信息技术与系统

ETCS 体系发展技术分析

耿宏亮，张　超，孙　野，李启翮，柯长博，刘振玉
（湖南中车时代通信信号有限公司，湖南 长沙　410199）

摘　要：欧洲列车运行控制系统（ETCS）体系规范基线 3（3.6.0）版本于 2016 年正式发布，并通过 TEN-T，NGTC 及 Shift2Rail 等项目不断发展完善。近年来，该体系在保持互联互通特点的基础上扩展了道口关联控制等应用场景，通过优化制动模型提升了系统性能，发布了提升自动化等级的规范集，并保持了对既有体系的兼容性。文章对 ETCS 体系规范的更新进行分析，从发展过程、系统架构、功能变化、技术趋势等方面梳理变更要点并总结发展趋势，希望对我国 CTCS 技术体系的发展及 CTCS 和 ETCS 的互联互通提供借鉴。

关键词：ETCS 体系；广泛互联；自动化等级；安全高效性

中图分类号：U284　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096–5427(2020)02–0080–05

doi:10.13889/j.issn.2096–5427.2020.02.015

Technical Analysis of the ETCS Architecture Development

GENG Hongliang, ZHANG Chao, SUN Ye, LI Qihe, KE Changbo, LIU Zhenyu
(Hunan CRRC Times Signal&Communication Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410199, China)

Abstract: Specifications of European train control system (ETCS) were released in 2016 as baseline 3(3.6.0), and it has been continuously developed and improved through projects such as TEN-T, NGTC and Shift2Rail. In recent years, on the basis of maintaining the characteristics of interoperability, the system has defined new functions, including level crossing control, improved braking model and automatic train operation. At the same time, it keeps the compatibility to the existing system. In this paper, it analyzed the updates for the process, architecture, functions and technology trends. Hopefully, such analysis could be helpful for the CTCS development, and the interoperability between CTCS and ETCS.

Keywords: ETCS architecture; more general interoperability; grade of automation; safety and efficiency

0　引言

欧洲列车运行控制系统（European train control system, ETCS）体系规范的基线 2（2.3.0d）版本 [1] 于 2008 年正式发布。随着工程应用范围的扩大、技术革新以及互联互通要求更加广泛，该体系规范也在不断更新和完善，并于 2016 年正式发布基线 3（3.6.0）版本 [2]。本文对 ETCS 体系规范的更新进行分析，目的在于：首先，明确技术要求，以助力产品、系统的研制和资质认证；其次，归纳技术革新，以辨识发展趋势并进行技术储备；最后，广泛汲取世界先进经验和成果，推动我国相关技术的持续发展。

1　ETCS 体系发展概况

由于列车运行控制系统种类繁多且各国信号制式互不兼容，为保证高速列车在欧洲铁路网内互通运行，1982 年 12 月在欧洲运输部长会议上作出决定，就欧洲大陆铁路互联互通中的技术问题寻找解决方案。2001 年，欧盟通过立法形式确定 ETCS 作为强制性技术规范；通过一系列技术论证、仿真试验和工程验证，2008 年正式发布 ETCS 体系规范基线 2（2.3.0d）版本。

随着需求的增加和技术的演进，欧洲铁路工业协会工作组（union industry of signaling，UNISIG）通过立项

收稿日期：2019–08–20
作者简介：耿宏亮（1982— ），男，硕士，高级工程师，长期从事铁路信号系统研制和工程化工作。
基金项目：国家重点研发计划（2018YFB1201602）

和工程等形式不断推动 ETCS 体系规范的完善和发展，具体项目包括 TEN-T，NGTC 及 Shift2Rail 等。这些项目在将自动驾驶、卫星定位及下一代通信等技术与干线铁路和城市轨道交通技术融合等方面不断推动 ETCS 体系规范向前发展。图 1 示出 ETCS 近期发展和规划。

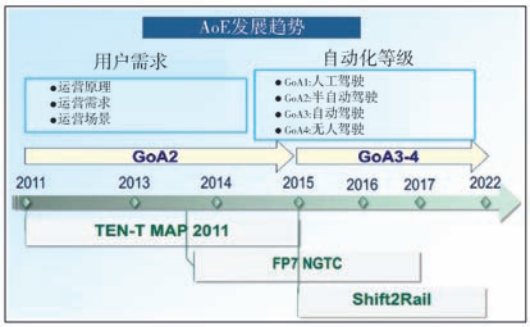

图 1　ETCS 近期发展和规划

Fig.1　Recent development and plan of ETCS

2　ETCS 架构的变化

在 ETCS 体系规范定义中，通过对比基线 2 和基线 3 的系统架构（图 2）可以看到如下变化：首先是转换了司法记录单元（juridical recorder unit，JRU）的角色，其次是结合通信技术发展进行调整，第三是增加了系统内容。具体表现为：

（1）JRU 不仅记录信号系统数据，而且需要记录车辆等其他系统数据。JRU 记录部分在基线 2 中被定义为 ETCS 车载系统的一部分，但在基线 3 中已转移至 ETCS 系统外。

（2）GSM-R 网络在基线 2 中被定义采用 CS 模式（电路域），但未定义 PS 模式（分组域）方式；在基线 3 中，其被定义为优先采用 PS 模式，只有在 PS 模式失败的情况下才被切换到 CS 模式。

（3）密钥管理部分在基线 2 中的定义不完整；在基线 3 中，明显增强了对信息安全的要求，对密钥管理进行了更明确的定义，包括公钥基础设施（public key infrastructure，PKI）的定义、与车载和无线闭塞中心（radio block center，RBC）的在线与离线接口协议以及内部接口定义。

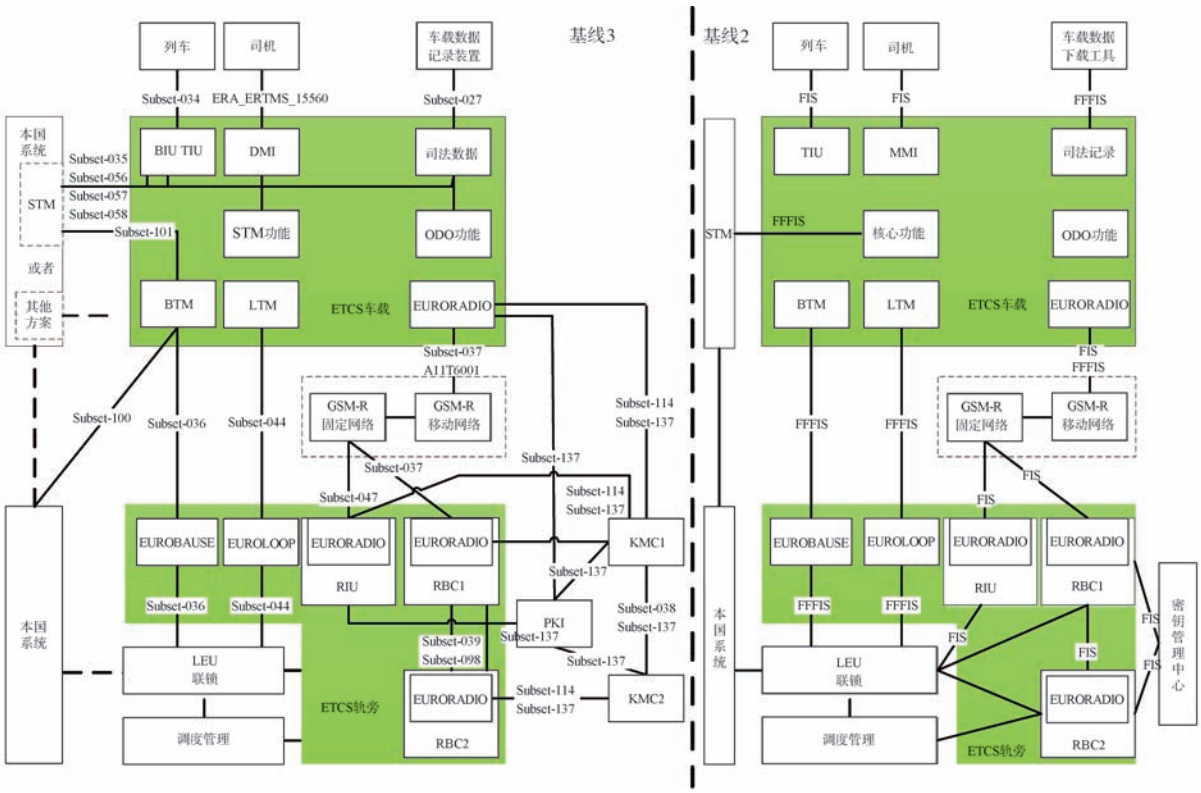

图 2　基线 2/ 基线 3 系统架构比较

Fig.2　Comparison between architectures based on Baseline 2 and Baseline 3

3　ETCS 的广泛互联

ETCS 技术体系可以支持不同线路、不同国家、不同等级、不同生产厂家系统的高度互联互通，互联互通是其突出特点和优点之一。随着用户要求的升级、技术水平的发展以及市场竞争的推动，ETCS 技术体系的互联互通也在不断发展，其技术内涵也增加了基线版本、人机接口（driver- machine interface，DMI）、JRU 接口、密钥接口、自动驾驶标准等方面互联互通的内容。

3.1　基线版本的互联互通

基线版本已从基线 2 发展到了基线 3。为了实现对既有线路的互联互通，基线 3 被要求能够实现对基线 2

的向前兼容。一方面表现为车载系统对地面的基线 2 版本规范的兼容，要求车载系统能够识别地面基线版本，并动态执行版本的切换：在基线 3 的地面区域，车载系统按照基线 3 规范执行；而进入基线 2 的地面区域，车载系统能自动切换到基线 2 规范执行。另一方面表现为 RBC 对既有 RBC 基线 2 的兼容，也就是说，基线 3 的 RBC 需要既能够采用基线 3 接口规范与相邻基线 3 的 RBC 互联，也能够采用基线 2 接口规范与相邻基线 2 的 RBC 互联。

3.2 DMI 接口的互联互通

在 ETCS 技术规范 *ERA_ERTMS*_015560 中定义了 DMI 的显示要求等。尚未正式发布的 EVC-DMI 接口规范约定了车载安全计算机（European vital computer，EVC）和 DMI 之间的接口逻辑及接口协议。该接口的互联互通意味着未来 DMI 将可以作为完全独立的 TSI IC 部件形式存在，评测机构可以针对该接口进行第三方独立测试，TSI 评估可以针对 DMI 进行独立认证，车载系统的 EVC 和 DMI 未来也可以来自不同供应商。这进一步扩大了广泛互联互通的内涵。

3.3 JRU 接口的互联互通

在 ETCS 技术规范 Subset-027 中定义了车载系统司法记录的数据格式，而且 JRU 已经被转移至 ETCS 系统外。车载系统的 EVC 和 JRU 可以来自不同供应商，也是系统广泛互联互通的一部分。随着 JRU 接口内容愈加丰富、功能愈加强大，其既可以被作为列车全系统（含信号、牵引、网络等）的综合记录平台，也可以被作为整体列控系统综合运维平台的一部分，因此具有更为广泛互联的发展条件。

3.4 密钥接口的互联互通

ETCS 技术规范 Subset-038, Subset-114 和 Subset-137 定义了密钥管理中心与车载 ATP、地面 RBC/RIU 的在线和离线接口逻辑以及接口协议。在信息安全方面，首先确定了车载 EVC 和地面 RBC/RIU 的密钥接口；其次，明确了密钥管理中心之间的密钥接口；最后，也明确了密钥管理中心的技术规格。该系列技术规范是在传统信号安全技术规范基础上的外延和拓展，确定了信息安全的内容，进一步扩大了广泛互联互通的内涵。

3.5 自动驾驶标准的互联互通

欧盟范围通过 TEN-T、NGTC、Shift2Rail 等项目逐步建立了覆盖多等级的自动驾驶标准。这些标准虽然尚未被正式发布，但已编制了相关规范，并通过试验线进行了验证，正处于优化和完善阶段。该系列规范继承了 ETCS 体系互联互通特性，结合 NGTC 项目在 ETCS 和 CBTC 方面技术统一的成果，致力于自动驾驶技术范畴的互联互通，包括自动驾驶需求规范、自动驾驶外部接口规范（车辆、车载 EVC、司法记录及调度管理等）等。在 NGTC 和 Shift2Rail 项目背景下，ETCS 技术体系中增加自动驾驶各层面技术规范具有重大意义，是广泛互联互通的又一重大里程碑。

4 ETCS 功能变化

在 ETCS 体系规范中，基线 3 相比于基线 2 进行了功能完善，主要包括既有功能的优化、新增功能的定义及功能兼容性等方面。

4.1 既有功能的优化

4.1.1 车辆参数和制动模型

基线 3 致力于提升列车控制效率 [3]，在规范中明确了 lambda 和 gamma 这两种制动模型及其对应的各种列车参数。

首先，列车参数可以有多种更新途径，包括：列车参数可作为配置数据离线设置在车载系统内默认使用；司机可以通过人机界面更新列车参数，提高应急处理的灵活性；车辆系统可以通过总线接口向车载系统更新列车参数，以便根据车辆变化情况及时更新参数；地面信号系统可以通过国家参数的方式向车载系统更新列车参数，以便更适用于该地面区域。

其次，lambda 和 gamma 这两种制动模型具有不同的控制效果。相对而言，gamma 制动模型更加精确、效率更高，但也需要更加精确的列车参数。两种模型的选择需要综合考虑车辆特性和地面线路情况。

最后，地面信号系统可以向车载系统发送不同车型（按照 NC_CDDIFF 和 NC_DIFF 区分）的线路速度限制信息；车载系统结合自身列车参数来确定所采用的线路速度限制，实现不同车型的不同限速，从而提升综合运行效率。

4.1.2 无线通信方式

随着通信系统的发展，不同通信制式，如 3GPP 长期演进技术（long term evolution, LTE），已经在城市轨道交通系统中得到商业运用并取得了很好的效果，基于分组交换的无线通信方式也得到了验证。因此，基线 3 针对 GSM-R 网络的通信要求也相应发生了变化。

基线 2 体系中仅确定了采用 CS 模式的通信方式，即地面系统和车载系统建立并维持通信链路。基线 3 体系中增加了 PS 模式，且 PS 模式优先于 CS 模式，即只有在 PS 模式失效的情况下才考虑使用 CS 模式通信。该变化适应了通信系统技术发展，也建立在类似通信技

术验证的基础之上。一方面，车载系统和地面信号系统信息交互频率不高，分组域的使用可以满足通信指标要求；另一方面，分组域可以更好地统筹管理通信资源。

4.2　新增功能的定义

4.2.1　道口控制

针对铁路道口，基线 3 增加了相关技术条款；同时考虑到道口的复杂情况、工程改造要求和不同国家的投资条件，定义了 3 种不同的控制表现方式：

（1）道口系统接入信号系统方式。在列车接近道口时，信号系统通知道口系统进行防护操作，此时信号系统行车许可被限制在道口入口防护点；当道口系统完成防护操作并成功通知信号系统后，信号系统确保安全条件完全满足并延伸行车许可通过道口区域，从而实现道口的安全防护。

（2）道口系统不接入信号系统，采用停车后通过方式。在列车接近道口时，地面信号系统通知车载系统前方道口区域位置并要求列车必须在道口入口防护点前停车，人工确认安全后方可通过道口区域，从而实现道口的安全防护。该方案实施简单，但需要人工确保道口安全，此外列车无条件停车会影响行车效率。

（3）道口系统不接入信号系统，采用限速通过方式。在列车接近道口时，地面信号系统通知车载系统前方道口区域位置并要求列车限速通过道口区域，从而实现道口的安全防护。该方案实施简单，但需要人工确保道口安全；相比方式 (2)，其无需停车，可以提高行车效率，但同时也增加了安全责任。

综上，需要结合具体项目条件来选择道口防护的实施方案。

4.2.2　线路条件

基线 3 为了进一步提升控制效果、互联互通能力及列车控制系统自动化水平，线路条件部分增加了很多技术条款，包括：

（1）电耗条件，用于描述列车前方不同位置的线路电耗限制条件；

（2）牵引类型，用于描述列车前方不同位置牵引类型的变化情况（基线 2 有类似信息，但基线 3 的更为明确）；

（3）站台条件，用于描述前方站台在列车哪一侧以及站台与铁轨的高度差，列车可以据此调整旅客乘降装置；

（4）精确位置，通过车载系统与车辆的总线接口，车载系统可以将各种线路条件的相对位置信息发送给车辆系统，车辆系统据此进行调节控制。

4.3　兼容性功能

为了保持 ETCS 体系的互联互通，基线 3 需要实现对基线 2 的向下兼容，主要体现为：

（1）车载系统与地面系统间。车载系统在基线 3 的地面系统配置下按照基线 3 的技术规范要求执行；在运行到基线 2 的地面配置时，需要自动兼容为基线 2 的技术规范要求，并将接收、发送的消息和信息包进行不同基线要求的格式与内容转换。

（2）相邻地面系统间。地面系统在与相邻地面系统接口时，也会遇到基线兼容性问题。基线 3 的地面系统需要兼容基线 2 的地面系统接口，以便实现对既有线路的基线兼容，即基线 3 的地面系统需要同时支持多个不同基线接口，例如同时与两个基线 3 的相邻地面系统和两个基线 2 的相邻地面系统接口时，前者采用基线 3 接口互联，后者采用基线 2 接口互联。

通过上述兼容性要求可以看到，车载系统可以在不同基线之间动态切换，从而实现列车在不同基线的互联互通；但仔细分析会发现，基线 2 车载系统无法在基线 3 地面运行，这在一定程度上也会影响铁路网络的互联互通应用，既有列车在不进行车载系统升级的情况下无法在新建线路上运行。地面系统基线动态调整（即针对基线 2 的车载系统，基线 3 的地面系统动态切换为基线 2 进行控制）可以解决该问题，但会大大增加系统复杂度，这是 ETCS 体系未来需要解决的问题，以便实现更好的互联互通和工程化推广。

4.4　其他变化

除了上述功能变化之外，基线 3 在 Euroloop 和 RIU 消息、地理位置信息显示、有条件紧急停车（conditional emergency message，CEM）确认消息、行车许可申请、人工（staff responsibility，SR）模式冒进、文本消息确认机制以及列车车次号等诸多方面也进行了优化调整，同时还增加了车载有限监控模式与被动调车模式以及虚拟应答器覆盖（virtual balise cover，VBC）、允许制动距离（permitted braking distance，PBD）等新功能。

5　ETCS 自动化等级

IEC 62290-2014 *Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems* 提出了自动化等级（GoA）概念。根据运营人员和系统所承担的列车运行基本功能的责任划分，列车运行的自动化水平可被分为 5 个等级，即目视列车运行（TOS）、非自动化列车运行（NTO）、半自动列车运行（STO）、无人驾驶列车运行（DTO）及无人干预列车运行（UTO）。

在ETCS体系规范建立时，没有考虑自动驾驶内容。为了提供基于 ETCS 体系的具有自动化等级的列车运行控制系统，需要在 ETCS 体系基础上建立自动化等级技术规范。

自动化运行是技术发展的趋势之一，具有迫切的运营需求，需求包括缩短司机反应时间、提升控制效率（缩短追踪间隔）、提高舒适度以及降低能耗等。

基于上述情况，在 ETCS 技术体系上增加列车自动驾驶 (automatic train operation, ATO) 内容 [4] 并将其列入欧盟 S2R 项目中，建立了技术架构（图 3）。其中，Subset-125 定义了 ATO 功能，Subset-126 定义了与轨旁 ATO 子系统的接口，Subset-130 定义了与 ETCS 车载系统的接口，Subset-131 定义了与 TMS 系统的接口，Subset-132 定义了轨旁 ATO 子系统之间接口，Subset-139 定义了与车辆的接口，Subset-140 定义了 JRU 日志接口。

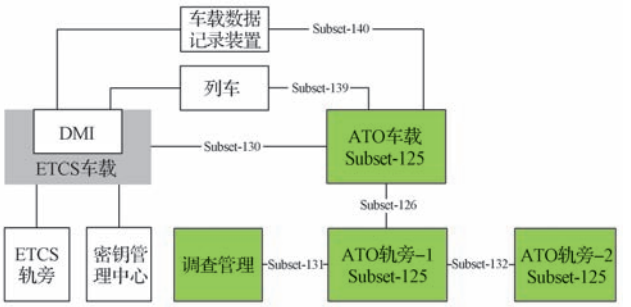

图 3　ETCS 体系下 GoA 架构
Fig.3　GoA architecture under ETCS

2018 年 3 月，第一条按照上述标准体系实施的具备 ATO 功能的 ETCS 线路在英国伦敦投入商业运营，其具有重大的里程碑意义。

6　结语

ETCS 体系因具有高度的互联互通特性而在世界范围内被广泛接受和应用。随着技术发展，其体系规范在定义系统架构、完善和拓展互联互通内涵、优化和扩展系统功能、实现体系规范向前兼容、支持不同自动化等级方面仍在不断完善中。本文在分析 ETCS 体系近年来变化的基础上，归纳总结了其发展成果。鉴于中国列车运行控制系统 (Chinese train control system, CTCS) 技术体系来源于 ETCS 体系，希望本文的分析对我国 CTCS 技术体系发展以及 CTCS 和 ETCS 互联互通提供一定的借鉴。

参考文献：

[1] ERA*UNISIG*EEIG ERTMS USERS GROUP. Subset-026（2.3.0）System Requirements Specification[S]. 2006.
[2] ERA*UNISIG*EEIG ERTMS USERS GROUP. Subset-026（3.6.0）System Requirements Specification[S]. 2016.
[3] 刘栋青 . 兼容欧盟 ETCS 最高版本的车载速度曲线计算方法 [J]. 控制与信息技术 , 2019 (2): 82-85.
[4] 徐效宁 , 宋志丹 , 易海旺 , 等 . ETCS 系统应用 ATO 技术发展综述 [J]. 铁道标准设计 , 2018, 62(8): 148-152.
[5] 唐涛 , 郜春海 . ETCS 系统分析及 CTCS 的研究 [J]. 机车电传动 , 2004(6): 1-3, 10.
[6] 程剑锋 , 胡裕祥 , 马铁刚 . CTCS-3 级与 ETCS-2 级列控系统控车模式差异性分析 [J]. 铁道通信信号 , 2010, 46(6): 13-16.
[7] 郭玉华 . 借鉴 ETCS 完善 CTCS 技术规范体系的研究 [J]. 铁道标准设计 , 2016, 60(10): 136-140.
[8] LITZÉN B , 刘旸 . ETCS-3 列车完整性功能的安全目标 [J]. 铁路通信信号工程技术 , 2014, 11(1): 7-14, 19.
[9] 张韦 . ETCS 系统基线 2 与基线 3 中人机接口部分对比分析 [J]. 铁路通信信号工程技术 , 2019, 16 (5): 23-27.

（上接第 79 页）该系统的出现改善了车辆在信息获取方面存在的程序烦琐、时间滞后等问题，实现了车辆健康状态的实时监测，其推广应用对车辆监测和车联网的发展有一定的意义。优化算法、提高故障代码诊断率将是下一步研究的重要内容。

参考文献：

[1] 康永林 , 朱国明 . 中国汽车发展趋势及汽车用钢面临的机遇与挑战 [J]. 钢铁 , 2014, 49(12): 1-7.
[2] 刘丹 . 基于 JAVA 的 WebGPS 车辆监控系统设计与开发研究 [D]. 成都 : 四川大学 , 2004.
[3] 张宇 , 李鸣 , 刘婷 , 等 . 基于 OBD 的车联网监测系统 [J]. 电子器件 , 2019, 42(1): 231-235.
[4] 雷财林 , 钟添翼 , 蔡晓禹 , 等 . 基于车联网 OBD 数据的道路安全评价方法 [J]. 公路与汽运 , 2019(1): 30-36.
[5] 杨楠 , 谢冠星 , 肖雨琳 . 基于 OBD 和 GPS 的车载终端系统设计与实现 [J]. 国外电子测量技术 , 2018, 37(6): 60-64.
[6] 刘宗巍 , 匡旭 , 赵福全 . 中国车联网产业发展现状、瓶颈及应对策略 [J]. 科技管理研究 , 2016, 36(4): 121-127.
[7] 贾汉伟 . 车联网系统在智能交通管理中优化研究 [D]. 济南 : 山东建筑大学 , 2015.
[8] 尹少峰 , 宁萍 . 基于车联网技术的 OBD 应用探析 [J]. 小型内燃机与车辆技术 , 2019, 48(3): 93-96.
[9] 中国产业调研网 . 2018-2025 年中国 OBD 车联网市场调查研究及发展前景趋势分析报告 [EB/OL]. (2018-07-12)[2019-11-20]. http://s.cir.cn/?s=3963904676963188920&x=18&key=2162372.
[10] 杨彬 , 周建武 . 基于 OBDII 和 GPRS 远程汽车故障诊断系统设计和实现 [J]. 计算机应用与软件 , 2012, 29(9): 203-206.
[11] 汪玲燕 , 程耕国 , 鲍考明 , 等 . OBD 物联网控制系统的研究与开发 [J]. 自动化仪表 , 2015, 36(5): 52-56.