

新的风电并网技术要求 和国际情况对比



中国电力科学研究院有限公司 新能源研究中心

迟永宁

2018.06.23

清洁能源发展与消纳专题研讨会·西安

目 录

- 一 **风电并网标准修订总体情况**.....
- 二 标准修订的技术背景与需求.....
- 三 国际上并网标准的发展情况.....
- 四 结论.....

1.1 我国风电国标的制修订历程



- 2005.12.12 发布，GB/Z 19963-2005 风电场接入电力系统技术规定；
- 考虑到当时的风电规模、机组制造水平，仅提出一些原则性的规定。

2005

2011

2017...

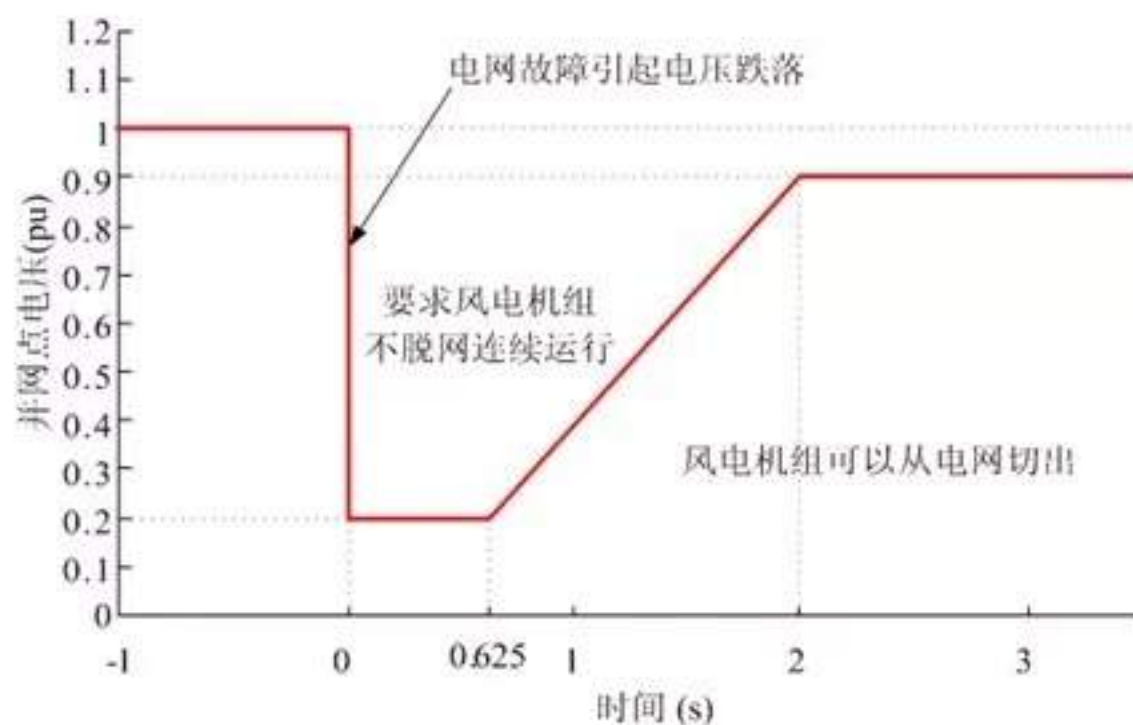
- 为适应国家百万千瓦、千万千瓦风电基地建设需求，对原指导性文件进行修订，2011.12.30 发布GB/T 19963-2011；
- 指导了我国风电并网及规划、试验检测、功率预测和调度运行工作，支撑了我国风电装备的出口及国际标准化工作。



1.1 我国风电国标的制修订历程

□ 低电压穿越基本要求

- ✓ 风电场并网点电压跌至20%标称电压时，风电场内的风电机组应保证不脱网连续运行625ms。
- ✓ 风电场并网点电压在发生跌落后2s内能够恢复到标称电压的90%时，风电场内的风电机组应保证不脱网连续运行。

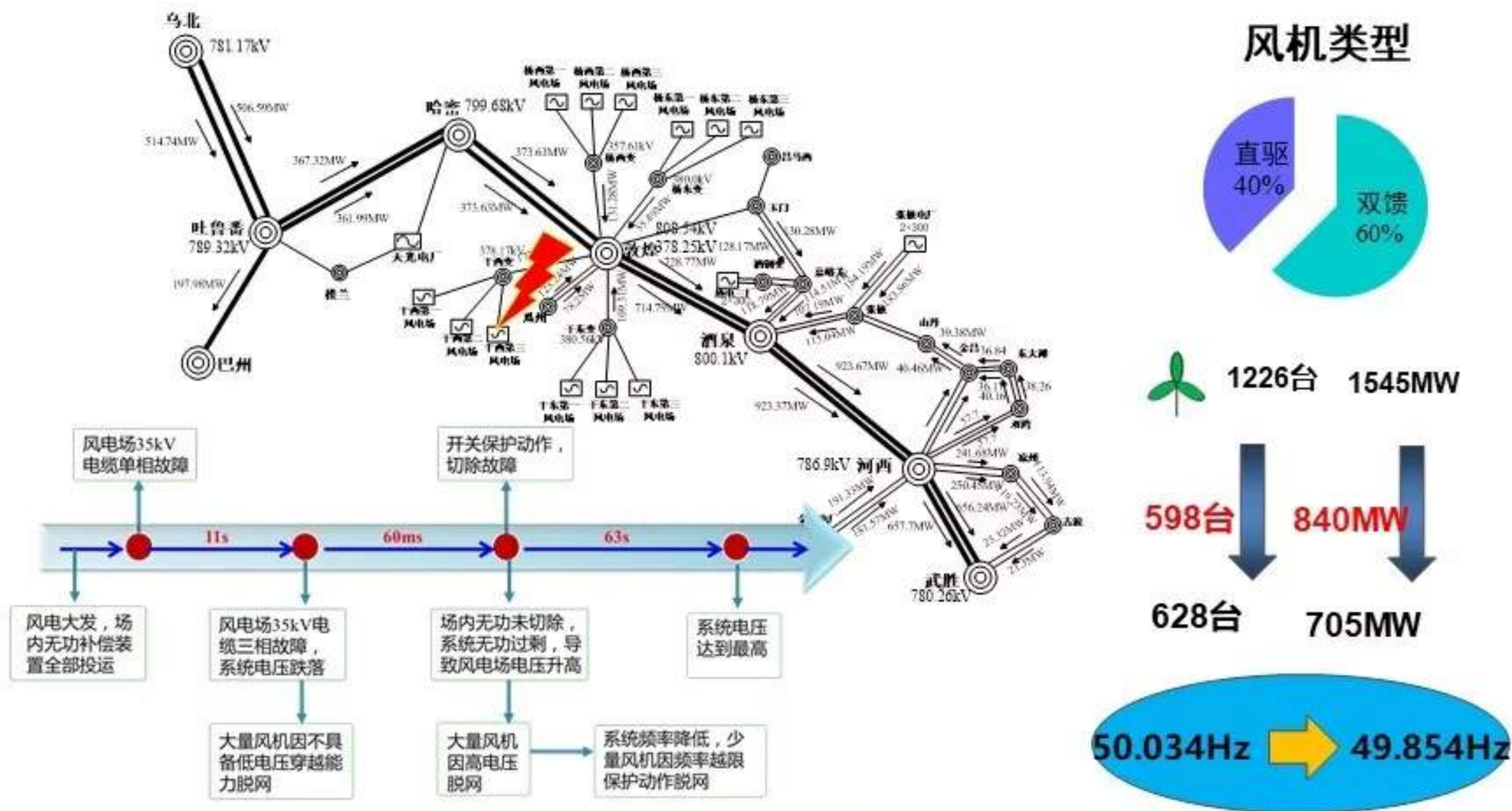


- 0.625s为后备保护时间 (0.5s) 加上保护启动与开关动作时间 (不超过0.125s)
- 风电场最低穿越电压取为0.2pu主要是考虑了当风电场送出线路发生短路故障时，风电场并网点的电压大都降低到0.2pu以下，此时允许风电场切除。

1.1 我国风电国标的制修订历程

2011年，我国华北，西北地区出现大规模风电脱网事故

2011.2.24. 故障地点 - 甘肃酒泉风电基地、



1.2 风电国标的修订工作启动

- 2016.11.30, 电力监管标委会在北京组织召开二届三次会议, 经过全体委员表决, 同意对GB/T 19963-2011版进行修订, 国家标准化管理委员会批准该计划。
- 按照国家标准制修订管理程序, 编写组已启动修订工作, 预计用两年时间完成修订。
- 编制单位具有广泛代表性
 - ✓ 编写组成员来自科研院所、电网公司、发电集团、设计单位和高校; 秉承公正、开放、透明的原则, 积极邀请各利益相关方参与标准修订工作。



目 录

- 一 风电并网标准修订总体情况.....
- 二 **标准修订的技术背景与需求**.....
- 四 国际上并网标准的发展情况.....
- 五 结论.....

2.1 新能源并网现状

- 呈现高比例新能源接入电网特点（大部分省份占发电总装机10%以上）；
- 新能源在甘肃、宁夏、新疆等省已成为当地电网的第二大电源。

省份	风电并网容量（万千瓦）	光伏并网容量（万千瓦）	新能源占发电总装机比例（%）
甘肃	1277	778	42.8
宁夏	942	613	39.3
青海	101	785	36.6
新疆	1806	935	34.0
河北	1174	749	29.7
西藏	1	79	29.0
内蒙古	2633	724	28.7
吉林	505	146	23.7
黑龙江	568	79	22.7
江西	162	425	21.2
陕西	229	503	18.7
辽宁	700	165	18.2
山西	842	491	17.0
安徽	205	799	16.6
山东	997	943	16.2
云南	749	214	13.8
江苏	626	835	13.5
河南	189	643	11.0
湖南	247	157	10.5
浙江	131	719	10.5

合计占新能源并网总容量的89.6%

截至2017年第三季度，新能源并网容量
(风电数据来源：国家能源局官网；光伏数据来源：中国电力网)

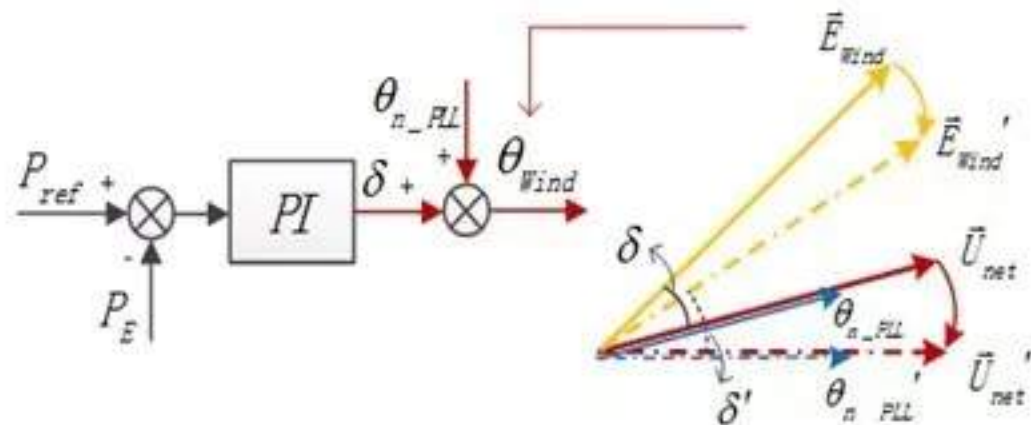
2.1 新能源并网现状

- 特高压交直流混联、电力大规模跨区输送已成为我国电网的典型特征；
- 特高压直流送、受端电网涉及省份的新能源并网容量之和，占新能源并网总容量的74.5%。

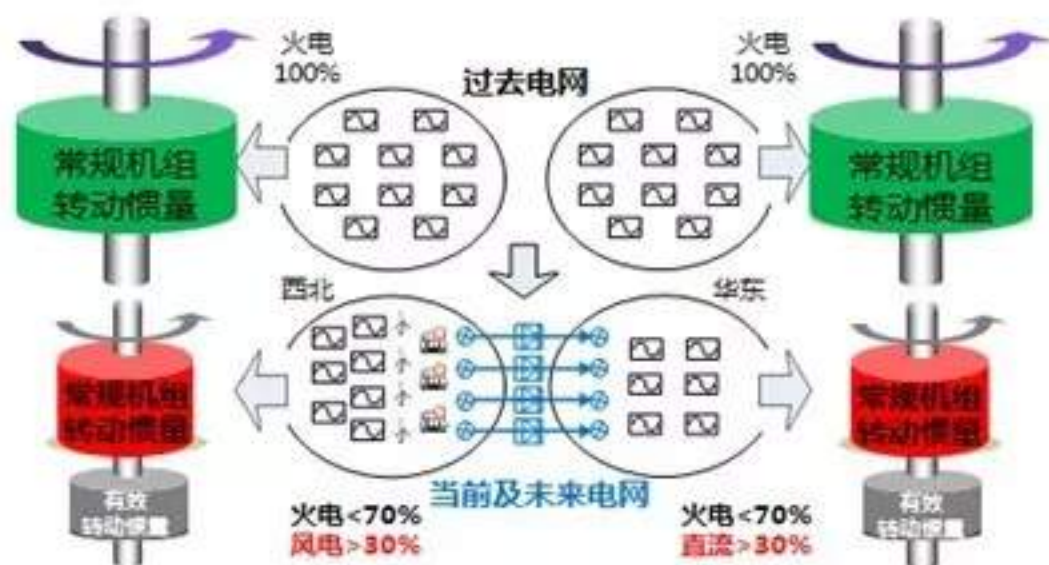


风电布局与大容量直流输电格局

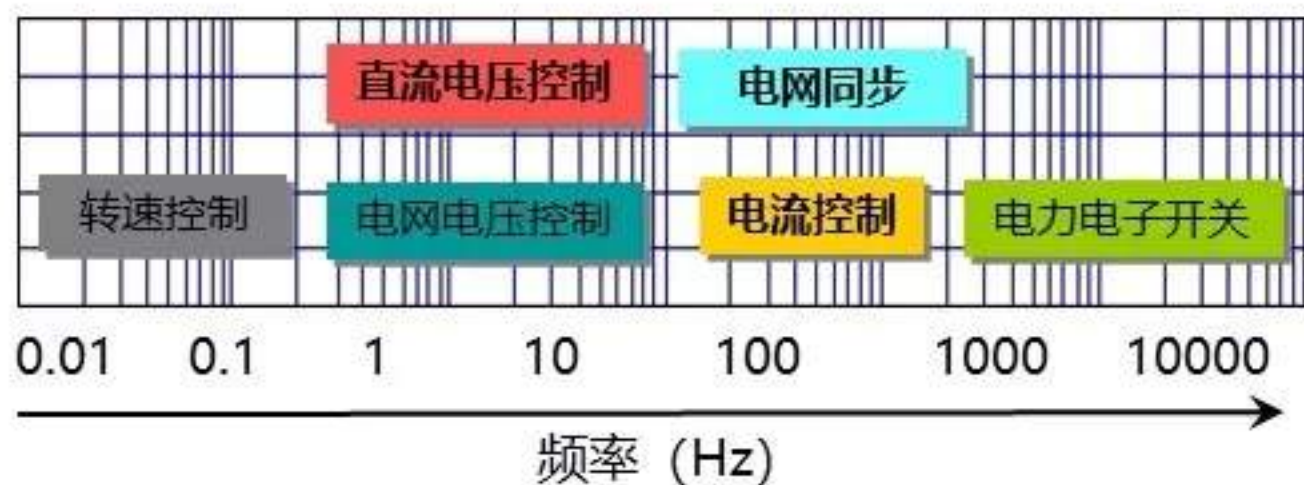
2.1 新能源并网现状



锁相同步对电网的依赖性



惯量弱支撑性

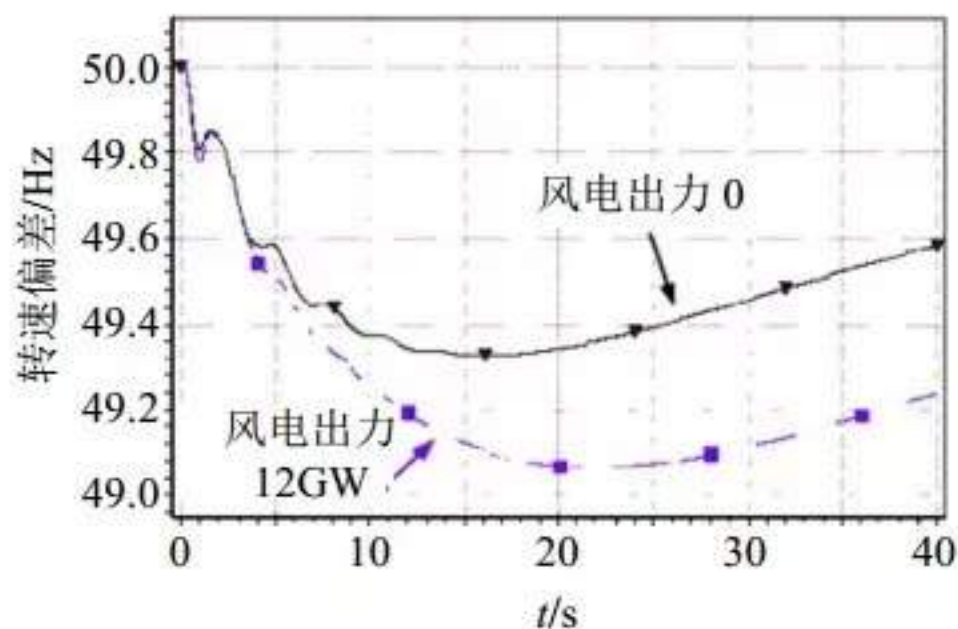


物理-控制系统的多时间尺度特性

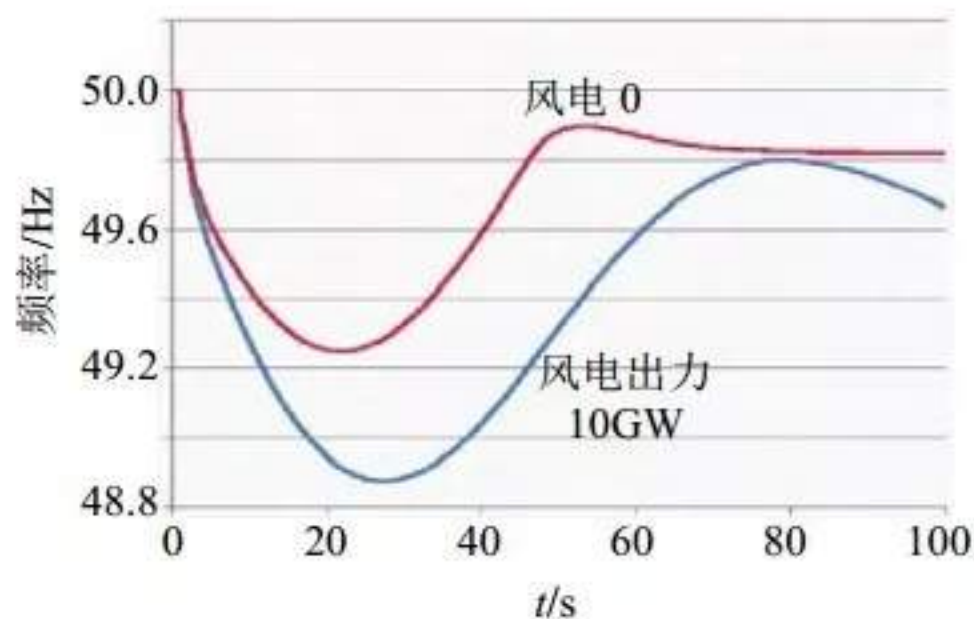
2.2 大规模风电并网所带来的新问题

(1) 新能源高占比下系统频率和电压调节能力持续下降

- 随着新能源出力占比不断增加，常规电源被大量替代，系统转动惯量和频率调节能力持续下降，交直流故障导致大功率缺额情况下，易诱发全网频率问题。



西北电网68GW负荷水平下，损失3.5GW功率，若网内无风电，系统频率下跌0.65Hz；若网内风电出力达到12GW，则频率下跌达到0.95Hz



东北电网55GW负荷水平下，损失3GW功率，若网内无风电，系统频率下跌0.7Hz；若网内风电出力达到10GW，频率下跌1.1Hz

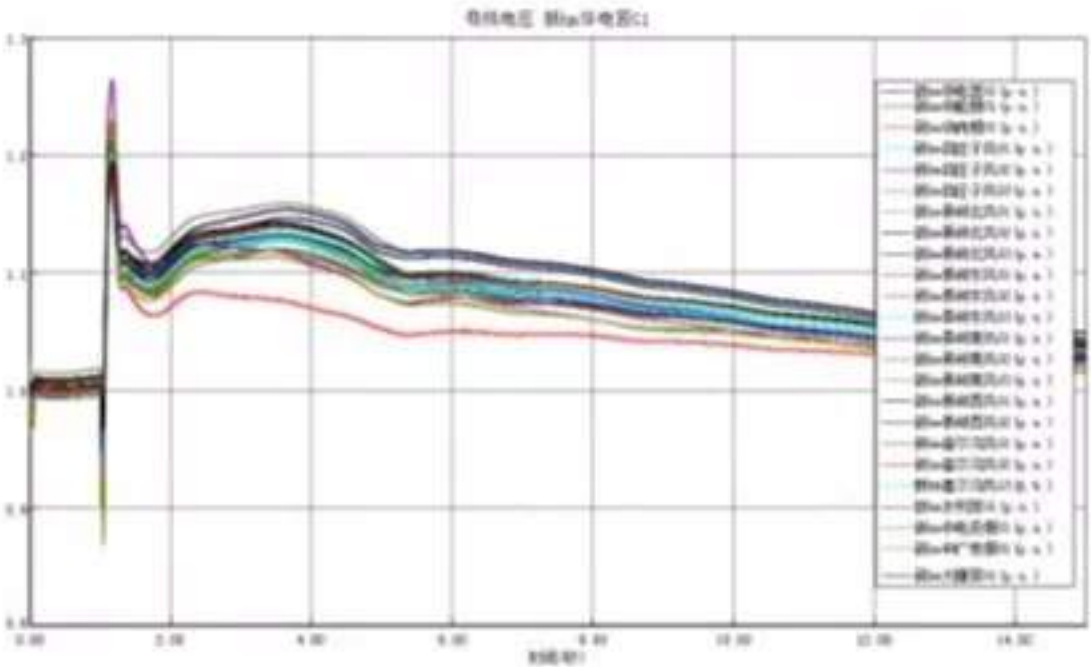
2.2 大规模风电并网所带来的新问题

(2) 新能源机组电网适应性不足，大规模脱网风险增大

- 直流闭锁、换相失败、再启动及交流短路等故障引起系统频率、电压大幅波动，可能导致新能源机组因高频或过电压而大规模脱网，引发系统低频、稳态过电压、电网解列等次生性连锁故障。

电源类型	电压耐受 上限/pu	频率耐受 下限/Hz	频率耐受 上限/Hz
常规火电	1.3	46.5	51.5
风机	1.1	48.0	50.2
光伏	1.1	48.0	50.5
直流	1.3	49.0	51.0

新能源与常规火电和直流系统的耐受性对比

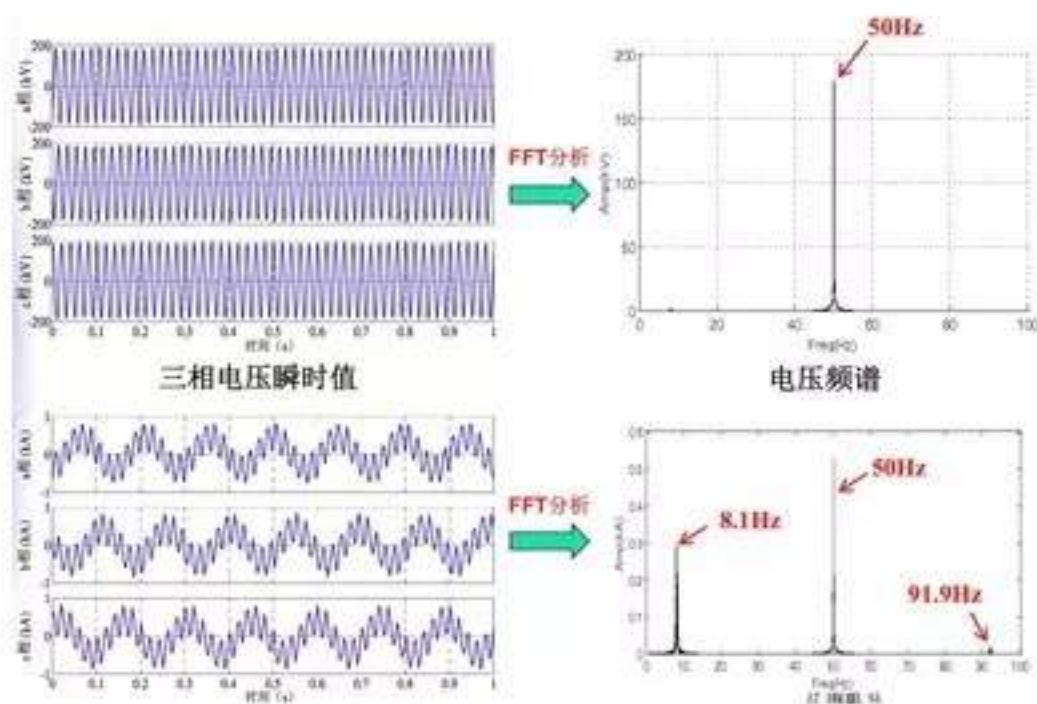
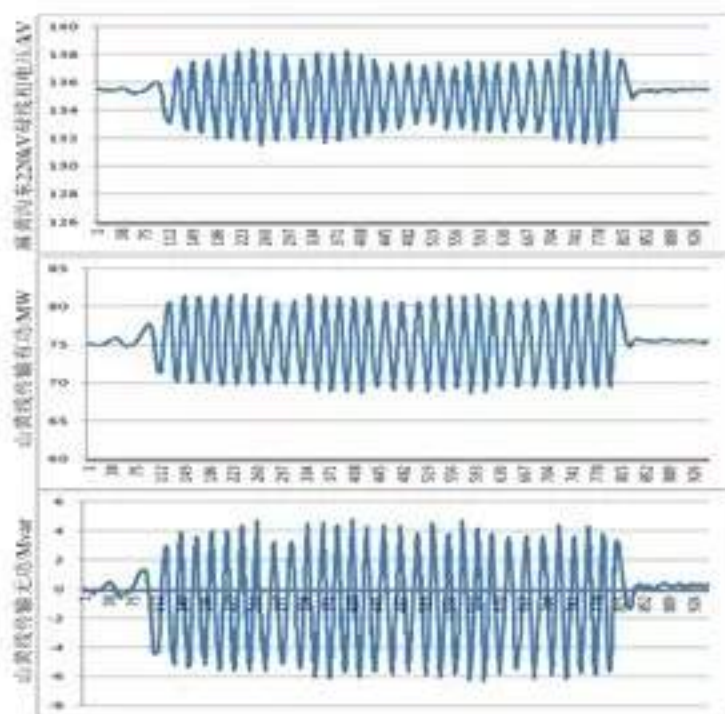


哈密-郑州直流换相失败后近区风电电压曲线

2.2 大规模风电并网所带来的新问题

(3) 多电力电子设备交互作用复杂，振荡问题凸显

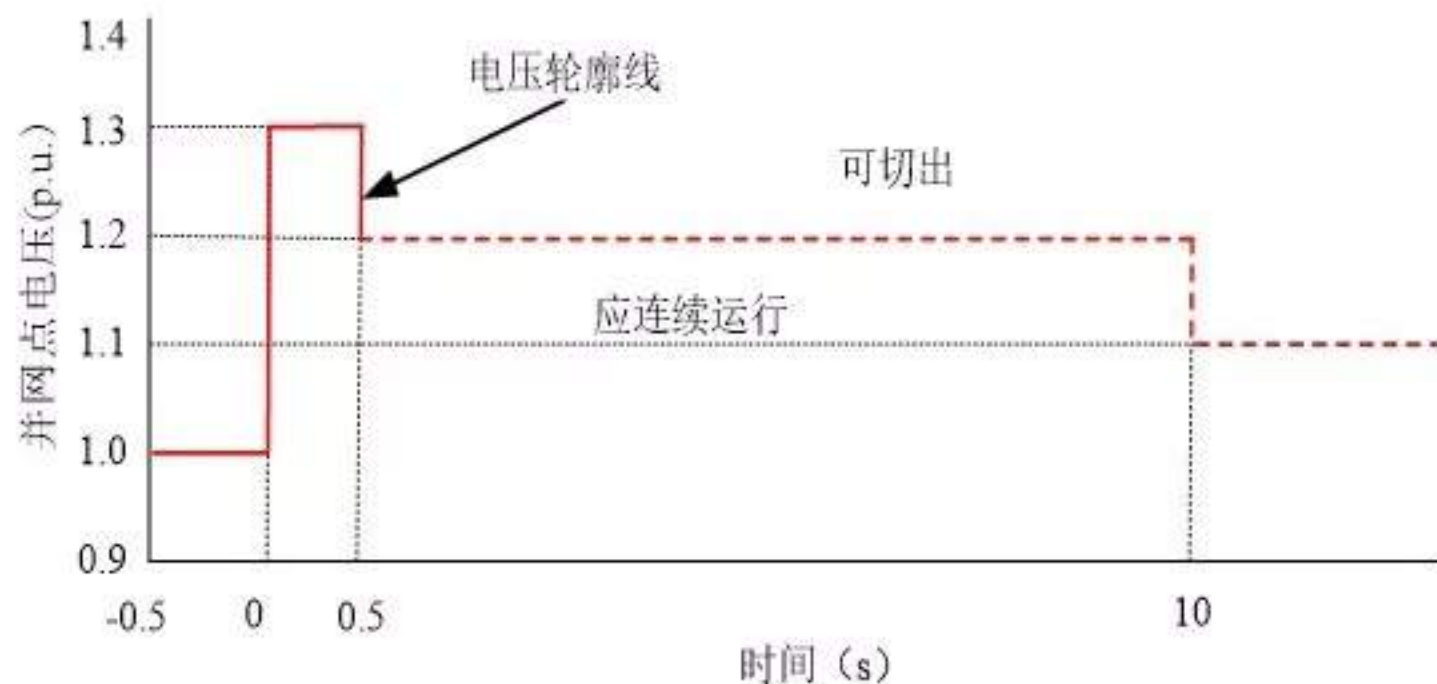
- 新能源机组通过电力电子装置并网，其多时间尺度控制特性与电网自身特征相互作用，可能引发次同步-超同步-高频范围内的动态稳定和复杂振荡问题。



2.3 标准修订的主要建议

(1) 增加风电机组高电压穿越能力

- 风电场并网点的高电压耐受能力从现有标准的1.1UN提高至1.3UN;
- 国内已经有单位开展了风电机组高电压穿越能力检测工作, 完成了某型双馈风电机组1.3倍额定电压、持续500ms的高电压穿越测试。



风电场高电压穿越要求

2.3 标准修订的主要建议

(2) 提高频率适应性要求

- 风电变流器采用快速锁相环跟踪电网频率，频率耐受范围宽广。可参考火电机组要求，将风电场的频率适应性范围提高。

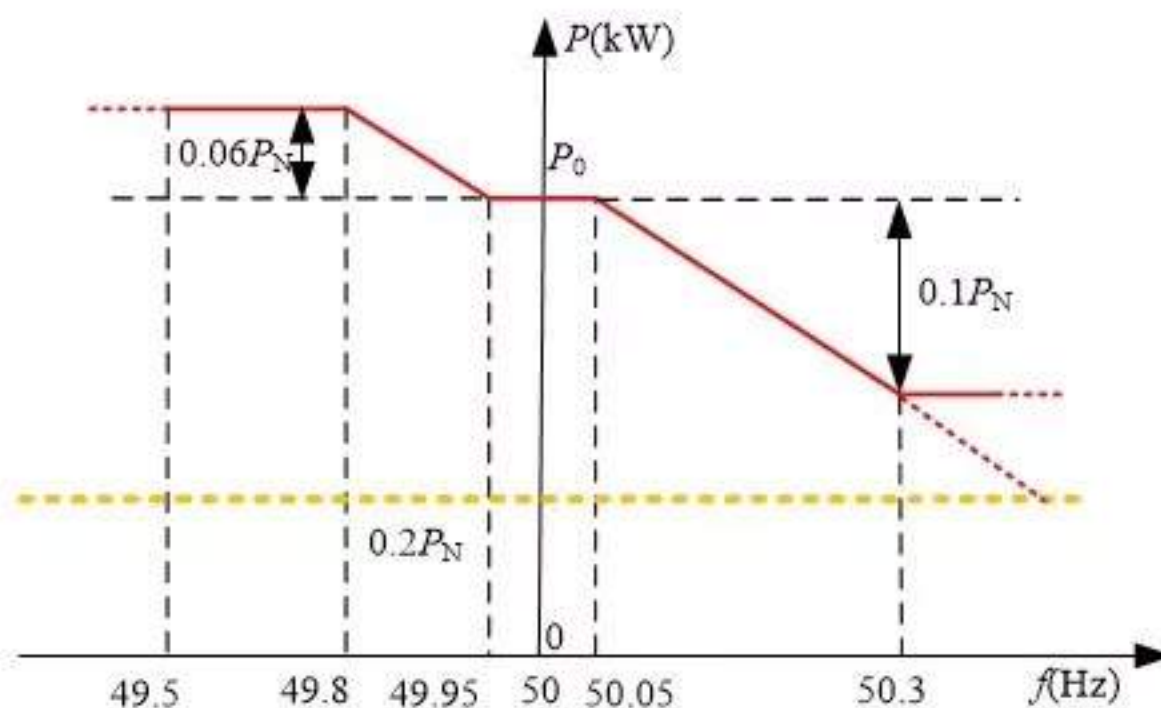
电力系统频率范围	要求
低于48Hz	根据风电场内风电机组允许运行的最低频率而定。
48Hz~49.5Hz	每次频率低于49.5Hz时要求风电场具有至少运行30min的能力。
49.5Hz~50.2Hz	连续运行。
50.2Hz~51 Hz	每次频率高于50.2Hz时，要求风电场具有至少运行5min的能力，并执行电力系统调度机构下达的降低出力或高周切机策略，不允许停机状态的风电机组并网。
高于51Hz	根据风电场内风电机组允许运行的最高频率而定。

风电场频率适应性要求

2.3 标准修订的主要建议

(3) 增加惯量与一次调频要求

- ❑ 风电场应具有惯量特性，响应于快速频率变化，增加/降低其有功功率输出。建议响应时间不大于500ms；
- ❑ 风电场应能调节有功输出，参与电网一次调频。推荐风电场最大有功调节量为 $6\%P_N$ ，有功调频系数应在5~20范围内。



有功调频系数为20时的一次调频曲线图

目 录

- 一 风电并网标准修订总体情况.....
- 二 标准修订的技术背景与需求.....
- 三 **国际上并网标准的发展情况**.....
- 四 结论.....

3.1 国外风电并网标准的发展与趋势

- 新能源发电并网管理要求是以法令、技术标准或者电网公司技术规定等方式颁布实施的，不同的国家情况有所区别。



e-on | Netz

- ❖ 2006 E.on Grid Code



- ❖ IEEE 1547 系列标准
IEEE Standard for
Interconnecting Distributed
Resources with Electric Power
Systems

- ❖ Transmission Code 2007: Network and
System Rules of the German TSOs



entsoe
Reliable Sustainable Connected



- ❖ 美国联邦能源监管委员会
（FERC）发布法令
ORDER No. 661-A:
Interconnection for Wind
Energy

- ❖ 欧洲互联电网（ENTSO-E
）Network Code for
Requirements for Grid
Connection applicable to all
Generators

3.2 技术指标的对比--故障穿越能力

现有标准要求

- GB/T 19963-2011要求风电机组正常运行的电压范围为0.9--1.1Un的，这个标准的设定主要参考德国标准，采用风电机组可持续运行的边界值。
- GB/T 19963-2011未提出高电压穿越的要求。

标准 项目	GB/T 19963-2011 技术规定	国外并网导则 技术要求	常规火电机组 技术要求
高电压	1.1pu, 正常运行	美国WECC: 1.2pu 澳大利亚AEMC: 1.3pu, 60ms	1.3pu, 0.5s
低电压	0.2pu, 625ms	德国E.ON:0pu,150ms 美国FERC: 0.15pu,625ms	短时间内电压允许低至0

3.2 技术指标的对比--频率适应性

现有标准要求

- GB/T 19963-2011要求当电网频率高于50.2Hz时，风电场具有至少运行5min的能力，标准的设定主要参考了我国电网正常运行情况下频率偏差不超 $\pm 0.2\text{Hz}$ 的运行要求。

标准 项目	GB/T 19963-2011 技术规定	国外并网导则 技术要求	常规火电机组 技术要求
高频率	高于50.2Hz时至少运行5min	丹麦: 52Hz 德国: 51.5Hz, 30min	51.0Hz~51.5Hz, 至少 运行30s
低频率	48~49.5Hz, 至少运行30min	丹麦: 47Hz 英国: 47Hz, 20s	46.5Hz~47.0Hz, 至少运行5s

3.2 技术指标的对比--一次调频

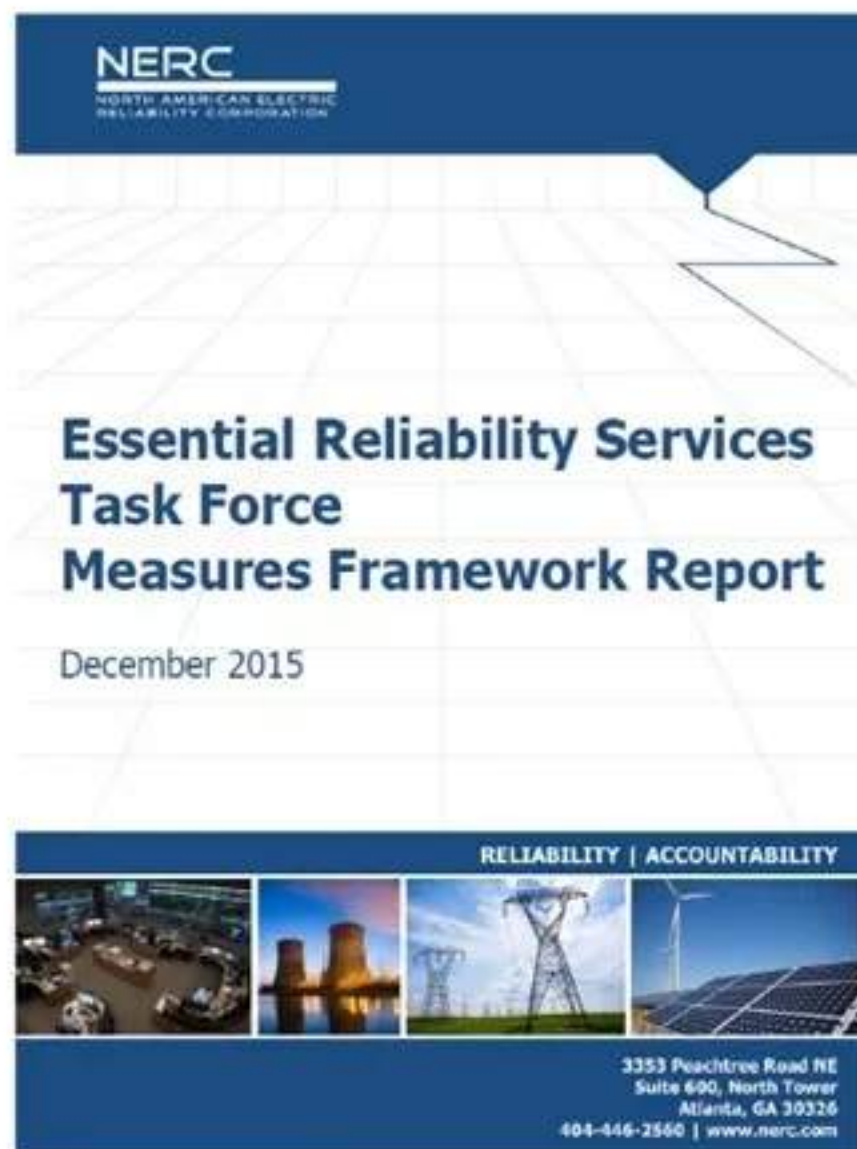
现有标准要求

- 并网火电机组均要求参与一次调频，调节容量不小于机组额定容量的6%，而风电机组未要求参与电网频率的一次调整。
- 国外技术标准中规定了风电场参与调频具体指标。

国家/地区	风电调频技术规定
西班牙	提供风电装机容量1.5%的备用容量用于调频
德国	100MW以上风电场应具备2%的一次频率调节能力
加拿大魁北克	风电场提供装机5%的备用容量，持续10s
大不列颠	风电场满足一次调频、二次调频和频率过高响应的能力
北爱尔兰	给出了风电场频率响应的有功-频率曲线
丹麦	风电场安装频率控制系统以控制风电机组参与电网调频

3.3 国外新的并网技术要求进展

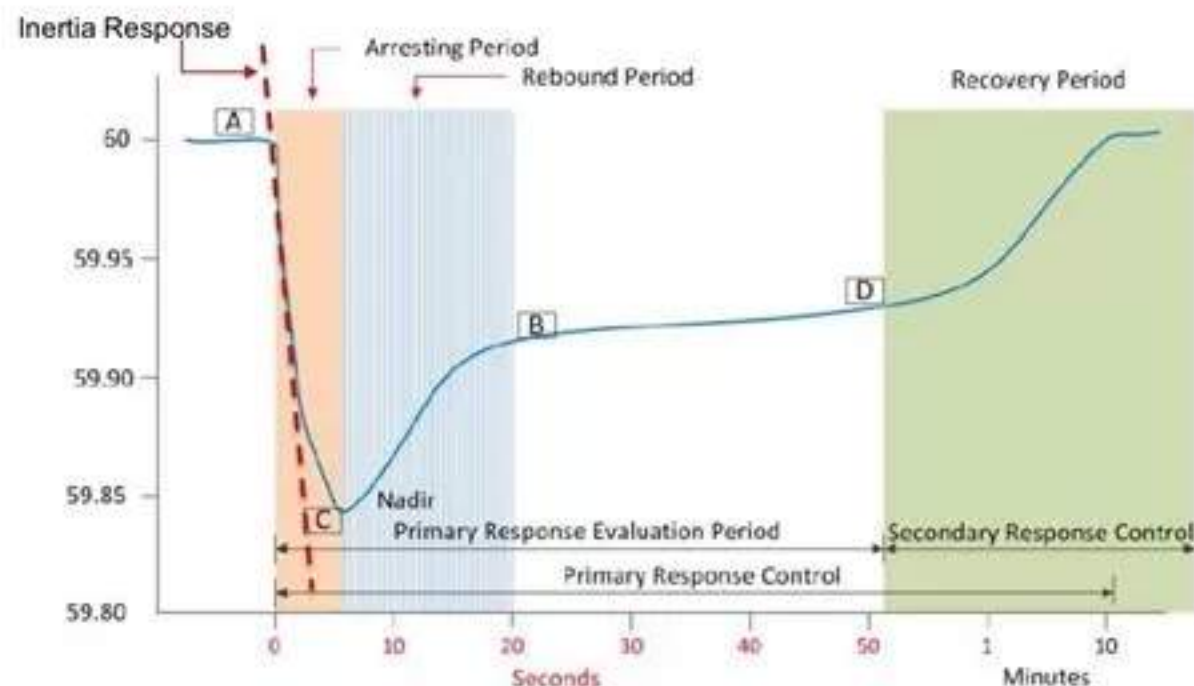
□ 北美的电网ERS（系统必需可靠性服务）并网技术要求



- 2005年，美国的联邦能源监管委员会发布法令No.661A;提出了对风电场并网的系列技术要求，包括功率因数，故障穿越，SCADA的控制要求。
- 2015年，北美电力可靠性委员会发布报告《Essential Reliability Services Task Force Measures Framework Report》，针对新的电网情况，要求各种电源具备以下性能。
 - ✓ 惯量响应与频率支持
 - ✓ 控制特性的要求
 - ✓ 无功与电压的控制

3.3 国外新的并网技术要求进展

□ 北美的电网ERS（系统必需可靠性服务）并网技术要求



- ✓ 系统惯量过低，系统出现大的频率故障后系统频率变化率（RoCoF）变大，频率跌落变快，短时间内一次调频响应无法跟上，可能会导致频率跌落到低频减载的设定值以下，导致系统的频率出现问题或安全性受到影响。

- The system inertia in ERCOT varies with the hours of day and seasons of year (due to unit commitment patterns)
- In ERCOT system inertia tends to be high in summer and low in shoulder months.



- ✓ 对惯量的实时监控：美国德州，ERCOT的系统惯量随着不同的季节和时间会发生很大变化，受开机方式影响很大。
- ✓ ERCOT要求除了核电以外的所有电源具有一次调频能力（其他电源的调频死区更小）。
- ✓ 2012年3月以后，要求风电也具有有一次调频能力（调速器），且在弃风（压出力）情况下，也具有响应低频的能力。

3.3 国外新的并网技术要求进展

□ 欧洲电网导则的制订

- ✓ 2016年4月14日，欧盟颁布法规（ Commission Regulation (EU)) 2016/631 号，对并网电源技术要求的电网导则（Network Code）

The code families



- ✓ 提出了故障穿越、频率稳定方面（惯量与一次调频）的要求。

COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631

of 14 April 2016

establishing a network code on
requirements for grid connection
of generators

Article 12 - Confidentiality obligations
Article 13 - General requirements for type A power-generating modules
Article 14 - General requirements for type B power-generating modules
Article 15 - General requirements for type C power-generating modules
Article 16 - General requirements for type D power-generating modules
Article 17 - Requirements for type B synchronous power-generating modules
Article 18 - Requirements for type C synchronous power-generating modules
Article 19 - Requirements for type D synchronous power-generating modules
Article 20 - Requirements for type B power park modules
Article 21 - Requirements for type C power park modules
Article 22 - Requirements for type D power park modules

3.3 国外新的并网技术要求进展

□ 欧洲电网导则的制订

- ✓ 按并网点的电压等级、最大容量将电源分类：A、B、C、D。比如接入110kV电压等级以上的为D类。
- ✓ 按欧洲大陆、英国、北欧、爱尔兰与北爱尔兰电网分地区对容量有不同要求。

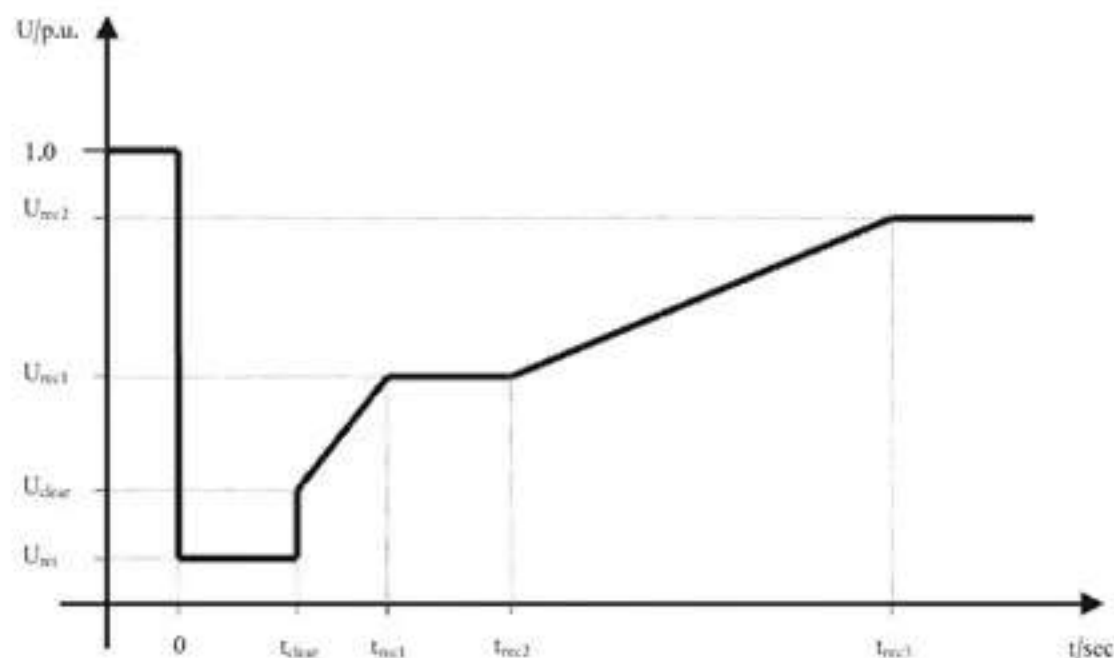
Limits for thresholds for type B, C and D power-generating modules

Synchronous areas	Limit for maximum capacity threshold from which a power-generating module is of type B	Limit for maximum capacity threshold from which a power-generating module is of type C	Limit for maximum capacity threshold from which a power-generating module is of type D
Continental Europe	1 MW	50 MW	75 MW
Great Britain	1 MW	50 MW	75 MW
Nordic	1.5 MW	10 MW	30 MW
Ireland and Northern Ireland	0.1 MW	5 MW	10 MW
Baltic	0.5 MW	10 MW	15 MW

Parameters for Figure 3 for fault-ride-through capability of power park modules

Voltage parameters (pu)		Time parameters (seconds)	
U_{m1}	0	t_{clear}	0.14-0.15 (or 0.14-0.25 if system protection and secure operation so require)
U_{clear}	U_{m1}	t_{rec1}	t_{clear}
U_{m2}	U_{clear}	t_{rec2}	t_{rec1}
U_{m3}	0.85	t_{rec3}	1.5-3.0

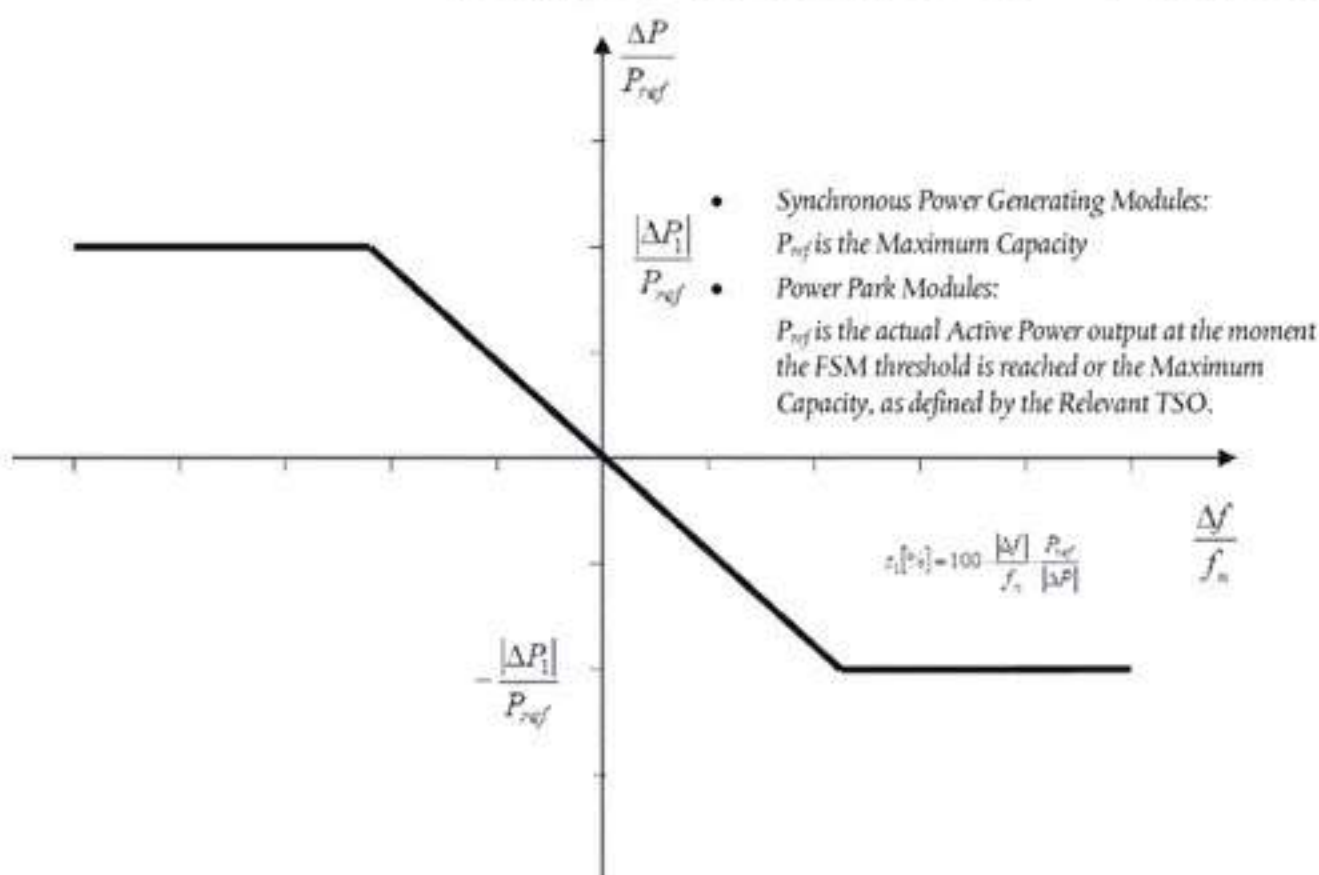
Fault-ride-through profile of a power-generating module



3.3 国外新的并网技术要求进展

□ 欧洲电网导则的制订

- ✓ 在FSM (Frequency Sensitive Mode) 模式下, 要求电源在一定的频率范围内参与一次调频。



Parameters for active power frequency response in FSM (explanation for Figure 5)

Parameters		Ranges
Active power range related to maximum capacity $\frac{ \Delta P }{P_{max}}$		1,5-10 %
Frequency response insensitivity	$ \Delta f_i $	10-30 mHz
	$\frac{ \Delta f_i }{f_n}$	0,02-0,06 %
Frequency response deadband		0-500 mHz
Droop s_1		2-12 %

- ✓ 新能源参与调频会带来能量损失 (留备用的情况)
- ✓ 欧洲与北美地区也都在考虑, 如何建立恰当的市场机制 (辅助服务市场或其他), 对提供系统服务的电源 (包括新能源), 给予经济方面的补偿。

3.4 国际标准—IEC SC 8A 工作进展

- 2013.07 成立IEC SC 8A 可再生能源接入电网技术委员会，中国电科院承担了秘书处工作。
 - ✓ 工作范围：关注电网中高穿透率可再生能源带来的影响，包含可再生能源并网相关的标准：并网技术要求和一致性测试，以及规划、建模、预测、评估、控制保护和计划调度方面的标准或者实践文档。



3.4 国际标准—IEC SC 8A 工作进展

- WG1: 可再生能源接入电网术语和定义 (IS)
 - ✓ 召集人 (convenor) 为中国电科院朱凌志博士。
- WG2: 可再生能源功率预测 (TR)
 - ✓ 召集人 (convenor) 为中国电科院冯双磊博士。
- AHG 3: 可再生能源接入电网标准化路线图 (TR)
 - ✓ 开展《可再生能源接入电网标准化路线图》编制工作, 进一步明确未来的标准编制整体目标和工作计划。
- JWG 4: 风电场和光伏电站并网符合性评价技术规范 (TS)
 - ✓ 召集人 (convenor) 为中国电科院李庆主任。
- JWG 5: 风电和光伏发电并网的系统问题
 - ✓ 联合召集人 美国Ge公司 Jason MacDowell, 华中科技大学 胡家兵

目 录

- 一 风电并网标准修订总体情况.....
- 二 标准修订的技术背景与需求.....
- 三 国际上并网标准的发展情况.....
- 四 **结论**.....

4 结论

- 新能源比例升高给电网安全稳定运行带来挑战不容忽视，对新能源发电提出惯量频率支撑、高电压穿越等技术要求，对于确保电网安全稳定是十分必要的。
- 并网标准需要考虑技术的可实现性，综合考虑电网的安全稳定与发电企业的经济成本。标准修订将秉承公正、开放、透明的原则，欢迎各利益相关方积极参与标准修订工作，按照标准化工作程序及时反馈意见、参与标准讨论、进行标准审查。
- 加强对新能源发电技术的研究，了解大规模风电、光伏发电与电网之间强耦合作用的机理，以清晰可操作、经济可实现的并网标准要求确保新能源与电网的安全稳定运行。

谢 谢!

迟永宁

chiyn@epri.sgcc.com.cn 010-82813186

中国电力科学研究院有限公司 新能源研究中心 总工程师
国际电工委员会 IEC SC 8A: 可再生能源接入电网分委会 秘书





关注
领取

学习成为更好的自己

专！家！P！P！T