

# 基于CLCD生成地表粗糙度的技术依据与方法说明

**摘要:** 本文档旨在为利用中国30米年度土地覆盖数据 (CLCD) 生成地表粗糙度 (rou) 文件提供一套完整的技术依据和方法论解释。内容涵盖数据源的权威性、坐标系处理的合理性、关键参数选取的科学依据。

## 1. 方法论概述

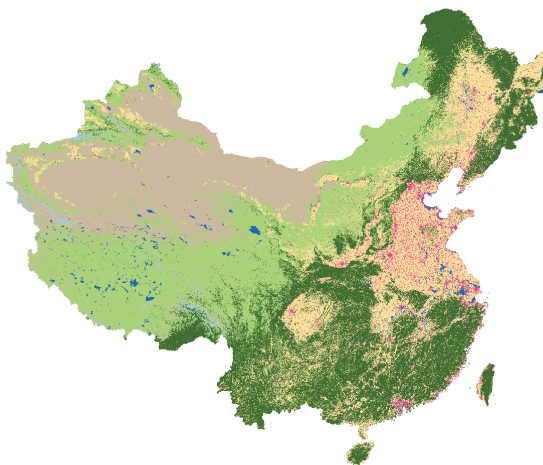
本方法通过处理权威的土地覆盖遥感数据，将其映射为空气动力学粗糙度长度 ( $z_0$ )，并进一步推算出等效障碍物高度 ( $h$ )，最终生成适用于风场模拟的 .rou 格式文件。该流程是风能评估和大气边界层研究中的标准实践，确保了输入参数的科学性和可追溯性。

## 2. 数据来源与坐标系处理

### 2.1. 数据来源：中国30米年度土地覆盖数据 (CLCD)

本流程采用的CLCD (China Land Cover Dataset) 是由武汉大学团队发布的具有高时空分辨率的土地覆盖产品。

- 权威性与精度:** 该数据集基于Landsat影像，在Google Earth Engine平台上生成，提供了自1990年以来中国区域30米分辨率的逐年土地覆盖分类。其分类系统包含耕地、森林、灌丛、草地、水体、雪/冰、裸地、不透水面/城镇及湿地九大类，与 mapping.yaml 中的分类相匹配。根据官方发布，该数据集的总体精度 (Overall Accuracy) 稳定在79%左右，能够满足区域尺度风场模拟对下垫面分类的需求。
- 数据格式与投影:** 数据以云优化GeoTIFF (COG) 格式提供，其中 \*\_albert.tif 文件采用了Albers等积投影，这是一种适用于国家尺度分析的标准投影方式。



### 2.2. 坐标系处理流程

为了进行精确的距离和面积计算，并与主流风能模拟软件（如WAsP）的工作流保持一致，本方法对坐标系进行了标准化处理。

- 重投影至UTM:** 脚本首先将Albers投影的CLCD数据裁剪并重投影到局地的通用横轴墨卡托 (UTM) 投影。UTM是WGS84坐标系下的分区投影，以米为单位，是风能和地形分析领域的推荐做法，能有效避免地理坐标系（经纬度）在高纬度地区的变形问题。

- **处理工具与方法:** 整个流程利用了地理空间数据处理的“黄金标准”工具集——GDAL。  
`gdalbuildvrt` 用于构建虚拟栅格以拼接数据, `gdalwarp` 则负责裁剪和重投影。
  - **重采样方法:** 在处理分类栅格数据 (如土地覆盖类型) 时, 为防止类别值被插值计算污染 (例如, 将“水体”和“森林”插值为一个不存在的中间类别), 脚本采用了 `nearest-neighbor` (最近邻) 重采样方法。这在GDAL文档和行业实践中被明确推荐为分类数据的最佳实践。

## 3. 关键参数的选取依据

### 3.1. 从土地覆盖到粗糙度长度 ( $z_0$ ) 的映射

将土地覆盖类型通过查表法映射为粗糙度长度 $z_0$ 是大气科学和风工程领域的成熟方法。本流程中文件定义的 $z_0$ 值参考了多个权威来源, 包括WMO (世界气象组织) 指南、EPA (美国环保署) 手册以及Davenport-Wieringa分类等。该参数基于文献和行业标准的初始配置, 可根据场址的实测数据或再分析风气候数据进行局地化校正。

**各类别 $z_0$ 取值依据:**

- **水体 (Water):** 0.0002 m。这是一个典型的开阔水面 $z_0$ 值。部分风能软件 (如WAsP) 为特殊标识, 会将水体 $z_0$ 设为0。
- **草地 (Grassland):** 0.05 m。处于常见草地/开阔地 $z_0$ 范围 (0.03–0.05 m) 内。
- **耕地 (Cropland):** 0.10 m。位于低矮作物的 $z_0$ 范围 (0.10–0.25 m) 内。
- **灌丛/湿地 (Shrub/Wetland):** 0.07 m。属于灌木地表的 $z_0$ 范围 (0.05–0.5 m)。
- **裸地 (Barren):** 0.02 m。符合荒地的 $z_0$ 典型值 (0.01–0.03 m)。
- **森林 (Forest):** 0.50 m。这是一个相对保守的森林 $z_0$ 值, 文献中常见范围为0.5–1.5 m。
- **城镇 (Urban):** 0.40 m。该值对应于郊区或低密度建成区, 属于保守设定。市中心的 $z_0$ 可达2m以上。
- **雪/冰 (Snow/Ice):** 0.001 m。与光滑冰雪表面的 $z_0$ 值 (0.001–0.005 m) 一致。

**合理性说明:** 正如新欧洲风能图谱 (NEWA) 项目所指出的, 土地覆盖到 $z_0$ 的映射表不存在唯一的“真值”, 而是一种工程化的约定。因此, 将 `mapping.yaml` 作为一个可配置的参数文件是合理的, 并允许用户根据特定场址的实际情况或验证数据进行后续优化。

### 3.2. 从 $z_0$ 到植被高度 (h) 的换算: $h = a \cdot z_0$

大气边界层理论和大量观测实验表明, 粗糙度长度 $z_0$ 与形成该粗糙度的障碍物 (如植被) 高度 $h$ 之间存在近似线性的正比关系。

- **经验关系:** 通常,  $z_0$  约等于  $(0.05-0.2) \cdot h$ , 其中“十分之一法则” ( $z_0 \approx 0.1h$ ) 最为常用。反算可得  $h \approx (5-20) \cdot z_0$ 。
- **参数  $a$  的选取:** 脚本中设置的默认 `a_factor=20`, 位于该经验范围的上沿。这是一种偏于保守的设定, 倾向于生成一个较高的等效障碍物高度, 避免在模型中低估植被对风的阻挡效应。
- **理论支撑:** 更精细的冠层参数化方案 (如Raupach, 1994) 也将 $z_0$ 与冠层高度 $h$ 联系起来, 并指出两者关系受叶面积指数 (LAI) 等因素影响, 这进一步说明了将 `a` 作为一个可调整的工程系数的合理性。

### 3.3. 季节性调整系数 (vege-times)

植被的 $z_0$ 值存在显著的季节性变化，例如，落叶林在冬季的 $z_0$ 会远小于夏季。脚本中引入的全局乘子 `vege-times`（默认为1.0）提供了一种简便的工程化手段，用于模拟不同季节（如“叶季”与“非叶季”）或进行情景分析，例如，冬季可设为0.5-0.8，夏季为1.0。

---

## 4. 文件结构与代码实现

### 4.1. `.rou` 文件格式的合理性

将粗糙度信息表达为等值线或点集是风能模拟软件的通行做法。

- **行业先例:** WASP软件使用 `.map` 文件（矢量线格式）来定义粗糙度变化区域，而WindSim等CFD软件也支持类似的网格化或矢量格式。Global Mapper等GIS工具也内置了从土地覆盖图层直接生成和导出粗糙度图的功能。
- **格式兼容性:** 脚本生成的 `.rou` 文件是一种自定义的文本格式，通过分组等值线的形式同时记录了 $z_0$ 和 $h$ 。这种“左侧 $z_0$ 、右侧 $z_0$ 、高度、点数及坐标列”的线要素格式变体在WASP等软件中亦有先例。只要下游的读取脚本能够正确解析，这种格式就是完全可行的。

### 4.2. 脚本关键参数与实现细节

- **`sample` (采样间距):** 默认为100米。考虑到CLCD的原始分辨率为30米，采用100米的采样间距可以在大幅降低数据量的同时，保留下垫面粗糙度的主要空间分布特征。欧洲NEWA项目中的 $z_0$ 底图也采用了百米级别的分辨率。
  - **`quant_step_m` (高度量化步长):** 默认为0.5米。该参数用于对计算出的植被高度 $h$ 进行分组，以压缩等值线的数量。0.5米的步长远小于当前通过卫星遥感反演冠层高度的典型误差（RMSE通常在4-9米量级），因此这种量化不会引入实质性的精度损失。
  - **裁剪缓冲 (Buffer):** 在裁剪和重投影时增加5%的缓冲区域，可以有效避免因重采样窗口外推而导致的边界像素丢失，是栅格数据处理中的常见技巧。
  - **无效值处理 (`-dstNodata 0`):** 将输出的无效数据值设为0，并在后续处理中滤除，这与多数土地覆盖产品（通常类别编码从1开始，0代表无数据）的约定一致，避免了将数据空洞误判为有效类别。
- 

## 5. 代码使用方法

该工具通过一个Python脚本 (`generate_rou.py`) 实现，依赖GDAL、NumPy、Rasterio和PyYAML等库。

**基本使用流程:**

#### 1. 准备数据:

- 获取CLCD数据，可以是全国单文件 (`--clcd`) 或按省份存放的文件夹 (`--clcd-dir`)。
- 配置 `mapping.yaml` 文件，根据需求调整土地覆盖类别与 $z_0$ 的映射关系、`a_factor` 等参数。

#### 2. 执行命令:

在命令行中运行脚本，并提供必要的参数。

```
1 python generate_rou.py \  
2     --clcd-dir /path/to/your/clcd_data_directory \  
3     --center "39.9,116.4" \  
4     --r2 25000 \  
5     --out /path/to/output/rou_file.rou \  
6     --mapping /path/to/your/mapping.yaml
```

#### 参数说明:

- `--clcd-dir` 或 `--clcd`: 指定CLCD数据源。
- `--center`: 指定模拟区域的中心点纬度和经度。
- `--r2`: 指定模拟区域的半径（米）。
- `--out`: 指定输出 `.rou` 文件的路径。
- `--mapping`: 指定参数映射文件的路径。
- `--a`: 可选，用于覆盖 `mapping.yaml` 中定义的 `a_factor`。
- `--vege-times`: 可选，用于季节性调整。
- `--sample`: 可选，采样间距。
- `--quant`: 可选，高度量化步长。

#### 输出:

脚本执行成功后，将会在指定路径生成一个 `.rou` 文件，该文件可被下游风场模拟工具读取，用于定义地表粗糙度。

---

## 6. 结论与建议

该rou生成链路（CLCD → z0 → h → rou）在数据源、处理流程、参数选取和文件格式上均有充分的科学依据和行业先例支持，是一套合理且可复现的技术方案。

- **建议:** 在文档或论文的方法部分，建议明确声明 `mapping.yaml` 中的参数为“基于文献和行业标准的初始配置”，并指出这些参数可“根据场址的实测数据或再分析风气候数据进行局地化校正”，以体现研究的严谨性。对于城镇和水体等特殊下垫面，应根据目标模拟软件（如LES/CFD或WAsP）的具体要求，确认z0的取值约定。