

团 体 标 准

T/ CAAMTB XXXX. 4—XXXX

矿用电动自卸车甲醇增程器 第 4 部分： 控制系统

Methanol range extender for power fuel of dump truck with electric wheels—Part4:
Control system

(征求意见稿)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 甲醇增程器控制系统.....	2
5 性能要求.....	2
6 技术要求.....	3
7 硬件.....	3
8 基础软件.....	6
9 应用软件.....	7
10 技术指标.....	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是T/CAAMTB XXXXX《矿用电动自卸车甲醇增程器》的第4部分。

T/CAAMTB XXXXX已经发布了以下部分:

- 第1部分: 技术条件;
- 第2部分: 试验方法;
- 第3部分: 性能和评价方法;
- 第4部分: 控制系统;
- 第5部分: 三电装置。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国汽车工业协会标准法规工作委员会甲醇汽车专业委员会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位: 闾臻智能科技(上海)有限公司、华中科技大学、上海依相动力系统有限公司、澳森发动机(大连)有限公司、上海海能汽车电子有限公司、中国科学院电工研究所、北京科技大学、汉阳专用汽车研究所、内蒙古华拓矿业有限公司、中联重科股份有限公司、安徽瑞昱创科科技有限公司、兰州电机股份有限公司、赣州亿鹏能源科技有限公司、北京机械设备研究所、上海和夏骏智科技有限公司、北京蓝核清能甲醇技术研究院有限公司、全球甲醇行业协会(新加坡)北京代表处。

本文件主要起草人: 蒋炎坤、范晓东、沈斌、慕云、祝轲卿、魏鑫、李文、孟庆勇、曾小兰、张伟、吴振民、董吉亮、蒋大伟、杨新春、陈彬、杨慧中、闫晓娜、赵凯。

本文件为首次发布。

引 言

加快发展清洁与可再生能源是缓解能源危机、改善环境污染、促进我国移动机械产业健康可持续发展的重要举措。结合行业管理需要和技术应用特征，先行制定了矿用电动自卸车甲醇增程器技术条件、试验方法、性能和评价方法、控制系统和三电装置的标准。同时未来亦不排除扩展纳入甲醇增程器其它技术/装置标准的可能。T/CAAMTB XXXXX《矿用电动自卸车甲醇增程器》的前五部分构成如下：

第1部分：技术条件。目的在于确定矿用电动自卸车甲醇增程器术语和定义、要求、检验规则、标志、包装、运输和贮存等。

第2部分：试验方法。目的在于确定矿用电动自卸车甲醇增程器起动性能试验、动力性能试验、燃料消耗率试验和制动性能试验等方法。

第3部分：性能和评价方法。目的在于确定矿用电动自卸车甲醇增程器起动能力、动力性能、燃料经济性、制动性能和环保与安全等评价方法。

第4部分：控制系统。目的在于确定矿用电动自卸车甲醇增程器发动机、发电机及其控制系统的硬件和基础软件等要求。

第5部分：三电装置。目的在于确定矿用电动自卸车甲醇增程器的电驱、电池和电控装置要求。

每种技术/装置标准分别作为T/CAAMTB XXXXX的一部分，各部分相互补充，共同构成我国矿用电动自卸车甲醇增程器技术/装置标准体系。未来，将根据行业产业发展情况进一步调整完善甲醇增程器技术/装置标准体系，促进行业技术进步。

矿用电动自卸车甲醇增程器 第 4 部分：控制系统

1 范围

本文件规定了矿用电动自卸车甲醇增程器的控制系统。

本文件适用于矿用电动自卸车甲醇增程器。

其它使用甲醇增程器的电动移动机械、醇氢动力装置可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动(正弦)

GB/T 4942 旋转电机整体结构的防护等级（IP代码）分级

GB 14023 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车外接收机的限值和测量方法

GB/T 17619 机动车电子电器组件的电磁辐射抗扰性限值和测量方法

GB/T 17626 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 21437 道路车辆 电气电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法

GB/T 33014 道路车辆 电气电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法

ISO 11898-2 道路车辆 控制器局域网络 第2部分：高速媒体访问单元（Road vehicles — Controller area network (CAN) —Part 2: High-speed medium access unit）

ISO 14229 道路车辆-统一诊断设备(UDS)（Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS)）

SAE J1939 功能安全通信协议(Functional Safety Communications Protocol)

3 术语和定义

3.1

甲醇增程器发动机控制单元 engine control unit (ECU) for methanol range-extender

根据甲醇增程器的不同工况，向发动机提供最佳空燃比的混合气和最佳点火时刻，使发动机始终处于最佳工作状态的电子控制单元。

3.2

甲醇增程器发电机控制单元 generator control unit (GCU) for methanol range-extender

用于启动发动机、将发动机能量转换为电能，对动力电池充电及给驱动电机提供能量的电子控制单元。

3.3

整车控制单元 vehicle control unit (VCU)

监测车辆状态（车速、主要部件温度等）信息，向动力系统、储能模块发送车辆的运行状态控制指令，控制车载附件电力系统的工作模式，实现整车控制决策的核心电子控制单元。

3.4

甲醇增程器控制单元 methanol range-extender control unit (RCU)

接收VCU通过整车CAN发送启动、停止以及发电功率等指令并解析和转发到ECU和GCU，满足VCU实时需求的电子控制单元。

4 甲醇增程器控制系统

RCU、ECU和GCU三个控制单元组成内部CAN网络。内部CAN网络通过RCU与VCU通讯。VCU根据实时工况，通过整车CAN发送启动、停止以及发电功率等指令给BMS、MCU和RCU。RCU不工作时，由BMS与MCU满足VCU的需求；RCU工作时，RCU转发启停指令到内部CAN网络，实现增程器系统的启停控制功能。另外，RCU解析VCU的功率指令，计算效率最优的需求转速和需求扭矩，发送到内部CAN网络；ECU根据接收到的指令控制发动机运行到目标扭矩或转速；GCU解析CAN帧，控制ISG电机为发动机提供需求转速或扭矩，以此满足VCU对发电功率的需求。

整车CAN网络RCU只和VCU进行通讯。RCU周期性发送RCU的工作状态帧给VCU，包括增程器工况（启动、停机、怠速和发电），故障等级，主动放电反馈，实际功率反馈，当前允许最大功率，低压反馈和自检状态。同时，RCU会转发ECU和GCU的状态信息给VCU，包括电机母线电压，发动机转速等信息。VCU则给RCU周期性地发送启停控制，发电功率需求和整车故障等级等信息。

启动增程器前，VCU需要判断RCU的故障等级。故障等级为0时，可以发送启动命令给RCU通过使能RCU启停控制位，可以实现增程器的启动。

增程器处于工作工况时，VCU根据RCU当前允许的最大功率和当前的功率需求，向RCU发送需求功率，同时RCU也会向VCU反馈实时功率。

5 性能要求

5.1 车辆行驶数据管理

甲醇增程自卸车的动力单元必须按照驾驶员意图输出驱动或制动扭矩。驾驶员主要通过加速踏板和制动踏板控制车辆启动、加速、减速和制动等。控制系统必须根据踏板信号决定电机的扭矩输出。

5.2 整车信息管理

整车信息管理通过整车网络管理实现。整车网络应满足ISO 11898-2、CAN 2.0A和CAN 2.0B规范、SAE J1939等标准。

5.3 整车能量管理

整车能量管理需对电机动力部件、空调等电动附件的耗能进行管理，并对相应的电池组进行实时监控。

5.4 车辆检测和管理

车辆运行过程中，需要检测驱动电机、增程器和空调等部件的实时动态数据，并通过LCD显示，进而提供给驾驶员进行判断。整车控制单元应对采集信号进行处理，并通过通讯接口在LCD显示。

5.5 故障诊断与处理

控制单元要能对甲醇增程器的故障进行分析处理，保障增程器的正常工作。在检测到本单元自身故障或接收到VCU反馈的其它整车故障时，需保证车辆在足够安全的条件下，给出增程器可使用工作范围，以满足故障状态下车辆的应急行驶需要。

6 技术要求

6.1 信号采集要求快速、准确。车辆在行驶过程中，必须准确及时地测量出相关信号。

6.2 控制单元处理数据和运算的速度要快。要求甲醇增程器控制单元要尽可能提高运算速度，节省运算时间。

6.3 控制精度要高，确保甲醇增程器满足高精度、高速度、控制灵活、稳定可靠的要求。

7 硬件

7.1 硬件组成

7.1.1 增程器控制单元 RCU

矿用电动自卸车甲醇增程器发电机控制单元RCU硬件组成应满足图1要求。

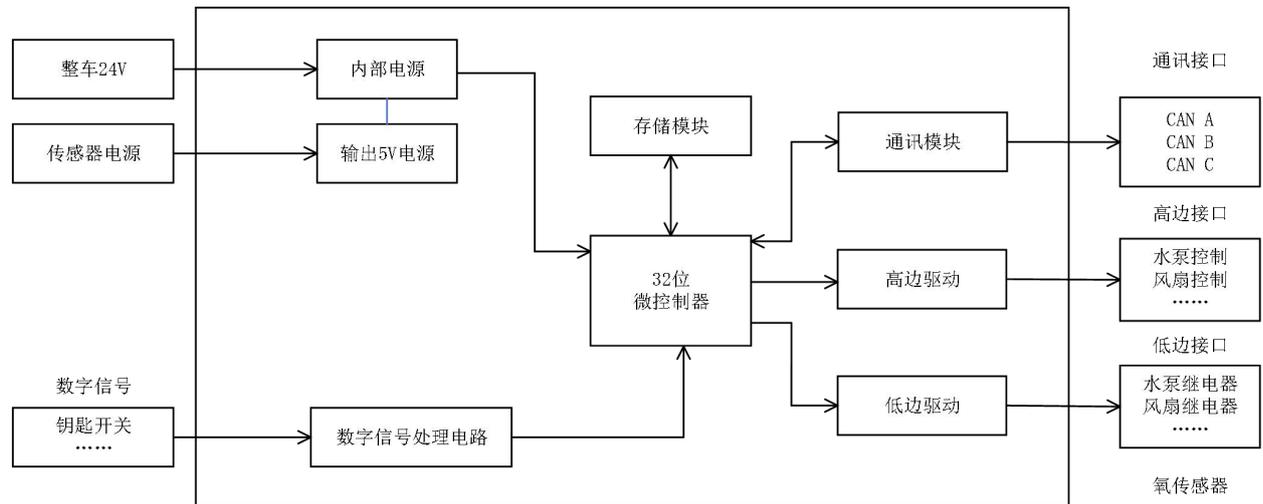


图1 增程器控制单元 RCU 硬件原理图

7.1.2 发电机控制单元 GCU

矿用电动自卸车甲醇增程器的发电机控制单元GCU的硬件组成应满足图2要求。

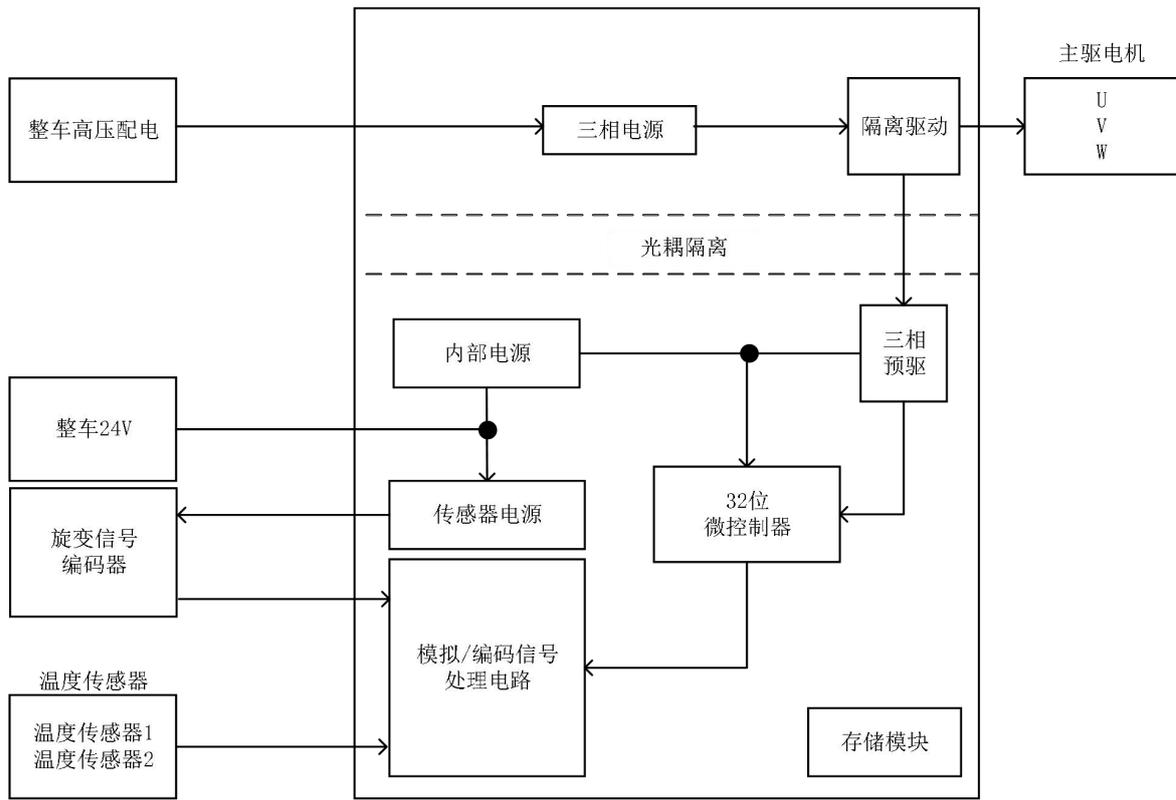


图 2 发电机控制单元 GCU 硬件原理图

7.1.3 发动机控制单元 ECU

矿用电动自卸车甲醇增程器的发动机控制单元ECU硬件组成应满足图3要求。

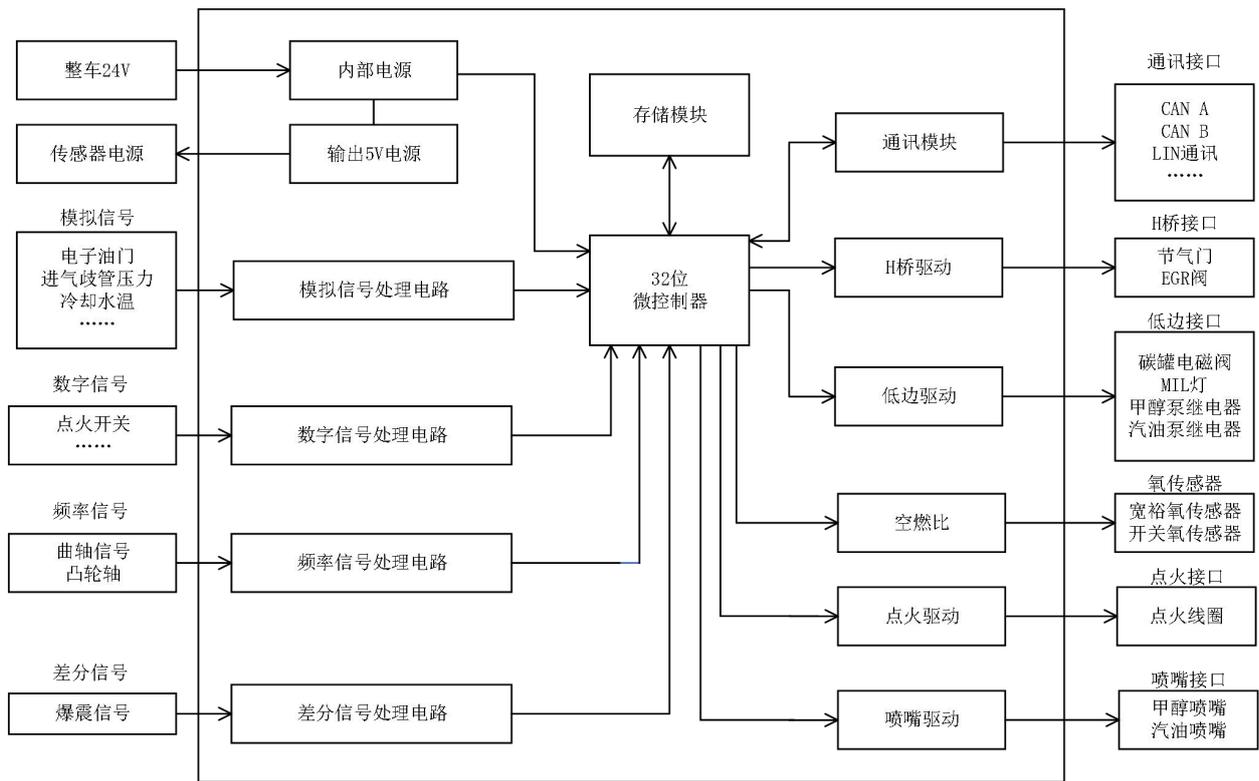


图3 发动机控制单元 ECU 硬件原理图

7.2 硬件开发测试流程

电子控制单元按流程进行设计和验证测试。电子控制单元硬件电路需求确定后，进行模拟电路原理图设计，然后PCB设计，样片制版后，进行功能调试、型式试验、电磁兼容性测试以及集成测试，进而开展小批市场验证。对于测试中发现的问题，再对电路进行设计或更改，直到最后测试合格。PCB板尺寸确定后进行外壳设计，测试完成后整理输出原理图文档、加工文件、BOM表、电路测试报告、调试手册和硬件测试文档等。

7.3 电子控制单元型式测试内容

结合使用环境，确定包括机械性能试验、环境试验、电性能试验和EMC试验的主要测试包括表1所示内容。

7.4 其它性能

7.4.1 耐久性

耐久性即产品使用的无故障性或使用寿命长，满足整车使用寿命要求。

7.4.2 可维修性

可维修性是指当产品发生故障后，可通过诊断工具读取故障码，给出诊断建议，能够快速且方便地通过维护或维修排除故障。产品的可维修性与产品的结构有很大的关系。

7.4.3 设计可靠性

这是决定产品质量的关键，由于人机系统的复杂性，以及人在操作中可能存在的差错和操作使用环境因素的影响，发生错误的可能性依然存在，所以设计时必须充分考虑产品的易使用性和易操作性，并确保其可靠性。

表 1 型式测试内容

序号	试验项目	类别
1	低温运行	环境
2	高温运行	环境
3	防水防尘	环境
4	耐温度快速变化	环境
5	耐温湿度组合循环变化	环境
6	低温储存	环境
7	高温储存	环境
8	耐甲醇	环境
9	耐工业溶剂	环境
10	振动试验	机械性能
11	自由跌落	机械性能
12	辐射发射	EMC
13	传导发射	EMC
14	辐射抗扰度	EMC
15	瞬态抗扰	EMC
16	过电压	电性能
17	静电放电	电性能
18	电压骤降复位性能	电性能
19	气动特性	电性能
20	反向电压	电性能

8 基础软件

8.1 开发流程

矿用电动自卸车甲醇增程器电子控制单元的基础软件开发需要通过流程规范开发过程，保证软件可靠性并从需求、开发和测试的每个环节可控可追溯。

8.2 开发工具链

为保证基础软件质量，开发过程中优先保证使用到的工具链，比如编译器、测试工具等需经过可靠性方面的验证。

编译器需具备高安全性、高可靠性，满足SIL4（安全完整性水平）和ASILD（汽车安全完整性水平）资质要求；仿真器应具备实时错误任务处理机制、多级触发单元技术、动态存储技术、实时内存查看、实时跟踪代码运行状态、大容量追踪缓存用于实时根据和触发等。

8.3 静态分析

静态分析主要包括代码分析、代码审查与软件度量三个方面。通过静态分析尽可能发现程序中的缺陷，要求软件结构与逻辑合理清晰，分析是否有变量冗余或者未定义的信息，接口是否脱节。

8.4 容错设计

基础软件要求有一定的容错能力，包括软件模块的冗余设计和信息冗余等。

8.5 余量设计

8.5.1 存储资源分配以及余量要求

在制定矿用电动自卸车甲醇增程器电子控制单元整个开发需求时，要求评估整个软件系统的存储量，包括FLASH（程序和标定数据不小于4 MB）和RAM（不小于190 KB）的需求。电控系统的应用层软件需要通过合适工具链进行评估、统计应用层模型的资源需求。存储空间的分配由基础软件来实现，为了保证系统缺陷的修复及新功能的扩展，存储资源要求余量不小于20 %。

8.5.2 时序安排和系统负荷的余量要求

随着软件复杂度和运算量的增加，甲醇增程器电子控制单元涉及到优先级别和周期各不相同的中断和定时周期性任务等，需要合理分配任务时序安排，结合具体对象合理确定时间周期，如采样周期、数据计算处理周期、控制周期、诊断周期和输入输出周期等。为保证系统缺陷修复、新功能的扩展，整个系统负荷应该不大于60 %。

9 应用软件

9.1 应用软件架构

矿用电动自卸车甲醇增程器应用软件架构应包括：

- a) 增程器控制单元 RCU 负责的混动功能管理；
- b) 发电机控制单元 GCU 负责的发电功率协调；
- c) 发动机控制单元 ECU 的基本功能管理；
- a) 各控制单元之间的 CAN 通讯协议，如图 4 所示。

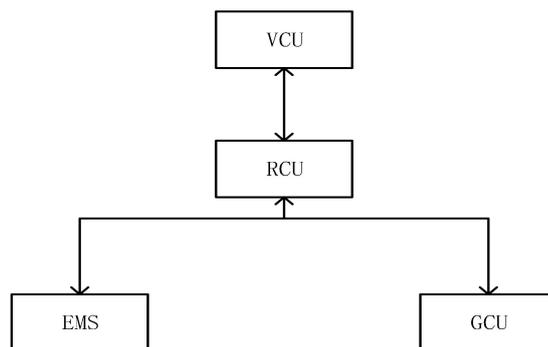


图 4 甲醇增程器架构

9.2 增程器控制单元 RCU 基本功能管理

9.2.1 概述

将整车VCU指令转化为增程器的发电功率，然后由RCU根据发动机的运转条件和运转工况，以及发电机控制单元GCU的自身和环境条件，分别给发动机控制单元ECU和发电机控制单元GCU发出工作指令，确保两者协同工作。

9.2.2 输入处理控制

要求开关信号通过相关的时间延迟实现“防反跳”功能，避免误操作、无判断，包括点火钥匙开关、启动开关等；温度传感器、电压采样等，转化为工程值需考虑使用合适的滤波函数，并计入温度补偿。

9.2.3 发电机水泵控制

增程器根据发电机绕组温度和发电机控制单元GCU的温度控制水泵的开启和关闭。增程器根据发电机绕组温度和发电机控制单元GCU的温度控制水泵的PWM开度。

9.2.4 发电机风扇控制

增程器根据发电机绕组温度和发电机控制单元GCU的温度控制风扇的开启和关闭。增程器根据发电机绕组温度和发电机控制单元GCU的温度控制风扇的PWM开度。

9.2.5 外接充电控制

增程器接收到外接充电信号后停机并禁止起动。

9.2.6 暖风功能

利用发动机冷却水温度加热驾驶舱温度。

9.2.7 发电功率限制

最大发电功率受电机绕组温度、电机逆变器温度和电机回路发电故障限制。

9.2.8 发电机启动发动机

发电机发出正转矩快速起动发动机，以期节约发动机启动过程燃料喷射量。

9.2.9 发电机发电控制

发电机发出负转矩对电池进行充电，发电机可选转速或扭矩控制。当发电机发电时，发动机先调速，当转速达到目标转速附近后，开始按照一定速率加入发电机发电转矩，避免发动机转速的异常波动。

9.2.10 发电机转矩步长控制

实现发电机起动发动机发电功能，为了实现较好的控制效果，要求限制不同控制模块中发电机的速率步长。

9.2.11 发动机控制

发动机不参与驱动，主要在发电时进行转速或扭矩控制。

9.2.12 发动机强制暖机

不发电时，保持发动机冷却水温处于合适温度，以保证发动机正常工作。

9.2.13 发动机功率保护

发动机因异常无法满足发电功率时，发电机响应降低发电功率。

9.2.14 主被动发电控制

主动模式：增程器根据整车车速及轮端扭矩、实际车重等信息，自主计算发电功率。

被动模式：增程器响应整车控制单元VCU指令发电功率需求。

电池容量低于阈值时，强制启动发动机发电。

9.2.15 发电机温度保护

发电机温度超过阈值时，降低发电功率或停止发电。

9.2.16 发动机温度限制

发动机温度超过阈值时，降低发电功率或停止发电。

9.2.17 电池电压充放电限制

根据电池电压限制增程器当前实际发电功率，以及根据电池电压限制增程器发电机的当前实际电动功率。

9.2.18 发动机长怠速控制

根据发电机以及整车能耗要求灵活控制发电前以及停机前维持发动机保持怠速的时间。

9.2.19 发动机强制怠速

维持发动机机械水泵运转，避免增压器回热温度过高损坏增压器。

9.2.20 预热功能

起动前对发动机的进气进行预热以提高低温启动能力。

9.2.21 主动放电

整车下电后实现发电机控制单元GCU快速放电。

9.2.22 辅助停机

总成怠速到停机过程通过发电机扭矩辅助以达到快速停机效果。

9.2.23 电附件控制

增程器接收VCU的电附件CAN报文电流及电压信息计算发电功率。

9.2.24 车速限制

基于噪声考虑，根据车速限制发电功率。

9.2.25 余热利用

需对甲醇发动机排放热量进行有效利用，包括但不限于甲醇裂解制氢等技术。由增程器根据系统当前储能电压、环境温度、发动机冷却水温以及发电功率等综合判断，给出指令并闭环控制余热利用功能的实施。

9.2.26 通讯管理

RCU至少具有3路CAN：一路CAN接入整车CAN网络与VCU通讯；一路接入内部CAN网络与ECU、GCU通讯；一路CAN做标定用，并满足数据刷写要求。

9.3 发电机控制单元 GCU 基本功能管理

9.3.1 概述

主要负责接收RCU指令，根据ECU控制的增程式发动机所发出的功率、来最大效率地控制ISG发电机转化为发电功率。

9.3.2 发电机转矩闭环

发电机控制单元采用转矩闭环控制，发电机控制单元及电机响应整车控制单元发出的转矩指令。要求不出现转矩响应滞后并具备转矩限制功能。控制单元反馈扭矩值应按照电机实际台架标定扭矩值来反馈。

9.3.3 发电机转速闭环

发电机控制单元采用转速闭环控制，发电机控制器单元及发电机响应整车控制器发出的转速指令，同时有速度限制功能。

9.3.4 转速/扭矩控制模式切换

转速和扭矩功能应能进行双向自由切换。

9.3.5 发电机控制单元 CAN

发电机控制单元带CAN总线接口，该接口硬件层面上应符合SAE J1939规范。通过CAN总线接收整车控制单元发出的扭矩信号，并将电机及控制单元各种状态信号和报警信号发送给整车控制单元。

9.3.6 发电机功率限制

发电机控制单元可根据不同系统部件发来的限功指令等信号对发电机进行限功，限功过程及解除限功的过程都必须是柔和的。当发电机控制单元实施上述操作时应同时通过CAN给出相应状态信号以便仪表显示相应状态。

9.3.7 制动功率控制

有再生能量制动功能，制动功率或制动扭矩由整车控制单元给出，制动最大功率、最大扭矩等可以通过软件设置。制动过程必需是柔和的，以保证车辆的平顺性，同时避免造成母线电压超限。

9.3.8 发电机控制单元预充电

预充电电阻为 $100\ \Omega \sim 200\ \Omega$ ，发电机控制单元内置电容 $1\ \text{mF}$ 。

9.3.9 发电机控制单元下电控制

发电机控制单元带有自动下电功能，当输入高压切断后，发电机控制单元在低压供电切断后通过放电电阻将输入滤波电容上的电能泄放掉。

9.3.10 故障诊断

发电机控制单元有IGBT故障、短路、过流、过压、欠压和过温保护等功能，依据故障程度执行限功或停机操作，并同时发出故障报警代码，整车控制单元应根据电机发出的故障信号，执行相应的处理措施。

9.3.11 各种失效保护

输出短路、缺相、BUS off、VCU通讯，电机超速、温度过高、堵转，控制单元过流，母线电压过高等，以及各种传感器失效后的保护策略。

9.4 发动机控制单元 ECU 基本功能管理

9.4.1 概述

矿用电动自卸车甲醇增程器发动机控制单元ECU应用软件架构包含：发动机的基本控制功能，以及根据需要包括但不限于以下其它管理功能：后处理、热系统、安全控制、通讯和诊断等。不同应用场景可根据实际情况进行删减和（或）增加对应功能模块。

9.4.2 传感器输入

除特殊规定外，矿用电动自卸车甲醇增程器应根据用途、使用场景和开发要求定义传感器输入部分，主要包括曲轴位置传感器、凸轮轴位置传感器、冷却液温度传感器、环境温度和压力传感器、宽域氧传感器、开关氧传感器、爆震传感器、机油压力温度传感器、节气门位置传感器、进气压力温度传感器、增压压力温度传感器、甲醇轨压传感器、EGR位置传感器、EGR压力传感器、EGR压差传感器、EGR温度传感器及曲轴箱通风压力传感器等（可根据矿用电动自卸车甲醇增程器的具体应用和配套需求予以增减）。

9.4.3 执行器输出

除特殊规定外，矿用电动自卸车甲醇增程器应根据用途、使用场景、开发要求定义出执行器输出部分，主要包括但不限于电子节气门、废气旁通控制阀、EGR阀、汽油喷嘴、甲醇喷嘴、汽油油泵继电器、甲醇油泵继电器和碳罐电磁阀等（可根据矿用电动自卸车甲醇增程器的具体应用和配套予以增减）。

9.4.4 扭矩协调及控制

协调各种扭矩需求（驾驶员扭矩请求、转速控制扭矩请求和发电扭矩请求等），输出目标慢扭矩（确定目标空气量）、目标快扭矩（确定目标点火角）等。

9.4.5 空气量控制

根据目标空气量和充气效率等，计算目标进气压力，确定目标节气门开度和目标增压压力，然后驱动节气门和废气旁通阀，使得实际空气量达到目标值。

9.4.6 喷醇量控制

根据实际空气量、理论空燃比和目标空燃比等计算目标喷醇量，并根据喷嘴特性、甲醇轨压等计算最终的喷射脉宽。

9.4.7 点火控制

根据目标点火效率、基本点火角、参考点火角及各种点火角修正值，确定最终点火角。

9.4.8 碳罐控制

根据发动机工况，在合适的时间逐步打开碳罐电磁阀，并计算碳罐负荷，修正空燃比控制和喷醇量，实现对碳罐的有效清洗，且把空燃比波动控制在较小范围，避免对驾驶性和排放造成较大影响。

9.4.9 增压压力控制

通过闭环控制废气旁通阀，实现增压压力快速、准确且稳定地达到目标值。

9.4.10 EGR 控制

满足EGR开启条件时，通过目标EGR率计算目标EGR流量，调节EGR阀开度使得实际EGR流量达到目标值。

9.4.11 怠速控制

在怠速工况，通过怠速控制PID调节节气门开度和点火角，使得发动机转速快速且稳定地达到目标怠速，无抖动及游车等。

9.4.12 爆震及早燃监测和控制

通过专用芯片及软件对爆震传感器信号进行处理，监测是否爆震及早燃。如果爆震则根据爆震强度推迟点火角，爆震消失则逐渐恢复点火角；如果早燃则按逻辑作相应处理。

9.4.13 混动功能管理

混动功能主要包括发动机起动和停机功能（响应外部起动和停机指令）、发电扭矩控制功能（响应外部扭矩请求，保持发动机转速和扭矩稳定，高效地工作在目标发电工况）等。

9.4.14 后处理管理

除特殊规定外，矿用电动自卸车甲醇增程器根据需要可增加对应后处理单元。

9.4.15 热管理

包括发动机水温控制（电子风扇或硅油风扇控制）和冷却系统监测等。

9.4.16 安全控制管理

包括碰撞断醇功能（收到碰撞断醇信号后，立即切断甲醇供给）、发动机转速限制功能、发动机零部件保护功能和跛行回家功能等。

9.4.17 通讯管理

与甲醇增程器控制单元RCU进行信息通讯和交互，获取控制需求。参考标准SAE J1939协议，输出发动机相关状态信息。

9.4.18 故障诊断和故障管理

故障诊断包括对9.3.2和9.3.3所列传感器和执行器进行诊断，并制定相应的失效处理策略。故障管理系统包含从故障触发到判断、再到实际失效措施执行过程，涵盖软件架构中的各个方面（可根据矿用电动自卸车甲醇增程器的具体应用和配套予以增减）。

10 技术指标

10.1 增程器控制单元 RCU 硬件资源

RCU的硬件资源应不低于以下参数指标：

- a) CPU 指标：主频 112 MHz、1 MB Flash、128 KB RAM、2 路开关输入、4 路 PWM 输入、9 路 ADC、3 路 CAN、2 路 SPI；
- b) 接插件针脚数：接插件 38 针脚、其中 3 路 5 V 电源输出、3 路 CAN（其中 1 路 CAN 带报文唤醒功能）、9 路 AD 输入、4 路频率输入。

10.2 发电机控制单元 GCU 硬件资源

GCU的硬件资源应不低于以下参数指标：

- a) CPU 指标：主频 100 MHz、1 MB Flash、100 KB RAM、10 路 ADC、2 路 CAN；
- b) 接插件针脚数：1 路 24 V 供电电源、2 路 CAN、2 路控制单元温度信号、1 路旋变传感器信号（包括 sin 正负信号、cos 正负信号、励磁正负信号）。

10.3 发动机控制单元 ECU 硬件资源

ECU的硬件资源应不低于以下参数指标：

- a) CPU 指标：主频 150 MHz、2 MB Flash、192 KB RAM、24 路 ADC、3 路 CAN、2 路 SPI；
- b) 接插件针脚数：接插件 154 针脚、其中 4 路 5V 电源输出 3 路 CAN、2 路爆震输入、12 路喷嘴驱动通道、6 路智能点火线圈（回路接入 ECU 的诊断 PIN）。

10.4 可靠性

- 10.4.1 防护等级应符合 GB/T 4942 的规定。
- 10.4.2 防震应符合 GB/T 2423.10 的规定。
- 10.4.3 平均无故障时间应不低于 20000 h。

10.5 电磁兼容性

电磁兼容性应符合 GB/T 14023、GB/T 21437、GB/T 17626、GB/T 33014 和 GB/T 17619 的规定。

10.6 电气特性

矿用电动自卸车甲醇增程器控制系统容许电压范围：16 V~32 V，标称工作电压 24 V。

10.7 温度特性

矿用电动自卸车甲醇增程器控制系统存放温度：-40 ℃~105 ℃；工作温度：-40 ℃~105 ℃。

10.8 湿气灵敏度

通过暴露测试时，产品应能够正常工作，应符合 GB/T 2423.3 的规定。

10.9 故障诊断协议

诊断协议应符合 ISO 14229 的规定。