



文献 CSTR:

32001.14.11-6035.ncdc.2024.0176.zh



文献 DOI:

10.11922/11-6035.ncdc.2024.0176.zh

数据 DOI:

10.11888/Cryos.tpd.300400

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2024-10-21

录用日期: 2025-04-16

发表日期: 2025-12-05

2017–2022 年青藏工程走廊多年冻土区地表 InSAR 形变监测数据集

杜青松^{1,2,3,4}, 李国玉^{1,2,3,4*}, 车涛^{1,4}, 穆彦虎^{1,2,3,4}, 马巍^{1,2,4}

1. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学与冻土工程全国重点实验室, 兰州 730000
2. 中国科学院中蒙俄寒旱区环境与工程国际研究中心, 兰州 730000
3. 中国科学院西北生态环境资源研究院大兴安岭冻土工程与环境观测研究站, 加格达奇 165000
4. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 在全球变暖和人类活动的双重作用下, 位于青藏高原腹地的青藏工程走廊多年冻土区段多年冻土退化强烈, 从而引发了一系列病害问题, 这为位于其内的青藏公路、青藏铁路等线性工程基础设施的维护和安全带来了较大的困扰。地表形变作为路基病害及环境地质灾害的第一表征, 可以对工程病害进行有效的指示, 但到目前为止, 尚未有覆盖整个工程走廊多年冻土区的相关地表形变数据集, 特别是垂直向的形变数据。本研究首先基于 LiCSBAS 工具包对 LiCSAR 产品进行时序 InSAR 处理, 以获得工程走廊多年冻土区地表升、降轨一维 LOS 向形变; 然后以 SAR 影像获取日期为条件, 筛选出影像获取日期相同或相近的升、降轨时序 InSAR 形变监测数据, 在忽略南北向形变的情况下解算出地表东西向和垂直向形变, 从而获得 2017–2022 年观测期内的地表一维 (升、降轨 LOS 向) 和二维 (东西向和垂直向) 形变速率和时序累积形变结果 (共计 51 期), 即青藏工程走廊多年冻土区地表形变数据集。基于现场监测的形变结果与垂直向形变结果的对比表明, 精度大多在 10 mm 内, 最大不超过 30 mm。本数据集不仅可以作为后续相关 InSAR 形变监测的对比数据, 而且还可以为交通线性工程, 如青藏公路、青藏铁路等的正常运营和维护提供数据支撑和有效建议。此外, 本数据集还可以作为输入数据用于多年冻土活动层厚度的反演等工作。

关键词: 青藏工程走廊; 多年冻土; 地表形变; InSAR; 寒区工程

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	青藏工程走廊多年冻土区地表二维形变数据集 (2017-02—2022-03)
数据作者	杜青松, 李国玉, 牛富俊, 陈敦
数据通信作者	李国玉 (guoyuli@lzb.ac.cn)
数据时间范围	2017–2022年
地理区域	(32°09′49.01″–36°13′39.41″N, 91°17′49.60″–95°13′15.60″E), 包括青藏工程走廊 (青藏公路、青藏铁路沿线 20 km 宽度缓冲区合并) 多年冻土区段 (西大滩–安多) 整个范围。

* 论文通信作者

李国玉: guoyuli@lzb.ac.cn

数据量	1.76 GB
空间分辨率	0.001°（WGS-84坐标系，~100 m）
数据格式	GeoTIFF（*.tif）
数据服务系统网址	https://doi.org/10.11888/Cryos.tpd.300400 https://www.scidb.cn/doi/10.11888/cryos.tpd.300400
基金项目	第二次青藏高原综合科学考察研究项目（2019QZKK0905）；青海省青藏高原公路建设与养护重点实验室开放课题（2024-JY-D-03）；冻土工程国家重点实验室自主研究项目（SKLFSE-ZQ-202303）；甘肃省科技重大专项（23ZDFA017）；西藏自治区科技计划项目（XZ202401ZY0040）；甘肃省青年科技基金项目（25JRRA515）。
数据库（集）组成	数据集共包括5个压缩包（*.7z）和一个pdf文件（*.pdf）：（1）时序累积形变结果包括Ascending.7z、Descending.7z、UD.7z和EW.7z分别代表升轨LOS向、降轨LOS向、垂直向和东西向的时序累积形变量结果，4个压缩文件内分别包含51个时期的累积形变量，命名格式依次为asc_YYYYMMDD.tif、dec_YYYYMMDD.tif、ud_YYYYMMDD.tif和ew_YYYYMMDD.tif，其中YYYYMMDD表示时间节点，如20170225；（2）2017年至2022年的形变速率结果包含在Velocity.7z压缩包内，共有4个文件ascending.tif、descending.tif、ew.tif和ud.tif分别表示升轨LOS向、降轨LOS向、东西向和垂直向形变速率结果；（3）结果展示.pdf 文件展示了所有结果的可视化图。

引言

青藏工程走廊作为连通内地与西藏的重要通道，对我国经济建设、民族团结和国防建设有着重大战略意义^[1]。工程走廊南北向贯穿多年冻土区和季节冻土区，全长约 1120 km，位于多年冻土区段（西大滩—安多）的长度约为 550 km^[2]。已有研究表明，工程走廊内由于施工扰动和人类活动强烈，加之气候变暖，导致多年冻土退化严重，打破了当地原有的生态平衡，同时多年冻土退化会伴随着各种地质灾害，威胁人民的生命财产安全和重大冻土工程的安全运营^[3-6]。绝大部分地质灾害的第一表征为地表形变^[7]，因此，亟待对青藏工程走廊多年冻土区段地表进行长期形变监测和研究，从而为青藏高原类似工程的建设及既有工程长期服役性能的提升提供理论依据和数据支撑。

InSAR（Interferometric Synthetic Aperture Radar）作为一种高精度的地表形变监测工具，近年来在自然灾害监测、城市沉降监测以及环境变化研究等方面发挥了重要作用^[7]。与传统的地面监测方法相比，InSAR 具有显著优势，能够在广阔区域内实现高频次、连续的地表形变监测，尤其是在一些偏远或难以到达的地区^[1]。多年冻土区的地表形变通常表现为由于气温变化引起的冻结和融化过程，这种地表形变往往是微小且长期的，InSAR 可以精确地测量这种微小的地表形变。但当前对于青藏工程走廊多年冻土区地表 InSAR 监测的研究，大多局限于某一区段和单一升、降轨 LOS（line of sight）向形变的研究^[8-10]，缺乏全覆盖、长时序、多维度（二维，甚至三维）、高精度的免费开源数据集。

研究团队首先基于 LiCSAR（Looking Into Continents from Space with Synthetic Aperture Radar）数据^[11]（<https://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/>）和 LiCSBAS（Small Baseline Subset InSAR process with LiCSAR）工具包^[12]（<https://github.com/yumorishita/LiCSBAS>）提供的 NSBAS（New Small Baseline Subset InSAR）^[1,13-15]技术开展 InSAR 时序形变反演处理，获取覆盖青藏工程走廊多年冻土区的升/降轨 LOS 向

的形变结果；然后利用升降/轨 LOS 向形变结果进行解算垂直向（up and down, UD）和东西向（east and west, EW）形变信息，并将结果与现场监测形变数据进行对比验证结果精度。本数据集覆盖青藏工程走廊全境，时间范围跨度较长（2017–2022 年），包含内容丰富（一维升、降轨，二维东西向和垂直向，各类型形变监测时段内的时序累积形变量和平均形变速率），且免费开源共享。本数据集不仅能为青藏工程走廊多年冻土区的冻土工程维护和运营及生态环境保护提供理论依据、科学支持和可靠本底数据，而且还能作为活动层厚度反演、地表热融滑塌定量分析、热融湖塘识别等具有多年冻土特色工作开展的输入数据。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据来源和数据预处理

本研究的原始数据主要包括 LiCSAR 数据（元数据：影像数据基本信息 metadata.txt、干涉对时间-空间基线文件 baselines、东西向、南北向和垂直向单位投影分量数据 *.geo.E.tif、*.geo.N.tif、*.geo.U.tif；干涉过程数据：干涉对相干图 *.geo.cc.tif、解缠后的干涉对影像 *.geo.unw.tif、青藏工程走廊地表 DEM（digital elevation model） *.geo.hgt.tif、GACOS（generic atmospheric correction online service for InSAR）数据^[16-18] *.sldt.geo.tif、基础地理矢量数据。其中基础地理数据主要包括公路 LRDL 和铁路 LRRL 数据集（*.shp），其命名和含义参考 GDPJ 03-2013《地理国情普查数据规定与采集要求》，这 2 个线状要素数据集主要用于工程走廊缓冲区本底数据制作。本研究所涉及的各项数据如表 1 所示。

表 1 所需数据信息及来源

Table 1 Data requirements and sources

数据名称	年份	分辨率	数据来源
LiCSAR	2014-2022	0.0001°- (~100 m)	https://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/
DEM	2000	30	https://earthexplorer.usgs.gov/
GACOS	2014-2022	0.1°	http://www.gacos.net/
基础地理数据	2021	1:100 万	https://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W

数据预处理主要包括对所用的数据做一些前期的工作准备，主要包括基于矢量数据提取青藏公路和青藏铁路以及沿线地名，设定地理坐标（WGS 1984）和投影方式（Albers equal area），对提取的结果做切割/打断（西大滩-安多）、缓冲区（宽度 20 km）、缓冲区合并等处理，从而得到工程走廊的矢量边界范围（polygon）数据。需要指出的是，缓冲区创建的单位是基于二维平面内的距离长度单位（km），而公路 LRDL 和铁路 LRRL 数据集为地理坐标系，单位为度（°）。因此，需要进行单位转换。具体操作为，在 WGS 1984 地理坐标系下，采用阿尔伯斯等面积投影（正轴等积割圆锥投影）对青藏公路、青藏铁路（西大滩-安多）分别做 20 km 缓冲区，然后将它们各自的 20 km 缓冲区结果进行合并得到工程走廊范围边界。

以工程走廊范围和 LiCSAR 产品的空间覆盖，确定需要进行数据处理的 LiCSAR 产品的唯一标识符（Frame ID，表 2），并基于升轨和降轨 LiCSAR 数据集覆盖的重叠情况确定 InSAR 处理范围，共计 4 个子区域（图 1），其中 Frame ID 中，字母“A”代表升轨影像干涉对，“D”代表降轨影像干涉对^[13]。提取各子区域的空间范围作为 LiCSBAS 处理过程中范围裁剪步骤的输入参数（表 2），各区域的裁剪范

This topographic map illustrates the Qinghai-Tibet Expressway corridor and four designated study areas (Region 1, Region 2, Region 3, and Region 4) across the Qinghai-Tibet Plateau. The map is overlaid with a coordinate grid ranging from 91°27'0"E to 95°0'30"E and 32°0'0"N to 36°40'0"N. A north arrow is located in the upper left corner. The legend in the bottom right corner defines the symbols used: green dots for stations along the corridor, red lines for the Qinghai-Tibet Expressway, black lines with cross-ticks for the Qinghai-Tibet Railway, blue areas for water bodies, purple outlines for Region 1, red outlines for Region 2, green outlines for Region 3, and black outlines for Region 4. A color scale at the bottom right indicates elevation, ranging from 2628m (Low) to 6828m (High). The map shows the expressway corridor starting from the south and heading north, passing through various geographical features and study areas. Key locations marked include Tanggula North, Tanggula South, Tanggula Mountain Pass, Ansi, Wenquan, Yushiping, Tongtianhe, Kainiing, Shuanghu River, Fushan, Xiu Shui River, Wudaogang, Chumale River, Wudaogang Natural Protection Station, Kunlun Mountain Pass, Kunlun Tunnel, Xida Lake, and Nanyang. The map also shows the Kunlun Mountains, Kunlun River, and other major water bodies.

Figure 1 Geographical location of the Qinghai Tibet Engineering Corridor and InSAR processing sub-areas (DEM from SRTM V4.1, highways, railways, and geographical names from the National Catalogue Service for Geographic Information)

Table 2 Detailed information of InSAR processing for sub-areas

范围	FrameID	裁减范围
区域 1	070A_05479_131313	92.8758/95.2205/34.4533/36.2267
	077D_05487_141313	
区域 2	143A_05452_131313	92.2345/93.5616/34.3276/35.6077
	150D_05404_252525	
区域 3	143A_05651_131313	91.8624/93.1465/33.7313/34.7647

范围	FrameID	裁减范围
	150D_05404_252525	
区域 4	143A_05651_131313	91.2986/92.5960/32.1644/34.0665
	150D_05704_131313	

1.2 数据制作流程

1.2.1 一维升/降轨 LOS 向形变

以 Frame ID 为基础, 结合每个子区域覆盖范围 (表 2), 通过 LiCSBAS 工具包分别处理 LiCSAR 升轨 (Frame ID 中包含字母“A”) 和降轨产品 (Frame ID 中包含字母“D”) 得到 2017 年至 2023 年每个区域对应的覆盖区域的升、降轨 LOS 向时序累积形变图和形变速率图, 空间分辨率为 100 m。将各子区域处理的结果进行镶嵌和裁剪, 即可得到覆盖青藏工程走廊多年冻土区全境的升、降轨 LOS 向形变结果, 镶嵌时各子区域重叠部分采用取平均值算法进行区域网平差以降低融合结果的误差。

LiCSBAS 工具包处理过程主要包括干涉图堆叠、时序分析和结果可视化三个大的模块^[12]。干涉图堆叠为数据准备阶段, 主要是对 LiCSAR、GACOS 数据产品的下载和格式转换等, 包括两个必需步骤 (0-1 数据下载、0-2 数据格式转换) 和三个可选步骤 (0-3 使用 GACOS 进行大气噪声去除、0-4 干涉图掩膜和 0-5 数据裁剪), 其中 0-3 至 0-5 的可选步骤可以任意调整顺序。时序分析主要包括 1-1 快速检查、1-2 通过相位闭环的连接网络优化、1-3 小基线反演、1-4 通过 Bootstrap 算法的速率方差估计 (<https://github.com/dbekaert/StaMPS>)、1-5 时序结果噪声掩膜、1-6 时序结果时空滤波等 6 个主要步骤见图 2。通过调整合适的参数 (S1: 数据处理过程参数设置) 可完成批量处理并得到可靠结果。结果可视化主要涉及结果的后处理, 利用 GDAL、QGIS、GMT 和 ArcGISD 等工具对结果进行分析和可视化。

在实际处理过程中, 由于 LiCSAR 产品更新的时效性, 有的产品可能没有经过 GACOS 产品去除大气相位。对于这部分 LiCSAR 产品, 通过手动下载 GACOS 产品 (<http://www.gacos.net/>) 进行补充^[12,14]。手动下载的 GACOS 数据的范围建议略大于对应区域的裁剪范围, 数据生产日期可在元数据 (影像数据基本信息 metadata.txt) 中查看。缺失数据目录可通过二次处理 0-3 步骤进行确定。在实际处理过程中, 在确定缺失 GACOS 数据的 LiCSAR 产品目录时, 可通过将 0-2 过程中的转换参数 n 调大加快处理 (如 n 调整为 12, 降低分辨率), 当确定缺失目录信息后, 在最终的处理时再将 n 调整为 1 (对应的结果空间分辨率为~100 m)。

1.2.2 二维 UD/EW 形变解算

只基于一维升轨 LOS 或降轨 LOS 向形变信息, 在一定程度上可以表征地表形变, 但考虑到地表实际复杂多样性和 SAR 卫星成像特点 (左视或右视), LOS 向并不一定能够真实反映地表形变实际情况^[1,19], 因此有必要联合升降轨形变信息解算出地表多维信息。基于一维升、降轨 LOS 向形变结果, 假设南北向形变为 0 或微小到忽略不计, 利用公式 (1) 可解算出青藏工程走廊地表二维形变信息^[1,7,19-20]。

$$\begin{bmatrix} d_{insar}^A \\ d_{insar}^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{inc}^A & -\cos \alpha_{azi}^A \sin \theta_{inc}^A \\ \cos \theta_{inc}^D & -\cos \alpha_{azi}^D \sin \theta_{inc}^D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_u \\ d_e \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, d_{insar}^A 、 d_{insar}^D 、 θ_{inc}^A 、 θ_{inc}^D 、 α_{azi}^A 、 α_{azi}^D 、 d_u 和 d_e 分别代表升轨 InSAR 监测 LOS 向结果、降轨 InSAR 监测 LOS 向结果、升轨 SAR 雷达入射角、降轨 SAR 雷达入射角、升轨 SAR 雷达方位角、降轨 SAR 雷达方位角、垂直向形变信息和东西向形变信息。通过公式 (1) 可解算出同一时间段内 (节点) 东西向和垂直向的形变速率、累积形变信息。

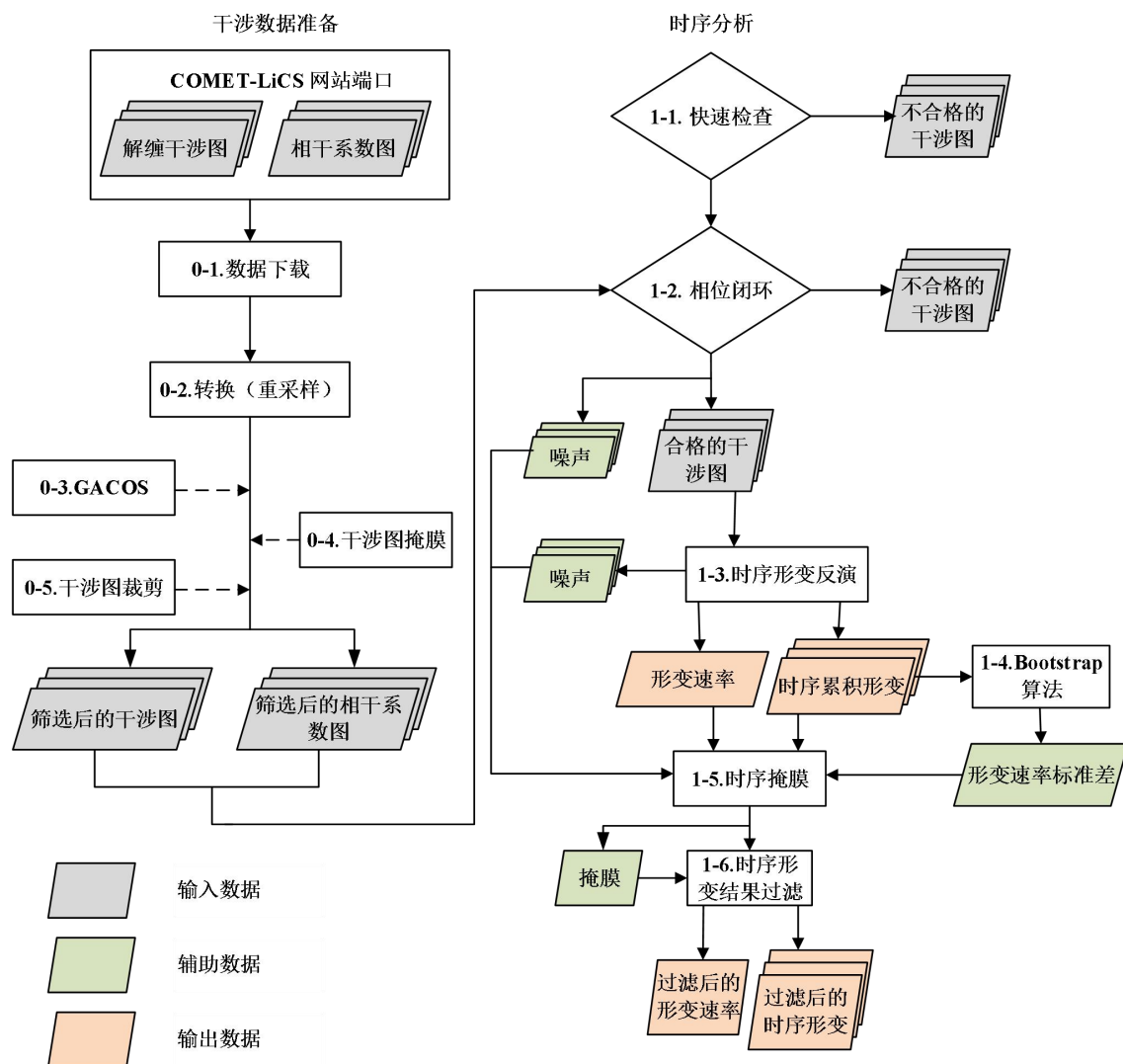


图2 LiCSBAS 工具包反演时序形变工作流程图

Figure 2 Workflow of the LiCBAS toolkit for InSAR time-series deformation inversion

为了保证结果的准确可靠,首先需要对所有用于时序 InSAR 地表形变信息反演的数据做时间节点上的筛选,以保证所得到的结果是在同一或相近时间节点和范围内。具体做法为,通过对四个子区域的升、降轨数据以影像获取日期做相同值筛选,以得到各子区域的相同时间节点信息,再将筛选得到的结果进行再次筛选,即可得到四个区域相同的时间节点信息。再利用相同时间节点信息计算各自对应日期内升降轨的累积形变信息,最后计算起止日期内的形变速率结果。

筛选结果表明区域 2、3 和 4 在时间节点上有高度一致性(2017-02-25 至 2022-03-31),而区域 1 的 SAR 数据获取日期与它们 3 者不一致,整体相差 5 天(2017-02-20 至 2022-03-26)。在本文中,我们将这 5 天的差距视为与其他 3 个区域的时间节点一致,即将 2017-02-20 和 2017-02-25 视为同一天,最终得到 51 个相同的时间节点,时间跨度为 2017 年 2 月 25 日至 2022 年 3 月 31 日。详细的时间节点信息见表 3。

设置 2017-02-25 为起始日期,依次计算各时间节点与起始日期之间的升、降轨 LOS 向累积形变信息,对累积形变信息进行分解(公式(1))得到 UD 和 EW 累积形变信息。最后计算 2017 年 2 月 25 日至 2022 年 3 月 31 日的升降轨形变速率,同样进行二维分解(公式(1))得到 UD 和 EW 形变速率,将

各区域的同时时间段形变监测结果进行镶嵌和裁剪，得到工程走廊多年冻土区内的时序累积形变结果和形变速率。

表 3 用于二维形变解算的时间节点信息

Table 3 Temporal nodes used for 2D deformation computation

区域 1	区域 2、3、4	区域 1	区域 2、3、4	区域 1	区域 2、3、4
2017-02-20	2017-02-25	2019-08-21	2019-08-26	2020-10-02	2020-10-07
2017-03-04	2017-03-09	2019-09-02	2019-09-07	2020-10-14	2020-10-19
2017-04-09	2017-04-14	2019-12-31	2020-01-05	2020-10-26	2020-10-31
2017-04-21	2017-04-26	2020-01-12	2020-01-17	2021-02-11	2021-02-16
2017-09-24	2017-09-29	2020-01-24	2020-01-29	2021-08-22	2021-08-27
2018-03-11	2018-03-16	2020-02-05	2020-02-10	2021-09-03	2021-09-08
2018-04-28	2018-05-03	2020-02-17	2020-02-22	2021-10-09	2021-10-14
2018-06-27	2018-07-02	2020-03-24	2020-03-29	2021-10-21	2021-10-26
2018-07-21	2018-07-26	2020-04-05	2020-04-10	2021-11-02	2021-11-07
2018-09-07	2018-09-12	2020-05-11	2020-05-16	2021-11-26	2021-12-01
2018-10-13	2018-10-18	2020-05-23	2020-05-28	2021-12-08	2021-12-13
2018-12-12	2018-12-17	2020-06-16	2020-06-21	2022-01-01	2022-01-06
2019-01-29	2019-02-03	2020-06-28	2020-07-03	2022-01-25	2022-01-30
2019-03-30	2019-04-04	2020-08-15	2020-08-20	2022-02-06	2022-02-11
2019-04-11	2019-04-16	2020-08-27	2020-09-01	2022-02-18	2022-02-23
2019-07-16	2019-07-21	2020-09-08	2020-09-13	2022-03-14	2022-03-19
2019-07-28	2019-08-02	2020-09-20	2020-09-25	2022-03-26	2022-03-31

2 数据样本描述

该数据集共包含 5 个压缩文件和 1 个 pdf 文件，压缩文件为相应形变数据结果的汇总，共计 1.76 GB，pdf 文件为形变结果的展示图，文件的组织结构、内容和各自的意义如表 4 所示。

表 4 青藏工程走廊多年冻土区地表形变数据集文件结构及内容

Table 4 File structure and contents of the dataset of InSAR-derived ground deformation in permafrost zone of the Qinghai-Tibet Engineering Corridor

文件名	格式	说明
/Ascending.7z	.7z 压缩文件	升轨 LOS 向时序累积结果压缩包，通过解压打开
/Ascending/asc_YYYYMMDD.tif	.tif 栅格数据	升轨 LOS 向时序累积形变结果，共 51 期，可直接导入 ArcGIS, Qgis 等软件打开
/Descending.7z	.7z 压缩文件	降轨 LOS 向时序累积结果压缩包，通过解压打开
/Descending/dec_YYYYMMDD.tif	.tif 栅格数据	降轨 LOS 向时序累积形变结果，共 51 期，可直接导入 ArcGIS, Qgis 等软件打开
/EW.7z	.7z 压缩文件	东西向时序累积结果压缩包，通过解压打开
/EW/ew_YYYYMMDD.tif	.tif 栅格数据	东西向时序累积形变结果，共 51 期，可直接导入 ArcGIS, Qgis 等软件打开
/UD.7z	.7z 压缩文件	垂直向时序累积结果压缩包，通过解压打开

文件名	格式	说明
/UD/ud_YYYYMMDD.tif	.tif 栅格数据	垂直向时序累积形变结果，共 51 期，可直接导入 ArcGIS，Qgis 等软件打开
/Velocity.7z	.7z 压缩文件	形变速率结果压缩包，共包含 4 个 tif 压缩文件，通过解压打开
/Velocity/ascending.tif	.tif 栅格数据	升轨 LOS 向形变速率结果，可直接导入 ArcGIS，Qgis 等软件打开
/Velocity/descending.tif	.tif 栅格数据	降轨 LOS 向形变速率结果，可直接导入 ArcGIS，Qgis 等软件打开
/Velocity/ew.tif	.tif 栅格数据	东西向形变速率结果，可直接导入 ArcGIS，Qgis 等软件打开
/Velocity/ud.tif	.tif 栅格数据	垂直向形变速率结果，可直接导入 ArcGIS，Qgis 等软件打开
/结果展示(Result plotting).pdf	pdf 文档	包括以上所有数据的可视化展图，通过 pdf 阅读器查看

注：/表示盘符目录

本数据集包含的数据内容丰富，以工程走廊的垂直向形变速率空间分布图（图 3）为例，结果表明形变速率值集中分布在-27.06 mm/yr 至 18.59 mm/yr 之间，其中大部分区域的形变速率值在-7.50 mm/yr 至 5.55 mm/yr 之间，其次为-14.02 mm/yr-7.51 mm/yr 和 5.52 mm/yr-12.07 mm/yr；一小部分区域处于较为严重的沉降状态，沉降速率超过-20 mm/yr，而极少部分区域处于抬升速率大于 12.07 mm/yr 状态。因降轨干涉对数据在通天河附近的相干性低，导致周边区域数据空缺。

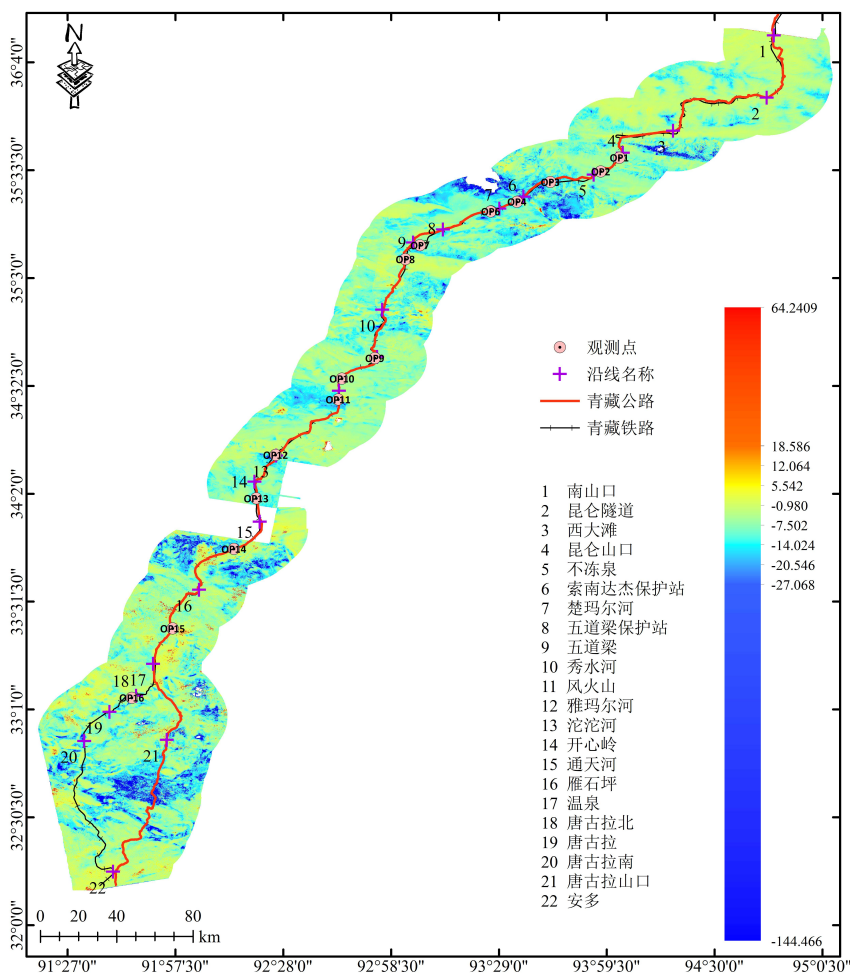
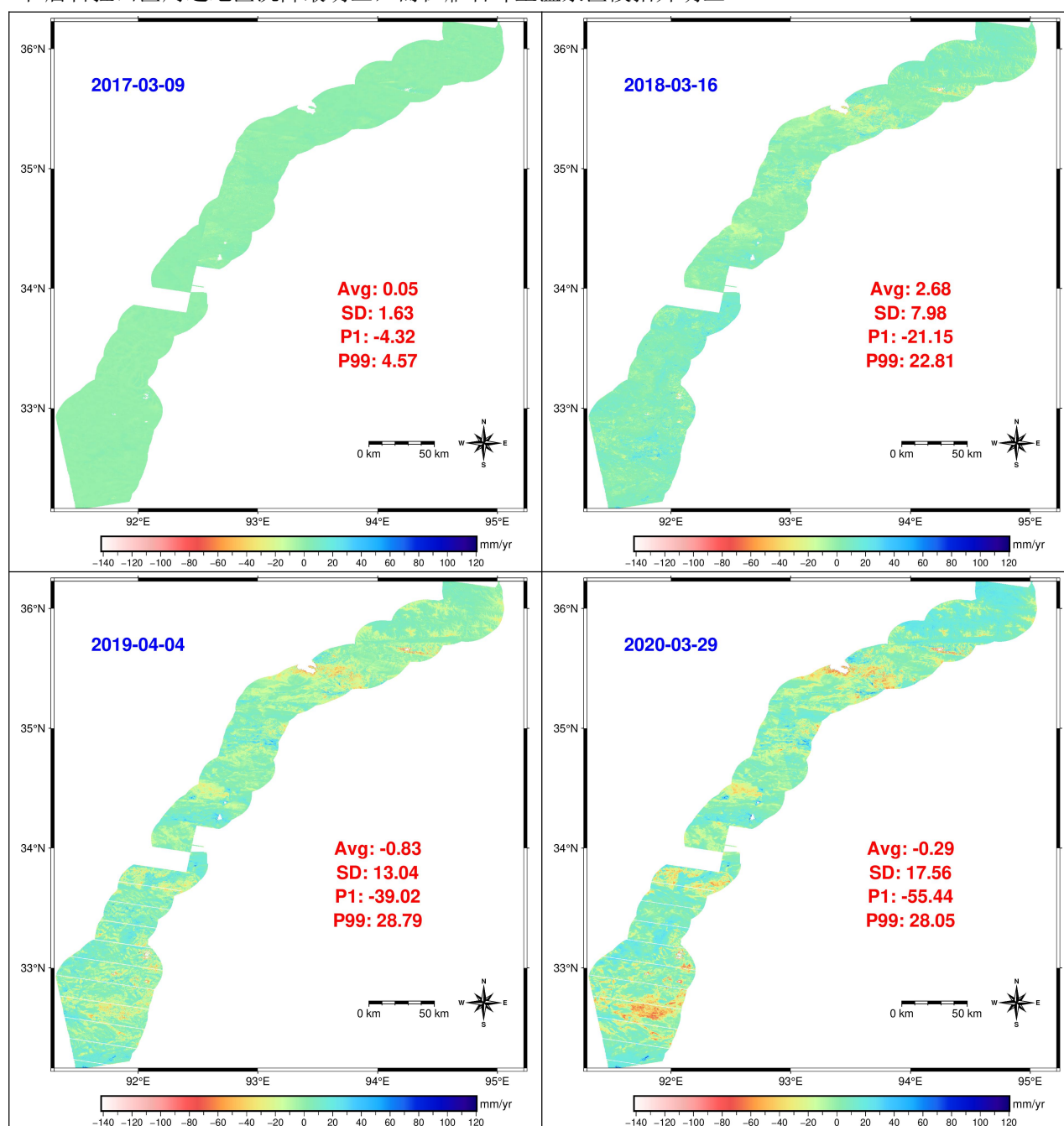


图 3 青藏工程走廊 2017 至 2022 年垂直向形变速率（单位：mm/yr，公路、铁路及地名源自全国地理信息资源目录服务系统）

Figure 3 Vertical deformation rate (in mm/yr) in the Qinghai-Tibetan Engineering Corridor from 2017 to 2022 (highways, railways, and geographical names from the National Catalogue Service for Geographic Information)

结合空间区划和空间分析发现, 青藏公路、青藏铁路沿线沉降较大的区域有不冻泉—索南达杰保护站—楚玛尔河区段, 这一区域靠近盐湖; 另外, 青藏公路沿线沉降强烈的区域还包括唐古拉山区段, 沉降速度超过 27.07 mm/yr。也存在一些沉降速度超过 20 mm/yr 的区域。而对于抬升明显的大片连续区域位于通天河—雁石坪—温泉等地沿线区段, 抬升速率在 0 mm/yr–12.07 mm/yr 之间, 对应的时序累积形变如图 4 所示。

时序累积形变图 (图 4) 更加详细地表现了个区域形变发展的动态过程, 截止到 2022 年 3 月 31 日, 统计结果表明工程走廊的累积形变量在 -725.73 mm 至 313.12 mm 之间, 大部分区域的累积形变量在 -11.52 mm 至 20.94 mm 之间。平均数、中位数和标准差分别为 -3.68 mm、1.17 mm 和 27.97 mm, 这说明大多数区域处于轻微抬升状态, 但是沉降区域的沉降量较大, 使得整体的累积形变均值为负数。结合形变速率结果 (图 3) 发现, 时序累积形变结果与形变速率具有高度一致性。在索南达杰保护站、通天河和唐古拉山区周边地区沉降最明显, 而在雁石坪至温泉区段抬升明显。



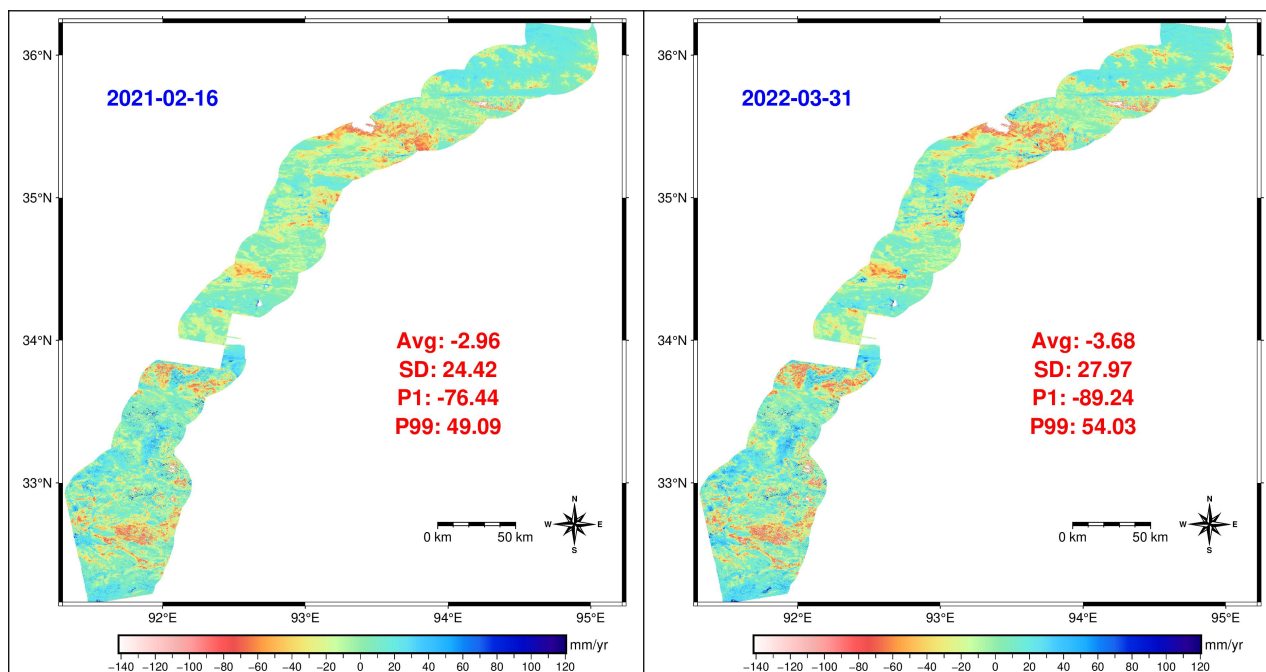
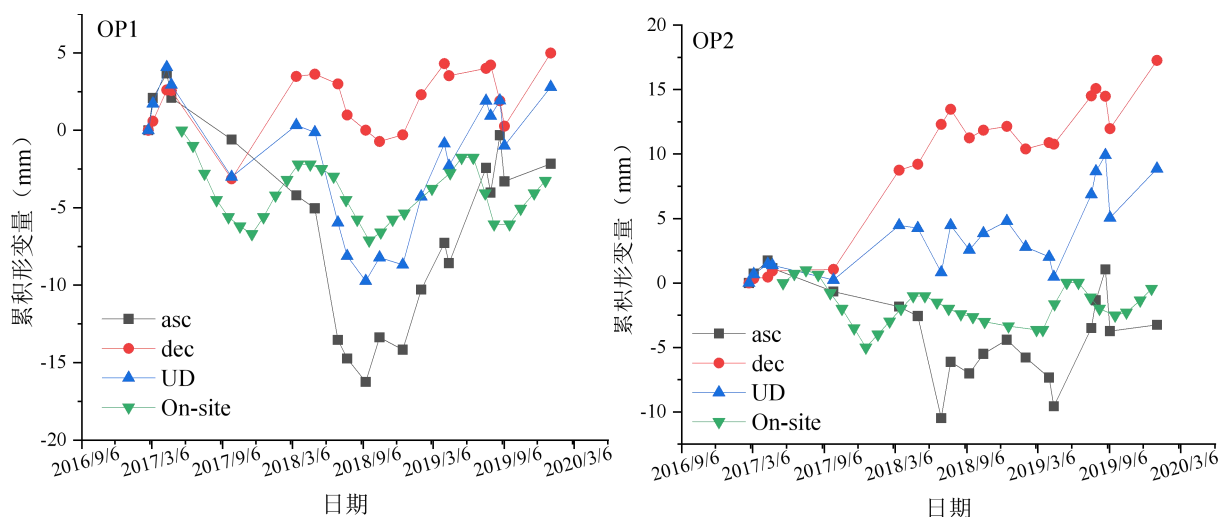


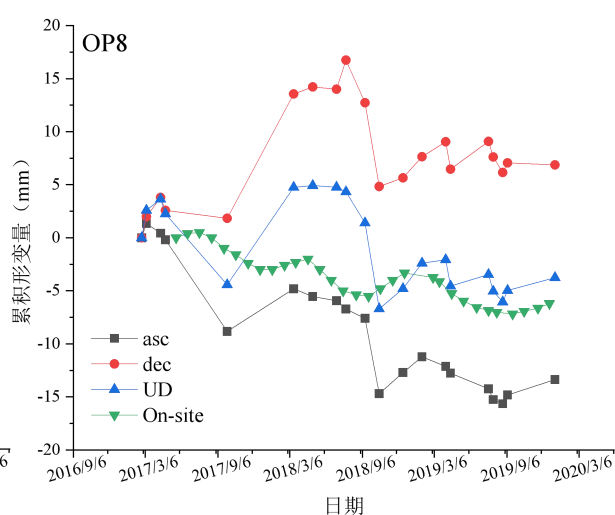
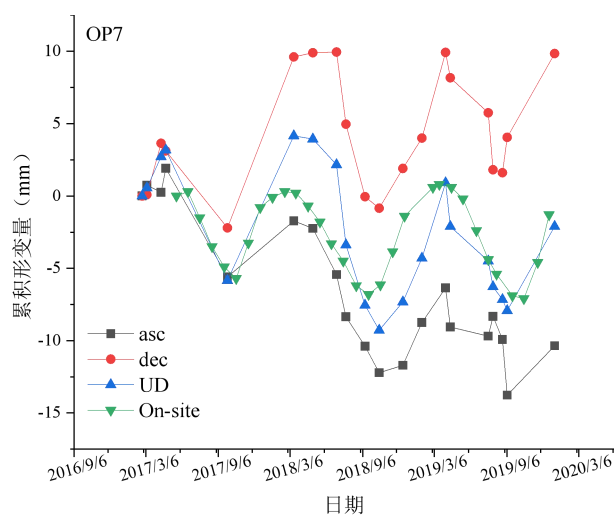
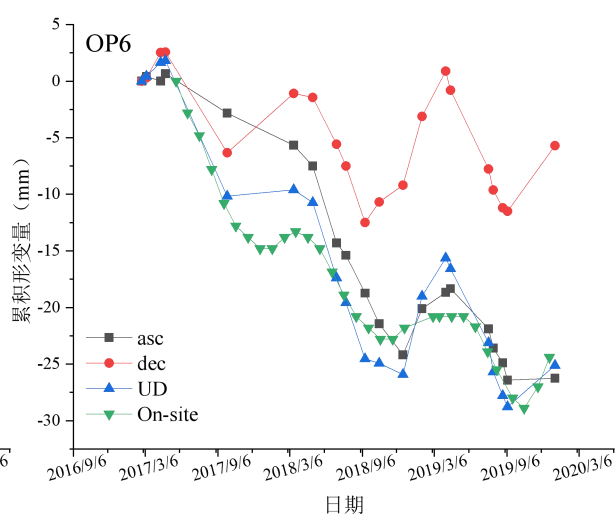
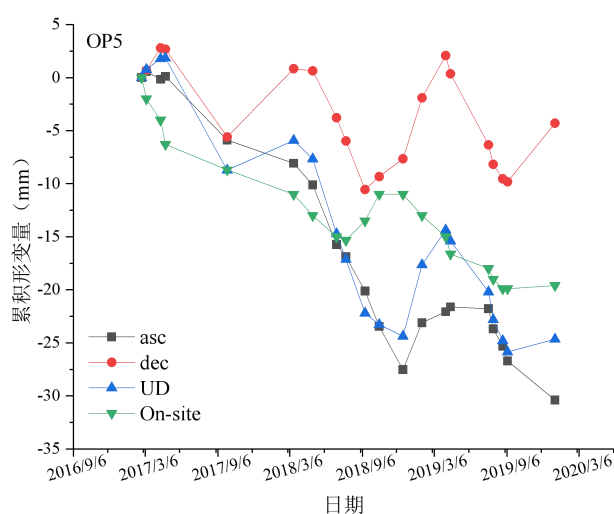
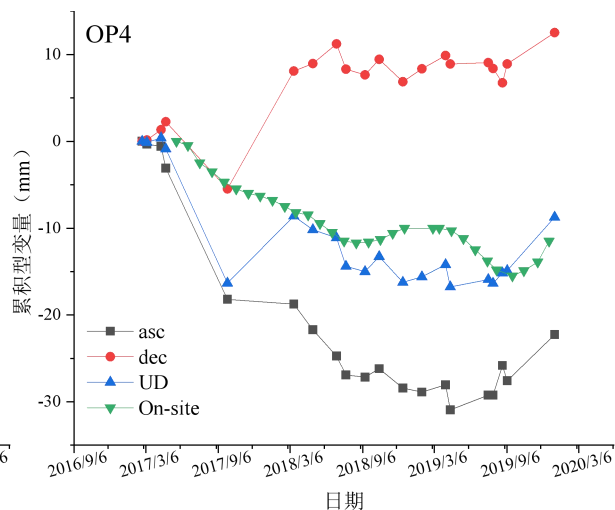
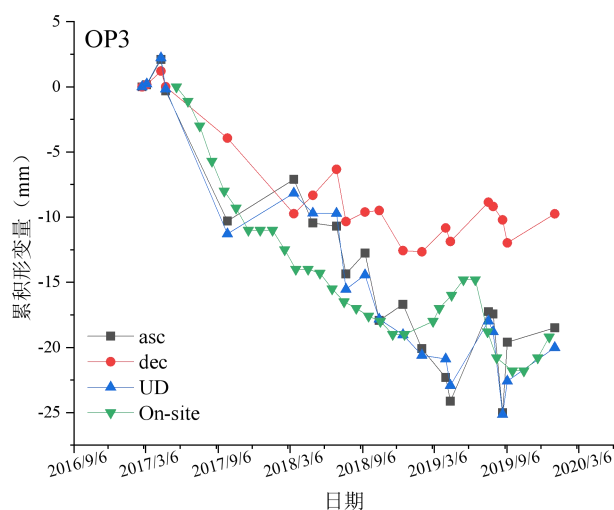
图4 青藏工程走廊 2017 至 2022 年垂直向时序累积形变 (单位: mm; Avg: 平均数; SD: 标准差; P1: 第 1 百分位数; P99: 第 99 百分位数)

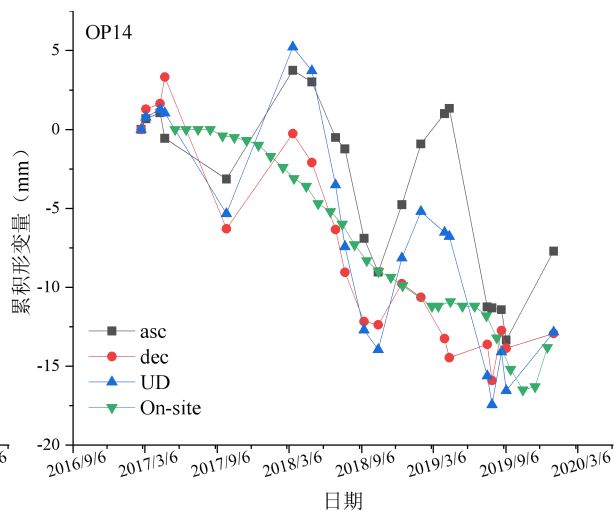
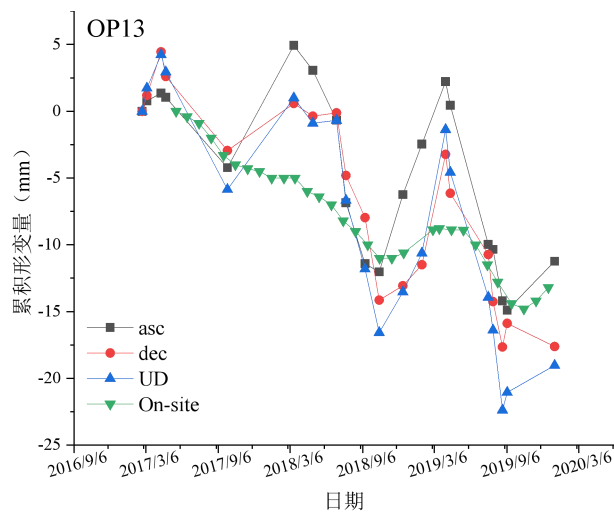
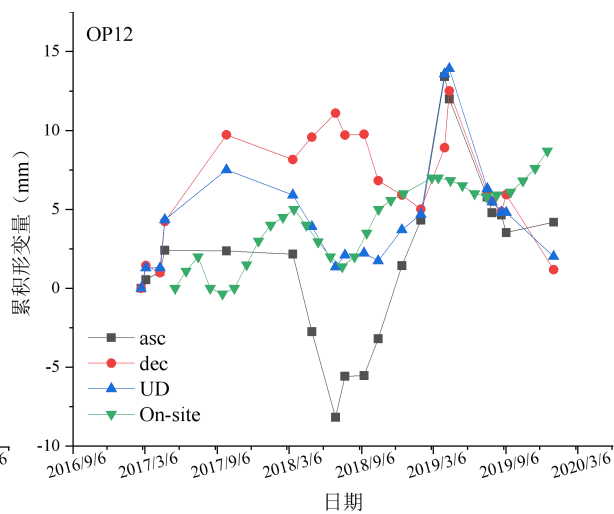
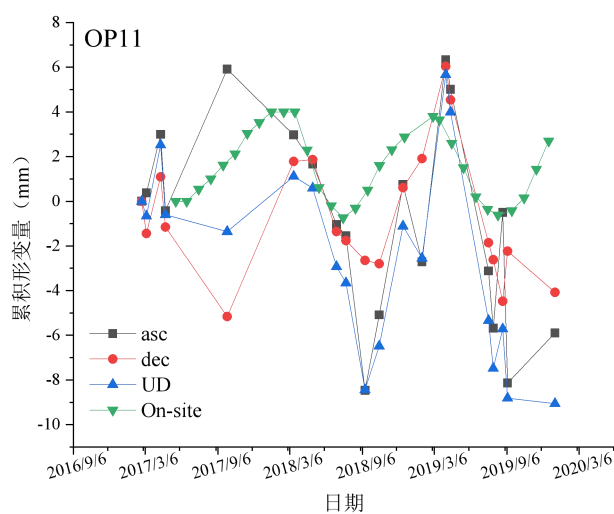
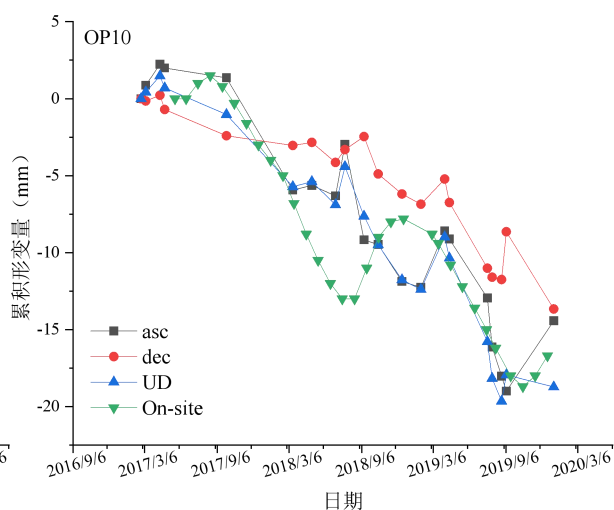
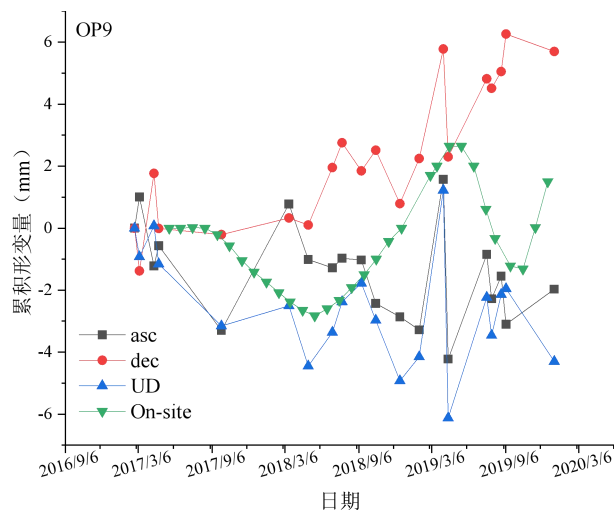
Figure 4 Vertical time-series cumulative deformation in the Qinghai-Tibetan Engineering Corridor from 2017 to 2022 (in mm; Avg: average; SD: standard deviation; P1: 1st percentile; P99: 99th percentile)

3 数据质量控制和评估

将 InSAR 形变监测结果与现场 16 个形变监测点 (OP1-16, 图 3) 数据进行对比, 结果如图 5 所示。结果表明, 垂直向形变的结果和现场监测的趋势具有较高一致性, 且误差多在 10 mm 以内, 最大不超过 30 mm, 其精度优于基于单一的升、降轨形变监测结果。而与单一 LOS 向升轨或降轨形变结果的比较则较多样化, 在有的区域符合, 有的区域不符合, 并且在有的区域基于升轨和降轨的结果表现并不一致, 与现场监测结果误差超过 50 mm, 表明垂直向形变结果更能反映地表真实沉降和抬升状态。







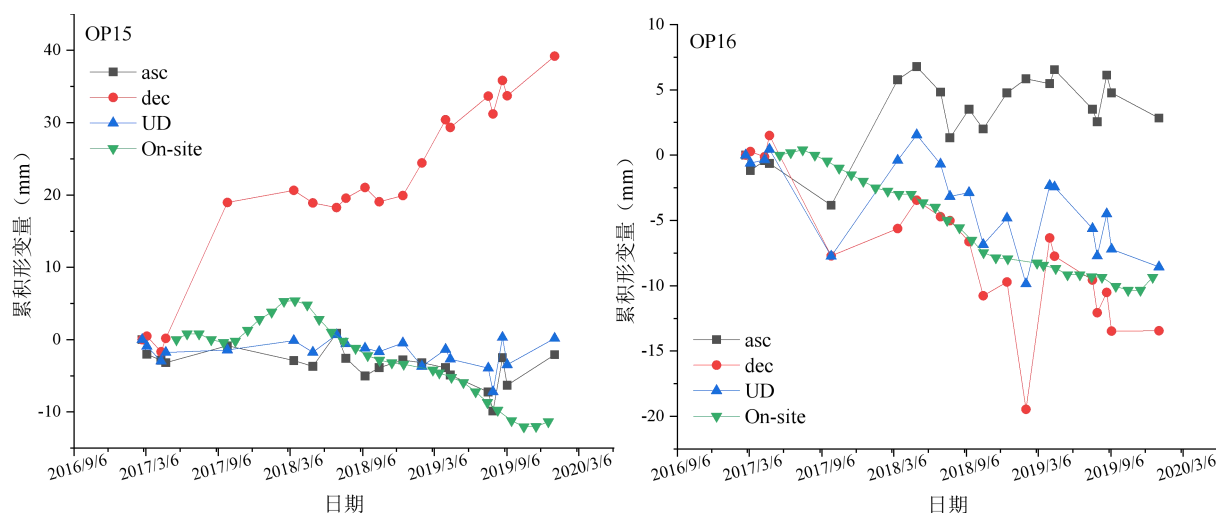


图5 InSAR 结果与现场监测结果对比 (asc 表示升轨 SAR 数据 LOS 向形变; dec 表示降轨 SAR 数据 LOS 向形变; UD 表示垂直向形变; EW 表示东西向形变; On-site 表示现场监测结果)

Figure 5 Comparison of InSAR results with on-site monitoring results (asc: LOS deformation from ascending SAR data; dec: LOS deformation from descending SAR data; UD: vertical deformation; EW: east-west deformation; On-site: on-site monitoring measurements)

4 数据价值

本数据集是首个覆盖青藏工程走廊多年冻土区全境的二维 (EW+UD) 形变数据集, 具有强时空连续性和免费开源特性。包含单一升、降轨 LOS 向、二维 EW 和 UD 向平均形变速率和时序累积形变量, 时间跨度为 2017 年至 2022 年。本数据集提供了所有的数据加工过程数据, 详细论述了数据生产过程和精度质量控制。利用该数据集可以详细分析青藏工程走廊多年冻土区地表形变时间演化过程, 同时也为各类型形变差异性分析提供证据, 也为 InSAR 技术在实际工程中的应用提供范例。

此外, 该数据集在多年冻土退化机制研究中的作用主要体现在结合活动层厚度反演模型, 揭示冻胀/融沉与地表形变的关系。数据对青藏公路、铁路维护的具体支撑作用 (如识别高风险沉降区段, 优化维护周期) 具有工程应用价值。形变数据可以作为输入, 验证冻土热-力耦合模型 (如 TTOP 模型) 的预测能力。未来结合 GPS 数据解算三维形变, 提升数据应用深度。基于时序形变数据, 开发冻土区工程灾害预警模型, 提供早期风险评估。在工程维护中, 建议优先关注垂直形变速率绝对值 $>10 \text{ mm/yr}$ 的区域, 结合现场踏勘确定病害类型 (如融沉、冻胀)。本数据集将更易于被多学科研究者和工程人员理解与应用, 从而最大化其社会和经济价值。

5 数据使用方法和建议

本数据集提供了覆盖青藏工程走廊 (以青藏公路、青藏铁路各自 20 km 作缓冲区合并而得到) 多年冻土区段 (西大滩—安多) 的地表形变数据, 包括一维升、降轨 LOS 向形变, 垂直向形变和东西向形变速率和时序累积形变量结果。结果为 GeoTIFF 格式, 可用常见的 GIS 软件, 如 ArcGIS、ArcGISpro、ERDAS IMAGE、ENVI、QGIS、GRASS GIS 等桌面端软件以及 Matlab、R、Python、GMT 等脚本语言打开。

致 谢

感谢 CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) 提供免费开源的 LiCSAR 产品；感谢 Yu Morishita 博士提供的免费开源的 InSAR 时序处理分析所用的 LiCSBAS 工具包源代码 (<https://github.com/yumorishita/LiCSBAS>) 及在数据处理过程中提供的解答和帮助。

数据作者分工职责

杜青松（1995—），男，贵州人，博士，助理研究员，主要从事寒区工程与环境灾害研究。主要承担工作：数据设计思路、数据处理与论文撰写。

李国玉（1975—），男，甘肃人，博士，研究员，主要从事冻土环境与寒区工程研究。主要承担工作：数据整体设计、质量评估、资金支持、论文指导及修改。

车涛（1976—），男，陕西人，博士，研究员，主要从事冰冻圈遥感、观测和模拟研究。主要承担工作：数据整体设计、质量控制总体规划与统筹、论文修改。

穆彦虎（1985—），男，新疆人，博士，研究员，主要从事冻土环境与寒区工程研究。主要承担工作：数据整体设计、质量评估、资金支持及论文指导。

马巍（1963—），男，甘肃人，博士，研究员，主要从事冻土力学及冻土工程研究。主要承担工作：数据质量控制总体规划与统筹、论文修改。

参考文献

- [1] DU Q S, CHEN D, LI G Y, et al. Preliminary study on InSAR-based uplift or subsidence monitoring and stability evaluation of ground surface in the permafrost zone of the Qinghai - Tibet engineering corridor, China[J]. Remote Sensing, 2023, 15(15): 3728. DOI:10.3390/rs15153728.
- [2] 马巍, 苏永奇. 青藏工程走廊多年冻土地震安全性研究进展[J]. 防灾减灾工程学报, 2021, 41(4): 723–733. DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.2021.04.003. [MA W, SU Y Q. Advances on seismic safety study of the permafrost sites along QinghaiTibet Project corridor[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2021, 41(4): 723–733. DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.2021.04.003.]
- [3] 程国栋, 赵林, 李韧, 等. 青藏高原多年冻土特征、变化及影响[J]. 科学通报, 2019, 64(27): 2783–2795. DOI:10.1360/TB-2019-0191. [CHENG G D, ZHAO L, LI R, et al. Characteristics, changes and impacts of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(27): 2783–2795. DOI:10.1360/TB-2019-0191.]
- [4] 吴青柏, 张中琼, 刘戈. 青藏高原气候转暖与冻土工程的关系[J]. 工程地质学报, 2021, 29(2): 342–352. DOI:10.13544/j.cnki.jeg.2020-084. [WU Q B, ZHANG Z Q, LIU G. Relationship between climate warming and frozen soil engineering in Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Engineering Geology, 2021, 29(2): 342–352. DOI:10.13544/j.cnki.jeg.2020-084.]
- [5] 冉有华, 李新, 程国栋, 等. 2005—2015 年青藏高原多年冻土稳定性制图[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(2): 183–200. [RAN Y H, LI X, CHENG G D, et al. Mapping the permafrost stability on the Tibetan Plateau for 2005–2015[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2021, 51(2): 183–200.]

- [6] 牛富俊, 程国栋, 石亚亚, 等. 泛北极多年冻土及重大线性工程稳定性状况[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(3): 587–603. DOI:10.19814/j.jese.2021.01034. [NIU F J, CHENG G D, SHI Y Y, et al. Permafrost and stability of the major linear engineering in the pan-Arctic region[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(3): 587–603. DOI:10.19814/j.jese.2021.01034.]
- [7] 朱建军, 李志伟, 胡俊. InSAR 变形监测方法与研究进展[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1717–1733. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20170350. [ZHU J J, LI Z W, HU J. Research progress and methods of InSAR for deformation monitoring[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1717–1733. DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20170350.]
- [8] DOIN M-P, LODGE F, GUILLASO S, et al. Presentation of the small baseline NSBAS processing chain on a case example: The Etna deformation monitoring from 2003 to 2010 using Envisat data [M] //FRINGE 2011 ESA Conference.
- [9] CHEN J, WU T H, ZOU D F, et al. Magnitudes and patterns of large-scale permafrost ground deformation revealed by Sentinel-1 InSAR on the central Qinghai-Tibet Plateau[J]. Remote Sensing of Environment, 2022, 268: 112778. DOI:10.1016/j.rse.2021.112778.
- [10] ZHANG Z J, WANG C, TANG Y X, et al. Surface deformation monitoring using time series TerraSAR-X images over permafrost of Qinghai-Tibet Plateau, China[C]//2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Beijing, China. IEEE, 2016: 5963–5966. DOI:10.1109/IGARSS.2016.7730558.
- [11] LAZECKÝ M, SPAANS K, GONZÁLEZ P J, et al. LiCSAR: an automatic InSAR tool for measuring and monitoring tectonic and volcanic activity[J]. Remote Sensing, 2020, 12(15): 2430. DOI:10.3390/rs12152430.
- [12] MORISHITA Y, LAZECKY M, WRIGHT T J, et al. LiCSBAS: an open-source InSAR time series analysis package integrated with the LiCSAR automated sentinel-1 InSAR processor[J]. Remote Sensing, 2020, 12(3): 424. DOI:10.3390/rs12030424.
- [13] MORISHITA Y. Nationwide urban ground deformation monitoring in Japan using Sentinel-1 LiCSAR products and LiCSBAS[J]. Progress in Earth and Planetary Science, 2021, 8(1): 6. DOI:10.1186/s40645-020-00402-7.
- [14] 周定义, 左小清, 喜文飞, 等. 顾及大气误差和相位解缠误差的 LiCSBAS 方法对高山峡谷地区地质灾害的探测[J]. 测绘通报, 2022(6): 114–120, 147. DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2022.0182. [ZHOU D Y, ZUO X Q, XI W F, et al. The LiCSBAS method considering atmospheric errors and phase unwrapping errors in the detection of geological disasters in alpine valley region[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2022(6): 114–120, 147. DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2022.0182.]
- [15] XU Z D, JIANG L M, NIU F J, et al. Monitoring regional-scale surface deformation of the continuous permafrost in the Qinghai–Tibet Plateau with time-series InSAR analysis[J]. Remote Sensing, 2022, 14(13): 2987. DOI:10.3390/rs14132987.
- [16] 张成龙, 李振洪, 余琛, 等. 利用 GACOS 辅助下 InSAR Stacking 对金沙江流域进行滑坡监测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(11): 1649–1657. DOI:10.13203/j.whugis20200675. [ZHANG C L, LI Z H, YU C, et al. Landslide detection of the Jinsha River Region using GACOS assisted InSAR stacking[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(11): 1649–1657.

DOI:10.13203/j.whugis20200675.]

- [17] JUNG J, KIM D J, PARK S E. Correction of atmospheric phase screen in time series InSAR using WRF model for monitoring volcanic activities[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(5): 2678–2689. DOI:10.1109/TGRS.2013.2264532.
- [18] YU C, PENNA N T, LI Z H. Generation of real-time mode high-resolution water vapor fields from GPS observations[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2017, 122(3): 2008–2025. DOI:10.1002/2016JD025753.
- [19] 胡俊. 基于现代测量平差的 InSAR 三维形变估计理论与方法 [D]. 长沙: 中南大学, 2013. [HU J. Theory and Method of Estimating Three-Dimensional Displacement with InSAR Based on the Modern Surveying Adjustment [D]. Central South University, Changsha, 2013.]
- [20] 胡俊, 李志伟, 朱建军, 等. InSAR 三维形变测量理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2021. [HU J, LI Z W, ZHU J J, et al. Theory and application of monitoring 3-D deformations with InSAR[M]. Beijing: Science Press, 2021.]

附录 数据处理过程参数设置

步骤	指令	关键参数	说明
Step 0-1	LiCSBAS01_get_geotiff.py	-f FRAME	输入的 Frame ID (例如: 070A_05479_131313)。默认为读取目录名。
		-s start_date	起始日期 (默认为 20141001)。
		-e end_date	结束日期 (20220331)。
		--get_gacos	如果有可用的 GACOS 数据, 是否下载。y
		--n_para int	并行处理的数量 (默认为 4)。
Step 0-2	LiCSBAS02_ml_prep.py	-i GEOCdir	输入目录, 包含 GEOC 数据堆栈。
		-o GEOCml_dir	输出目录 (默认为 GEOCml[nlook])。
		-n nlook	下采样因子 (默认为 1, 即不进行下采样)。
		--freq float	雷达频率 (默认为 5.405e9, 适用于 Sentinel-1)。
		--n_para int	并行处理的数量 (默认为 CPU 数量)。
Step 0-3	LiCSBAS03op_GACOS.py	-i in_dir	输入目录, 包含 GEOCml 目录下的 unw 数据堆栈。
		-o out_dir	输出结果的目录。
		-g gacosdir	GACOS 数据的目录路径 (默认为 GACOS)。
		--fillhole	对 SRTM3 数据中高程为 0 的 GACOS 数据进行空洞填充, 填充方法是通过周围像素的平均值来填补。
		--n_para int	并行处理的数量 (默认为 CPU 数量)。
Step 0-4	LiCSBAS04op_mask_unw.py	-i in_dir	输入目录, 包含 GEOCml* 目录下的 unw 数据堆栈。
		-o out_dir	输出掩模处理后的数据目录。
		-c coh_thre	平均相干性阈值 (例如 0.2)。
		-r x1:x2/y1:y2	要掩模的范围, 索引从 0 开始 (0:0/0:0 表示整个区域)。

步骤	指令	关键参数	说明
		-f txtfile	要掩模的范围列表文件（格式为 x1:x2/y1:y2）。
		--n_para int	并行处理的数量（默认为 CPU 数量）。
Step 0-5	LiCSBAS05op_clip_unw.py	-i in_dir	输入目录，包含 GEOCml*目录下的 unw 数据堆栈。
		-o out_dir	输出裁剪后的数据目录。
		-r x1:x2/y1:y2	要裁剪的范围（0:0/0:0 表示整个区域）。
		-g lon1/lon2/lat1/lat2	以经纬度坐标（lon1/lon2/lat1/lat2）指定裁剪范围。
		--n_para int	并行处理的数量（默认为 CPU 数量）。
Step 1-1	LiCSBAS11_check_unw.py	-d ifgdir	输入目录，包含 GEOCml*目录下的 unw 数据堆栈。
		-t tsadir	输出的 TS_GEOCml*目录（默认为 TS_GEOCml*）。
		-c coh_thre	平均相干性阈值（默认为 0.05）。
		-u unw_thre	Unwrap 数据的覆盖度阈值（默认为 0.3）。
Step 1-2	LiCSBAS12_loop_closure.py	-d ifgdir	输入目录，包含 GEOCml*目录下的 unw 数据堆栈。
		-t tsadir	输出的 TS_GEOCml*目录（默认为 TS_GEOCml*）。
		-l loop_thre	循环相位的 RMS 阈值（默认为 1.5 rad）。
		--multi_prime	使用多重主模式（考虑循环中的偏差）。
		--rm_ifg_list file	从文件中移除指定的 ifg 列表。
		--n_para int	并行处理的数量（默认为 CPU 数量）。
Step 1-3	LiCSBAS13_sb_inv.py	-d ifgdir	输入目录，包含 GEOCml*目录下的 unw 数据堆栈。
		-t tsadir	输出的 TS_GEOCml*目录。
		--inv_alg LS	非线性模式，WLS
		--mem_size float	每个分块的最大内存大小（单位：MB，默认 8000）。
		--gamma float	NSBAS 反演的 Gamma 值（默认 0.0001）。
		--n_para int	并行处理的数量（默认为 CPU 数量）。
		--n_unw_r_thre	用于反演的 unwrap 数据的阈值，通常是图像数量的倍数（例如 1.5×图像数）。较大的值（如 2.5）使得处理更快，但结果分辨率更低。默认为 1（C 波段为 0.5）。
		--keep_incfile	保留增量和残差文件（默认删除）。
		--gpu	使用 GPU（需要安装 cupy 模块）。
Step 1-4	LiCSBAS14_vel_std.py	-t tsadir	输入 TS_GEOCml*目录。
		--mem_size float	每个分块的最大内存大小（单位：MB，默认 4000）。
		--gpu	使用 GPU（需要安装 cupy 模块）。
Step 1-5	LiCSBAS15_mask_ts.py	-t tsadir	输入 TS_GEOCml*目录。
		-c coh_thre	平均相干性阈值。
		-u n_unw_r_thre	Unwrap 数据的阈值，通常是图像数量的倍数（例如 1.5×图像数）。
		-v vstd_thre	速度标准差的阈值（单位：mm/年）。

步骤	指令	关键参数	说明
		-T maxTlen_thre	连接网络的最大时间长度阈值（单位：年）。
		-g n_gap_thre	网络中的最大间隙数。
		-s stc_thre	时空一致性阈值（单位：mm）。
		-i n_ifg_noloop_thre	无回路的干涉图像数的阈值。
		-l n_loop_err_thre	循环误差数的阈值。
		-r resid_rms_thre	反演残差的 RMS 阈值（单位：mm）。
		--vmin / --vmax	速度图的最小/最大值（默认为自动设置）。
		--keep_isolated	保留（不掩模）孤立像素。
		--noautoadjust	禁止自动调整阈值（默认情况下，所有像素都被掩模时会自动调整阈值）。
Step 1-6	LiCSBAS16_filt_ts.py	-t tsadir	输入 TS_GEOCml*目录。
		-s filtwidth_km	空间滤波器宽度（单位：km，默认为 2km）。
		-y filtwidth_yr	时间滤波器宽度（单位：年，默认为自动，按平均时间间隔的三倍）。
		-r deg	除斜率外的去除阶数（默认为不去除斜率）。
		--hgt_linear	使用线性方法减去与地形相关的分量（默认为不应用）。
		--hgt_min	在地形线性方法中考虑的最小高程（单位：米，默认为 200 米）。
		--hgt_max	在地形线性方法中考虑的最大高程（单位：米，默认为 10000 米，默认不生效）。
		--nomask	对未掩模数据应用滤波器（默认对掩模数据应用）。
		--n_para	并行处理的数量（默认为 CPU 数量）。
		--range / --range_geo	指定去斜率和地形线性方法的范围（以像素索引或经纬度坐标表示）。
		--ex_range / --ex_range_geo	指定排除的范围。

论文引用格式

杜青松, 李国玉, 车涛, 等. 2017–2022 年青藏工程走廊多年冻土区地表形变数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2025, 10(4). (2025-12-05). DOI: 10.11922/11-6035.ncdc.2024.0176.zh.

数据引用格式

杜青松, 李国玉, 牛富俊, 等. 青藏工程走廊多年冻土区地表二维形变数据集(2017-02—2022-03)[DS/OL]. 国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdac.ac.cn>), 2023. (2024-12-23). DOI: 10.11888/Cryos.tpdac.300400.

A dataset of InSAR-derived ground deformation in permafrost zone of the Qinghai-Tibet Engineering Corridor, China (2017–2022)

DU Qingsong^{1,2,3,4}, LI Guoyu^{1,2,3,4*}, CHE Tao^{1,4} MU Yanhu^{1,2,3,4}, Ma Wei^{1,2,4}

1. State Key Laboratory of Cryospheric Science and Frozen Soil Engineering, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P.R. China
2. International Research Center for China-Mongolia-Russia Cold and Arid Regions Environment and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P.R. China
3. Da Xing'an ling Observation and Research Station of Frozen-Ground Engineering and Environment, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Jiagedaqi 165000, P.R. China
4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R. China

*Email: guoyuli@lzb.ac.cn

Abstract: Under the dual effect of global warming and human activities, permafrost degradation in the Qinghai-Tibet Engineering Corridor (QTEC), located in the hinterland of Qinghai-Tibet Plateau (QTP), has been intense, triggering a series of geohazards and posing significant challenges to the maintenance and safety of linear engineering infrastructures such as the Qinghai-Tibet Highway (QTH) and Qinghai-Tibet Railway (QTR). Ground deformation, as the primary indicator of common embankment and pavement distresses as well as related environmental geological hazards, can be as an effective proxy for engineering problems. While until now, there is no relevant ground deformation dataset covering the whole QTEC permafrost section, especially in the vertical (up and down, UD) deformation. In this study, LiCSAR (Looking Into Continents from Space with Synthetic Aperture Radar) products were firstly processed using time-series InSAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry) via the LiCSBAS toolkit (an open-source InSAR time-series analysis package developed by the Looking inside the Continents from Space project) to obtain one-dimensional line-of-sight (LOS) deformation results of the surface ascending and descending orbits in the permafrost zone of the QTEC. Then, using SAR image acquisition dates as a constraint, we filtered out the ascending and descending orbit time-series InSAR deformation datasets with the same or similar acquisition dates for two-dimensional surface deformation, namely surface east-west (EW) and vertical (UD) directions, while ignoring north-south deformation. As a result, both one-dimensional (ascending and descending LOS) and two-dimensional (EW and UD) deformation velocities and cumulative time-series deformation for 51 periods from 2017 to 2022 were obtained. Comparison with field-based monitoring indicates that the vertical deformation results show an accuracy mostly within 10 mm, with a maximum error not exceeding 30 mm. This dataset can not only be used as a benchmark for subsequent InSAR deformation monitoring, but also provide data support and effective suggestions for the normal operation and maintenance of transportation linear projects, such as QTH and QTR. In addition, it can be used as input for the inversion of permafrost active layer thickness and other related geotechnical analyses.

Keywords: Qinghai-Tibet Engineering Corridor; permafrost; ground deformation; InSAR; cold regions engineering

Dataset Profile

Title	Two-dimensional ground deformation dataset in permafrost zone of the Qinghai-Tibet Engineering Corridor, China (from February 2017 to March 2022)
Data authors	DU Qingsong, LI Guoyu, NIU Fujun, CHEN Dun
Data corresponding author	LI Guoyu (guoyuli@lzb.ac.cn)
Time range	2017–2022
Geographical scope	The entire permafrost section of Qinghai-Tibet Engineering Corridor, from Xidatan to Ando, including a 20 km-wide buffer zone along both the Qinghai-Tibet Highway and Qinghai-Tibet Railway (32°09'49.01"–36°13'39.41"N, 91°17'49.60"–95°13'15.60"E)
Spatial resolution	0.001° (WGS-84 geographic coordinate system, ~100 m)
Data volume	1.76 GB
Data format	GeoTIFF (*.tif)
Data service system	https://doi.org/10.11888/Cryos.tpd.300400 https://www.scidb.cn/doi/10.11888/cryos.tpd.300400
Sources of funding	The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research (STEP) Program (2019QZKK0905); the Open Research Project of the Qinghai Provincial Key Laboratory of Tibet Plateau Highway Construction and Maintenance Technology (2024-JY-D-03); the Independent Research Project of the State Key Laboratory of Frozen Soils Engineering (SKLFSE-ZQ-202303); the Major Science and Technology Program of Gansu Province (23ZDFA017); the Science and Technology Program of Xizang Autonomous Region (Grant No. XZ202401ZY0040), and the Program of the Gansu Province Science and Technology Foundation for Youths (25JRRA515).
Dataset composition	The dataset consists of a total of five compressed files (*.7z) and one pdf file (*.pdf). (1) Time-series cumulative deformation results are provided in four compressed files: Ascending.7z, Descending.7z, UD.7z and EW.7z, representing cumulative deformation in the ascending LOS, descending LOS, vertical, and east-west direction cumulative deformation, respectively. Each archive contains 51 period-specific cumulative deformation files named in the format asc_YYYYMMDD.tif, dec_YYYYMMDD.tif, ud_YYYYMMDD.tif, and ew_YYYYMMDD.tif, where YYYYMMDD denotes the observation date (e.g., 20170225). (2) Deformation velocity results from 2017 to 2022 are included in the Velocity.7z archive, containing four files in total: ascending.tif, descending.tif, ew.tif, and ud.tif, corresponding to deformation rates in the ascending LOS direction, descending LOS direction, east-west direction, and vertical direction, respectively; (3) The pdf file, "Result plotting.pdf" provides visualizations of all the results.