

电动汽车大功率充电端的液冷解决方案

周红斌

(南京康尼新能源汽车零部件有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 为了解决电动汽车常规充电时充电功率低导致充电时间长的不足, 引入液冷技术实现大功率大电流的充电。通过采用控制技术、液冷技术、基础支撑技术等多方面的关键技术, 解决了大功率充电的发热问题和充电安全问题。介绍了液冷管道的设计、液冷电缆设计和液冷监控设计方面的设计内容, 明确了设计的要点和规范。通过隔离冷却的解决方案、非隔离冷却的解决方案、液冷监控的解决方案和提升可靠性的方案的简要介绍, 阐述了行业中已实际使用的产品解决方案。通过对大功率充电端的未来趋势的预测, 说明了兆瓦级充电、超导材料使用、新型液冷液的开发使用是技术发展的未来趋势。

关键词: 大功率充电; 液冷管道; 液冷电缆; 液冷监控; 产品解决方案

Liquid cooling solution for electric vehicle high-power charging terminal

ZHOU Hongbin

(Nanjing Coney New Energy Auto Parts Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: In order to solve the shortage of long charging time caused by low charging power during conventional charging of electric vehicles, liquid cooling technology is introduced to realize high-power and high-current charging. Through the use of key technologies such as control, liquid cooling, basic support technology, etc., the problem of high-power charging heating and charging safety is solved. This paper introduces the design of liquid cooling pipeline, liquid cooling cable and liquid cooling monitoring, and clarifies the main points and specifications of the design. Through the solutions of isolated cooling, non-isolated cooling, liquid cooling monitoring and solutions to improve reliability, the product solutions that have been used in the industry are described. Through the prediction of the future trend of high-power charging terminal, it is explained that megawatt charging, the use of superconducting materials and the development and use of new liquid cooling liquid are the future trends of technology development.

Key words: high-power charging; liquid cooling pipeline; liquid cooled cable; liquid cooling monitoring; product solution

0 引言

2015年以后, 我国电动汽车发展进入了新的阶段, 产业进入高速增长期。随着电动汽车大量进入家庭以及在出租车、网约车等商业领域的使用, 暴露出电动汽车续航里程短、充电时间长、车主存在充电焦虑感的痛点, 影响了电动汽车产业的进一步发展。采用大功率充电可以提高充电速度、缩短充电时间, 间接地消除了续航里程的焦虑^[1]。电动汽车大功率充电一般是指充电功率在 200 kW 及以上的超级充电接口, 满足电动汽车充电 10—15 min, 续航 300 km 的快速充电的充电需求。大功率充电的充电电流一般大于 400 A, 给整个充电系统带来挑战。为满足充电功率不断提升的应用需求, 大功

率充电的标准体系在不断升级完善。针对充电功率提升带来的发热量急剧增大现象, 通过液冷方式来提升散热效率。全球的电动汽车充电接口见表 1^[2], 基本都涵盖大功率充电, 冷却方式均为液冷。

表 1 全球的电动汽车充电接口汇总表

Table 1 Summary of global EV charging interfaces

	GB/T	GB/T 2015+	ChaoJi	CHadEM0(2.0)	CHadEM0(3.0)
外观					
最大功率	750Vx250A= 185KW	1500Vx800A= 1200KW	1500Vx800A= 1200KW	1000Vx400A= 400KW	1500Vx600A= 900KW
通讯协议	Can (SAE J1939)	Can (SAE J1939)	Can (SAE J1939)	Can (ISO 11898)	Can (ISO 11898)
应用区域	中国	中国、印度	中国	全球	日本
冷却	自然冷却	液冷	液冷	液冷	液冷
开始应用	2012	2023	2023	2009	2021

	CCS1	CCS2	Tesla	Ultra-ChaoJi	MCS
外观					
最大功率	1000Vx500A=500KW	1000Vx500A=500KW	410Vx610A=250KW	1500Vx3000A=4500KW	1500Vx3000A=4500KW
通讯协议	PLC (ISO 15118)	PLC (ISO 15118)	Can (SAE J2411)	Can or Ethernet (ISO 15118)	Can or Ethernet (ISO 15118)
应用区域	美洲	欧洲, 韩国, 澳大利亚	全球	中国	全球
冷却	液冷	液冷	液冷	液冷	液冷
开始应用	2014	2013	2012	2024	2024

1 大功率充电端的液冷关键技术

大功率充电产品结合了机、电、液、热控等多方面新技术，包括从源端到车端的控制关键技术、液冷关键技术、基础支撑技术等多领域的关键技术^[3]，技术架构如图 1 所示。

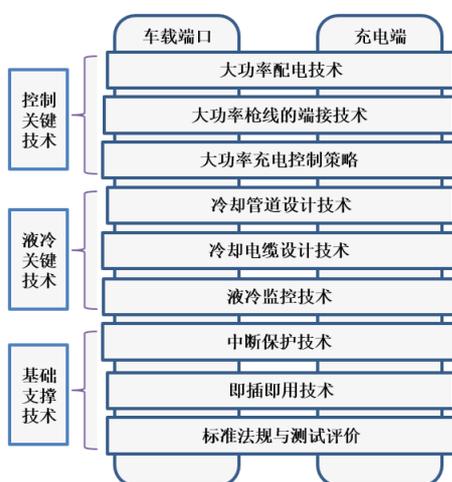


图 1 关键技术架构图

Fig. 1 Architecture of key technologies

液冷关键技术包括冷却管道设计、冷却电缆设计和液冷监控技术。

1.1 冷却管道设计

液冷系统的设计一般要求满足冷却系统的散热功率大于冷却管道的散热功率，冷却管道的散热功率大于导体的发热功率。如何实现发热导体和冷却液体的有效热交换是冷却管道设计的重点和难点。

2) 采取非隔离直接液冷接触的冷却管道需要满足散热、吸热和发热之间的热量关系，表示为

$$P_{\text{发热}} < Q_{\text{吸热}}/t < Q_{\text{散热}}/t \quad (1)$$

$$P_{\text{发热}} = I * I * R \quad (2)$$

$$P_{\text{吸热}} = Q_{\text{吸热}}/t = cm\Delta T/t = c\rho q\Delta T = c\rho vS \quad (3)$$

式中： c 为比热容，如二甲基硅油的比热容为 1630 kg/m^3 ； m 为冷却液质量 kg ； V 为冷却液体积 m^3 ； ΔT 为冷却液温升(冷却液进出口温差) $\text{K}(\text{C})$ ； q

为流量 L/min ； t 为时间 s ； v 为液体流速； S 为管道截面积。

实际中通常采用绝缘冷却液作为冷却剂，通过非隔离的管道设计来实现直接接触冷却。非隔离冷却管道的端接设计方案大多采取水包铜的非隔离冷却管道方式，如图 2 所示。水包铜的非隔离冷却管道将导体浸泡在液冷液中，充分热交换，冷却液隔离导体热量传递到绝缘护套上，较少了电缆外的发热^[4]。

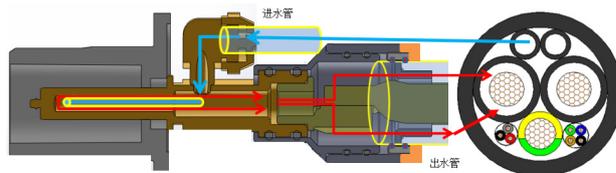


图 2 水包铜的非隔离冷却管道

Table 2 Copper-in-water non-isolated cooling duct

2) 采用隔离非直接液冷接触的管道设计时，冷却液和导体之间由绝缘导热材料进行绝缘隔离导热。冷却液可采用工作温度范围宽、成本低的水乙二醇。绝缘导热的材料可采用陶瓷或添加导热成分的绝缘材料^[5]。添加的导热成分构建导热路径，热传导率可提升到 20W/mk ，如图 3 所示。

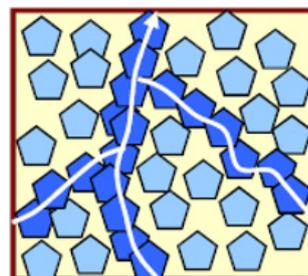


图 3 绝缘导热路径图

Table 3 Path of insulation heat conduction

隔离冷却管道的端接设计方案较多，主要采取接触热交换和浸泡热交换的方式，实现发热芯件和冷却管道的热交换。冷却管道采取内部流动循环，冷却液由进水口流入，在密封管路中流动，通过端接的绝缘导热层吸收产生的热量，再通过从出水口流出。通过循环流动，带走导体发热产生的热量^[6]。

接触热交换的方案通过绝缘导热的材料，如陶瓷材料，实现导体和热交换盒的热量传递。但是由于空间限制，只能实现局部面积的接触和热交换，散热效率低^[6]，如图 4 所示。

浸泡热交换的方案将发热导体浸泡在绝缘导热的材料内，实现 360° 度的浸泡和热交换^[7]，如表 2 所示。散热面积大，散热效率高，目前是主流的隔

离冷却的管道设计方案。

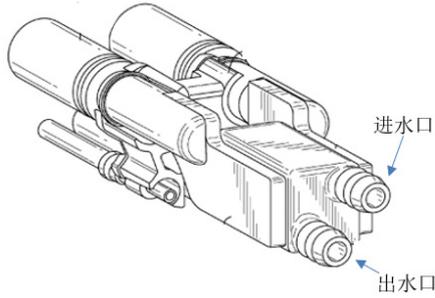
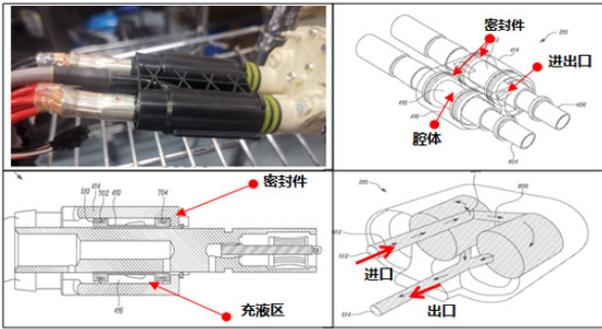


图 4 接触热交换的隔离冷却管道方案

Fig. 4 Isolated cooling duct scheme of contact heat exchange

表 2 浸泡热交换的隔离冷却管道方案

Table 2 Scheme of isolated cooling duct of steep heat exchange



1.2 冷却电缆的设计

液冷电缆包含传导电流的导线、控制线和冷却管道。按照水电是否隔离冷却电缆分为隔离冷却电缆和非隔离冷却电缆，如图 5、图 6、图 7 所示。

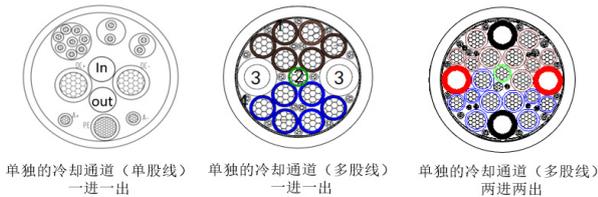


图 5 隔离冷却的电缆(水管和导体分离)

Fig. 5 Cables of isolated cooling (water pipe and conductor are separated)

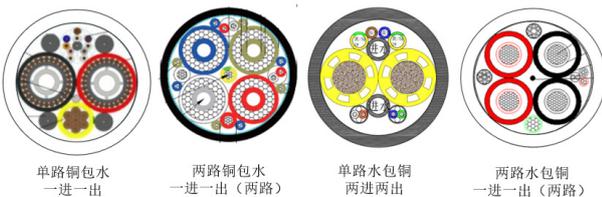


图 6 隔离冷却的电缆 (导体内有水路)

Fig. 6 Cables of isolated cooling (water path in conductor)

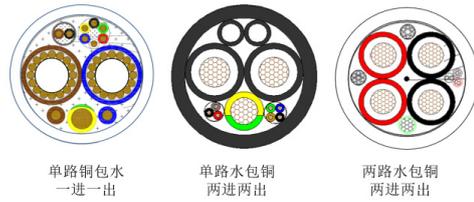


图 7 非隔离冷却的电缆

Fig. 7 Cables of non-isolated cooling

电动汽车的液冷电缆结构不同，主要决定于冷却方式和冷却液管路的要求^[8]。如采用非绝缘冷却液，冷却管道需要与导体隔离，进行隔离冷却；如采用绝缘冷却液，导体可以浸泡在冷却管道中，进行非隔离冷却。同时按照冷却管道的进出水管路分为一进一出、两进两出、一进两出等。

一进一出的冷却通道，冷却液从一路导体的管路流进，到达功率芯件的一极，在芯件中循环带走热量后再从芯件的另一极流出，经另一路导体流回，如图 8 所示。

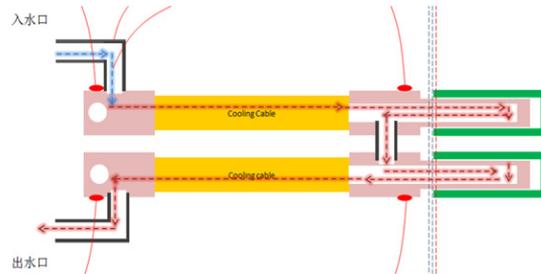


图 8 一进一出的冷却通道(非隔离冷却)

Fig. 8 One-in-and-one-out cooling path (non-isolated cooling)

两进两出的冷却通道，冷却液分别由单独的水路直接到达功率芯件的两极流入，在芯件中循环带走热量后，通过导体再分别由出水口流回。两路冷却相对独立。该冷却方式可以将温度低的冷却液直接到达芯件进行热交换，吸热效率高。两路冷却独立，可以分别控制两极的冷却状态，可控性好，目前被普遍采用，如图 9 所示。

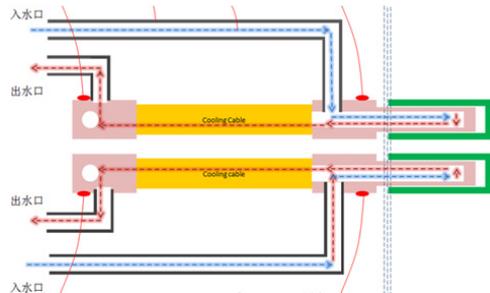


图 9 两进两出的冷却通道(非隔离冷却)

Fig. 9 Two-in-and-two-out cooling path (non-isolated cooling)

1.3 液冷监控的设计

电动汽车大功率充电时，充电电流大且发热多，通过液冷系统进行冷却散热。开展液冷的有效监控，是至关重要的设计。一般通过布置温度传感器来对产品的发热情况进行监控^[9]。由于液冷系统的运行会对温度传感器的温度监控产生影响。温度传感器的布置位置、温度监控的准确性和及时性需要考虑和验证。同时还要考虑到当系统失效后如何及时地发现和报警处理。温度传感器的位置

大功率充电的发热部位包括芯件的接触区域、功率芯件的端接区域和导体部分，如图 10 所示。

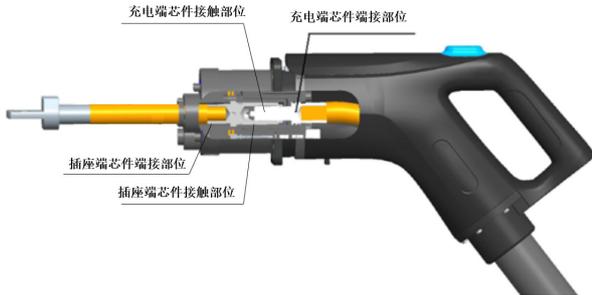


图 10 大功率充电的连接区域

Fig. 10 Connection area of high-power charging

接触区域的电阻包括导体电阻、接触电阻和皮膜电阻。导体电阻与选用的材料相关，一般选用紫铜。接触电阻和正压力相关，在 100 g 正压力作用下接触电阻为毫欧级。皮膜电阻与接触涂层相关^[10]。接触对经常插拔摩擦时皮膜阻值是个变值。一般情况下接触区域的电阻值在几毫欧左右，如图 11 所示。

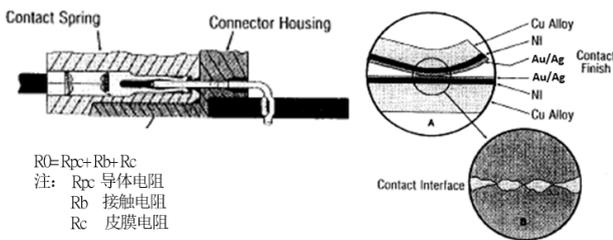


图 11 接触区域的电阻构成

Fig. 11 Resistor composition of contact area

端接区域的电阻取决于端接的方式和端接的导体截面积。目前常采用压接和超声波焊接。超声波焊接的端接电阻比压接的端接电阻小，为行业中常用的端接方式。如表 3 所示。

导体的电阻取决于导体的截面积。GB/T 3956—2008 规定 20℃时导体直流电阻不超过表 4 的最大值^[11]。考虑到电缆重量，一般采用截面积小的电缆，通过液冷系统带走多产生的热量。采用小截面积电

缆时，电缆发热也需要考虑。导体电阻和接触及端接部位的电阻相比，阻值小且发热低。

表 3 压接和超声波焊接对比表

Table 3 Comparison between crimping and ultrasonic welding

对比项	超声波焊接	压接
原理	金属分子间熔融	塑性变形
表面膜电阻	刺穿表面氧化膜，无膜电阻	存在
长期过电流电阻变化	无	有
初态电阻 (70mm ² 通线+连接器)	2-5 μΩ	10-20 μΩ
压缩比	95% - 120%	80% - 90%

表 4 导体截面积的直流电阻表

Table 4 DC resistance of conductor ultrasonic welding

线芯规格	20℃导体直流电阻 单位: Ω/Km
70mm ²	0.272
50mm ²	0.386
25mm ²	0.780
16mm ²	1.21
13.3mm ²	1.348
6mm ²	3.30
4mm ²	4.95
2.5mm ²	7.98
1.5mm ²	13.3
0.75mm ²	26.0

大功率充电的发热较高的区域为端子的接触区域和端子的端接区域，这也是温度传感器的布置区域，如图 11 所示。由于端子的接触区域是插拔的区域，一般无法布置温度传感器。因此一般在接触区域和端接的区域之间布置温度传感器。同时还要考虑到液冷通道影响，应尽量远离冷却通道^[12]。

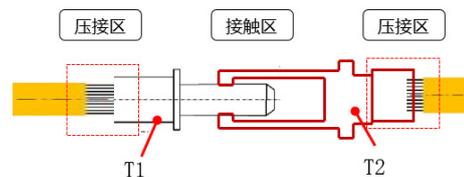


图 12 温度传感器的布置位置

Fig. 12 Layout of temperature sensor

1.3.1 温度传感器的准确性和及时性

温度传感器受到布置位置和液冷系统的影响，读取的温度数值和充电端接处的最高温度点的温度存在差异。厂商需要对温度传感器进行测试校准，确保读取的数值准确有效^[13]。

在校准测试中，通过在充电端接处的最高温度点处布置温度传感器，直接读取温度值。同时读取布置在产品中的温度传感器的温度值。两者温度差

值控制在一定的偏差范围内，如图 11 所示。进行温度控制时，控制阈值的设定考虑温度偏差，保证控制准确。

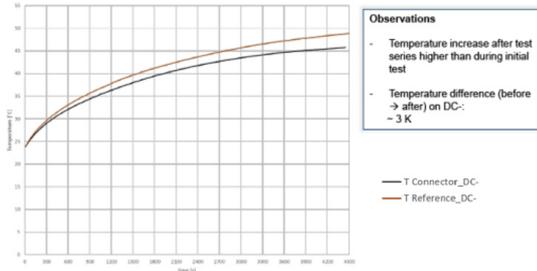


图 13 温感温度和实际温度的温升曲线

Fig. 13 Temperature rise curves of thalposis and real temperature

考虑到大功率充电失效时，温度会发生急剧的变化。在较短的时间需要立即采取措施予以控制，避免温度失控。这就要求温度传感器有一定的反应速度，体现在温升曲线的斜率和失控温升曲线的斜率差值控制在一定的范围内，见图 14 所示。进行温度控制时，控制阈值的设定考虑到温度斜率的变化值，保证及时控制。在实际产品方案中，存在冷却系统的强相关影响，导致温度传感器的斜率变小。此时可设定不同的通载电流，来测试获得异常时不同的温度变化曲线。温度控制策略中规定不同电流下的温度变化斜率控制阈值，来保证控制及时。

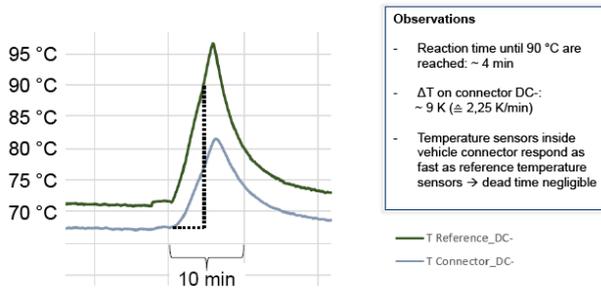


图 14 温感温度和实际温度的突变温升曲线

Fig. 14 Abrupt temperature rise curves of thalposis and real temperature

1.3.2 泄漏失效的监控

液冷系统是不允许发生泄漏的。泄漏会导致液冷系统失常，打破设定的热平衡。在实际使用中，由于零部件的老化或其他异常原因，液冷系统泄漏是不可避免的。特别是在隔离冷却的情况下，非绝缘液的泄漏会带来触电风险，危害很大。通常采取绝缘检测来检查是否发生泄漏。见图 15 所示。正常情况时，PE、DC+、DC-、测试棒、裸铜线之间隔离，绝缘电阻 > 100 M 欧姆。异常情况如下，检测各电位值可以判定是否发生泄漏。

- 1) 导线中水管如有液体泄漏，裸铜线(3)和测试棒(2)之间的绝缘电阻会下降；
- 2) 线中如有导线破皮，裸铜线(3)和 DC+/DC-(1)之间的绝缘电阻会下降；
- 3) 插头中如果芯件的绝缘导热层破损，则 DC+/DC-(1)和测试棒(2)之间的绝缘电阻会下降；
- 4) 插头中如果水道外的绝缘层破损泄漏，则 PE(3)和测试棒(2)之间的绝缘电阻会下降；

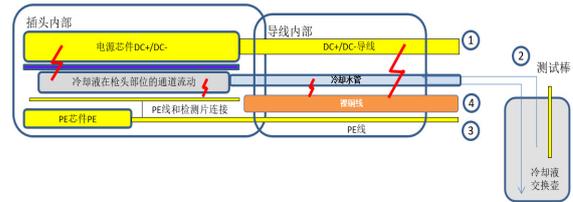


图 15 泄漏电位检测图

Fig. 15 Leakage potential detection diagram

2 大功率充电端的解决方案

大功率充电系统包括大功率充电桩、大功率充电端、大功率插座线束和大功率电池，见图 16。由于大功率充电端使用频率高，并应需适配各种用电器充电功率大，故此大功率充电端一般使用液冷方案，实现大功率的通载。

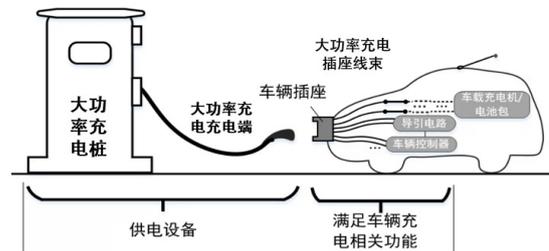


图 16 大功率充电系统架构组成图

Fig. 16 Composition of high-power charging system architecture

2.1 隔离冷却解决方案

不同的厂商有不同的隔离冷却解决方案。隔离冷却的解决方案包括液冷端接管路方案、液冷电缆和冷源及冷却液。例如 A 公司使用了一种隔离冷却的解决方案，如图 17、图 18 所示。

1) 液冷端接的管路使用了热交换盒的方式。导体采取超声波焊接的方式焊接在导体上，获取较低的接触电阻，减少发热。发热导体外部装配有绝缘导热的陶瓷材料，中间填充物为导热硅脂类材料。外部采用热交换盒结构，有一个进水口和一个出水口。冷却液在热交换盒中循环流动。导体热量通过陶瓷件传递到冷却液中，实现热交换。冷却液循环流动带走端接部位的热量。

2) 电缆采取多股线的结构, 液冷水管和导体绝缘接触发生热交换, 导线中的热量也被水管中流动的冷却液带走部分热量。

3) 冷却液使用常规的水乙二醇, 具有较好的工作温度范围。

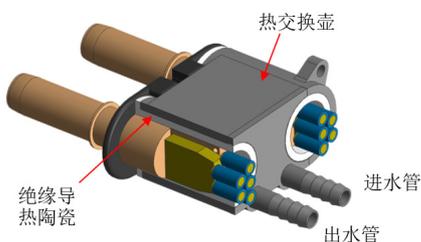


图 17 隔离冷却端接方案

Fig. 17 Connection scheme of isolated cooling terminal

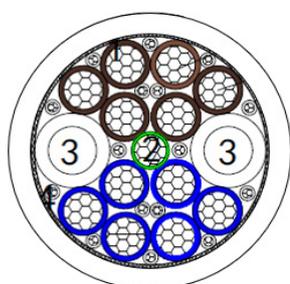


图 18 采用一进一出的多股线的冷却电缆

Fig. 18 Cooling cables of strand wire adopting one-in-and-one-out path

2.2 非隔离冷却解决方案

不同的厂商有不同的非隔离冷却解决方案。非隔离冷却的解决方案同样包括液冷端接管路方案、液冷电缆和冷源及冷却液。例如 B 公司使用了一种非隔离冷却的解决方案, 如图 19、图 20 所示。

1) 液冷端接的管路使用了芯件内循环流道的方案。导体采取压接的方式端接导体。发热导体外部的绝缘管套在芯件管上, 再通过密封固定件固定在芯件上。有两个进水口和两个出水口。冷却液在芯件内循环流道中循环流动。导体热量直接与冷却液热交换。冷却液循环流动带走端接部位的热量。



图 19 非隔离冷却端接方案

Fig. 19 Connection scheme of non-isolated cooling terminal

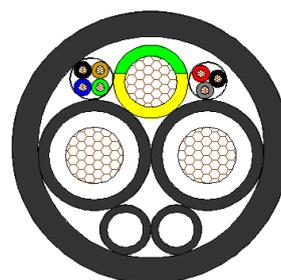


图 20 两进两出的水包铜的冷却电缆

Fig. 20 Cooling cable of copper-in-water with two-in-two-out path

2) 电缆采取水包铜的结构, 液冷液和导体直接接触, 发生热交换, 导线中的热量也被水管中流动的冷却液带走部分热量。同时采用单独的水管和芯件连接。

3) 冷却液使用常用的绝缘液, 如硅油, 具有良好的绝缘性。

2.3 液冷监控的解决方案

据统计充电中发生失火占电动汽车失火的比例为 25% 以上。大功率大电流的充电将加剧发热失效。电动汽车的大功率充电的安全问题需要非常重视。

解决安全问题主要从本征安全、主动安全、被动安全三个方面考虑。首先从设计和制造的层面, 把产品设计和验证好, 从本征安全的根本上来保证安全水平。其次要考虑采取有效的热监控和热管理措施来做好主动安全, 控制好使用边界, 不允许超出边界的情况发生。最后当液冷系统失效时, 应有效的侦测和反馈, 及时采取措施来降低损失。

1) 使用有效的监控和热管理方案, 做好主动安全温度传感器的位置布置通常在接触部位和压接部位中间, 尽量靠近芯件的接触部位, 如图 21 所示。

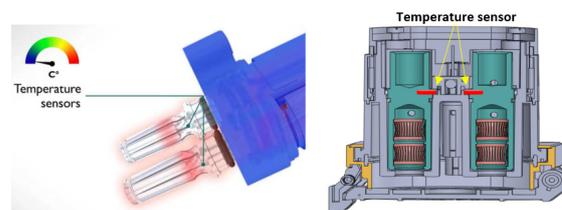


图 21 充电枪和插座中温度传感器的布置位置

Fig. 21 Layout location of charging gun and socket's temperature sensor

2) 实现泄漏检测, 一旦液冷系统发生泄漏时可以及时感知报警

许多厂商的产品中已实现了泄漏侦测的功能^[4], 如图 22 所示。当非绝缘冷却液体发生泄漏时, 液体会滴落在检测板上, 导致 PCB 上电路短路。短路信号发送给系统, 提报发生泄漏失效。

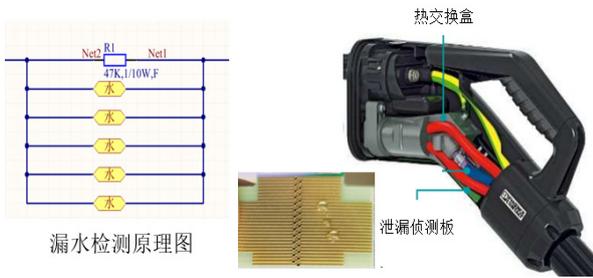


图 22 非绝缘冷却液体泄漏侦测结构

Fig. 22 Leakage detection structure of non-isolated cooling liquid

2.4 提升可靠性的解决方案

大功率充电给整个充电系统带来可靠性的挑战。保证产品的可靠性是大功率得以广泛使用的必要前提。针对不同产品间互换性匹配、不同的使用场景和环境，开展标定测试、定期检测和控制策略的动态优化调整等措施，有效提升产品的可靠性。

2.4.1 开展车辆和大功率桩的整车适配性标定测试

在新车和新大功率桩投入使用前，开展整车的标定测试，如图 23 所示。充电桩的大功率枪插入到标定测试设备的插座内，测试设备的大功率枪插入到车辆上。标定测试步骤如下，通过测试设备模拟异常来判断被测产品是否能侦测到并及时响应。



图 23 车辆和大功率桩的整车适配性标定测试

Fig. 23 Calibration test of vehicle and high-power pile suitability

调节测试设备的参数，满足车辆端或桩端读取的参数数据和未接入标定测试设备时的参数数据(如监控的发热曲线)一样。

标定车辆时，将大功率插头内部通过电阻丝进行加热，模拟大功率枪头发生发热失效。判断车辆是否能够予以响应。调节测试设备中液冷系统参数，模拟液冷系统发生故障失效，来判断车辆端是否能够予以响应。判定依据，在失效发生达到危险状态时，车辆应及时予以响应并采取保护措施。

标定大功率充电桩时，将大功率插座内部通过电阻丝进行加热，模拟大功率插座发生发热失效。判断大功率充电桩是否能够予以响应。判定依据，在失效发生达到危险状态时，大功率充电桩应及时予以响应并采取保护措施。

2.4.2 车辆和设备进行定期保养，保证产品可靠运行

对于车辆和设备的温度传感器的准确性和灵敏度进行测试。将测试设备接上车辆或大功率充电桩。不通电的情况下，分别调节大功率插头或插座内的电阻丝进行逐步加热。同时检测车辆和设备的温度传感器的传递温度是否同步响应变化。分别调节大功率插头或插座内的电阻丝进行快速加热，同时检测车辆和设备的温度传感器的传递温度是否同步快速响应变化。得到变化曲线，并与初始曲线进行对比，判定温度传感器的准确性和灵敏度。

2.4.3 开展测试数据监测进行大数据梳理，构建大功率充电桩的动态、自适应控制策略

收集实际使用中的各种电流、检测温度、环境温度、流量、压力、异常处理、使用次数等参数，进行后台的大数据分析，构建多参数的温度控制函数。在温度控制在安全范围内的前提下，优化降额控制逻辑，通过 OTA 实时地更新控制策略，提升用户体验和使用安全，如图 24 所示。对于充电体验变差的状态予以判断，及时进行报警和维护处理，防患于未然。

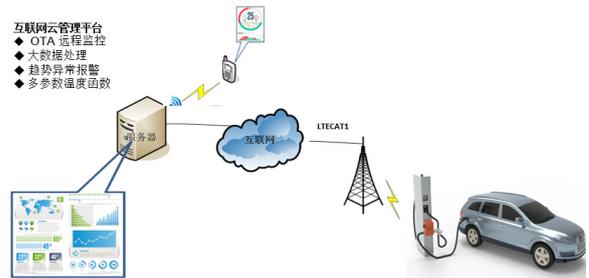


图 24 充电数据远程分析、动态调节控制策略

Fig. 24 Strategy of charging data remote analyzing and dynamically adjusting

3 大功率充电端的发展趋势

大功率充电应用刚刚起步，充电电流不断提升，充电场景不断扩展，充电功率需要达到兆瓦级来满足电动重卡充电，如图 25 所示。随着使用中难点和痛点问题的不断解决，大功率充电将进入快速发展期。



图 25 充电功率和应用场景示意图

Fig. 25 Schematics of charging power and application scenarios

3.1 用于超大用电器的兆瓦级充电

2022 年底，特斯拉率先推出了针对电动重卡的兆瓦级大功率充电方案，实现了 1000 V/1000 A 的兆瓦充电^[15]，如图 26 所示。为实现兆瓦级充电，特斯拉在 V3 的充电系统升级了充电接口和液冷电缆，将冷却效率提升到 35A/mm²。



图 26 特斯拉兆瓦级充电场景

Fig. 26 Tesla MW charging scenarios

IEC 起草了 MCS(MEGAWATT CHARGING SYSTEM)充电标准。中国电动汽车充电设施标委会也已开始 ULTRA CHAOJI 的标准预研工作。随着充电功率达到兆瓦级功率，使得电动轮船、电动飞机等超大用电器的充电成为可能，如图 26 所示。兆瓦级充电带来更多行业的电气化，引发产业升级。



图 27 电动轮船和电动飞机

Fig. 27 Electric ship and aircraft

3.2 超导材料的应用减少发热

大功率充电的最大问题是导体电阻带来的发热问题。如果使用超导材料，将避免发热及发热带来的一系列问题。

许多材料都可以成为超导体，但是它们需要被冷却到非常低的温度，才能够没有电阻的情况下传输电力。虽然有些超导体可在较高的条件下工作，但必须承受极大的压力，这意味着无法在实际中应用。目前有研究团队表示，已经创造出了一种在室温 and 相对较低压力条件下工作的超导体。该超导体在约 21 °C 的温度条件下失去了对电流的阻力。但实现超导仍然需要 10 千巴的压力，这大约是大气层压力的 10000 倍。但远远低于室温超导体通常所需的数百万个大气压。超导体如果能在常规条件下工作，制作成充电电缆，用于大功率充电，将预示着新的时代到来。

3.3 低成本高效率的冷却液的应用

大功率充电的散热问题需要高效率的冷却液。

由于考虑成本，目前采用成本低、经济可靠的水乙二醇作为非绝缘冷却液，采用二甲基硅油作为绝缘冷却液。在不同冷却液中，性能最好的冷却液是氟化液，见表 5。但是氟化液的价格昂贵，影响了该冷却液的推广使用。未来需要开发新型的冷却液，满足低成本、高效率和高安全的要求。

表 5 不同冷却液物性汇总表

Table 5 physical property of different cooling liquid

冷却液	变压器油 electric insulating oil	二甲基硅油 201-10 Dimethyl silicon	3M FC3283	水乙二醇 50:50 Water glycol
密度/kg/m ³	895	935	1820	1071
比热/kJ/kg°C	2100	1630	1100	3300
粘度 cst (mm ² /s)	13 (40°C) 1800 (-30°C)	10 (25°C)	0.75 (25°C) 7 (-50°C)	3.39 (25°C) 66.9 (-35°C)
粘温特性	粘度系数大high	粘度系数大high	粘度系数小low	粘度系数一般
绝缘性	绝缘	绝缘	绝缘	不绝缘
价格	低 (13元/kg) low	中等 (37元/kg) medium	昂贵 (425元/kg) high	低 (<10元/kg) low
介电强度	35kV/mm	12kV/mm	40kV/mm	—
沸点°C	Flash point/闪点135	Flash point/闪点160	128	107.2
倾点°C	-45	-65	-50	-30
阻燃	不阻燃not	不阻燃not	阻燃yes	不阻燃not
环保	对土壤和水源造成污染	环保ok	环保 (温室效应值较高) ok	对水源有影响
可维护性	易	易	无需维护	易
法规	非危害品 no harm	非危害品 no harm	非危害品 no harm	非危害品 no harm

4 总结

电动汽车大功率充电技术发展，已实现了充电 5 min 续航 300 km，解决了电动汽车紧急充电时间长、续航里程短的问题，用户获得与燃油车同样的使用体验。大功率充电端使用了液冷散热的方式，有效解决了充电枪线在频繁使用时的发热问题。通过控制技术、液冷技术、基础支撑技术等多方面关键技术的融合发展和产品的升级完善，大功率充电将逐步成为重要的补电方式，推进实现整个社会的电动化和低碳化的战略目标。

参考文献

- [1] 李旭玲, 等. 电动汽车新一代超级充电安全防护及检测技术研究与应用项目超级接口的连组件研究报告 [R]. 北京: 国家电网公司, 2020.
- [2] 欧洲电动汽车充电接口新标详解 [R]. TUV Rheinland, 2023.
- [3] 充电基础设施技术专题组, 节能与新能源汽车技术路线图 2.0 版 [R], 中国汽车工程学会, 2020.
- [4] 周红斌, 中国大功率接口的产品介绍 [R]. 东京: ChaoJi HPC F2F meeting, 2019.
- [5] 基于新型填料高填充技术的导热材料研究开发 [R]. 日本: TORAY, 2018.
- [6] 电动汽车大功率充电端的 ChaoJi 液冷解决方案 [R]. 第三届电动汽车充换电设施技术创新大会: 2023.
- [7] 特斯拉公司. 液体冷却充电连接器, 中华人民共和国国家知识产权局: CN11936347A [P]. 2020-11-13.

- [8] 中国汽车标准化技术委员会. 电动汽车传导充电用连接装置 第1部分: 通用要求: GB/T 20234.1—2023 [S]. 北京: 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2023.
- [9] 中国电力企业联合会. 电动汽车传导充电用连接装置 第4部分: 大功率直流充电接口: GB/T 20234.4—2023 [S]. 北京: 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2023.
- [10] Robert S. Mroczkowski, *Electronic Connector Handbook* [J], McGraw-Hill Professional , 1997
- [11] 中国电器工业协会. 电缆的导体: GB/T 3956-2008[S]. 北京: 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2023.
- [12] 超级 ChaoJi 大功率接口特点和应用介绍[R]. 第二届电动汽车充换电设施技术创新大会: 2022.
- [13] 中国汽车标准化技术委员会. 电动汽车传导充电用连接装置 第3部分: 直流充电接口: GB/T 20234.3—2023 [S]. 北京: 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2023.
- [14] 菲尼克斯电动交通有限公司, 中华人民共和国国家知识产权局: CN108886211A[P]. 2018-11-23.
- [15] 特斯拉纯电动重卡 Semi 来了, 能否再次颠覆重卡市场 [R], 乘用车公社, 2022.

收稿日期: 2023-08-08; 修回日期: 2024-02-10

作者简介:

周红斌(1972—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电动汽车高压充电系统; E-mail: zhouhb@kn-nanjing.com