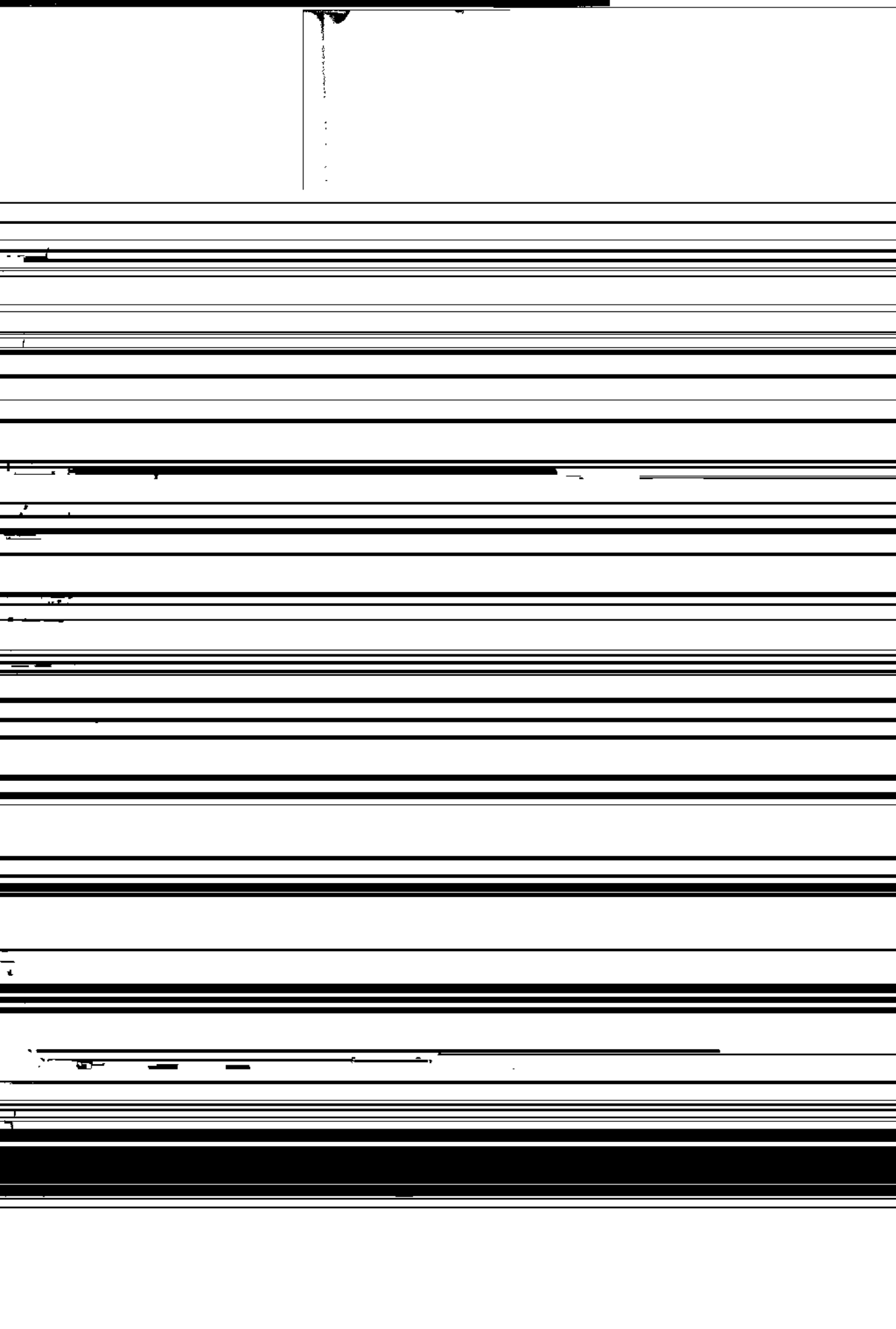


电气安全标准 应用手册



机械工业标准化技术服务部

一九九二年



前 言

本《电气安全标准译文集》收录了 IEC、ANSI/UL 有关电气安全的最新通用基础标准。

外壳防护等级是电气设备安全的基本参数之一。IP 标志是国际通用的外壳防护标志。IEC 529 第二版在第一版的基础上充实了 IP 标志的内容,在二位特征数字之后增加了附加字母,表示防护人接近危险部件的等级。各等级的试验要求也更趋于完善。本译文集除收录 IEC 529 的第二版外,还附有两版的对比说明。

ANSI/UL 标准是国际公认的具有一定权威性的安全标准。本译文集收录的二个 ANSI/UL 标准都是通用性很强的设备安全标准。ANSI/UL 1097《电气设备双重绝缘》规定了低压电气设备中 I 类设备的安全要求,包括对其结构的要求,性能要求(泄漏电流检测、介质耐压试验、绝缘阻抗试验、抗冲击试验等)。ANSI/UL 1077《电气设备中的附加保护器标准》规定了对辅助保护设备的安全要求。

本译文集由机械电子工业部机械标准化所郭汀、胡玲、柯汉奎翻译,韦建华、贺天枢校对。

前 言

电能的开发和应用引起了世界经济的巨大发展和变革。由于电能是人类生活的各个领域的应用，直接或间接由电能造成的人畜伤亡和财产损失不可忽视。

电气安全标准化工作的产生、充实和发展，为电能的安全应用带来了福音。它是一门研究电能危害机理、防护措施、安全防护器具，并将其规范化、标准化的科学。

电气安全是一项综合技术工程，它依赖于安全技术的实施和科学的管理。本手册根据国家电气安全标准和IEC安全标准编写，只涉及安全技术方面。

电气安全技术标准可分为通用基础性标准；专用设备（和产品）标准；包括设备的制造、安装、操作和维修在内的过程标准；安全防护器具标准等四类。本手册侧重研究和介绍通用和基础性标准，内容包揽了已为世界技术先进国家赞同、由IEC安全咨询委员会（ACOS）推荐的所有基础安全标准的主要内容，这些标准大部分已被我国采用。

触电、过电流、过电压和雷电、电磁场（包括射频、工频、静电）、电蚀、电热效应（包括电火灾）等是主要的几种电能危害型式。其中造成人员伤亡的主要因素是触电；造成财产和设备损失的主要原因是过电流（包括短路电流、过载电流和故障电流）及各种因素引起的电火灾。本手册较系统地介绍了电气安全基础知识，触电防护技术措施，设备安全设计准则，材料和设备的安全检测方法等，其中自动切断防护新技术将会引起国内工程设计规范的较大改动。

本手册适用于从事变配电和电气安全设计的技术人员，标准化工作人员，工程技术人员，管理人员及其他电气化工作者。

本手册的编写工作得到了机电部质量安全司的支持和指导，在此表示感谢。

鉴于技术水平和编写经验的限制，本手册的缺点错误在所难免，欢迎批评指正。

本手册主编李世林。参加编写人员李世林、郭汀、胡玲、王克娇。

目 次

第一章 电气安全基础

§ 1.1 人体电流效应.....	(1)
§ 1.2 触电事故类型及其防护原则.....	(10)
§ 1.3 配电系统接地型式.....	(11)
§ 1.4 绝缘配合.....	(16)
§ 1.5 绝缘材料的性能和测试方法.....	(41)
§ 1.6 电工电子产品着火危险试验.....	(68)
§ 1.7 外壳防护等级的分类.....	(93)
§ 1.8 电工电子设备防触电保护分类.....	(108)
§ 1.9 电气安全符号、颜色标记.....	(111)

第二章 触电防护

§ 2.1 正常工作条件下的触电防护.....	(124)
§ 2.2 故障条件下的触电防护.....	(137)
§ 2.3 超低压防护.....	(169)
§ 2.4 触电急救.....	(172)

第三章 过电流和故障电流防护

§ 3.1 过电流和故障电流保护的基本要求.....	(177)
§ 3.2 过载自动切断保护.....	(178)
§ 3.3 短路自动切断保护.....	(180)
§ 3.4 过电流保护的其他要求.....	(182)

第四章 电热效应防护

§ 4.1 灼伤保护及过热保护.....	(184)
§ 4.2 电气火灾防护.....	(185)

第五章 雷电防护

§ 5.1 建筑设施的雷电危害型式、防雷分类及年计算雷击次数的经验公式.....	(193)
§ 5.2 防雷措施及防雷装置.....	(194)
§ 5.3 避雷针和避雷线保护范围的确定.....	(198)

第六章 电磁辐射的危害及限值

- § 6.1 电磁辐射的危害及防护..... (203)
- § 6.2 电磁辐射限值标准..... (204)

第七章 保护电器

- § 7.1 低压熔断器..... (207)
- § 7.2 低压断路器..... (216)
- § 7.3 漏电电流动作保护器..... (228)

第八章 电气设备安全设计

- § 8.1 起草安全标准的导则..... (236)
- § 8.2 电气设备安全设计导则..... (238)
- § 8.3 家用和类似用途电器的安全..... (253)
- § 8.4 手持式电动工具的安全..... (287)
- § 8.5 爆炸性环境用防爆电气设备..... (288)

第九章 电工产品的安全认证

- § 9.1 IECCE..... (297)
- § 9.2 CB体系..... (298)
- § 9.3 发达国家电器设备的认证..... (301)
- § 9.4 一些国家电气设备的认证标志..... (304)
- § 9.5 中国电工产品认证委员会..... (305)

第一章 电气安全基础

§ 1.1 人体电流效应

触电又称电击，是电流通过人体或动物体而引起的病理、生理效应。

人体和动物体触及了带电体能否造成伤害主要取决于电流通过人体的效应。只有人体或动物体造成了病理、生理效应，才能认为是遭受了触电或电击。我们通常所说的电击防护就是对可能产生的病理、生理效应所进行的防护。

电流通过人体的效应是研究触电安全技术、制订安全防护标准、设计电极可能触及人体的电气设备、特别是医用电气设备的基本依据之一。国内外科学技术人员对此进行了长期的大量的实验研究工作，取得了成果。IEC 479《电流通过人体的效应》是众多研究成果中具有代表性和权威性的成果，这项成果取得了世界所有技术先进国家的赞同。目前我国正在采用这项标准，本节对其主要内容作一介绍。

1. 概 述

IEC 479分成两部分。

第一部分包括：

- 15~100Hz交流电流通过人体的效应；
- 直流通通过人体的效应；
- 人体电阻。

第二部分主要包括100Hz以上的交流电流及其他特殊波形的电流通过人体的效应。

本节仅介绍第一部分的内容。

IEC标准给出的数据主要从对动物进行试验获得，这些数据相当保守，以致对所有生理正常的人（包括儿童）都是适用的（不计体重）。

2. 15~100Hz交流电流通过人体的效应

如果流过人体的电流路径已经确定，则电流流过人体的效应通常主要取决于电流幅值和持续时间。图1-1给出了流过人体电流幅值——作用时间的效应分区图。图中关于发生心室纤维颤动的数据是按从人体左手到双脚的电流路径绘制的。当电流为500mA，时间为100ms时，心室纤维颤动的概率为0.14%。

图中第①效应区是依据人对电流的感觉阈值，即人身所能觉察的流过人体的最小电流值确定的。这个感觉阈值取决于人体与电极的接触面积，接触状态（干燥、潮湿、压力、温度等），人的各自生理特性等。图中a线即为人体的感觉阈值线，等于0.5mA。该阈值与通电时间无关。a线左部为第①效应区，该区对人通常没有任何病理、生理反应。

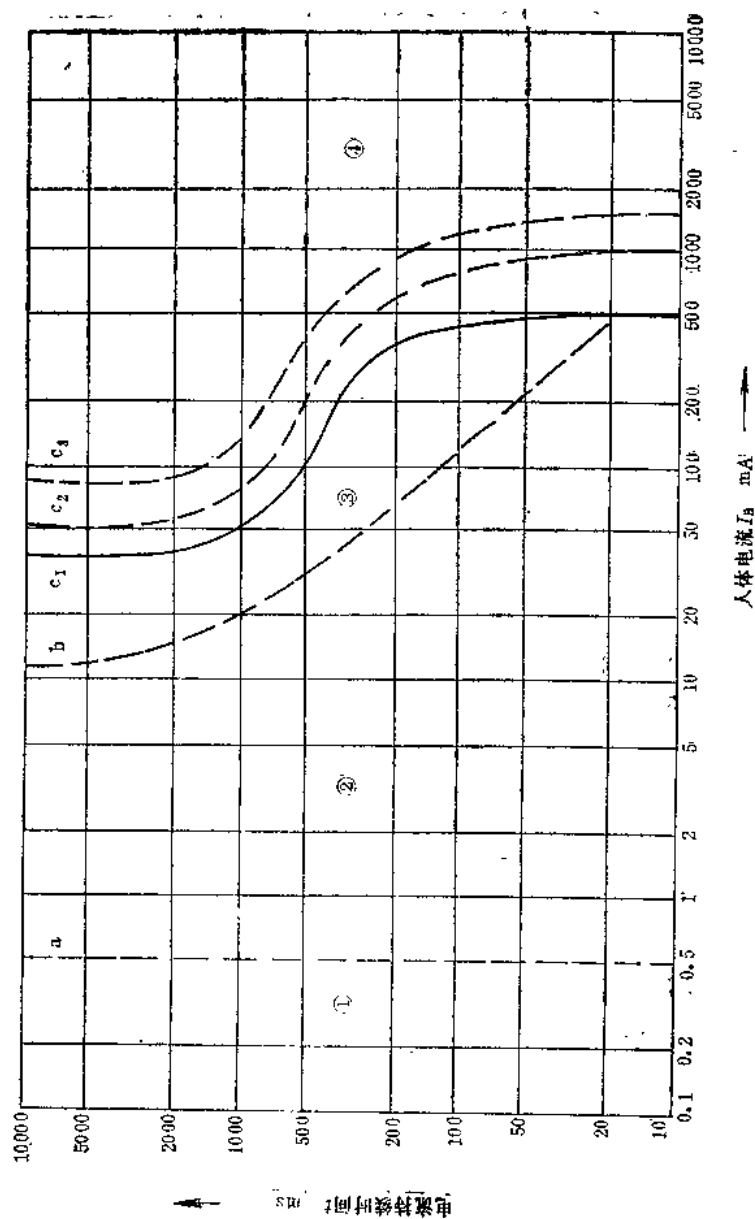


图1-1 15~100Hz交流电流流过人体时的电流—时间效应分区

第②效应区在a线和b线之间。曲线b可以用式(1-1)描述:

$$I = I_1 + \frac{10}{t} \dots\dots\dots (1-1)$$

式中: I ——电流的方均根值, mA;

I_1 ——摆脱电流阈值的方均根值, mA;

t ——电流持续时间, s。

摆脱电流阈值是人体能够摆脱握在手中的电极的最大电流值, 又称安全电流。它取决于接触面积, 电极形状和大小, 人的各自生理特性等, 约等于10mA。

第②效应区通常无有害的病理、生理反应。

第③效应区在b线和 c_1 线之间。该区对人体器官一般没有损伤, 但可能产生如下病理生理反应: 肌肉收缩, 呼吸困难, 血压升高, 心脏冲动形成及传导的可逆性紊乱, 包括心房纤维颤动以及随着电流与持续时间的增加引起的非心室纤维颤动, 进而引起的短暂心脏停跳。

第④效应区在曲线 c_1 的右部。该区除了有第③效应区的病理、生理反应外, 可能出现心室纤维颤动。曲线 c_1 是一条不致发生心室纤维颤动的阈值曲线。由 c_1 向右, 发生心室纤维颤动的概率逐渐增大, 在曲线 c_2 和 c_3 处分别达到5%和50%, c_3 再向右则超过50%。心室纤维颤动被认为是触电致死的主要原因。随着人体电流和持续时间的增加将会出现心脏停跳、呼吸停止和严重烧伤等后果。有证据说明, 人体电流引起的心脏停跳和窒息可以致死, 几安培电流引起的严重烧伤也可能导致死亡。

下面简单介绍心室纤维颤动致死原因。

心脏的主要任务是保持排血, 维持血液循环, 此功能依靠心肌有规律地、周期性地收缩来完成。从此意义上讲, 心脏可视作血泵。心脏收缩的自身规律性受神经-体液调节。

每一心动周期的心电图见图1-2, 其中P波系心房兴奋波, QRS波群和T波系心室激动波及多极波。临床实践表明, 机体之外的刺激, 例如物理的、化学的、机械的、电能的刺激都可能激起心肌的兴奋。IEC 479中表明, 在一个心动周期内有一个约占心动周期10%至20%的心室肌易损期, 它对应于心电图T波顶峰部分(见图1-2)。在易损期内, 心肌纤维的兴奋传导很不均匀, 如果受到足够大的电流刺激, 就可使各部分的心室肌自行蠕动起来。图1-3示出了心室纤颤对心电图和血压的影响。由图看出, 电流刺激激发心室肌蠕动的波形及幅值各异, 极不均匀, 频率可达250~500次/min, 致使心室肌失去协调一致的收缩能力, 心脏泵血功能丧失, 血压降至零, 血液循环停止, 导致死亡。

图1-1中发生心室纤维颤动的效应区仅适用于电流从左手到双脚流过的情况, 其他电流路径引起的心室纤维颤动效应则应采用心电流系数进行换算。

心电流系数——电流流过某一路径的心电场强度与从左手到双脚流过相同电流的心电场强度的比值。

在心脏内, 电流密度与电场强度成正比, 因此, 心电流系数可以用相应的电流密度比值来表示, 即:

$$I_a = \frac{I_{rel}}{F} \quad (1-2)$$

式中: I_{rel} ——图1-1中所示的从左手到双脚路径流过的人体电流值,

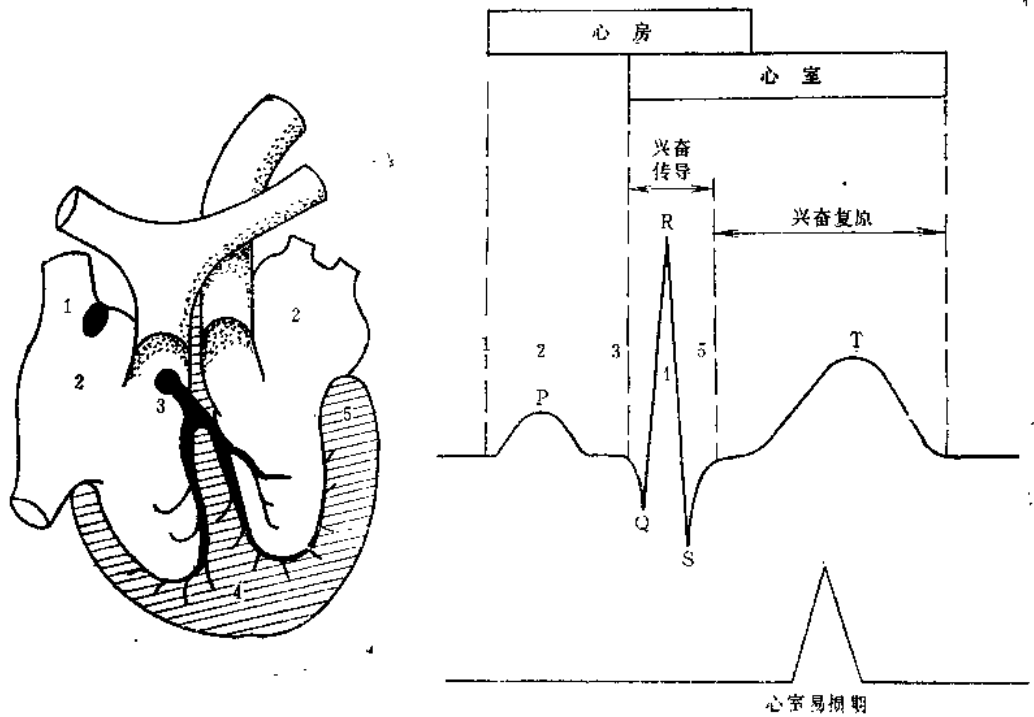


图1-2 心动周期内心室易损期出现的时刻

注: 图中数字表示兴奋传导的顺序。

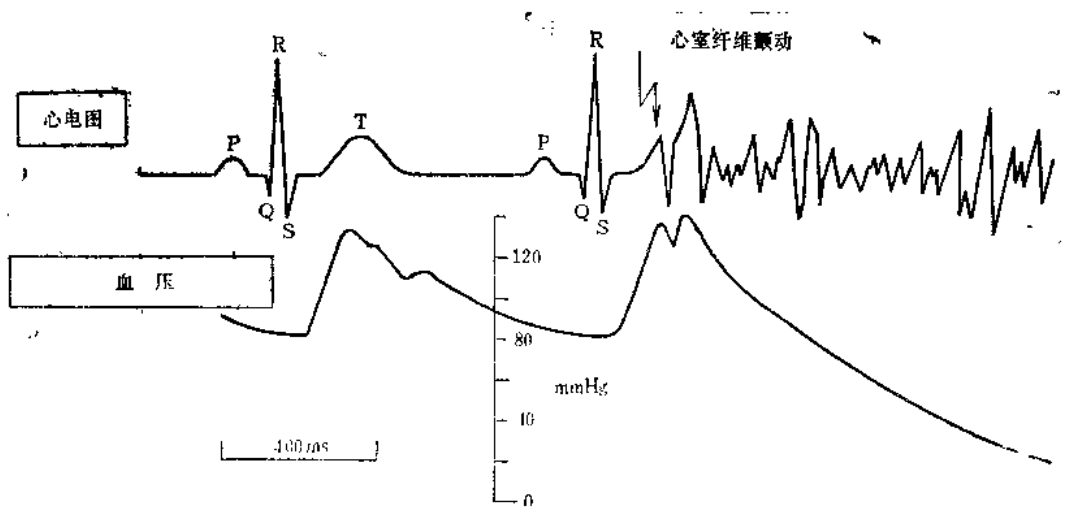


图1-3 在易损期内心室纤维颤动的激发对心电图和血压的影响

I_a' ——通过其他路径流过人体产生与 I_{ref} 等同效应的电流值；

F ——心电流系数。

IEC 479给出了若干人体电流路径的心电流系数（见表1-1）。

心电流系数可以用于估计通过其他路径的人体电流所产生的心室纤维颤动的危险程度。例如手到手电流路径的 $F=0.4$ ，按式（1-2）计算，200mA电流产生的心室纤维颤动效应与左手到双脚流过的80mA电流所产生的心室纤维颤动的危险程度是等同的。

表 1-1 若干人体电流路径的心电流系数

电 流 路 径	心 电 流 系 数
左手到左脚、右脚或双脚	1
双手到脚	1
左手到右手	0.4
右手到左脚、右脚或双脚	0.8
从背到右手	0.3
从背到左手	0.7
从胸到右手	1.3
从胸到左手	1.5
从臀部到左手、右手或双手	0.7

图1-1给出的人体电流——持续时间效应分区图以及表1-1给出的心电流系数，为制订触电防护标准，设计和选择触及或插入人体的电气设备的电气参数提供了理论依据。

IEC 479指出，从一些国家运行经验看，在正常环境条件下尚无确切证据说明，当供电电压不超过交流50V（有效值）时会发生人体电流导致严重触电伤害的事故。这种运行经验是将第Ⅰ电压区段（超低电压区段）的上限电压值约定在50V（有效值）的依据之一。后面还将进一步推算将第Ⅰ电压区段上限电压约定在50V的安全可行性。

3. 直流电流通过人体的效应

严格地讲，直流电流是指没有脉动的电流。本节所述的直流电流中含有波峰与波峰间不超过15%的脉动成分。

研究表明，直流电流对人体的兴奋作用（刺激神经和肌肉，引起心房和心室纤维颤动），在直流的接通和断开时，即在电流发生变化的时间内是较大的，而当电流幅度不变时产生与交流电流相同的兴奋作用，其电流幅值要比交流有效值大2至4倍。

IEC 479给出的流过人体的直流电流——持续时间效应分区图见图1-4。

对直流电流而言，以脚为正极向上流经人体的电流的效应，与以脚为负极向下流经人体的电流的效应有时存在很大差异。

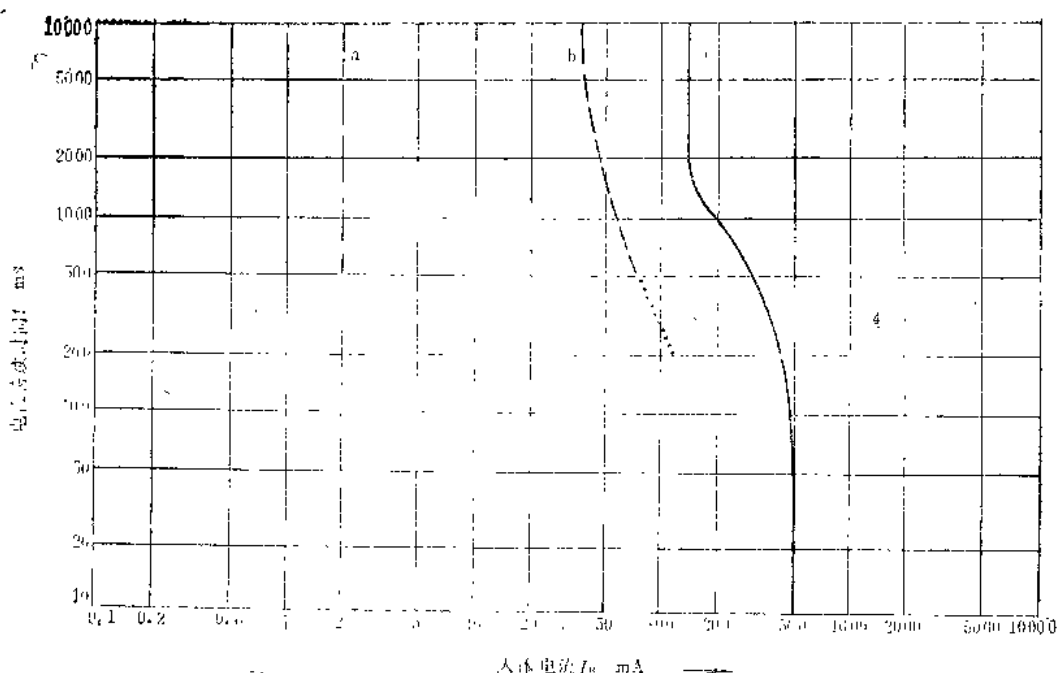


图1-4 流过人体的直流电流——持续时间效应分区图

图1-4中第①效应区通常无生理反应；

第②效应区无有害的生理反应；

第③效应区不会出现器官损害，随着人体电流和持续时间的增加可能出现心脏冲动和传导的可逆性紊乱；

第④效应区可能出现心室纤维颤动，随着人体电流和持续时间的增加除了产生③区的反应外，预计会产生严重烧伤等其他生理病理反应。

感觉阈值 直流感觉阈值取决于以下参数：接触面积，接触状态（干燥、潮湿、压力、温度），电流持续时间，各自的生理特征。与交流电流不同，流过人体的直流感觉阈值只有在接通和断开时才有感觉。图1-4中的a线为感觉阈值线，是第①和②效应区的分区线。

摆脱阈值 b线可视为直流摆脱阈值线，是第②和③效应区的分区线。实际上，当持续时间小于500ms时，第②和③效应区的分区线尚不清楚。与交流效应不同，300mA以内的直流电流没有确定的摆脱阈值，只是接通和断电的瞬间引起疼痛感和痉挛似肌肉收缩，大于300mA时可能摆脱不了，或者在触电几秒至几分钟后有可能摆脱。

心室纤维颤动阈值 曲线c是一条在直流电流作用下不致发生心室纤维颤动的曲线，是第③和④效应区的分区线。与交流电流一样，直流电流产生的心室纤维颤动阈值也取决于人体的生理和电气参数。图1-4中第④区有关发生心室纤维颤动的数值是按从左手至双脚的人体电流路径，且为向上的电流效应给出的。动物实验和电气事故资料分

析结果表明, 向下电流引起的心室纤维颤动阈值是向上电流阈值的2倍, 因此, 当考虑向下电流效应时, 从图1-4取得的心室纤维颤动阈值电流应乘以系数2。从手到手流过的横向电流不会引起心室纤维颤动。

人体通过直流电流还会出现如下效应: 当300mA以内的直流电流通过人体时, 四肢有暖热感觉; 300mA以内的横向电流通过人体时, 在持续几分钟内, 随着时间和电流的增长可能产生可逆性心律不齐、电流伤疤、烧伤、眩晕, 有时失去知觉, 超过300mA的横向电流通过人体时, 则经常出现失去知觉的反应。

4. 人体阻抗

如上所述, 当通过人体的电流路径确定后, 触电危险主要取决于电流的大小和持续时间。然而图1-1和图1-4给出的人体电流——持续时间效应分区图在防触电保护设计中, 由于已知量往往是预期接触电压而不能直接使用。为了求取通过人体的预期电流值必须掌握人体阻抗值。

IEC 479根据对尸体以及部分人体的测试, 经过充分的分析验证得出: 人体阻抗主要取决于电流通过人体的路径、接触电压、电流持续时间、频率、皮肤潮湿程度、接触面积、施加压力、温度等因素。

(1) 人体阻抗特性

人体阻抗的电路图如图1-5所示。图中 Z_i 为人体内阻抗, 它是两个电极所接触的人体两部分在拨除电极下的皮肤后其间的阻抗。

人体内阻抗基本上可看作电阻。测定表明, 还存在少量电容分量, 在图中用虚线示出。阻抗值主要取决于电流通过的路径, 表面接触面积对其影响较小, 但当接触面积过小, 例如只有几平方毫米, 则内阻抗将会增大。

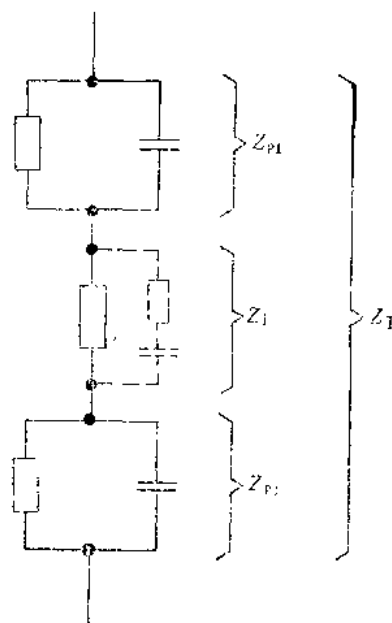


图1-5 人体阻抗电路

图1-6示出了不同路径的人体内阻抗值, 它是用与手到手内阻抗比值百分数表示的。图中无括号的数值是按手到所示部分的电流路径测得的, 括号内数值是按两只手到图中相应部分的电流路径测得的。应当注意, 从一只手到两只脚的内阻抗值与手到手内阻抗值的比值的百分数为75%; 两只手到两只脚为50%。图1-6中的百分数值对人体总阻抗值也是适用的。

图1-5中 Z_{p1} 和 Z_{p2} 为人体皮肤阻抗, 它是皮肤上的电极与皮肤下导电组织之间的阻

抗。皮肤阻抗可看作电阻电容网路，它由半绝缘层和小的导电元件（毛孔）构成。

皮肤阻抗的数值取决于电压、频率、电流持续时间、接触面积、接触压力、皮肤潮湿程度和温度等。

接触电压在50V以内时，皮肤阻抗的数值受接触面积大小、温度、呼吸作用等因素影响而有显著变化；接触电压在50~100V时，皮肤阻抗大大降低，当皮肤击穿后其阻抗可忽略不计。

当皮肤阻抗随着电流增大而降低时，可以观察到电流伤疤。

电流频率的增高也将使皮肤阻抗降低。

(2) 人体总阻抗 Z_T

人体总阻抗是人体内阻抗与皮肤阻抗的矢量和（见图1-5），由电阻和电容分量组成。

接触电压50V以下时，由于皮肤阻抗受多种因素影响而显著变化，因此人体总阻抗同样有很大的变化；当接触电压较高时，总阻抗与皮肤阻抗关系愈来愈少，当皮肤击穿后，总阻抗接近于人体内阻抗值 Z_i 。由于皮肤阻抗特性

的影响，总阻抗 Z_T 受频率影响，当为直流时人体总阻抗值较高，而频率上升时总阻抗值降低。

表1-2和图1-7、图1-8给出了适用范围较广的、在50~60Hz频率下的人体总阻抗数据。这些数据的测量条件为：干燥的环境条件，较大的接触面积（50~100cm²），手到手和手到脚的电流路径等。

在接触电压为50V以下，接触面积潮湿，带有正常的水分等条件下测得的人体总阻抗值比上述干燥条件下的测得值低10%~25%，在接触面带有导电液时测得的人体总阻抗值为干燥状态时的一半。

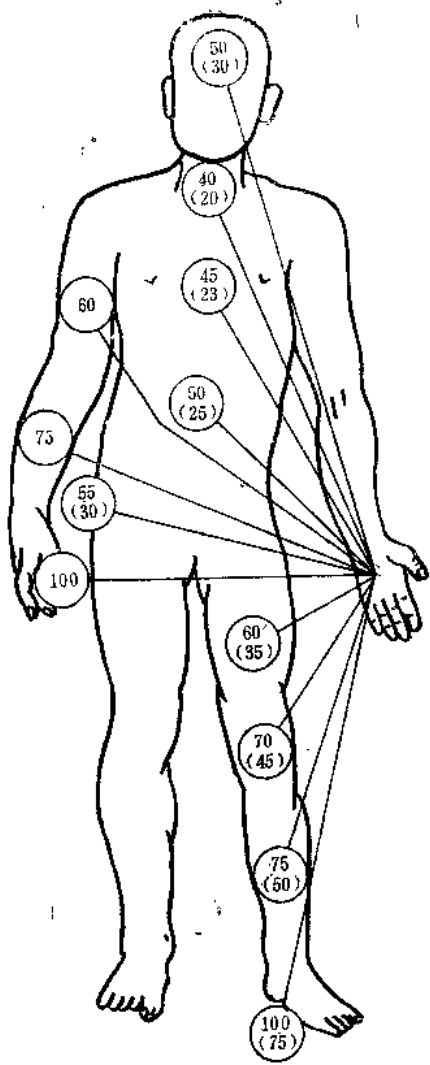


图1-6 用与手到手内阻抗比值百分数表示的人体内阻抗

电压高于150 V时，湿度和接触表面对人体总阻抗的测量值影响很小。

表1-2和图1-7、图1-8展示的数据是对成年男女进行测定的统计数值，共分三组：

5%数据组（或曲线） 表示在所有统计数值中有5%的数值小于这个电抗值；

50%数据组（或曲线） 表示各有一半数值大于或小于这个电抗值；

95%数据组（或曲线） 表示有5%的数值大于这个电抗值。

表1-2 人体总阻抗值 Z_T

接 触 电 压 V	人 体 总 阻 抗 值 Ω (按百分分布的百分数中不超的阻抗值给出)		
	5%	50%	95%
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
渐近值	650	750	850

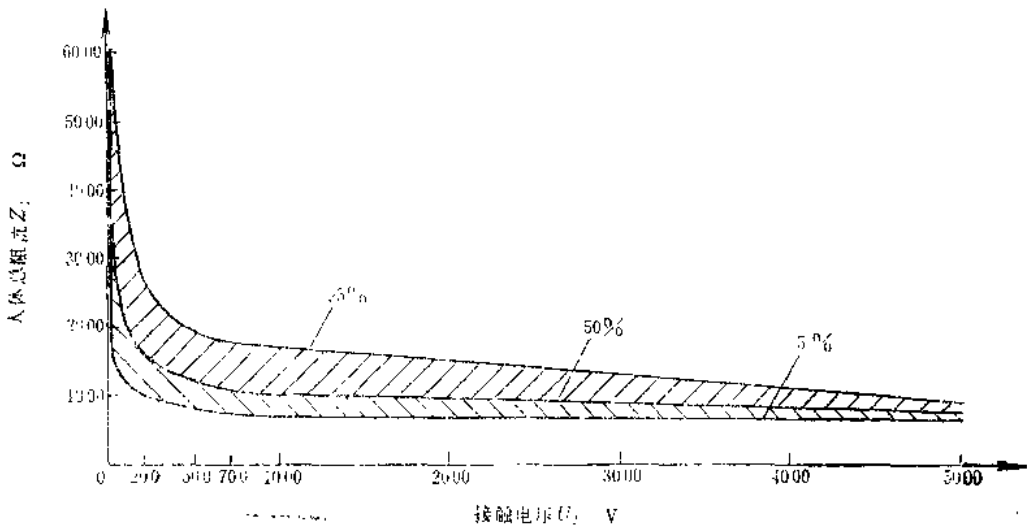


图1-7 接触电压5000V以内的人体总阻抗统计值

(3) 人体初始电阻 R_i ：

这是在对人体加上接触电压的瞬间限制人体电流峰值的电阻。由于皮肤阻抗中电容

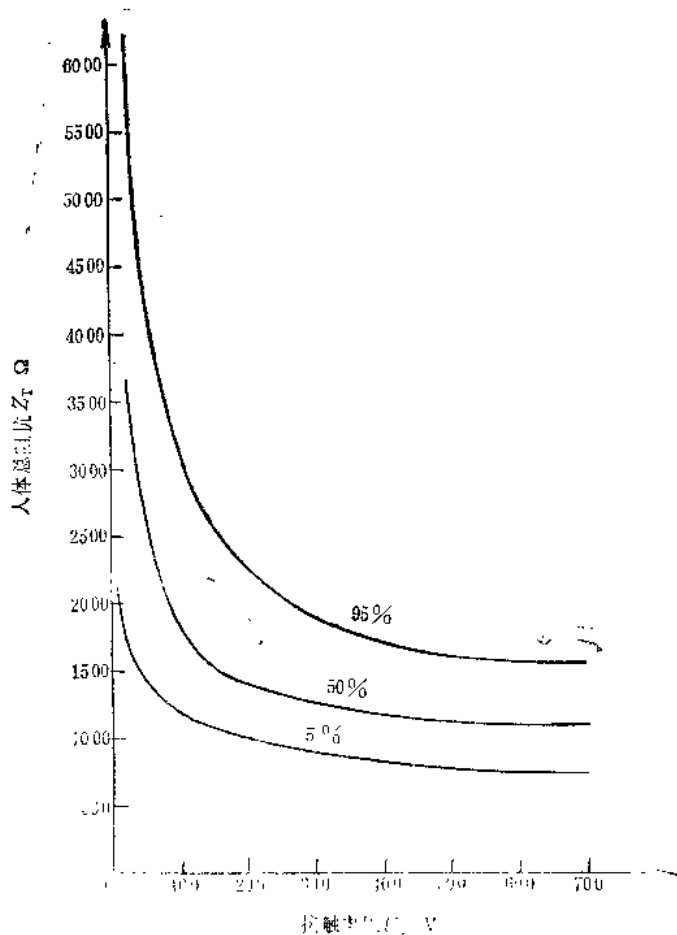


图1-8 接触电压700V以内的人体总阻抗统计值

分量的作用，皮肤上的接触电压在加压瞬间，其皮肤阻抗可忽略不计，人体初始电阻值接近于人体内阻抗 Z_i 。人体初始电阻值主要取决于电流路径。接触表面积对其电阻值影响较小。当接触面积较大时，手到手或手到脚路径的5%分布的人体初始电阻值可视为500 Ω 。

§ 1.2 触电事故类型及其防护原则

触电事故按其原因可分成两类：电力系统正常运行条件下的触电，又称直接接触电；故障条件下的触电，又称间接触电。

正常运行条件下的触电是在电力系统运行完全正常的条件下人体触及危险的带电部

分所致。这里的带电部分是在正常运行中通电的导体，包括中性导体。

故障条件下的触电是人触及了故障条件下（例如绝缘损伤、失效等）带电的外露可导电部分和外界可导电部分所致。外露可导电部分是电气设备和装置中能够触及的可导电部分，正常条件下不带电，故障条件下可能带电。外界可导电部分不是电气设备或装置的组成部分，故障条件下也可能带电。

国家标准GB 9089.2《严酷条件下户外场所电气设施 一般防护要求》参照IEC标准和国内设计运行经验首次较系统地提出了触电防护原则，这些原则不但对该标准适用范围是适用的，而且对所有电气设备和装置的触电防护都有指导意义。

正常运行条件下的基本触电防护措施包括：

- 利用遮栏或外壳的防护；
- 利用绝缘材料的防护；
- 将带电部分置于伸臂范围之外的防护；
- 设置阻挡物的防护；
- 使用漏电电流动作保护器的附加防护。

故障条件下的基本触电防护措施包括：

- 自动切断供电的防护；
- 使用Ⅱ类防触电设备或相当绝缘的防护；
- 采用非导电场所的防护；
- 采用电气隔离的防护；
- 采用不接地的局部等电位联结的防护。

做为例外，上述两类触电防护可以采用安全特低电压防护和功能特低电压防护。这两种防护的通用条件是供电电压值的上限不得超过50V（有效值）。

在电气设备和装置的安装、操作中，对正常和故障条件下的触电危险必须加以防护。



§ 1.3 配电系统接地型式

自动切断供电防护是故障条件下触电防护措施中应用最广泛的措施之一。这种防护措施需要配电系统接地型式和保护电器特性的相互配合。

GB 9089.2规定了TN、TT、IT三种接地型式。

1. 接地型式文字代号的意义

TN、TT、IT等均使用了两个字母，以表示三相电力系统和电气装置的外露可导电部分的对地关系。

第一个字母表示电力系统的对地关系

T：表示一点直接接地；