

〔苏联〕B.П.科拉布列夫 著

化学工业中的 电气安全技术

化学工业出版社

化学工业中的电气安全技术

[苏联]B.П.科拉布列夫 著

古涛 叶铁林 译

杨有启 校

化学工业出版社

内 容 提 要

本书译自苏联В. П. 科拉布列夫著的《МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ》一书1983年版。

本书结合化工企业特点, 讲述了化工生产中保证电气安全的基本措施和方法, 其中包括: 化工生产的电气安全特点; 化工生产中防止触电的技术措施、装置和工具; 独立操作时的安全措施; 静电和电磁场防护基础; 爆炸危险和防护; 避雷保护; 化工企业的电气防火; 电创伤的医疗前急救等。

本书可供化工企业电工及其他人员作为培训教材和电气安全教育读本。对从事化工生产、设计和电气安全的其他有关人员也都有参考价值。

В. П. Кораблев

МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Издательство «ХИМИЯ» МОСКВА 1983г

化学工业中的电气安全技术

古涛 叶铁林 译

杨有启 校

责任编辑: 林晨虹

封面设计: 季玉芳

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{3}$ 2 印张 $4 \frac{3}{8}$ 字数 105 千字 印数 1—5, 170

1987年12月北京第1版1987年12月北京第1次印刷

统一书号15063·4005 定价 1.00 元

译 者 序

为了保证化工企业工作人员的用电安全，从而使化工企业有高效能的劳动生产条件。我们将苏联化学工业部建议作为工人培训教材的《МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ》(化工企业电气安全工作方法)一书译成中文，并取译名为〈化学工业中的电气安全技术〉。供我国从事化工和石油化工电气安全方面的有关人员以及其他有关的电气工作人员参考。

我们希望此书中译本能对提高化工企业电气安全方面的素质有所裨益。由于我们水平所限，书中有错漏之处，敬希读者指正。

此书译稿经北京经济学院电气安全教研室杨有启老师全面审校，并提出了许多宝贵意见，特此表示衷心感谢。

译者

1986年元月于北京

目 录

第一章 化学工业中的电创伤	1
第一节 电源性外伤的特点	1
第二节 触电的种类和判断触电危险性的因素	2
第三节 触电条件	6
第四节 化工企业中的电创伤指标	11
第二章 化工生产的电气安全特点	14
第一节 外部环境特征及其对损伤危险程度的影响	14
第二节 化工生产厂房的分类	15
第三节 电气设备对外部介质影响的防护	16
第三章 化学工业中防止触电的技术措施和防护方法	21
第一节 总则	21
第二节 保护接地	22
第三节 接零	35
第四节 等电位	37
第五节 安全电压	39
第六节 绝缘及其在化学活性介质中的作用	39
第七节 双重绝缘	43
第八节 保护切断	45
第九节 电网电气隔离	46
第十节 不接近带电体——屏护、联锁、信号	48
第十一节 电气防护用具	50
第四章 一些作业的安全方法	57
第一节 使用电气设备的一般安全规则	57
第二节 电动工具与携带式照明灯	59
第三节 电焊设备运行时电气安全的基本要求	61

第四节	化工企业爆炸和爆炸火灾危险设备上电焊作业的特点	67
第五节	化学矿山工业的电气安全特点	73
第六节	电解生产中的电气安全条件	76
第五章	静电	81
第一节	起电机理	81
第二节	静电的危险性	82
第三节	静电防护方法	85
第四节	其他几种静电防护方法	91
第五节	静电危害实例	94
第六节	静电防护装置运行	96
第六章	电磁辐射的保护	98
第一节	辐射源及其对人体的作用	98
第二节	电磁辐射装置使用时的安全措施	99
第七章	化工生产的爆炸危险性及防护措施	101
第一节	爆炸危险场所分类	101
第二节	爆炸危险场所的电气设备	104
第三节	爆炸危险生产部门电气设备运行特点	107
第八章	防雷保护	115
第一节	雷电及其特性	115
第二节	雷电流的影响	117
第三节	建筑物和构筑物分类	119
第四节	各类建筑物防雷保护的一般要求	120
第五节	防雷装置的运行	125
第九章	化工企业电气装置防火安全	126
第一节	一般概念	126
第二节	建筑材料与结构按耐火性能分类	127
第三节	生产部门与厂房按火险程度的划分	128
第四节	电气装置防火安全要求	130
第五节	电气装置灭火特点	133
第十章	医疗前的医务急救规则	134
	参考文献	143

第一章 化学工业中的电创伤

第一节 电源性外伤的特点

在违反有关规定和未履行预防措施的情况下，电流可能是电外伤的根源，它与其他生产中常见的外伤比较，有如下一些特点：

1. 人们没有这样的器官，可以用它来感觉到设备的某部分是否处于电压的状态下。人们遇到其他形式的能量时，在大多数情况下看得见和感觉到危险，因此可以避免危险。例如，人从烧红的金属那里感觉到热和嗅到物质的气味，听到工作机器的噪声，看得见机器的活动机件，汽车的靠近。因此，他能及时地采取预防措施。而在与处于电压下的机件接触的一瞬间之前，电不是立即作用于感觉器官，因而人不能预感到危险的威胁。

2. 不仅触及或过分接近电气装置带电金属部分或由于绝缘损坏而带电的金属部分会发生触电，而且走到电气绝缘损坏处或载流体部分接地处附近也会发生触电。这样引起的触电叫做跨步电压触电。此外，一些电气设备作业时引起的电磁振荡以及静电作用也存在着危险或危害。

3. 电流对人体作用的突然性，降低了人们的防卫能力。除此之外，由于电流对修理人员和操作人员的意外作用，也会加重事故：有可能使受害者不自主地剧烈移动，以致与其他载流体接触或从高处坠落。

经验证实：工作时集中精力，在某种程度上会使人体机能适应电流的作用。懂得电流性质和提防电击的人，容易掌握它。因此，修理人员和操作人员进行工作时应该精神高度集中。这样就会排除与电气装置载流体部分的意外接触。如果触电仍然发生，其后果的危险性也会小一些。

谈到电外伤的特点，应该指出，由电流引起的外伤数量较小，占生产中不幸事故总数的0.5~3%。如果只考虑造成致命结果的不幸事故，那么在国民经济各部门中电击占12~13%（个别部门达30%）。化学工业中的电外伤也是同样的数量。受到电损伤而变为残废者占12%左右。受过电损伤的人们（不论是否严重），因病因特殊，要经过长期的专门治疗。从此，这些人会发生心理特征的变化。此外，暂时丧失劳动能力，转为残废，以及某些专业人员的死亡都会造成经济损失，因为受难者停止了生产活动，失去了创造财富的重要作用。

第二节 触电的种类和判断

触电危险性的因素

通过活组织的电流，对活组织起复杂和多方面的作用：热作用（身体局部烧伤，加热血管、血液等等），电解作用（分解有机液体，其中包括血液），生物作用（刺激和兴奋活有机体组织）及机械作用（组织破裂等）。触电能够导致血液循环和呼吸器官终止全部活动。

一、触电的种类

现将触电损伤的几种不同类型分述如下。

1. 电烧伤——最常见的一种电创伤，是电流热作用和形成电弧而引起的结果。电烧伤通常有三种情况：

电流（接触）烧伤，是与载流体接触时，电流穿过人体的情况下，发生的烧伤；

电弧烧伤，是电流不穿过人体，载流体之间发生的电弧作用于人体而造成的烧伤；

混合烧伤，是电流穿过人体，电弧和电流同时作用而引起的烧伤。其中以电弧发生在载流体和人体之间的危害最为严重。

2. 电烙印，乃是一种人体皮肤表面受到电流作用的特殊损伤。他们通常是不痛的，但是，大面积活组织深度损伤，能够使内部器官的功能受到破坏。

3. 皮肤电气金属化——在与载流体接触的部位，皮肤受到金属最小微粒的浸润。金属化的肤色，取决于所侵入的金属性质。

4. 机械损伤——在电流的作用下，由于肌肉不自主地剧烈痉挛收缩，能使皮肤、血管和神经组织破裂。

5. 电（光性）结膜炎——视力（眼）损伤。这是由于电弧的强烈辐射而引起的。在电弧光谱中有危害眼睛（视力）的紫外线和红外线。此外，还可能有熔化的金属火花打中眼睛。

6. 电击——电流穿过人体刺激生命组织，并伴有肌肉收缩痉挛。由于电击会使生命中枢——心脏和肺活动的功能失调和完全停止，因此电击最为危险。

7. 电休克，乃是机体受电流强烈刺激而产生的严重神经反射反应，其特征是使血液循环、呼吸、新陈代谢等严重紊乱。

二、判断触电危险性的因素

电流对人体组织（器官）作用的危险性，取决于人体的电阻、电流强度、作用时间的长短、穿过人体的途径、电流的种类和频率，人体的特征和某些其他因素。

1. 人体电阻。人体是一种导电体，他是由电阻各不相同的

许多部分构成的（皮肤、骨骼、脂肪组织比血液、脊髓及脑髓、肌肉组织具有较大的电阻）。皮肤具有最大的电阻率，并从而确定整个人体的电阻。

当皮肤干燥、洁净和无损伤时，人体的电阻（测量电压为15~20伏范围内）在 $3 \sim 10^5$ 欧姆范围内波动，而去掉皮肤表层时，电阻降至0.5~1000欧姆。

在工频交流电的情况下，为了计算，人体有效电阻取为1000欧姆。在实际情况下，同样一个人的电阻，不是一个固定不变的值。它取决于皮肤的状态、电路参数、生理因素、环境状态等等。例如，皮肤表层的各种损伤（切口、抓破、擦伤），被水浸湿或被各种可以导电的物质（大多数的化学物质、金属粉末或煤粉等等）沾污，使正常人体的总电阻大大降低。

除此之外，人体电阻还与接触的部位和面积有关。脸、颈、手掌背面的皮肤电阻最小。变厚和有茧的手掌和脚掌皮肤，与人体其他部位比较具有较大的电阻。人体皮肤的电阻越小，穿过人体组织的电流强度越大，损伤的后果也越危险。

穿过人体的电流强度，是损伤后果的主要因素。在工频交流电为1毫安左右时，人可以感觉到它的作用。在那样的电流强度下，与载流体接触部位的感觉神经末梢受到刺激。在电流强度为8~10毫安的情况下，刺激加深，但是人可以自主解脱电流的作用。在10~15毫安的电流强度下出现局部痉挛，而且人不能松开握住载流体部分的手指。在电流强度为25~50毫安，频率为50赫兹的情况下，除肢端肌肉收缩抽搐以外，还出现呼吸肌痉挛，因而可能由呼吸困难导致窒息而死亡。100毫安以上的电流强度，被认为是足以使人致命的。在那样的电流强度下，而频率在50~60赫兹时，会使心肌收缩紊乱（心脏原纤维变性或心脏纤维化）。短时间（1~2秒）、大电流（5安培以上）的

作用不会引起心脏纤维化。在那样的电流强度下，心肌强烈收缩，一直到停电之后才能继续动作。

应该注意，所述数值在长时间作用的条件下是正确的。在短时间作用时，确定了下列的允许电流值：持续作用30秒为6毫安；持续作用1秒为60毫安[●]；持续作用0.7秒为75毫安；持续作用0.5秒为100毫安；持续作用0.2秒为250毫安。这些值并不是绝对安全的。因为“安全电流”实际上是没有的，但通常可以作为触电损伤可能性极为有限的一个允许范围。电流作用持续的时间越长，严重损伤或死亡的可能性就越大。

2. 电流种类、频率和穿过途径。50赫兹的工频交流电对人最为危险。交流电作用的频率直到1000赫兹仍然存在着危险性。频率继续提高，损伤的危险性显著减小；频率在 5×10^4 赫兹左右时，危险性完全消失。

直流电的安全程度为50赫兹交流电的4~5倍。例如，不能摆脱电流作用的交流电流强度为10~15毫安，而直流电为50~80毫安。电压到250~300伏的直流电，与同样电压的交流电相比，危险性较小；电压超过300伏的直流电同样会出现很大的危险性。

电流通过人体的途径对损伤程度也有影响。电流穿过重要生命中枢（心脏、头、脊髓、呼吸器官）最为危险：其电流途径为‘手—脚’或‘手—手’。

损伤的危险性在很大程度上取决于个人的特征。身体健康和体力强壮的人们比患有各种不同疾病的人容易经受住电流的作用，尤其是心血管系统、肺部和内分泌器官健康的人更容易经受得住电流的作用。

● 原文为6毫安，可能有误。——译者

为了有效地看管好运行中的电气装置，电气装置运行的安全技术条例规定，要选用身体健壮的工作人员。为此，在工作人员到职时，按照妨碍从事电气装置工作的疾病和损伤项目，进行一次人体检查。并且定期两年检查一次。

色盲和口吃、表达不清的一些人，也不能作为电气装置的操作管理人员，因为有这些缺陷会成为错误作业的根源。这不仅对他个人而且对其他人都有危险。

酒醉状态的人在操作电气装置时会发生错误的和不谨慎的行为，并且其人体的电阻降低，以至他们特别容易遭受电流的作用。

第三节 触 电 条 件

只有当人触及电路至少两个带有一定电压的点时，才会发生触电。实践中有下列不同情况：

1. 接触处于电压下的载流体，例如意外或有意识地接触裸露的导线、端钮，电机载流部分、刀闸开关的保险器；

2. 接触由于绝缘损坏而处于电压下的电力网或电气设备的构件（例如，触及碰壳短路的电动机的外壳或触及被它带动的机床；

3. 接近接地短路点（例如，接近落地或碰地的残破导线）；

4. 接触充电的电气设备（电容器、电缆）；

与各种接地短路的现象和形成电弧时的短路（如带电作业时）有关的情况。

实际上，最常发生电流通过人体成回路的两种情况，即人同时接触两根导线和人只接触一根导线。在后一种情况下，电网和地之间由不同原因构成电气联系（导线绝缘损坏，导线与地之间的电容，导线接地等）。

对于交流电网，第一种情况叫做两相触电，第二种情况叫做单相触电。

最危险的是两相触电（图1-1）。两相触电时，电流沿着对人体最危险的途径之一（手—手）流过人体，并取决于加在人体上等于线路电压的电压，以及取决于人体电阻，即：

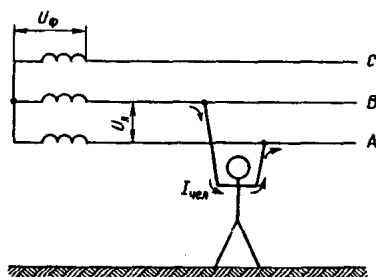


图 1-1 交流电网
两相触电示意图

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}}} = \frac{1.73 U_{\phi}}{R_{\text{чел}}}$$

式中， $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi}$ ——线电压，即各相导线之间的电压，伏； U_{ϕ} ——相电压，即一相绕组起点和终端之间的电压（或相线与零线之间的电压），伏。

对于线电压 $U_{\text{л}} = 380$ 伏，亦即相电压 $U_{\phi} = 220$ 伏的电网，当计算的人体电阻 $R_{\text{чел}} = 1000$ 欧姆时，经过人体的电流强度为

$$I_{\text{чел}} = \frac{1.73 \times 220}{1000} = \frac{380}{1000} = 0.38 \text{ (安)} = 380 \text{ (毫安)}$$

这样的电流强度对人体有致命的危险。

为说明后面的材料，应该研究一个很重要的概念——配电变压器中性点的状态。变压器绕组的联结点称做它的中性点（零点）。中性点有它的不同工作状态。在电压1000伏以下的电网中，采用接地或绝缘中性点。变压器（发电机）中性点直接或经过很小的阻抗（电流互感器等）同接地装置连接者称作中性点接地。

中性点不与接地装置连接，或者经过电网容性电流补偿装

置（电压互感器或其他高阻抗电器）与接地装置连接者称作中性点绝缘。选择那一种中性点状态，应根据工艺要求和保证安全的条件确定。由于两种三相电网（绝缘中性点的三线式和接地中点的四线式）中，四线式的可以使得利用两种工作电压——线电压和相电压而被优先考虑。这样，负荷接于线电压380伏的各相导体时，380伏四线电网可作动力负荷供电（三相或单相）；接于相线和零线之间即接于220伏相电压时，则可作为照明供电。同时，由于变压器数目较少，导线截面较小等原因，全部电气装置的费用有很大的下降。在有可能保持导线高绝缘水平以及电网对地电容不大的情况下，可采用绝缘中性点的电网。支路不多的、不易受腐蚀介质破坏的、并且有专业人员经常监督的电网（小企业电网，可移动的电气装置的电网等）就是这样的电网。在不能保证高绝缘水平（高度潮湿、腐蚀性介质等）、或者不能很快找到和排除绝缘故障、或者当由于电网支线过多而使电容性电流达到对人有危险的情况下，利用中性点接地的电网（大、中型工业企业的电网）。

在两相触电的情况下，流过人体的电流实际上不取决于电网中性点状态。因此，在有绝缘中性点的电网中，或者在有接地中性点的电网中（在这些电网线电压相等的条件下），两相触电同样是危险的。两相触电的事故较少，而且通常发生于1000伏以下的电气装置。

单相触电比两相触电多很多倍；但是，由于因为人承受的电压不超过相电压，穿过人体的电流（强度）小于两相触电时的电流（强度），所以其危险性比较小。除此之外，电流（强度）在很大程度上取决于变压器中性点状态、导体对地的绝缘阻抗、人站立处的地面电阻（或地基电阻），以及取决于很多其他的因素。

可以认为, 人体触及中性点接地或中性点绝缘的三相电网的一相时, 上述因素影响流过人体的电流 (图1-2)。电流回路由人体、鞋、地面的电阻, 以及变压器中性点的接地电阻所组成。对于这种情况, 电流 (强度) 可由下式确定:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_0}$$

式中, U_{ϕ} ——电网相电压, 伏; $R_{\text{чел}}$ ——人体电阻, 欧;
 $R_{\text{об}}$ ——鞋的电阻, 欧; $R_{\text{п}}$ ——
 人站立处的地面电阻, 欧;
 R_0 ——电源中性点接地电阻, 欧。

对于最不利的情况 (触电人穿的是导电的鞋——湿的或者钉金属钉的, 而且是站在湿地或导电的地面——金属地面或接地的金属结构, 即可以认为, $R_{\text{об}} = 0$ 和 $R_{\text{п}} = 0$), 上式可变为下面的形式:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{чел}} + R_0}$$

因为中性点接地电阻 R_0 比人体电阻小许多倍, 所以可忽略不计。因此, 对于最不利的条件: $I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{чел}}}$
 在相电压 $U_{\phi} = 220$ 伏的电网中, 当 $R_{\text{чел}} = 1000$ 欧时, 流过人体的电流为

$$I_{\text{чел}} = \frac{220}{1000} = 0.22 \text{ (安)} = 220 \text{ (毫安)}$$

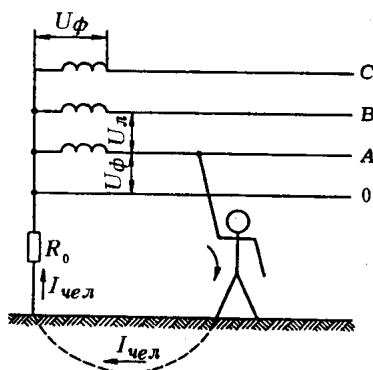


图 1-2 三相中性点接地
电网单相触电图

这样的电流对人没有致命危险。

如果人穿的是不导电的鞋（如胶鞋），并且站在绝缘的地面（如木地板）上，那么

$$I_{\text{чел}} = \frac{220}{1000 + 45000 + 100000} = 0.0015 (\text{安}) = 1.5 \text{ 毫安}$$

式中，45000——鞋的电阻，欧；

100000——地板电阻，欧。

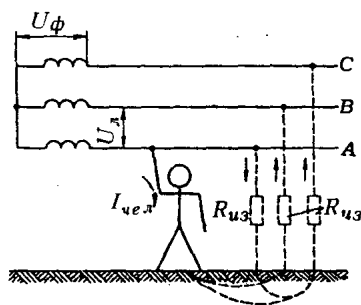


图 1-3 三相中性点绝缘
电网一相触电图

这样的电流，对人没有危险。

从例举的数据可以看出，绝缘地面和不导电的鞋，对于电气装置作业的安全具有重大意义。

在带有绝缘中性点的电网中（图1-3），通过人体流入地下的电流，经过电网导线的绝缘返回电源。在正常状态下该

绝缘有很大的电阻。考虑到同人体电阻 $R_{\text{чел}}$ 串联的鞋的电阻 $R_{\text{об}}$ 和人站立地面的电阻 R_n ，通过人体的电流由下式确定：

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_\phi}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_n + \frac{R_{\text{из}}}{3}}$$

式中， $R_{\text{из}}$ ——电网一相对地绝缘电阻，欧。

对于最不利的情况，人穿导电的鞋和站在导电的地面上，即 $R_{\text{об}} = 0$ 和 $R_n = 0$ ，则上式为

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_0}{R_{\text{чел}} + \frac{R_{\text{из}}}{3}}$$

单相触电时，流过人体的电流，比中性点直接接地电网中的电流小很多。在这种情况下，电流主要决定于导体对地绝缘电阻。

在一相接地的故障情况下，完好相的对地电压可增加到线电压。这种情况特别危险。在电压超过1000伏的电网中，由于电容和电流都很大，以至触及一相或者触及两相的危险性实际上是一样的。

第四节 化工企业中的电创伤指标

对化工企业中近几年电创伤的分析表明，与触电有关的不幸事故的总数一直是较高的。同时也应该注意到电创伤减少的某些趋势，特别是考虑到每年电能消耗的增长，以及随之而来电气装置维护人员的增加更是如此。

在这方面，委托给化学工业能源联合会在各部门明确安排的电创伤的统计和分析起着非常积极的作用。根据综合调查材料和电创伤卡片，由联合会每年详细制定关于预防电创伤和事故的建议，并发到所有的企业。这些材料在大多数企业的所有电工技术人员中审议，大部分的提案被介绍推广应用。

大多数电创伤发生在氮肥工业、化学矿山、制钾工业企业，以及制造化纤的企业。遭受电创伤的主要是电气工人，其次是电气装修工和钳工。在非电工技术专业的工作人员中，最经常受到电创伤的是钳工、各种带电力驱动装置的机械操作工和设备操作工。这些工种的工人的不幸事故，大部分是在没有按照专业条例操作的时候发生的，或者是在不熟悉操作的其他工段