

首都机场绿色装配式建筑示范应用

北京首都国际机场股份有限公司

一、案例背景介绍

2017年，民航局提出了建设四个机场的指导方针，2018年国务院和北京市均发布了打赢蓝天保卫战三年行动计划，同年，首都机场集团公司根据4-3-4-1总体工作思路，提出了建设运营一体化推进绿色机场建设的指导方针，并出台了《首都机场集团公司绿色机场建设指导纲要》。一系列方针政策的出台，要求我们的机场建设要以绿色建筑为导向，用实践去落实政策。

本案例在以上大背景下，以首都机场远机位旅客保障设施建设项目和首都机场东区机坪管制塔台生活设施改善项目和为研究对象。通过对首都机场绿色机场建设和安全运行的需求分析，充分市场调研，找出了能够解决需求问题的绿色建筑方案——绿色装配式建筑。

二、需求与解决方案

通过对首都机场的“运行和绿色”的需求进行分析，明确首都机场面临以下亟待解决的建设需求：

（一）近年来，随着建设四型机场和打赢蓝天保卫战等一系列重大工程项目的陆续开展实施，首都机场的安全和运行压力逐渐增大。

（二）机场是一个以运行管理为主的服务保障单位，要

求我们的建筑材料，尽量采用“能场外、不场内；能预制、不现浇”的形式，减少因施工时间长对机场运行的影响。

（三）机场飞行区内航空器及其它保障设备运行噪音大，要求建筑围护结构有较高的隔声性能，为旅客提供一个愉悦体验、愉悦出行的舒适环境，也为工作人员提供一个健康安静舒适的工作和休息环境。

（四）机场飞行区内水、电、暖改造施工经常涉及穿越跑道、滑行道等区域，对航空器运行影响大，急需找到一种解决替代方案来缓解这种安全压力。

经过市场调研和实地考察，发现绿色装配式建筑的建筑形式能够满足我们的建设需求。



图1 实地考察

装配式建筑是指用预制部品部件在工地装配而成的建筑。装配式建筑将传统建造方式中的大量现场作业转移到工厂进行，在工厂加工制作完成墙、板、柱、楼梯、阳台等部件和整体厨卫等部品后，运输到建筑施工现场，通过可靠的连接方式装配安装而成。

装配式建筑的特点是：模块化箱体设计、工厂组装配套系统、建筑整体现场组装。工厂模块化生产效率高，安全性

好；现场组装拼接吊装箱体，速度快，效率高，基本不产生施工垃圾，对周围航空器安全运行影响小。



图 2 装配式模块化建筑设计建造流程图

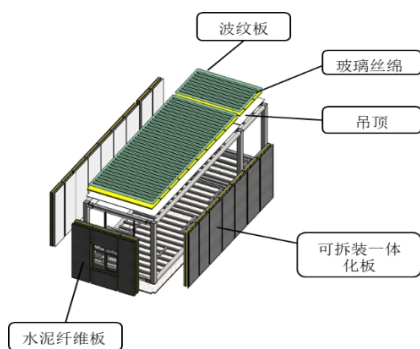


图 3 单体模块框架及构件示意图

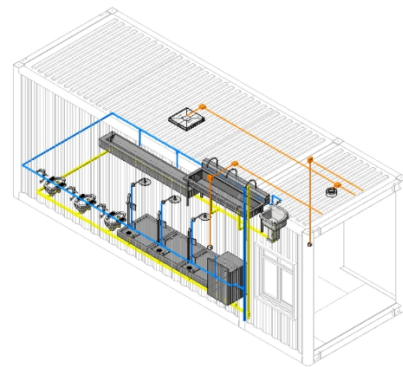


图 4 单体模块设备管线示意图

三、案例主要内容

2018 年，首都机场开始将建设绿色机场的理念与装配式建筑相结合，根据装配式建筑的特点，结合机场的特殊环境，实践和探索着绿色机场在建筑领域的潜力。本案例将以两个实际工程项目展开——首都机场远机位旅客保障设施建设项目和首都机场东区机坪管制塔台生活设施改善项目。

（一）首都机场远机位旅客保障设施建设项目

首都机场远机位旅客保障设施建设项目是一个以远机位登机厅的形式为远机位旅客提供上下机服务的保障设施建设项目。

项目以建设绿色机场理念为指导，采用装配式建筑模式，很好的将绿色理念贯穿到了项目设计和实施过程中。目前该项正在实施过程中，共计 8 个远机位保障设施，预计 2020 年 9 月份竣工。

该项目有如下几个特点：

(1) 高性能围护结构



图 5 夹心墙体板结构

外墙板采用高性能材料 100mm 矿棉夹芯一体板(见图 5)，芯材为容重 155kg/m³ 的岩棉，面板为 1.0mm 厚铝板，背板为 0.7mm 厚铝板，铝板表面采用三涂三烤滚涂工艺（外面层采用聚偏氟乙烯，内面层采用聚酯漆），现场安装完成后直接一次成型，无需二次装修。其耐火性能好，表面防火性能达到英国标准化 BR 991AD B 最高级，耐火性能大于 70min，矿棉夹芯一体板还具有较强的耐高温、耐腐蚀性（性能指标见下表），适应首都机场夏季飞行区内的酷热环境。

表 1 矿棉夹芯一体板表面涂层性能指标表

表面涂层性能指标	测试方式	测试结果
柔韧性 / 粘结力	ECCAT7	≤1T
耐高温性能	ECCAT13	1 小时 80° C: 涂层无变化

抗腐蚀性能	ECCAT19	三年，蠕变小于 2mm (暴露室外)
抗紫外线	ECCAT19	五年无裂纹、剥落、气泡、 粉化(佛罗里达曝晒)
抗湿性能	ISO6270	1000 小时，气泡≤B2S2
盐/酸雾腐蚀测试	ASTMG85	1000 小时，蠕变小于 2mm

这种装配式高性能围护结构，在满足建筑节能保温需求的同时，减少了施工现场的拼装作业内容，达到了加快施工进度、缩短工期的目的，同时也减少了施工耗材和施工垃圾。

(2) 节能降耗、提升效率

传统建筑结构形式按空间构成可分为上部结构与地下结构。地下结构的基础施工流程可概述为：基础开挖(排水)→地基换填→混凝土基础施工(绑筋、支模、混凝土浇筑)→混凝土养护(28 天)→素土回填→道面面层浇筑及养护(28 天)等。

依据首都机场自身情况，在飞行区内采用传统的基础施工方式存在诸多短板：一方面，首都机场原始道面结构稳固，道面破除工程量较大，且施工过程中容易产生噪音及扬尘及碎块，影响旅客出行体验的同时，也增加了外来物对航空器安全运行的影响；另一方面，这种施工工艺虽然能使结构一体性较强，但其工序繁琐、施工周期较长的特点不适宜在飞行区不停航情况条件下实施，且施工成本较高。

项目经过前期测算和受力分析，基础施工采用植筋等施工工艺，将现有机坪道面结构与登机厅基础进行连接。同时

与设备厂家密切配合，登机桥基础采用承台结构形式，避免了登机桥固定端基础开挖。方案既满足了建筑结构规范要求，又避免了基础开挖、地基换填、垃圾清运等作业环节，减少建筑垃圾的同时，也降低了对周围自然环境和航空器运行环境的影响，缩短了施工工期，节约了成本支出，提高了施工效率。

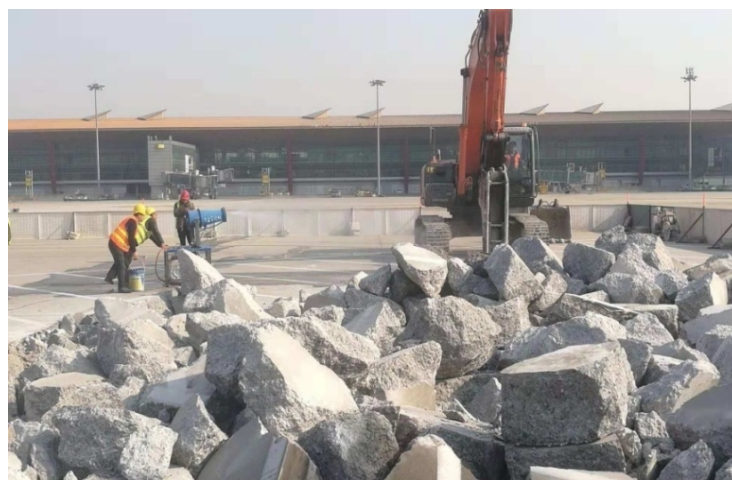


图6 传统工法基础作业



图7 创新工法基础作业

(3) 整合预留资源

现有远机位机坪上的机务用电柜、消防设备、高杆灯及设备停放区等布局较为繁琐（见图8），且往往不具备PCA及APU功能。



图 8 繁杂的机坪保障设备

项目预留了 PCA 及 APU 电源，充分利用现有每个机位空间，将 PCA、APU、设备停放区、登机桥区、廊桥区、高杆灯及配电箱区、泊位引导系统、车行道区与未来运行保障车辆的保障作业路线统筹考虑，配合“蓝天保卫战”相关项目，形成整洁、标准化的“绿色”远机位机坪。



图 9 “绿色”远机位机坪

(4) BIM 技术应用

项目采用 BIM 建模技术进行标准化、模块化箱体设计，通过 BIM 软件进行建筑模型搭建、内部管线优化设计、施工过程管理以及后期的运行协调，实现了建筑信息的集成。有效提高了工作效率、降低了成本、节约了资源。



图 10 项目 BIM 模型

（二）首都机场东区机坪管制塔台生活设施改善项目

首都机场东区机坪管制塔台生活设施改善项目。是用作塔台管制人员倒班休息、会议的场所。整个建筑由 44 个标准集装箱柜体组合而成，项目采用标准化、模块化箱体设计，将绿色智能设备与装配式建筑相结合。

该项目旨在打造一个“超低能耗”实体绿色装配式示范建筑模型。目前该项目已正式投入使用，运行状况良好。

该项目有如下几个特点：

（1）高性能围护结构

外墙、屋面及地面采用外保温的形式，保温采用密度相对较高的材料。墙、顶、地结构采用多层复合结构，结合空气层及板材采用错缝搭接的做法，具备良好的保温隔热性能，以及满足机场隔声降噪指标要求。

外墙构造形式（从外到内）：装饰层+防水腻子+水泥纤维板+波纹板+轻钢龙骨（岩棉）+防火石膏板+防水腻子+涂料。如图 11 所示。

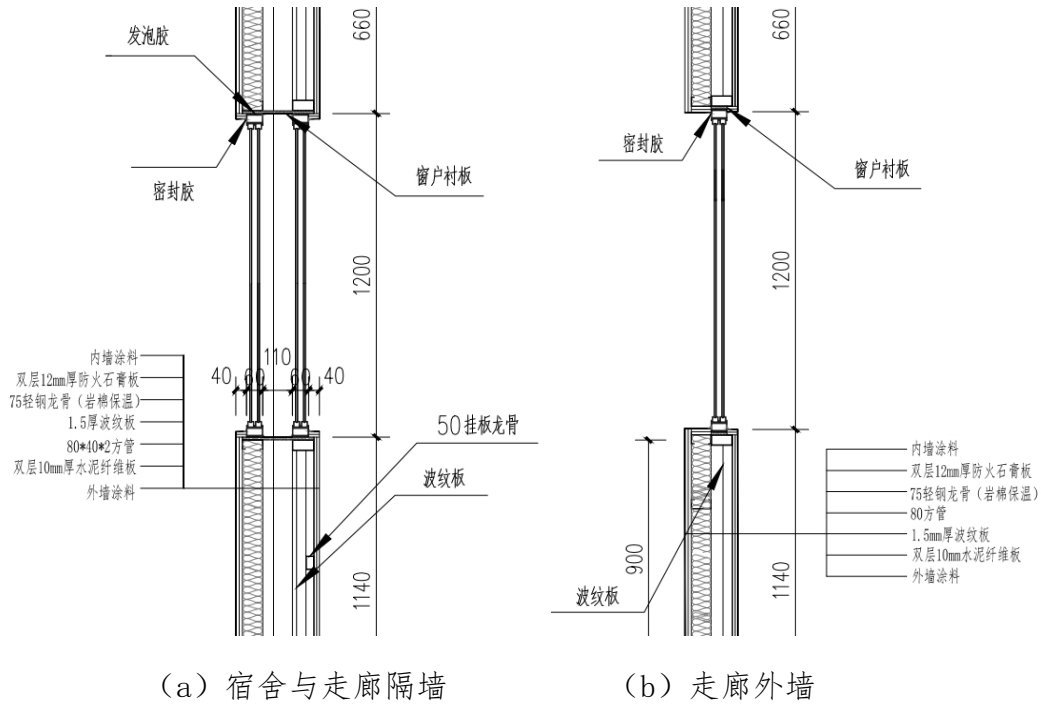


图 11 外墙结构图

屋面构造形式（从外到内）：屋面波纹顶板，结构檩条（内填 100mm 厚岩棉）+水泥纤维板+空腔（内填岩棉）+防火石膏板+涂料；如图 12 和图 13 所示。

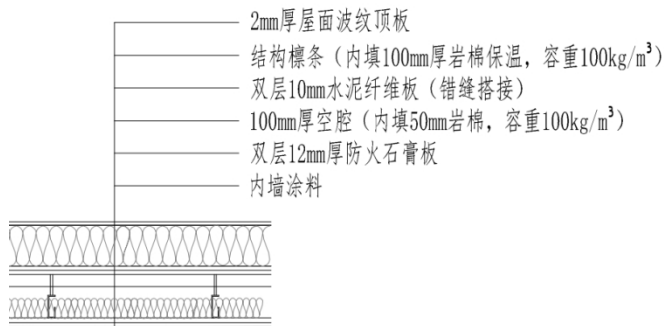


图 12 屋面结构图



图 13 保温隔音措施

地面结构形式（从外到内）：砂浆粘接层+防滑地面+聚氨酯防水层+双层水泥纤维板+岩棉+防水透透汽层+彩钢板。
如图 14 所示。

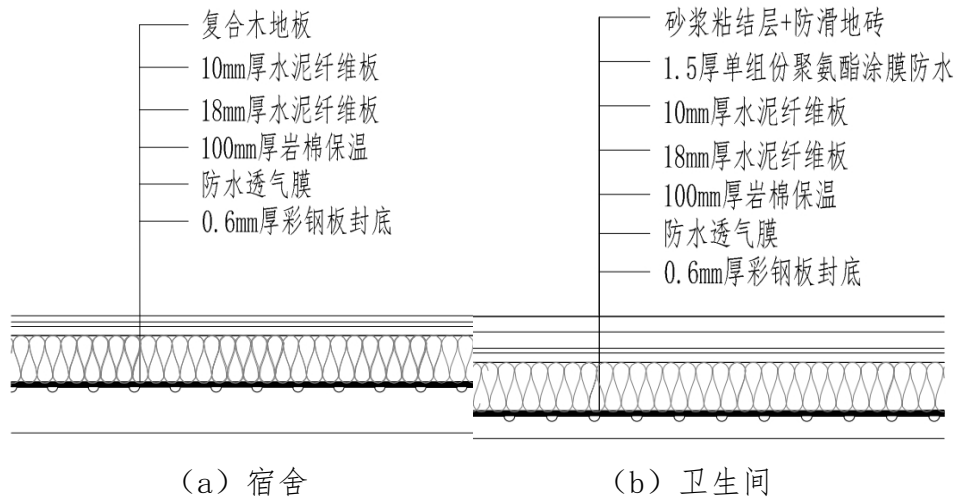


图 14 地面结构图

外窗采用双膛窗形式，每层窗采用双层有机玻璃窗，通过增加玻璃厚度和窗扇与窗框之间的密封程度（如外窗与墙体缝隙采用吸声材料填充，并使用气密性材料进行密封处理），完善外窗的隔声性能以及保温隔热性能。如图 15 所示。



图 15 建筑外窗

外门采用多层钢质隔声门，内置空腔，并在空腔内填充吸声材料，并采用门底密封装置。

模块间双层隔墙及底框：均采用柔性吸声材料填充，并进行有效气密性材料密封，防止噪声在模块间传递。如图 16 所示。

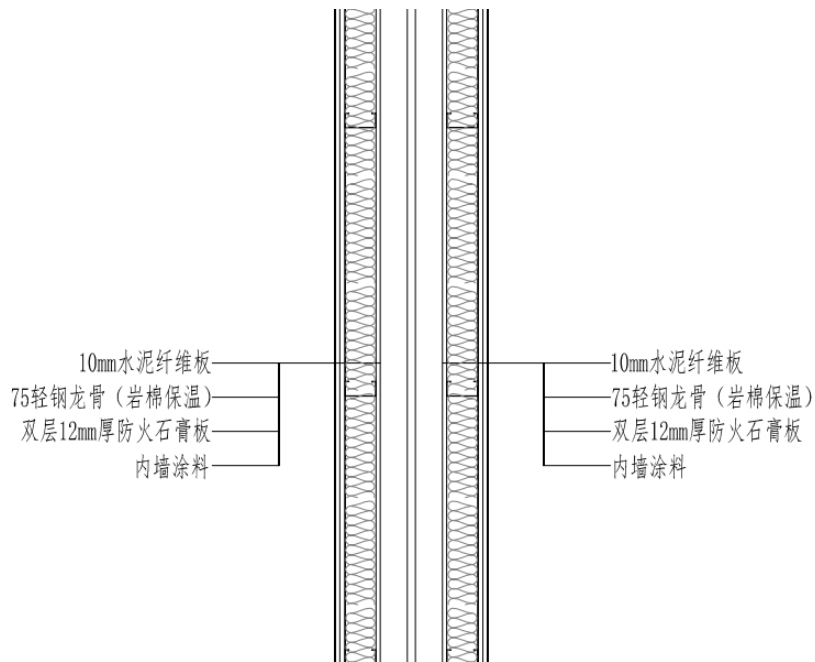


图 16 模块间双层隔墙结构图

(2) 建筑隔声减震设计

项目位置地处飞行区内，周围环境较为空旷，根据往年气候状况分析，本地冬季最低气温到零下十几度；周围 24 小时不间断的都有航空器滑跑、起飞和降落，现场测试最大噪音达到 67 分贝，条件非常不好。

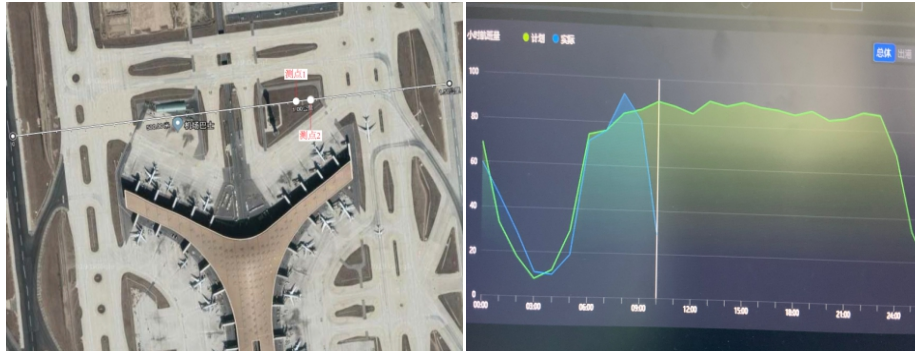


图 17 机场噪声测试和分析

现场通过进行声环境测试、合围式建筑布局、封闭式走廊隔音设计以及外窗内凹 外围护格栅设计的应用，达到了很好的隔声减震效果。



图 19 封闭式走廊隔音设计

图 18 合围式建筑布局

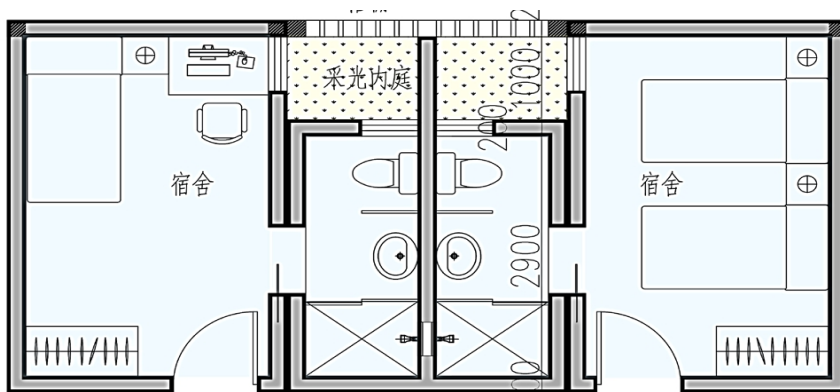


图 20 外窗内凹，外围护格栅设计

(3) 节能环保、安全高效

项目大部分工作都在场外加工完成（模块内部装修完成度高达 90%），现场模块集装箱体整体吊装，无污染、节约成

本、对机场安全运行影响小，项目创造了三天现场吊装并组装完成所有主体工程的建设速度，大大缩短了项目整体工期。



图 21 箱体工厂模块化生产



图 22 箱体现场吊装作业

(4) 绿色科技产品高融入性

由于装配式建筑具有箱体标准化设计、能够自由组合、场外预制等特点，可根据需要与各种绿色科技产品搭配组合，该项目融合了：光伏建筑一体化系统、储能逆变系统、EMS 智慧能源管理系统、高效直流变频 VRV 空调系统、石墨烯碳纳米电热膜采暖技术、高效新风热回收除霾系统、太阳能热水系统、光伏板智能清扫机器人系统。

a) 光伏建筑一体化

项目采用屋面光伏一体设计方式，工厂预留光伏组件埋件及孔洞，现场安装。屋面光伏采用单晶高效太阳能电池组件，组件功率 330 瓦，转化效率 19.98%，光伏面积约 783 平方米，根据项目实际可用屋面面积，最好的天气情况下每天能发电约 400 度。经测算，该发电量与本建筑的空调、照明等生活用电负荷基本相当。同时，太阳能光伏组件采用平铺在屋面，与屋面之间用铝合金支架固定，光伏板与屋面之间形

成一个 10 公分左右的架空层，所有太阳能光伏组件在发电的同时也可以起到屋面隔热层的作用。如表 2 所示和图 23 所示。

表 2 光伏组件配置表

组件规格	组件类型	组件功率 (Wp)	数量	装机容量
1665*992	单晶高效太阳能电池组件	330	399 块	131.67KW

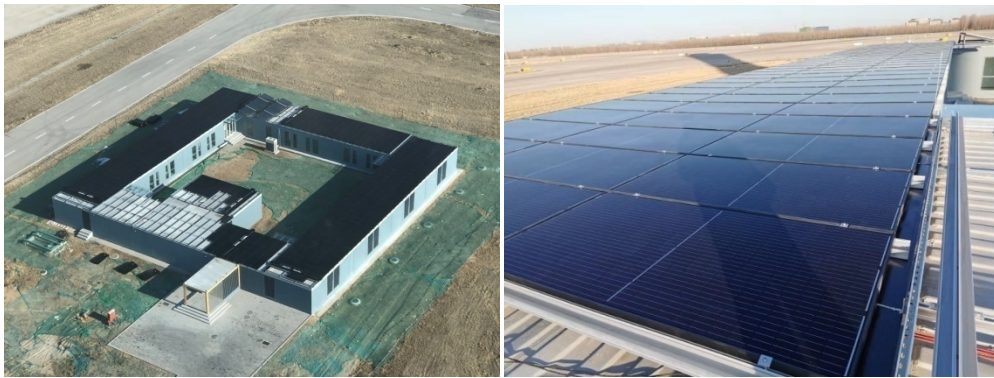


图 23 太阳能光伏发电系统

b) 储能逆变系统

本项目储能系统分为固定式储能装置和移动式储能系统两部分，配置储能双向变流器、充电器、隔离变压器，并配置一套能量管理系统，协调整个系统的用电情况。储能系统以储能蓄电池为载体，通过储能双向变流器实现交流、直流电能变换，“光伏储能系统——负载”与“市电——负载”两条链路通过 STS 电气设备实现相互切换。如图 24、25 所示。

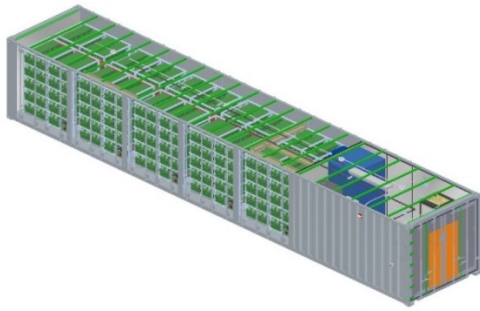


图 24 储能箱

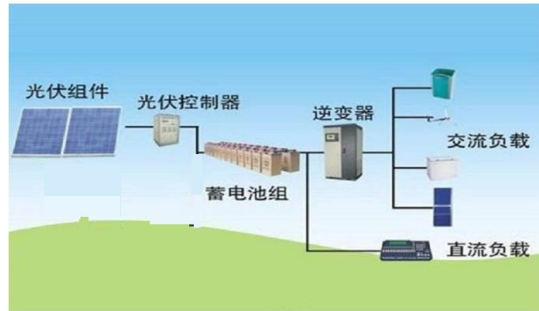


图 25 能逆变系统图

可移动式储能系统：采用移动储能平台的形式，将储能电池及控制系统集成放置于可移动储能平台上，在保障配套集成房屋常规用电情况下，还能通过机场内的牵引车整体将移动储能平台移动到其他场所，应对机场紧急用电情况，提高机场电力供应可靠性，多重保障，为机场设施安全运行加一道保险。如图 26 所示。



图 26 可移动储能系统

c) EMS 智慧能源管理系统

本项目采取光伏及储能作为主电源、市电作为备用电源的运行方案，在市电与光伏储能之间增加静态转换开关 STS 实现自动切换。光伏及储能作为一个独立的微网系统给机场负载进行供电，并实现与机场市电灵活进行切换。光伏系统

作为固定储能、移动储能、负载的主要电源。在由光伏及储能系统对负载进行供电时，固定储能系统以电压源方式运行。

在市电进线开关下侧安装 1 台静态转换开关 STS，负载接在静态转换开关 STS 输出侧。EMS 智慧能源管理系统负责采集光伏、储能、市电处、负载侧的功率，监测光伏及储能系统的运行状态。

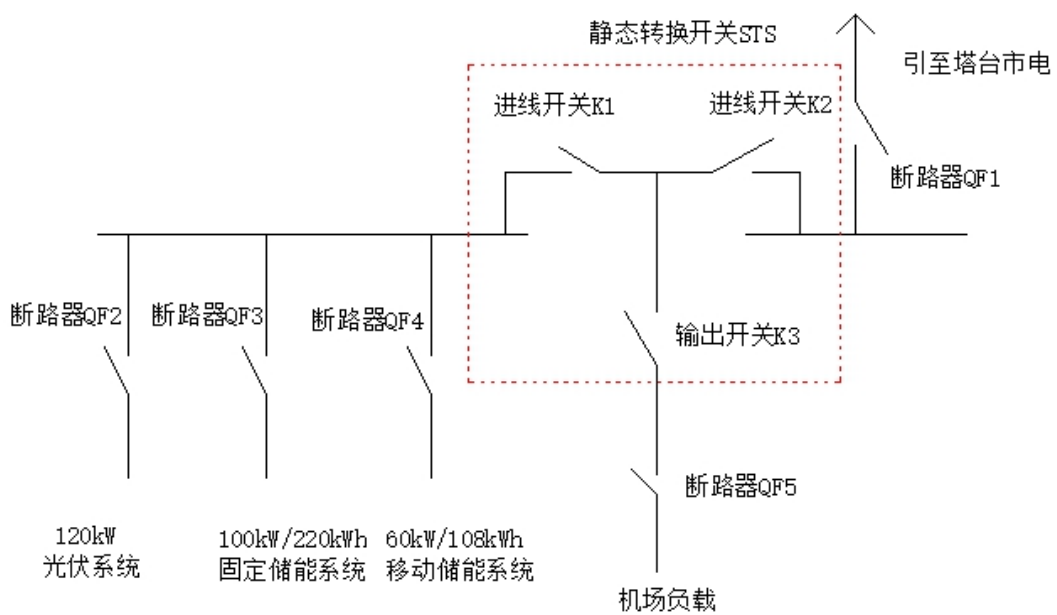


图 27 能量管理系统图

d) 高效新风热回收除霾系统

每间宿舍和活动室安装挂墙式新风换气装置，通过带排风热回收功能，通过回收排风能量节省电耗。同时，新风机组具有高效过滤 PM2.5 颗粒物的功能，为室内用户提供洁净空气。

此外，多联机的室内机安装 PM2.5 电子除尘过滤网，有效去除室内的颗粒污染物且不产生臭氧。



图 28 新风换气、过滤装置



图 29 具有 PM2.5 电子除尘过滤的室内机

e) 供暖新技术的应用

为保证冬季极端天气下房间的温度满足使用要求，项目选用了高效直流变频 VRV 空调作为冬季供暖的主要设备；同时每个房间的墙面内侧都隐蔽铺设了新型的建筑节能采暖系统——石墨烯碳纳米电热膜，作为辅助采暖。该电热膜为最高 40℃ 安全低温辐射供暖，人体体感舒适，安静无噪声，一分钟快速升温，24V 低压供电，安全环保节能，可以自由弯曲、打孔，有很大的实用性和便捷性。



图 30 高效直流变频 VRV 空调

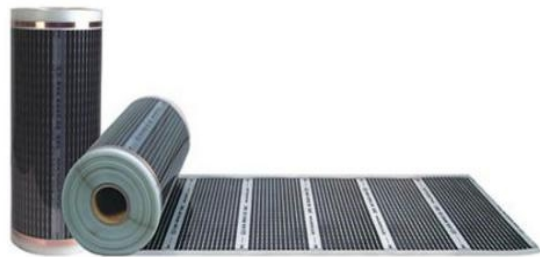


图 31 石墨烯碳纳米电热膜

f) 太阳能热水系统

建筑每间宿舍配有单独淋浴间，屋顶集中设置太阳能热水系统，设有储水罐，热水 24 小时循环流动，保证淋浴用水即开即热。根据淋浴头数计算，设置太阳能集热器 60 平

米。太阳能热水的辅助热源选择电热,即使在天气不好的情况下,系统也能产生热水。



图 32 太阳能热水设备安装图

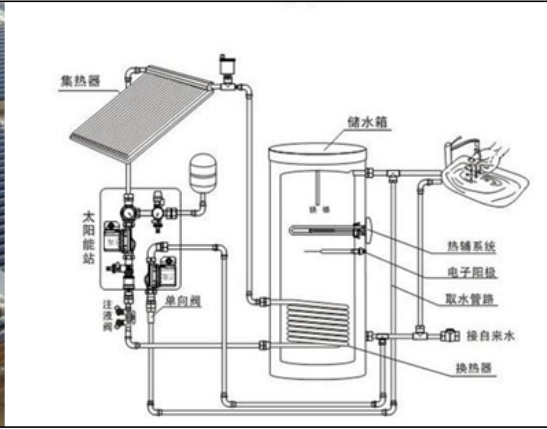


图 33 太阳能热水系统图

g) 光伏板智能清扫机器人

屋面光伏板在灰尘较多或者有积雪的情况下,其发电效率会大打折扣,为了解决这个问题,项目为光伏板配备了智能清扫机器人系统,该系统可设定每日工作频次和时间,系统本身自带光伏发电设备,可长期不间断为屋面光伏板进行清洁维保工作。提高了工作效率的同时,也降低了光伏发电系统的运维成本。



图 34 太阳能光伏板智能清扫机器人

(5) 绿色、智能技术交叉融合

该项目是国内首例将零能耗建筑技术、模块化建筑技术与移动储能技术交叉融合，并进行一体化设计、集成及应用的示范项目，具有超低能耗、安静舒适、洁净空气、清洁能源、节能环保、智慧能源管理、移动式储能、装配式模块化等特点。

（6）BIM 技术应用

项目采用 BIM 建模技术进行标准化、模块化箱体设计，通过 BIM 软件进行建筑模型搭建、内部管线优化设计、施工过程管理以及后期的运行协调，实现了建筑信息的集成。有效提高了工作效率、降低了成本、节约了资源。

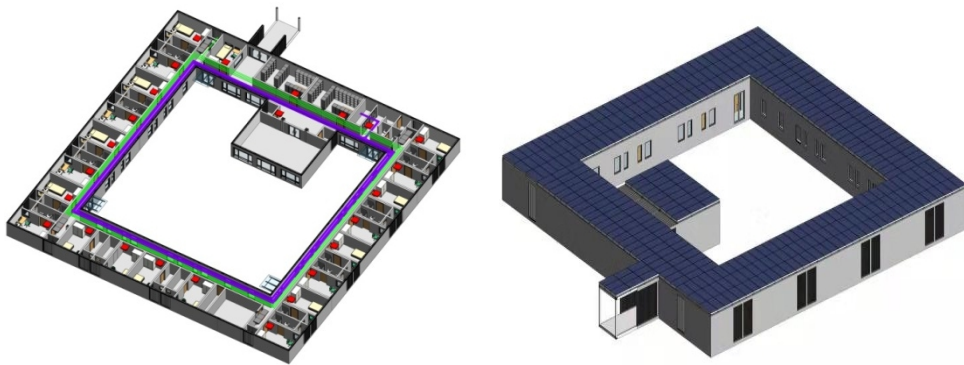


图 35 项目 BIM 模型

（三）项目成果展示

（1）项目建设成果展示

首都机场远机位旅客保障设施建设项目根据装配式建筑特点，采用基础工法创新，节能降耗、提升效率。

a) 通过基础工法创新，减少基础开挖、垃圾外运 1320 方，工期缩短约 50 天左右

b) 建筑板材场外加工、场内组装，缩短场内工期约 30

天左右。

首都机场东区机坪管制塔台生活设施改善项目根据装配式建筑特点，集成多种绿色科技产品，节能运行效果显著。

a) 783 平米屋面光伏发电系统，每天发电约 400 度，每年碳减排约 119800Kg（光伏系统投资回收期 7.6 年）

b) 集装箱体场外加工、场内组装，缩短场内工期约 40 天左右。

c) 储能系统最大储存电量为 330 度电，能支持该建筑所有负载满负荷运行 3 小时左右。

d) 现场实测室内噪音为 39 分贝，完全满足相关国家标准。

(2) 项目科技成果展示

依托首都机场东区机坪管制塔台生活设施改善项目，获得和正在实施科技成果如下：

a) “机场空侧区域绿色智能房屋建筑设计项目”获得了“2018 年度股份公司创新设计大赛十佳”作品奖；

b) “大型机场空侧绿色、智慧装配式建筑技术应用研究项目”科技项目已通过首都机场集团公司审批，计划 2020 年底结题；

c) “首都机场生活配套装配式模块化零能耗建筑”研究课题申报了“十三五”国家重点研发计划示范工程，目前该课题已通过专家评审，并向科技部 21 世纪中心备案；

四、示范案例总结与展望

总结：案例通过对首都机场两个绿色、高效装配式建筑施工模式的实践探索，为“绿色机场”的建设提供了新思路，案例所展现的项目技术先进，方案成熟，可实施、可复制、可推广、导向明确、特色鲜明，有较强的实用和推广应用价值的。

展望：首都机场为了加快“蓝天保卫系列建设项目”、“西跑道大修前置项目”等一批公司重点项目的工期进度，其中的多个项目也采用了装配式建筑形式，如首都机场改建武警执勤点项目、飞行区东区远机位开闭站建设项目、首都机场公共区“油改电”项目配套电力改造工程、飞行区3号开闭站建设项目、飞行区西区南开闭站建设项目等，项目采用装配式建筑形式，有效缩短了项目整体工期、降低了对航空器安全运行的影响，目前这些项目均正在实施过程中，实施效果良好。

