

ICS 07.040
CCS A 77
备案号: XXXX-XXXX

CH

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

对地观测卫星激光测高数据产品

Laser altimetry data products of earth observation satellite

(报批稿)

20XX- XX-XX 发布

20XX- XX-XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 3

5 产品分级 3

6 产品构成 4

7 技术要求 6

 7.1 空间参考与时间系统 6

 7.2 产品精度 6

 7.3 技术流程 8

 7.4 产品规格与命名 8

8 产品检验 9

9 产品包装 10

附录 A（规范性）产品命名规则..... 11

 A.1 文件名命名规则 11

 A.2 文件名基本部分和可变部分 11

 A.3 文件名补充部分 12

 A.4 线性体制标准测高产品字段说明 12

 A.5 光子体制标准测高产品字段说明 15

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测绘分技术委员会（SAC/TC 230/SC2）归口。

本文件起草单位：自然资源部国土卫星遥感应用中心、自然资源部测绘标准化研究所、国家林业与草原局调查规划设计院、住房和城乡建设部遥感应用中心、中科院空天信息创新研究院、上海技术物理研究所、中国水利水电科学研究院。

本文件主要起草人：唐新明、李国元、高显连、陈继溢、周晓青、张静、张宁、高小明、王霞、郭金权、薛玉彩、么嘉棋、刘诏、冯铁惠、王成、尹彤、黄庚华、刘迎春、黄诗峰。

引 言

卫星激光测高是采用装载于卫星平台的激光测高仪对地形地物进行高程测量的主动遥感技术。对地卫星激光测高能够快速获取全球高精度高程控制点甚至三维地形，同时在极地冰盖测量、植被高度及生物量估算、云高测量、海面高度测量以及湖泊水库水位测量等方面都可以发挥重要作用。最近几年，我国对地观测卫星激光测高技术得到了快速发展，资源三号 02 星搭载的国内首个对地观测激光测高仪取得试验成功并有效获取了激光测高数据，资源三号 03 星、高分七号相继发射并已实现激光测高产品业务化生产，陆地生态系统碳监测卫星也已发射即将投入使用，更先进的陆海激光高程测量卫星也在规划中。

标准化的产品体系是国产卫星激光测高数据产品走向工程化应用的基础。国外先后建立了 ICESat/GLAS、ICESat-2/ATLAS、GEDI 等为代表的卫星激光测高产品体系，为了满足不同领域的应用需求，针对国产卫星激光测高的特点，特制定对地观测卫星激光测高数据产品标准。本文件与《对地观测卫星激光测高几何检校技术规范》、《对地观测卫星激光测高数据处理技术规范》和《对地观测卫星激光测高数据质量评价指标及方法》配套使用。

对地观测卫星激光测高数据产品

1 范围

本文件规定了对地观测卫星激光测高数据产品的分级、构成、要求、检验、包装等内容。
本文件适用于对地观测卫星激光测高数据产品的生产和分发。

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 24356 数字测绘成果质量检查与验收

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光测高仪 laser altimeter

安装在飞行器（飞机、卫星等）上利用激光脉冲的往返时间来获得飞行器高度的仪器。

3.2

卫星激光测高 satellite laser altimetry

采用卫星平台的激光测高仪对地形地物进行高程测量的主动遥感技术。

3.3

激光光斑影像 laser profile image

激光测高仪发射激光脉冲时获取的垂直于传播方向的激光能量分布图。

3.4

激光光斑质心 laser profile centroid

激光光斑影像上对应的激光能量分布的质心位置。

3.5

激光足印 laser footprint

激光测高仪发射的激光脉冲到达被探测目标后最大功率的 $1/e^2$ 所包含的区域，其中 e 为自然对数。

3.6

激光足印中心点 laser footprint center point

在激光脉冲到达探测目标时，按光线传输原理激光光斑质心在目标区的对应点。

3.7

激光足印影像 laser footprint image

由光学相机对激光足印及足印周围一定范围的地物进行同步成像，获取的地物影像。

3.8

采样间隔 sampling interval

对波形能量周期性采样时两次采样之间的时间间隔。

3.9

死时间 dead interval

探测到有效光子计数后的一段时间内不再对新的信号进行响应，恢复到正常接收状态所需要的时间间隔。

3.10

线性体制激光测高 linear laser altimetry

采用波形阈值探测或全波形采样记录的激光测高技术。

3.11

光子体制激光测高 photon counting laser altimetry

采用单光子或少光子高灵敏度探测的激光测高技术。

3.12

光子点云 photon point cloud

由光子体制激光测高技术获取的用于表达目标空间分布和目标表面特性的三维空间点的集合。

3.13

激光测高严密几何模型 laser altimetry rigorous geometric model

描述激光足印中心的精确三维地理坐标与激光发射位置、激光指向、激光测距值以及大气、潮汐影响等之间的数学关系。

3.14

激光测高地球物理改正 laser altimetry geophysical corrections

对激光测高有影响的，与地球物理相关的各类潮汐以及大气等各项误差改正。

3.15

大气改正 atmosphere correction

修正激光信号在穿过大气时因传播速度变化和传播路径弯曲引起激光传输延迟误差的过程。

3.16

潮汐改正 tide correction

修正因地球潮汐包括固体潮、海潮、极潮、负荷潮等引起的激光测高误差，将测量高程归算到零潮面的过程。

3.17

线性体制激光测高标准产品 standard product of linear laser altimetry

通过线性体制激光测高技术获取并对大气和潮汐等影响进行改正，形成的具有三维地理坐标、波形特征参数、质量控制标签等信息的激光测高产品。

3.18

光子体制激光测高标准产品 standard product of photon-counting laser altimetry

通过光子体制激光测高技术获取并对大气和潮汐等影响进行改正，对信号光子和背景噪声进行分离，形成的具有三维地理坐标、质量控制标签等信息的光子点云激光测高产品。

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)

CST: 中国国家标准时间/北京时间 (Chinese Standard Time)

HDF: 一种可以存储不同类型图像和数码数据的文件格式 (Hierarchical Data Format)

RPC: 有理多项式系数 (Rational Polynomial Coefficient)

SLA: 卫星激光测高 (Satellite Laser Altimetry)

UTC: 协调世界时 (Universal Time Coordinated)

XML: 可扩展标记语言 (Extensible Markup Language)

5 产品分级

根据数据处理级别、地理定位精度以及覆盖范围，对地观测卫星激光测高数据产品分为0级原始数据、1级能量校正产品、2级测高产品、3级专题要素高程测量产品、4级高程变化监测与反演产品共5个级别。对地观测卫星激光测高数据产品分级描述见表1。

表1 对地观测卫星激光测高数据产品分级描述

产品级别	级别名称	级别描述
0	原始数据	卫星下传的与激光测高相关的各类原始数据
1	能量校正产品	对激光波形/光子数据进行能量校正、对足印影像进行辐射校正的产品
2A	初级测高产品	利用星上实时姿态、轨道数据进行概略几何定位处理形成的高程测量产品
2B	标准测高产品	基于激光测高严密几何模型，利用事后处理的精密姿态、轨道数据、几何定标参数，进行大气改正、潮汐改正等激光测高地球物理改正后的高程测量产品。按线性体制激光测高和光子体制激光测高可分为线性体制激光测高标准产品和光子体制激光测高标准产品
3A	足印级专题要素高程测量产品	针对高程控制点、植被、陆地冰、海冰、湖泊、海浪、云等特定要素，提取的以激光点为单元的高程测量产品
3B	格网级专题要素高程测量产品	针对陆地地形、植被、陆地冰、海冰等特定要素，采用内插、综合等方法形成的以格网为单元的高程测量产品
4A	高程变化监测产品	基于多时相观测提取的陆地地形、植被高度、陆地冰高程、海冰厚度以及湖泊水位等高程变化产品
4B	反演产品	基于特定的模型和算法，利用激光测高数据对大气光学厚度、海洋风速以及植被生物量等进行反演的产品

6 产品构成

对地观测卫星激光测高数据产品的构成见表2。

表 2 各级对地观测卫星激光测高数据产品构成

产品级别	产品编号 ^a	产品名称	产品构成/产品描述
0	L0_SLA00	原始数据产品	卫星下传的与激光测高相关的各类原始数据，包括姿态数据、轨道数据、测距数据、波形/光子数据、足印影像数据及相关辅助数据
1	L1_SLA01	能量校正产品	激光光轴监视相机、温度、增益、电压等数据文件，经波形能量校正后的发射和接收波形，进行辐射校正处理后的激光足印影像
2A	L2A_SLA02	初级测高产品	基于卫星实时轨道和姿态数据，计算的概略三维地理坐标，高程对应于未经激光测高地球物理改正的大地高
2B	L2B_SLA03	标准测高产品	基于激光测高严密几何模型，采用事后处理的精密卫星轨道和姿态数据，进行大气、潮汐等激光测高地球物理改正后的高程测量产品。线性体制激光测高标准产品一般包括激光足印中心点三维坐标、激光足印影像、波形特征参数以及质量标签；光子体制激光测高标准产品一般包括光子点云三维坐标以及光子信号质量标签

表 2（续）

产品级别	产品编号 ^a	产品名称	产品构成/产品描述
3A	L3A_SLA04	云高测量产品	云高专题测量成果，一般包括云层高度、厚度、空间分布等
	L3A_SLA05	广义激光高程控制点产品	对标准测高产品进行筛选提取，包括激光足印中心点三维坐标和激光足印影像，能用作广义控制点使用的产品
	L3A_SLA06	足印级陆地高程产品	经分类、滤波获得的地面高程产品，包括陆地地表高程以及时间信息等
	L3A_SLA07	足印级陆地冰高程产品	南北极、格陵兰岛以及青藏高原等区域的陆地冰高程测量产品，包括冰盖表面高程以及时间信息等
	L3A_SLA08	足印级海冰厚度产品	北极或沿海地区海冰厚度测量产品，包括海冰厚度以及时间信息等
	L3A_SLA09	湖库水位产品	内陆湖泊、水库的水位测量产品，包括湖泊水库水位以及时间信息等
	L3A_SLA10	足印级水下地形产品	沿海浅水或内陆湖库水下地形测量产品，包括时间信息和水下高程等
	L3A_SLA11	足印级植被高度产品	植被高度及冠层结构信息产品，包括冠顶高程、林下高程以及郁闭度等信息
	L3A_SLA12	足印级海面高产品	海洋区域的瞬时海面高度产品，包括时间信息和海面高程等
3B	L3B_SLA13	格网级陆地高程产品	通过大量足印级陆地高程产品内插成的格网级产品，包括陆地区域的地表高程以及格网大小信息等
	L3B_SLA14	格网级陆地冰高程产品	通过大量足印级陆地冰高程产品内插成的格网级产品，包括冰盖区域的表面高程以及格网大小信息等
	L3B_SLA15	格网级海冰厚度产品	通过大量足印级海冰厚度产品内插成的格网级产品，包括海冰区域的厚度以及格网大小信息等
	L3B_SLA16	格网级水下地形产品	通过大量足印级水下地形测量产品内插成的格网级产品，包括水下区域的高程以及格网大小信息等
	L3B_SLA17	格网级植被高度产品	通过大量足印级植被高度产品内插成的格网级产品，包括植被区域的植被高程以及格网大小信息等
4A	L4A_SLA18	陆地高程变化监测产品	具有时间序列的陆地高程变化监测产品，包括陆地区域的时间信息和地表高程变化等
	L4A_SLA19	陆地冰高程变化监测产品	具有时间序列的陆地冰高程变化监测产品，包括冰盖区域的时间信息和表面高程变化等
	L4A_SLA20	海冰厚度变化监测产品	具有时间序列的海冰厚度变化监测产品，包括海冰区域的时间信息和厚度变化等
	L4A_SLA21	湖库水位变化监测产品	具有时间序列的湖泊、水库水位变化监测产品，包括湖泊水库区域的时间信息和水位变化等

表 2（续）

产品级别	产品编号 ^a	产品名称	产品构成/产品描述
	L4A_SLA22	植被高度变化监测产品	具有时间序列的森林植被高度变化监测产品,包括植被区域的时间信息和高度变化等
4B	L4B_SLA23	大气参数反演产品	基于回波波形或光子点云反演出的大气参数产品,包括光学厚度、气溶胶参数等
	L4B_SLA24	植被生物量反演产品	采用回波波形或光子点云计算出的树高产品,结合生物量模型反演出植被生物量产品,包括生物量、反演精度,时间信息等
	L4B_SLA25	海洋风速反演产品	基于海浪高,采用相关的动力学物理模型反演的海洋风速产品,包括海面风速、反演精度、时间信息等;
^a 产品编号中“L”表示产品级别的符号,“0~4B”表示产品级别,“SLA 00~SLA 25”表示产品序列号。			

7 技术要求

7.1 空间参考与时间系统

7.1.1 空间参考

坐标系统采用CGCS2000,高程系统采用CGCS2000大地高。必要时,可采用经批准的其他坐标系。

7.1.2 时间系统

时间系统采用CST。

7.2 产品精度

7.2.1 总体说明

本文件主要规定2B级和2B级以上的产品精度,2B级以下的产品精度可低于本文件对产品精度的要求。

7.2.2 激光足印几何定位精度

7.2.2.1 平面精度

激光足印中心点平面精度应优于激光足印直径的1/3,例如高分七号卫星激光足印直径标称为20m,激光足印中心平面精度应优于6.7m。

7.2.2.2 高程精度

激光足印中心点高程精度与地形相关,平坦区域激光足印中心高程精度应优于4倍的线性体制激光测高采样间隔或1倍的光子体制激光测高死时间对应的距离值。线性体制和光子体制激光测高产品在平坦地区的高程精度分别按公式（1）和公式（2）计算。例如高分七号卫星激光采样间隔为0.5ns,则绝对平坦地区高程精度应优于0.3m;如果光子体制激光测高死时间为2ns,那么绝对平坦地区高程精度应优于0.3m。

$$\sigma_l = n_l \cdot \frac{c}{2 \cdot F_s} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_p = n_p \cdot \frac{c \cdot t_d}{2} \dots\dots\dots (2)$$

式中,

σ_l ——线性体制激光测高产品在平坦地区的高程精度, 单位为米 (m) ;

n_l ——线性体制激光测高产品高程精度倍数, 值为4;

c ——光速, 单位为米每秒 (m/s) ;

F_s ——线性体制激光测高仪回波采样间隔, 单位为赫兹 (Hz) ;

σ_p ——光子体制激光测高产品在平坦地区的高程精度, 单位为米 (m) ;

n_p ——线性体制激光测高产品高程精度倍数, 值为1;

t_d ——光子体制激光测高仪死时间, 单位为秒 (s) ;

其他类地形的高程精度按公式 (3) 计算。

$$h = a + b \tan(S) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

a ——平坦地区高程精度, 线性体制取 σ_l , 光子体制取 σ_p , 单位为米 (m) ;

b ——平面精度, 单位为米 (m) ;

S ——地形坡度, 单位为弧度 (rad) 。

7.2.3 波形处理精度

7.2.3.1 波形分解精度

波峰分解正确率应不小于80%, 波峰定位误差精度应优于0.5倍波形采样间隔。

7.2.3.2 波形特征参数提取精度

波形特征提取正确率应不小于95%。

7.2.4 激光足印影像几何定位精度

激光足印影像几何定位精度应优于2倍的地面采样间隔。例如高分七号卫星激光足印影像地面采样间隔为3.2m, 则平面定位精度应优于6.4m。

7.2.5 光子点云处理精度

7.2.5.1 光子点云分类精度

光子点云数据的分类精度应不小于85%。

7.2.5.2 光子点云去噪精度

光子点云去噪准确率应不小于90%, 信号光子保留率应不小于95%, 整个数据无明显的背景噪声或能有效识别并标记背景噪声。

7.2.5.3 光子点云滤波精度

对滤波分类后光子点云进行有效标记，信号光子的分类精度应不小于85%。

7.3 技术流程

对地观测激光测高数据产品生产总体流程见图1。

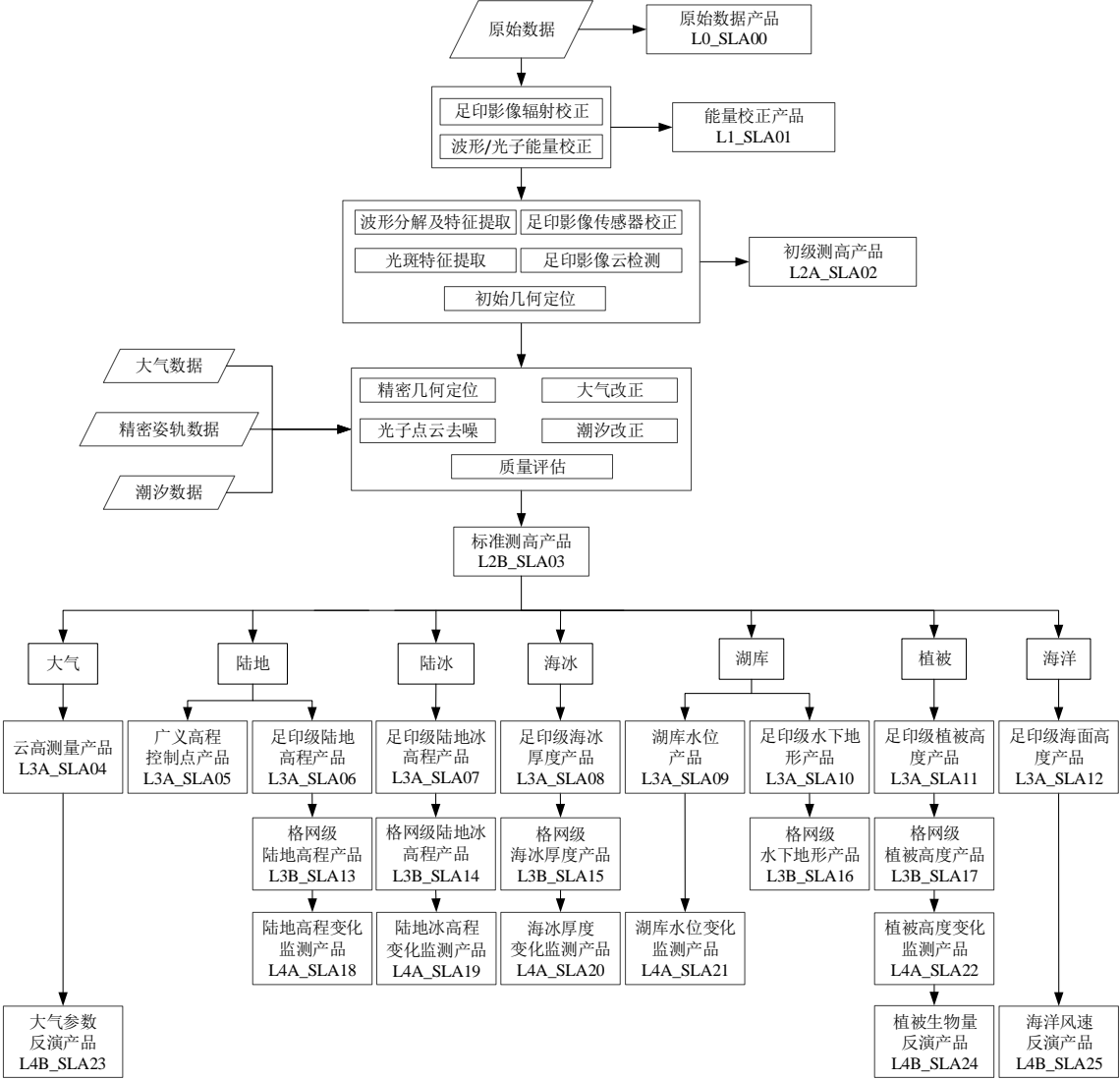


图1 对地观测卫星激光测高数据产品生产总体流程

7.4 产品规格与命名

7.4.1 产品规格

对地观测卫星激光测高数据产品主要有数据体文件、元数据文件、空间分布文件、激光点三维坐标文件。

- a) 数据体文件为产品主体，存储激光测高产品所有数据；
- b) 元数据文件为辅助文件，存储激光测高标准产品的时间、位置等相关信息；
- c) 空间分布文件以矢量格式存储该文件所包含的所有激光点；

d) 激光点三维坐标文件为文本文件，提供各个激光点的索引、经度、纬度、高程等信息。

对地观测卫星激光测高数据产品规格见表3。对地观测卫星激光测高数据产品按纬度分段模式进行存储，面向高分七号、资源三号03星等立体测图卫星同步提供与同平台光学影像标准景范围一致的激光分景产品。

表 3 对地观测卫星激光测高数据产品规格

激光测高产品		文件格式
数据体文件	HDF5 文件	*.h5
元数据文件	XML 文件	*.xml
空间分布文件	shp 文件	*.shp *.dbf *.prj *.shx
激光点三维坐标文件	文本文件	*.sla

7.4.2 文件名命名

对地观测卫星激光测高数据产品文件名命名由基本部分、可变部分和补充部分组成，其中基础部分为主体文件信息，可变部分为文件类型及后缀，补充部分为相关附属文件信息，产品命名规则应符合附录A的规定。

8 产品检验

对地观测卫星激光测高数据产品质量检验要求应符合GB/T 24356的相关规定。产品质量检验项目见表4，检查子项目可根据具体情况进行扩充。

表 4 检验项目表

检查类别	检查项目	检查子项目	检查内容
空间参考系与时间系统	空间参考	大地基准	检查坐标系统是否符合要求
		高程基准	检查高程基准是否符合要求
	时间系统		检查时间系统是否符合要求
位置精度	平面精度	平面位置中误差	检查平面位置中误差
	高程精度	高程中误差	检查高程中误差
逻辑一致性	格式一致性	数据归档	检查数据文件存储组织是否符合要求
		数据格式	检查数据文件格式是否符合要求
		数据文件	检查数据文件是否缺失、多余、数据无法读出
		文件命名	检查数据文件名称是否符合要求
时间精度	现势性	原始资料	检查原始资料的现势性
		成果数据	检查成果数据的现势性
波形质量	波形的信噪比较好，背景噪声平稳单一，信号特征明显		

表 4 （续）

检查类别	检查项目	检查子项目	检查内容
光子点云质量	光子点云中背景噪声得到了有效滤除，保留的点云能表达地形和地物垂直结构特征		
足印影像质量	足印影像处理应符合已有光学遥感测绘卫星影像产品相关标准		
附件质量	附属文档	项错漏	检查除数据文件外其他文件的数据项错漏个数。
		内容错漏	检查除数据文件外其他文件的数据项内容错漏个数

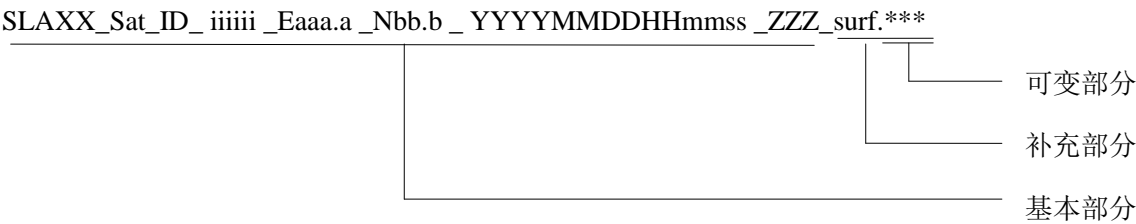
9 产品包装

对地观测卫星激光测高数据产品宜以光盘、磁带或磁盘等为主要存储介质，外包装上应包括产品标记、密级标识、生产单位、分发单位、产品说明等内容。

附录 A
(规范性)
产品命名规则

A.1 文件名命名规则

对地观测卫星激光测高数据产品文件名由基本部分、可变部分和补充部分组成，命名规则表示方法和说明如下：



文件命名字符串中采用下划线“_”分割成多个子字符串，各段子字符串表示不同文件属性信息。

A.2 文件名基本部分和可变部分

文件名基本部分为固定长度的英文字母、数字以及下划线符的组合，用于标识文件的主要及公共属性，包括产品类别、卫星标识、激光获取日期时间、轨道号标识、产品级别等，如表A.1所示。

表A.1 文件名基本部分和可见部分说明

子字符串	含 义	类型	长度	赋 值	赋值描述
SLAXX	激光测高产品标识	字符串	5 字符	SLA-激光测高载荷标识； XX--产品类别标识	值域为固定文本+数字标识，例如“SLA03”，表示激光测高标准产品
Sat	卫星系列标识	字符串	3 字符	卫星系列简称	值域为自由文本，例如：“ZY3”表示资源三号卫星系列；“GF7”表示高分七号卫星系列
ID	具体某颗卫星在该卫星系列中的标识	字符串	2 字符	在卫星系列中的编号	值域为自由文本，例如：例如高分七号系列 01 星，可以表述为“01”
iiii	激光测高数据下传时卫星运行的轨道圈号标识	数字	6 字符	卫星运营商定义的轨道编号	编号不足 6 位的，在左边以“0”补足
Eaaa.a	数据范围中心经度	字符串	6 字符	东经为 E，西经为 W，保留一位小数	整数位不足三位时补零
Nbb.b	数据范围中心纬度	字符串	6 字符	北纬为 N，南纬为 S，保留一位小数	整数位不足两位时补零
YYYYMMDD	激光数据获取的日期	数字	8 字符	年月日的标识	1~4 位表示年；5~6 位表示月；7~8 位表示日。
HHmmss	激光数据获取的时间	数字	6 字符	时分秒的标识	1~2 位表示时；3~4 位表示分；5~6 位表示秒。
ZZZ	激光测高数据接收站	字符串	3 字符	激光测高数据下传的接收站	MYC（密云站）、SYC（三亚站）、KRN（北极站）、KSC（喀什站）、

子字符串	含 义	类型	长度	赋 值	赋值描述
					MDJ（牡丹江站）

A.3 文件名补充部分

文件名补充部分为不固定长度字符串及数字，包括不固定长度的补充扩展信息以及文件后缀名。补充扩展信息根据文件类型的不同包含不同的信息内容，标识文件的特定属性，文件后缀名表示文件的类型信息，如表A.2所示。

表A.2 文件名补充扩展信息及后缀名说明

子字符串	含 义	类型	长度	赋 值	描 述
surf.***	激光测高文件	字符串	3 字节	.h5	存储激光足印点的几何及属性信息数据文件。
	元数据文件	字符串	4 字节	.xml	激光产品的元数据文件。
	Shape 文件	字符串	4 字节	.shp	激光足印点对应的 shp 文件。
	足印影像文件及辅助文件	字符串	4 字节	_LFI**.tif _LFI**_rpc.txt	GeoTIFF 1.0 格式的足印影像文件（可选）。 足印影像对应的 RPC 参数文件（可选）。
	激光点三维坐标文件	字符串	4 字节	.sla	包含激光点的点号、经纬度、高程等基本信息的三维坐标文件
	许可文件	字符串	14 字节	_copyright.txt	表示许可文件。
	自叙文件	字符串	11 字节	_readme.txt	表示自叙文件。

A.4 线性体制激光测高标准产品字段说明

线性体制激光测高标准产品具体字段定义见表A.3，内容包括各段（子字符串）的长度、描述内容、取值和取值含义说明。

表 A.3 线性体制激光测高标准产品具体字段说明

类别	标识	参数名称	数据类型	大 小	单 位	最小值	最大值	说明
综合字段 BasicInfor mation	m_RecIndx	索引值	无符号整型	4 字节	—	0	1.0×2^{32}	每个激光点有一个唯一的标识符
	m_UTC	激光点发射时刻 UTC 时间	双浮点型	8 字节	s	0	1.7×10^{308}	特定 CST 时刻开始的累计秒；激光点发射的时刻
	m_Sensor	激光载荷标识	字符串	2 字节	—	—	—	对激光器载荷进行标识，例如 01、02
综合字段 BasicInfor mation	m_Sensor	激光载荷标识	字符串	2 字节	—	—	—	对激光器载荷进行标识，例如 01、02
	m_Lon	足印中心点经度	双浮点型	8 字节	(°)	0	360.0	CGCS2000 椭球，(0,-180)代表西半球。
	m_Lat	足印中心点纬度	双浮点型	8 字节	(°)	-90.0	90.0	CGCS2000 椭球
	m_H	足印内地面高程	浮点型	4 字节	m	-1000.0	9000.0	CGCS2000 大地高，取回波波数倒数第一个

表 A.3 (续)

类别	标识	参数名称	数据类型	大 小	单 位	最小值	最大值	说明
								波峰对应的高程
足印相机 相关字段 Footprint Camera	m_LFI_Img	足印影像	影像数据	$M \times N$ $\times 2$ 字节	像素	0	16383	按行列顺序在 HDF5 文件中存储影像数据, 也可导出为 Tiff 影像, 量化位数为 14bit
	m_LFI_Centroid	足印中心 点在影像 上的位置	浮点型	2×4 字节	像素	0	550	[Row, Col] 代表激光足印中心在影像上的行列号位置, 影像的左上角为[0, 0], 第一个像素坐标为[0.5, 0.5]
	m_LFI_ImgRpc	影像 Rpc 参数	双浮点型	90×8 字节	—	—	—	按标准的 90 个字段的 RPC 参数存储在 HDF5 文件中, 也可导出为 _rpc.txt 文件
	m_LFI_Cloud	足印影像 云覆盖率	浮点型	4 字节	%	0	100	激光足印影像上云覆盖像素所占比例
	m_LFI_quality	激光足印 影像质量 控制标识	短整型	2 字节	—	0	3	0 代表足印影像内无云雾, 质量非常好; 1 代表足印内影像有少量云雾, 数据可用, 不太影响最终质量; 2 代表足印影像内有云雾, 数据基本可用, 但存在一定不确定性; 3 代表足印影像完全不可用
	m_LPA_Eccentricity	发射脉冲 偏心率	浮点型	4 字节	—	0	1	激光发射光斑影像中提取的发射脉冲偏心率
	m_LPA_Intensity	总强度	短整型	2 字节	—	0	10000	在光斑大小为 $1/e^2$ 的准则下, 所有像元强度值之和。其中, e 为自然对数
	m_LPA_Major_axis	发射脉冲 主轴长	浮点型	4 字节	m	0	100	激光光斑影像中提取的发射脉冲主轴长
	m_LPA_Azimuth	地理方位 角	浮点型	4 字节	($^{\circ}$)	0	360	从激光光斑长轴与地理北方向之间的夹角。
	m_LPA_Quality	激光光斑 质心质量 控制标识	短整型	2 字节	—	0	3	0 或 1, 代表激光光斑质心位置稳定、质量良好, 非常可靠; 2 代表激光光斑质心位置变化较明显, 基本可用, 但存在一定风险; 3 代表激光光斑质心位置变化剧烈, 质量不可控
	m_Wf	回波波形	浮点型	$N \times 4$ 字	mV	-10000	10000	经波形能量校正后的

表 A.3 (续)

类别	标识	参数名称	数据类型	大 小	单 位	最小值	最大值	说明
波形相关 字段 Waveform Feature		数据		节				回波波形数据
	m_Tf_Energy	发射脉冲 能量值	浮点型	4 字节	mj	0	200	发射脉冲能量值， 由遥测数据提供或发 射波形面积、增益值、 光电转化效率确定
	m_Wf_Energy	回波脉冲 能量值	浮点型	4 字节	飞焦	0	1000000	回波脉冲能量值，由回 波波形面积、增益值、 光电转化效率确定
	m_Wf_SNR	回波波形 信噪比	浮点型	4 字节	dB	0	1000	回波波形信噪比
	m_Wf_Centroid	回波波形 重心位置	浮点型	4 字节	ns	—	—	回波波形重心在回波 序列中的位置
	m_Wf_Length	回波波形 总长度	整型	4 字节	—	—	—	回波波形有效部分的 总长度
	m_Range	激光测距 值	双浮点型	8 字节	m	0	600000	大气改正后的激光测 距值，默认为地面平均 高对应的距离值
	m_Gauss_Num	回波波形 高斯分解 个数	短整型	2 字节	—	0	6	波形处理高斯分解后 的高斯函数个数
	m_Gauss_A	回波波形 高斯函数 幅值	浮点型	m_Gaus s_Num ×4 字 节	mV	0	10000	波形处理高斯分解后 的高斯函数幅值 A
	m_Gauss_Miu	回波波形 高斯分解 均值位置	浮点型	m_Gaus s_Num ×4 字 节	ns	0	80000	回波波形分解的高斯 函数的每个均值在回 波序列中的位置
	m_Gauss_Sigma	回波波形 高斯函数 标准差	浮点型	m_Gaus s_Num ×4 字 节	ns	0	100	波形处理高斯分解后 的高斯函数标准差 σ
	m_Wf_quality	回波波形 分解的质 量控制标 识	短整型	2 字节	—	0	3	0 或 1 代表波形分解结 果非常可靠，其中 0 代 表完全可信；2 代表波 形分解基本可用，但存 在一定风险；3 代表波 形分解存在问题
地形地物 相关字段 TerrainFea ture	m_Max_H	激光足印 内 最大高程	浮点型	4 字节	m	-1000.0	9000.0	CGCS2000 大地高，足 印内最高值
	m_Min_H	激光足印 内 最小高程	浮点型	4 字节	m	-1000.0	9000.0	CGCS2000 大地高，足 印内最低值
	m_Ave_H	激光足印 内 平均高程	浮点型	4 字节	m	-1000.0	9000.0	CGCS2000 大地高，取 波形能量面积一半对 应的高程
	m_Slope	地表坡度	浮点型	4 字节	(°)	0	30	基于回波波形及先验 信息反演的足印内的 地形坡度
	m_Roughness	地表粗糙 度	浮点型	4 字节	—	0	—	基于回波波形及先验 信息反演的足印内的

表 A.3 (续)

类别	标识	参数名称	数据类型	大 小	单 位	最小值	最大值	说明
								地形粗糙度
	m_Ref_UnCor	地表反射率	浮点型	4 字节	—	0	2	地表反射率，由回波脉冲能量与发射脉冲能量的比值确定，未考虑大气影响校正
	m_Terrain_Quality	地形特征参数质量控制标识	短整型	2 字节	—	0	3	0,1 代表地形特征参数结果可信，质量可控；2 代表地形特征参数结果基本可用，但存在一定风险；3 代表地形特征参数不可信，不推荐使用
大气参数 相关字段 Atmospheric	m_Cloud_Top	云顶参数	双浮点型	8 字节	m	0	2000	激光雷达信号第一次探测到的云顶位置海拔高度
	m_COD	云光学厚度	双浮点型	8 字节	m	0	—	云在单位面积上对激光脉冲的削弱能力
	m_AOD	气溶胶光学厚度	双浮点型	8 字节	m	0	—	气溶胶在单位面积上对激光脉冲的削弱能力。
	m_Trops[2]	大气延迟改正值	浮点型	2×4 字节	m	-2.5	2.5	大气折射延迟改正值，分别包括干项和湿项两部分
	m_erd	大气散射延迟距离估计	短整型	2 字节	mm	0	1000	对大气多次散射对测量距离影响进行校正，无效值为-9999
地球物理 参数相关 字段 Geophysical	m_Tides[4]	潮汐改正值	浮点型	4×4 字节	m	-10.0	10.0	潮汐改正值，分别包括：固体潮、海潮、极潮、载荷潮
	m_Geoid_H	高程异常改正值	浮点型	4 字节 *4	m	-100.0	100.0	CGCS2000 大地高与黄海 85 高程基准的高程异常改正值
其他 Other	m_Land_Cover	激光足印地物覆盖类型	短整型	2 字节	—	0	1	激光足印地物覆盖类型，可直接从 Global Land30 中获得：00-未知；10-耕地；20-森林；30-草地；40-灌木；50-湿地；60-水体；70-苔原；80-人造覆盖；90-裸地；100-冰川和永久积雪
	m_Land_Sea	陆海标记	短整型	2 字节	—	0	1	激光足印陆海标记，从 30 角秒格网的 Global DEM 中获得

A.5 光子体制激光测高标准产品字段说明

光子体制激光测高标准产品具体字段定义见表A.4，内容包括各段（子字符串）的长度、描述内容、取值和取值含义说明。

表 A.4 光子体制激光测高标准产品具体字段说明

标识	参数名称	数据类型	大 小	单位	最小值	最大值	说明
m_RecIndx	索引值	无符号整型	4 字节	—	0	1.0×2^{32}	每个光子有一个唯一的标识符
m_UTC	激光脉冲发射时刻 UTC 时间	双浮点型	8 字节	s	0	1.7×10^{308}	特定 CST 时刻开始的累计秒，激光脉冲发射的时刻
m_Sensor	激光载荷标识	字符串	2 字节	—	—	—	对激光器载荷进行标识，例如 01、02----1000，按激光光束数进行编号
m_Lon	光子经度	双浮点型	8 字节	(°)	0	360.0	CGCS2000 椭球，(0,-180) 代表西半球
m_Lat	光子纬度	双浮点型	8 字节	(°)	-90.0	90.0	CGCS2000 椭球
m_H	光子高程	浮点型	4 字节	m	-1000.0	9000.0	CGCS2000 大地高
m_signal_conf	光子信号置信度	无符号整型	4 字节	—	0	4	光子被识别为信号的置信度，0 为噪声、1 为缓冲区、2 为低置信度、3 为中等置信度、4 为高置信度
m_Geoid_H	高程异常改正值	浮点型	4 字节	m	-100.0	100.0	CGCS2000 大地高与黄海 85 高程基准的高程异常改正值
m_Trops[2]	大气折射延迟改正值	浮点型	2×4 字节	m	-2.5	2.5	大气折射延迟改正值，分别包括干项和湿项两部分
r_erd	大气散射延迟距离估计	浮点型	4 字节	m	-10.0	10.0	大气散射延迟改正值
m_Tides[4]	潮汐改正值	浮点型	4×4 字节	—	-10.0	10.0	潮汐改正值，分别包括：固体潮、海潮、极潮、载荷潮
m_bck_rate	背景噪声率	浮点型	4 字节	个/s	—	—	背景噪声率
m_egment_id	分段编号	无符号整型	4 字节	—	0	1.0×2^{32}	沿轨方向分段编号
m_egment_length	分段长度	双浮点型	8 字节	m	0	1.7×10^{308}	沿轨分段的长度
reference_ph_index	参考光子索引	整 型	4 字节	—	—	—	沿轨分段中参考光子索引
reference_ph_lat	参考光子纬度	双浮点型	8 字节	(°)	-90	90	每个参考光子纬度
reference_ph_lon	参考光子经度	双浮点型	8 字节	(°)	0	360	每个参考光子经度
reference_ph_UTC	参考光子发射时间	双浮点型	8 字节	s	0	1.7×10^{308}	每个参考光子发射时间

表 A. 4 (续)

标识	参数名称	数据类型	大 小	单位	最小值	最大值	说明
m_velocity[3]	卫星飞行速度	浮点型	4 字节	m/s	—	—	卫星飞行速度在三个方向上的分量：东、北、天
m_surf_type	沿轨分段地表类型	整 型	4 字节	-	1	5	每个分段对应一个参数，对应地表类型共有五个值，地表类型依次为 1 陆地、2 海洋、3 海冰、4 陆地冰以及 5 内陆水
m_Slope	分段内坡度	浮点型	4 字节	(°)	0	90	沿轨分段对应的地形坡度
m_sigma_lat	参考光子纬度 不确定度	双浮点型	8 字节	(°)	—	—	分段内参考光子的纬度不确定度(1 倍中误差)
m_sigma_lon	参考光子经度 不确定度	双浮点型	8 字节	(°)	—	—	分段内参考光子的经度不确定度(1 倍中误差)
m_sigma_along	参考光子沿轨 不确定度	双浮点型	8 字节	m	—	—	分段内参考光子的沿轨不确定度(1 倍中误差)
m_sigma_across	参考光子垂轨 不确定度	双浮点型	8 字节	m	—	—	分段内参考光子的垂轨不确定度(1 倍中误差)
m_sigma_H	参考光子高程 不确定度	浮点型	4 字节	m	—	—	分段内参考光子的高程不确定度(1 倍中误差)