

天津市地方计量技术规范

JJF (津) 152—2025

港口机械 能量回馈系统计量校准规范

Measurement Calibration Specification of Energy Feedback System for
Port Machinery

2025 - 06-23 发布

2025 - 09 - 23 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

港口机械 能量回馈系统 计量校准规范

Measurement Calibration Specification of
Energy Feedback System for Port Machinery

JJF(津) 152-2025

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：交通运输部天津水运工程科学研究所

天津港焦炭码头有限公司

苏州市计量测试院有限公司

浙江大寺计量校准有限公司

江苏建筑职业技术学院

天津大学

本规范主要起草人：

李绍辉（交通运输部天津水运工程科学研究所）

刘建国（天津港焦炭码头有限公司）

田 绅（天津港焦炭码头有限公司）

成 伟（苏州市计量测试院有限公司）

蒋志豪（浙江大寺计量校准有限公司）

朱元彩（江苏建筑职业技术学院）

李杏华（天津大学）

参加起草人：

刘 齐（天津港焦炭码头有限公司）

闫紫凡（交通运输部天津水运工程科学研究所）

张乐晖（交通运输部天津水运工程科学研究所）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量特性	(1)
4 校准条件	(2)
4.1 环境条件	(2)
4.2 校准用仪器设备	(2)
5 校准项目	(2)
5.1 校准步骤	(2)
5.2 计算方法	(3)
6 校准结果表达	(4)
7 复校时间间隔	(4)
附录 A 港口机械 能量回馈系统校准原始记录格式 (推荐)	(6)
附录 B 港口机械 能量回馈系统校准证书内页格式 (推荐)	(8)
附录 C 港口机械 能量回馈系统测量不确定度评定示例	(10)

引 言

本规范依据国家计量技术规范JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》制定。

本规范为首次发布。

港口机械 能量回馈系统计量校准规范

1 范围

本规范适用于港口机械能量回馈系统（以下简称“能量回馈系统”）回馈电量的校准。

2 概述

能量回馈系统用于港口机械处于能量再生状态时（如港口起重机吊放重物），将产生的机械能转换成符合港口机械电能质量要求的电能后回馈到港口机械内部电网的装置。

能量回馈系统通常为共直流母线系统，主要由变频单元、整流回馈单元、能量存储单元和显示单元组成，结构示意图见图1。

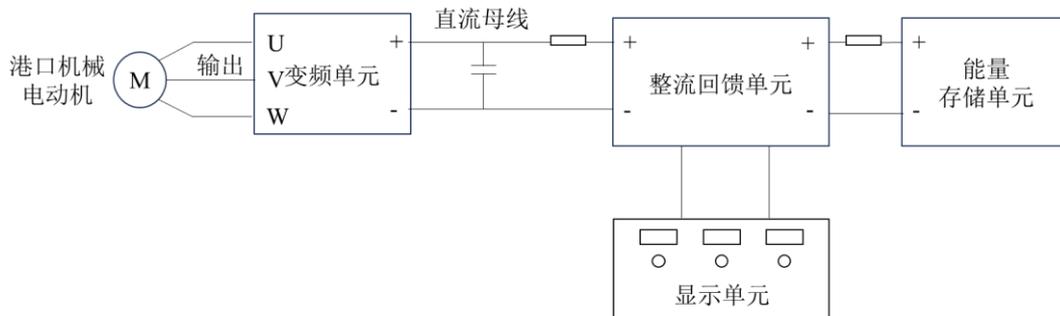


图1 能量回馈系统结构示意图

能量回馈系统的工作原理为：当港口机械吊放重物时，电动机处于再生发电制动状态，重物下放产生的机械能经电动机转化成交流电能，再由变频单元转换为直流电能，由直流母线传输至整流回馈单元，整流回馈单元对直流电能进行整流、滤波后，存储至能量存储单元中，当港口机械提升重物时，能量存储单元中存储的电能通过整流回馈单位回馈至起重单元使用。

3 计量特性

能量回馈系统的计量特性技术指标见表1。

表1 能量回馈系统的计量特性技术指标

序号	项目	技术要求
1	电压示值误差	±1%
2	电流示值误差	±3%

表 1(续) 能量回馈系统的计量特性技术指标

序号	项目	技术要求
3	电量示值误差	±5%

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度：（5~35）℃。

4.1.2 相对湿度：不大于 90%。

4.1.3 环境空气中不应有影响测量结果的导电尘埃、腐蚀性或易燃性气体等。

4.2 校准用计量器具

4.2.1 电压标准装置，电压测量上限不低于 750V 且测量范围应能覆盖能量回馈系统电压工作范围，电压测量精度不低于 0.1%F·S。

4.2.2 电流标准装置，测量上限不低于 350A 且测量范围应能覆盖能量回馈系统电流工作范围，电流测量精度不低于 0.5%F·S。

4.2.3 标准电能表，电压测量上限不低于 750V 且测量范围应能覆盖能量回馈系统电压工作范围，测量上限不低于 350A 且测量范围应能覆盖能量回馈系统电流工作范围，准确度不低于 0.5 级。

注：允许使用满足准确度等级/最大允许误差/不确定度要求的其他测量标准及其他设备进行校准。

5 校准方法

5.1 校准步骤

能量回馈系统电压示值误差、电流示值误差、电量示值误差校准步骤如下：

a) 将电压标准装置、电流标准装置连接至能量回馈系统直流母线侧，标准电能表接入能量回馈系统直流母线回路，港口机械吊具运行至行程最高点，能量回馈系统、标准电能表数据清零，港口机械处于启动待机状态；

b) 在港口机械吊具行程范围内选取不少于5个测量点，以下放、提升一次货物为一个完整循环；

c) 港口机械吊具以0.5m/s的速度匀速运动至各测量点，在各测量点处，由电压标准装

置、电流标准装置、标准电能表分别测量直流母线上的电压、电流和电量值，由能量回馈系统同步记录直流母线上的电压、电流和电量值；

d) 按步骤5.1 c) 重复测量3次。

5.2 计算方法

能量回馈系统电压示值误差、电流示值误差、电量示值误差计算方法如下：

a) 电压示值误差校准

按5.1中的校准试验步骤记录港口机械吊放、提升重物过程中，能量回馈系统直流母线端的电压值，按公式（1）分别计算吊放和提升电压示值误差。

$$\delta_U = \frac{U_{ij} - U_{sij}}{U_{sij}} \times 100\% \quad (1)$$

式中，

δ_U ——能量回馈系统电压示值误差；

U_{ij} ——能量回馈系统直流母线侧电压测量值， $i=1, 2, 3, j=1, 2, 3, \dots, V$ ；

U_{sij} ——能量回馈系统直流母线侧电压标准装置电压测量值， V 。

b) 电流示值误差校准

按5.1中的校准试验步骤记录港口机械吊放、提升重物过程中，能量回馈系统直流母线端的电流值，按公式（2）分别计算吊放和提升电流示值误差。

$$\delta_I = \frac{I_{ij} - I_{sij}}{I_{sij}} \times 100\% \quad (2)$$

式中，

δ_I ——能量回馈系统电流示值误差；

I_{ij} ——能量回馈系统直流母线侧电流测量值， $i=1, 2, 3, j=1, 2, 3, \dots, A$ ；

I_{sij} ——能量回馈系统直流母线侧电流标准装置电流测量值， A 。

c) 电量示值误差校准

按5.1中的校准试验步骤记录港口机械吊放、提升重物过程中，能量回馈系统直流母线端的电量值，按公式（3）分别计算吊放和提升电量示值误差。

$$\delta_E = \frac{E_{ij} - E_{sij}}{E_{sij}} \times 100\% \quad (3)$$

式中,

δ_E ——能量回馈系统电量示值误差, kWh;

E_{ij} ——能量回馈系统直流母线侧电量测量值, $i=1, 2, 3, j=1, 2, 3, \dots$, kWh;

E_{sij} ——能量回馈系统直流母线侧标准电能表电量测量值, kWh。

6 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映, 校准证书应包括以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点;
- d) 校准证书编号, 页码及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校仪器的制造单位、名称、型号及编号;
- g) 校准单位校准专用章;
- h) 校准日期;
- i) 校准所依据的技术规范名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准时的环境温度、相对湿度;
- l) 校准结果及其测量不确定度;
- m) 对校准规范的偏离的说明(若有);
- n) “校准证书”的校准人、核验人、批准人签名及签发日期;
- p) 校准结果仅对被校仪器本次测量有效的声明;
- q) 未经实验室书面批准, 部分复制证书或报告无效的声明。

7 复校时间间隔

仪器的复校时间间隔由用户自定, 建议不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定, 因此送校单位可根据实际使用情况

自主决定复校时间间隔。如果对仪器的性能有怀疑或仪器更换重要部件及修理后应对仪器重新校准。



附录 A

港口机械 能量回馈系统校准原始记录格式 (推荐)

原始记录编号:

仪器名称				校准地点					
送检单位				生产单位					
规格型号				仪器编号					
温 度				相对湿度					
计量标准 名称	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差			计量(基)标准证书编号			有效期至	
校准项目	电压/V			电流/A			电量/kWh		
测量点	标准值	测量值	示值误差	标准值	测量值	示值误差	标准值	测量值	示值误差
1 组									
2 组									

校准项目		电压/V			电流/A			电量/kWh		
测量点		标准值	测量值	示值误差	标准值	测量值	示值误差	标准值	测量值	示值误差
2组										
3组										

实验员：

核验员：

校准日期：

年 月 日

附录 B

港口机械 能量回馈系统校准证书内页格式（推荐）

证书编号××××—××××				
校准机构授权说明				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 他		
校准使用的计量（基）标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至
校准使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至
第 × 页 共 × 页				

证书编号××××—××××

校准结果

序号	校准项目	校准结果	测量不确定度
1	电压示值误差		
2	电流示值误差		
3	电量示值误差		

以下空白

附录 C.1

港口机械 能量回馈系统 电压测量不确定度评定示例

C.1.1 概述

C.1.1.1 环境条件：环境温度为 12.0℃，环境相对湿度 35%。

C.1.1.2 测量对象：港口机械 能量回馈系统。

C.1.1.3 测量方法：采用标准表法，根据对应的点位，选择港口机械 能量回馈系统适当的电压量程，读取电压标准值和系统输出的电压测量值进行比较。

C.1.2 不确定度分析

C.1.2.1 测量模型

能量回馈系统回馈电压的测量模型为：

$$\Delta U = U_x - U_N + U_t \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔU ——港口机械 能量回馈系统电压的示值误差，V；

U_x ——港口机械 能量回馈系统电压测量值示值，V；

U_N ——标准数字多用表电压标准值示值，V；

U_t ——环境温湿度引起的电压值变化量，V。

C.1.2.2 不确定度来源

以电压为 640 V 的校准点为例，根据测量模型可知，影响 ΔU 的测量不确定度因素由港口机械 能量回馈系统和标准表两部分组成。其测量不确定度的主要来源有：

- (1) 由测量重复性引入的标准不确定度；
- (2) 由标准表自身引入的标准不确定度；
- (3) 由环境温湿度引入的标准不确定度。

C.1.3 校准能力分析

C.1.3.1 各输入量的标准不确定度分量的评定

C.1.3.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度

在符合规定的测量条件下，重复测量 10 次，采用 A 类标准不确定度评定，具体数据见表 C.1。

表 C.1 能量回馈系统电压测量结果

测量次数 (i)	电压测量值 U_{xi} (V)	测量次数 (i)	电压测量值 U_{xi} (V)
1	641	6	639
2	642	7	638
3	641	8	640
4	640	9	641
5	641	10	640

因此平均值 $\bar{U}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i = 640.3 \text{ V}$ 在实际工作中取单次测量结果作为最终结果，按公式 (C.2) 计算测量重复性引入的不确定度 u_1 。

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U}_i)^2}{n-1}} = 1.16 \text{ V} \quad (\text{C.2})$$

C.1.3.1.2 由标准表引入的标准不确定度

标准表测量电压 640 V 时，通过查阅说明书得知，基波电压值的最大允许误差为 $\pm(0.0045\% \times 640 \text{ V} + 0.01 \text{ V}) = \pm 0.038 \text{ V}$ ，认为其服从均匀分布，按公式 (C.3) 计算 u_2 。

$$u_2 = \frac{0.038 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 0.02 \text{ V} \quad (\text{C.3})$$

C.1.3.1.3 由环境温湿度引入的标准不确定度

现场校准中，能量回馈系统安装于门机电气控制室内，温度可根据需要进行调节，故由环境温湿度引入的标准不确定度 $u_3 = 0 \text{ V}$ 。

C.1.3.2 各不确定度分量汇总表

表 C.2 各不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏度系数
u_1	测量重复性	1.16 V	1
u_2	标准电压表引入的不确定度	0.02 V	-1
u_3	环境温湿度引入的不确定度	0 V	1

C.1.3.3 合成标准不确定度

表 C.2 中各项标准不确定度彼此独立, 互不相关, 按公式 (C.4) 计算合成标准不确定度。

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} = 1.16 \text{ V} \quad (\text{C.4})$$

C.1.3.4 扩展不确定度

取 $k = 2$, 则扩展不确定度: $U = k \times u_c = 2 \times 1.16 \text{ V} = 2.3 \text{ V}$ 。

附录 C.2

港口机械 能量回馈系统 电流测量不确定度评定示例

C.2.1 概述

C.2.1.1 环境条件：环境温度为 12.0℃，环境相对湿度 35%。

C.2.1.2 测量对象：港口机械 能量回馈系统。

C.2.1.3 测量方法：采用标准表法，根据对应的点位，选择港口机械 能量回馈系统适当的电流量程，读取电流标准值和系统输出的电流测量值进行比较。

C.2.2 不确定度分析

C.2.2.1 测量模型

港口机械 能量回馈系统电流的测量模型为：

$$\Delta I = I_x - I_N + I_t \quad (\text{C.5})$$

式中：

ΔI ——港口机械 能量回馈系统第 h 次电流的示值误差，A；

I_x ——港口机械 能量回馈系统第 h 次电流测量值示值，A；

I_N ——标准数字多用表第 h 次电流标准值示值，A；

I_t ——环境温湿度引起的电流值变化量，A。

C.2.2.2 不确定度来源

以电流为 200 A 的校准点为例，根据测量模型可知，影响 ΔI 的测量不确定度因素由港口机械 能量回馈系统和标准表两部分组成。其测量不确定度的主要来源有：

- (1) 由测量重复性引入的标准不确定度；
- (2) 由标准表自身引入的标准不确定度；
- (3) 由环境温湿度引入的标准不确定度。

C.2.3 校准能力分析

C.2.3.1 各输入量的标准不确定度分量的评定

C.2.3.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度

在符合规定的测量条件下，重复测量 10 次，采用 A 类标准不确定度评定，具体数

据见表 C.3。

表 C.3 能量回馈系统电流测量结果

测量次数 (<i>i</i>)	电压测量值 I_i (A)	测量次数 (<i>i</i>)	电压测量值 I_i (A)
1	199	6	202
2	199	7	200
3	200	8	201
4	203	9	198
5	201	10	201

因此平均值 $\bar{I}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = 200.4 \text{ A}$ ，在实际工作中取单次测量结果作为最终结果，按公式 (C.6) 计算测量重复性引入的不确定度 u_1 。

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_i)^2}{n-1}} = 1.5 \text{ A} \quad (\text{C.6})$$

C.2.3.1.2 由标准表引入的标准不确定度

标准表测量电流 200 A 时，通过查阅说明书得知，电流值的最大允许误差为 $\pm (0.5\% \times 200 \text{ A}) = \pm 1 \text{ A}$ ，按均匀分布进行分析，按公式 (C.7) 计算 u_2 。

$$u_2 = \frac{1 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ A} \quad (\text{C.7})$$

C.2.3.1.3 由环境温湿度引入的标准不确定度

现场校准中，能量回馈系统安装于门机电气控制室内，温度可根据需要进行调节，故由环境温湿度引入的标准不确定度 $u_3 = 0 \text{ V}$ 。

C.2.3.2 各不确定度分量汇总表

表 C.4 各不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏度系数
u_1	测量重复性	1.5 A	1
u_2	标准电流表引入的不确定度	0.58 A	-1
u_3	环境温湿度引入的不确定度	0 A	1

C.2.3.3 合成标准不确定度

表 C.4 中各项标准不确定度彼此独立, 互不相关, 按公式 (C.8) 计算合成标准不确定度。

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} = 1.61 \text{ A} \quad (\text{C.8})$$

C.2.3.4 扩展不确定度

取 $k=2$, 则扩展不确定度: $U = k \times u_c = 2 \times 1.61 = 3.2 \text{ A}$ 。
