

输电线路移动运检辅助管控平台架构

文/杨蕴华¹ 范昭勇¹ 朱永胜² 徐晓亮³ 夏远灿⁴

1. 国网重庆市电力公司；2. 国网重庆市电力公司万州供电分公司；
3. 国网重庆市电力公司永川供电分公司；4. 国网重庆市电力公司超高压分公司

输电线路运检面临维护难度大、地理环境复杂等问题。基于信息通信技术基本原理及对输电线路传统运检作业缺点的充分调研，提出了移动运检辅助管控平台架构，可以帮助输电线路管理单位及时掌握输电线路运行状态，实现输电线路运检工作的数字化和智能化，对提高输电线路精细化管理水平具有重要意义。

输电线路运检是电网系统安全可靠运行的重要基础。输电线路的缺陷和异常已成为影响电网安全可靠运行的重要因素，输电线路运检工作的重要性日益凸显。对于输电线路来说，运检工作不仅复杂，所涉及的运检工作内容也非常广泛，劳动强度比较大。近年来，智能电网、信息通信及电力系统其他新技术、新材料、新设备的广泛应用，对输电线路运检人员的业务技能提出了更高的要求。提高运检人员业务能力对输电通道安全稳定运行至关重要。

移动运检平台依托于日益成熟的PDA移动终端和“互联网+”移动通信技术，因其智能、可靠、方便和灵活等特点，应用前景广泛。基于此背景，为了提高输电运检智能化、信息化和规范化水平，促进传统输电线路运检工作和“互联网+”移动通信技术的深度融合成为必然选择。针对电力行业输电通道日常运检工作的不足之处，依靠“互联网+”移动通信技术整合碎片化资源，通过高效分析故障隐患实现资源的优化配置，可有效减少运检成本，提升运检整体技术和管理水平。

本文基于输电线路运检工作的特点，采用云计算、移动互联网等信息通信技术，研究输电线路移动运检辅助管控平台架构。依托移动运检的应用场

景与关键技术，以PDA移动终端和“互联网+”移动通信技术系统为支撑，为运检人员提供现场巡线数据接入标准化入口，可有效整合运检数据，实现运检人员任务工单和运检工作流程可视化等功能。该平台为线路运维管理单位提供支撑服务的同时，能够进一步提高电力行业内输电运检工作的经济性、高效性和安全性。

输电线路运检管理体系发展现状

目前我国大部分电网公司输电线路运检都采用人工运检及远程监控相结合的方式。其中，人工巡检作为最重要的输电运检方式，存在不同运检人员之间专业水平差异大的问题。因此，有必要对输电线路运检内容进行规范整理，通过借鉴输电线路运检经验以及分析故障原因，总结常规的输电线路运检主要内容。

(1) 杆塔运检

主要包括杆塔基础和杆塔本体两部分，其中杆塔基础部分主要包括基础周围土壤、地基土质的状况，寒冷地区需关注有无冻鼓现象；杆塔本体部分主要包括杆塔、铁塔构件、焊接部件或横担的缺失情况，以及排水孔堵塞、风筝、鸟巢、塑料薄膜、蔓藤类植物或其他堆砌物等异物附

着等。

(2) 金具、绝缘子和导地线附件运检

主要涉及金具磨损、有裂纹、变形或锈蚀；销子脱出、缺损；绝缘子铁帽、铁脚松动、锈蚀或弯曲；瓷件脏污、电蚀、锈蚀、闪络痕迹、裂纹、损伤或自爆；间隔棒、防振锤、阻尼线、均压环锈蚀及异常；预绞丝、连接管异常。

(3) 导线、地线和接地装置运检

包括缺损、断线、断股、锈蚀、烧伤；悬挂异物；三相弛度不平衡，出现过紧或过松现象；舞动、振动或导线互缠；接头出现烧伤或热现象（如接头变色等），螺帽是否紧固、接连线夹弹簧垫有无；ADSS（全介质自承式光缆）及外挂线路异常；过（跳）引线有无损伤、歪扭，与其他引线的距离是否符合规定。

(4) 防雷设施及其他设施运检

主要涉及避雷器、故障定位、塔顶示高灯等装置缺损或失效；避雷器固定不牢固、表面出现脏污，避雷器瓷套出现损伤、裂纹或闪络痕迹现象；防护、警告标志模糊或缺损；相序、杆塔、线路、回路标志模糊或缺损。

(5) 输电线路周边环境运检

包括烟火现象及易燃易爆设施；平行邻近及交叉跨越物；施工活动；改建或新建交通道路，通信、电力线路等；拉线、杆塔上悬挂物件或拴牲畜；超高的建筑物、自然生长物等；巡线便桥、通道等不畅通；洪水、地震、山体滑坡或泥石流等导致通道环境的改变；排水沟不畅通或防洪设施损坏。

由于输电线路临近复杂地形，易受各种自然灾害（如污秽、风偏、树障、鸟害等）以及人为因素的破坏而出现线路故障现象。目前为止，我国国内普遍采用的依旧是人工运检并记录的工作方式，这种方式存在效率低、管理成本高等明显的问题缺陷，主要表现在几个方面。

1) 输电线路运检人员的责任意识弱，运检到位率的计算缺乏科学依据，人为因素过多。

2) 群众护线人员在专业技能上普遍存在欠缺，对于输电线路的运行状况不能完整描述。

3) 以往主要以运检人员纸质登记记录方式为主，不同人员数据标准和登记方式不同，无法实现

数据的实时保存、查询及高效分析。

4) 尚未能实现巡线工作的统一规划及管理工作的规范协调。

输电线路移动运检的应用场景与关键技术

1. 应用场景

移动运检为输电线路运检提供了一种新型工作模式。运检人员使用移动设备登录应用APP连接至运检辅助管控平台，读取已发布的运检任务信息，按任务要求将巡线坐标和现场巡线照片等基础数据上传至云计算中心，后台管理中心再依据这些基础数据与数据库资源等智能技术得到分析结果，保证运检工作的规范化、科学化，提升输电线路运检工作的效率及安全性。

后台的输电线路运检信息管理中心以及移动终端系统构成了输电线路移动运检管控系统，通过移动互联网实现与电力传输网络系统的连接以及信息共享。后台信息管理中心包括更新输电线路实时物理信息、发布运检任务、安排运检时间及人员、自动接收运检数据、处理运检结果、识别输电线路缺陷和发布专业人员处理等功能，并同步更新到后台管理系统服务器上。移动运检应用场景如图1所示。



图1 输电线路移动运检应用场景

2. 关键技术

(1) 动态交互式可视化

在大数据时代，数据类型不仅限制于传统的数值类型，出现了多元、地理空间、文本、视频和图片等不同数据类型的数据集，需要通过灵活的可视化分析工具对这些不同类型的数据进行有效转换和处理，以易于使用者理解并以直观的视图呈现。可视化终端设备界面具有友好性和直观性，运检工作流程得以简化，运检人员通过该可视化界面可完成任务工单的速度，降低操作难度，进一步提高输电线路运检工作的效率。

(2) 面向服务的体系结构 (Service-Oriented Architecture, SOA)

SOA是一种全新的系统架构。通过整合异构环境下的应用系统,满足开发者对网络环境中业务集成的需求。经由SOA应用框架整合的不同应用程序服务,可由接口及契约相互关联,由于接口一般是中立方式定义,独立于操作系统、编程语言及硬件平台,所以SOA框架通过使用一种通用的方式与构建系统中的各种服务进行交互,从而解决多种技术组件的业务问题。

(3) 移动GIS定位

移动GIS是以地理应用服务器为核心应用,移动终端为采集、应用工具,无线网络为通信桥梁,空间数据库为数据支持的综合系统。移动GIS可以用来快速、精确定位运检人员和进行地理信息识别,具备分布式、图像可视化的特点,该系统融合GIS、GPS、移动通信(GSM/GPRS/CDMA)技术于一体,有效提高管理者对运检人员到岗情况和运检轨迹管理。

(4) 输电线路隐患图像智能识别

图像识别可识别不同模式的对象及目标。每个输电线路隐患图像都有它的特征,在图像识别过程中,知觉机制必须排除输入的多余信息,抽出关键的信息。而各种图像识别模型(如模板匹配模型)的提出,可用来编制计算机程序以模拟人类图像识别活动。该类模型只有在历史经验中有相应图像的记忆模式(即模板)时才能识别该图像,当模板与当前刺激匹配时,图像才能被识别。

(5) 云计算

云计算是一种基于互联网和大众参与,计算资源以服务方式提供的计算模式。云计算的计算资源主要涵盖计算、存储和交互能力,同时具有可伸缩性、动态性和虚拟性,其计算资源组织、分配及使用的新型模式,进一步实现了计算资源的合理配置,提高利用率,为节能减排和绿色计算的实现创造了条件。将云计算引入到输电线路移动运检中,可提升移动运检系统数据资源管理、处理及计算能力,大幅提升运检系统获取资源的便利性,推进移动互联网在移动运检中的发展。

(6) 建立运检辅助数据库

数据库技术主要是对数据存储、管理及应用的

技术。分析输电线路运检系统中所涉及的数据内容,并对数据内容属性信息进行归纳,提取输电线路隐患或故障关键信息作为数据库的核心基础数据,在对所需数据进行操作时,需要通过主键关联快速提取所需的有用信息的。运检人员及时将运检结果上传至运检系统云端,建立涵盖故障库、风险库和措施库的辅助知识库,通过权限分配,实现系统智能运维及管理人员对各类数据库信息的快速检索。此外,考虑到对运检人员的考核要求,需要对运检结果进行智能评价,系统结合云端数据库进行运检任务完成质量的智能评价,真正实现运检的智能化和规范化管理。

输电线路移动运检辅助管控平台的总体需求与业务流程

1. 总体需求

为解决传统输电线路运检存在的问题,采用移动运检方式,帮助输电线路管理单位及时掌握输电线路运行状态,提高对运检人员的精细化管理。输电线路运检工作的总体需求主要包括以下方面。

(1) 输电线路运检自动化管理

输电线路运检工作包括管理人员编制运检计划,发布运检需求;运检人员通过个人移动终端查看运检计划、要求;进行实地运检,实时上传运检结果数据;计算中心统计分析运检数据并出具运检质量结果;管理人员查询分析,整个运检流程都通过输电线路运检辅助管控平台进行自动化管理。

(2) 运检记录数字化

使用移动运检系统后,系统自动跟踪记录运检人员的地理信息、运检时间、输电线路及设备运行状况等运检信息,并按照运检单位或管理人员的查询要求进行显示或打印,实现运检记录的无纸化、数字化。

(3) 输电线路及设备隐患的自动分析

运检人员对输电线路进行检查时,若被检线路的上报数据超过正常范围,后台管理中心会对运检人员提交的基础数据进行自动分析并对移动终端做出报警提示,提醒运检人员进行二次重点检查。同时,系统也可以根据采集的结果自动对输电线路是否异常做出判断。

(4) 输电线路运检内容智能提示

输电线路运检面临的待运检设备、器件或者运检项目较多，很多运检细节容易被忽视而影响运检成效，然而让运检人员记住所有的任务内容是比较困难的。输电线路运检系统移动终端就成为一个便携式的备忘录，系统会根据运检线路的特点有针对性地对运检人员进行逐条作业提示，便于运检人员对线路进行高效运检。

(5) 远程监督输电线路运检工作完成质量

移动运检系统能够提高对输电线路运检及人员管理水平。整个系统以输电线路安全运行为中心，改变了以往以人员管理为中心的模式，同时也可以监督运检人员是否到岗，方便进行漏检。

(6) 系统响应快速

为确保工作效率，系统对运检指令和运检结果进行实时分析并快速反应，如在户外巡线时，电子导航能实时追踪隐患位置，便于专业维修人员查找并处理线路隐患。

移动运检辅助管控平台主要包括后台运检管理中心、移动运检终端子系统。移动运检终端的主要功能需求：

1) 运检线路。运检人员对事先定好的输电线路进行运检。

2) 运检任务。位于运检线路上待运检的设备或器件。

3) 运检信息录入。运检人员利用手机等移动设备采集输电线路设备的状态，采集的数据格式可以是文本、图片、音频和视频等多种格式类型。

4) 数据通信。通过无线网络同步或异步与后台云计算中心、数据库进行信息交互，为保证数据采集的有效性，在网络状况不佳时，采集的数据可暂存本地，当网络状态良好时自动保存到数据中心。

通过智能手机采集的数据都将汇总到服务器端，服务器端提供了对这些原始数据的接收、解析、处理、保存和统计分析等功能。

后台运检管理中心的主要功能需求：

1) 智能分析。智能生成运检人员信息报告、运检数据报告、按时间维度生成运检工作报告、输电线路及设备缺陷或隐患报告等系统智能分析报告。

2) 运检线路管理。可帮助运检管理部门或管

理人员制定合理的运检计划，管理和记录每次运检行程，根据不同路段的实际需求合理安排运检计划，实行差异化运检达到最优的运检效果。

3) 位置循迹监测。通过手机、平板电脑、车载移动设备等的定位模块监控运检人员的位置信息，可有效评价运检人员的运检工作到位情况。

2. 业务流程

移动运检系统主要由运检系统移动APP模块和运检管控PC模块组成，图2显示了移动运检系统业务流程。输电线路运检管理部门通过PC端建立运检计划、制定并发布运检任务及管理运检人员。运检人员使用移动设备采集运检数据，然后通过移动端APP上传至输电线路运检管控平台。

(1) 管理部门发布运检任务

运检任务管理部门通过PC端制定运检任务，任务内容：任务的名称、任务的标段、任务类型（如常规运检任务、特殊运检任务、专项运检任务等）、执行任务的人员资质要求、运检任务内容要求（运检内容清单）、任务执行时间要求、任务其他事项说明等信息，然后提交运检任务审批，审批通过后，运检人员即可在移动端查看运检任务等信息。

(2) 运检人员接收并查询运检任务

参与运检的人员登录移动终端系统查询已发布的运检任务，根据运检路线目标定位，再由地图查看并计算出最佳的巡线路线规划。

(3) GPS定位

运检人员录入并选取运检任务后，系统将通过GPS自动定位运检人员实时位置信息（经度、纬度等），并向运检人员智能推送规划的最佳线路，管理部门亦可查看运检人员的实时行动轨迹。

(4) 运检数据采集

运检目标定位成功后，运检人员开始采集输电线路及设备实时运行图片，重点部位的隐患或缺陷信息等基础数据，确认图片符合运检质量要求后将数据上传至平台。

(5) 图片拍摄坐标提取

移动设备在拍摄图片的同时通过在图片文件信息中嵌入GPS坐标信息，便于管理平台或管理人员在分析查看图片文件时通过图片拍摄坐标提取算法提取出图片中的坐标信息，并显示在电子地图中。

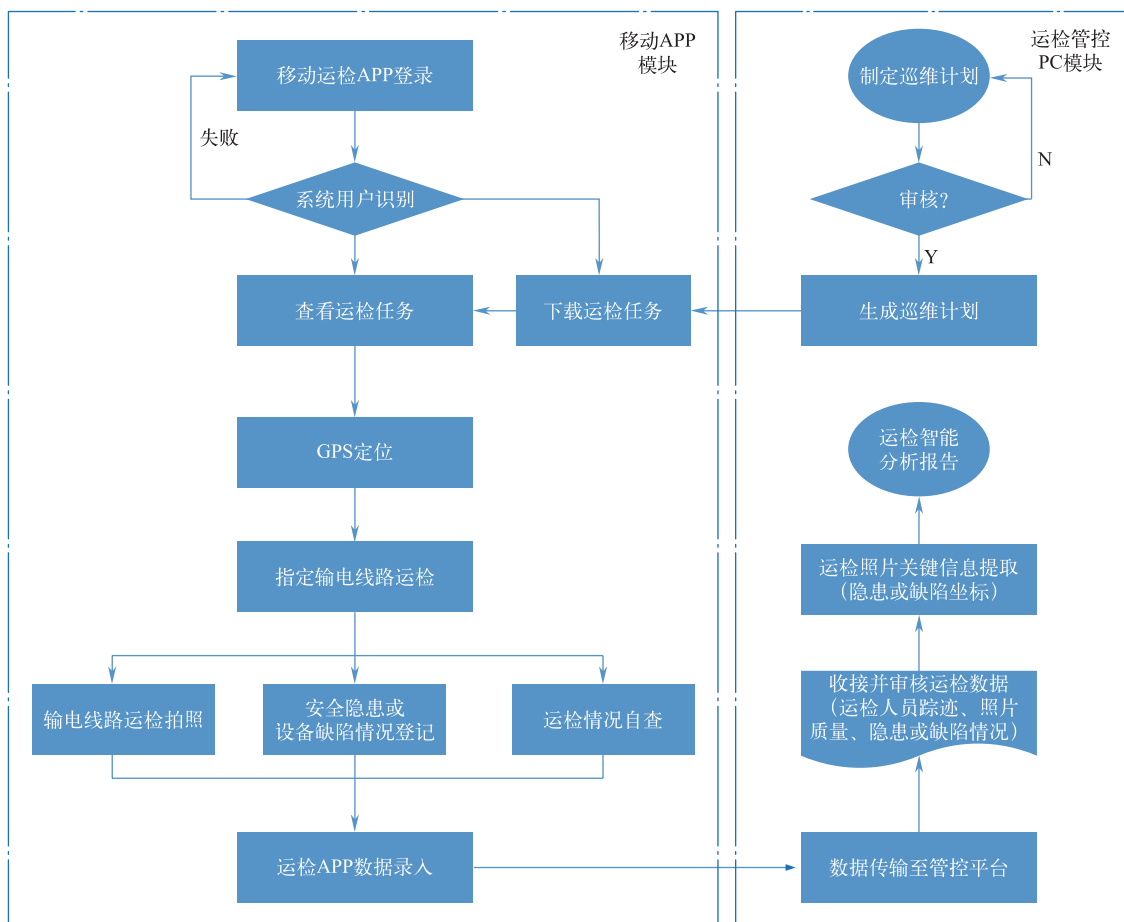


图2 移动运检业务流程图

(6) 运检智能统计分析报告

后台PC端可生成运检人员信息报告、运检数据报告、按时间维度生成运检工作报告、输电线路及设备缺陷或隐患报告等系统智能分析报告。

输电线路移动运检辅助管控平台的总体框架及功能模块

1. 总体框架

基于云计算的输电线路移动运检管控系统平台主要包括四层架构体系，分别为移动运检数据基础层（移动运检数据采集与存储）、技术支撑平台层（数据服务与数据管理中心）、信息管理应用层（面向定制化服务应用）和运检可视化展现层（动态运检与运检质量展示），总体框架具体如图3所示。输电线路运检人员使用移动设备运检APP将巡线地理信息和现场运检照片等基础数据经移动数据接入服务接口上传至云计算平台，其中的数据分析计算模块自动接收基础数据后对数据进行智能分

析，得到运检分析结果并存放至数据库中心，数据库中心包括输电线路台账信息、运检人员身份信息、运检坐标信息、运检现场图片等数据资料。输电线路运检信息管理中心不仅能够开发典型功能应用，如运检人员实时位置展示、运检人员巡视轨迹查询、运检照片展示等，还能开发应用展示典型功能应用被数据服务接口开放的调用情况。针对输电线路运检管理单位或运检决策者等，可根据输电线路管理单位的实际需求提供定制化应用开发，以协助管控输电线路移动运检的过程，实现数字化输电线路运检。

2. 功能模块

输电线路移动运检APP主要功能模块包含权限管理、输电线路台账管理、运维知识管理、输电线路运检数据库、输电线路运检日志、运检质量评估、运检报告生成等，如图4所示。

1) 权限管理。采用移动应用安全主动测评和虚拟化加固技术，实现用户移动终端设备的物理绑定和登录检测。



图3 输电线路移动运检系统的总体架构图



图4 移动运检APP功能模块

2) 输电线路台账管理。统计、存储输电线路元器件信息等基础信息, 可根据实际情况对台账信息进行添加、删除、修改。

3) 运检知识管理。运维知识包括日常运检内容、运检注意事项、运检质量考核标准、运检管理制度等, 并能对运维知识进行添加、删除、修改等管理。

4) 输电线路运检数据库。输电线路故障库、风险库、专家知识库等, 分配权限的用户可以对不同类型信息库进行检索、查看、编辑等操作。

5) 运检日志。通过运检记录可以查阅每日运检计划与完成状态。运检内容涵盖运检计划、地理信息签到、现场图像采集、数据传输漏检统计、隐患或缺陷记录等。

6) 运检质量评估。采用智能算法结合运检数据库实现输电线路运检质量的系统智能评估。

7) 运检报告生成。根据输电线路运检管理部门要求生成相适配的格式文件, 数据交换接口采用XML作为信息系统数据交换的主流标准, 方便运检记录的检索、展示等。

结束语

本文对输电线路移动运检模式的辅助管控平台开展了相关研究, 构建了输电线路运检模式的辅助管控平台的总体框架。基于对输电线路传统运检作业缺点的充分调研, 通过“互联网+”信息通信技术和人工智能技术的应用, 开发移动运检APP工具助力输电线路运检管理, 实现了运检工作的数字化和规范化。

1) 基于移动运检终端和后台运检管理中心的功能需求, 设计了包括管理部门发布运检任务、运检人员接收并查询运检任务、GPS定位、运检数据采集、图片拍摄坐标提取以及运检智能统计分析报告的平台业务流程, 实现线路运检的全流程数字化、平台化管理, 提升运检效率。

2) 构建了包括移动运检数据基础层(移动运检数据采集与存储)、技术支撑平台层(数据服务与数据管理中心)、信息管理应用层(面向定制化服务应用)和运检可视化展现层(动态运检与运检质量展示)的四层级输电线路移动运检管控系统平台架构体系, 针对输电线路运检管理单位或运检决策者等, 该

平台可根据输电线路管理单位的实际需求提供定制化应用开发, 实现属地化、个性化的输电线路运检。

3) 随着科技进步, 输电线路的无人机运检模式已广泛应用, 特别是针对高空电力设备或者山区线路的巡查, 采用无人机运检方式会事半功倍, 不仅避免了运检人员在巡查高空设备时的危险, 还提高了运检效率。未来, 利用输电移动运检辅助管控平台对接现有的无人机运检系统, 打通数据链路实现运检数据的共享, 以PDA移动终端和“互联网+”移动通信技术, 实现运检任务工单和运检工作流程可视化, 有效提升输电线路运检工作整体技术和管理水平, 降低运检人工成本, 进一步提高电力输电运检的经济性和安全性。EA

参考文献

- [1] 王海涛, 刘春翔, 范鹏, 等. 一种基于全景状态监测数据的新型架空输电线路状态评估模型[J]. 电测与仪表, 2017, 54(14): 47-52, 69.
- [2] 胡毅. 输电线路运行故障的分析与防治[J]. 高压技术, 2007, 33(3): 1-8.
- [3] 赵建青, 姚瑶, 邱玩辉, 等. 基于输电线路在线巡视系统的智能预警系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 49-54.
- [4] 杨建国, 刘佩显, 张伟, 等. 输变电专业移动巡检APP工具开发及应用研究[J]. 数字通信世界, 2018(4): 201-202.
- [5] 彭向阳, 钱冠军, 李鑫, 等. 架空输电线路跳闸故障智能诊断[J]. 高压技术, 2012, 38(8): 1965-1972.
- [6] 司马文霞, 陈伟, 杜林, 等. 基于输电网中故障行波分布和网络依赖图的故障定位算法[J]. 高压电器, 2010, 46(6): 45-49.
- [7] 王艳, 郝良霞, 徐玉琴. 特高压同塔双回线路故障测距算法[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(4): 7-13.
- [8] 谢钢. 广东地区直升机巡视输电线路方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [9] 海伟, 高延峰, 岳保忠, 等. “双碳”环境下基于铁路生产管控平台的郑州南站智慧照明控制系统研究[J]. 电气应用, 2022, 41(7): 66-73.