ICS 27.180
F 11
备案号：59857-2017

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB / T 31111 — 2017

风电机组高电压穿越测试规程

Test procedure of wind turbine high voltage ride through capability

2017-08-02发布 2017-12-01实施

国家能源局 发布

目　次

前言 …… Ⅱ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　符号 …… 2
5　高电压穿越 …… 2
5.1　测试用例 …… 2
5.2　电压升高类型及考核电压 …… 2
5.3　有功恢复 …… 3
5.4　动态无功支撑能力 …… 3
6　测试条件 …… 3
7　测试内容 …… 3
7.1　电压升高 …… 3
7.2　测试数据 …… 4
7.3　高低电压穿越组合测试 …… 4
8　测试要求 …… 4
8.1　电压升高发生装置 …… 4
8.2　电功率测量 …… 5
8.3　非电量测量 …… 5
9　测试程序 …… 5
9.1　空载测试 …… 5
9.2　负载测试 …… 6
9.3　结果判定 …… 6
10　测试报告内容 …… 6
10.1　测试信息 …… 6
10.2　测试曲线 …… 7
10.3　不确定度 …… 7
10.4　测试结果汇总 …… 7
附录 A（资料性附录）　高低电压穿越组合测试内容 …… 8
附录 B（资料性附录）　有功功率、无功功率和电压测量 …… 9
附录 C（资料性附录）　测试报告格式样本 …… 11
附录 D（资料性附录）　无功电流注入的判定及计算方法 …… 14

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则　第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由国家能源局提出。

本标准由能源行业风电标准化技术委员会风电场并网管理分技术委员会归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院有限公司、中电赛普检验认证（北京）有限公司、国网山西省电力公司电力调度控制中心、国网冀北电力科学研究院、浙江运达风电股份有限公司、东方电气风电有限公司、北京群菱能源科技有限公司。

本标准主要起草人：秦世耀、王瑞明、陈晨、李少林、赵俊屹、白恺、王兵、许国东、孙勇、杜慧成、宋鹏、刘辉、张利、王莹莹、王文卓、郑大周、杨靖、张进滨。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

风电机组高电压穿越测试规程

1 范围

本标准规定了风电机组高电压穿越能力的测试条件、测试内容、测试要求、测试程序和测试报告内容。

本标准适用于风电机组高电压穿越能力的测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风电机组高电压穿越能力　high voltage ride through capability of wind turbine

当电网故障或扰动引起电压升高时，在一定的电压升高范围和时间间隔内，风电机组保证不脱网连续运行的能力。

3.2

风电机组输出端　wind turbine terminals

风电机组与功率汇集系统的连接点，测试时由制造商指定。

3.3

测试点　test point

电压升高的产生点，为电压升高发生装置与机组变压器的连接点。

3.4

电压升高发生装置　voltage swell generator

在测试点产生满足测试要求电压升高的试验设备。

3.5

恢复时间　recovery time

从电网电压恢复至正常值开始，至风电机组输出有功功率恢复到实际风况对应输出功率所需的时间。

3.6

电压升高幅值　magnitude of voltage swell

电压升高期间线电压最大值与额定值的比值，以标幺值或百分比表示。

3.7

空载测试　no-load testing

风电机组与电网断开的情况下，电压升高发生装置在测试点产生电网电压升高的测试。

3.8

负载测试　on-load testing

风电机组并网运行的情况下，电压升高发生装置在测试点产生电网电压升高的测试。

3.9

高电压持续时间　duration of voltage swell

从电压升高至设定值时刻开始，至电压恢复至正常运行电压时刻为止所需的时间。

4　符号

本标准使用下列符号：

I_N　　风电机组额定电流

I_T　　无功电流注入有效值

P　　风电机组有功功率输出

P_N　　风电机组额定功率

R　　电阻

X　　电抗

Z_r　　限流阻抗

Z_c　　升压阻抗

R_s　　升压阻尼电阻

5　高电压穿越

5.1　测试用例

风电机组高电压穿越测试用例见图 1。

当电网发生故障或扰动引起测试点电压升高时，风电机组测试点各线电压（相电压）在图 1 中电压轮廓线及以下的区域内时，风电机组必须保证不脱网连续运行；否则，允许风电机组切出。

图 1　风电机组高电压穿越测试用例

风电机组具有在测试点电压为 130%额定电压时能够保证不脱网连续运行 200ms 的能力；
风电机组具有在测试点电压为 125%额定电压时能够保证不脱网连续运行 1000ms 的能力；
风电机组具有在测试点电压为 120%额定电压时能够保证不脱网连续运行 2000ms 的能力；
风电机组具有在测试点电压为 115%额定电压时能够保证不脱网连续运行 10s 的能力；
风电机组具有在测试点电压为 110%额定电压时能够保证不脱网连续运行的能力。

5.2　电压升高类型及考核电压

针对不同电压升高类型的考核电压见表 1。

表 1　风电机组电压升高类型及考核电压

电压升高类型	考核电压
三相对称电压升高	风电机组测试点线电压
两相不对称电压升高	风电机组测试点线电压

5.3　有功恢复

对电压升高期间没有切出电网的风电机组，其有功功率在电压恢复后应快速恢复至实际风况对应的输出功率。

5.4　动态无功支撑能力

当风电机组测试点电压处于额定电压的 110%～130%区间内时，风电机组应能够自测试点电压升高出现的时刻起快速响应，通过无功电流注入支撑电压恢复。

6　测试条件

测试时应满足以下条件：

a）　测试点的短路容量至少应为风电机组额定容量的 3 倍；

b）　风电机组高电压穿越能力测试的测试点位于机组升压变压器的高压侧；

c）　电压升高造成的风电场中压电网母线电压偏差应在当地电网允许的电压偏差范围内。

7　测试内容

7.1　电压升高

风电机组高电压穿越测试的电压升高见表 2。当风电机组有功功率输出分别在以下范围内时，测试风电机组对电压升高时的响应特性：

a）　大功率输出，$P>0.9P_N$；

b）　小功率输出，$0.1P_N \leqslant P \leqslant 0.3P_N$。

表 2 中规定的电压升高为空载测试时测试点的电压升高情况。对表 2 中列出的各种电压升高，分别在三相电压升高和两相电压升高情况下测试。

表 2　风电机组高电压穿越测试的电压升高

序号	电压升高幅值标幺值	电压升高持续时间 ms	电压升高波形
1	1.10+0.02	10000±20	
2	1.15±0.02	10000±20	
3	1.20±0.02	2000±20	
4	1.25±0.02	1000±20	
5	1.30±0.02	200±20	

为满足风电机组高电压穿越特性模型仿真验证等工作的需要，现场测试时可由测试机构与风电机组制造商协商确定其他电压升高。

7.2 测试数据

在电压升高发生前 5s 至电网电压恢复正常后至少 10s 的时间范围内，应采集以下数据：

a） 测试点三相电压、电流；

b） 电压升高过程中流经升压阻抗的电流；

c） 风电机组输出端的三相电压、电流；

d） 风速；

e） 桨距角；

f） 发电机转速。

测试时可采集下列数据：

a） 发电机定子及转子三相电压、电流；

b） 变流器电网侧及发电机侧三相电压、电流；

c） 风电机组并网开关状态；

d） 变流器直流母线电压。

7.3 高低电压穿越组合测试

高低电压穿越组合测试内容可参照附录 A。

8 测试要求

8.1 电压升高发生装置

利用阻容分压原理在测试点产生电压升高的电压升高发生装置见图 2。对于通过 35kV 及以下电压等级变压器与电网相连的风电机组，电压升高发生装置串联接入风电机组升压变压器高压侧。

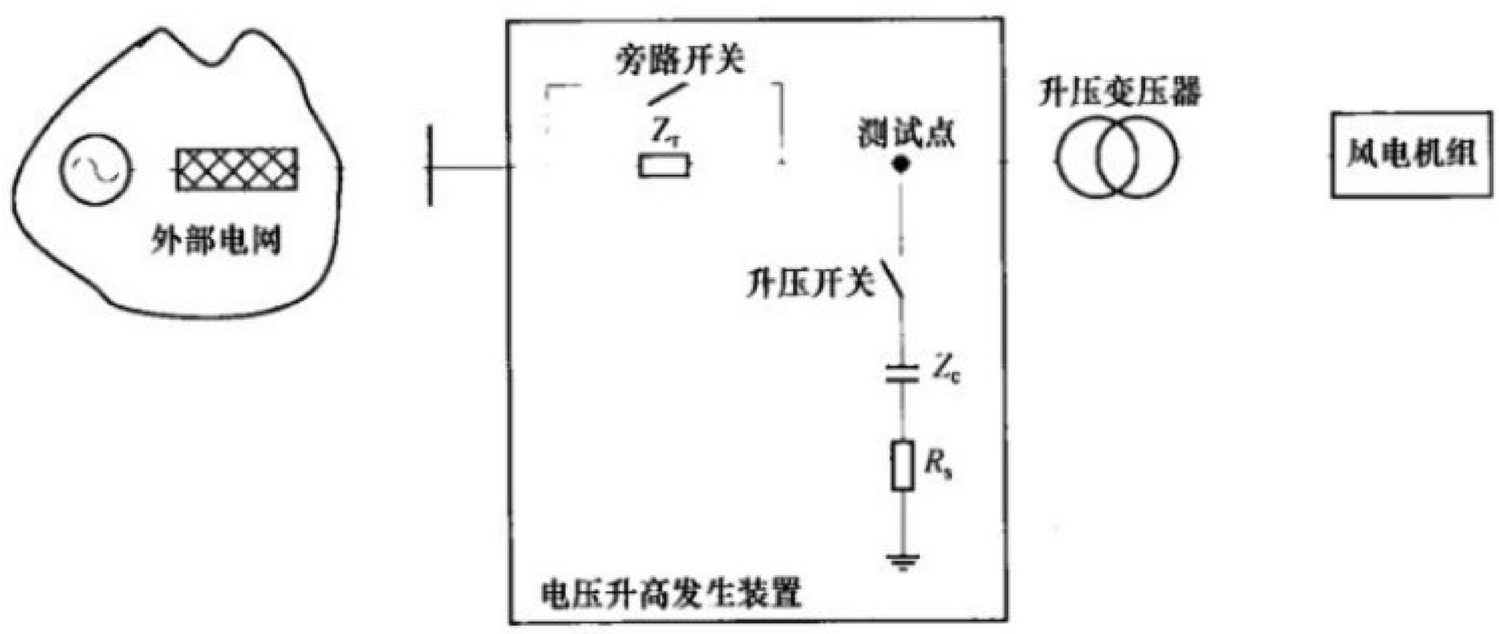


图 2 电压升高发生装置示意图

图 2 中限流阻抗 Z_T 用于限制电压升高对电网及风电场内其他在运行风电机组的影响。在电压升高发生前后，限流阻抗可利用旁路开关短接。

图 2 中，闭合升压开关，将升压阻抗 Z_C 和升压阻尼电阻 R_S 组成支路的三相或两相连接在一起，在测试点产生要求的电压升高。

利用电压升高发生装置进行空载测试时，产生的电压升高容许误差见图 3。

升压开关应能精确控制所有三相或两相电路中升压阻抗和升压阻尼电阻的投入及切除时间，产生的电压升高时间误差应在图 3 所示容许误差范围内。

限流阻抗的 X/R 均应大于 10。

注：其他原理的电压升高发生装置可参照执行。

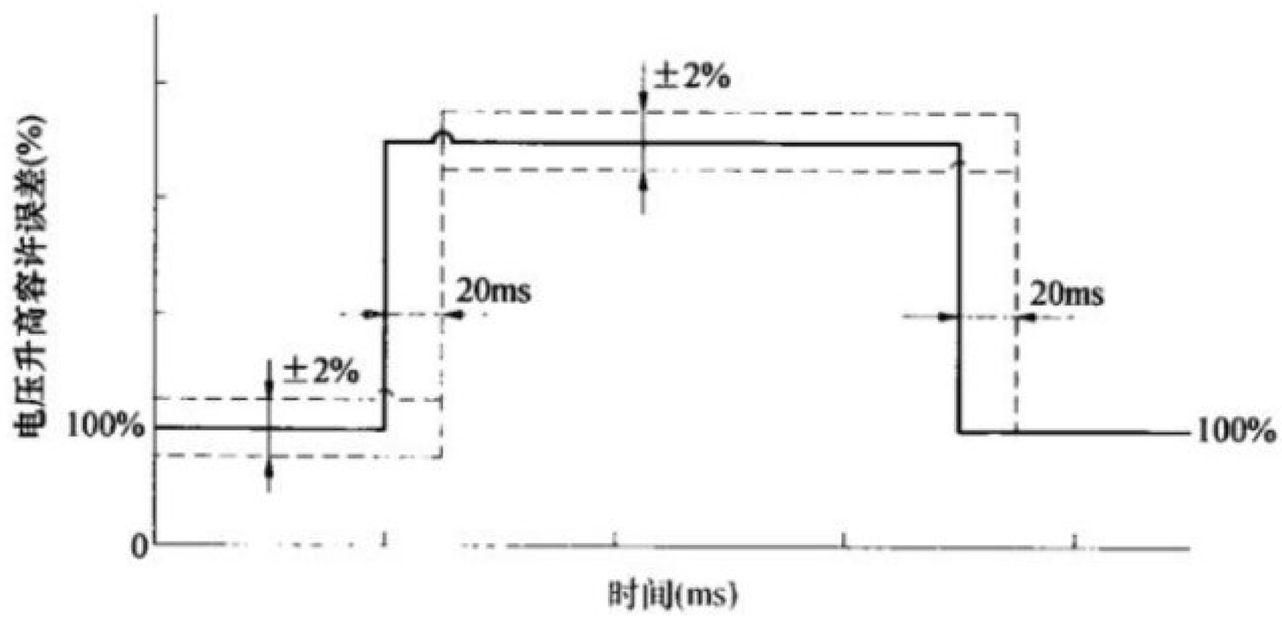


图 3　空载测试时电压升高容许误差

8.2　电功率测量

风电机组高电压穿越测试电功率测量设备包括电压传感器、电流传感器和数据采集系统等。电功率测量设备的精度要求见表 3。

数据采集系统用于测试数据的记录、计算及保存。数据采集系统每个通道采样率最小为 5kHz，分辨率至少为 12bit。

表 3　电功率测量设备的精度要求

设　备	精　度　要　求
电压传感器	0.5 级
电流传感器	0.5 级
数据采集系统	0.2 级

8.3　非电量测量

风电机组高电压穿越测试时风速信号可由机舱风速计获取，风速计的精度应在±0.5m/s 内。桨距角和发电机转速信号可从风电机组控制系统中读取。

9　测试程序

9.1　空载测试

风电机组处于脱网状态时，按照以下步骤进行空载测试：

a）断开风电机组升压变压器与电压升高发生装置的连接开关；

b）断开旁路开关，投入限流阻抗；

c）闭合升压开关，投入升压阻抗，在测试点产生电压升高；

d）断开升压开关，退出升压阻抗；

e）闭合旁路开关，退出限流阻抗，电网电压恢复正常。

电压升高持续时间为升压开关闭合、断开之间的间隔时间，测试时按照表 2 设置电压升高幅值及持续时间。

空载测试时电压升高应满足图 3 所示容许误差的要求。

注：空载测试为确定电压升高幅值、持续时间等参数。

9.2 负载测试

风电机组处于并网运行时，按照以下步骤进行负载测试：

a） 断开旁路开关，投入限流阻抗；

b） 闭合升压开关，投入升压阻抗，在测试点产生电压升高；

c） 断开升压开关，退出升压阻抗；

d） 闭合旁路开关，退出限流阻抗，电网电压恢复正常。

负载测试时按照表 2 设置电压升高幅值及持续时间，负载测试的限流阻抗、升压阻抗及升压阻尼电阻阻值应与空载测试保持一致。负载测试的测试内容见 7.2。

9.3 结果判定

风电机组高电压穿越测试结果判定原则如下：

a） 对 7.1 中规定的每种电压升高，风电机组应连续通过两次负载测试。

b） 测试时风电机组高电压穿越能力的判定内容为风电机组的有功功率恢复和无功电流注入情况；风电机组高电压穿越测试的功率恢复和无功电流注入判定的考核点为测试点。

c） 风电机组高电压穿越测试的有功功率、无功功率和电压测量的推荐计算方法参见附录 B，有功功率恢复时间为电压恢复时刻至风电机组输出实际风况对应的输出功率时刻。

d） 风电机组高电压穿越测试的无功电流注入仅在测试报告中给出测试结果，无功电流注入测试结果汇总表参见附录 C，无功电流注入的判定及计算方法参见附录 D。

e） 风电机组连续通过 7.1 中规定的所有电压升高的负载测试时，判定风电机组具备标准要求的高电压穿越能力。

f） 高电压穿越测试过程中，更换发电机、变流器、主控制系统、变桨控制系统和叶片等机组关键零部件或更改控制系统软件及参数，如对测试结果产生影响，则已完成的测试项目无效，风电机组需要重新检测。

10 测试报告内容

10.1 测试信息

风电机组高电压穿越测试报告中应包括以下信息：

a） 测试项目基本信息；

b） 风电机组及机组升压变压器信息；

c） 风电机组主要零部件信息；

d） 测试场地和电网连接情况描述；

e） 测试期间风电机组的检修、调整情况；

f） 测试设备描述；

g） 测量及分析软件描述；

h） 测试内容；

i） 测试设备校准证书；

j） 报告中参数、符号说明；

k） 报告编写、审查、批准及签发日期等信息。

以上内容可由图表方式给出，测试报告格式样本参见附录 C。

10.2 测试曲线

参照附录 B 对测试数据进行分析处理。测试报告中空载测试应给出测试点电压值曲线，负载测试应给出以下曲线：

——测试点线电压有效值曲线；

——测试点和风电机组输出端线电压基波正序分量曲线；

——测试点和风电机组输出端有功电流和无功电流曲线；

——测试点和风电机组输出端有功功率和无功功率曲线；

——测试点线电压基波正序分量和风速时序曲线；

——测试点线电压基波正序分量和发电机转速时序曲线；

——测试点线电压基波正序分量和桨距角时序曲线。

10.3 不确定度

按照 JJF 1059.1 分别对测试点和风电机组输出端的测试数据进行不确定度评估，得到综合标准不确定度。

10.4 测试结果汇总

测试报告中应给出测试结果汇总信息，测试结果汇总信息表参见附录 C.3。

附 录 A
（资料性附录）
高低电压穿越组合测试内容

风电机组进行高低电压穿越组合测试的电压变化见表 A.1。当风电机组有功功率输出分别在以下范围内时，测试风电机组对高低电压穿越的响应特性：

——大功率输出，$P>0.9P_N$；

——小功率输出，$0.1P_N \leqslant P \leqslant 0.3P_N$。

表 A.1 中规定的高低电压穿越为空载测试时测试点的电压跌落及升高情况。对表 A.1 中列出的各种电压跌落及升高，分别在三相电压跌落及升高和两相电压跌落及升高情况下测试。

表 A.1 电压跌落及升高

序号	电压跌落幅值标幺值	电压跌落持续时间 ms	电压升高幅值标幺值	电压升高持续时间 ms	电压跌落及升高波形
1	0.20±0.05	625±20	1.30±0.02	200±20	
2	0.50±0.05	1214±20	1.20±0.02	2000±20	
3	0.75±0.05	1705±20	1.15±0.02	10000±20	

风电机组高低电压穿越组合测试的测试数据与 7.2 相同。

附 录 B
（资料性附录）
有功功率、无功功率和电压测量

本附录给出了基于瞬时电压及电流测量值计算基波正序分量的有功功率、无功功率、有功电流、无功电流和电压的推荐方法。

测量电压及电流的基波正序分量时需要高采样速率的多通道数据记录仪。为防止出现相位误差，所有输入电压及电流、模拟抗混叠滤波器（低通滤波器）应具有相同的频率响应。此外，基波频率下由抗混叠滤波器引起的幅值误差应可以忽略不计。

测量相电压及相电流后，首先计算一个基波周期内基波分量的傅里叶系数。（这里仅给出 a 相电压 u_a 的计算等式，其他相电压及电流的计算方法与之相同）。

$$u_{a,\cos}=\frac{2}{T}\int_{t-T}^{t}u_a(t)\cos(2\pi f_1 t)\mathrm{d}t \tag{B.1}$$

$$u_{a,\sin}=\frac{2}{T}\int_{t-T}^{t}u_a(t)\sin(2\pi f_1 t)\mathrm{d}t \tag{B.2}$$

式中：

f_1——基波频率。

其基波相电压有效值为：

$$U_{a1}=\sqrt{\frac{u_{a,\cos}^2+u_{a,\sin}^2}{2}} \tag{B.3}$$

利用式（B.4）～式（B.7）计算基波正序分量的电压及电流矢量分量：

$$u_{1+,\cos}=\frac{1}{6}\left[2u_{a,\cos}-u_{b,\cos}-u_{c,\cos}-\sqrt{3}(u_{c,\sin}-u_{b,\sin})\right] \tag{B.4}$$

$$u_{1+,\sin}=\frac{1}{6}\left[2u_{a,\sin}-u_{b,\sin}-u_{c,\sin}-\sqrt{3}(u_{b,\cos}-u_{c,\cos})\right] \tag{B.5}$$

$$i_{1+,\cos}=\frac{1}{6}\left[2i_{a,\cos}-i_{b,\cos}-i_{c,\cos}-\sqrt{3}(i_{c,\sin}-i_{b,\sin})\right] \tag{B.6}$$

$$i_{1+,\sin}=\frac{1}{6}\left[2i_{a,\sin}-i_{b,\sin}-i_{c,\sin}-\sqrt{3}(i_{b,\cos}-i_{c,\cos})\right] \tag{B.7}$$

则基波正序分量的有功功率和无功功率为：

$$P_{1+}=\frac{3}{2}(u_{1+,\cos}i_{1+,\cos}+u_{1+,\sin}i_{1+,\sin}) \tag{B.8}$$

$$Q_{1+}=\frac{3}{2}(u_{1+,\cos}i_{1+,\sin}-u_{1+,\sin}i_{1+,\cos}) \tag{B.9}$$

基波正序分量的线电压有效值为：

$$U_{1+}=\sqrt{\frac{3}{2}(u_{1+,\sin}^2+u_{1+,\cos}^2)} \tag{B.10}$$

基波正序分量的有功电流及无功电流有效值为：

$$I_{P1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{3}U_{1+}} \tag{B.11}$$

$$I_{Q1+} = \frac{Q_{1+}}{\sqrt{3}U_{1+}} \tag{B.12}$$

基波正序分量的功率因数为：

$$\cos\varphi_{1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{P_{1+}^2 + Q_{1+}^2}} \tag{B.13}$$

附 录 C
（资料性附录）
测试报告格式样本

C.1 基本信息

测试项目基本信息见表 C.1。

表 C.1 测试项目基本信息

风电机组制造商名称	
风电机组型号	
风电场名称	
测试机构名称	
测试地点	
测试周期	
测试标准	
报告编号	

C.2 风电机组及机组升压变压器

风电机组基本信息见表 C.2，风电机组主要零部件信息见表 C.3，风电机组升压变压器额定数据见表 C.4。

表 C.2 风电机组基本信息

风电机组类型 （水平轴/垂直轴）	
风电机组序列号	
叶片数目	
风轮直径 m	
轮毂高度 m	
叶片控制（变桨/失速）	
速度控制（定速/变速）	
额定功率 kW	
额定风速 m/s	
额定视在功率 kVA	
额定电流 A	
额定电压 V	
额定频率 Hz	

表 C.3　风电机组主要零部件信息

部件名称	制造商	类型	型号	序列号/ 软件版本号	额定功率
发电机					
变流器 IGBT ……					
主控制系统					
变桨控制系统					
叶片					
与高电压穿越能力相关的其他部件					

表 C.4　风电机组升压变压器额定数据

额定视在功率 kVA	
额定电压（高压侧） V	
额定电压（低压侧） V	
短路阻抗 %	
负载损耗 kW	

C.3　测试结果汇总

有功功率恢复及无功电流注入测试结果汇总见表 C.5 和表 C.6。

表 C.5　有功功率恢复测试结果汇总表

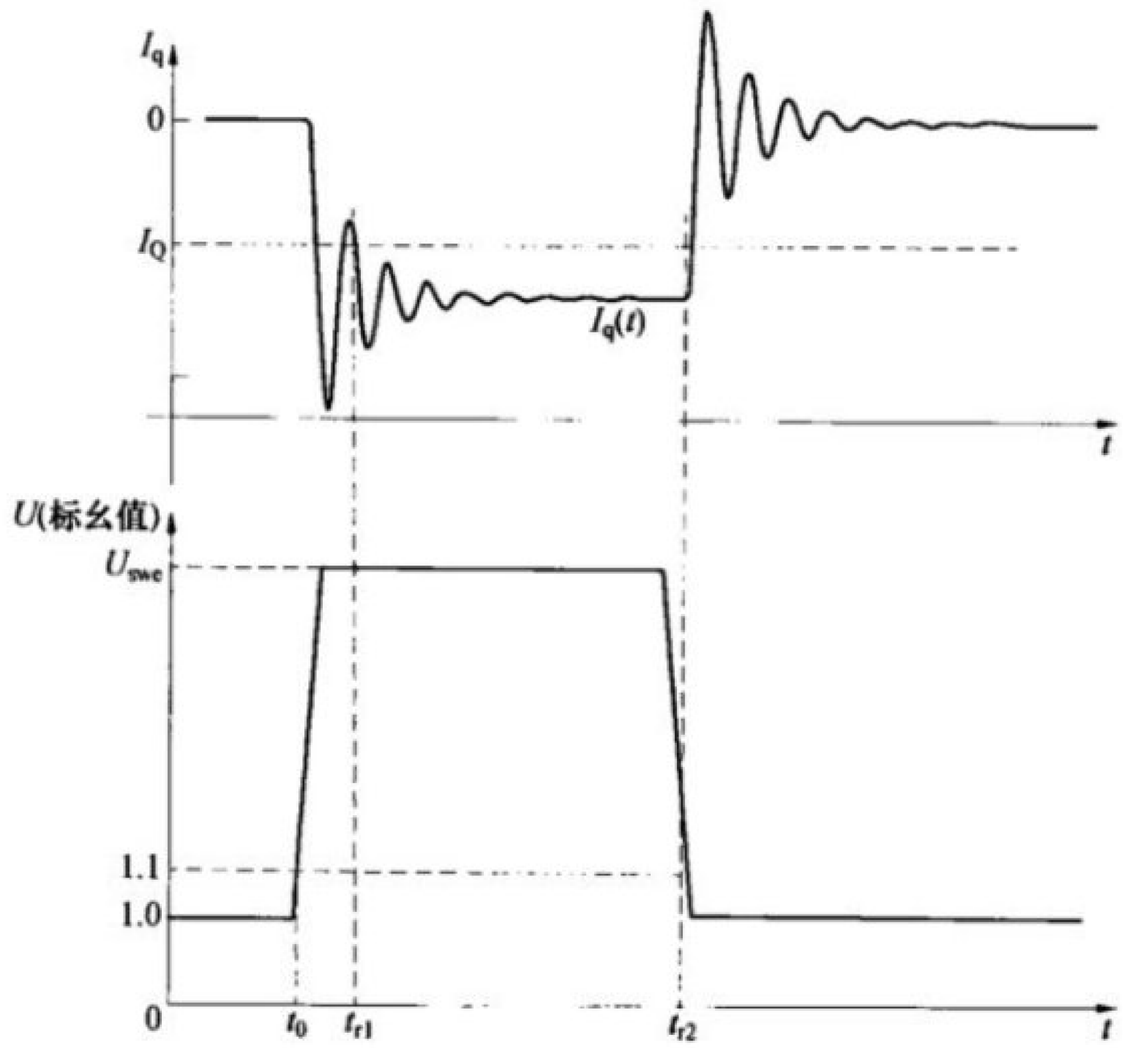
故障类型	故障前有功功率 标幺值	电压升高幅值 标幺值	电压升高持续时间 s	有功功率恢复 时间 s	风电机组是否 脱网
…	…	…	…	…	…

表 C.6　无功电流注入测试结果汇总表

故障类型	故障前有功功率标幺值	电压升高幅值标幺值	电压升高持续时间 s	无功电流响应时间 ms	无功电流持续时间 ms	无功电流稳态均值标幺值
…	…	…	…	…	…	…

附 录 D
（资料性附录）
无功电流注入的判定及计算方法

电压升高期间风电机组无功电流注入的判定见图 D.1。



图中：

I_Q——无功电流注入参考值的 90%；

I_q（t）——t 时刻风电机组无功电流；

I_q——电压升高期间风电机组无功电流有效值；

t_0——电压升高至 1.1 倍标幺值开始时刻；

t_{r1}——电压升高期间风电机组无功电流注入持续大于 I_Q 的起始时刻；

t_{r2}——电压升高期间风电机组无功电流注入持续大于 I_Q 的结束时刻；

U_{swe}——测试点电压升高标幺值。

图 D.1 风电机组无功电流注入的判定示意图

电压升高期间风电机组无功电流注入时间的计算公式如下：

无功电流注入响应时间：

$$t_{res} = t_{r1} - t_0 \tag{D.1}$$

无功电流注入持续时间：

$$t_{last} = t_{r2} - t_{r1} \tag{D.2}$$

无功电流注入平均值：

$$I_{av} = \frac{\int_{t_{r1}}^{t_{r2}} I_q(t)\mathrm{d}t}{t_{r2} - t_{r1}} \tag{D.3}$$

NB / T 31111 — 2017

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
风电机组高电压穿越测试规程
NB / T 31111 — 2017
*
中国电力出版社出版、发行
（北京市东城区北京站西街 19 号　100005　http://www.cepp.sgcc.com.cn）
北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷
*
2018 年 5 月第一版　　2018 年 5 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米　16 开本　1 印张　29 千字
印数 001—500 册
*
统一书号 155198 · 734　定价 **13.00** 元

版 权 专 有　侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

中国电力出版社官方微信　电力标准信息微信
为您提供*最及时、最准确、最权威*的电力标准信息

155198.734