

古北口长城景观视觉感知区位数据集

李照航¹, 李仁杰^{1,2,3*}, 孙宝磊¹, 李家慧¹

1. 河北师范大学地理科学学院, 石家庄 050024;
2. 河北师范大学地理计算与规划研究中心, 石家庄 050024;
3. 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 石家庄 050024

摘要: 长城是具有历史文化、形态美学等多重意义的重要视觉景观资源, 视觉感知计算分析是挖掘长城景观资源价值, 呈现和阐释长城多维意义的重要路径。通过设计长城景观系统的语义特征点提取和编码规则, 基于古北口长城资源本体和 ALOS 12.5 m DEM 数据生成了景观语义特征点, 并对每个特征点进行视域分析得到可视域栅格; 以景观视觉感知区位信息模型 (LVPLM) 为基础, 选择 NetCDF 多维数据格式建立了古北口长城景观视觉感知区位数据集。数据集包括 3 部分: (1) 人工选择语义特征点数据子集; (2) 程序自动选择语义特征点数据子集; (3) 验证点数据。(1) 和 (2) 数据子集内容包括: (a) 古北口长城本体要素与语义特征点矢量数据; (b) 古北口长城景观视觉感知区位数据。数据集存储为.shp 和.nc 格式, 由 64 个数据文件组成, 数据量为 6.58 GB (压缩为 1 个文件, 63.8 MB)。

关键词: 视觉感知区位; 景观语义特征点; 长城; NetCDF

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.04>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.04>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.04.03.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.04.03.V1>.

1 前言

文化遗产是重要的历史文化载体和人类历史发展的见证, 文化遗产的数字化^[1]、活化^[2]研究日益成为近年来国内外学者关注的重点, 而文化遗产的本体价值及其所带来的体验价值仍处于核心位置。2019 年 7 月, 中央全面深化改革委员会第九次会议审议通过了《长城、大运河、长征国家文化公园建设方案》, 标志着国家文化公园的建设正式展开^[3]。长城是我国现存体量大、年代跨度久远的线性文化遗产, 具有极强的串并能力, 在促进长城地带经济发展、文化交流和民族融合方面有重要作用^[4]。墙体、敌台、烽火台、关堡、马面等长城本体景观的空间组合与配置建构了美学和文化意义, 而与环境背景的巧妙融合, 则进一

收稿日期: 2023-11-10; 修订日期: 2024-02-22; 出版日期: 2024-03-25

基金项目: 河北省自然科学基金 (D2023205011); 国家自然科学基金 (41471127)

*通讯作者: 李仁杰 JZD-9102-2024, 河北师范大学地理科学学院, lrjgis@hebtu.edu.cn

数据引用方式: [1] 李照航, 李仁杰, 孙宝磊等. 古北口长城景观视觉感知区位数据集[J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(1): 32–41. <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.04>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.04>.

[2] 李照航, 李仁杰, 孙宝磊等. 古北口长城景观视觉感知区位数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.04.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.04.03.V1>.

步让长城成为了具备重要价值的视觉景观资源。视觉是景观感知的基本条件^[5]，长城国家文化公园高质量建设与发展需要全面探寻能够体验长城景观意义的视觉感知区位。但传统野外考察方式难以全面寻找具有丰富语义信息的视觉景观感知区位，现有的研究中也尚未有从资源的角度去生产具有景观视觉感知区位信息的数据集产品。

古北口长城位于北京市密云区古北口镇东南、承德市滦平县南部，共包括司马台、金山岭、蟠龙山和卧虎山四个区段，具有视野开阔、敌楼密集、景观奇特、工艺精良、原始面貌保持完好等特点，在视觉景观资源属性上具有较高价值。本数据集对古北口长城景观本体及其视觉感知区位信息进行了研发集成，一方面以景观语义特征点的形式实现了对古北口长城景观资源本体的数字化表达，并通过编码表达其景观语义属性信息；另一方面以 NetCDF 多维栅格数据格式对古北口长城景观视觉感知区位信息进行集成化存储，建构视觉感知区位与景观语义之间的可视关系，实现了目标景观、感知区位和可视状态的三方面信息的集成。数据集可以在遗产保护和文旅融合发展等方面发挥数据支撑作用，为基于视觉感知的景观资源价值挖掘提供支持。

2 数据集元数据简介

《古北口长城景观视觉感知区位数据集》^[6]的名称、作者、地理区域、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《古北口长城景观视觉感知区位数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	古北口长城景观视觉感知区位数据集
数据集短名	Gubeikou_LVPLM
作者信息	李照航 JTU-3036-2023, 河北师范大学地理科学学院, lizhgh@163.com 李仁杰 JZD-9102-2024, 河北师范大学地理科学学院, lrjgis@hebtu.edu.cn 孙宝磊 JYP-6636-2024, 河北师范大学地理科学学院, stayreal9523@163.com 李家慧 JYP-6677-2024, 河北师范大学地理科学学院, ljh06524@163.com
地理区域	古北口长城沿线 5 km 范围方格
空间分辨率	12.5 m
数据格式	.shp、.nc
数据量	63.8 MB (压缩后)
数据集组成	古北口长城本体要素和景观语义特征点矢量数据、景观视觉感知区位多维栅格数据
基金项目	河北省自然科学基金 (D2023205011); 国家自然科学基金 (41471127)
数据计算环境	ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	(1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报 (中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[7]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

3.1 数据来源

(1) 长城景观资源本体数据来源于全国文物普查中的明长城遗产数据和长城小站¹志愿者地理信息平台上的矢量数据。研究区域涉及长城墙体 26.49 km, 敌台 154 座, 烽火台 13 座, 铺房 1 座, 水关 2 座、关堡 1 座。

(2) DEM 数据来源于 NASA 地球科学数据网站², 采用 ALOS 卫星数据, 其空间分辨率为 12.5 m。

(3) 环境背景地理要素采用中国 1 : 100 万基础地理数据集。

(4) 验证数据由项目组实地调研采集。

3.2 数据集组织框架

使用景观视觉感知区位信息模型 (LVPLM)^[8]对数据集进行组织, 将每个景观语义特征点作为一个基本视觉感知区位计算单元, 结果数据以 NetCDF 多维数据格式存储。数据集的组织模型可表示为公式(1)。

$$LVPLM=f(X, Y, Points) \quad (1)$$

式中, X 、 Y 为数据集的区位维度, 维度值为景观视觉感知区位的 X 、 Y 坐标; $Points$ 为数据集特征点维度, 维度值为语义特征点的编码。通过 X 、 Y 、 $Points$ 三个维度可以表征空间区位和特征点编码信息, 通过数据变量可以表征视觉感知信息, 实现景观语义特征点及其视觉感知状态的双向查询, 从而建立起古北口长城景观与视觉感知区位之间的相互关联。

3.3 研发流程

首先基于基础数据解译生成景观资源本体数据, 根据特征点提取和编码规则构建古北口长城景观语义特征点矢量数据集: 包括古北口长城墙体线和长城本体点要素(烽火台等), 以及景观语义特征点 shapefile 格式数据; 然后对每个景观语义特征点进行视域计算, 得到的可视栅格通过景观视觉感知区位信息模型集成组织, 从而基于 NetCDF 多维栅格数据结构建立长城景观视觉感知区位数据集; 最终通过数据集可提取出景观视觉感知信息。数据研发流程如图 1 所示。

(1) 长城景观资源本体数据的生成

综合长城小站的长城分布矢量数据和全国文物普查数据的属性信息数据, 并以 ArcGIS Earth 三维地形环境背景为参考, 协同解译、校正、生成高精度的古北口长城景观资源本体数据。包含长城墙体线数据和长城本体要素点数据(例如敌台、烽火台等), 其中长城墙体线取墙体的中心线, 敌台、烽火台等本体景观要素取其几何中心点, 高度根据景观要素高度进行设定。

(2) 长城景观语义特征点提取与编码

景观语义特征点是视觉景观资源数字化表达的基础, 按照地图学制图综合思想, 景观

¹ 长城小站. <http://www.thegreatwall.com.cn/>.

² NASA 地球科学数据网站. <https://www.earthdata.nasa.gov/>.

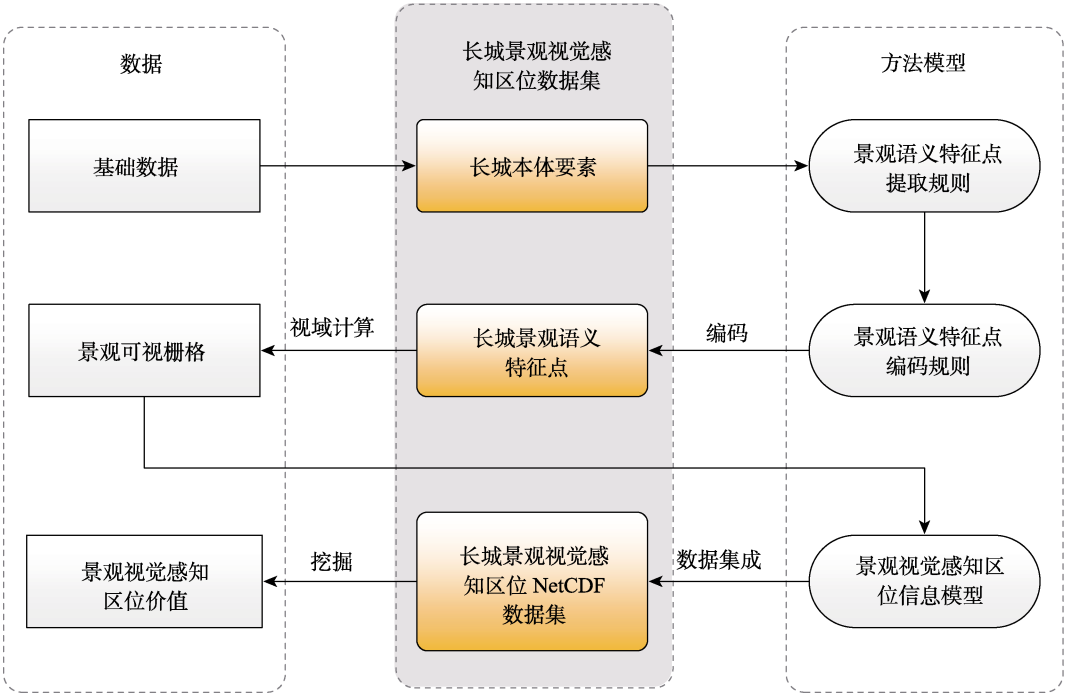


图 1 数据集研发流程图

本体可抽象为可最大化表征景观语义原真性的景观语义特征点^[9-11]。本数据集在郭风华等提出的长城视觉景观资源分类及语义特征点选取规则^[12]基础上,设计语义特征点提取规则。

按照景观语义特征点尽可能抽象概括长城形态特征、充分表达景观语义的宗旨,墙体以 30 m 为平均间隔提取语义特征点,在沿墙体延展方向的地形特征明显变化处取点,特征点高度取古北口区段长城的平均高度 6 m。基于上述原则,将特征点根据提取方式不同分为景观要素点、地形特征点和平均间隔点 3 类:①景观要素点,即烽火台、敌台等长城本体,此处直接使用本体要素中的点数据,因其功能、可视状态的重要性,原则上全部保留;②地形特征点,在长城墙体在平面或高程方向上明显转折变化处提取,并在延展方向加密取点,在程序自动提取方法中采用 3D Douglas-Peucker 算法来筛选出长城墙体线的地形特征点^[13],设置 15 m 容差值计算提取;③平均间隔点,采用 30 m 的平均间隔距离在长城墙体线上补充取点。提取方法如图 2,按照语义特征点选取规则,分别采用人工判别提取和编写程序自动提取两种方式,提取古北口长城各区段的景观语义特征点。

特征点提取后,选择层次分类编码法对系统中所有景观语义特征点统一进行编码,基本编码结构设计为所属区段码、区位顺序码、结构次序码、要素类型码 4 位代码。

(3) 景观视觉感知计算

景观视觉感知计算的方式是基于 DEM 数据,对构成古北口长城景观系统的所有景观语义特征点依次进行可视域计算分析,分别以整个研究区范围和 10 km 作为可视范围进行计算,生成每个景观语义特征点不同视域范围的可视域栅格,即为可覆盖整个计算区域的栅格像元集合,每个栅格像元值为 1 或 0,分别代表本区域对当前特征点可视或不可视。

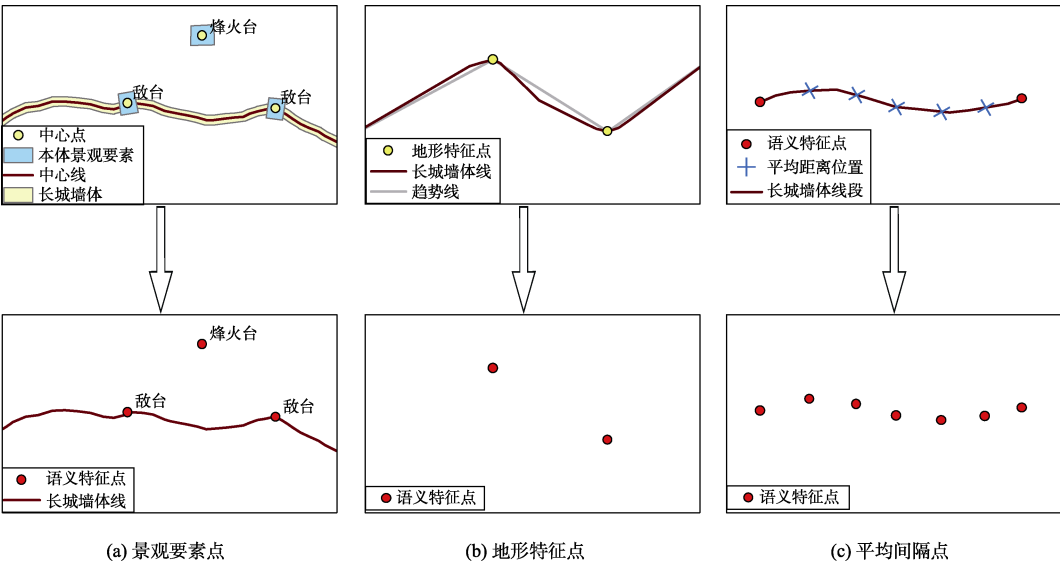


图 2 特征点提取规则示意

通过景观视觉感知计算的结果即可得到视觉感知区位的空间分布信息。

(4) 基于 LVPLM 的景观视觉感知区位数据集成

按照 LVPLM 模型组织架构，利用 ArcGIS 多维工具箱中的“栅格转 NetCDF”工具，将计算生成的所有特征点可视栅格图层集成为.nc 多维数据，得到古北口长城景观视觉感知区位数据。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集由 3 部分构成：(1) 人工选择语义特征点数据子集；(2) 程序自动选择语义特征点数据子集；(3) 验证点数据（分别存储在名为“Gubeikou_LVPLM_Manually”“Gubeikou_LVPLM_Automatically_10km”和“Gubeikou_LVPLM_Validation_Data”的三个文件夹中）。其中(1)和(2)数据子集内容包括：(a) 古北口长城本体要素与语义特征点矢量数据，数据格式为.shp；(b) 古北口长城景观视觉感知区位数据，数据格式为.nc。

4.2 数据结果

(1) 古北口长城景观语义特征点

通过人工选点方式共提取出古北口长城语义特征点 941 个，通过程序选点方式共提取出语义特征点 944 个。整体空间分布及特征点人工方法提取结果如图 3 所示（为便于表达，图上特征点已做抽稀显示）。

同时，每个特征点都记录上了承载其景观语义信息的唯一编码（表 2），在当前数据集范围尺度下，各要素均使用一个特征点来表达，因此结构次序码（编码第五位数字）均为 1，后续如需对要素增补特征点，可按照结构次序码顺序编排。

(2) 古北口长城景观视觉感知区位总体统计特征

数据集实现了对景观系统整体视觉感知区位信息的集成。通过对数据的聚合，可得各

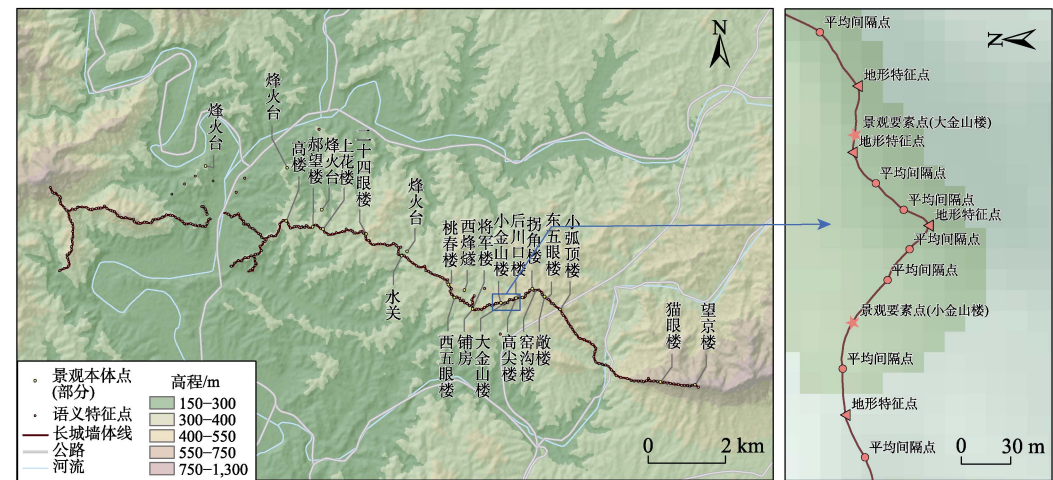


图 3 古北口长城景观语义特征点提取结果图

表 2 古北口长城景观语义特征点编码表（节选）

编码	区段(代码)	区位顺序	结构次序	要素类型(代码)	编码语义解析
100111	司马台(1)	001	1	墙体(1)	司马台子系统 1 号区位墙体特征点
101511	司马台(1)	015	1	墙体(1)	司马台子系统 15 号区位墙体特征点
110412	司马台(1)	104	1	敌台(2)	司马台子系统 104 号区位敌台特征点
211014	金山岭(2)	110	1	铺房(4)	金山岭子系统 110 号区位铺房特征点
220613	金山岭(2)	206	1	烽火台(3)	金山岭子系统 206 号区位烽火台特征点
220716	金山岭(2)	207	1	关堡(6)	金山岭子系统 207 号区位关堡特征点
301215	蟠龙山(3)	012	1	水关(5)	蟠龙山子系统 12 号区位水关特征点
317911	蟠龙山(3)	179	1	墙体(1)	蟠龙山子系统 179 号区位墙体特征点
400513	卧虎山(3)	005	1	烽火台(3)	卧虎山子系统 5 号区位烽火台特征点
403312	卧虎山(3)	033	1	敌台(2)	卧虎山子系统 33 号区位敌台特征点

空间位置单元的视觉感知度量值，其反映的是视觉感知区位上景观系统总体可视特征点的数量多少。由此可进行景观视觉感知总体统计特征分析，可视景观语义特征点的数量越多，潜在感知区位价值越高，反之则价值越低。古北口长城景观视觉感知区位数据集表达的总可视特征点数量视觉感知区位空间分布情况如图 4 所示。

（3）古北口长城景观可视区位

基于古北口长城景观视觉感知区位数据集可提取：①特定语义特征点的视觉感知区位，即目标特征点的可视域空间分布信息；②特定区位的可视语义特征点，即在特定观察点可以看到哪些语义特征点。

选取代表性景观猫眼楼、小金山楼，识别其可视区位的空间分布特征。如图 4(e)，位于司马台区段的猫眼楼景观可视区位范围较大且较为集中成片，主要分布在西南方向；而金山岭区段的小金山楼可视区位却较为分散地分布在长城内外，如图 4(d)所示。在金山岭

长城区段的南、北两侧各选取观察点，根据数据集包含的视觉感知区位信息可以得到该区位的可视特征点情况，如图 4(b)和图 4(c)所示。

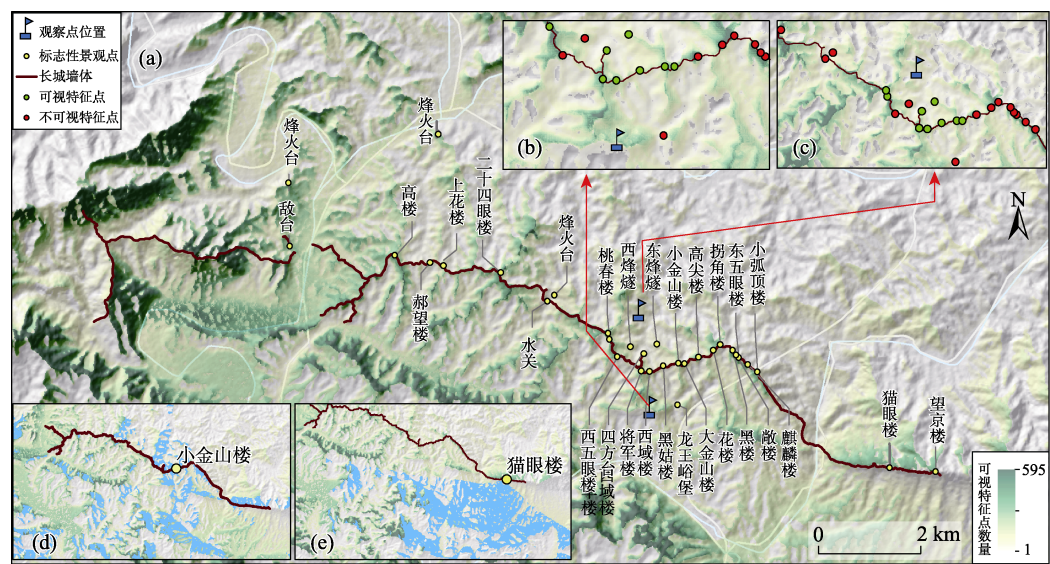


图 4 古北口长城视觉感知区位信息空间可视化图

4.3 数据结果验证

项目组于 2023 年 8 月 9–13 日期间赴古北口长城研究区开展了计算结果精度验证。综合考虑长城景观本体特征、视觉感知区位的空间分布和精度验证目标，设定了长城上验证区、长城沿线集中验证区和随机验证区三类验证区域。精度验证主要评估真实场景中的视觉感知与视觉感知计算结果的一致性，进而评估长城景观视觉感知区位数据集的精度。

(1) 验证区选择和观测点数据采集

长城上验证区即由位于长城上的观测点组成的验证区域，在金山岭区段集中设置观测点位构建验证区；长城沿线集中验证区选择在司马台区段南侧，集中设立 500 m×500 m 的规则方格共计 11 个；随机验证区的观测点则沿古北口长城两侧的交通线、村庄等附近随机选取（图 5）。

项目组成员首先前往设定的验证区域采集观测信息。如目标点位实地因地形、地表覆盖、人员安全等客观因素限制不能到达，则将该点位记录为不可达；如目标点位可达，到达观测点后通过手持 GPS 仪定位当前坐标，拍照记录当前点位的长城单体景观可视情况（照片包含拍摄方位角等信息），使用奥维互动地图软件加载三维地形视图和验证区单体景观语义特征点矢量数据，对照辅助识别每张照片上所有可视单体景观的语义特征点编码，最后将上述信息与观测点编号、影响可视情况因素等信息填写至预设的实地观测信息采集表单中提交汇总（表 3）。经数据整理，验证工作共计得到有效观测点数据 137 条，其中长城上验证区 27 条，长城沿线集中验证区 60 条，随机验证区 50 条。

(2) 精度验证方法与结果

通过对比每个观测点实地观测信息与数据集中相应区位的可视单体景观（如烽火台、

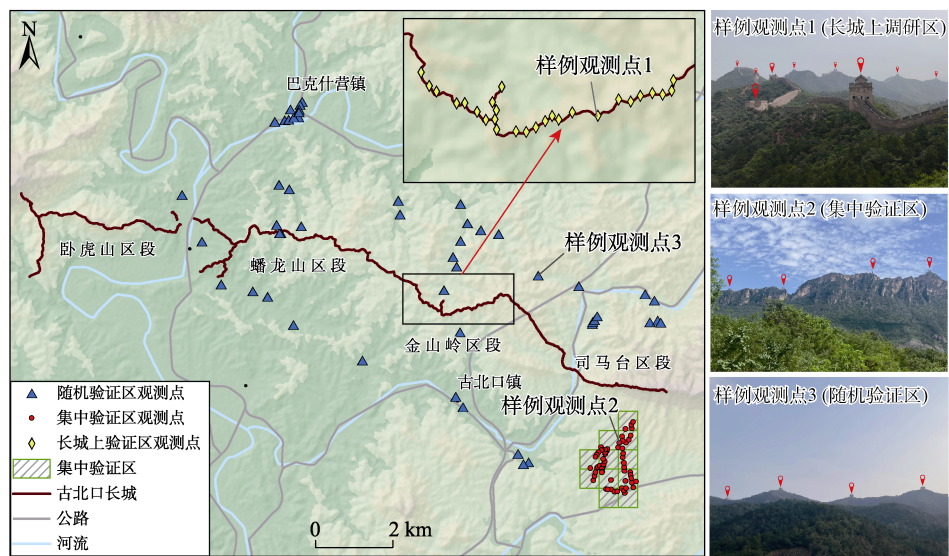


图 5 古北口长城验证区及观测点分布图

表 3 古北口长城实地观测信息采集表（节选）

观测时间	观测点位置	是否可达	观测点编号	纬度(N)	经度(E)	影响可视因素	主要可视单体语义特征点编码	可视单体要素数量
2023/8/9 12:40	长城上	是	J16	40°40'44.59"	117°15'4.10"	无	206112; 205512; 205012; 204712	4
2023/8/9 11:41	长城上	是	J23	40°40'39.20"	117°14'44.75"	地形遮挡	206712; 207212; 207912; 15211014; 211112; 211512; 212112; 212313; 213212; 213612; 214012; 214312; 214812; 215212; 215712	15
2023/8/9 12:14	长城上	是	J19	40°40'40.36"	117°14'59.27"	植被遮挡	201212; 202112; 202312; 8202912; 203612; 204712; 205012; 205512	8
2023/8/11 15:49	长城外	是	A742-B19	40°40'24.18"	117°16'51.20"	植被遮挡; 天气云雾	114212; 115112; 115712; 5113612; 112812	5
2023/8/12 13:54	长城外	是	A1059-1	40°42'3.59"	117°14'25.72"	植被遮挡; 建筑遮挡; 地形遮挡	无	0
2023/8/12 10:54	长城外	是	A420-7	40°38'37.25"	117°17'23.94"	植被遮挡; 建筑遮挡	100512; 102212; 103812	3
2023/8/11 11:19	长城外	是	A735-1	40°40'15.72"	117°14'24.61"	天气云雾	210312	1
2023/8/10 17:11	长城外	否	A1237-B10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

敌台等）特征点信息在可视特征点数量和可视特征点对应关系的匹配程度，计算得到所有观测点的数量吻合度和内容吻合度^[8]，按照不同验证区类型分别计算数量吻合度和内容吻

合度的平均值得到数据集验证结果（表 4）。总体数量吻合度平均值和内容吻合度平均值分别为 76.37%和 70.69%，具有较高吻合度，此外，在观测过程中发现 DEM 精度、景观保存现状、建筑和植被遮挡等均会影响数据集的精度。验证结果表明数据集结果与实地观测结果整体一致程度较高，数据集景观视觉感知区位信息具备较好的可信度。

表 4 古北口长城 LVPLM 数据集验证结果统计表

验证区类型	观测点数量	数量吻合度平均值	内容吻合度平均值
长城上验证区	27	94.55%	76.32%
集中验证区	60	64.28%	62.29%
随机验证区	50	81.07%	77.73%
总体	137	76.37%	70.69%

5 讨论和总结

本数据集以矢量地理要素特征点的形式对古北口长城景观资源进行数字化表达，通过编码方式记录每个特征点的景观语义信息，实现古北口长城景观本体数据的构建。以景观语义特征点进行视域分析计算得到的栅格数据为基础，基于 LVPLM 模型对景观视觉感知区位信息进行了集成化组织存储，通过 NetCDF 多维数据格式构建了视觉感知区位与景观语义特征点之间的相互关联，实现了由特征点到其可视区位和由特定区位到相应可视特征点的双向查询。实地验证分析表明数据集结果具备较好的可信度。因此，本数据集不仅为从事景观规划、长城研究等科研人员提供了一种可刻画古北口长城景观系统特征的语义特征点数据，而且提供了一种具有编码语义序列信息的景观视觉感知区位多维栅格数据。基于本数据集可进行进一步的景观视觉感知信息挖掘，开展视觉感知效果评价、潜在景观感知优质区位选取，解析不同区位可视长城景观组合模式等多方面应用实践，从而可以为高质量旅游空间规划与长城国家文化公园建设提供帮助。

作者分工：李照航完成了特征点自动提取算法和数据集成工作，并撰写了数据论文；李仁杰设计了数据集研发的整体方案和数据组织架构，并负责数据论文的修改审定；孙宝磊参与完成了数据集的生产和验证工作；李家慧参与了数据验证方案的设计和验证过程。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

[1] Ognjanović, Z., Marinković, B., Šegan-Radonjić, M., et al. Cultural heritage digitization in serbia: standards, policies, and case studies [J]. *Sustainability*, 2019, 11(14): 3788.

[2] 吴必虎, 王梦婷. 遗产活化、原址价值与呈现方式[J]. *旅游学刊*, 2018, 33(9): 3–5.

[3] 李飞, 邹统钎. 论国家文化公园：逻辑、源流、意蕴[J]. *旅游学刊*, 2021, 36(1): 14–26.

- [4] 程瑞芳, 徐灿灿. 长城文化旅游带空间结构布局及发展策略研究[J]. 经济与管理, 2022, 36(1): 58–64.
- [5] 李姝, 朱灿. 基于视觉感知的工科高校景观评价研究——以成都工业学院郫都校区为例[J]. 地域研究与开发, 2022, 41(3): 49–54, 74.
- [6] 李照航, 李仁杰, 孙宝磊等. 古北口长城景观视觉感知区位数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.04.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.04.03.V1>.
- [7] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [8] 孙宝磊, 郭风华, 李仁杰等. 线性文化遗产景观视觉感知区位信息模型与实证[J]. 地理科学进展, 2024, 43(1): 80–92.
- [9] 叶妍君, 李仁杰, 傅学庆等. 基于数字高程模型的旅游地文化景观语义感知分析——以清西陵选址文化为例[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(5): 576–583.
- [10] 李仁杰, 谷枫, 郭风华等. 基于 DEM 的交通线文化景观感知与功能分段研究——紫荆关长城景观的实证[J]. 地理科学, 2015, 35(9): 1086–1094.
- [11] 郭风华, 程丽萍, 傅学庆等. 基于栅格结构的旅游景观感知计算方法[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(1): 125–130.
- [12] 郭风华, 孙宝磊, 李家慧等. 长城视觉景观资源及感知区位计算方法[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(6): 9–16.
- [13] 费立凡, 何津, 马晨燕等. 3 维 Douglas-Peucker 算法及其在 DEM 自动综合中的应用研究 [J]. 测绘学报, 2006(3): 278–284.