

# Contrasting Analysis on Hybrid-MIDC and AC Grid-Connection of Wind-PV-Thermal Power

Jialiang Luo<sup>1</sup>, Xinyan Zhang<sup>1</sup>, Dengyu Zhou<sup>1</sup>, Kehan Hu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang

<sup>2</sup>State Grid Urumqi Power Supply Company, Urumqi Xinjiang

Email: 272639840@qq.com

Received: Oct. 7<sup>th</sup>, 2017; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2017; published: Oct. 27<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Large-scale development and utilization of new energy form a number of regional energy base; the energy base can be collected by a variety of ways to the convergence station and network, and then through LCC transmission channel to the Power grid. This paper discusses the feasibility to improve the consumption of new energy by the hybrid multi-infeed HVDC (HMIDC), which is composed of Voltage Source Converter HVDC (VSC-HVDC) system and LCC-HVDC system. The topology of the H-MIDC and the traditional AC grid-connection is constructed. Then, based on the wind farm fault disturbance method, the special analysis simulation model of the Hybrid MIDC and traditional AC grid-connection is built by DigSILENT software. The simulation results show that when the three-phase short-circuit fault of the wind farm occur, the H-MIDC is better than Ac Grid-connection, the voltage and current are affected less, the recovery rate is fast, the power fluctuation is small, and the transient power quality is improved.

## Keywords

Wind-PV-Thermal Power Transmission, H-MIDC, HVDC, Transient Stability

---

# 风光火混合多馈入直流并网与传统交流并网对比分析

罗嘉良<sup>1</sup>, 张新燕<sup>1</sup>, 周登钰<sup>1</sup>, 胡可涵<sup>2</sup>

<sup>1</sup>新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐

<sup>2</sup>国网乌鲁木齐供电公司, 新疆 乌鲁木齐

Email: 272639840@qq.com

收稿日期: 2017年10月7日; 录用日期: 2017年10月21日; 发布日期: 2017年10月27日

## 摘要

大规模新能源的开发与利用形成了许多区域性的能源基地, 能源基地之间可由多种方式汇集到汇流站进行并网, 然后通过电流源型直流输电(LCC)外送通道送电到受端电网。本文论述了由电压源换流器高压直流(Voltage Source Converter HVDC, VSC-HVDC)系统与LCC-HVDC系统组成的用于提高新能源消纳的混合多馈入直流(hybrid multi-infeed HVDC, HMIDC)并网的可行性, 构建了该并网方式和传统交流并网方式的拓扑结构, 通过DigSILENT软件, 搭建了仿真模型, 基于风电场故障扰动法对混合多馈入和传统多馈入暂态特性进行了分析。由仿真结果得到以下结论: 风电场发生三相短路故障时, 混合并网较传统交流并网, 电压电流受到较小影响, 恢复速率快, 功率波动小, 提高了暂态电能质量。

## 关键词

风光火外送, 混合多馈入并网, 高压直流输电, 暂态稳定

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球能源生产消费持续增长, 有限的化石能源、脆弱的生态环境, 使清洁能源全面取代化石能源成为大势所趋[1]全球能源互联网是现代能源电力技术的重大突破和集成创新, 其核心是特高压电网和清洁能源发电。我国大规模风电资源、太阳能资源、煤电基地均集中在“三北”地区。而上述富裕能源所在地区距离负荷集中所在的中部、东部、沿海发达地区最远超过 2000 km [2]。HVDC 系统的经典应用就是远距离大容量输电, 原因是与交流输电系统相比, 其总体成本较低且损耗也较小[3]。

在当今大规模可再生能源开发环境下, 高压直流输电为解决系统互联和供电质量中的重大技术问题提供了关键性的技术方案。高压直流输电可以解决多个技术问题, 包括交流电网的电压稳定性、非同步联网等。由电压源换流器型高压直流输电(VSC-HVDC)和电网换相换流器型高压直流输电(LCC-HVDC)组成的混合多馈入直流输电系统, 可发挥 LCC-HVDC 输送容量大、建设成本低以及 VSC-HVDC 不依赖交流电网运行、有功无功功率快速独立控制等技术优势[4]。风光火分别通过电压源型直流输电(VSC)和电网换相换流器型直流输电(LCC)并联的混合多馈入系统并网再经电流源型直流输电(LCC)直流通道外送到受端电网。区域性单个能源基地地理分布不均, 并且建设时间不一致, 导致将电能汇集到新能源汇集站的过程中会出现不同的并网方式。相比于传统交流并网, 虽然混合多馈入并网有必须需要一定容量的交流系统作为支撑的风火打捆 LCC 直流通道降低其输送效率, 但在并网方式上的优化提升依然可观, 并且此并网方式更加符合工程实际情况。

目前, 新能源消纳、可再生能源并网、混合直流输电、多馈入直流输电系统的研究已趋近成熟, 文献[5]提出风火打捆通过交直流混联外送时, 风电输送功率占总输送功率的比例会对风火打捆送端系统的暂态稳定性产生影响。文献[6]提出了在传统风火联网直流外送基础上, 增加风电孤岛经 VSC 直流外送系统能够提高风电外送能力的混合双馈入直流输电系统。文献[7]分析了 Multi-infeed HVDC 中两种结构的 H-HVDC 系统对 LCC-HVDC 系统的影响输电系统。文献[8]研究了混合多馈入直流输电系统中 LCC-HVDC 对 VSC-HVDC 系统强度的影响关系。

本文针对用于新能源消纳的混合多馈入并网系统进行研究：该系统使得区域性的大型新能源基地分别同时通过 LCC 和 VSC 集约并网，再通过 LCC 直流外送通道送往更大的电网。设计拓扑结构和使用 DigSILENT 仿真软件搭建模型。仿真风电场故障时，对比分析混合多馈入并网与传统交流并网的暂态性能。

## 2. 风光火混合多馈入直流并网可行性分析

截至 2016 年底我国风电、太阳能累计装机容量分别达到 14,864、7742 万千瓦，均居世界首位。甘肃、宁夏、新疆、青海、内蒙古、河北等 16 个省份风电和太阳能成为第二大电源，其中风电装机主要集中在三北地区，占全国的 77%，太阳能主要集中在西北地区，占全国的 41%。能源基地大规模集中在西北、华北北部、东北，而电力负荷中心基本都在东南沿海地区，于是西电东送成为必然趋势，而这种大容量、远距离的输送，使得电力系统的运行控制变得非常复杂。太阳能、风能等可再生能源由于必须依赖输电网架构才能实现大规模开发和远距离输送。而负荷中心与清洁能源逆向分布的矛盾导致当地新能源消纳的问题更加突出，传统技术并网在面对可再生能源接入时出现了很多局限性。

交流输电线路并网方式的输送距离受电容电流的限制，容量较大时，电压跌落明显，需要大量的无功补偿装置，LCC 直流输电线路并网对换流站的要求高，晶闸管换流器在进行换流时需要消耗大量的无功功率，也需要大量的无功补偿装置，受交流系统的影响较大，容易发生换相失败。VSC 直流输电线路并网正常运行时 VSC 可以同时且独立地控制有功功率和无功功率，具备黑启动能力[9]。得益于柔性直流输电快速灵活的可控性、高度的紧凑性以及优良的环境适应性，使得大规模可再生能源高效接入。然而柔性直流输电也有其特有的局限性：损耗较大，设备成本较高，容量相对较小，不太适合长距离架空线路输电。合理发挥 LCC-HVDC 和 VSC-HVDC 各自的长处，根据实际情况因地制宜地使用混合多馈入直流并网系统，就能将不稳定的清洁能源多点汇集，形成稳定可控的电源，然后高效地外送，势必解决清洁能源“并不上”、“送不出”、“难消纳”三大问题。分散的风电场、火电机组和光伏电站以不同方式将电能汇集到能源基地，然后多个能源基地共同通过 LCC 通道送到更远的负荷中心。此混合多馈入并网系统主要由风电场及其配套的火电厂和光伏电站、VSC 直流输电线路、LCC 直流输电线路、电网换相型直流外送通道构成。结构如图 1 所示。

## 3. 所研究系统结构及设计方案

### 3.1. 风电场的并网方式

风电场的并网分为直接交流并网和高压直流并网方式。

直接交流并网：风电机组通过一机(或两机)一变升后接入场内升压站，之后以交流形式接入电网。如图 2 所示。

高压直流并网：如图 3 为风电场经电压源型高压直流输电(VSC 方式)并网，这种方式适合远距离、大容量风电场并网。高压直流并网也可以用电流源型高压直流输电(LCC 方式)并网，电压源型无功控制优于电流源型，并且不需要交流系统支撑，但是电流源型损耗小，可靠性高采用交流并网还是直流并网，取决于并网投资，这包括变电站的投资、架空线路或电缆的投资[10]。

### 3.2. 系统设计方案

多馈入交直流混合电力系统与单馈入直流输电系统相比，输送容量变大、运行方式更为灵活，但同时系统结构的复杂性增加，并且当两类直流输电系统馈入同一交流母线或者两者的电气距离很近时，会体现出与单馈入直流输电系统不同的运行特性。由于电源分布和建造时间存在差异，部分较早建成的风

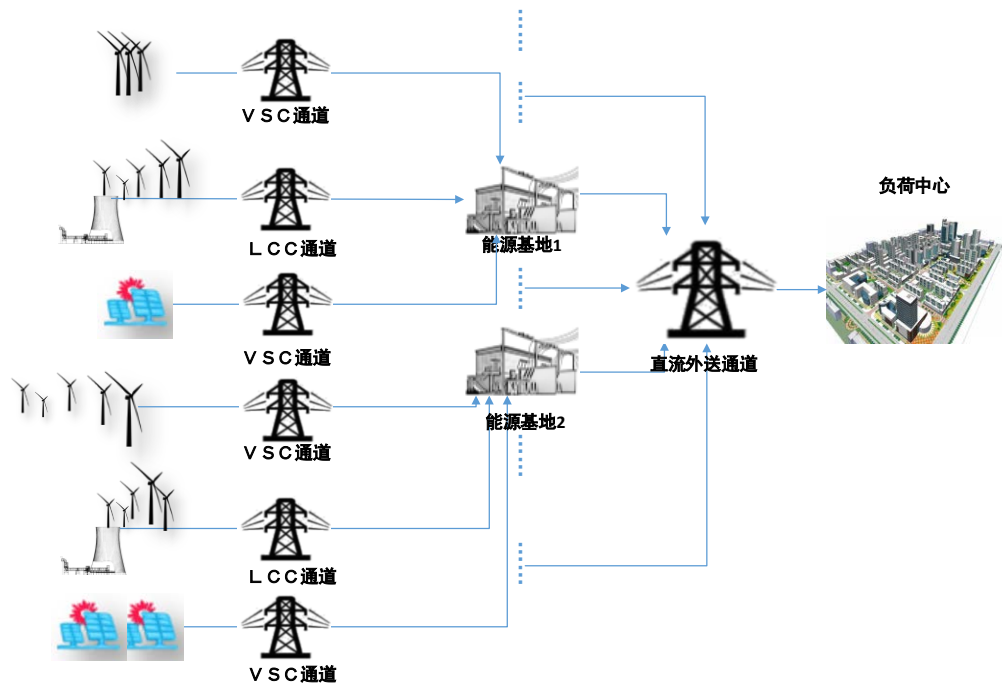


Figure 1. H-MIDC System  
图 1. 混合多馈入直流并网系统

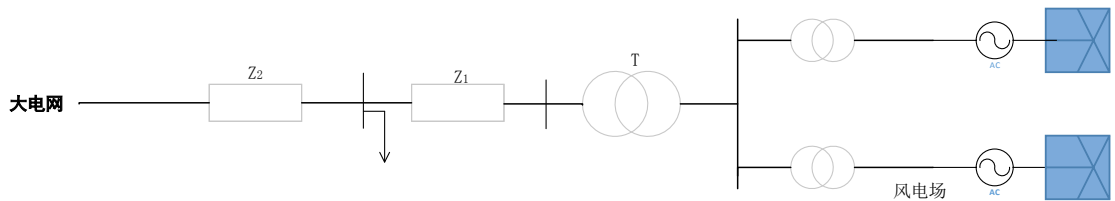


Figure 2. Direct grid connection  
图 2. 直接交流并网

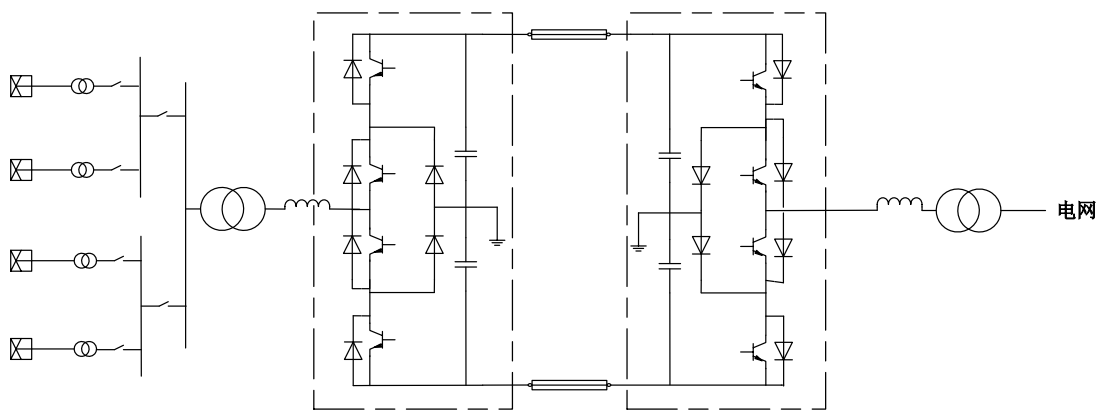


Figure 3. HVDC grid connection (VSC method)  
图 3. 高压直流并网(VSC方式)

电场群会考虑一定容量的火电厂交流系统作为支撑，风火打捆通过 LCC 通道汇集到能源基地；而部分地区新建的风电场和光伏电站使用 VSC 柔性直流通道汇集到能源基地，不依赖于交流系统。

根据图 1, 在 DigSILENT/PowerFactory 软件搭建仿真模型, 风光火混合多馈入并网系统和风光火传统交流并网系统的拓扑结构如下图 4、图 5。双馈风力发电机风电场 1、光伏电站可以分别直接馈入 VSC 直流通道 1 和光伏电站, 而直驱式风电场 2 需要火电交流系统作为支撑, 单个风力发电机或光伏电站出力一次汇集到 PCC 交流母线处, PCC 母线处风电、光伏经变压器二次升压汇集到直流输电通道送端交流母线。受端交流电网指的是此混合多馈入高压直流输送系统的电网侧, 即负荷中心。其中, VSC 和 LCC 并网处电压等级低, 而 LCC 直流外送通道电压等级高, 能源基地向直流外送通道送电时, 需要连接一个大容量隔离变压器[11]。

上述混合并网系统, 满足功率平衡式(1) [12]:

$$\begin{cases} P_{VSC1} + P_{LCC} + P_{VSC2} - P_{AC} = 0 \\ Q_{VSC1} + Q_{LCC} + Q_{VSC2} - Q_{AC} = 0 \\ S_{AC} = \sqrt{P_{AC}^2 + Q_{AC}^2} \end{cases} \quad (1)$$

### 3.3. 系统配置方案

混合多馈入并网系统中的 LCC 输电通道的参数采用 CIGREHVDC 标准测试模型参数及控制策略, 风电场 2 直驱风电机组和火电机组合计容量为 1500 MW; VSC 输电通道 1 中的送端风电场 1 为 800 MW 双馈风电场群, VSC 输电通道 2 中的光伏电站的容量为 500 MW, 两个 VSC 直流通道的整流侧采用定有功功率和定无功功率协同控制、逆变侧采用定直流电压控制和定无功功率协同控制, 三条线路的长度均为 150 KM。传统交流并网中的风光火送端容量均和上文保持一致, 交流电压等级 320 KV, 仅靠串补调节电压, 无控制方式, 无功补偿为 320 MVA。LCC 直流外送通道长 1100 KM, 采用定直流控制和定  $\alpha$  控制, 逆变器采用定直流电流控制和定  $\gamma$  控制。

## 4. 暂态仿真分析

设定混合直流并网系统和传统交流并网系统中的其中一条直路的风电场汇流母线处发生短路故障, 发生故障的风电场容量为 200 MW, 故障时序为: 系统正常运行, 系统在 0 s 时发生三相短路故障, 故障持续时间约为 0.4 s, 然后故障清除, 系统逐渐恢复稳态, 0.8 s 仿真结束。

图 6 为故障风电场的动态曲线。故障期间, 交流并网的风电场, 汇流母线电压大幅跌落如(a)所示, 短路电流暂态大幅变化, 故障周期长如(b)所示, 系统功率不平衡导致故障风电场有功出力大幅受损如(c)所示, 并且吸收大量无功功率维持电压平衡如(d)所示, 清除故障后, 功率也会出现较小的纹波, 难以恢复。混合并网的风电场, 风电场 PCC 汇流母线电压在 0.08 s 出现波动时, VSC 输电通道整流侧改用定交流电压控制, 维持风电场侧电网电压只是小幅震荡没有迅速跌落如(a)所示, 这样的控制方式提高了风机的平滑出力, 逆变侧采用定直流电压控制, 优先控制无功电流, 然后限制有功电流, 提供无功补偿, 在 0.2 s 后无功功率基本得恢复稳定如(d)所示。混合并网电压故障下受影响范围较小, 电压电流短路暂态过程恢复快速, 仅引起暂态功率波动, 使得整个系统能较好较快地度过故障期, 恢复稳定。

## 5. 结论

本文对应用于风光火外送的混合多馈入直流系统, 通过拓扑设计对比其与传统交流系统的结构, 通过建模仿真比较其与传统交流系统的性能, 验证了混合多馈入直流并网的优越性, 为后续高压直流输电的多馈入系统和混合双馈入系统的研究提供参考。得出以下结论:

混合多馈入直流系统的 VSC 输送通道和 LCC 输送通过可混合并联输送风光火基地的能源, 并且结合了柔性直流输电的和传统直流输电各自的优点, 其结构也更符合三北地区风电汇集系统的网架结构。

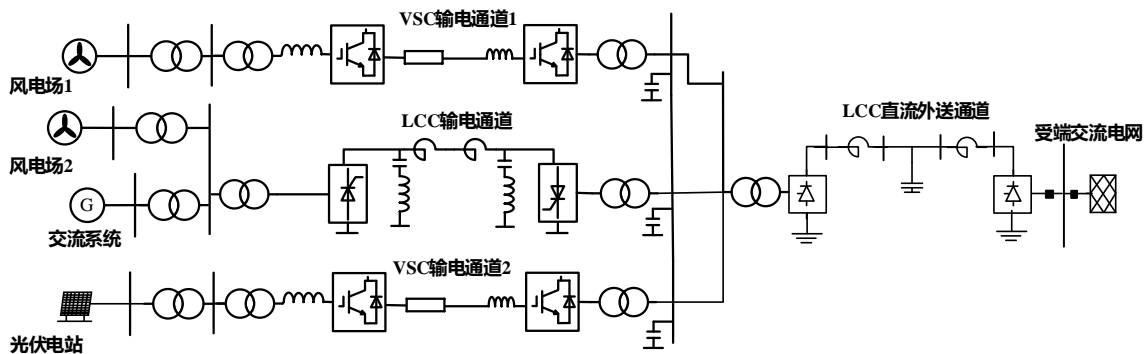


Figure 4. H-MIDC grid connection system  
图 4. 混合多馈入并网系统

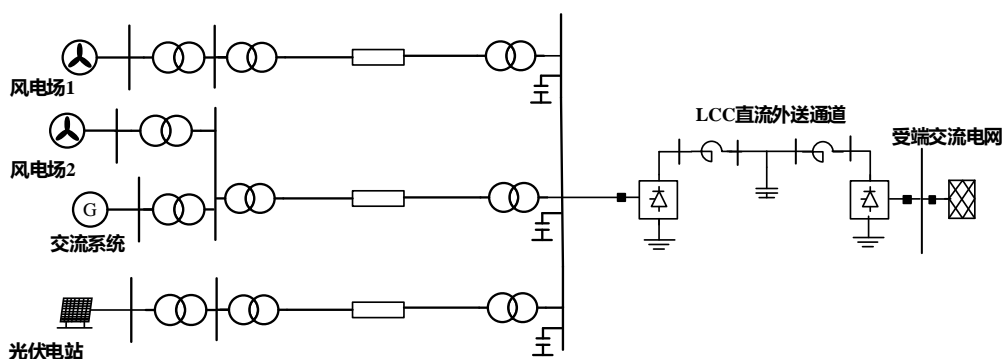


Figure 5. Traditional AC grid connection system  
图 5. 传统交流并网

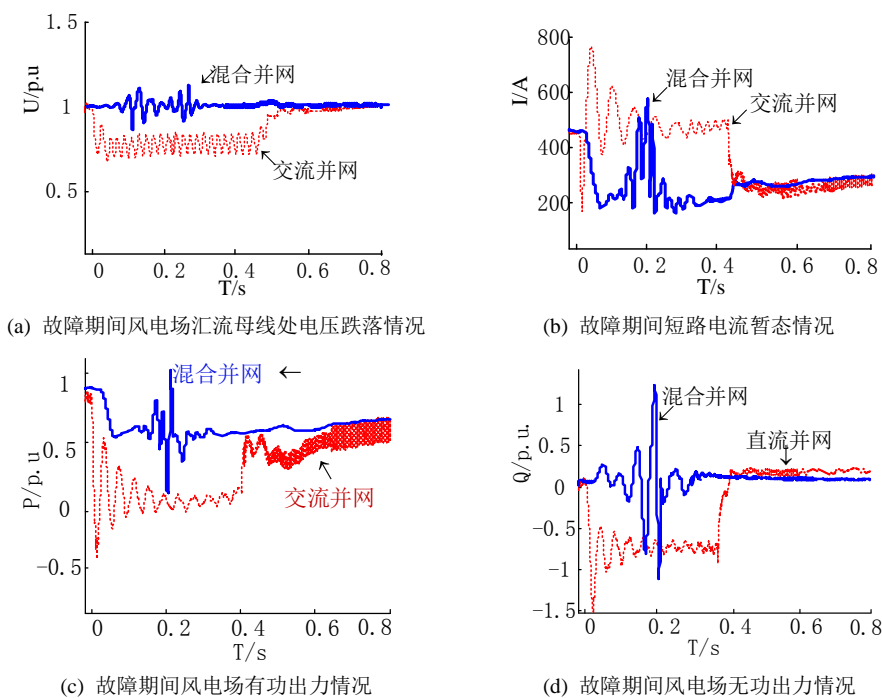


Figure 6. Dynamic characteristics of fault wind farm  
图 6. 故障风电场动态曲线

混合多馈入直流并网相对传统交流并网, 电压、电流暂态运行特性更佳, 仅故障初期需补充大量有功功率和无功功率, 系统恢复平衡后, 对交流系统依赖极小, 提高了系统的稳定运行能力。

## 基金项目

国家自然科学基金资助项目(51367015); 国家自然科学基金资助项目(51667018)。

## 参考文献 (References)

- [1] 李明. 发挥甘肃清洁能源优势, 践行全球能源互联网战略[N]. 国家电网报, 2015 年 6 月.
- [2] 吴萍, 陈昊, 赵兵, 等. 风光火打捆交直流混联外送系统交互影响及稳定性研究[J]. 电网技术, 2016, 40(7): 1934-1942.
- [3] 金昌起, 徐政, 等. 高压直流输电——功率变换在电力系统中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [4] 汤广福. 基于电压源换流器的高压直流输电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [5] 赵祥, 张师, 周毅博, 等. 风火打捆交直流混联送端系统暂态稳定性分析[J]. 智能电网, 2015(7): 594-602.
- [6] 赵理威, 张新燕, 尹勋, 等. 混合双馈入系统对风电外送能力的提升分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(1): 144-148.
- [7] 梅永振, 王海云, 李阳, 等. Multi-Infeed HVDC 中混合高压直流输电对传统高压直流输电的影响[J]. 水电能源科学, 2017(5): 191-194.
- [8] 倪晓军, 赵成勇, 郭春义, 等. 混合双馈入直流输电系统中 LCC-HVDC 对 VSC-HVDC 系统强度的影响[J]. 电网技术, 2017(8): 2436-2442.
- [9] 赵成勇, 郭春义, 刘文静. 混合直流输电[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [10] 张新燕, 王维庆, 何山. 风电并网运行与维护[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [11] 谢楨, 吕昊, 艾胜, 等. 应用电力电子模块化组件的高压大容量变流器的设计[J]. 高电压技术, 2016(7): 2251-2258.
- [12] 郭小江, 卜广全, 马世英, 等. 西南水电送华东多送出多馈入直流系统稳定控制策略[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 56-61.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [sg@hanspub.org](mailto:sg@hanspub.org)