

石油化工电气系统电阻接地设计探讨

张嘉嘉, 李雅婧, 黄旭

(中国石化工程建设有限公司, 北京 100101)

摘要: 行业标准 SH/T 3208—2020《石油化工电气系统电阻接地设计规范》已于 2021 年 1 月 1 日正式实施。该规范的发布实施填补了石油化工企业中压电力系统中性点电阻接地的空白, 它可用于指导石油化工企业中压电力系统中性点电阻接地的设计, 同时解决了该领域长期没有明确的标准来规范设计的问题。希望通过该规范的实施发现不足, 在工程实践中继续完善、补充, 成为石油化工企业中压电力系统中性点电阻接地的设计准则, 为我国的石化建设作出应有的贡献。

关键词: 石油化工; 电气系统; 电阻接地

Discussion on resistance grounding design of petrochemical electrical system

ZHANG Jiajia, LI Yaqian, HUANG Xu

(Sinopec Engineering Incorporation, Beijing 100101, China)

Abstract: The design specification for resistance grounding of electrical system in petrochemical industry (SH / T 3208—2020) has been officially implemented on January 1, 2021. The issuance and implementation of this specification fills the gap of neutral point resistance grounding of medium voltage power system in petrochemical enterprises. The specification is used to guide the design of neutral resistance grounding of medium voltage power system in petrochemical enterprises, and solve the situation that there is no clear standard to standardize the design in this field for a long time. It is hoped that the implementation of this specification will find deficiencies, continue to improve and supplement in engineering practice, become the design criteria for neutral resistance grounding of medium voltage power system in petrochemical enterprises, and contribute to China's petrochemical construction.

Key words: petrochemical industry; electrical system; resistance grounding

0 引言

“中压”的术语: 通常高压 (见 IEC 60050-601, 601-1-27) 是指大于 1 000 V 的额定电压。然而在 IEC 的标准中, 中压和高压之间没有明确的界限。现行的国际标准 IEC 62271-1 对于中压有如下的描述: “适用本规范的高压是指超过 1 000 V 的额定电压。然而, 中压这一术语通常用于电压高于 1 kV, 并小于等于 52 kV 的配电系统^[1]。”

现行的国家和电力行业标准对中压、高压、超高压和特高压开关设备的电压进行了标注, 如现行的电力行业标准 DL/T 593—2016《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》对于电压的定义有如下的描述: “为了便于本标准的使用, 本标准中所指的高压开关设备是指额定电压为 3.6 kV 及以上的高压开关设备, 一般将它们划分为中压开关设备、高压开关设备、超高压开关设备和特高压开关设备。中压开关设备的额定电压范围是 3.6 ~

40.5 kV，高压开关设备的额定电压范围是72.5~252 kV，超高压开关设备的额定电压范围是363~800 kV，特高压开关设备的额定电压范围是1 100 kV及以上。”^[2]

1 中性点接地方式选择

在中压电力系统发生短路故障时，其故障类型为：发生三相短路、两相短路和两相接地短路时，无论中性点接地方式如何，继电保护均应立即动作，切除故障线路，中性点接地方式并不影响故障线路的跳闸率；在故障类型为单相接地短路故障时，不同的中性点接地方式会对中压电力系统产生不同的影响，即影响故障的发展方向。

中压电力系统中性点接地方式选择应考虑的问题为电力系统单相接地的短路电流的数值、过电压倍数的大小。这两个主要的技术问题恰恰互相矛盾：①过电压倍数过大可能导致电绝缘材料发生绝缘击穿，造成短路，引起过电压的来源有外部（雷电）过电压、内部（操作、弧光接地和谐振接地）过电压^[3]；②过大接地故障电流会产生一系列的后果，如电弧故障引起的危险，地电动势升高造成对人身伤害，对通信线路的电磁干扰，电缆屏蔽层受热等^[4]。

中性点接地方式的选择取决于合理的技术经济指标，考虑的条件有：①电力系统的建设

投资与电气一次设备的制造水平；②电力系统的运行费用及故障的复杂程度；③故障的影响对二次设备的适应性；④对电力系统产生影响的接地故障所引起的工频过电压，进而影响继电保护装置的工作条件、电力系统的绝缘水平、过电压水平及系统稳定运行的允许条件^[5]。

系统接地方式如图1所示。根据阻抗 Z_n 的类型和数值大小来划分不同的接地方式：① $Z_n \rightarrow \infty$ ，不接地系统；② $Z_n \rightarrow$ 补偿电抗，补偿接地系统；③ $Z_n \rightarrow$ 电阻，电阻接地系统；④ $Z_n \rightarrow$ 电抗，电抗接地系统；⑤ $Z_n \rightarrow 0$ ，直接接地系统。

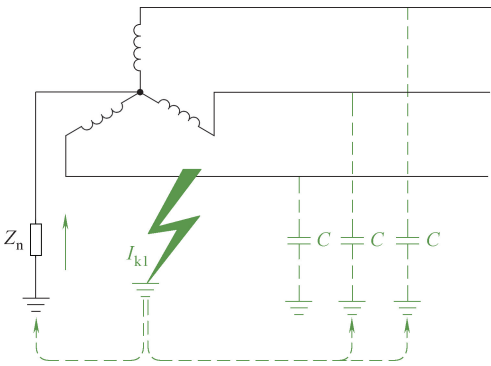


图1 系统接地方式
Fig. 1 System grounding mode

中性点的电位可以固定，也可以根据不同的接地系统来调整。电力系统中性点接地的特点如表1所示。

表1 电力系统中性点接地的特点

Tab. 1 Characteristics of neutral grounding in power system

特点	电力系统中性点接地方式				
	不接地	直接接地	电阻接地	电抗接地	补偿接地
暂态过电压抑制	-	++	+	+-	+-
工频过电压限制	-	++	+	+	-
故障电流限制	++	--	+	+	++
供电连续性	+	-	-	-	+
保护的选择性	-	+	+	+	--

注：+表示优势；-表示劣势。

由表1可以看出，电阻接地具有一定的优势，只是在供电连续性上存在一定的影响。大

电流接地系统发生单相接地短路故障时，接地故障电流大，继电保护立即动作跳闸，使得供

电中断；而小电流接地系统发生单相接地故障时，接地故障电流小，可带故障运行 1~2 h，但故障选线困难，同样会增加故障停电时间。随着电网的不断发展，供电连续性的衡量依据不再仅仅是依靠发生单相接地故障时跳不跳闸，而是依靠加强电网结构、调度控制水平和设备自动化程度来保证，如设置快速切换装置、备用电源自动投入（ATS）等^[6]。

2 接地电阻的选择

中性点电阻接地又可分为线性电阻和非线性电阻。两者的区别在于线性电阻通过对单相接地电流的限制，以达到限制系统过电压倍数的目的；而非线性电阻通过对中性点接地电压的限制，以达到限制系统过电压倍数的目的。

对于线性电阻来讲，中压系统单相接地的短路电流就是系统的电容电流。根据石油化工业企业配电系统电容电流的大小，按标准规范的要求，选择适合的中性点接地系统。如：当配电系统的电容电流不大于 10 A 时，可采用中性点不接地系统；当配电系统的电容电流超过 10 A 且不大于 100 A 时，可采用中性点补偿接地系统；当配电系统的电容电流超过 100 A 时，可采用中性点低电阻接地系统^[7]。过电压倍数与 I_R/I_C 关系如图 2 所示。

电阻电流的选择与过电压的倍数紧密相关，计算的结果为 $I_R/I_C = 1.0$ 时， $U_b = 1.6$ ， $U_c = 2.7$ ； $I_R/I_C = 1.5$ 时， $U_b = 1.5$ ， $U_c = 2.4$ ； $I_R/I_C = 2.0$ 时， $U_b = 1.5$ ， $U_c = 2.2$ ； $I_R/I_C = 2.5$ 时， $U_b = 1.5$ ， $U_c = 2.1$ 。

由此可以看出，当 $I_R/I_C \geq 2.0$ 后，其过电压的限制已经不是很明显。故一般选择阻性电流值（ I_R ）时，应考虑系统的发展情况，接地变压器和电缆线路的影响。

对于非线性电阻来讲，是通过对中性点接地电压的限制，以达到限制系统过电压倍数的目的。根据负荷性质和工程的重要程度，基于分析和计算，可以得出非线性电阻伏安特性

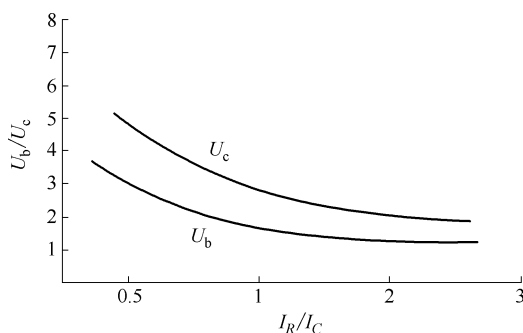


图 2 过电压倍数与 I_R/I_C 关系

Fig. 2 Relationship between overvoltage multiple and I_R/I_C

$$R_n = \begin{cases} \infty & U_n \leq kU_{ph} \\ R_1 & kU_{ph} < U_n \end{cases}$$

当中性点电压高于 kU_{ph} 时，非线性电阻导通，使得系统变成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，非线性电阻变成无穷大，系统变成中性点不接地系统，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状况时，系统变成大电流接地系统而将有选择性地保护动作。同时在整个暂态过程中，其故障电流的数值应不大于 1 000 A。大电流接地系统产生的主要干扰源是零序电压和零序电流，但由于其故障切除快，干扰存在时间比较短，并且国内外运行经验表明，故障电流在 1 000 A 以下通常不会对通信造成干扰^[8]。

对非线性电阻接地系统中的不同情况的综合分析和计算，可近似得出非线性电阻接地的击穿（拐点）电压约为 $U_{10mA} = U_{phm} = \sqrt{2}U_{ph}$ ，拐点系数 $k = 1.4$ ，此时的过电压倍数约为 2.2 倍^[9]。

3 线性和非线性接地电阻的异和同

(1) 相同点

线性和非线性接地电阻相同点包括：①电阻本身为耗能元件，可消除由于各种原因（如铁磁、高频、分频、断线和线性谐振等）引起的系统谐振过电压；②单相故障时，非故障相稳态电压比采用中性点不接地或消弧线圈接地方式的稳态电压升高稍低，可降低系统整

体绝缘水平；③与出线回路接地故障保护配合，可以准确地判断出故障回路并迅速切除（适用于电缆线路为主的系统）；④由于故障后及时切断电源，可大大减少人身安全事故发生的机会；⑤由于电阻的存在，对系统正常运

行时中性点位移电压有一定的抑制作用，减少中性点位移电压。

(2) 不同点

线性和非线性接地电阻的不同点如表 2 所示。

表 2 线性和非线性接地电阻的不同点

Tab. 2 Difference between linear and nonlinear grounding resistance

比较项目	线性电阻	非线性电阻
限制系统过电压方式	通过电流来抑制过电压	通过电压来抑制过电压
限制过电压的效果	随电流值的不同,其过电压值会有不同,当 $I_R/I_C = 2.0$ 时,系统的过电压值为 2.2 倍	随拐点电压的不同,其过电压值会有不同,拐点系数为 1.4 时,系统的过电压值为 2.2 倍,在安全值范围内
响应时间	接地变压器不大于 5 ms,电阻的响应时间为纳秒级	接地变压器不大于 5 ms,非线性电阻为纳秒级,忽略不计
设计容量	系统入地电流选定后,线性电阻的额定容量就确定: $IRU_{\text{相}} t$, 超过容量线性电阻易烧毁	额定容量按系统入地电流 3 倍进行整定,热容平衡按 1 s 进行计算,非线性接地电阻实际运行中容量冗余近 10 倍
产品寿命	线性电阻在承受超过设计容量时就烧毁,整个系统就不能工作	在承受超过设计容量时,只会某一串阀片熔断器熔断,不会影响系统运行

4 结束语

对于石油化工企业，以电缆为主的 6(10) kV 和 35 kV 供配电系统采用电阻接地方式后，可以降低系统的过电压幅值，限制谐振过电压，并快速准确地切除故障线路，缩小故障范围，大大减少发生设备和人身安全事故的机会。

编写这本规范，只是为提供多一种石油化工业电力系统的中性点接地方式的选择。中性点接地方式的选择取决于合理的技术经济指标，并涉及电力系统接地故障电流、继电保护设备工作条件、过电压数值的大小、对通信线路的干扰以及电力系统运行可靠性等许多方面的综合性技术问题^[10]。EA

[4] THIERRY CORMENIER. 中压电器设备设计与选择指南 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2019.

[5] 黄旭. 石化企业中压配电系统中性点接地电阻的选择 [J]. 石油化工设计, 2018, 35 (2): 5-8.

[6] 张军梁. 大型石化企业配电系统中性点采用电阻接地方式的可行性研究 [J]. 电气应用, 2007 (2): 20-23.

[7] 城市配电网规划设计规范: GB 50613—2010 [S].

[8] 张慧媛, 丁扬. 配电网中性点电阻接地方式标准的研究 [J]. 现代电力, 1997, 14 (3): 49-53.

[9] 田凤兰. 10 kV 电网中性点经非线性电阻接地方式研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2005.

[10] 关志成, 朱英浩, 周小谦, 等. 中国电气工程大典 第 10 卷 输变电工程 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

参考文献

[1] High-voltage switchgear and controlgear-part 1 common specifications for alternating current switchgear and controlgear: IEC 62271-1: 2017 [S].

[2] 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求: DL/T 593—2016 [S].

[3] 董振亚. 电力系统的过电压保护 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.

作者简介



张嘉嘉

张嘉嘉 (1987—), 男, 工学学士, 工程师, 主要从事石油化工行业电气设计工作。

(收稿日期: 2021-04-18)