

(2016年版)

注册电气工程师 执业资格考试专业考试 复习指导书

(供配电专业)

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会 编

上册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

(2016年版)

注册电气工程师 执业资格考试专业考试 复习指导书 (供配电专业)

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会 编

上册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是注册电气工程师执业资格考试系列教材之一。全书共 15 章，章、节的编排与《注册电气工程师（供配电）执业资格考试专业考试大纲》相对应，按照 2016 年新规程规范清单对教材内容进行了更新，为原书的修订版。教材包含了供配电、建筑电气、电气传动等专业的相关内容，是一本较完整的复习资料。教材中的重要内容增加了出处，以便于考生对照复习。修订后的教材内容更加丰富、全面、实用、贴近考试，得到了命题专家组的认可。

本书可供参加注册电气工程师（供配电）执业资格考试的专业技术人员复习参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

注册电气工程师执业资格考试专业考试复习指导书：2016 年版·供配电专业：全 2 册/注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会编. —北京：中国电力出版社，2016.6（2016.7 重印）

ISBN 978-7-5123-9194-9

I. ①注… II. ①注… III. ①电气工程—资格考试—自学参考资料 ②供电系统—资格考试—自学参考资料 ③配电系统—资格考试—自学参考资料 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 073582 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 6 月第一版 2016 年 7 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 66.5 印张 1635 千字

印数 3001—5000 册 定价 260.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材

编 委 会

主 任 李爱民
副 主 任 郝士杰
委 员 浦文宗 张玉军 杨月红 张蜂蜜 宋志昂
任元会 姚家祎 黄纯懿 邵晓钢 张文才
杨德才 赵登福 陶 勤 张 农 叶四新
孙成群
顾 问 弋东方

主 编 济钢集团国际工程技术有限公司 黄纯懿
副 主 编 中国航空工业规划设计研究院 任元会
核工业第二研究设计院 姚家祎
中国航天建筑设计研究院 卞锐生

章 名	编写人	校审人
1 安全	任元会	黄纯懿
2 环境保护与节能	黄纯懿	任元会
3 负荷计算及负荷分级	卞铠生	任元会
4 110kV 及以下供配电系统	濮松夫	姚家祎
5 110kV 及以下变配电站站址选择及 电气设备布置	濮松夫	姚家祎
6 短路电流计算	姚家祎	濮松夫
7 110kV 及以下电气设备选择	姚家祎 任元会	濮松夫 姚家祎
8 导体选择、电缆线路和架空线路	卞铠生	任元会
9 变配电站控制、测量仪表、继电 保护及自动装置	姚家祎	黄纯懿
10 变配电站操作电源	姚家祎	黄纯懿
11 过电压保护及防雷	李鸿路 孙成群	卞铠生
12 接地装置	李鸿路	卞铠生
13 照明	任元会	姚家祎
14 电气传动	黄纯懿	濮松夫
15 建筑智能化	张路明	朱立彤

前言

为加强对勘察设计行业的管理,保证工程质量,维护社会公共利益和人民生命财产安全,规范设计市场,人事部、建设部先后印发了《勘察设计注册工程师制度总体框架及实施规划》(人发〔2001〕5号)和《注册电气工程师执业资格考试实施办法》(人发〔2003〕25号)等文件,启动了勘测设计执业资格注册管理制度。自2005年起,开始组织进行注册电气工程师执业资格考试。

为了便于考生系统地复习,全面掌握注册电气工程师执业资格考试大纲所涉及的内容,提高复习效率,我们组织有关方面的专家成立了注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会,按照考试大纲的要求,编写了注册电气工程师系列复习指导教材。

近几年来,我国的工程建设规模和技术水平有了很大提高,许多工程建设标准和规程规范都进行了修订,教材中的有些内容已不能与现行的规程规范相适应,为此我们组织专家对教材进行了重新修编,以满足考生应考复习的需要。

此次修编,仍根据《注册电气工程师(供配电)执业资格考试专业考试大纲》所列考试范围,按照2016年报名通知中新规程规范清单,对教材进行更新。同时吸收了培训教师、考生在使用教材时提出的意见和建议,对本书教材内容进行了补充完善,对教材中的重要内容增加了出处,文中摘录规范处,条文编号及图、表编号,直接采用规范本身的编号,文中直接引用规程规范的部分,字体均为楷体,以便于考生对文中内容的区分和对照复习。

教材包含了供配电、建筑电气、电气传动等专业的相关内容,是一本较完整的复习资料。修订后的教材内容更加丰富、全面、实用、贴近考试,得到了命题专家组的认可。可供参加注册电气工程师(供配电)执业资格考试的专业技术人员复习参考。

全书共15章,章、节的编排与《注册电气工程师(供配电)执业资格考试专业考试大纲》相对应,为原书的修订版。本次修订由黄纯懿担任主编,任元会、姚家祎、卞铠生担任副主编。在本书的编审过程中,得到了不少单位和专家的大力支持,并提出了很多宝贵意见和建议,对此我们表示衷心的感谢。

由于考试内容涉及范围广,且修编时间很紧,书中难免存在疏漏之处,真诚希望读者提出宝贵意见,以便本书再版时改进。意见和建议请发至 cceen2@163.com 邮箱中。

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会

二〇一六年五月

目 录

前言

上 册

1 安全	1
1.1 工程建设标准(电气专业)强制性条文	1
1.2 电流对人体的效应(根据 GB/T 13870.1—2008《电流对人和家畜的效应第1部分:通用部分》)	1
1.3 安全电压及电击防护的基本要求	15
1.4 低压配电系统接地故障保护和等电位联结	21
1.5 危险环境电力装置的特殊设计要求	32
1.6 电气设备防误操作的要求及措施	59
1.7 电气工程设计的防火要求及措施	60
1.8 电力设施抗震设计和措施	67
2 环境保护与节能	71
2.1 电气设备对环境的影响及防治措施	71
2.2 供配电系统设计的节能措施	78
2.3 提高电能质量的措施	114
2.4 节能型电气产品的选用方法	127
3 负荷计算及负荷分级	141
3.1 负荷计算	141
3.2 负荷分级	174
4 110kV 及以下供配电系统	181
4.1 供配电系统	181
4.2 电能质量	199
4.3 无功补偿	217
5 110kV 及以下变配电站站址选择及电气设备布置	226
5.1 变配电站站址选择	226
5.2 变配电站型式	228
5.3 变配电站的布置设计	230
5.4 特殊环境配电装置设计	242
5.5 各级电压配电装置的安全净距	246
6 短路电流计算	250
6.1 短路电流计算方法	250
6.2 短路电流计算结果的应用	281

6.3	影响短路电流的因素及限制短路电流的措施	281
6.4	短路电流在导体和电器中引用的热效应	282
7	110kV 及以下电气设备选择	284
7.1	常用电气设备选择的技术条件和环境条件	284
7.2	高压变压器配电设备的选择	289
7.3	低压配电设备及电器元件的选择	313
8	导体选择、电缆线路和架空线路	342
8.1	导体选择	342
8.2	电缆线路	358
8.3	架空线路	378
9	变配电站控制、测量仪表、继电保护及自动装置	404
9.1	变配电站控制、测量和信号设计要求	404
9.2	电气设备和线路继电保护配置、整定计算及选型的原则	420
9.3	变配电站自动装置及综合自动化的设计要求	442
10	变配电站操作电源	448
10.1	系统设计	448
10.2	直流负荷	450
10.3	保护与监控	453
10.4	设备选择	460
10.5	设备布置	480
10.6	专用蓄电池室对相关专业的要求	481
10.7	交流操作电源的设计要求	482

下 册

11	过电压保护及防雷	487
11.1	电气装置的过电压保护	487
11.2	电气装置的绝缘配合	509
11.3	建筑物防雷的分类及措施	517
11.4	建筑物防雷装置和防雷电磁脉冲设计的要求和计算方法	540
12	接地装置	566
12.1	高压电气装置接地	566
12.2	发电厂和变电站的接地网	567
12.3	高压架空线路的接地	583
12.4	6kV ~ 220kV 电缆线路的接地	585
12.5	高压配电电气装置的接地	587
12.6	低压系统的接地和保护总等电位连接系统	588
12.7	接地电阻的计算	605
12.8	发电厂和变电站的人地故障电流及地电位升高的计算	610

13 照明	613
13.1 照明方式和照明种类	613
13.2 照度标准和照明质量	615
13.3 光源、电器附件及灯具的选择	636
13.4 照明配电及控制	647
13.5 照度计算	651
13.6 照明工程节能标准与措施	657
14 电气传动	668
14.1 电气传动系统的组成及分类	668
14.2 电动机的选择	678
14.3 交、直流电动机的起动方式及起动校验	698
14.4 交、直流电动机调速技术	720
14.5 交、直流电动机电气制动方式及计算方法	789
14.6 电动机保护配置及计算方法	794
14.7 低压交流电动机控制电器的选择	802
14.8 电动机调速系统性能指标	816
14.9 PLC 的应用	820
15 建筑智能化	846
15.1 火灾自动报警系统	846
15.2 建筑设备监控系统	885
15.3 安全防范系统	911
15.4 通信网络系统	930
15.5 综合布线系统	947
15.6 有线电视系统	959
15.7 公共广播、厅堂扩声及会议系统	969
15.8 公共显示装置与呼叫信号系统	993
15.9 智能化集成系统	1004
15.10 弱电机房工程设计与环境要求	1007
15.11 室内弱电线路敷设	1017
15.12 室外弱电线路敷设	1021
附录一 关于印发《注册电气工程师执业资格制度暂行规定》 《注册电气工程师执业资格考试实施办法》和 《注册电气工程师执业资格考核认定办法》的通知	1025
附录二 关于公布注册电气工程师执业资格考试专业考试大纲的通知	1029
附录三 专业考试注意事项	1042

安 全

1.1 工程建设标准(电气专业)强制性条文

略。

1.2 电流对人体的效应(根据 GB/T 13870.1—2008《电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分》)

1.2.1 术语和定义

(1) 纵向电流(longitudinal current): 纵向流过人体躯干的电流(如从手到脚)。

(2) 横向电流(transverse current): 横向流过人体躯干的电流(如从手到手)。

(3) 人体内阻抗(internal impedance of the human body, Z_i): 与人体两个部位相接触的二电极间的阻抗, 不计皮肤阻抗。

(4) 皮肤阻抗(impedance of the skin, Z_s): 皮肤上的电极与皮下可导电组织之间的阻抗。

(5) 人体总阻抗(total impedance of the human body, Z_T): 人体内阻抗与皮肤阻抗的矢量和。

(6) 人体初始电阻(initial resistance of the human body, R_0): 在接触电压出现瞬间, 限制电流峰值的电阻。

(7) 干燥条件(dry condition): 活人在正常室内环境条件下休息时, 皮肤接触表面面积的湿度的条件。

(8) 水湿润条件(water-wet condition): 浸入于市政供水(平均电阻率 $\rho = 3500\Omega \cdot \text{cm}$, $\text{pH} = 7 \sim 9$) 的水中 1min, 皮肤接触表面面积的条件。

(9) 盐水湿润条件(saltwater-wet condition): 浸入于 3% NaCl(氯化钠)的水溶液(平均电阻率 $\rho = 30\Omega \cdot \text{cm}$, $\text{pH} = 7 \sim 9$) 中 1min, 接触表面面积皮肤的条件。

(10) 偏差系数(deviation factor, F_D): 在给定的接触电压, 人口某百分数的人体总阻抗 Z_T 除以人口 50% 百分数的人体总阻抗 Z_i , 即

$$F_D(X\%, U_T) = \frac{Z_T(X\%, U_T)}{Z_i(50\%, U_T)}$$

(11) 感知阈(threshold of perception): 通过人体能引起任何感觉的接触电流的最小值。

(12) 反应阈(threshold of reaction): 能引起肌肉不自觉收缩的接触电流的最小值。

(13) 摆脱阈(threshold of let-go): 人手握电极能自行摆脱电极时接触电流的最大值。

(14) 心室纤维性颤动阈(threshold of Ventricular fibrillation): 通过人体能引起心室纤维性颤动的接触电流最小值。

(15) 心脏—电流因数(heart-current factor, F): 电流通过某一路径在心脏中所产生

的电场强度（电流密度）与该等量接触电流通过左手到双脚时在心脏内产生的电场强度（电流密度）之比。

注：在心脏内，电流密度与电场强度成正比。

(16) 易损期（vulnerable period）：心搏周期中较短的一段时间，在此期间心脏纤维处于不协调的兴奋状态，如果受到足够大的电流激发，就会发生心室纤维性颤动。

注：易损期对应于心电图中T波的前段，约为心搏周期的10%。

(17) 人体的总电阻（total body resistance, R_T ）人体内部电阻与皮肤电阻之和。

(18) 直流/交流的等效因数（d. c. /a. c. equivalence factor, k ）直流电流与其能诱发相同心室纤维性颤动概率的等效的交流电流的方均根（r. m. s）值之比。

注：以电击持续时间超过一个心搏周期，并且心室纤维性颤动概率为50%为例，对10s的等效因数约为：

$$k = \frac{I_{\text{d.c. - 纤维性颤动}}}{I_{\text{a.c. - 纤维性颤动(r.m.s)}}} = \frac{300\text{mA}}{80\text{mA}} = 3.75$$

(19) 向上电流（upward current）：通过人体使脚处于正极性的直流接触电流。

(20) 向下电流（downward current）：通过人体使脚处于负极性的直流接触电流。

1.2.2 人体的阻抗

人体的阻抗值取决于许多因素，尤其是电流的路径、接触电压、电流的持续时间、频率、皮肤的潮湿程度、接触的表面积、施加的压力和温度。

人体阻抗的示意图如图1-2-1所示。

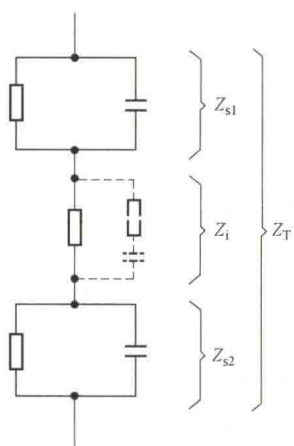


图1-2-1 人体阻抗示意图

Z_i —内阻抗； Z_{s1} 、 Z_{s2} —皮肤

阻抗； Z_T —总阻抗

1.2.2.1 人体的内阻抗（ Z_i ）

人体的内阻抗可认为是阻性的。其数值主要由电流路径决定，与接触表面积的关系较小。

如图1-2-2所示为人体不同部位的内阻抗，以一手到一脚为路径的阻抗百分数表示。

对于电流路径为手到手或手到脚时，阻抗主要是四肢（手臂和腿）。若忽略人体躯干的阻抗，可得出如图1-2-3所示的简化的电路图（假设手臂和腿的阻抗值相同）。

1.2.2.2 皮肤阻抗（ Z_s ）

皮肤阻抗可视为由半绝缘层和许多小导体（毛孔）组成的电阻和电容的网络。当电流增加时皮肤阻抗下降。其值取决于电压、频率、通电时间，接触表面积、接触压力、皮肤的潮湿程度和温度。

对较低的接触电压， Z_s 值也会随着条件不同而有很大变化，如接触的表面积和条件（干燥、潮湿、出汗）、温度、快速呼吸等。对较高的接触电压， Z_s 显著下降，当皮肤击穿时，变得可以忽略了。

至于频率的影响，则是频率增加时 Z_s 减少。

1.2.2.3 人体总阻抗（ Z_T ）

人体的总阻抗是由电阻性和电容性分量组成的。

对较低的接触电压， Z_s 具有显著的变化， Z_T 也随之有很大变化。对较高的接触电压，

Z_s 对 Z_T 影响越来越小, 其值接近于内阻抗 Z_i 。

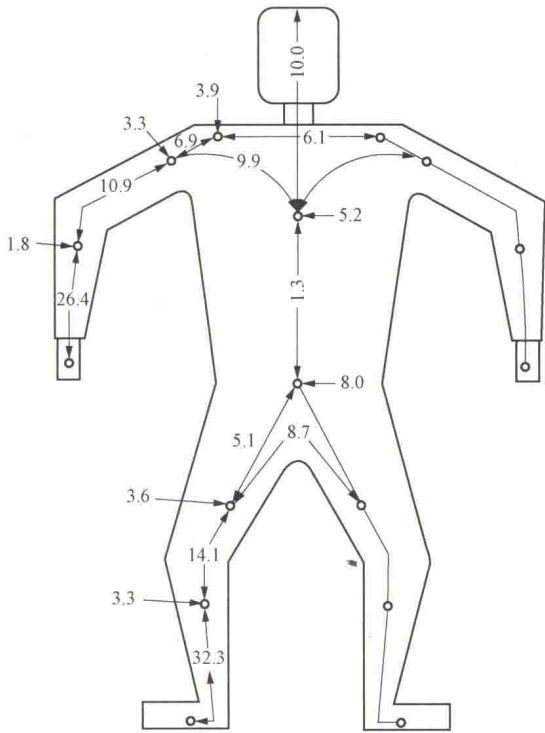
关于频率的影响, Z_T 在直流时较高, 且随着频率增加而减少。

1.2.2.4 影响人体内电阻 (R_0) 的因素

接触电压出现的瞬间, 人体电容尚未充电, 皮肤阻抗 Z_{s1} 和 Z_{s2} 可忽略不计, 故初始电阻 R_0 大约等于人体内阻抗 Z_i , R_0 主要取决于电流通路, 与接触表面关系较少。

1.2.2.5 人体总阻抗值 (Z_T)

在干燥、水湿润和盐水湿润条件下的大的、中等的和小的接触表面积 (数量级分别为 10000、1000mm² 和 100mm²), 活人 50% 被测对象的人体总阻抗, 在交流接触电压 U_T 从 25 ~ 200V 时的关系曲线, 如图 1-2-4 ~ 图 1-2-6。



数字表示路径为一手到一脚的人体部分内阻抗的百分数。

注: 为了计算所给出的电流路径的 Z_T , 对电流流通的人体所有部分的部分内阻抗 Z_{ip} 以及接触表面积的皮肤阻抗都必须相加。人体外面的数字表示, 当电流进入那点时, 才要加到总数中的部分内阻抗。

图 1-2-2 人体不同部位的内阻抗 Z_{ip}

(1) 大接触表面积的正弦交流 (50 ~ 60Hz) 电流下的 Z_T 值。

1) 干燥条件下, 活的成年人电流路径为手到手的 Z_T 值列于表 1-2-1。

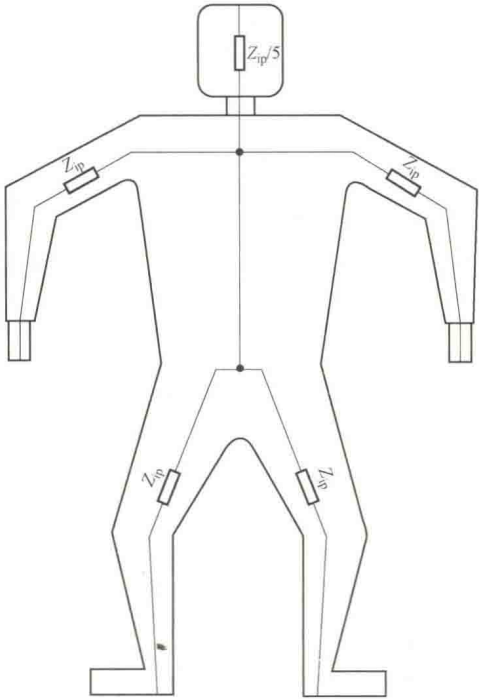
2) 水湿润条件下的 Z_T 值列于表 1-2-2。

3) 盐水湿润条件下的 Z_T 值列于表 1-2-3。

儿童的 Z_T 值预期稍高于成年人。

干燥、水湿润和盐水湿润条件, 大接触面积, 接触电压为 25 ~ 700V, 50% 被测对象的 Z_T 值范围如图 1-2-7 所示。

1



Z_{ip} ——一个肢体（手臂或腿）部分的内阻抗。
注：从一手到双脚的内阻抗大约是 75%，从双手到双脚为 50%，而从双手到人体躯干的阻抗为手到手或一手到一脚阻抗的 25%。

图 1-2-3 人体内部阻抗的简化示意图

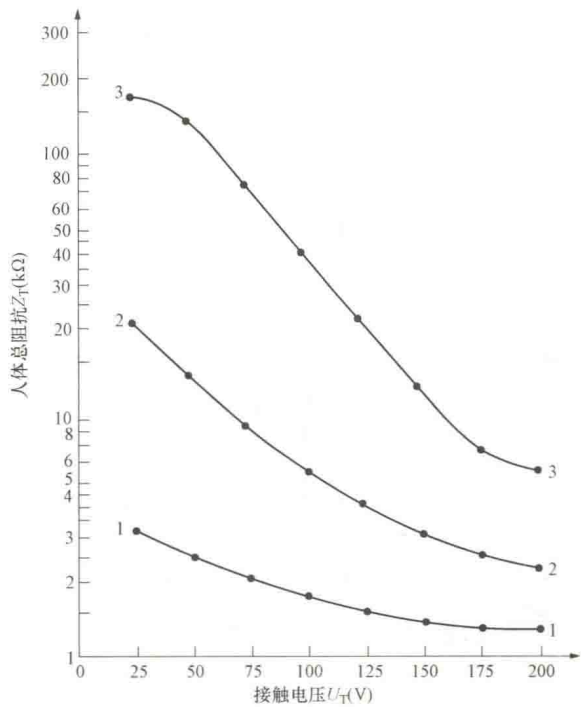


图 1-2-4 干燥条件，大的、中等的和小的接触表面积，活人的 50% 被测对象的 Z_T 与交流接触电压 U_T 为 25 ~ 200V 的关系曲线
1—大的接触表面积；2—中等尺寸的接触表面积；3—小的接触表面积

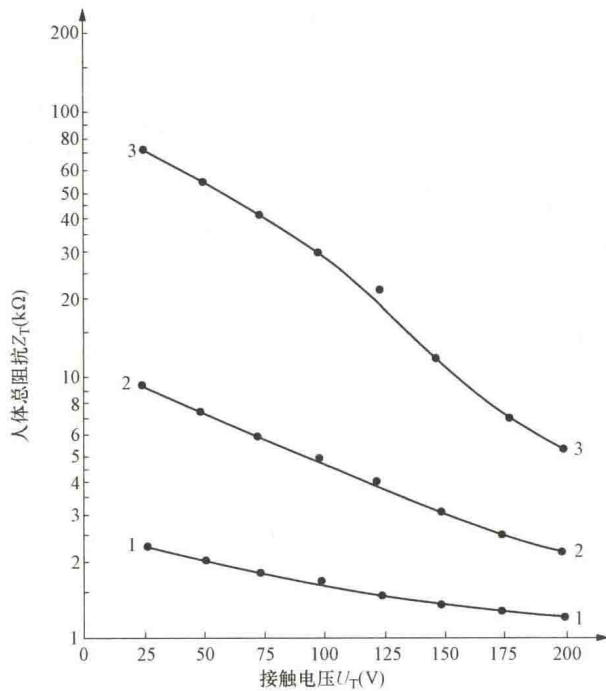


图 1-2-5 水湿润条件, 大的, 中等的和小的接触表面积, 活人 50% 被测对象的 Z_T 与交流接触电压 U_T 为 25 ~ 200V 的关系曲线
1—大的接触表面积; 2—中等尺寸的接触表面积; 3—小的接触表面积

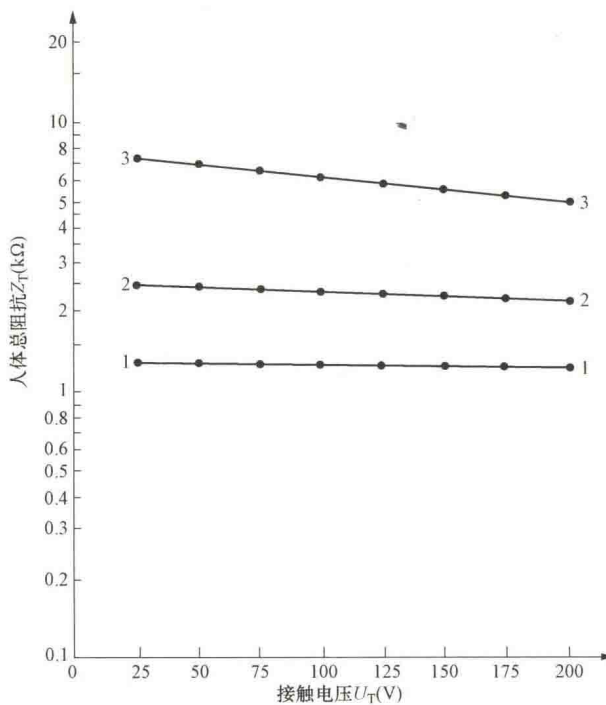


图 1-2-6 盐水湿润条件, 大的、中等的和小的接触表面积, 活人 50% 被测对象的 Z_T 与交流接触电压 U_T 为 25 ~ 200V 的关系曲线
1—大的接触表面积; 2—中等尺寸的接触表面积; 3—小的接触表面积

表 1-2-1 干燥条件，大接触表面积的正弦交流（50~60Hz）电流路径手到手的 Z_T

接触电压（V）	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值（ Ω ）		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	1750	3250	6100
50	1375	2500	4600
75	1125	2000	3600
100	990	1725	3125
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1 000	575	775	1050
渐近值 = 内阻抗	575	775	1050

注 1. 电流流路径为一手到一脚的人体总阻抗，稍低于电流路径为手到手的人体总阻抗（10%~30%）。
2. 对于活人的 Z_T 值，相应于电流的持续时间约为 0.1s。对于更长的持续时间， Z_T 值可能减少（约 10%~20%），而当皮肤完全破裂后。则 Z_T 接近于内阻抗 Z_i 。

表 1-2-2 水湿润条件，大接触表面积的正弦交流（50~60Hz）电流路径为手到手的 Z_T

接触电压（V）	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 数值（ Ω ）		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	1175	2175	4100
50	1100	2000	3675
75	1025	1825	3275
100	975	1675	2950
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值 = 内阻抗	575	775	1050

注 表注同表 1-2-1。

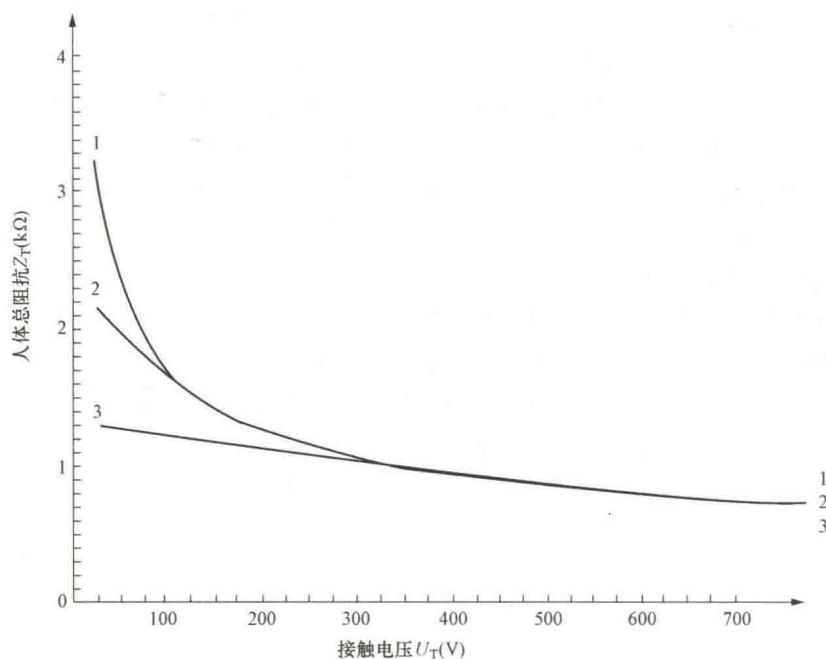


图 1-2-7 干燥、水湿润和盐水湿润条件，大的接触表面积，电流路径为手到手，50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25 ~ 700V，50% 被测对象的 Z_T (50%)
1—干燥条件；2—水湿润条件；3—盐水湿润条件

表 1-2-3 盐水润湿条件，大接触表面积的正弦交流 (50 ~ 60Hz) 电流路径为手到手的 Z_T

接触电压 (V)	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 数值 (Ω)		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	960	1300	1755
50	940	1275	1720
75	920	1250	1685
100	880	1225	1655
125	850	1200	1620
150	830	1180	1590
175	810	1155	1560
200	790	1135	1530
225	770	1115	1505
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值 = 内阻抗	575	775	1050

注 表注同表 1-2-1。

(2) 中等和小接触表面积的正弦交流 (50 ~ 60Hz) 电流下的 Z_T 值。中等和小接触表面积 的 Z_T 值，比大接触表面积的 Z_T 值明显增大，从图 1-2-4 ~ 图 1-2-6 可以看出。

(3) 频率 20kHz 及以下的正弦交流电流下的 Z_T 值。工频以上的高频率时由于皮肤电容影响使 Z_T 值下降, 频率大于 5kHz 时, Z_T 值接近于人体内阻抗 Z_i 。

接触电压 10V, 频率由 25Hz 至 20kHz 时 Z_T 值的变化见图 1-2-8。

接触电压 10~1000V, 频率由 50Hz 至 2kHz Z_T 值的变化见图 1-2-9。

(4) 直流电流下的 Z_T 值。人体直流总电阻 R_T 在接触电压 200V 以下时, 由于人的皮肤电容的阻塞作用, 比交流人体总阻抗 Z_T 高。

接触电压在 100V 以上时, 交流和直流 Z_T 差别很小, 可采用交流的数据。

(5) 人体初始电阻 (R_0) 值。电流路径为手到手或一手到脚和大的接触表面积, 对交流和直流的 5% 的人体初始电阻 R_0 可取 500 Ω 。对被测对象 50% 和 95% 的值, 分别可取 750 Ω 和 1000 Ω 。这些数值几乎与接触表面积和皮肤的状况没什么关系。

注: 因为在刚一接触时, 皮肤的电容和人体内部的电容都还未被充电, 所以初始电阻 R_0 数值, 与交流人体总阻抗 Z_T 的渐近值和关于直流人体总电阻 R_T 相比, 都显稍低。

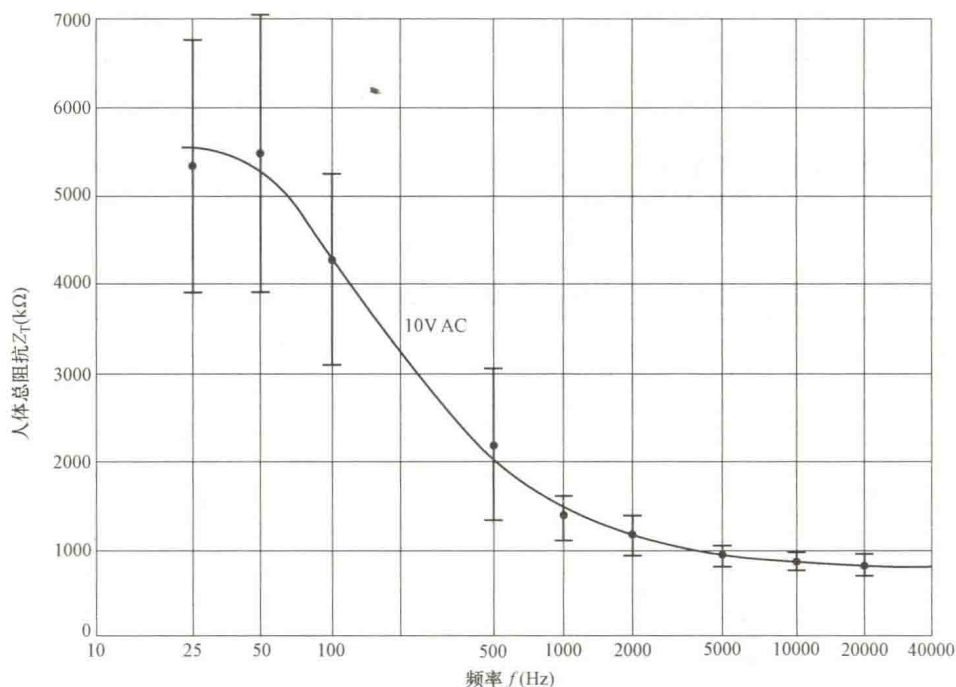


图 1-2-8 干燥条件, 手到手的电流路径, 大的接触表面积, 接触电压为 10V 时, 10 个活人测定的人体总阻抗 Z_T 与频率从 25Hz 至 20kHz 的关系曲线

1.2.3 15~100Hz 正弦交流电流的效应

本节说明频率为 15~100Hz 正弦交流电流 (指电流方均根值) 通过人体时的效应。接触电流及其效应示于图 1-2-10。

(1) 感知阈。感知阈取决于与电极接触的人体的面积 (接触面积)、接触的状况 (干燥、潮湿、压力、温度), 还取决于个人的生理特性。

(2) 反应阈。反应阈取决于与电极接触的人体的面积 (接触面积)、接触的状况 (干燥、潮湿、压力、温度), 还取决于个人的生理特性。