

数据字典与输入输出格式规范

大型山地光伏电站设计中的建模与算法研究

适配“大型山地光伏电站设计中的建模与算法研究”全模块

确保无歧义、可直接解析

版本：最终版

日期：2026 年 2 月

目 录

(提示：首次打开请右键点击目录，选择“更新域”刷新页码)

一、文档说明	4
二、通用基础参数（全模块共享）	5
通用参数 JSON 格式（全模块统一解析）	5
三、模块一：光伏面板切割及分区规划	7
（一）建模参数	7
（二）决策变量	7
（三）约束条件	8
（四）模块一输入输出格式	9
1. 输入 JSON 格式（地形+需求）	9
2. 输出 JSON 格式（切割+分区结果）	9
四、模块二：电气设备选型选址及电缆共沟敷设	11
（一）建模参数	11
（二）决策变量	11
（三）约束条件	12
（四）模块二输入输出格式	13
1. 输入 JSON 格式（模块一输出+设备参数）	13
2. 输出 JSON 格式（设备选型+路由结果）	13
五、模块三：集成优化（建设成本 + 电力损耗）	15
（一）建模参数	15
（二）决策变量	15
（三）约束条件	15

(四) 模块三输入输出格式	16
1. 输入 JSON 格式 (模块一+模块二输出+损耗参数)	16
2. 输出 JSON 格式 (集成优化结果)	16
六、地形数据格式固化 (全模块共享)	18
(一) DEM 网格数据格式	18
(二) 坐标系统一规则	18
七、核心说明	19

一、文档说明

1. 本字典统一全项目建模的参数定义、决策变量、约束条件，覆盖模块一（光伏面板切割及分区）、模块二（电气设备+电缆共沟）、模块三（集成优化）、模块四（案例验证）；
2. 所有符号、取值范围、单位均来自项目申报书及配套 PDF 模型（如《山地光伏建模.pdf》《Cutting Districting Cabling Trenching Model》），确保工程适配性；
3. 附 JSON 标准格式及输入输出结构，所有模块需严格遵循，禁止擅自修改字段命名/类型。

二、通用基础参数（全模块共享）

以下参数为全模块共享的基础参数，所有模块均需统一解析：

符号	英文名称	含义	单位	字段类型	默认值	取值范围	说明
rho	Cable resistivity	电缆导体电阻率（铜）	$\Omega \cdot m$	float	1.72e-8	固定值	行业标准参数
T	Project lifetime	项目寿命期	年	int	25	固定值	光伏项目常规设计寿命
tau	Annual full-load hours	年等效满发小时数	h/年	int	3000	2500-3500	西北偏高、东南偏低
r_d	Annual discount rate	年折现率	-	float	0.08	0.06-0.10	按项目融资成本配置
C_elec	Electricity price	上网电价	元/kWh	float	0.4	0.3-0.5	按当地新能源政策更新
grid_size	DEM grid size	DEM 网格尺寸	m	int	10	5-20	统一为正方形网格
slope_max	Maximum allowable slope	最大可建设坡度阈值	°	float	25.0	0-30	超过阈值不可建设
b	PVA width	光伏面板固定宽度	m	float	3.0	2.8-3.2	行业标准尺寸
road_buffer	Road buffer distance	箱变距道路最小距离	m	int	5	3-10	保障设备运输与运维

通用参数 JSON 格式（全模块统一解析）

```
{
  "common_params": {
    "rho": {"value": 1.72e-8, "unit": "\u03a9\u00b7m", "type": "float", "is_fixed": true},
    "T": {"value": 25, "unit": "\u005e74", "type": "int", "is_fixed": true},
    "tau": {"value": 3000, "unit": "h/\u005e74", "type": "int", "is_fixed": false, "range": [2500, 3500]},
    "r_d": {"value": 0.08, "unit": "", "type": "float", "is_fixed": false, "range": [0.06, 0.10]},
```

```
"C_elec": {"value": 0.4, "unit": "\u5143/kWh", "type": "float", "is_fixed": false,
"range": [0.3, 0.5]},
  "grid_size": {"value": 10, "unit": "m", "type": "int", "is_fixed": false, "range":
[5, 20]},
  "slope_max": {"value": 25.0, "unit": "\u00b0", "type": "float", "is_fixed": false,
"range": [0, 30]},
  "b": {"value": 3.0, "unit": "m", "type": "float", "is_fixed": true},
  "road_buffer": {"value": 5, "unit": "m", "type": "int", "is_fixed": false, "range":
[3, 10]}
}
```

三、模块一：光伏面板切割及分区规划

（一）建模参数

符号	英文名称	含义	单位	字段类型	默认值	取值范围	说明
D	PVA standard length	标准光伏面板固定长度	m	float	12.0	10-15	对应 2×13 列标准面板
t _l	Cut length of spec l	规格 l 的切割长度	m	float	-	2.0,4.0,...,12.0	仅支持 2×整数列
n _l	Demand of spec l	规格 l 的面板需求量	块	int	-	≥0	由地形可建设面积推导
q	Inverter rated capacity	单台逆变器额定容量	kW	int	320	250-500	工程常用 320kW
r	Minimum load rate	逆变器最小负载率	-	float	0.85	0.8-0.9	避免轻载运行效率过低
p	Total inverters	项目所需逆变器总数	台	int	-	≥1	由总装机容量÷q 推导
LB	Perimeter lower bound	分区周长下界	m	float	-	50-100	按网格密度配置
UB	Perimeter upper bound	分区周长上界	m	float	-	≤1.5×LB	控制分区形状规整
a _i	PVA equivalent power	面板 i 等效功率	kW	float	-	≥0	a _i = t _i ×b×P _{density}

（二）决策变量

符号	英文名称	类型	含义	字段类型	取值范围	说明
x _{ml}	Cut quantity	非负整数	原材料 m 切割出规格 l 的面板数量	int	≥0	物理离散量
y _m	Material usage flag	0-1 变量	是否使用原材料 m	bool	[true,false]	true=使用

符号	英文名称	类型	含义	字段类型	取值范围	说明
σ_{ik}	PVA-inverter assignment	0-1 变量	面板 i 是否归属逆变器 k	bool	[true,false]	唯一归属约束
ϕ_{ijk}	Boundary flag	0-1 变量	相邻 i,j 是否跨逆变器 k 分区	bool	[true,false]	true=跨区（边界）
χ_{ijk}	Cable sharing flag	0-1 变量	相邻 i,j 是否共用电缆路径	bool	[true,false]	仅同区时为 true

> 注：面板 i 的相邻集合统一定义为 $A_i = \{ "up": u(i), "down": d(i), "left": l(i), "right": r(i) \}$ （上下左右网格索引）

（三）约束条件

约束名称	数学表达/核心逻辑	字段类型	适用阶段	说明
整数切割约束	$\sum_{l \in L} t_l \times x_{ml} \leq D \times y_m$	string	面板切割	确保切割规格为 2×整数列
需求满足约束	$\sum_{m \in M} x_{ml} \geq n_l$	string	面板切割	覆盖所有可建设区域
唯一归属约束	$\sum_{k \in K} \sigma_{ik} = 1$	string	分区规划	每个面板仅归属 1 台逆变器
逆变器数量约束	$\sum_{k \in K} \sigma_{kk} = p$	string	分区规划	实际启用逆变器数=需求总数
逆变器存在性约束	$\sigma_{ik} \leq \sigma_{kk}$	string	分区规划	仅启用的逆变器可分配面板
逆变器容量约束	$r \times q \times \sigma_{kk} \leq \sum a_i \times \sigma_{ik} \leq q \times \sigma_{kk}$	string	分区规划	负载率控制在 [80%,100%]
负载平衡约束	$ \sum \sigma_{ik} - \sum \sigma_{ik'} \leq 2$	string	分区规划	各分区面板数量差异 ≤ 2 块
连通性约束	$\phi_{ijk} \geq \sigma_{ik} - \sigma_{jk} $	string	分区规划	同区面板无孤立，边界连续

约束名称	数学表达/核心逻辑	字段类型	适用阶段	说明
分区形状约束	$LB \leq \sum [t_{ix}(\phi + \phi) + b \times (\phi + \phi)] \leq UB$	string	分区规划	控制周长在合理范围

（四）模块一输入输出格式

1. 输入 JSON 格式（地形+需求）

```
{
  "module1_input": {
    "terrain_data": {
      "grid_id": "grid_001",
      "dem_matrix": [[1200.1, 1201.5, ...], ...],
      "slope_matrix": [[15.2, 18.7, ...], ...],
      "buildable_matrix": [[true, true, false, ...], ...]
    },
    "demand_params": {
      "PVA_specs": [{"l": 2.0, "n_l": 120}, {"l": 4.0, "n_l": 85}, ...],
      "inverter_params": {"q": 320, "r": 0.85, "p": 625},
      "perimeter_bounds": {"LB": 60.0, "UB": 90.0}
    }
  }
}
```

2. 输出 JSON 格式（切割+分区结果）

```
{
  "module1_output": {
    "cut_result": [
      {"material_id": "mat_001", "is_used": true, "cuts": [{"spec_l": 2.0, "quantity": 5}, ...]},
      ...
    ],
    "partition_result": [
      {"panel_id": "pva_00123", "grid_coord": (15, 28), "cut_spec": (2.0, 3.0), "zone_id": "zone_045", "inverter_id": "inv_045"},
      ...
    ],
    "zone_summary": [
      {"zone_id": "zone_045", "inverter_id": "inv_045", "pva_count": 22, "perimeter": 78.5, "total_power": 66.0},
      ...
    ]
  }
}
```

```
}
```

四、模块二：电气设备选型选址及电缆共沟敷设

（一）建模参数

符号	英文名称	含义	单位	字段类型	默认值	取值范围	说明
Q_box	Transformer capacity	箱变容量	kVA	int	-	[1600,3200]	仅支持两种规格
c_box	Transformer cost	箱变单位购置成本	万元	float	-	1600→30 ; 3200→50	含运输费用
c_install_box	Transformer installation cost	箱变安装成本	万元	float	-	1600→5 ; 3200→3	3200kVA 需重型设备
Q_box_inv	Inverters per transformer	箱变可接逆变器数	台	int	-	1600→5 ; 3200→10	与逆变器容量 320kW 适配
c1	PVA-inverter cable cost	面板-逆变器电缆单位成本	元/m	float	15.0	12-18	直流电缆，无挖沟成本
c2	Inverter-substation cable cost	逆变器-升压站电缆单位成本	元/m	float	35.0	30-40	35kV 交流电缆
c3	Trenching cost	管沟单位开挖成本	元/m	float	200.0	150-300	山地比平地高30%
N_max	Max cables per trench	单管沟最大电缆数量	根	int	4	3-5	工程规范限制
D_uv	Arc actual length	边(u,v)实际长度	m	float	-	≥0	含坡度修正
Q_substation	Substation capacity	升压站最大可接逆变器数	台	int	50	30-80	330kV 升压站常规配置

（二）决策变量

符号	英文名称	类型	含义	字段类型	取值范围	说明
----	------	----	----	------	------	----

符号	英文名称	类型	含义	字段类型	取值范围	说明
γ_{kb}	Inverter-transformer assignment	0-1 变量	逆变器 k 是否接入箱变 b	bool	[true,false]	一台逆变器仅接入一台箱变
α_{uvks}	Path arc flag	0-1 变量	边(u,v)是否在逆变器 k→升压站 s 路径中	bool	[true,false]	true=包含该边
β_{uvs}	Trench arc flag	0-1 变量	边(u,v)是否为升压站 s 开挖管沟	bool	[true,false]	true=开挖, 与 alpha 配套
τ_s	Substation usage flag	0-1 变量	是否启用升压站 s	bool	[true,false]	true=启用, 需满足容量约束
f_{ijk}	Power flow	连续变量	面板 i 经边(j,k)流向逆变器 k 的功率	float	≥ 0	验证电缆载流量

> 注：顶点集统一定义为 $V = V_0 \cup V_1 \cup V_2 \cup S$ ，其中： V_0 为山地边缘虚拟面板集合， V_1 为实际面板集合， V_2 为管沟内虚拟顶点集合， S 为升压站候选位置集合。

（三）约束条件

约束名称	数学表达/核心逻辑	字段类型	适用阶段	说明
设备接入约束	$\sum_{b \in S_box} \gamma_{kb} = \sigma_{kk}$	string	设备选址	仅启用的逆变器接入箱变
箱变容量约束	$\sum_{k \in K} \gamma_{kb} \leq Q_{box_inv}$	string	设备选址	箱变接入逆变器数不超过上限
路径流量守恒	流量守恒方程	string	电缆路由	确保路径从逆变器到升压站连通
布线-挖沟协同约束	$\alpha_{uvks} \leq \beta_{uvs}$	string	电缆路由	仅开挖管沟的边可布设电缆
共沟约束	$\sum_{k \in K} \alpha_{uvks} \leq N_max \times \beta_{uvs}$	string	电缆路由	单管沟电缆数不超过 N_max

约束名称	数学表达/核心逻辑	字段类型	适用阶段	说明
升压站容量约束	$\sum(k \in K) \alpha_{\{usks\}} \leq Q_{\text{substation}} \times \tau_{\text{s}}$	string	设备选址	启用的升压站接入数不超过上限
容量割约束	$\sum((u,v) \in \delta^-(W)) \beta_{\{uvs\}} \geq K(W)$	string	电缆路由	确保子集 w 有足够管沟接入升压站
广义子环消除	$\sum((u,v) \in E_2(W)) \beta_{\{uvs\}} \leq W - K(W)$	string	电缆路由	禁止无连接升压站的无效子环
奇圈不等式	$\sum(e \in U) \beta_{\{es\}} \leq (U - 1) / 2$	string	电缆路由	避免路径交叉冲突
团约束	$\sum(e \in F) \beta_{\{es\}} \leq 1$	string	电缆路由	冲突边仅能选择 1 条开挖

（四）模块二输入输出格式

1. 输入 JSON 格式（模块一输出+设备参数）

```
{
  "module2_input": {
    "module1_output": {...},
    "equipment_params": {
      "transformer_specs": [{"Q_box": 1600, ...}, {"Q_box": 3200, ...}],
      "cable_costs": {"c1": 15.0, "c2": 35.0},
      "trenching_cost": 200.0,
      "N_max": 4,
      "substation_candidates": [{"s_id": "sub_01", "coord": (1200, 800), "Q_substation":
50}]
    },
    "terrain_correction": {
      "edge_lengths": [{"u": "v1_001", "v": "v2_002", "D_uv": 125.3}, ...]
    }
  }
}
```

2. 输出 JSON 格式（设备选型+路由结果）

```
{
  "module2_output": {
```

```
"equipment_selection": [  
  {"transformer_id": "box_023", "Q_box": 3200, "install_coord": (1180, 750), ...},  
  ...  
],  
"cable_routes": [  
  {"route_id": "route_089", "inverter_id": "inv_045", ...},  
  ...  
],  
"trench_summary": [  
  {"trench_id": "trench_034", "substation_id": "sub_01", ...},  
  ...  
]  
}  
}
```

五、模块三：集成优化（建设成本 + 电力损耗）

（一）建模参数

符号	英文名称	含义	单位	字段类型	默认值	取值范围	说明
r_c	Cable conductor radius	电缆导体截面半径	m	float	0.015	0.01-0.05	决定电缆载流量与电阻
lambda	Operation cost weight	运行成本权重因子	-	float	0.4	0.3-0.5	平衡建设成本与电力损耗
I_max	Max allowable current	电缆最大允许电流	A	float	200.0	150-300	由 r_c 推导
K_segments	Current segments	电流分段数量	段	int	3	3-5	用于线性化非线性损耗
I_segments	Current segment bounds	电流分段区间	A	list	[[0,20],[20,35],[35,50]]	按 I_max 划分	每段用线性函数拟合 I ²

（二）决策变量

符号	英文名称	类型	含义	字段类型	取值范围	说明
I_{uvks}	Cable current	连续变量	电缆边(u,v)中逆变器 k→升压站 s 的电流	float	[0,I_max]	不超过最大允许电流
z_{c,i}	Current segment flag	0-1 变量	电流是否落入第 i 个分段区间	bool	[true,false]	仅一个分段为 true
P_loss,t	Annual power loss	连续变量	第 t 年总电力损耗	float	≥0	单位：kWh/年

（三）约束条件

约束名称	数学表达/核心逻辑	字段类型	适用阶段	说明
电缆容量约束	I_{uvks} ≤ I_max	string	集成优化	避免电缆过热损

约束名称	数学表达/核心逻辑	字段类型	适用阶段	说明
				坏
分段线性化约束	$I^2 \approx \sum z_{c,i} \times (a_i \times I + b_i)$	string	电力损耗计算	拟合非线性损耗
电力损耗计算约束	$P_{loss,t} = \sum I^2 \times (\rho \times D) / (\pi \times r_c^2) \times \tau$	string	集成优化	基于焦耳定律
全流程耦合约束(切割-分区)	$\sum (m \in M) x_{im} = \sum (k \in K) \sigma_{ik}$	string	全流程集成	切割的面板必须归属某分区
全流程耦合约束(分区-路由)	$\sigma_{kk} = \sum (b \in S_{box}) \gamma_{kb}$	string	全流程集成	启用的逆变器必须接入箱变
目标函数约束	Total_cost=建设成本 +lambda×sum[P_loss×C_elec/(1+r_d)^t]	string	集成优化	全生命周期总成本最小化

(四) 模块三输入输出格式

1. 输入 JSON 格式 (模块一+模块二输出+损耗参数)

```
{
  "module3_input": {
    "module1_output": {...},
    "module2_output": {...},
    "loss_params": {
      "r_c": 0.015,
      "lambda": 0.4,
      "I_max": 200.0,
      "K_segments": 3,
      "I_segments": [[0,20],[20,35],[35,50]],
      "linear_params": [{"a_i": 0.0, "b_i": 0.0}, ...]
    }
  }
}
```

2. 输出 JSON 格式 (集成优化结果)

```
{
  "module3_output": {
    "total_cost_summary": {
      "construction_cost": 8562.3,
      "operation_loss_cost": 1285.7,

```



```
    "total_cost": 9848.0,  
    "cost_breakdown": {...}  
  },  
  "optimized_params": {  
    "cable_radius": 0.015,  
    "trench_cable_count": 3,  
    "inverter_load_rate": 0.88  
  },  
  "loss_detail": [  
    {"year": 1, "P_loss": 896250.0, "loss_cost": 143.4},  
    ...  
  ]  
}
```

六、地形数据格式固化（全模块共享）

（一）DEM 网格数据格式

```
{
  "terrain_grid": {
    "grid_info": {
      "grid_id": "terrain_001",
      "grid_size": 10,
      "rows": 200,
      "cols": 300
    },
    "dem_matrix": [[1200.1, 1201.5, ...], ...],
    "slope_matrix": [[15.2, 18.7, ...], ...],
    "aspect_matrix": [[180.0, 90.0, ...], ...],
    "buildable_matrix": [[true, true, false, ...], ...]
  }
}
```

（二）坐标系统一规则

- 1.所有坐标统一采用平面直角坐标系，单位：米；
- 2.网格索引(row, col)与坐标(x, y)映射： $x = col \times grid_size$ ， $y = row \times grid_size$ ；
- 3.设备（逆变器、箱变、升压站）坐标需对齐网格节点（即 x/y 为 $grid_size$ 的整数倍）。

七、核心说明

- 1.所有模块必须通过 JSON 格式输入输出，字段命名、类型、单位严格遵循本规范，禁止新增/修改字段；
- 2.参数默认值为工程常规配置，可根据实际案例（如甘肃东乡项目）调整，但需在输入 JSON 中明确标注；
- 3.约束条件的数学表达已适配 Gurobi/Pyomo 建模，编码时直接映射为对应求解器的约束函数；
- 4.模块间依赖关系：模块一输出→模块二输入，模块一+模块二输出→模块三输入，确保数据流转无歧义；
- 5.本规范为“基础统一”红线，任何修改需经团队全员确认后同步更新，避免后期返工。