

## 柔性直流输电在城市配电网中的应用

段洁琼

国网湖北省电力有限公司来凤县供电公司 湖北来凤

**【摘要】** 柔性直流技术的问世，为高压电的建设和微电网接入提供了更有效的技术手段和解决方案，并对发展柔性直流技术在城电网中的运用有着重大意义。在此基础上，本文重点阐述了县城的交流供电系统情况，并研究了采用城市配电网柔性直流输电电路的优点。

**【关键词】** 柔性直流输电；城市配电网；问题；应用

### Application of Flexible DC Transmission in Urban Distribution Network

Jieqiong Duan

State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd. Laifeng County Power Supply Company, Laifeng, Hubei

**【Abstract】** The advent of flexible DC technology provides more effective technical means and solutions for the construction of high-voltage power and micro-grid access, and is of great significance to develop the application of flexible DC technology in urban power grid. Then, this paper focuses on the county AC power supply system, and studies the advantages of using the flexible DC transmission circuit of the urban distribution network.

**【Keywords】** Flexible DC transmission; Urban distribution network; Problem; Application

#### 引言

我国城市直流输电网的使用受到了当地的环境、高压电设备和其他因素的限制。使用柔性直流模式将大大提高城市配电网运营的安全性，对满足日益增长的城市供电价格要求将产生积极影响。因此本文可帮助人们进一步认识柔性直流输电的好处及应用，对实现它在城市配电网中的合理运用，进行相应的理论依据的研究以及现实情况分析的支持。

#### 1 柔性直流输电的主要研究内容

柔性直流传输技术主要是基于电压转换器和基于脉冲宽度调制技术的聚乙烯电缆。电压互感器的主要部分是封闭式仪表，它可以通过 IGBT 将直流技术快速切换到网络中的工作场所，同时提供独立的有源和无源能量控制。二次拓扑在直流输电线路柔性结构中的应用较为广泛，在馈电端采用了 VSC 和交换机，在同一高度配置了端结构适配器，其主要元件包括了变频器和电流互感器、直流和交流电容、滤波器等。在直流输电过程中，通过合理调整交流桥上的振幅和电流相位，可以相应地改变交流系统中相应电压的相位对变换器的电压降，从而最

终达到有效控制交流和 VSC 系统有源和无源功率的目的。

与传统基于自然相技术的电流转换器传输的直流不同，VSC-HVDC 是一种基于电压转换器、控制开关和脉动持续时间调制器（PVM）的新型直流技术。这种传输技术可以瞬间实现高效的无功解耦独立控制，电源进入无源电网，交换机间无耦合，并容易形成多极化直流系统。

#### 2 城市交流供电与柔性直流输电的对比分析

##### 2.1 交流电缆供电（HVAC）

目前，中国城市的地下电力供应主要靠高压电缆和基本装置。其中还有交流通讯网络、变压器、HVAC 线缆，以及低效电流补偿等。为了能够增强城市电网供应的安全性，按照线缆生产的技术发展水平和在国外工作经验，目前普遍使用了固体电介质光缆，尤其是聚乙烯（XLPE）供应的电缆。但在相同电压水平下，交流电缆的充电电流高于空线的充电电流。高充电电流容量也影响着线缆的最高输送距离和最大输出功率。交流电缆的容量随着电压变化和电缆直径的增大而扩大。所以，若要提高交流电缆的最大距离和负载，就需要对电缆的两侧增

加一些宽度。另外，由于电磁感应和互感对交流电缆的电阻也有重要影响，导致电缆损耗显著增加，金属外壳磨损、滞后和电介质损失，也因为电容电流的产生，线缆的吞吐量显著降低。

## 2.2 柔性直流供电方式 (HVDCFlexible)

和常规的采用自然相位变换的直流技术(HVDC CSC)不同，HVDCFlexible 是一种基于电压转换器、控制开关和脉动持续时间调制 (PVM) 的新型直流技术。这种传送技术能够在瞬间进行全系统的无功自主解耦控制，电源直接接入无源网络，交换机间无耦合，并且很容易形成多极化直流供电方式。此外这种情况还会以同时为有源系统和无源系统提供应急支持，这对提高供电方式的稳定和安全具有一定的优势。

## 3 城市供电系统采用直流输电的可行性分析

### 3.1 城市电网存在的问题

由于城市电网电力负荷快速增长，城市负荷地区较大的发电站正在建设发展当中。导致部分的电力不足，仅仅只有 500kV 和 220kV 的线路在工作，导致城市用电等一系列的问题如电网供电不足，供电的电流较弱，供电电流过大，电压较小等问题。

#### (1) 供电能力不足且供电可靠性差

随着我国城市经济的发展和土地资源利用的扩大，城市能耗和能源消耗都在下降。负荷迅速增加，市中心负荷密度逐年增加，现有电网不断的发展。仍旧不能满足一些城市发展需要的。由于变电站和输电线路等各种设备的压力，城市能源消耗的快速增加导致了城市电网的建立，负荷过重。即使目前的拥塞不仅影响到网络的安全运行，而且不能提供电力。负荷增长趋势的持续，进一步制约了城市供电能力和供电可靠性。

#### (2) 城市电网短路电流过大

随着城市负荷和负荷密度的增加，电网发展迅速，其结构得到发展，彼此紧密相连，增强了城市电网的供电能力，提高了电网的安全性和稳定性水平，但同时也引起了系统电阻的不断降低，短路电流迅速增加，短路造成电压上升。因此，冗余短路问题不仅限制了城市网络运行的灵活性，而且对其安全运行构成了严重威胁。

#### (3) 城市负荷中心缺乏足够的电压支撑

随着中国经济社会的进一步高速发展，用电需

要也不断地快速增长，特别是在城市地区。而在城市负荷中，又因为土壤和自然资源、输电走廊、环境污染、高投入等原因抑制着新型供电建设的可能性，甚至出现了在远距离、大转角、大电压着陆时大功率传输的不同情况。新的供电系统、在用市场上运营的新电网往往不能在其不接近电流运输中存在的物理限值的状况下正常运营。由于电源远离城市荷载中心，在荷载中心供电不畅、电压不支持，在系统运行出现故障时，城市供电容易失去同步稳压与大电流平衡。此时，政府若不实施保证城市电网一定电压水平所必需的强制性保护措施，将造成电压破坏和系统工作不太平稳。从而导致大规模停电。

#### (4) 缺乏灵活的调节手段且抗扰动力差

城市网络缺乏有效的调节手段，系统干扰能力下降，尤其是局部故障，极大地促进了多米诺骨牌效应的产生，导致了大规模的供电故障。为克服上述传统电力供应体系中所存在的问题，需要新型的管理与控制技术手段，使城市电网调节存在很大的问题，同时提高规避抗扰动的能力，进一步的优化系统的运行，同时提高对任何情况下的抗干扰的能力，以确保系统安全平稳运转。

## 3.2 柔性直流输电应用优势

### (1) 供电更加可靠

把柔性直流技术融入城市配电网，对于提高供电系统安全水平也有着比较重要的好处。而在柔性直流传输技术方面，驱动电路的脉冲持续时间主要由 PVM 调制决定，使其可以合理地控制输出电压和电流，得到正弦波。另外，还可以通过柔性直流相位控制系统，使线路启动，并适当改善线路功率因数，最终实现直流运行的自主控制和补偿。此时，如果多个 VSC 系统同时连接到直流网络，这是一个多极直流系统，那么 VSC 系统可以通过驱动控制相应地改变其运行状态。结合拓扑结构，在均匀系统中可以提供合理的有效功率和无效的输出功率。也因此，在供电网络的三相短路的情形下，交流控制系统通过保护装置把断路器的切断信息传递到断路器。因为电流惯性影响了至少八十 ms 的故障消除时间，所以即使排除了故障电路后也无法在短时内快速恢复供电，而采用了城市配电网的柔性直流系统，就可以通过交换机中控制器之间的通讯，交换机中

自动锁定信号，故障部位快速断电。当故障消除后，控制系统也将迅速释放解锁信息，从而保持了正常供电。由此发现，城市配电网中灵活直流的应用，提高了网络的安全性和稳定性。

### (2) 供电能耗更低

融柔性直流技术在城市配电网中的有效运用，能够进一步减少能耗成本。灵活的能源可以与各种分布式能源相互接通，包括太阳能和风电，这也可以实现对所有再生能源的充分利用，避免能源的不合理使用。该系统被设计为集成电路，并拥有高度的智能和强大的自主元件，能以相互连接通讯的形式传送电能。城市变压器不需要重复使用传统的变压器。这些变压器具有体积小，重量轻，安装方便等优点。在柔性直流功率传送系统中，开关拓扑即为多电平电流变压器的基本拓扑，能够随着母接线电流的变化随时改变吸收功率。因此总的来说当接通的电流慢慢增大时，由开关站所吸取的无功功率逐渐减少，以确保向整个城市供电网络中输入相应的无功功率控制。相反，如果将总接通电压值逐渐降低，变压箱所吸能够接受的电压的功率是存在限制，则总线电压值逐渐增大从而消耗了巨大的冗余性无功功率限制。通过使用该开关站，可以完成对交流电功率存在限制的动态补偿，使交流母接通电流相对于平衡，进而合理地调节电能使用量，提高电力供应质量，实现经济效益和社会效益目标。

### 3.3 柔性直流输电对城市电网的作用

由于柔性直流电的加入，可即时实施有源和无功独立耦合控制，结构紧凑，面积小，易于形成多极直流系统。此外，这种对接技术可以同时为有源系统和无源系统提供应急支持，这对提高系统的稳定性。利用这些特点，不仅可以解决城市现有的电力供应问题，此外，还可以满足城市网络未来发展的需要，提高其安全性和稳定运行。主要因素首先是加强城市电力网的能力，以满足城市日益增长的电力需求。采用新型聚乙烯（XLPE）连接挤出直流聚合物电缆的柔性直流传输，不仅占用空间更小，承载能力大，此外，它们也可以安装在现有的电缆管道或走廊中，以便充分利用电线，提高城市网络的能源容量，满足城市负荷的需要。第二，必须为城市下载中心提供必要的支持，以克服与电压稳定性相关的限制。柔性直流提供高效单片机的快速控

制，其输送时有功功率的快速灵活调节，以及交流线路无功功率的动态补偿，有利于交流母线电压的稳定。这一特点不仅有效克服了城市中心大量地下通信电缆的不合理使用，提高了电流的分配比重，同时，城市交通负荷中心提供了必要的无源支撑，有效保障了城市交通电力网的安全平稳运转。改善了城市交通供电的控制性和安全性，通过具备高速度、多目标控制的情况，以及对于电流输送的高灵敏度 and 可靠性，能够在正常工作时间内达到最佳流量调节效果，在突发性故障时刻快速促进和隔离城市通讯系统，组织一些电流故障的发生。为了防止短链式故障，通过改善控制系统的控制性和稳定性，实现其稳定性、动作安全性以及不扩大短路故障功率的目的，改善电力质量。最后，可以提高城市电力网建设的可能性，节约电力。柔性直流输电费用较为少，占地面积小，因此模块化设计可以大大缩短 HDDDC light 的设计、制造、安装调整周期，使用由新型聚乙烯（XLPE）混合材料挤出的聚合物直流电缆，既简便又迅速，更加的灵活方便，易于管理，没有无线干扰等的影响。促进市政基础设施建设和环境保护合作，加强城市供电建设能力，降低了电费的开支。

### 4 结束语

随着电子仪器、计算机控制等的发展。柔性直流输电在电力和电压水平不断提高，系统损耗和成本不断降低的同时，以及国外正在进行的相关方面的研究的问题的分析，以及能源战略和结构的不断适应和改进，在这类应用领域中，柔性直流电的发展将会变得更加的迅速，作为可再生能源网络的连接、分布式电力、孤岛、城市电网的供电和通信网络的连接。

### 参考文献

- [1] 闫伟,杨家凯,王荣富,韩广宇,卯明旺. 基于 matlab 的柔性直流输电系统建模与仿真[J].云南电力技术.2020(03).
- [2] 苏见燊,郭敬东,金涛. 柔性直流电网中直流故障特性分析及线路故障重启策略[J].电工技术学报.2019(S1).
- [3] 宋国兵,王婷,张晨浩,吴磊. 利用健全极 MMC 注入特征信号的直线路故障性质判别方法[J].电工技术学报.2019(05).

- [4] 朱良合,袁志昌,盛超,骆潘钿,杨汾艳,刘正富,郭敬梅. 基于柔性直流输电的异步互联系统频率支援控制方法综述[J].电力自动化设备.2019(02).
- [5] 杨仁焯,施刚,蔡旭. 海上全直流型风电场的电压源型控制[J].电工技术学报.2018(S2).
- [6] 李兴源,曾琦,王渝红,张英敏. 柔性直流输电系统控制研究综述[J].高电压技术.2016(10).
- [7] 郭张,红斌,杨卫红,刘海波. 柔性直流输电在城市配电网应用中的仿真研究[J].电气技术.2015(06).
- [8] 文安,邓旭,魏承志,寻斌斌,邓建俊,黄维芳,莫天文,田霖. 柔性直流输电系统交直流并列运行与孤岛运行方式间的切换控制[J].电力自动化设备.2014(07).
- [9] 唐庚,徐政,刘昇,顾益磊,陆羿,裘鹏. 适用于多端柔性直流输电系统的新型直流电压控制策略[J].电力系统自动化.2013(15).
- [10] 蒋辰晖,王志新,吴定国. 采用 VSC-HVDC 的海上风电场柔性直流输电系统控制策略研究[J].电网与清洁能源.2012(12).

**收稿日期:** 2022 年 6 月 10 日

**出刊日期:** 2022 年 7 月 25 日

**引用本文:** 段洁琼, 柔性直流输电在城市配电网中的应用[J]. 工程学研究, 2022, 1(2): 88-91  
DOI: 10.12208/j.jer.20220042

**检索信息:** RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

**版权声明:** ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**