

白皮书

为全球运输的未来 提供动力

电动汽车充电解决方案



Safety. Science. Transformation.™

© 2025 UL LLC 版权所有

作者

Joe Bablo
首席工程经理

Ken Boyce
副总裁兼首席工程师

目录

引言	03
传导式充电	05
电动汽车充电现状	07
现行标准概要	16
新技术	21
总结	27

引言

电动汽车的复兴大约始于 2009 年。在过去的 15 年里，电动汽车在全球范围内持续增长。世界各国政府都在施行相关政策，力图到 2030 年让更多的电动汽车上路。公众对电动汽车的接受度和使用率正在逐渐上升。世界各地政策聚集于交通运输车辆的脱碳，同时行业内部在积极探索新的、更环保的技术。所有这些因素都预示着电动汽车的未来充满了希望和光明。

如今，数千万辆电动汽车正行驶在路上，而且这一数字还在不断增长。如图 1 所示，中国仍然是重要的市场，其次是欧洲和美国。电动汽车在使用前需要充电，且大多数电动汽车都采用外接接口进行充电。目前全球各地已有数百万座充电站，而政府和私人业主的投资也推动了充电站的快速建设。随着电动汽车保有量的持续增加，为更多车辆提供更快速和更便捷的充电服务将成为充电站设计和建设时的重要考量。

在过去的 15 年里，我们看到了电动汽车及其充电技术领域取得了显著进展，主要体现在基础设施的建设和缩短充电时间上。其中，我们也获得了很多宝贵的经验，如：充电产品的实际使用情况、行业的理想实践以及使用过程中可能出现哪些类型的滥用等。在这个不断发展的过程中，与电动汽车及充电技术的相关设备和安全规范开始趋于稳定。然而，近期新技术和新理念不断涌现，突破了现有要求，促使我们需要以新的角度审视电动汽车的充电技术。

本白皮书将探讨电动汽车领域现行的标准和设备，以及未来电动汽车领域的发展趋势。本讨论将主要集中在北美和欧盟 (EU) 的标准上，以及适用的其他进口市场的信息。

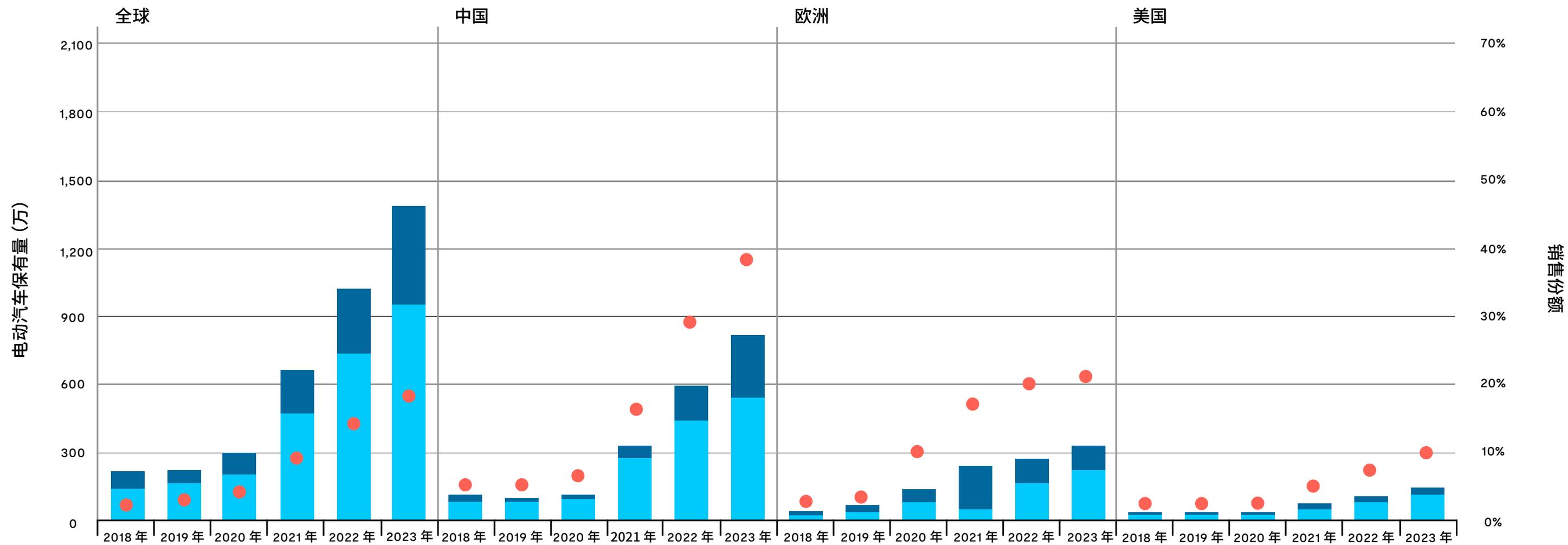


图 1: 全球电动汽车分布情况

资料来源:
国际能源署

● 纯电动汽车 ● 插电式混合动力汽车 ● 销售份额

传导式充电

近年来，电动汽车的充电主要通过有线传导方式实现。尽管如今用于传导式充电的设备类型已经非常成熟，但为了更好地对比即将实施的新技术和创新，本文仍简要地回顾了一下传统的传导式充电方法。

在传统的传导式充电设备中，用户需要进行物理连接才能将电力传输到车辆。这种连接方式需要通过将车载连接器与充电口物理匹配来实现。该连接可用于传输交流电 (AC)，需要车载设备将交流电转换为直流电 (DC) 后为车辆电池充电。该连接方式也可以直接传输直流电为车辆电池充电，而无需车载充电器。具有交流电输出的非车载设备通常被称为电动汽车供电设备 (EVSE)，因为它不直接为电池充电，而是向电动汽车供电。具有直流电输出的非车载设备则被称为电动汽车充电设备或充电器。

电动汽车充电是一个复杂的过程，涉及通信协议、充电事件控制、电池管理及保护系统，这些因素使得此类充电设备的复杂度远超传统的通用电池充电器。此外，传导式充电设备也并非千篇一律。车载连接器和充电口的不同物理输出配置决定特定设备所使用的相应通信和充电协议。

充电设备（非车载）连接电动汽车并传输电力（无论是交流电还是直流电）都需要该设备与车辆之间进行通信，以确保电力传输的安



全性。通信协议较为复杂且涉及许多信息，以确认传导连接是否建立、车辆与非车载设备是否可以根据电池状态和基础设施限制就充电功率水平达成一致以及是否同步（有时称为“握手”）以启动和停止充电事件等。在北美的终端产品安全标准中，所采用的方法是确保非车载设备在车辆通信出现错误时能够降低风险或失效安全。北美汽车行业实行自我监管，汽车通信系统的充裕度（包括其效能、可靠性以及汽车滥用、损坏、天气或改装带来的长期影响）完全由行业自行决定。由于非车载充电设备的认证评估未将车辆纳入评估范围或未对车辆进行验证，因此无法依赖车辆的通信，所以非车载设备必须自行降低风险或在安全模式下失效。国际电工委员会 (IEC) 的标准也是如此，即不依赖车辆的通信来保证安全，无论车辆的通信情况如何，系统都必须能够降低风险和 / 或实现失效安全。

为了保障用户及公众的安全，所有非车载设备都需配置相应的保护系统。该系统重点保护在电力传输过程中触摸车辆及充电设备时直接接触危险电压、电流和 / 或能量部件的用户。在北美，保护系统包括能够监控车架、车辆连接及非车载设备的系统，一旦运行超出正常参数，系统将立即终止充电事件。这个过程是通过与电动汽车的传导连接来实现的。由于非车载设备在电力传输过程中与电动汽车有物理接触，因此该设备能够对车辆进行监控。在 IEC 标准中，保护系统可能是单一组件或更加复杂的系统。尽管北美和 IEC 标准中规定的保护系统并不完全相同，但总体概念和方法是相似的。

此基准为未来技术的讨论奠定了坚实的基础，并成为探讨未来技术将如何影响标准和安全方法的纽带。





电动汽车充电现状

在电动汽车发展的初期,电动汽车供电设备 (EVSE) 构成了大量的充电基础设施。最初推向市场的产品是随车附带的便携式充电器,设计用于随车携带,需要充电时取出。充电完成后,这些便携式供电设备应被收回车内的存放区域,待下次充电使用。由于功率较低,它们可以接入任何可用的插座,因此车辆能在任何地点随时充电。然而,由于功率限制,这类设备的充电时间较长,通常被视为过夜充电设备。

充电技术的进一步发展提升了功率,壁挂式、住宅充电站和公共充电基础设施开始普及。这些设备虽然仍提供交流电输出,但功率水平更高,将充电时间从过夜缩短至几小时。

此外,市场上也逐渐兴起了对直流充电器的需求,这些充电器提供比交流充电站更高的直流功率和更短的充电时间。直流充电使车辆能在一小时或更短时间内完成充电,让驾驶员减少由于离家或常用充电点过远所带来的里程的担心和焦虑。这种充电方式通常被称为“快速充电”,随着时间发展,它还有了“闪充”和“涡轮”充电的别称。

如今,这两种充电技术都已广泛普及,并且相关的公共充电基础设施已经基本建立,供有需要的电动汽车车主使用。

交流电输出设备——电动汽车供电设备

电动汽车供电设备 (EVSE) 有便携式、可移动式 and 固定式三种类型。便携式设备可以随车携带, 通常放置于车内, 以确保车辆随时都能充电。可移动设备通过电缆和插头连接, 常常安装在车库、车棚或其他住宅区域的墙上。如果车主出售车辆或迁移居住地, 充电器可以随车转移, 但并非设计用于频繁移动。固定设备则多见于公共停车场或办公场所, 通过固定在地面或柱子上来安装, 且与电源永久连接, 不使用任何电缆和插头。固定设备的功率通常高于使用电缆和插头的设备, 因为与后者相关的限制不适用于固定式的电动汽车供电设备。

无论何种类型, 电动汽车供电设备本质上都是一种传输设备。这意味着此类设备要提供控制、监控以及通信功能, 而其输入和输出的电气额定值基本相同, 因为其内部不会进行电力转换。

为了将交流电输送到车辆, 需要一种将非车载设备与车辆进行传导式连接的方法。这种连接并不像设备插入墙壁一样简单, 而是需要多个接触点来完成电力、通信、导引和接地连接。为实现这一点, 需要使用特殊的连接配置。

电动汽车供电设备的传导式连接依赖四个核心组件: 电动汽车插座、电动汽车插头、车载连接器和车辆充电口, 这些都被归类为配件。详见图 2。

电动汽车供电设备与电动汽车之间的连接方式有两种。在这两种方式中, 电缆都与车载连接器永久性连接。两种方式的区别在于电缆的另一端。在一种方式中, 电缆永久连接到供电设备, 根据 IEC 标准, 这被称为 Case C; 而在另一种方式中, 电缆的末端为电动汽车插头, 可插入供电设备上的电动汽车插座, 根据 IEC 标准, 这被称为 Case B。这两种方式不能互换, 具体取决于电动汽车供电设备的设计。通常, 北美采用 Case C, 即电缆固定连接到供电设备; 欧盟则采用 Case B, 即电动汽车供电设备设有插座, 车主需自带电缆以连接到供电设备和车辆。这并非强制要求, 因为北美和欧盟均允许这两种连接方式, 它更多是行业内的市场选择。

不论采用何种连接方式, 为了向车辆传输交流电, 北美和欧盟主要采用两种交流电配置: SAE J1772/Type 1 配置和 Type 2 配置。

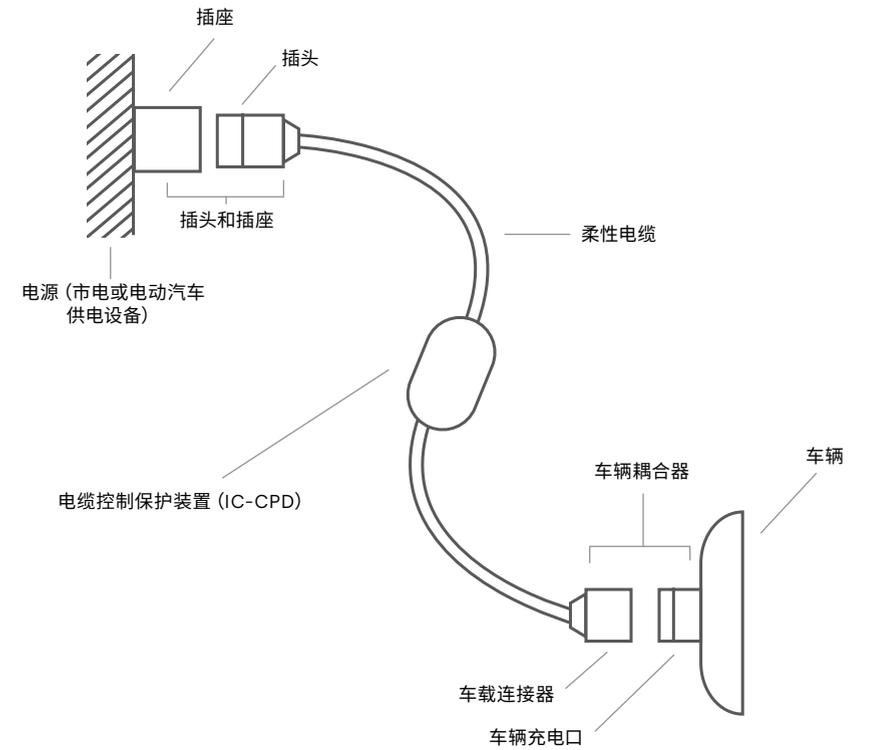


图 2: 电动汽车供电设备配件

在北美, 电动汽车供电设备采用单相电连接至车辆。这种单相配置在北美被称作 J1772 连接器, 而在 IEC 标准中则被命名为 Type 1 连接器。J1772 名称源自 SAE J1772, 即《电动汽车及插电式混合动力电动汽车的传导式充电耦合器》, 该标准规定了配件的物理及功能要求。Type 1 则来自 IEC 62196-2 标准, 即《插头、插座、车载连接器和车辆充电口——电动汽车传导式充电——第 2 部分: 交流电针脚和触点配件的尺寸兼容性要求》, 其中包括与 J1772 相同的配置, 但被指定为 Type 1 型。

在欧盟, 大部分电动汽车供电设备采用三相电源供电, 但部分设备也使用单相电源供电。欧盟常见的是 Type 2 配置, 根据接线不同, 可供三相或单相电源使用。Type 2 配置详细信息可见 IEC 62196-2 标准。无论是 Type 1 还是 Type 2 配置, 它们在电动汽车供电设备中的应用都采用了相似的通信协议, 该协议要求连接处设有两个通信触点。因此, J1772/Type 1 配置包含五个触点: 两个供电触点、一个接地点和两个通信触点, 如图 3 所示。而 Type 2 配置则有七个接触点, 使用三相电源, 包括三个供电触点、一个中性触点、一个接地点和两个通信触点, 如图 4 所示。

对于北美和欧盟市场, 这些交流电配置是以传导方式传输电力至电动汽车的常用方式。值得注意的是, 全球其他地区也存在不同的交流电配置, 包括中国, 有些配置可能是某些汽车制造商的专利, 例如原始的特斯拉连接器。



图 3: SAE J1772/Type 1 配置

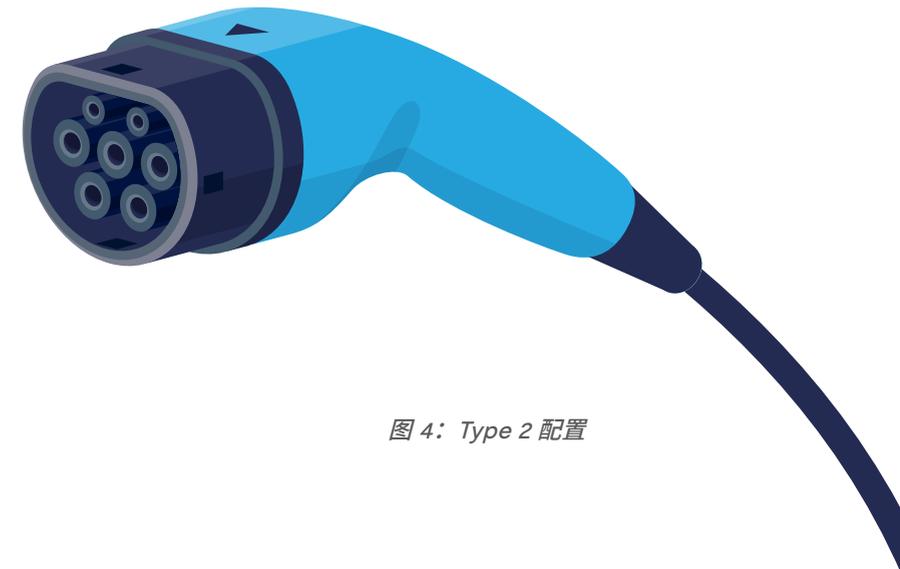


图 4: Type 2 配置



住宅设备——私人使用

住宅型设备通常为为一辆车充电,适用于住宅区的个人或家庭场景。这类设备分为两大类: 便携式和壁挂式可移动电动汽车供电设备。

目前, 住宅充电设备的需求与日俱增。在美国的部分地区, 建筑规范要求新建住宅须具备住宅充电条件, 以便业主在购买电动汽车时能够方便地安装电动汽车供电设备。

商用设备——公共使用

公共使用的充电设备通常设置在驾驶者和车辆都能轻松到达的地方。该设备需要能够为市面上配置了相应车辆充电口的车辆充电, 充电接口与电动汽车供电设备输出车辆连接器的配置相匹配。

直流电输出设备——充电器

直流电输出设备一般为固定式、永久连接的装置。尽管允许使用电缆连接，但直流充电器往往不会采用此类设计。目前的充电器多设置在公共场所，如商业场所停车场、办公场所或汽车经销商停车场等，旨在短时间内完成充电，减轻驾驶者的里程焦虑，使电动汽车更具市场吸引力。这些设备的功率很高，且业界正不断提升这些设备的技术水平。

直流充电器有多种样式，有的集成在单独的柜体中，有的则由多个相连的柜体组成，各自承载充电系统的不同部分。

理论上，充电器的输出额定值可以设定为任意功率水平，但实际上这通常受到充电协议的制约，而这些协议又与电动汽车可以充电的功率相关。例如，如果车辆无法承受 1,500 伏特，600 安培的功率，那么充电枪输出的电力是无效的。目前，在没有主动冷却系统时，考虑的电压是 1,000 伏特，最大电流为 400 安培。若配备了主动冷却系统，额定值可以相应提升 1,000 伏特和 800 安培。此外，另一种输出形式是动态电流控制方式，即 IEC 标准中提到的提升电流技术。在动态电流控制下，直流充电器可以短时间内输出超过额定水平的电流。关于主动冷却和动态电流控制的更多内容，将在后文进一步讨论。

与交流电连接相似，为了向车辆传输直流电，需要在非车载设备与车辆之间建立传导式连接。这些连接也需要多个接触点，用于电源、通信、导引和接地连接。北美和欧盟有三种主要的直流电配置用于向车辆提供直流电。这其中包括前面描述的交流电结构的 Combo Coupler 和 CHAdeMO 结构。CHAdeMO 结构起源于日本，主要用于日本和韩国汽车制造商生产的电动汽车。但在北美、欧盟及其他地区很少使用，主要作为组合式连接器配置的替代方案。

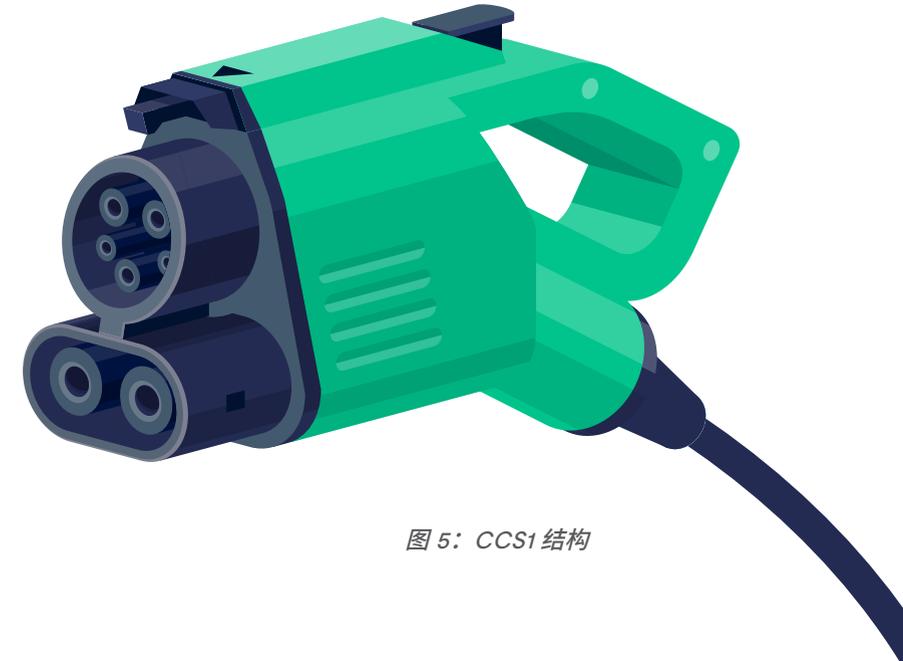


图 5: CCS1 结构

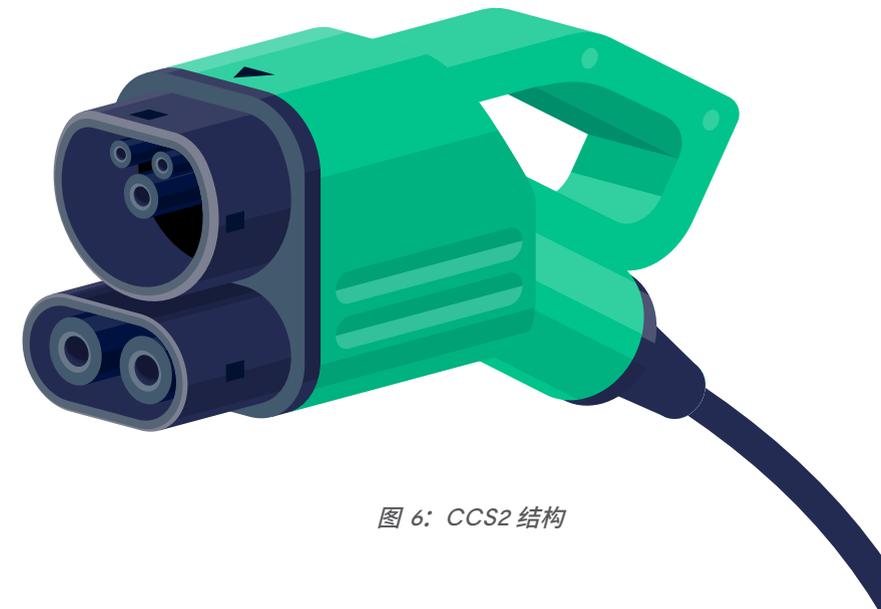


图 6: CCS2 结构

在北美，基于 SAE J1772 的 Combo 连接已扩展包含直流电。在欧盟，Type 2 型配置则被扩展为 Combo 连接器，分为 CCS1（基于 Type 1 型）或 CCS2（基于 Type 2 型）。这种结构的概念是为了在车辆上设置一个尽可能小的充电口，以使用交流电连接器或直流电连接器充电。这两种选项均采用与之前交流电充电连接相同的充电协议、通信体系和接地方式。因此，其新增的仅为直流电正负接触点，如图 5 和图 6 所示。

相较于 Combo 耦合器，CHAdeMO 结构采用了更复杂的通信协议，包含六个通信触点，一个用于监控的功能性接地点和两个直流电触点。这是一种仅限直流电的配置，使用 CHAdeMO 充电口的车辆需要额外的交流电充电口才能进行交流电充电。见图 7 的 CHAdeMO 连接器以及充电口的示例。

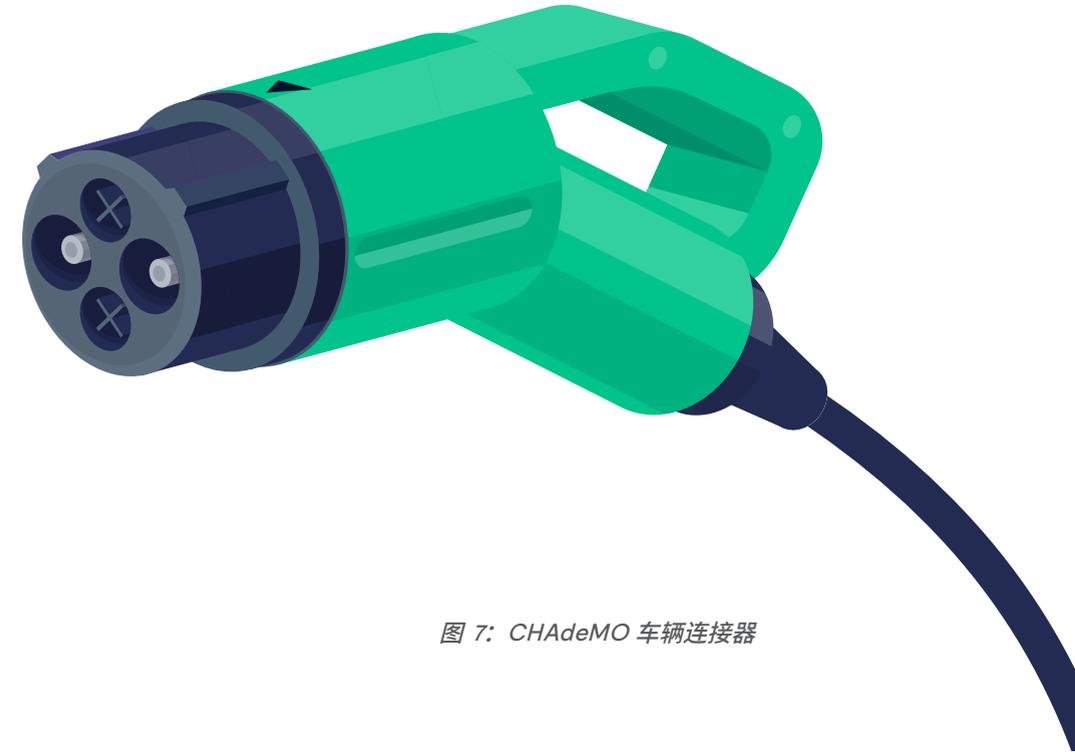
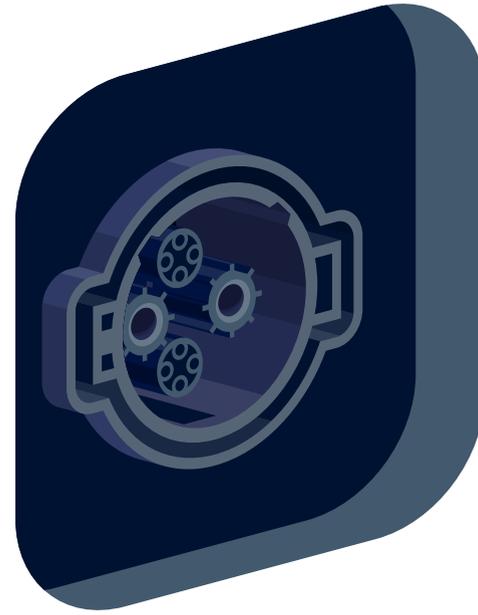


图 7: CHAdeMO 车辆连接器



住宅设备——私人使用

在住宅环境中，使用直流充电器的设备相对较少。这并非因为标准的限制，而是因为最初建设基础设施时，主要考虑的是交流电输出和车载充电，直流充电主要用于快速充电。在引入电动汽车的初期，住宅使用直流电的想法并未得到重视。随着时间的推移，尽管开发较低功率直流充电的住宅应用以取代车载充电器的设想尚未完全成熟，但这个想法逐渐受到关注。

商用设备——公共使用

这类设备通常设置在对驾驶者开放的区域，可为市面上与充电器配置相符的车辆进行充电。这些设备一般为固定式，并且体积较大。图 8 展示了一个带有多路输出的直流充电器的示例。

图 8: 直流快速充电器

主动冷却

主动冷却是直流充电器中一种输出调节技术。在没有主动冷却的情况下，连接至车辆的输出电缆需要有足够的尺寸来应对传输的最大额定电流。电流越大，导体的横截面也需增大，电缆也将相应加粗。这样的电缆不仅重而且在使用中灵活性较差，特别是在寒冷的天气中，铜线还会变得很硬。为了在传输更高电流的同时减小电缆整体尺寸，主动冷却的概念应运而生。

主动冷却为电动汽车带来了一种复杂的工程化充电方案。其概念是在传导电流时通过冷却组件，使导体能够承受比常规更高的功率。这包括冷却直流充电器输出端的电动汽车连接器和电缆。这样一来，虽然使用更细的电缆，但依然能够承载更高的电流，确保电流的安全传输而不损害导体或绝缘层。

为了实现这一点，需要将冷却液通过充电器、电缆及连接器内的管线循环，以冷却连接器的触点和电缆的导体。冷却液还需通过散热系统进行冷却以维持其效能，因此需要将其循环回散热系统所在的充电器位置。如果主动冷却系统出现故障，后果可能非常严重，所以需持续监控系统状态，旨在减少甚至避免潜在风险的发生。这包括至少监控连接器触点的温度，以及与冷却功能相关的多项参数，这些参数的选择取决于充电器制造商。但还是需要通过风险评估来确定这些监控参数是否足以降低冷却系统的相关风险。充电器本身也需能够监控整个系统，确保运行参数始终低于指定限值。如果任何参数超过了运行限值，充电器将会自动关闭或降低输出功率。在没有主动冷却的情况下，运行限值基于输出电缆所能够承载的电流额定值，这些额定值不需要外部控制就能满足标准的要求。

整个系统的运作和功能性依赖于各制造商的设计。每个工程系统的需求都需要确保整体结果合乎安全标准。硬件与软件系统协同运作，有效且可靠地实现所需的安全结果，这是功能安全的关键部分。充分的合规性评估需要进行风险评估和功能安全审查，以验证监控手段和特定系统中所使用组件的可靠性。

在北美，针对电动汽车的直流充电设备，UL 2202 标准规定了主动冷却的系统级要求。同时，液冷连接器则受到 UL 2251 标准的规范，该标准涵盖电动汽车的插头、插座及耦合器。

此外，还有两个 IEC 标准分别讨论了这些问题。IEC 61851-23 第二版规定了液冷充电系统的要求，IEC TS 62196-3-1 则涵盖了主动冷却连接器的要求。预计此文件在 IEC 62196-3 的下一轮修订阶段将会与之合并。

动态电流控制

类似于主动冷却技术，动态电流控制也是一种在保持直流充电系统的温度在运行限值范围内的同时，实现高电流充电的方法。不同于依赖冷却手段来降低电缆和连接器的温度，动态电流控制会监控系统在使用期间的温度。当系统温度接近设定的上限时，会根据电缆和组件的整体尺寸，适当降低输出电流，确保系统温度维持在运行限值范围以内。系统的运行从制造商设定的最大电流开始，期间至少会监控连接器接触点的温度，并根据温度变化做出反应。在短时间内传输较高电流，但一旦接触点温度接近预设上限，电流将被降至基础额定值，以保证充电器的持续运行。基础额定电流是系统在不受外部控制的情况下可以安全承受的电流，并符合相关标准的要求。如果温度超过限值，充电器将会自动关闭。

在北美，UL 2202 标准包含如何在系统层面实施动态电流控制的要求。此外，配备动态电流控制的系统中所使用的连接器，需要遵守 UL 2251 标准的规定。

目前，有两项 IEC 标准正在制定中，这些标准将包括对电流直接控制的规定，它们是开发中的涉及主动冷却标准的一部分。IEC 61851-23 将针对系统层面的要求，而 IEC 62196-3 将涉及相关配件的标准。



现行标准概要

在这一节，我们将概述当前涵盖前文提到的产品的现行标准。我们将按照产品类型，介绍北美和欧盟现行的相关标准。这些标准文件虽然相似，但由于每个地区采用的认证体系、安装规范及实践不同，以及各个国家/地区对产品认证的特定差异，它们并不完全相同。



一般标准

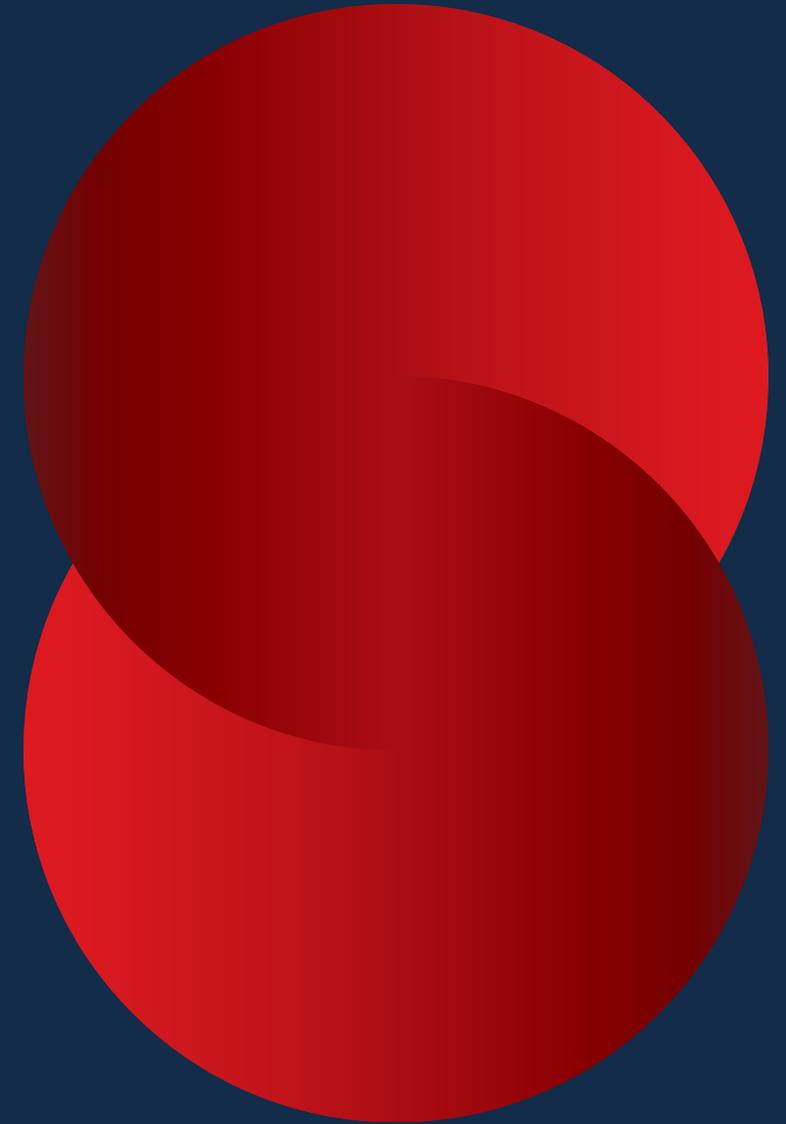
在北美，有多项标准规定了前文提到的电动汽车供电设备和充电器的安全要求。这些标准在加拿大、美国和墨西哥之间达成一致，即这三个国家的相关要求基本相同。

这些标准被用于北美地区的安全认证，关注这些设备的安全性，以应对使用及可能发生的误用过程中，所引发的火灾、触电和伤害风险。它们并不专注于产品的设计，总体上保持设计中立。

在全球范围内，也有多项标准规定了电动汽车供电设备及充电器的安全要求。本白皮书将探讨 IEC 标准的版本，笔者也知晓，欧洲标准 (EN) 基于此类 IEC 标准制定，且这些 EN 标准可能存在国别或地区差异。

但是，本白皮书侧重于关注 IEC 级别的标准，而暂不考虑是否存在 EN 标准或各国或各地区间的所有差异。尽管这种处理方式简化了 IEC 标准的实际应用，但为我们的讨论提供了一个出发点。

CB 体系适用于本白皮书讨论的相关非车载设备。该体系基于对 IEC 基本文件及其对欧盟内各目的地国家 / 地区的集团和国家差异的评估。标准覆盖了防火和防触电的安全性，以及某些设计和性能要求。



基于产品类型标准

电动汽车供电设备

北美地区的电动汽车供电设备终端产品标准是一份涵盖美国、加拿大和墨西哥的三国统一文件。该标准被命名为 UL 2594/CSA C22.2 No. 280/NMX-J-677-ANCE，这些编号分别对应美国、加拿大和墨西哥。该标准覆盖了用于住宅和公共场所的便携式、可移动式 and 固定式电动汽车供电设备。图 9 为示例展示。

在 IEC 文件中，目前有两项标准涉及这些产品类型。IEC 61851-1，即《电动汽车传导式充电系统——第 1 部分：通用要求》，涵盖了便携式、可移动式 and 固定式电动汽车供电设备，并为直流充电器设定了通用要求。IEC 62752，即《针对电动道路车辆模式 2 充电的电缆控制与保护装置 (IC-CPD)》则涉及通过电缆和插头连接的便携式和可移动式电动汽车供电设备。“模式 2”指的是依据 IEC 61851-1 使用交流电输出的电缆与插头连接。这两项标准均包括图 10 和图 11 所示的产品。

目前，这两种标准均可使用，具体选择由客户决定。但未来的文件修订会将所有模式 2（电缆与插头连接的）充电设备归入 IEC 62752，而所有模式 3（永久连接的）充电设备归入 IEC 61851-1。

这些文件已经发布。截至目前，UL 2594/CSA C22.2 No. 280/NMX-J-677-ANCE 和 IEC 61851-1 正处于修订阶段。IEC 62752 的新版本于 2024 年 3 月发布。



图 9：公共使用的电动汽车供电设备



图 10：便携式电动汽车供电设备



图 11：壁挂式住宅区电动汽车供电设备

直流充电器

北美地区的充电器终端产品标准是一项涵盖美国、加拿大和墨西哥的三国统一标准。该标准被命名为 UL 2202/CSA C22.2 No. 346/NMX-J-817-ANCE，这些编号分别对应美国、加拿大和墨西哥。它是针对电动汽车 (EV) 充电系统设备的标准，涵盖了采用直流电输出的非车载充电器的多种形式。

主要的 IEC 标准是 IEC 61851-23，即《电动汽车传导式充电系统——第 23 部分：直流电电动汽车充电站》。这项标准与 IEC 61851-1 结合使用，涵盖直流充电器的各个方面。此外，IEC 61851-24，即《电动汽车传导式充电系统——第 24 部分：用于控制直流充电的直流电电动汽车充电站和电动道路车辆之间的数字通信》，定义了控制充电事件的用例和消息。

这些文件已经发布。北美的标准文件自本文撰写之日起开始修订。两项 IEC 标准的最新版本已于 2023 年 12 月发布。

配件

在北美，UL 2251/CSA C22.2 No. 282/NMX-J-678-ANCE，即《电动汽车的插头、插座和耦合器标准》，是一项覆盖美国、加拿大和墨西哥的三国统一标准。上述编号分别对应美国、加拿大和墨西哥。该文件包括车辆连接器、车辆充电口、电动汽车插头及插座等内容。此标准与结构类型无关，适用于市面上的各种结构。

IEC 系列标准覆盖了这些配件。IEC 62196-1，即《插头、插座、车辆连接器和车辆充电口——电动汽车传导式充电——第 1 部分：通用要求》，为这些配件确定了通用要求，除非在其他部分有具体的修改要求。IEC 62196-2，即《插头、插座、车辆连接器和车辆充电口——电动汽车传导式充电——第 2 部分：交流电针脚和接触管配件的尺寸兼容性要求》，针对的是特定配置的交流电配件，包括前文所述的 Type 1 型和 Type 2 型。IEC 62196-3，即《插头、插座、车辆连接器和车辆充电口——电动汽车传导式充电——第 3 部分：直流电和交流电 / 直流电针脚和接触管车辆耦合器的尺寸兼容性要求》，则涵盖特定配置的直流电配件，如前文所述的 CCS1、CCS2 和 CHAdeMO。

IEC 62196-2 和 IEC 62196-3 各提供一份标准表，分别用于确认交流电和直流电配置的合规性。因此，只有在第 2 和 3 部分中列出的配置才符合 IEC 标准的使用要求。目前，北美和 IEC 的这些标准都处于修订周期，预计北美标准将在 2026 年年中发布，IEC 标准则于 2025 年年初发布。

防护系统

北美地区有两项三国统一适用的标准，它们共同规范了电动汽车充电所采用的保护系统：一是 UL 2231-1/CSA C22.2 No.281.1/NMX-J-668-1-ANCE，即《电动汽车 (EV) 供电电路的个人防护系统标准，第 1 部分：通用要求》，二是 UL 2231-2/CSA C22.2 No. 281.2/NMX-J-668-2-ANCE，即《电动汽车 (EV) 供电电路的个人防护系统标准，第 2 部分：充电系统所采用的防护设备特定要求》。这些标准允许采用接地或隔离保护系统，两者均通过设备和绝缘措施来确保用户安全。这些系统通常被整合进整体系统设计中，而不是单独存在。

在 IEC 文件中，保护措施的处理略有不同。大部分保护措施基于剩余电流保护器 (RCD)，该装置需要安装在建筑的配电系统或产品中。对于电动汽车供电设备，RCD 是主要保护组件，通常不需要额外的设备。电动汽车供电设备标准会明确要求使用符合 IEC 61008-1、IEC 61009-1、IEC 60947-2 或 IEC 62423 标准的特定类型的 RCD。而对于电动汽车充电器，虽然可以包括基于 IEC 61851-1 标准的 RCD，但这并非强制要求，因为 RCD 通常是安装在设施中的。

根据 IEC 61851 系列和 IEC 60364-7-722，电动汽车供电设备的安装必须配备 RCD。实际上，IEC 60364-7-722 规定建筑安装的配电板中须提供 RCD。但是，在一些较旧的设施中，插座可能不具备 RCD 功能，这意味着一些便携式和壁挂式，并通过电缆与插头连接的电动汽车供电设备可能无法提供相应的保护。为

此，IEC 62752 即《针对电动道路车辆模式 2 充电的电缆控制与保护装置 (ICC-PD)》应运而生，以解决便携式 RCD 和保护系统的问题。如“电动汽车供电设备”部分所述，虽然 IEC 61851-1 也涵盖了电动汽车供电设备的总体要求，但 IEC 62752 专门明确了保护系统的具体要求，这与 IEC 61851-1 中的 RCD 要求有所不同。

以上提到的这些文件已经发布。截至本白皮书撰写之时，UL 2231-1/CSA C22.2 No.281.1/NMX-J-668-1-ANCE 和 UL 2231-2/CSA C22.2 No. 281.2/NMX-J-668-2-ANCE 正处于修订阶段。IEC 62752 的新版本已于 2024 年 3 月发布。



新技术

在对现有技术有了基本了解之后，我们现在可以展望一下未来。这包括提高设备输出的功率限制、采用自动连接方式处理高功率连接、将储能系统融入整体充电系统、将车辆作为电源以及通过整合适配器扩大基础设施的适用范围以涵盖更多车辆等传导式技术。这些技术的发展都在现有车辆传导式连接技术的基础上进行了升级。

另外，我们还将研究另一项电动汽车充电技术，这种技术在总体功能上与现有技术大相径庭。它是一种不需要与车辆进行传导式连接的充电方式，被称为无线电力传输技术。

这些技术之所以被视为新技术，是因为它们还未完全标准化。尽管在标准化方面已取得了一些进展，可能正在进行一些试点项目，这些技术也可能已在某些市场或地区取得成功，但它们在商业应用中并未广泛使用。我们将从更高的角度来讨论这些技术，有助于大家理解未来的发展趋势，并提供关于这些技术标准制定进程的概述。



适配器

近期，原本属于特斯拉专利的连接结构已向其他制造商开放，并被命名为北美充电标准 (NACS)，未来在北美的电动汽车充电设施中将广泛采用。NACS 的主要目标是使非特斯拉车辆装配 NACS 充电口，从而使这些车辆能够通用现有及未来的同结构充电基础设施。多家汽车制造商已表态将采用此结构，并计划在未来的车型中安装 NACS 充电口。¹ 尽管目前道路上仍有车辆配备 SAE J1772 Combo 充电口，但长远目标是提升它们对 NACS 基础设施的兼容性。鉴于 NACS 连接器与 SAE J1772 充电口不兼容，且这些旧车辆将会继续使用多年，故此需要一种能将 NACS 转换为 SAE J1772 的适配器产品。

适配器登场

虽然 NACS 的实施是推动适配器需求的主要因素，但其他非 NACS 结构的设备也可以使用这些适配器。为确保使用适配器充电的安全性，需要制定新的标准来评估适配器的安全性能及其对用户和已有基础设施的潜在影响，这些基础设施在设计和建造时并未将适配器纳入考量。

UL Solutions 制定了 UL 2252 标准，即《针对电动汽车耦合器的适配器测试大纲》。该标准目前已可用于产品认证，并正朝着成为美国与加拿大共同认可的标准迈进。它涵盖了适配器使用可能引发的火灾、触电及伤害风险，并规定了确保适配器与现有基础设施安全配合使用的相关要求。

兆瓦级充电系统

另一项在传导式充电领域的创新专注于卡车、公交车及其他重型车辆的充电。这项直流充电创新因其兆瓦级的功率传输而被命名为“兆瓦级充电”，其额定值最高可达 1,500 伏特直流电（实际运行为 1,250 伏特直流电）和 3,000 安培。

兆瓦级充电需要新的充电系统、协议和耦合器。在本白皮书发表时，正在各个层面对其进行标准化。在北美，UL 2278 即《针对电动汽车耦合器兆瓦级充电结构的测试大纲》，概述了电动汽车连接器和充电口，它们均遵循标准化配置，专为兆瓦级充电而设计。目前，此文件正通过共识形成过程，并将有可能最终成为美国和加拿大的协议一致标准。同时，针对 1,500 伏特直流电的电动汽车电缆及其充电系统的开发工作也在进行中。这些系统的额定值较高，因此如前文所述，需要使用的组件与市面上现有的组件不同。部分差异可以通过尽可能少的修改融入原有要求，而其他的则需对安全策略进行重大调整。

在欧盟，也有与北美类似的工作正在进行。IEC 63379 正在制定中，旨在涵盖兆瓦级配置的充电耦合器。预计该标准将首先以技术规范的形式发布，随后继续发展成为正式标准。此外，IEC 61851-23-3 也在开发中，专门针对兆瓦级充电系统。

集成储能系统的电动汽车充电

为了增加电动汽车的续航能力并支持其长途行驶，建设沿途可供此类车辆充电的基础设施显得尤为关键。在主要交通路线上实现快速充电的设想，需要确保这些地点能够获得充足的电力来使用这些基础设施。

但是，有些充电站可能位于电力资源匮乏的地区。此外，如大型兆瓦级充电站等一些应用，对现有电网的负荷可能非常巨大。在这些地方，利用储能系统为充电设施供电成为一个可行的解决方案。这些储能系统可以利用包括太阳能、风能和水能在内的各种能源。充电器与储能设备相连接，使用这些储存的能源为电动汽车充电。此技术还可应用于偏远地区、乡村或其他地方的公共或私人基础设施，特别是在考虑使用能源储存来支持电动汽车充电的战略地点。

虽然该系统可能未与电网直接连接，但它依然属于电气设施。电池、储能系统和充电器都须符合相应的地区规范和安全要求。无论在美国还是世界其他地区，前文提到的任何充电器或充电站产品都要遵守同样的标准。不管能源如何输入，充电器和充电站的标准都包括了基础设施的规范。在北美，系统中的能源储存部分遵循 UL 9540，即《针对储能系统及设备的标准》，并进一步由 UL 9540A，即《评估储能系统中电池热失控火灾蔓延的测试方法标准》补充。在国际上，为应对这些系统的需求，制定了 IEC 62933-5-1 标准，即《电气储能系统——第 5-2 部分：与电网连接的储能系统的安全要求——基于电化学的系统》，但不包括热

失控火灾蔓延的考量。

围绕这些系统类型的技术讨论日益增多，系统也正逐步向大规模商业化迈进。这些充电系统可以根据需要安装至相应位置，以助力推动电动汽车的长途行驶能力。这种创新，加上充电站的日益普及，能够减轻驾驶者的顾虑，使他们更加安心。

自动连接技术

在车辆充电领域，尤其是大型重载车辆，正逐渐趋向于使用更高的电压和更大的电流，为车辆提供更高的功率。这种增强的功率能缩短充电时间，尤其是对于大型车辆，使得充电过程更易管理和吸引人。然而，随着功率水平的提高，连接设备可能变得更加庞大和复杂，甚至可能对普通公众操作构成危险。这时，自动连接技术就派上了用场。

起初，自动连接技术主要应用于所谓的重载充电，常见于卡车和公交车领域。（随着时间的推移，此概念也逐渐被应用到普通电动汽车充电中，目前乘用车的自动连接选项正处于标准化过程中。）卡车和公交车采用更大且能量密度更高的电池，以确保这些大型车辆的全天运行。电池尺寸变大意味着充电所需的时间和功率都会增加。自动连接技术的使用，有效解决了必须人工操作大型电缆的问题，并有助于降低人们处理此类高功率连接时的风险。

自动连接还创造了第二种可能性。配送车辆、公交车或类似车辆在日常运行中会多次停靠，每次停靠都可以进行充电。但要求司机每次停靠都手动接入插头进行充电并不现实，那么，自动连接技术就成为理想的解决方案。这种被称为“机会充电”的方式，利用车辆每次预定停靠进行快速充电，因为它们每次都会停靠在相同的地点。以公共交通的电动公交车为例，如果公交车需要在一天内完成多次路线循环，就需要非常大的电池来储存所需的能量。如果能在每次停靠等待乘客上下车时进行充电，就可以使用更小的电池完成同样的任务。在公交车站安装自动连接设备，可以在公交车短暂停靠的几分钟进行充电，这不仅延长了公交车的日常续航里程，还允许使用体积较小、成本较低的电池。

标准制定开始考虑这些场景的自动连接技术，其中涵盖了许多设想。其中一种设想是公交车进入充电站时，与安装在上方架子上的连接装置对接，该装置能够左右微调，以弥补对接时的位置偏差。

第二种设想是设计一种能够降下并接触到公交车顶部充电轨道的集电弓结构，如图 12 所示。第三种是从地面向上延伸的连接装置，与公交车底部的充电轨道接触。第四种则是通过一个机械臂将连接器插入到公交车的充电口。这些方法或类似的解决方案将有助于解决电缆灵活性、高功率接入和易用性方面的问题。

根据设计的不同，还需要考虑一些手动连接方式所没有的问题。例如，连接是否能正确配对并且只有在车辆准备接受充电时才进行配对？系统是否能正确断开，确保车辆可以安全驶离而不

损坏车辆或充电设备？在断电情况下，车辆能否顺利脱离充电设备并驶离？连接和断开连接是否能在负载状态下顺利完成？在无车辆时，连接装置是否会带电？环境因素对连接装置会有何影响，包括车载连接及基础设施内的连接？所有这些问题及其他与特定设计相关的问题都必须通过电气安全要求来解决，而标准的制定过程能够应对这些挑战。在欧洲和美国，已有一些公交车采用自动连接技术，这些技术通过已安装的系统或试点项目进行测试。图 12 展示了一个在欧洲安装的架空集电弓系统的示例。虽然这些系统各不相同，但相关组织正在基于这些已安装的系统推进标准化工作，并从中吸取经验教训。

北美的相关标准也在积极准备，以应对自动连接技术的需求。SAE J3105 系列标准，即《采用传导式自动连接设备的电动车辆电力传输系统》已经发布，包括了物理连接器的规格、通信及车辆接口。这些标准中的充电设备与现有技术大体相似，主要区别在于通信协议。

此外，这种连接方式的电气安全问题也需得到妥善处理。在本白皮书撰写之时，关于这项技术的 UL Solutions 电气安全标准正在制定中。同时，IEC 标准 IEC 61851-23-1 的开发工作也在进行，另外还有两项标准 IEC 61851-26 和 IEC 61851-27，它们则针对通用车辆的自动连接技术进行标准化。



图 12: 自动连接技术

车辆作为电源

正在开发的另一项传导式技术是将车辆用作移动的分布式能源。这需要仔细考虑其运行和安全维护方式，以及对车辆连接产品的影响。

系统的不同预期用例可能对应不同的需求级别，包括车对负载 (V2L)、车对建筑 (V2P) 和车对电网 (V2G) 等应用。在每种用例中，非车载设备或车辆本身可能包含逆变器。逆变器的具体位置不同，可能需要遵循不同的标准。这涉及多方利益相关者，包括车辆制造商、电力公司以及介于两者之间的所有人。

V2G 应用通过逆变器将车辆与电网连接，使电力公司在需求高峰时期可以从车辆抽取电力，或是车主向电力公司回售电力。车辆随时随地向电网输出电力可能会对线路工人构成安全威胁，例如他们误以为某条电路已断电，实际上却因为某辆汽车向其供电而通电。此外，V2G 的电力质量也是安全关注点，向电网输送的电力必须保证不会破坏电网的稳定性或功能。这一用例目前还在讨论中，需要进一步工作以确保其按照要求和预期运行，同时解决安全问题。

V2P 应用涉及将车辆连接到家庭或其他场所，以便在紧急情况下为其供电。在这种用例中，车辆充当发电机，在停电或其他紧急情况下为家庭供电。

V2L 应用则是将车辆连接到与电网或建筑无关的外部负载。这可能包括一台能从车辆获取电力，并提供插座以便为非车载负

载供电的设备；或是将车辆的充电口转换为插座的设备（业内称为 V2L 适配器）；或车上的插座。在这些情况下，所接入的负载可以是任何配有电缆与插头，而且随时可用的设备。

这项技术的发展中存在一些问题，主要围绕车辆作为车辆对负载用例中的分支电路角色。从安全角度考虑，车辆作为电源（即馈线和分支电路）时对负载的保护至关重要。然而，目前并没有标准化的结构或法规来控制基于车辆的建筑配线系统如何运作，包括如何保护连接到车辆电源的电器和产品。产品认证通常依赖建筑中安装的断路器来保护连接到传统分支电路的产品。但当产品连接到车辆时，由于车辆作为电源需要符合《国家电气规范》的相关建筑配线系统要求，就无法保证提供相同的保护。这可能会对连接到车辆电源的设备构成风险。鉴于这一不确定因素，即便是通过已发布标准和要求（无论是哪个地区的标准和要求）认证的产品，一旦连接到车辆，其保护可能也不再充分。因此，为了确保使用车辆作为电源时的安装安全，已在此领域加大了研究和应用力度。

在北美，UL Solutions 推进了这一应用的安全要求制定工作，进而发布了 UL 9741，即《双向电动汽车 (EV) 充电系统设备标准》。

此文件在首次发布后，已在加拿大进行了统一和调整，其适用范围覆盖了上述相关用例。

电力公司对于连接到电网的设备设定了严格的规则。在一些情况下，UL 1741 即《针对分布式能源资源使用的逆变器、转换器、

控制器及互连系统设备的标准》已写入法律，要求设备必须符合该标准才能连接到电网。车载逆变器可以按照 UL 1741 进行认证。随着先进逆变器技术的发展，目前正在制定 UL 1741 的补充文件 SC，该文件将规定设备在连接公共电网与车辆时必须遵守的要求，确保两端均遵循正确的通信、协议和安全措施，以实现更合适和更安全的互连。

在 IEC 标准开发组织，目前与 IEC 61851-1，即《电动汽车传导式充电系统——第 1 部分：通用要求》和 IEC 61851-23，即《电动汽车传导式充电系统——第 23 部分：直流电电动汽车充电设备》相关的委员会正在讨论将此主题纳入未来版本的标准中。

无线电力传输

目前，作为传统传导式充电的替代者，无线电力传输技术的开发已取得进展。这种技术通过感应连接向电动汽车传输电力，无需物理接触或车辆连接线。车主只需将车辆停在指定的无线充电位置，便可轻松离开，无需处理可能存在的脏污、潮湿或损坏的连接器的连接器。

此外，这项技术还可能可以实现机会充电，即车辆在停车的时刻都能进行充电，可能包括在红绿灯、快餐店驱车窗口或收费站进行充电。对于公交车和配送卡车等服务性车辆，机会充电可以通过设置专门的停车或停靠点实现，使车辆在公交站点或送货

点等地停车时能够充电。动态无线电力传输的概念可能进一步发展，使车辆在专门设计的道路上行驶时，能够在行进中进行充电。

这项技术主要通过地面和车辆上各自安装的两个线圈之间的感应连接来实现。非车载系统通过高频源激活地面线圈，而车辆上的线圈则通过线圈间的感应耦合产生电流。

许多围绕这项技术的标准正处于开发阶段。在北美地区，美国制定了 UL 2750，即《针对无线电力传输设备的标准》；加拿大预计将协调采用 IEC 61980 系列标准。SAE International 发布了 SAE J2954，即《针对轻型插电 / 电动汽车的无线电力传输 (WPT) 及其对准方法》，涵盖设计、功能、充电协议和互操作性要求。SAE、UL Solutions 和 UL Standards & Engagement 开展协作，以协调这些要求。在全球范围内，IEC 61980-1 即《电动汽车无线电力传输 (WPT) 系统——第 1 部分：通用要求》、IEC 61980-2 即《电动汽车无线电力传输 (WPT) 系统——第 2 部分：中频无线电力传输系统通信与活动的特定要求》和 IEC TS 61980-3 即《电动汽车无线电力传输 (WPT) 系统——第 3 部分：磁场无线电力传输系统的特定要求》等标准已经发布。

UL 2750 覆盖了车辆线圈及之前的非车载设备的电气和系统安全性。SAE J2954 则涵盖车载系统，解决停车对准和系统整体互操作性问题。UL Solutions 和 SAE

International 已决定联合制作这两份文件，以减少出现漏洞和矛盾，共同推出一套协调统一的要求。

设计要素包括安全性、互操作性和功能性。系统的总体安全包括传统的电气安全，但在无线电力传输的用例中，还需考虑防止暴露于车辆底部的危险磁场，而且必须确保避免这种磁场的暴露。车辆内部及 / 或车外的系统能够检测磁场中的金属和有机物，并在检测到这些物体时立即中断电力传输。这些系统分别称为金属异物检测和有机生物检测系统。

在互操作性的设计方面，目标是让所有车辆能在任何充电站进行充电。由于缺乏物理连接，车主可能会默认充电已经开始，如果技术不能每次都可靠地运作，用户对该技术的信任可能会降低。因此，在此设计方面已经投入了大量精力，以确保技术一开始就能正确实施。

在功能性设计方面，车辆与车外设备之间的通信问题需要得到解决。有别于传导式充电在充电时由车外设备监控车辆，在无线电力传输中，车辆的监控只能通过车辆的通信来实现。车辆必须自我监控，并能够准确且可靠地与车外系统通信，控制充电过程的各项参数。

¹Motor Trend, The Great NACS Migration: Who Is Switching to Tesla's Charging Port?, <https://www.motortrend.com/features/tesla-nacs-charging-port-automaker-compatibility/>





总结

自 2009 年新一代技术面世以来，电动汽车充电技术领域已经取得了诸多重要进展。在我们从现今的复杂局面走向更加多变的未来时，用户群体的需求和新技术创新正不断推动基础设施快速发展。这一进程不仅带来了新的发展机遇，也对创新思维提出了更高的要求，尤其是在制定标准和安全要求方面。安全性是任何成功和可持续性技术实施的基石，必须持续关注以满足新兴的需求。标准和要求是我们共同约定减轻或接受哪些风险的关键，它们为如何统一处理安全性和形态学问题、如何通过负责的创新在技术进步中实现市场差异化设定了明确的标准。这些因素将促进电动汽车的广泛应用，为全球交通系统的未来发展提供动力。



ULSolutions.com.cn

© 2025 UL LLC 保留所有权利