

ICS 29.020

P 72

备案号: J2877-2021



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3208—2020

石油化工电气系统电阻接地设计规范

Design specification for resistance grounding of electrical system in
petrochemical industry



2020-08-31 发布

2021-01-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 中性点电阻接地方式选用原则	2
4.1 电阻接地方式	2
4.2 设备绝缘水平和保护	2
5 中性点接地设备	3
5.1 接地电阻	3
5.2 接地变压器（Z型接地变压器）	4
5.3 电流互感器	4
附录 A（资料性附录） 电容电流的计算公式和方法	5
附录 B（资料性附录） 变压器过载能力	8
参考文献	9
本规范用词说明	10
附：条文说明	11

Contents

Foreword	III
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions	1
4 Selection principle of neutral resistance grounding mode	2
4.1 Grounding resistance modes	2
4.2 Insulation level of equipment and protection	2
5 Neutral grounding equipment	3
5.1 Grounding resistance	3
5.2 Grounding transformer (Z-Type transformer)	4
5.3 Current transformer	4
Annex A (Informative) Calculation formulas and methods of capacitive current	5
Annex B (Informative) Overload capability of transformer	8
Bibliography	9
Explanation of wording in this standard (specification)	10
Add: Explanation of article	11

前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《2017年第三批行业标准制修订计划》(工信厅科〔2017〕106号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规范。

本规范共分5章和2个附录。

本规范的主要技术内容是:电气系统中性点接地电阻的有关名词术语、中性点接地电阻的一般要求、中性点接地电阻的具体要求,提出石化电力系统电容电流的计算方法,校验过电压水平,合理、正确地选择中性点接地电阻单元以及与电气系统中性点接地电阻配套所需的接地变压器、电流互感器的选择要求等。

本规范由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司电气设计技术中心站负责日常管理,由中国石化工程建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位。

本规范日常管理单位:中国石油化工集团公司电气设计技术中心站

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码:100101

电 话:010-84876605

传 真:010-84878825

本规范主编单位:中国石化工程建设有限公司

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码:100101

本规范参加单位:中国石化股份有限公司镇海炼化分公司、安徽新在线科技股份有限公司、中石化广州工程有限公司、中韩(武汉)石油化工有限公司、华陆工程科技有限责任公司

本规范主要起草人员:黄旭 张军梁 郭道胜 张建 李盖洋 高常明 张嘉嘉

本规范主要审查人员:甘家福 王财勇 葛春玉 袁学群 王树国 李玲 李恒 齐青

叶阳 赵永明 周勇 陈河江 李英伟 张昊 刘正意 冒海峰

侯文斌 索仁华 徐文良 周容代 杭明 陈立平 毛卫华 涂让见

吕隆壮 孙树元 宋广旭 王建国 袁显洁 高苏华 王宗信 邱玲

卢成生 马英 周晓松 唐秀丽

本规范2020年首次发布。

石油化工电气系统电阻接地设计规范

1 范围

本规范规定了 6kV~35kV 电压等级的中压配电系统中性点电阻接地方式的选用技术原则，并给出电阻装置及其配套接地变压器、电流互感器等设备的配置原则。

本规范适用于石油炼制、石油化工及以煤为原料制取燃料和化工产品的企业新建、扩建或改建工程的配电系统中性点接地电阻的设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范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规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB/T 2900.12 电工术语 避雷器、低压电涌保护器及元件

GB/T 50064—2014 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范

DL/T 294.2 发电机灭磁及转子过电压保护装置技术条件 第 2 部分：非线性电阻

3 术语和定义

GB/T 2900.12、GB/T 50064 和 DL/T 294.2 界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1

高电阻接地系统 **high-resistance grounded**

系统中性点经过一定阻值的电阻接地，一般限制单相接地故障电流小于 10A。高电阻接地系统的设计应符合 R_0 小于或等于 X_{C0} (R_0 是系统等值零序电阻， X_{C0} 是系统每相的对地分布容抗) 的准则，以限制由于间歇性电弧接地故障产生的瞬态过电压。

3.2

低电阻接地系统 **low-resistance grounded**

系统中性点经过一定阻值的电阻接地，低电阻的选择应使系统发生接地故障时，有足够电流满足继电保护快速性和选择性的要求，一般限制单相接地故障电流为 100A~1000A。对于一般系统，限制瞬态过电压的准则是 (R_0/X_0) 大于或等于 2，其中 X_0 为系统等值零序感抗。

3.3

非线性电阻接地系统 **non-linear resistance grounded**

系统中性点经过非线性电阻接地，非线性电阻选择应使系统发生接地故障和谐振时，系统过电压低于安全值，同时有足够的电流满足继电保护快速性和选择性的要求。

3.4

单相接地故障电容电流 **single-phase grounding capacitive current**

系统中性点不接地时，发生系统单相金属性接地而流过故障点的故障电流，它在数值上等于系统的电容电流 ($3U_n/X_{C0}$)。

3.5

金属氧化物非线性电阻 non-linear metal-oxide resistor

由于其具有非线性伏安特性，在过电压时呈低电阻，从而限制其端子间的过电压，而在正常工频电压下呈现高电阻。

3.6

非线性电阻的压比 voltage ratio of a non-linear varistor

非线性电阻片的标称放电电流下的残压（峰值）与其压敏电压（峰值）之比。

3.7

标称压敏电压 nominal varistor voltage

在规定脉冲电流及其持续时间下测得的金属氧化物非线性电阻片两端的电压。

注：电流值由 MOV 的制造商规定，否则，常选 1mA。除非另有规定，脉冲持续应小于 40ms。通常，制造商规定的标称值有±10%误差。

3.8

（非线性电阻）荷电率 (non-linear resistance) ratio of peak voltage

在规定条件下，非线性电阻承受最大持续运行电压（峰值）与其压敏电压之比。

3.9

（非线性电阻）额定标称容量 (non-linear resistance) nominal capacity of energy

非线性电阻元件或装置在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 室温条件下受到脉宽不大于 1s 的三角波电流冲击 20 次后，且能够满足允许的压敏电压变化率不大于 10% 的阀片容量值。

4 中性点电阻接地方式选用原则

4.1 电阻接地方式

4.1.1 6kV和10kV配电系统以及发电厂厂用电系统，当单相接地故障电容电流不大于7A时，可采用中性点高电阻接地方式，故障总电流不应大于10A。

4.1.2 发电机额定电压6.3kV及以上的系统，当发电机内部发生单相接地故障要求瞬时切机时，宜采用中性点高电阻接地方式，电阻器可接在发电机中性点变压器的二次绕组上。

4.1.3 6kV~35kV 电压等级主要是由电缆线路组成的配电系统、发电和供电一体的系统或发电和配电一体的系统，当单相接地故障电容电流大于 10A 时，可采用低电阻接地方式。系统电容电流的计算参见本规范附录 A。

4.1.4 10(6)kV电缆和架空混合型配电系统，采用中性点经低电阻接地方式时，应采取下列措施：

- a) 提高架空线路绝缘化程度，降低单相接地跳闸次数；
- b) 完善线路分段和联络，提高负荷转供能力；
- c) 合理降低配电网设备、设施的接地电阻，将单相接地时的跨步电压和接触电压控制在规定范围内。

4.1.5 6kV和10kV配电系统采用中性点经低电阻接地方式时，宜将接地电流限制在1000A以内。

4.1.6 35kV 配电系统采用中性点经低电阻接地方式时，宜将接地电流限制在 2000A 以内。

4.2 设备绝缘水平和保护

4.2.1 采用低电阻接地方式时，系统设备的绝缘水平应符合GB/T 50064—2014中表6.4.6-1的有关规定。

4.2.2 采用低电阻接地方式的6kV~35kV系统，安全性校核（接触电压、跨步电压）应符合GB/T 50065—2011中4.2.2条的有关规定。

4.2.3 采用电阻接地方式的架空线路宜采用绝缘导线，减少瞬时性接地故障，并应采取相应的防雷击断线措施。

5 中性点接地设备

5.1 接地电阻

5.1.1 接地电阻包含：线性电阻（高电阻、低电阻）和非线性电阻。

5.1.2 接地电阻材质可选用具有稳定特性的材料制成，这种材料可以是金属材料（如不锈钢等），也可以是非金属材料（如氧化锌等），但都应确保其在工作时的电气和机械稳定性。

5.1.3 额定电压应为： $6/\sqrt{3}$ kV、 $10/\sqrt{3}$ kV、 $20/\sqrt{3}$ kV、 $35/\sqrt{3}$ kV。

注：根据要求标称电压也可作为上述数据的 1.1 倍或 1.2 倍。

5.1.4 线性接地电阻

5.1.4.1 中压配电系统中性点经低电阻接地方式接地电阻值的选择，在综合考虑并满足单相接地继电保护可靠性和过电压绝缘配合的前提下宜选用较大值，减轻对通信的影响，降低接地装置的接触电位差、跨步电位差和降低电阻器的发热容量。电阻值的选择宜限制金属性单相接地短路电流在 200A~600A 的范围内。

5.1.4.2 中性点低电阻值选择范围宜满足下列要求：

——6kV 系统， $6\Omega\sim 20\Omega$ ；

——10kV 系统， $10\Omega\sim 30\Omega$ ；

——20kV 系统， $20\Omega\sim 60\Omega$ ；

——35kV 系统， $35\Omega\sim 110\Omega$ 。

5.1.4.3 中性点接地电阻装置在选择和运行中应符合下列规定：

a) 接地电阻装置宜采用不锈钢合金钢型电阻器，接地电阻装置的热容量应考虑继电保护后备保护的動作时间以及断路器的動作时间并留有一定的裕度。宜选择热稳定时间 10s，温升不应超过 760K；计算接地电阻装置长期通流值的电压取值，按照中性点位移电压不超过系统标称相电压的 5% 选取，接地电阻装置的长时间运行温升不应超过 385K。接地电阻装置中固定电阻用的夹件和支撑件均应能耐受相应的温度。

b) 线性接地电阻材料的温度系数不应超过 $2.0\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 。10s 温升试验时，初始电流应控制在额定发热电流的 $\pm 10\%$ 以内。

c) 接地电阻装置绝缘水平应按照相应电压等级的要求选择；

d) 接地电阻回路中宜设置中性点电流监测或接地电阻温升检测装置。

5.1.5 非线性接地电阻

5.1.5.1 额定电压见本规范 5.1.3 条的要求。

5.1.5.2 额定标称容量不应小于表 5.1.5.2 的规定值。

表 5.1.5.2 额定标称容量

额定电压, kV	6	10	20	35
额定标称容量, kJ	3250	5750	10800	22500

5.1.5.3 金属氧化物非线性电阻片的非线性电阻的压比应小于或等于 1.4。

5.1.5.4 金属氧化物非线性电阻片出厂时的泄漏电流应小于 $50\mu\text{A}$ 。

5.1.5.5 使用时，金属氧化物非线性电阻片的荷电率不应大于 60%。

5.1.5.6 金属氧化物非线性电阻片的串并联后均能系数不应小于 90%。

5.2 接地变压器（Z 型接地变压器）

5.2.1 电阻接地系统用接地变压器安装位置及接线方式应满足下列要求：

- a) 接地变压器应通过隔离开关接至主变压器次级首端，与主变压器同时投入或退出运行，不应兼做所用变压器。接地变压器全回路处于主变压器的差动保护范围内，线路和母线发生接地故障时，主变压器回路和接地变压器回路的 CT 均有零序电流流过，主变压器差动保护应剔除或躲过该部分的零序电流。接地变压器为 Z 型接线，其高压侧电流互感器的二次回路的接线方式应与之相配合。
- b) 接地变压器应通过断路器接至母线，可兼做所用变压器。线路和母线发生接地故障时，主变压器回路的 CT 无零序电流流过，只有接地变压器、电阻和线路 CT（线路故障时）有零序电流流过，接地变压器零序保护可作线路故障后备保护。开关、母线等裸露的带电部分应采用热塑材料加以封闭以尽量减少这部分设备的故障可能性。
- c) 不应采用几个中性点合用一个接地电阻的接线方式。

5.2.2 电阻接地系统用接地变压器不兼作所用变压器时，容量应按接地故障时流过接地变压器电流对应容量的 1/10.5 选取；接地变压器兼作所用变压器时，其容量还应加上所用负荷容量。变压器的短时允许过载系数参见本规范附录 B。

5.3 电流互感器

5.3.1 低电阻接地系统的电流互感器，可根据需要，接在电阻器和地之间或者接在中性点和电阻器之间。

5.3.2 电流互感器一次电流选择应使在额定电流比条件下的二次电流满足该回路测量仪表和保护装置准确性要求。

5.3.3 变压器低压侧中性点经低电阻接地，其零序电流互感器额定一次电流宜按大于 40% 系统接地电阻电流值选择，其复合误差不应超过规定值。

5.3.4 系统为低电阻接地方式时，电动机及其他馈出线回路可采用电缆型零序电流互感器。

5.3.5 电缆型零序电流互感器铁心可采用整体式或分体式结构，互感器内径应大于所接电力电缆外径，并留有安装裕量。

5.3.6 电流互感器额定二次电流宜采用 1A，当有利于互感器制造或当有利于工程扩建，以及某些情况下为降低电流互感器二次开路电压，额定二次电流也可采用 5A。

附 录 A
(资料性附录)
电容电流的计算公式和方法

A. 1 电缆、架空线电容电流计算

A. 1.1 电缆线路的单相接地电容电流应按下列公式计算。

a) 6kV 电缆线路按式 (A.1.1-1) 计算。

$$I_c = \frac{95 + 2.84S}{2200 + 6S} U_r L (\text{A}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1.1-1})$$

b) 10kV 电缆线路按式 (A.1.1-2) 计算。

$$I_c = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} U_r L (\text{A}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1.1-2})$$

c) 电缆线路的单相接地电容电流也可按式 (A.1.1-3) 计算。

$$I_c = 0.1 U_r L (\text{A}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1.1-3})$$

式中:

I_c —— 接地电容电流, A;

S —— 电缆芯线的标称截面, mm^2 ;

U_r —— 线路额定线电压, kV;

L —— 线路长度, km。

A. 1.2 架空线路的单相接地电容电流应按下列公式计算。

a) 无架空地线单线路按式 (A.1.2-1) 计算。

$$I_c = 2.7 U_r L \times 10^{-3} (\text{A}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1.2-1})$$

b) 有架空地线单线路按式 (A.1.2-1) 计算。

$$I_c = 3.3 U_r L \times 10^{-3} (\text{A}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1.2-2})$$

c) 架空线路的单相接地电容电流也可按下式计算:

$$I_c = \frac{U_r L}{350} (\text{A}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1.2-3})$$

式中:

I_c —— 接地电容电流, A;

S —— 电缆芯线的标称截面, mm^2 ;

U_r —— 线路额定线电压, kV;

L —— 线路长度, km。

A. 1.3 交联聚乙烯电缆电容电流计算

对于电缆线路的电容电流, 若要进行较为精确的估计, 可以参考表 A.1.3 中的数据进行。

表 A.1.3 交联聚乙烯电缆线路电容电流平均值

电缆芯截面, mm ²	额定电压, kV			
	6	10	20	35
	电容电流平均值, A/km			
25	0.65	0.85	—	—
35	0.72	1.03	1.82	—
50	0.79	1.08	2.01	2.31
70	0.92	1.20	2.25	2.52
95	1.03	1.37	2.48	2.73
120	1.10	1.48	2.68	2.94
150	1.20	1.60	2.88	3.15
185	1.30	1.71	3.14	3.36
240	1.44	1.94	3.46	3.77
300	1.61	2.11	3.74	3.98
400	1.89	2.46	4.16	4.40
500	2.06	2.69	4.66	4.82
630	2.26	2.97	—	5.24

A.2 同步电动机电容电流计算

A.2.1 6(10)kV同步电动机定子线圈的单相接地电容电流,一般需制造厂提供,下列计算可作参考。

a) 隐极式同步电动机电容电流按式(A.2.1-1)计算:

$$I_{CM} = \frac{2.5KS_{rM}\omega U_{rM} \times 10^{-3}}{\sqrt{3}U_{rM}(1+0.08U_{rM})} \dots\dots\dots (A.2.1-1)$$

式中:

I_{CM} ——电动机电容电流, A;

K ——决定于绝缘等级的系数,当温度为15℃~20℃时, K 为0.0187;

S_{rM} ——电动机额定容量, MVA;

ω ——电源角频率, ω 等于 $2\pi f$,当 f 等于50Hz时, ω 为 $314s^{-1}$;

U_{rM} ——电动机额定电压, kV。

b) 凸极式同步电动机电容电流按式(A.2.1-2)计算:

$$I_{CM} = \frac{\omega KS_{rM}^{3/4} U_{rM} \times 10^{-6}}{\sqrt{3}(U_{rM} + 3600)n^{1/3}} \dots\dots\dots (A.2.1-2)$$

式中:

I_{CM} ——电动机电容电流, A;

ω ——电源角频率, ω 等于 $2\pi f$,当 f 等于50Hz时, ω 为 $314s^{-1}$;

K ——决定于绝缘等级的系数,对于B级绝缘,当温度为25℃时, K 约为40;

S_{rM} —— 电动机额定容量, MVA;

U_{rM} —— 电动机额定电压, kV。

A.3 变配电设备引起电容电流变化

当考虑变配电设备引起电容电流增值时, 可按表 A.3 取值。

表 A.3 变配电设备引起的电容电流增值系数

额定电压, kV	6	10	15	35
增值系数 α	1.18	1.16	1.15	1.13

附录 B
(资料性附录)
变压器过载能力

B.1 当单相接地故障能够快速消除，在选择中性点接地配电变压器的额定容量时，应考虑其短时过载能力。

B.2 中性点接地配电变压器的短时过载系数可按表 B.2 选取。

表 B.2 中性点接地配电变压器允许短时过载系数

过载持续时间	过载系数
10s	10.5
60s	4.7
10min	2.6
30min	1.9
2h	1.4

参 考 文 献

- [1] GB 50613—2010 城市配电网规划设计规范
 - [2] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合
 - [3] DL/T 584—2017 3kV~110kV 电网继电保护装置运行整定规程
 - [4] DL/T 780—2001 配电系统中性点接地电阻器
 - [5] DL/T 866—2015 电流互感器和电压互感器选择及计算规程
 - [6] DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定
 - [7] JB/T 10777—2018 中性点接地电阻器
 - [8] IEEE Std 142—2007 Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems
 - [9] IEEE C62.92 Guide for the application of neutral grounding in electrical utility systems
-

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本标准（规范、规程）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”。

中华人民共和国石油化工有限公司标准

石油化工电气系统电阻接地设计规范

SH/T 3208—2020

条文说明



2020年 北京

制定说明

《石油化工电气系统电阻接地设计规范》(SH/T 3208—2020)，经工业和信息化部 2020 年 8 月 31 日以第 37 号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国近年来石化行业石油化工电气系统电阻接地设计的实践经验，吸取了科研和电气设备及材料制造上的最新成果，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，并征求了有关设计、施工、科研、管理等方面人员的意见，对其中主要问题进行了多次讨论，最终经审查定稿。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《石油化工电气系统电阻接地设计规范》编制组按章、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 规范性引用文件	14
3 术语和定义	14
4 中性点低电阻接地方式选用原则	14
4.1 电阻接地方式	14
4.2 设备绝缘水平和保护	14
5 中性点接地设备	15
5.1 接地电阻	15
5.2 接地变压器	17
5.3 电流互感器	18

石油化工电气系统电阻接地设计规范

2 规范性引用文件

规定了本规范参考及引用的规范及标准的名录。

3 术语和定义

为执行本规范条文规定时正确理解特定的名词术语含义，特列入了一些与本规范相关的名词术语，便于执行条文规定时查找使用。

4 中性点低电阻接地方式选用原则

4.1 电阻接地方式

4.1.3 6kV~35kV 配电网可以有中性点非有效和中性点有效两种接地方式。当单相接地故障电容电流不大于 10A，可采用中性点不接地方式；当单相接地故障电容电流大于 10A 又需要在接地故障条件下运行时，宜采用中性点谐振接地方式，且残余电流不应大于 10A。当接地电容电流超过 10A 或为全电缆网时，可采用低电阻接地方式。6kV~35kV 系统单相接地故障立即跳闸，电气设备、电缆可采用较低的绝缘水平。配电网中除绝大多数电缆线路外还有少量架空线路且单相接地故障电容电流过大时也适用于本条。

4.1.5~4.1.6 对于 6kV~35kV 配电系统来说，与中性点不接地或经消弧线圈接地方式比较，中性点经低电阻接地系统的单相接地短路故障电流比较大，流经故障线路的零序电流对通信线路的影响也可能增大，但影响的程度取决于馈电线路与通信线路之间距离、夹角、平行敷设长度等具体情况，须做具体计算分析和实测。配电网对通信线路的干扰按干扰性质分为干扰影响和危险影响。

我国有关规范规定，当通信电缆与大地间未装放电器时，危险影响电压不得大于试验介质电气强度电压的 60%，一般规定不超过 430V；对高可靠线路，即故障后能在 0.2s 内切断者，规定不超过 650V。

据实测估算，故障电流的取值为：10kV 为 1kA，35kV 为 2kA；计算结果是在 35kV 系统中最大危险影响电压为 461V，在 10kV 系统中最大危险影响电压为 273V~292V。因此认为 10kV 系统采用 1000A，35kV 系统采用 2000A 接地电流是允许的。

4.2 设备绝缘水平和保护

4.2.2 当系统发生接地短路故障时，流经变电站接地网的入地电流引起接地网的对地电位升高，且接地网内部电位也是不相等的。当操作、运行维护人员等在系统故障时，手触及带电的部件，手与脚之间的接触电位差就会使其遭到电击；相应地当人在地面行走时即两脚不在一起，脚与脚之间的跨步电位差也会导致人受到电击。那么受到电击的人是否会有致死的危险，则是人们普遍关注的问题。

5 中性点接地设备

5.1 接地电阻

5.1.4 线性接地电阻

5.1.4.2 “电阻值的选择限制金属性单相接地短路电流为200~600A。”因为系统单相接地故障中大部分为高阻接地，以某地6个10kV变电站统计数据为依据，216次瞬时性单相接地故障中，中性点位移电压超过5000V有41次，占19%；中性点位移电压小于3500V的有133次，认为是高阻接地，占61.6%；其他为过渡电阻接地。实际故障电流肯定较额定值偏小，综合保护灵敏度和安全性考虑，提出了如上建议。接地电阻值的选择范围计算如下：

$$R = U_x / (\sqrt{3} \cdot (300 \sim 600)) \dots\dots\dots (1)$$

$$U_x = 35\text{kV} \quad R = 33.68 \sim 101.04; 35\Omega \sim 110\Omega;$$

$$U_x = 20\text{kV} \quad R = 19.25 \sim 57.74; 20\Omega \sim 60\Omega;$$

$$U_x = 10\text{kV} \quad R = 9.62 \sim 28.87; 10\Omega \sim 30\Omega;$$

$$U_x = 6\text{kV} \quad R = 5.77 \sim 17.32; 6\Omega \sim 20\Omega.$$

5.1.4.3 中性点接地电阻装置在选择和运行中应符合下列要求：

a) 小电阻长期通流值的规定：系统长时间位移电压会对电阻的可靠性产生影响，因此需要考虑小电阻正常运行时的长期通流能力。根据目前江苏系统的调研，当中性点位移电压达到系统标称相电压的10%时，继电保护装置设置为发报警信号，故中性点电阻的长期通流按照额定发热电流的5%来考虑，例如额定发热电流为600A的电阻器其长期通流应为30A。

b) 对于短时10s，温升试验时的起始电流须控制在额定发热电流的10%以内。不锈钢的电阻器材料的温度系数为 $1.05 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 。根据上述的要求，规定中的数值均有所放大。

d) 为防止发生高阻接地时继电保护灵敏度达不到跳闸导致电阻长期发热烧毁的现象，建议加装中性点电流监测或接地电阻温升检测装置。

5.1.5 非线性型接地电阻

5.1.5.2 非线性压敏电阻的相关计算。

1) 直流 10mA 参考电压的计算

DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》中规定，66kV及以下系统发生单相间歇性电弧接地故障时，可产生过电压，过电压的高低随接地方式不同而异。一般情况下最大过电压不超过下列数值：

不接地系统 3.5p.u.

消弧线圈接地系统 3.2p.u.

电阻接地系统 2.5p.u.

其中 p.u. 是谐振过电压和操作过电压的标幺值， $1.0\text{p.u.} = k\sqrt{2} U_m / \sqrt{3}$ 。 U_m 为系统最高电压。中性点非线性接地电阻的伏安特性如式 (1) 和式 (2) 所示。

$$R_n = \begin{cases} \infty & U_n \leq kU_{ph} \dots\dots\dots (2) \\ R_1 & kU_{ph} < U_n \dots\dots\dots (3) \end{cases}$$

式中：

U_n —— 中性点电压；

U_{ph} —— 相电压；

k —— 拐点系数（应大于 1.0）；

R_n 、 R_1 —— 非线性电阻值。

由于事故及操作的原因，系统处于暂态过程中，当中性点电压高于 kU_{ph} 时，系统为中性点大电流接地系统，限制了暂态过程和过电压的发展；当中性点电压低于 kU_{ph} 时，如单相接地系统进入稳态时，则系统为中性点不接地系统，使供电得以维持，保留了不接地系统的优点；当系统长期处于中性点电压高于相电压的准稳态状况时，系统为大电流接地系统而将有选择性地保护动作。

当 $I_{refac}=I_{refdc}=10\text{mA}$ 时，把流过 10mA 工频电流阻性分量峰值或直流幅值时的阀片两端的电压峰值 $U_{10\text{mA}}$ 作为非线性电阻的直流参考电流 10mA 下的参考电压。它处在非线性压敏电阻阀片的 $U-I$ 特性曲线的拐点上，非线性压敏电阻阀片的限制过电压的作用也是从该点开始的， $U_{10\text{mA}}$ 又称为非线性压敏电阻阀片的起始动作电压。

$$U_{10\text{mA}} = U_{phm} = k \cdot \sqrt{2} \cdot U_m / 3 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

k ——拐点系数 (1.0~1.6)；

U_{phm} ——系统最高相电压。

非线性电阻器中通过直流电流为 10mA 时，直流参考电压推荐采用表 1 的规定值，误差不超过 5%。

表 1 直流参考电压

额定电压, kV	3	6	10	20	35
直流参考电压, kV	1.7	3.4	5.7	11.3	19.8

2) 非线性电阻容量的计算

采用非线性电阻器接地方式可以降低系统的过电压水平， $I_r/I_c > 1$ 以后系统的过电压水平基本变化不大，当 $I_r/I_c < 0.25$ 以后系统的过电压水平达到 3.5 倍，一般取 $I_r \geq I_c$ ，如表 2 所示。

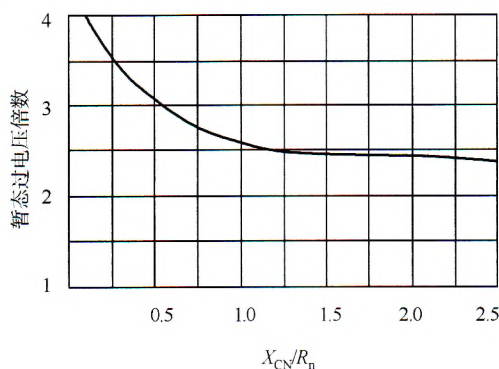


图 1 暂态过电压倍数与 X_{CN}/R_n 的关系

表 2 接地电流 I_r/I_c 与过电压倍数关系

I_r/I_c	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5
过电压水平	3.5	3	2.5	2.4	2.3	2.3

当流过非线性压敏电阻阀片的电流为已知时，非线性压敏电阻的容量按下式计算：

$$Q = U_{ph} I t \dots\dots\dots (5)$$

10kV 系统，接地电流为 100A，则非线性电阻容量为：

$$Q = 100 \cdot (10.5 / \sqrt{3}) \cdot (\sqrt{2} / \sqrt{3}) \cdot t \approx 5000\text{kJ}$$

选择容量为 5750kJ。

换算非线性电阻短时冲击电流，可参见表3的内容。

表 3 非线性电阻冲击系数

过载时间	$\frac{\text{短时电流}}{\text{额定电流}}$ 的倍数
10s	7.3
60s	3.7
10min	1.6
30min	0.9
2h	0.4

当发生瞬时接地时，10s电流冲击系数为7.3，10s可承受短时冲击不大于 $100 \times 7.3 = 730\text{A}$ 的接地电流。

5.1.5.3 残压比是氧化锌压敏电阻极其重要的一项参数，它决定了电力系统的过电压保护水平和电力设备绝缘要求。残压比越小，表明氧化锌压敏电阻通过冲击大电流时的残压越低、保护性能越好。

5.1.5.5 荷电率的选取直接关系到产品使用寿命、稳定性、可靠性及氧化锌压敏电阻的保护性能优劣，这两者间存在着很大的矛盾，但又相互制约的。荷电率取得高，可改善氧化锌压敏电阻的保护特性，但使用寿命、稳定性与可靠性明显降低；反之，如增长氧化锌压敏电阻的使用寿命，稳定性、可靠性与保护性能就较差。因此规定荷电率宜取小于60%的数值为妥。

5.2 接地变压器

5.2.1 电阻接地系统的接线方式

1) 配电变压器低压侧为三角形接线,中性点接地电阻经接地变压器接入方式,如图2和图3所示。

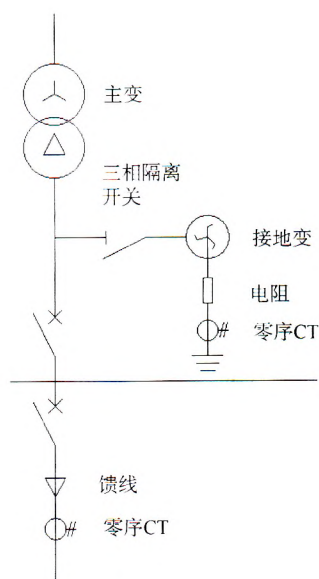


图 2 接地变压器直接接至配电变压器次级首端

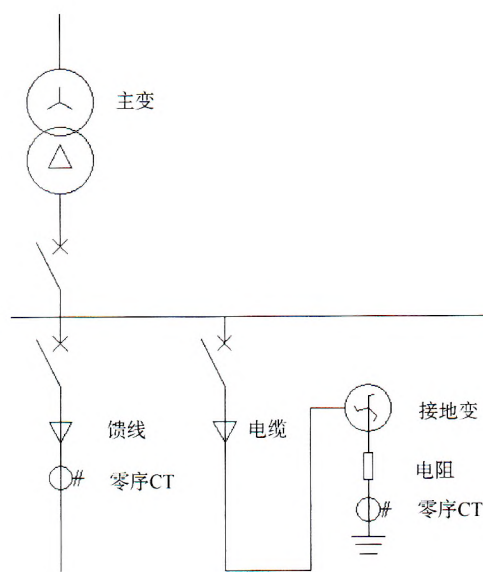


图 3 接地变压器直接接至母线

2) 配电变压器低压侧为星形接线并有中性点引出，不使用接地变压器，中性点接地电阻接入方式如图4所示。

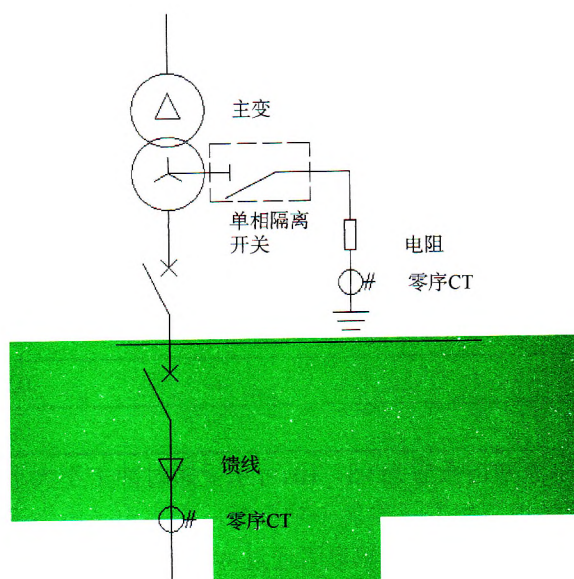


图 4 配电变压器低压侧为星形接线

5.2.2 接地变压器容量的选择

1) 接地变压器不兼作所用变压器时，其计算公式如下：

$$S_N = U_e I_d / (\sqrt{3} K) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

S_N —— 接地变压器容量，kVA；

U_e —— 额定线电压，kV；

I_R —— 电阻器短时允许通过的电流值，A；

K —— 接地变压器 10s 的允许过载系数。

2) 接地变压器兼作站用变压器使用时，接地变压器的额定容量应为按不带二次负荷的方法计算出的接地变压器容量，再加上站用变压器的容量之和，其计算公式如下：

$$S_T = \sqrt{[(S_1 \cos \varphi)^2 + (S_1 \sin \varphi + S_N)^2]} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

S_T —— (带二次负荷) 接地变压器容量，kVA；

S_N —— (不带二次负荷) 接地变压器容量，kVA；

S_1 —— 所用电的容量，kVA；

$\cos \varphi$ —— 所用电的功率因数。

5.3 电流互感器

5.3.3 由于馈出线零序电流保护动作电流仅需大于该馈出线本身的电容电流，远远小于系统电阻接地的电流值，故不作为控制条件。当电阻接地系统的接地电流值为 200A 时，推荐配用电变压器低压侧中性点零序电流互感器变比采用 100/1 A。

5.3.6 据调研，在变电站(所)已普遍采用电流互感器二次额定电流为 1A，由于微机继电保护和智能装置的广泛使用，实际二次回路负荷大为降低，相应的电流互感器二次负荷也可选择较低额定值，对于距离较长的电缆，允许选择较小截面的电缆。目前在技术和价格方面，二次额定电流为 1A 与 5A 的互感器基本相当，因此在设计中推荐采用 1A。但在互感器变比较大，匝数较多的情况下，因技术、安全及制造方面还存在一些问题，暂不推荐采用 1A。