

# 基于互易原理的电流互感器校验仪准确性试验分析

刘 刚 艾 兵 刘 鹏 张杰夫 张福州 何 娜  
( 国网四川省电力公司计量中心 , 四川 成都 610045 )

**摘 要:** 基于互易原理的电流互感器校验仪检测电流互感器误差因其试验设备少、接线简单、测试速度快等优点而大量应用,但是对不同电流互感器校验仪的检测准确性如何尚缺乏充分的试验分析。用多种基于互易原理的电流互感器校验仪对电流互感器开展误差检测,并与传统比较测差法检测的结果进行比较分析,发现影响电流互感器校验仪检测准确性的主要因素是校验仪的准确度等级。对于准确度等级分别为 0.05 级和 0.05S 级的电流互感器校验仪,若检测结果分别在该点对应误差限值的 60% 和 80% 以内,则采用传统比较测差法检测得到的误差基本在误差限值范围内。

**关键词:** 互易原理; 电流互感器; 校验仪; 比较测差法

中图分类号: TM38 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)01-0082-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.01.017

## Test Analysis on Accuracy of Current Transformer Calibrator Based on Reciprocity Principle

Liu Gang , Ai Bing , Liu Kun , Zhang Jiefu , Zhang Fuzhou , He Na  
( State Grid Sichuan Electric Power Metrology Center , Chengdu 610045 , Sichuan , China )

**Abstract:** The current transformer calibrator based on reciprocity principle has many advantages such as less test equipment needed , simple wiring and fast testing speed. However , there have not been enough tests and analyses for the accuracy of different current transformer calibrators based on reciprocity principle. The current transformer calibrators based on reciprocity principle are used to detect the error of current transformers , and the results are compared with that of the traditional comparative measurement , which is found that the main factor that affects the detection results is the accuracy grade of the calibrators. For the current transformer calibrators with the accuracy grade 0.05 and 0.05S , if the test results are within 60% and 80% of the error limit , respectively , the errors obtained by the traditional comparative measurement are within the error limit.

**Key words:** reciprocity principle; current transformer; calibrator; comparative measurement

## 0 引 言

电力系统中的电流互感器是将一次大电流转换为二次小电流的装置,电流互感器传递信号的准确性对电能的准确计量和电网的安全稳定运行具有重要意义。因此,电流互感器传输特性的准确检测非常重要,同时国家计量法规定,贸易结算用的电流互感器属于强制检定设备,必须定期开展性能检定<sup>[1]</sup>。

JJG 1021-2007《电力互感器检定规程》<sup>[2]</sup>规定对电流互感器开展误差检测时采用比较测差法,即将一次电流同时施加在标准电流互感器和被试电流互感器上,采用差值法比较标准电流互感器和被试

电流互感器的二次电流值,从而测出电流互感器的误差。这种方法能够准确检测电流互感器的误差,使用最广泛,在条件允许的情况下,都应采用这种方法<sup>[3]</sup>。但比较测差法的主要缺点是需要试验设备多、对电源的要求较高,且设备笨重、检测效率很低,并对 GIS 中的电流互感器和额定一次电流大的电流互感器难以开展现场检测。为解决比较测差法在某些情况下难以开展现场检测的缺点,基于互易原理的电流互感器误差测试方法(即低压外推法)被提出并得到广泛使用<sup>[4]</sup>,该方法对电流互感器施加小信号,测出电流互感器的阻抗等参数,然后通过等效电路模型计算电流互感器的误差,这种方法无需调压器、升流器、负载箱、标准电流互感器等试验设备,显著降低了对现场试验条件的要求和劳动强度,具

有试验接线简单、试验设备少、测试速度快等优点，因此得到较多应用<sup>[3]</sup>。

由于基于互易原理的电流互感器校验仪是通过计算而不是直接测量的方式得到电流互感器的误差，因此，电流互感器校验仪检测的准确性至关重要。文献[4-5]阐述了基于互易原理的电流互感器校验仪的检测原理和方法。文献[6-9]对利用基于互易原理的电流互感器校验仪开展现场电流互感器误差检测进行了介绍，说明了基于互易原理的电流互感器校验仪开展现场检测具有一定的可行性。文献[10]介绍了用基于互易原理的电流互感器校验仪开展 GIS 绝缘式电流互感器的现场检测，并指出该方法对现场 GIS 绝缘式电流互感器等的误差检测具有重要意义。文献[11]介绍了基于互易原理的电流互感器校验仪的溯源和验证方法，但是由于基于互易原理的电流互感器校验仪较多，电流互感器校验仪的检测准确性如何尚缺乏充分的比较分析。为掌握基于互易原理电流互感器校验仪的准确性，用多种基于互易原理的电流互感器校验仪和比较测差法对多台电流互感器开展误差检测，并对检测结果进行比较分析，为基于互易原理的电流互感器校验仪的现场使用提供支撑和依据。

### 1 基于互易原理的电流互感器误差测试方法

由于电磁式电流互感器和电磁式电压互感器均是基于电磁感应原理，故电流互感器可以等效为同等精度等级的电压互感器，通过计算电压互感器的误差，从而得到电流互感器的误差，基于互易原理的电流误差测试方法正是基于这一思想<sup>[3]</sup>。等效为电压互感器后的电流互感器电路模型如图 1 所示。

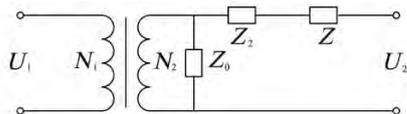


图 1 等效后的电流互感器电路模型

图中： $U_1$ 为电流互感器一次电压； $U_2$ 为电流互感器二次电压； $N_1$ 为电流互感器一次绕组匝数； $N_2$ 为电流互感器二次绕组匝数； $Z_0$ 为电流互感器一次绕组阻抗； $Z_2$ 为电流互感器二次绕组阻抗； $Z$ 为电流互感器二次负荷。

根据图 1 的电路模型可以计算得到等效为电压

互感器后的电流互感器实际变比为

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \times \frac{Z_2 + Z + Z_0}{Z_0} \quad (1)$$

由于电流互感器的误差可表示为

$$\varepsilon = \frac{S - k}{k} \quad (2)$$

式中： $S$ 为电流互感器的额定变比； $k$ 为电流互感器的实际变比。

将式(1)带入式(2)中，可以得到电流互感器的误差计算公式为

$$\varepsilon = \frac{S - N_2/N_1}{N_2/N_1} - (Z_2 + Z) Y \quad (3)$$

式中， $Y = 1/Z_0$ 。

因此，只需要测出电流互感器的实际变比、二次绕组直流电阻(二次侧的漏感可忽略不计)、绕组的励磁导纳和二次负荷，即可算出电流互感器的误差(包括比差和角差)。

从式(3)可以看出，影响基于互易原理的电流互感器校验仪检测准确性的主要因素有阻抗等参数的检测准确性、等效电路模型的精确性、铁芯非线性特性的拟合精度等。

## 2 基于互易原理的电流互感器校验仪准确性试验

### 2.1 被试电流互感器

对 6 台运行电压为 10 kV 的单体式电流互感器(浇筑绝缘)分别用比较测差法和基于互易原理的电流互感器校验仪进行误差检测。被试单体式电流互感器的主要技术参数如表 1 所示。电流互感器的出厂编号分别为：1855196、1855202、1855203、1855205、1855207、1855209。

表 1 被试电流互感器主要技术参数

类型	型 号	准确度等级	变比 /A	额定二次负荷 /VA
参数	LZZBJQ-10	0.2S	750/1	20

### 2.2 电流互感器校验仪

所选择的 4 台电流互感器校验仪均基于互易原理，包括国产和进口类型，并分别用国产 1 号、国产 2 号、进口 1 号、进口 2 号进行标识。其准确度等级如表 2 所示。

### 2.3 试验依据

检测电流互感器误差时，传统比较测差法依据

JJG 1021-2007 执行,基于互易原理的电流互感器校验仪按照其使用说明书执行。

表2 基于互易原理的电流互感器校验仪准确度等级

类型	国产1号	国产2号	进口1号	进口2号
准确度等级	0.05	0.05S	0.05S	0.05S

### 3 结果与分析

#### 3.1 同一校验仪对不同电流互感器检测的结果分析

以比较测差法检测得到的误差数据为基准,将各电流互感器校验仪检测得到的误差数据减去比较测差法检测得到的误差数据,得到误差差值,分析不同额定电流百分数下误差差值的变化规律。由于额定二次负荷和下限二次负荷下误差数据具有相似性,以额定二次负荷下的误差数据为例进行分析。

##### 1) 国产1号

国产1号检测结果与比较测差法检测结果的差值如图2所示。从图中可以看出,总体上具有随电流增加,差值越小,在20%额定电流以后差值趋于稳定的趋势;在1%和5%额定电流下,国产1号检测结果与比较测差法检测结果的差值不够稳定,即其误差可能比较测差法测得的误差大,也可能

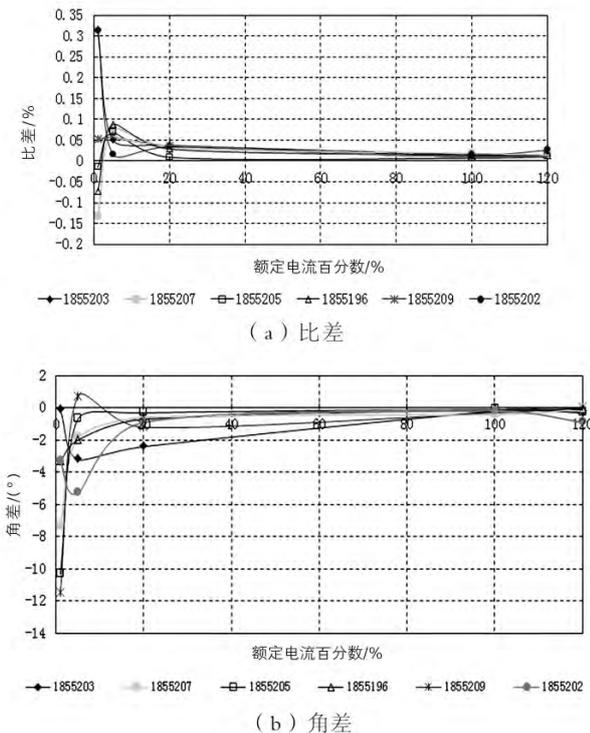


图2 国产1号检测结果与比较测差法检测结果的差值

比其小;在20%额定电流以上时,国产1号测得的比差大于比较测差法,而角差小于比较测差法。最大差值约为该点对应误差限值的40%,因此,对于国产1号(准确度等级为0.05级),若检测结果在该点对应误差限值的60%以内,则比较测差法的误差基本在误差限值范围内。

##### 2) 国产2号

国产2号检测结果与比较测差法检测结果的差值如图3所示。从图中可以看出,仍有随电流增加,差值越小,在20%额定电流以后差值趋于稳定的总体趋势;国产2号检测结果与比较测差法检测结果的误差差值也不够稳定,即可能比比较测差法测得的误差大,也可能比其小;角差小于比较测差法下的角差值,差值最大不超过该点对应误差限值的20%。因此,对于国产2号(准确度等级为0.05S级),若检测结果在该点对应误差限值的80%以内,则比较测差法的误差基本在误差限值范围内。

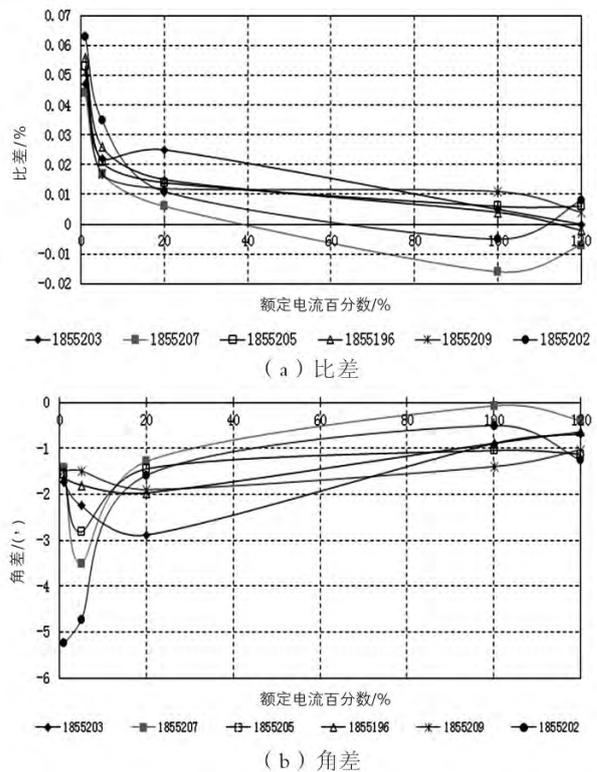


图3 国产2号检测结果与比较测差法检测结果的差值

##### 3) 进口1号

进口1号检测结果与比较测差法检测结果的差值如图4所示。从图中可以看出,对不同电流互感器检测的误差差值具有相似性,即比差大于比较测差法下的值,而角差小于比较测差法下的值。电流

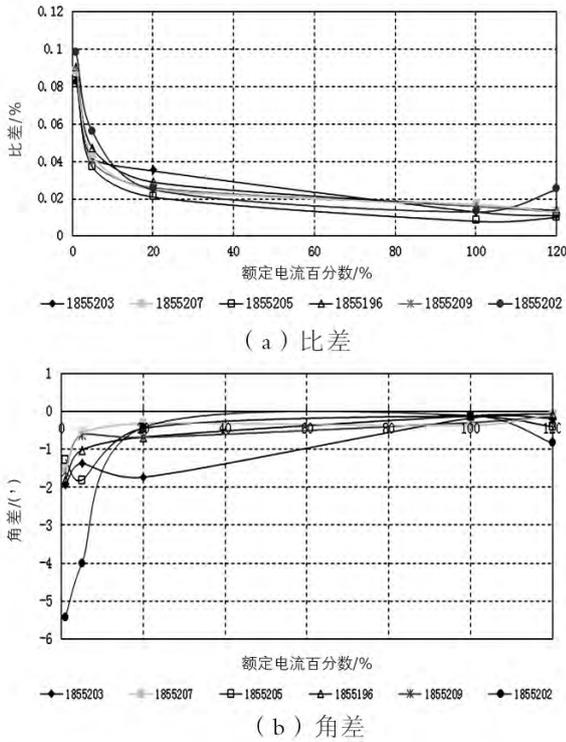


图4 进口1号检测结果与比较测差法  
检测结果的差值

越小差值越大,差值最大不超过该点对应误差限值的20%。因此,对于进口1号(准确度等级为0.05S级),若检测结果在该点对应误差限值的80%以内,则比较测差法的误差几乎在误差限值范围内。

#### 4) 进口2号

进口2号检测结果与比较测差法检测结果的差值如图5所示。从图中可见,进口2号检测数据与进口1号具有相似性,即比差大于比较测差法下的值,而角差小于比较测差法下的值。电流越小差值越大,差值最大不超过该点对应误差限值的20%。因此,对于进口2号电流互感器校验仪(准确度等级为0.05S级),若检测结果在该点对应误差限值的80%以内,则比较测差法的误差几乎在误差限值范围内,与国产2号和进口1号的检测结果基本一致。

从图2至图5可以看出,误差差值较大的部分集中在1%和5%额定电流时;20%额定电流及以上时,误差差值较小。

### 3.2 不同校验仪对同一电流互感器检测的结果分析

由于各电流互感器误差的检测结果具有相似性,此处任意选取一台电流互感器的误差结果进行分析。

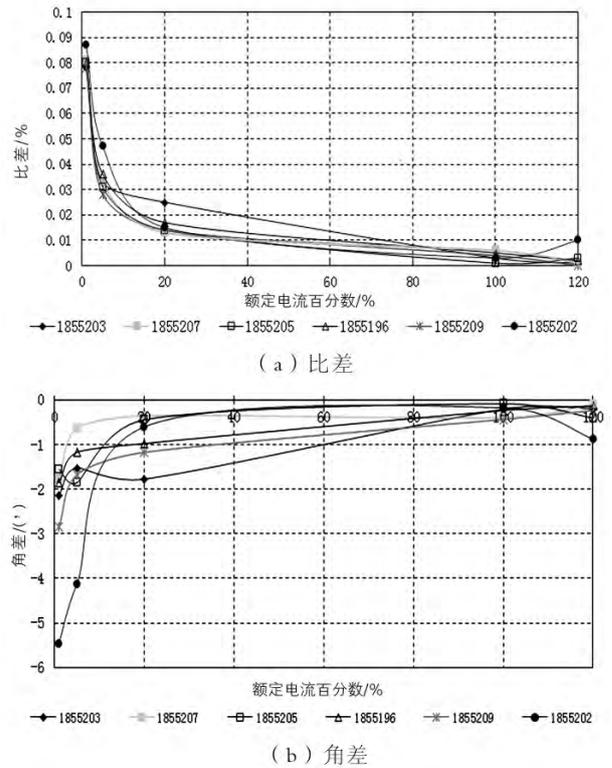


图5 进口2号检测结果与比较测差法  
检测结果的差值

#### 1) 额定二次负荷

额定二次负荷下各校验仪检测得到的误差如图6所示。可以看出,5种测试得到的电流互感器比差和角差均在误差限值范围内。其中,国产1号在

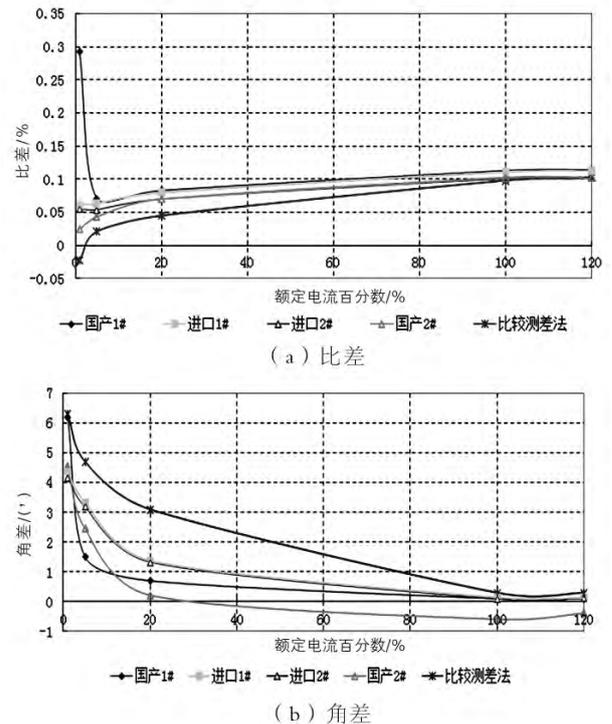


图6 额定二次负荷下各测试仪测得的误差

1%和5%额定电流下的测试结果不够稳定,且在1%~120%额定电流范围内,其误差曲线与电流互感器的误差变化规律不够吻合;其他3种电流互感器校验仪与比较测差法检测得到的比差随电流增加的趋势一致,4个基于互易原理的电流互感器校验仪得到的比差均大于比较测差法得到的比差(因国产1号在1%和5%额定电流点不稳定,不考虑其1%和5%额定电流点),且随电流增加,比差变化较比较测差法得到的比差更平缓;比较测差法得到的角差最大,其他4个电流互感器校验仪得到的角差在1%~20%变化较快,20%额定电流以后变化较平缓,而比较测差法得到的角差1%~100%额定电流间变化较为均衡。

### 2) 下限二次负荷

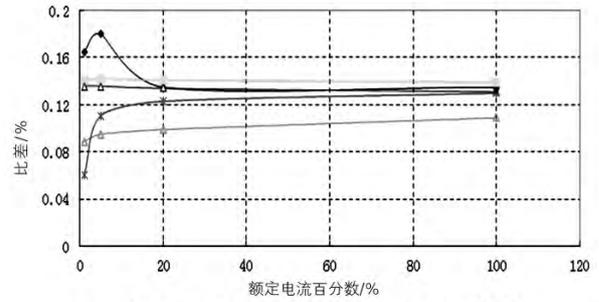
下限二次负荷下各校验仪检测得到的误差如图7所示。可以看出,与额定二次负荷下有相似的结论,即5种测试得到的电流互感器误差(包括比差和角差)均在误差限值范围内。其中,国产1号在1%和5%额定电流下的测试结果不够稳定,且在1%~120%额定电流范围内,其误差曲线与电流互感器的比差变化规律不吻合;其他3种电流互感器校验仪与比较测差法得到的比差随电流增加的趋势一致,且随电流增加,比差变化较比较测差法得到的数据更平缓。需要指出的是,下限二次负荷下,国产2号测得的比差小于比较测差法得到的比差,而进口1号和进口2号得到的比差均大于比较测差法得到的比差;其中,国产1号在1%和5%额定电流下的测试结果不够稳定,且在1%~120%额定电流范围内,其误差曲线与电流互感器的误差变化规律不吻合;比较测差法得到的角差最大。

这是由于国产1号的准确度等级为0.05级,而国产2号、进口1号和进口2号的准确度等级均为0.05S级,0.05级对1%和5%额定电流下的准确性要求低于0.05S级。

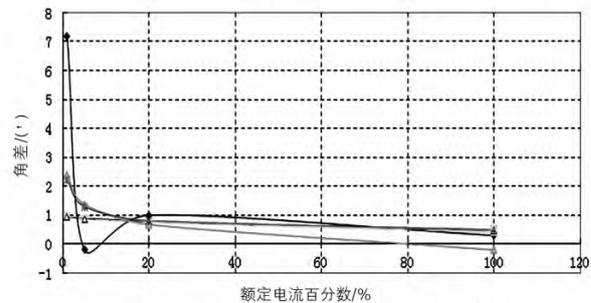
## 4 结 语

将多台基于互易原理的电流互感器校验仪对电流互感器开展误差检测,并与比较测差法测得的误差数据进行比较分析,得到以下结论:

1) 对于基于互易原理的电流互感器校验仪与比较测差法检测得到的差值,总体上具有随电流增加差值越小,20%额定电流以后差值趋于稳定的趋



(a) 比差



(b) 角差

图7 下限二次负荷下各测试设备检测的误差趋势;影响基于互易原理的电流互感器校验仪检测准确性的主要因素是校验仪的准确度等级;若准确度等级相同,则不同电流互感器测试仪的测试结果基本吻合。

2) 对于准确度等级为0.05级的电流互感器校验仪,若检测结果在该点对应误差限值的60%以内,则比较测差法的误差基本在误差限值范围内;对于准确度等级为0.05S级的电流互感器校验仪,若检测结果在该点对应误差限值的80%以内,则比较测差法的误差基本在误差限值范围内。

3) 若采用基于互易原理的电流互感器校验仪开展电流互感器误差检测,建议电流互感器校验仪的准确度等级选为0.05S级。

### 参考文献

- [1] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国计量法[M]. 北京: 中国法制出版社, 2019.
- [2] 电力互感器检定规程: JJG 1021-2007[S], 2010.
- [3] 胡浩亮. 电流互感器分析仪原理及测量方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [4] 赵修民, 赵屹涛. 低压外推法测定电流互感器误差[J]. 电测与仪表, 2004, 41(12): 28-30.
- [5] 刘水, 吕发明. GIS电流互感器现场校验方法的探讨[J]. 江西电力, 2014(3): 67-70.

- [6] 江鹏,宋均正. 关于互感器校验仪误差测量方法探讨[J]. 计量与测试技术 2018, 45(12): 99-102.
- [7] 潘洋,林艳,朱力,等. 互感器校验仪差流回路负荷对电流互感器检定结果影响的分析与计算[J]. 电测与仪表 2011, 48(6): 32-35.
- [8] 张杰梁,董小龙,黄洪,等. 互感器校验仪差压回路的分析及其附加负荷推算[J]. 中国测试, 2015, 41(12): 28-31.
- [9] 梁捷. 用于量值传递的互感器校验仪坐标变换模型研究[J]. 中国仪器仪表 2018, 41(11): 67-70.
- [10] 龙伟杰,程富勇. GIS中的计量互感器误差检定方法[J]. 广西电力 2010, 33(5): 33-35.
- [11] 酒小朋. 低压外推法电流互感器检定装置的溯源[J]. 电子世界 2014(18): 116-117.
- 作者简介:  
刘刚(1983),高级工程师,从事电能计量技术工作。  
(收稿日期:2019-10-12)

## 《四川电力技术》投稿须知

《四川电力技术》是国网四川省电力公司主管,四川省电机工程学会和国网四川省电力公司电力科学研究院联合主办的国内外公开发行的综合性学术类电力科技期刊,主要刊登电力系统的科研、规划、生产运行、设备和系统维护等方面的研究报告、专题论述、应用研究、经验交流、技术讨论等文稿,尤其是科研创新方面的论文。本刊热诚欢迎投稿。根据科技论文规范化的要求,本刊对来稿提出以下要求:

1) 文稿内容应具有科学性、创新性和实用性;论点明确、数据可靠、说明严谨、数学推导简明;语言流畅、文字简练、层次分明、重点突出。论文请按 GB 7713-1987《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》书写,篇幅以版面不超过 6000 字(包括图表所占篇幅)为宜。

2) 文稿须写有中文摘要、关键词。摘要内容包括研究目的、方法、结果和结论四要素。摘要在 150~300 字之内。关键词是反映论文的词组,选 3~8 个。摘要及关键词、文章题目均附英文译文。

3) 文稿表格尽量采用“三线表”。表格上方写表序和表名。表注放在表底。插图应清晰,少而精,插图下方应有图序和图名。能用文字和表格描述的尽可能不用插图。

4) 来稿计量单位一律采用《中华人民共和国法定计量单位》和符号。

5) 文中或公式中外文字母符号要注明文种、大小写、上下标、正体、斜体。

6) 参考文献应尽量选用公开发表的资料,按在正文中出现的先后次序列于文后,以 [1]、[2]……标识序号,且与正文中的指标序号一致。按 GB/T 7714-2005《文后参考文献著录规则》、CAJ-CD B/T 1-2006《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范修证版试行稿》的要求著录文后参考文献。

文献类型及其标识为:普通图书[M];会议论文[C];报纸文章[N];期刊文章[J];学位论文[D];报告[R];标准[S];专利[P];汇编[G];档案[B];古籍[O];参考工具[K];其他未说明的文献类型,例如可公开的政府行政部门编号文件、行业或大公司的技术规范或工作手册[Z];网上期刊[J/OL];网上电子公司[EB/OL]。电子文献尚需在载体标记后加上发表或更新日期(加圆括号)、引用日期(加方括号)和电子文献网址。

7) 投稿可通过 E-mail 提供电子文档,信箱为 cdsedljs@163.com。稿件上注明详细地址、邮政编码、联系电话,并请自留底稿,本刊一律不退稿。作者在投稿 2 个月后可致电 028-69995169 或 E-mail 到编辑部了解审稿情况。

8) 本刊投稿自愿,文责自负。对录用稿件编辑部有权进行必要的删改,如不愿被删改,请在原稿上注明。

9) 本刊已加入万方数字化期刊群全文数据库、中国期刊全文数据库等,稿件一经录用刊登,作者著作权使用费用及稿酬已一次付清,如作者不同意收录,请在来稿时提出声明,本刊将作适当处理。

编辑部地址:四川省成都市高新区锦晖西二街 16 号

邮政编码:610041

电话:(028) 69995169、69995168

E-mail: cdsedljs@163.com