基于数字规划技术的孟加拉国吉大港区域可再生能源资源评估及开发潜力分析

李光伟，胡延龙
（中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 611130）

摘 要：孟加拉国是“一带一路”合作倡议中的重要合作国家，全国电力供应缺乏，能源建设需求较大。吉大港区域具有较好的可再生能源资源，是未来孟加拉国可再生能源建设的重点区域。由于吉大港区域可再生能源项目存在资料不齐、方向不准、市场不明等问题，致使我国能源企业在该区域面临较大投资风险。因此，本文基于 ARCGIS 空间分析技术，通过可再生能源数字规划技术融合，并依托 ASTER 全球地形数据、GRDC 全球径流资料、AWS 风能资源数据和 SolarGIS 太阳辐射数据，对吉大港区域的水能、风能和光伏发电规划进行了初步研究，提出了初步规划方案，为我国能源企业开拓国际市场提供重要参考。

关键词：孟加拉国；吉大港；可再生能源；资源评估；数字规划
中图分类号：TN742.1；P754.1；[P967] **文献标识码**：A **文章编号**：1001-2184(2019)06-0126-07

Renewable Energy Resources Assessment and Development Potential Analysis in Chittagong Region of Bangladesh Based on Digital Planning Technology

LI Guangwei, HU Yanlong
(Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611130)

Abstract: Bangladesh is an important cooperation country in the “belt and road” cooperation initiative, where is a lack of power supply and a large demand for energy construction in the country. Chittagong has good renewable energy resources and is the key area for renewable energy construction in Bangladesh in the future. Due to the problems of incomplete information, inaccurate direction and unclear market of renewable energy programs in Chittagong region, Chinese energy enterprises are faced with greater investment risks in this region. Therefore, basing on ARCGIS spatial analysis technology, through the integration of renewable energy digital planning technology, and relying on ASTER global terrain data, GRDC global runoff data, AWS wind energy resource data and SolarGIS solar radiation data, this paper makes a preliminary study on the planning of hydropower, wind energy and photovoltaic power generation in Chittagong region, and puts forward a preliminary planning scheme to open up the international market for China's energy enterprises, which can provide important references.

Key words: Bangladesh; Chittagong; renewable energy; resource assessment; digital planning

1 前 言

孟加拉国是“一带一路”沿线重要国家。全国 2018 年 GDP 总量约 2740 亿美元，人均 GDP 不到 1700 美元，是世界上最不发达的国家之一。近年来，在我国“一带一路”倡议推动下，孟加拉国经济增长迅速，电力需求巨大。2005～2016 年，孟加拉国用电量从 245 亿 kWh 增长到 643 亿 kWh，年均增长 7.1%，但 2016 年全国人均用电量仅 407 kWh，在所有国家中处于较低水平。由于电力设施缺乏，孟加拉国拉闸限电较为严重，农村电力普及率仅为 40%，仍有约 1 300 万户农村家庭未通电。可见，孟加拉国存在巨大电力建设需求。截至 2016 年底，全国电力装机容量总装机容量为 15 351 MW，其中超过 60%装机来自天然气发电。为避免化石能源的过度消耗以及对进口，孟加拉国计划发展一批可再生能源项目，以满足国内用电需求。

孟加拉国可再生能源由水能、风能、太阳能、

收稿日期：2019-10-31

生物质能等构成,资源主要集中在沿海地区以及东南部吉大港山区。针对孟加拉国可再生能源资源评估,国内外学者开展了大量研究。吴磊、詹红兵分析了孟加拉国主要可再生能源资源禀赋以及开发现状,深入研究了孟加拉国国内能源供需形势和国际能源合作现状[1]。李森达研究了孟加拉国小水电开发潜力,并对孟加拉国可再生能源政策以及小水电的发展障碍进行了分析[2] Hossain 等人研究提出孟加拉国太阳能发电具有较大开发潜力,并建议政府制定激励政策实现可再生能源的持续增长[3]。Halder 等人分析总结了孟加拉国能源供需形势以及国内生物质能、太阳能、水能、潮汐能的开发潜力[4],文献[5,6]也开展了类似研究。此外,Habibullah 等人[7]和 Sikder 等人[8]分别对孟加拉国生物质能和潮汐能开发潜力进行了分析。以上研究均表明,孟加拉国可再生能源主要集中在东南部吉大港山区,且目前开发利用程度较低,具备一定开发潜力。因此本文基于数字规划技术,对孟加拉国吉大港地区水能、风能和太阳能三种主要可再生能源开发潜力进行分析。

2　可再生能源数字规划技术框架

2.1　水电数字规划技术

随着遥感、测绘技术不断进步,目前已出现了多种高精度地形、气象、地质以及水文等基础数据,这让水电数字规划成为可能。以 GIS 为基础的成套数字规划技术,包括数字河网提取、条带状等高线提取、水位库容曲线计算、理论蕴藏量分析等功能,是水电数字规划技术发展的主要方向。在已有研究中,黄硕基于 ASTER GDEM 和 Arc Hydro 开展了数字地形提取及水文分析应用,贺军和谭为雄基于 GIS 开展了水电规划决策支持系统框架的设计,但以上研究均只集中在水电数字规划中某个功能的实现,并未对水电数字规划流程和方法开展系统设计。因此,本研究基于 ARCGIS 空间分析技术,结合传统水电规划技术和方法,提出新的水电数字规划流程,见图 1。

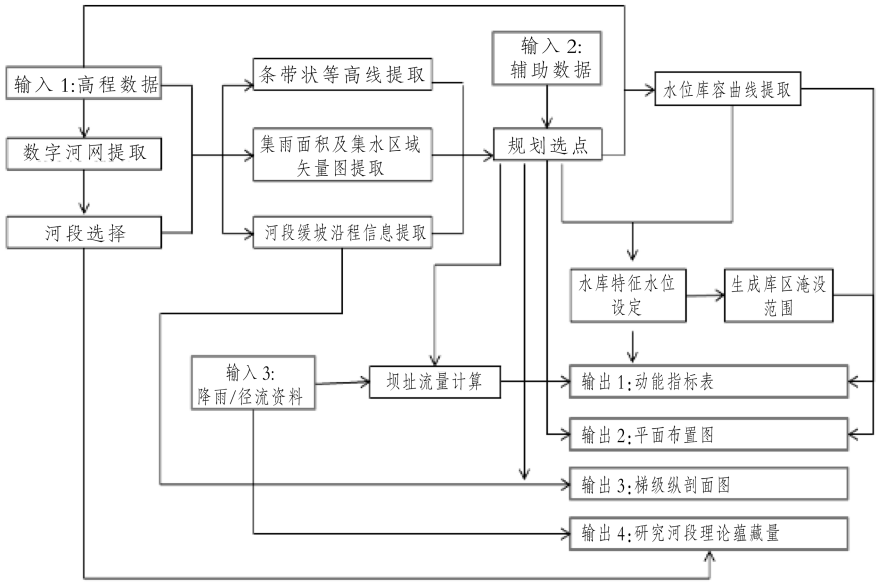

图 1　水电数字规划流程图

以上流程中主要技术步骤如下:

(1)数字河网提取

数字河网是开展水电数字规划工作的基础数据之一,同时也是河段理论蕴藏量计算的重要输入数据之一。根据水电规划需要,数字河网一般需要包含集雨面积、河段长度、河段落差、河段比降、距河口距离等信息。数字河网提取技术以 ARCGIS 空间分析为基础,通过二次开发,可从高精度 DEM 地形数据中,自动识别并提取具有矢量河道以及河段地形参数的综合数字化河网,该模块包括 DEM 数据输入、填洼预处理、栅格流向判断、累积流量计算、河道识别、河段集雨区域生成,地形参数统计等功能。数字河网提取采用简单的输入输出接口,输入栅格地形(WGS1984 地

理坐标系),并选择适合的投影坐标系后,生成 shp 格式的矢量河流水系。主要流程见图 2。

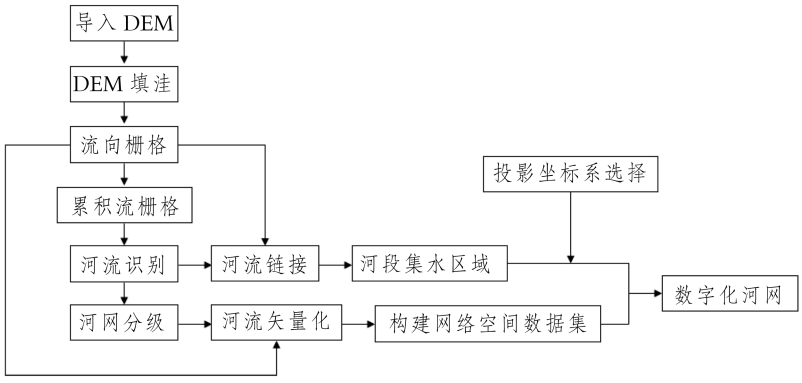

图 2　数字河网提取流程图

(2)河段理论蕴藏量计算

河段理论蕴藏量计算理论和方法目前已较为成熟,理论上应按有限元法,令河段长度 L→0,间段数 i→∞,沿河长积分。由于其边界条件复杂、数据量大,实际工作中一般按照一定长度分河段计算后累积,而河段的划分和控制断面的选择,对计算结果会产生较大影响。因此,数字规划工作目的是改进理论蕴藏量的计算精度与速度。本节输入数字河网成果,并基于全球 GRDC 水文站径流数据,按照图 3 所示流程,得到各河段理论蕴藏量计算结果。

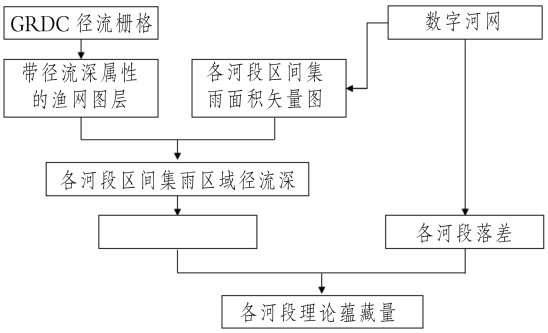

图 3　河流理论蕴藏量计算流程图

(3)水电数字规划选点

水电数字规划选点是在数字河网、地形、地质和影像等资料基础上,确定规划范围,提出技术经济可行、符合资源特点、环境影响评价可行的开发利用发电量最大化方案。规划选点主要原则如下:

①河流规划要处理好内河航运开发与水利水电枢纽建设的关系,为提高内河航道等级创造条件;随着沿江城市的发展,尤其是亲水城市的建设,要求河流规划中要满足城市景观用水等需求;

②尽量避让生态敏感区,满足生物生存空间和通道等要求,避免造成水电开发超出河流生态系统的自我修复能力,保证流域生态系统健康的底线;

③高度重视并处理好梯级水电布局与重点保护区域、自然景观的关系,因地制宜保留未开发河段,使水能资源的开发利用与流域经济社会、生态环境协调发展,促进人与自然的和谐;

④应尽量避免对沿河人居环境较好、耕地较富集河段的淹没影响,保障移民脱贫致富;规划河段内临江有部分居民和耕地较集中的片区,要尽量以这些片区为控制进行梯级布置,使水电开发与流域社会稳定、可持续发展相适应。

2.2　风电数字规划技术

风电数字规划系统重在规划设计,核心在地理数据资源和 GIS 分析计算,基于统一基础软硬件基础设施支撑,完成风电场规划设计信息数据库搭建,通过标准的 SOA 服务架构,完成规划数据的查询统计、报表生成、GIS 可视化等功能,为用户提供统一的资源分析、规划设计、项目展示等应用,基本规划流程见图 4。

(1)平均风功率密度计算

根据风功率密度的定义,风功率密度 w 为空气密度和风速 v 两个随机变量的函数,由于风速是一个随机值,因此一定时间 T 内的平均风功率密度的表达式如下:

$$\overline{w}=\frac{1}{2T}\int_0^T \rho v^3 dt$$

式中:$\overline{w}$ 为平均风能,W/m^2;ρ 为空气密度,

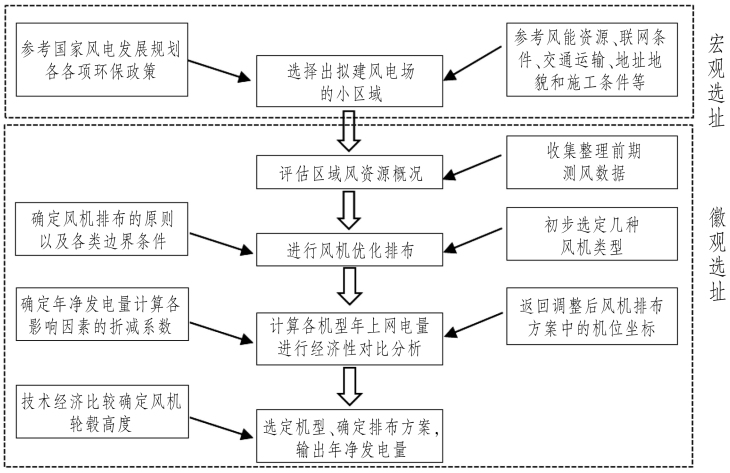

图 4　风电场规划基本流程

kg/m^3;T 为总时数,h。

空气密度 ρ 是气压、气温和温度的函数,其计算公式为:

$$\rho=1.276\times\frac{p-0.378e}{1\ 000(1+0.00366t)}$$

式中　p 为气压,hPa;t 为气温,℃;e 为水汽压,hPa。

对一地而言,空气密度 ρ 的变化可忽略不计,因此,风功率密度由 v^3 随机变化所决定。风能的概率分布取决于风速的概率分布特征,风速立方的分布仍然是一个威布尔分布,其形状参数为 $3/k$,尺度参数为 c^3。因此平均风功率密度 $\overline{w}$ 可以用下式进行推算:

$$\overline{w}=\frac{1}{2}\rho c^3\varepsilon(3/k+1)$$

(2)有效风功率密度计算

在有效风速范围内(风力发电机组切入风速 v_1 到切出风速 v_2 之间的范围)内,有效风功率密度 w 为:

$$w=\frac{1}{2}\rho\frac{k/c}{\exp[-(\frac{v_1}{c})^k]-\exp[-(\frac{v^2}{c})^k]}\int_{v1}^{v2}v^3(\frac{v}{c})^{k-1}\exp[-(\frac{v}{c}^k]dv$$

(3)风能可利用时间计算

$$t=N\{\exp[-(\frac{v_2}{c})^k]-\exp[-(\frac{v_2}{c})^k]\}$$

式中,N 为统计时段的总时间(h)。一般年风能可利用时间在 2 000 h 以上时,可视为风能可利用区。

(4)风电场年发电量计算

单机年发电量为年平均各等级风速(有效风速范围内)的风速小时数乘以此风速等级对应的风力发电机组输出功率的总和。其计算公式如下:

$$G=\sum N_iP_i$$

式中　G 为年发电量,kWh;N_i 为相应风速等级出现的全年累计小时数,h;P_i 为风力发电机组在此等级风速下对应的出力,kW。

风电场年发电量为各单机年发电量的总和。计算采用的风力发电机组功率表或功率曲线图必须是厂家提供的、由权威机构测定的风力发电机组功率表或功率曲线图。标准空气密度是指标准大气压下的空气密度,一般为 1.225 kg/m^3。在标准空气密度下,风力发电机组的输出功率与风速的关系曲线称为该风力发电机组的标准功率曲线。

(6)测站 50 a 一遇最大风速

测站 50 a 一遇最大风速计算公式为:

$$v_{50_max}=u-\frac{1}{a}\ln[\ln(\frac{50}{50-1})]$$

v_{50_max}为测站在 50 a 内所出现的 10 min 平均风速的最高值。一个风场的极端气象条件对风力发电机组载荷的评估和风场的分级有着重要的影响。在最大阵风速度和最大 10 min 平均风速(多年一遇)之间存在紧密联系。

2.3　光伏发电数字规划技术

光伏电站规划设计系统需实现从资源评估、

开发条件分析、宏观规划到微观选址与设计一整套技术流程。主要功能包括数据处理与维护、太阳能资源数据浏览和查询、资源评估、场址选择、场址处太阳能资源估算、光伏阵列排布和发电量估算。

光伏电站规划设计系统重在规划设计，核心在地理数据资源和 GIS 分析计算，基于统一基础软硬件基础设施的支撑，完成光伏电站规划设计信息数据库的搭建，通过标准的 SOA 服务架构，完成规划数据的查询统计、报表生成、GIS 可视化等功能，为用户提供统一的资源分析、规划设计、项目展示等应用，系统总体业务流程见图 5。

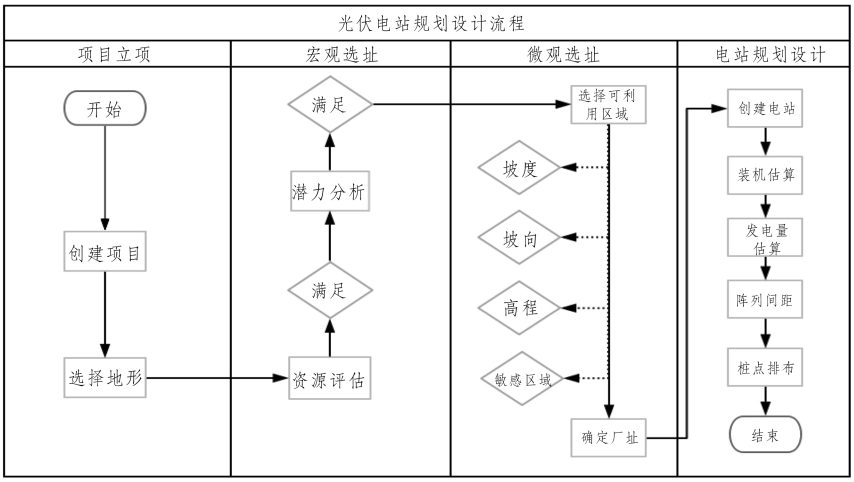

图 5　光伏电场规划基本流程

光伏发电数字规划系统可利用气象站数据和实测辐射数据计算光伏倾斜面辐射，对于缺资料地区，一般以气象站数据为主。倾斜面辐射计算方法如下：

(1)计算方法

计算方法采用 Klein 法，具体计算公式如下：

$$Q_t = S \times R_b = D \times (1+\cos\alpha)/2 + Q \times A \times (1-\cos\alpha)/2$$

式中：Q_t、Q 分别为倾斜面、水平面上总辐射量；S、D 分别为水平面上直接辐射量和散射量；R_b 为倾斜面与水平面直接辐射的比值；α 为倾斜面与水平面的夹角，即倾角；A 为地面反射率；

其中：

$$R_b = \frac{\cos(\Phi-\alpha)\cos\delta\sin h's + \frac{\pi}{180}h's\sin(\Phi-\alpha)\sin\delta}{\cos\Phi\cos\delta\sin h_s + \frac{\pi}{180}h_s\sin\Phi\sin\delta}$$

式中：Φ 为当地纬度；δ 为太阳赤纬。太阳赤纬度随季节变化，按库珀(cooper)方程计算，见下式：

$$\delta = 23.45\sin\left(360\times\frac{284+n}{365}\right)$$

式中：n 为一年中的天数，如在 1 月 1 日，$n=1$，以此类推。太阳赤纬 δ 计算各月按选取代表日计算。

h_s 为水平面上日落时角：

$$h_s = \arccos(-\mathrm{tg}\Phi\times\mathrm{tg}\delta)$$

$h's$ 为倾斜面上日落时角：

$$h's = \min\{h_s, \arccos[-\mathrm{tg}(\Phi-\alpha)]\times\mathrm{tg}\delta\}$$

(2)参数选取

S、D 分别为水平面上直接辐射量和散射量，气象站数据无散射辐射量记录，只能按比例估算；一般工程散射量按占总辐射量 20%取值；A 为地面反射率。

3　孟加拉国吉大港区域可再生能源资源评估及开发潜力分析

本节基于第 2 节提出的可再生能源数字规划方法，对孟加拉国吉大港区域水能、风能和太阳能资源开发潜力进行评估。吉大港区域位于孟加拉国东南部，面积 3.38 万 km^2，人口约 392 万人。首府吉大港市是孟加拉国最大港口城市，也是人口第二大城市。

3.1　水能资源评估及选点分析

根据美国地质勘探局(USGS)流域资料，吉大港区域共有大小流域 12 个，其中主要流域包括卡纳福利河、松古河和马达穆霍河。目前吉大港区域仅在卡纳福利河建成了一座装机容量

242MW 水电站,其余河流尚未开发。利用 ASTER GDEM 30m 精度地形数据生成数字河网,并采用第 2 节水能资源理论蕴藏量计算模型和 GRDC 全球径流场等值线图,计算得到三条河流的理论蕴藏量。理论蕴藏量计算结果见表 1 所示。

表 1　吉大港区域主要河流理论蕴藏量计算结果

河流名称	水能资源蕴藏量 /MW	已开发容量 /MW
卡纳福利河	330	242
松古河	130	0
马达穆霍河	60	0

根据影像图资料,卡纳富利河已建成电站下游未开发河段河道平缓,两岸有大量居民点和田地分布,开发条件相对较差,基本不具备梯级布置的条件,因此,本节重点对松古河以及马达穆霍河水电开发潜力进行分析。

松古河全长约 294 km,为跨界河流,其起源于缅甸 Arakan 州丘陵地区,流域面积约为 3 700 km^2。孟加拉国内河段长度约 240 km,落差约 200 m,平均坡降 0.83‰。根据松古河所处的河谷地形地貌、两岸所分布的地物等,具有开发价值河段共 2 段:一是 Thanchi 镇以上河段,长约 70 km,落差约 140 m,平均坡降 2‰,河段基本属于峡谷型河道,具有较好的建坝条件,在峡谷出口可布置一级 Thanchi 梯级,按坝式开发,利用落差约 65 m。另一河段是 Ruma 镇以下河段,长约 100 km,落差约 50 m,河流坡降为 0.5‰,该河段在 Bandarban 以上基本属于丘陵地貌,为尽量减少梯级布置对 Bandarban 的影响,可在 Bandarban 上游约 6 km 处建坝,布置一个梯级 Bandarban,水位以不影响 Ruma 为控制,可利用落差约 25 m。

马达穆霍河起源于孟加拉东南部丘陵地区,基本位于孟加拉国境内,境内集雨面积约为 1 540 km^2,河流全长约 170 km,落差约 135 m,平均坡降 0.79‰。根据河流所处河谷地形地貌、两岸所分布的地物等,具有较大开发利用价值的河段主要集中在 Alikadam 以上河段,该河段河长约 35 km,落差约 75 m,集中了整个河流约一半的落差,且两岸山体较好,基本属峡谷型河道,建坝条件较好,但集雨面积相对较小。在该河段下游峡谷向盆地过渡的出口段可布置一个梯级 Alikadam,利用落差约 40 m。

综上所述,根据数字规划选点结果,孟加拉国吉大港区域可在松古河和马达穆霍河上布置梯级共 3 座,总装机容量 57 MW,多年平均发电量 2.9 亿 kWh。

3.2　风能资源评估及选点分析

孟加拉国全年可分为 3 季:10 月至次年 3 月为旱季,盛行干燥而较凉的东北季风;4～6 月为热季;7～9 月为雨季。风能资源主要集中在 7～9 月的西南季风期,其余月份风速较小。受西南季风影响,沿海及东南部山地年平均风速在 5.5 m/s 以上,具有可开发价值。由于孟加拉国平原地区人口密集,风电的噪音影响难以避免,因此,风电开发区域应放在人口较少的近海山地丘陵地区。根据数字规划地形和风速分析,吉大港北部的沿海丘陵区和松古河西侧山脉具有较好的地形条件,适宜大规模建设风电,现已初步规划吉大港北部风电场和松古河西侧 2 个风电场,装机共 1 000 MW。

吉大港北部沿海丘陵区大体为南北走向,与海岸线平行,与海岸距离为 3～10 km。丘陵区海拔高度 50～200 m,长度约 60 km,场址区南端距吉大港约 10 km,距离负荷中心近,交通与送出均很方便。该区域 80 m 轮毂高度处风速为 5.6 ± 0.7 m/s,其中大风月集中在 6 ～8 月,风向主要为西南南(WSS)方向;小风月集中在 9 月至次年 5 月。根据风电数字规划系统分析,该区域可装机约 400 MW。

松古河西侧山脉大体为南北走向,海拔高度 500～900 m,山体连续,长度约 90 km。山顶有道路通过,交通方便。场址区北端距吉大港约 50 km,可与松古河流域水电统一规划,打捆送出。该区域 80 m 轮毂高度处风速为 5.2 ± 0.7 m/s,其中大风月集中在 6～8 月,风向主要为西南南(WSS)方向;小风月集中在 9 月至次年 5 月。根据风电数字规划系统分析,该区域可装机约 600 MW。

孟加拉国风电场数字规划结果见表 2 所示。

3.3　太阳能资源评估及选点分析

孟加拉国太阳能资源丰富,年日照时间达 3 100～3 400 h。太阳能总辐射量受太阳高度角影响,3～8 月太阳能总辐射量较高,9 月至次年 1 月太阳能总辐射量较低。年总辐射量在 6 300 MJ 左右,属太阳能资源很好的区域,具有较好的

表 2　孟加拉国吉大港区域规划风电场参数表

序号	东经(度)	北纬(度)	风电场名称	海拔高程/m	类型	面积长度/km	风速/m·s^{-1}	主风向	初拟装机容量/MW
1	91.720	21.644	吉大港	50～200	浅丘	60	5.6 ±0.7	WSS	400
2	92.360	21.843	松古河西	500～900	山地	90	5.5 ±0.7	WSS	600

光伏发电开发价值。太阳能直射辐射主要受季风气候的影响，5～10 月太阳能直射辐射量较低，11 至次年 4 月太阳能直射辐射量较高。年直射辐射量在 6 000 MJ 左右，资源情况一般，光热发电开发价值不大。由于全国人口密度很高，平原地区绝大部分土地被耕地、森林和房屋覆盖，可用于大规模开发并网光伏电站的区域较少。但由于当地降雨量大，洪水泛滥时有发生，在部分河流两岸和沿海区域存在一些不适宜居住、耕种的洪泛区和滩涂，可集中利用开发。此外，也可考虑在吉大港山区部分植被覆盖少，地形条件较好的山体进行开发。根据该区域地形地貌和太阳能辐射条件，初步规划莫伊斯卡尔和阿里卡丹 2 个太阳能光伏发电厂共 490 MW。

莫伊斯卡尔光伏场址位于孟加拉国吉大港专区的莫伊斯卡尔岛西南侧，距离科克斯巴扎尔区约 8.3 km。场地类型为滩涂，地形平坦开阔，无遮挡，平均海拔高度约 2～6 m。场址面积 10.9 km^2，初拟装机规模 440 MW。场址区年平均太阳总辐射量为 6 719 MJ/m^2，附近有 Z1004 公路通过，交通条件较好。

阿里卡丹光伏场址位于孟加拉国吉大港专区阿里卡丹村东南部约 18 km 处的马达穆霍河左侧山顶。场地类型为荒地，地形平坦开阔，无遮挡，平均海拔高度约 170～200 m。场址面积 0.7 km^2，初拟装机规模 30 MW。场址区年平均太阳总辐射量为 6 854 MJ/m^2，附近无公路，需新建上山道路。

孟加拉国光伏电厂数字规划结果见表 3 所示。

表 3　孟加拉国吉大港区域规划光伏电厂参数表

场址名称	东经(度)	北纬(度)	海拔 /m	面积 /km^2	年平均总辐射量 MJ/m^2	初拟装机容量/MW
莫伊斯卡尔	91.910	21.530	2～6	10.9	6 719	440
阿里卡丹	92.412	21.519	170～200	0.7	6 854	30

4　结　语

本文基于 ARCGIS 空间分析技术，研究了水电、风电、光伏发电数字规划方法。依据 ASTER 30 m 空间分辨率的全球地形数据、GRDC 全球流量数据、AWS Windnavigator 风能资源数据，SolarGIS 太阳能辐射数据，并采用可再生能源数字规划系统，对孟加拉国吉大港区域的水电、风电和光伏发电数字选点规划进行了初步研究，得出了以下结论：

(1)基于 ARCGIS 空间分析技术的可再生能源规划模型，能在满足一定精度前提下，实现对数字河网、河流理论蕴藏量、风况、太阳辐射等资料的快速提取，规划效率较传统规划方法提高 5～10 倍。同时，利用该模型可进行全球任意地区水、风、光可再生能源规划，有效解决无资料地区可再生能源规划的难题。

(2)通过研究发现，孟加拉国吉大港区域风能、太阳能资源较为丰富，水能相对一般。通过数字规划技术选点，吉大港区域 3 条主要河流可开发水电站 3 座，总装机容量 57 MW；吉大港区域共规划风电场 2 座，总装机容量 1 000 MW；共规划光伏电站 2 座，总装机容量 470 MW。

(3)本文侧重于通过数字化技术实现对孟加拉国吉大港区域可再生能源资源的评估和开发潜力的分析，对工程地质等因素考虑较少。同时，数据精度的限制以及投影的误差会导致规划成果存在一定的偏差，在获取更高精度的地形、地质和资源数据后，规划成果存在调整的可能。故本文分析结果仅供参考。

参考文献：

[1] 吴磊，詹红兵. 孟加拉国能源可持续发展问题探析[J]. 南亚研究，2018，(02)：55－72＋157.

[2] 李森达. 孟加拉国小水电发展报告——《世界小水电发展报告 2016》国别报告(之四)[J]. 小水电，2017，(06)：6－8.

[3] HOSSAIN M F，HOSSAIN S，UDDIN M J. Renewable Energy：Prospects and Trends in Bangladesh[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews，2017，70：44－49.

(下转第 136 页)

包括作业标准、施工规范及验收标准、工程质量要求、施工工艺流程、施工操作要点以及出现紧急情况下的救援措施等,并留存记录。

(2)原材料及混合料在存放、运输、拌制及喷射过程中,需严防雨淋以及杂草、大块石等杂物混入。

(3)在施工前对喷射面进行仔细检查,并做好以下工作:安设工作平台;埋设控制喷播植草混合料喷射厚度的标志;对施工机械设备,风水管线和电线进行全面检查和试运行;检查安全绳、安全带、安全稳固桩的牢固和可靠程度。

(4)施工过程中应安排专人全程值守安全稳固桩,定时检查安全绳、安全带、安全稳固桩的牢固和可靠程度;喷射机作业应严格执行喷射机操作规程[4],连续向喷射机供料,保持喷射机工作风压稳定;严禁边坡上下同时作业;严禁在大风和雨天进行喷播植草作业。

(5)喷播植草混合料施工时候的气温不得低于 15℃,植草混合料的 PH 值要控制在 5.6～8 之间[6],以利于植物生长,施工现场要配足 PH 测试纸,以准确掌握实际的基材酸碱情况。

4　施工中存在的一些问题和建议

天堂湖市政景观工程环湖道路边坡喷播植草生态护坡工程,存在的主要问题就是混合料的配合比。配合比中水泥用量增加在一定程度上会增加混合料的强度,但同时也增加了混合料的水化热和碱性,对植物生长不利。建议在今后类似工程施工中,选用强度较高的生态混凝土,因为生态混凝土对边坡的防护能力能大大增强,但成本较高。

5　结　语

天堂湖市政景观工程环湖道路边坡喷播植草生态护坡工程施工周期约两个月,施工时段选择春末夏初适宜植草的季节,施工开始进行半个月以后,刚开始喷播施工的坡面种子已经开始发芽成长。全部完工后一个月左右,整个坡面基本已被绿植覆盖。相比于传统的混凝土框格梁、菱形骨架内种植草皮支护,喷播植草生态护坡具有投入小、成本低、技术要求低、方便操作、施工速度快等显著优点,且喷播植草与周围优美的生态环境完美融于一体,实现了人与自然的和谐相处,取得了良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

[1] 植被混凝土边坡绿化技术 [EB/OL].[1900－01－01]http://baike.baidu.com/.

[2] 许文年,等.植被混凝土生态防护技术理论与实践[M].水利水电出版社.

[3] 园林绿化工程及施工验收规范标准[S].CJJ 82－2012.

[4] 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范[S].GB50086－2015.

[5] 汪东,肖飚.有机基材喷播绿化技术在高速公路岩质边坡的应用[J].四川草原,2003(5).

[6] 高速公路边坡绿化设计、施工及养护技术规范[S],北京市地方规范[S].DB11/T 1112－2014.

作者简介:

秦新朝(1980-),男,河南辉县人,高级工程师,从事总承包项目管理工作.

(责任编辑:吴永红)

(上接第 132 页)

[4] HALDER P K, PAUL N, JOARDDER M U H, et al. Energy scarcity and potential of renewable energy in Bangladesh[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 51: 1636－1649.

[5] AHMED S, ISLAM M T, KARIM M A, et al. Exploitation of renewable energy for sustainable development and overcoming power crisis in Bangladesh[J]. Renewable Energy, 2014, 72: 223－235.

[6] ISLAM M T, SHAHIR S A, UDDIN T M I, et al. Current energy scenario and future prospect of renewable energy in Bangladesh[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 39: 1074－1088.

[7] HABIBULLAH M, MASJUKI H H, KALAM M A, et al. Potential of biodiesel as a renewable energy source in Bangladesh[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 50: 819－834.

[8] SIKDER A K, KHAN N A, RAHMAN M T, et al. Tidal energy: A solution to energy crisis in coastal area of Bangladesh[C]. IEEE International Conference on Electrical Engineering & Information & Communication Technology, 2014 .

作者简介:

李光伟(1983-),男,四川什邡人,高级工程师,硕士,从事水资源开发利用与保护、能源发展战略研究工作;

胡延龙(1987-),男,四川攀枝花人,高级工程师,博士,从事水资源开发利用与保护、能源发展战略研究工作.

(责任编辑:卓政昌)