

编者按语:

建设特高压交流输电工程投资巨大,对国民经济影响深远,迄今在国际上尚无成功运行的经验。由于电力系统是一个十分庞大、复杂的系统,涉及到很多问题,对如此重大的新技术进行百家争鸣有助于使每一个问题得到深层次的考虑,促进技术更加完善,使决策更加科学。本刊已开辟的特高压技术论坛专栏,让各方能阐述自己的主张,在每一个有争议的问题上准确地进行分析,据理论证深入探讨,以供决策者研究。无论最终得到何种结论,各方的意见对今后电力系统的建设和运行都有重要的参考价值。热忱欢迎广大电力行业工作者投稿本刊,阐述观点,参与讨论。

探讨全国电力系统安全、可靠运行的基础 ——评“特高压电网安全对策研究”

张育英

摘要: 分析了交流输电和同步电网中的缺陷,指出交直流特高压混合同步大电网存在系统瓦解的隐患。建议受电负荷中心必须有坚强的支撑电源;电网结构必须遵循电力系统安全稳定导则,缩小同步电网区,区间以直流异步互联,区内采取三道防线,确保各区安全,事故互不影响;远距离必须采用纯直流输电。这 3 个必须的紧密结合是保证全国电力系统安全可靠运行的基础。

关键词: 交流特高压同步电网; 直流异步互联电网; 电力系统安全稳定导则

中图分类号: TM 723

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)06-0122-03

电力是发、供、用瞬间同时完成,电力系统(电源、电网、负荷)结构须统一规划、有序发展、安全第一。1981 年,全国电力系统安全稳定会议针对交流电网原理中的缺陷和实践经验、教训,制订了电力系统安全稳定导则^[1],实行分区、分层,采取三道防线措施,20 多年来为各大区电力系统安全奠定良好基础。

近 2 年,国家电网主管大力宣传,计划用数千亿元投资建设一张交流百万伏特高压同步电网覆盖全国,认为是我国持续发展的需要。但笔者认为,它忽略了交流输电、同步电网原理中的缺陷,又忽视半个多世纪来国际交流大电网大事故的实践教训,将危害我国电力系统的安全。其危害程度将随时间的推移和电力系统不断扩大而日趋严重,存在导致全国电力系统瓦解的隐患。且一旦建成,极难改造。

1 交流输电的缺陷和同步大电网的隐患

交流输电存在 5 项缺陷。

a. 交流正弦波使线路两端发电机间的功角随线路有功潮流变化,超过 90° 就破坏稳定运行。

b. 线路的无功潮流随其两端的电压差变化,故障时感抗和无功潮流使压降增大,可能使受端电压崩溃、稳定破坏;且线路越长越严重。

c. 多回线路并联送电,其潮流分配与其阻抗成反比,一回线路跳闸、阻抗为无穷大,其功率就转移到并联的线路,并会连锁转移跳闸,使线路潮流超过极限,稳定破坏;高低压电磁环网线路更危险。

d. 水电系统增加出力的速度每分钟为其总容量的 28%,煤电为 1.2%,核电为 9.9%。水电系统与煤、核电系统间用交流线路联接,当煤、核电受端失去大电源时,即使受电端有足够旋转热备用,其所缺功率将迅速经交流线路转移至送端水电系统,使线路潮流超过极限、稳定破坏。

e. 系统稳定破坏时,相关的发电机会过负荷或甩负荷跳闸,可能演变为系统瓦解,大面积停电。交流电网中全系统的发电机必须时刻保持同步运转,一旦失步则会破坏稳定运行;同步电网越大则越难设置三道防线,技术上无可靠的安全措施,遇 $N-2$ 和多重故障,会使稳定破坏,导致存在系统瓦解的隐患。

直流输电无交流频率,不存在上述交流输电引起稳定破坏的 5 项缺陷,各交流同步电网间以纯直流异步联网,各网间的发电机不同步运转,故障互不影响,故能保持全国统一电网的安全稳定运行。

在安全稳定导则中,分层是消除高低压电磁环网的缺陷,避免故障时加剧系统稳定破坏的隐患。各同步电网间以纯直流异步联网,缩小交流同步区,才便于采取可靠的三道防线措施,防止稳定破坏和系统瓦解事故。三道防线是:按技术标准 $N-1$ 故障时继电保护和自动装置正确动作,能保持系统正常供电; $N-2$ 故障危及稳定破坏时,快速切除送端甩负荷的机组和受端超载的负荷,保持系统稳定运行;多重故障稳定破坏时,除一、二道防线和低频、低压减载外,应有恢复再同步措施,防止系统瓦解、大面积停电。

半个多世纪来国际上数十次电力系统稳定破

坏、瓦解、大面积停电的事故教训,其根本原因就是交流同步电网规模太大,既无分区、分层,又无三道防线所致;但在数十次系统瓦解事故中,却都未波及纯直流异步互联的相邻电网。其实践更进一步证明:过去我国采取缩小同步电网区,区间以纯直流异步联网并采取三道防线是正确的。同步大电网的危害随时间的推移和电力系统规模不断扩大而日趋严重,如美、加电网稳定破坏事故:1965 年一次事故停电 2.1×10^7 kW,2003 年一次事故停电高达 7×10^7 kW。已经形成的交流同步大电网存在隐患,技术和经济上都极难改造,其稳定破坏、系统瓦解的根源长期存在。因此,用一张交流百万伏特高压电网覆盖全国,既忽略了交流同步电网原理中的缺陷,也忽视了半个多世纪来国际实践的教训。

2 “三小一大”方案仍为交流同步大电网

2 年来,许多业内人士指出:一张交流特高压电网覆盖全国,存在全网瓦解的隐患。建议决策者慎重考虑,认真研究我国行之有效的“分区、分层和三道防线的电力系统安全稳定导则”,才能继续保持全国电力系统安全稳定运行。近来,电力科研部门发表“特高压电网安全对策研究”(简称“对策”)[²],宣称将遵循电力系统安全稳定导则,拟将全国分为 4 个同步电网区,区间用直流异步联网。其方案是:东北、西北、南方为 3 个小同步电网区,将华北、华中、华东 3 个大区捆成一个交、直流混合的同步大电网区。这 3 个大区东西、南北都达 2 000 km,2006 年装机总容量已达 4.2×10^8 kW,占全国装机容量的 67.5 %,年增长 20 %;今后 14 年若年均增长 7 %,到 2020 年总装机容量将达 10.8×10^8 kW(超过当前美国全国 3 个同步电网区的总装机容量);本世纪中叶可能超过 15×10^8 kW。如此庞大的交流同步电网,堪称世界之最!如何能保证它长期安全稳定运行?

1982 年,电力规划、设计部门提出葛洲坝采用交流 500 kV 向上海送电,华中、华东电管局鉴于国际上交流同步大电网历次电网稳定破坏、系统瓦解、大面积停电的事故教训,一致主张两大区间应采用直流异步联网。这得到了电力部领导的支持,建成我国第一回 ± 500 kV 直流输电工程。1988 年,三峡专家组提出华中、华东用交、直流混合联网方案,遭华中、华东电管局反对。1994 年,电力部会议讨论三峡向华东送电方案时,电力科研部门又提出三峡采用交流 800 kV 向华东送电的方案,遭到华中、华东各有关单位的强烈反对。电力部接受采用纯直流向华东送电的方案,并经国务院专家会议审定和国务院批准。现华中与南方和西北均为直流异步联网,与华东有三回 ± 500 kV 直流异步联网,送电能力共达 1.06×10^7 kW。从葛沪直流建成至今已有 18 年的良好运行经验;华东至阳城电厂两回交流 500 kV 线路坚持不与华北联网,就是为避免两大区交流同步

联网带来稳定破坏、系统瓦解的风险。

20 世纪中叶以前世界上只有交流输电和同步电网技术,1954 年第一个汞弧换流阀直流输电投产,技术尚不成熟,20 世纪 70 年代晶闸管换流阀问世后,直流输电技术才成熟,第三代电压源换流阀不存在受端低电压闭锁的缺陷,多落点不受限制。从此电网结构的技术有了新的发展,交流同步电网可以分区,区间用直流异步联网,各区事故互不影响,大幅度提高了统一电网的安全水平。北美、西欧的交流同步大电网,多是在 20 世纪 60 年代以前建成的,存在的稳定破坏、系统瓦解的缺陷是技术和历史形成的。我国不应重蹈欧、美交流同步大电网的覆辙。

3 网架和交直流混合难保同步大电网安全

“对策”称:“建设坚强骨干网架是特高压电网安全稳定运行的基础”。我国的电力系统技术标准是 $N-1$ 。受经济和占地限制,特高压不可能建成达到或超过 $N-2$ 的标准。因此,特高压网架也只能是 $N-1$ 的标准,3 个大区捆成一个交流同步大电网,很难设置三道防线,遇 $N-2$ 及多重故障时,将会引起稳定破坏,可能演变为系统瓦解、大面积停电事故。这样,其网架的坚强和电网安全的基础何在?

“对策”称:“交流百万伏送电能力达 300~400 万千瓦”。它是有条件的,按其规划将华北、华中、华东捆成一个同步电网,送电距离达 2 000 km,全线至少需建 5 座变电站和 9 组电抗器补偿站,送电能力才能达 300 万千瓦;两回线路的送电能力还达不到一回 ± 800 kV 直流的输电能力,但其投资和占用土地将分别超过直流输电的 3 倍和 2.5 倍。“对策”称:“技术导则是考虑技术和经济的平衡”。为何反其道而行,推行既不安全又很不经济的方案?

“对策”称:“直流初期运行不稳定,会造成弃水,西部水电用交、直流混合东送可减少弃水损失”。葛沪直流初期不稳定,是决策者决策失误,采用低价、低质的设备造成的。三峡送华东和南方电网的直流输电运行正常。2006 年三(峡)常(州)线虽发生一次单极闭锁、切三峡 2 台机,并未引起弃水。采用交、直流混合送电,就长期存在稳定破坏和系统瓦解的隐患。

“对策”称:“西部水电用交、直流混合东送,直流双极闭锁,连切送端几台机就可保安全”。西部水电总规模近 10^8 kW,连切几台机根本不起作用;关键是水电的爬坡速度较煤电快 23 倍,当直流双极闭锁时,受电端煤电热力系统尚未响应前,其所缺功率迅速从交流线路转移至送端水电系统,使交流线路负荷超过极限,破坏稳定。并联的交流线路本身既存在稳定破坏的缺陷,还大量增加了建设投资、占地面积、电能损耗和管理困难;又破坏了纯直流异步联网的安全可靠性。纯直流输电不存在功率转移,只要受电端有足够的支撑电源和正常的低频减载装置,

再加送端连切机,就能确保系统安全可靠运行。

“对策”要将华东、华中的纯直流异步联网改为交、直流混合联网,理由是增强功率交换。实际上这将破坏两大区间18年来安全稳定运行的格局。纵观世界交、直流混合送电系统,都是先建交流联网线路,发生稳定破坏、系统瓦解后,才采取亡羊补牢措施,加建并联直流线路,改善交流线路的稳定水平;但它还是同步电网,仍然存在稳定破坏、系统瓦解的隐患。如美国西部先用交流南北联网,稳定破坏后,才加建直流改善交流稳定水平,但仍然反复发生稳定破坏、系统瓦解事故。在直流异步联网的系统中加建交流联网线,就引进稳定破坏、系统瓦解的隐患。所谓增强网间交换功率,直流的送电能力比交流更强,更安全且更好控制。

2006年华北地区总装机 1.4×10^8 kW,今后14年若年均增长7%,到2020年总装机将达 3.6×10^8 kW,需增加 2.2×10^8 kW,才能适应电力负荷需要。特高压电网文献^[3]中设想在蒙西、锡盟、晋东南煤电基地建设16座及其他电站,总容量 6.2×10^7 kW,并称该地缺水,需采用空冷发电(高造价、高煤耗,对缺水的华北供电是不得已而为之)。这 6.2×10^7 kW仅为华北地区2020年前需增建容量的28%,何有大量多余电力南送?而建设南送的交流特高压电网不仅需要大量资金,还将破坏大区500 kV的电网结构。“对策”称:“为消除1000/500 kV电磁环网,须将大区中500 kV电网打散为配电线路运行”。这将严重伤害大区电网的安全、经济运行。实际上,绝大多数电站和负荷都接入500 kV电网,能接入特高压电网的只是少数电站,很难将大区的500 kV电网都打散成为配电线路。如三峡及其周围电站共 3.3×10^7 kW,正在形成紧密的500 kV电网,能否将它打散?能否将三峡等电站的电力绕道送上国家特高压电网,再送回500 kV电网?否则,1000/500 kV两张网重叠的电磁环网将长期存在。500/220 kV电磁环网的解环工作,经20多年的努力,有些大区电网至今依然大量存在,并因此发生系统事故。将来若形成1000/500/220 kV三级电压的电磁环网,将更难解开,如何能保持电网的安全稳定运行?

On foundation of safe and reliable operation of national power system

ZHANG Yu-ying

Abstract: The defects of AC transmission and synchronized power grid are analyzed, and the hidden danger of large UHV AC-DC synchronized power grid collapse is pointed out. Suggestions are given: the load center must have strong power sources; the grid configuration must observe the guiding rules for power system safety and stability — reduce the size of synchronized power areas, apply DC asynchronous interconnection between areas, three defense lines are set to separate faults and ensure area safety; HVDC or UHVDC transmissions should be taken for long distances. The close combination of these suggestions is the foundation of safe and reliable operation of national power system.

Key words: UHVAC synchronized power grid; HVDC asynchronous interconnection power grids; guiding rules of power system safety and stability

4 保证全国电力系统安全、可靠运行的基础

美国交流同步大电网,反复发生稳定破坏、系统瓦解事故。因电网太大、太复杂,从技术和经济都极难改造。于是希望通过采用柔性交流(FACTS)和一系列复杂的自动化措施来改善其安全水平。但20年的实践表明,美国电力系统的稳定破坏、系统瓦解事故越演越烈,事故和损失都日趋扩大。

“对策”要在我国推行交流同步大电网,除引进美国的FACTS和复杂的自动化系统外,还设想了许多尚待研究的自动化方案。但这些都难以消除交流大电网稳定破坏、系统瓦解的隐患。

预计到本世纪中叶,全国总装机容量将会超过 2×10^9 kW,如此庞大的系统,安全、稳定、可靠必须作为电力系统规划、建设的首位。从理论和实践看,我国电力系统的发展需遵循3点。

a. 为保证安全供电,首先各电力负荷中心必须具备足够容量的支撑电源。西部水电厂不能东迁,只能将其电力东送;北煤应南运,才能解决中、东、南部地区建设支撑电源所需的一次能源。

b. 电网结构必须坚持分区、分层、三道防线的安全稳定导则要求,适当缩小交流同步电网区,区间以纯直流异步互联,区内消除电磁环网,用先进、简单、可靠的自动化三道防线措施,确保万无一失。

c. 从安全、经济、占地、可控和管理要求,长距离输电必须采用成熟、可靠的纯直流输电方案。

这3个“必须”紧密结合,才是保证我国电力系统安全、稳定、可靠运行的基础。

参考文献:

- [1] 电力工业部. (81)电生字第109号 电力系统安全稳定导则[S]. 北京:中国电力出版社,1981.
- [2] 周孝信,郭剑波,印永年. 特高压电网安全对策研究[N]. 北京:国家电网报,2006-11-25(1/2).
- [3] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京:中国经济出版社,2005.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

张育英(1921-),男,福建金门人,教授级高级工程师,原华中电管局总工程师,从事电力系统技术管理工作。