

NO_x 分析仪转换效率检查方法研究

熊志凯¹, 王凤金², 万金宝³

(1. 江铃汽车股份有限公司, 江西 南昌 330001; 2. 格特拉克(江西)传动系统有限公司, 江西 南昌 330001; 3. 新建县大塘坪乡个体私营管理站, 江西 新建 330119)

摘要:为了解决氮氧化物(NO_x)分析仪二氧化氮转换器转换效率的检查问题,将气体分割器(GDC)应用到转换效率检查中,GDC-703与NO_x分析仪组合成多种工作状态,通过NO_x分析仪测量出了不同工作状态下的NO浓度,按照算法公式计算出了NO₂转换器的转换效率;介绍了NO_x分析仪的化学发光法检测原理和NO_x转换效率检查的必要性,提出了利用GDC-703对NO_x分析仪进行转换效率检查的方法;通过对转换效率检查过程分解和浓度分析,从理论上证明了该效率检查方法的正确性和优点,推导了转换效率的计算公式,指出在NO_x效率检查中,GDC-703的实质作用是提供一个外置的臭氧发生器。研究表明,该NO_x分析仪转换效率检查方法减小了分析仪固有测量误差对计算结果的影响,使检查结果更加准确可靠。

关键词:NO_x分析仪;检查方法;转换效率;气体分割器

中图分类号:U467.4;TH83

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)11-1276-04

Research of efficiency check method of NO_x analyzer converter

XIONG Zhi-kai¹, WANG Feng-jin², WAN Jin-bao³

(1. Jiangling Motor Co., Ltd., Nanchang 330001, China;

2. GETRAG (Jiangxi) Transmission Co. Ltd., Nanchang 330001, China;

3. Xinjian County Datangping Township Private Management Station, Xinjian 330119, China)

Abstract: Aiming to solve the problem that how to accurately measure NO₂ converter efficiency of NO_x analyzer, gas divider cutter (GDC-703) was applied. GDC-703 and NO_x analyzer combination makes a variety of working modes. NO_x analyzer measured NO concentrations in different working modes. In accordance with the algorithm formula, NO₂ converter efficiency can be calculated. The NO_x analyzer measurement principle, chemical light detection, the necessity of NO₂ converter efficiency by checking were introduced. It was put forward that using GDC-703 to check NO₂ converter efficiency. Through converter efficiency by checking process decomposition and NO concentration analysis every phase, the efficiency check method was theoretically proved correct and advantageous, the calculation formula of conversion efficiency was deduced. In NO₂ converter efficiency check, the essential function of GDC-703 is as an external ozone generator. Checking test results show that this method can reduce the effect on calculation results from analyzer intrinsic measured error, makes test results accurate and reliable.

Key words: ;NO_x analyzer; check method; converter efficiency ; gas divide cutter (GDC)

0 引 言

氮氧化物 NO_x 是汽车尾气排放的主要污染物之一。汽车尾气的氮氧化物 NO_x 包括 NO 和 NO₂, 但主要是 NO, 早先的汽车尾气中 NO₂ 所占比例很小。但随着目前发动机后处理装置(DPF)的推广使用,尾

气中 NO₂ 比例大大提高。

化学发光法(CLD)是目前测量汽车内燃机排放 NO_x 的最好方法。CLD 的优点为敏感度高达 0.1 ppm, 分析速度快、稳定性和选择性高, 在 10 000 ppm 范围内输出特性呈线性关系, 适用于连续分析^[1]。

收稿日期:2012-05-31

作者简介:熊志凯(1975-),男,江西南昌人,主要从事汽车排放测试与控制方面的研究.E-mail:zxiong@jmc.com.cn

基态下的 NO₂ 不能被化学发光法测量出来,因此研究者可以通过增加转换器将 NO₂ 先转换为 NO,然后用化学发光检测器检测出 NO。

NO₂ 转换器效率直接影响氮氧化物的测量结果,故要定期检查,当转换器效率低于 95% 时,应更换新品^[2]。因此需要合理、可靠的转换效率检查方法,本研究就此作细致的分析与探讨。

1 化学发光法 NO_x 分析仪

NO_x 分析仪主要由 NO₂ 转换器、产生化学发光的反应室和检测化学发光的光电探测器组成。

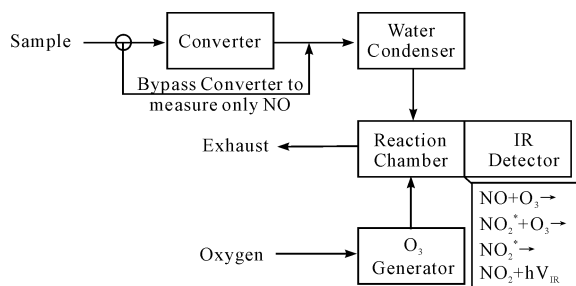


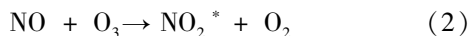
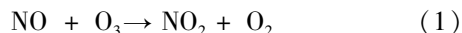
图 1 NO_x 分析仪内功能模块

1.1 化学发光法

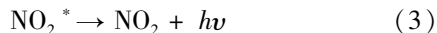
化学发光法检测 NO_x 的原理是 NO 与 O₃ 反应生成激发态的 NO₂^{*},当 NO₂^{*} 跃迁回基态时放出光子。

光强不仅与 NO 和 O₃ 反应物的浓度乘积成正比,还与反应室的压力、NO 在反应室内的滞留时间、样气中其他分子种类有关。在其他条件不变的情况下,而且 O₃ 浓度比 NO 高很多且几乎恒定,光强只与反应前 NO 的浓度成正比。光电倍增管吸收光子产生光电流,光电流强度与 NO 浓度成线性,可通过光电强度判定 NO 浓度^[3-4]。

NO 与 O₃ 反应公式:

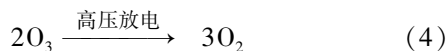


生成的 NO₂ 中,大约有 10% 左右处于激发态 NO₂^{*},NO₂^{*} 分子衰减到基态 NO₂ 时发射出光子:



1.2 臭氧发生器

化学反应器中需要使用臭氧发生器,反应气体 O₃ 是一种强氧化性物质,需要在分析仪中的臭氧发生器实时产生:

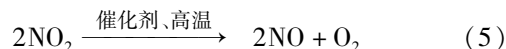


高纯氧气经过臭氧流量计进入臭氧发生器。在臭氧发生器的高压放电管中,干燥的 O₂ 在高压电脉冲的

作用下,发生上述气体放电反应,并产生式(4)表示的化学反应所需的过量的臭氧^[5]。

1.3 二氧化氮 NO₂ 转换器

NO₂ 最初不具有化学发光性,不能用 CLD 检测,需要先利用转换器将 NO₂ 转换为 NO。传统的二氧化氮转换炉普遍采用钼作为催化剂,相应地将二氧化氮转换器称为钼炉^[6-7]。其工作原理为:



由于催化剂钼价格较高、使用寿命短,且钼转换器转换反应温度高,导致二氧化氮转换器具有较高的制造运行成本。现在转换器已经采用一种特殊的活性炭来替换钼作为转换催化剂^[8]。本研究讨论的 NO_x 分析仪的转换器属于后者。

2 NO_x 转换效率检查方法

NO_x 分析仪具有 NO 和 NO_x 两种测量模式。假定转换效率检查时,NO 标准气体中 NO 的浓度为 M ,NO₂ 的浓度为 N ,NO₂ 转换器的转换效率为 y 。

(1)在 NO 模式下:分析仪测出的标准气体中 NO 含量的浓度 M ;

(2)在 NO_x 模式下:NO₂ 先转换成 NO,分析仪测得的 NO_x 浓度为 $M + yN$ 。

(3)两者的差值为 yN ,再除以标准气瓶标签上的 NO₂ 浓度 N ,计算出转换器的转换效率 y 。

但是该方法存在弊端:因为 NO 标准气体中允许的 NO₂ 浓度不能超过 NO 浓度的 5%, yN 值很小,导致分析仪的两次测量误差不确定度对 yN 影响大,使效率检查结果的测量不确定度大^[9]。

2.1 效率检查仪与计算公式

为克服上述问题,本研究采用了专用转换检查仪,其原理图如图 2 所示^[10]。例如,日本 HORIBA 公司使用 GDC-703 对 NO₂ 转换器进行转换效率检查。

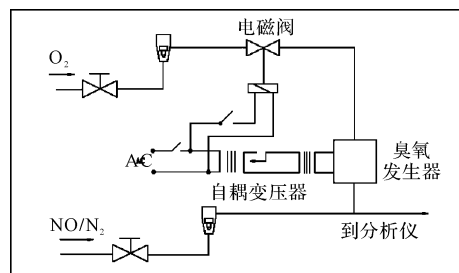


图 2 转换效率检查仪原理图

GDC-703 检查仪和 NO_x 分析仪组合成多种工作状态。本研究取其中 4 种工作状态下 NO_x 分析仪测

量得到的 NO 浓度,计算出 NO₂ 的转换效率。转换效率检查的 4 种状态如表 1 所示。

表 1 NO_x 转换效率检查步骤和算法公式

步骤	NO 值	O ₃ 发生器	O ₂ 气流	模式	转换器
1	a	×	√	NO	×
2	b	√	√	NO	×
3	c	√	√	NO _x	√
4	d	×	√	NO _x	√

计算公式: $[1 + (c-d)/(a-b)] \times 100\%$

注: × 表示气流不经过或不工作, √ 表示气流经过或工作。

2.2 NO 与 O₃ 反应效率

证明上述计算公式之前,本研究先作以下假定:标准气瓶中 NO 浓度为 M , NO₂ 浓度为 N 。标准气体中 NO 与 GDC-703 生成的臭氧反应,假定 k 比例 NO 变成了 NO₂,剩余的 O₂ 还会与 NO 发生反应,假定 g 比例 NO 变成了 NO₂。假定 GDC-703 中的转换器的转换效率为 y 。

NO_x 分析仪的内部臭氧发生器工作于高温和高负压的情况下,生成的臭氧浓度比 GDC-703 高很多,所以在分析仪反应室内,标准气体中 NO 可以彻底反应,生成 NO₂。

2.3 转换效率检查的浓度分析

(1) NO_x 分析仪工作于 NO 测量模式,氧气供给 GDC-703,但 GDC-703 的臭氧发生器无效。

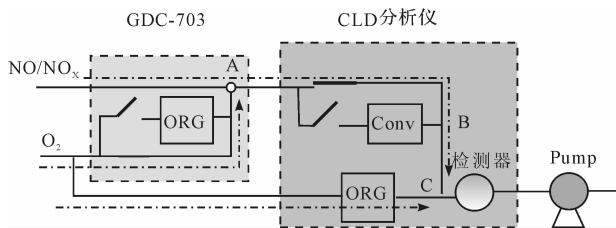


图 3 NO_x 和 O₂ 的气体流向示意(一)

ORG—臭氧发生器;Conv.—NO₂ 转换器

气体流向(如图 3 所示):

NO 和 O₂ 送入 GDC-703,电磁三通阀门使 O₂ 不经过 GDC-703 的臭氧发生器流入分析仪;分析仪为 NO 模式,标准气体 NO/NO_x 不经过转换器 Conv. 流入分析仪,分析仪测出标准气体的 NO 浓度为 a 。

浓度分析:

A 点。样气中的 NO 与 GDC-703 中 O₂ 发生反应,按前面假定, g 比例的 NO 变成了 NO₂,NO 氧化为 NO₂ 的量是 1:1 的比例,所以 NO₂ 生成浓度为 gM ,剩余的

NO 浓度为 $(1-g)M$;

B 点。与 A 点相同,NO 浓度不变;

C 点。气体与分析仪的臭氧发生器的产物臭氧发生反应,探测器监测得的 NO 浓度为 $a = (1-g)M$ 。

(2) NO_x 分析仪工作于 NO 测量模式,氧气供给 GDC-703,且 GDC-703 的臭氧发生器工作。

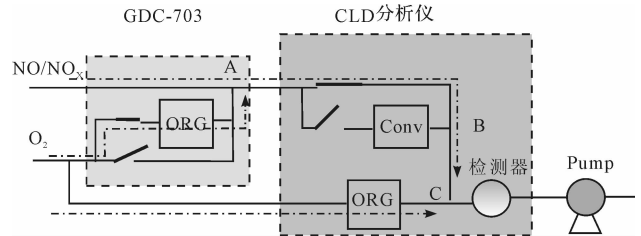


图 4 NO_x 和 O₂ 的气体流向示意(二)

气体流向(如图 4 所示):

NO 和 O₂ 送入 GDC-703,电磁三通阀门使 O₂ 经过 GDC-703 的臭氧发生器,部分 O₂ 生成 O₃ 后,大部分 NO 与 O₃ 反应生成 NO₂,反应后的混合气体流入分析仪;分析仪为 NO 模式,混合气体 NO/NO_x 和 O₂ 不经过转换器 Conv. 流入分析仪,分析仪测出被 O₃ 氧化后,标准气体中剩余的 NO 浓度为 b 。

浓度分析:

A 点。样气中的 NO 与 GDC-703 的臭氧发生器 ORG 生成的臭氧发生反应,由前面假定,样气中的 NO 生成 NO₂ 的效率为 k ,则反应后剩余的 NO 浓度为 $(1-k)M$;剩下的 NO 与管道中 O₂ 发生反应,按前面假定, g 部分 NO 变成了 NO₂,则剩余的 NO 浓度为 $(1-g)(1-k)M$;

B 点。与 A 点相同,NO 浓度不变;

C 点。气体与分析仪的臭氧发生器的产物臭氧发生反应,探测器测得的 NO 浓度(即报告中的浓度): $b = (1-g)(1-k)M$ 。

(3) NO_x 分析仪工作于 NO_x 测量模式,氧气供给 GDC-703,且 GDC-703 的臭氧发生器工作。

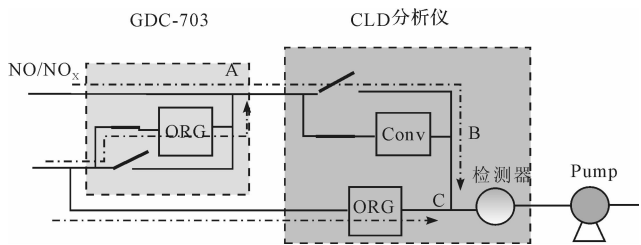


图 5 NO_x 和 O₂ 的气体流向示意(三)

气体流向(如图 5 所示):

NO 和 O₂ 送入 GDC-703,电磁三通阀门使 O₂ 经过 GDC-703 的臭氧发生器,部分 O₂ 生成 O₃ 后,大部分

NO 与 O₃ 反应生成 NO₂, 反应后的混合气体流入分析仪; 分析仪为 NO_x 模式, 标准气体 NO/NO_x 经过转换器 Conv. 流入分析仪, 分析仪测出 NO_x 浓度为 c 。

浓度分析:

A 点。样气中的 NO 与 GDC-703 的臭氧发生器 OGR 生成的臭氧发生反应, 由前面假定, 样气中的 NO 生成 NO₂ 的效率为 k , 则 A 点处的 NO 浓度为 $(1-k)M$, NO₂ 浓度为 $kM + N$; 剩余的 NO 与 GDC 中 O₂ 发生反应, 按前面假定, g 部分 NO 变成了 NO₂, 剩余的 NO = $(1-g)(1-k)M$, 而 NO₂ = $(kM + N) + g(1-k)M$;

B 点。样气经过转换器 C 到达 B 点, NO₂ 转换成 NO, 假定转换效率为 y , 则 B 点处 NO 浓度为 $(1-g)(1-k)M + y[(kM + N) + g(1-k)M]$;

C 点。气体与分析仪的臭氧发生器的产物臭氧发生反应, 探测器测得的 NO 浓度即报告中的 $c = (1-g)(1-k)M + y[(kM + N) + g(1-k)M]$ 。

(4) NO_x 分析仪工作于 NO_x 测量模式, 氧气供给 GDC-703, 且 GDC-703 的臭氧发生器无效。

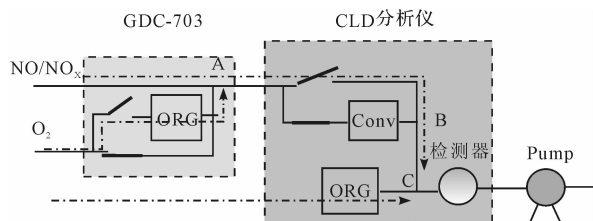


图 6 NO_x 和 O₂ 的气体流向示意(四)

气体流向(如图 6 所示):

NO 和 O₂ 送入 GDC-703, 电磁三通阀门使 O₂ 不经过 GDC-703 的臭氧发生器流入分析仪; 分析仪为 NO_x 模式, 标准气体 NO 经过转换器 Conv. 流入分析仪, 分析仪测出 NO_x 浓度为 d 。

浓度分析:

A 点。样气中的 NO 与 GDC-703 中 O₂ 发生反应, 按前面假定, g 部分 NO 变成了 NO₂, 既为 gM , 则剩余的 NO 为 $(1-g)M$, NO₂ 为 $gM + N$;

B 点。样气经过转换器 C 到达 B 点, 其中 NO₂ 转换成 NO, 转换效率为 y , 则 NO 浓度变为 $(1-g)M + y(gM + N)$;

C 点。气体与分析仪的臭氧发生器的产物臭氧发生反应, 则探测器测得的 NO 浓度为: $d = (1-g)M + y(gM + N)$ 。

2.4 计算公式证明

将前面分析的 a , b , c , d 浓度值, 代入转换效率计算公式, 可以证明出前面假设的 NO_x 分析仪转换效率 y 可由转换效率计算公式计算获得:

$$Eff = [1 + \frac{c - d}{a - b}] \times 100\% =$$

$$[1 + \frac{(y - 1)(1 - g)kM}{(1 - g)kM}] \times 100\% =$$

$$[1 + y - 1] \times 100\% =$$

$$y \times 100\%$$

3 NO_x 效率检查试验

本研究对 NO_x 分析仪进行转换器效率检查实验, 该分析仪量程为 20 ppm, 标准气体 NO 浓度为 17.3 ppm, NO_x 的浓度为 17.6 ppm。此次转换效率检查的试验数据如表 2 所示。

表 2 NO_x 效率检查试验结果

		目标值	实测浓度
NO	a	≥ 15.54	15.744 7
	b	2.581 4	1.703 6
	c		15.797 0
NO	d		16.035 6
	A		17.275 9
NO _x	B	≤ 18.14	17.543 7

计算转换效率(%) = $[1 + (c - d)/(a - b)] \times 100 = 98.29\%$, 标准气体中 NO₂ 占 NO 的比例为 1.55%, 前者大于 95%, 后者小于 5%, 故而 NO_x 分析仪转换器的转换效率满足排放法规中的设备性能要求。

4 结束语

本研究通过 NO_x 转换效率检查方法的过程研究和分析, 证明了转换效率计算公式的正确性, 并得出以下结论:

(1) 该检查算法的优点: 增大了 a 与 b 的浓度差异, 使 $a - b$ 的值增大, 这样分析仪对浓度 a 和 b 的测量误差对于浓度差 $(a - b)$ 的相对误差大大减小, 从而减小测量误差的不确定度。

(2) GDC-703 在转换效率检查时, 本质上是提供了一个外置的臭氧发生器。

(3) GDC-703 与 NO_x 分析仪转换器组合的 4 种工作方式, 使得 4 个方程(带多个未知数乘积形式), 通过抵消和相约的方式, 可简化计算出转换器的转换效率。

测量工作中, 遇到与此类似的效率检查时, 研究者可运用此种算法达到减小测量误差不确定度的目的。

(下转第 1293 页)

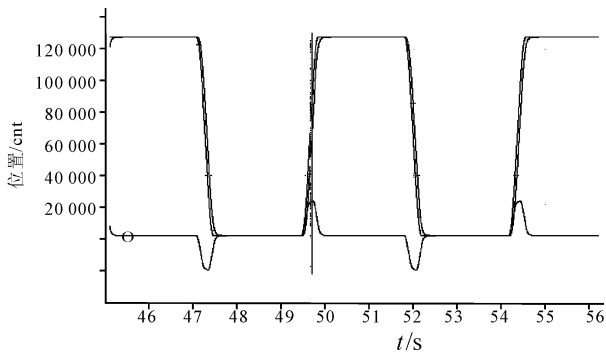


图 10 轴 2 位置跟踪实验

两个轴都能良好地跟踪速度指令。轴 1 和轴 2 的位置跟踪实验如图 9、图 10 所示,图中实线为给定位置指令,虚线为位置响应曲线,两个轴都能良好跟踪位置指令。实验结果表明该双轴永磁同步电机驱动器速度同步跟踪误差和位置同步跟踪误差都满足使用要求,同时通过负载实验和实际应用,也说明该系统具有较好的性能和可靠性。

5 结束语

本研究提出的基于 STM32F103 的双轴永磁同步电机伺服驱动系统方案,充分利用了 STM32F103 的片上外设资源,控制板使用单个控制芯片,功率电路使用自举升压原理驱动 IPM 以简化外围电路,使整个驱动器结构更加紧凑,同时能同步驱动两轴电机。

实验结果表明,该双轴驱动器的性能满足实际使用的需求,后续研究的重点是改进其双轴同步算法。

参考文献 (References) :

- [1] 肖明,伍衡. CIMT2011 国产数控系统展品综述[J]. 制造技术与机床,2011(8):69-72.

- [2] 中国机床工具工业协会数控系统分会. 第六届中国数控机床展览会(CCMT2010)国产数控系统展品综述[J]. 世界制造技术与装备市场,2010(4):41-49.
- [3] 赵希梅,郭庆鼎. 交流伺服控制系统的发展现状及其研究热点[J]. 伺服控制,2010(1):15-16.
- [4] STMicroelectronics Corporation. Reference Manual RM0008 [EB/OL]. [2011-10-01]. http://www.st.com/inter-net/com/technical_resources/technical_literature/reference_manual/cd00171190.pdf.
- [5] International Rectifier Corporation. HV Floating MOS-Gate Driver ICs [EB/OL]. [2007-03-23]. <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>.
- [6] 邓星钟. 机电传动控制[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
- [7] 秦忆. 现代交流伺服系统[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1995.
- [8] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 顾超,宋宝,唐小琦. 总线式数控系统中 PCI 接口控制器的 FPGA 实现与应用[J]. 计算机应用,2011,31(2):565-567.
- [10] KAYA I, TAN N, ATHERTON D P. A refinement procedure for PID controllers[J]. **Electrical Engineering**, 2006, 88(3):215-221.
- [11] LU Y Z. The new generation of advanced process control [J]. **Control Engineering**, 1992(2):21-23.
- [12] FUKUDA T, SHIBATA T. Theory and applications of neural networks for industrial control systems [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 1992, 39(6):472-489.

[编辑:张翔]

(上接第 1279 页)

参考文献 (References) :

- [1] 何振江,杨冠玲,艾锦云,等. 低浓度氮氧化物的化学发光和检测[J]. 光电工程,2004,31(8):27-28.
- [2] 国家标准化工作委员会. GB18352.3-2005 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [3] 刘巽俊,许斯都,周龙保. 内燃机的排放与控制[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 倪计民. 汽车内燃机原理[M]. 上海:同济大学出版社,1999.
- [5] 艾锦云,何振江,杨冠玲. 光电技术在大气氮氧化物检测中的应用[J]. 环境监测管理与技术,2004,16(2):7-8.

- [6] 吕小虎,陆明刚. 化学发光法在环境监测中的应用[J]. 环境科学,1990,11(1):58-60.
- [7] 朱立军,戴亚,谭兰兰,等. 化学发光法测定卷烟主流烟气中的氮氧化物[C]. 2004 年中烟烟草化学学组年会暨学术研讨会论文集. 北京:[出版者不详],2004.
- [8] 刘军,冯艳君,刘中军. 基于化学发光检测法的氮氧化物气体分析仪[J]. 仪表技术与传感器,2008(3):83-84.
- [9] 倪育才. 实用测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2010.
- [10] 国家标准化工作委员会. GB 20891-2007 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

[编辑:罗向阳]