
<CoherenceMaskThreshold>0.3</CoherenceMaskThreshold>
<UnwindingMethod>mcf</UnwindingMethod>
</COHERENT Times Times
  </ProcessInformation>
<DeformationInformation>
          <NumberOfDeformationFields>NAN</NumberOfDeformationFields>
           <MaxDeformation unit="m">0.176407</MaxDeformation>
<OrbitInformation>
                   <SatPath>NAN</SatPath>
           <SatRow>NAN</SatRow>
</OrbitInformation>
   </DeformationInformation>
```

图 8 L-SAR 卫星山西大同矿区形变场产品处理参数文件

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
<incidenceAnale>
  <numberofIncidenceValue>26669</numberofIncidenceValue>
  <stepSize>1</stepSize>
  <incidenceValue>20.226911</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.227354</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.227801</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.228247</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.228691</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.229136</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.229581</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.230028</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.230474</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.230919</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.231364</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.231809</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.232255</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.232700</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.233144</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.233589</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.234034</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.234481</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.234926</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.235372</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.235817</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.236261</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.236707</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.237151</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.237599</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.238043</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.238487</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.238931</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.239378</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.239822</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.240267</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.240713</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.241157</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.241603</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.242050</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.242493</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.242938</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.243383</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.243829</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.244273</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.244718</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.245163</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.245608</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.246055</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.246497</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.246942</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.247387</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.247833</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.248279</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.248723</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.249167</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.249614</incidenceValue>
  <incidenceValue>20.250058</incidenceValue>
```

(a)2023年2月25日

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="ves" ?>
<incidenceAngle>
  <numberofIncidenceValue>26669</numberofIncidenceValue>
  <stepSize>1</stepSize>
  <incidenceValue>19.512430</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.512894</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.513359</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.513825</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.514287</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.514753</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.515217</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.515682</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.516146</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.516612</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.517076</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.517540</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.518006</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.518469</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.518934</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.519398</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.519863</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.520327</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.520793</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.521256</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.521722</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.522185</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.522650</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.523115</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.523579</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.524043</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.524505</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.524971</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.525435</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.525900</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.526366</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.526828</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.527293</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.527757</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.528221</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.528685</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.529151</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.529614</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.530078</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.530543</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.531005</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.531471</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.531936</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.532399</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.532863</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.533328</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.533792</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.534256</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.534720</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.535184</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.535649</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.536111</incidenceValue>
  <incidenceValue>19.536576</incidenceValue>
```

(b)2023 年 3 月 21 日 图 9 L-SAR 卫星山西大同矿区影像入射角文件

山西大同矿区 LOS 向形变产品,分别如图 10、图 11 和图 12 所示。

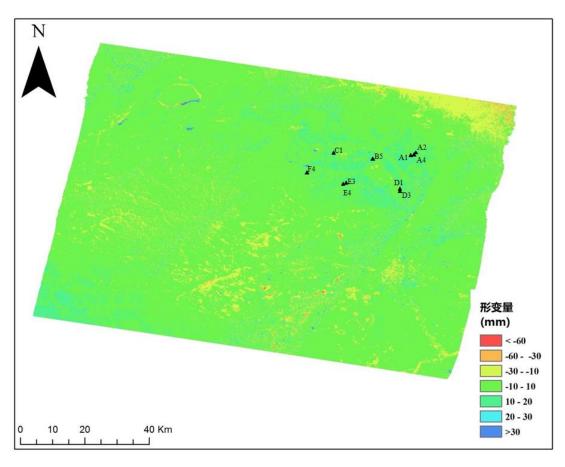


图 10 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后 LOS 向形变文件

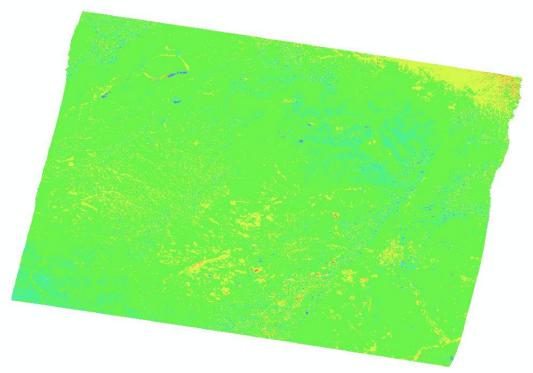


图 11 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后 LOS 向形变浏览图文件

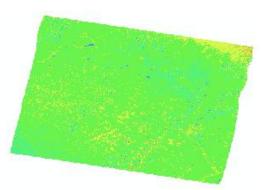


图 12 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后 LOS 向形变缩略图文件

将 LOS 形变产品转换成垂直向形变产品,其结果如图 13、图 14 和图 15 所

示

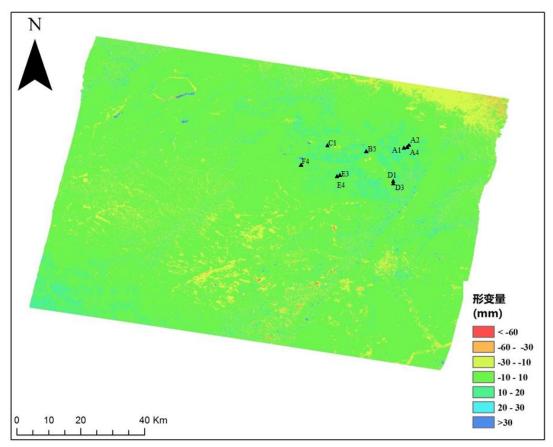


图 13 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后垂直向形变文件。其中三角形为地面水准点。

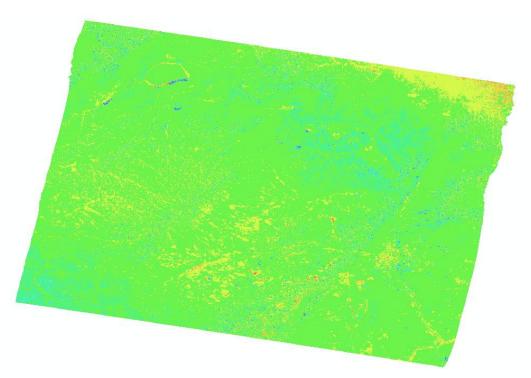


图 14 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后垂直向形变浏览图文件

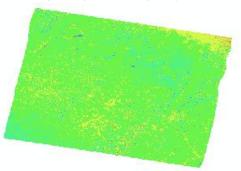


图 15 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后垂直向形变缩略图文件 如图 16 所示为地理编码后的相干系数图。

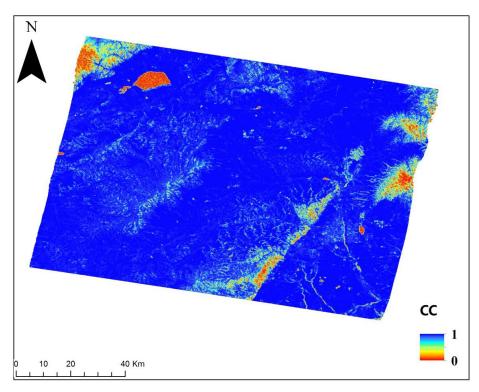
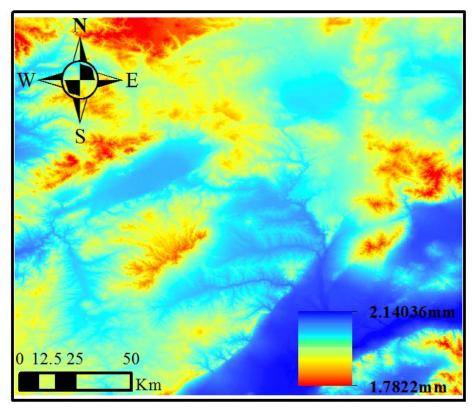
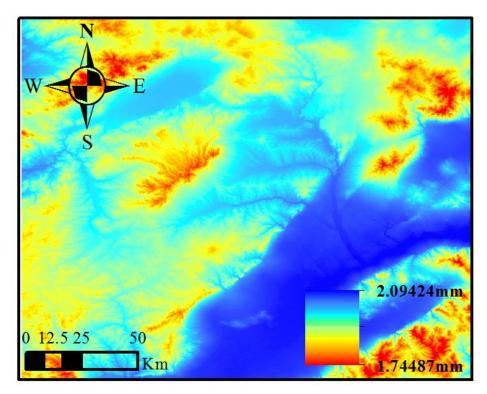


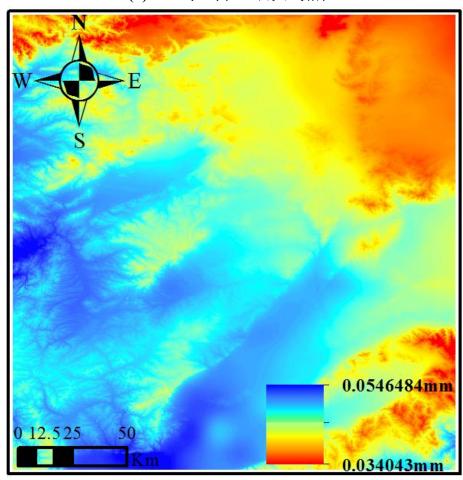
图 16 L-SAR 卫星山西大同矿区地理编码后相干系数图 可选文件包括大气相位、固体潮相位文件、海潮负荷相位文件。 大气相位结果如图 17 (a)、(b) 和 (c) 所示。



(a)2023 年 2 月 25 日大气相位

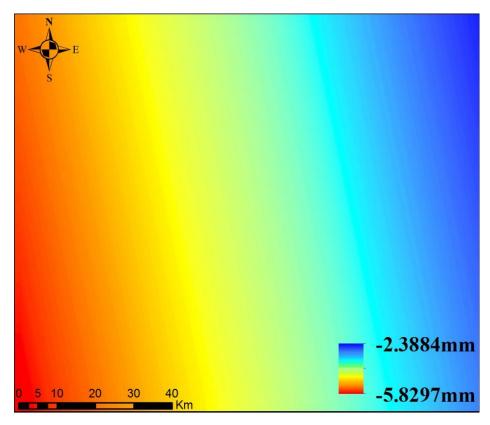


(b)2023 年 3 月 21 日大气相位

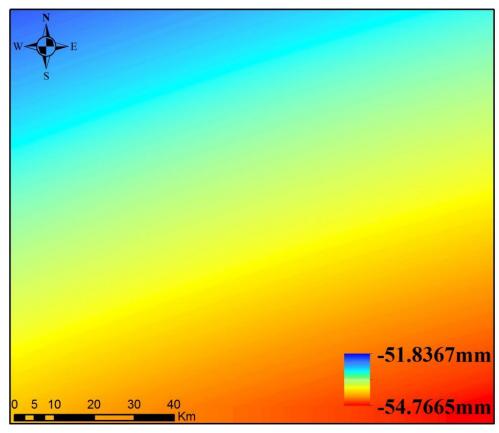


(c)形变场产品大气相位 图 17 L-SAR 卫星山西大同矿区大气相位

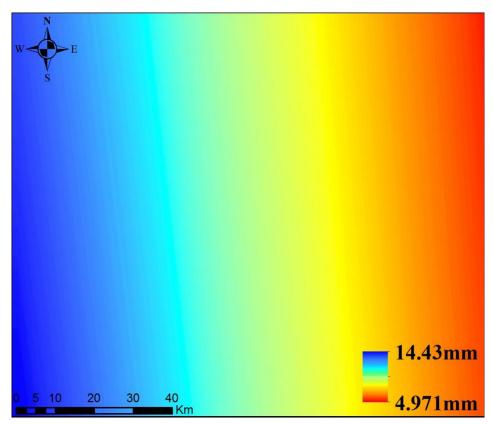
如图 18(a)、(b)和(c)所示,分别为固体潮 N、E 和 U 方向结果。



(a)N 方向固体潮相位

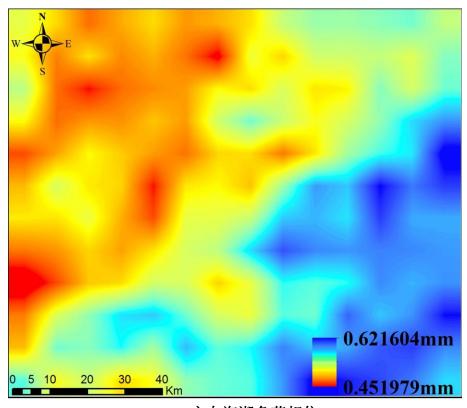


(b)E 方向固体潮相位

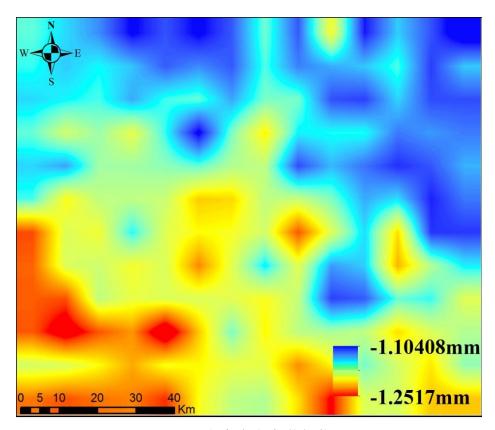


(c)U 方向固体潮 图 18 L-SAR 卫星山西大同矿区固体潮相位

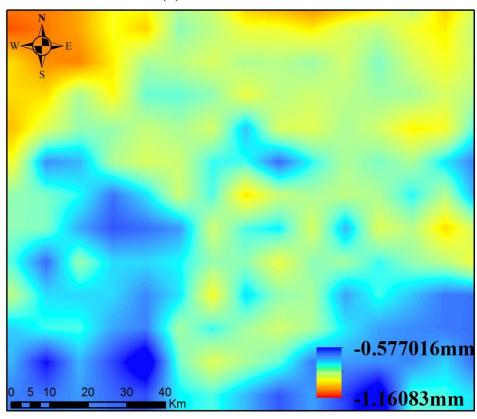
如图 19(a)、(b)和(c)所示,分别为N、E和U方向潮汐改正结果。



(a)N 方向海潮负荷相位



(b)E 方向海潮负荷相位



(c)U 方向海潮负荷相位 图 19 L-SAR 卫星山西大同矿区海潮负荷相位结果

利用图 13 中分布的地面水准数据对山西大同矿区合成孔径雷达差分干涉技

术形变监测结果进行了精度分析与评定,得到该地区形变监测精度为 2.7 毫米,并计算得该地区平均相干性为 0.94,参照表 4 进行等级划分,该形变场产品满足一级产品标准。

3.3 ALOS 卫星贵州六盘水星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品 试验采用 2019 年 3 月 3 日和 2019 年 4 月 4 日获取的贵州六盘水 ALOS 数据,时间基线为 32 天,空间基线为 385.1m,进行 DInSAR 处理,得到贵州六盘 水的形变场产品,其中 DInSAR 影像对参数如表 8 所示。

表 8 贵州六盘水 Alos 数据 DInSAR 影像对参数

参数	ALOS
起止时间	20190303-20190404
时间基线	32 天
空间基线	385.1m
斜距向/方位向多视数	4:4
地距向/方位向分辨率	5.72 m/8.52 m

如表 9 所示为 ALOS 卫星贵州六盘水形变场产品构成及产品命名。 表 9 ALOS 卫星贵州六盘水形变场产品构成及产品命名

产品名称	必备文件	产品命名
解缠相位产 品	地理编码后解缠差分相位文	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
	件	6.6_20190303_20190414_unw_geo.tif
	地理编码后相干系数文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_coh_geo.tif
	浏览图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_filt_geo.jpg
	缩略图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_filt_geo.thumb.jpg
	元数据文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_SLC.xml
解缠相位产品	地理编码后解缠差分相位文	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
	件	6.6_20190303_20190414_unw_geo.tif
	浏览图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_unw_geo.jpg
	缩略图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_unw_geo.thumb.jpg

-		
	元数据文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_SLC.xml
LOS 向形变 产品	地理编码后 LOS 向形变文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_los_geo.tif
	浏览图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_los_geo.jpg
	缩略图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_los_geo.thumb.jpg
	元数据文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_SLC.xml
	处理参数文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414.xml
	入射角文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414.incidence.xml
垂直向形变产品	地理编码后垂直向形变文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_vd_geo.tif
	浏览图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_vd_geo.jpg
	缩略图文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_vd_geo.thumb.jpg
	元数据文件	ALOS2-PALSAR_UBS_0257950520_0264160520_E104.8_N2
		6.6_20190303_20190414_SLC.xml

生成的形变产品结果,包括解缠产品图、重缠绕产品图、LOS 向形变图和 垂直向形变图。重缠绕相位产品如图 20、图 21、图 22 所示。

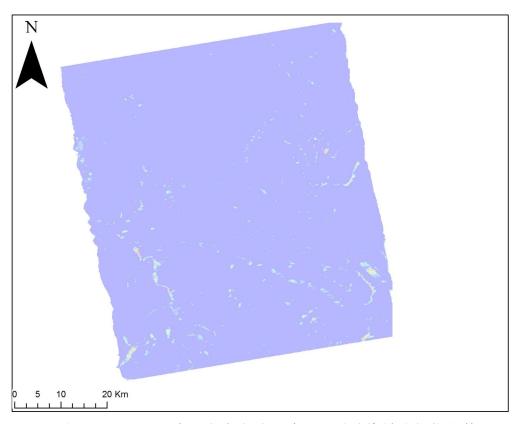


图 20 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后重缠绕差分相位文件



图 21 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后重缠绕差分相位浏览图文件



图 22 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后重缠绕差分相位缩略图文件 ALOS 卫星贵州六盘水影像元数据文件、形变场产品处理参数文件和入射角 文件,其结果分别如图 23、图 24 和图 25 所示

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<SARProcessingParametersofLASAC_XML>
   <SARParametersofCommonModule>
      <sensor>ALOS2-PALSAR</sensor>
      oductType>1.1
      <mission>ALOS2-PALSAR</mission>
      <acquisitionDate>2019 3 3 17 1 19.919</acquisitionDate>
      <polarisationList>
         <numbernofPolLayer>1</numbernofPolLayer>
         <polLayer>HH</polLayer>
      </polarisationList:
      <imagingMode>UBS</imagingMode>
      <refTimeofImage>
         <timeofImageStart units="s">61274.9190000000</timeofImageStart><timeofImageCenter units="s">61279.9188869130</timeofImageCenter><timeofImageStop units="s">61284.9187738259</timeofImageStop>
      </refTimeofImage>
      <timeofImage>
         <timeofImageStart units="s">61274.9190000000</timeofImageStart>
         <ti>timeofimageCenter units="s">61279.9188869130</timeofimageCenter><timeofimageStop units="s">61284.9187738259</timeofimageStop>
      </timeofImage>
      <timePerAzimuthLine units="s">0.000307505576000</timePerAzimuthLine>
      <headerSizeinBytes>0</headerSizeinBytes>
      <imageDataType>FCOMPLEX</imageDataType>
      <imageGeometryType>SLANT_RANGE</imageGeometryType>
      <numberofRangePixels units="pixel">23184</numberofRangePixels>
<numberofAzimuthPixels units="pixel">32520</numberofAzimuthPixels>
      <azimuthLooks>1</azimuthLooks>
      <rangeLooks>1</rangeLooks>
      <rangePixelSpacingScaleFactor>1.000000</rangePixelSpacingScaleFactor>
      <azimuthPixelSpacingScaleFactor> 1.000000 </azimuthPixelSpacingScaleFactor>
<slantRangePixelSpacing units="meter">1.43042224</slantRangePixelSpacing>
<AzimuthPixelSpacing units="meter">2.12915183</AzimuthPixelSpacing>
      <sceneCenterCoord>
         <|at units="degree">26.603192116201207</|at>
<|on units="degree">104.762939212512379</|on>
      </sceneCenterCoord>
      </sceneLeftTopCoord>
      <sceneRightTopCoord>
    <lat units="degree">26.953792625733705</lat>
    <lo>units="degree">104.971845614800216</lo>
      </sceneRightTopCoord>
      <sceneLeftBottomCoord>
         <|at units="degree">26.249832625002625</|at>
<|on units="degree">104.542786341099557</|on>
      </sceneLeftBottomCoord>
      <sceneRightBottomCoord>
  <lat units="degree">26.341822676553729</lat>
  <lon units="degree">105.096643521930815</lo>
```

(a)2023年3月3日

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<SARProcessingParametersofLASAC_XML>
   <SARParametersofCommonModule>
      <sensor>ALOS2-PALSAR</sensor>
      oroductType>1.1
       <mission>ALOS2-PALSAR</mission>
       <acquisitionDate>2019 4 14 17 1 17.230</acquisitionDate>
       <polarisationList>
          <numbernofPolLayer>1</numbernofPolLayer>
          <polLayer>HH</polLayer>
       </polarisationList>
       <imagingMode>UBS</imagingMode>
       <refTimeofImage>
          <timeofImageStart units="s">61272.2300000000</timeofImageStart><timeofImageCenter units="s">61277.2298869130</timeofImageCenter><timeofImageStop units="s">61282.2297738259</timeofImageStop>
       </refTimeofImage>
          <timeofImageStart units="s">61272.2300000000</timeofImageStart>
<timeofImageCenter units="s">61277.2298869130</timeofImageCenter>
<timeofImageStop units="s">61282.2297738259</timeofImageStop>
       </timeofImage>
       <timePerAzimuthLine units="s">0.000307505576000</timePerAzimuthLine>
       <headerSizeinBytes>0</headerSizeinBytes>
      <imageDataType>FCOMPLEX</imageDataType>
      <imageGeometryType>SLANT_RANGE</imageGeometryType>
<numberofRangePixels units="pixel">23248</numberofRangePixels>
<numberofAzimuthPixels units="pixel">32520</numberofAzimuthPixels>
       <azimuthLooks>1</azimuthLooks>
       <rangeLooks>1</rangeLooks>
      <rangePixelSpacingScaleFactor>1.000000</rangePixelSpacingScaleFactor>
      <azimuthPixelSpacingScaleFactor> 1.000000 </azimuthPixelSpacingScaleFactor> <slantRangePixelSpacing units="meter">1.43042224</slantRangePixelSpacing vnits="meter">2.12909900</azimuthPixelSpacing vnits="meter">2.12909900</azimuthPixelSpacing>
          <|at units="degree">26.603465827039098</|at>
<|on units="degree">104.768957789283817</|on>
       </sceneCenterCoord>
       <sceneLeftTopCoord>
          <|at units="degree">26.862112003378314</|at>
<|on units="degree">104.420128559462498</|on>
       </sceneLeftTopCoord>
      <sceneRightTopCoord>
| <lat units="degree">26.954163581670109</lat>
          <lon units="degree">104.978570448695223</lo>>
       </sceneRightTopCoord>
       <sceneLeftBottomCoord>
          <|at units="degree">26.249996344518131</|at>
<|on units="degree">104.548043152859080</|on>
       </sceneLeftBottomCoord>
       <sceneRightBottomCoord>
<lat units="degree">26.342207930369192</lat>
<lon units="degree">105.103354500671301</lo>
```

(b)2023 年 4 月 14 日 图 23 ALOS 卫星贵州六盘水影像元数据文件

```
?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<root>
  <BasicInformation>
    <InSARMaster>0257950520</InSARMaster>
    <InSARSlave>0264160520</InSARSlave
    <ProduceTime>2023-04-20T07:04:23Z 北京时间</ProduceTime>
    <Level>S3A</Level>
    <ProductFormat>GEOTIFF</ProductFormat>
    <ProductID>2304201504</ProductID>
    <TaskType>STANDARD</TaskType>
  </BasicInformation>
  <Pre><Pre>oductInformation>
    <DataInformation>
      <Polarization>HH</Polarization>
       <ImageMode>UBS</ImageMode>
       <LookingAngle>36.164323094011728
       <MasterDate>20190303</MasterDate>
       <SlaveDate>20190414</SlaveDate>
       <RgResolution>1.43042224</RgResolution>
       <AzResolution>2.12909900</AzResolution>
       <ProductResolution>10</ProductResolution>
       <TimeBaseline>32</TimeBaseline>
       <PerpBaseline>468.391931693880</PerpBaseline>
    </DataInformation>
    <ImageDataInformation>
<LinesInPixels>8120</LinesInPixels>
       <SamplesInPixels>5744</SamplesInPixels>
    </ImageDataInformation>
    <SceneInformation>
      <CenterLatitude>26.603465827039098</CenterLatitude>
       <CenterLongitude>104.768957789283817</CenterLongitude>
      <TopLeftLatitude>26.862112003378314</TopLeftLatitude>
       <TopLeftlongitude>104.420128559462498</TopLeftlongitude>
       <TopRightLatitude>26.954163581670109</TopRightLatitude>
       <TopRigthLongitude>104.978570448695223</TopRigthLongitude>
       <BottomLeftLatitude>26.249996344518131</BottomLeftLatitude>
       <BottomLeftLongitude>104.548043152859080</BottomLeftLongitude>
       <BottomRightLatitude>26.342207930369192</BottomRightLatitude>
       <BottomRightLongitude>105.103354500671301</BottomRightLongitude>
    </SceneInformation>
    <Pre><Pre>oductInformation>
      <DDSFlag>True</DDSFlag>
<SoftwareVersion>1.0</SoftwareVersion>
    </ProductInformation>
  </ProductInformation>
  <ProcessInformation>
    <BaselineCoherence>0.998953
/BaselineCoherence>
    <averageCoherence>0.413718</averageCoherence>
    <CoherentNoisePhase>0.016194</CoherentNoisePhase>
    <ImageRegistrationAccuracy>0.045275</ImageRegistrationAccuracy>
    <DEMRegistrationAccuracy>0.0696282</DEMRegistrationAccuracy><MultipleLookRatio>4:4MultipleLookRatio>
    <ReferenceDEM>TanDEM-X 90m</ReferenceDEM>
    <FilteringMethod>自适应滤波</FilteringMethod><FilterTimes>2<FilterTimes><FilterFactor>0.6FilterFactor>
    <FilterWindow>256</FilterWindow>
    <CoherenceCoefficientWindow>7x7</CoherenceCoefficientWindow>
<CoherenceMaskThreshold>0.3</CoherenceMaskThreshold>
    <UnwindingMethod>mcf</UnwindingMethod>
  </ProcessInformation>
  <DeformationInformation>
    <NumberOfDeformationFields>NAN</NumberOfDeformationFields>
    <MaxDeformation unit="m">0.067865
/MaxDeformation>
    <OrbitInformation>
       <SatPath>NAN</SatPath>
       <SatRow>NAN</SatRow>
    </OrbitInformation>
  </DeformationInformation>
</root>
```

图 24 ALOS 卫星贵州六盘水形变场产品处理参数文件

```
?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
<incidenceAngle>
  <numberofIncidenceValue>26669</numberofIncidenceValue>
  <stepSize>1</stepSize>
  <incidenceValue>36.165123</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165169</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165179</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165199</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164401</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164452</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164469</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164489</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164563</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164578</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164592</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164631</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164636</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164678</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164688</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164712</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164723</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164736</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164757</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164768</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164799</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164913</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164923</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164936</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164957</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164968</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.164999</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165013</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165023</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.1650-36</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.1650-57</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165068</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165099</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165113</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165123</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165136</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165157</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165168</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165199</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165213</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165223</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165236</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165257</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165268</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165299</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165313</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165323</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165336</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165357</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165368</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165399</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165413</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165423</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165436</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165457</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165468</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165499</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165513</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165523</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165536</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165557</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165568</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165599</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165613</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165723</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165836</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.165957</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.166068</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.166299</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.166323</incidenceValue>
```

(a)2023年3月3日

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
<incidenceAngle>
  <numberofIncidenceValue>26669
/numberofIncidenceValue>
  <stepSize>1</stepSize>
  <incidenceValue>36.112430</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.112894</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.113359</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.113825</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.114287</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.114753</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.115217</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.115682</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.116146</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.116612</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.117076</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.117540</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.118006</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.118469</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.118934</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.119398</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.119863</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.120327</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.120793</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.121256</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.121722</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.122185</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.122650</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.123115</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.123579</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.124043</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.124505</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.124971</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.125435</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.125900</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.126366</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.126828</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.127293</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.127757</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.128221</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.128685</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.129151</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.129614</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.130078</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.130543</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.131005</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.131471</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.131936</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.132399</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.132863</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.133328</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.133792</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.134256</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.134720</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.135184</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.135649</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.136111</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.136576</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.137039</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.137504</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.137969</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.138432</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.138896</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.139360</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.139823</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.140288</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.140752</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.141216</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.141678</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.142144</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.142608</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.143070</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.143536</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.143998</incidenceValue>
  <incidenceValue>36.144462</incidenceValue>
```

(b)2023 年 4 月 14 日 图 25 ALOS 卫星贵州六盘水影像入射角文件

解缠相位产品如图 26、图 27 和图 28 所示

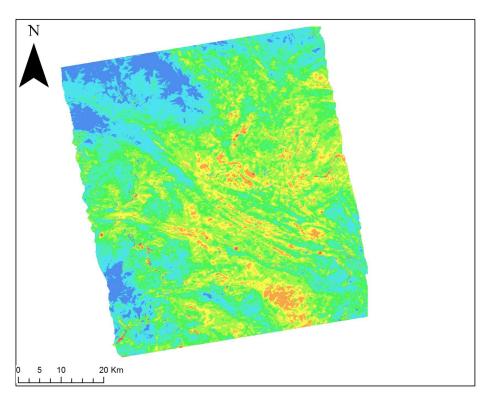


图 26 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后解缠差分相位文件

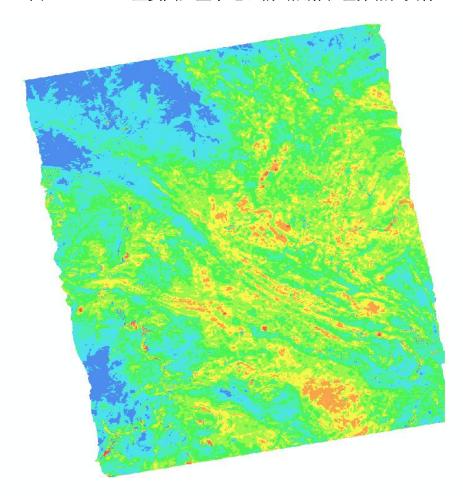


图 27 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后解缠差分相位浏览图文件

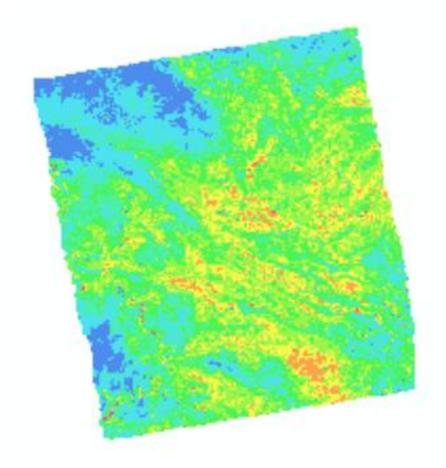


图 28 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后解缠差分相位缩略图文件 生成的 LOS 向形变产品如图 29、图 30 和图 31 所示

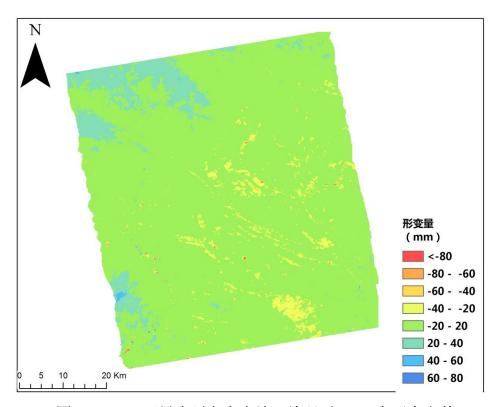


图 29 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后 LOS 向形变文件



图 30 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后 LOS 向形变浏览图文件

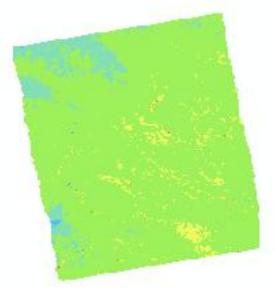


图 31 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后 LOS 向形变缩略图文件 将 LOS 形变产品转换成垂直向形变产品,其结果如图 32、图 33 和图 34 所示。

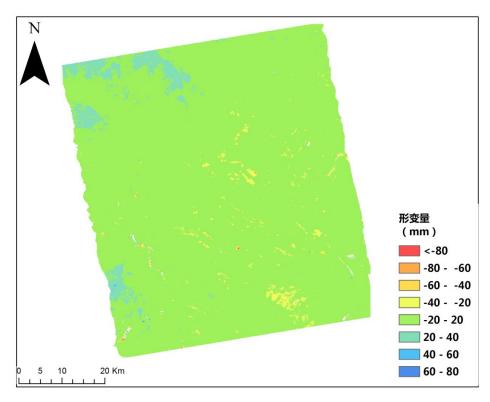


图 32 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后垂直向形变文件



图 33 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后垂直向形变浏览图文件



图 34 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后垂直向形变缩略图文件 如图 35 所示为地理编码后的相干系数图。

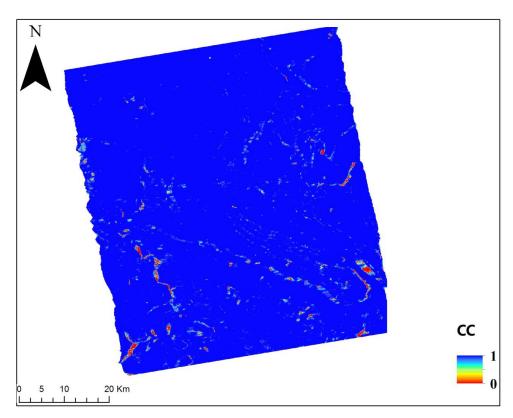
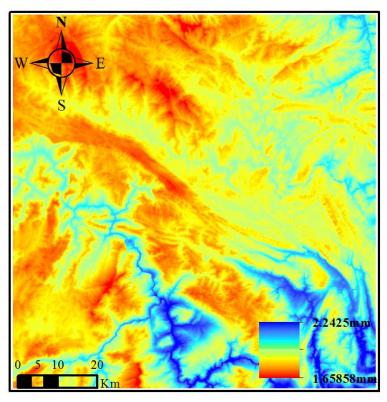
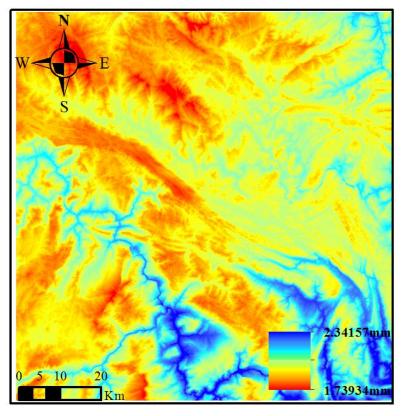


图 35 ALOS 卫星贵州六盘水地理编码后相干系数图

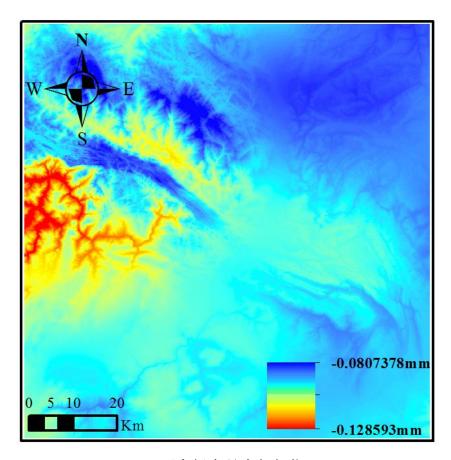
可选文件包括大气相位、固体潮相位文件、海潮负荷相位文件。 大气相位结果如图 36 (a)、(b) 和 (c) 所示。



(a)2019年3月3日大气相位

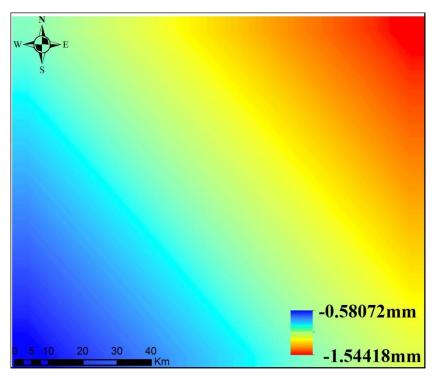


(b)2019 年 4 月 14 日大气相位

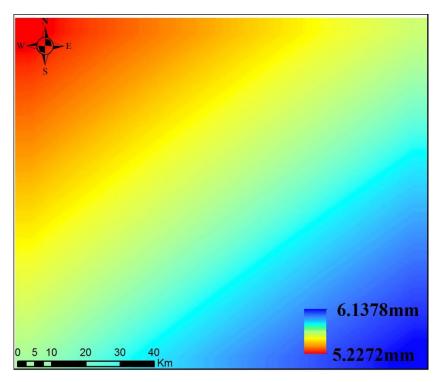


(c)形变场产品大气相位 图 36 ALOS 卫星贵州六盘水大气相位

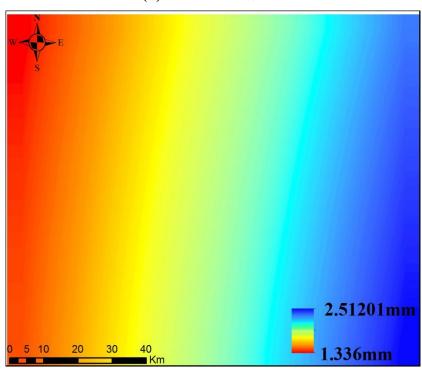
如图 37 (a)、(b) 和 (c) 所示,分别为固体潮 N、E 和 U 方向结果。



(a)N 方向固体潮相位

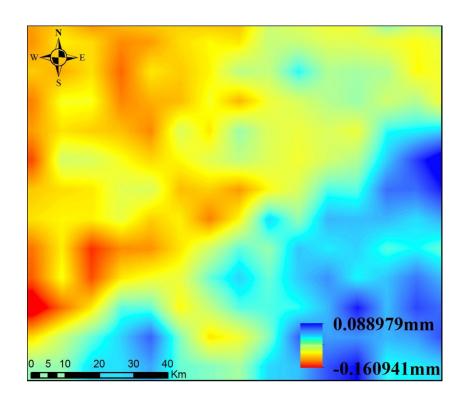


(b)E 方向固体潮相位

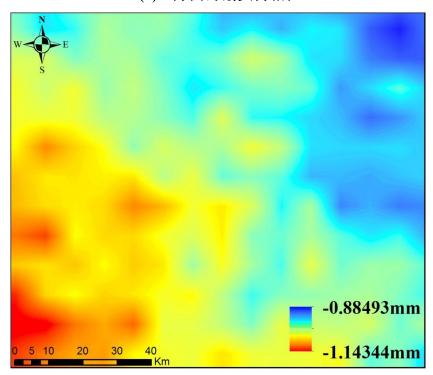


(c)U 方向固体潮相位 图 37 ALOS 卫星贵州六盘水固体潮相位

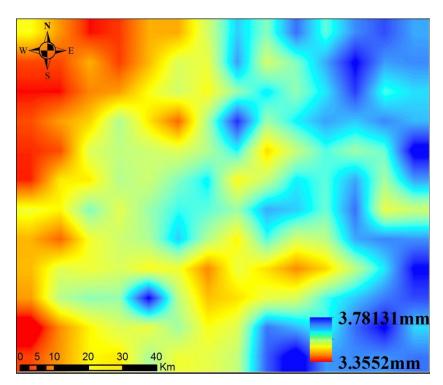
如图 38 (a)、(b) 和 (c) 所示, 分别为 N、E 和 U 方向海潮负荷相位结果。



(a)N 方向海潮负荷相位



(b)E 方向海潮负荷相位



(c)U 方向海潮负荷相位 图 38 ALOS 卫星贵州六盘水海潮负荷相位结果

贵州六盘水地区形变场产品平均相干性为 0.89,由于该地区缺失水准数据与 GNSS 数据,因此,参照表 4 按照平均相干性进行等级划分,该形变场产品属于一级产品。

4. 采用国际标准和国外先进标准的程度,以及与国际、国外同类标准水平的对 比情况

经国家标准、行业标准共享服务平台检索,尚未有相关国家标准、行业标准、国际标准、他国国家标准记录情况,因此本文件填补了相关标准的空白。

5. 与现行法规、标准的关系

本文件依据《中华人民共和国测绘法》、《中华人民共和国标准化法》修订, 符合我国现行法律、法规有关规定。

本文件发布后将成为推荐性形变产品行业标准,可以为用户提供星载

DInSAR 技术形变场产品的应用指导和成果集成规范,为形变监测任务提供数据和成果汇交的管理办法;同时,在形变场产品的应用中,本文件给出了从产品构成、产品内容、产品要求和产品质量等一系列指标和要求,保障了过程中重要信息的完整记录,为充分有效的发挥形变场产品的应用效率提供了重要保障。

本文件预期达到国内先进水平。本文件的编制,着力于解决星载 DInSAR 技术形变场产品的统一与规范化问题,同时实现了重点形变区域形变信息的获 取和更新,具有经济、高效的优势,为在城市沉降、矿山形变、地震形变、基 础设施、冰川冻土、和滑坡灾害等领域的应用提供保障。

6. 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7. 废止现行有关标准的建议

无。

8. 实施标准的要求和措施建议

本文件颁布实施后,编制组将根据全国地理信息标准化技术委员会及其卫星应用分技术委员会的安排,积极做好标准的宣贯培训等工作。为发挥本文件作为星载合成孔径雷达差分干涉技术形变场产品标准作用,建议今后有关国家标准、行业标准制修订时,认真做好与本文件之间的协调。

9. 其他应予说明的事项

无。

10. 参考文献

[1] GB/T 17798 地理空间数据交换格式

- [2] GB/T 18316 数字测绘成果质量检查与验收
- [3] GB/T 35642-2017 1:25 000 1:50 000光学遥感测绘卫星影像产品
- [4] GB/T 35653.1-2017 地理信息 影像与格网数据的内容模型及编码规则 第1部分:内容模型
- [5] <u>CH/T 3011—2012 1:50000地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定</u>
- [6] CH/T 6006-2018 时间序列InSAR地表形变监测数据处理规范
- [7] CH/T 9009.3—2010 基础地理信息数字成果1:5000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、
- [8] 1:100 000数字正射影像图
- [9] T/CAGHP 013-2018 地质灾害InSAR监测技术指南
- [10] GB 35650-2017 国家基本比例尺地图测绘基本技术规定
- [11] Gabriel A K, Goldstein R M, Zebker H A. Mapping Small Elevation Changes over Large Areas: Differential Radar Interferometry[J]. Journal of Geophysical Research, 1989, 94(B5): 9183-9191.
- [12] Massonnet D, Rossi M, Carmona C, et al.1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interfereometry. Nature, 364: 138-142.
- [13] Raucoules D, Maisons C, Camec C, et al. Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine(France)-Comparison with ground-based measurement[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 88(4):468-478.
- [14] Dong Y, Ge L, Chang H, et al. Mine subsidence monitoring by differential InSAR[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007. (3):259-266.
- [15] Pambudi Ridwan, Haripa Rijali. DInSAR based land deformation detection in the karst landscape of Gunung Sewu. E3S Web of Conferences. 2020. 202. 1-8.
- [16] Krisztina Kelevitz, Kristy F. Tiampo, et al. Improved Real-Time Natural Hazard Monitoring Using Automated DInSAR Time Series[J]. remote sensing. 2021, 13, 687.
- [17] 程滔,单新建,董文彤,李建华.利用InSAR技术研究黄土地区滑坡分布[J].水文地质工程地质,2008(01):98-101.
- [18] 王桂杰,谢谟文,邱骋,江崎哲郎.D-INSAR技术在大范围滑坡监测中的应用[J]. 岩土力学,2010,31(04):1337-1344.
- [19] 刘国林, 郝华东, 陶秋香. 卡尔曼滤波相位解缠及其与其他方法的对比分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 35(10):1174-1178. DOI:10. 13203/j. whugis2010. 10. 024.
- [20] 黄洁慧, 谢谟文, 马睿, 何兴东, 李鹏飞. 雷达干涉测量中人工角反射器设计及在影像图中的识别 [J]. 测绘科学技术学报, 2011, 28(04): 270-273-282.
- [21] 胡俊, 李志伟, 朱建军, 丁晓利, 汪长城, 冯光财, 孙倩. 基于BFGS法融合InSAR和GPS技术监测地表三维形变[J]. 地球物理学报, 2013, 56(01):117-126.
- [22] Xu Yaozong, Li Tao, Tang Xinming, Zhang Xiang, et al. Research on the Applicability of DInSAR, Stacking-InSAR and SBAS-InSAR for Mining Region Subsidence Detection in the Datong Coalfield[J]. Remote Sensing. 2022.14. 3314.