

中信汽车·车闻天下（第54期）

—— 柴油机前处理专题之二 EGR

中信证券研究部 汽车行业研究组

李春波

电话：010-60838203

邮件：lcb@citics.com

执业证书编号：S1010510120010

许英博

电话：010-60838704

邮件：xuyb@citics.com

执业证书编号：S1010510120041

高嵩

电话：010-60838822

邮件：gs@citics.com

执业证书编号：S1010512020002

联系人：陈俊斌

电话：010-60836703

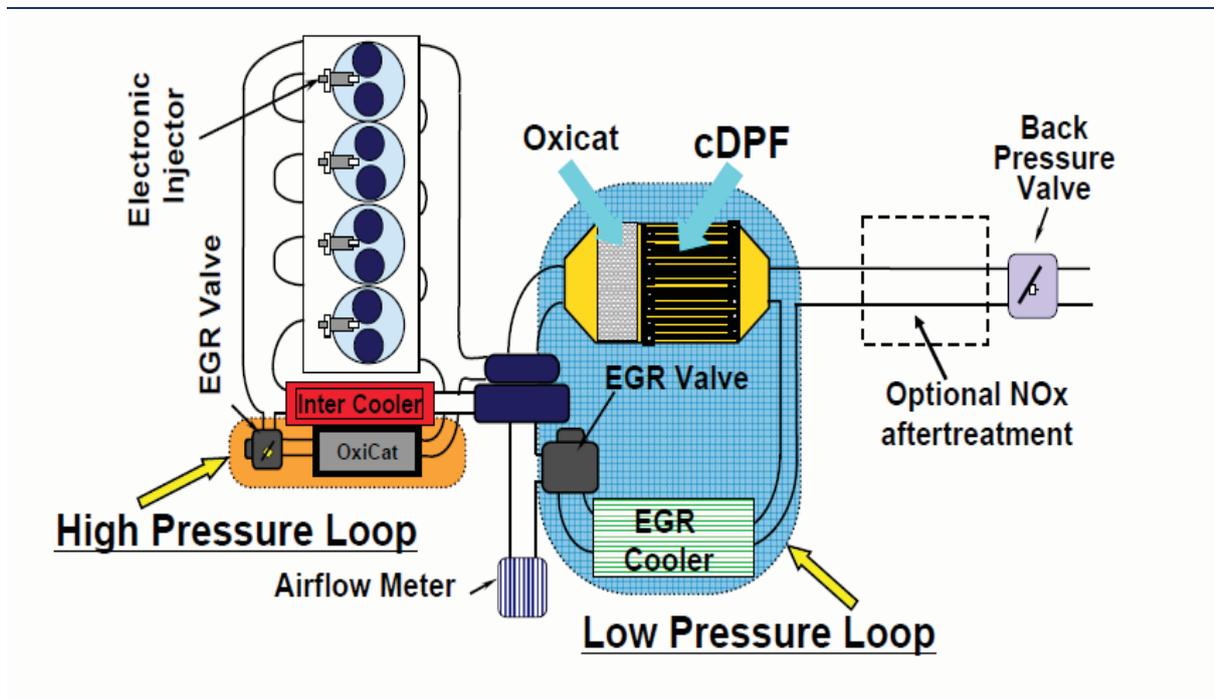
邮件：chenjb@citics.com

本期引言：

环保部《关于实施国家第四阶段车用压燃式发动机与汽车污染物排放标准的公告》中指出，中重型车国IV标准将分车型、分区域实施；中重型商用车国IV标准将于2013年7月1日起在全国实施；国III标准型式核准截止时间延长至2012年6月30日。

在第2期、第3期和第26期的『车闻天下』中，我们分别介绍了柴油机后处理的整体情况、后处理技术之SCR和DOC的专题；第49期的『车闻天下』中，我们开启了柴油机前处理的专题并介绍了共轨系统的工作原理和竞争格局。本期我们将继续推出柴油机的前处理技术——EGR（废气再循环）的专题介绍，以供大家参考。

如有疑问欢迎交流。如果您对我们的栏目有特别的期望或者要求，欢迎提出意见和建议。



资料来源：SwRI，中信证券研究部

目 录

本期引言:	1
国 IV 方案与 EGR	1
EGR 系统的分类、结构和工作原理	3
EGR 系统的分类	3
EGR 系统的工作原理	4
EGR 系统的组成	4
EGR 系统主要生产企业	6

插图目录

图 1: 柴油机排放控制关键技术.....	1
图 2: 国 IV 排放两种技术路线的原理	2
图 3: 内置 EGR 发动机	4
图 4: 外置 EGR 发动机	4
图 5: EGR 系统的工作原理.....	4
图 6: EGR 系统逻辑图	5
图 7: EGR 控制阀结构图	5

表格目录

表 1: 柴油车排放标准及其（推迟）实施日期.....	1
表 2: 国 IV 后处理方案及对比分析	2

国 IV 方案与 EGR

关于实施日期：环保部发布《关于实施国家第四阶段车用压燃式发动机与汽车污染物排放标准的公告》。公告指出，中重型车国 IV 标准将分车型、分区域实施；中重型商用车国 IV 标准将于 2013 年 7 月 1 日起在全国实施；国 III 标准型式核准截止时间延长至 2012 年 6 月 30 日。

表 1：柴油车排放标准及其（推迟）实施日期

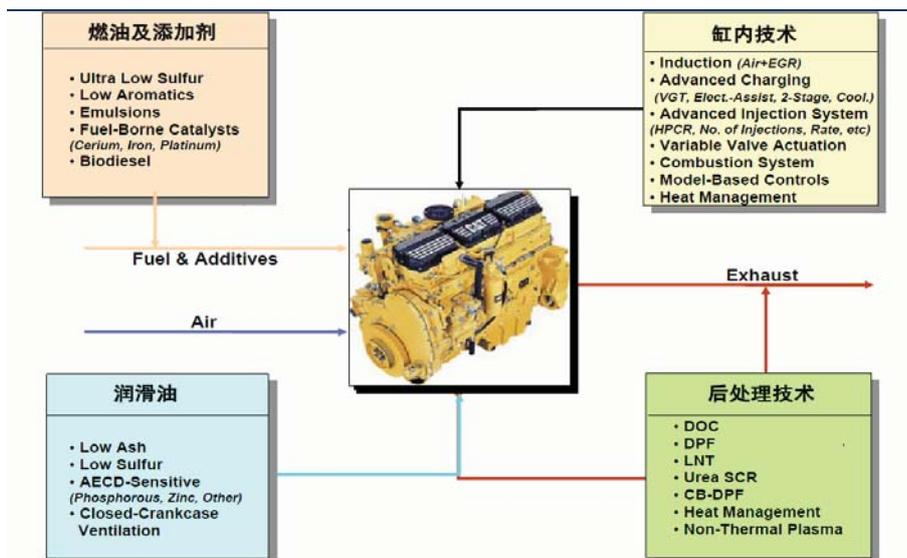
国家标准号	地点	级别	正式实施时间	原定实施时间		第一次推迟实施时间	第二次推迟实施时间
				型式核准	新车销售	新车销售	新车销售
(轻型车≤3.5 吨) GB18532.3-2005	北京	国 II	2003.01.01				
		国 III	2005.12.30				
		国 IV	2008.03.01				
	全国	国 II	2004.07.01				
		国 III	2009.07.01	2007.07.01(**)	2008.07.01(**)	2009.07.01	
		国 IV 尚未实施	2010.07.01(**)	2011.07.01(**)	2013.07.01(***)		
(中重型车>3.5 吨) GB17691-2005	北京	国 III	-				
		国 IV	2008.07.01				
	全国	国 V	尚未实施				
		国 III	2008.07.01	2007.01.01(*)	2008.01.01(*)	2008.07.01	
		国 IV 尚未正式实施	2010.01.01(*)	2011.01.01(*)	2012.01.01(***)	2013.07.01(****)	
	国 V	尚未实施	2012.01.01(*)	2013.01.01(*)		待定	

注： *：《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法（中国 III、IV、V 阶段）》（GB17691-2005），2005.05.30
 **：《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国 III、IV 阶段）》（GB18352.3-2005），2005.04.15
 ***：环保部《关于国家机动车排放标准第四阶段限值实施日期的复函》，2010.10.21
 ****：环保部《关于实施国家第四阶段车用压燃式发动机与汽车污染物排放标准的公告》，2011.12.29

资料来源：环保部，中信证券研究部

关于技术路线：根据我国柴油机前处理和后处理的技术水平、以及国内油品含硫量的情况看，我们认为比较有可能的方案包括（DOC+）SCR、EGR+DOC+DPF（主动）、EGR+DOC+DPF（被动）、EGR+DOC+POC。其中对于重型柴油机，SCR 有望成为主流方案，EGR+DOC+POC 可能成为低端替代方案；对于轻型柴油机，EGR+DOC+POC 可能更合适。但最终的方案仍要看政府的导向。

图 1：柴油机排放控制关键技术



资料来源：清华大学

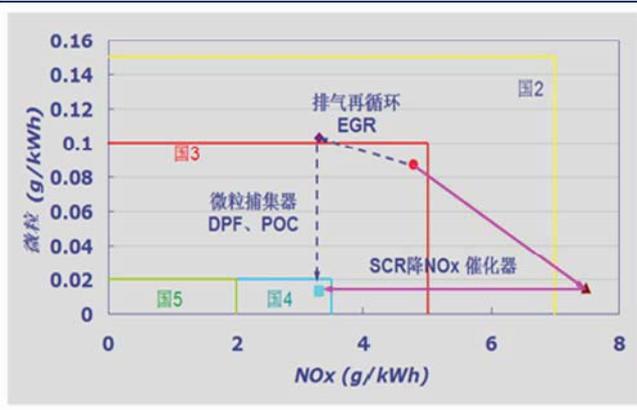
表 2: 国 IV 后处理方案及对比分析

国 IV 后处理方案	应用	对油品质量要求	对颗粒物的转化率	再生过程	成本	增加成本(元)	优点	缺点
1 EGR+DOC	斯堪尼亚和康明斯	对硫不太敏感, 但可能引起排放偏差	20%-30%	不需要	低	1000-2000	成本低, 体积小	普通喷油压力下转化率低, 提高喷油压力需要技术含量很高, 难以广泛推广
2 EGR+DOC+POC		对硫较敏感	接近 60%	相对容易, 较低温即可实现	较低	4000-6000	成本较低, 体积小, 更适合配套轻型柴油机使用	转化率低, 二氧化氮排放增加, 且有出现间歇性黑烟的倾向, 因此要求前处理系统控制更精确, 大于 450 度的高排温无法被动再生; 高含硫量对 EGR 系统损害较大
3 EGR+DOC+DPF (主动式)	美国和日本大规模采用, 以达到 EPA07 和 JP05	对硫较不敏感	>85%	相对较难, 需要额外装置, 需要后喷或者加热达到反应温度	高	10000 元以上	转化率高, 相对被动式 DPF 再生过程受硫的影响小	成本高, 燃油经济性差, 易堵塞, 系统标定复杂, 升级国 V 不方便; 高含硫量对 EGR 系统损害较大
4 EGR+DOC+DPF (被动式)	曾用于欧美在用车改造	对硫较敏感, 15-50ppm	>85%	相对容易, 较低温即可实现	较高	10000 元以上	转化率高, 相对主动式 DPF 节约能耗, 燃油经济性略好, 无需加油站改造	成本较高, 燃油经济性差, 对硫非常敏感, 易堵塞, 系统标定复杂, 升级国 V 不方便, 大于 450 度的高排温无法被动再生; 高含硫量对 EGR 系统损害较大
5 SCR	欧洲采用较多, 日本日产	对硫较不敏感, 可达 350ppm	燃烧过程中实现, 无需专门针对颗粒物后处理	不需要	高	8000-10000 元	转化率高, 燃烧效率高, 动力性更好 (最高达 10%), 油耗低 (3%-7%), 升级国 V 方便	成本高, 需要添加尿素, 需要对加油站进行大规模升级改造, 系统占据空间较大

资料来源: 《现代汽车排放控制技术》, 中信证券研究部

柴油机国 IV 要解决的主要问题是 PM (颗粒物) 和 NO_x (氮氧化物), 但这两种物质产生的条件是相对的, 所以从原理上讲, 主要分为两大类方案。

图 2: 国 IV 排放两种技术路线的原理



资料来源: 中信证券研究部

一类是以 EGR+DPF 为代表的方案, 这类方案的核心原理是通过 EGR 从排气管引入燃烧过的废气 (最高可达接近 40%-50%) 到进入管中, 以降低氧气浓度, 从而使燃烧效率变差, NO_x (氮氧化物) 的含量随之降低, 达到机内处理 NO_x 的目的, 但燃烧不好会导致 CO (一氧化碳) 和 HC (烃类化合物) 以及 PM (颗粒物) 的含量提高, 于是需要在机外使用 DOC (氧化催化转化器) 来降低 CO 和 HC, 再使用 DPF (颗粒捕捉器) 降低 PM。这种原理对应图 2 中的虚线方案, 就是靠增加 PM 排放量降低 NO_x, 然后再处理 PM。

另一类是以 SCR 为代表的方案，这类方案的核心原理是通过精确控制燃油喷射以及增加雾化效果降低 PM 的含量，但是柴油机独特的富氧燃烧环境下 NO_x 的含量会大幅升高，因此机外依靠 SCR 处理掉大部分的 NO_x，从而实现同样的排放要求。这种原理对应图 2 中的紫色实线，就是靠增加 NO_x 降低 PM，然后再处理 PM。

因为 NO_x 和 PM 产生的条件是相对的，所以两种方案的技术原理也是相对立的，但是通过机外净化可以达到同样的效果，而 EGR 主要起到的作用就是通过降低进气含氧浓度而减少 NO_x 的生成。

EGR 系统的分类、结构和工作原理

EGR 的全称是 Exhaust Gas Recirculation，意为废气再循环。其实，EGR 是柴油机前处理中较为常见的技术，并非“非典型国三”方案首创。EGR 可使缸内残留一部分废气，从而降低氧气浓度，实现降低 NO_x 的目的。

EGR 系统的分类

EGR 系统分为两类，分别是内置 EGR 和外置 EGR：

1. **内置 EGR** 是通过改变凸轮轴的配气相位来实现的（一般使气缸排气门在进气时保持 3~6% 的开度）。实现内置 EGR 有多种方法，常用的有以下三种：

- 取消气门重叠角，也就是排气门在排气上止点之前关闭，进气门在排气上止点后打开，这样在压缩终了时就有一部分废气留在了气缸内排不出去，从而实现了内置 EGR。这种方法只要对凸轮轴的凸轮型线重新设计就可以了，比较容易实现，这种方法叫做废气残留法；
- 废气倒吸法，就是在原有的排气凸轮型线的基础上再设计出一个凸轮型线，使得在进气冲程时，排气门再次打开，从而从排气管中吸入一部分废气。这种方法要在原有的排气凸轮型线上再设计出一个型线，结构相对第一种也复杂；
- 第三种方法就是在原有的进气凸轮型线上再设计出一个凸轮型线，使得在排气冲程时进气门打开，将一部分废气排入进气道内，那么在进气冲程时废气就会进入气缸实现内部 EGR。

内置 EGR 方式需要增加额外的零部件，只需要通过现有部件加以改进即可实现。

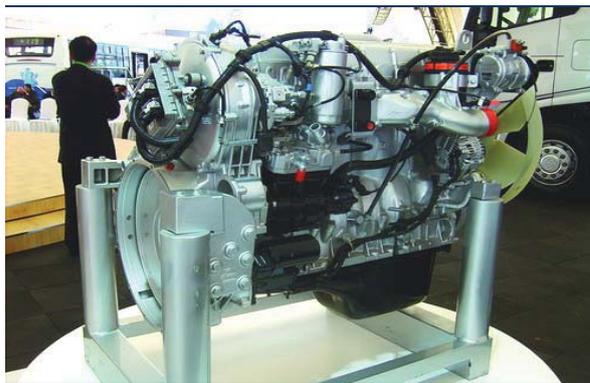
2. **外置 EGR** 则是从发动机排气中引回部分废气到进气管，与新鲜空气共同进入发动机汽缸内参与燃烧。

图 3：内置 EGR 发动机



资料来源：Google 图片，中信证券研究部

图 4：外置 EGR 发动机



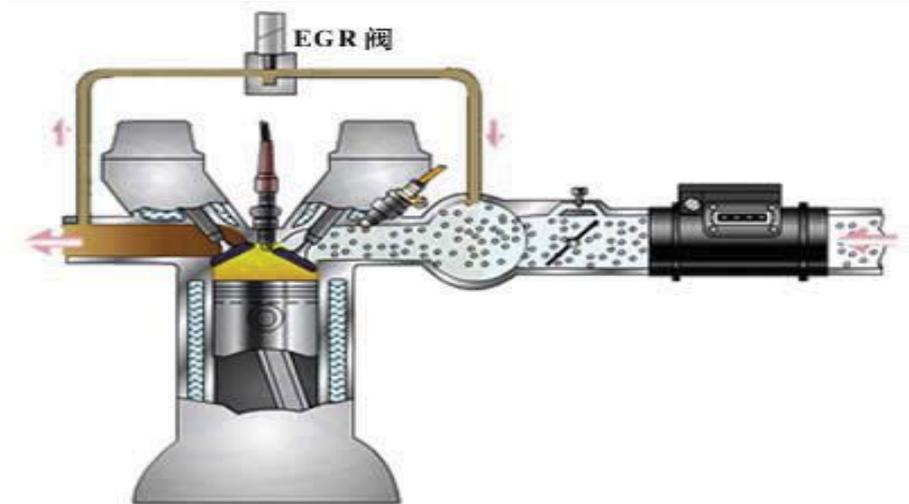
资料来源：Google 图片，中信证券研究部

外置 EGR 需要增加 EGR 的管道和阀，以及排气的冷却装置。下面我们重点介绍。

EGR 系统的工作原理

发动机在工作时产生 NO_x 的条件有两个，一是高温，二是富氧，而 EGR（废气再循环技术）系统的工作原理就是通过回引部分废气与新鲜空气共同参与燃烧反应（当发动机在负荷下运转时，EGR 阀开启，使少量的废气进入进气歧管，与可燃混合气一起进入燃烧室；怠速时 EGR 阀关闭，几乎没有废气再循环至发动机），一方面废气中含有的大量 CO₂ 和水蒸气等，导入气缸后稀释缸内混合气，氧浓度相应降低；另一方面，废气中的 CO₂ 等均为不可燃气体，在燃烧室内不参与燃烧，但其可以通过吸收燃烧产生的部分热量来降低燃烧温度和压力——EGR 通过减低氧气浓度和燃烧温度，二者结合有效抑制 NO_x 的生成。

图 5：EGR 系统的工作原理



资料来源：百度图片，中信证券研究部

EGR 系统的组成

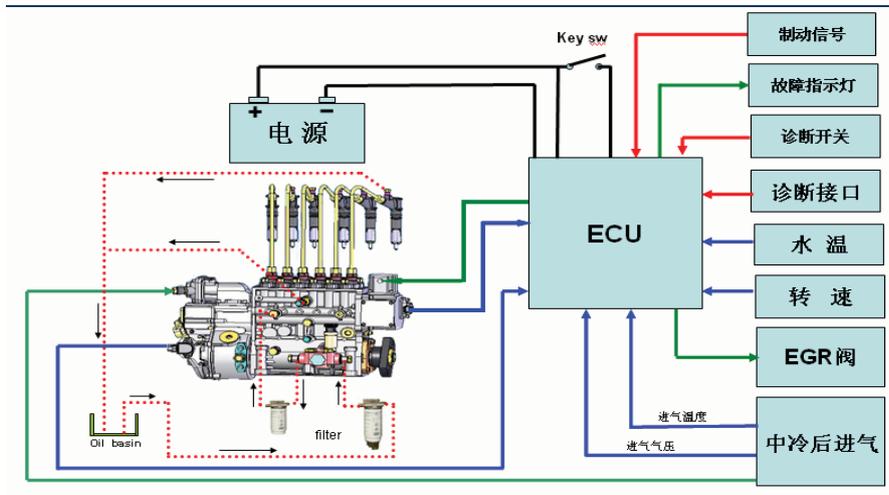
参与整个 EGR 过程的主要部件有 ECU、各种传感器、线束、气缸和 EGR 阀（电磁阀）。各种传感器采集发动机的转速、负荷、进气温度、压力、冷却水温度等信号，ECU 根据这些信号控制 EGR 阀适时地打开，当 EGR 阀门打开，排气中的少部分废气经过 EGR 阀进入进气系统，与混合气混合后进入气缸参与燃烧。

但是，过度的废气参与再循环，将会影响混合气的燃烧、性能，从而影响发动机的动力性，特别是在发动机怠速、低速、小负荷及冷机时，再循环的废气会明显地影响发动机性能。所以，当发动机在怠速、低速、小负荷及冷机时，NO_x 排放浓度低，为了保证稳定燃烧 ECU 控制废气不参与再循环（即 EGR 阀门关闭），避免发动机性能受到影响。

当发动机在高速、大负荷时，为了保证发动机有较好的动力性，此时混合气较浓，NO_x 排放生成物较少，EGR 系统不工作或减少 EGR 率。当 EGR 率小于 10%时，燃油消耗量基本上不增加，当 EGR 率大于 20%时，发动机工作不稳定，碳氢化合物的排放量会增加 10%以上。因此通常将 EGR 率控制在 10%~20%范围内较合适。

其中，EGR 率 = EGR 气体流量 / (吸入空气量 + EGR 气体流量) × 100%

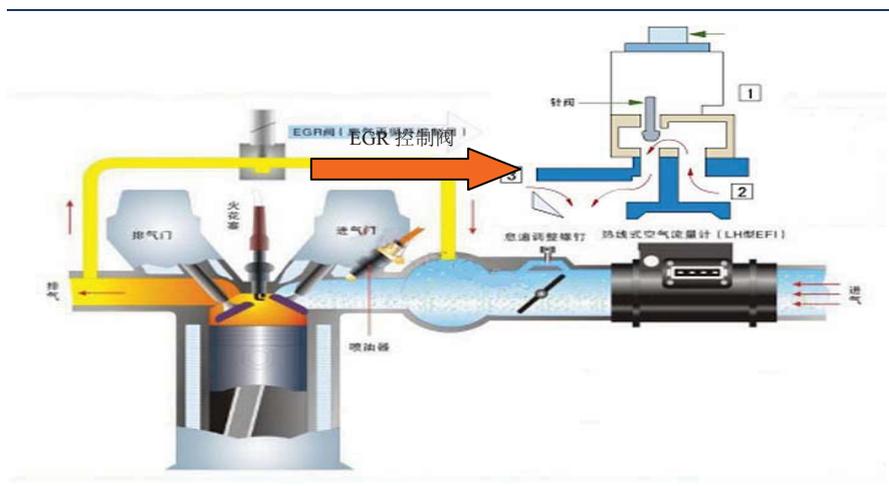
图 6: EGR 系统逻辑图



资料来源: 百度图片, 中信证券研究部

EGR 控制系统中，EGR 阀是关键部件。不同的 EGR 率是通过 EGR 阀的调节来实现的。电控发动机中广泛采用电子控制 EGR，阀直线型 EGR 是由 ECU 控制针阀位置，调节从排气进入进气歧管也孔口的大小，从而精确地控制 EGR 率。EGR 工作期间通过监测针阀位置反馈信号，并根据转速、冷却液温度、节气门位置和进气流量控制 EGR 针阀的位置。

图 7: EGR 控制阀结构图



资料来源: 百度图片, 中信证券研究部

EGR 系统主要生产企业

对于外置 EGR 系统，以电子机械泵和冷却式废气再循环技术为典型特征，以重汽、大柴道依茨（主要是中等功率柴油机）为代表，通过在发动机壳外安装电控 EGR 阀和电控单元，根据瞬时工况和废气控制电磁阀开度，以达到国 3 排放标准。

而对于内置 EGR 系统，是通过控制发动机凸轮轴的机械运行，使气缸排气门在进气时保持 3~6% 的开度，从而达到溢出废气与进气按不同比例混合的效果，使发动机排放实现国 3。代表性企业包括一汽锡柴（主要是大功率柴油机）、玉柴和东风康明斯。

此外，还有像潍柴之类的企业，既开发外置 EGR 发动机，也有内置 EGR 发动机产品；也有如银轮股份等制造 EGR 系统产品的企业，且由于专门制造 EGR 系统产品的企业甚少，产品毛利率极高，以银轮股份的 EGR 产品为例，毛利率达到 52%。

分析师声明 Analyst Certification

主要负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此声明：(i) 本研究报告所表述的任何观点均精准地反映了上述每位分析师个人对标的证券和发行人的看法；(ii) 该分析师所得报酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来均不会直接或间接地与研究报告所表述的具体建议或观点相联系。The analysts primarily responsible for the preparation of all or part of the research report contained herein hereby certify that: (i) the views expressed in this research report accurately reflect the personal views of each such analyst about the subject securities and issuers; and (ii) no part of the analyst's compensation was, is, or will be directly or indirectly, related to the specific recommendations or views expressed in this research report.

一般性声明

此报告并非针对或意图发送给或为任何就送发、发布、可得到或使用此报告而使中信证券股份有限公司及其附属机构（以下统称“中信证券”）违反当地的法律或法规或可致使中信证券受制于相关法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属中信证券。未经中信证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有于此报告中使用的商标、服务标识及标记均为中信证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，只有收件人才能使用。本报告所载的信息、材料或分析工具只提供给阁下作参考之用，不是或不应被视为出售、购买或认购证券或其它金融工具的要约或要约邀请。中信证券也不因收件人收到本报告而视其为中信证券的客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中信证券认为可靠，但中信证券不保证其准确性或完整性。除法律或规则规定必须承担的责任外，中信证券不对因使用此报告的材料而引致的损失负任何责任。收件人不应单纯依靠此报告而取代个人的独立判断。本报告所指的证券或金融工具的价格、价值及收入可跌可升。以往的表现不应作为日后表现的显示及担保。本报告所载的资料、意见及推测反映中信证券于最初发布此报告日期当日的判断，可在不发出通知的情形下做出更改，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与中信证券其它业务部门或单位所给出的意见不同或者相反。本报告不构成私人咨询建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。收件人应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况。

中信证券利用信息隔离墙控制内部一个或多个领域，以及部门间之信息流动。撰写本报告的分析师的薪酬由研究部门管理层和公司高级管理层全权决定。分析师的薪酬不是基于中信证券投行收入而定，但是，分析师的薪酬可能与投行整体收入有关，其中包括投行、销售与交易业务。

在法律许可的情况下，中信证券的一位或多位董事、高级职员和/或员工(包括参与准备或发行此报告的人)可能(1)与此报告所提到的任何公司建立或保持顾问、投资银行或证券服务关系，(2)已经向此报告所提到的公司提供了大量的建议或投资服务。在法律许可的情况下，中信证券的一位或多位董事、高级职员和/或员工可能担任此报告所提到的公司的董事。在法律许可的情况下，中信证券可能参与或投资此报告所提到的公司的金融交易，向有关公司提供或获取服务，及/或持有其证券或期权或进行证券或期权交易。

若中信证券以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构客户应联系该机构以交易本报告中提及的证券或要求获悉更详细信息。本报告不构成中信证券向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议，中信证券的董事、高级职员和员工亦不为前述金融机构之客户因使用本报告或报告载明的内容引起的直接或连带损失承担任何责任。

中信证券股份有限公司及其附属及联营公司 2012 版权所有。保留一切权利。

根据中国证监会核发的经营证券业务许可，中信证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。

评级说明

	评级	说明
1. 投资建议的比较标准 投资评级分为股票评级和行业评级。 以报告发布后的 6 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的中信标普 300 指数的涨跌幅为基准；	买入	相对中标 300 指数涨幅 20%以上；
	增持	相对中标 300 指数涨幅介于 5%~20%之间；
	持有	相对中标 300 指数涨幅介于-10%~5%之间；
	卖出	相对中标 300 指数跌幅 10%以上；
2. 投资建议的评级标准 报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的中信标普 300 指数的涨跌幅；	强于大市	相对中标 300 指数涨幅 10%以上；
	中性	相对中标 300 指数涨幅介于-10%~10%之间；
	弱于大市	相对中标 300 指数跌幅 10%以上

	北京	上海	深圳	中信证券国际有限公司
地址:	北京市朝阳区亮马桥路 48 号 中信证券大厦 (100125)	上海浦东新区世纪大道 1568 号 中建大厦 22 楼 (200122)	深圳市福田区中心三路 8 号中信 证券大厦 (518048)	香港中环添美道 1 号中信 大厦 26 楼

Foreign Broker-Dealer Disclosures for Distributing to the U.S. 就向美国地区发送研究报告而作的外国经纪商-交易商声明

This report has been produced in its entirety by CITIC Securities Limited Company ("CITIC Securities", regulated by the China Securities Regulatory Commission. Securities Business License Number: Z20374000). This report is being distributed in the United States by CITIC Securities pursuant to Rule 15a-6(a) (2) under the U.S. Securities Exchange Act of 1934 exclusively to "major U.S. institutional investors" as defined in Rule 15a-6 and the SEC no-action letters thereunder. 本报告由中信证券股份有限公司(简称“中信证券”，受中国证监会监管，经营证券业务许可证编号：Z20374000)制作。按照《1934 年美国证券交易法案》下的 15a-6(a) (2) 规则，在美国本报告由中信证券仅向 15a-6 规则及其下《美国证券交易委员会无异议函》所定义的“主要美国机构投资者”发送。