

ICS 29.240

F 21

备案号: J2705—2019

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5554 — 2019

电力系统无功补偿及调压设计 技术导则

**Technical guide for reactive power compensation and
voltage regulation in electric power system**

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

电力系统无功补偿及调压设计
技 术 导 则

Technical guide for reactive power compensation and
voltage regulation in electric power system

DL/T 5554—2019

主编部门：电力规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

实施日期：2019年10月1日

中国计划出版社

2019 北 京

国家能源局 公告

2019 年 第 4 号

国家能源局批准《光伏发电工程电气设计规范》等 297 项行业标准,其中能源标准(NB)105 项、电力标准(DL)168 项、石化标准(NB/SH)24 项,现予以发布。

附件:行业标准目录

国家能源局
2019 年 6 月 4 日

附件:

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
.....							
254	DL/T 5554—2019	电力系统无功 补偿及调压设 计技术导则			中国计划 出版社	2019-06-04	2019-10-01
.....							

前 言

根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域行业标准制(修)订计划的通知》(国能科技〔2013〕235 号)的要求,标准编制组经深入调查研究,认真总结实践经验,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准的主要技术内容有:总则、术语、基本规定、无功补偿容量计算、无功补偿设备选择、电力系统电压调整、变压器参数选择。

本标准由国家能源局负责管理,由电力规划设计总院提出,能源行业电力系统规划设计标准化技术委员会负责日常管理,中国电力工程顾问集团西北电力设计院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送电力规划设计总院(地址:北京市西城区安德路 65 号,邮编:100120,邮箱:bz_zhongxin@eppei.com)。

本标准主编单位:中国电力工程顾问集团西北电力设计院

中国电力工程顾问集团中南电力设计院

本标准参编单位:中国电力科学研究院

本标准主要起草人员:赵娟 杨攀峰 傅旭 范丽霞
林廷卫 程改红 李泰军 黄娟娟
秦晓辉 周勤勇

本标准主要审查人员:叶幼君 戴剑锋 王雪松 李娟萍
邱健 王绍德 吴敬坤 陈志刚
李彬 曹生顺 王帅 王森
张诗滔 刘晓明 杨朋朋

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(4)
4	无功补偿容量计算	(5)
4.1	330kV 及以上电网	(5)
4.2	220kV 及以下电网	(5)
4.3	电力用户的功率因数规定	(7)
4.4	电源的无功出力要求	(7)
5	无功补偿设备选择	(9)
5.1	无功补偿设备型式	(9)
5.2	无功补偿设备参数	(10)
6	电力系统电压调整	(12)
6.1	电压允许偏差值	(12)
6.2	电力系统电压调整	(13)
7	变压器参数选择	(14)
	本标准用词说明	(16)
	附:条文说明	(17)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(4)
4	Calculation of reactive power compensation capacity	(5)
4.1	Power grid of 330kV and above	(5)
4.2	Power grid of 220kV and below	(5)
4.3	Power factor of loads	(7)
4.4	Reactive power of generations	(7)
5	Selection of reactive power compensation equipments	(9)
5.1	Type of reactive power compensation equipment	(9)
5.2	Parameters of reactive power compensation equipment	(10)
6	Voltage regulating	(12)
6.1	Voltage deviation	(12)
6.2	Voltage regulating	(13)
7	Selection of transformer parameters	(14)
	Explanation of wording in this standard	(16)
	Addition: Explanation of provisions	(17)

1 总 则

1.0.1 为规范电力系统无功补偿及调压设计,保证电压质量,提高电力系统运行稳定性和安全性,指导电力系统规划、设计,并为电力系统建设、运行提供参考,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于 220V 及以上电压等级交流系统。

1.0.3 电力系统无功电力补偿及调压设计除应执行本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 系统标称电压 nominal system voltage

用以标志或识别系统电压的给定值。

本导则涉及的系统标称电压包括:220/380V、3kV、6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV。

其中:220V 为相电压,其余均为线电压。

2.0.2 电压偏差 voltage deviation

实际运行电压对系统标称电压的偏差相对值,以百分数表示。

2.0.3 无功电源 reactive power source

包括发电机、线路、无功补偿设备等能提供容性无功可用容量的设备。

2.0.4 自然无功负荷 natural reactive power load

电力用户补偿前的无功负荷、发电厂(变电站)厂用无功负荷以及各级电压网络变压器和电抗器及线路的无功消耗之总和。

2.0.5 无功补偿设备 reactive compensation equipment

包括并联电容器、串联电容器、并联电抗器静止无功补偿器、静止无功发生器、调相机等无功补偿装置。

2.0.6 静止无功补偿器(SVC) static var compensator

无运动元件,能够跟踪系统要求,可连续调节容性或感性无功功率的成套补偿装置。

2.0.7 静止无功发生器(STATCOM/SVG) static compensator/static var generator

无运动元件,能够跟踪系统要求,连续发出所需容性或感性无功功率,其输出可独立于交流系统电压的装置。

2.0.8 逆调压方式 reverse regulating

在电压允许偏差值范围内,供电电压的调整使电网高峰负荷时的电压值高于电网低谷负荷时的电压值。

2.0.9 动态无功补偿装置 dynamic var compenation device

可以对输出的无功功率进行调节和控制的无功补偿装置。

3 基本规定

3.0.1 电力系统各级交流网络在正常及故障后稳态运行方式下,应满足电压允许偏差值的要求。

3.0.2 电力系统的无功电源与无功负荷,应采用分(电压)层和分(供电)区基本平衡的原则进行配置和运行,并应具有灵活的无功电力调节能力和检修备用。

3.0.3 电力系统应有事故无功电力备用,在正常运行方式(含计划检修方式,下同)下突然失去一回线路或一台主变,或失去一台最大容量无功补偿设备,或失去一台最大容量发电机(包括发电机失磁),或失去一极最大规模直流时,保持电压稳定。无功电源中的事故备用容量,应主要储备于运行中的发电机、调相机和动态无功补偿装置等设备中。

3.0.4 无功补偿设备的配置与设备类型选择,应进行技术经济比较。必要时应考虑提高电力系统稳定的作用。

3.0.5 加强受端系统的电压支持,保持合理的系统短路容量。对于有直流馈入的电网,应考虑直流换流站故障状态下和恢复过程中对交流系统无功容量的需求,提升交流系统对直流系统的支撑能力。

3.0.6 配电网络应采用合理的供电半径。

3.0.7 无功补偿装置宜根据无功负荷和电网结构的变化分期安装。

3.0.8 并联电容器、并联电抗器的分组容量选择应考虑设备系列及标准化等因素。

3.0.9 应按照电网结构及负荷性质,合理选择各级电压网络中升压和降压变压器分接开关的调压范围和调压方式。电网中的各级主变压器,至少应有一级主变具有有载调压能力,需要时可有二级主变具有有载调压能力。

4 无功补偿容量计算

4.1 330kV 及以上电网

4.1.1 330kV 及以上电网应按无功电力分层就地平衡的基本要求配置高、低压并联电抗器,以补偿线路的充电功率。500kV 及以上电网高、低压并联电抗器的总容量宜使线路充电功率基本予以补偿。高、低压并联电抗器的容量分配应按系统的条件和各自的特点全面研究决定。

4.1.2 变电站容性无功补偿的主要作用是补偿主变压器的无功损耗和输电线路无功缺额。变电站并联电容器补偿总规模可按下式计算:

$$Q_c = \Delta Q_t + Q_l - Q_g + \Delta Q \quad (4.1.2)$$

式中: ΔQ_t ——变电站主变压器的无功损耗(Mvar);

Q_l ——接入变电站输电线路的无功缺额(Mvar),一般应计及输电线路充电功率和无功损耗,以及变电站的高压电抗器;

Q_g ——接入变电站电厂可提供的无功容量(Mvar);

ΔQ ——不具备装设无功补偿设备条件的周边站点的无功缺额(Mvar)。

4.2 220kV 及以下电网

4.2.1 220kV 及以下电网的无功电源总容量,应大于电网最大自然无功负荷,宜按最大自然无功负荷的 1.15 倍计算。

4.2.2 220kV 及以下电网的最大自然无功负荷可按下式计算:

$$Q_D = K P_D \quad (4.2.2)$$

式中: Q_D ——电网最大自然无功负荷(Mvar);

P_D ——电网最大有功负荷(MW),为本网发电机有功功率与主网和邻网输入的有功功率代数和的最大值;

K ——电网最大自然无功负荷系数,取值与电网结构、变压级数、负荷组成、负荷水平及负荷电压特性等因素有关,可根据实测或计算确定。

4.2.3 220kV 及以下电网的容性无功补偿设备总容量,可按下列式计算:

$$Q_C = 1.15Q_D - Q_G - Q_R - Q_L \quad (4.2.3)$$

式中: Q_C ——容性无功补偿设备总容量(Mvar);

Q_G ——本网发电机的无功功率(Mvar);

Q_R ——主网和邻网输入的无功功率(Mvar);

Q_L ——架空线路和电缆的充电功率(Mvar)。

4.2.4 220kV 及以下电压等级的变电站中,应根据需要配置无功补偿设备,具体应符合下列规定:

1 容性无功补偿容量可按主变压器容量的 10%~30% 确定;35kV~220kV 变电站,在主变最大负荷时,其高压侧功率因数宜不低于 0.95,在低谷负荷时功率因数宜不高于 0.95;

2 对进、出线电缆较多的 220kV 及以下变电站,可根据电缆长度配置相应的感性无功补偿装置;每一台变压器的低压感性无功补偿容量不宜大于主变压器容量的 20%,或经过技术经济比较后确定。

4.2.5 20kV~6kV 配电网的无功补偿应以配电变压器低压侧补偿为主,高压补偿为辅。配电变压器的无功补偿容量可按变压器容量的 20%~40% 进行配置。在供电距离远、功率因数低的架空线路上可适当安装高压电容器,其容量可经计算确定,或按不超过线路上配电变压器总容量的 10% 配置,但不应在低谷负荷时向系统变电站倒送无功。如配置容量过大,则必须装设自动投切装置。

4.3 电力用户的功率因数规定

4.3.1 高压供电的用户,在最大负荷时功率因数宜为 0.90 以上,小负荷时不应向电网倒送无功。

4.3.2 其他 100kV·A(kW)及以上电力用户和大、中型电力排灌站,功率因数宜为 0.85 以上。

4.3.3 农业用电,功率因数宜为 0.80 以上。

4.4 电源的无功出力要求

4.4.1 发电机(包括汽轮发电机、水轮发电机和抽水蓄能发电机)额定功率因数(迟相)值,应根据电力系统的要求决定,具体应符合下列规定:

1 直接接入 330kV 及以上电网的发电机功率因数宜在 0.85~0.90 之间选择;

2 接入 220kV 及以下电网的发电机功率因数宜在 0.80~0.85 之间选择。

4.4.2 发电机(包括汽轮发电机、水轮发电机和抽水蓄能发电机)吸收无功电力的能力,具体应符合下列规定:

1 新装机组均应具备在有功功率为额定值时,功率因数进相 0.95 运行的能力;

2 对已投入运行的发电机,应进行吸收无功电力能力试验,根据试验结果予以应用。

4.4.3 关于水轮发电机的调相:远离负荷中心的,一般不考虑调相;处在受端系统内的,经技术经济比较认为有必要时,应配备有关调相运行的设施进行调相运行。

4.4.4 新能源机组的无功能力应符合下列规定:

1 风电机组应满足功率因数在超前 0.95~滞后 0.95 的范围内动态可调;当风电机组的无功容量不能满足系统电压调节需要时,应在风电场集中加装适当容量的无功补偿装置,必要时加装

动态无功补偿装置；

2 光伏电站安装的并网逆变器应满足额定有功出力下功率因数在超前 0.95~滞后 0.95 的范围内动态可调；当逆变器的无功容量不能满足系统电压调节需要时，应在光伏电站集中加装适当容量的无功补偿装置，必要时加装动态无功补偿装置；

3 通过逆变器接入电网的储能系统，功率因数应在超前 0.95~滞后 0.95 范围内可调。

5 无功补偿设备选择

5.1 无功补偿设备型式

5.1.1 电力系统无功补偿设备主要分静态无功补偿和动态无功补偿两种类型,静态无功补偿设备包括并联电容器、并联电抗器,动态无功补偿设备包括静止无功补偿器、静止无功发生器、调相机、可控高压并联电抗器等。

5.1.2 静态无功补偿设备可满足一般无功补偿需求,宜选用此种设备。动态无功补偿设备主要用于提升电力系统无功调节和电压支撑能力、提高电能质量等,经专题论证后选用。

5.1.3 变电站容性无功缺额宜采用低压侧并联电容器进行补偿。

5.1.4 存在工频过电压、潜供电流问题的长线路,应选用线路高压并联电抗器。用于补偿线路盈余充电功率的并联电抗器优先采用低压并联电抗器进行补偿。330kV 及以上电网局部短线路较多且不具备条件装设低压电抗器时,可选择装设高压并联电抗器。

5.1.5 对于新能源汇集及送出通道,必要时可选用一定容量的动态无功补偿设备。

5.1.6 带有冲击负荷或负荷波动大、不平衡严重的电力用户,应采用静止无功补偿器或静止无功发生器。

5.1.7 电力系统为提高系统稳定、防止电压崩溃、提高输送容量,经技术经济比较合理时,可在适当位置选型安装动态无功补偿设备。

5.1.8 为解决超/特高压线路在长距离重载情况下限制过电压和容性无功补偿之间的矛盾,可考虑在长距离重载线路及潮流变化大的输电线路路上安装可控高压并联电抗器。

5.2 无功补偿设备参数

5.2.1 低压并联电容器参数选择应满足下列要求：

- 1 低压并联电容器总容量一般在变压器容量的 30% 以下；
- 2 低压并联电容器分组容量应满足各级电压波动限值要求，投切一组低压电容器引起所在母线的电压波动值，不宜超过系统标称电压的 2.5%；220kV 及以上变电站低压侧无负荷时，投切低压电容器组引起的所在变电站中压母线电压波动值，不宜超过系统标称电压的 2.5%；
- 3 低压并联电容器容量选择应与断路器投切电容器组的能力相适应；
- 4 低压并联电容器最高工作电压应不低于其所接母线的最高允许运行电压；
- 5 计算并联电容器实际出力时，应扣除由于各种原因而影响的容量。

5.2.2 低压并联电抗器参数选择应满足下列要求：

- 1 低压并联电抗器总容量宜在变压器容量的 30% 以下；
- 2 低压并联电抗器分组容量应满足各级电压波动限值要求，投切一组低压电抗器引起所在母线的电压波动值，不宜超过其额定电压的 2.5%；220kV 及以上变电站低压侧无负荷时，投切低压电抗器组引起的所在变电站中压母线电压波动值，不宜超过其系统标称电压的 2.5%。

5.2.3 高压并联电抗器参数选择应满足下列要求：

- 1 超高压及以上输电线路并联高压电抗器的容量不宜超过线路充电功率的 85%；
- 2 高压并联电抗器额定电压宜与最高允许运行电压相一致；
- 3 线路高压并联电抗器中性点小电抗宜按所接线路的相间电容进行选择，并考虑潜供电流、工频谐振过电压限制及中性点绝缘水平等因素。

5.2.4 动态无功补偿设备的容量、调节范围等参数及控制策略一般根据系统稳定、电压波动、无功需求、系统响应特性等要求综合优化进行选择。

6 电力系统电压调整

6.1 电压允许偏差值

6.1.1 用户受电端的电压允许偏差值应满足下列要求：

1 35kV 及以上用户供电电压正、负偏差绝对值之和不超过标称电压的 10%；

注：如供电电压上下偏差同号（均为正或负）时，按较大的偏差绝对值作为衡量依据。

2 20kV 及以下三相供电的电压偏差为标称电压的 $\pm 7\%$ ；

3 220V 单相供电的电压偏差为标称电压的 $+7\%$ 、 -10% ；

4 对供电点短路容量较小、供电距离较长以及对供电电压偏差有特殊要求的用户，由供电和用电双方协议确定。

6.1.2 电源母线偏差值应满足下列要求：

1 发电厂的 220kV 及以上高压母线和（降压）变电站的 220kV 及以上中压母线：正常运行方式时，电压允许偏差为系统标称电压的 $0\sim+10\%$ （750kV 母线最高运行电压不超过 800kV）；事故运行方式时电压允许偏差为系统标称电压的 $-5\%\sim+10\%$ （750kV 母线最高运行电压不超过 800kV）；

2 发电厂的 110kV \sim 35kV 高压母线和（降压）变电站的 110kV \sim 35kV 中压母线：正常运行方式时，电压允许偏差为系统标称电压的 $-3\%\sim+7\%$ ；事故运行方式时电压允许偏差为系统标称电压的 $\pm 10\%$ ；

3 发电厂和变电站的 20kV 及以下母线：应使所带线路的全部高压用户和经配电变压器供电的低压用户的电压，均符合第 6.1.1 条第 2 款 \sim 第 4 款中的规定值。

6.1.3 系统其他母线电压允许偏差值应满足下列要求：

1 110kV 及以上母线:最高运行电压不应超过系统标称电压的 1.1 倍(750kV 母线最高运行电压不超过 800kV);最低运行电压不应影响电力系统功角稳定、电压稳定、厂用电的正常使用及下一级电压的调节;

2 向 330kV 及以上空载线路充电,在暂态过程衰减后线路末端电压不应超过系统标称电压的 1.15 倍,持续时间根据设备技术规范 and 系统运行条件研究确定。

6.2 电力系统电压调整

6.2.1 各级变压器分接开关的运行位置,应按保证发电厂和变电站母线以及用户受电端的电压偏差不超过允许值(满足发电机稳定运行的要求),并在充分发挥无功补偿设备的经济技术效益及降低线损的原则下,通过优化计算确定。

6.2.2 为保证用户受电端电压质量和降低线损,220kV 及以下电网电压的调整,宜实行逆调压方式。

6.2.3 当发电厂、变电站的母线电压超出允许偏差范围时,首先应按无功电力分层、分区就地平衡的原则,调节发电机和无功补偿设备的无功出力。若电压质量仍不符合要求,再调整相应负载调压变压器的分接开关位置,使电压恢复到合格值。

6.2.4 无励磁调压变压器在日高峰和低谷负荷方式下,其变压器抽头维持不变,在季节性负荷方式下可调整抽头。有载调压变压器则根据系统需要作为备用电压调节手段。

6.2.5 动态无功补偿设备宜留有一定的无功备用。

7 变压器参数选择

7.0.1 各级变压器的额定变压比、调压方式、调压范围及每档调压值,应满足发电厂、变电站母线和用户受电端电压质量的要求,并考虑电力系统 10 年~15 年发展的需要。

7.0.2 升压变压器高压侧的额定电压,330kV 及以下电压等级,宜选 1.10 倍系统标称电压;500kV~1000kV 电压等级,宜选 1.05 倍~1.10 倍系统标称电压,经计算论证后确定。

7.0.3 降压变压器高压侧的额定电压,宜选 1.00 倍~1.05 倍系统标称电压;中压侧的额定电压,宜选 1.05 倍~1.10 倍系统标称电压;低压侧的额定电压宜选 1.00 倍~1.10 倍系统标称电压,或经计算论证后确定。

7.0.4 发电机升压变压器,宜选用无励磁调压型,如有需要经论证可选用有载调压。风电和光伏汇集站的升压变压器宜选用有载调压变压器。

7.0.5 发电厂联络变压器,经调压计算论证确有必要时,可选用有载调压型。

7.0.6 500kV 及以上电压的降压变压器宜选用无励磁调压型,经调压计算论证确有必要且技术经济比较合理时,可选用有载调压型。

7.0.7 直接向 20kV 或 10kV 配电网供电的降压变压器,应选用有载调压型。经调压计算,仅此一级调压尚不能满足电压控制的要求时,可在其电源侧各级降压变压器中,再采用一级有载调压型变压器。

7.0.8 电力用户对电压质量的要求高于本标准第 6.1.1 条规定的数值时,该用户的受电变压器应选用有载调压型。

7.0.9 变压器分接开关调压范围应经调压计算确定。无励磁调压变压器一般可选 $\pm 2 \times 2.5\%$ (1000kV 变压器可选 $\pm 4 \times 1.25\%$)。对于有载调压变压器,66kV 及以上电压等级的,宜选 $\pm 8 \times 1.25\%$;35kV 电压等级的,宜选 $\pm 3 \times 2.5\%$ 。位于负荷中心地区发电厂的升压变压器,其高压侧分接开关的调压范围应适当下降 $2.5\% \sim 5.0\%$;位于系统送端发电厂附近降压变电所的变压器,其高压侧调压范围应适当上移 $2.5\% \sim 5.0\%$ 。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国电力行业标准

电力系统无功补偿及调压设计
技 术 导 则

DL/T 5554—2019

条 文 说 明

制 定 说 明

《电力系统无功补偿及调压设计技术导则》DL/T 5554—2019，经国家能源局 2019 年 6 月 4 日以第 4 号公告批准发布。

在标准制定过程中，编制组在广泛了解实际运行情况、设备制造的基础上，贯彻执行国家的有关法律、法规和方针、政策。满足安全可靠、技术先进、经济合理、可操作等基本目标，认真总结了近年来国内电力系统无功补偿及调压设计、运行经验，同时参考了国内外先进技术标准。

为便于广大设计、运行、科研等单位有关人员在使用本标准时能理解和执行条文规定，《电力系统无功补偿及调压设计技术导则》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

2	术 语	(23)
3	基本规定	(24)
4	无功补偿容量计算	(25)
4.1	330kV 及以上电网	(25)
4.2	220kV 及以下电网	(25)
4.3	电力用户的功率因数规定	(27)
4.4	电源的无功出力要求	(27)
5	无功补偿设备选择	(29)
5.1	无功补偿设备型式	(29)
5.2	无功补偿设备参数	(30)
6	电力系统电压调整	(32)
6.1	电压允许偏差值	(32)
6.2	电力系统电压调整	(33)
7	变压器参数选择	(34)

2 术 语

2.0.2 本标准根据现行国家标准《电能质量 供电电压偏差》GB/T 12325—2005 定义。

供电电压偏差的测量方法：

获得电压有效值的基本的测量时间窗口应为 10 周波，并且每个测量时间窗口应该与紧邻的测量时间窗口接近而不重叠，连续测量并计算电压有效值的平均值，最终计算获得供电电压偏差值，计算公式如下：

$$\text{电压偏差}(\%) = \frac{\text{电压测量值} - \text{系统标称电压}}{\text{系统标称电压}} \times 100\% \quad (1)$$

对 A 级性能电压监测仪，可以根据具体情况选择 4 个不同类型的时间长度计算供电电压偏差：3s、1min、10min、2h。对 B 级性能电压监测仪制造商应该标明测量时间窗口、计算供电电压偏差的时间长度，时间长度推荐采用 1min 或 10min。

2.0.3 随着电力电子技术的发展及其在电力系统中的应用，无功电源的类型更加广泛。除条文中明确的发电机、线路及可提供容性无功容量的无功补偿设备外，具备无功提供能力的柔性直流换流站、光伏电站的并网逆变器以及通过逆变器接入的储能系统均为无功电源。

3 基本规定

3.0.4 随着风电、光伏电源的发展,其波动性、随机性、低抗扰性对电力系统安全稳定产生了较大的影响。尤其是大规模新能源汇集接入电网的无功配置,应考虑电力系统稳定的作用,其无功装置类型及容量范围应结合新能源实际接入情况,通过接入电力系统无功电压专题研究来确定。

3.0.5 我国电力系统中,直流一般直接接入 500kV 及以上电网。在受端电网中,逆变站换相需要交流电网支撑,需要较高的短路容量。直流系统在正常运行方式下,其无功损耗由换流站内滤波电容补偿,直流系统与交流系统间基本没有无功交换。由于电容的无功出力与电压平方成正比,因此在故障状态下和直流恢复过程中,滤波电容无法完全满足直流的无功需求,直流需要从交流系统吸收一部分无功,交流系统动态无功支撑能力越强,直流恢复越快。

4 无功补偿容量计算

4.1 330kV 及以上电网

4.1.1 目前 750kV、1000kV 电网,由于其充电功率较高,自身电压等级较高,实际配置中高低压并联电抗器的总容量一般使线路充电功率基本予以补偿。随着 750kV 电网的发展,330kV 电网的地位与作用逐步趋同于 220kV 电网,西北 330kV 电网逐步作为省区内电网,其负荷供电的作用越来越凸显,西北已出现多个 330kV 用户变电站,近年来,西北 330kV 电网的感性无功补偿度降低至 80%以下,本条不再对 330kV 电网高低压并联电抗器的总容量进行要求。

4.2 220kV 及以下电网

4.2.2 对于电网最大自然无功负荷系数的取值,标准《电力系统电压和无功电力技术导则》DL/T 1773—2017 给出了可参照的数值估算表和具体计算方法。随着我国电力系统的不断发展,电网的无功负荷特性可能有一定变化,必要时应通过实测确定电网最大自然无功负荷系数 K 。

(1)标准《电力系统电压和无功电力技术导则》DL/T 1773—2017 给出的最大自然无功负荷系数估算表见表 1。

表 1 220kV 及以下电网的最大自然无功负荷系数

电网电压(kV)					
变压级数	220	110	66	35	10
	最大自然无功负荷系数 K (kvar/kW)				
220/110/35/10	1.25~1.40	1.10~1.25	—	1.00~1.15	0.90~1.05

续表 1

最大自然无功负荷系数 $K(\text{kvar/kW})$					
220/110/10	1.15~1.30	1.00~1.15	—	—	0.90~1.05
220/66/10	1.15~1.30	—	1.00~1.15	—	0.90~1.05

注：本网中发电机有功功率比重较大时，宜取较高值；主网和邻网输入有功功率比重较大时，宜取较低值。

(2) 标准《电力系统电压和无功电力技术导则》DL/T 1773—2017 关于 K 值的计算方法。

1) K 值的确定原则。

电网自然无功负荷系数 K ，为电网自然无功负荷 Q 与有功负荷 P 的比值。此值与电网结构、电压层次、用电器的有功负荷特性和无功负荷特性等因素有关。计算电网最大无功负荷时的 K 值，应按全年不同季节及运行方式下、最大无功负荷所对应的自然无功负荷系数 K 的平均值确定，同时应记录被测电网的供电电压 U 、发电机的有功出力 P_G 和无功出力 Q_G 、邻网输入(输出)的有功功率 P_R 和无功功率 Q_R 、电网中实际投运的无功补偿设备总出力 Q_C 和线路充电功率 Q_L 。

2) K 值的计算公式。

$$K = \frac{Q_G + Q_R + Q_C + Q_L}{P_G + P_R} \times \left(\frac{1.05 U_N}{U} \right)^{\beta - \alpha} \quad (2)$$

式中： α ——电压有功负荷系数；

β ——电压无功负荷系数；

U_N ——系统额定电压。

3) K 值的简化计算公式。

经测定，目前我国几大电网的电压有功负荷系数与电压无功负荷系数为： $\alpha = 0.3 \sim 0.9$ ； $\beta = 2.0 \sim 3.0$ 。

一般可取： $\alpha = 0.5$ ； $\beta = 2.5$ 。

此时电网自然无功负荷系数 K 值的计算公式可简化为

$$K = \frac{1.1(Q_G + Q_R + Q_C + Q_L)}{P_G + P_R} \times \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \quad (3)$$

(3)考虑到城网改造与用电管理加强等因素,《城市电力网规划设计导则》(能源电〔1993〕228号)中提出城网所需总的无功补偿容量,一般可按 K 值计算:

$$K = \frac{Q_m}{P_m} \quad (4)$$

式中: P_m ——电网最大有功功率(kW);

Q_m ——对应 P_m 所需的无功设施容量(kvar)。包括地区发电厂无功出力,电力系统可能输入的无功容量,运行中的无功补偿设施容量(包括用户)和城网充电功率之总和。

《城市电力网规划设计导则》(能源电〔1993〕228号)提出“ K 值的大小与城网结构、电压层次和用户构成有关,可计算得出,一般可选 1.1~1.3”。仔细分析,条文中式(4.2.2)中的 K 值与《城市电力网规划设计导则》(能源电〔1993〕228号)中的 K 值意义仍有所不同,使用时应注意区分。

4.3 电力用户的功率因数规定

4.3.1 本条规定指并网点功率因数,并网点指发电机或负荷与公共电网的连接点。

4.4 电源的无功出力要求

4.4.1 直接接入 330kV 及以上电网的发电机功率因数一般在 0.85~0.90 之间选择,其中,接入较高电压等级发电机的功率因数宜取高值。同时,为提高直流换流站近区交流系统的无功提供能力,直流输电系统送端的发电机功率因数宜取低值。但对于单机容量 600MW 及以上发电机组,受目前设备制造能力的限制难以达到 0.85 的功率因数时,功率因数应不高于 0.90。

4.4.4 风电机组或光伏电站安装的并网逆变器的无功出力范围宜满足图 1 所示要求。

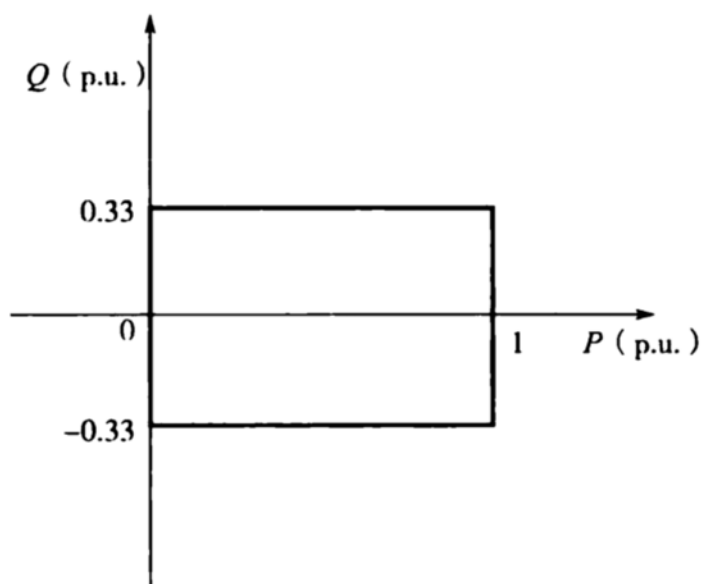


图 1 风电机组或光伏电站逆变器无功出力范围

5 无功补偿设备选择

5.1 无功补偿设备型式

5.1.1 本条说明了电力系统中无功补偿设备的主要型式和分类。另外,高压串联电容补偿器一般用于长距离输电线路,主要为缩短线路的电气距离,提高送电能力,一般不作为无功补偿手段;线路串联电抗器一般用于限制短路电流。因此本标准未将其作为无功补偿设备考虑。

5.1.2 本条主要说明静态和动态无功补偿设备选用的原则。静态无功补偿设备运行稳定、经济性好,应优先选用;动态无功补偿设备能够快速调节无功出力,但由于设备造价高、损耗大、占地多、运行控制复杂,在需要考虑提升电力系统动态无功支撑能力、提高电能质量等情况下,经专题论证后选用。

5.1.3 由于 220kV、110kV 设备较贵,目前,国内变电站并联电容器大多装设在低压侧。由于并联电容器装置装设在主变压器的主要负荷侧,有利于无功分层分区就地平衡,可以获得最佳的无功补偿效果,因此,有条件时应装在主要负荷侧。目前,国内已有 110kV 电压等级上装设并联电容器的工程实例,且效果良好。

5.1.4 发电厂单机单变带空载长线时,必须校核自励磁和过电压问题,若存在自励磁问题,需避免单机带长线运行或线路装设高压并联电抗器。

由于并联电抗器装设在高压侧投资较大,且不能像装设在变压器低压侧那样很方便地随负荷变化频繁投切,难以控制低压侧电压,因此电抗器宜首先考虑装设在主变压器低压侧。但当需要补偿容量较大,装在低压侧影响到向负荷供电时,也可装在高压侧。

5.1.5 新能源出力波动大,可能引起其汇集和送出通道电压波动

较大,全部采用静态无功补偿不能满足其无功调节、电压稳定需要,而全部采用动态补偿投资又较高。因此,对于新能源汇集及送出通道,应结合新能源特性、电网结构及运行情况分析,经技术经济论证后选择一定容量的动态无功补偿设备。

5.1.7 调相机具有快速动态无功调节和短时过载能力,主要用于故障工况下向系统提供动态无功支撑,提高输送容量和稳定水平。目前,国内多条直流工程在送、受端换流站安装了调相机,受端装设调相机主要用于提高直流输电系统电压支撑和无功调节能力,送端装设调相机主要解决直流换相失败等故障引起的系统过电压问题,防止风电大规模脱网。

5.1.8 长距离的超/特高压线路为限制过电压及满足轻载方式下的无功平衡,需要装设线路高压并联电抗器,若全部采用固定高抗补偿,则线路重载时在低压电容器全部投入后仍可能存在电压过低问题。可控高抗正常方式下可根据线路潮流及近区电压情况调节其无功出力,当发生故障时可迅速提高其感性无功出力,满足限制过电压的需要。目前在 500kV 和 750kV 工程中均有应用。

5.2 无功补偿设备参数

5.2.3 三相输电线路在一相断开、其余两相接通,或两相断开、一相接通的非全相运行方式下,接通相通过相间电容和断开相对地电容构成回路,使断开相仍有工频过电压,特别是线路安装中性点直接接地的高压并联电抗器,线路电容参数和高压电抗器电感参数发生串联谐振时,断开相上可能出现很高的线路谐振过电压。为避免谐振过电压,可在高压电抗器中性点接入小电抗。但是,在高压电抗器高补偿度(90%~110%)情况下,中性点小电抗限制谐振过电压常失去作用,因此,高压电抗器容量选择应注意避免工频谐振问题,补偿度一般在 60%~90%。

输电线路并联高压电抗器也可过补偿。对于变电站出线较多且长度较短的情况,尽管一般不会出现工频过电压,但为平衡出线

的充电功率,会出现几条短线共用一个线路高压电抗器的情况。此时,对安装高压电抗器的短线而言,可能会出现过补偿的情况。这种情况在西北地区已经出现。此外,电网发展过程中,也会出现已有线路由于破口、改建等而造成过补偿情况。

5.2.4 调相机的参数一般有如下要求:

(1)容量等级及无功调节范围如表 2 所示。

表 2 调相机容量等级及其无功运行能力

序号	额定容量(Mvar)	迟相无功(Mvar)	进相无功(Mvar)
1	300	300	150
2	150	150	75
3	100	100	50

(2)无功动态响应时间为 20ms,1s~2s 可达到峰值。

(3) d 轴暂态开路时间常数 T'_{d0} 宜不大于 8.0s, d 轴暂态短路时间常数 T'_d 不应大于 0.95s。

(4)暂态及次暂态电抗要求如下:

1)直轴瞬态电抗 X'_d (饱和值)不应大于 0.22p. u. ;

2)直轴超瞬态电抗 X''_d (饱和值)不应大于 0.14p. u. 。

(5)定、转子绕组应具有很强的短时过载能力,具体要求如下:

1)调相机定子绕组应能承受 3.5 倍额定电流持续时间不小于 15s;

2)调相机转子绕组应能承受 2.5 倍额定励磁电流持续时间不小于 15s。

(6)调相机应具有 1.3 倍额定电压下进相持续时间不小于 1s 的能力。

(7)按照不低于 12.5 倍转子额定电压耐压考核。

(8)调相机在不对称的电力系统中运行时,若任何一相电流均不超过额定值,且负序电流分量与额定电流之比不超过 10%,应能长期运行。

6 电力系统电压调整

6.1 电压允许偏差值

6.1.1 本条第 4 款中,对于新能源发电场站高压母线指其并网点母线。

6.1.3 向空载线路充电时电压与持续时间的要求主要由并联电抗器过励磁能力决定。在额定频率下,不同电压等级的并联电抗器的过励磁能力见表 3。

表 3 不同电压等级并联电抗器过励磁能力

励磁电压 电压等级		$1.15U_N$	$1.2U_N$	$1.3U_N$	$1.4U_N$	备 注
允许的 运行时间	1000kV	60min	20min	3min	20s	摘自《1000kV 交流系统用油浸式并联电抗器技术规范》GB/Z 24844—2009
	500kV/330kV (允许长期过励磁 $1.1U_N$)	60min	20min	3min	20s	摘自《330kV ~ 750kV 油浸式并联电抗器使用技术条件》DL/T 271—2012
	750kV (允许长期过励磁 $1.05U_N$)	20min	3min	20s	8s	摘自《330kV ~ 750kV 油浸式并联电抗器使用技术条件》DL/T 271—2012
	750kV (允许长期过励磁 $1.1U_N$)	60min	20min	3min	20s	摘自国家电网公司 2015 年修订的《750kV 并联电抗器技术规范》

注:表中 U_N 为电抗器额定电压。

对于 220kV、110kV 电压,考虑到设备具有较高的绝缘裕度,向空载线路充电条件不做要求。

6.2 电力系统电压调整

6.2.3 电力系统中的电压调整措施主要包括两个方面:

(1)改变无功功率容量,主要指通过发电机、调相机、并联电容器、并联电抗器、静止无功补偿器等进行调压;

(2)改变无功功率分配,主要指改变变压器分接头等进行调压。

7 变压器参数选择

7.0.9 10kV 配电变压器调压范围多为 $\pm 5\%$ 。