

主设备物资供应全过程关键技术研究

王晶*, 颜静, 林松, 李会娟, 王琦, 刘占宏

北京洛斯达科技发展有限公司, 北京, 中国

*通讯作者

【摘要】针对特高压工程主设备物资运输中面临的运输条件严苛、涉及环节繁多、过程复杂、作业难度大等问题,本研究系统性研究了物资管控中的多源数据融合、全过程状态监控、动态预警等关键技术。重点构建了基于北斗定位、遥感监测、BIM建模与GIS空间分析的全过程信息追溯机制,建立了覆盖物资生产、运输调度、到货验收的一体化管控体系,从物资生产、运输到到货的全链条可视化跟踪,为保障物资供应状态的有效监控与风险预警提供了可靠的技术支撑。

【关键词】主设备;物资供应;全过程;关键技术;研究

【基金项目】国家电网公司科学技术项目(合同号:SGTJS00QQJS2500290)

1.引言

特高压工程主设备物资供应过程是电力基础设施建设的重要环节,面临着运输路径地形复杂、多环节协同困难、全过程状态信息分散等严峻挑战。在现代信息技术快速发展的背景下,基于北斗定位、遥感监测、BIM (Building Information Modeling) 建模与GIS (Geographic Information System) 空间分析等数字化手段,构建覆盖物资生产、运输调度、到货验收全过程的一体化管控体系成为必然趋势。该体系通过多源数据融合、状态实时监控与智能动态预警等关键技术的集成应用,旨在实现主设备物资供应从传统经验管理向数据驱动、可视可控的智能化管控升级。

工程项目物资管理涉及收发、运输、仓储、结算等多个关键业务流程,每个环节都需要通过科学的计划管理、组织协调、流程优化和实时控制等管理活动,确保工程物资能够及时、准确地满足现场安装与运行需求。基于当前研究基础与实践需求,本研究聚焦于主设备物资供应全过程管控,系统研究多源数据融合技术、全过程状态信息监控体系以及动态预警机制,为构建更加安全可靠、精益高效的现代物资管理体系提供技术支撑与实践指导。

2.主设备物资供应全过程关键技术研究

2.1 电力物资多源数据融合技术研究

为支撑工程物资数据的规范化建设,满足电力物资供应全过程三维可视化管理的需求,研究地理信息数据、电网数据、物资计

划信息、物资台账信息、物资运输进度信息等多源数据获取与融合的技术与方法,规范化定义各类数据获取的接口,对不同类型数据进行标准化的组织,建立多源数据处理的标准工作模式,确保各类多源数据之间的配准与融合使用。

2.1.1 基础地理及电网信息标准化研究

研究了矢量数据的多种融合方法,如基于纹理方法、基于几何方法等[1],根据物资设备信息展示的需求,结合物资在站址、运输在途的特点,分析出合理的矢量数据融合技术路线[2],并设计满足展示要求的数据获取方案,对影像、地形、电网信息等数据按照规范化的数据格式进行入库和融合处理。具体步骤包括:

数据收集:采集基础地理信息数据,如表1所示。栅格数据有正射影像及其配准数据、数字高程模型 (DEM-Digital Elevation Model)、卫星影像;矢量数据有县级及以上行政界线、镇级地名、村级地名等。

获取电网设备数据,如变电站、输电线路等,以及物资相关的地理位置信息,为物资管控提供更丰富的背景信息。

数据处理:对不同类型的数据进行整理、筛选、标准化处理,如输电线路路径处理、三维模型处理等。

数据配准:利用几何变换方法实现多源数据的空间配准。

数据融合:基于纹理和几何特征进行数据融合,形成统一的数据集,如表2所示。

2.1.2 物资信息、运输任务、轨迹等数

据与基础地理信息融合研究

搭建以地理信息系统为基础的平台框架，对于从电力物流服务平台（以下简称 ELP）、国网电子商务平台（以下简称 ECP）获取的数据按照数据属性进行规范化入库，研究对于方案、台账等文本类信息按标准化的字段、表格等组织的方法；对于 ELP 中的位置坐标信息，研究其与基础地理信息匹配的方案[3]，实现多源数据的配准与融合[4,5]，并对融合后的数据结果进行几何拓扑、属性表达、空间关系、逻辑一致性检查，使融合后的数据在准确性、现势性、内容丰富性等方面达到最优[6,7]，研究流程如图 1 所示。

表 1.基础地理信息数据收集

数据类型	分类	说明
栅格数据	航空摄影数据	分辨率优于 0.3 米
	数字高程模型（DEM）	激光点云密度不低于 1 点/平米
	卫星影像	分辨率优于 2.5 米
基础矢量数据	全国省级行政界线	1：4000000 比例尺
	全国县级行政界线	1：4000000 比例尺
	地区界	1：4000000 比例尺
	省名	1：4000000 比例尺
	地市名	1：4000000 比例尺
	县名	1：4000000 比例尺
	乡镇	1：4000000 比例尺

表 2.数据处理集

数据类型	数据量	数据来源
地理信息数据	10GB	高分辨率卫星影像
电网数据	5GB	电网管理系统
物资计划信息	1MB	ELP 平台
物资台账信息	2MB	ECP 平台
物资运输进度信息	500KB	ELP 平台

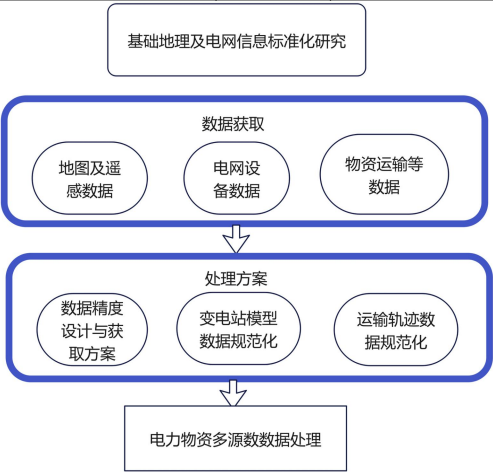


图 1.研究流程

具体步骤包括：

数据采集：通过北斗定位、遥感等技术实时采集物资状态信息[8,9]，形成数据库

表，如表 3 所示。

时间序列分析：对采集到的数据进行时间序列分析，判断物资状态变化趋势。

空间位置匹配：将物资位置信息与预设的运输路径进行匹配，判断运输进度状态。

表 3.数据库表内容

序号	数据内容	数据库表名	字段
1	实物“ID”	bs_physical_material	physical_material_id
2	工程名称	b_winbid_purreq	end_name
3	工程编码	b_winbid_purreq	end_code
4	项目单位	b_winbid_purreq	prov_org_id
5	采购订单号	b_con_trans_plan_ELP	purord_code
6	行项目号	b_con_mat_item	purreq_item_code
7	物资大类 ID	b_con_mat_item	mat_max_id
8	物资大类名称	b_con_mat_item	mat_max_name
9	物资中类 ID	b_con_mat_item	mat_med_id
10	物资中类名称	b_con_mat_item	mat_med_name
11	物资小类 ID	b_con_mat_item	mat_min_id
12	物资小类名称	b_con_mat_item	mat_min_name
13	计划发货时间	ts_task	actual_send_date
14	实际发货时间	ts_task	plan_send_date
15	轨迹信息	ts_location_info	latitude

2.1.3 物资信息、运输任务及运输轨迹信息的标准化研究

本研究制定了与 ELP、ECP 的数据对接方案，对相应的物资信息、物资运输任务、运输轨迹等的字段信息、获取频率等数据的接口进行规范化定义。通过 https restful api 协议实现了数据的按需同步，以接收并解析包含有任务及生产例报等请求信息的信息，并提供了相应的输入参数格式与返回值。采用基于规则引擎和机器学习算法的预警模型，对物资供应过程中的异常情况进行预警。具体步骤包括：

规则定义：根据物资供应计划和运输计划，定义预警规则。

数据输入：将实时采集到的物资状态信息、自然灾害信息等输入预警模型。

预警判断：基于规则引擎和机器学习算法判断异常情况，触发预警机制。

定义标准化接口：如表 4、表 5 所示，定义物资供应计划接口和物资运输接口。

表 4.物资供应计划接口基本信息

接口名称	POST_设备底座_设备供应_供应计划_DWS_MAT_SUPPLY_PLAN_INFO_DF
接口描述	为设备专业场景提供物资供应计划信息。入参：项目编码和项目单位、合同维度、实物 ID；返回值：物料编码、合同编码、物流运输状态等核心字段。提供三个维度查询方式： 1) 按照项目编码或项目名称进行查询，返回对应工程编码、项目名称下的供应计划相关数据； 2) 按照合同名称进行查询，返回对应合同名称下的供应计划相关数据； 3) 按照实物 ID 进行查询，返回对实物 ID 下的供应计划相关数据。
数据格式	JSON
请求方式	POST
接口 URL	/ast/ecp/adb/v1/post_dws_mat_supply_plan_info_df
其他	无

表 5.物资运输接口基本信息

接口名称	POST_设备底座_设备供应_设备物流_DWS_MAT_LOGISTICS_INFO_DF
接口描述	为设备专业场景提供物资履约环节物流信息。入参：实物 ID；返回值：运输状态、运输任务单号等核心字段。按照实物 ID 进行查询，返回对应实物 ID 编码下的物流信息的相关数据；
数据格式	JSON
请求方式	POST
接口 URL	/ast/ecp/adb/v1/post_dws_mat_logistics_info_df

2.2 物资供应全过程状态信息监控研究

为满足工程物资管控要求，本研究结合 BIM、GIS、北斗、遥感等技术，开展了物资供应全过程的业务跟踪监控研究。通过构建 BIM+GIS 数字化电网载体，将物资的供应方案、计划、状态与 BIM 三维场景相关联，实现了对特高压工程物资生产、运输、到货等各环节状态信息的快速调取和分析。

2.2.1 BIM+GIS 数字化电网载体构建

本研究利用 BIM 技术构建了主设备的三维模型，并将其与 GIS 技术相结合，形成了数字化电网载体。该载体不仅展示了主设备的空间布局和物理属性，还集成了物资的供应方案、计划和状态信息，形成的 BIM+GIS 数字化电网载体如图 2 所示。

1) 基于三维设计模型（GIM-Grid Information Model）开展模型优化，GIM 模型的外观无材质数据，展示视觉效果与投运

后的变电站现场差别较大，不满足相关建模深度要求。基于 3D MAX 软件开展模型纹理优化，为场地、建筑、设备贴上相近材质贴图，使其展示的视觉效果尽可能接近实景。



图 2.BIM+GIS 数字化电网载体

2) BIM 数据和 GIS 数据通常使用不同的数据格式和标准，实现 BIM 数据与三维 GIS 数据融合的关键是将 BIM 数据转换为 GIS 数据，使两者能够兼容。基于统一的空间基准以及统一的电网工程数据模型，将 BIM 数据处理成 GIS 数据，如 3dTiles 瓦片。在 GIS 平台上，通过叠加影像、地形等 GIS 数据实现 BIM 与 GIS 数据的融合展示。如图 3、图 4、图 5 所示，分别进行影像数据无效值剔除和坐标系转换。



图 3.影像数据无效值剔除

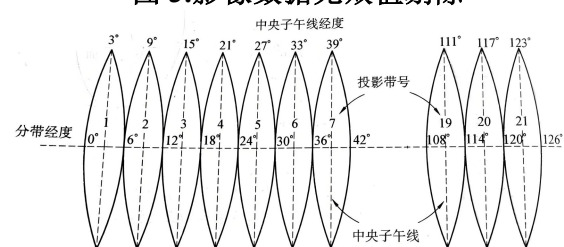


图 1-7 6°带中央子午线及带号

图 4.坐标系转换



图 5.镶嵌数据集

3) 采用 Draco 算法对换流站三维模型进行顶点压缩，可实现模型文件体积减少 80%，（例如将 500MB 的 BIM 模型压缩至 100MB），同时通过几何数据量化、属性编码及网格拓扑优化（如 Edgebreaker 算法）

保持关键几何特征,避免三维模型出现破面情况

4) 为了实现换流站 BIM 模型的高效渲染,对 BIM 模型进行切片处理。将 BIM 处理成 3d tiles 瓦片,3DTiles 使用层级细节技术 (LOD-Levels of Detail) 它根据视距来动态加载不同分辨率的瓦片。随着用户视角的变化,系统会根据距离自动选择加载适当细节级别的瓦片,从而提高性能。

2.2.2 状态信息监控与快速调取

通过集成北斗定位技术和遥感技术,本研究实现了对物资运输车辆的实时跟踪和监控。同时,结合 GIS 技术的空间分析能力,可以快速调取和分析物资供应全过程的状态信息。这些信息包括物资的生产进度、运输轨迹、到货时间等,为物资管控提供了有力的技术支撑和信息支持。

1) 北斗定位与遥感数据集成算法

数据获取:通过北斗卫星导航系统获取物资运输车辆的实时定位数据。

数据融合与处理:对北斗定位数据和遥感图像数据进行时间同步和空间配准;通过图像处理算法对遥感图像数据进行特征提取和目标识别,如车辆识别、道路识别等;结合定位数据和图像数据,实现对物资运输车辆的实时跟踪和状态监控。

2) GIS 空间分析算法

空间查询:根据用户输入的查询条件(如地理位置、时间范围等),在 GIS 数据库中进行空间查询,快速定位到相关物资的状态信息。

路径分析:利用 GIS 软件的路径分析功能,对物资运输路径进行优化和计算,提供最佳运输路线建议。

缓冲区分析:以为中心设置缓冲区,分析缓冲区内的物资供应状态信息,如物资分布、运输车辆密度等。

2.3 物资供应全过程状态信息预警研究

基于物资供应计划、物资运输计划、自然灾害等信息,结合特高压工程物资运输方案及运输路径特点,研究建立物资供应过程管控应急预警典型模型,深度对接生产、发运、到货等关键管控环节,确保各类预警信息得到及时处理,从而有效辅助现场应急处置工作的有序开展。

2.3.1 采用信息化手段建立应急预警触发机制

研究确定联动触发边界条件[10],针对

不同等级应急响应建立标准化的应急信息联动机制[11],对接生产、发运、在途、到货等重要管控环节中需要处理的预警信息,落实不同层级应急管理职责[12],并在三维场景中设置醒目标绘,辅助现场应急处置工作有序开展。

2.3.2 运输过程预警机制研究

根据运输安全要求,设置大件设备运输速度、冲击加速度、倾角的报警和预警阈值。

运输过程中速度告警:设置大件设备运输速度报警阈值为 80 公里/小时,预警阈值为 70 公里/小时,以确保运输过程的安全与稳定。

运输过程中 X、Y、Z 轴冲击加速度告警:针对设备本体,按照招标文件-技术规范通用部分中的规定“冲撞加速度不大于 3g”,设置 X、Y、Z 轴冲击加速度告警阈值为 3g,以防止设备在运输过程中受到过大的冲撞。

运输过程中 X、Y、Z 轴倾角告警:根据招标文件-技术规范通用部分规定,设备本体应满足运输尺寸、重量及公路运输时倾斜不大于 15° 等运输条件的要求,设置 X、Y、Z 轴倾角告警阈值为 15°,以确保设备在运输过程中的倾斜程度符合规定。

2.3.3 预警流程

针对不同等级的应急响应,制定并实施标准化的应急信息联动机制。此机制将紧密对接生产、发运、在途、到货等每一个重要管控环节,确保所有需要处理的预警信息都能得到及时、准确的传递与处理。

当监控到异常情况时,立即触发预警机制,向相关人员发送预警信息。

根据预警信息的等级和类型,启动相应的应急响应流程。

3. 结语

本研究围绕主设备物资供应全过程的关键技术展开系统性探索,针对特高压工程面临的运输条件艰难、牵涉面广、过程复杂等挑战,提出了三方面的技术解决方案:

3.1 技术成果总结

多源数据融合技术:通过标准化地理信息、电网数据和物资信息(计划、台账、运输进度),建立了统一的数据处理框架,实现了 ELP、ECP 等多平台数据的协同管理与接口规范化。

全过程状态监控体系:集成 BIM+GIS

构建数字化电网载体，结合北斗定位与遥感技术，实现了物资从生产、运输到到货的全链条可视化跟踪与快速调取。

动态预警与应急机制：基于规则引擎与机器学习算法，构建了覆盖运输速度、冲击加速度、倾角等多参数的预警模型，并建立了标准化应急响应流程。

3.2 应用价值与创新性

管理效能提升：通过多源数据融合与三维可视化监控，解决了传统物资管理中存在的信息分离问题，显著提升了管控精度与效率。

风险防控能力强化：预警模型通过实时分析运输轨迹与外部环境（如自然灾害），有效降低了物资供应中断风险。

技术融合创新：将 BIM、GIS、北斗、遥感等前沿技术系统性整合于电力物资管理领域，为行业数字化转型提供了实践范例。

3.3 未来展望

后续研究可进一步深化人工智能算法在预警模型中的应用，探索与物联网、区块链技术的结合，以增强数据安全性与溯源可靠性。同时，需进一步标准化跨平台数据接口，推动电力物资供应链的智能化、精细化发展。

参考文献

- [1] 吕彬.高程灰度图和地形影像图融合的地形模型创建方法研究[J].人民珠江, 2024, 45 (S1): 232-238+283.
- [2] 张标, 陈楠.基于 ArcGIS Add-in 的天地图矢量数据融合工具研究[J].地理空间信

息, 2021, 19 (07): 42-45+100+6-7.

- [3] 王小华.关于基础地理信息元数据标准化的思考[J].测绘标准化, 2016, 32 (01): 5-7.
- [4] 李静, 高翔.基础地理信息数据标准化研究[C].重庆市测绘学会第三届优秀论文评选获奖论文暨 2005-2006 年度学术交流会议论文选编.2008: 118-122.
- [5] 黄元怀.多源矢量数据融合分析研究[J].工程技术研究, 2022, 7 (12): 222-224.
- [6] 翟梦.天地图·福建数据融合技术与方法[J].测绘与空间地理信息, 2015, 38 (10): 184-186.
- [7] 董雅雯.矢量数据属性特征融合的探讨[J].中南林业调查规划, 2022, 41 (02): 29-31+56.
- [8] 王晶.基于 GPS/GSM 车载监控系统的应用研究及嵌入式终端实现[J].测绘科学, 2009, 34 (06): 254-255.
- [9] 商春鹏, 张秀娟, 王晶.基于 MIMU/GPS 组合导航系统的应用研究[J].微计算机信息, 2010, (7): 148-150.
- [10] 任晔.条码技术在电力物资全程供应链管理中的应用[J].现代商贸工业, 2022, 43 (17): 35-36.
- [11] 董旭.电力物资供应链风险监控预警系统的建设与应用[J].企业改革与管理, 2021, (23): 38-39.
- [12] 张胜学.建立物资质量全过程管控模式的研究[J].石油石化物资采购, 2014, (11): 48-53.