

《对地观测卫星激光测高数据处理技术规范》

编制说明

行业标准项目名称： 对地观测卫星激光测高数据处理技术规范

行业标准项目编号： 201933003

送审行业标准名称： 对地观测卫星激光测高数据处理技术规范

（此栏送审时填写）

报批行业标准名称： 对地观测卫星激光测高数据处理技术规范

（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

编制时间： 二〇二二年六月

《对地观测卫星激光测高数据处理技术规范》 编制说明

一、 工作简况

1. 任务来源

2019 年 11 月 15 日，自然资源部下达了《自然资源部办公厅关于印发 2019 年度自然资源标准修订工作计划的通知》（自然资办发[2019]49 号），编写组结合对地观测卫星激光几何检校技术发展需要，撰写了《对地观测卫星激光测高数据处理技术规范》（报批稿）。本标准是自然资源部发布的 2019 年自然资源卫星应用行业标准计划项目之一，项目编号：201933003，标准计划名称《对地观测卫星激光测高数据处理技术规范》。本标准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。

2. 目的意义

对地观测卫星激光测高数据处理主要是利用激光测距信息进一步获取地物目标精确的三维坐标。然而，星载激光测高数据由于受姿态指向、轨道位置、大气延迟效应、潮汐、光行差等因素影响，处理流程复杂，处理流程尚没有形成统一的技术规范，处理精度难以保证。经卫星激光测高数据处理后得到的全球足印三维坐标是一种重要的地面参考数据，不仅可以为光斑应用提供精确地理位置，而且可以作为“高程控制”辅助光学影像提升无控测图精度。同时，还可以为其他行业提供数据支撑，例如海冰厚度监测、植被森林冠层高度提取，应用前景广阔。

测绘地理信息行业对对地观测卫星激光测高数据处理标准和相应的技

术流程规范提出了迫切的需求。星载激光对地观测技术作为天空地海一体化立体监测遥感技术中的重要一环，本标准开展有针对性的研究，对星载激光测高数据处理的工作内容、技术流程与技术要求进行规定。

在国家大力发展对地观测卫星激光测高技术的背景下，形成规范化的激光测高数据处理流程，有助于促进其技术进步，形成良好的行业应用，促进星载激光测高技术更好地服务国民经济建设，具有重要的意义。

3. 起草单位及主要起草人

1) 承担单位和协作单位

本标准由自然资源部国土卫星遥感应用中心作为主编单位，中国科学院空天信息创新研究院、中国地质大学（北京）、东北林业大学、中科院上海技术物理研究所、中国航天科技集团公司第五研究院 508 所、武汉大学、湖南科技大学、中国人民解放军战略支援部队信息工程大学作为参编单位共同完成。

2) 主要起草人及其所做工作

编制任务下达后，自然资源部国土卫星遥感应用中心、武汉大学、中国科学院空天信息创新研究院、中国地质大学（北京）、东北林业大学、中科院上海技术物理研究所、中国航天科技集团公司第五研究院第五〇八研究所、湖南科技大学、中国人民解放军战略支援部队信息工程大学。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激光数据处理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。

表 1 编制组人员分工

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用中心，	负责标准框架结构的设计，主要技术内容修订研究工作	

2	莫凡	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责规范技术路线确定、大纲框架规划、规范修改与审稿	
3	李国元	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责技术内容把关	
4	谢俊峰	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责标准框架结构的设计和內容修订研究工作	
5	陈继溢	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责激光数据预处理和足印数据处理等部分编写	
6	刘诏	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责激光波形数据处理等部分编写	
7	金涛勇	武汉大学	参与标准技术内容编制	
8	朱广彬	自然资源部国土卫星遥感应用中心	负责相关内容编写与协助统稿	
9	王成	中国科学院空天信息创新研究院	参与标准起草及资料的搜集	
10	康志忠	中国地质大学（北京）	参与标准起草及资料的搜集	
11	邢艳秋	东北林业大学	参与标准起草及资料的搜集	
12	黄庚华	中科院上海技术物理研究所	参与标准起草及资料的搜集	
13	李旭	中国航天科技集团公司第五研究院 508 所	负责部分内容的起草与审查	
14	周辉	武汉大学	负责部分内容的起草与审查	
15	周平	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准技术内容编制	
16	李少宁	湖南科技大学	负责部分内容的起草与审查	
17	范大昭	中国人民解放军战略支援部队信息工程大学	负责相关内容编写与协助统稿	
18	傅征博	自然资源部国土卫星遥感应用中心	参与标准技术内容编制	

4. 主要工作过程

1) 征求意见稿阶段

2020 年 1 月-2020 年 5 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，以及对地观测卫星激光测高数据处理的实际实施情况，编制组开始起草标准草案。

2020 年 6 月-2020 年 10 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对地观测卫星激光测高数据处理领域生产作业单位、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，完成了标准征求意见稿和编制说明。

2020 年 11 月- 2021 年 4 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。收到的回函单位数 28 个，回函并有建议或意见的单位数 15 个。共收到 111 条意见，其中采纳意见 96 条，部分采纳意见 4 条，未采纳意见 11 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。

2) 送审稿阶段

2021 年 6 月 16 日，由牵头单位组织召开了标准预审会，来自上海海事大学、中国科学院精密测量科学与技术创新研究院、自然资源部测绘标准化研究所、中国测绘科学研究院、河海大学、中国海洋大学、国家卫星海洋应用中心、中国自然资源航空物探遥感中心的专家参加预审会，专家对标准送审讨论稿和编制说明提出了针对性意见，意见主要集中在规范的适用范围、书写形式与内容逻辑性等方面。2021 年 11 月，全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会召开了标准内审会，编制组汇报了预审会专家的意见修改情况，制定了下一步的工作计划。由于疫情等原因，标准编写进度滞后，后续编写组将加快编写进度，尽快上会评审。2022 年 2 月，编制组根据预审会专家提出的意见，对标准及其编制说明进行了认真修改，形成标准送审稿。

3) 报批稿阶段

2022 年 3 月 8 日，受自然资源部委托，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组织召开了标准审查会，参加审查会的有中国测绘科学研究院、中国科学院测量与地球物理研究所、国家测绘产品质量检验测试中心、自然资源部测绘标准化研究所、陕西测绘地理信息局、黑龙江测绘地理信息局、四川测绘地理信息局、自然资源部重庆测绘院、武汉大学、同济大学的共 11 位专家。会议对标准送审材料进行了认真审查，给出了审查结论。

2022 年 6 月，编制组根据审查会意见，对标准送审稿进一步修改完善，形成标准报批稿。

二、 标准编制原则和确定标准主要内容的依据

1. 编制原则

(1) 全面性

对地观测卫星激光数据处理是借助卫星激光测高仪开展天空地海一体化立体监测中重要的一项技术，遵循测绘标准体系，确定本标准的定位、内容以及与其它标准的关系。标准编制过程中充分考虑到行业领域技术发展现状和实际工作需求，依托已有的技术优势和前期研究基础，不断总结经验，凝练测高数据处理技术中规范流程。旨在保证标准内容规范、对实际工作有指导作用，为形成统一而全面的行业技术规范，指导后续作业生产，提高生产效率，并为未来技术留有发展空间。

(2) 适用性

本标准与同期申报的《对地观测卫星激光几何检校技术规范》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。本标准是在上述对地观测卫

星激光几何检校技术标准基础上，对经检校后的卫星激光测高数据处理作业相关规范和约定的补充完善，对共同完善卫星激光测高仪对地观测系列标准体系起到积极作用。

（3）可操作性

对地观测卫星激光数据处理涉及较多新技术，实现的技术路线也差异较大，因此需要明确最基本、最普遍适用的技术指标和要求以进行规范和约定，使之既可控制整个对地观测卫星激光数据处理全过程的质量，又可以充分发挥不同技术、软件的特点。该技术规范明确清晰地介绍了各流程，对于技术人员而言具有较强的可操作性。

（4）先进性

作为指导和规范生产作业的技术标准，应具有先进性与可继承性。国内区域或旧的指标和要求有的必须调整以适应新技术的发展和境外作业的特点，有的必须保留和继承以保持测绘生产的延续性以及测绘成果的可靠性。

2. 确定标准主要内容的论据

GLAS 作为全球首个对地观测星载激光载荷，由于发射时间较早，国内外学者对其研究较多。美国得克萨斯州大学的 B. E. Schutz 针对 GLAS 数据开展了从测距到地面几何坐标解算的研究。Herring 等对 GLAS 激光大气延迟改正进行了介绍。Carabajal 等针对 SLA 激光测高数据几何坐标解算、高程精度验证进行了研究，总结比较全面，但由于 SLA 获得的激光足印光斑较大、硬件水平受限，处理结果并没有实现业务化应用。

国内王成团队针对 GLAS 测高数据处理开展了研究，并参考国外学者现有成果，给出了 GLAS 数据处理流程。唐新明等人根据卫星激光测高严密几

何模型，分析我国资源三号 02 星激光测高的各项误差来源，在激光指向角粗标定后对资源三号激光数据进行了处理。谢俊峰等人针对资源三号 02 星激光测高数据，开展了几何检校和测高数据处理工作，检校后处理精度优于 1 米。李国元等人对资源三号 02 星激光测高仪的精度进行了理论分析，对其在航天测绘中的应用进行了试验。在技术方法上，国内外学者在对地观测卫星激光测高数据处理开展了一些研究，对地观测卫星激光测高数据处理技术较为成熟。

但是在对地观测卫星激光测高数据处理规范方面，没有形成统一的数据处理标准和相应的技术流程规范。在具体的业务化生产中，不利于产品的分发和进一步深化应用，无法应对未来国产激光测高数据大规模业务化处理。各行业用户得到的激光产品精度存在不一致等情况，可能会严重滞后这些数据的应用与推广，影响我国激光遥感事业的发展。因此，迫切需要开展对地观测卫星激光测高数据处理规范研究，推动我国对地观测卫星激光测高发展。

三、 主要技术内容

1、标准的定位

在本标准编制过程中，《对地观测卫星激光几何检校技术规范》等与卫星激光测高的标准也处于报批阶段，各标准之间相互协调，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。本标准对对地观测卫星激光测高数据处理的作业流程、处理方法、精度指标和质量控制等方面进行了相应的规定，规范了对地观测卫星激光测高数据处理流程，明确在业务化生产过程中的技术执行步骤，

用于指导卫星激光测高数据业务化生产。

2、 确定标准主要内容的依据

本标准的任务是规范并指导对地观测卫星激光测高数据处理作业环节，用于对地观测卫星激光测高数据处理产品生产。为提高标准的实用性，编制组在标准制定前期进行了大量的调研、资料收集，以及技术试验等工作，在编制过程中与国家卫星海洋应用中心、上海海洋大学、中国科学院精密测量科学与技术创新研究院、武汉大学、中国测绘科学研究院、国家基础地理信息中心、陕西测绘地理信息局、黑龙江测绘地理信息局、四川测绘地理信息局、海南测绘地理信息局、自然资源部重庆测绘院等有关单位的专家进行了多次的交流和探讨。同时充分利用主编单位的有利条件，总结凝练对地观测卫星激光测高数据作业经验，开展了大量技术试验。这些都是本标准主要内容编制的重要依据。

3、已发射卫星激光系统

针对卫星激光测高仪的研究已进行了好多年，从已经公开的资料来看，国外卫星激光测高系统主要包括对地观测 ICESat (Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite)和 ICESat-2 卫星、对火星观测的 MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) 系统、对空间小行星进行观测的 NLR (NEAR Laser Rangefinder) 系统、对月球观测的 CLEMENTINE 系统。ICESat 卫星装载的全球首台对地观测激光测高仪—GLAS(Geoscience Laser Altimeter System)，其激光重复频率 40 Hz，足印直径 70 m，足印间距 170m。GLAS 经过在轨几何检校，高程测量精度优于 15 cm，部分地区高程测量精度在 5 cm 左右。GLAS 在两极冰盖的厚度及特征分布测量、大比例尺的极地冰盖高程地图制作领域发挥了重要作用，同时也可用于森林、海洋和海冰的高度

分布以及云层、气溶胶分布的测量中。

ICESat-2 卫星装载的唯一载荷 ATLAS (Advanced Topographic Laser Altimeter System) 是目前唯一的星载光子计数激光测高雷达, 主要用于测量海冰变化、地表三维信息, 并测量植被冠层高度用以估计全球生物总量。在南极冰面 88° 圈~300km 的长度上, 基于 GPS 现场实测数据, 验证了 ICESat-2 产品中 ATL03 光子高程数据和 ATL06 分段高程数据的精度和准确度分别优于 $5\pm 13\text{cm}$ 和 $3\pm 9\text{cm}$ 。火星观测系统 MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter)、水星观测系统 MLA (Mercury Laser Altimeter)、空间小行星观测系统 NLR (NEAR Laser Rangefinder)、月球观测系统 LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter) 等卫星激光测高仪取得了较为成功地应用, 这些激光系统的具体技术指标见表 1 所示。

表 1 国外卫星激光系统参数

系统		GLAS	ATLAS	MOLA-2	Clementine	NRL
基本参数	质量/kg	300	<10	25.85	2.37	5
	功率/w	330	--	34.2	6.8	20.7 (最高) 16.5 (平均)
发射及轨道信息	平台	ICESAT 卫星	ICESAT-2 卫星	火星探测器 MGS	月球探测器 Clementine	近地小行星探测器 NEAR
	发射时间	2003	2018	1996	1994	1996
	计划寿命/a	3	3	3	3	1
	轨道高度/km	600	500	400	640	50
	观测对象	极地冰盖、云、气溶胶	海冰、地表, 植被冠层高度	火星	月球	Eros 小行星
激光器	型号	75mJ@1064nm 35mJ@532nm (3备份)	0.2~1.mJ @532nm	Nd: YAG @1064nm	Nd: YAG @532/1064nm	Nd: YAG @1064nm
	脉冲宽度/ns	4	1	8	<10	12
	脉冲重复频率/HZ	40	10k	10	Continuous@1Hz 400shots@8Hz	1/8, 1, 2, 8
	单脉冲	75mJ@1064	0.2~1.mJ	48	171mJ@1064nm	>5

	能量/mJ	nm 35mJ@532nm	@532nm		9mJ@532nm	
	光束 发散角/mrad	0.1	--	0.4	<0.5mrad@1064nm 4mrad@532nm	0.235
接收 系统	望远镜口径	Φ1.0m	Φ0.8m	Φ500m	与高分辨率相机共用 Φ12mm	Φ90mm
	视场角 (FOV)	0.475mrad@ 1064nm 0.15mrad@5 32nm	--	0.85mrad	1mrad 总接收面积 0.5 mm ²	>0.9mrad
	光电转换器件	Si APD	Geiger-mode APD	Si APD	Si APD	Si APD
	时钟计数频率	1 GHz	--	100MHz	3-23MHz	480MHz
精度 指标	垂直 分辨率/m	1064nm:0.15 m(冰、陆地) 532nm:75-2 00m(云)	0.1	1	40	0.32
	水平 分辨率/m	1064nm:170 m (沿径方 向) 532nm:75-2 00m (云/气溶胶)	532nm: 17	沿径方向: 300m 跨轨方向: 4000m	100	500

我国第一颗卫星激光测高仪搭载在嫦娥一号上，激光重复频率为 1Hz，理论测距精度为 5m，主要用于获取月面三维高程数据；嫦娥二号搭载的激光测高仪是嫦娥一号激光测高仪的升级版，将激光重频由 1Hz 提高到 5Hz；嫦娥三号的激光测高仪在技术上有较大地突破，理论测距精度优于 0.2m。

资源三号 02 星于 2016 年 5 月 30 日成功发射，相较于 01 星，为了进一步提高地面高程测量精度，装载了试验性的激光测高载荷。资源三号 03 星于 2020 年 7 月 25 日成功发射，经过 02 星的测试验证，验证了激光测高载荷的有效性和可靠性，该星搭载了工程性的激光测高载荷。

2019 年 11 月 3 日 11 时 22 分，我国在太原卫星发射中心用长征四号乙运载火箭成功发射高分辨率对地观测系统重大专项高分七号卫星。高分

七号卫星装载了双波束激光测高载荷，旨在有效保障卫星测高精度，为 1:10000 比例尺航天立体测绘奠定技术基础。我国目前的卫星激光测高载荷的具体指标如表 2 所示。

表 2 国内已发射或未发射的激光测高系统参数

系统		嫦娥一号卫星	资源三号02星	高分七号卫星	资源三号03星	碳卫星
基本参数	质量/kg	2350	2695	约2600	约2600	-
发射及轨道信息	发射情况	已发射	已发射	已发射	已发射	未发射
	发射时间	2007	2016	2019	2020	预计2022
	计划寿命/a	1	5	8	8	5
	轨道高度/km	200	505	505	505	500左右
	观测对象	月球	地球	地球	地球	地球
激光器	脉冲宽度/ns	5-7	优于7	优于7	4	优于7
	波束	单波束	单波束	2波束	单波束	5波束
	脉冲重复频率/HZ	1	2	3/6（检校模式）	2	测距35-70, 气溶胶20
	单脉冲能量/mJ	150	210	≤180	180	待定
	望远镜口径/mm	>120	210	600	210	待定
	激光波长/nm	1064	1064	1064	1064.46	1064
	望远镜焦距/mm	538	600	-	-	待定
	光斑大小/m	<200	50	30	45	25
	距离测量范围/km	(200±25)	不小于 520km±20km	450~550	不小于 520km±20km	待定
	探测概率	95%	≥95%	≥95%	≥95%	≥95%
精度指标	测距精度/m	5	优于1.0m(坡度 <15deg)	优于0.3m(坡度 <15deg)	优于1.0m(坡度 <15deg)	优于0.3
	姿态稳定度	——	5*10 ⁻⁴ deg/s	2*10 ⁻⁴ deg/s	5*10 ⁻⁴ deg/s	5*10 ⁻⁴ deg/s

4、激光测高仪工作原理

激光测距是根据激光脉冲渡越的时间来获取距离值，根据波形确定激光脉冲的时间差，如图 1 所示。

$$\Delta t = T_{\text{接受}} - T_{\text{发射}} \tag{1}$$

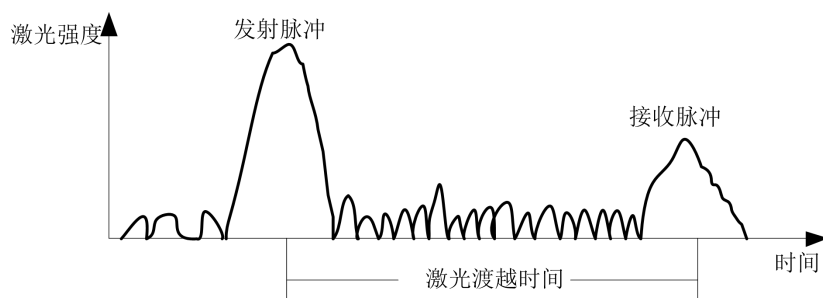


图 1 激光渡越时间示意图

激光到观测表面的距离可表示为：

$$R = \frac{1}{2} c \cdot \Delta t \quad (2)$$

激光测高几何模型示意图如图 2 所示，卫星激光测高仪通过发射和接收激光脉冲的时间差来推算目标到卫星的距离，再根据卫星的姿态轨道参数解算出卫星到该目标处参考椭球的距离，从而得到目标距离参考椭球的相对高程信息。

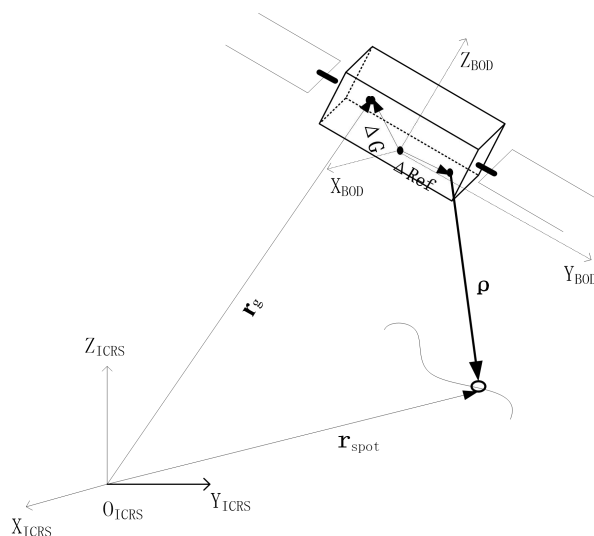


图 2 激光测高仪几何模型

5、对激光数据处理精度的要求

卫星激光是获取大范围地面高精度高程信息的有效手段之一，获取的地面信息主要包括平面和高程两个方面。由于激光的肉眼不可见，平面信

息一般采用在轨几何检校对其进行控制，约束在合理的范围内，属于在轨几何检校的范畴。因此在卫星激光数据处理的过程中，对平面精度不作要求。高程精度是卫星激光数据处理的关键，是评价激光数据质量的重要指标，因此在激光数据处理过程中主要对高程精度进行要求。

卫星激光数据处理的精度极限主要包括三部分：激光测高仪的载荷设计精度、激光在轨几何检校精度和卫星激光数据处理算法精度。激光测高仪的载荷设计精度是激光数据处理精度的天花板，理论上，无论地面采用任何方法都只能无限接近载荷设计精度，因此数据处理对这部分精度不作要求。激光在轨几何检校是在卫星在轨初期和业务化运行后周期性开展的工作，是卫星在轨后通过地面手段无限接近载荷设计精度的必要途径，在编写组编写的另一个标准（同期上报）中已经做了要求，这里也不做要求。

卫星激光数据处理算法精度是本标准研究的主要内容，如标准所述，主要包括：处理模型、大气校正、潮汐改正等多个过程，每个环节都存在误差，综合考虑激光指向参数、激光测距值和各项改正参数中存在的随机误差，在光斑内地形坡度小于 15° 的平坦地面区域，对地观测卫星激光测高数据处理要求最终激光测高产品高程中误差优于 $\pm 0.2 \text{ m}$ ， $\pm F$ 为线性体制卫星激光测高仪经过实验室标校后的距离测量精度，高程精度计算方法按照 GB/T 36100-2018 中 5.2 要求。

6、验证试验的情况和结果

1) 资源三号 02 星激光数据处理

2016 年 6 月 24 日，资源三号 02 星激光测高试验性载荷第一次开机获得轨道号为 382 的第 1 轨数据，获取时间段为：2016 年 6 月 24 日 11 点 57 分 5 秒至 12 点 1 分 0.5 秒，共有 472 个激光数据点，其中记录显示为无效

的激光点为 14 个，无效数据中“回波检测异常”共 13 个，“传输异常”1 个；记录为有效数据的激光点共 458 个。数据覆盖范围包括：蒙古国和我国的内蒙古、甘肃和青海，如图 3 所示。



图 3 资源三号 02 星第一轨激光足印点在地图上的分布示意图

资源三号 02 星激光测高仪自 2016 年 6 月 24 日第一次开机获得第一轨激光测高数据以来，共获得了 190 轨数据，并进行了业务化处理，获得了约 3.2 万个高精度高程控制点，其分布如图 4 所示。基于本标准已经实现了目前资源三号 02 星所有激光测高数据的工程化处理。

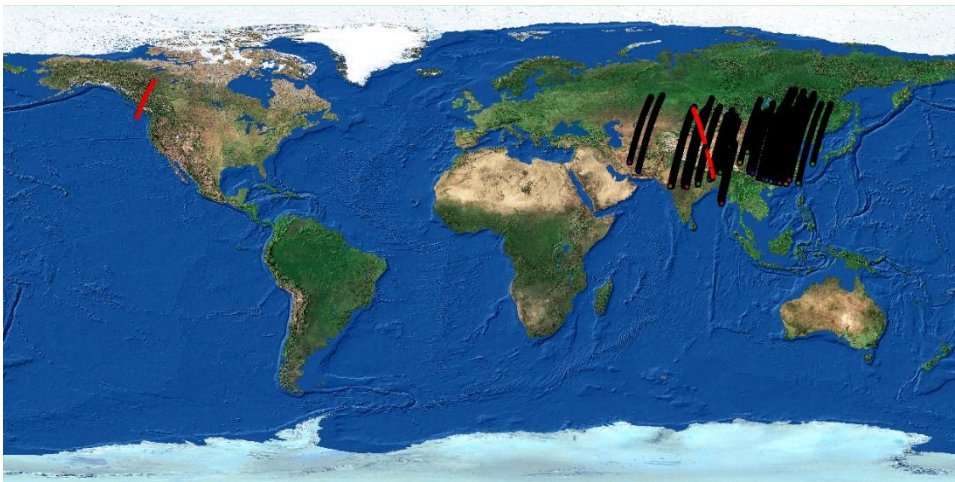


图 4 资源三号 02 星 44 轨激光测高数据分布示意图

资源三号 02 星激光测高仪每轨开机时间大约为 10 分钟，获得的点数在 800-1000 个左右。如图中红色的代表两轨比较特别的数据，其中位于中国境内的 1 轨为卫星夜间升轨时开机获得的激光测高数据，另一轨则位于境外的北美地区。

目前所有激光测高数据中硬件记录为有效的数据所占比例如图 5 所示。

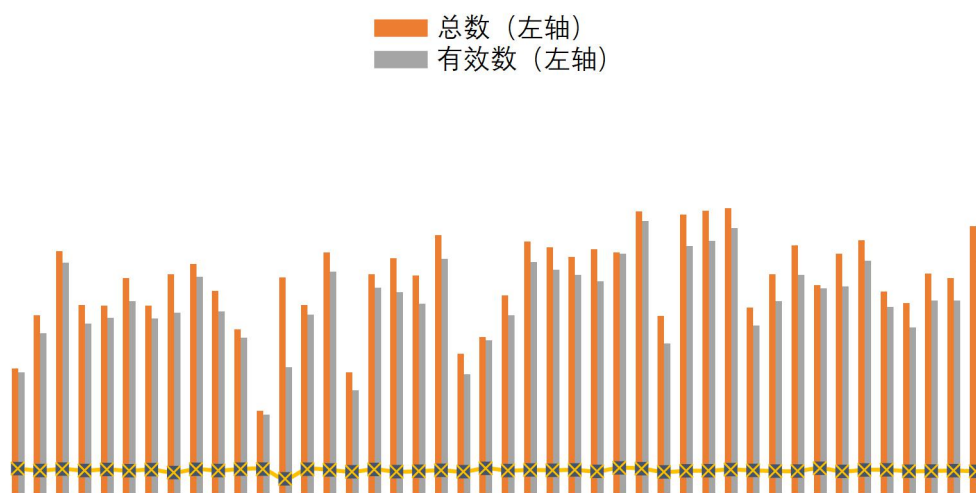


图 5 资源三号 02 星激光测高数据硬件记录有效的点数统计

对所有的资源三号 02 星激光测高数据处理完后，采用公开版的分辨率为 30mALOS 全球 DSM 数据 AW3D30 和 EGM2008 对激光点的高程进行统计分析。AW3D30 的高程基准为 ITRF2007+EGM2008，通过 EGM2008 模型将高程基准转换成 WGS84 大地高，然后与 02 星的 SLA 高程数据作差，取差值绝对值与 2000m、50m、10m、5m、2m 几个阈值进行统计。总体统计结果见图 6。

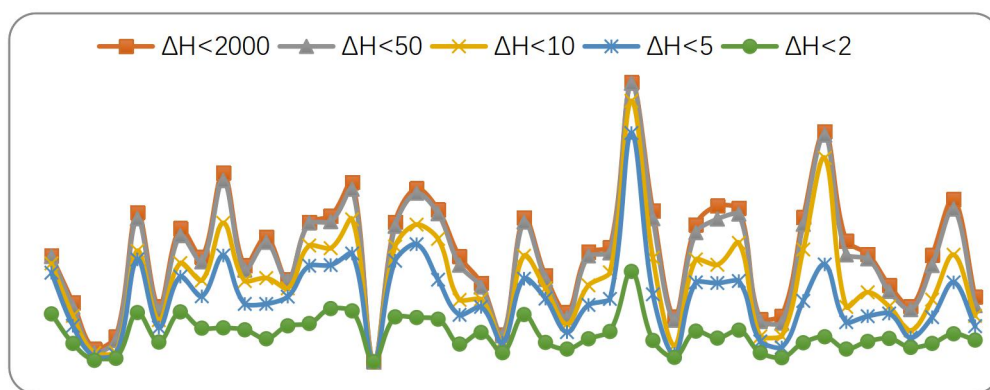


图 6 资源三号 02 星高程误差统计

资源三号 02 星仅有的激光测高数据中,高程精度与参考 DSM 高差小于 2m 的点所占比例为 10.37%,总数为 3661 个;小于 5m 的为 23.89%,总数 8435 个。选择资源三号 02 星的若干轨激光测高数据,采用 AW3D30 地形数据,统计了不同地形类别下的激光足印点高程误差,结果如表和图 7 所示。

表 5 资源三号 02 星激光测高数据高程精度统计表

(单位:有效点为个,其它为米)

轨道号	平地 (2°以下)			丘陵 (2°~6°)			山地 (6°~25°)		
	有效点	均值	中误差	有效点	均值	中误差	有效点	均值	中误差
656	149	0.854	5.943	5	9.320	17.977	5	12.816	17.869
914	329	0.458	5.355	29	11.088	15.318	33	12.247	18.713
915	123	0.920	5.099	14	7.348	14.301	9	11.357	18.047
929	323	0.837	7.452	20	9.872	13.439	17	8.940	14.20
944	447	0.343	6.835	47	10.383	15.83	17	13.165	17.291
945	246	1.619	5.470	19	9.330	14.050	5	12.691	16.547
959	292	1.191	8.61	41	6.647	15.160	7	2.746	16.526
991	446	0.475	5.908	19	8.547	15.961	27	14.516	18.698
1035	275	1.578	6.289	35	9.882	15.661	31	12.026	15.371
1050	326	2.297	3.609	2	6.874	7.845	4	12.347	15.284
1051	307	0.146	6.436	45	7.395	15.128	37	9.524	16.008
1081	238	1.045	6.865	30	7.253	12.885	32	12.875	17.348
1263	251	0.917	5.272	7	7.816	14.671	11	9.377	17.487
1476	152	0.531	5.923	9	0.640	9.873	6	16.255	17.661
总均值		0.944	6.076		8.028	14.149		11.491	16.932

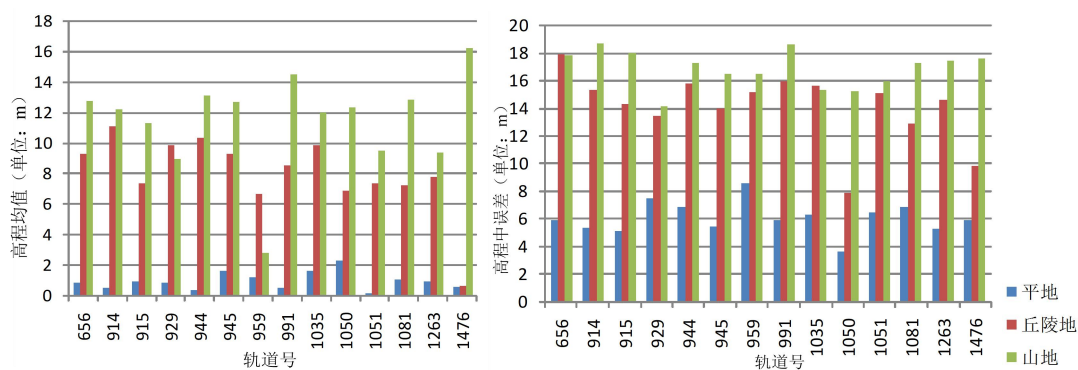


图 7 不同地形条件下资源三号 02 星激光高程精度示意图

2) 资源三号 03 星激光数据处理

资源三号 03 星于 2020 年 6 月 26 日首次开机，历时 16 分钟 04 秒，首次共发射 1928 次脉冲，下传数据总体情况如表 3 所示：

表 3 下传数据情况表

轨道号	总点数	回波点数	无回波点数	有效率
900018	1928	1442	486	74.8%

资源三号 03 星激光数据包将多轨多次激光开机数据打包合并为一包数据下传至地面，其中可能包含多段覆盖全球的激光点数据，可能存在时间上、空间上的不连续，如首轨数据覆盖范围包括：俄罗斯、蒙古国、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、巴基斯坦以及我国内蒙古、新疆地区，如图 8 所示。

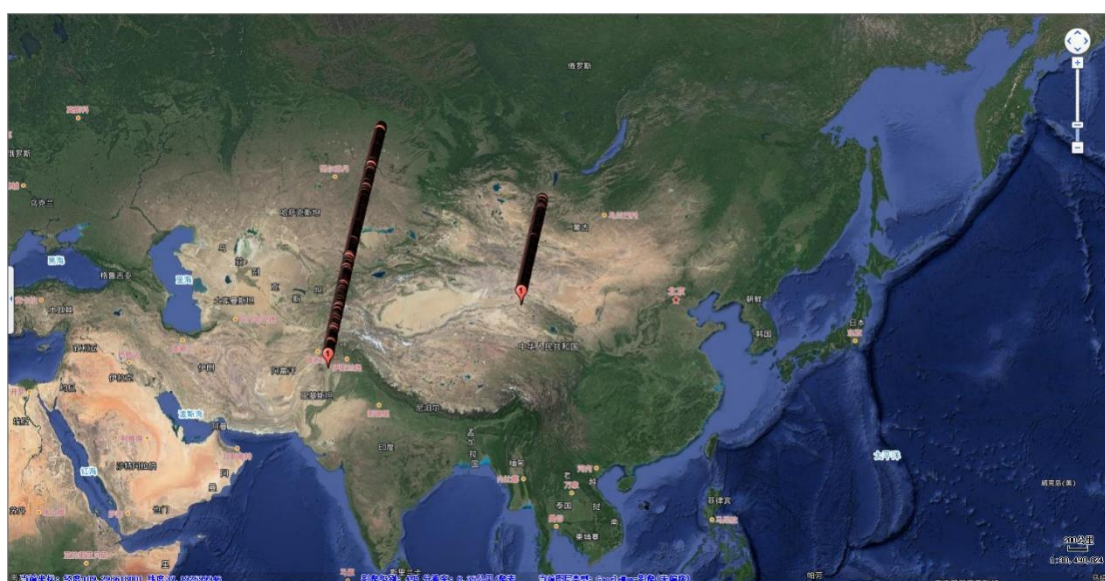


图 8 资源三号 03 星首轨激光数据分布图

受天气等因素影响，部分数据无效，剔除无效的测距数据后，计算每个激光点测距值如图 9 所示，测距范围为：495936.135m ~ 506360.535m。

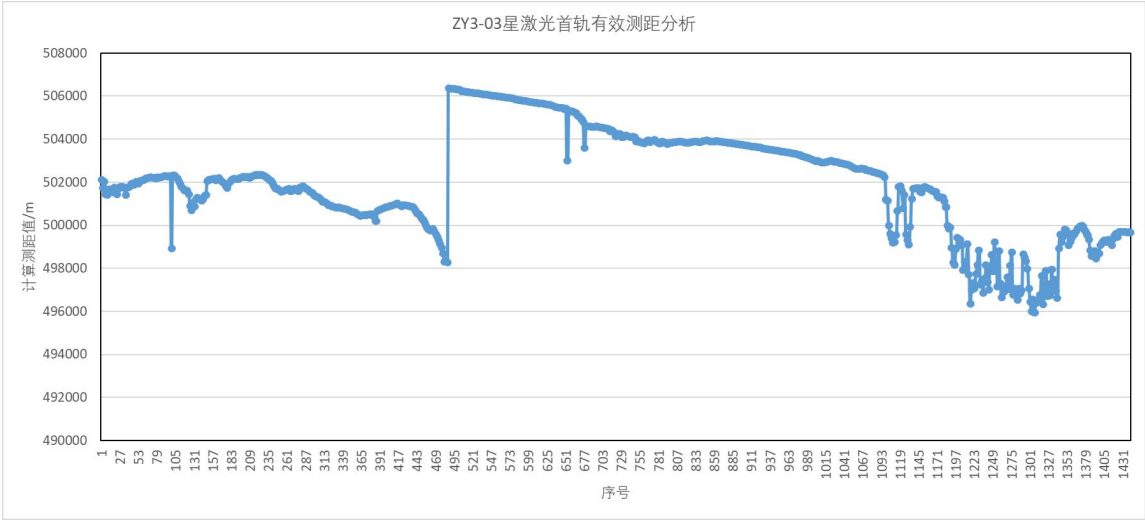


图 9 资源三号 03 星激光首轨有效测距分析

由于资源三号 03 星采用阈值法，且采用三通道波形前后缘匹配的方式，进行了测距计算，主要分为 3 类：

- 1) TH1：宽带高阈值通道
- 2) TH2：宽带低阈值通道
- 3) TH3：宽带宽阈值通道

由于地形影响，首轨数据中并非所有数据均采用 TH1 通道计算，各通道计算的数据量如表 4 所示：

表 4 通道计算数量				
轨道号	总有效点数	TH1点数	TH2点数	TH3点数
900018	1442	1248	114	80

其中默认为 TH1 通道计算的测距精度最高，故得到最优测距有效率如表 5 所示：

表 5 最优测距有效率表					
轨道号	总点数	有效点数	有效率	TH1点数	TH1有效率
900018	1928	1442	74.8%	1248	64.7%

卫星在轨后从第一轨开机至 2020 年 12 月 23 日，资源三号 03 星激光

共开机 68 轨，其开机时刻激光星下点分布位置较为均匀，主要分布在亚洲、欧洲、北美洲，南美洲地区。目前尚未在澳大利亚以及南极洲获取激光点数据。资源三号 03 星激光星下点轨迹分布如图 10 所示。

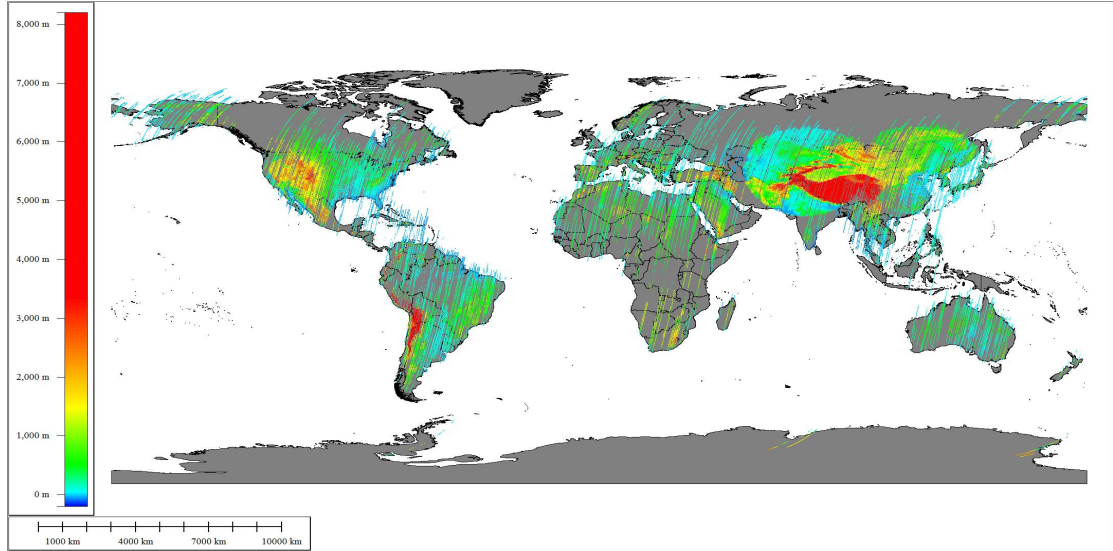


图 10 资源三号 03 星激光点数据分布示意图

针对 1300 轨资源三号 03 星激光，通过回波波形计算激光测距值，并利用激光测距，利用卫星激光数据处理软件解算出激光地面三维坐标，从而进行资源三号 03 星激光测量数据有效性分析，结果如表 6 所示。

表 6 资源三号 03 星激光测量数据有效性分析

总点数	无回波点数	有回波点数	测量有效比例
669778	281028	388750	58%

综上，可看出资源三号 03 星激光，在总点数近为 67 万个，测量无效数据点为约 28 万个，有效数据点约 39 万个，其测量有效率为 58%。截至 2021 年 9 月，共收到 2400 余轨激光数据，共开机近 240 万次，处理得到有效激光点 138 万个。

3) 高分七号卫星激光数据处理

2019 年 11 月 5 日，高分七卫星激光测高仪第一次开机获得轨道号为 32 的第一轨数据，其中波束 1 与波束 2 各获取有 242 个激光数据点。其中

波束 1 有效回波点数个 128, 无回波激光点个 114, 激光回波有效率为 52.9%; 其中波束 2 有效回波点数个 101, 无回波激光点个 141, 激光回波有效率为 41.7%; 数据位于俄罗斯贝加尔湖西边, 覆盖范围包括: 俄罗斯与蒙古国地区, 如图 11 所示。

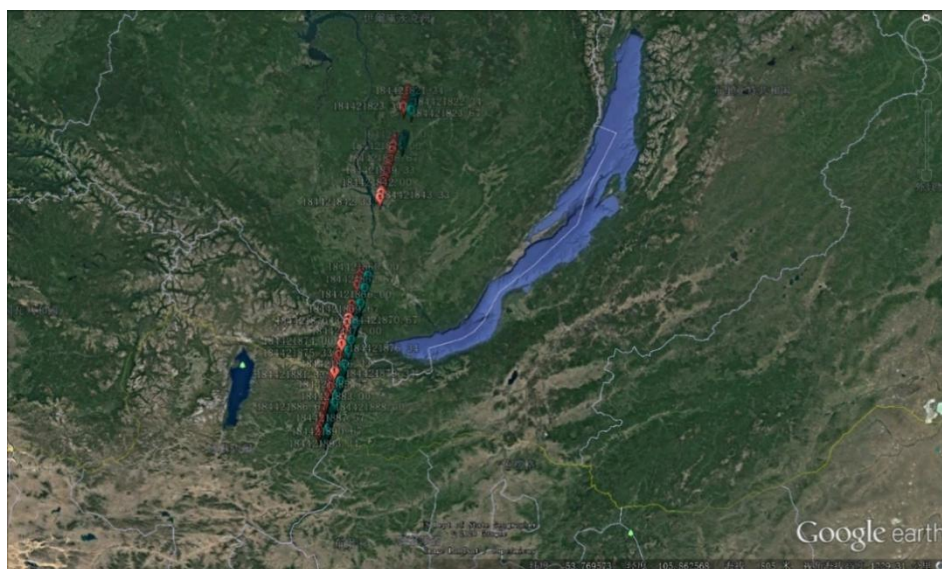


图 11 高分七卫星激光首轨激光点分布图, 其中红色点为波束 1, 黑蓝色为波束 2

卫星在轨后从第一轨开机至 2020 年 12 月 20 日, 高分七卫星激光共开机约为 1300 轨, 近 170 万个激光点, 其开机时刻激光星下点分布位置较为集中, 主要分布在亚洲、欧洲、北美洲, 即北半球中纬度地区。南半球主要在澳大利亚地区开机, 其中在南极洲也有数轨激光开机。高分七卫星激光星下点轨迹分布图如图 12 所示。

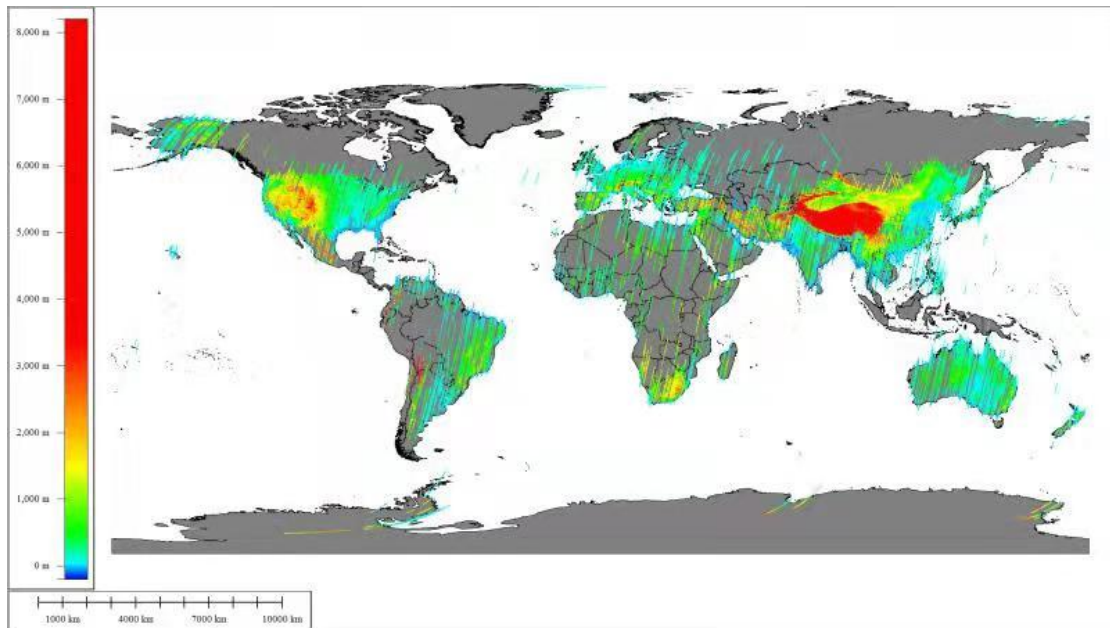


图 12 高分七号卫星激光点数据分布示意图

针对前 1300 轨激光,通过回波波形计算激光测距值,并利用激光测距,结合卫星激光数据处理软件解算出激光地面三维坐标,从而进行分七号卫星激光回波有效性分析。针对波束 1 与波束 2 分别统计结果如表 7 所示。

表 7 高分七号卫星激光前 412 轨激光数据有效性分析

波束	总点数	有回波点数	无回波点数	回波有效比例
波束1	848865	347788	501077	59%
波束2	848865	381632	467233	55%
合计	1697730	729420	968310	57%

综上,可看出高分七号卫星整体激光回波有效率约为 57%;其中波束 1 回波有效率为 59%,波束 2 回波有效率为 55%。截至 2021 年 9 月,开机近 240 万次,共收到 2400 余轨激光数据,经处理后得到 138 万个激光点。

四、 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,或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况。

目前,国内外并无关于对地观测卫星激光测高数据处理的相关标准。本标准编制过程既考虑了现有国家标准和行业标准规范,也考虑了我国卫

星激光测高产品应用需求，引用的相关标准和资料包括：

CH/T 8024-2011 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T XXXX-XXXX 对地观测卫星激光几何检校技术规范

CH/T XXXX-XXXX 对地观测卫星激光测高数据产品

五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本技术规定与现行法律、法规和强制性标准无不协调。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

无。

八、贯彻标准的要求和措施建议

无。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、其他应予说明的事项

无。