

实用电工速查速算系列手册

高低压电器速查速算手册

方大千 等 编著

GAODIYADIANQI
SUCHA SUSUAN SHOUCHE



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

实用电工速查速算系列手册

高低压电器速查速算手册

方大千 等 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书较详细而系统地介绍了高低压电器的计算公式和计算方法。内容包括:电气设备的使用条件及选用;电气设备的动、热稳定和绝缘强度等计算;高压电器的选用及计算;低压开关、熔断器和热继电器的选用及计算;接触器和继电器的选用及计算;电磁铁、电阻器等计算共六章。

本书公式准确、简明、实用,内容丰富,可供电气技术人员、高低压电器设计人员和高低压电器设备运行及维修电工使用,也可供大、中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高低压电器速查速算手册/方大千等编著. —北京:
中国水利水电出版社, 2004

(实用电工速查速算系列手册)

ISBN 7-5084-1907-3

I. 高... II. 方... III. ①高压电器—计算—技术手册 ②低压电器—计算—技术手册 IV. TM501-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004081 号

书 名	实用电工速查速算系列手册 高低压电器速查速算手册
作 者	方大千 等 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京密云红光印刷厂
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 13.375 印张 360 千字
版 次	2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

电气工作者经常涉及到电气的计算。电气计算公式和计算方法，见于各类设计手册、电工手册及电气书、刊中。设计手册类的书籍中，由于计算公式繁杂、参数甚多，查找使用不便，对于非技术人员则更难使用；电工手册类以数据、表格、资料为主，计算公式不多；而各类书、刊中的计算公式很分散，不易查找；加上各书刊的计算公式符号又不甚相同。这些都给使用者带来诸多不便。为了提高工作效率、节省时间，以适应当今时代快节奏的工作要求，我们组织编写了《实用电工速查速算系列手册》。书中公式没有冗长的推导过程和繁多的参数，开门见山，拿来即可使用，旨在解决实际问题。参加本手册编写工作的都是长期从事电气工作的工程技术人员，具有丰富的实践经验，因此本手册的实用性非常强。

《高低压电器速查速算手册》是一本实用的工具书。本书内容包括：电气设备的使用环境条件；高海拔地区和火灾、爆炸危险场所电气设备的选用；高、低压电器规范的选择条件；电气设备的动稳定、热稳定、绝缘强度和电流密度的计算；母线的选择及计算；互感器的选用及计算；高压断路器、操作机构、隔离开关、负荷开关、熔断器和避雷器等选用及计算；低压断路器、开关、熔断器、热继电器、接触器、继电器等选用及计算。介绍了热继电器与熔断器、断路器的配合；交流接触器用于直流负载的选用；交流接触器远控的计算和消除剩磁措施；继电器加速、延缓电路和熄火花电路元件参数选择；交流接触器无声运行计算；交、直流电磁铁线圈及温升计算；交、直流电磁铁的设计；电阻

器计算；50Hz（60Hz）低压电器用于 60Hz（50Hz）电源上的影响分析等计算。本书提供了在计算中经常用到的一些技术数据，同时还配有许多计算实例。

在本书的编写过程中，力求做到准确、简明、实用，并注意内容的先进性和新颖性。计算所涉及的标准和规定均采用最新颁布的国家标准和规定，所介绍的电器产品尽量采用新系列的产品，所有的数据也力求最新。全书采用法定计量单位和国家绘图标准。

全书由乐启昌、方大中高级工程师审校，参加编写工作的还有鲍俏伟、方亚平、方成、郑鹏、姚志松、刘淳冰、张荣亮、朱征涛、杨丽梅、许纪秋和那罗丽等。全书插图由方欣绘制。

限于编者的经验和水平，书中难免有错误和不妥之处，希望读者批评指正。

作 者

2004 年 1 月

目 录

前言

第一章 电气设备的使用条件及选用	1
第一节 电气设备的使用环境条件	1
一、普通电工产品的基本使用环境条件	1
二、高、低压电工产品的基本使用环境条件	1
三、特殊环境条件	3
四、环境条件对电气设备的影响	4
第二节 高海拔地区电气设备的选用	5
一、高海拔地区的环境条件	5
二、高原型电器的工作条件及技术要求	6
三、普通型电气设备在高海拔地区的使用	10
第三节 火灾和爆炸危险场所电气设备的选用及配线施工要求	12
一、火灾和爆炸危险场所电气设备的选用	12
二、火灾和爆炸危险场所的配线要求	19
第四节 高低压电器规范的选择条件	25
一、高压电器规范的选择条件	25
二、低压电器规范的选择条件	29
第二章 电气设备的动、热稳定和绝缘强度等计算	30
第一节 电气设备发热计算	30
一、高、低压电器的允许温升	30
二、绝缘材料的耐热等级及允许温升	37
三、载流导体发热计算	39
四、载流导体散热计算	41
五、短路时导体的发热计算	47
六、低压电器温升试验及计算	48
第二节 电气设备动稳定和热稳定校验	53
一、电气设备动稳定校验	53
二、电气设备热稳定校验	54

第三节 电气设备的绝缘强度和漏电距离的要求	57
一、电气设备绝缘的电气强度要求	57
二、电气设备的电气间隙和漏电距离要求	64
第四节 电气设备的绝缘强度试验及计算	68
一、电气设备绝缘电阻的最低安全值	68
二、不同温度下绝缘电阻的换算	69
三、绝缘的吸收比要求	72
四、绝缘介质损失角的正切值 $\tan\delta$ 要求	72
五、工频耐压试验及计算	75
第五节 电器触头压力、超行程、开距和接触电阻的计算	77
一、触头压力的计算	77
二、触头超行程和开距的确定	79
三、触头接触电阻的计算	80
第六节 电气设备电流密度的选择	82
一、常用高、低压电器的电流密度的选择	82
二、母线电流密度的选择	83
三、母线连接接头紧固螺栓的选择	85
第七节 载流导体的电动力计算	88
一、同一平面内圆细导体上的电动力计算	88
二、弯折导体的电动力计算	90
三、矩形导体的电动力计算	91
第八节 母线的选择及计算	92
一、母线的选择及计算	92
二、水内冷母线的选择及计算	101
第三章 高压电器的选用及计算	103
第一节 高压断路器的选用及计算	103
一、高压断路器的分类及主要用途	103
二、高压断路器的选用	105
三、高压断路器切断电容器组和空载长线的的能力	110
四、真空断路器和真空接触器操作过电压及其抑止措施	111
第二节 操作机构、隔离开关和负荷开关的选用及计算	115
一、操作机构的选用	115
二、户外刀开关电动操作机构电动机的选择	119

三、高压隔离开关的选用	119
四、高压负荷开关的选用	123
第三节 高压熔断器和避雷器的选用及计算	125
一、高压熔断器的选用	125
二、高压熔断器的级间配合	130
三、高、低压避雷器的选用	132
第四节 高、低压电压和电流互感器的选用及计算	138
一、电压互感器的选用	138
二、电流互感器的选用	141
三、计费电流互感器的选用	144
四、电流互感器二次负荷阻抗的计算	145
五、电流互感器二次电压的计算	146
六、一次侧穿绕式电流互感器变流比的换算	148
第五节 绝缘子和穿墙套管的选择及计算	149
一、悬垂式高压绝缘子的选用	149
二、高压支持绝缘子和穿墙套管的选用	153
第四章 低压开关、熔断器和热继电器的选用及计算	158
第一节 低压断路器的选用及计算	158
一、低压断路器的分类及主要用途	158
二、低压断路器的选用	166
三、直流断路器的选用	173
四、断路器与上下级保护电器的配合	176
五、交流断路器的选用举例	178
六、断路器保护与导线之间的配合	181
七、各种电子式脱扣器的性能设计要求	184
第二节 刀开关、转换开关和漏电开关的选用及计算	187
一、刀开关的选用	187
二、转换开关的选用	190
三、漏电开关的选用	196
第三节 熔断器的选用及计算	201
一、熔断器的选用	201
二、熔断器的级间配合	212
三、熔断器保护与导线之间的配合	214

四、用铜丝作保险丝时铜丝的选择	217
第四节 热继电器的选用及计算	219
一、热继电器的选用	219
二、热继电器的温度修正	226
三、热继电器与熔断器、断路器的配合	229
四、热继电器双、三金属片的技术数据	229
第五章 接触器和继电器的选用及计算	230
第一节 接触器的选用及计算	230
一、交流接触器的选用	230
二、直流接触器的选用	240
三、切换电容器用接触器的选用	246
四、交流接触器用于直流负载时的选用	252
五、交流接触器用于矩形波电源时的选用	256
六、交流接触器远控的计算及防失控措施	257
七、交流接触器短路环的计算	263
八、直流接触器中的磁吹线圈的计算	265
九、接触器、继电器起动电流和吸持电流的计算	266
十、消除交流接触器剩磁的措施及计算	267
第二节 继电器的选用及计算	269
一、继电器的分类及参数	269
二、继电器的选用及参数计算	271
三、电磁式控制继电器的选用	274
四、通用直流电磁继电器的动作性能	277
五、保护继电器和时间继电器的选用	278
六、电压继电器加速与延缓电路	284
七、继电器熄火花电路	291
八、常用小型继电器的技术数据	302
第三节 交流接触器无声运行计算	302
一、交流接触器交流吸合和直流吸合电流的计算	302
二、交流接触器无声运行元件的选择	306
三、无声节能接触器直流线圈的计算	314
四、交流接触器双绕组节能线圈的计算	316
五、交流接触器无声运行节电效果计算	319

第四节 接触器、继电器和电磁铁线圈的计算	321
一、交、直流电磁线圈的计算	321
二、直流线圈的温升计算	326
三、交流线圈的温升计算	327
四、交流线圈的简捷设计	328
五、直流线圈的简捷设计	331
六、直流接触器双绕组线圈的简捷计算	334
七、交、直流电磁线圈的换算	338
八、部分交、直流接触器、继电器线圈数据	341
第六章 电磁铁、电阻器等计算	344
第一节 电磁铁的基本计算及选用	344
一、电磁铁的基本公式及计算	344
二、电磁铁的吸力计算	350
三、电磁铁的选用	357
第二节 电磁铁的设计	362
一、交、直流电磁铁设计要点	362
二、直流拍合式电磁铁的设计	365
三、直流螺管式电磁铁的设计	374
四、交流拍合式电磁铁的设计	379
五、交流螺管式电磁铁的设计	382
六、交流E形电磁铁的设计	384
七、常用漆包线的直径、截面积、直流电阻及重量	385
八、常用电磁铁的技术数据	388
第三节 电阻器的计算	394
一、常用电阻材料的性能	394
二、无骨架电阻器的计算	399
三、有骨架电阻器的计算	400
四、电阻器允通电流的计算	403
第四节 低压电器的其他计算	404
一、电源频率对开关电器等性能的影响	404
二、50Hz 低压电器用于 60Hz 电源上的影响分析	408
三、60Hz 低压电器用于 50Hz 电源上的影响分析	412
四、开关电器极并联和串联的分析	412
参考文献	415

第一章 电气设备的使用条件及选用

第一节 电气设备的使用环境条件

电气设备有在普通环境下使用，有在特殊环境下使用，因此电器产品需根据使用环境条件进行设计、制造，以满足不同使用场所的需要。

一、普通电工产品的基本使用环境条件

1. 基本使用环境条件

(1) 海拔：1000m。

(2) 最高空气温度：40℃。

(3) 最低空气温度取下列数值之一：

+5℃；-10℃；-25℃；-40℃。

(4) 空气相对湿度：最湿月的月平均最大相对湿度为90%，同时该月的月平均最低温度为25℃。

2. 说明

(1) 海拔：以平均海平面作为基准(0m)起算的陆地高度。

(2) 最高(低)空气温度：指空气温度的最高(低)值。它是以每年所出现的最高(低)温度的多年平均值为基础的。

(3) 月平均最低温度：日最低温度的月平均值。

(4) 相对湿度：空气中所具有的水汽压与同一温度下饱和水汽压之比。

(5) 月平均最大相对湿度：日最大相对湿度值的月平均值。

(6) 最湿月：一年中月平均相对湿度值最大的月份。

二、高、低压电工产品的基本使用环境条件

1. 高压电工产品的基本使用环境条件

包括断路器、隔离开关、负荷开关、开关柜、组合电器、接

地开关等的基本使用环境条件如下：

(1) 海拔：1000m、2500m。

(2) 周围空气温度：

上限：+40℃。

下限：户内-5℃。

户外-30℃，高寒地区-40℃。

日温差：15℃。

(3) 户内产品相对湿度：90%（+25℃时）。

(4) 户外产品风速：35m/s。

(5) 地震烈度：8度。

2. 低压电工产品的基本使用环境条件

(1) 海拔：不超过2500m。

(2) 周围空气温度：

1) 不同海拔的最高空气温度见表1-1。

表1-1 不同海拔的最高空气温度

海拔 h (m)	$h \leq 1000$	$1000 < h \leq 1500$	$1500 < h \leq 2000$	$2000 < h \leq 2500$
最高空气温度 (℃)	40	37.5	35	32.5

2) 最低空气温度：

a. +5℃（适用于水冷电器）。

b. -10℃（适用于某些特定条件的电器，如电子式电器及部件等）。

c. -25℃。

d. -40℃（订货时指明）。

(3) 空气相对湿度：最湿月的月平均最大相对湿度为90%，同时该月的月平均最低温度为25℃，并考虑到因温度变化发生产品表面上的凝露。

(4) 对安装方位有规定或动作性能受重力影响的电器，其安装倾斜度不大于5℃。

(5) 无显著摇动和冲击振动的地方。

(6) 无爆炸危险的介质中, 且介质中无足以腐蚀金属和破坏绝缘的气体与尘埃 (包括导电尘埃)。

(7) 在没有雨雪侵袭的地方。

三、特殊环境条件

特殊环境条件是相对基本环境条件而言的。常见的特殊环境条件见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 特殊环境条件基本数据

环境因素		环 境 条 件				
		湿热	高原	化工腐蚀	煤矿防爆	工厂防爆
海拔 (m)		≤1000	3000	≤1000		
空气 温 度	年最高 (℃)	40	30	40	35	40
	年最低 (℃)	0	可取: +5; -10 -25; -40	-40		
	年平均 (℃)	25	10			
	月平均最高 (℃)	35	25			
	日平均 (℃)	35	20			
	最大日温差 (℃)		30			
空气相对湿度 (%)		95 (25℃)	90 (10℃)	90 (25℃)	90~97 (25℃)	90 (25℃)
气 压	最低 (kPa)	84	64	84		
	平均 (kPa)	90	70	90		
霉 菌		○			○	△
灰尘与沙尘			△		○	△
最大降雨强度 (mm/10min)		50	30	50		
爆炸性混合物					○	○

注 括号中的数值是参考值, 符号“○”表示设计时必须考虑, 符号“△”表示视具体情况而定。

表 1-3 化工腐蚀、工厂防爆环境的腐蚀性气体最高允许浓度

环境 因素 环境 条件	腐蚀性气体在空气中含量 (mg/m ³)						
	氯	氯化氢	二氧化硫 及三氧化硫	氮的氧 化物	氯化物	硫化氢	氨
化工腐蚀	3	15	40	10	15	>4.5	40
工厂防爆	△	△	△	△	△	△	△

注 符号“△”表示设计时需视具体情况而定。

四、环境条件对电气设备的影响

1. 海拔的影响

海拔变化, 大气压力也变化。在海拔为 1000~5000m 之间, 每增高 100m, 气压约降低 0.8~1kPa; 反之, 海拔高度每下降 100m, 气压增加约 1.3kPa。

气压降低容易使空气电离而降低介电强度, 同时冷却效能下降, 导致开关灭弧困难和电气设备温度升高。但海拔升高, 空气温度也会下降, 从而对设备温度升高有抵消作用。

2. 空气温度的影响

电气设备周围空气温度的高低直接影响其散热冷却效果。温度过高, 会加速绝缘老化、使塑料材料变形变质, 会使热继电器误动作、电子元件劣化; 温度过低, 会使电气设备内某些材料变硬变脆, 使有些油类的粘度增大或凝固, 影响设备的正常动作。日温差过大, 易产生凝露, 使绝缘性能降低, 还会使零部件变形、开裂、瓷件碎裂等。

3. 湿度的影响

当空气中相对湿度大于 65% 时, 电气设备的表面会覆以一层约 0.001~0.01 μ m 的水膜, 湿度越大, 水膜越厚, 当相对湿度接近 100% 时, 水膜厚度可达几十微米, 从而使电气设备的绝缘强度大大降低。另外, 当相对湿度为 80%~95%、温度在 25~30℃ 时, 易使霉菌旺生, 从而腐蚀电气设备的金属部件和印刷电路板等。相对湿度过低, 会使塑料等绝缘材料

变形、龟裂。

4. 盐雾的影响

盐雾对电气设备的影响程度与空气湿度密切相关,干燥的氯化物对电气设备几乎无影响,而在潮湿空气中的氯化物,会电离出大量的氯离子,导致金属的腐蚀,降低电气设备的绝缘强度,使泄漏电流增大等。

5. 腐蚀性气体的影响

腐蚀性气体主要有氯、氯化氢、氯化物、二氧化硫、硫化氢、氨、氧化氮等。这些气体在潮湿环境下会使电气设备的金属加速腐蚀,绝缘性能降低。

6. 爆炸性混合物的影响

在有爆炸性混合物的场所,如果电气设备产生火花、电弧,就会造成爆炸、火灾事故,因此在有火灾、爆炸危险场所,必须选用合适的防爆电气设备,电气设备和布线的安装也必须符合防火防爆的要求。

7. 振动的影响

振动会造成电气设备零部件的疲劳损坏、磨损和松动,使设备不能正常工作。

8. 其他因素的影响

如大气污秽、雷电、电磁干扰等均会对电气、电子设备造成严重影响。

第二节 高海拔地区电气设备的选用

一、高海拔地区的环境条件

海拔超过 1000m 的地区称为高海拔地区。高海拔地区,因空气稀薄,会使电工产品的散热效率降低,同时因气压降低和大气密度的减少,会使空气的绝缘强度降低。

最低气压、最高气温及最低气温、平均相对空气密度与海拔的关系,见表 1-4。

表 1-4 气压、温度、空气密度与海拔的关系

海拔 (m)	-2000 (矿井中)	0	1000	2000	3000	4000
最高气温 (°C)			40	35	30	25
最低气温 (°C)			-30	-30	-30	-30
最低气压 (kPa)	127.989	101.325 (平均)	87.459	77.460	68.527	60.528
平均相对 空气密度		1.000	0.892	0.796	0.709	0.660

二、高原型电器的工作条件及技术要求

1. 高原型高压电器的工作条件

(1) 海拔 1000~4000m。

(2) 气压、温度、空气密度与海拔的关系见表1-4。

(3) 户内空气相对湿度不大于 85% (20±5°C时)。

2. 高原型高压电器的技术要求

(1) 产品如在 1000m 及以下试验时, 其温升不得超过表 2-1 所规定的数值。当高压电器在高海拔地区使用时, 由于气温降低值足够补偿海拔对温升的影响, 故其额定电流值可保持不变。

如产品试验地点的海拔超过 1000m 时, 其允许温升按海拔 1000m 为基准每高 100m, 增加 0.4°C。

(2) 安装使用在海拔 1000~4000m 的产品, 其内部绝缘试验电压与普通型产品相同, 外部绝缘的工频和冲击试验电压如在使用地点的海拔试验时, 不得低于表 2-22 所规定的数值。

如试验地点的海拔低于 1000m, 则应根据 IEC 出版物 694 对工频和冲击试验电压作适当校正。

校正公式为

$$U = \frac{U_0}{1.1\alpha}$$

式中 U ——应选用的试验电压 (kV, 工频: 有效值; 冲击:

最大值);

U_0 ——额定耐压试验电压 (kV);

α ——校正系数, 见图 1-1。

例如, 对于 10kV 开关柜来说, 其额定电压为 12kV, 额定工频耐压值 (有效值) 为 32kV (对隔离距离) 和 28kV (各相之间及对地), 额定脉冲耐压值 (峰值) 为 85kV (对隔离距离) 和 75kV (各相之间及对地)。若使用地点为海拔 3500m, 而试验地点海拔低于 1000m, 则由图 1-1 查得校正系数 $\alpha=0.7$, 相应的耐压增加至

$$U = \frac{U_0}{1.1\alpha} = \frac{U_0}{1.1 \times 0.7} = 1.3U_0$$

即增加 30%。

3. 高原型低压电器的工作条件

(1) 海拔 2500~4000m。

(2) 气压、温度、空气密度与海拔的关系见表 1-4。

(3) 户内空气相对湿度不大于 85% (20±5℃时)。

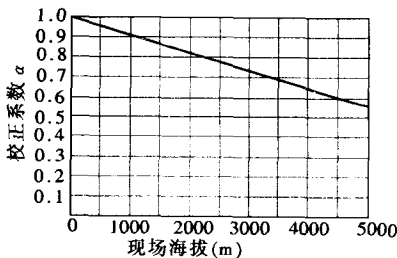


图 1-1 校正系数 α 与海拔关系

4. 高原型低压电器的技术要求

(1) 极限允许温升。低压电器零部件在海拔为 4000m、最高空气温度为额定值时的极限允许温升, 应符合表 2-2 的规定值另加由于海拔升高而增加的附加温升 14℃。

例如, 绝缘线圈及包有绝缘材料的金属导体, 在 B 级绝缘材料时长期工作制的极限允许温升在 0m 时为 90℃, 在 4000m 时应为 (90+14)℃=104℃。

(2) 绝缘要求。

1) 低压电路的绝缘应保证在表 1-5 所列条件下承受交流 50Hz 试验电压 (有效值) 历时 1min 而无击穿或闪络现象。