

文章编号:1671-251X(2015)02-0047-03 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.02.013
关恒祝. 矿山井下低压 IT 接地系统设计规范探讨[J]. 工矿自动化, 2015, 41(2): 47-49.

矿山井下低压 IT 接地系统设计规范探讨

关恒祝

(本溪大台沟矿业有限公司, 辽宁 本溪 117000)

摘要:介绍了矿山井下低压 IT 接地系统第一次接地故障的原理,指出 GB 50070—2009《矿山电力设计规范》要求“配电系统相导体和外露可导电部分之间第一次出现阻抗可忽略的故障时,故障电流不应大于 5 A”的规定是没有实际意义的;通过计算比较 IT 系统和 TN 系统单相接地故障时的触电电压和电流,可知在采用 IT 系统时直接接触电的人身触电电流与采用 TN 系统时基本相同,而在间接触电的情况下 IT 系统优于 TN 系统。

关键词:IT 接地系统; 接地故障; 故障电流; 接触电压

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:2015-02-03 15:18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150203.1518.013.html>

Discussion on design standard of low-voltage IT grounding system in underground mine

GUAN Hengzhu

(Benxi Dataigou Mining Co., Ltd., Benxi 117000, China)

Abstract: The paper introduced principle of grounding fault of low-voltage IT grounding system in underground mine for the first time, and pointed out it is meaningless of a requirement in GB 50070-2009 *Design Code for Electric Power in Mine* that fault current should not be greater than 5 A when fault with negligible impedance occurred between phase conductor and exposed conductive part of power distribution system for the first time. It also calculated electric shock voltage and current when single-phase grounding fault occurred in IT system and TN system respectively, and got conclusion that the current of direct electric shock in IT system is the same as the one in TN system, and IT system is better than TN system under condition of indirect electric shock.

Key words: IT grounding system; grounding fault; fault current; touch voltage

0 引言

中国矿山井下低压配电系统广泛采用 IT 系统接地型式^[1]。从人身触电防护的角度来看,该系统相比 TN 系统和 TT 系统更为安全。然而,长期以来人们对 IT 系统接地技术在理解和应用上还存在些许偏差。本文首先从 IT 系统的第一次接地故障原理着手,讨论接地故障电流及其与接触电压的关系,以期纠正 GB 50070—2009《矿山电力设计规范》中的错误概念;其次通过比较 IT 系统与 TN 系统发

生触电时的情况,定量分析井下采用 IT 接地系统的优势。

1 IT 系统第一次接地故障原理

IT 系统的配电源中性点不接地或经高阻抗接地,而电气设备外露可导电部分接地。图 1 为经高阻抗接地的 IT 系统典型原理,其中点划线表示 IT 系统内发生第一次接地故障时故障电流的路径。假设电源中性点的接地阻抗 $Z_{ct}=1\ 500\ \Omega$,外露可导电部分的接地极与保护导体 PE 线电阻之和 $R_{nA}=$

5 Ω 。当发生第一次某一相接地故障时,经过接地故障点存在 2 个接地电流: I_{d1} ,它是与故障相电压同相的电阻性电流,由故障相经接地故障点及外壳接地线,再经过 Z_{ct} 构成回路,该电流不流过 R_{nA} ; I_{d2} ,它是超前相电压 90° 的电容电流,由故障相经接地故障点及外壳接地线,再经过 R_{nA} 、非故障相电缆和大地之间的电容构成回路,该电流不流过 Z_{ct} 。接触电压 $U_f = I_{d2} R_{nA}$,正常环境下 $U_f \leq 50$ V 是安全的,在井下则规定为 $U_f \leq 36$ V。线路越长,线路电容越大, I_{d2} 越大, U_f 越高; R_{nA} 越小, U_f 越低。因此, Z_{ct} 对 U_f 实际上没有影响,误把 I_{d1} 当成 I_{d2} 与 R_{nA} 相乘求得 U_f 是不恰当的。如果 $I_{d1} = 0$,该系统便转换为中性点绝缘系统。

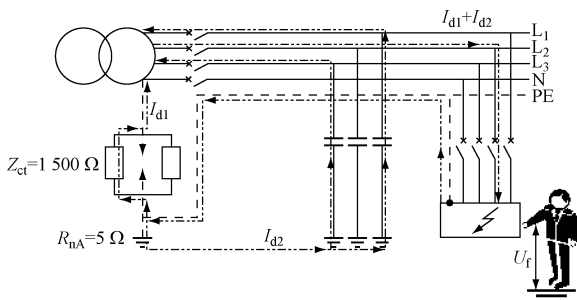


图 1 经高阻抗接地的 IT 系统典型原理

2 GB 50070—2009 第 4.1.3 条探讨

GB 50070—2009 第 4.1.3 条规定:井下低压配电系统接地型式应采用 IT 系统,配电系统电源端的带电部分应不接地或经高阻抗接地,且配电系统相导体和裸露可导电部分之间第一次出现阻抗可忽略的故障时,故障电流不应大于 5 A。

其中“故障电流不应大于 5 A”的依据最早来自 YS 5030—1996《有色金属矿山电力设计规范》第 3.1.3 条规定的条文说明。该条文解释大概含义:低压配电网在采用不接地方式时有 2 种情况发生,一是当采用常规检漏继电器进行接地保护时,由于井下潮湿,继电器经常处于动作状态,所以现场常装而不用,造成无接地保护状态;二是新的绝缘监测装置处于试用阶段且成本高,不利于推广。因此,考虑借鉴国外的经电阻接地方式。低压配电网中性点经电阻接地是在配电变压器的中性点接入适当的电阻器,限制其发生单相接地的接地电流为一较小值(如可不超过 5 A)。将单相故障电流限制到 5 A,是为了保证井下的人身安全。因为即使井下接地电阻增大到 4 Ω 时,对地电压为接地故障电流 5 A 与接地电阻 4 Ω 的乘积,其数值等于 20 V,也是相当安全

的^[2]。从上述条文解释中可看出,YS 5030—1996 是用电阻性电流 I_{d1} 与变压器中性点接地电阻的乘积来考量接触电压 U_f 的大小,从而判断影响人体安全的程度。

根据 GB 16895.21—2011/IEC 60364-4-41:2005《低压电气装置 第 4-41 部分:安全防护 电击防护》的规定,IT 系统带电部分必须是对地绝缘或通过高阻抗接地,即变压器中性点不接地或经大于 1 000 Ω 以上的高阻抗接地;外露可导电部分的接地电阻无论采用何种接地型式,都应满足 $R_{nA} I_{d2} \leq 50$ V 的条件^[3]。按照 GB 50070—2009 的规定,在井下接触电压小于等于 36 V,井下接地电阻不应大于 2 Ω 。若取 $R_{nA} = 2$ Ω , $R_{nA} I_{d2} \leq 36$ V,则 $I_{d2} \leq 18$ A,完全符合 IEC 60364-4-41:2005 规定,但该取值范围却大于 GB 50070—2009 第 4.1.3 条规定的“故障电流不应大于 5 A”,很显然“故障电流不应大于 5 A”的规定不是依据 IEC 60364-4-41:2005 而来的。

若要求故障电流不大于 5 A,对于井下 380/220 V 低压电网中性点所连接的接地电阻为 46 Ω 即可,但中性点接 46 Ω 的电阻则不能称之为 IT 系统,只能叫做小电阻接地系统。采用小电阻接地系统的目的是为了保证漏电保护装置的可靠动作,而与接触电压 U_f 无关。IT 系统应满足的 2 个条件:一是电源中性点不接地或经高阻抗接地;二是保证接地电容电流与保护阻抗的乘积不大于接触电压。而对于 IT 系统中保护阻抗和电容电流的大小不做规定。实际在井下 IT 系统中,电容电流 I_{d2} 达不到 18 A,即使是 5 A 也很难达到。因此,“故障电流不应大于 5 A”的规定是没有必要的。

3 基于 IT 和 TN 系统的触电计算与分析

3.1 IT 系统泄漏阻抗计算

在 IT 系统中每相对地都存在泄漏电阻和泄漏电容,一般 1 km 长的电缆每相泄漏电阻 $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ M Ω ,每相泄漏电容 $C_1 = C_2 = C_3 = 0.6$ μ F。当电源频率 $f = 50$ Hz 时,角频率 $\omega = 2\pi f \approx 314$ rad/s。由 $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ 可得 1 km 长电缆的等效电阻 $R_{eq} \approx 3.33$ M Ω ,等效电容 $C = C_1 = C_2 = C_3 = 0.6$ μ F,等效容抗 $X_{eq} = 1/3C\omega \approx 1769$ Ω ,等效阻抗 Z_{eq} 为等效电阻与等效容抗的并联,由于等效电阻远远大于等效容抗,所以工程计算时可忽略等效电阻,即等效阻抗 $Z_{eq} = X_{eq} = 1769$ Ω 。

3.2 IT系统触电分析

利用戴维南定理对IT系统单相接地故障进行等效处理,如图2所示。其中 U_0 为相电压; R_N 为保护接地电阻; R_U 为PE保护线电阻; R_f 为故障点电阻。故障电流 $I_f=U_0/(Z_{eq}+R_N+R_U+R_f)\approx U_0/Z_{eq}$,接触电压 $U_f=I_fR_U$,其中 $U_0=220\text{ V}$, $R_U=2\text{ }\Omega$ 。当线路长度为1 km时, $I_f=U_0/Z_{eq}=220\text{ V}/1\text{ }769\text{ }\Omega\approx0.12\text{ A}$, $U_f=I_fR_U=0.12\text{ A}\times2\text{ }\Omega=0.24\text{ V}$;当线路长度为30 km时, $I_f=30U_0/Z_{eq}=30\times220\text{ V}/1\text{ }769\text{ }\Omega\approx3.73\text{ A}$, $U_f=I_fR_U=3.73\text{ A}\times2\text{ }\Omega=7.46\text{ V}$ 。

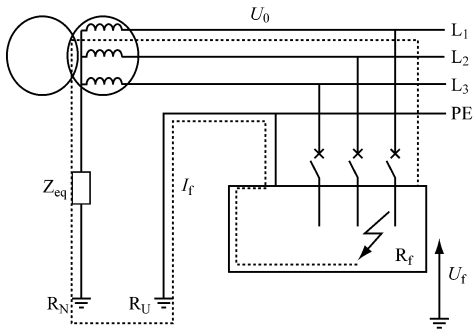


图2 IT系统单相接地故障

人体电阻变动范围很大,IEEE Std80—2000《交流变电站接地安全导则》选用人体电阻 $R_b=1\text{ }000\text{ }\Omega$ 。IT系统出现第一次接地故障时,当人触摸带电金属外壳,加到人体上的接触电压 $U_f=7.46\text{ V}$ (线路长度为30 km),远远小于安全电压36 V,且流过人体内的电流 $I_r=U_f/R_b=7.46\text{ mA}$,也远远小于安全电流30 mA,所以当井下采用IT系统发生间接触电时,不会给人身带来伤害,IT系统发生接地故障时仍可持续供电。

一般带电导体都有防护和隔离措施,然而,当防护失效或隔离不当时,不排除直接接触的可能性。当IT系统发生直接接触,线路长度为1 km时,加在人体上的电压为^[4]

$$U_b = \frac{3\omega R_b C U_0}{\sqrt{9\omega^2 R_b^2 C^2 + 1}} = \frac{3 \times 314 \times 1\text{ }000 \times 0.6 \times 10^{-6} \times 220}{\sqrt{9 \times 314^2 \times 1\text{ }000^2 \times (0.6 \times 10^{-6})^2 + 1}}\text{ V} \approx 108.3\text{ V} \tag{1}$$

则人体所承受的电流 $I_b=U_b/R_b=108.3\text{ V}/1\text{ }000\text{ }\Omega\approx108\text{ mA}$ 。

当线路长度为30 km时,等效电容 $C=30\times0.6\text{ }\mu\text{F}=18\text{ }\mu\text{F}$,代入式(1)可得 $U_b\approx219.6\text{ V}$, $I_b\approx220\text{ mA}$ 。由此看来IT系统发生直接接触时也是非常危险的。

3.3 TN系统触电分析

图3为TN系统单相接地故障^[5]。当考虑标称相电压 $U_0=220\text{ V}$ 、线路上有20%的压降时,间接接触电压 $U_f=0.8U_0/2=88\text{ V}$,间接接触电流 $I_r=U_f/R_b=88\text{ V}/1\text{ }000\text{ }\Omega=88\text{ mA}$ 。当发生直接接触事故时,加在人体上的电压 $U_b=U_0=220\text{ V}$,此时人体所承受的电流 $I_b=U_b/R_b=220\text{ V}/1\text{ }000\text{ }\Omega=220\text{ mA}$ 。计算结果表明,TN系统中无论是发生直接接触还是间接触电,其加于人体上的电压和电流均大于安全值。

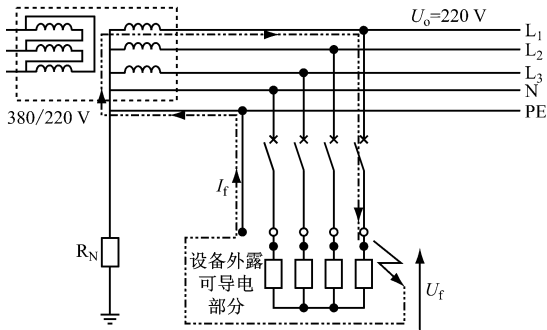


图3 TN系统单相接地故障

4 结语

介绍了矿山井下IT系统第一次接地故障原理,认为GB 50070—2009第4.1.3条要求IT系统的故障电流不应大于5 A是没有任何意义的;通过计算IT和TN系统发生单相接地故障时的触电电压和电流,可知在采用IT系统时直接接触的人身触电电流与采用TN系统时基本相同,而在间接触电情况下IT系统优于TN系统。

参考文献:

[1] GB 50070—2009 矿山电力设计规范[S].
[2] YS 5030—1996 有色金属矿山电力设计规范[S].
[3] GB 16895.21—2011/IEC 60364-4-41:2005 低压电气装置 第4-41部分:安全防护 电击防护[S].
[4] 程志刚. 新编电气工程师手册[M]. 合肥:安徽文化音像出版社,2004.
[5] 施耐德电气. 电气装置应用(设计)指南[M]. 3版. 北京:中国电力出版社,2011.