文章编号:1671-4598(2016)01-0042-04　DOI:10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2016.01.011　中图分类号:TP183　文献标识码:A

基于航后 QAR 数据译码的 APU 故障诊断技术

高飞鹏，黄加阳，陈新霞
（上海民用飞机健康监控工程技术研究中心，上海　200241）

摘要： APU 系统由于其会直接影响飞机的运行安全性、经济性以及旅客的舒适度，因此无论是飞机主制造商还是航空公司都非常重视 APU 系统的故障诊断工作；但是，在 APU 设计之初又无法实现对其所有故障的准确探测和隔离；为了实现飞机投入运营后对 APU 系统疑难故障的探测问题，文章以 B737 飞机的 APU 启动电门故障以及 APU 启动时间异常为例，提出利用航后的 QAR 相关数据译码结果，查看相关参数的变化情况，提高 APU 系统的故障诊断水平；实践证明，利用航后 QAR 数据译码结果能够极大提高航空公司对 APU 系统以及飞机的故障诊断水平，方便航空公司日常的运营和维护工作，最终提高飞机的利用率。

关键词： 快速存取记录器；飞机状态监控系统；辅助动力装置；故障诊断

Study of Post Flight QAR Data Decoding in Fault Diagnosis of APU

Gao Feipeng, Huang Jiayang, Chen Xinxia
(Shanghai Civil Aircraft Health Monitoring Engineering Technical Center, Shanghai　200241, China)

Abstract: Due to the direct influences to the aircraft operation safety, economics and customer comfortability, both airframers and airliners pay much attention on the fault diagnosis of APU sytsem. But during the design process of APU, it is impossible to detect and isolate all of the faults or failures. So, in order to solve the detection issue of complicated APU faults, taking start button fault and abnoraml start time of B737 as two examples, this article intend to propose the application of post flight QAR data decoding, which can enable maintenaners to review continuous change of APU related parameters. Then fault diagnosis level of APU can be raised. Practices has proved that, with the help of post flight QAR data decoding results, the fault diagnosis level of APU and aircraft wil be enhanced, the airliners' operation and maintenance will be faciliated, and finally utilization of the fleet will be promoted.

Keywords: QAR; ACMS; APU; fault diagnosis

0　引言

辅助动力装置（auxiliary power unit，APU）本质上是一台小型的发动机，用于向飞机独立地提供电力和压缩空气，在部分飞机上还可以提供额外的附加推力。当飞机在地面上时，APU 主要用于在起飞前启动主发动机，从而可以使得飞机脱离对地面电源、气源的依赖。在飞机起飞过程中，APU 还负责为客舱和驾驶舱提供充足的电力和压缩空气，保证照明以及空调系统的正常运行，进而确保发动机的输出功率全部用于飞机的地面加速以及空中爬升，从而可以很好的改善飞机的起飞性能。飞机降落后，APU 系统重新启动，向外供应电力和压缩空气，这样主发动机就可以尽快关闭，从而节省燃油，降低噪声。当飞机爬升到一定的高度（通常为 5 000 m 以下）时，APU 会自动关闭。但是在飞行过程中，当主发动机遭遇空中停车的恶性事件时，APU 可以在一定高度（通常为 10 000 m）以下为主发动机的空中重新启动提供动力，降低发动机空中停车造成的危害，进而提高飞机的安全性。

因此，在目前主流的民用飞机上，APU 系统都被视为直接影响飞行安全性、经济性以及旅客舒适性的不可获取的重要机载系统。因此，无论飞机主制造商还是航空公司都非常重视对 APU 系统的状态监控以及故障诊断技术方面的研究[1-2]。

本文首先分析了常见的 APU 系统故障诊断方法以及 QAR 数据译码原理，在此基础上，以 B737 飞机的 APU 启动电门故障以及 APU 启动时间异常为例，提出基于航后 QAR 相关数据译码结果查看相关参数的变化情况实现诊断，以提高 APU 系统的故障诊断水平。

1　常见的 APU 系统故障诊断方法

对 APU 系统的故障进行探测和隔离，并对 APU 特定时刻的运行状态进行长期稳定的监控是目前 APU 故障诊断技术的主要方法。

从具体的实现方法来说，主要有以下 3 种。

1）故障实时探测：APU 系统内部计算机 ECU（Engine Control Unit）与飞机维护系统（OMS/CMS）相互配合，根据预先设计的逻辑，实时探测飞机的故障，并在故障发生的第一时间通知机组；如果故障的等级很高，还可以通过 ACARS 实时下传至地面，以便维护人员提前做好维护准备。目前，这种故障探测方法广泛应用于波音、空客等各种机型，是最为流行的故障探测方式。

2）故障离线检查：地面维护人员在飞机落地后，通过对 APU 系统各个组件的手动 BITE 测试，探测其中可能存在的

收稿日期：2015-08-05；　**修回日期：**2015-09-11。

作者简介：高飞鹏(1984-)，男，山西晋城人，中级工程师，主要从事民用飞机实时监控、故障诊断技术方向的研究。

故障。这种故障检查方式主要应用于航后对 APU 系统复杂故障的排故工作中，同时也用于少数不具备中央维护功能（CMF）的机型（如 B737 飞机）的日常维护和检查工作中。

3）状态实时监控：机载的飞机状态监控系统（ACMS）可以根据预先定义的逻辑，对 APU 的状态进行监控，并在逻辑触发的时刻，按照预先定义的方式采集并记录相应的发动机参数[3-4]；目前比较通用的 APU 相关的 ACMS 报文主要有启动/性能报（Start/Performance Report）、主发动机启动/慢车转速报（MES/Idle Report）以及自动关车报（Auto Shutdown Report）3 种报文，这些报文主要用于 APU 主制造商以及航空公司对 APU 进行长期健康趋势分析工作，以便提前发现潜在故障的征兆，提前做好相应的预防性维护工作。

如图 1 所示为波音、空客以及中国商飞各个机型除了发动机以外各机载系统的 ACMS 状态监控报文的数量对比图。从图中可以看出，虽然各个机型的新旧程度不一，但 APU 相关状态监控报文的数量始终都在 2 到 3 个，明显高于其他机载系统，这充分体现了 APU 健康状态监控对飞机日常运营维护工作的重要性。

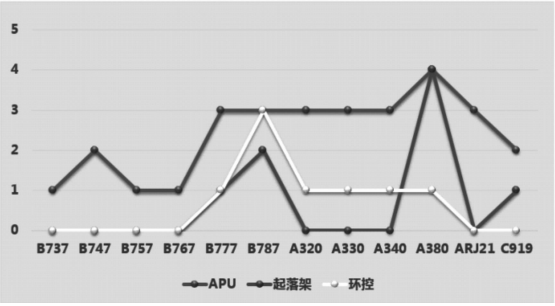

图 1　ACMS 报文产生过程

4）航后 QAR 数据译码分析：飞机落地后，航空公司可以利用 QAR 内部连续记录的海量数据，对其进行译码后提取其中与 APU 相关的数据进行分析。这些数据一方面可以帮助航空公司更好的定位一些复杂疑难故障，另一方面还可以为航空公司提供 APU 的连续运行状态数据，有助于航空公司对 APU 整个运行状态的持续监控和长期趋势分析工作。这是目前最新的故障诊断的方式，也被各大航空公司以及航空相关科研院所视为最有潜力的飞机故障诊断以及健康管理的方式。

2　QAR 数据译码

快速存取记录器（quick access recorder，QAR），是现代民航客机飞行数据记录系统（ATA31）中非常重要的组成部分。相对传统的“飞行事故记录器”（FDR/DFDR），QAR 中记录着更加丰富的飞机运行参数。同时，QAR 还具有易于接近、维护简单、数据存储量大，且机载存储设备通用、价格低等优点[5-6]。

QAR 数据译码分析的过程如图 2 所示。从图中可以看出，整个译码分析过程主要由以下 5 个部分组成。

1）数据采集：

目前主流民用飞机的 QAR 数据都是通过 ACMS 系统的数据输入输出模块采集的，也有部分支线客机上的 QAR 直接与飞机航电总线相连，从而直接获取所需数据。

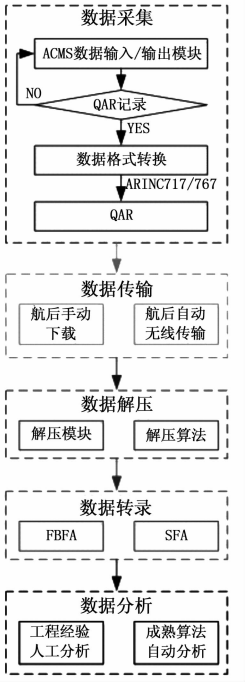

图 2　QAR 译码分析过程

通过 ACMS 进行数据 QAR 采集的优点主要在于航空公司可以通过客户化的 ACMS 软件对 QAR 中记录的参数列表以及各个参数的特性进行客户化修改和设置，从而更好的满足飞机实际运营维护工作的需要。

在数据存储格式方面，ARINC717 协议是目前主流机型 QAR 数据记录的格式，而 ARINC767 协议是在此基础上衍生出来的记录格式，主要用于 B787 等先进机型上。

2）数据下载：

QAR 数据采集后，通常会被会被记录在特定的存储介质上，主要包括 PCMCIA 卡、光盘以及 SD 卡等。这些数据可以通过人工手动获取的方式下载至地面。同时，随着 WQAR（Wireless QAR）的逐渐普及，越来越多的航空公司选择通过地面无线 3G、Wi－Fi 网络在飞机落地后自动向地面传输相应的数据，从而提高整个数据传输的效率，降低运营成本。

3）数据解压：

考虑到存储设备成本或数据安全等问题，有些厂家提供的机载 QAR 设备对其原始 QAR 数据进行了压缩处理，一般地，其压缩算法不公开，地面软件必须使用厂家提供的解压模块/算法解压后才可进行之后的应用处理（解压模块往往与解码软件内置/集成）。国内航空公司中常见的 QAR 设备供应商中，L3、SAGEM 的 QAR 数据都是被压缩的，Honeywell，Teledyne 是不压缩的。

4）数据转录：

QAR 数据在 QAR 磁盘（光盘/PCMCIA 卡/闪存磁盘）上有两种文件分署方式：基于 FAT 表的块式文件分署（FBFA－FAT Block File Allocate）以及流式文件分署（SFA－Stream File Allocate）。

在 FBFA 中，一个 QAR 磁盘在初始化时（由地面软件或机载 QAR 设备自动完成）就已经为磁盘中各种数据的存储划

定了存储空间。如图 3 所示中，以一个 512 M 的 QAR 磁盘（PCMCIA 卡或闪存盘或 MO 光盘）为例：

· QAR 数据：49％ ≈ 250 M；

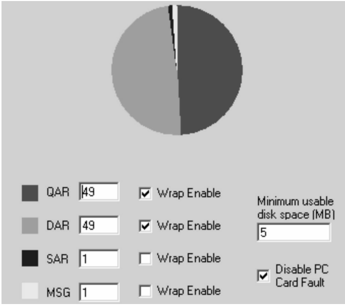

图 3　FBFA 示意图

· DAR 数据：49％ ≈ 250 M；

· SAR 数据（另一种特殊用途的二进制数据）：1％ ≈ 5M；

· MSG 数据（ACMS 数据）：1％≈ 5M。

在上面的例子中，QAR、DAR、SAR、MSG 数据将以 4 个独立的固定大小的文件保存在 QAR 磁盘上，且在新数据堆积的过程中，文件大小不改变。上图中，我们还可以看出，对某些数据，初始设置允许“Wrap”（即回滚：空间满后旧数据将被自动清除）；有些数据不允许”Wrap”；磁盘最低剩余空间限制（磁盘剩余空间低于此值时，机载设备将产生警告信息，以提醒维护人员即使更换 QAR 磁盘）。在 SFA 中，每一个起落的数据被单独保存在一个文件，因此 SFA 不存在 QAR 文件内部“剩余空间”的问题，但却无法实现”Wrap”的功能。SFA 的 QAR 文件在数据堆积的过程中，文件的大小不断增加。

5）数据分析：

目前，国内大部分航空公司的 QAR 数据经过译码后的主要存储形式为 CSV（comma separated variables）文件。这种文件格式本身比较通用，航空公司维护人员可以采用微软的 Excel 电子表格处理软件作为分析工具，结合自身的工程经验，对 QAR 数据进行简单的初步分析。这种数据分析方式比较简单通用，成本也较低，比较适合 QAR 数据分析初期 3 到 5 组数据的简单对比分析工作，在航空公司应用比较广泛。

另一方面，由于 CSV 文件本身在数据存储和处理方面具有其自身的缺陷，如其数据存储调用不够灵活、数据容量有限以及图表处理慢等，因此少数航空公司选择使用专业的数据分析平台软件以及数据库对 QAR 数据进行深入的分析。这些数据分析平台包括 SAGEM 的 AGS，Teledyne 的 AirFASE 等。这种数据自动分析工作功能强大，但是其应用成本也非常高，比较适用于多组 QAR 数据应用于成熟复杂诊断模型的分析工作。

3　基于航后 QAR 数据译码的 APU 故障诊断应用分析

本节以 B737 飞机 APU 启动电门故障以及 APU 启动时间异常为例，介绍航后 QAR 数据译码在 APU 系统故障诊断上的应用[7]。

1）APU 启动电门故障：

国内某大型航空公司某架 B737 飞机在航后发现 APU 无法起动。维护人员根据工程经验，首先判断为启动电源组件故障，并依据飞机维护手册 AMM 49－41－71 立即对其进行了更换，但是故障依旧。由于航线维护时间较短，而 APU 当时又无法正常启动，因此维护人员选择现场调取前一天的 APU 相关 QAR 译码结果数据，如图 4 所示。

GMT CLOCK aGMTHMS HMS	AIR/GROU aAIRGND	APU ON APUON	PU FUEL PUFF B/HR	APU OIL T APUOT DEG C	APU N1 APUN1 %RPM	PU EGT PUEGT DEG C	LT STARTER STVLVOPL	RT STARTE STVLVOPR
	GND	ON			100		OPN	CLD
	GND	ON				551.11	OPN	CLD
	GND	ON		80			OPN	CLD
14:42:49	GND	ON	252				OPN	CLD
	GND	OFF			100		CLD	CLD
	GND	OFF				415.55	CLD	CLD
	GND	OFF		80			CLD	CLD
14:43:11	GND	OFF	171				CLD	CLD
14:43:55	GND	OFF	173				CLD	CLD
	GND	OFF			99.5		CLD	CLD
	GND	OFF				400	CLD	CLD
	GND	OFF		79			CLD	CLD
14:43:59	GND	OFF	174				CLD	CLD
	GND	ON			100		CLD	CLD
	GND	ON				400	CLD	CLD
	GND	ON		79			CLD	CLD
14:44:03	GND	ON	174				CLD	CLD
	GND	ON			99.5		CLD	CLD
	GND	ON				400	CLD	CLD
	GND	OFF		79			CLD	CLD
14:44:07	GND	OFF	173				CLD	CLD
	GND	OFF			100		CLD	CLD
	GND	OFF				400	CLD	CLD
	GND	OFF		79			CLD	CLD
14:44:11	GND	OFF	174				CLD	CLD
	GND	OFF			100		CLD	CLD
	GND	OFF				400	CLD	CLD
	GND	OFF		79			CLD	CLD
14:44:15	GND	OFF	174				CLD	CLD
	GND	OFF			100		CLD	CLD
	GND	OFF				400	CLD	CLD
	GND	ON		79			CLD	CLD
14:44:19	GND	ON	171				CLD	CLD
	GND	ON			99.5		CLD	CLD
	GND	ON				400	CLD	CLD
	GND	ON		79			CLD	CLD
14:44:23	GND	OFF	173				CLD	CLD

图 4　APU 相关 QAR 数据译码结果

APU ON 信号从 OFF 变为 ON 起开始计时，到 APU N1 大于 95％时为止的时间加 2 秒为 APU 起动名义时间。APU ON 信号从 OFF 变为 ON 起且 APU N1 不为 0 时开始计时，到 APU N1 大于 95％时为止的时间加 2 秒为 APU 起动实际时间。从图 4 可以看出，在 14 点 43 分 11 秒（14：43：11）出现过一次 APU 等待时间为 1 秒的数据，且之后的 APU 名义和实际启动时间为 3 秒和 4 秒。对比 APU 转速数据（APU N1）可以发现，APU 在 14 点 43 分 56 秒（14：43：56）已经完成启动（APU N1 大于达到 95％），而对应的 APU ON 信号在之后的时间区间内不断地在 ON 和 OFF 之间来回切换。由以上分析可以判断，APU 无法启动的根本原因在于启动电门故障。

由于 APU 启动系统本身比较复杂，而启动电门本身不具备 BITE 测试功能，因此仅仅依靠维护人员检查无法及时、准确地定位启动电门的故障。因此，航后 QAR 相关数据的译码结果能够很好的帮助维护人员定位该故障，提高航线维护效率。

2）APU 启动时间异常：

目前，APU 启动时间正在成为继 EGT、引气压力之后第 3 个 APU 性能退化特征参数。虽然该参数无法直接定位故障，但是从以往的 APU 排故故障来看，启动时间的逐渐上升，往往是内部各组件故障的前兆，值得重点研究和关注。

国内某大型航空公司维护人员在日常航线维护中发现，某架 B737 飞机 APU 起动时间数据异常，为 176 秒。为此，维护人员调取了前一天的 QAR 相关数据的译码结果，如图 5 所示。译码结果显示，在 GMT 时间 19 点 40 分 23 秒（19：40：23）进行第一次启动 APU 时，启动时间为 119 秒且无反应无燃油流量（FF），启动无反应时间超长。在 GMT 时间 19 点 42 分 25 秒（19：42：25）进行第二次启动 APU 时，启动第一秒 FF 为 3LB/HR，随后为 0，然后正常供油。其中，APU 刚启动时有几秒钟应无 FF 属于正常现象。

针对该现象，维护人员立即对燃油相关组件进行了有针对性的测试和检查，发现有维护信息 49－31－175（FCU 解析器

OC	AIR/GROUN	GMT (HR/M	APU ON	APU OIL T	APU N1	APU FUEL	APU EGT	STARTER V	STARTER V	APU BLEED
	aAIRGND	aGMTHMS	APUON	APUOT	APUN1	aAPUFF	APUEGT	STVLVOPL	STVLVOPR	APUBLVO
		HH:MM:SS		DEGC	%RPM	LB/HR	DEGC			
	GND	19:40:18	OFF		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		OFF				0	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		OFF	0				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		OFF			0		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:40:22	OFF		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		OFF				22	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON	21				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			0		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:40:26	ON		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:42:18	ON		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON				22	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON	21				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			0		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:42:22	OFF		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		OFF				22	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		OFF	21				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			3		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:42:26	ON		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON				22	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON	21				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			0		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:42:30	ON		0			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON				22	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON	21				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			51		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:42:34	ON		14			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON				204	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON	21				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			51		CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND	19:42:38	ON		21			CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON				520	CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON	20				CLD	CLD	NOT-OPEN
	GND		ON			61		CLD	CLD	NOT-OPEN

图 5　APU 相关 QAR 数据译码结果

环路故障），因此对 FCU 进行了更换。更换后，再次启动 APU，启动时间恢复正常。

由于 B737 飞机本身不具备中央维护功能（CMS），部分故障必须通过航后上机 BITE 测试才能发现。而在日常航线维护中时间非常有限，维护人员无法对飞机各个系统进行完整的检查。因此，借助 QAR 数据译码技术，维护人员可以在保证飞机安全性的基础上进行更加有针对性的检查，从而提高飞机的维护效率。

4　结束语

现有主流飞机尤其是先进飞机的 QAR 数据记录功能都非常强大。以 B777－200 型飞机为例，该机型可以获得的 QAR 数据达 1322 种，以每项数据取点间隔 1 秒为例，一次时长 4 小时的航班理论上所获得的数据量为 4×3 600×1 322＝190 368 00 条。如此海量的数据中包含了相当多的飞行数据信息，必定可以为飞机的日常维护和维修提供全面的信息决策支持。同时，在机载设备方面，航空公司还可以根据自身的需求，客户化的定义 QAR 中记录的数据对象以及各个数据记录的频率、周期、精度等特性。在地面译码软件系统方面，航空公司可以根据各架飞机的运行特性以及实际工程经验，自定义相关飞机参数与 APU 以及其他机载系统故障之间的逻辑关系，从而进一步提高 QAR 数据译码结果更有针对性，更能满足航空公司对 APU 以及其他系统复杂故障的诊断以及预警等功能的需要。

本文对常见的 APU 系统故障诊断方法以及 QAR 数据译码原理进行了分析，提出了基于航后 QAR 数据译码的 APU 故障诊断思路，并通过 B737 飞机的 APU 启动电门故障以及 APU 启动时间异常为例进行了验证，提高了 APU 系统的故障诊断水平。航后 QAR 数据译码技术能够极大地提高航空公司对 APU 系统以及其他机载系统的故障诊断水平，方便航空公司日常运营维护工作，从而最终提高飞机的利用率，因此必将得到更为广泛的应用。

参考文献：

[1] 黄加阳，刘　昕，柏文华，等. 民用飞机健康状态评估方法 [J]. 计算机测量与控制，2014，22 (10)：3526－3528.

[2] 宋　东，屈　娟，陈　杰. 基于数据挖掘技术的飞机故障诊断专家系统设计 [J]. 计算机测量与控制，2012，20 (10)：2603－2605.

[3] Boeing. B777 Aircraft Condition Monitoring System Description Document [Z].

[4] 陈新霞，高飞鹏，黄加阳. ACMS 报文客户化功能在发动机系统上的应用 [J]. 计算机测量与控制，2015，23 (7)：1846－1848.

[5] 李海然. 排故中的 QAR 数据使用 [J]. 航空维修与工程，2010，267 (2)：47－48.

[6] 郑　波. 基于 QAR 数据的民航发动机排故方法研究 [J]. 中国民航飞行学院学报，2015，26 (1)：47－49.

[7] Boeing. B737 Aircraft Maintenance Manual [Z].

（上接第 41 页）

6　结语

受线路环境和牵引力的作用影响，车体会发生随机振动，车体参考坐标系与轨道参考坐标系的相对位置时刻在发生变化着，而轨检设备全是安装在车体上，所测线形是车体的直接运动线性，并不能准确反映轨道实际线形。研究车体与轨道之间相对振动状态，给予轨道线形检测系统振动补偿，使最终数据能够准确反映轨道实际线形。车轨相对振动状态具有高鲁棒性，精度要求较高，因此对传感器的检测精度要求也相应提高。

将机器视觉技术应用在车辆与轨道振动状态测量方法中，代替传统的接触式检测方式，能够对钢轨特征点进行准确跟踪并测量，提高了传感器的检测精度，实时计算车体相对与钢轨偏移量，减少振动对检测数据造成的误差。

参考文献：

[1] 耿　松，柴晓冬，郑树彬. 基于神经网络的轨道车辆振动预测 [J]. 计算机测量与控制，2014，22 (11)：3525－3526.

[2] 诸昌铃，倪守平，高洪杰. 电容式车体位移补偿装置及在接触网检测车中的应用 [J]. 铁道学报，1990，12 (1)：21－26.

[3] 张晓龙，于万聚. 接触网检测车振动测量及计算方法 [J]. 西南交通大学学报，1994，19 (6)：633－638.

[4] 陈唐龙，于　涤，陈耀坤. 接触网检测车振动补偿研究 [J]. 西南交通大学学报，1999，34 (4)：461－465.

[5] 刘　涛，吴积钦，曾　明. 非接触式接触网检测车车体振动位移补偿系统 [J]. 电气化铁道，2007，(5)：21－24.

[6] 占　栋，于　龙，肖　建，等. 基于计算机视觉的接触轨检测车振动补偿方法及应用 [J]. 铁道学报，2013，35 (1)：25－30.

[7] 于万聚. 高速电气化铁路接触网 [M]. 成都：西南交通大学出版社，2003.

[8] 严隽耄. 车辆工程 [M]. 北京：中国铁道出版社，2009.

[9] Medion G，Kang S B. Emerging topics in computer vision [M]. New Jersey，USA；Pearson Prenticce Hall，2005：215－245.

[10] Jimenez R，Ceres R，Pons J L. A survey of computer vision methods for locating fruit on tree [J]. Transactions of the ASAE，2003，43 (6)：1911－1920.

[11] GB 50157－2013，地铁设计规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.