

湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) XX — XXXX

分散控制系统/可编程逻辑控制器 (模拟信号输入) 校准规范

Calibration Specification for DCS/PLC (analog signal input)

(送审稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

湖北省市场监督管理局 发布

分散控制系统/可编程逻辑控制器

(模拟信号输入) 校准规范

Calibration Specification for DCS/PLC

(analog signal input)

JJF (鄂) XX — XXXX

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：宜昌市计量检定测试所

湖北金石炼化建设有限公司

湖北三宁化工股份有限公司

参加起草单位：湖北宜化化工股份有限公司

浙江劲仪仪器仪表有限公司

本规范由宜昌市计量检定测试所负责解释。

本规范主要起草人：

谭 磊（宜昌市计量检定测试所）

黄 敏（宜昌市计量检定测试所）

贾友波（湖北金石炼化建设有限公司）

杨志强（湖北三宁化工股份有限公司）

参加起草人：

陈筱璿（宜昌市计量检定测试所）

刘 洋（宜昌市计量检定测试所）

屈峰浪（宜昌市计量检定测试所）

董 晖（湖北宜化化工股份有限公司）

张剑锋（浙江劲仪仪器仪表有限公司）

郑开开（浙江劲仪仪器仪表有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语与定义	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(3)
5.1 基本误差	(3)
5.2 纹波系数	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及配套设备	(4)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准前检查	(4)
7.2 校准项目	(5)
7.3 校准方法	(5)
8 校准结果表达	(7)
8.1 校准证书	(7)
9 复校时间间隔	(8)
附录 A DCS (电阻信号输入) 基本误差测量结果不确定度评定示例	(9)
附录 B 特殊功能通道的校准方法	(13)
附录 C DCS/PLC 校准原始记录参考格式	(14)
附录 D 校准证书内页参考格式	(16)

引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

分散控制系统/可编程逻辑控制器（模拟信号输入）校准规范

1 范围

本规范适用于模拟信号输入的分散控制系统（Distributed Control System, DCS）以及可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 126-2022 工频交流电量测量变送器

JJG 617-1996 数字温度指示调节仪

JJG 1003-2016 流量积算仪

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范。

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 纹波系数 ripple ratio

直流输出电压中包含的交流分量的方均根值（有效值）与直流分量的绝对值之比（用百分数表示）。

3.2 模拟信号 analog signal

在时间上和量值上都是连续的物理量称为模拟量。把表示模拟量的信号叫模拟信号。

4 概述

DCS，是一种基于计算机通信的自动化控制系统，广泛应用于电力、冶金、石化等各行各业。其主要由控制单元（包括通讯模块、控制器模块、I/O 连接模块和各种信号输入输出模块）、操作单元（包括操作站、服务器等人机会话接口站点）、通信网络（包括 I/O 总线、网络）和供电单元组成（如图 1）。现场信号经控制单元通过 I/O 总线上行至操作单元，经数据处理后形成相应控制信号，再通过 I/O 总线下行至控制

单元完成现场控制。

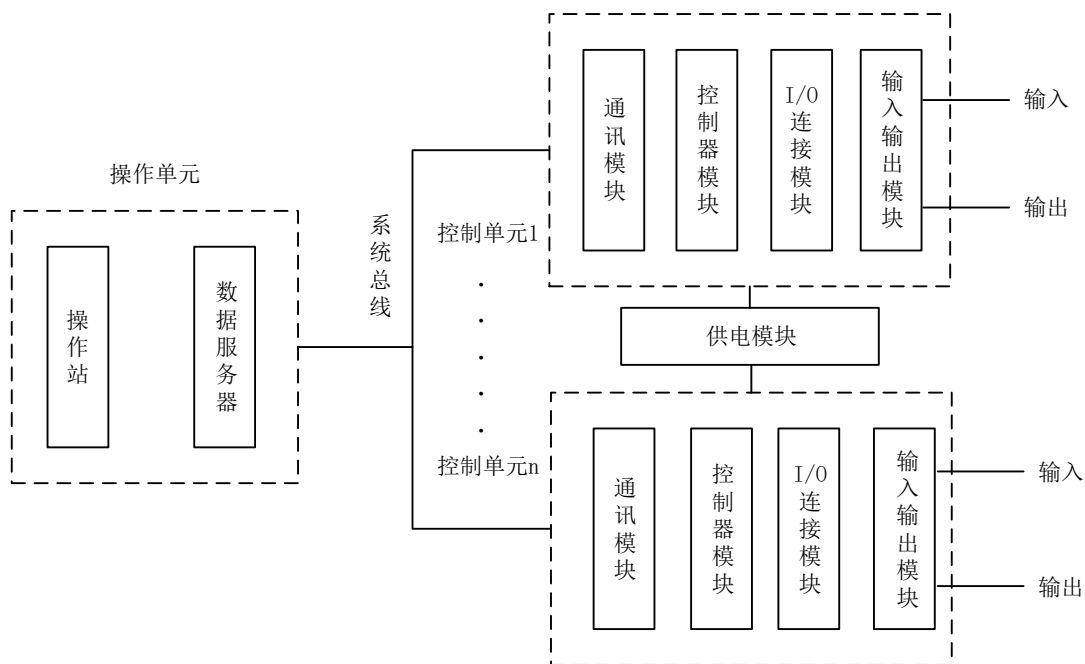


图 1 DCS 结构示意图

PLC，是种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作电子系统，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。主要由微处理器、通讯及编程接口、系统存储器、用户存储器、I/O 扩展接口、输入部件和输出部件组成（如图 2）。

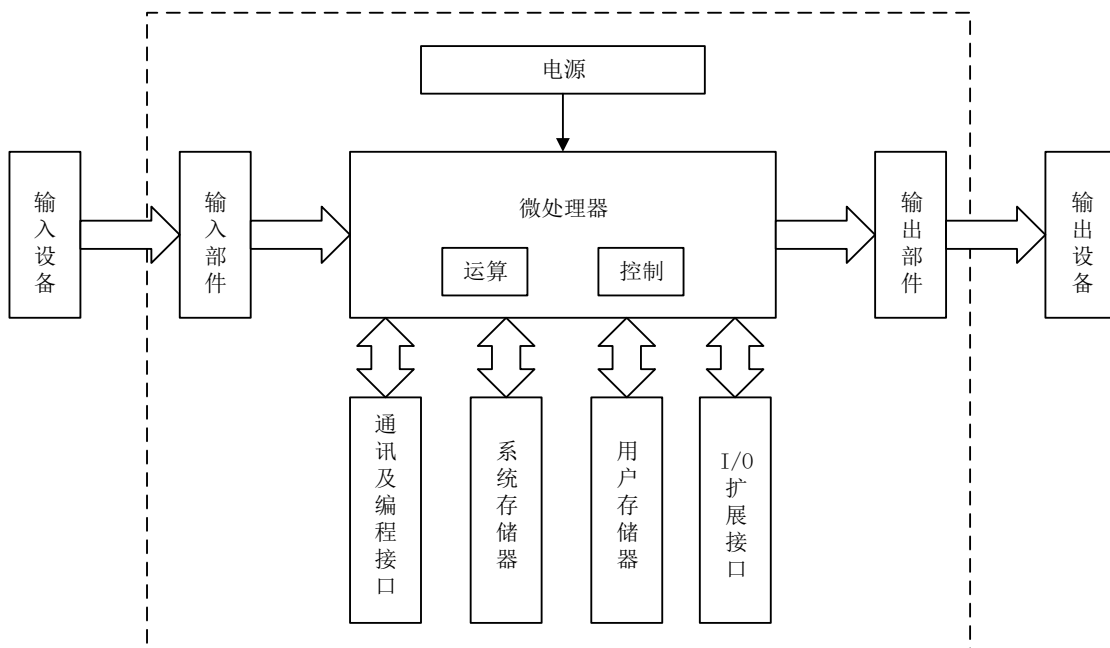


图 2 PLC 结构示意图

注：为保护 DCS 或 PLC 主机，对于模拟信号输入的 DCS 或 PLC，会根据输入信号类型配备不同种类的隔离变送器（隔离栅），此时可将隔离变送器当做 DCS 或 PLC 的一部分。

5 计量特性

5.1 基本误差

DCS 或 PLC 的最大允许误差为 A/D、D/A 转换器允许误差之和。转换器位数与转换器允许误差的对应关系见表 1 和表 2。如 DCS 或 PLC 无模拟信号输出功能，则其最大允许误差即为 A/D 转换器允许误差。

表 1 A/D 转换器位数对应的误差范围

A/D 转换器	16 位	14 位	12 位
A/D 转换器允许误差	$\pm 0.1\%RG$	$\pm 0.2\%RG$	$\pm 0.5\%RG$
注：RG 为 DCS 或 PLC 的输出范围			

表 2 D/A 转换器位数对应的误差范围

D/A 转换器	14 位	12 位	10 位
D/A 转换器允许误差	$\pm 0.05\%RG$	$\pm 0.1\%RG$	$\pm 0.2\%RG$

5.2 纹波系数

当 DCS 或 PLC 的输入信号为工频交流，输出信号为直流时，输出信号的纹波系数不应超过 DCS 或 PLC 最大允许误差的两倍。

注：以上所有指标不适用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(20±5)℃。

6.1.2 环境湿度：(45~75)%RH。

6.1.3 供电电源：交流 220V±11V，直流 24V±1.2V。

6.2 测量标准及配套设备

校准时所需的测量标准及配套设备可从表 3 中参考选择。校准时由测量标准及配套设备引入的扩展不确定度 U ($k=2$) 应不超过 DCS 或 PLC 最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

表 3 测量标准及配套设备

序号	仪器设备名称	用途及技术要求	备注
1	多功能标准源	直流输出功能：直流电流、直流电压、直流电阻等； 交流输出功能：交流电流、交流电压、相位、频率等； 准确度等级：0.02 级； 输出范围应能覆盖被校 DCS 或 PLC 的测量范围； 在被校 DCS 或 PLC 的测量范围内应能连续可调，最小变化量应不大于被校 DCS 或 PLC 输出信号最大允许误差的十分之一。	可选用其他符合要求的仪器设备
2	数字多用表	测量功能：直流电流、直流电压、频率等； 准确度等级：0.02 级； 测量范围应能覆盖被校 DCS 或 PLC 的输出范围； 分辨力带来的误差应不大于被校 DCS 或 PLC 最大允许误差的十分之一。	可选用其他符合要求的仪器设备
2	交流数字电压表	MPE： $\pm 0.5\%$ ； 分辨力带来的误差应不大于被校 DCS 或 PLC 最大允许误差的十分之一。	/
3	标准电阻	准确度等级：不低于 0.01 级； 阻值不超过被校 DCS 或 PLC 输出功能的负载要求。通常选用 100Ω 或 250Ω 。	/

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前检查

a) 被校 DCS 或 PLC 的铭牌标志、文字、数字、符号标志应正确、清晰、易辨；

- b) 被校 DCS 或 PLC 的外壳无损坏破裂，外露部件无松动，内部电路不得外露；
- c) 明确被校 DCS 或 PLC 各输入端口与输出端口的定义；
- d) 数字信号输出的 DCS 或 PLC 还应配备显示设备及配套软件。

7.2 校准项目

DCS 或 PLC 的校准项目如表 4 所示。

表 4 校准项目

序号	校准项目	校准方法条款
1	基本误差	7.3.1
2	纹波系数	7.3.2

7.3 校准方法

7.3.1 基本误差

7.3.1.1 根据 DCS 或 PLC 各通道的输入量程，均匀选取不少于 5 个校准点，其中应包含输入量程的上、下限，并根据公式（1）确定 DCS 或 PLC 各通道的理论输出值。当输入信号为温度时，应根据配套传感器的分度号，将输入电量（电阻或电压）转换成温度值后再进行计算。

$$O_n = \frac{O_{max}-O_{min}}{I_{max}-I_{min}} \times (I - I_{min}) + O_{min} \quad (1)$$

式中：

O_n ——DCS 或 PLC 的理论输出值，mA、V 或其他单位；

O_{max} ——DCS 或 PLC 的输出值上限，mA、V 或其他单位；

O_{min} ——DCS 或 PLC 的输出值下限，mA、V 或其他单位；

I_{max} ——DCS 或 PLC 的输入值上限，mA、V 或其他单位；

I_{min} ——DCS 或 PLC 的输入值下限，mA、V 或其他单位；

I ——标准源的输入值，mA、V 或其他单位。

7.3.1.2 按图 3 所示，被校通道输入端接多功能标准源，输出端若为模拟信号输出则接数字多用表，若为数字信号输出则通过软件连接显示设备；按照从小到大的原则依次调节多功能标准源至各校准点，读取数字多用表或显示设备的显示值。如被校通道同时具备模拟信号输出和数字信号输出，可根据需要选择校准的输出结果。其相对误差按照公式（2）计算。

$$\gamma = \left(\frac{O_x - O_n}{O_{max} - O_{min}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

γ —— 相对误差, %;

O_x —— DCS 或 PLC 的输出值, mA、V 或其他单位。

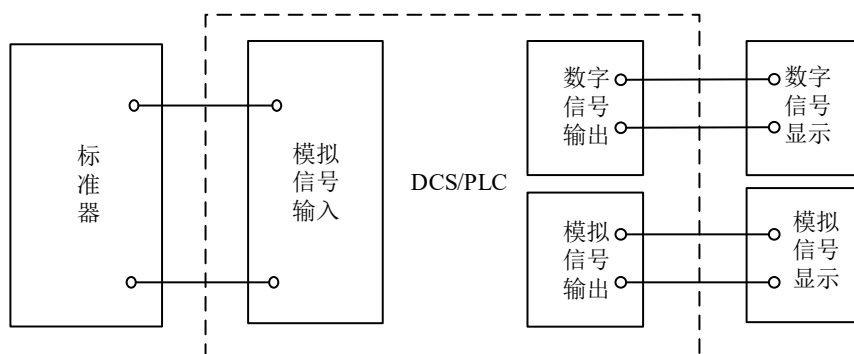
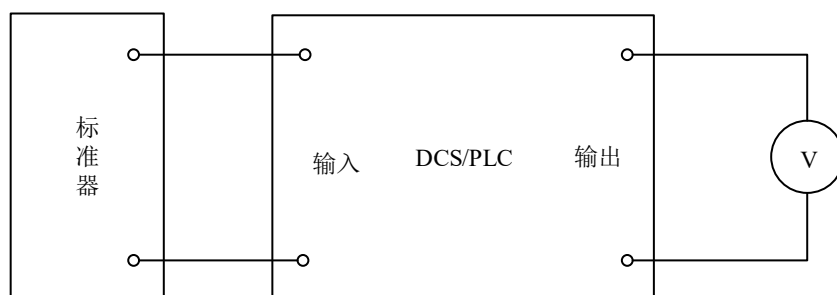


图3 基本误差接线

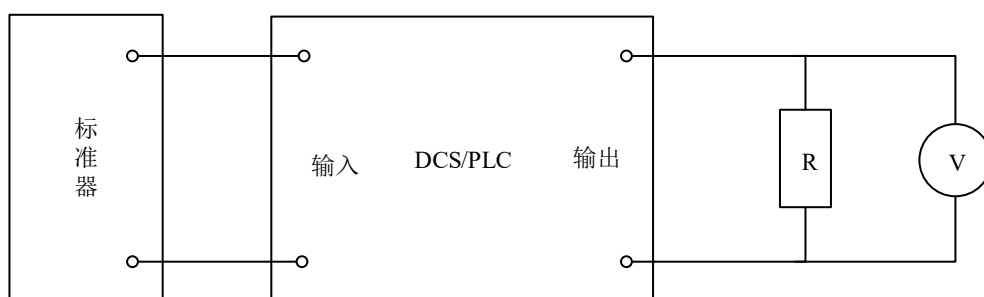
7.3.1.3 应对被校 DCS 或 PLC 的各通道按照 7.3.1.2 的方法逐一开展校准。

7.3.2 纹波系数

7.3.2.1 按照图 4 要求, 根据被校通道输出信号选择适合的接线方式。



(a) 输出信号为直流电压



(b) 输出信号为直流电流

图4 纹波系数接线

7.3.2.2 当被校通道输出信号为直流电压时, 将标准源的输出值调至被校通道输入值的上限, 使用交流数字电压表测量其开路电压, 并按公式 (3) 计算该通道的纹波系数。

$$\gamma_{rip} = \frac{V_{rms}}{O_x} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

γ_{rip} ——纹波系数, %;

V_{rms} ——标准交流电压表测出的有效值, V。

7.3.2.3 当被校通道输出信号为直流电流时, 将标准源的输出值调至被校通道输入值的上限, 使用交流数字电压表测量标准电阻两端的电压, 并按公式(4)计算该通道的纹波系数。

$$\gamma_{rip} = \frac{V_{rms}}{O_x \times R} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

R ——标准电阻的阻值, Ω 。

8 校准结果表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书(报告)上反映, 校准证书(报告)应至少包括以下信息:

- a) 标题, 如“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书或报告的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;

- m) 对校准规范偏离的说明;
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 C, 校准证书(报告)内页格式见附录 D。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短取决于仪器的使用保养情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素, 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。

附录 A

DCS（电阻信号输入）基本误差测量结果不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 测量标准：多功能直流信号校准器，输出量程为（0~500） Ω ，扩展不确定度为 $U=(0.001\sim0.015)\Omega$ ， $k=2$ ；测量范围为（0~20）mA， $U=(0.0005\sim0.0020)\text{mA}$ ， $k=2$ 。

A.1.2 被测对象：DCS，输入范围（0~100） $^{\circ}\text{C}$ ，分度号为 Pt100。输出信号为（4~20）mA，最大允许误差为 $\pm 0.2\%\text{RG}$ 。

A.1.3 测量方法：在规范规定的环境条件下，使用多功能直流信号校准器的输出功能向 DCS 输入 100 $^{\circ}\text{C}$ 的电阻信号（138.506 Ω ），同时，使用多功能直流信号校准器的输入功能测量 DCS 输出的模拟信号。并通过重复测量，确定其重复性。

A.2 测量模型

根据本规范相关内容的规定，DCS 基本误差测量结果的测量模型如下：

$$\gamma = \left\{ \frac{O_x - \left[\frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times (I - I_{\min}) + O_{\min} \right]}{O_{\max} - O_{\min}} \right\} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

γ ——相对误差，%；

O_x ——DCS 或 PLC 的输出值，mA、V（或其他电量及单位）；

O_{\max} ——DCS 或 PLC 的输出值上限，mA、V（或其他电量及单位）；

O_{\min} ——DCS 或 PLC 的输出值下限，mA、V（或其他电量及单位）；

I_{\max} ——DCS 或 PLC 的输入值上限，mA、V（或其他电量）；

I_{\min} ——DCS 或 PLC 的输入值下限，mA、V（或其他电量）；

I ——标准源的输入值，mA、V（或其他电量）。

A.3 方差和灵敏系数

根据测量模型分析可知，DCS 的输入值和输出值的上下限均可以按常数处理，因此上述模型的输入量仅为 DCS 的输出值 O_x 和标准源的输入值 I 两个。将 DCS 输出值引入的标准不确定度记做 u_1 ，将标准源输入值引入的标准不确定度记做 u_2 ，则其方差为：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 \quad (\text{A.2})$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{1}{O_{\max} - O_{\min}} = \frac{1}{16} \text{ mA}^{-1}, \quad c_2 = -\frac{1}{I_{\max} - I_{\min}} = -\frac{1}{100} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

A.4 标准不确定度分量的评定

A.4.1 DCS 的输出值引入的标准不确定度 u_1

由于 DCS 的输出值采用多功能直流信号校准器进行直接测量，因此，DCS 的输出值的标准不确定度分别由多功能直流信号校准器的溯源证书结果、重复性、分辨力引入。

A.4.1.1 校准器的溯源证书结果引入的标准不确定度 u_{1-1}

由于校准器的溯源证书中，在 20mA 点的扩展不确定度为 $U=0.0020\text{mA}$ ， $k=2$ ，因此其标准不确定度：

$$u_{1-1} = \frac{0.0020}{2} = 0.0010\text{mA}$$

A.4.1.2 校准器电流测量重复性引入的标准不确定度 u_{1-2}

对 DCS 的 100 °C 点进行十次连续输出测量，结果如表 A.1 所示：

表 A.1 测量数据

测量次数	测量结果 (mA)
1	20.004
2	20.002
3	20.003
4	20.004
5	20.003
6	20.004
7	20.002
8	20.003
9	20.004
10	20.002
平均值	20.0031
标准偏差 s	0.00088

根据贝塞尔公式计算出 $s=0.00088\text{mA}$

又因为在实际校准过程中，每个校准点测量一次，故：

$$u_{1-2} = 0.00088\text{mA}$$

A.4.1.3 校准器电流测量分辨力引入的标准不确定度 u_{1-3}

由于校准器电流测量在 20mA 档的分辨力为 0.001mA，其半宽为 0.0005mA，服从均匀分布，因此

$$u_{1-3} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.00029\text{mA}$$

又因为 u_{1-2} 大于 u_{1-3} ，因此 $u_1 = \sqrt{u_{1-1}^2 + u_{1-2}^2} = 0.0014\text{mA}$

A.4.2 校准器电阻输出值引入的标准不确定度 u_2

经分析，校准器电阻输出值引入的标准不确定度分别由校准器电流测量分辨力和校准器的溯源证书值引入。

A.4.2.1 校准器电阻输出分辨力引入的标准不确定度 u_{2-1}

在 500Ω 档，校准器的分辨力为 0.001Ω，则其半宽为 0.0005Ω，服从均匀分布，则：

$$u_{2-1} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.00029\Omega$$

A.4.2.2 校准器电阻输出溯源证书值引入的标准不确定度 u_{2-2}

由于校准器的溯源证书中，在 138.506Ω 点的扩展不确定度为 $U=0.003\Omega$ ， $k=2$ ，因此其标准不确定度：

$$u_{2-2} = \frac{0.003}{2} = 0.0015\Omega$$

考虑到 u_{2-2} 大于 u_{2-1} ，则 $u_2=0.0015\Omega$ 。转换成温度：

$$u_2 = \frac{0.0015}{0.37928} = 0.0040^\circ\text{C}$$

A.5 合成标准不确定度

DCS 在 100 °C 校准点的不确定度分量一览表如表 A.2 所示。

表 A.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度 u_i	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $ c_i u_i$
u_1	校准器测量	0.0014mA	$\frac{1}{16} \text{ mA}^{-1}$	0.000088
u_2	校准器输出	0.0040°C	$-\frac{1}{100}^\circ\text{C}^{-1}$	0.000040

各不确定度分量彼此独立互不相关，则 DCS 在 100 °C 校准点的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.000097 = 0.0097\%$$

A.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U=k \times u_c$ ，故 DCS 在 100 °C 点基本误差的扩展不确定度为：
 $U=0.02\%$ ， $k=2$ 。

附录 B

特殊功能通道的校准方法

- B.1 对于有位式（开关量）控制功能的通道，参照 JJG 617-1996 相关内容执行。
- B.2 对于有积算功能的通道或多通道，参照 JJG 1003-2016 相关内容执行。

附录 C

DCS/PLC 校准原始记录参考格式

记录编号:

委托单位: _____

样品名称: _____ 型号规格: _____

生产单位: _____ 出厂编号: _____

校准场所: _____ 校准依据: _____ 环境温湿度: _____℃, _____%RH

校准员: _____ 核验员: _____ 校准日期: _____年____月____日

标准器信息:

标准器名称	规格型号	准确度等级、最大允许误差 或不确定度	出厂编号	有效期至

被校仪器配置情况一览

输入功能模块

型号: _____ 编号: _____ 通道数: _____

输出功能模块

型号: _____ 编号: _____ 通道数: _____

校准时是否包含隔离变送器: ☐是 ☐否

一、基本误差:

输入通道号 (接线端子):		输入范围:	分度号:
隔离变送器型号/编号:		输出范围:	
校准点 ()	实测值 ()	误差 (%)	不确定度 $U (k=2)$

输入通道号（接线端子）：		输入范围：	分度号：
隔离变送器型号/编号：		输出范围：	
校准点（ ）	实测值（ ）	误差（%）	不确定度 $U(k=2)$

二、纹波系数：

通道	V_{rms}	$O_{max} - O_{min}$	标准电阻 (Ω)	纹波系数 (%)	不确定度 $U(k=2)$

以下空白

附录 D

校准证书内页参考格式

一、基本误差：

通道号：	校准点 ()	实测值 ()	不确定度 $U(k=2)$
分度号： 输入范围： 输出范围：			
配套隔离变送器型号：		出厂编号：	
通道号：	校准点 ()	实测值 ()	不确定度 $U(k=2)$
分度号： 输入范围： 输出范围：			
配套隔离变送器型号：		出厂编号：	

二、纹波系数：

通道	纹波系数	不确定度 $U(k=2)$

注：复校时请携带本证书。

以下空白

