

国际电网输电技术发展趋势及应用研究

林杰

中国水利水电第四工程局有限公司国际公司, 北京 100071

[摘要]我国电网搭建工作在电网局、线路搭建和各电路运输线路搭建工作下, 逐步完成国内电网搭建工作, 为全国各个地区输送电能源, 实现区域夜间光照、企业生产持续发展。随着国家电网事业蓬勃发展, 国际电网事业开始发展。国际电网运输工作的开展离不开电网运输技术支持, 因此在国际电网战略推进过程中, 针对性提升当前国际电网运输技术的硬性指标和技术可行性, 成为国际电网企业长期稳定发展的必要工作内容。基于此, 文中针对国际电网输电技术发展趋势及应用进行分析, 以期为我国电网发展道路蓬勃发展提供可行参考资料。

[关键词]技术发展; 未来趋势; 电网环境; 国际输电

DOI: 10.33142/hst.v6i2.8316

中图分类号: TM725

文献标识码: A

Research on the Development Trend and Application of International Power Grid Transmission Technology

LIN Jie

International Company of Sinohydro Engineering Bureau 4 Co., Ltd., Beijing, 100071, China

Abstract: The construction work of Chinese power grid is gradually completed under the guidance of the power grid bureau, line construction, and the construction of various circuit transportation lines. It aims to transmit electricity and energy to various regions of the country, achieve regional nighttime lighting, and sustain the development of enterprise production. With the vigorous development of the national power grid, the international power grid industry has begun to develop. The development of international power grid transportation work cannot be separated from the technical support of power grid transportation, so it is necessary for the international power grid to carry out transportation work. In the process of strategic advancement, targeted improvement of the hard indicators and technical feasibility of current international power grid transportation technology has become a necessary work content for the long-term stable development of international power grid enterprises. Based on this, the article analyzes the development trend and application of international power grid transmission technology, so as to provide feasible reference materials for the vigorous development of Chinese power grid.

Keywords: technological development; future trends; power grid environment; international transmission

引言

我国的电力工业发展速度非常迅速, 远远超过了其他国家。所以对于未来的电网输电技术要给予深刻的分析, 需要将眼光放在全球各大电网当中, 并对现有的技术、应用方向进行熟悉和深入了解, 以便对未来的发展趋势进行深入的分析探究, 这样可对我国电网整个系统的运行发展进行保障, 同时提升经济的发展速度。同时电网发展过程中, 发展目光从国内扩展到全球, 对现有的电网技术和应用方向进行探究和分析, 结合我国电网运输事业的发展时实际情况, 确定切实可行的稳定电网发展道路。

1 我国电网输电技术发展现状

虽然国际电网输电关键技术在我国的发展时间起步晚, 但是我国结合国内电网的需求, 迅速投入到关键技术研发和投入应用工作中, 短时间内构建运行稳定、用电安全性高的国家电网。分析我国电网输电技术的发展情况, 研究国际电网输电技术发展趋势及应用情况。

1.1 电网主要特征

我国的电网在长期构建和完善过程中, 其特点逐渐表现出来。首先相较于发达国家的电网输电技术研发时间, 我国电网发展起步晚, 但是分析输电技术的应用和研发情况, 能够发现我国电网输电技术取得的效果显著。我国电网发展阶段分别为局部/省域电网形成阶段—跨省互联阶段—跨区电网互联阶段, 由区域点电网构建, 然后逐步向区域电网集中管理, 最后实现全国电网管理。区域电网主要有南方电网、华东电网、华中电网、华北电网、东北电网、西北电网、西藏电网^[1]。各类输电技术在应用过程中, 电网管理者在管理时, 结合区域特点, 提升电网管理效果。电网输电技术主要有直流、交流和柔性等三种输电技术。

1.2 常规交流输电技术现状

常规交流输电技术在应用的时候, 其电压等级主要为 0.4kV、6kV、10(20)kV、35kV、66kV、110kV、220(330)kV、500kV、750kV、1000kV。结合不同行业的用电情况, 所构建电网电压不同。超高压输电系统的应用, 让我国输

电系统的运行效果得到明显的提升,当电网的输电系统得到明显的增强后,其运行安全性同样需要得到保证,此时区域电网的运输效率将提升。我国的电网标准管理中,对交流输电技术的应用,应用标准为国际标准。

1.3 常规直流输电技术现状

直流输电技术在应用的过程中,其应用的效果在构建国家电网的过程中,其技术的应用范围增加,技术越加成熟。我国的直流输电技术的应用时间主要在 2010 年构建和运行世界上第一项 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程进入发展高度期,随着我国不同区域的电网需求量不同,常规直流输电技术的应用不同^[2]。电网持续构建和用电管理过程中,所涉及各类输电技术,其在国内的电网运输过程中,还有发展空间。

1.4 柔性输电技术现状

作为一种新型和高效的电网输电技术,柔性输电技术在各类装置的技术支持下,能助力我电网发展。虽然当前我国在柔性输电技术的应用过程中,所选择的应用设备还需要更多的研发工作。国内研发人员根据自我工作情况,提出许多的工作方法,比如在柔性输电技术应用过程中,将电压和主动绝缘配合,或者多目标协调控制,让输电工作的稳定和安全得到保障。根据柔性输电技术中所应用的不同装置,我国电网输电工程中的应用情况不同。柔性交流输电技术国内应用,促进国内电网发展。比如在辽宁鞍山的自主知识产权的静止无功补偿装置应用输电系统、湖南 500kV 直流融冰兼 SVC 装置应用。STATCOM 装置应用,其工作原理为静止同步补偿,同时我国南方电网正在国家科技计划支持下,研制和运行 STATCOM $\pm 200\text{MVar}/35\text{kV}$ 的大容量动态无功补偿装置。在可串联补偿装置的应用下,我国甘肃成碧线投入。可控并联电抗在湖北荆州投入运行。短路电流限制技术应用中,浙江投运世界上第一步 500kV 的短路电流限制装置。

国内柔性直流输电在我国的应用目的主要表现在几个方面:取代大规模直流送电和交直流电网,降低输电能量损耗,实现可再生能源分布电网构建,增加大城市电网的容量和供电稳定性,实现孤岛输电。虽然当前该技术在国内的应用还有较多的技术难题还需要将其解决,但是我国丰富的潮汐能量发电、太阳能发电和风能发电,都为国内柔性直流输电技术的发展提供支持能源。

2 国际常规交直流输电技术情况

2.1 特高压交流输电技术

高压电路中的特高压交流输电技术其输电的内容为 1000kV 及以上的交流输电,该运输技术的显著应用优势为占地面积小、电容量大、可远距离输电,输电工作的耗能低。特高压交流输电技术国际上应用的时候,最先应用的国家为美国,随着发达国家的电量需求量达到饱和,导致特高压交流输电技术应用频率降低,进而技术发展不佳。而发展中国家对电量的需求还处于欠缺的状态,因此特高

压交流输电技术在这些国家的发展还处于持续应用状态。

前苏联应用特高压交流输电技术主要在 20 世纪 80 年代,其设计两条输电线路,实现提升能源输送稳定的目的。日本的特高压交流输电技术应用和发展主要在 20 世纪 80 年代末开始,其技术在应用的时候结合日本国土面积小的特点,设计同杆双回路,通过减少架设线路实现电路稳定输电。意大利在 20 世纪 70 年代所示,从设备制造和基础技术方面开始研究特高压交流输电技术,在 1050kV 的试验工程中积累运行经验和调试方法^[3-4]。其他发达国家的研究主要为证明特高压交流输电技术的可行性。而我国的特高压交流输电技术在研发和应用的过程中,其架构方式为点对点,架线方式为同塔双回,为我国东南沿海城市提供电源支持。

2.2 特高压直流输电技术

特高压直流输电技术在输电工作中,其定义为 $\pm 800\text{kV}(\pm 750\text{kV})$ 及以上电压等级的直流输电及相关技术。该技术的应用优势主要表现为大输送量、远距离运输、高电压输送,可构建非同步联网,保证电网的电源输送稳定性。该技术的发展主要于 20 世纪 60 年代经苏联、美国等国开始,经过多年的发展,我国构建电网运输路线的过程中,开始高效应用特高压直流输电技术。我国 2009 年的时候,构建并投入使用的特高压直流输电工程,如云南-广东、哈密-郑州线路,为众多城市的电网发展提供更加稳定电网线路。

美国研究特高压直流输电技术的时间主要为 20 世纪 70 年代,其他发达国家借鉴其他国家的技术应用经验,在 800kV 和 1050kV 直流输电项目中,获取实践经验。该技术在发达国家的应用与特高压交流输电技术相同,因发达国家的电量达到饱和状态,因此技术的发展受阻。而发展中国家则在国家电网需求背景下,不断研究可行的电源技术。当前我国特高压直流输电技术在电压等级为 $\pm 800\text{kV}$ 的支持下,线路长度有明显的增加,同时其输送量可达 8000MW。

2.3 柔性交流输电技术

柔性交流输电系统,简称 FACTS。该输电技术为一种将微机处理技术、电力电子技术、先进控制技术的综合应用,可被应用于高压输电系统。其应用优势为具有良好的节能效益,能够提升电网的系统电能质量、可靠性、运行性能和可控性。

根据 FACTS 的功能和性能,将其分为三代:1 代主要在 SVC 的出现背景下开始发展。SVC 让常规晶闸管整流器实现串联电容器的作用,此时其实现控制线路阻抗和提升线路电源输送能力目的。2 代的发展主要为增加设备,不在外部回路加电力设备。此时增加的设备有串联同步补偿器、静止同步补偿器、门极可关断设备。2 代 FACTS 的优势为显著提升装置性能,降低装置造价。3 代 FACTS 经多台控制器复合组成的一组输电系统装置,其在统一的控制

系统下,完成柔性交流输电电荷工作^[5]。

不同设备组成的 FACTS 其应用特点不同,综合分析 FACTS 的应用情况,国外 FACTS 的应用主要表现为:基于可关断器件的柔性交流输电系统技术。该技术在国外应用较成熟,如静止同步补偿器装置和基于传统半控型器件的柔性交流输电系统技术。国外有很多的国家对这种技术的应用也已经比较成熟,典型的如 SVC 装置。我国的 FACTS 技术发展较为迅速,2011 年时,成立 SVC 电网,并在电网搭建工作中,提升系统的运行风险,保证其高速运行效果。长期应用 FACTS 的过程中,我国电网输电技术的安全性稳定提升。

2.4 柔性直流输电技术

柔性直流输电技术在 1990 年的被提出,其工作原理为经过电压源换流器完成输电工作,其简称为 VSC-HVDC。其应用优势主要为无转相失败、可构成多端直流系统、实现无源网络供电、换流电站通信。

瑞典为发展 VSC-HVDC 技术首先发展的国家,随后美国公司开始研发发电站,而我国研究 VSC-HVDC 的时间比外国起步晚,但是结合我国电网运输事业未来发展规划,国内电网研究者对 VSC-HVDC 技术进行分析,结合我国电网特点,迅速研发出符合我国电网搭建的 VSC-HVDC 技术,增强电网电流运输的稳定性。结合 VSC-HVDC 的应用原理,其主要有单极对接线方式和双极对接线方式。国外 VSC-HVDC 的典型工程主要有卡普里维联网工程、传斯贝尔电缆工程,我国典型工程主要有南汇工程、南澳工程和舟山工程。

3 国际电网输电技术发展趋势及应用

3.1 超导输电

超导输电技术的应用主要依靠超导材料实现,随着超导材料的研发和研究工作效果增加,构建电网时采用超导材料作为输电电缆主要材料,其中高绝缘线、低温容量设备,可增强超导材料的应用效果,增强材料的载流能力。分析输电过程中超导材料的耗能量,其耗能量几乎为零。分析超导输电技术的优势,其主要表现为大容量、增加电网系统的灵活性、其重量轻、体积小,输电耗能低。绝缘高温超导电缆所传输的电容量不同,其输电运输的效果不同,但是其整体电网运输的效果相较于普通的电缆,其可在更长输电电路中,发挥良好的输电功效。因此采用超导电缆输电,可以在较低电压水平上实现大容量、高密度输电,减少占地和环境、电磁污染,而且能自动限制短路电流增长(失超效应),是一种非常有前景的输电技术。

3.2 分相输电

分相输电技术在应用过程中,其主要的应用技术为三相输电技术。三相输电技术可实现变压器和架空电路的输电工作。该输电技术在应用的过程中,其应用优势主要表现为缩短导线之间的间距、提升线路排列紧凑性,降低线路间的干扰,实现三相系统兼具运行。同时该合适对高压

短路其的触头断流量要求低,可在同等线路截面积,提升线路的输电功率。高架线路构建工作后,分相输电技术的应用,为我国多个高山区域输电提供输电技术。随着电网系统的功能增加,当前,分相输电技术在原有的三相基础施工,增加四相、五相。架设电路的时候,根据线路特点,确定分相技术^[6]。分相输电技术在国家电网输电工作中,其有效增强线路输电功率,提升线路布局的合理性和降低线路故障影响。

3.3 半波输电

半波输电技术在应用的时候,其主要通过输电电气距离的特点,实现接近工频半波,其可实现超远距离三相交流输电工作。其输电应用优势主要表现为无须安装无功补偿设备、全线无须设中间开关站、输送能力更强、经济性极佳。我国电力发展战略中,远距离、大容量输电为必要的输电工作内容。因此发展半波输电技术,其可为我国远距离输电工程,提供更好的技术支持。比如我国西藏一浙江输电项目的送电距离为 3000km。结合我国电网规划,未来还可能开发与中国毗邻的俄罗斯、蒙古国等国的电力能源向中国输送,距离也在 3000km 以上,超出了特高压直流(UHVDC)输电系统的经济输送距离。

4 结语

国际电网输电技术在应用过程中,不同国家的电网输电技术主要结合国内电网的需求决定其是否能够长期发展。虽然我国电网输电技术相较于发达国家,其技术研发的时间晚,但是经过国内不同区域电网运输产业的发展,我国常规交流、直流输电技术构建完整的电网,同时柔性输电技术的研发,为当前电网输电工作提供更多的技术研发方向。国际电网输电技术的稳定性、输送容量都需要有安全保证,当前国际电网输电技术发展中,超导输电、分相输电、半波输电都有良好而发展前景。

[参考文献]

- [1] 饶宏,黄伟煌,郭知非,等. 柔性直流输电技术在大电网中的应用与实践[J]. 高电压技术,2022,48(9):3347-3355.
- [2] 王若愚,毛森茂,王涛,等. 城市电网超大容量 500 kV 地下输电技术经济比较[J]. 电力与能源,2021,42(6):633-637.
- [3] 刘泽洪,王绍武,李欣,等. 国家电网:突破特高压输电技术的协同创新实践[J]. 经济导刊,2021,13(5):42-50.
- [4] 姚伟,丁剑,南佳俊,等. 未来西部电网及可再生能源外送输电技术发展方向研究[J]. 中国能源,2019,41(3):33-39.
- [5] 周鹤良. 电力强国崛起——中国特高压输电技术开发应用国际领先[J]. 电气时代,2019,12(2):10-12.
- [6] 李伟. 海南电网公司输电线路防灾技术达到国际先进水平[J]. 云南水力发电,2018,34(11):130.

作者简介:林杰(1988.10-),毕业院校:江南大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:中国水利水电第四工程局有限公司国际公司,职务:管理技术岗,职称级别:工程师。