

我国区域人工影响天气工程节能问题 ——以西北区域为例

■ 王自强 牛官俊 翟薇 张小培 王璐 谭娟 郑琪

西北人影工程的综合能耗为750.28吨标准煤，其中耗电量约为136.56万kWh，飞机作业能耗约占总能耗的77%左右，是最主要能耗单元。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.05.023

西北区域人工影响天气建设工程（以下简称：西北人影工程）是《全国人工影响天气发展规划（2014—2020年）》明确的6大区域（东北、西北、中部、西南、华南、华北区域）人工影响天气工程之一，建设范围覆盖甘肃、陕西、青海、宁夏、新疆（含新疆生产建设兵团）等5省（自治区）全境及内蒙古自治区西部4个盟市（阿拉善盟、巴彦淖尔市、乌海市、鄂尔多斯市），建设内容包括飞机和地面作业、作业保障和指挥、试验示范基地等，建成后为西北区域生态安全、山区冰川、流域来水、抗旱救灾、森林防火等提供有效保障。

节约资源是我国的基本国策，近年来，国家不断完善节能评估方面的相关法律、法规，明确实行固定资产投资节能评估和审查制度。根据项目性质不同，节能评估分析的重点有所侧重，气象投资项目节能评估分析工作聚焦建设方案能源消耗估算、节能措施评估等。东北区域人工影响天气建设工程（以下简称：东北人影工程）和西北人影工程是我国率先启动实施的区域人影工程建设示范性工程，对其开展节能评估分析，能够全面系统地掌握工程的用能水平，深入了解主要用能设备的能耗状况，找出工程能源消耗的关键内容，从而明确项目节能方向，提出项目运维意见，不仅可为气象行业管理部门科学测算人影工程运维经费提供技术支撑，为人影工程项目设计和建设实施提供参考和借鉴。

1 人影工程节能评估方法

1.1 节能评估的政策依据

《中华人民共和国节约能源法》明确规定，国家实行固定资产投资节能评估和审查制度。《国务

院关于加强节能工作的决定》《固定资产投资项目节能审查办法》等一系列管理制度对固定资产投资项目的节能审查程序、审查范围和审查权限等工作做了进一步规定，明确国家发展改革委审批、核准和报请国务院审批、核准的固定资产投资项目必须开展节能审查工作。

1.2 能耗计算方法和途径

根据《综合能耗计算通则》（GB/T 2589—2020），能量的当量值是按照物理学电热当量、热功当量、电功当量换算的各种能源所含实际能量，二次能源或耗能工质所消耗的各种能源需通过折算系数折算成一次能源的能量，各种能源折算为一次能源的单位为标准煤当量。

区域人影工程建设主要内容包括飞机作业能力建设、飞机作业保障能力建设、地面作业能力建设、人影作业指挥系统建设和试验示范基地建设，产生能耗的建设内容主要包括作业飞机、建筑、气象和信息设备等，所消耗的能源物质包括煤油、电力、焦炭和新水。

2 西北人影工程能耗评估分析

“十一五”至“十三五”时期，国家发展和改革委员会和中国气象局共同编制印发了两部全国性人工影响天气发展规划：《人工影响天气发展规划（2008—2012年）》《全国人工影响天气发展规划（2014—2020年）》，并于2012年启动实施我国首个区域人影工程—东北人影工程。不同于探索性的东北人影工程，西北人影工程在设计阶段既能够吸收已有的实施经验及时调整建设方案，又可以按照《全国人工影响天气发展规划（2014—2020年）》的新理念、

收稿日期：2021年1月7日；修回日期：2021年 月 日
第一作者：王自强（1985—），Email: wangzq@cma.gov.cn
通信作者：翟薇（1981—），Email: zhaiweitea@163.com

新要求进行技术方案革新，是典型的示范性工程，具有承上启下的重要意义。本文将从工程能耗评估角度，基于东北人影工程设计和实际能耗对比，分析评估西北人影工程能耗规模、结构。

2.1 西北人影工程能耗估算

西北人影工程能耗主要涉及飞机作业能耗、建筑水电和采暖能耗、专业气象和信息网络设备能耗三方面，相应的煤油、电力、焦炭和新水消耗量计算如下。

2.1.1 飞机作业煤油消耗估算

飞机能耗是人影作业飞机方案比选的项目之一，在项目可行性研究报告编制阶段，西北人影工程对飞机作业飞机的A+B选型方案进行了方案比选。根据人影作业飞机性能要求，西北人影工程拟将新舟60、空中国王350CER和ERJ-145作为备选机型进行方案比选。根据近年民航统计数据，拟选机型的单架耗油量M分别：新舟60为526 kg/h，空中国王350CER为256 kg/h，ERJ-145为1200 kg/h。可见，新舟60和空中国王350CER的单机耗油量比ERJ-145低，同样的作业次数、作业时间年总油耗量也更少。因此，从工程长期运行发展节能角度，西北人影工程国家作业飞机机型的首选组合是新舟60和空中国王350CER。

西北人影工程建成后，将新增4架国家作业飞机（2架新舟60和2架空中国王350CER），飞机作业能耗主要为4架飞机每年航空煤油消耗量。这两种型号的飞机均符合《节能中长期专项规划》中航空运输采用节油机型的相关标准要求。

根据西北区域各省（自治区）历年人工影响天气作业情况，预计项目建成后单架飞机每年飞行架次N为50架次、每架次作业时数t为5 h。4架国家作业飞机年耗煤油量估算如表1。

表1 国家作业飞机年耗煤油量估算表

飞机类型	单架飞机煤油消耗量 (M) / (吨/h)	单架飞机年作业架次 (N) / 架次	单架飞机每次作业时数 (t) / h	飞机数量 / 架	煤油消耗量 / 吨
新舟60	0.526	50	5	2	263
空中国王350CER	0.256	50	5	2	128

2.1.2 建筑电力、焦炭和新水消耗量估算

西北人影工程新建兰州国家作业飞机驻地专业保障设施，建筑面积共计1800 m²，预计工作人员总数28人，使用时间是每年的作业季，预计共9个月（270 d），其中有1个月（30 d）需采暖，建筑能耗估算如下。

(1) 建筑照明等电力消耗量估算

兰州国家作业飞机驻地专业保障设施用电主要包括照明、插座等，根据《建筑照明设计标准》（GB 50034—2013），按用电功率密度30 W/m²，功率因数按0.7计，预计每天用电小时数为8 h，建筑物年用电量约为81648 kW·h。

(2) 建筑采暖焦炭消耗量估算

根据《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ26—2018），兰州国家作业飞机驻地专业保障设施的采暖焦炭消耗煤量估算如表2。

表2 兰州国家作业飞机驻地专业保障设施采暖能耗估算表

建设地点	耗热量指标 (q _c) / (W/m ²)	面积 (S) / m ²	采暖天数 / d	室外管网输送效率 (η ₁)	锅炉运行效率 (η ₂)	标准煤热值 / (W·h/kg)	耗煤量 / 吨标准煤
甘肃兰州	20.8	1800	30	0.85	0.55	8140	7.09

(3) 新水消耗量估算

兰州国家作业飞机驻地专业保障设施的新水消耗量主要由飞机作业人员的生活和办公用水产生，办公用水定额一般为30~50 L/(人·d)，新水消耗量约为408.8吨（按40 L/(人·d)）。

2.1.3 气象和信息设备电力消耗量估算

西北人影工程用电设备包括机载设备、气象观测设备、人影作业设备、信息网络设备和保障中心生活用设备。其中机载设备使用飞机燃油发电，已计入飞机油耗；气象观测设备中的自动气象站为无人值守站点，采用太阳能供电；地面人影作业装备替换现有装备，不增加新的能耗；信息网络设备是新建或更新各级气象局现有设备，其中工作站市级和县级全部更新，台式计算机市级更新50%，更新部分替换掉现有设备，不增加新的能耗（表3）。

2.1.4 项目年综合能耗估算

根据飞机作业、建筑和用能设备等耗能设备和设施对煤油、电力、焦炭和新水的消耗量，西北人影工程的综合能耗估算如表4。

根据表4，西北人影工程的综合能耗为750.28吨标准煤，其中耗电量约为136.56万kW·h（折167.84吨标准煤），飞机作业能耗约占总能耗的77%左右，是最主要能耗单元。

2.2 东北人影工程能耗估算与实际能耗对比分析

东北人影工程涵盖辽宁、吉林、黑龙江等3省全境及内蒙古自治区东部4个地市（呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市、赤峰市），主要建设领域和西北人影工程类似，包括飞机作业能力建设、区域飞机作业保障中心建设、地面作业能力建设、人影作业指挥业务

表3 气象和信息设备能耗估算表

设备	功率/W	数量	一年使用天数/d	一天使用小时数/(h/d)	年耗电量/kW·h
C波段移动双偏振雷达	20000	1	60	8	9600
X波段移动双偏振雷达	6000	2	60	8	5760
降水现象仪	50	16	365	24	7008
GNSS/MET站	10	28	365	24	2453
移动式毫米波云雷达	600	2	365	24	10512
微波辐射计	150	3	365	24	3942
作业点实景监控	150	436	90	24	141264
接入路由器	80	5	365	24	3504
接入交换机	50	7	365	24	3066
服务器1云平台	1200	8	365	24	84096
服务器2云平台	650	20	365	24	113880
云平台存储1	6000	2	365	24	84096
云平台存储2	1000	5	365	24	35040
服务器1	300	2	365	24	4204.8
服务器2	800	4	365	24	22426
视频系统(省级)	20000	5	270	1	27000
视频系统(市级)	5000	59	270	1	79650
工作站(县和市级更新)	990	446	270	5	476863
打印机	250	4	270	1	270
电视机	80	30	270	5	3240
落地灯	40	30	270	3	972
冰箱	90	30	100	24	6480
空调	1000	15	60	4	3600
80寸液晶显示单元	300	59	365	24	155052
合计					1283979

表4 综合能耗估算表

能源种类	年消耗量		折算系数		折算消耗量 / 吨标准煤
	单位	年消耗量(e)	单位	折算系数(p)	
煤油	吨	391	kgce/kg	1.4714	575.32
电力	kWh	1365627	kgce/kW·h	0.1229	167.84
焦炭	吨	7.09	kgce/kg	1	7.09
新水	吨	408.8	kgce/t	0.0857	0.035
合计					750.28

系统建设等，工程采用的设备选型与西北人影工程也大致相同，工程能耗主要包括飞机作业油耗、建筑用水、建筑耗电、建筑采暖、专业气象和信息网络设备能耗等。

按照前面工程能耗分析的计算方法，项目设计阶段东北人影工程年能耗估算量约579.77吨标准煤，其中国家作业飞机作业能耗为313.45吨标准煤（按照单架飞机年飞行作业27架次、每架次作业5 h预估），约占工程总能耗54%，是东北人影工程的主要耗能单位。

东北人影工程启动建设后，3架国家作业飞机陆续形成作业能力，其中，2016年2架新舟60飞机具备

运行作业条件，2018年1架空中国王350ER具备运行作业条件。根据2016—2020年东北人影国家作业飞机作业情况统计数据，东北4省区（内蒙古、辽宁、吉林和黑龙江）的单架高性能飞机年均作业架次（架次）和作业时数（h）如图1所示。

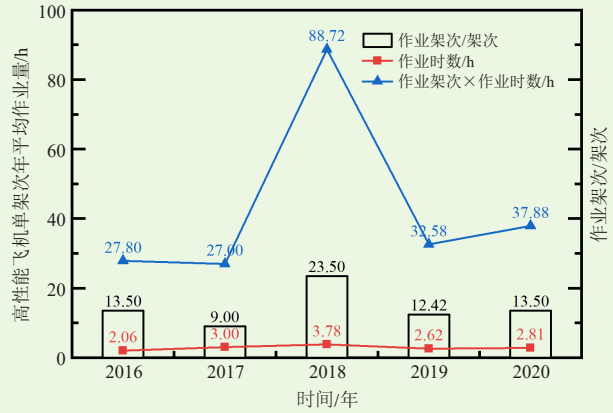


图1 2016—2020年东北人影工程单架高性能飞机年均作业架次及时数统计图

引起人影飞机作业量波动的原因一般有：作业能力形成时间、地方投资支持力度、每年区域气候变化特征、国家重大活动保障及应急减灾需求等。从图1可看出，2018年飞机作业使用量是历年作业量的峰值，主要原因是2018年空中国王350CER正式交付运行后，在该年内完成了东北人影工程飞机作业能力建设子项目的全部内容，高性能飞机参与试验示范区作业试验和跨区域应急作业全面铺开，飞机作业业务能力基本达到设计理想状态。但受近几年东北经济发展遭遇瓶颈、新冠肺炎疫情爆发及地方政府对气象部门投资缩减等因素的影响，东北人影飞机运行维护费用出现削减，飞机作业业务能力呈现不饱和状态，直接影响了2019—2020年飞机作业的架次和时数。故本文拟采用2018年人影飞机作业的理想状态作为飞机实际作业量的真值参考，单架国家作业飞机年均作业架次及时数的平均值应分别为24架次和4 h（取整数）。按照2.1.1节的计算方法，东北人影工程的国家作业飞机实际能耗取为222.90吨标准煤，约为设计阶段能耗分析值313.45吨标准煤的71%。

2.3 西北人影工程实际能耗估算

根据上述分析结果，选取东北人影工程国家作业飞机实际能耗与设计能耗比值0.71，作为区域人影工程国家作业飞机能耗初始调整参数，初步预估西北人影工程国家作业飞机实际能耗为408.48吨标准煤（ $575.32 \times 0.71 = 408.48$ ），项目总能耗降低至583.44吨标准煤（ $408.48 + 167.84 + 7.09 + 0.035 = 583.44$ ）。

但西北人影作业实际情况仍有别于东北，最终调整参数还需在初始调整参数基础上适当增大以综合考虑其他客观因素影响，主要原因有三方面：一是西北区域可作业面积大于东北，前者为113万km²，后者为40万km²；二是西北区域气候特点干旱少雨、风大沙多，是典型的干旱半干旱地区，水资源严重短缺，同时，西北地区还是我国生态功能区最集中的区域，但生态环境问题严峻，导致土地荒漠化、沙化趋势尚未根本改变，对水资源的需求更迫切和旺盛；三是纵观每年各地方政府对各省气象局人影作业的投资支持力度，西北各省的地方投资普遍较东北多。

从上述原因可以推断，西北人影工程的飞机作业架次和时数均要比东北多，则西北人影工程的实际能耗量应介于583.44~750.28吨标准煤，约占原能耗分析值的80%~90%。

3 西北人影工程节能措施分析

飞机作业能耗是西北人影工程的主要能耗单元（占比77%），且其他方面节能措施在《公共建筑节能设计标准》（GB 50189—2015）等国家标准规范文件中已有明确规定，本文主要针对飞机作业节能措施进行详细分析。

3.1 作业飞机选型节能措施

拟购置的新舟60和空中国王350CER国家作业飞机已按照中国民航CCAR-25部标准设计、生产和试飞验证，新舟60动力装置采用加拿大普惠公司的PW-127J自由涡轮式低油耗涡桨发动机，空中国王350CER为美国进口机型，动力装置为加拿大普惠公司的PT6A-60A型发动机涡桨发动机，这两款飞机的动力装置均属于涡桨发动机，具有低燃油消耗、节能环保的特点。

3.2 作业飞机节能管理措施

通过提高人影作业条件的预报准确率、制定科学合理作业方案、建立节能宣传与奖惩机制等措施，做好飞机作业节能管理工作。

4 结论与建议

西北人影工程虽不属于能源消耗大的工程，但作为我国区域人影工程建设的示范性工程具有一定的代表意义，其节能评估分析在工程建设实施和运行管理方面具有重要参考价值，如项目运行期内每年的飞机托管费和作业运行费用等项目运行维持费预算的确定

等。目前，按照事权和财权相统一，“谁受益、谁负担”的原则，西北人影工程飞机运维费由飞机常驻地省级财政承担；日常作业运行费用按任务来源、性质和受益区，由相应地区政府财政分担。飞机作业产生的飞机燃油费、航线申请费、维修保养费和飞行人员工资等费用是飞机托管费和作业运行费用的主要组成部分，飞机作业量的预估对科学测算项目运行维持费至关重要。

西北人影工程前期设计阶段，预估每架国家作业飞机基本托管费用约920万元/架，作业经费600万元/架。通过上述西北人影工程节能评估分析可知，区域人影工程的飞机实际作业量一般小于项目前期设计阶段的估算值，假定调整参数等于初始调整参数0.71，则实际每架国家作业飞机基本托管费用年初预算应下调200万左右、作业经费下调100万左右，以避免因人影作业飞机使用频率估算过高，出现项目运行维持费预算编制过高、地方投资执行利用率不充分的现象。同时，作为前期借鉴，后续工程如中部、西南、华北、东南区域人影工程在进行节能评估分析和飞机运行维持费估算时，都应根据前面已建工程的实际实施运行情况，做相应参数调整，使项目前期设计阶段估算值更贴近实际情况、减小误差。

最后，节能评估是固定资产投资项目的重要前置条件之一，应继续深化气象工程项目节能评估分析，适应国家和气象发展要求，真正做到从源头节能降耗，通过制定合理的节能措施，如：遴选燃油消耗率更低的国产高性能飞机、选配更加高效节能的专业气象设备和通用电子设备、实施更为优化的建筑节能方案等，提高人工影响天气工程项目能耗利用效率，降低能源消耗，促进我国区域人影工程绿色健康发展。

深入阅读

- 姜过水, 2015. 浅论对固定资产投资项目的节能评估. 能源与节能, (12): 81-82.
- 李旭, 谷笑楠, 2019. 前进中的吉林人影. 气象科技进展, 9(6): 78-79.
- 李旭, 王超群, 2019. 东北区域人工影响天气中心进展. 气象科技进展, 9(6): 80-81.
- 谭娟, 2016. 气象工程咨询前期阶段的设备方案与节能管理的关系. 中国工程咨询, (8): 71-72.
- 谭娟, 2016. 浅谈气象投资项目节能评估. 中国工程咨询, (1): 67-69.
- 赵钢, 2010. 人工影响天气在气象防灾减灾中的作用及发展建议. 现代农业科技, (14): 268-269.

（作者单位：王自强，中国气象局计划财务司；牛官俊，翟薇，王璐，谭娟，郑琪，中国气象局气象发展与规划院；张小培，中国气象局应急减灾与公共服务司）