

风电场集电线路重合闸功能的探索与应用

文/华润电力投资有限公司中西分公司 杜一波

随着我国对可再生能源的开发利用的高度重视，风力发电作为可再生能源中很具有经济开发价值的清洁能源，我国的风力发电事业得到了飞速发展，风电总装机量和年度新增装机量均居世界前列，但由于风电场运行环境条件大多较为恶劣，场内集电线路易出现故障，因此如何提高集电线路运行质量对风电场的安全、稳定、经济的运行具有重要意义。

集电线路故障概述

风力发电机组具有单机容量小、数量多的特点，考虑到投资、电能损耗、接线、操作等因素，通常情况下，风力发电机一箱变组合多采用一机一变的方式，箱变升压至35 kV后通过电缆“T”接至架空线路终端塔或电缆分接箱，再通过集电线路架空线或电缆接入变电站。据统计，某电力控股公司所属风电场2013~2016年期间发生的集电线路故障次数占总电气设备故障次数的86%，其中集电线路瞬时或暂时性故障次数占42%，如表1所示，且随着对集电线路设备瞬时或暂时故障次数占比呈逐年提高态势，

表1 某电力控股公司风电场集电线路故障类型统计表

1	年份	永久性故障占比 (%)	瞬时故障占比 (%)	瞬时故障趋势
2	2013	65	35	—
3	2014	62	38	↑
4	2015	54	46	↑
5	2016	50	50	↑
6	合计	58	42	—

由此可见风电场集电线路故障中的瞬时或暂时性故障，已成为严重制约新能源发电企业安全指标、经济运行指标的重要因素，而集电线路重合闸功能恰恰可以很好地解决线路的瞬时或暂时性故障，因此风电行业引入集电线路重合闸功能可大大提高线路可靠性。

集电线路重合闸投入的必要性

1. 安全可靠指标

随着风电项目建设的不断加快，国网公司对于风电场输电线路可靠性管理指标要求越来越高，以某省能监办下发的《风电场及光伏电站并网运行管理实施细则》为例，其中规定“第十三条 风电场、光伏电站非计划停运以集电线路为单位进行统计和考核，非计划停运包括保护动作跳闸及站内设备被迫停运。光伏电站每条集电线路全年允许非计划停运次数为1次；风电场每条集电

线路全年允许非计划停运次数为2次；非计划停运次数按月度考核，以全年允许非计划停运次数为基数，超过全年允许的非计划停运次数后开始进行考核，每超过允许次数1次，每次按照全场站当月上网电量的0.2%考核。”如果发生瞬时或暂时性故障故障，线路可以自恢复，但未投入自动重合闸功能，进而引起整个集电线路停运，给风电场集电线路的运行可靠性带来很大的不利影响。

2. 运行经济性指标

风电场集电线路长度、运行环境差异较大，多建设在各种恶劣的自然环境，发生线路事故时，往往正是气候恶劣、通信中断、交通受阻、检修十分困难之时，从而造成集电线路长时间停电。以某新能源公司为例，2016年期间发生瞬时故障的平均处理时间达12.91 h，平均单次故障电量损失约4.99万kW·h，给企业带来巨

大的经济损失。如投入集电线路自动重合闸功能,当线路故障清除后,在短时间内闭合断路器,即可恢复线路供电,使风力发电设备迅速启动运行,即使重合于故障,也可区分永久故障与瞬时故障故障类别的有力判据,为后续的故障分析和故障查找节约大量的故障处理时间,为企业挽回大量因集电线路故障而造成的电量损失。

集电线路投切重合闸功能考虑的因素

是否投入集电线路重合闸功能,需权衡架空线路设备可靠性、电缆线路设备可靠性、新建设备、线路运行治理、混合线路电缆占比等诸多因素,因此需要完整的理论作为电缆架空混合线路自动重合闸功能投切的基础。

1. 电缆架空混合线路运行状态对重合闸投切的影响

虽然风电场集电线路属两侧双电源供电,但是在线路发生故障后,风机控制系统检测到网侧电压异常,风机穿越功能并网开关断开,因此,此时风机一箱变单元已由电源设备转变为用电设备,因此自动重合闸功能启动时的投切可按照单路供电考虑。

1) 架空线路:一般可分为永久性故障和瞬时或暂时性故障,永久性故障包括脱落、断裂、保险熔断、外力破坏等;瞬时或暂时性故障包括雷击、风偏放电、污闪、覆冰舞动、鸟害等。如将脱落、断裂、保险等故障进行一定程度的治理,自动重合闸功能基本可以快速解除上述大部分的瞬时或暂时性故障,且可以使瞬时故障来不及发展成永久故障,迅速恢复线路供电,根据电力系统实际运行资料统计,重合闸的成功率

一般在60%~90%之间。

2) 电缆线路:一般情况下电缆线路故障原因包括直接外力破坏、电缆施工工艺、绝缘层受潮、绝缘老化等,大多为永久性绝缘击穿类单相或多相接地或相间短路故障,在对电缆实际故障不明的情况下,就盲目对电缆线路进行重合闸送电,线路容易出现过电压和过电流,导致已出现故障的电缆出现多点击穿现象,甚至导致整根电缆的报废,造成故障范围的扩大。这也是风电行业对于集电线路重合闸功能投切的严重顾虑之一。在风电行业电缆集电线路设计多采用交联聚乙烯(XLPE)绝缘电力电缆,这种电缆电气性能佳、施工敷设简单,有较强的抗老化特性,并且集电线路多使用直埋敷设方式,通常单回线敷设,特别是中间接头多使用电缆井或者电缆中间转接箱,使电缆故障大大降低。通过对电缆类型、敷设方式、施工工艺的把控,以及后期的运行治理。根据电缆线路的实际运行经验,如不计外力破坏引发的故障,在电缆线路投入运行1~3年后,电缆线路基本进入稳定时期,此时电缆线路故障率较低,是投入自动重合闸功能的最佳时期。

2. 风力发电机组对重合闸投切的影响

地方电网公司所属的线路自动重合闸时间一般不超过1 s,这主要是考虑到各类用户的供电需求不受影响。但是风电场集电线路负荷具有一定特殊性,其负荷性质也受风速、线路运行模式影响,如表2所示。在风机启动前,集电线路负荷性质均为用电性质,而在风机启动后其负荷性质转换为供电性质,因此风力发电机组对于集电线路重合闸功能成功动作的关键是重合闸动作时间与风机的停机时间的有效配合。

3. 新建集电线路的运行治理

1) 设置防风型跌落保险,风电场多属大风、多风区域,普通的跌落保险抗风能力差,不足以支撑设备恶劣的运行环境。

2) 使用新型铜铝过渡线夹,普通的铜铝过渡线夹采用对接工艺制作(图1),这种线夹铜铝过渡面积小,易发热,在使用的过程中易断裂。而使用新型的铜铝过渡线夹采用钎焊工艺,通过铜板和铝板面对面的连接,铜铝接触面积可增加10倍以上,并且连接强度较大、不易发生断裂,可大大降低集电线路断裂类故障。

表2 风电场集电线路工况一览表

序号	风速	线路运行工况	负荷性质
1	大风期	正常运行风机启动	供电
2		线路故障重合闸后风机启动前	用电
3		线路故障重合闸后风机启动后	供电
4	微风或无风期	正常运行风机启动	用电
5		线路故障重合闸后风机启动前	用电
6		线路故障重合闸后风机启动后	用电

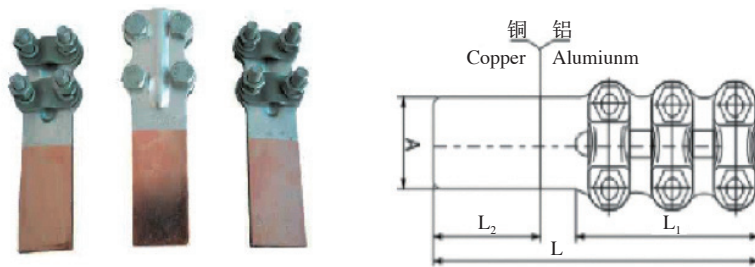


图1 普通SGL型铜铝过渡线夹

3) 防风偏治理, 风偏大多是在强风的作用下, 导线或跳线与地电位体之间、或其他相导线之间的空气间隙小于大气击穿电压, 进而造成线路故障, 主要影响因素有局部强风、地形、局部暴雨形成的水线、线路设计等。应根据架空线路不同的运行情况对线路进行加装硬质引流线、安装重锤、更换新型防风偏绝缘子等措施, 达到地限制引流线的摆动, 保证电气可靠间隙, 防风偏效果。

4) 电缆线路的治理, 电缆故障的主要原因为外力破坏、运行环境、施工质量、中间接头等, 应采用主动预防、综合治理的措施和对策, 消除各类电缆隐患降低故障几率, 如管理方面在电缆设备选型、入场质量检测、库存等方面进行控制, 技术管理方面在施工工艺、敷设方法、电缆头制作等, 特别是电缆中间接头, 它承载着电缆之间的连接, 同时也是最为薄弱的部位, 应采用其产品质量、施工工艺、中间接头防护、设置位置等隐患不利于控制, 且风电场电缆敷设多位于自然因素较为恶劣的区域, 因此建议风电场电缆中间接头采用电缆分接箱或防水、排水措施较好的电缆中间井, 不建议进行电缆中间接头的直埋设计。

4. 设备诊断性的应用

在电气设备常规试验标准并不能完全满足电缆线路运行管理的现状, 同时随着检测技术和试验手段的发展, 局部放电检测技术在电缆线路状态评价和缺陷诊断中已获得较为广泛的应用, 如图2所示, 通过使用新的检测诊断手段, 对电缆线路进行综合评估, 以作为电缆线路是否存在故障隐患以及投入重合闸功能的基础。

5. 混合线路的电缆占比

混合线路电缆占全线比例也是

判断重合闸是否投入的重要依据, 根据国网公司某地区混合线路重合闸成功率进行统计, 得到电缆所占比例与重合闸的关系数据, 如表3所示。

由表3可以看出, 线路重合闸的成功率随电缆线路占整条线路比例的增加而降低, 因此电缆占比可在一定程度上作为投入线路重合闸的依据。

应用与效益分析

1. 重合闸功能在某风电场集电线路的应用

某风电场2013年7月年投运, 总容量为118 MW, 站内所属风机68台, 集电线路7回线, 典型山地风电场, 截止到2016年6月集电线路重合闸功能投入前共计发生集电线路故障27次, 2013~2016年运行期间进行了防雷技改、风偏技改、

铜铝过渡线夹技改、电缆在线局放检测、定期预防性试验等一系列技改、检测、试验项目。2016年6月该风电场有选择性的进行线路重合闸功能的投入, 如表4所示。集电线路重合闸功能投入后, 截止2017年8月份自动重合闸装置共计动作4次, 其中3次为瞬时或暂时性故障, 重合闸动作后后线路、风机等设备恢复运行正常, 1次电缆永久性故障, 重合闸闭锁, 线路停运, 故障查找处理时间由12.91 h缩短至6 h。集电线路自动重合闸装置动作正确率100%。

2. 安全和经济效益分析

以某风电场集电线路重合闸功能投入近一年为例:

(1) 安全效益: 减少集电线路停运次数3次, 减少集电线路设备停运时间45.64 h。

(2) 经济效益: 以单次故障

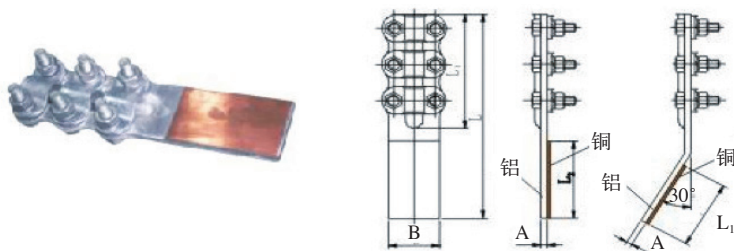


图2 新型SGL型铜铝过渡线夹(钎焊)

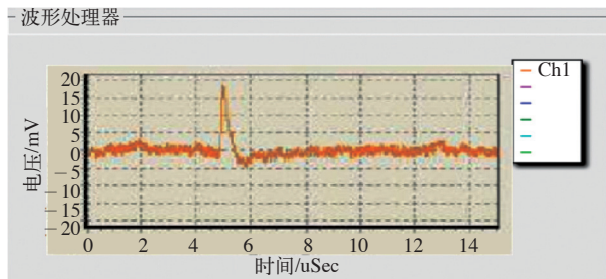


图3 典型电缆局部放电波段特征

表3 混合线路重合闸成功率(%)

电缆占整条线路比例	投重合闸成功率
60	35
50	43
40	51
30	60
20	69
10	69

电量损失4.99万kW·h计,该风电场每年约减少电量损失14.97万kW·h。

结束语

本文为风力发电行业提出了一种实用的关于电缆-架空混合集电线路重合闸功能投切的方案,主要考虑以下几点要素,综合分析自动重合闸功能的投切方式:

1) 电缆占比,从重合闸的成功率考虑,电缆占比在40%以上时不宜投入。

2) 电缆中间接头,要密切关注电缆中间接头的运行状况,中间接头直埋或运行的自然地理条件阻水性较差,不宜投入重合闸功能。

3) 线路治理,应根据集电线路的运行状况,对线路的架空部

表4 某风电场集电线路重合闸功能投入统计

线路名称	电缆占比 (%)	是否投入
A线	8	是
B线	11	是
C线	12	是
D线	22	是
E线	25	是
F线	60	否
G线	55	否

分、电缆部分进行一定程度(相应提高设备稳定性)的技术改造和检测检修。

4) 重合闸动作时间,应充分考虑特殊运行条件下重合闸功能对于风机设备影响,其停运时间应大于风机设备的安全停机时间。

5) 重合闸功能投入时间,新投运电缆架空混合集电线路不建议立即投入重合闸功能,应在1~2年的综合治理和统筹分

析,集电线路运行趋于稳定后方可投入。

该方案可用指导风电场电缆架空集电线路的重合闸功能的投切,摆脱了风电行业长期以来对于集电线路重合闸功能投入的顾虑,以及缺乏理论依据和实际运行数据支撑的局面,为降低风电集电线路故障率提供了新思路、新方法,保障了风电企业安全效益和经济效益。EA

合作共赢,共拓中国电力未来 MRCADemy® 技术交流会在杭州召开



2017年10月21日, MRCADemy®技术交流会在杭州成功举行,交流会汇聚了来自全国各地的近百余位合作伙伴、客户,与MR顶尖的电力专家,就MR中国如何在不断变革中的电力市场,通过与本土伙伴紧密的合作,更好地支持中国电网的建设进行了广泛而深入的探讨。本次交流会也是MR中国本年度规模最大、展示解决方案最全面的一次大会。MR亚太区销售总监Konrad Roider先生、MR中国总经理石德先生出席了本次交流会。

本次技术交流会开设数场技术分论坛,涵盖保护变压器、资产管理、变压器维修等话题,为MR与用户以及合作伙伴提供了深入交流的平台。MR中国总经理石德先生表示:“合作伙伴是MR在中国前行和发展的基石。与

合作伙伴协同创新,打造最适合中国客户需求的产品是MR在华战略的重要一环。我们希望与中国的合作伙伴和客户同舟共济,为中国市场提供创新的电力解决方案,为中国电网建设注入更多活力。”

十三五时期,电力工业正在经历加快转型发展的重要机遇期。电力工业面临电源结构清洁化、电力系统智能化、电力发展国际化等一系列新形势、新挑战。同时,在一带一路战略的推进下,越来越多的中国电建走向了全球化的发展道路。

为了更好的支持中国电网建设,深耕中国市场十余年的MR,始终坚持同中国电力制造商建立长期合作伙伴关系,将先进的技术和百年服务经验植入本土服务平台,在中国电力加快转型发展的重要机遇期支持电网建设和可持续发展。同时,MR依托全球化的研发和服务网络,积极对接“一带一路”政策,全面支持“走出去”的中国EPC企业。2016年,MR携手合作伙伴,共同参与孟加拉电网建设,助力满足当地的供电需求。

创新是实现企业差异化竞争的利器。在工业4.0时代,为了应对更加复杂的供电需求,MR也在着力将创新的技术力量植根中国,为包括中国在内的全球客户带来价值。未来,MR将不断通过新技术与新的行业解决方案,更好地响应和服务中国市场及客户的需求。