



中华人民共和国国家标准

GB/T 13870.1—2022/IEC 60479-1:2018

代替 GB/T 13870.1—2008, GB/T 13870.3—2003

电流对人和家畜的效应 第 1 部分:通用部分

Effects of current on human beings and livestock—
Part 1:General aspects

(IEC 60479-1:2018, IDT)

2022-10-12 发布

2023-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	V
引言	VI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 一般定义	2
3.2 在 15 Hz~100 Hz 范围内的正弦交流电流的效应	3
3.3 直流电流的效应	4
4 人体与家畜的阻抗	4
4.1 通则	4
4.2 人体内阻抗(Z_i)	4
4.3 皮肤阻抗(Z_s)	4
4.4 人体总阻抗(Z_T)	5
4.5 影响人体初始电阻(R_0)的因素	5
4.6 人体总阻抗值(Z_T)	5
4.6.1 大、中、小接触表面积的人体总阻抗	5
4.6.2 关于大的接触表面积的 50 Hz/60 Hz 的正弦交流电流	5
4.6.3 关于中等的和小的接触表面积的 50 Hz/60 Hz 的正弦交流电流	7
4.6.4 频率 20 kHz 及以上的正弦交流电流	10
4.6.5 直流电流	10
4.7 人体初始电阻(R_0)值	11
4.8 家畜躯体阻抗的特征	11
5 在 15 Hz~150 Hz 范围内正弦交流电流的效应	11
5.1 通则	11
5.2 感知阈	12
5.3 反应阈	12
5.4 活动抑制阈	12
5.5 摆脱阈	12
5.6 心室纤维性颤动阈	12
5.7 与电击相关的其他效应	13
5.8 电流对皮肤的效应	13
5.9 时间/电流区域的说明(见图 20)	13
5.10 心脏电流系数(F)的应用	14
6 直流电流的效应	15
6.1 通则	15
6.2 感知阈和反应阈	15

6.3	活动抑制阈和摆脱阈	15
6.4	心室纤维性颤动阈	15
6.5	电流的其他效应	15
6.6	时间/电流区域的说明(见图 22)	16
6.7	心脏系数	16
6.8	直流对阳极和阴极的效应	32
附录 A (规范性)	对活人和尸体进行的人体总阻抗 Z_T 的测定及其结果的系统分析	35
附录 B (规范性)	频率对人体总阻抗(Z_T)的影响	38
附录 C (规范性)	直流电流的人体总电阻(R_T)	39
附录 D (资料性)	Z_T 计算的示例	40
附录 E (资料性)	心室纤维性颤动理论	42
附录 F (资料性)	易损性上限(ULV)和易损性下限(LLV)的值	43
附录 G (资料性)	电击评估中的电路仿真方法	44
附录 H (规范性)	电流通过家畜躯体的效应	46
H.1	通则	46
H.2	家畜心室纤维性颤动风险的主要考虑因素	46
H.3	家畜躯体阻抗特性	46
H.4	动物的内阻(Z_i)	47
H.5	毛皮和皮肤的阻抗(Z_p)	47
H.6	蹄的阻抗(电阻)(Z_h, R_h)	47
H.7	躯体总阻抗(Z_T)	48
H.8	躯体总电阻(R_0)	48
H.9	躯体总阻抗的数值(Z_T)	48
H.10	躯体的初始电阻的数值(R_0)	49
H.11	15 Hz~100 Hz 范围交流正弦电流通过家畜的效应(R_0)	49
H.11.1	通则	49
H.11.2	反应阈	49
H.11.3	心室纤维性颤动阈	50
参考文献	53
图 1	人体阻抗	17
图 2	人体内部的部分阻抗 Z_{ip}	17
图 3	人体内部阻抗的简化示意图	18
图 4	干燥、水湿润和盐水湿润条件,大的接触表面积,电流路径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流,接触电压 U_T 为 25 V~700 V,50%被测对象的人体总阻抗 Z_T (50%)	19
图 5	干燥条件,50 Hz 交流接触电压时,一个活人的总阻抗 Z_T 与接触表面积之间的关系曲线	20
图 6	干燥条件,50 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V,电流最大持续时间为 25 ms,从右手到左手的两食指尖的电流路径与从右手到左手的大的接触表面积的路径相比较,一个活人的 人体测定总阻抗 Z_T 与接触电压 U_T 之间的关系曲线	21

图 7 干燥条件,大的、中等的和小的接触表面积(数量级分别为 10 000 mm²、1 000 mm² 和 100 mm²),活人的 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 与 50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的关系曲线 22

图 8 水湿润条件,大的、中等的和小的接触表面积(数量级分别为 10 000 mm²、1 000 mm² 和 100 mm²),活人 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 与 50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的关系曲线 23

图 9 盐水湿润条件,大的、中等的和小的接触表面积(数量级分别为 10 000 mm²、1 000 mm² 和 100 mm²),活人 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 与 50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的关系曲线 24

图 10 干燥条件,手到手的电流路径,大的接触表面积,接触电压为 10 V 时,10 个活人测定的人体总阻抗 Z_T 与频率从 25 Hz~20 kHz 的关系曲线 24

图 11 干燥条件,手到手的电流路径,大的接触表面积,接触电压为 25 V 时,一个活人测定的人体总阻抗 Z_T 与频率从 25 Hz~2 kHz 的关系曲线 25

图 12 干燥条件,手到手或手到脚的电流路径,大的接触表面积,接触电压为 10 V~1 000 V 时,一个活人测定的人体总阻抗 Z_T 与频率从 50 Hz~150 kHz 的关系曲线 25

图 13 干燥条件,电流路径为手到手,大的接触表面积,50 Hz/60 Hz 交流和直流接触电压至 700 V 时,活人 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 和总电阻 R_T 测定的统计值 26

图 14 人的皮肤状况与电流密度 I_T 和电流的持续时间之间的关系曲线 26

图 15 测定人体阻抗 Z_T 与接触表面积之间关系曲线的电极 27

图 16 干燥条件,电流路径为手到手,大的接触表面积测定的交流接触电压 U_T 和接触电流 I_T 的示波图 28

图 17 心搏期间心室图 29

图 18 易损期心室纤维性颤动的触发——对心电图(ECG)和血压的影响 29

图 19 取自实验的狗、猪和羊的心室纤维性颤动的数据;交流接触电压为 220 V 和 380 V,人体总阻抗 Z_T (5%),电流路径为手到手横向流动方向的电气事故统计的人的心室纤维性颤动数据 30

图 20 电流路径为左手到双脚的交流电流(15 Hz~100 Hz)对人效应的约定的时间/电流区域(说明见表 11) 31

图 21 干燥条件,电流路径为手到手,大的接触表面积,关于直流的接触电压 U_T 和接触电流 I_T 的示波图 31

图 22 电流路径为纵向向上的直流电流对人效应的约定的时间/电流区域(说明见表 13) 32

图 23 60 Hz 正弦电流的摆脱电流 32

图 24 直流电流对阳极和阴极的影响 33

图 25 直流电压脉冲刺激单个心脏的细胞 34

图 G.1 Hart^[33] 的电气模型中的电击包括惊吓反应效应 44

图 H.1 用于电流通过母牛躯体相关部位从鼻子到腿部的路径的电流和阻抗 47

图 H.2 电流路径从鼻到四肢(路径 A)和从前腿到后腿(路径 B)的动物阻抗图 47

图 H.3	牛的总躯体阻抗图,占总数量百分比的 5%	49
图 H.4	羊的心室纤维性颤动	51
图 H.5	羊的最小致颤电流与重量的关系,电击持续时间为 3 s ^[55]	52
图 H.6	各种家畜的最小致颤电流(平均值)与重量的关系,电击持续时间为 3 s ^[53]	52
表 1	干燥条件,大的接触表面积,50 Hz/60 Hz 交流电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T	5
表 2	水湿润条件,大的接触表面积,50 Hz/60 Hz 交流电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T	6
表 3	盐水湿润条件,大的接触表面积,50 Hz/60 Hz 交流电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T	7
表 4	干燥条件,中等的接触表面积,电流路径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的人体总阻抗 Z_T (舍入到 25 Ω 的数值)	8
表 5	水湿润条件,中等的接触表面积,电流路径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的人体总阻抗 Z_T (舍入到 25 Ω 的数值)	8
表 6	盐水湿润条件,中等的接触表面积,电流路径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的人体总阻抗 Z_T (舍入到 5 Ω 数值)	9
表 7	干燥条件,小的接触表面积,电流途径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的人体总阻抗 Z_T (舍入到 25 Ω 的数值)	9
表 8	水湿润条件,小的接触表面积,电流路径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的人体总阻抗 Z_T (舍入到 25 Ω 的数值)	9
表 9	盐水湿润条件,小的接触表面积,电流路径为手到手,50 Hz/60 Hz 交流接触电压 U_T 为 25 V~200 V 的人体总阻抗 Z_T (舍入到 5 Ω 的数值)	10
表 10	干燥条件,大的接触表面积,直流电流路径为手到手的人体总电阻 R_T	11
表 11	一手到双脚的通路,交流 15 Hz~100 Hz 的时间/电流区域(图 20 区域的简要说明)	13
表 12	不同电流路径的心脏电流系数 F	14
表 13	直流——手到双脚通路的时间/电流区域(图 22 区域的简要说明)	16
表 A.1	干燥条件,A 型电极,偏差系数 F_D (5%和 95%)和人体总阻抗 Z_T	35
表 A.2	干燥、水湿润和盐水湿润条件,B 型电极,偏差系数 F_D (5%和 95%)和人体总阻抗 Z_T	35
表 A.3	干燥、水湿润和盐水湿润条件,偏差系数 F_D (5%和 95%)的人体总阻抗 Z_T	35
表 A.4	大的、中等的和小的接触表面积,干燥和水湿润条件,接触电压 U_T 为 25 V~400 V 的偏 差系数 F_D (5%)和 F_D (95%)	36
表 D.1	干燥条件,双手到双脚的电流路径,手为中等的接触表面积,双脚为大的接触表面积,降低 系数 0.8,50%被测对象的人体总阻抗数值和接触电流 I_T 的电生理效应	41
表 G.1	身体阻抗示例(未补偿)	45
表 H.1	交流电压直到 230 V,50 Hz/60 Hz,牛蹄的阻抗(电阻)(Z_h 、 R_h)	48
表 H.2	交流 50 Hz/60 Hz,接触电压直到 230 V,牛的躯体总阻抗(Z_T)	48
表 H.3	牛的躯体初始阻抗(R_0)	49
表 H.4	对于不同种类的家畜,在交流 50 Hz/60 Hz ^[53] 、 ^[54] 电击持续时间为 3 s 的心室颤动阈值	51

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 13870《电流对人和家畜的效应》的第 1 部分。GB/T 13870 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：通用部分；
- 第 2 部分：特殊情况；
- 第 4 部分：雷击效应；
- 第 5 部分：生理效应的接触电压阈值。

本文件代替 GB/T 13870.1—2008《电流对人和家畜的效应 第 1 部分：通用部分》和 GB/T 13870.3—2003《电流对人和家畜的效应 第 3 部分：电流通过家畜躯体的效应》。本文件以 GB/T 13870.1—2008 为主，整合了 GB/T 13870.3—2003 中的内容。与 GB/T 13870.1—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了总体阻抗的适用范围，将总体阻抗的适用范围扩展到 150 kHz 的频率范围（见 4.6.4，图 12）；
- 增加了直流对阳极和阴极的效应，澄清阳极与阴极的直流脉冲的差异（见 6.8）；
- 增加了心室纤维性颤动阈值，将单脉冲的心室纤维性颤动阈值扩展至 1 μ s 脉冲宽度（见附录 E）；
- 增加了 GB/T 13870.3—2003 关于电流通过家畜躯体效应的特别内容，此内容已纳入规范性附录 H（见附录 H）。

本文件等同采用 IEC 60479-1:2018《电流对人和家畜的效应 第 1 部分：通用部分》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国建筑物电气装置标准化技术委员会(SAC/TC 205)提出并归口。

本文件起草单位：中机中电设计研究院有限公司、北京兴电国际工程管理有限公司、余姚市嘉荣电子有限公司、施耐德电气(中国)有限公司、西门子(中国)有限公司。

本文件主要起草人：陈彤、王殿光、胡建平、钱加灿、唐颖、胡宏宇、杨宏峰、甄灼。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1992 年首次发布为 GB/T 13870.1—1992，2008 年第一次修订；
- 2003 年首次发布为 GB/T 13870.3—2003；
- 本次为第二次修订。

引 言

GB/T 13870 旨在提供电流对人和家畜的效应,并用于制定电气安全的要求。拟由以下部分构成。

- 第 1 部分:通用部分。目的在于提供了电流对人和家畜的效应的基本导则。
- 第 2 部分:特殊情况。目的在于阐述频率在 100 Hz 以上的正弦交流通过人体的效应。
- 第 4 部分:雷击效应。目的在于阐述雷电对人和家畜效应的基本参数及其可变性。
- 第 5 部分:生理效应的接触电压阈值。目的在于对第 1 部分中人体阻抗和生理效应的电流阈值进行分析,提供接触电压-持续时间组合阈值曲线。

为了避免在解释本文件时出现错误,必须强调的是,所列举的数据主要是根据对动物进行的试验以及由临床观察所获得的资料。只有少数短时间电击电流的试验是在活人身上进行的。

由于对动物进行研究所获得的数据偏于保守,因此本文件对包括儿童在内的生理条件正常的人都适用,而与年龄和体重无关。

然而,还有其他方面要予以考虑,诸如故障的概率、与带电或故障部件接触的概率、接触电压与故障电压的比值、获得的经验、技术可行性和经济性。在确定安全要求时需要认真考虑这些参数,例如:电气装置内保护电器的操作特性。

通过本文件形式总结了迄今取得的成果,而这些成果正被 IEC TC 64 技术委员会用作制定电击防护要求的依据。考虑到这些成果的重要性,有充分理由使之成为一份 IEC 出版物,以使需要这种资料的其他 IEC 委员会和国家,可将其作为导则使用。

本文件适用于主要由电流引起死亡的心室纤维性颤动阈。最近对心脏生理学和纤维性颤动阈研究工作成果的分析,得出了有可能更好地理解主要物理参数的影响,尤其是电流流过持续时间的影响。

本文件包含有关人体阻抗和人体电流阈对各种生理效应的资料,这种资料可以被组合,以便引用于电流通过人体的路径,接触的潮湿条件以及皮肤的接触面积等交流、直流接触电压阈的评估。

本文件更适用于电流的效应。在对人和家畜的有害效应进行评估时,其他的非电气现象,包括跌倒、发热、起火或其他现象都要被考虑。这些问题超出了本文件的范围,但就其本身而言,可能是极为重要的。

目前正在考虑进一步的实验数据,例如最近正在进行的“用离散傅里叶光谱激发的电流诱发心室纤维性颤动”的实验工作,旨在提供频率系数数据。

家畜躯体的阻抗特性和正弦交流电的效应在附录 H 中进行了描述。

电流对人和家畜的效应

第 1 部分：通用部分

1 范围

本文件提供了电流对人和家畜的效应的基本导则。

就通过人体的一条给定的电流路径而言,对人的危险主要取决于电流的数值和通电时间。但是在许多情况下,以下各条款规定的时间/电流区域,实际上并不直接用于电击防护的设计。必须以时间为函数的接触电压(即通过人体的电流与人体阻抗的乘积)的允许极限值作为判据。由于人体的阻抗随接触电压而变化。所以电流与电压的关系不是线性的,因此需要给出其关系数据。人体的不同部分如皮肤、血液、肌肉、其他的组织和关节对电流呈现的阻性和容性分量组成了人体阻抗。

人体阻抗的数值取决于若干因素,特别是电流路径,接触电压、电流的持续时间、频率、皮肤潮湿程度、接触表面积、施加的压力和温度。

本文件中所列阻抗值主要是对尸体和少数活人身上进行测定所得的数据仔细审核而得的。

交流电流对人体的效应,基本上以电气装置中最常用的频率为 50 Hz 或 60 Hz 的交流电流效应的有关研究结果为依据,但所给出的数据被认为可适用于 15 Hz~100 Hz 的频率范围,在此范围起始端频率的阈值比 50 Hz 或 60 Hz 的阈值要高,主要是要考虑心室纤维性颤动的危险,因为它是致命事故的主要机制。

从直流应用的数量来看,直流发生的事故比预期的要少得多,只有在其非常不利的情况下,例如在矿井中才会发生致命事故;部分原因是被抓住的直流带电体较易于摆脱,以及当电击持续时间大于心搏周期时,直流电流的心室颤动阈比交流的要高得多。

该基本安全出版物主要用于技术委员会根据 IEC Guide 104 和 ISO /IEC Guide 51 中规定的原则编制标准时使用的。它不适用于制造商或认证机构。

在适用的情况下,技术委员会的职责是在准备编写出版物时使用基本安全出版物。除非明确提及或包含在相关出版物中,否则基本安全出版物的要求、测试方法或测试条件将不适用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

IEC Guide 104:2010 安全出版物的制定和基础安全出版物与分类安全出版物的使用(The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications)

ISO/IEC Guide 51:2014 安全方面 标准中包括安全因素的编写导则(Safety aspects—Guide Lines for their inclusion in standards)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 用于标准化维护术语数据库,可在如下所示地址获取: