

长输管道保安电源系统安全风险评估及防控策略研究

化德宪（国家管网集团联合管道有限责任公司西部分公司，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘要：随着经济的飞速发展，能源需求持续攀升，长输管道承担着愈发关键的能源输送任务。其规模不断拓展，途经复杂多样的地理环境与气候区域。然而，频发的极端天气和日益增多的人类活动，给保安电源系统带来了更多潜在威胁。本文围绕长输管道保安电源系统，运用故障树分析法、层次分析法等手段，识别电源设备故障、线路故障等安全风险因素，进而提出防控策略，为系统安全运行提供支撑。

关键词：长输管道；保安电源系统；安全风险评估；防控策略

长输管道作为能源输送过程中关键的基础设施，保安电源系统保证了市电异常情况下关键设备的工作，对于管道安全具有重要意义。但是系统正面临着电源设备老化，线路遭受自然灾害及外力破坏，人为操作失误及外部环境干扰的危险，在发生故障时，容易造成严重的后果。当前相关的安全管理有所欠缺，所以进行安全风险评估与防控策略的研究对于确保长输管道的平稳运行与能源安全是非常必要的。

1 长输管道保安电源系统安全风险评估及防控的价值

长输管道是现代社会能源供应体系不可取代的重要组成部分。其保安电源系统是确保管道安全平稳运行的一道重要防线，开展其安全风险评估与防控工作具有很大必要性^[1]。

在能源供应方面，长输管道担负着向各地区输送石油，天然气和其他重要能源资源的任务，保安电源系统一旦发生故障就会造成长输管道的停运和能源供应的强迫中断。这样不仅使得依靠这些能量的工业生产停滞不前，经济损失惨重，而且有可能对居民日常生活产生影响，例如天然气供应的中断就会对居民取暖和做饭产生影响，极大地影响了社会正常的运行。

从安全层面上看，长输管道所传输的介质多存在易燃，易爆和有毒的特点。保安电源系统一旦发生故障，不能及时向压力调节装置和泄漏监测设备这类管道关键设备供电，就会导致管道内部压力，流量和其他参数失控，进而会造成介质泄漏和爆炸等重大安全事故。这些意外不仅给周围生态环境带来了不可估量的损失，而且还可能直接危及沿线居民生命安全和引起社会恐慌。

考虑到经济成本，长输管道的建设与运行投资较大，如果由于保安电源系统失效而导致事故发生，除直接设备检修，管道修复成本，会发生一些间接费用，

如能源损失，环境污染治理，停产损失和潜在的法律赔偿。这些成本累加在一起就会成为一笔巨大的支出，对企业、对社会都会造成巨大经济负担。

2 长输管道保安电源系统安全风险评估

2.1 故障树分析法

故障树分析法（FTA）是一种用于分析复杂系统故障因果关系的演绎推理方法，在长输管道保安电源系统安全风险评估中发挥着重要作用，是将系统未预期到的事件视为顶事件如“长输管道保安电源系统断供”，经过逐层分解找出引起顶事件的全部直接原因与间接原因，这些因素共同形成了故障树中的中间和基本事件，最后组成了一个倒置的树状逻辑图^[2]。

构造故障树时需对保安电源系统各部件及各部件之间的关系进行综合而详细的分析，就应急电源的故障为例，如果是某个中间事件的话，可能是几个基本事件造成的，比如发动机的故障，发电机的故障，蓄电池电量的缺失等等。并且发动机故障还可以进一步细分成燃油系统堵塞，润滑系统故障，点火系统故障等等更加具体的基础事件。通过这种循序渐进的深入分析，我们可以对系统故障可能发生的路径有一个明确的梳理。故障树分析法既可以直观地显示出系统故障因果关系，又可以定性、定量分析。定性分析以搜索故障树最小割集为主，也就是能引起顶事件的最本质且彼此独立的事件组合。每一个最小割集都代表了系统的一种故障模式，通过对最小割集的分析，可明确系统的薄弱环节，为制定针对性的防控措施提供依据。如发现某一个最小割集所含基本事件多与某型设备零件有关，则对设备进行维修与管理时应着重考虑零件。

定量分析的方法是基于已知的基本事件发生概率，来估算顶部事件发生的可能性和各个基本事件的重要性。重要度分析可以帮助判断哪种基本事件对系

统失效影响最明显,以便在有限资源范围内优先控制这些关键因素。比如计算出某一基本事件重要度越大,则表明这一事件一出现就会给保安电源系统供电中断造成很大影响,因此有必要采取更加严密的监控与维护措施以减少其出现的可能性。

2.2 层次分析法

层次分析法(AHP)是一种决策方法,它将与决策相关的元素分解为目标、准则、方案等多个层次,然后在这些层次上进行定性和定量分析,用于解决长输管道保安电源系统安全风险评估中多因素,复杂性强的问题,尤其是保安电源系统带载试验是检验保安MCC段上各负载保护定值及其投切逻辑,也是提高保安电源系统可靠性的关键性试验^[3]。

在采用层次分析法的过程中,首要任务是明确评估的目标,也就是对长输管道保安电源系统的安全风险进行全面评估。接着,对系统安全影响因素进行了分类并构造了多层次结构模型。通常准则层可以由电源设备因素,线路因素,人为因素和环境因素组成。从电源设备的要素来看,方案层又可以进一步分解为应急电源故障和配电装置故障这两个特定要素;在线路因素中,可以包括线路老化和外力破坏;人为因素涉及操作失误,维修不当;环境因素包括自然灾害,电磁干扰。之后需借助专家打分或者经验判断来构造判断矩阵,判断矩阵为同一层中各个要素的相对重要程度的两两比较。以准则层为例,对比分析了电源设备因素与线路因素对于保安电源系统安全风险影响的大小。采用1~9标度法,1表示两个因素同等重要,3表示前者比后者稍重要,以此类推。构造一系列这类判断矩阵就可以确定各级元素的相对权重。

权重向量的计算和一致性检验,是层次分析法中关键的一步。通过对判断矩阵特征向量及最大特征值进行计算,并对特征向量进行归一化处理,获得每个要素权重向量。同时为了保证判断一致,还需要对一致性进行检验。如果一致性比例达不到要求,就需要对判断矩阵进行再调整,直至检查合格。

最后通过对各层次权重进行计算与综合,可以得出方案层各个特定风险因素对目标层影响程度的权重。这些权重明显体现出不同风险因素对保安电源系统安全风险整体评估的重要性,对后续防控策略的制定和资源的合理配置具有科学依据。比如如果计算出电源设备各因素所占权重较大,则安全管理方面应该把更多精力与资源用于电源设备维护与管理。

2.3 模糊综合评估法

模糊综合评估法是基于模糊数学理论,对受多种因素影响的事物做出全面评估的一种方法,能够有效处理长输管道保安电源系统安全风险评估中的模糊性和不确定性问题,同时随着管道机组大容量的发展,保安电源系统的可靠性就显得越发重要^[4]。

对长输管道保安电源系统的安全风险进行评估时,必须先确定评估因素集与评估等级集,该评估因素集涉及到影响保安电源系统安全运行的各种要素,如前文所述电源设备故障,线路故障,人为操作失误以及外部环境的影响。评估等级集则是对系统安全风险程度的划分,通常可分为“低风险”“风险小”“中等风险”“较高风险”“高风险”五个等级。接着通过专家评估,实地调研或者历史数据统计来确定各个评估因素在不同评估等级下的隶属程度,并由此构造出模糊关系矩阵。比如,对“电源设备失灵”这一评估要素,经专家鉴定,属“低风险”者隶属度0.1,属“风险小”者0.3,属“中等风险”者隶属度0.4,属“较高风险”者隶属度0.1,属“高风险”者隶属于度0.1,从而构成了因子的隶属度向量。把各评估因素隶属度向量合并形成模糊关系矩阵。然后,依据层次分析法所确定的各个评估因素的权重,执行模糊合成计算。模糊合成运算方法很多,通常采用加权平均型算法进行。通过操作,可以获得反映长输管道保安电源系统在不同安全风险等级下隶属度的综合评估向量。

最后基于最大隶属度原则对系统进行了安全风险等级识别。比如,如果在综合评估向量中,“中等风险”所对应隶属度值达到最大值,则可以判定此长输管道保安电源系统安全风险为中等。同时模糊综合评估法也可以给出不同风险等级下的系统分布,从而为更加详细的了解系统安全状况提供线索,有利于制定更有针对性的风险预防和控制措施。

3 长输管道保安电源系统安全风险防控策略

3.1 对电源设备进行优化配置和检修

电源设备在长输管道保安电源系统中处于核心地位,配置和维护好坏直接关系到系统工作可靠性,电源设备的优化配置和维护是预防和控制安全风险的关键。

就设备配置而言,需要根据长输管道实际需要和运行特点对电源设备进行科学合理的选型,比如对输送量较大,且对运行连续性有较高要求的长输管道,要优先选择动力充足且稳定的柴油发电机组作应急电

源,以保证市电中断时能够快速起动和连续供电。同时,要配备适量的不间断电源(UPS),为对供电连续性要求极高的关键设备,如通信装置和监控系统,提供短时间的电力缓冲,保障其数据存储与传输不受影响。另外,还应该考虑到设备兼容性问题,以保证各个电源设备间及与长输管道原电气系统间能协同运行,从而避免由于不相容而带来故障隐患。

设备的检修也是不容忽视的,建立健全日常巡检制度并安排专业技术人员对电源设备运行状态进行定期巡检,主要检查设备外观,温度和声音情况,发现可能存在的问题。比如通过对柴油发电机组排烟颜色的观察就可以判断燃烧是否完全;对设备关键部位温度进行监控可以防止过热造成的故障。同时严格按照设备使用说明书要求定期维护设备。如果定期对柴油发电机组机油,滤清器进行更换,并对火花塞及其他零件进行检查,以保证装置一直保持良好工作状态。对UPS中蓄电池应定期充放电测试并及时替换老化和性能降低电池以保持储能能力。

3.2 加大线路巡检和保护力度

长输管道保安电源系统输电线路分布广,而且大多位于复杂自然环境与人为活动区域内,易受各方面因素干扰与损害,强化线路巡检和保护,是减少安全风险的重点措施。

就巡检而言,建立一个细致而又科学的巡检计划是非常关键的。依据线路长度、地理环境和重要程度等因素,对巡检区域进行合理分区,并确定巡检周期。对跨越山区、河流和其他特殊地段,在人口密集区和施工频繁地区,应适当提高巡检频次。利用多样化巡检方式在传统人工巡检的基础上充分运用无人机巡检、在线监测系统等现代技术手段。无人机能够迅速覆盖大范围线路区域,利用高清摄像头及红外热成像仪对线路杆塔,导线及绝缘子进行全面巡检,发现线路破损,变形及超温情况。在线监测系统能够实时获取线路运行的各种参数,例如电流、电压和温度等,一旦这些参数出现不正常的情况,系统会立即发出预警信号,以便为故障的及时处理提供科学依据。

线路防护也不可忽视。对自然灾害威胁采取了有效防护措施。在容易受雷击地区,设置性能优良的避雷针和避雷线等避雷装置将雷电电流引到地面,以免线路受雷击破坏。对可能被洪水冲毁的杆塔基础应采取加固措施,例如浇筑混凝土防护堤和设置挡土墙。强风地区加强杆塔防风稳定性设计并增设防风拉线及

其他设施。另外,为了避免外力破坏,还应加强对路线周围建设活动的规范,施工前应与施工单位充分交流,确定线路位置及防护要求,并设立醒目警示标识。同时与施工单位建立联络机制,了解施工动态,保证在施工期间不破坏线路。加强对线路巡检和保护,可以有效地减少线路故障发生的风险,确保长输管道保安电源系统供电稳定。

3.3 健全应急预案演习

健全的应急预案和演练是长输管道保安电源系统面临突发安全事件时能快速有效地应对并减少损失的一个重要保证。

演练对于检验与提高应急预案实施能力具有十分重要意义,定期举办不同种类、大小的应急演练来模拟各类突发场景,使参与者熟悉应急响应流程及各自责任。演练时,突出实战性与综合性,涉及故障报告,应急指挥,现场处置,后勤保障等环节。演练之后,综合评估了演练效果,并分析了演练过程中信息传递不够及时,人员操作不够娴熟等问题与不足、物资调配不尽合理等等,并且对存在的问题进行了完善措施的制定,不断的完善应急预案,增强应急处置的能力。通过改进应急预案和演练可以提高长输管道保安电源系统对突发事件的处置能力,将安全事故带来的危害降到最低。

4 结束语

在长输管道中,保安电源系统安全,稳定地运行,对确保长输管道正常输气,输油具有十分重要的意义。通过深入剖析其安全风险因素,采用科学风险评估方法量化评估并有针对性地提出防控策略可有效减少安全风险和提高系统可靠性。今后要探索新技术的运用,提高管理水平,确保能源输送的安全。

参考文献:

- [1] 黄旭东.油气长输管道运行中的安全管理措施探析[J].石化技术,2024,31(10):269-271.
- [2] 于鲁宁,李勃晗.关于GIS在油气长输管道安全管理中的应用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(19):72-74.
- [3] 张少鹏,王团结,何信林,杨志龙,罗强.发电厂保安电源系统带载试验研究与优化[J].电工技术,2022(17):173-176.
- [4] 岳晋.660MW机组直流及保安电源系统改造概述[J].机电信息,2022(10):4-7.