



大学生方程式无人驾驶系统入门指南 2024

FSG: Autonomous System Beginners Guide 2023/24

Martin Stollberger / Mathias Gebhardt

Nicolas Velz / Alexander Wischnewski / Moritz Hörsch

中文版本译（作）者

高小栋/贾永凯/郑浩

2024 年 1 月 18 日

目录

1 遥控急停 (RES)	2
2 安全回路 (shutdown circuit, SDC)	3
3 无人驾驶系统主开关 (ASMS)	3
4 系统关键信号 (SCS)	3
5 无人驾驶系统状态	4
6 无人驾驶系统状态指示灯 (ASSI)	5
7 无人驾驶系统任务指示器 (AMI)	5
8 无人驾驶制动系统 (ASB)	6
9 ASB 设计参考	6
10 转向系统	12
11 执行器解耦	13
12 传感器与电气零部件安装	13
13 手动驾驶	13
14 启动流程	13
15 数据记录仪 (datalogger)	14
16 无人驾驶系统表格 (ASF)	14
17 车检	14

变更记录

章节	版本	更改
	1.0	根据 FS-Rules 2024 V1.0 更新
1.1	1.0	添加了进一步提示，仅允许在无人驾驶模式跑动时重新运行，并且建议使用 RES 旁通电路
6	1.0	添加了对有关 ASSI 可视性的新规则的引用
9.7	1.0	添加了有关防翻滚包络面的附加提示
14	1.0	提供有关启动过程的附加和更新的详细信息
	1.1	英文原文进行中文翻译，FS 规则替换为对应的 FSC 规则
1.3	1.1	添加了自制 RES 的相关内容
	1.1	添加了英文缩写解释

摘要

本文旨在为车队提供一个根据规则搭建无人驾驶系统和无人驾驶制动系统的参考。遵循此指南可以简化您的车辆设计，并帮助我们更快地审查车队设计的安全性。遵循本指南并不意味着车队设计可以通过 ASF 检查或车检。本指南仅为车队的设计提供一些建议，并且更加复杂的设计也是提倡使用的。最后确保设计的安全性和解释安全逻辑如何工作仍然是车队的责任。为裁判的关键问题做好准备。本文并不能代替规则或者作为规则的补充。若有冲突，以规则为准。

译者注：本文以 FSG 2024 V1.0 版规则为基础撰写，该版规则中已取消单独的无人驾驶组赛事，而是所有参赛车辆都需要具备无人驾驶功能。故在规则条目顺序、车检条目顺序等方面与中国赛规则有所不同，但整体技术要求大致相同，仍具有较强的参考价值。若有冲突，以中国赛当年最新规则为准。为方便中国车队学习，所有对于技术规则引用的条目均替换为中国赛技术规则。

简介

本文主要参考 FS_Rules_2024_v1.0 和 2024 中国大学生方程式系列赛事规则（答题版）。本文的重点是对 AS (autonomous system, 下同) 中不同的部分，尤其是 ASB (autonomous system brake, 下同) 进行总体概述。本文还简要介绍了启动和运行期间的故障检测和故障处理，请参见 T15.3。此外，还就如何做冗余性设计提出了一些建议。此外，还讨论了车检过程中的可测试性。由于 ASB 信号是 AS 的一部分，所以它们被视为系统关键信号(SCS)，参见 T14.5.1，因此需要采取一些额外措施，本文件也对此进行了讨论。

【作者简介】

高小栋：毕业于北京理工大学，中国大学生方程式系列赛事无人系统裁判长助理、毕业生委员会成员；

贾永凯：毕业于哈尔滨工业大学（威海），中国大学生方程式系列赛事规则委参编人员、哈尔滨工业大学（威海）车队指导老师；

郑浩：毕业于武汉理工大学，中国大学生方程式系列赛事秘书处技术官，毕业生委员会成员。

英文名词解释

英文缩写	英文全称	中文翻译
ASF	Autonomous System Form	无人驾驶系统表格
ASB	Autonomous system brake	无人驾驶制动系统
AS	Autonomous system	无人驾驶系统
SCS	System Critical Signal	系统关键信号
RES	Remote Emergency System	遥控急停系统
EBS	Emergency brake system	紧急制动系统
R2D	Ready to drive	待驶状态
SDC	Shutdown circuit	安全回路
ASR	Autonomous System Responsible	无人系统安全员
TS	Tractive system	驱动系统
ASMS	Autonomous System Master Switch	无人驾驶系统主开关
ASSI	Autonomous System Status Indicator	无人系统状态指示灯
LVMS	Low voltage master switch	低压系统主开关
AMI	Autonomous Mission Indicator	无人驾驶系统任务指示器

1 遥控急停装置 (RES)

RES 被认为是无人驾驶车辆最基本的安全功能。它包含一个遥控段和一个对应的接收端，接收端直接硬线连接到安全回路中，参见第六章 1.5。一旦按下 RES 上的急停按钮或发生信号丢失，TS (驱动系统) 将被关闭并激活 EBS 系统。它的开发符合最高安全标准(SIL3)。有关其在车辆中的应用的详细信息，请参见图 6。

此外，RES 用于通过附加按钮向车辆发送 Go 信号。车辆中的 RES 接收器在 CAN-Bus 上发送此信号 (译者注: 实际不局限于 CAN-Bus)。只有在 5 秒安全延迟后收到 Go 信号，才允许 AS 进入待驶状态 (Ready-to-drive, R2D)，参见第 5 节图 2。

1.1 RES 旁通电路

因为只有在无人赛中才允许由于 RES 信号丢失而重新跑动，参见第八章 1.3，为避免手动驾驶过程中出现问题，并避免在其他非无人驾驶测试中始终开启 RES，因此在这种情况下允许并强烈建议停用 RES。由于这种旁通可能引起的安全问题，规则只允许一种解决方案，如图 1 所示。需要严格遵守该电路以避免出现 RES 无法使用的情况。由于安全性至关重要，仅允许使用具有强制导向或镜像触点的安全认证继电器。该认证可确保两个触点永远不会同时关闭。不允许依赖软件的解决方案。

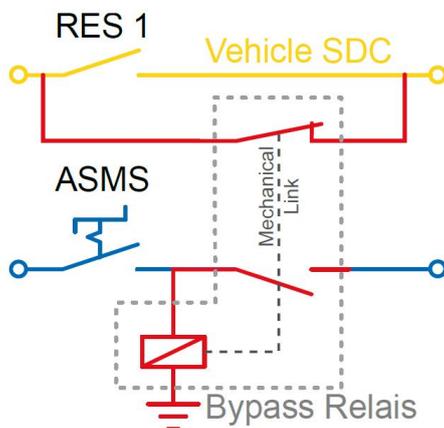


图 1 RES 旁通电路

1.2 天线安装

作为其安全功能之一，如果接收器单元接收到的信号强度低于某个阈值，RES 还将断开安全回路。因此，强烈建议将 RES 天线放置在远离金属部件且各个方向障碍物最少的地方。还建议对任何车辆方向进行一些范围测试，以找到 RES 天线的最佳位置。这将有助于避免比赛期间出现问题，因为距离和障碍物可能与您的测试区域不同。

1.3 自制 RES

尽管中国赛没有对 RES 型号做强制要求，但我们强烈建议使用德国赛指定的或者其他厂家开发的成品 RES，**在没有足够的专业能力和测试条件的情况下尽量不要尝试自制 RES!**

无线模块的传输距离常受多方面因素影响。当放置在高干扰或恶劣天气的环境中时，传输距离可能无法达到正常环境下的水平。因此，为了防止通信模块在正常传输中受到外界干扰而导致通信失败，强烈建议自制 RES 以及购买非德国赛 RES 车队选择通信模块时，确保其具备强大的抗干扰能力。

RES 抗干扰测试试验可以通过同频段干扰测试、多路径干扰测试、电磁干扰测试、动态干扰测试以及极端天气测试等多种测试方法来测试 RES 的抗干扰能力，确保 RES 在上述测试中能保证正常无误进行数据通信。

通信模块抗干扰设计可以考虑从以下几个方法来设计:

数据加密:使用强加密算法、实施端到端加密以及使用安全协议进行加密通信。

频段选择:选择的频段避免与其他设备频段冲突(例如对讲机) 以及选择不同的频段进行多频点传输(Lora 模块国内允许使用的频段 433MHz. 470MHZ-510MHz.

779MHz-787MHz)。

冗余设计: 在数据中增加冗余信息、使用差错检测或纠错编码以及实施多路径传输。

天线设计: 选择合适的天线类型, 如定向天线以及全向天线。

2 安全回路 (shutdown circuit, SDC)

SDC 是车上 TS 的主要控制线。有关示意图, 请参见规则中相关章节。安全回路闭合是车辆进入待驶模式的关键步骤。因此, 在闭合安全回路 (激活 TS) 之前, 确保所有关键安全检查通过至关重要。其他对于 CV 和 EV 关于安全回路的各自的特定要求请参见规则相关章节。

手动模式: AS 已检查 ASMS 处于关闭位置, 且 ASB 系统未通电且无法以任何可能的方式与制动系统交互。在手动驾驶期间激活 EBS 可能会对驾驶员造成严重危险, 并可能导致车辆行为失控。一旦满足所有要求的条件, 驾驶员可以在驾驶舱内激活 TS, 参见第五章 5.11。

无人驾驶模式: AS 已检查 ASMS 处于开启位置, 且 EBS 系统已通电。只有满足所有这些要求的条件, ASR 才能通过外部激活按钮激活 TS, 参见第六章 1.5.4。

一旦 SDC 闭合, 车辆就可以开始移动, 因此您需要确保制动系统正常工作。断开 SDC 是一项安全关键操作, 必须始终以可靠的方式执行。它将车辆转换到安全状态, 因为它包括:

- 关闭 TS, 即
 - [EV only] 电池箱绝缘继电器 (AIR) 开路 (即电池箱外不存在高压)
- EBS 触发, 车辆安全停止并且防止车辆再次移动

这样可以确保再次接近车辆时是安全的, 因此 ASSI 要指示安全状态, 请参阅第 6 节。

3 无人驾驶系统主开关 (ASMS)

ASMS 是一个额外的主开关, 这是一种硬接线 (不可编程) 逻辑, 旨在确保 AS 的所有执行器都可以安全停用。

所以, 执行器的供电必须由 ASMS 直接控制。这可以通过将供电主路径直接通过 ASMS 控制来实现 (类似 LVMS), 也可以通过使用非可编程逻辑 (例如继电器) 来实现。在后者的情况下, 所有使用的零件的参数必须符合相应的极限工作条件 (包括电流和温度)。

ASMS 应尽可能保持在“关闭”位置, 所以可确保在手动驾驶期间 (详细信息请参见第 13 节) 或在车辆上进行工作时 (例如拆装轮胎、向控制单元刷写软件、标定), 或调试程序时, 不会意外启动转向或制动系统。

4 系统关键信号 (SCS)

信号监控是每个精心设计的系统的重要组成部分。需要实现功能安全目标并防止无人驾驶系统的不受控制的行为。

考虑功能安全, 系统必须在不能确保有完全冗余的紧急制动时, 立即转换到安全状态。在信号故障的情况下, 可能无法正确判断系统状态, 所以必须进入安全状态。这可能是断线、传感器数据超出范围、或因电磁干扰造成信号失真等。

如果涉及依赖于各种不同传感器输入的 AS 的上层算法, 系统应该检测这些部分是否出现故障。如果不能保证车辆正常运行 (例如环境感知信号丢失), 系统应立即触发 EBS 以做出反应。与通过 RES 手动触发的制动操作相比, 这显著减少了发生故障到制动操作之间的反应时间。这可以保护车辆免于碰撞。即使在车检期间不会完全测试此功能, 正确执行此类诊断也对车队有所裨益。

需要此类监控的信号称为系统关键信号 (SCS)。对 EBS 和 AS 整体的各自监控应如上所述实施。

相应的规则也适用于各个故障指示灯。为了检查这些指示灯的功能是否正常，每个故障指示灯必须在启动后点亮1秒至3秒以检查功能是否正常，参见第二章 12.9.3。

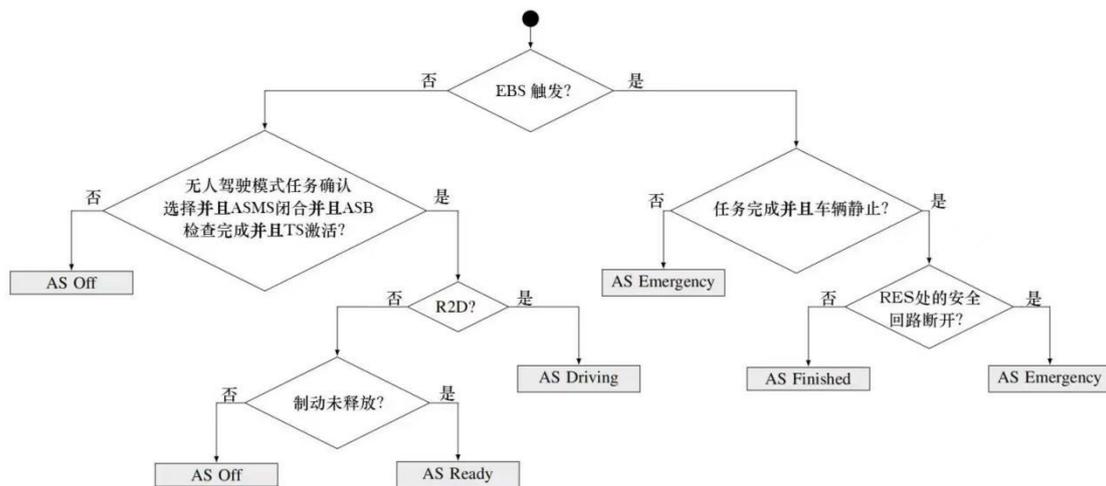
5 无人驾驶系统状态

为了在规则中以及在与 AS 相关的讨论中有通用且有效的术语，第六章 2.5 中定义了一组无人驾驶系统状态。其目的在于根据 AS 相关的子系统的状态，例如 ASB（包括 EBS）、TS、或 R2D 状态，来表示 AS 的某个状态。

这些目标基于其相关子系统的状态来

表示 AS 的某个内部状态，例如 ASB（包括 EBS）、TS 或 R2D 状态。结合 ASSI，状态是整体安全概念的一部分。*(译者注：在中国赛 2024 规则之前，无人驾驶状态由状态机描述，这引起了很多混乱。在新的定义下，虽然在功能上仍与之前的规则保持一致，但是在实现上，现在更加灵活并且易于理解，因为它没有与状态机直接关联。)*

定义：当前 AS 状态的定义和判断在可以在规则的第六章 2.5 图 4.2 中找到的流程图中进行描述。



除了这个定义，我们还可以认为 AS 状态如下所述：

- **无人驾驶系统关闭 (AS Off)：**此状态表明 AS 尚未完全正常运行，例如将 LVMS 切换到“ON”后的状态。为了知道车辆对于任何靠近的人来说是否安全，应检查 ASMS 是否处于“OFF”位置，TS 是否未激活 ([EV ONLY]TSAL 呈绿色亮起)。在任何其他情况下，车辆可以将其状态更改为“AS Ready”（见下文）或即将手动驾驶，见第

13 节。

- **无人驾驶系统准备 (AS Ready)：**此状态通常出现在“AS Off”之后，如果检查 ASB 可正常工作，ASMS 已被旋转至“ON”位置，并且 ASR 通过外部 TS 激活按钮激活 TS。车辆已准备好发车，但是仍要确保制动器仍然处于制动状态。只有 ASR 和赛道裁判才能靠近车辆。为确保比赛流程，车辆保持在“AS Ready”状态的时间应尽可能缩短 *(译者注：即计算单元启动时间要尽可能*

短)。

● **无人驾驶系统行驶 (AS Driving)：**车辆已经通过 RES 发送的 Go 信号启动，但应有 5 秒的安全延迟，延迟之后才允许车辆执行任务，见图 2。在该模式中车辆可能会突然移动，或产生其他任何危险行为，所有人应保持警惕。严格禁止任何人靠近车辆。

● **无人驾驶系统完成 (AS Finished)：**AS 自行判断其任务已完成并停止后，自行将其状态改为 AS Finished。在任一无人驾驶项目中，只有当车辆停止并在停车区进入此状态时，才可认为该赛项已完成（不允许非安全停车 (USS)）。在获得裁判批准后，ASR 和一名车队成员必须立即推出车辆。

● **无人驾驶系统急停 (AS Emergency)：**已触发 EBS。这可能是由 SDC 断开引起的，例如通过按下 RES 遥控端上的急停按钮，也可能是车辆检测到内部故障。完全停止后，且在裁判批准下，ASR 和一名车队成员必须立即推出车辆。

手动驾驶 (Manual Driving)：车辆以手动模式运行。只有当所有执行器都通过 ASMS 关闭并且 AS 已检查 ASB 无法与制动系统交互时，才可以进入该模式。

具体实现：

AS 状态的定义不需要判断先前 AS 处于何种状态。因此确定 AS 状态的实现可以通过将规则中给出的流程图转换为一组简单的嵌套 if-else 语句，在每个软件执行周期中以其所需的输入调用。然后将计算结果传递给 ASSI，见第 6 节，和数据记录仪，见第 17 节。

安全延迟 (5 秒)：

FS 规则 T14.9.3 要求的安全延迟旨在为 ASR 和裁判在车辆达到“AS Ready”状态后立即离开车辆附近区域提供时间。在此时间范围内，即使在意外发送 Go 信号的情况下，车辆也不会将其状态更改为“AS Driving”。
(译者注：中国赛并没有此条规则，但仍然

强烈建议设计安全延迟电路，后续考虑会加入到最终版规则中。)

图 2 显示了一个可视化安全延迟如何工作的示例时序：一旦 AS 达到“AS Ready”，延迟就开始并持续 5 秒。在此时间段内，AS 拒绝来自 RES 的任何 Go 信号，见①。要触发 AS 并开始执行选定的任务，即触发“AS Driving”状态，需要在安全延迟时间段过后向车辆发送新的 Go 信号，参见②。

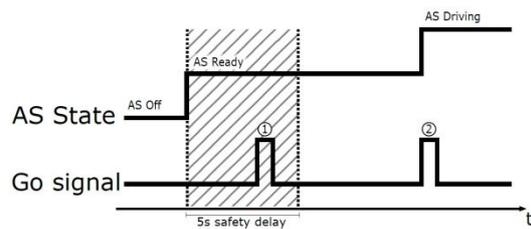


图 2 安全延迟时间示意

6 无人驾驶系统状态指示灯 (ASSI)

ASSI 反映车辆的当前状态，由车队成员和裁判用于判断 AS 的当前状态，见第 5 节。ASSI 包括三个安装在车辆侧面和后面的可以显示颜色的指示灯（通常是 LED 灯），参见第六章 2.6。此外，还需要一个声音发生器来指示“AS Emergency”状态，参见第六章 2.6.5。它是整体安全措施的一部分，ASSI 的功能对于安全来说是至关重要的，将在车检期间进行检查。重点是正确指示 AS 状态，请参见第六章 2.5、ASSI 的可见性及其声级。

7 无人驾驶系统任务指示器 (AMI)

顾名思义，AMI 的目的是指示第六章 2.7 中定义的当前选择的无人驾驶任务。ASR 和裁判使用它来了解 AS 将执行哪项无人驾驶任务。这旨在避免在赛项中错误选择无人驾驶任务，例如在高速循迹赛道执行了 8 字绕环的程序。因此 AMI 的信号是 SCS，并且应在每项动态赛之前进行可视化检查以显示正确的无人驾驶任务。

为了很好地实现其目的，AMI 需要能够将其指定的任务传达给任何未受过培训的人员。因此，它在车辆中的位置仅限于仪表盘或 ASMS 附近。此外，对于任何人来说它都必须易于阅读（例如，在明亮的阳光下也可见）和易于理解（例如，没有复杂的数字或图案序列）。图 3 示意性地显示了一个非常简单的 AMI 设计方案。作为替代方案，集成到车辆仪表板的显示器也可以考虑用作 AMI，前提是能够满足 SCS 要求。如果使用电子墨水屏作为 AMI，请考虑在屏幕上设计一个移动的元素，以确保当前看到的状态是实时刷新的。

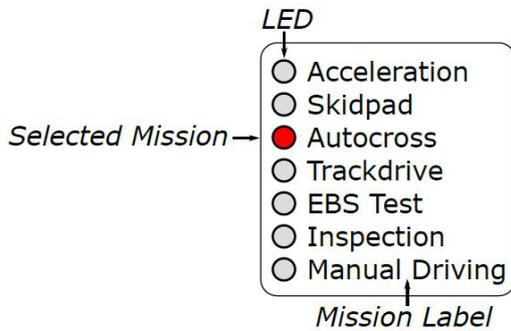


图 3 一个简单 AMI 的示意图

8 无人驾驶制动系统 (ASB)

ASB 包括所有与无人驾驶制动驱动器有关的零部件。EBS 是 ASB 的一个主要部分，它在断电时执行紧急制动操作(第六章 3.1.3)。
(译者注：在以前的规则版本中，有一个 EBS 和一个行车制动器，但这会导致混淆。因此，两者合计为一个具有 EBS 功能的 ASB。现在可以使用整个 ASB 来保证功能安全要求。)

图 4 展示了 ASB 的结构。现在整个制动系统都要求有未激活监控和故障监控。ASB 内部的第一个主要系统是 EBS，它另外需要满足第六章第三节。第二个主要系统是一个能确保功能安全要求的独立的冗余系统。该系统可以与 EBS 一模一样，也可以是完全不同的东西，例如电推杆、直线电机等。第二个系统不需要满足第六章第三节，但仍需要监控故障。下一节将更详细的介绍如何设计 ASB。

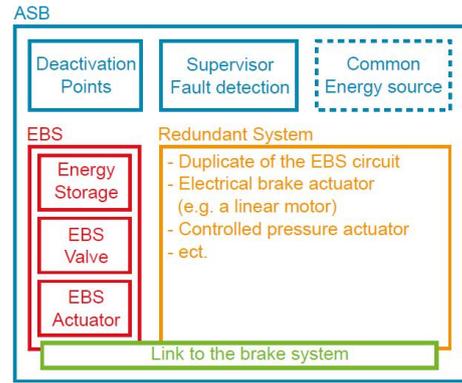


图 4 ASB 层次结构概览

9 ASB 设计参考

9.1 系统概览

图 5 展示了一种可能的 ASB 的粗略概览。根据第六章 1.5 和第六章 3.1.2 的要求，RES 继电器的输出直接集成在 SDC (以橙色表示) 和 EBS 执行器供电 (以绿色表示) 中。(译者注：新规则取消了对 EBS 的 SDC 逻辑使用非可编程逻辑电路的要求。)

ASB 本身包括以下几个主要部分：

主控：主控监控 ASB 的状态并执行系统的初始检查。如果出现故障，CPU 会触发 EBS 和/或其冗余系统(第六章 3.2)。

SDC 逻辑部分：SDC 的逻辑以前用于锁存 SDC 断开状态，但自 FSG2023 年规则以来，AS 不再需要这样做。在此示例中，它仅包含一个硬件 Watchdog，用于在 CPU 停止时断开 SDC。

机械部分：ASB 的机械部分被定义为电气系统和车辆制动系统之间的连接。它存储紧急制动激活的能量，并在触发 EBS 时将其释放到制动系统(第六章 3.1.3)。它还可能包含额外的部分，以在操作期间提供定量的制动力。根据系统要求，它还必须包括一些用于监控和初始化检查的传感器 (第六章 3.2.4)。

在以下各节中，将描述上述部分以及有关规则的一些更详细的设计方面。

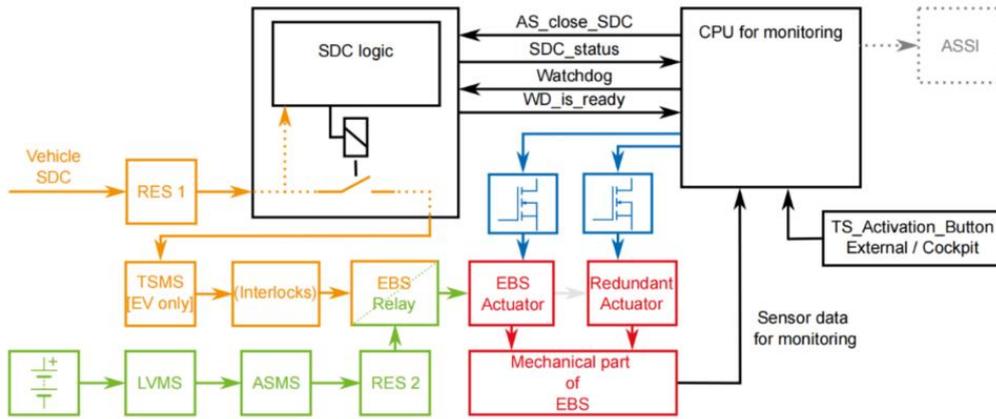


图5 通用ASB概览

9.2 EBS 供电

图6显示了规则第六章3.1.2要求的EBS供电（绿色）。此外，图6显示了如何将继电器集成到SDC（橙色）中。设计SDC的关键之处在于，当SDC开路时，EBS继电器不得有延迟。该系统的设计方式必须确保第五章7.1.5中提到的延迟仅适用于AIR，而不适用于EBS继电器。最后，供电包括两个功率放大器/MOSFET（蓝色部分）。这些额外的开关需要满足第六章3.2的要求，并使监控器能够独立测试两个驱动路径并确保系统冗余工作。

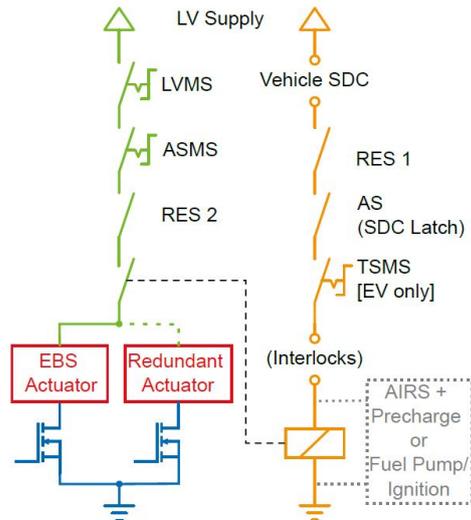


图6 规则第六章3.1.2的实现：EBS供电

9.3 主控

如前所述，主控应当：

1. 监控系统故障
2. 在单点故障的情况下将系统转换到安全状态(第六章3.2)。
3. 为AS提供EBS状态信号。

为此，它需要EBS机械部分中的传感器来监控系统的状态。传感器信号可以是例如：制动管路压力信号（例如初始化检查使用）、气瓶压力（例如系统连续监测使用）等。

对主控（额外）的监控：

主控对系统失效进行监控以满足第六章 3.2。因为主控是一个关键部件，并且会产生单点故障，所以需要额外的监控。主要的监控方法包括：

- 外部看门狗（推荐）：一个好的解决方案是使用外部看门狗，如图 7 示例所示。它不能被软件停用，并且可以在启动时轻松检查其功能是否正常。
- 内部看门狗：不建议使用内部看门狗，只有当看门狗信号丢失可以确保 SDC 断开时才可以使用内部看门狗。此外，在软件设计中需要确保它不会被意外停用。
- 第二个 CPU：可以使用车辆中的第二个 CPU，前提是它可以与主控通信并且能够独立于主控断开 SDC。在这种情况下，两个 CPU 之间会互相发送心跳。如果其中一个失效，另一个需要断开 SDC。

信号示例：

在此参考示例中，主控需要处理与 SDC 逻辑部分的接口。使用了以下信号：

- “AS_close_SDC”信号用于在所有系统检查完成且系统准备就绪后通过 TS 激活按钮激活 TS，见 FS 规则 EV4.11.3（中国赛没做要求）。
- “Watchdog”信号是强制性的，以确保主控正常工作。该信号必须连接到 CPU 并由软件定期切换以保持动态信号。否则，SDC 将被断开。如果检测到故障，该信号还可用于由主控断开 SDC。（例如，通过将相应的 CPU 输出脚切换为第三态，或停止切换）
- “WD_is_ready”用于监视逻辑的内部状态并执行初始检查以确保看门狗工作正常。
- “SDC_status”用于监测 SDC 的状态

初始化检查程序：

初始化检查是必要的，以检测在车辆尚未进入 AS Ready 并制动时是否存在故障并确保此操作期间的安全。这些类型的故障大

多是由于错误组装而导致的故障，例如执行器未连接至制动踏板。对于冗余系统，两个系统必须独立工作执行此检查序列。例如，通过系统 1 激活制动、停用制动、通过系统 2 激活制动并检查两者是否建立制动压力。以下步骤是初始 EBS 检查程序的简短示例：

1. 启动 watchdog
2. 等待 watchdog 响应 (“WD_is_ready”信号置高)
3. 停止 watchdog
4. 检查“WD_is_ready”是否置低。否则报故障。
5. 再次启动 watchdog
6. 检查 EBS 储能是否充足。否则报故障。
7. 检查制动压力是否正确建立。否则报故障。
8. 通过“AS_close_SDC”信号使能 TS 激活按钮
9. 等待 TS 激活
10. 切断 EBS 执行器 1 使能（图 6 中蓝色 MOSFET)
11. 检查制动压力是否仍正确建立。否则报故障。
12. 再次使能 EBS 执行器 1
13. 断开 EBS 执行器 2 使能（图 6 中蓝色 MOSFET)
14. 检查制动压力是否仍正确建立。否则报故障。
15. 再次使能 EBS 执行器 2
16. 转换至准备完成状态

持续监控：

在运行过程中需要持续监控以检测典型故障，如电缆或气动管线破裂。监测的典型值是机械部件的能量存储和 RES 的状态。在触发 EBS 的情况下，还必须检查 EBS 的功能。如果没有建立足够的制动管路压力，则必须激活冗余系统（如果两个系统不会一起触发，如图 6 中的示例）。

例如，持续监控的信号应包括：

- 制动能量的存储，例如气瓶压力
- 制动管路压力
- 阀门的机械状态
- 传感器信号的合理性

- 制动传递函数
- CAN 总线上的 RES 状态
- 等等

9.4 SDC 逻辑

前言：这里的逻辑实现只是一个例子。它也能以其他方式实现。

由于 2023 规则中删除了不可编程逻辑的要求，因此规则中的 AS 中没有要求该部

分逻辑。之前规则中要求的锁存功能包含在 TS 激活规则（FS Rules EV4.11.4，中国赛并没有整合 TS 规则，此处规则可以参考 TSAL 部分第五章 5.10.15）中。尽管如此，该参考设计仍然包含一些围绕外部看门狗的逻辑，如图 7 所示。但由于这个电路很琐碎，所以只提到一个注意点：看门狗的状态不应该直接连接到 CPU，因为如果 CPU 发生故障，CPU 引脚可能会引起看门狗输出的过载。为了避免这种情况，应在两者之间添加逻辑门或足够大的电阻。

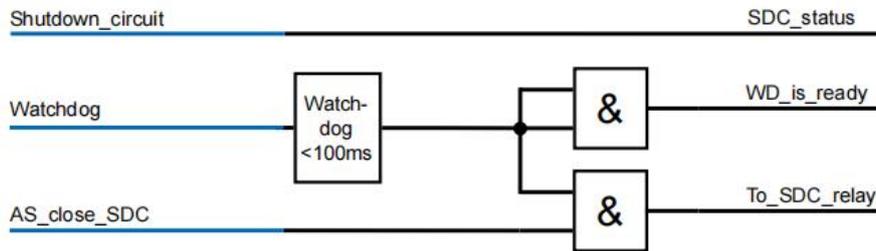


图 7 SDC 逻辑图

9.5 机械部分

机械部件的设计必须使 EBS 存储的制动能量在没有电力帮助的情况下释放（第六章 3.1.3），以确保在断电情况下 EBS 的性能。能量存储可以通过例如弹簧、气压或液压实现。

激活 EBS 的一个好方法是释放反压力，该反压力对抗存储的制动能量。对于正常操作/制动释放，该能量存储必须是可拆卸的，例如通过机械断开，或通过压力释放（第六章 3.1.6/FS Rules T15.1.7）停用。由于该存储是 EBS 的关键部分，因此必须在驾驶时持续监控其状态。

个输出级来确保，即使 SDC 失效也能通过主控的 CPU 触发 EBS。为防止主控 CPU 失效，EBS 可以被 watchdog 自动触发。

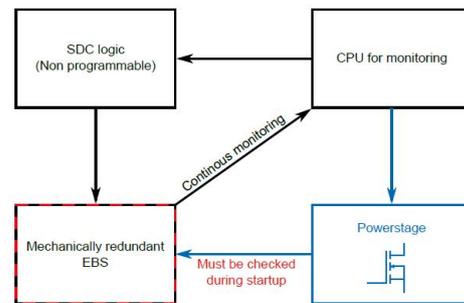


图 8 完全冗余 EBS 的示意图概述

在机械方面，冗余取决于所选的系统。以下示例区分了两种情况：

9.6 冗余性

完全冗余的 ASB：

完全冗余的 EBS 意味着有两个独立的系统并行满足 EBS 要求。因此，即使发生单点故障（FS Rules T15.3.3），系统仍然能够进入安全状态。在电气侧冗余可以通过第二

1.主动施加制动能量：

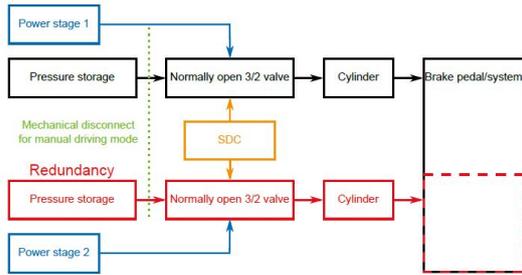


图 9 主动施加制动能量

图 9 显示了主动施加制动能量的 ASB。就气动系统而言，制动能量储存在压力罐中，并通过常开阀门和气缸释放到制动系统。只有在阀门通电时才会取消制动。要进入手动驾驶模式，要么必须去除压力，要么必须机械断开压力罐。

为避免共因故障，冗余系统由两个独立但相同的系统组成。唯一的共同部分是与车辆制动系统（制动踏板）的连接。这种连接的设计方式必须确保在所有可能的情况下都有足够的安全系数。

2.消除反作用力:

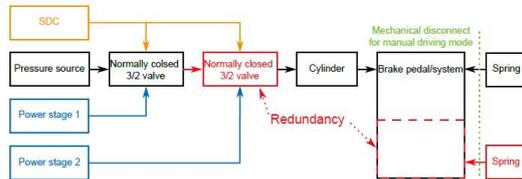


图 10 消除反作用力，使制动器保持非制动状态

图 10 显示了带有常制动制动器的 ASB，例如通过额外的弹簧实现。取消制动需要施加能量。这可以通过气动或液压来完成。对于该系统，不需要明确的压力存储，因为压力损失会导致安全状态。只有弹簧和压力释放阀必须设计成冗余的。弹簧和制动系统之间的机械连接的设计方式必须确保在所有可能的情况下都有足够的安全系数。

要进入手动驾驶模式，弹簧必须是可机械拆卸的，或者对于气弹簧，压力必须是可释放的（记住第六章 2.4）。弹簧的状态可以通过在制动器接合时建立的制动压力来监控。对于具有可释放压力的气弹簧，必须直接监控压力本身。

非 EBS 执行器作为冗余:

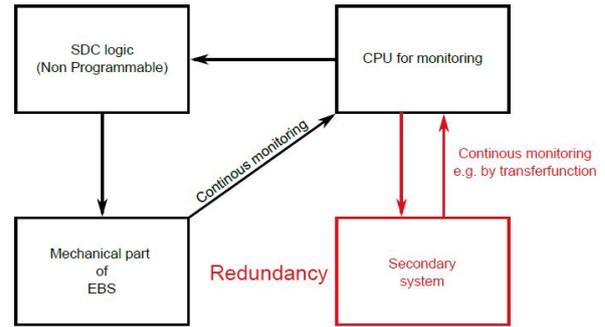


图 11 辅助系统作为冗余的示意图概述

如果车辆配备了其他不满足 EBS 要求的用于可变制动力制动的执行器，也可以将它们用作 EBS 的冗余。由于这些执行器是 ASB 的一部分，因此还必须监控所有故障并在发生故障时触发 EBS。如果在操作期间经常使用执行器，则连续监测的充分方法是检查传递函数（制动压力与执行力）。

9.7 可测试性/车检

由于每个检查的时间有限，本节应该为您提供一些如何加快技术检查的提示。如果对系统进行充分测试所需的时间太长，则需要重新排队。

SCS:

由于 ASB 的所有信号都被认为是 SCS，因此在技术检查时必须可以绕过这些信号并对其进行操作。这可以通过为每个信号使用单个连接器来完成，或者如果使用多针连接器，则可以通过提供用于技术检查的分线盒来完成。

可触及性:

ASB 的所有部件都应易于接近，而无需过度拆卸车辆。尤其是所有机械 ASB 相关部件和车辆制动系统旁边的所有液压/气动部件。所有零件必须正确连接到车辆上。

EBS 触发:

在检查期间，您的 EBS 将被多次触发。为了尽快完成此测试，您的系统应该能够连续执行多个 EBS 测试，或者您应该能够快速重新填充您的系统。

包络面保护(第二章 3.3 防滚架保护包络面):

确保您的系统符合 FS Rules T15.1.2 (中国赛暂无相关规则, 但建议按照此规则设计), 因为与规则的这方面相关的问题通常很难修复。

过压保护 (T9):

通常使用泄压阀(溢流阀)来实现过压保护机制。建议使用具有不可调节(固定)溢流压力阈值的阀门, 而不是具有可调节溢流压力阈值的阀门。对于固定阈值, 检查数据表就足够了。对于可调节阈值, 需要在车

检期间展示所设置的当前值。

9.8 示例

警告: 本节中的效果图 12 由电气工程师绘制。它们仅用于示例目的, 并不意味着您需要原封不动保持一致。

本节将粗略概述 ASB 的实施方式。重点是机械部分, 因为在原文已经阐述了电气要求。

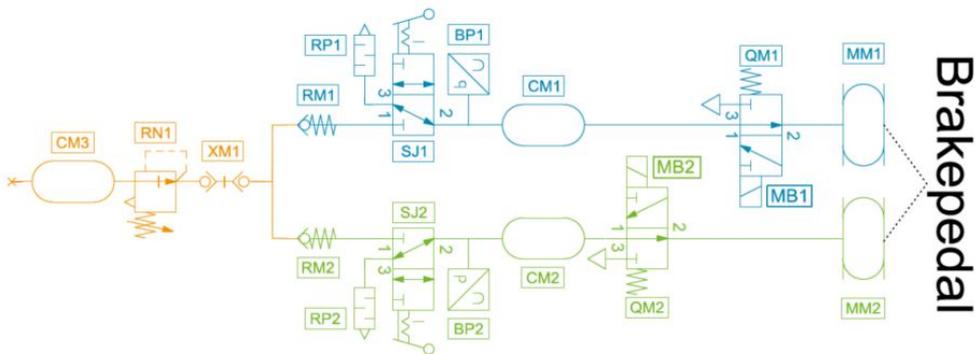


图 12 气动原理图示例

气动系统:

图 12 显示了 ASB 气动部分的示例实现。它由公共供电(以橙色表示)、EBS(以蓝色表示)及其冗余(以绿色表示)组成。系统通过两个气动肌腱(译者注: fluid muscle, 一种轻量化的气动执行元件, 尺寸远小于同性能的气缸)(MM1、MM2)驱动制动踏板。冗余由两个独立的压力罐 CM1 和 CM2 确保, 它们通过止回阀 RM1 和 RM2 分离。每个压力罐必须至少包含足够的能量来执行紧急制动操作。仅使用一个压力罐是不够的, 因为单个压力罐出现故障还可能降低源上的压力, 这可能无法为制动操作提供足够的能量。由于两条路径都有一个能量存储, 因此都需要一个停用机制。在这种情况下, 停用是通过手动阀(SJ1、SJ2)完成的, 该阀可

断开压力源并为压力罐排气。两个压力罐都配备了压力传感器(BP1、BP2), 以确保有足够的压力来执行紧急制动操作。如果某一压力低于其限值, 则需要断开 SDC 以激活 EBS。此激活将由满足 EBS 供电要求的 QM1 进行。QM2 可以与 QM1 并行启动, 也可以单独启动, 因为它不需要满足 EBS 要求。它也可以是用于可变制动力制动的压力控制阀。对于整个回路的功能, 有多种不同的选择。一种常见的选择是使用高压气瓶。

另一种选择是通过车辆内部的小型压缩机填充压力罐。但是在这里您需要确保压缩机由 ASMS 供电并且不需要太多时间来填充压力罐, 因为您只有 1 分钟。在车内进行此操作的话, 最重要的就是气动系统始终满足规则 T9 的要求。

认证：

规则要求高压设备和储罐应进行相应的认证和标记。因此，您应确保压力罐符合法律要求、额定值正确且未过期。这会在比赛中被检查，可能会给你带来很多麻烦。请记住，如果没有“PI”认证，则不允许在德国的公共场所运输高压钢瓶。

连接到制动系统：

气动部分和车辆制动系统之间的机械连接有多种解决方案。本指南展示了三种可能的方案：

- 通过制动踏板（图 13）
- 通过第二个制动主缸（图 14）
- 通过直接连接的气液增压缸（图 15）

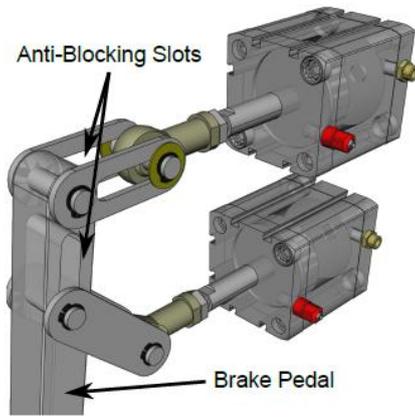


图 13 两个直接连接到制动踏板的 ASB

最明显和最简单的解决方案是将 ASB 执行器直接连接到现有的制动踏板上，如图 13 所示。唯一需要牢记的是：机械设计必须足够坚固，以保证不会出现故障。按照设计，执行器必须不可能相互阻挡或阻挡手动制动操作。因此，强烈推荐如所示的防阻塞槽的机制。

另一种选择是 ASB 执行器与制动踏板解耦，参见图 14。如果踏板后面空间不足，这将非常有用。在最简单的版本中，驱动器由作用在附加主缸上的气缸组成。为了处理冗余和两个制动回路，需要使用两个主缸。这也允许以不同的压力启动两个制动回路，以优化制动平衡。把附加主缸集成到制动系统中时需特别注意：这通常可以通过梭阀来完成。在任何情况下都必须确保可以手动制

动。

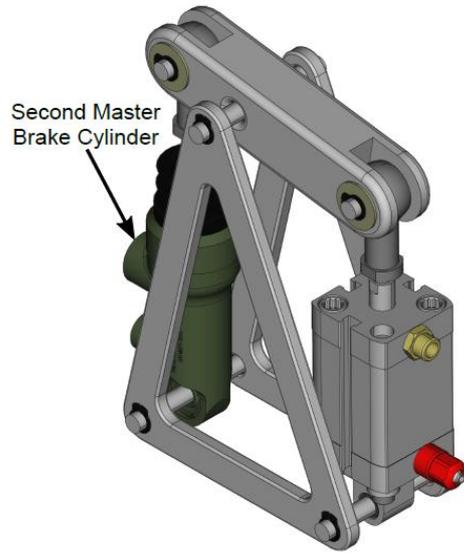


图 14 通过附加的制动主缸实现的制动执行器

将先前的解决方案更进一步，还可以将气缸和液压缸组合成一个整体。由于这通常需要一个完全自制的部件，因此只有当您确切地知道自己在做什么时才应采用此选项。失败的可能性非常高。选择材料时必须特别小心，因为它们需要耐制动液。因此，特别是密封材料必须在 ASF 中说明。

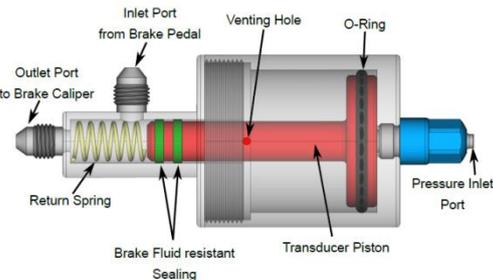


图 15 通过气液增压缸实现的制动执行器

10 转向系统

由于转向系统由 AS 控制，因此需要采取一些安全预防措施以避免意外启动：

转向系统（或转向系统的功率信号，即非控制信号）的供电需要由 ASMS 直接控制，详情参见第 3 节。这将特别保护车手在手动驾驶中免受 AS 意外驱动转向的影响。

此外，当车辆未处于 R2D 状态时，AS 的逻辑应为不执行任何转向操作参见第六章 2.3.1，以保证即使 ASMS 处于开启状态时车辆周围仍然安全。一旦车辆处于 R2D 状态，即使车辆仍处于静止状态，AS 也可以以任何方式启动转向系统。请记住，在这种情况下，移动转向柱/连杆的扭矩会非常高。因此，强烈建议不要使用在启动时需要执行校准（例如，以确定直线行驶的参考角度）的转向执行器。有且仅有一种例外情况，车辆可以在未处于 R2D 状态时执行转向操作（但不强制要求），即当车辆已经处于 R2D 状态后，触发紧急制动时（激活 EBS）允许转向驱动器继续动作直到车辆安全停下（此时因为 EBS 激活，SDC 断开而丢失 R2D 状态），以保持稳定的驾驶状态。参见第六章 2.3.2。

除上述内容外，转向系统还需要设计成只要 ASMS 切换到“OFF”位置，就可以在方向盘上进行手动转向。这在手动驾驶期间尤其需要（详见第 13 节），以防车辆在动态赛中发生故障并需要由赛道裁判迅速将其从赛道上移开。特别是在第二种情况下，只有 ASMS 在移动车辆之前才会切换到“关闭”位置，以免对动态赛造成进一步拖延。

11 执行器解耦

为了简化设计过程，允许在手动驾驶时断开 AS 的执行器。因为手动制动必须保持持续可用的状态（见 FS Rules T15.1.4，中国赛暂无），所以这主要针对转向执行器，以在手动驾驶时实现较低的转向力。但是必须始终确保这种分离不会给手动驾驶者增加额外的危险。因此方向盘必须始终保持连接状态，并且必须避免该解耦机构在驾驶时移动（见第六章 2.4）。在设计该机构时，还应该考虑避免车手意外操作该机构的情况（译者注：即在驾驶过程中意外连接转向系统和转向执行器）。这不是规则要求的，但如果对驾驶员的安全有影响，则在车检过程中可能会被检查或要求修改。此外，考虑设有一个易于检查的指示器会更好，该指示器可提供当前位置的反馈（机械或电气均可）。这可以在发车区激活 AS 之前，检查解耦装置

是否处于正确的状态。

提示：为了解耦转向系统，由 ASMS 直接控制的电磁离合器可能是一个简单而可靠的选择。

12 传感器与电气零部件安装

根据第六章第四节，传感器和电气元件必须正确安装并位于限制区域内，请参见规则的图 3 和图 16。两幅图所描绘的区域相结合定义了所有电气组件（包括 AS 使用的传感器）的可能位置。它规定了最大设计面积，以防止夸张的设计。为了实现技术上合理的定位，天线被授予例外。为了在手动模式下安全操作，任何传感器和电气部件都不允许与驾驶员头盔接触，以避免发生碰撞时突出。通常在车检期间由最高的驾驶员检查这一点。

13 手动驾驶

无人驾驶车辆的手动驾驶模式旨在避免执行器的任何部分在 AS 的命令下移动而造成伤害。通过选择手动任务，系统知道驾驶员在车辆中并且应当进行适当的检查。为了防止人为错误并提高整体安全性，系统需要确保满足以下条件：

- ASMS 关闭（所有执行器无供电）。这可以通过测量 ASMS 执行器侧的电源电压轻松完成。
- ASB 无法与制动系统交互。这需要通过使用适当的 ASB 传感器信号的检查来确保，见第六章 1.5。
- 可以手动转动方向盘。

总而言之，车辆的行为应与未配备 AS 但仍进行一些额外监控的车辆相当。AS 中所有不干扰手动驾驶的部分（特别是处理单元和传感器）都允许处于活动状态。

14 启动流程

为了尽可能高效的进行动态赛，规则 FS Rules D2.6（中国赛暂无）定义了一个通用启动程序，它也限制了车辆从进入发车区到“AS Ready”的时间。因此，作为车队，您应

该尽量减少排队或直接在起跑线上所需的准备时间。这不仅对赛事进程有利，而且还降低了失败的可能性。

一个典型的启动程序（由 ASR 操作）如下：

1. 在 P 房内检查并填充 ASB 能量存储
2. 在 ASMS 和 LVMS 在“OFF”位置并且 ASB 分离或解耦（例如关闭阀门）的状态下，将车推到动态区
3. 进入准备区域后，打开 LVMS 并检查/设置 AS
4. 选择将要执行的无人驾驶任务（严禁使用外部设备，见第八章 12.8.4）
5. 通过“e-key”选择合适的 RES 模式（练习或比赛），详见下文
6. 排队进入发车区。LVMS 可以保持在“ON”位置
7. 确定 RES 使用了正确的“e-key”
 - a) 练习 key: 车检或测试
 - b) 比赛 key: 动态赛 (FSG 官方提供)
8. 车辆在起跑线上正确摆放并经裁判允许后，连接或使能 ASB，例如开启阀门
9. 再次检查转向执行器是否已连接到转向系统
10. 通过 AMI 检查 AS 是否成功选择了正确的任务，以及 RES 是否选择了正确的模式
11. 在赛道裁判的指令下闭合 ASMS 并激活 TS。(提示：需提前检查急停开关和 RES)
12. 带着 RES 离开车辆前往 ASR 指定区域
13. 等待车辆进入“AS Ready”状态，并在赛道裁判的指令下通过 RES 发出“Go”信号

(译者注：“e-key”为 FSG 官方新版 RES 功能，中国赛暂无)

15 数据记录仪 (datalogger)

(中国赛暂无) 数据记录器的目的是在发生故障时理解和重现系统状态，例如由于 RES 的范围丢失，紧急制动系统(EBS)被触发。为此，比赛手册中定义的一组基本信号和一组必须由 ASB 监控的车辆个体信号将由数据记录仪记录。为了能够评估记录的数据，您需要提供一个 DBC 文件，该文件为上述所有信号提供定义。更多关于数据记录仪的

提示可以在比赛手册中找到。

16 无人驾驶系统表格 (ASF)

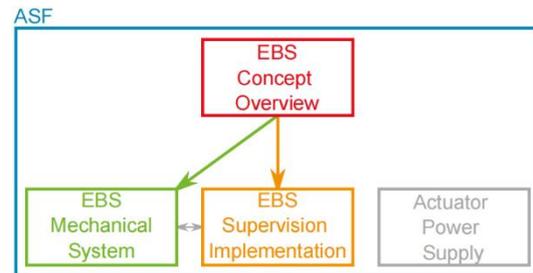


图 16 ASF 概览

ASF 是 AS 的综合文档，必须在比赛前上传。其主要目的是在比赛开始前检测难以纠正的故障。因此，ASF 将专注于 ASB 的实现，因为它的实现是最复杂的，并且容易失效。

为了确保 AS 所有其他未经审查的部分都按预期工作，强烈推荐根据上一年的车检表提前检查所有技术检查点。

ASF 的另一个目的是提前为 ASB 确定测试用例，并拥有适当的文档以简化车检。为了生成此文档，ASF 包含多个需要准备且具有特定格式的文档。为了提供对文档的共同理解并统一文档，必须遵循一些规则。这些规则和一些示例可以从 ASF 的示例文档中导出。这些内容全年都可以找到，ASF 页面上还有许多关于 ASF 的其他信息。(译者注：中国赛 ASF 以官方模板为准)

17 车检

车检旨在检查车辆的规则合规性。大部分规则旨在让比赛和整个赛季，对车队和裁判来说是安全且高效的。此外，规则还确保车辆的某些功能性能等同以确保公平并上演精彩的比赛。在车检期间，将检查大部分与安全相关的功能，但请记住，**通过车检并不能证明符合规则！**此外，还可能在动态赛期间和结束后进行进一步检查。如果车辆违反任何规则，它可能会被取消资格(DQ)或受到处罚。

车检的无人驾驶相关部分分布在机械

检和电检之中。(译者注：中国赛目前是单独的无人系统检)前者负责检查传感器位置、机械 ASB 设计和安装。后者检查无人驾驶系统的其他所有方面，例如 ASB 整体的设计，传感器诊断以及无人驾驶车检任务。无人驾驶车检任务用于在车检区域模拟完全运行的 AS，同时使所需传感器输入最少。它不应依赖于所有感知传感器或有效 GPS 信号。此任务检查诸如正确的 ASSI 功能和安全功能之类的主题。这里主要关注的是 ASB。特别是检查功能安全，以避免导致整个 ASB 无法工作的严重故障。在此测试期间，将断开多个传感器和执行器的连接以查看系统响应。

有关车检的详细信息可以从比赛前从 FSC 网站或队长群下载的车检表中获取。在整个赛季中，您可以参考去年的检查表（见 FSC 官网-资料查询-电车-2023FSEC、FSAC 技术检查表）作为初步信息来源。

无人检的最后一部分是紧急制动测试。它检查车辆在动态条件下是否能提供所需的制动性能（见 FS Rules T15.4.2）。第二章 7.2 中描述了测试的细节。