

新能源场站集电线路箱变送电现状及优化策略分析

覃勇璋 卢培成

广西卓洁电力工程检修有限公司 广西 南宁 530000

【摘要】：传统集电线路箱变多采用整组送电模式，虽操作简便、成本较低，但在带多台空载变压器合闸时，易产生较大励磁涌流与操作过电压，可能引发设备电动力损伤、绝缘老化等问题，且故障发生时难以快速定位。为优化送电方案，部分场站尝试采用逐台送电模式，通过分步合闸降低单步操作的暂态冲击。本文基于建模仿真与现场录波数据，系统分析两种送电模式的技术特性，明确不同场景下的最优送电方案，为新能源场站集电线路安全运维提供技术支持。

【关键词】：新能源场站；集电线路箱；变送电现状；优化策略

DOI:10.12417/3041-0630.26.02.011

1 集电线路情况

新能源场站集电线路由数台箱变与高压电缆连接而成，升压站内 35kV 集电线开关柜配置有过流、零序保护，箱变高、低压均配备断路器及保护装置，配置过流、差动及非电量保护；部分箱变采用“高压侧负荷开关+高压熔断器”的方式，用于切断高压侧负荷电流及故障过流，高压熔断器具备过载和短路保护功能。

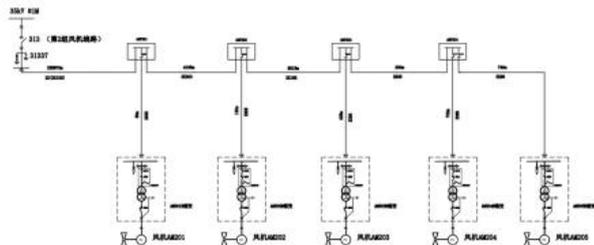


图1 集电线路箱变拓扑图

原有送电模式为整组送电：运行人员将集电线路进线开关由“冷备用”状态转至“热备用”状态，集控远方合上线路开关，同时对集电线路所带箱变进行充电。更改后送电模式为逐台送电：送电前检查箱变高低压侧断路器处于断开状态，运行人员将集电线路进线开关由“冷备用”状态转至“热备用”状态，集控远方合上线路开关，随后检查箱变带电指示正常，远程合上箱变高低压侧开关。本次将针对集电线路带空载变压器合闸的影响进行分析讨论。

2 建模仿真

仿真计算是研究合闸于空载变压器暂态特性的重要手段，本次采用 ATP Draw 仿真平台，仿真 35kV 长电缆进线送电的变压器冲击合闸过程，所选变压器型号为 S18-5000/35，主要参数如下。高低压侧容量皆为 5MVA，空载损耗为 3446W，空载电流为 0.15%，负载损耗 28894W。

2.1 冲击合闸分析

为对比集电线路带箱变冲击合闸与不带箱变合闸情况，建

立 ATP Draw 软件下的仿真电路，仿真时长为 0.5s，默认主线路电缆长度为 1000m，开关三相同期合闸的时间是 0.3s，仿真结果主要关注箱变高压侧过电压、高压侧励磁涌流、电缆充电电流相关数值。1000m 长度的电缆带变压器冲击合闸过程中出现过电压，最大达到 59.91kV，过程中出现明显励磁涌流。将仿真电路中的两台变压器去除，以相同方法再次进行仿真。长电缆充电过程中电缆上流过的是合闸瞬间的脉冲暂态电流，电缆充电完毕后持续衰减，冲击电压最大值为 57.71kV。依次对比空载送电、带单台箱变送电、带多台箱变送电，仿真数据如下。

表1 箱变冲击合闸对比表

带箱变台数	首台电压 (kV)	线路电流 (A)	持续时间 (s, 降至额定)
0	57.71	61.07	/
1	59.81	700.86	0.94
2	59.91	1439.72	1.02
3	59.73	2137.18	1.06

对比数据分析得出：

(1) 操作过程中会出现明显励磁涌流及操作过电压，带箱变冲击过程中过电压增大，但增大幅度不明显，且随着箱变台数增加，过电压变化量较小。(2) 随着集电线路所带箱变增加，励磁涌流成倍数增大。3.随着励磁涌流的增大，涌流持续时间也明显增长。参考奥克斯箱变绝缘水平为 LI 200 AC 85/LI AC 5kV，耐压等级为 85kV，未达到耐压上限值。

2.2 合闸非同期对过电压的影响

集电线路带电后，使用箱变高压侧断路器对箱变进行送电，开关三相同期合闸的时间为 0.3s，但由于仿真模型中开关三相合闸非同期为 0s，电压波形为平稳正弦波，励磁电流正常。

依据《电力设备检修试验规程》QCSG1206007-2017 中相

关要求，相间合闸不同期不大于 5ms，将 B 相合闸时间改为 0.305s，合闸过程中电压及电流波形产生畸变，但过电压不明显。由此得出，非同期合闸对过电压影响不大。

2.3 电缆长度对过电压的影响

为对比不同长度电缆下变化，在原有 2 台箱变的电路模型基础上，增加两段电缆，其中 X0011-X0014 段电缆长度为 1000m、X0013-X0015 段电缆长度为 1000m、X0015-X0016 段电缆长度为 10000m。

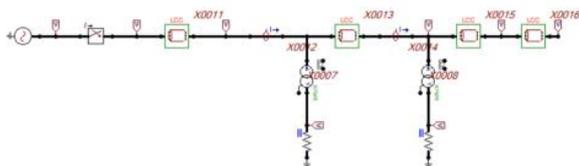


图 2 仿真电路模型

V14 峰值为 54.07kV，V15 峰值为 56.89kV，V16 峰值为 58.56kV，末端电压整体呈上升趋势，但上升速度较缓，随着长度增加，峰值电压未超过 60kV。改变主电缆长度，观察箱变高压侧过电压及励磁涌流变化。

表 2 不同电缆长度下过电压及涌流统计表

电缆长度 (m)	高压侧过电压 (kV)	高压侧涌流 (A)
500	49.20	740.38
1000	58.68	740.13
1500	59.98	739.95
2000	59.99	739.93
3000	59.98	739.91

当电缆长度增加时，会使电压波形产生高频振荡现象，这是因为长电缆的大电容特性使得合闸空载变压器过程中产生了谐振，但由表中数据可得，长电缆对合闸过电压影响不大。

2.4 合闸相角对过电压的影响

合闸相角对过电压影响在于是否在电压峰值处合闸，尽管实际情况下很难精确控制合闸相角，但仿真分析可以利用合闸时间来实现不同的合闸相角，利用合闸时间分别为 0.305s 和 0.3s 来模拟合闸相角为 0°和 90°的情况，电缆长度选择 1000m。比 0°（52.02kV）时过电压增加 15.2%，但增加值仍未超过变压器耐压承受值，所以对此课题影响不大。

参考文献：

[1] 张延鹏,郭永恒,李楠,等.基于无线差动线路保护的新能源场站集电线路重合闸方案研究[J].东北电力技术,2024,45(09):33-35.
 [2] 张延鹏,李楠,傅强.北方地区新能源场站集电线路鸟害分析与防治[J].电工技术,2022,(21):73-75+79.

3 录波对比

为了有效了解两种送电模式下集电线路电流、电压变化情况，分别对整组送电、空载送电、线路带电后逐台送电三种方式进行对比，选取隘门界风电场第四组集电线路送电案例，该线路全长 8.53km，共有 3 台 5000kVA 变压器，线路 CT 变比为 500/1。

3.1 集电线路带箱变送电

2024 年 8 月 21 日 23 时 11 分 13 秒，场站对集电线路进行整组送电，带所带 3 台箱变进行充电。线路带箱变充电过程中，开关合闸过程中产生弧光电流，合闸结束后产生逐渐衰减的励磁涌流，母线电压波形变化不大，线路最大电流为 0.882kA。

3.2 集电线路空载送电

2024 年 12 月 20 日 19 时 49 分 54 秒，场站执行逐台送电方式，断开箱变高压侧断路器，对集电线路主电缆进行充电。集电线路电缆充电过程中，在短暂的合闸弧光电流后，电缆阻抗稳定的情况下，充电电流平缓，最大弧光电流为 0.357kA，充电电流为 0.009kA，电压波形变化较小。

3.3 线路带电后逐台箱变送电

2024 年 12 月 20 日 23 时 00 分 40 秒，集电线路带电后，运维人员现场进行设备巡检，并手动进行箱变高压侧断路器合闸。箱变高压侧断路器合闸后，线路产生明显励磁涌流，最大电流为 0.612kA，电压波形波动较小。综上，三种方式下合闸过程中，电压变压不大，对系统影响均较小。

4 综合分析

对集电线路带箱变送电及不带箱变送电两种送电方式进行对比。一是过电压影响、二是电弧影响、三是电流电动力、四是电网冲击、五是故障定位、六是设备保护、七是人员安全。

5 总结

集电线路逐台送电与带箱变送电两种方式受电动力影响较大，小容量机组可不受此限制。在合闸于故障情况下，逐台送电可快速定位故障点，且箱变保护装置正常出口动作，防止箱变损坏。逐台送电时存在恶劣天气出车风险，增加人员就地操作风险，整组送电可减少操作成本。综上所述，个人建议小容量箱变可整条集电线路送电；大容量箱变宜逐台进行送电，且送电前确保保护装置已正常运行。