

连接/参考器件

AD5760	超稳定、16位、电压输出型DAC
AD8675/ AD8676	超高精度、36 V、2.8 nV/Hz、单通道/ 双通道、轨到轨输出运算放大器
ADR4550	超低噪声、高精度5 V基准电压源

16位、线性、超稳定、低噪声、双极性、±10 V直流电压源

评估和设计支持

电路评估板

[AD5760电路评估板\(EVAL-AD5760SDZ\)](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

图1所示电路是一个16位、超稳定、低噪声、精密、双极性、±10 V电压源，仅需搭配最少数量的精密外部元件。

AD5760电压输出DAC(B级)的积分非线性(INL)最大值为±0.5 LSB，差分非线性(DNL)最大值为±0.5 LSB。

完整系统具有低于0.1 LSB的峰峰值噪声和漂移，以100秒时间间隔进行测量。该电路适用于医疗仪器、测试和测量，以及需要精密低漂移电压源的工业控制应用中。

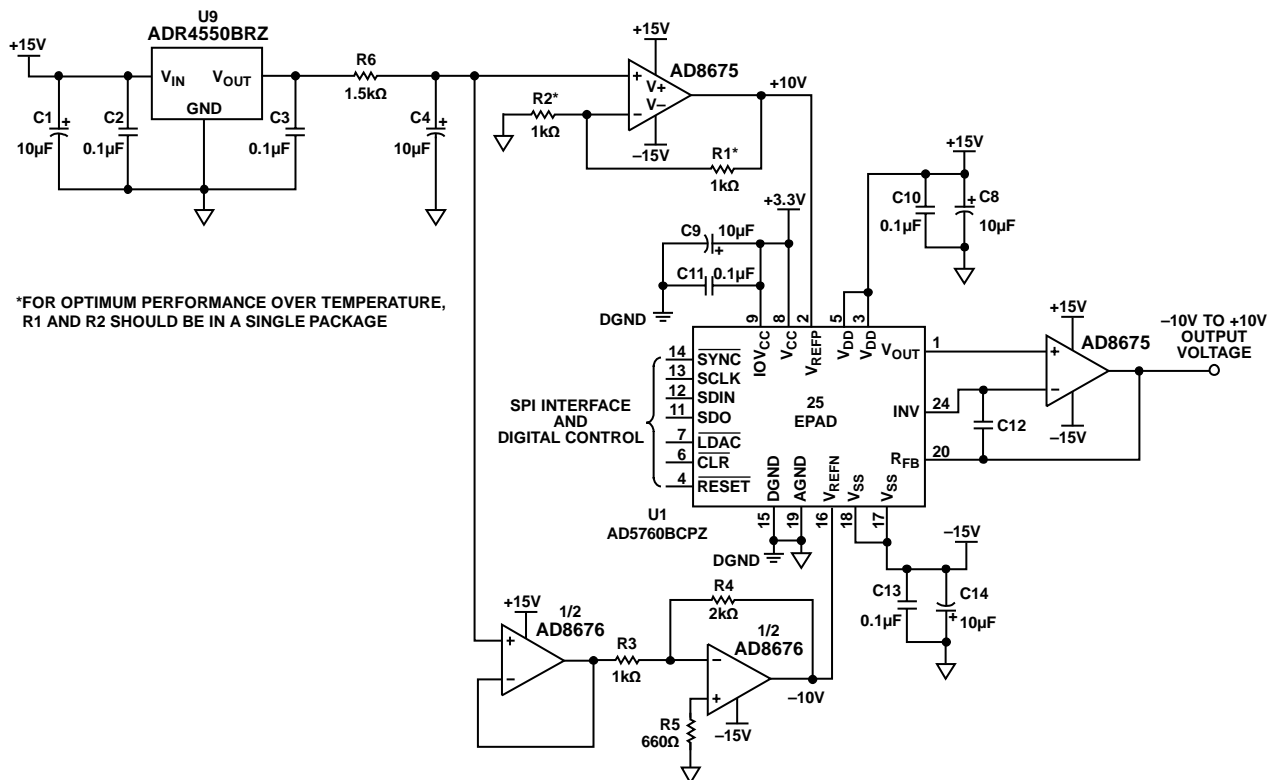


图1. 16位精密±10 V电压源(原理示意图: 未显示所有连接和去耦)

Rev. 0

Circuits from the Lab™ circuits from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

电路描述

图1所示电路基于真16位、无缓冲电压输出DAC AD5760，采用最高33 V双极性电源供电。AD5760的正基准电压输入范围为5 V至 $V_{DD} - 2.5$ V，负基准电压输入范围为 $V_{SS} + 2.5$ V至0 V，相对精度最大值为 ± 0.5 LSB，保证工作单调性，差分非线性(DNL)最大值为 ± 0.5 LSB。AD5760输出噪声为 $8\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，还具有极高的长期线性误差稳定性(0.00625 LSB)。

图1显示AD5760配置为带有放大器输入偏置电流补偿的单位增益模式，可产生对称的双极性输出电压范围。此工作模式采用外部输出运算放大器和片内电阻(参见AD5760数据手册)来提供输入偏置电流补偿。这些内部电阻相互之间以及与DAC梯形电阻之间均热匹配，因而可实现比率热跟踪。

精密运算放大器AD8675具有低失调电压(最大值 $75\ \mu\text{V}$)和低噪声(典型值 $2.8\ \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ， $0.1\ \mu\text{V p-p}$ ， $0.1\ \text{Hz}$ 至 $10\ \text{Hz}$)特性，是AD5760的最佳输出缓冲器。AD5760具有两个内部匹配的 $6.8\ \text{k}\Omega$ 前馈和反馈电阻，它们既可以连接到运算放大器AD8675以提供 $10\ \text{V}$ 失调电压，从而实现 $\pm 10\ \text{V}$ 输出摆幅，也可以并行连接以提供偏置电流消除功能。本例显示 $\pm 10\ \text{V}$ 双极性输出，电阻用于偏置电流消除功能。内部电阻连接通过设置AD5760控制寄存器中的相关位来控制(参见AD5760数据手册)。

ADR4550是高精度基准电压源，提供出色的温度稳定性(最大值 $2\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，B级)和超低输出电压噪声($2.8\ \mu\text{V p-p}$ ， $0.1\ \text{Hz}$ 至 $10\ \text{Hz}$)。这些特性使其成为AD5760的理想基准电压源。

为了获得 $\pm 10\ \text{V}$ 输出电压范围，使用AD8675和AD8676(双通道AD8675)将ADR4550的 $+5\ \text{V}$ 基准电压放大至 $\pm 10\ \text{V}$ (如图1所示)。

输出缓冲器同样采用AD8675，它具有低噪声和低漂移特性。此放大器与AD8676(AD8675的双通道版本)共同将低噪声ADR4550的 $+5\ \text{V}$ 基准电压分别放大至 $+10\ \text{V}$ 和 $-10\ \text{V}$ 。此增益电路中的R1、R2、R3和R4为精密金属薄片电阻，其容差和温度系数电阻分别为 0.01% 和 $0.6\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。R6和C4构成低通滤波器，截止频率大约为 $10\ \text{Hz}$ 。该滤波器用于衰减基准电压源噪声。

如有需要，可使用单个双通道放大器AD8676代替电路中的两个运算放大器AD8675。然而，EVAL-AD5760SDZ板设计用于提供输出级灵活性，因此本例中选择两个运算放大器AD8675。

该电路的数字输入采用串行输入，并与标准SPI、QSPI、MICROWIRE®和DSP接口标准兼容。

线性度测量

利用Agilent 3458A万用表，在EVAL-AD5760评估板上演示图1所示电路的精密性能。图2显示积分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于 ± 0.5 LSB的规格范围内。

图3显示差分非线性与DAC代码具有函数关系，且位于 ± 0.5 LSB的规格范围内。

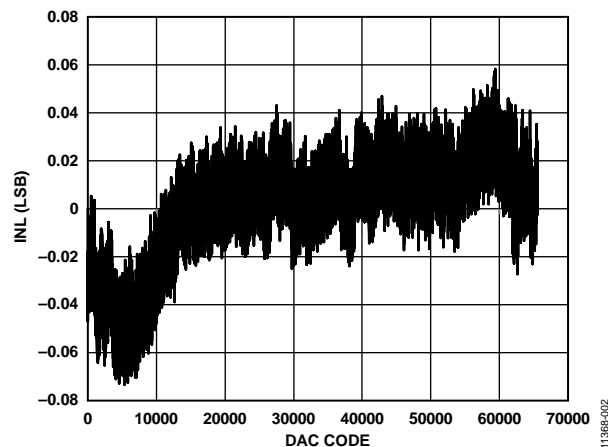


图2. 积分非线性与DAC码的关系

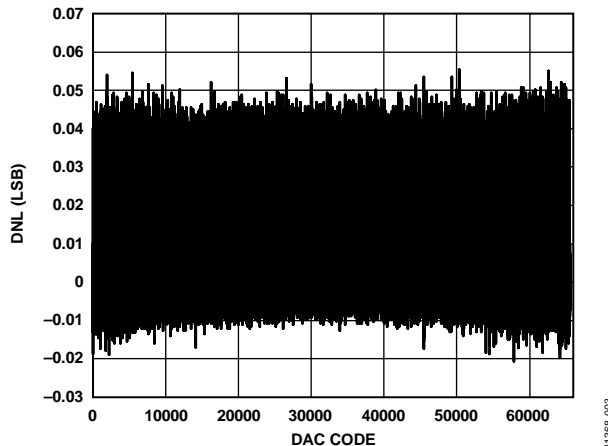


图3. 微分非线性与DAC码的关系

噪声漂移测量

要实现高精度，电路输出端的峰峰值噪声必须维持在1 LSB以下，对于16位分辨率和+10 V单极性电压范围为152 μV ，而对于20 V峰峰值电压范围则为305 μV 。

实际应用中不会在0.1 Hz处有高通截止频率来衰减1/f噪声，但会在其通带中包含低至直流的频率；因此，测得的峰峰值噪声对于+10 V单极性电压范围如图4所示，而对于 $\pm 10\text{ V}$ 双极性电压范围则如图5所示。两种情况下，电路输出端的噪声是在100秒内测得的，测量充分涵盖低至0.01 Hz的频率。

图4显示10 V输出范围内的信号链噪声性能(1 LSB = 152 μV)。将AD5760的 V_{REFN} 输入接地即可得到10 V范围。

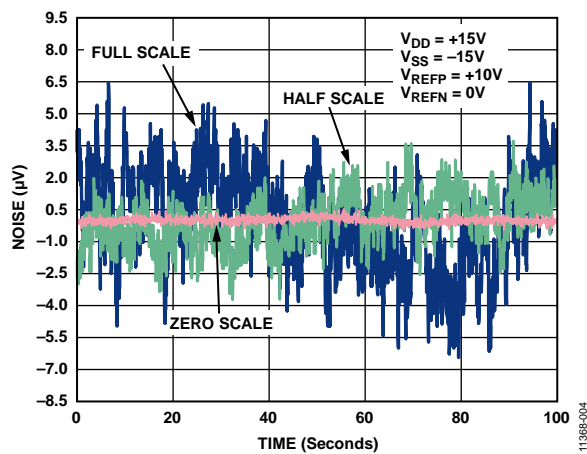


图4. 使用ADR4550基准电压源和10 V峰峰值单极性输出电压范围，100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程(蓝色)、中间电平(绿色)和零电平(红色)

图4中10 V范围的峰峰值输出噪声总结如下：

- 零电平 = 0.96 $\mu\text{V p-p}$ = 0.006 LSB p-p
- 中间电平 = 7.46 $\mu\text{V p-p}$ = 0.05 LSB p-p
- 满量程 = 12.88 $\mu\text{V p-p}$ = 0.08 LSB p-p

零电平输出电压的噪声最低，此时噪声仅来自DAC内核，这仅仅是由于 V_{REFN} 输入接地。选择零电平码时，DAC会衰减各基准电压路径的噪声贡献。

频率较低时，温度漂移和热电偶效应会变成误差源。通过选择热系数较小的器件可以将上述效应降至最小。在此电路中，低频1/f噪声的主要来源是基准电压源。另外，基准电压源的温度系数值也是电路中最大的，为2 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 。

图5显示20 V输出范围内的信号链噪声性能(1 LSB = 305 μV)。

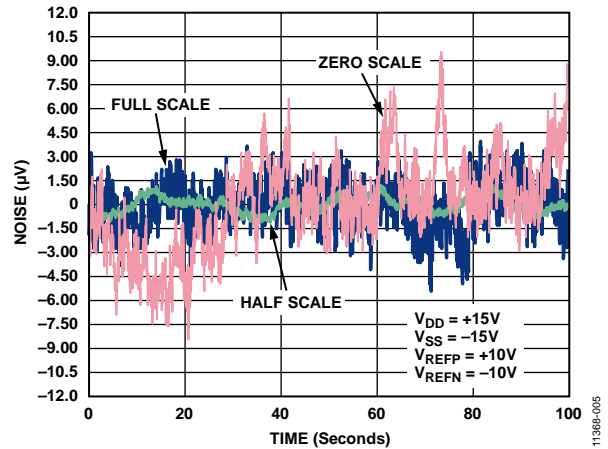


图5. 使用ADR4550基准电压源和20 V峰峰值双极性输出电压范围，100秒内测得的DAC输出电压噪声：满量程(蓝色)、中间电平(绿色)和零电平(红色)

图5中20 V范围的峰峰值噪声总结如下：

- 零电平 = 18 $\mu\text{V p-p}$ = 0.06 LSB p-p
- 中间电平 = 2.47 $\mu\text{V p-p}$ = 0.008 LSB p-p
- 满量程 = 9.22 $\mu\text{V p-p}$ = 0.03 LSB p-p

中间电平时具有最低的噪声，因为DAC内核在该电平位置具有针对基准电压源的最大衰减。

零电平时的噪声大于满量程时的噪声，因为负基准电压通过额外的缓冲器级。

欲查看完整原理图和印刷电路板的布局，请参见CN-0318设计支持包：www.analog.com/CN0318-DesignSupport

常见变化

AD5760支持各种不同的输出范围，从0 V至+5 V、最高 $\pm 10\text{ V}$ 以及该范围内的任意值。如图1所示，带有放大器输入偏置补偿的单位增益模式可用于对称或非对称输出范围——在 V_{REFP} 和 V_{REFN} 端施加所需基准电压即可。将AD5760内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑1，即可选定这些单位增益模式。增益2配置可在单端基准电压源输入需要对称输出范围时使用($V_{\text{REFN}} = 0\text{ V}$)。将AD5760内部控制寄存器的RBUF位设为逻辑0，便可选择这种模式。

如有需要，可使用双通道AD8676代替两个运算放大器AD8675。

电路评估与测试

设备要求

- 系统演示平台(EVAL-SDP-CB1Z)
- EVAL-AD5760SDZ评估板和软件
- Agilent 3458A万用表
- PC(Windows 32位或64位操作系统)
- National Instruments GPIB转USB-B接口电缆
- SMB电缆(1)

软件安装

AD5760评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows XP (SP2)和Vista(32位和64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的setup.exe文件。完整的硬件和软件设置步骤请参见用户指南UG-436。

请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。

1. 光盘文件安装完毕后，按照用户指南UG-436中的描述为AD5760评估板接通电源。将SDP板(通过连接器

A或连接器B)连接到AD5760评估板，然后利用附送的电缆连接到PC的USB端口。

2. 检测到评估系统后，确认出现的所有对话框。这样就完成了安装。

功能框图

测试配置的功能框图如图7所示。

电源

必须提供下列外部电源：

- AD5760的数字电源：在连接器J1的VCC与DGND输入之间提供3.3 V电源。
- 或者将链路1放在位置A，以便从USB端口通过SDP板为数字电路供电(默认设置)。
- AD5760的正模拟电源：在J2的VDD与AGND输入之间提供+12 V至+16.5 V的电源。
- AD5760的负模拟电源：在J2的VSS与AGND输入之间提供-12 V至-16.5 V的电源。

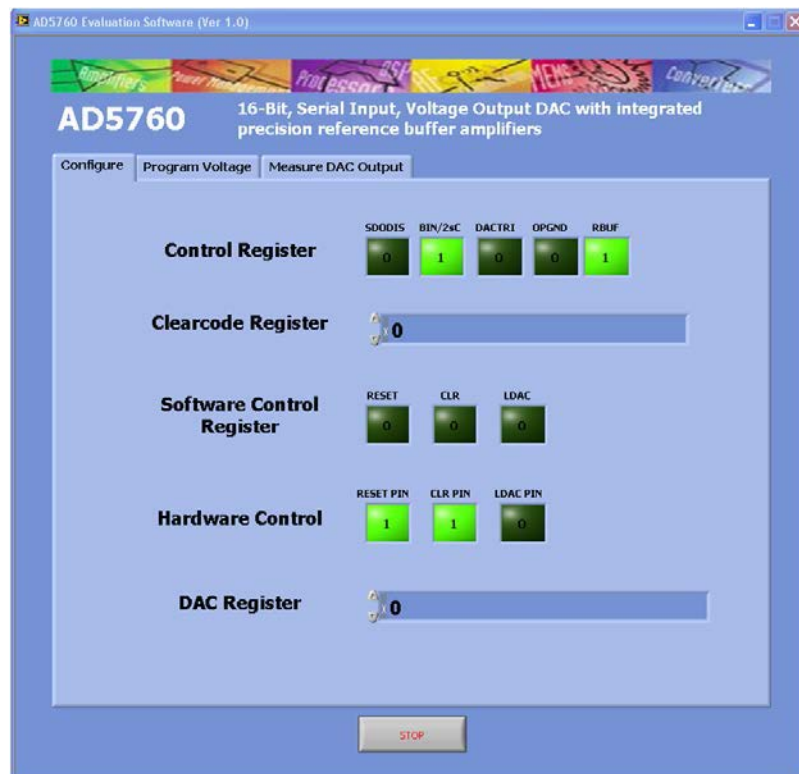


图6. 评估软件主窗口

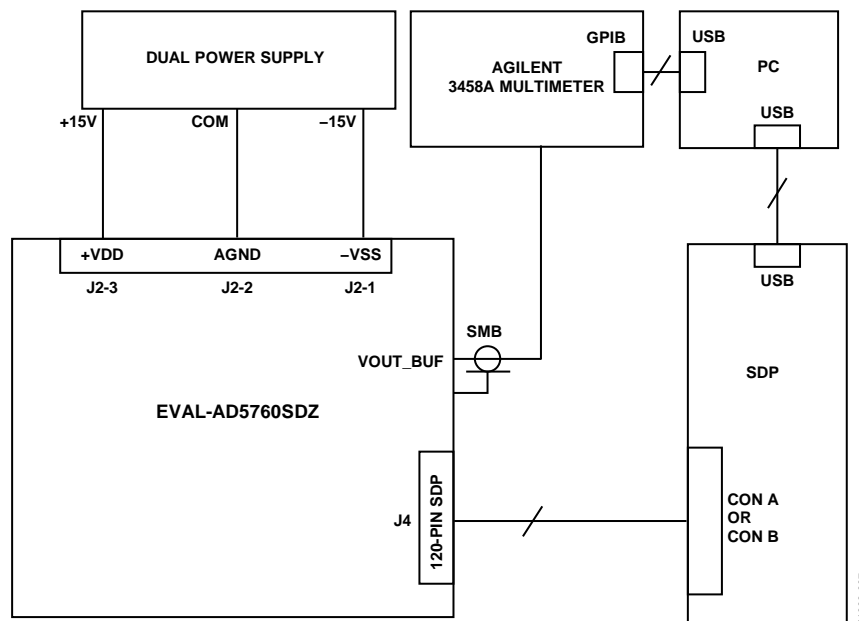


图7. 测试设置功能框图

默认链路选项设置

默认链路选项如表1所示。该板的默认配置为： $V_{REFP} = +10\text{ V}$ ， $V_{REFN} = -10\text{ V}$ ，输出范围为 $\pm 10\text{ V}$ 。

表1. 默认链路选项

链路编号	选项
LK1	A
LK2	B
LK3	A
LK4	已移除
LK5	已移除
LK6	已移除
LK7	已移除
LK8	C
LK9	已插入
LK11	已插入

要将该板配置为图1所示电路，必须对表1中的默认链路配置进行如下改动：

1. 将LK3放在位置B
2. 插入LK4
3. 将LK8放在位置C。

这些改动将输出缓冲放大器的增益配置为1，并补偿放大器输入偏置电流。欲了解有关EVAL-AD5760SDZ测试设置的更多信息，请参阅用户指南UG-436。

测试

VOUT_BUF SMB连接器连接到Agilent 3458A万用表。线性度测量利用AD5760 GUI上的“测量DAC输出”选项卡进行。

噪声漂移测量也是在VOUT_BUF SMB连接器上进行。输出电压利用AD5760 GUI上的“设置电压”选项卡进行。峰峰值噪声漂移的测量时间为100秒。

量数据计算INL、DNL和噪声，请参阅AD5760数据手册和以下文献：[数据转换手册第5章“测试数据转换器”](#)，ADI公司

了解详情

CN0318 Design Support Package:

www.analog.com/CN0318-DesignSupport

Egan, Maurice. "The 20-Bit DAC Is the Easiest Part of a 1-ppm-Accurate Precision Voltage Source," *Analog Dialogue*, Vol. 44, April 2010.

Kester, Walt. 2005. *The Data Conversion Handbook*. Analog Devices. Chapters 3, 5, and 7.

MT-015 Tutorial, *Basic DAC Architectures II: Binary DACs*. Analog Devices.

MT-016 Tutorial, *Basic DAC Architectures III: Segmented DACs*. Analog Devices.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of AGND and DGND*. Analog Devices.

MT-035 Tutorial, *Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues*. Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*. Analog Devices. Voltage Reference Wizard Design Tool.

CN-0177 Circuit Note, *18-Bit, Linear, Low Noise, Precision Bipolar ± 10 V DC Voltage Source*.

CN-0191 Circuit Note, *20-Bit, Linear, Low Noise, Precision, Bipolar ± 10 V DC Voltage Source*.

CN-0200 Circuit Note, *18-Bit, Linear, Low Noise, Precision Bipolar ± 10 V DC Voltage Source*.

CN-0257 Circuit Note, *20-Bit, Linear, Low Noise, Precision Unipolar +10 V DC Voltage Source*.

User Guide UG-436, *Evaluation Board for a 16-Bit Serial Input, Voltage Output DAC with Integrated Precision Reference Buffer Amplifiers*.

数据手册和评估板

[AD5760 Data Sheet and Evaluation Board](#)

[AD8675 Data Sheet](#)

[AD8676 Data Sheet](#)

[ADR4550 Data Sheet](#)

(Continued from first page) Circuits from the Lab circuits are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab circuits in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab circuits. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab circuits are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab circuits at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
CN11368sc-0-5/13(0)

**修订历史**

2013年5月—修订版0：初始版