

高压直流输电技术在跨区域电力联网中的作用研究

蒲 胜¹, 蒲向芳²

¹ 中广核海西太阳能开发有限公司 青海德令哈

² 青海省西宁市湟源县第二小学 青海西宁

【摘要】源分布不均促使跨区域电力联网成为必然。高压直流输电技术优势突出,可突破距离限制,远距离高效输电,降低线路损耗;能灵活调控功率,快速响应电网变化,保障供电稳定;可实现异步电网互联,优化资源配置,提升能源利用效率;还能增强电网抗干扰能力,确保电力传输安全,对推动电力系统发展、满足多元用电需求意义非凡。

【关键词】高压直流输电; 跨区域联网; 电力调配; 电网稳定; 能源优化

【收稿日期】2025 年 1 月 18 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250045

Study on the role of HVDC transmission technology in inter-regional power network

Sheng Pu¹, Xiangfang Pu²

¹CGN Haixi Solar Energy Development Co., Ltd., Delingha, Qinghai

²No.2 Primary School of Huangyuan County, Xining City, Qinghai Province, Xining, Qinghai

【Abstract】The uneven distribution of power sources necessitates the interconnection of power grids across regions. High-voltage direct current transmission technology stands out for its advantages: it can overcome distance limitations, enabling efficient long-distance power transmission and reducing line losses; it allows flexible power regulation, responding quickly to grid changes to ensure stable power supply; it facilitates asynchronous grid interconnection, optimizing resource allocation and enhancing energy efficiency; it also strengthens the grid's resistance to interference, ensuring safe power transmission. This technology is of great significance in promoting the development of power systems and meeting diverse electricity demands.

【Keywords】HVDC transmission; Inter-regional network connection; Power distribution; Grid stability; Energy optimization

引言

当今世界,能源资源与用电负荷地理分布失衡严重。西部地区能源储备雄厚,像水能、风能、太阳能等清洁能源储量可观,然而当地用电需求有限;东部沿海地区经济发达,工业与生活用电量大,能源自产却捉襟见肘。跨区域电力联网成为平衡电力供需、促进区域协同发展的关键路径。高压直流输电技术相较传统交流输电,具备独特优势,能有效克服远距离输电难题,精准把控电力传输,为跨区域电网互联互通注入活力,其在电力联网中的关键作用值得深入剖析。

1 助力远距离输电破局

在当今全球经济持续繁荣、高速发展的大背景下,各行各业对电力的需求呈现出迅猛增长的态势,电力跨区域调配已然成为保障能源供应、支撑经济发展的关键之举。超长距离输电这一领域犹如布满荆棘的艰难征途,面临着诸多棘手难题。以交流输电线路为例,其与生俱来的电容电流特性犹如一颗隐藏的“定时炸弹”,随着输电距离的不断拉长,电容电流会呈现出指数级增长的趋势。这一现象直接导致大量宝贵的无功功率被无情地消耗在线路之中,使得电能损耗如同脱缰野马般急剧攀升^[1]。与此线路电压的稳定性也变得愈发脆弱,就像在狂风中摇曳的烛火,难以确保可靠、稳定的供电,为电力系

作者简介:蒲胜(1999-)男,汉,青海西宁,专科,研究方向为电气工程及其自动化。

统的安全运行埋下了巨大隐患。

高压直流输电技术宛如一道划破黑暗的曙光,成功扭转了这一不利局面。它巧妙地借助换流器这一关键设备,将交流电高效转换为直流电进行输送。在这一过程中,直流输电线路不存在电容电流这一困扰交流输电的难题,如同清除了前进道路上的最大障碍,从而大幅降低了输电过程中的能量损耗。我国规模宏大的“西电东送”工程便是这一技术应用的典型范例。我国西部地区拥有丰富的水电能源,然而这些能源要跨越数千公里送往电力需求旺盛的东部地区,若采用传统的交流输电方式,中途必须建设大量的无功补偿装置。这不仅需要投入巨额的资金,而且后续的运维工作也极为复杂,犹如背负了沉重的枷锁。而高压直流输电技术凭借其低损耗的独特优势,能够将西部地区清洁、绿色的电能稳定、高效地输送至东部,精准满足东部地区经济腾飞对电力的巨大需求,为区域经济协调发展注入了强劲动力。

远距离输电对电网稳定性的要求近乎苛刻,堪称一场严峻的挑战。在交流电网中,一旦发生故障,信号波动便会以极快的速度向四面八方扩散,如同病毒在人体中迅速传播一般,极易引发一系列连锁反应,严重时甚至可能造成大面积停电的灾难性后果^[2]。而高压直流输电系统则拥有一项令人惊叹的绝技——快速调节功率的卓越能力。当交流电网遭遇扰动,如负荷突然发生剧烈变化或者受到故障冲击时,高压直流输电系统能够在极短的时间内,如同闪电般迅速调整直流输电功率,及时为受端电网提供强有力的紧急支撑,确保电网电压始终维持在稳定状态。这一强大的功能犹如为跨区域电力联网构建了一道坚不可摧的安全防线,为电力系统的平稳运行保驾护航。

2 提升电网互联灵活性

不同区域的电网犹如各具特色的“小世界”,其运行条件与特性千差万别,存在着显著的差异。传统的交流电网互联方式如同一位严苛的“指挥官”,强制要求两端电网在频率、电压等关键参数上必须保持严格同步,这无疑给电网互联工作带来了重重困难,犹如在前行道路上设置了一道道难以逾越的关卡。

高压直流输电技术则如同一位灵活的“桥梁

搭建者”,能够实现异步电网互联,在不同区域电网之间轻松搭建起便捷、高效的通道。在电网扩建、改造等复杂场景中,当有新电源接入或者新区域需要并网时,若采用传统的交流互联方式,就不得不对既有电网的同步系统进行复杂、繁琐的调试与改造工作。这一过程不仅耗时费力,犹如一场艰苦的持久战,而且在改造过程中极易对电网的正常运行造成干扰,引发一系列潜在风险^[3]。而高压直流输电线路的接入方式则相对简便许多,它如同一位温和的“外来者”,不会对既有电网的同步机制产生任何干扰,极大地降低了工程实施的难度与成本。以城市周边新能源发电场并网为例,借助直流输电技术,能够快速、平稳地实现并网连接,就像为新能源的接入开辟了一条绿色通道,大大加速了清洁能源的开发与利用进程。

高压直流输电的传输功率调控功能极为灵活,堪称一位“智能调度大师”。它能够依据不同时段用电需求的动态变化,如同一位敏锐的观察者,精准、灵活地调整输电功率。在白天工业用电高峰期,迅速增大输电功率,全力保障工业生产的电力需求,确保工厂的机器能够正常运转;而在夜间居民用电减少时,则适时降低功率或者巧妙改变传输方向,合理调配电力资源。在应对季节用电特性差异方面,高压直流输电同样表现得游刃有余^[4]。在夏季,空调负荷如潮水般激增,此时它能够强化电力输入,满足人们对清凉的需求;在冬季,随着取暖用电模式的变化,又能灵活调配输电功率,保障居民温暖过冬。这种强大的灵活性使得跨区域电网能够紧密协作,成为一个有机的整体,如同一个高效运转的交响乐团,依需而动,极大地提升了电网运行的效率与可靠性。

3 优化电力资源巧配置

从能源结构的维度深入审视,我国西部地区宛如一座能源宝库,水能、风能、太阳能等清洁能源资源得天独厚,储量极为丰富。借助高压直流输电线路这一“能源大动脉”,能够将西部地区丰富的清洁能源大规模、高效地输送至东部地区。这一举措不仅能够精准满足东部地区庞大的用电需求,有效降低当地的用电成本,为企业和居民带来实实在在的实惠,还为西部地区清洁能源产业开辟了广阔的市场空间,宛如为其插上了腾飞的翅膀,有力地减

少了弃风、弃水等资源浪费现象。通过这种方式,实现了能源利用与环境保护的双赢局面,为可持续发展注入了强大动力^[5]。以我国西南地区为例,在丰水期,大量的水电资源通过直流输电通道源源不断地外送,将大自然赋予的水能资源成功转化为可观的经济效益,有力地推动了区域间的协调发展,促进了共同繁荣。

聚焦负荷特性差异,不同类型的用电负荷犹如性格各异的“用电大户”,其峰谷时段交错分布,各具特点。高压直流输电技术恰似一位睿智的“智能调度员”,能够敏锐地洞察这一特性,依此进行错峰调配电力,精准填补用电缺口。在东部地区夜间用电低谷时段,西部地区的电能通过高压直流输电线路悄然输入,巧妙地填补了电网闲置容量,实现了资源的高效利用;而在西部地区自身用电淡季时,又能将多余的电力及时输往需求旺盛的其他地区^[6]。这一过程不仅极大地提升了全网设备的利用率,避免了发电设备因频繁启停而造成的损耗,如同精心呵护一台精密仪器,延长了设备的使用寿命,还显著降低了运维成本,让电力系统各个环节能够紧密协作,如同齿轮般精准咬合,共同推动电力系统整体效益的提升,为经济社会发展提供坚实的能源保障。

4 强化电网抗干扰韧性

在当今复杂多变的电网运行环境下,电网宛如一位身处险境的勇士,极易遭受来自四面八方的各类干扰。自然因素方面,雷击、风暴等极端天气犹如凶猛的野兽,随时可能对电网发起攻击;人为因素同样不可小觑,大型工业设备的频繁启停、电力线路施工过程中的各种操作等,都可能引发电网电压暂降、电流突变等棘手问题,如同在平静的湖面投入巨石,打破电网的稳定运行状态。

高压直流输电系统则具备一套独特、强大的抗干扰能力,宛如一位装备精良的卫士,时刻守护着电网的安全。其先进的控制系统犹如敏锐的“感知大脑”,能够快速、精准地检测到电网出现的异常波动情况,并在瞬间做出及时、有效的反应。当电网遭遇电压暂降这一常见问题时,换流器如同一位技艺高超的“电力调节师”,迅速调整输出电压,确保直流输电线路始终维持稳定运行状态,有效防止故障进一步扩散,将损失降到最低限度^[7]。与交流电

网相比,直流输电线路仿佛拥有一层特殊的“防护盾”,受电磁干扰的影响较小,能够在一定程度上巧妙屏蔽外界干扰,确保电力传输如同坚定的行者,不受外界干扰,始终保持连续性,为电网的稳定运行提供坚实保障。

高压直流输电还能够与交流电网形成优势互补的良好格局,宛如一对默契十足的搭档。在交流电网遭遇大面积故障这一严峻挑战时,直流输电线路能够迅速挺身而出,作为备用通道承担起电力传输的重任,如同一位忠诚的“替补队员”,及时保障重要负荷的电力供应^[8]。例如在一些极端天气条件下,如超强台风、罕见暴雪等,交流线路可能因遭受严重破坏而无法正常工作,此时直流输电系统能够及时介入,凭借其稳定的传输能力,维持关键区域的电力供应,为电网抢修争取宝贵时间,如同在黑暗中点亮一盏明灯,大大增强了电网应对突发事件的能力,提升了整个电网的韧性与可靠性。

5 结语

未来,全球能源转型进程加速,新能源并网规模持续攀升,高压直流输电技术将迎来更广阔天地。在海上风电远海送出、跨国跨洲超大电网构建等领域,有望持续突破创新。一方面,换流技术将不断升级,降低设备成本、提升转换效率;另一方面,智能控制策略将更加精准,全方位增强跨区域电力联网可靠性与灵活性。这不仅保障全球电力供应稳定可靠,更助力能源绿色、均衡、高效利用,为人类可持续发展铺就坚实电力基石,开启全球电力互联互通新篇章。

参考文献

- [1] 魏晓光,单云海,唐新灵.高压直流输电技术发展现状及趋势[J/OL].中国电机工程学报,1-23[2025-04-11].
- [2] 邵建军,黄明洁,田佳,等.基于VR技术的高压直流输电换流器稳态工况全景监测方法[J].微型电脑应用,2024,40(12):156-160.
- [3] 马林.高压直流输电系统中的换流阀技术[J].电气时代,2024,(12):105-108.
- [4] 李国辉,毕贵红,陈仕龙,等.基于可视化轨迹圆与改进ResNet-AT的高压直流输电换相失败故障诊断[J].电力科学与工程,2024,40(11):1-12.

- [5] 苏世霖.多端高压直流输电技术的应用[J].电子技术,2024,53(11):218-219.
- [6] 徐鑫.特高压直流输电 SLCC 换流技术分析[J].电子技术,2024,53(11):308-309.
- [7] 基于模型的开发设计和基于倍福 PC 的控制技术在高压直流输电系统中的应用[J].自动化博览,2024,41(11):36-37.
- [8] 王枢雨.高压直流输电的应用及其对台站供电设备维护的影响[J].广播电视信息,2024,31(10):83-85.

版权声明: ©2025 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