

大兴国际机场污水站光伏建设方案研究

刘 慷

北京首都机场动力能源有限公司, 北京 102206

[摘要] 本文从大兴国际机场污水站现有闲置的土地资源出发, 综合考虑气候资源、屋顶荷载、主要设备选型、光伏阵列设计等因素, 对大兴国际机场光伏建设方案进行了研究, 分析了其电能质量、社会效益和经济效益, 建议尽早推进实施项目的落地与实施。

[关键词] 大兴机场、碳中和、光伏选型、光伏并网

DOI: 10.33142/sca.v6i7.9616

中图分类号: TU2

文献标识码: A

Research on Photovoltaic Construction Plan for Daxing International Airport Sewage Station

LIU Kang

Beijing Capital Airport Power Energy Co., Ltd., Beijing, 102206, China

Abstract: Starting from the existing idle land resources of the Daxing International Airport sewage station, this article comprehensively considers factors such as climate resources, roof load, main equipment selection, photovoltaic array design, etc., and studies the photovoltaic construction plan of Daxing International Airport. It analyzes its power quality, social benefits, and economic benefits, and suggests promoting the implementation of the project as soon as possible.

Keywords: Daxing Airport, carbon neutrality, photovoltaic selection, photovoltaic grid connection

1 项目背景

2020年9月22日, 国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布, 中国二氧化碳排放力争在2030年前达峰, 努力争取2060年前实现碳中和; 2022年1月, 民航局印发了《“十四五”民航绿色发展专项规划》, 在规划中提出了低碳能源消费占比不断提升的要求。在此背景下, 在民航机场空闲的屋面或土地上建设光伏发电系统有助于民航机场提升可再生能源占比, 助力碳达峰碳中和工作。大兴国际机场污水站于2019年投入使用, 站内的清水池、配水泵房、MBR膜池及综合处理间、鼓风机房及主变配电、办公楼、MBR膜池及设备间、污泥脱水间等建筑物和构筑物的顶部均有大量的空间可以利用, 建设分布式光伏发电系统存在较大的可能性。

2 光伏项目的建设基础

本文先从项目所处位置的气候资源条件和大兴国际机场污水站屋顶荷载基础分析建设光伏的可行性。

2.1 气候资源

2.1.1 太阳能资源

太阳能资源的分布与所在地的纬度、海拔高度、地理状况和气候条件等因素有关, 根据北京市气象站统计结果, 大兴机场污水站所处位置的平均太阳辐射量约为 $4848.66\text{MJ}/\text{m}^2$, 根据太阳能资源丰富程度等级划分标准, 太阳能资源属于II类“资源很丰富”地区。此外北京地区的太阳能资源稳定程度很高, 属于稳定等级, 为北京地区利用太阳能提供了极为有利的自然条件。

2.1.2 其他气候资源

大兴国际机场污水站所在地的多年平均气温 12.7°C , 多年极端最高气温 41.9°C , 多年极端最低气温 -18.3°C , 按本工程场区极端气温数据校核, 太阳能电池组件的工作温度可控制在允许范围内, 站址区气温条件对太阳能电池组件及逆变器的安全性没有影响。大兴国际机场污水站四周无遮挡, 多年平均风速为 $2.5\text{m}/\text{s}$, 最大风速 $36\text{m}/\text{s}$, 考虑到大兴国际机场污水站处于航线正下方, 且太阳能电池组件迎风面积较大, 支架设计必须考虑风荷载的影响。

综上所述, 大兴机场污水站所处的地理位置的资源禀赋环境和气候环境较好, 具备建设光伏项目的有利条件。

2.2 荷载基础

本方案所涉及的建设位置均为建筑物或构筑物的屋顶, 光伏项目的建设形式为在屋顶上加装光伏组件实现光伏发电的成果, 因此需要考虑现有建筑物或构筑物能够承受该部分荷载。大兴国际机场污水站清水池、配水泵房、MBR膜池及综合处理间、鼓风机房及主变配电、办公楼等建筑物屋顶均为混凝土屋面, MBR膜池及设备间、污泥脱水间为轻型骨架屋面。查看相关设计图纸的要求, 混凝土屋面活荷载要求是不超过 $2\text{KN}/\text{m}^2$, 轻型骨架屋面活荷载要求是不超过 $0.5\text{KN}/\text{m}^2$ 。从以上分析可以看出, 大兴机场污水站的屋顶具备较好的建设光伏的基础条件, 但需要注意的是光伏的设计方案需满足较大风荷载及承重荷载的要求。

2.3 主要设备选型

主要设备选型主要从技术成熟度、稳定性、发电效率和安全性等几个角度出发, 综合考虑本项目的设备选型。

2.3.1 光伏组件选型

目前,太阳能电池按基体材料主要分为:硅太阳能电池、化合物半导体太阳能电池、有机半导体太阳能电池和薄膜太阳能电池。硅太阳能电池主要包括单晶硅(Single Crystalline-Si)电池、多晶硅(Polycrystalline-Si)电池、非晶硅(Amorphous-Si)电池、微晶硅(μc -Si)电池以及 HIT 电池等;化合物半导体太阳能电池主要包括单晶化合物电池如砷化镓(GaAs)电池、多晶化合物电池如铜铟镓硒(CIGs)电池、碲化镉(CdTe)电池等、氧化物半导体电池如 Cr_2O_3 和 Fe_2O_3 等。有机半导体太阳能电池主要有分子晶体、电荷转移络合物、高聚物三类;薄膜太阳能电池主要有非晶硅薄膜电池(α -Si)、多晶硅薄膜电池、化合物半导体薄膜电池、纳米晶薄膜电池等。在各类太阳能光伏组件设备中,单晶硅、多晶硅太阳能电池由于制造技术成熟、产品性能稳定、使用寿命长、光电转换效率相对较高的特点,被广泛应用于大型并网光伏电站项目,在市场中占主导地位。考虑到技术成熟度、转换效率、规模化生产等情况,本工程选用晶硅类太阳能电池。从太阳能电池技术路线来看,高效组件主要分为以下几种主要技术路线,主要包括 PERC、黑硅、N 型、IBC、HIT、MWT、1500V 技术等。

结合本项目实地施工、安装及满足屋顶荷载要求情况,本项目主要设备选型为:污水站清水池、配水泵房、MBR 膜池及综合处理间、鼓风机房及主变配电、办公楼等建筑物屋顶主要采用 540Wp 单晶硅 PERC 半片组件;MBR 膜池及设备间、污泥脱水间屋顶采用的光伏主要采用 380Wp MWT 柔性单晶硅高效光伏组件,以满足荷载的需求。

2.3.2 逆变器选型

逆变器配置选择需遵循设备应满足环境温度要求、运行监控要求、保护性能和国家电网要求,安全性要求主要是具有极性反接保护、防反放电保护、孤岛效应保护、交流过流及直流过载保护、直流母线过电压保护、电网断电、电网过欠压、电网过欠频、光伏阵列及逆变器本身的接地检测及保护(对地电阻监测和报警功能)等,并相应给出各保护功能动作的条件和工况(即时保护动作、保护时间、自成恢复时间等)等功能。

按并网逆变器的额定输出功率、输入光伏组串数量、输出为三相或单相,无蓄电池的并网光伏发电系统的逆变方案可分为集中型逆变方案和组串型逆变方案两种。集中型逆变方案是指并网光伏发电系统通过集中型并网逆变器将太阳能电池方阵输出的直流电能转换为与低压电网在电压上同频、同相、幅值相同,且三相平衡的三相交流电能。组串型逆变方案是指并网光伏发电系统通过组串型并网逆变器将太阳能电池方阵输出的直流电能转换为与低压电网在电压上同频、同相、幅值相同的单相交流电能。集中型逆变方案接入的太阳能电池组串数较多,适用于太阳能电池方阵由同一规格、型号的太阳能电池组成,单台组串型逆

变方案接入的太阳能电池组串较少,通常为 1~3 条,适用于太阳能电池方阵由两种以上型号、规格的太阳能电池组成;太阳能电池的受光情况略有差异(如部分太阳能电池可能受到阴影遮蔽)。

结合现场情况、后期扩容需求,综合考虑国内外光伏并网逆变器各种型号产品的情况,本项目拟选择组串式逆变器,其逆变器功率选择 100kW/60kW/30kW 组串式逆变器。

2.4 光伏阵列方案

对于光伏组件,不同的安装角度接受的太阳光辐射量是不同的,发出的电量也就不同。安装支架不但要起到支撑和固定光伏组件的作用,还要使光伏组件最大限度地利用太阳光发电。安装方式主要有:固定式、单轴跟踪和双轴跟踪等。

(1) 固定式。光伏组件的安装,考虑其经济性和安全性,目前技术最为成熟、成本相对最低、应用最广泛的方式为固定式安装。由于太阳在北半球正午时分相对于地面的倾角在春分和秋分时等于当地的纬度,在冬至等于当地纬度减去太阳赤纬角,夏至时等于当地纬度加上太阳赤纬角。

(2) 单轴跟踪。单轴自动跟踪器用于承载传统平板光伏组件,可将日均发电量提高 20%~35%。如果单轴的转轴与地面所成角度为 0 度,则为水平单轴跟踪;如果单轴的转轴与地面成一定倾角,光伏组件的方位角不为 0,则称为极轴单轴跟踪。

(3) 双轴跟踪。双轴跟踪是方位角和倾角两个方向都可以运动的跟踪方式,双轴跟踪系统可以最大限度地提高太阳能电池对太阳光的利用率。双轴跟踪系统在不同的地方、不同的天气条件下,提高太阳能电池发电量的程度也是不同的。

对于跟踪式系统,其倾斜面上能最大程度地接收的太阳总辐射量,从而增加了发电量,但考虑跟踪系统技术成熟度、跟踪系统装置复杂性和跟踪设备的造价等情况,本项目光伏组件全部采用固定式支架安装。

3 项目建设方案

3.1 荷载评估方案

屋顶光伏一般采用混凝土基础+热镀锌支架的形式进行安装,根据屋顶支架排布,采用 C30 混凝土基础+热镀锌支架形式的方案新增的恒荷载为 0.50-0.65KN/m²,满足混凝土屋顶荷载的要求,但超过轻型骨架屋面活荷载的要求,因此在混凝土屋面采取 C30 混凝土基础+热镀锌支架的方案。对于在轻型骨架屋面则需要选择轻型的光伏组件。经过了解,柔性组件可以通过贴装的形式进行安装,其新增荷载仅为 0.05KN/m²,能够满足荷载要求,因此,MBR 膜池及设备间和污泥脱水间的轻型骨架屋面采用柔性组件的形式。

3.2 光伏发电系统设计

光伏电站由光伏发电系统和输配电系统两个部分组

成,其中光伏发电系统指从太阳能电池组件至逆变器之间的所有电气设备,包括太阳能电池组件、逆变器、直流电缆等;输配电部分指从逆变器交流侧至用户侧低压系统的所有电气、控制保护、通信等。系统示意图如下所示。

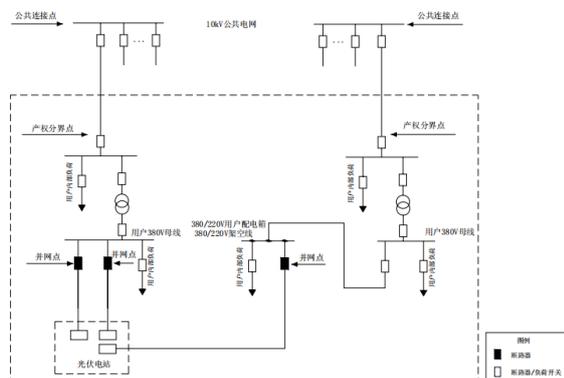


图1 光伏电气接入系统图

3.2.1 主要设备选型和光伏阵列情况

根据屋顶情况,本项目共安装563块540Wp单晶硅光伏组件及560块380Wp柔性光伏组件,装机容量总计516.82kWp。光伏阵列设计原则为:

(1) 光伏组件串联形成的组串,其输出电压的变化范围必须在逆变器正常工作的允许输入电压范围内。

(2) 每个逆变器直流输入侧连接的光伏组件的总功率应大于该逆变器的额定输入功率,且不应超过逆变器的最大允许输入功率。

(3) 光伏组件串联后,其最高输出电压不允许超过光伏组件自身最高允许系统电压。

(4) 各光伏组件至逆变器的直流部分电缆通路应尽可能短,以减少直流损耗。

基于以上光伏阵列设计原则,大兴机场污水站光伏项目光伏阵列和逆变器选型如下所示:

表1 光伏阵列和逆变器选型清单

区域	逆变器容量	组件串编号	组件串块数	装机容量
清水池	1*100kW	9串	144	77.76kWp
配水泵房		3串	42	22.68kWp
MBR膜池及综合处理间	1*100kW	13串	195	105.3kWp
鼓风机房及主变配电室	1*60kW	9串	126	68.04kWp
办公楼	1*30kW	4串	56	30.24kWp
MBR膜池及设备间	1*100kW	14串	280	106.4kWp
污泥脱水间	1*100kW	14串	280	106.4kWp
合计	4*100+1*60+1*30kW	66串	1123	516.82kWp

3.2.2 光伏阵列安装方案

考虑到风压、雪压以及航道下方风速的影响,混凝土

屋顶的组件采用配重块和热镀锌支架型式排布,组件朝南布置,采用10°和20°倾角铺设,排布时避开障碍物阴影的遮挡,组件支架结构由主柱、主梁、纵向檩条和配重块等构成。柔性组件采用粘装的形式,粘装在屋面上,倾角为5.3°。

3.2.3 电气系统

本项目为自发自用、余电上网光伏电站,经2回0.4kV线路通过新建并网柜与现状低压配电柜通过电缆连接,分别接入污水站变配电室1#变压器、2#变压器低压侧母线,母线连接采用单母线接线方式。光伏电站向当地交流负荷提供电能和向电网送出电能的质量,在谐波、电压偏差、电压不平衡、电压波动等方面,满足现行国家标准的有关规定。

4 项目的节能减排效益

4.1 项目造价

本项目总规划装机容量516.82kW,工程建设期2个月,运行期25年。本项目静态投资约为270万元,单位千瓦静态投资约5200元/kW。

4.2 项目发电量

根据计算,倾角5.3°、10°和20°平铺组合后的总辐射量分别为5133.6MJ/m²·a、5277.96MJ/m²·a、5539.68MJ/m²·a,峰值日照小时分别为1426、1466.1、1538.8小时。考虑到光伏方阵效率、逆变器效率、交流并网效率和衰减效率等原因,电站建成后第一年无衰减发电量为61.63万度,年等效装机利用小时数为1192.6h;电站25年运营期内平均年上网电量为57.73万度,平均年等效装机利用小时数为1117.1h。

4.3 本项目的电能质量

本期项目为自发自用,余电上网光伏电站,采用三相电接入方式接入污水站变配电室1#变压器、2#变压器低压侧母线。本项目向当地交流负荷提供电能和向电网送出电能的质量,在谐波、电压偏差、电压不平衡、电压波动等方面,满足现行国家标准GB/T 24337-2009《电能质量 公用电网谐波》、GB/T 12325-2008《电能质量 三相电压不平衡》、GB/T 12326-2008《电能质量 电压波动和闪变》的有关规定,本系统保证并网点处功率因数在0.98(超前)~0.98(滞后)范围内,因此本项目的建设方案完全符合相关要求,不存在光伏发电对供水站电能质量的稳定性和安全性影响。

4.4 项目经济效益和社会效益

大兴机场污水站年耗电量约为240万度,项目建设后,25年年均的可再生能源替代率为24%。项目本地消纳率约为60%,自用电价1元/kWh,上网电价0.3598元/kWh,项目投资内部收益率为13.18%,总投资收益率为10.92%,项目投资回收期8.67年,项目经济可行。项目的社会效益为:

表 2 光伏项目对应减排及碳中和情况

减排项目	kg/kWh	年均量/吨	25 年总量/吨
标准煤	304.9	176.03	4400.75
二氧化碳	832	480.34	12008.5
烟尘	0.032	0.0185	0.4625
二氧化硫	0.16	0.092	2.3
氮氧化物	0.179	0.103	2.575

5 结论与展望

本项目有较好的社会效益和经济效益,本项目能够充分利用到大兴国际机场污水站现有的闲置屋顶资源,项目对减少对周围环境的污染和改善大气环境有积极的作用,应尽快推进项目建设与实施。

从本项目建设方案来看,利用闲置的屋顶资源建设光伏项目具有良好的社会效益和经济效益,符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针,有利于缓解环境保护压

力,能够有效助力双碳机场的建设与发展,因此建议民航各机场应充分梳理出机场现有闲置的屋顶资源和土地资源,做到应建尽建,充分利用好光伏资源,提升机场的可再生能源占比。

[参考文献]

- [1] 梁倩. 2025 年新建厂房屋顶光伏覆盖率力争达到 50%[N]. 经济参考报, 2022-07-14(01).
- [2] 来永斌, 张文龙, 王龙, 等. 屋顶光伏阵列不同放置角度的风载荷研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2022, 45(7): 908-913.
- [3] 陈波. 太阳能光伏发电及屋顶光伏电站的安装[J]. 光源与照明, 2022(5): 122-124.
- 作者简介: 刘慷 (1990.4—), 单位名称: 北京首都机场动力能源有限公司, 毕业学校和专业: 华北电力大学 电气工程及其自动化。