电桥测电阻温度探测器（RTD）（如 Pt100）和热电偶温度测量

白皮书

By Prof. Dr.-Ing. Klaus Metzger　　翻译：王金

在物理测量技术领域，温度是最常见的测量变量，尤其是在过程技术领域，温度测量属于“计量支柱”。在 imc 测量设备中，所谓的“混合信号应用”领域，没有温度测量功能的设备几乎没有，在本白皮书中，将介绍两种最常见的测量温度传感器：电阻温度探测器（RTD）（Pt100）和热电偶。

电阻温度探测器（RTD）

RTD 的原理是温度随着电阻的变化而变化，温度和电阻的关系可以用一个方程来表示，电阻 RO 对应温度 TO，TM 是电阻器的温度，a,b,c...是材料相关的常数。例如，Pt100 在 0°C 时对应的 RO 是 100Ω，其测量范围是-200 到 850°C。通过电流常量 IK（通常≤ 1 mA）和电阻器的压降，计算电阻值。图 1 是常用的电路：

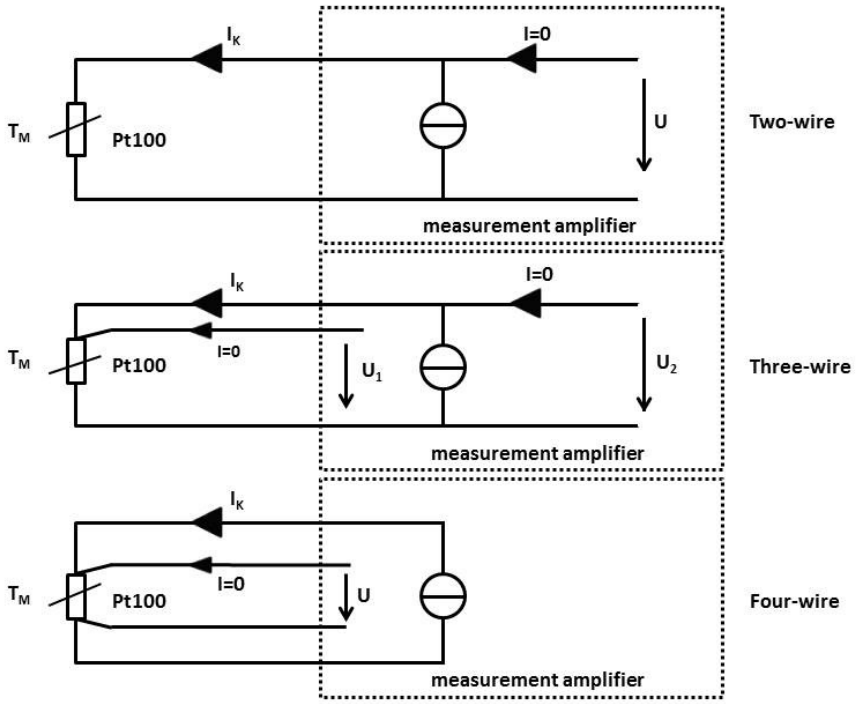

图 1：电阻温度探测器（RTD）连接

在**两线系统**中，电源给变温电阻供电，测量电压 U 包含通过电阻的压降和通过导线电阻的压降，导线压降会导致系统误差。换句话说，这意味着当电流 IK 确定，由于导线从头到尾的压降，会导致被测电压 U 过大。

更好的方法是**三线系统**，通过测量 U1 和 U2，可以消除导线电阻的影响。但是要求供应线和回流线具有相同长度，相同材料以及处于相同的温度。在这种情况下，电流 IK 已知，但下部供应线压降太高，根据 U1 和 U2，对于相同的导线可以确定 Pt100 的电阻值。

最理想的方法是**四线系统**，电压 U 可直接测量，不用通过电流，电阻器的电压和电流 IK 都已知，可以确定 Pt100 的电阻值。

电阻和温度变化的对应关系用灵敏度来表示，对于 Pt100，1mA 的恒定电流，灵敏度大约是 0.4 Ω/Kelvin，对应的电压变化是 400 µV/Kelvin。

在 DIN IEC 751 中，给出了 RTDs 的极限偏差，公差等级分为 A 和 B，通过 RTD TM 数值来确定 Kelvin 偏差：

A 级：}(0.15 + 0.002 TM)

B 级：}(0.30 + 0.005 TM)

当使用三线或四线系统，A 级在-200 ... 650 °C 温度范围内，B 级适用于-200 ... 850 °C 温度范围。

示例：

用A级Pt100 RTD测量温度80°C，最大测量不确定度（无系统误差）是± (0.15 + 0.002*80) K = ± 0.31 K。传感器的测量不确定度TM = (80 ± 0.31)°C，而典型的imc温度测量放大器（如C8或者OSC16/32等）的测量不确定度是± 0.1K。

imc 测量设备，模块内置测量放大器。对于非线性的 RTDs，操作者们不用担心，因为它通过测量系统通过在线计算可以自动修正。

热电偶

用热电偶测量温度时，与 RTDs 物理配置不同。如果你连接两种不同材料 A 和 B 的电导体，可以得到材料的热电动势 U_{AB}，这个被称作塞贝克效应。

热电偶温度测量操作如图 2 所示：

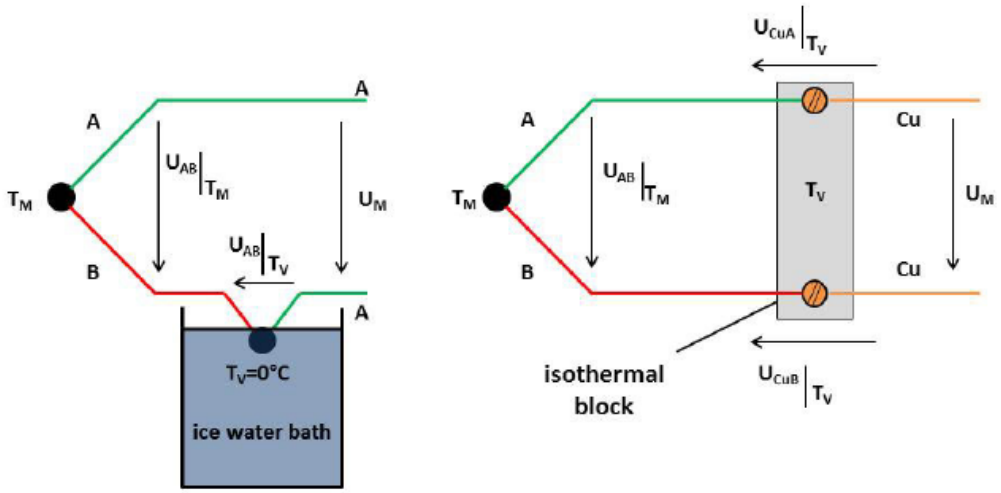

图 2：热电偶温度测量

左图所示，材料 A 和材料 B 两个热电偶连接，在测量温度点 TM 从 A 到 B 有一个材料过度，另一个材料过度放在冰水池里，基准温度 TV = 0°C，被测电压 UM 为：

$$U_M = U_{AB}\Big|_{T_M} - U_{AB}\Big|_{T_V}$$

因此，UM 等于材料 AB 热电偶在测量温度 TM 的热电动势减去相同材料的冰水池热电动势，热电偶的热电电压在 0°C 时已知，根据测量电压 UM，可以确定测量点的温度 TM。

右图所示，测量电压 UM，从 A（绿色）到测量设备通过连接铜线过度，但是，这种过

度不能中断，两个电缆要保持相同温度，热电动势才能相互取消。如左图所示，使用冰水池非常麻烦，不实用，右图展示的方法更有效。在右图中，热电偶的两个端子用螺钉连接到所谓的“等温块”上，等温块可以在两个螺钉端子上设定相同的温度，等温块传到导温度性能非常好，而且对电气绝缘。测量电压 UM 为：

$$U_M = U_{AB}\Big|_{T_M} - U_{AB}\Big|_{T_V}$$

$$= U_{AB}\Big|_{T_M} + (U_{CuA} - U_{CuB})\Big|_{T_V}$$

$$= U_{AB}\Big|_{T_M} + U_{AB}\Big|_{T_V}$$

从材料 A 到铜线的材料过度与从材料 B 到铜线的材料过度在同一温度 TV，就像材料 A 和 B 组合在一起，方程的实际结果是要知道冷端温度 TV。通常，冷端温度用 RTD 测量。因此，通过测量这种类型热电偶的电压 UM（不是测量点的温度 TM），可以确定 TM 和参考通道间的差值。TV 可以用 RTD（如 Pt100）测量得出，参考点温度 TM 可以计算出来，根据上面的方程，你可以很简单的检查热电偶端子之间的跳线。在这种情况下，测量结果和等温块温度 TV 对比。

使用这种方法，各种类型的热电偶都可以被测量，操作者只需要在 imc DEVICES 操作软件中指定热电偶连接相应的测量输入。

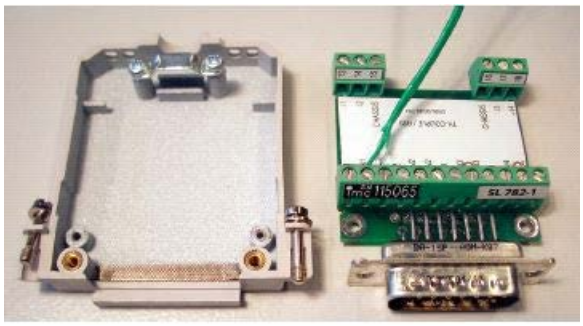

图 3： imc 热电偶连接器

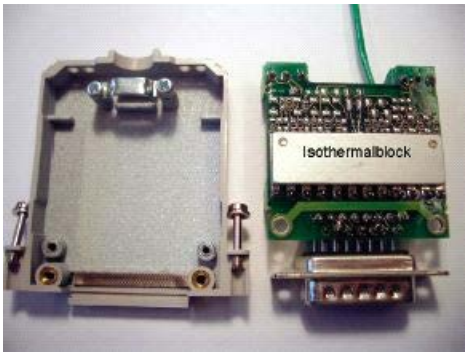

图 4：恒温块连接器背面

RTDs 和热电偶在变量温度和电压之间都具有非线性特点。在计算机之前，imc 设备会修正非线性特性，然后就可以得出目标温度。

下表介绍了一些常见的热电偶测量范围和误差等级。还有一些关于热应力和公差的要素。

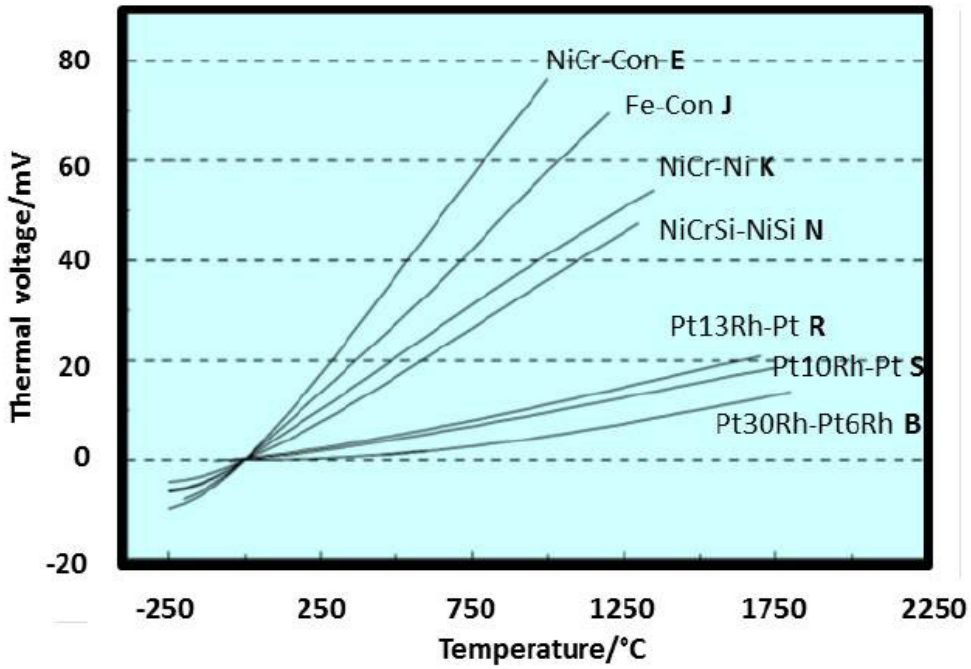

图 5： DIN EN 60584 中热电偶特征曲线

最后，在下表中，列出了一些关于各种类型热电偶的重要技术数据。

Thermocouple		Maximum Temperature	Defined up to	Positive Limb	Negative Limb
Fe-Con	F	750℃	1200℃	Black	White
Cu-Con	T	350℃	400℃	Brown	White
NiCr-Ni	K	1200℃	1370℃	Green	White
NiCr-Con	E	900℃	1000℃	Violet	White
NiCrSi-NiSi	N	1200℃	1300℃	Mauve	White
Pt10Rh-Pt	S	1600℃	1540℃	Orange	White
Pt13Rh-Pt	R	1600℃	1760℃	Orange	White
Pt30Rh-pt6Rh	B	1700℃	1820℃	No data	White

图 6： 颜色编码连接导线的定义

各种热电偶的极限偏差

Thermocouple	Type	Maximum Temp. °C	Defined up to °C	Limiting Deviations
Fe-CuNi	J	750	1200	Class 1 -40...750°C: ±0.004 T or ±1.5°C Class 2 -40...750°C: ±0.0075 T or ±2.5°C Class 3 - - -
Cu-CuNi	T	350	400	Class 1 -40...350°C: ±0.004 T or ±0.5°C Class 2 -40...350°C: ±0.0075 T or ±1.0°C Class 3 -200...40°C: ±0.015 T or ±1.0°C
Ni-CrNi	K	1200	1370	Class 1 -40...1000°C: ±0.004 T or ±1.5°C Class 2 -40...1200°C: ±0.0075 T or ±2.5°C Class 3 -200...40°C: ±0.015 T or ±2.5°C
NiCrSi-NiSi	N	1200	1300	Same as Type K
NiCr-CuNi	E	900	1000	Class 1 -40...800°C: ±0.004 T or ±1.5°C Class 2 -40...900°C: ±0.0075 T or ±2.5°C Class 3 -200...40°C: ±0.015 T or ±2.5°C
Pt10Rh-Pt	S	1600	1540	Class 1 0...1600°C: ±[1+(T-1100)0.003] or ±1.0°C Class 2 -40...1600°C: ±0.0025 T or ±1.5°C Class 3 - - -
Pt13Rh-Pt	R	1600	1760	Same as Type S
Pt30Rh-Pt6Rh	B	1700	1820	Class 1 - - - Class 2 600...1700°C: ±0.0025 T or ±1.5°C Class 3 600...1700°C: ±0.005 T or ±4.0°C
Fe-CuNi	L	600	900	100...400°C: ±3.0°C 400...900°C ±0.75°C
Cu- CuNi	U	900	600	100...400°C: ±3.0°C 400...600°C ±0.75°C

图 7：热电偶温度范围和极限偏差

在 DIN 43710 中，热电偶参数类型为“L”和“U”型，在 DIN IEC 584-1 中有其他类型。最大温度是加上偏差极限的温度，"defined up to"意味着热电动势被指定的温度。

热电偶的灵敏度通常低于 RTDs 的灵敏度。比如，K 型热电偶的灵敏度大概是 40 μV/Kelvin，仅是 Pt100 灵敏度的 10%。热电偶适用于高温（如 S 型或者 B 型），但灵敏度要低得多。

总之，热电偶相比于 RTDs，可以用于更高的温度条件。另外，热电偶价格便宜。热电偶的劣势在于其灵敏度较低，极限偏差相对较大。

附加信息

imc Meßsysteme GmbH

Voltastr. 5
13355 Berlin, Germany
Telephone: +49 (0)30-46 7090-0
Fax: +49 (0)30-46 31 576
E-Mail: hotline@imc-berlin.de
Internet: www.imc-berlin.com

德国 imc 集成测控有限公司，以 26 年专业经验，融合精湛的德国工艺、先进的制造技术与多项开发专利，设计制造专业的测试测量系统，致力于为全球工程技术领域提供包含硬软件的解决方案。

无论是整车测试、试验台架还是工厂或机械设备的自动化监控——imc 数据采集系统的优势获得测量业界的广泛认同，易于操作、性价比高，令测试更有效率！无论是研究、开发、测试还是试运行，imc 可提供标准化的测量设备和软件产品，以及完整的交钥匙解决方案。

对于机械/电子类测试应用，imc 测量系统提供高达每通道 100kHz 的采样频率，支持物理量测量的各种传感器，如压力、力、速度、振动、噪声、温度、电压或电流等信号。imc 的产品系列集成了信号调理和硬件的实时分析，并结合软件分析和测试管理产品，涵盖测量控制工作流程的所有方面，从信号调理单元、实时分析与控制，到自动化测试控制和生成测试报告。

imc成立于1988年，总部设在柏林，拥有约200名员工，在全球28个国家或地区拥有25家合作伙伴。我们不断努力，为地面交通工具（汽车、商用车辆和铁路机车等）、航空航天、能源和土木工程等工业领域的客户创新提供最佳的测量解决方案！

imcAccess Co.

北京
西城区裕民路 18 号北环中心 1110 室 100029
电话: 010-6552 8700 传真: 010-6552 1600

上海
长宁区新华路 728 号华联发展大厦 M10 室 200052
电话: 021-5230 1156 传真: 021-5230 1117

重庆
沙坪坝区沙正街 174 号理科楼 530 室 400040
电话：023-8131 6242

电邮: hotline.1@imcaccess.com
网站: www.imc-china.com

imcAccess 公司是由德国 imc 集成测控有限公司控股的贸易及技术服务公司，公司成立于 2002 年，独家负责德国 imc 公司产品在中国的全面推广以及技术服务！

我们竭诚为您提供快速、准确、及时的技术支持和服务：

1. 周到和专业地产品咨询服务，如产品的详细技术指标、硬件的方案配置；
2. 系列化的培训服务，从产品的硬件连接到软件的使用操作，以及结合应用的高级技术培训；
3. 快捷方便的沟通平台，如您在产品使用过程中有任何问题或需要，均可与我们专业的技术支持工程师取得联系；
4. 客制化服务，针对用户的实际需要，可谓客户完善现有分析功能，以及二次开发定制界面和功能；
5. 已有设备的定期校准、系统检查、系统升级等服务。

使用条款：

本文档版权归 imc Meßsysteme GmbH 所有，并保留一切权利。未经书面许可，任何公司或个人不得对此文档内容进行编辑、修改或以任何方式改变。该文档可以出版或复制。如果单独发表，我们要求必须包含我公司名称和网页链接 www.imc-berlin.com。尽管内容已精心准备，文档内容仍有可能包含错误。若有任何信息不正确，请通过 info@imcaccess.com 告知我们。如因文档使用不当造成的直接或间接损失，本公司不承担任何责任。