

电工实用技术丛书

# 常用电工测量技术

杨咸华 主编



机械工业出版社  
China Machine Press

电工实用技术丛书

# 常用电工测量技术

杨咸华 主编



机械工业出版社

14.108 00

本书是《电工实用技术丛书》之一。从实用角度出发,介绍电气工程中常用的测量技术,着重介绍电工测量的方法及仪表的使用技巧。内容包括电工仪表与测量的基本知识,常用电工仪器仪表,电流与电压的测量,电功率的测量,电能的测量,频率、相位和功率因数的测量,电阻的测量,电容与电感的测量及万用表的使用。

本书适于初、中级电工以及相关专业职业技术学校的师生阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

常用电工测量技术/杨咸华主编. —北京:机械工业出版社, 2001.5

(电工实用技术丛书)

ISBN 7-111-08749-6

I. 常… II. 杨… III. 电气测量—技术 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 06674 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:边 萌 版式设计:张世琴 责任校对:李汝庚

封面设计:姚 毅 责任印制:路 琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·8.875 印张·196 千字

0 001—5 000 册

定价:14.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

# 前 言

电工测量技术在电气工程中应用十分广泛，电气工作人员必须具备此项基础知识和技能，为便于广大电工学习和掌握这门技术，编者根据多年的教学和生产实践经验特编写此书。

本书着重讲述常用电工测量的方法及仪表的使用技巧，对电工仪表只作简单的概括性介绍。本书力求理论从简，突出实用性；并通过大量图表，使其具有可查性，便于使用时查阅。本书图形和文字符号均采用现行国家标准。内容包括常用电工仪表和常用电工测量方法。附录部分为电工仪表的常见故障及检修方法。

本书第二章第三节至第九节、第六章和第八章由刘永斌编写，其余部分均为杨咸华编写。全书由杨咸华统稿，姜孝定审稿。

由于编者水平有限，书中不妥及错、漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 电工仪表与测量的基本知识 .....       | 1   |
| 第一节 电工仪表的基本知识 .....          | 1   |
| 第二节 常用电工指示仪表的结构原理及特点简述 ..... | 15  |
| 第三节 常用电工测量方法 .....           | 22  |
| 第四节 常用电工仪表的选择 .....          | 24  |
| 第五节 测量误差 .....               | 27  |
| 第二章 常用电工仪器仪表 .....           | 32  |
| 第一节 测量用互感器 .....             | 32  |
| 第二节 电流表与电压表 .....            | 43  |
| 第三节 功率表 .....                | 58  |
| 第四节 电能表 .....                | 66  |
| 第五节 频率表、相位表和功率因数表 .....      | 80  |
| 第六节 电桥 .....                 | 88  |
| 第七节 绝缘电阻表和接地电阻测量仪 .....      | 96  |
| 第八节 万用表 .....                | 100 |
| 第九节 示波器 .....                | 108 |
| 第三章 电流与电压的测量 .....           | 113 |
| 第一节 电流的测量 .....              | 113 |
| 第二节 电压的测量 .....              | 118 |
| 第三节 电流表与电压表的使用 .....         | 125 |
| 第四节 互感器的选择和使用 .....          | 128 |
| 第四章 电功率的测量 .....             | 133 |
| 第一节 单相电功率的间接测量 .....         | 133 |

|     |                       |     |
|-----|-----------------------|-----|
| 第二节 | 单相电功率的直接测量·····       | 136 |
| 第三节 | 三相有功功率的测量·····        | 141 |
| 第四节 | 三相无功功率的测量·····        | 147 |
| 第五章 | 电能的测量·····            | 151 |
| 第一节 | 单相有功电能的测量·····        | 151 |
| 第二节 | 单相有功电能表错误接线及实例·····   | 154 |
| 第三节 | 单相有功电能表简易校验·····      | 157 |
| 第四节 | 三相电能的测量·····          | 158 |
| 第五节 | 三相有功电能表的接线·····       | 160 |
| 第六节 | 三相有功电能表错误接线实例·····    | 166 |
| 第七节 | 电能表的选择、安装与电能的抄读·····  | 169 |
| 第八节 | 电能表使用中的几个问题·····      | 171 |
| 第六章 | 频率、相位和功率因数的测量·····    | 176 |
| 第一节 | 用示波器测量频率·····         | 176 |
| 第二节 | 相位、功率因数的间接测量·····     | 179 |
| 第三节 | 相位、功率因数的直接测量·····     | 181 |
| 第四节 | 示波器的使用·····           | 184 |
| 第七章 | 电阻的测量·····            | 192 |
| 第一节 | 电阻的测量方法·····          | 192 |
| 第二节 | 电桥的使用·····            | 202 |
| 第三节 | 绝缘电阻的测量·····          | 207 |
| 第四节 | 接地电阻的测量·····          | 216 |
| 第五节 | 电阻测量法在机床电气检修中的应用····· | 223 |
| 第八章 | 电容与电感的测量·····         | 226 |
| 第一节 | 电容的测量·····            | 226 |
| 第二节 | 电感的测量·····            | 229 |
| 第九章 | 万用表的使用·····           | 234 |
| 第一节 | 指针式万用表的使用和维护·····     | 234 |
| 第二节 | 指针式万用表的测量实例·····      | 237 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第三节 数字式万用表的使用和维护·····    | 247 |
| 第四节 数字式万用表测量实例·····      | 251 |
| 第五节 万用表与绝缘电阻表配合测量实例····· | 257 |
| 附录 电工仪表常见故障及检修 ·····     | 261 |
| 参考文献·····                | 274 |

# 第一章 电工仪表与测量的基本知识

电工测量就是借助于测量设备，将被测量的电量或磁量，与作为测量单位的同类标准量进行比较，从而确定被测量或磁量的过程。

电工测量的数据主要是反映电和磁特征的物理量，如电流 ( $I$ )、电压 ( $U$ )、电功率 ( $P$ )、电能 ( $W$ ) 等；反映电路特征的物理量，如电阻 ( $R$ )、电容 ( $C$ )、电感 ( $L$ ) 等；反映电和磁变化规律的物理量，如频率 ( $f$ )、相位 ( $\varphi$ )、功率因数 ( $\lambda$ ) 等。对被测量与标准量进行比较的测量设备，包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量的各种仪器、仪表，统称为电工测量仪表。进行电工测量时，还应根据测量的目的和被测量的性质，选择不同的测量仪表和不同的测量方法。

电工仪表和电工测量方法是从事电气专业的工作人员必须掌握的一门知识。本章将着重介绍电工仪表与测量的基本知识。

## 第一节 电工仪表的基本知识

### 一、常用电工仪器、仪表的分类与型号

#### (一) 电工仪器、仪表的分类

电工仪器、仪表是实现电磁测量过程所需技术工具的总称。电工仪器、仪表的种类繁多，按照结构和用途等方面的特性可分为以下几类。

1. 积算仪表 积算仪表用于测量与时间有关的量，即在某段测量时间内，仪表对被测量进行累计，如电能表。

2. 较量仪器 较量仪器是用比较法进行测量的仪器。它又分为直流仪器和交流仪器两种类型，如电桥和电位差计。

3. 图示仪器 用来记录或观察被测量与另一变量函数变化关系的仪表，如 X-Y 记录仪、示波器等。

4. 数字仪表 数字仪表是采用逻辑电路，用数码显示被测量的仪表。它近年来发展较快，如数字电压表、数字万用表等。

5. 测磁仪器 用于测量基本磁量及磁性材料特性的仪器，统称为测磁仪器。

6. 扩大量限装置 这是一种用来扩大电工仪表测量范围的装置，如分流器、附加电阻、测量用互感器等。

7. 校验装置 按一定的测量方法和电路，将一些测量仪器、度量器和附属设备组合而成的整体称为校验装置。如指示仪表校验装置、电能表校验装置、互感器校验装置等。

8. 指示仪表 指示仪表是直读法仪表，即通过指针的偏转角位移可直接读出测量结果。各种交、直流电流表和电压表大多为指示仪表。

#### (1) 按仪表工作原理分类

1) 磁电式 利用可动线圈中电流产生的磁场与固定的永久磁铁磁场相互作用而工作的仪表。

2) 电磁式 由一个可动软磁片与固定线圈中电流产生的磁场相互吸引而工作的仪表，或者由一个或多个固定软磁片与可动软磁片（两者均被固定线圈中的电流磁化）之间相互作用而工作的仪表。

3) 电动式 利用可动线圈中电流所产生的磁场与一个或几个固定线圈中电流所产生磁场相互作用而工作的仪表。

4) 感应式 由一个或几个固定的交流电磁铁磁场与其在可动导电元件中感应电流所产生的磁场相互作用而工作的仪表。

5) 静电式 利用基于固定的和可动的电极之间静电力的效应而工作的仪表。

6) 整流式 由直流测量仪表和整流装置组成, 用于测量交流电流或电压的仪表。

此外, 还有热电式、双金属式、光电式、热线式、谐振式、电子式等。

(2) 按测量对象分类 根据测量对象的不同可分为电压表、电流表、功率表、频率表等。

(3) 按工作电流分类 可分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

(4) 按仪表外形尺寸的大小分类 可分为微型、小型、中型和大型四类, 它们的界限见表 1-1。

表 1-1 仪表按尺寸大小分类 (单位: mm)

| 仪 表 名 称 | 仪表正面部分的最大值 |           |
|---------|------------|-----------|
|         | 可携式仪表      | 安装式仪表     |
| 微型仪表    | $\leq 75$  | $\leq 40$ |
| 小型仪表    | 75~150     | 40~80     |
| 中型仪表    | 150~300    | 80~160    |
| 大型仪表    | $> 300$    | $> 160$   |

(5) 按仪表准确度等级分类 可分为七级即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级, 我国旧标准中最后一级为

4.0 级，所以现有产品中也有 4.0 级仪表。

### (6) 按使用方式分类

1) 安装式 指固定安装在仪器或设备的面板或开关板上使用的仪表。

2) 可携式 指可以移动和携带的仪表。

(7) 按使用条件分类 可分为 A、A1、B、B1、C 五组。各组仪表工作条件与最恶劣条件的规定见表 1-2。

表 1-2 仪表按使用条件分类

| 环境条件参数 |                | 分类组别          |               | A 组           | A1 组          | B 组           | B1 组          | C 组           |
|--------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 工作条件   | 温 度            | 0 ~ +40℃      |               | -20 ~ +50℃    |               | -40 ~ +60℃    |               |               |
|        | 相对湿度<br>(当时温度) | 95%<br>(+25℃) | 85%<br>(+25℃) | 95%<br>(+25℃) | 85%<br>(+25℃) | 95%<br>(+25℃) | 85%<br>(+25℃) | 95%<br>(+25℃) |
|        | 霉菌、昆虫          | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             |
|        | 盐 雾            | 没有            | 没有            | ①             | 没有            | ①             | 没有            | ①             |
|        | 凝 露            | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             |
|        | 尘 砂            | 有 (轻微)        | 有 (轻微)        | 有 (轻微)        | 有 (轻微)        | 有 (轻微)        | 有 (轻微)        | 有             |
| 最恶劣条件  | 温 度            | -40 ~ +60℃    |               | -40 ~ +60℃    |               | -50 ~ +60℃    |               |               |
|        | 相对湿度<br>(当时温度) | 95%<br>(+35℃) | 95%<br>(+30℃) | 95%<br>(+35℃) | 95%<br>(+30℃) | 95%<br>(+60℃) | 95%<br>(+60℃) | 95%<br>(+60℃) |
|        | 霉菌、昆虫          | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             |
|        | 盐 雾            | 有 (在海运包装条件下)  |               | 有 (在海运包装条件下)  |               | 有             |               | 有             |
|        | 凝 露            | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             | 没有            | 有             |
|        | 尘 砂            | 有 (在包装条件下)    |               | 有 (在包装条件下)    |               | 有             |               | 有             |

① 订货方提出要求时应能耐受盐雾影响。

所谓最恶劣条件，是指仪表不在此条件下工作，但经受此条件（如在运输途中）后，仍能正常工作。

#### (8) 按仪表外壳防护性能分类

- 1) 普通式 指能防机械损伤和污垢的仪表。
- 2) 防尘式 指能防灰尘进入外壳的仪表。
- 3) 防溅式 指能防雨水溅入外壳的仪表。
- 4) 防水式 指能在一定水压下防止水流浸入外壳的仪表。

5) 水密式 指在仪表完全沉入水中后能防止水进入外壳的仪表。

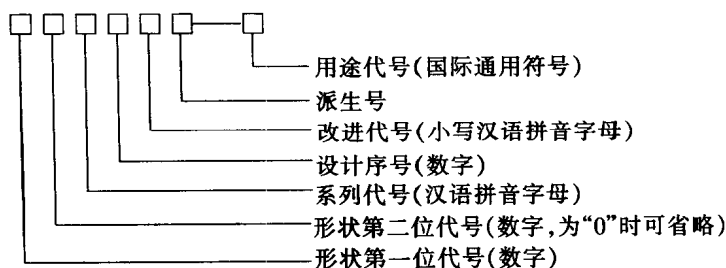
6) 气密式 指能防止外壳内部介质与外部空气对流的仪表。

7) 隔爆式 指具有隔爆外壳或其它防爆措施的仪表。

#### (二) 电工仪表的型号

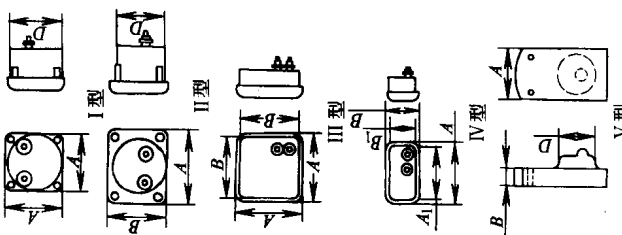
电工仪表的型号是按国家标准中有关电工仪表型号编制法编制的。通过电工仪表型号。可以了解仪表的用途及工作原理。

##### 1. 安装式指示仪表型号的组成



(1) 形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编制；形状第二位代号按仪表外壳形状尺寸特征编制。见表 1-3。

表 1-3 安装式仪表形状代号及对应尺寸表

| 电表外形<br>形状                                                                          | 形状第一位代号<br>(按正面形状<br>最大尺寸) | 形状第二位代号(按外壳形状特征)      |                   |                       |                     |                                    |                     |                                   |              |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------|
|                                                                                     |                            | 0                     | 1                 | 2                     | 3                   | 4                                  | 5                   | 6                                 | 8            | 9                   |
|  | 1<br>150~200               | 160×160<br>—B×B<br>Ⅲ型 |                   | 160×130<br>—D<br>Ⅱ型   | 160×160<br>—D<br>Ⅰ型 |                                    |                     | 160×80<br>—B×B<br>Ⅳ型              |              |                     |
|                                                                                     | 2<br>200~400               | 240×240<br>—B×B<br>Ⅲ型 |                   | 240×200<br>—D<br>Ⅱ型   | 240×240<br>—D<br>Ⅰ型 | 240×120<br>—B×B <sub>1</sub><br>Ⅳ型 |                     | 200×160<br>—D<br>Ⅱ型               |              |                     |
|                                                                                     | 3                          | 320×320<br>—B×B<br>Ⅲ型 |                   | 320×260<br>—D<br>Ⅱ型   | 320×320<br>—D<br>Ⅰ型 | 320×160<br>—B×B <sub>1</sub><br>Ⅳ型 |                     |                                   |              |                     |
|                                                                                     | 4<br>100~120               |                       |                   | 120×120<br>—B×B<br>Ⅲ型 | 120×40<br>—D<br>Ⅰ型  | 100×80<br>—D<br>Ⅱ型                 | 120×120<br>—D<br>Ⅰ型 | 120×60<br>—B×B <sub>1</sub><br>Ⅳ型 | 100×30<br>V型 |                     |
|                                                                                     | 5<br>120~150               |                       |                   |                       |                     |                                    |                     |                                   |              | 120×100<br>—D<br>Ⅱ型 |
|                                                                                     | 6<br>80~100                | 80×80<br>—B×B<br>Ⅲ型   | 80×60<br>—D<br>Ⅱ型 |                       | 80×80<br>—D<br>Ⅰ型   |                                    |                     |                                   | 80×25<br>V型  |                     |
|                                                                                     | 8<br>50~80                 | 60×60<br>—B×B<br>Ⅲ型   |                   |                       |                     | 60×60<br>—D<br>Ⅰ型                  |                     | 60×50<br>—D<br>Ⅱ型                 | 60×20<br>V型  | 50×16<br>V型         |
|                                                                                     | 9<br>50及50以下               | 40×40<br>—B×B<br>Ⅲ型   | 40×40<br>—D<br>Ⅰ型 | 30×30<br>—D<br>Ⅰ型     | 20×20<br>—D<br>Ⅰ型   | 10×10<br>—D<br>Ⅰ型                  | 40×32.5<br>—D<br>Ⅱ型 | 30×12<br>V型                       | 40×14<br>V型  | 20×10<br>V型         |

(2) 系列代号按仪表工作原理类别编制, 如电磁式代号为“T”, 磁电式代号为“C”等, 详见表 1-4。

表 1-4 系列代号

| 名 称 | 代 号 | 名 称  | 代 号 |
|-----|-----|------|-----|
| 磁电式 | C   | 电磁式  | T   |
| 电动式 | D   | 光电式  | U   |
| 热电式 | E   | 电子式  | Z   |
| 感应式 | G   | 双金属式 | S   |
| 整流式 | L   | 热线式  | R   |
| 静电式 | Q   | 谐振式  | B   |

(3) 派生代号见表 1-5。

表 1-5 派生代号

| 代号 | T      | TH   | TA   | G   | H  | F     |
|----|--------|------|------|-----|----|-------|
| 意义 | 湿热干热两用 | 湿热两用 | 干热带用 | 高原用 | 船用 | 化工防腐用 |

(4) 用途代号见表 1-6。

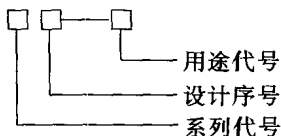
表 1-6 用途代号

| 名 称   | 符 号                                                              | 名 称   | 符 号                |
|-------|------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|
| 电流式   | A, mA, $\mu$ A, kA                                               | 频率表   | Hz, MHz            |
| 电压表   | V, mV, $\mu$ V, kV                                               | 整步表   | s                  |
| 有功功率表 | W, kW, MW                                                        | 相位表   | $\Phi$             |
| 无功功率表 | var, kvar, Mvar                                                  | 功率因数表 | $\cos\varphi$      |
| 欧姆表   | $\Omega$ , m $\Omega$ , $\mu\Omega$ ,<br>k $\Omega$ , M $\Omega$ | 多用表   | V-A, V-A- $\Omega$ |
| 电量表   | Q                                                                |       |                    |

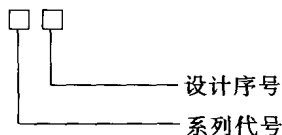
例 1-1 1C2—A 表示磁电式电流表, 由表 1-3 查得形状

第一位代号为“1”，表示面板最大尺寸为160mm×160mm；  
形状第二位代号为“0”，表示外壳形状为Ⅲ型。

## 2. 实验室用指示仪表型号的组成（无形状尺寸代号）



**例 1-2** D26—W 表示实验室用电动式功率表，设计序号为26。



## 3. 便携式及其它仪表型号的组成 系列代号见表 1-7。

表 1-7 便携式及其它仪表系列代号

| 系列名称  | 代号 | 分类名称      | 代号 |
|-------|----|-----------|----|
| 专用仪表  | M  | 万用表       | MF |
|       |    | 钳形电流表     | MG |
|       |    | 成套仪表      | MZ |
| 电桥    | Q  | 直流电桥      | QJ |
|       |    | 交流电桥      | QS |
|       |    | 多用电桥      | QF |
| 电阻表   | Z  | 绝缘电阻表     | ZC |
|       |    | 接地电阻表     | ZC |
| 电能表   | D  | 单相交流电能表   | DD |
|       |    | 三相交流电能表   | DS |
|       |    | 三相四线交流电能表 | DT |
|       |    | 直流电能表     | DJ |
|       |    | 无功电能表     | DX |
| 数字式仪表 | P  | 欧姆表       | PC |
|       |    | 万用表       | PF |
|       |    | 频率表       | PP |

例 1-3 MF500 表示万用表, 设计序号为 500。

PF5 表示数字式万用表, 设计序号为 5。

## 二、电工仪表的表面标记

每一种电工仪表的表面上都有多种符号的表面标记, 它们显示了仪表的基本技术特性, 只有在识别它们之后, 才能正确地选择和使用仪表。按照国家标准规定, 电工仪表的表面标记应包括: 测量对象的单位、电源种类、仪表工作原理的系列类型、准确度等级、使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压、仪表型号及其它各种额定值(如配用电流互感器的电流表应标有电流互感器的变比数值)等。电工仪表的表面标记见表 1-8。

表 1-8 电气测量指示仪表的符号

| (1) 测量单位的符号 |      |                    |       |
|-------------|------|--------------------|-------|
| 名 称         | 符 号  | 名 称                | 符 号   |
| 千安          | kA   | 兆欧                 | MΩ    |
| 安培          | A    | 千欧                 | kΩ    |
| 毫安          | mA   | 欧姆                 | Ω     |
| 微安          | μA   | 毫欧                 | mΩ    |
| 千伏          | kV   | 微欧                 | μΩ    |
| 伏特          | V    | 相位角                | φ     |
| 毫伏          | mV   | 功率因数               | cos φ |
| 微伏          | μV   | 无功功率因数             | sin φ |
| 兆瓦          | MW   | 库伦                 | C     |
| 千瓦          | kW   | 毫韦伯                | mWb   |
| 瓦特          | W    | 毫韦伯/米 <sup>2</sup> | mT    |
| 兆乏          | Mvar | 微法                 | μF    |
| 千乏          | kvar | 皮法                 | pF    |
| 乏           | var  | 亨                  | H     |
| 兆赫          | MHz  | 毫亨                 | mH    |
| 千赫          | kHz  | 微亨                 | μH    |
| 赫兹          | Hz   | 摄氏温度               | ℃     |
| 太欧          | TΩ   |                    |       |

(续)

| (2) 仪表工作原理的符号 |                                                                                   |                 |                                                                                   |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 名 称           | 符 号                                                                               | 名 称             | 符 号                                                                               |
| 磁电式仪表         |  | 电动式比率表          |  |
| 磁电式比率表        |  | 铁磁电动式仪表         |  |
| 电磁式仪表         |  | 感应式仪表           |  |
| 电磁式比率表        |  | 静电式仪表           |  |
| 电动式仪表         |  | 整流式仪表           |  |
| 外附定值分流器 75mV  |  | 外附定值附加电阻器 7.5mA |  |

| (3) 电流种类的符号 |                                                                                     |                |                                                                                     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 名 称         | 符 号                                                                                 | 名 称            | 符 号                                                                                 |
| 直流          |    | 直流和交流          |    |
| 交流 (单相)     |  | 具有单元件的三相平衡负载交流 |  |

| (4) 准确度等级的符号                 |     |
|------------------------------|-----|
| 名 称                          | 符 号 |
| 以标度尺上量限百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级 | 1.5 |