

电动汽车充电技术的最新动向

--加速普及电动汽车的关键

邓隐北, 孙永德, 邓楚柏, 赵阳

中科 863 生态技术开发集团有限公司

1 前言

ICPP(世界气象组织及联合国环境规划署联合建立的联合国政府间气候变化专门委员会), 2021 年八月发表的报告中, 已明确告示: 由于受人间活动的影响, 毫无疑问, 将导致大气和海洋、陆地的升温, 为抑制温室效应气体的排放, 必须积极采取行动。在今后的 20 年内, 因产业革命带来的气温上升将达到 1.5 度, 对此也提出了警告。在此背景下, 尤其对 CO₂ 排放量占 1/4 的运输部门, 各国政府正加力削减来自汽车的排放量。欧洲主要国家, 决定增加对购入电动汽车的补贴金额予以激励。下面详细列出各主要国家和政府迄至 2035 年, 将禁止销售内燃机汽车, 并推出引入电动汽车的政策。

美国: 2030 年, 规定新车销售的一半为混合动力电动汽车 (HEV), 不包括零排放污染气体的车; 中国: 2035 年新车销售的一半为电动汽车 (EV) 和插电式混合动力车 (PHEV), 氢燃料电池车 (FCV) 等新能源汽车; 欧盟 (EU): 2035 年事实上已禁止包括 HEV 在内汽油车的新车销售; 英国: 2035 年将禁止新规销售汽油车和柴油车的计划提前五年于 2030 年实现, 即使涉及 HEV, 到 2035 年也予禁止。日本: 2035 年新车销售全部改为 EV 和 HEV 等电动汽车。

另一方面, 从拥有到利用的消费倾向正发生改变, 不断扩大着预约服务 (Subscription Service) 和共享服务 (Sharing Service)。即使在汽车中, 从自驾用车的保有到定额的服务, 以及出租车、公共乘用车、公交车等。每一小时的分秒时间都要充分利用。到 2030 年, 公共汽车和 Mass (Mobility as a Service, 意为: 出行即服务), 均要采用一种新的交通出行服务模式, 旨在满足出行者的要求, 将各种形式的运输服务集成到可按需访问的单一移动服务中。经过计算, 在效益方面, 这比单纯销售车辆和部件的

事业单位 (business) 获利更高。

但是, 目前利用电动汽车的现状方面, 还存在以下尚待研究解决的课题。

(1) 续航里程 相应于燃料充满油箱的汽油车可行驶 700km 的路程, 现代主流 EV 每次充好电以后的续航里程却为 300km 以下。可以说, 这一续航里程的不足就是妨碍 EV 普及的最大要因。

(2) 充电时间 汽油车用不到五分钟的时间可将油箱加满, 相应电动汽车 (EV), 在家用的充电设备上从空载到 100% 充电, 需要 8 小时; 即使采用快速充电也需半小时左右。故迫切期望能大幅度缩短充电时间。

(3) 充电的基本设施 迄至 2030 年, 日本政府已揭示: 全国拟建快速充电桩 3 万座以上, 但自 2020 年五月到现在, 快速充电桩仅有 7700 座, 这一数字近年来却增添了不少烦恼。可以说, 受限于充电时间长, 并未取得资金周转率低的好处而失去吸引力。

(4) 价格 与同等尺寸的汽油车对比, EV 的价格高, 特别是蓄电池的价格高, 故应继续致力于实现低成本化。但由于原材料的价格, 难于大幅度的降低成本。

(5) 蓄电池的使用寿命 面对现在乘用车的使用年数为十多年, 一般 EV 的蓄电池使用寿命约为 3 到 4 年左右, 对比车辆的寿命, 蓄电池的寿命更短, 这样导致用户的不安, 也阻碍着 EV 的普及。

上述课题之中, 特别是电动的出租汽车 (taxi) 和公交车等, 在充电工作形成的瓶颈难题 (bottleneck), 迫切希望得到解决。因此, 本文首先对有关快速充电的技术及国际规格等予以介绍。其次, 为了能减少充电事务中的麻烦, 作为加速 EV 普及的催化剂, 对有关期望值高的无线供电技术和行驶中供电的技术进行了解说。最后, 作为取代充电的技术, 可望今后扩展的液体蓄电池技术也予以说明。

2 快速充电的现状与课题

现在,通常采用将很多的蓄电池装载在EV上,以此延长其续航里程。例如,初期的日产leaf车,蓄电池的装载容量和在JC08模式下的续航里程,分别为24kwh和228km;在leaf+汽车上则分别为最大62kwh和570km,伴随着蓄电池的大容量化,延长了续航里程。

另一方面,在日本正普及的快速充电器,是按照旧的CHAdEMO标准的充电方式,其最大充电功率为50kw。使用该充电器时,24kwh的蓄电池约需30分钟能充满电,对62kwh的蓄电池,则需1小时15分钟,故仍存在充电时间长的问题。

蓄电池的充电速度,是以所谓比率C的单位进行测定的。蓄电池用一小时充满电定义为1C;30分钟快速充电则为2C。现在的EV使用锂离子蓄电池(以下,简称LiB),其正极为 LiCoO_2 和 LiNiO_2 等含有迁移金属氧化物的锂离子,负极为石墨等碳素材料;电解质为碳酸乙烯(德Athylen)和碳酸丙烯(propylene)等非水溶液所构成。对锂电池(LiB),用比2C更快的快速充电并点火时,会同时出现持续性急剧劣化的问题。为解决这一问题,使用氧化物系和硫化物系的固体电解质取代电解液的全固态电池引人注目。能以10C-20C充电的电池研发,正盛行和推进着。对62kwh的蓄电池用3分钟就能充满电的20C充电,至少能供给1240kw的充电器不可或缺。与全固态电池并行,开发大功率充电器势在必行。

现在,作为主要充电器的规格,有欧美开发的CCS(组合充电系统)及日本快速充电方式CHAdEMohe和中国的GB/T(中国国家标准)。

为适应大功率的迫切要求,各充电器的规格正朝高输出功率化方向迈进。在特斯拉公司超级充电器(Super Charger)等的规格中,作为车载网络,采用了实际业绩好的CAN(控制器区域网)通信;另一方面,在CCS规格中,正使用着可实装的TLS(传输层安全)确保和易于适应智能网的PLC(功率线路通讯)。从用户的观点出发,期盼着充电器规格的统一,但主要因通信方式的不同,可以说CHAdEMO与CCS的统合难。现在,中日共同努力,目标指向世界统一的规格。对被称之为Chaoji(中国话意为“超级”)的下一代超高功率充电规格,正积极开发。由于“超级”中的适配器(adapter)等,与CHAdEMO等老的充电

规格保持着一定的互换性,而且“超级”中最大输出功率和充电电流已分别达到了900kw和600A。

不仅如此,随着充电器的高功率化,蓄电池和端子,电缆等的损耗增加,发热成了问题。例如,900kw充电时,效率为90%,但损耗也达到了90kw,导致电缆等之中的高温升。按照CHAdEMO的快速充电方式,当周围温度40度时,即使人用手握着充电电缆,也应将连接器和电缆的温度抑制在60度以下。对于数百kw以上的大功率化,必须对电缆采用强制性冷却。

图1所示为对电缆和端子进行强制冷却的液冷系统。

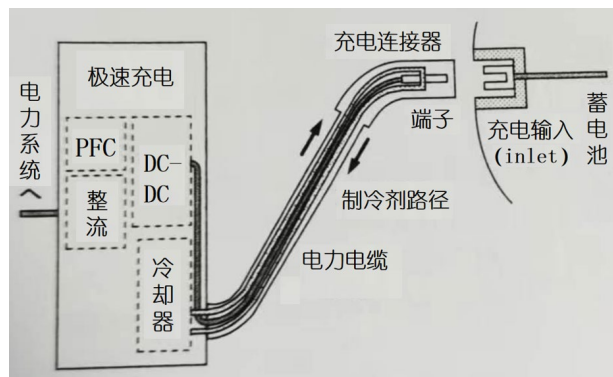


图1：液冷系统的结构

快速充电中若使用数百伏以上的高电压,因而采用了液冷,尤其是水冷系统,这种情况下,必须对万一出现漏水、漏电时应预先准备对策。因此,除了选择适当的制冷剂及防止液体漏泄的结构之外,还应采用下面所列的传感器以确保安全。

- (1) 为检测制冷剂泄漏的液漏传感器
- (2) 被监视绝缘阻抗的绝缘传感器
- (3) 为查知冷却功能不足和失效的温度传感器

借助这些传感器,一旦发现异常,快速停止充电,切断高电压。由此,可避免烧伤和感电事故。

由于发热和高功率化,导致充电的连接器尺寸加大这样的问题。在日本的CHAdEMO充电方式下,为防止充电时的连接器脱落,将栓锁机构实装在连接器内,而在中国的“超级”方式下,这一栓锁机构移置在车辆的侧边以求连接器的小型化。

除大功率以外,充电器还非常期望具备V2X功能。所谓V2X,就是将EV的功率或供给家用,或反潮流流向电力系统的功能,特别希望将其平稳可再生能源的功

率波动。2019年时期仅 CHAdeMO 将 V2X 在推行实用化,而 Chaoji(超级)和欧美 CCS 也预定实现 V2X 功能。故必然要求充电器具有双方向性,经常使用的是称之为 DAB(双向作用电桥)的绝缘型 DC/DC 变换器。

图 2 所示为 DAB 变换器的电路结构。

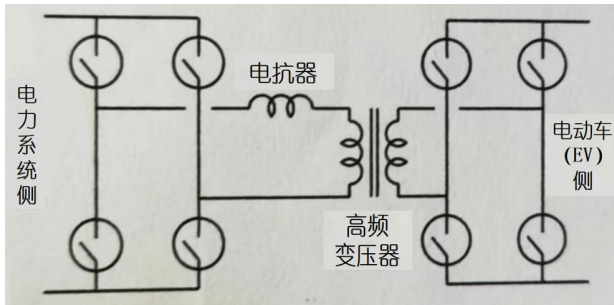


图 2：DAB 变换器的电路结构

图 2 中,在高频变压器的左侧和右侧,利用功率相位滞后的那一侧流动这一特性,若双方向控制相位,则可双向地抽取功率。而且,DAB 变换器全部的切换操作均可实现 ZVS(零电压切换),故切换损耗和电磁干扰(EMI)均能予以抑制。

3 无线供电

不插接电缆仍能充电的无线供电,其便利性是众所周知的。最近,不断增加了与 Qi 规格(无线供电的国际标准规格,名称源自中国话“气”的发音)相应的 SMAX 机型。EV,尤其是小型出租车(taxi)和公共汽车,载物宅配车辆等使用时要求频繁充电的车辆中,只有停车在充电桩(pad)上才能充电,故多么迫切期待能实现无线充电,对此,正一直进行着研究开发。

图 3 所示为对车辆无线供电的系统结构。

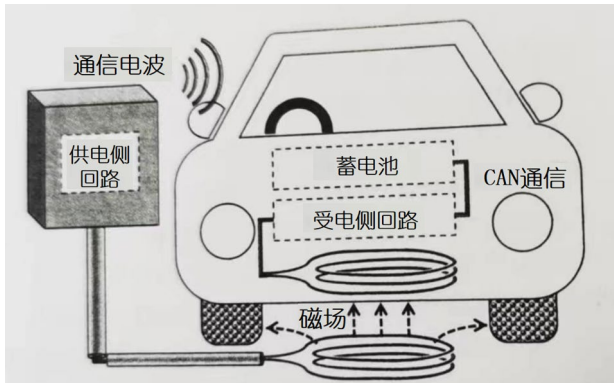


图 3：车辆用无线供电系统的组成

在图 3 中,首接收来自系统的功率并转换成高频,设置在地面上的供电线圈中流过高频电流并产生高频磁场。高频磁场与车载的受电线圈交链。由于电磁感应现象产生电动势,故可实现功率的无线传输。图 3 的系统由以下 3 个重要部分组成:

(1) 补偿(PFC)等与供电线圈一起构成了供电侧回路。供电侧回路既高效率供电给受电侧回路,又与受电侧回路进行无线通信。此外,还设置了为用户操作的操作盘功能和与电力系统连接的功能。

(2) 受电线圈与受电侧功率因数补偿电路及整流器等电路,构成了受电侧回路。受电侧回路既高效率受电,又接收蓄电池的信息。此外,还设置了为防止事故的紧急停止功能,以及为将蓄电池信息输送至供电侧回路的无线通信功能等。

(3) 充电对象的蓄电池 对蓄电池来说,设置了 BMS(蓄电池管理系统)将 SOC(充电状态)等必要的蓄电池信息,借助 CAN 通信,告知受电侧回路。

在利用电磁感应的无线供电情况下,供电线圈和受电线圈之间,随着线圈的位置偏移,气隙会变大,线圈之间的耦合系数变小,存在功率因数和供电效率极端劣化的问题。尤其在车辆用无线供电系统的场合下,对线圈间的位置移动,要求驾驶员操作的技术水平很高。为了解决这一位置偏移问题,既使用了混凝土座之类的轮胎导向(tyre guide),又使用了摄像机和背部监视器(back monitor)等配合停车位置的方法,提出了自动停车等方案。但是无论哪种方法,其精度还不足够。只有在受电侧功率因数补偿回路上下功夫,减轻由位置偏离导致的功率因数降低,对此正进行着研究开发。

而且,乘用车无线供电的国际标准规格也在进行开发。美国汽车工程师协会(SAE)于 2020 年十月,已发表了 SAE J2954 规格的最新版。该规格的最大功率 11kw(WPT3 级),相应的供电线圈和受电线圈的最大间隙达到 250mm,最大供电效率为 94%。再者,SAE 对快速充电用最大输出功率 22kw 及以上(WPT4、WPT5 级)的规格也进行了研讨。

配合 SAEJ2954 规格的发表,相继又发表了 SAEJ2847/b,推荐 WiFi,作为无线供电用通信(IEEE802.11n)。

在 SAEJ2954 中,供电、受电所用的频率从 79KHz 到 90KHz,供电侧和受电侧各自的功率因数补偿电路,两

边都为 LCC 回路 (1 个线圈加 2 个电容形成的回路), 推荐采用这样的双边 LCC 拓扑 (topology) 结构。相对于位置的偏离和耦合系数的变动, 双边 LCC 都比较理想。图 4 所示为 SAE 推荐的双边 LCC 回路。

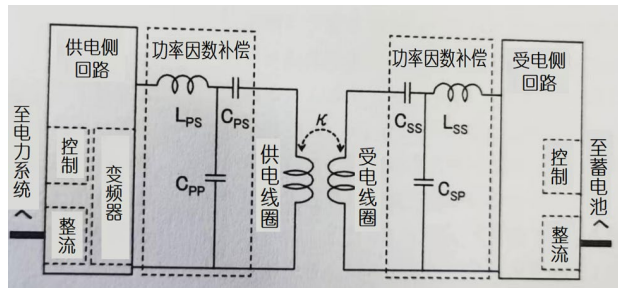


图 4：双边 LCC 回路

特别对汽车应用这样的大功率, 由电磁感应的无线供电, 必然要有非常强大的磁场, 一定要考虑与周围电子设备的电磁干扰, 对人体等的影响。按照 SAEJ2954 规格, 在 WPT3 级 10m 偏离位置上, 频率带为, 79-90KHz, 磁场强度的容许值则为, 82.8dBuA/m 以下, 对此频带以外的频率, 规定的磁场容许值为 60dBuA/m 以下。

同样, 如硬币或金属丝那样的金属物件落到了供电线圈上, 金属将受到强磁场的感应而产生涡流, 存在异常发热的危险性。为防止这一现象发生, 对金属片之类的异物, 一面利用弱磁场来查知, 一面通过静电容量传感器和热敏传感器进行检测。对使用摄像机探见异物的所谓 FOD (外界目标探测) 的异物检测功能, 正提出方案。FOD 一旦检测出异常, 则向用户发出警报, 不能开始充电和立即停止快速充电, 以此来确保安全。

即使面对无线供电, 也期盼着 V2X 功能。如图 2 所示的 DAB 变换器一样, 把供电、受电线圈当作是高频变压器, 通过对相位的控制, 可实现双向的功率供给与接收, 对此类方法正在提出方案。

4 行驶中供电

如果能一面从道路上连续地接受功率充电, 一面又能 (继续) 行驶, 这样, 续驶里程及充电时间均可以解决。而且, 由于行驶中的供电, 可减轻车载蓄电池的重量, 从而能实现车辆的轻量化, 并能合理提高能量的利用效率。

为在车辆行驶中供电, 有下列两种方法的提案:

(1) 提出了导电弓 (pantagraph) 和受电杆 (rod) 等

架线方式, 并接触到护栏导轨 (guard-rail), 路面导轨等受电接触式行驶中供电。

(2) 行驶中无线供电 接触式行驶中供电的优点是, 能供给和接受数百 kw 以上的大功率, 但缺点是存在触电的危险性, 既散发火花, 又污染接触面, 对安全和维护方面均不利。而且因需要在车辆侧面取出与放入导电弓和受电杆的机构, 与无线供电方式比较, 不仅车辆的成本高, 设计上也受到限制。

图 5 所示为行驶中无线供电系统的组成。行驶中无线供电可输送的功率为数 10kw 左右, 与接触式行驶供电比较功率虽较小, 但优点是不会散发火花, 不会出现触电危险, 维护也简单容易。如上一节所述, 基本上行驶中的无线供电与静止型无线供电都是使用相同的电磁感应输送功率, 车辆侧的部件, 与静止型无线供电的相同均可利用。另一方面, 行驶中供电在道路侧, 能排列多数供电线圈或线圈阵列, 一面做成细长的供电线圈, 一面将一个供电侧回路由多个供电线圈轮换使用, 以此实现低成本化。通过轮换供电线圈的方法, 可检测得知车辆的位置。与此配合, 可只对必要的场所供电, 因而可削减不需要的磁场。但是, 例如对 3m 长的供电线圈, 通过时速 30km 的车辆仅需 0.36 秒, 故需要设置在这么短的时间内, 为高速轮换供电线圈的控制电路。

此外, 行驶中无线供电情况下, 存在供电侧设备规模大, 成本高的问题。为解决此问题, 应考虑尽可能的将供电侧设备集中和高效的运用方法。特别对行驶规定路径线路的公交车那种场合, 供电侧设备的利用率高, 故倾向于使用行驶中无线供电技术。

韩国的高等科技学院 (KAIST) 和美国的 uta 州立大学等, 正对此进行着试验验证。在规定线路公交车的场合下, 由于公交车定期定点的停车, 如对其进行无线供电, 公交车停止时则能接受到较大的功率。

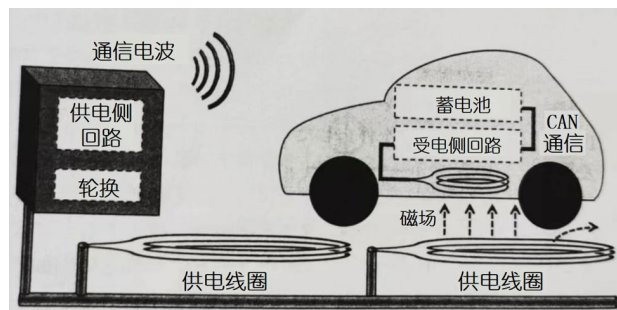


图 5：行驶中无线供电系统的构成

对于乘用车而言,例如,在东京市内占全行驶时间1/3左右为等待信号的时间,车辆停止,红色信号的时间为90秒。若将大功率的供电设备集中用于信号点的周边,对设备的利用效率可以说最好。在等待红色信号的90秒如能完成充电,车载蓄电池的量就能最少,但这要求速率达到40C以上的超快速充电和充电的频度高,担心出现周期劣化的现象。因此,提出了采用所谓超级电容器的双电层电容器(EDLC)方案。

(EDLC:双电层超级电容器,也叫超级电容器,是一种高能密度的被动储能元件。现已开发可放置在IC卡内,厚度仅0.45mm的超薄型EDLC。)

行驶中无线供电的供电侧设备是固定在道路上的,车辆方面有SUV车、轻型车、公交车等不同的种类和不同的厂家,故蓄电池的大小和电压,车的高度和宽度,受电回路等,均可能存在很大的差异。因此,既应设计尽可能多种车辆能共用的供电设备,又需要对受电侧实现标准化。

5 取代充电的技术

现在的汽油车加满油仅需五分钟,对于时间的影响不大,且加油一次可行驶700KM以上。上述的快速充电,无线供电以及行驶中供电,要想超越这一汽油车性能,无论蓄电池的性能及充电的基本设施,都是不足的,还存在很多尚待解决的研究课题。在此,本文对作为取代充电技术的液体蓄电池技术介绍如下。

液体蓄电池,如电池为液体型,将使用后的液体更换为已完成充电的液体,这与发动机的燃料补给相似,可迅速的给EV补充能量。下面对可实现这种液体蓄电池的液流(flow)电池及熔化盐电池予以介绍。

电池基本上由正极、负极和电解质组成。一般电池的电极可采用固体,另一方面,所谓液流电池,其正负两个电极可采用溶解2类化学物质的液体,如图6所示,通过交换膜进行离子交换而发电。

在图6中,分别将正极的电解液和负极的电解液蓄存于各自的液体箱中,发电是利用循环泵,将各自的电解液从液箱输送到电池内。

早在1974年,美国航空航天局(NASA)发表了其基本原理,对利用光伏发电和风力发电等自然能源发电的功率平稳化,以实用的钒(vanadium)氧化还原型(radox)液流电池为代表的液流电池,已被人们逐渐认知。

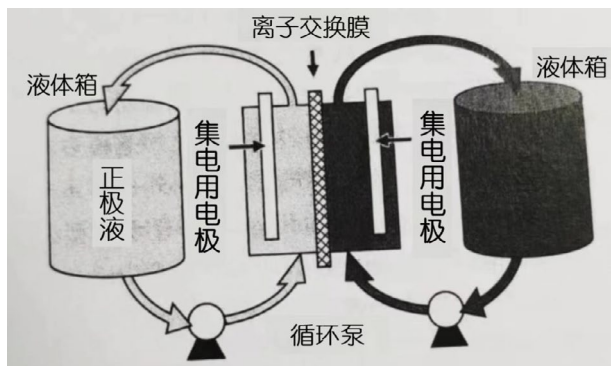


图6：液流电池的结构

熔化盐电池也是将两电极变为液体,图7所示为熔化盐电池的结构。

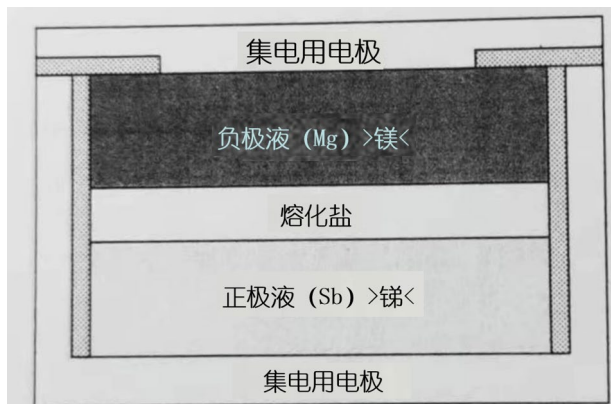


图7：熔化盐电池的结构

在图7中,分别用熔化锑和熔化镁作为正极和负极。正负极之间的熔化盐采用了 $MgCl_2:NaCl:KCl$ 50:30:20%克分子Mol。放电时Mg离子从负极经过熔化盐与正极的sb进行反应面形成合金。其结果,正极侧膨胀,负极侧收缩,熔化盐层朝图7的上方向推动。另一方面在充电时,Mg离子从正极经过熔化盐返回至负极,熔化盐层朝图7的下方移动。室温下,因Mg、Sb两电极为固体,故未达到700度以上时该电池不发电。为简易补充能量的液体蓄电池,其使用还是困难的。

液流电池的另一方(radox)电池,必须具备循环泵等设备,存在车载量过大的问题。与此同时,radox电池和熔化盐电池的电动势为0.4-1.4v左右,与锂电池(LiB)的4v对比显得小还有这类问题存在。为了克服这些缺点正进行着研究开发。