·线缆研究与开发·

DOI:10.16105/j.dxdl.1672-6901.202403004

液冷充电系统及液冷电缆的研究设计

陈帅雨[1], 取立群[1], 柯志欣[1], 刘仰航[2], 彭建华[2], 海旭强[3], 熊建兵[4]
(1.广东南缆电缆有限公司, 广州 510000;2.浙江力达电器股份有限公司, 广州 510000;
3.比亚迪股份有限公司, 深圳 518000;4.深圳快充实业有限公司, 深圳 518000)

摘 要:文中研究了液冷充电桩电缆的结构和材料选择,分析了冷却液介质、液冷充电系统及液冷充电枪的关键性能。试验对比了“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆在不同载流量下的导体温升,并对结果进行了分析。结果表明,相同功率条件下,“水浸铜”式液冷充电桩电缆比“铜包水”式液冷充电桩电缆的温升更低,冷却效果更好。

关键词:充电桩电缆;液冷系统;温升;液冷介质
中图分类号:TM247.9 **文献标志码**:A **文章编号**:1672-6901(2024)03-0018-04

Research and Design of Liquid Cooling Charging System and Liquid Cooling Cable

CHEN Shuaiyu[1], QU Liqun[1], KE Zhixin[1], LIU Yanghang[2],
PENG Jianhua[2], HAI Xuqiang[3], XIONG Jianbing[4]
(1. Guangdong Line Giant Cable Co., Ltd., Guangzhou 510000, China; 2. Zhejiang Lida Electric Co., Ltd., Guangzhou 510000, China; 3. BYD Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;
4. Shenzhen Fast Enrichment Industry Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Structure and material selection of the liquid cooling charging station cable were studied. Key performance of coolant medium, liquid cooling charging system, and liquid cooling charging gun were also analyzed. Conductor temperature rise of “water immersed copper” type liquid cooling charging station cable and “copper wrapped water” type liquid cooling charging station cable was tested and analyzed. Results showed that under the same condition, the “water immersed copper” type had a lower temperature rise and better cooling effect than the “copper wrapped water” type.

Key words: charging station cable; liquid cooling system; temperature rise; liquid cooling medium

0 引 言

新能源汽车市场急剧扩大,推动了电动汽车充电桩的快速发展。当前,新能源汽车充电效率受充电电流限制,过大的充电电流易导致充电桩电缆导体与端子连接处发热,不仅限制充电效率增加充电时间,严重时甚至还会引发火灾。因此,迫切需要研制出大电流、长寿命的新型充电桩和充电桩电缆。国内大功率充电技术路线主要有两条,一条为以中国汽车技术研究中心为代表,主张在 GB/T 33594—2017《电动汽车充电用电缆》和 GB/T 20234.1—2015《电动汽车传导充电用连接装置 第 1 部分:通用要求》基础上进行升级[1-2];另一条为国家电网及中国电力企业联合会联合主导的与国际接轨的全新超级充电技术标准[3]。此外,部分企业执行 IEC 标准[4],美国福特汽车公司与普渡大学联合,基于过冷沸腾原理成功研制了一种新型液冷电缆,载流量可达 1 600 A,充电时间可缩短至 5 min[5-6]。

本工作研究了新型循环式液冷充电系统和液冷充电桩电缆。其中,液冷充电系统主要由充电桩、液冷充电桩电缆和充电枪组成,主要研究了液冷充电桩电缆和端子的结构设计,对比了不同液冷电缆结构的温升数据。

1 液冷充电系统

1.1 冷却循环系统

市场上常见的大功率充电系统均采用强制冷却

收稿日期:2023-07-05
作者简介:陈帅雨(1993—),男,工程师。
E-mail:2476221814@qq.com

法使电缆、枪尾和枪头部分冷却散热。强制冷却法分为风冷、液冷和制热片散热。其中,风冷散热降温效果差,电缆无法完全冷却;制冷片散热效率低,电缆无法快速冷却。因此,液冷散热为强制冷却的首选方式。

新型液冷充电桩电缆采用冷却液循环制冷方式。循环流动的冷却液通过充电桩、电缆和枪头的冷却通道带走热量,降低电缆及连接端子处长时间、大功率充电的温升,液冷循环系统示意图见图 1。

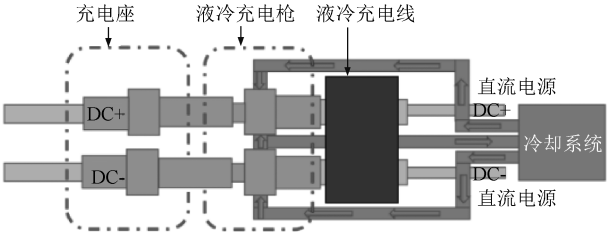


图 1 液冷循环系统示意图

由图 1 可知,液冷循环不经过车内充电座,充电座电缆采用 95 mm^2 铜导体。该导体与端子连接处采用超声波焊接,通过超声波震动,焊接处的温度迅速达到金属材料熔点,焊接面完全熔合,不存在接触电阻,连接端子的直流电阻远小于压接端子。经测试,在环境温度为 35 ℃时,对充电座电缆施加 600 A 电流,充电 10 min 时的温升不超过 44 K,充电 18 min 时的温升不超过 55 K,符合 GB/T 37133—2018《电动汽车用高压大电流线束和连接器技术要求》[1] 中“电动汽车高压连接系统正常工作时,系统各点温升应不大于 55 K”的要求。

1.2 液冷充电桩电缆

1.2.1 冷却液选择

新型液冷充电桩电缆分为“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆两大类。其中,“水”为各种性质的冷却液,冷却液为系统热交换的介质,介质不同冷却效果不同。选择冷却液时,除考虑冷却效果外,还需要考虑冷却液在冷却管道中的流速、安全性和环保性,以及对导体是否有腐蚀性等,这些因素均会影响液冷系统的使用寿命。

目前,市场上“水浸铜”式液冷充电桩电缆使用的冷却液主要为二甲基硅油;“铜包水”式液冷充电桩电缆主要为水+乙二醇混合液。二甲基硅油具有良好的介电性能,其抗水性能好、可压缩性高、表面张力低、热稳定性好、无嗅无毒,50 ℃时的导热率为 0.000 32 $W\cdot(m\cdot k)^{-1}$;水+乙二醇混合液具有良好的载热能力、较高的比热容、良好的热稳定性,且不易挥发、比重小,导热率为 0.384 $W\cdot(m\cdot k)^{-1}$。本工作中“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆的冷却液分别为二甲基硅油和水+乙二醇混合液。

1.2.2 冷却管设计

液冷充电桩冷却管材料是决定液冷充电桩电缆使用寿命的重要因素。目前,液冷充电桩冷却管材料主要有热塑性聚烯烃(TPO)、热塑性弹性体(TPE)、聚酰胺(PA)、热塑性聚氨酯弹性体(TPU)和聚全氟乙丙烯(FEP),其硬度和耐温等级见表 1。

表 1 冷却管材料的硬度和耐温等级

冷却管材料	硬度/邵氏 A	耐温等级/℃
TPO	40~100	−40~125
TPE	0~100	−30~110
PA	50~100	−45~120
TPU	50~100	−30~120
FEP	85~100	−60~220

冷却管须具有优异的抗压能力、热老化性能、耐油性、耐酸碱性等。经综合评估,FEP 的各项性能均比其他材料优异,较适合作为液冷充电桩冷却管材料。

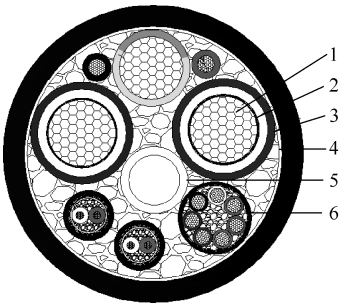
1.2.3 导体设计

液冷充电桩电缆增加了液冷循环系统,对电缆导体的制造工艺和冷却管的材料选择等提出了更高的要求。“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆的导体,均采用 GB/T 3956—2008《电缆的导体》中的 6 类导体。其中,“水浸铜”式液冷充电桩电缆的裸铜导体,经过铜丝束绞和复绞后,再进行镀锡铜丝编织,将裸铜导体束紧,使其不易松散,保持冷却管通畅。裸铜导体加上镀锡铜丝编织后的导体电阻符合 GB/T 3956—2008 的规定。

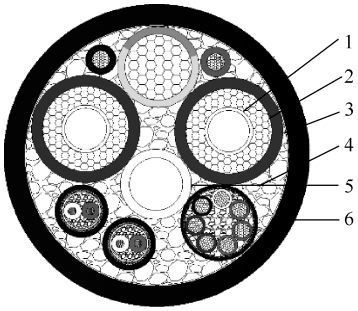
试验证明,镀锡铜丝的编织密度为 83% ~87% 时,冷却液流速和导体传热效率最佳。对于截面面积为 35 mm^2、导体直径为 8 mm 的电缆,冷却管的直径宜为 12~14 mm。确定冷却管尺寸后,还需要考虑冷却液的流速和流量(一般不小于 6 $L\cdot min^{-1}$)、冷却管材料的硬度、爆破压力和外径等因素。

本工作采用的“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆结构示意图分别见图 2、图 3。

由图 2,图 3 可知,“铜包水”式液冷充电桩电缆是将束绞铜丝导体直接复绞在液冷管道上,再挤包交联聚烯烃或弹性体绝缘,其冷却液与导体之间相互隔离,冷却液不直接接触电缆导体,其带走的热量



1—绞合铜导体;2—编织铜导体;3—液冷出口管道;
4—绝缘层;5—液冷进口管道;6—控制芯线
图 2 “水浸铜”式液冷充电桩电缆结构示意图



1—液冷出口管道;2—绞合铜导体;3—绝缘层;
4—填充;5—液冷进口管道;6—控制芯线
图 3 “铜包水”式液冷充电桩电缆结构示意图

有限,冷却效果不太理想。“水浸铜”式液冷充电桩电缆具有冷却效率高、载流能力强等优点,但电缆弯曲半径较小时,冷却管道易变形,进而导致冷却液的流速、流量和冷却效果受限。一般,应根据具体使用场景和要求,选择液冷电缆结构。

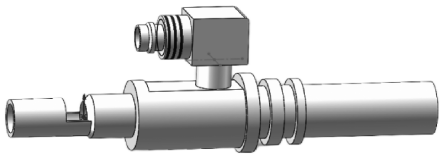
2 液冷系统组件结构设计

液冷端子结构影响冷却效果,主要影响因素为冷却管连接处的口径尺寸,口径尺寸与冷却液的单位流量有直接关系。与进液管相比,连接端子冷却管的单位容量较大,有助于减小冷却液从进液管流入连接端子的压力,使冷却管和液冷端子的连接处不发生泄漏。不同的冷却介质所用的液冷端子不同。不导电的液冷介质使用金属接触式端子;导电的液冷介质则需要使用全绝缘式的液冷端子,以防冷却液和液冷端子接触。“水浸铜”式液冷端子和“铜包水”式液冷端子的模型及切面图分别见图 4 和图 5。

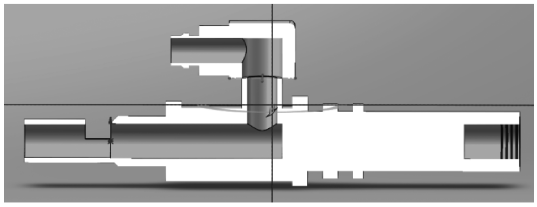
3 试验部分

3.1 试验方法

“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆冷却系统的结构不同,冷却效果也有

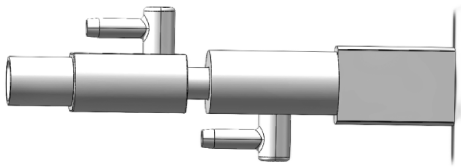


(a) 模型

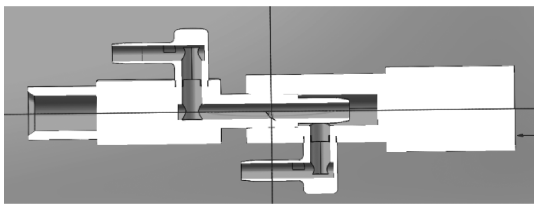


(b) 切面图

图 4 “水浸铜”式液冷端子



(a) 模型



(b) 切面图

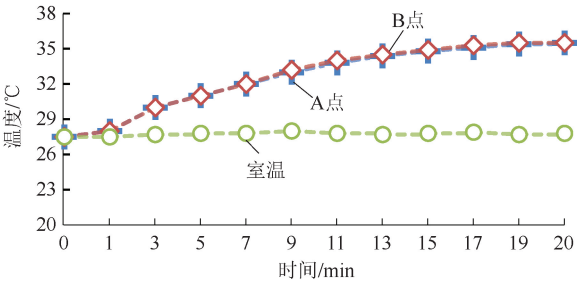
图 5 “铜包水”式液冷端子

较大差异。根据 GB/T 20234.1—2015 中的试验方法,将温控线芯置于液冷枪头的端子压接处,分别在 1 000 V 直流电压下,施加 500 A 和 600 A 的电流,液冷充电桩电缆导体为 35 mm^2 铜导体,充电座组件为 95 mm^2 的连接线,持续 20 min,冷却液出口压力为 0.75 MPa,进口压力为 0.08 MPa,流量为 3.33 $L \cdot min^{-1}$。

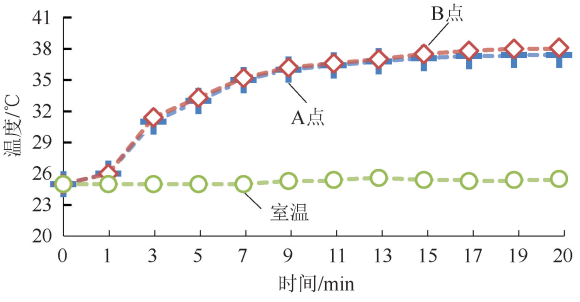
3.2 结果分析

“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆在 500 A 和 600 A 的电流下运行 20 min,温升曲线分别见图 6 和图 7,其中枪头压接处 A 点、B 点均为液冷枪头与端子压接处。

由图 6 和图 7 可知,“水浸铜”式液冷充电桩电缆在直流电压为 1 000 V、电流为 500 A、加载 20 min 时枪头压接处的平均温升为 8 K;直流电压为 1 000 V、电流为 600 A、加载 20 min 时枪头压接处的平均温升为 17.7 K。“铜包水”式液冷充电桩电缆在直流电压为 1 000 V、电流为 500 A、加载 20 min 时枪头压接处的平均温升为 35 K;直流电压为 1 000 V、电流为 600 A、加载 20 min 时枪头压接

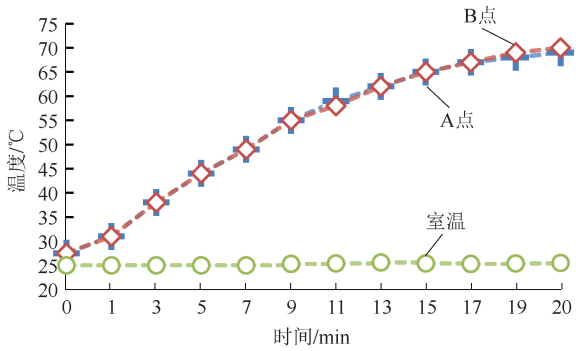


（a）500 A电流下液冷充电系统温升曲线

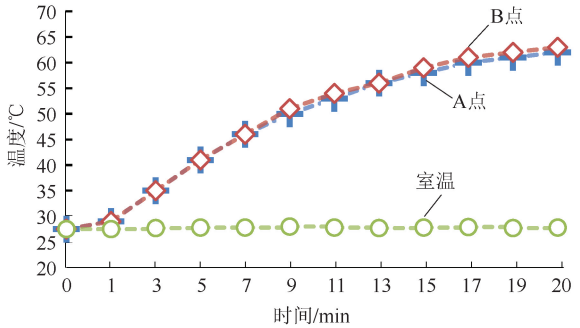


（b）600 A电流下液冷充电系统温升曲线

图 6 “水浸铜”式液冷充电桩电缆温升曲线



（a）500 A电流下液冷充电系统温升曲线



（b）600 A电流下液冷充电系统温升曲线

图 7 “铜包水”式液冷充电桩电缆温升曲线

处的平均温升为 43 K。试验结果表明，在相同功率下，“水浸铜”式液冷充电桩电缆比“铜包水”式液冷充电桩电缆的温升更低，冷却效果更好。

4 结束语

液冷充电桩和液冷充电桩电缆具有显著的经济效益和社会效益，是国内外的热门研究方向。“水浸铜”式液冷充电桩电缆和“铜包水”式液冷充电桩电缆的充电功率均能够达到普通直流充电桩的 3~4 倍，其中“水浸铜”式液冷充电桩电缆比“铜包水”式液冷充电桩电缆的温升更低，冷却效果更好。新能源电动汽车的进一步发展，需要提高液冷充电系统的性能，特别是液冷充电桩电缆的充电效率、安全性和适用性，这对新能源电动汽车产业的快速发展至关重要。

参考文献：

[1] 全国汽车标准化技术委员会. 电动汽车充电用电缆：GB/T 33594—2017 [S]. 北京：中国标准出版社，2017.

[2] 全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—2015 [S]. 北京：中国标准出版社，2015.

[3] 国家电网公司. 电动汽车交流充电撞桩检验技术规范：Q/GDW 1592—2014[S]. 北京：国家电网公司，2014.

[4] IEC. Charging cables for electric vehicles of rated voltage up to and including 0. 6/1 kV——Part 4-2：Cables for DC charging according to mode of IEC 61851-1——Cables intended to be used with a thermal management system：IEC 62893-4-2：2021 [S]. Geneva：IEC，2021.

[5] KAYLA WILES. Electric vehicles could fully recharge in under 5 minutes with new charging station cable design [EB/OL]. (2021-11-10). https://www. purdue. edu/newsroom/releases/2021/Q4/electric-vehicles-could-fully-recharge-in-under-5-minutes-with-new-charging-station-cable-design. html.

[6] DEVAHDHANUSH V S，LEE S，MUDAWAR I. Experimental investigation of sub-cooled flow boiling in annuli with reference to thermal management oultra-fast electric vehicle charging cables [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer，2021(10)：121176.