

国家计量检定规程
《直流电流比例标准》

编制说明

国家高电压计量站

2022.05.10

《直流电流比例标准》编制说明

（一）任务来源

国家计量检定规程《直流电流比例标准》（以下简称本规程）的编制任务来源于国家市场监督管理总局《关于下达〈2021 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划〉的通知》（市监计量发[2021]50 号）及全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会《高压计量分委会关于下达《工频电压比例标准装置校准规范等十项国家计量技术规范制修订计划的通知》》（高压计分会[2021]46 号）文件，由全国电磁计量技术委员会高压计量分技术委员会归口组织制定工作。

（二）编制过程

本规程制订工作组成立于 2021 年 10 月 11 日，参编单位包括：国家高电压计量站、国网陕西省电力公司营销服务中心、江苏计量科学研究所、国网冀北电力有限公司计量中心、国网江苏省电力有限公司电力科学研究所、长沙天恒测控技术有限公司。

参考《JJF 1047-1994 磁耦合直流电流测量变换器校准规范》、国内外相关研究及各参编单位多年来在试验室开展直流电流比例标准校准试验的经验积累，并结合近年来技术的发展，工作组于 2021 年 11 月下旬完成了本规程的草案稿。

2021 年 11 月 26 日以视频会议形式召开了编写组第一次会议，对草案稿的总体框架结构进行了讨论。确定了规程的

试验项目，并对试验方法进行了初步讨论。

2021年12月至2022年2月，规程编写组成员开展了多项验证试验，对各检定线路开展了不确定度评定，在此基础上形成了征求意见稿初稿。

2022年3月底，规程编写组成员以视频会议形式召开了编写组第二次会议，对征求意见稿进行了讨论修改。

2022年4月底，召开了规程征求意见稿的评审会，根据专家意见，编写组补充了验证试验，并进一步修改材料形成正式的征求意见稿。

（三）制订背景说明及制订目的

1. 制定背景

直流电流互感器/传感器在电网系统、工业生产、科学研究中应用广泛。直流输电系统需要对换流站内各母线上的几百到几千安的电流进行准确测量以实现控制和保护的目。大规模发展的直流充电桩需要使用分流器或磁耦合原理的互感器进行电能计量。核物理、风洞试验等科学研究对大电流传感和测量也提出了很高的需求。金属冶炼应用强直流电通过电解法分解出铝、铜、铅、锌、镁等产品，其电解电流从几千安到几百千安，强烈的磁场将对电流测量设备产生巨大的影响。这些直流电流互感器或传感器均需要通过直流电流比例标准来校准，因此直流电流比例量值的可溯源性至

关重要，这是本规程制定的主要目的和意义。

对直流电流比例标准的校准已开展很多年，一直参照的是 1995 年实施的《JJG1047-94 磁耦合直流电流测量变换器校准规范》，该标准适用于 0.01 级⁻² 级的磁耦合式电流传感器或互感器，而直流电流比例标准的准确度一般可达到 0.0005%至 0.005%。该标准也未规定升降变差、周期稳定性等重要计量性能。近年来，由于成本考虑、新型磁调制方法、更薄的磁屏蔽，直流电流比例标准及高准确度直流电流互感器有大幅小型化的趋势，一方面这是技术上的进步，另一方面也带来了计量性能降低的隐患。随着互感器标准体系的逐渐完善，有必要专门针对直流电流比例标准制定检定规程。

2. 制订目的

本规程主要是为了规范直流电流比例标准的计量性能、试验项目和试验方法，促进直流电流比例标准产品质量的提升，为直流电流比例量传提供法律保证。

3. 制订原则

本规程依据国家计量技术规范 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1002-2010《国家计量检定规程编写规则》及 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规程的制订参考了《JJG1047-94 磁耦合直流电流测量变换器校准规范》、国内外相关研究及多年来在试验

室开展直流电流比例标准校准试验积累的经验，并结合近年来技术的发展。

（四）主要试验验证情况及预期达到的效果

已开展以下试验验证，以支撑本标准中检定线路、关键参数的修订。

（1）高准确度电流比例标准自校线路的验证试验：试验的目的是验证本规程中使用的自校线路的科学性。

（2）负载对直流电流比例标准误差影响的试验：试验的目的是研究负载对直流电流比例标准误差的影响，以确定本规程是否应在下限负荷下检定直流电流比例标准。

（3）比较测量法检定线路、升降变差的验证试验：试验的目的是验证本规程中使用的比较测量法检定线路的科学性，并验证升降变差试验的必要性。

（4）电源纹波系数对直流电流比例标准误差影响的试验：试验的目的是研究电源纹波系数对直流电流比例标准误差的影响，以确定本规程对试验电源纹波系数的规定。

（5）校准直流电流比例标准的实验标准偏差试验：试验的目的是研究直流电流比例标准校准试验的实验标准偏差，以支撑不确定度评定。

(6) 模拟比较法与等安匝法对比试验：试验的目的是研究模拟比较法检定线路与基于等安匝的比较法检定线路的差异，以验证两种方法的一致性。

(7) 等安匝法中返回导体对试品误差的影响试验：试验的目的是研究等安匝法中返回导体的位置对试验结果的影响，以确定规程中以等安匝法测量直流电流比例标准误差的具体规定。

(8) 自校法与模拟比较法对比试验：试验的目的是研究自校法检定线路与模拟比较法检定线路的所得结果的差异，以验证两种方法的科学性。

(五) 与现行法律、法规、政策及相关标准的协调性

本规程参考了《JJF1047-1994 磁耦合直流电流测量变换器校准规范》，但在检定线路上有较大区别，核心思想更接近于《测量用电流互感器检定规程》。

(六) 制订内容说明

1、 范围：本规程适用于准确度等级为 0.0002 级~0.01 级、额定二次电流为 5A 或 1A 的直流电流比例标准，准确度等级范围适用于绝大部分量传用直流电流比例标准。目前主流国家的直流大电流比例标准通过自校准线路得出的不确定度约在 5×10^{-7} ~ 1×10^{-6} 量级，可满足本规程

试品检定的要求；

2、基本误差和准确度等级中对测量点的规定：验证试验发现，部分试品在试验电流上升下降的不同测量点表现出了不同的误差，因此建议的误差测量点为 5%、20%、50%、80%、100%，这样即可全面的评估试品的计量特性。对于 5%测量点，由于直流比较仪是一种非常准确的电流比例变换装置，其在 5%测量点的性能理论上也应该非常好，为了拓展其应用时的动态测量范围，建议也测量其在 5%额定电流下的误差。考虑到零位电流的波动，建议在 5%测量点放宽误差限值。

3、基本误差和准确度等级中对负载电阻的规定：直流电流比例标准是一种高开环增益的闭环系统，高开环增益造成二次回路电阻（包括绕组内阻和负载电阻）的变化对误差影响不大。因此，从理论上分析，为减小检定工作量，不需要在下限负载上检定直流电流比例标准，验证试验也表明了这一点。而对现有的机构进行直流电流比例标准校准的调研发现，大家均没有考虑负荷的问题。而本规程选择在额定负荷下检定直流电流比例标准主要是为了检查试品的带负载能力。

4、关于升降变差：验证试验显示，部分试品表现出明显的升降变差，所以建议需要对升降变差进行考核。

5、关于绝缘电阻的规定：由于直流电流比例标准的

传感头与交流电流比例标准的结构相似，其应用场合也相似，因此绝缘电阻的要求完全可以沿用 JJG 313-2010 的相关规定。

6、关于绕组极性的规定：与测量用电流互感器保持一致，绕组极性应为减极性，即当直流电流从一次绕组的同名端流入时，二次电流从二次绕组的同名端流出。相应的，比例标准的误差定义为从二次绕组的同名端流出的二次电流相对从一次绕组的同名端流入的一次电流的误差。

7、关于试验环境温度：本规程中前两个检定线路，包括自校线路和比较线路，本质上是测差法，测量差流电流的准确度达到 $\pm 10\%$ 即可满足不确定度要求，不同于测量微弱直流电压，微弱直流电流的测量容易的多，在现有技术条件下，在 $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 环境温度内，测量误差完全可以小于 $\pm 10\%$ 。第三个基于数字比较法的检定线路，相关试验还在进行中。

8、交流、直流电流比例标准的自校、比较线路（本规程中修改为模拟比较法检定线路）被世界各国试验机构使用了很多年用于测量电流比例的误差，已被大家公认。因此本规程将这两个测量线路列为首要的两个测量方法，并开展了验证试验。

9、关于零位电流：所有误差测量方法中均消除了零位电流的影响。随着时间（以月为单位）的漂移，直流电

流比例标准的零位电流会发生漂移，会影响测量准确度，但是质量较好的直流电流比例标准在短期内（以天或小时为单位）的稳定性较好。验证试验显示，大部分直流电流比例标准在试验过程中零点仅变化 $0.02 \mu\text{A} \sim 0.3 \mu\text{A}$ 。因此，为了充分发挥直流电流比例标准电流比例准确度高的性能优势，检定/校准或实际测量中，均应在设备充分热机后扣除零位电流。最近几十年来实际开展直流电流比例标准校准工作也是这样做的。

10、增加了数字比较法检定线路。数字比较法是指将被检直流电流比例标准与标准器的二次电流分别转换成数字信号，采用数字信号处理方法得到两个电流的幅值，进而比较计算出被检比例标准误差的方法。目前《JJG 1021 电力互感器》的修订中，已采纳数字比较法。该方法与模拟比较法相比，使用更方便，难度较低，但是如与比较法检定线路的数据存在差异，应以传统的比较法检定线路为准。

11、本规程初稿中曾考虑规定直流电流比例标准的磁性误差和相关试验项目，在第一次讨论会上，编写组成员认为该要求及项目应在计量器具型式评价中规定，在普通检定试验中开展该项目会大大增加试验工作量，且必要性不足，所以最后删除了磁性误差的要求及后续磁性误差的试验内容。

12、 关于等安匝试验：目前使用等安匝法进行直流电流比例标准的校准试验，要求一次导体在被检比例标准的两侧均匀分布；相似的标准有《JJG 313-2010 测量用电流互感器》，在该标准中规定了一次导体与穿心孔中心轴线的距离要求，返回导体的距离要求。等安匝验证试验表明：①返回导体与试品的距离影响试验结果，距离越大影响越小；②返回导体距离试品相对较远时（大于试品的最大几何尺寸），且返回导体均匀分布，试验结果与不采用等安匝法的结果较为接近。为提升试验数据的复现性，建议对等安匝法返回导体规定如下：返回导体应在被检比例标准两侧均匀分布，与被检比例标准的距离不小于被检比例标准的最大几何尺寸。

（七）贯彻标准的要求和措施建议

为深入贯彻本规程实施，建议在本规程颁布之初，在各级计量部门开展宣贯，在本规程逐渐实施过程中，组织各省级相关技术部门进行宣讲，定期或不定期的开展经验交流活动。

制定工作组

2022年5月10日