高比例新能源接入火电厂厂用电系统短路电流特性及限流措施

马楚轩
国家能源集团内蒙古上海庙发电有限公司，内蒙古 017000

[摘要]某 4×1000MW 火电厂配套 314MW 全额自发自用新能源项目（214MW 光伏+100MW 风电），新能源经 110kV 降压站以 10kV 接入厂用电母线后，原有单电源供电变为双电源环网供电，短路电流水平明显上升。按 2026 年夏季大负荷方式计算，10kV 母线三相短路电流最大 64.39kA，8 段母线较单电源方式最大增加约 24.7kA，且均超过 50kA 设备遮断能力。等值电路分析表明，双电源并联使短路点等值阻抗减小是短路电流增大的主要原因；典型工况下短路电流由系统侧（约 31.8kA）、新能源侧（约 24.4kA）和负荷反馈（约 7.9kA）三部分叠加。对比高阻抗变压器与限流电抗器两种方案，采用在每回 10kV 分支串接阻抗率 18%限流电抗器的方案，可将短路电流降至 47.22kA，最小开机方式下短路比裕度仍有 0.326，满足运行要求。该分析过程和限流措施可为同类火电机组耦合新能源的厂用电系统设计提供参考。

[关键词]新能源；厂用电；短路电流；限流电抗器；双电源环网
DOI：10.33142/hst.v9i9.20651　　中图分类号：TM765.3　　文献标识码：A

Short Circuit Current Characteristics and Current Limiting Measures of High Proportion New Energy Connected to the Power System of Thermal Power Plants

MA Chuxuan
CHN Energy Group Inner Mongolia Shanghaimiao Power Generation Co., Ltd., Inner Mongolia, 017000, China

Abstract: A 4 × 1000MW thermal power plant is equipped with a 314MW fully self generated new energy project (214MW photovoltaic+100MW wind power). After the new energy is connected to the plant power bus at 10kV through a 110kV step-down station, the original single power supply has been transformed into a dual power supply loop network, and the short-circuit current level has significantly increased. According to the calculation of the summer high load mode in 2026, the maximum three-phase short-circuit current of the 10kV busbar is 64.39kA, and the maximum increase of the 8-section busbar compared to the single power supply mode is about 24.7kA, all of which exceed the equipment interruption capacity of 50kA. Equivalent circuit analysis shows that the main reason for the increase in short-circuit current is that the parallel connection of dual power sources reduces the equivalent impedance at the short-circuit point; Under typical operating conditions, the short-circuit current is composed of three parts: the system side (about 31.8kA), the new energy side (about 24.4kA), and the load feedback (about 7.9kA). Comparing the two schemes of high impedance transformer and current limiting reactor, the scheme of connecting a current limiting reactor with an impedance rate of 18% in series in each 10kV branch can reduce the short-circuit current to 47.22kA, and the short-circuit ratio margin is still 0.326 under the minimum startup mode, which meets the operational requirements. The analysis process and current limiting measures can provide reference for the design of plant power systems coupled with new energy for similar thermal power units.

Keywords: new energy; factory electricity; short circuit current; current limiting reactor; dual power ring network

引言

2025 年国家发改委、国家能源局印发《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》，鼓励新能源就近就地消纳。在此背景下，部分火电厂开始利用厂用电负荷消纳新能源，将风电、光伏经升压后再降压，以 10kV 电压等级直接接入厂用电母线，新能源与高压厂用变压器同时向负荷供电，形成双电源环网结构[1]。

厂用电系统原按单电源供电设计，10kV 开关柜额定短路开断电流多为 50kA。新能源接入后，短路电流的来源和流通路径发生变化，原有设备能否承受、保护定值如

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

何配合，是工程设计中需要解决的实际问题。

短路电流计算方面，何仰赞等[2]系统阐述了电力系统三相短路暂态分析的基本原理和计算方法。针对新能源渗透率提高后传统算法收敛性变差的问题，郑涛等[3]提出牛顿法与拟牛顿法自适应结合的故障计算方法；赵舒心等[4]给出基于聚合电流的分布式电源接入配电网短路故障计算方法。Yuan 等[5]则从电源侧入手，建立三电平光伏逆变器的状态空间平均模型，用于分析其暂态短路电流特性。限流技术层面，邱清泉等[6]对比了串联电抗、串联谐振等多种限流方式的原理与可靠性，认为串联电抗方式技术成熟、在中低压系统中应用较多。总体来看，已有研究多围绕公共电网展开，而针对数百兆瓦级新能源直接接入百万千瓦级火电厂厂用电系统的工程计算与限流方案，相关研究尚不多见。

本文以某 4×1000MW 火电厂配套 314MW 全额自发自用新能源项目为对象，基于 2026 年夏季大负荷方式计算 10kV 母线短路电流，分析双电源环网的影响机理，比选限流措施并校核系统稳定性，供同类工程参考。

1 工程概况与接入方案

1.1 项目概况

火电厂装有 4 台 1000MW 超超临界燃煤间接空冷机组，已全部投产。配套新能源项目总规划容量 314MW，其中光伏 214MW（实际安装 256.8MWp），风电 100MW，交流侧按光伏装机容量的 10%、放电时长 2h 配置 21.4MW/42.8MWh 储能。光伏年平均发电量约 4.04 亿 kWh。

1.2 电气接入方案

新能源在厂区附近新建 110kV 汇集升压站集中升压，经 1 回 110kV 线路（长约 11.1km）送至电厂旁的 110kV 汇集降压站。降压站装 4 台 80MVA 主变（110/10kV），10kV 侧分八段母线，经 8 回 10kV 电缆分别接入火电厂 #1~#4 高压厂用变压器（以下简称高厂变）的 10kV 侧八段母线末端。每段 10kV 母线由此同时由本机高厂变和新能源降压变压器（以下简称降压变）供电，形成双电源环网。

10kV 系统采用经小电阻接地，与电厂原有方式一致。降压站每段 10kV 母线配 1 套 ±6Mvar 水冷 SVG，共 8 套。电厂原有 10kV 配电装置额定短路开断电流为 50kA，本次设计不更换原有开关设备。

2 双电源环网对短路电流的影响机理

2.1 等值阻抗变化

新能源接入前，每段 10kV 母线只由对应机组的 27/10kV 高厂变供电。新能源接入后，短路点同时经高厂变接系统侧、经 110/10kV 降压变接新能源侧，两条支路并联。

10kV 厂用电系统以电抗为主，可忽略电阻。设系统侧等值电抗为 X_1，新能源侧等值电抗为 X_2，近似认为两侧等值电动势相等，则双电源方式下短路点的等值电抗为：

$$X_eq=X_1X_2/(X_1+X_2) \quad (1)$$

由式（1）可知，X_eq 小于任一支路单独供电时的等值电抗，这是双电源环网方式下短路电流增大的主要原因。

2.2 短路电流的来源

双电源环网方式下，10kV 母线短路电流由三部分组成：一是系统侧经 27/10kV 高厂变提供的电流；二是经 110/10kV 降压变流入的电流，既含新能源机组的贡献，也含系统经新能源支路反向提供的电流；三是厂用电马达负荷在短路瞬间的反馈电流。以#1B 段母线为例，典型工况下三者分别约为 31.8kA、24.4kA 和 7.9kA，叠加约 64.1kA；按最不利运行方式计算，八段母线中最大短路电流同样出现在#1B 段，为 64.39kA。

3 短路电流计算结果

3.1 计算条件

采用所在电网 2026 年夏季大负荷典型方式，4 台火电机组全开机，新能源满发，10kV 母线保持双电源环网。厂用电各分支负荷按 25MW 计，10kV 母线电压运行范围 10.41~10.79kV，平均约 10.62kV。短路电流计算依据 GB/T 15544.1—2013[7]，设备选择和校验参照《电力工程电气设计手册》[8]。

3.2 短路电流水平

单电源与双电源方式下 10kV 母线短路电流对比见表 1。

表 1 10kV 母线单双电源方式三相短路电流对比

供电方式	1#B 段短路电流（kA）	增量（kA）	是否超 50kA
仅高厂变供电	39.97	—	否
仅新能源供电	24.66	—	否
双电源环网	64.10	+24.14	是

由表 1 可见，双电源方式下 10kV 母线短路电流大致等于两侧单独供电时的电流之和。就#1B 段而言，双电源方式为 64.10kA，较仅高厂变供电增加约 24.1kA。按 2026 年夏季大负荷全开机最严重方式扫描，八段母线三相短路电流在 63.18～64.39kA 之间，#1B 段最大，为 64.39kA（峰值 169.22kA），全部超过 50kA 的设备遮断能力，必须采取限流措施；八段母线中短路电流增量最大的约 24.7kA。

新能源接入对 27kV 机端母线的短路电流影响约

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

6.2kA，对 500kV 及以上电压等级母线的影响可以忽略。

3.3 短路比校核

在未采取限流措施的情况下，新能源未投入时，10kV 母线全局短路比大于 33；新能源满发时，接入点全局短路比降至 2.68～2.78，临界短路比约 1.99～2.01，裕度大于 0.68，仍可满足故障后系统稳定运行要求。

3.4 对继电保护的影响

双电源方式下 10kV 母线短路电流由单电源方式的约 40kA 增至 64kA 以上（最严重方式达 64.39kA），对厂用电系统继电保护产生两方面影响：一是原有 10kV 断路器额定遮断电流为 50kA，短路电流超标后存在拒分风险；二是双电源环网方式下故障电流可从两侧流向故障点，需校验保护的方向性和灵敏度。本工程通过串接限流电抗器将短路电流限制在 50kA 以内后，原有断路器遮断容量满足要求，保护定值仅需按限流后的短路电流水平重新整定。

4 限流措施比选与验证

4.1 两种限流方案

第一种是提高新能源侧降压变的短路阻抗，由 18%增至 26%。计算显示 10kV 母线短路电流降至 57.70kA，仍超标。而且阻抗超过 26%的变压器制造难度大、负载损耗高，经济性差，工程上不予采用。

第二种是在每回 10kV 出线分支串接普通限流电抗器，阻抗率 18%（0.18Ω）。串联电抗方式技术成熟、运行可靠，在中低压系统中应用较多[6]。限流电抗器的参数选择需同时满足两个约束：一是将短路电流限制在 50kA 以内，二是使系统短路比保持不低于 0.3 的裕度；厂用电设计与设备选择执行 DL/T 5153—2014[9]。经试算，阻抗率 18%可同时满足上述约束。

4.2 限流效果

串接 18%限流电抗器后，10kV 母线三相短路电流降至 47.22kA，低于 50kA，留有约 5.6%的裕度。两种方案对比见表 2。

表 2 限流措施效果对比

方案	降压变阻抗（%）	电抗器阻抗（%）	短路电流（kA）	是否满足 50kA
不限流	18	0	64.10	否
高阻抗变	26	0	57.70	否
串接电抗器	18	18	47.22	是

4.3 对系统稳定性的影响

串接电抗器后系统等值阻抗增大，临界短路比有所上升，稳定性略有下降。对仅 1 台机组运行的最小开机方式校核，新能源临界短路比为 2.127，裕度 0.326，仍满足稳定运行要求。各开机方式下短路比变化见表 3。

表 3 不同开机方式下系统短路比（串接 18%电抗器）

开机台数	全局短路比	临界短路比	短路比裕度
4	4.001	2.064	1.936
3	3.135	2.107	1.028
2	2.827	2.117	0.710
1	2.453	2.127	0.326

综合限流效果、设备制造难度和系统稳定性，以每回 10kV 分支串接阻抗率 18%的限流电抗器为本工程推荐方案。

5 结论

（1）314MW 新能源接入火电厂厂用电系统后，10kV 母线由单电源供电变为双电源环网供电，短路点等值阻抗因两侧并联而减小，导致短路电流增大。计算得到 10kV 母线最大三相短路电流 64.39kA，全部 8 段母线超过 50kA 设备遮断能力，最大增量约 24.7kA。

（2）双电源方式下短路电流由系统侧、新能源侧和负荷反馈三部分叠加，约等于两侧单独供电时的电流之和。以#1B 段为例，典型工况下三者分别约为 31.8kA、24.4kA 和 7.9kA。新能源接入对 27kV 机端母线影响约 6.2kA，对更高电压等级影响可忽略。

（3）将降压变阻抗提高到 26%只能把短路电流降至 57.70kA，不满足要求；在每回 10kV 分支串接 18%限流电抗器后，短路电流降至 47.22kA，最小开机方式下短路比裕度仍有 0.326，工程上可行。该方案已应用于本工程设计，其分析过程和电抗器参数选型思路可为同类火电机组耦合新能源的厂用电系统提供参考。

[参考文献]

[1]国家发展改革委,国家能源局.关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知[EB/OL].(2025-05-21)[2026-11-05]. https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=20511

[2]何仰赞,温增银.电力系统分析:上册[M].4 版.武汉:华中科技大学出版社,2016.

[3]郑涛,曲荣淇,陈云飞,等.基于牛顿法和拟牛顿法自适应结合的高比例新能源接入电网故障计算方法[J].电力系统保护与控制,2025,53(10):57-65.

[4]赵舒心,肖仕武,梁伟宸.基于聚合电流的高比例分布式电源接入配电网短路故障计算与分析[J].电力系统保护与控制,2025,53(7):16-26.

[5]Yuan S,Wen B, Zhang J Y,et al.A state-space average model of a three-level PV inverter for transient short-circuit

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

currents analysis [J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2024,18(9):1855-1870.
[6]邱清泉,肖立业,张志丰,等.高压及超高压故障电流限制技术分析[J].电工电能新技术,2017,36(10):46-54.
[7]GB/T 15544.1—2013,三相交流系统短路电流计算 第1部分:电流计算[S].北京:中国标准出版社,2013.
[8]水利电力部西北电力设计院.电力工程电气设计手册:第1册电气一次部分[M].北京:水利电力出版社,1989.
[9] DL/T 5153—2014,火力发电厂厂用电设计技术规程[S].北京:中国计划出版社,2014.

作者简介：马楚轩（1998—），男，助理工程师，主要从事新能源并网与厂用电系统电气一次工程管理工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.