张晓,洪倩,王彦兵,等.内蒙古光伏电站选址适宜性分区[J].中国沙漠,2026,46(5):149-158.

内蒙古光伏电站选址适宜性分区

张 晓[1],洪 倩[1],王彦兵[1],董 鹏[2],郭米山[2],
陈晓枫[1],宗亿宣[1],殷小琳[2]
(1.国网经济技术研究院有限公司,北京 102209;2.中国水利水电科学研究院 泥沙研究所,北京 100038)

摘要:协调光伏能源开发与生态保护之间的关系是沙戈荒地区可持续发展面临的关键问题。内蒙古自治区凭借丰富的太阳能资源和广阔的沙漠戈壁空间,已成为中国光伏产业发展的重点区域,在国家新能源战略布局中具有重要的战略地位。本研究以内蒙古自治区为研究区,构建了包含资源禀赋与生态约束双重维度的光伏电站选址适宜性评价体系。资源性因素选取年太阳辐射总量、年日照时数、年均风速、年降水量、植被覆盖度、坡度、坡向7项指标,采用层次分析法确定各指标权重;限制性因素选取自然保护区分布与土地利用类型2项刚性约束,依据相关法规进行二值化处理。基于ArcGIS完成单因子评价、加权叠加与限制性修正,将研究区划分为限制开发区、低适宜区、中适宜区与高适宜区4个等级。结果表明:年太阳辐射总量(权重41.4%)与年日照时数(权重27%)是影响光伏选址的核心资源因子。内蒙古光伏开发适宜性呈现显著的"西优东限"空间格局,高适宜区面积占比27.46%,集中分布于阿拉善盟及巴彦淖尔市北部的荒漠戈壁区;限制开发区面积占比68.71%,广泛覆盖东北部大兴安岭林区、东部草原带及南部河套平原等生态敏感区域。资源条件决定开发上限,生态红线划定约束边界,二者共同塑造区域开发潜力。建议高适宜区优先布局规模化集中式电站并同步实施生态修复,限制开发区严禁大规模地面开发。研究成果可为内蒙古自治区光伏产业宏观布局规划与生态管控分区提供前期筛选层面的空间决策参考。

关键词:光伏电站;选址适宜性;层次分析法;ArcGIS;生态约束
文章编号:1000-694X(2026)05-149-10 **DOI**:10.7522/j.issn.1000-694X.2026.00090
中图分类号:F206 **文献标志码**:A

0 引言

为应对全球气候变化与能源安全挑战,大力发展清洁能源以实现能源结构低碳转型已成为国际共识[1-2]。光伏发电作为技术成熟且应用广泛的可再生能源形式,近年来开发规模持续高速增长[3-4]。截至2025年底,中国光伏发电装机容量达到12亿千瓦[5],居世界首位[6]。中国正积极推动光伏产业高质量发展,广袤的三北地区(东北、华北、西北)因太阳能资源丰富、土地空间广阔,成为集中式光伏电站建设的重点区域[7]。然而,大规模光伏电站建设高度依赖土地资源,其选址布局往往与生态保护目标产生直接冲突[8-9]。在生态本底脆弱的地区,不科学的开发极易引发生态系统退化与生物多样性丧失等不可逆风险。因此,科学量化区域光伏开发潜力,系统协调能源开发与生态环境保护之间的关系,已成为实现能源安全与生态安全协同发展的核心科学问题。

内蒙古自治区太阳能资源可开发量达94亿千瓦,占全国总量的21%[10],是中国沙戈荒地区光伏基地建设的核心区域之一[11]。与此同时,该区域作为中国北方重要生态安全屏障,生态环境本底脆弱,荒漠化问题突出,生态保护需求极为迫切[12]。这一资源潜力突出与生态约束显著并存的特性,使其成为开展光伏选址适宜性研究的典型区域[13-15]。从现有研究进展来看,光伏选址评价因子已从早期聚焦太阳辐射量、日照时数等资源条件[16-17],逐步拓展至气候、土壤、电网接入、土地利用等多重约束的综合考量[18-22]。但现有研究多侧重资源潜力分析,

收稿日期:2026-03-20;**改回日期**:2026-05-18
资助项目:国网经济技术研究院有限公司自主投入科技项目(ZZKJ-2025-20)
作者简介:张晓(1993—),男,甘肃静宁人,博士,工程师,研究方向为输变电工程环水保。E-mail:zhangxiao_sgcc@163.com
通信作者:郭米山(E-mail:guomsh@iwhr.com)

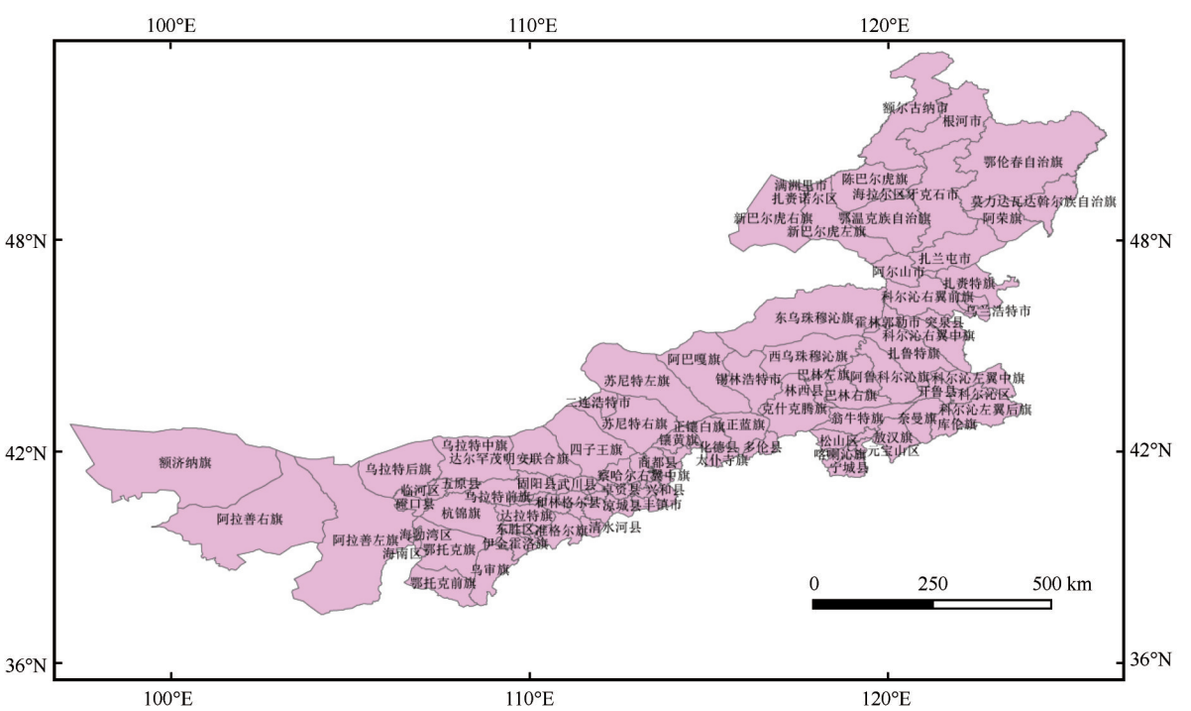
对沙戈荒地区，尤其是内蒙古地区兼顾资源禀赋与生态安全底线的一体化空间适宜性量化研究仍较为缺乏，难以支撑大规模光伏基地的科学布局与生态管控需求。

基于此，本研究以内蒙古自治区全域为研究对象，选取包含资源禀赋与生态限制在内的9个约束条件作为评价因子，采用层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）[22-24]构建光伏电站选址适宜性评价指标体系，并结合地理信息系统（Geographic Information System，GIS）技术[25-26]集成高分辨率空间数据，重点量化自然保护区、耕地、湿地等刚性边界对光伏开发空间格局的塑造与限制作用，最终生成综合考虑开发潜力与生态安全底线的空间适宜性区划。研究旨在为内蒙古光伏产业宏观布局、土地资源合理利用以及生态保护红线精准管控提供前期理论依据与决策支持。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

内蒙古自治区（37°24′—53°23′N，97°12′—126°04′E）地处中国北部，总面积118.3万 km²，该区域横跨东北、华北与西北，北部与俄罗斯、蒙古国接壤，是中国陆地边境线最长的省级行政区（图1）。地形以高原为主体，平均海拔约1 000~1 500 m，涵盖草原、沙漠、戈壁及山地等多种地貌类型。气候属温带大陆性气候，日照充足，大部分地区年日照时数超过2 700 h，太阳能资源丰富；降水自东向西递减，东部年降水量可达400 mm以上，西部则不足100 mm。植被分布与此对应，东部以森林和草甸草原为主，中西部为典型草原与荒漠植被。土壤类型多样，东部以黑土、草甸土为主，向西过渡为栗钙土、沙质土及盐碱土。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS（2024）0650号标准地图制作，底图边界无修改。

图1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

1.2 数据来源与处理

本研究结合过往文献研究及沙戈荒地区的自然条件[18-20,27-29]，共选取了年太阳辐射总量、年日照时数、年降水量、年均风速、植被覆盖度、坡向、坡度、自然保护区分布、土地利用类型9个约束性条件构建光伏电站选址适宜性评价体系。

年太阳辐射总量数据来源于Google Earth Engine（GEE）数据平台（https://developers.google.cn/earth-engine/），年日照时数、年降水量数据来源于国家青藏高原科学数据中心（https://data.tpdc.ac.

cn/)，年均风速数据来源于美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA）国家环境信息中心（https://www.ncei.noaa.gov/）。上述数据空间分辨率均为 1 km，年日照时数时间跨度采用2011—2020年，其余为2013—2022年。

土地利用数据来源于可持续发展大数据国际研究中心（https://www.cbas.ac.cn/），采用2022年30 m分辨率数据。植被覆盖度数据来源于国家青藏高原科学数据中心，采用2022年30 m分辨率数据。数字高程模型（Digital Elevation Model，DEM）数据来源于欧空局哥白尼Panda平台（https://panda.copernicus.eu/panda），采用2022年12.5 m分辨率数据，用于提取坡度与坡向信息。自然保护区数据来源中国自然保护区生物标本资源共享平台（http://cnpapc.zrbhq.cn/），采用2021年数据。

利用ArcGIS软件，通过空间分析工具DEM进行坡度和坡向的计算。坡向以0°~360°表示，0°表示正北，90°表示正东，180°表示正南，270°表示正西。

2　光伏电站选址适宜性评价方法

2.1　适宜性评价体系构建

本研究将指标分为选址资源性因素和限制性因素两类，资源性因素包括直接决定发电潜力的年太阳辐射总量、年日照时数两个直接资源条件，以及间接影响系统效率与运维成本的年均风速、年降水量、植被覆盖度、坡度和坡向5个间接资源条件；限制性因素包括代表刚性约束条件的自然保护区分布和土地利用类型。

年太阳辐射总量与年日照时数是光伏发电系统能源输入的最直接反映[30]，其充足性直接决定了电站的发电潜力与经济效益，故为首要考虑因素；坡度与坡向作为地形要素，对工程建设和系统性能具有显著影响。坡度大小不仅影响施工难度、基坑开挖及基础工程成本，还可能对组件布局及整体发电效率产生负面作用[31]；坡向则直接影响光照接收和通风散热[32]。

年均风速、年降水量和植被覆盖度是相对次要但仍不可忽视的考量因素，年均风速过高会威胁光伏电站设备稳定性并增加成本与隐患，适度则有助于散热提效[33]；年降水量过多易引发洪涝、加速设备老化，过少则影响清洁与采光[34]；植被覆盖度过高可能遮挡阳光，增加病虫害风险[35]。

土地利用类型和自然保护区分布作为刚性约束条件，直接依据国家法规与政策划定限制开发区域，确保评价结果符合生态保护红线与土地管理要求[36]。依据《中华人民共和国土地管理法》与《土地利用现状分类》的相关规定，将旱地、水田、水浇地等耕地类型，各类林地、灌木丛、草地、湿地及水体等生态功能型地类划定为光伏电站限制开发区；将空闲地、裸土地、沙地、戈壁等未利用地划定为光伏电站开发区。依据《中华人民共和国自然保护区条例》，自然保护区核心区与缓冲区内严禁任何形式的开发建设活动。

2.2　基于AHP确定资源性因素指标权重

为科学量化各评价因子的相对重要性，本研究采用AHP确定资源性因素指标权重。AHP通过构建层次结构将复杂决策分解为可两两比较的要素，利用特征向量法确定权重，并以一致性检验保证判断逻辑合理性，最终实现多准则综合决策的定量化[37]。

首先，依据评价体系构建包含目标层、准则层与指标层的层次结构模型。随后，使用文献归纳法[17-21,25]采用1~9标度法对各层内因子的相对重要性进行两两比较，并据此构造判断矩阵 $A=[a_{ij}]$（表1），a_{ij} 代表第 i 个指标相对于第 j 个指标的重要程度。

通过求解矩阵特征值与特征向量，并经归一化处理，得到各因子的初始权重。最后对判断矩阵进行一致性检验，确保逻辑合理性。

$$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1) \tag{1}$$

式中：CI 表示一致性指标；λ_{max} 表示最大特征根；n 表示判断矩阵的阶数。

$$CR=CI/RI \tag{2}$$

式中：CR 表示一致性比率；RI 表示随机性一致指数

随机一致性指数（RI）的设定依据矩阵阶数而定：当 $n\leqslant 2$ 时，由于低阶矩阵天然满足一致性，故 $RI=0$ 无需检验；当 $n\geqslant 3$ 时，RI 值由大量随机判断矩阵的一致性指标模拟均值确定，用于计算一致性比率 CR 以检验判断矩阵的逻辑合理性。本研究中，$n=7$，$RI=1.32$。

表 1 评价指标重要程度矩阵

Table 1 Matrix of importance of evaluation indicators

准则	指标	年太阳辐射总量	年日照时数	年均风速	年降水量	植被覆盖度	坡度	坡向
太阳能资源	年太阳辐射总量	1	3	8	8	9	6	5
	年日照时数	1/3	1	7	7	8	5	4
气候条件	年均风速	1/8	1/7	1	2	4	1/4	1/5
	年降水量	1/8	1/7	1/2	1	3	1/4	1/5
植被条件	植被覆盖度	1/9	1/8	1/4	1/3	1	1/3	1/6
地形条件	坡度	1/6	1/5	4	4	3	1	1/3
	坡向	1/5	1/4	5	5	6	3	1

注：1表示指标 i 与指标 j 同等重要；3表示指标 i 与指标 j 稍微重要；5表示指标 i 与指标 j 明显重要；7表示指标 i 与指标 j 强烈重要；9表示指标 i 与指标 j 极端重要；2、4、6、8表示上述相邻判断的中间值。

经计算，资源性因素判断矩阵的一致性比率（Consistency Ratio，CR）为 0.093（<0.1）[38]，通过检验。最终，通过逐层计算，得到各指标的标准权重系数（表 2）[28]。

表 2 指标权重

Table 2 Indicator weightings

指标	年太阳辐射总量	年日照时数	年均风速	年降水量	植被覆盖度	坡度	坡向
权重/%	41.4	27	4.3	3.4	2.2	8	13.7

2.3 基于 GIS 的综合适宜性分区

为量化光伏电站选址的资源适宜性，通过专家打分将资源性因素各指标依据其贡献程度划分为 1 至 5 分，得分越高表示适宜性越强。基于该评分体系，对各因子图层进行标准化赋值，并依据其标准权重系数（表 2）在 ArcGIS 中进行加权叠加分析。通过对加权结果取整并重分类，最终生成 1~5 分的资源性因素综合评分图层，得分越高代表该区域综合资源条件越适宜光伏电站建设。

为明确光伏电站选址中的刚性约束范围，本研究基于自然保护区分布与土地利用类型，依据相关保护政策与管理要求，在 ArcGIS 中对两类数据进行重分类。首先，将禁止/限制光伏建设的区域（如自然保护区、耕地、林地、草地等）赋值为 0，其余可开发利用区域赋值为 1。其次，将上述二值化后的图层进行栅格乘法运算，识别出同时受两类政策限制的空间区域，得到初步的限制性综合结果。最后，对该结果进行统一重分类，最终生成二值化的限制性综合图层，其中 0 表示限制开发区，1 表示允许开发区。

最终，通过将资源性因素综合评分图层与限制性综合二值图层进行栅格相乘运算，得到综合适宜性初始得分。该乘法模型确保了在限制开发区（值为 0），无论资源评分多高，其最终适宜性得分均被强制归零，从而严格遵守了生态与政策的刚性约束。最后，依据预设的阈值区间（表 3）对初始得分进行重分类，将内蒙古自治区全域划分为限制开发、低适宜、中适宜及高适宜 4 个等级，生成光伏电站选址综合适宜性分区。

表 3 适宜性分级

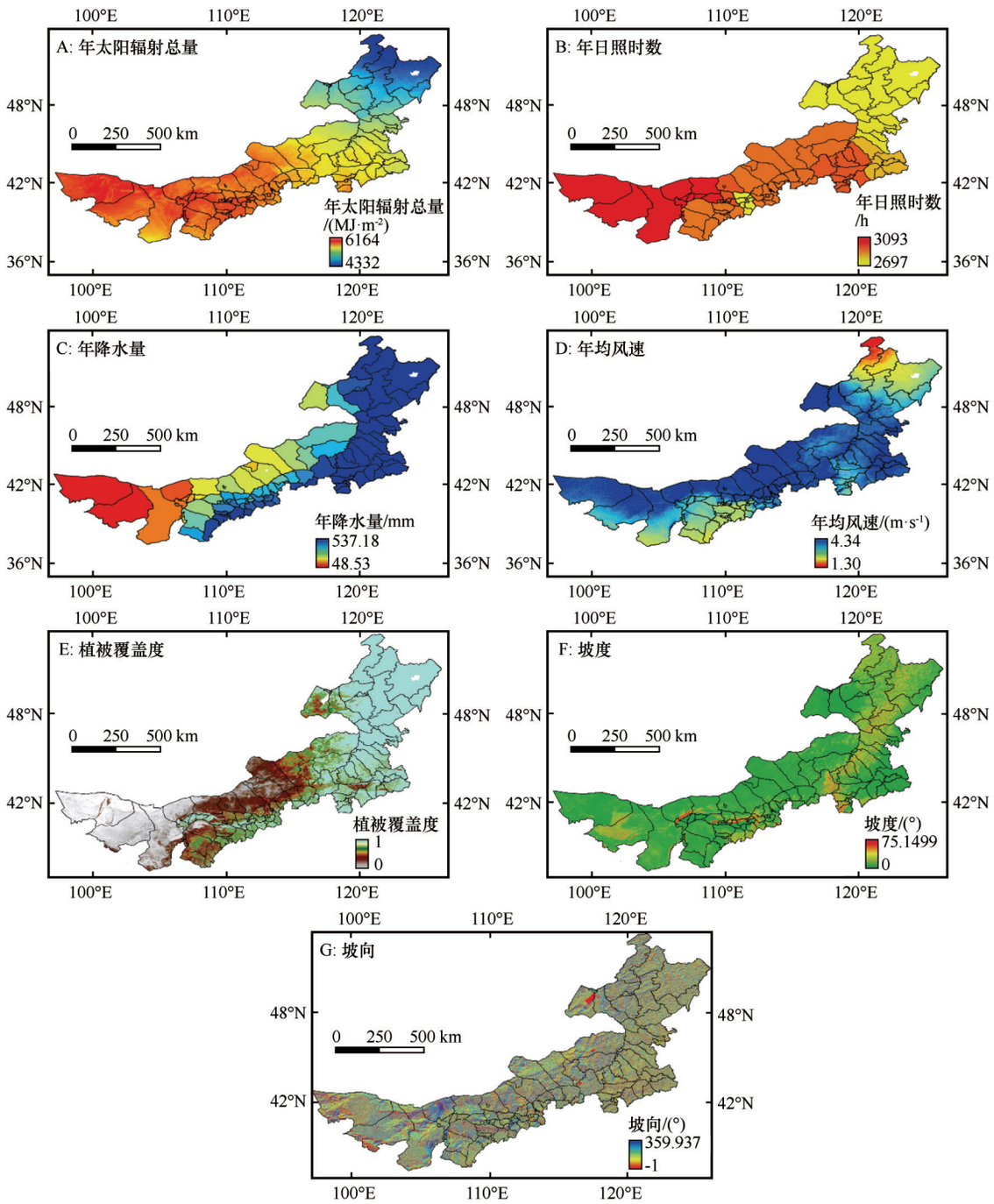
Table 3 Suitability classification

适宜性等级	得分范围	开发建议
限制开发区	0	位于自然保护区、耕地等区域，限制开发
低适宜区	0<得分≤3	资源条件较差或限制较多，经济可行性低
中适宜区	3<得分≤4	资源条件中等，需详细论证与生态设计
高适宜区	4<得分≤5	资源优越且限制少，为优先开发区

3 结果与分析

3.1 资源性因素的空间分布特征

太阳能资源是光伏电站选址的核心驱动因子。年太阳辐射总量权重为 41.4%（表 2），在全区范围为 4 332 ~ 6 164 MJ·m^{-2}（图 2A），呈现中西部高、东北部低的分布特征。根据评价分级标准，得分为 1、2、



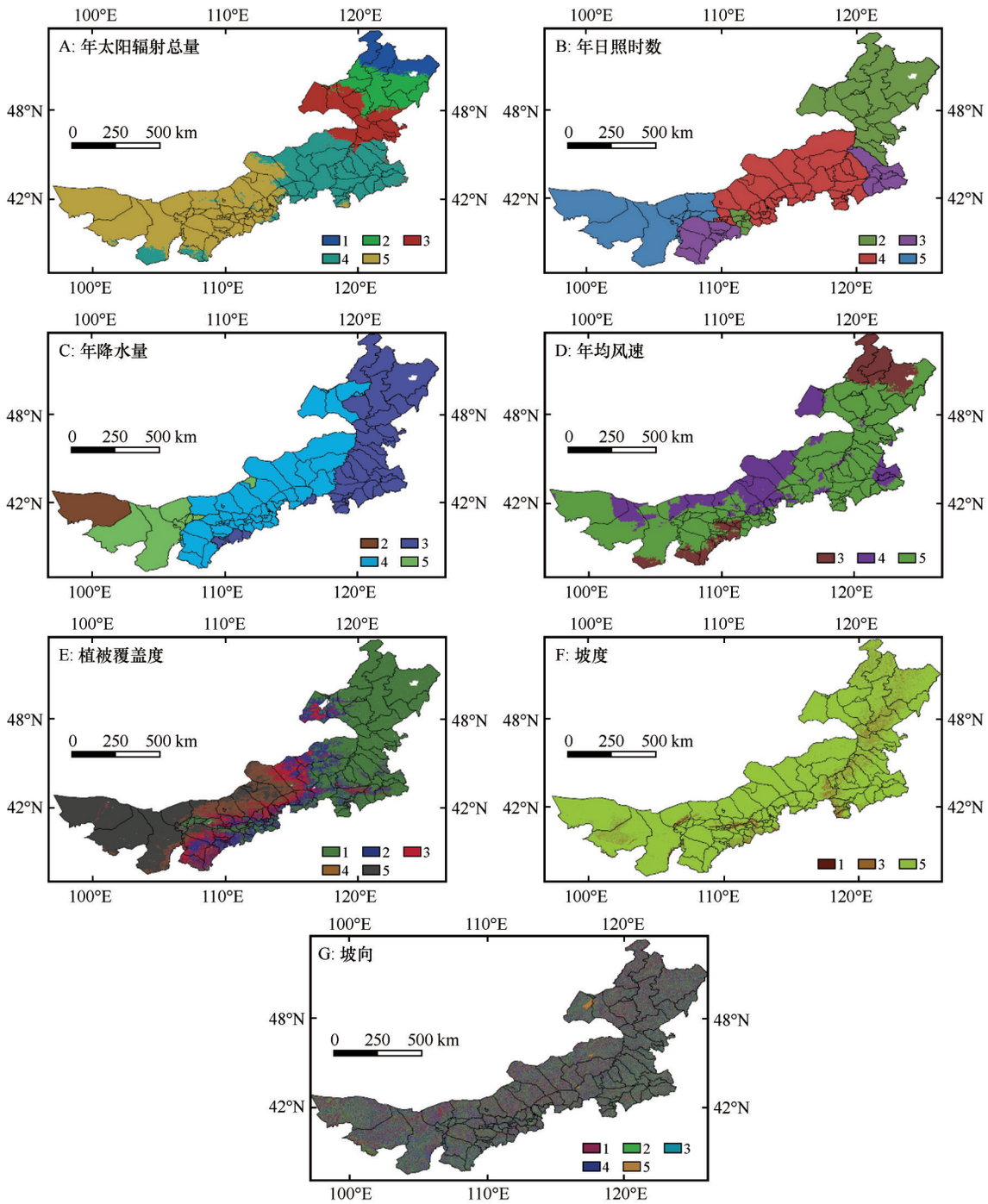
注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号 GS(2024)0650 号标准地图制作，底图边界无修改。

图 2　内蒙古光伏电站选址资源性因素定量分布

Fig.2　Distribution of resource-related factors values for photovoltaic power plant site selection in Inner Mongolia

3、4、5 的区域面积占比分别为 5.76%、9.73%、11.74%、28.33%、44.44%（图 3A）。得分 5 级与 4 级的区域面积合计占比 72.77%，主要集中于额济纳旗、阿拉善右旗、阿拉善左旗及乌拉特后旗等西部地区。该区域地处温带大陆性气候区，大气透明度高、晴天比例大，为光伏发电提供了优越的能量输入条件。得分 1 级区域占比最少，集中分布于额尔古纳市、根河市等东北部高纬度地区。

年日照时数权重为 27%（表 2），其分布与太阳辐射总量高度协同，在全区范围为 2 697 ~ 3 093 h（图 2B）。根据分级标准，得分为 2、3、4、5 的区域面积占比分别为 30.71%、12.16%、31.81%、25.32%（图 3B）。得分 5 级和 4 级区域面积合计占 57.13%，与太阳辐射总量分布类似，同样集中于中西部荒漠戈壁



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2024)0650号标准地图制作，底图边界无修改。

图3 内蒙古光伏电站选址资源性因素等级分布

Fig.3 Distribution of resource-related factors grades for photovoltaic power plant site selection in Inner Mongolia

区；得分2级区域占比30.71%，主要分布于东北部林区及阴山山脉沿线地带。

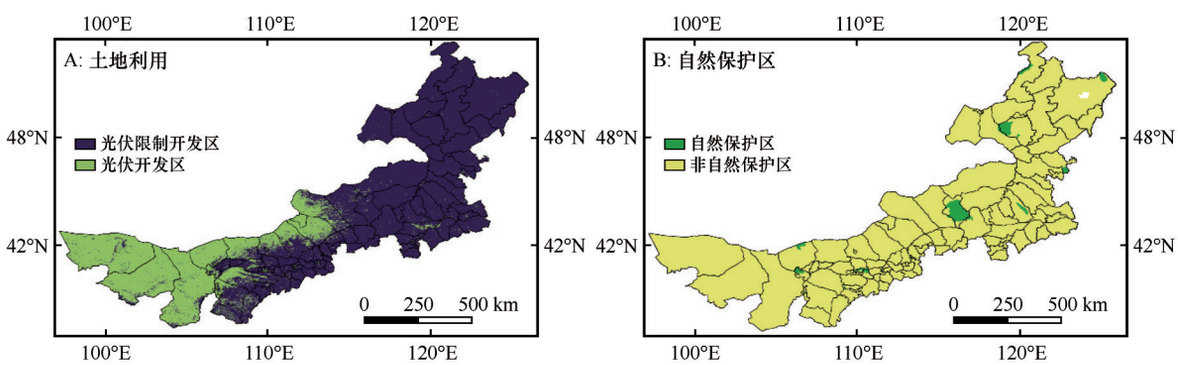
气候条件中的风速与降水量对光伏电站运行效率具有重要调节作用，权重分别为4.3%与3.4%（表2）。年降水量在全区范围为48.53～537.18 mm（图2C），得分为2、3、4、5的区域面积占比分别为7.39%、35.39%、41.6%、15.62%（图3C）。得分5级区域主要分布于阿拉善左旗至乌拉特后旗一带。该降水量水平可定期冲刷组件表面灰尘、减少人工清洁频率，同时避免高湿度引发的设备腐蚀风险。得分2级区域占比最低，集中分布于额济纳旗，极端干旱将加剧积尘效应与风沙侵蚀。年均风速在全区

范围为 1.30~4.34 m·s^{-1}（图 2D），得分为 3、4、5 的区域面积占比分别为 12.13%、21.96%、65.91%（图 3D）。得分 5 级区域占比最高，广泛分布于额济纳旗、阿拉善右旗及锡林郭勒盟西部。该风速区间既可促进光伏组件散热、降低功率损失，又可避免过大风荷载对支架结构的破坏，是光伏建设的理想风力条件。得分 3 级区域占比最低，集中于额尔古纳市、根河市及鄂托克前旗等地，过低风速可能导致组件散热不良与积尘问题。

植被与地形因子进一步刻画了光伏开发的适宜程度。植被覆盖度权重最低，为 2.2%（表 2），呈现自西向东递增的梯度特征（图 2E）。得分为 1、2、3、4、5 的区域面积占比分别为 45.27%、10.53%、9.01%、10.84%、24.35%（图 3E）。得分 1 级区域占比最高，主要分布于东北部大兴安岭林区与河套平原农业区，植被覆盖度高，多为林地、草原等，开发受限显著。得分 5 级区域占比第二，集中分布于阿拉善盟及巴彦淖尔市北部。该区域植被覆盖度低，建设光伏电站对植被的扰动少。地形条件方面，坡向权重为 13.7%，在间接资源条件中最高；坡度权重为 8%，在间接资源条件中第二（表 2）。坡度得分 5 级区域占比高达 89.98%（图 3F），覆盖全区绝大部分地区，为光伏电站建设提供了极佳的地形基础，可显著降低土地平整成本与施工难度。坡向因子得分 5 级（南向及平面）区域占比 17.84%（图 3G），主要分布于中西部开阔地带，可保障光伏组件获得最佳日照角度。

3.2　限制性因素的空间分布特征

光伏开发区主要集中分布于阿拉善盟的额济纳旗、阿拉善右旗、阿拉善左旗以及巴彦淖尔市的乌拉特后旗、锡林郭勒盟的二连浩特等西部地区（图 4A）。该区域土地利用类型以荒漠戈壁为主，土地开发的机会成本较低，为光伏电站建设提供了广阔的空间。光伏限制开发区则广泛覆盖内蒙古自治区东部及东北部，包括呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市及赤峰市大部，以及南部的河套平原地区。这些区域分布着大面积的森林、草原、湿地和耕地，生态服务功能突出，不适宜开展大规模地面光伏开发。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号 GS(2024)0650 号标准地图制作，底图边界无修改。

图 4　内蒙古光伏电站选址限制性因素分布

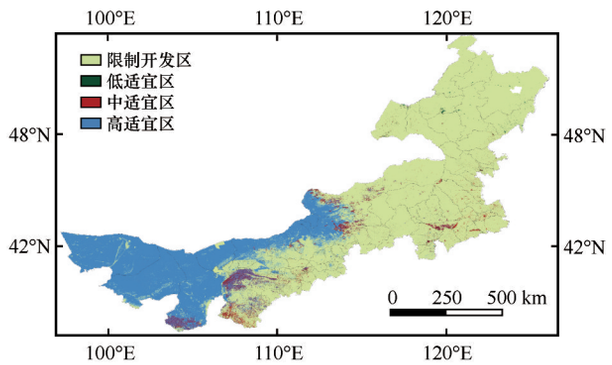
Fig.4　Distribution of constraining factors for photovoltaic power plant site selection in Inner Mongolia

内蒙古自治区的自然保护区主要分布于锡林郭勒盟、呼伦贝尔市及兴安盟（图 4B）。锡林郭勒盟境内分布有锡林郭勒草原国家级自然保护区、白银库伦遗鸥自然保护区等，覆盖了草甸草原、典型草原及沙地草原等多种生态系统类型。呼伦贝尔市的鄂温克族自治旗境内分布有辉河国家级自然保护区、维纳河自治区级自然保护区等，涵盖森林、草原与湿地复合生态系统。这些自然保护区构成了光伏开发的绝对禁止区域，对选址格局形成刚性约束。

3.3　基于综合适宜性分区的选址建议

内蒙古光伏限制开发区、低适宜区、中适宜区与高适宜区面积分别为 81.28 万、0.01 万、4.52 万、32.49 万 km^2，分别占 68.71%、0.01%、3.82%、27.46%（图 5）。限制开发区占据全区面积的三分之二以上，集中分布于自治区南部、东部及东北部；高适宜区面积占比超过四分之一，主要集中于西部阿拉善盟及巴彦淖尔市北部；中适宜区与低适宜区面积占比较小，呈零星分布。

限制开发区是生态保护红线与土地利用政策



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2024)0650号标准地图制作，底图边界无修改。

图5 内蒙古光伏电站选址适宜性分区

Fig.5 Suitability zoning for photovoltaic power plant site selection in Inner Mongolia

刚性约束的直接体现。在这一区域开展大规模地面光伏电站建设，将不可避免地对森林、草原、湿地生态系统造成破坏，威胁珍稀物种栖息地，影响水源涵养功能与区域生态安全。因此，限制开发区应严格遵循生态优先原则，杜绝任何形式的大规模光伏开发活动[17]。可结合乡村振兴战略，在符合国土空间规划的前提下，探索建筑屋顶、设施农业棚顶等分布式光伏应用场景，满足局部用电需求。

高适宜区是内蒙古光伏产业规模化发展的核心空间载体。该区域主要分布于阿拉善盟及巴彦淖尔市北部的荒漠戈壁区，土地利用类型以未利用地为主，土地开发的机会成本低；同时，该区域太阳能资源丰富、日照时间长、地形平坦开阔，为光伏电站建设提供了优越的资源基础与工程条件。加之植被覆盖度低，光伏电站建设对生态系统扰动少，符合生态优先、集中布局的开发原则。因此，建议将高适宜区作为国家和自治区级光伏基地的重点布局区域，优先开展集中式、规模化光伏电站建设。开发过程中应同步实施生态保护与修复措施，探索光伏治沙、光伏与生态产业融合等协同发展模式，实现能源开发与荒漠化治理的双重目标[39-40]。中适宜区面积占比较小，其资源条件或工程条件存在一定制约。低适宜区面积占比不足千分之一，实际开发价值有限。这两类区域不宜作为大规模光伏开发的重点，可根据局部资源条件与用地可行性，审慎选择小型项目进行试点。

4 结论

年太阳辐射总量（权重41.4%）和年日照时数（权重27%）是驱动内蒙古光伏电站选址的核心资源因素。间接资源条件中坡向（权重13.7%）是驱动光伏电站选址的主要因素。

内蒙古光伏开发适宜性呈现“西优东限”的空间格局。高适宜区面积占比27.46%，集中分布于阿拉善盟及巴彦淖尔市北部的荒漠戈壁区；限制开发区面积占比68.71%，广泛覆盖东北部林区、东部草原带及南部河套平原等生态敏感区域。

建议高适宜区优先布局规模化集中式电站，同步实施生态修复；限制开发区严禁大规模地面开发，可审慎探索分布式光伏应用；中低适宜区开发价值有限，不宜作为开发重点。

本研究形成的适宜性区划成果，可为内蒙古自治区光伏产业宏观布局规划与生态管控分区提供前期筛选层面的空间决策参考。未来研究可进一步纳入电网接入条件、土地成本、区域消纳能力等社会经济因子，开展多情景动态适宜性评估，以更全面地支撑光伏产业科学决策。

参考文献：

[1] Quagraine K A, Lynas M, Ellis E C. As we breach 1.5 ℃, we must replace temperature limits with clean-energy targets[J]. Nature, 2026, 649(8099): 1103-1106.

[2] 熊波，王东，郝思莹，等. 全球能源转型驱动下新能源高质量发展的机遇、挑战与展望[J]. 石油学报，2026，47(1)：74-94.

[3] Zhu G Y, Xin Y, Yu Y, et al. Photovoltaics development pathway and environmental benefits dynamics from technological evolution in China[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2026, 117: 108157.

[4] Jordaan S, Li X, Hernandez R R, et al. Global land and solar energy relationships for sustainability[J]. Joule, 2026, 10(2): 3947003.

[5] 王海波，钱飞宏，林虹，等. 2025年中国电池行业运行情况[J]. 电池，2026，56(1)：6-15.

[6] 张海莺. “十四五”科技创新成绩斐然数个“世界第一”夯实根基[N]. 中国改革报，2025-09-19(1).

[7] 刘永杰，杨琴，苏军虎，等. 光伏发电与“三北”工程建设协同发展分析[J]. 中国草地学报，2024，46(12)：122-129.

[8] 田政卿，张勇，刘向，等. 光伏电站建设对陆地生态环境的影响：研究进展与展望[J]. 环境科学，2024，45(1)：239-247.

[9] Luo Y Z, Cheng H G, Wang J, et al. Exploring the potential impacts of photovoltaic arrays on ecosystem conditions in arid and semi-arid regions[J]. Environmental Development, 2026, 57: 101372.

[10] 康丽娜. 内蒙古，远不远？电网“高速路”让草原绿能奔涌山海[N]. 内蒙古日报，2025-11-17(1).

［11］ 才琪，张华勇，张得斌，等．沙戈荒地区光伏治沙综合发展阶段及耦合协调性评价[J]．林业科技通讯，2025(12)：1-9.

［12］ Lai S H，Li X B，Jiang W G，et al.Evaluating the sustainability of ecological quality in Inner Mongolia Autonomous Region：bridging the millennium development goals and sustainable development goals[J]．Land Degradation & Development，2025，37：313-330.

［13］ 徐伟，刘振领．内蒙古光伏开发空间适宜性及减排效益研究[J]．干旱区地理，2024，47(4)：684-694.

［14］ Zhao Y Z，Li S Y，Yang D Z，et al.Assessment of site suitability for centralized photovoltaic power stations in Northwest China's six provinces[J]．Journal of Environmental Management，2024，366：121820.

［15］ Lyu F N，Wu J X，Yu Z R，et al.Quantifying the potential triple benefits of photovoltaic energy development in reducing emissions，restoring ecological resource，and alleviating poverty in China[J]．Resources，Conservation and Recycling，2025，215：108110.

［16］ 张乾，辛晓洲，张海龙，等．基于遥感数据和多因子评价的中国地区建设光伏电站的适宜性分析[J]．地球信息科学学报，2018，20(1)：119-127.

［17］ 赵振宇，张舒阳，葛潇．基于地理信息技术和模糊层次分析-模糊决策试行与评价实验方法(AHP-DEMATEL)的区域大型光伏电站选址指标体系构建：以内蒙古为例[J]．科技管理研究，2023，43(6)：78-87.

［18］ 王云正，王伊蒙，刘建国，等．巴丹吉林沙漠及周边地区光伏电站适宜性分区与生态建设建议[J]．中国沙漠，2025，45(1)：173-184.

［19］ 宁湘宇，邬明权，牛铮．海南岛集中式光伏电站选址综合定量评估[J]．遥感信息，2024，39(4)：153-165.

［20］ 东方，姜雨蒙，王乐乐，等．基于GIS技术光伏电站宏观选址技术分析：以四子王旗为例[J]．内蒙古气象，2024(1)：31-37.

［21］ 王海金，唐若笠，周雨诗，等．基于ArcGIS与多因子模型的光伏电站选址评估[J]．太阳能学报，2023，44(11)：120-130.

［22］ Saaty T L.A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]．Journal of Mathematical Psychology，1977，15(3)：234-281.

［23］ Aly A，Jensen S S，Pedersen A B.Solar power potential of Tanzania：identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis[J]．Renewable Energy，2017，113：159-175.

［24］ Zhuang Y C，Xu K，Bin L L，et al.Assessing China's wind-solar energy potential and complementarity under climate change：an environmental adaptability perspective[J]．Journal of Cleaner Production，2025，528：146778.

［25］ 陈思淇，张玉钧，高云，等．基于AHP-PROMETHEE-GIS的半干旱地区生态旅游活动适宜性分析：以宁夏灵武市白芨滩沙漠公园为例[J]．中国沙漠，2022，42(2)：121-133.

［26］ Feng X F，Zhang Z J，Chen Q，et al.Integrating remote sensing，GIS，and multi-criteria decision making for assessing PV potential in mountainous regions[J]．Renewable Energy，2025，241：122340.

［27］ 陈强，迟洪明，丁伟，等．腾格里沙漠南缘大型光伏基地植被保护和生态修复的理论与对策[J]．中国沙漠，2024，44(5)：123-132.

［28］ 王丽娟，王森，骆梦贺，等．基于AHP-GIS的山地光伏项目选址适宜性评价：以云南省会泽县为例[J]．太阳能学报，2025，46(11)：200-209.

［29］ 朱宾宾，孙双红，李艳红，等．呼伦贝尔沙地紫外辐射和太阳总辐射特征[J]．中国沙漠，2021，41(1)：111-118.

［30］ Duan M X，Gao M N，Li H，et al.Assessment of future photovoltaic power potential across the Qinghai-Tibet Plateau from the perspective of energy demand[J]．Applied Energy，2025，402：126854.

［31］ Lu H，Zhao W J.Effects of particle sizes and tilt angles on dust deposition characteristics of a ground-mounted solar photovoltaic system[J]．Applied Energy，2018，220：514-526.

［32］ Tian Q，Tian F.Weakening mountain vegetation aspect asymmetry due to altered energy conditions[J]．Nature Climate Change，2026，16(2)：193-199.

［33］ Jiang L G，Liu Y，Yang L W，et al.Spatio-temporal exposure of photovoltaic farms to typhoon disasters for sustainable development in China's coastal regions[J]．Resources，Environment and Sustainability，2025，22：100272.

［34］ 陈思宇，蒋俊霞，李帅兵．极端气候条件下光伏发电功率预测方法综述[J]．电气工程学报，2025，20(1)：281-290.

［35］ Cui H，Yang J X，Lv B，et al.Ecological impacts of photovoltaic power plants：from perspective of atmosphere，soil，hydrology，and biodiversity[J]．Reviews in Environmental Science and Bio/Technology，2025，24(4)：1057-1079.

［36］ Guo X Y，Zhang Y X，Guo D F，et al.How does ecological protection redline policy affect regional land use and ecosystem services?[J]．Environmental Impact Assessment Review，2023，100：107062.

［37］ Noorollahi Y，Ghenaatpisheh Senani A，Fadaei A，et al.A framework for GIS-based site selection and technical potential evaluation of PV solar farm using Fuzzy-Boolean logic and AHP multi-criteria decision-making approach[J]．Renewable Energy，2022，186：89-104.

［38］ 李鑫鹏，王朝平，邹松兵，等．基于层次分析法的黄河上游水源涵养区生态系统恢复力评价：以甘南州、临夏州为例[J]．中国沙漠，2022，42(6)：85-93.

［39］ 张景波，李新乐，刘雅婧，等．“光伏+生态治理”模式的实践挑战与策略建议[J]．中国沙漠，2025，45(5)：92-101.

［40］ 刘坤，王波，张发国，等．光伏电站建设的生态效应：光伏治沙研究进展与展望[J]．中国沙漠，2025，45(1)：277-291.

Suitability zoning for site selection of photovoltaic power plants in Inner Mongolia

Zhang Xiao[1], Hong Qian[1], Wang Yanbing[1], Dong Peng[2], Guo Mishan[2], Chen Xiaofeng[1], Zong Yixuan[1], Yin Xiaolin[2]

(1. *State Grid Economic and Technological Research Institute Co., Ltd., Beijing* 102209, *China*; 2. *Department of Sediment Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing* 100038, *China*)

Abstract: Balancing photovoltaic (PV) energy development with ecological conservation is a critical challenge for the sustainable development of China's desert, gobi, and wilderness regions. With its abundant solar energy resources and vast desert and gobi areas, the Inner Mongolia Autonomous Region has become a key region for China's PV industry expansion and holds a strategically important position in the national new energy layout. This study developed a suitability evaluation system for PV power plant siting in Inner Mongolia by integrating both resource endowment and ecological constraints. Seven resource-related indicators were selected: annual total solar radiation, annual sunshine duration, annual mean wind speed, annual precipitation, fractional vegetation cover, slope, and aspect. The weights of these factors were determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Two rigid constraints, namely the distribution of nature reserves and land use type, were selected and binarized following relevant regulations. Single-factor evaluations, weighted overlay analysis, and constraint-based corrections were performed using ArcGIS. Based on the integrated suitability scores, the study area was classified into four categories: prohibited development zones, low-suitability zones, medium-suitability zones, and high-suitability zones. The results showed that total solar radiation (weight: 41.4%) and annual sunshine duration (27.0%) were the core resource factors driving PV site selection. The suitability for PV development in Inner Mongolia exhibited a distinct spatial pattern, characterized by "high suitability in the west and strong constraints in the east." High-suitability zones, accounting for 27.46% of the total area, were concentrated in the desert and Gobi regions of northern Alxa League and Bayannur City. In contrast, prohibited development zones covered 68.71% of the area, mainly encompassing ecologically sensitive regions such as the Greater Khingan forest area in the northeast, the eastern grassland belt, and the Hetao Plain in the south. Resource conditions determine the upper limit of development potential, while ecological red lines delineate the ultimate constraints. The final development potential of a region is thus jointly shaped by its resource endowment and policy-driven ecological boundaries. It is recommended that high-suitability zones be prioritized for large-scale, centralized PV installations along with the simultaneous implementation of ecological restoration measures, whereas prohibited development zones should strictly avoid large-scale ground-mounted PV projects. This study provides spatial decision-making support at the preliminary screening stage for the macro-level planning of Inner Mongolia's PV industry layout and for ecological control zoning.

Key words: photovoltaic power plant; site suitability; Analytic Hierarchy Process (AHP); ArcGIS; ecological constraints