

ATC的EIA600系列陶瓷电容具有超低等效串联电阻，能使您的射频功率放大器发热降低，可靠性提高

Richard Fiore 美国技术陶瓷公司 射频应用高级工程师

当前无线通讯基础设施建设的中心是提供更有效和便宜的射频功率放大器(PAs)。

无线通讯基础设施设计现在面临许多挑战，因为调制方式众多，每个方式都有更苛刻的性能要求：输出功率增加，效率更高，线性更好，交调畸变更低，接收机更灵敏，还有成本更低廉。新调制方式提高数据传输率，更有效地利用频谱，对功率放大器就提出了进一步要求。此外，每个地面站需要容纳更多用户，有时用户量要加倍，再加上高速数据传输(GPRS)和视频传输这些附加服务，设计者的主要任务是提供能满足这些不断增长的要求的基站(BTS)。设计新的基站放大器需要达到更高功效和提供更多更复杂的性能，因而必须有更优质的元件。低损耗电容器件是设计最先进基站时不可或缺的因素，在今天的市场上，低成本和优越性能对于一个成功的项目设计是至关重要的。

ATC新的EIA 600系列陶瓷射频片式电容使用优质NPO介质，有超低等效串联电阻(ESR)，能够改善线路性能来满足以上要求。这个系列是特别为对元件最挑剔的射频和微波应用设计的，在同类产品中具有最低ESR和最高额定电压，因此是大信号线路的理想元件。这个系列的优点使基站(BTS)设计人员能够实现更高的功率增加效率(PAE)和线性，和更低的噪音指数以及相位畸变。EIA600系列适用于下一代通讯基础设施线路，例如：GSM/GRPS，PCS，3G，UMTS，WCDMA，宽带无线服务，卫星通讯，点对点(LMDS)和点对多点(MMDS)系统。这个系列产品传热性能极为优越，用于大信号线路中自身能保持低温；用于小信号线路时，能改善线路热噪声(KTB)性能，从而获得更高信噪比，这是产品超低等效串联电阻(ESR)性能的直接结果。这个系列产品外形尺寸有常用的EIA尺寸(0402，

0603，0805，1210)和传统的ATC尺寸“A”(0.055英寸x 0.055英寸)和“B”(0.110英寸x 0.110英寸)。

器件可靠性概述

ATC所有产品都满足军品标准 MIL-PRF-55681的规定，而且在合格产品名单(QPL)上作为合乎S级失效率的产品列出。这个失效率是每1000小时后失效率小于0.001%，或者是10个失效率单位(FIT)。FIT是一定数目的元件在一定时间内(元件数和时间乘积需为 10^9 元件-小时)之内失效的个数。如果 10^9 元件-小时只有1个元件失效，那就定义为1个FIT。失效率的倒数是两个失效之间相隔的平均时间(MTBF)。对应于S级可靠性(也就是失效率)的MTBF是 10^9 小时，也就是11,415年。ATC所有尚未列入合格产品名单(QPL)的新产品，例如ATC的EIA 600系列，也都以S级失效率为目标，为此ATC的内部质检要求产品满足2000小时寿命测试要求。为了不被从合格产品名单(QPL)上除名，ATC必须每6个月把在名单上的产品按照国防后勤局要求作一次可靠性等级测试。

可靠性模型

美国政府出版的军用手册(MIL-HDBK-217)汇集了军用元件可靠性标准，也列有计算低和中等介质常数K的陶瓷多层电容绝缘电阻失效的加快寿命测试模型。下面给出这个模型。这个模型用对电压依赖关系的乘方定律和对温度依赖关系的阿伦尼斯(Svante Arrhenius，瑞典物理化学家)方程，参照额定电压和温度，描述在各种条件下器件的可靠性。在温度不同于 125°C 时的各种不同电压之下，器件的平均失效时间(MTBF)可以用这个模型来预测。

V1 额定 电压	V2 加速 电压	T1 标准测试 温度125℃	T2 加速温度 (℃)	加速 因数	MTBF (小时)
150	150	125	125	1	10 ⁸
150	75	125	125	0.125	8 x 10 ⁸
150	200	125	125	2.370	0.42 x 10 ⁸
150	150	125	85	0.0386	25.9 x 10 ⁸
150	150	125	135	2.048	0.49 x 10 ⁸

表1: 不同电压和温度时的可靠性

$$\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n \times \exp \left[\left(\frac{E_a}{K}\right) \times \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \right]$$

这里:

t_1 = 额定条件下的平均失效时间

t_2 = 测试条件下的平均失效时间

V_1 = 额定电压

V_2 = 测试电压 (2倍直流工作电压), 或任何加速或减速电压, 或使用电压

T_1 = 陶瓷电容最高额定温度, 单位是开氏 (Kelvin) 度
(125 °C + 273.14 = 398.14°K)

T_2 = 加速或减速温度, 单位是开氏 (Kelvin) 度
(°C + 273.14)

n = 电压指数, 通常根据军用手册 (MIL-HDBK-217) 引用的3次方定律定为3。

E_a = 温度激活能, 对于陶瓷电容器定为1.0eV。在温度低于300°C时被认为是主要导电机理。

K = 波尔兹曼(Boltzman)常数 (8.617 x 10⁻⁵ eV/°K)

这个模型与低K和中K陶瓷晶格结构中的氧空穴在电压下的活动性有关。使用这个模型分析陶瓷电容器绝缘电阻劣化时, 假设氧空穴活动性增加是电容失效的机制。

可靠性是相对于参照条件定义的。在此处讨论的情况下, 就是被测器件在额定最高温度下加额定电压。老化和寿命测试就是使电容比额定条件下更快(加速)失效的测试。测试是一般按照军品标准MIL-PRF-55681的规定采用125 °C和两倍额定电压。在上述方程的乘方定律部分使用 $n=3$ 得到加速因数为8x 额定值($2^n=2^3=8$)。

电容在不同于表1列出的电压和温度下的可靠性, 不论是

使电容比额定条件下更快(加速)失效的和更慢(减速)失效的测试, 都可以用相同的模型来从表1结果推广得到。对额定直流工作电压150V的电容, 像表1中那样应用上述模型的方程就能得到它的可靠性数据。用这样得到的结果就能计算加速因数。电容在不同于参照(额定)条件下的平均失效时间, 和在参照(额定)条件下的平均失效时间之比, 就是这个加速因数。表1中第1行是额定条件的情况, 这时加速因数等于1。当电压和温度变得不同于额定条件时, 平均失效时间就按这个加速因数变化。表1给出加速因数作为电压和温度的函数的几个例子。

加快的和减慢的平均失效时间等于(额定电压和温度下)原始平均失效时间除以加速因数。例如, 所加电压等于额定电压, 温度从最大额定温度125°C增加到135°C, 平均失效时间大约缩短一半。

性能优点

功率放大器一经使用ATC的EIA 600系列超低等效串联电阻(ESR)电容, 在匹配, 耦合/隔直和旁路性能方面的改进就立竿见影。在各种电路中使用这种电容还能提供设计余量, 增进产品合格率, 降低发热和提高可靠性。此外, 还减少原材料(BOM, 即Bill of Material)成本。

在耦合线路中减少原材料成本和线路复杂程度

放大器设计者不断寻找成本低廉的办法来减低无源电路的损耗。目前用的多级前馈和予畸变方式受到所使用的电容的限制, 级间耦合损耗累加增高很快。使用ATC的EIA 600系列超低等效串联电阻(ESR)可以在沿信号路径的每一级上都轻而易举地挽回十分之几dB的增益, 这样设计者就有余地来使用尺寸更小的射频半导体电路片,

而射频半导体器件是射频功放所有器件中成本最高的。在功放的许多增益级中,只取3级就能看出这个成本优势。图1画出一个功率放大器,包含级联起来的多个增益级,当然也就有了级间耦和电容和耦合电容的等效串联电阻(ESR)损耗。累计插入损耗等于每个耦合电容各自的插入损耗之和($IL_1+IL_2+IL_3+\dots+IL_N$)。插入损耗基本上是由电容的等效串联电阻(ESR)损耗决定的。因此,等效串联电阻(ESR)低就可以获得低损耗和高有效增益。

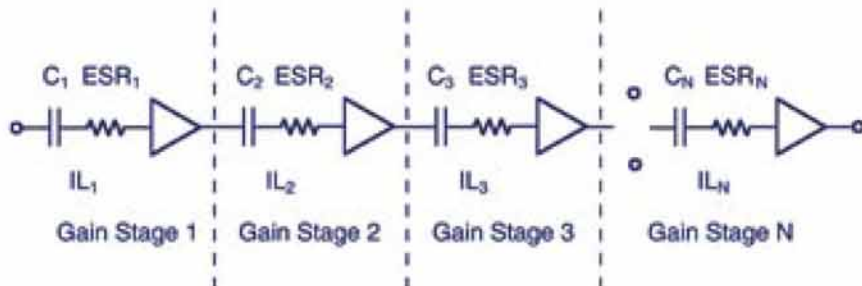


图1：典型功率放大器序列

提供必要的设计余量和改善匹配网络效果

ATC的EIA600系列超低等效串联电阻(ESR)电容使设计者能改善匹配网络的功能,而且能减少设计时为了摸索正确元件值时的反复迭代。匹配线路中,距离有源(主动)器件平面最近的并联电容承担了最大量的电流,因此是关键器件。在这里使用这种超低等效串联电阻(ESR)的电容能增加效率和匹配的有效性,使不同生产批次的模块中的环路电流准确地等于设计值,而且彼此一致。电容焊接在线路板导体线上时,如果机械位置不准,相对于导体线有偏离和歪扭,就产生有害寄生阻抗,等效串联电阻越高,有害寄生阻抗越严重。等效串联电阻低,机械安装中偏离歪扭的效果就不那么显著,从而改善生产成品率。在匹配网络电路设计中,这叫“锁定效应”。EIA600系列

器件性能稳定,出自不同生产批次的器件性能重复率极高,因此生产过程中对线路板安装元件的机械位置要求就可以不太苛刻。因为电容的高性能补偿了基板介质误差和机械安装不准的影响,返工和调谐的需要减少,提高了成品率。这样就降低了每个生产批次中不合格放大器模块数目。图2是一个功率放大器输出匹配电路。电容 C_M 和它的等效串联电阻(ESR)都画了出来。电容终端宽度和相连接的微带线宽度不同,就会产生寄生电感 L_{P1} 和 L_{P2} 。如下面公式所示,微带线并联特性阻抗 Z_0 是电感 L 的函数

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

电容终端宽度和微带线宽度不同产生的寄生电感会改变公式中 L 的值,从而扰乱并联特性阻抗。减少有害发热,以提高产品可靠性。

减少有害的温升,提高产品可靠性

ATC的EIA600系列减低功率放大器的工作温度,从而提高其可靠性。例如,分码多重存取(CDMA)和宽带分码多重存取(WCDMA)系统需要线性极高的多载频功率放大器,这些基站功放模块通常工作在甲类放大或甲乙类放大状况,这时峰值功率和平均功率比值是8到12 dB。如果一个宽带分码多重存取基站(WCDMA BTS)的25瓦功率放大器需要输出25瓦峰值功率,同时线性水平要按3GPP(移动通信第三代合作项目协定)标准保持-45dBc,那么使用600系列电容做匹配可以优化线性,增

功率放大器输出级关键的
匹配电容 C_M

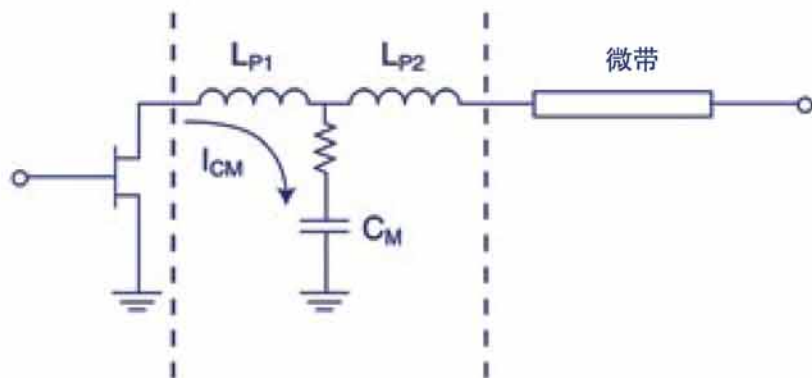


图2 功率放大器模块中关键的电容匹配

大设计余量，同时改善发热和提高可靠性。由于一般功率放大器工作时都大量发热，而过热很容易影响模块可靠性，所以控制发热成为设计时要考虑的主要因素。下面是发热考虑的一个例子。

ATC 600S系列和另一个A厂家产品的发热比较

比较ATC的600S系列（EIA0603尺寸）射频片式电容和竞争对手的高Q EIA 0805 SMT电容（本文称之为A牌电容），可以看出600S的综合性能显著优于A牌电容。600S和A牌电容由一个中立的第3方分别接入两个相同的2GHz功率放大器线路，作测试比较。被测线路是2GHz功率放大器模块，使用Motorola的MRF21125 LDMOS晶体管。比较测试结果显示，ATC的600S和竞争对手的体积更大的EIA0805高Q电容用于相同线路时，ATC 600S的工作温度更低。（见图3和图4）

MRF21125射频器件的红外扫描

以下测试细节由Motorola研发工程部提供。

为了评估MRF21125 LDMOS器件和相关匹配和耦合线路性能，Motorola对包含以上器件和线路的UMTS功率放大器作了红外（IR）扫描。使用相同的测试线路板和测试条件，分别测试了ATC的600S和A牌电容。图6是实际测试模块的照片。

测试1– 使用A牌 EIA0805尺寸电容的功率放大器模块，风扇电压8V（最低风扇速度）。

测试2– 使用ATC的600S EIA0603尺寸电容的功率放大器模块，风扇电压8V（最低风扇速度）。

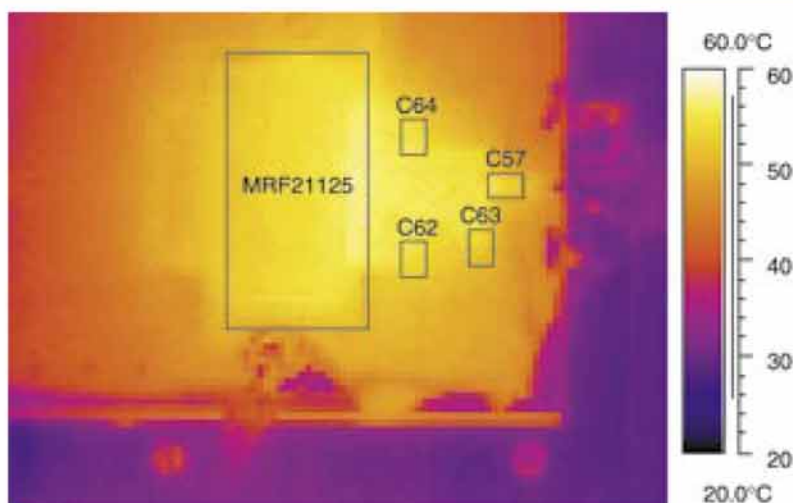


图3 使用A厂家电容的测试线路板的热扫描

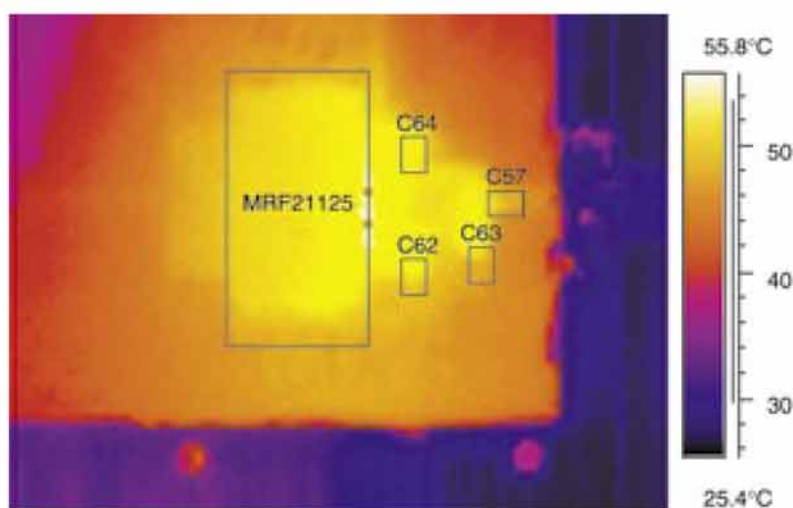


图4 使用ATC600S电容的测试线路板的热扫描

测试条件：

射频输出功率= 22瓦

频率=2.14 GHz

调制= WCDMA（宽带分码多重存取）

漏极电压= 27V

有源器件= MRF21125

偏置电流= 1.3A

注1: 模块用 Plasti Dip 喷漆涂黑, 以保证热辐射率均匀。

注2: 模块安装在带叶片的散热器上。

测试结果

表 2 总结了 600S 电容 (EIA0603 尺寸) 和 A 牌电容 (EIA0805 尺寸) 在相同测试条件下的工作温度。从所得数据可以看出, 匹配网络中的低容值样品电容 (C62, C63 和 C64) 与 A 牌电容相比, 发热量相同或稍低。晶体管是所有元件中发热最多的, 它的位置接近 C62, C63 和 C64, 所以这个区域中各个元件温度都比其它区域元件温度要高。一个值得注意的有趣现象是, 标志为 C57 的 18 pF 隔直耦合电容工作温度比 A 牌电容大约低摄氏 6 度。因为耦合电容承受放大器全部输出功率, 它的耗散功率正比于它的等效串联电阻 ($P_{CD}=I^2ESR$)。600S 工作温度低的原因是它的等效中串联电阻 (ESR) 比 A 牌电容低。在 2GHz 频率下 600S 的典型等效串联电阻 (ESR) 是 0.08 欧姆, 而 18pF 的 A 牌电容的等效串联电阻 (ESR) 则是 0.18 欧姆, 也就是说, 是 600S 的 200% 还多。下面的热扫描数据显示两种器件温度有显著不同。(见图 3, 4 和 5)。

测试总结

上述热扫描清楚显示作为输出耦合电容的 600S 180 (18pF) C57 不是这个模块升温的主要原因。选择 C57 来讨论是由于它负责把放大器全部输出功率耦合到负载。而且, 模块的主要热源是晶体管, 而 C57 安装在离晶体管足够远的地方, 基本隔绝了晶体管对

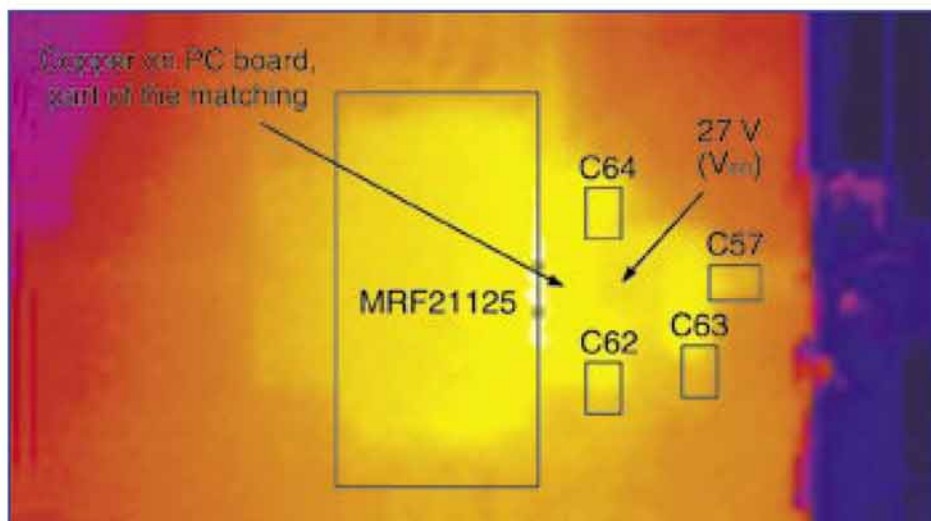


图5: 热分布图, 表示了各个元件的位置, 和印刷电路板导体图形。

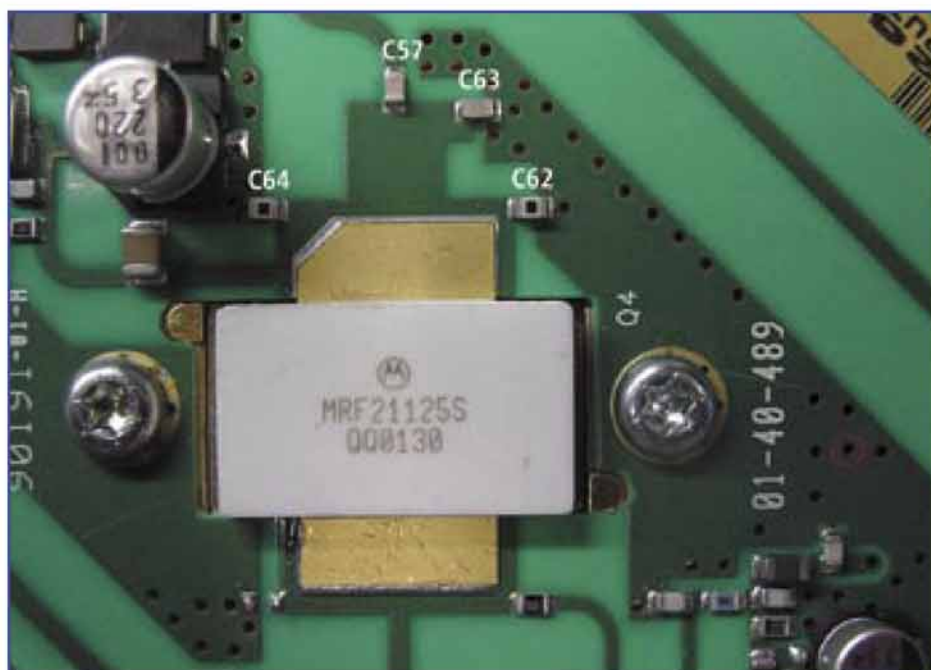


图6: 实际功率放大器测试板。

C57 的热效应。这样晶体管发热就不会遮盖这个电容本身的发热。600S C57 的测得温度是摄氏 49.2 度, 而 18pF 的 A 牌电容则是 55 摄氏度, 高了大约摄氏 6 度。热扫描结果显示 EIA0805 尺寸 A 牌电容对模块升温负有很大责任。

- ATC 600S (C57) 工作温度比A牌电容低摄氏6度。
- 频率为2GHz时, ATC的600S 18pF电容的等效串联电阻(ESR)仅为0.08欧姆, 而A牌18pF电容却是0.185欧姆。ATC 600S的等效串联电阻(ESR)不到A牌电容的一半。
- 频率为2GHz时ATC 600S 1 pF 的等效串联电阻(ESR)是0.11欧姆, 而频率为1GHz时A牌电容的等效串联电阻(ESR)是0.3欧姆。所以频率为2GHz时ATC 600S 1pF的等效串联电阻(ESR)只是频率为1GHz时A牌电容的等效串联电阻的1/3左右。

电容元件	A 牌(0805) 温度(°C)	ATC 600S (0603) 温度(°C)
C62, 1 pF	55.6	54.5
C64, 1 pF	55.7	54.2
C63, 1.2 pF	55	54.3
C57, 18 pF	55	49.2

表2: 工作条件下各电容的温度

600系列的优点

- 在功率放大器中工作温度低
- 具有超低等效串联电阻(ESR), 所以能承受高功率。
- 以较小体积实现较高容值, 所以能节省线路板上的空间。
- 在同类产品中额定电压最高, 提供更大设计余量。
- 降低功率放大器工作温度, 提高可靠性。

- 用于匹配线路可获得理想的锁定。
- 在耦合线路中减低插入损耗。
- 在接收器中减低热噪声(KTB), 改善信噪比(SNR)。
- 在滤波器中改善抑制电平和选择特性。

结论

本文讨论了使用ATC超低等效串联电阻(ESR) EIA 600系列的明显优越性。设计射频线路时为了顾及成本常常要牺牲一些电容元件的主要性能。有鉴于此, 设计600系列既突出了优越的射频性能, 又保留了成本合理和可靠性高的优势, 因此使线路设计者在当前市场竞争中能占据有利位置。ATC对于自己的所有产品都提供技术支持。

ATC产品销售按美国技术陶瓷公司文件(文件号#001-992 Rev. A 10/03)中的销售规定与条件办理。如顾客索要, ATC会提供这些规定与条件。顾客也可到ATC网站阅读这些规定与条件: www.atceramics.com/aboutatc/terms_conditions_sales.htm

ATC 尽最大努力提供尽可能准确的信息。对于读者使用以上信息的后果, 和使用以上信息导致影响第三方权利, ATC 不负责任。ATC 保留不事先通知就修改本资料和变更产品的权力。

© 2003 ATC保留所有权

ATC # 001-985 Rev. C; 4/05



AMERICAN TECHNICAL CERAMICS

ATC North America
631-622-4700
sales@atceramics.com

ATC Europe
+46 8 6800410
sales@atceramics-europe.com

ATC Asia
+86-755-8366-4318
sales@atceramics-asia.com

THE
ENGINEERS'
CHOICE™
ISO 9001 REGISTERED

www.atceramics.com