

电池储能电站冷却系统研究综述

柏霄翔

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要: 电池储能作为一种高效快捷的储能方式,近年来随着电池技术的进步,逐渐展现其优势。电池工作温度影响电池储能系统的性能,为此,建立高效的电池冷却系统,研究冷却系统的方式对电池储能电站的发展具有重要意义。

关键词: 电池储能;冷却系统;电池冷却

The Review on Cooling System of Battery Energy Storage Power Station

BAI Xiaoxiang

(AVIC Xi'an Aircraft industry Group Company LTD, Shanxi Xi'an710089, China)

Abstract: Battery energy storage, as a kind of efficient and fast energy storage method, has gradually shown its advantages with the progress of battery technology in recent years. Battery operating temperature affects the performance of battery energy storage system. Therefore, it is of great significance for the development of battery energy storage power stations to establish a high-efficiency battery cooling system and study the cooling system mode.

Keywords: Battery energy storage; cooling system; battery cooling

引言

随着太阳能、风力发电装机容量的不断提高,太阳能风能的随机波动性和间歇性,对电网稳定性的影响日益显著^[1]。根据《BP世界能源统计年鉴》统计^[2],2018年中国总发电量达到7.1万亿千瓦时,相比2017年增长8.8%。其中可再生能源发电0.63万亿千瓦时,比上年增长28.8%,由此可见我国可再生能源发电正处于一个高速发展的阶段。在可再生能源发电中,太阳能和风能的发电量超过70%。为了保证电网的运行可靠性,很多地区只能通过弃光弃风的方法来降低其对电网的影响^[3,4]。而电池储能系统一定程度上可以缓解这些因为外部因素造成的影响,在风力充足、太阳能充足或是用电低谷的时间段,可以将富裕的电能储存进电池,在风力减弱、太阳光减弱或用电高峰的时间段,电池中的电能可以作为补充,稳定电网,实现削峰填谷的作用。电池在充放电过程都会释放热量,特别是在高倍率放电过程中,电池的发热量会直接影响电池的稳定性和寿命。不论是哪种冷却系统,其运行过程中也会消耗一定的电能,如果冷却系统的能耗过高,就会降低储能系统的运行效能,从而间接降低了风电光电等新能源发电的效能。所以冷却系统的选择一定程度上决定了储能电池的效能和储能规模。冷却系统作为储能电池的重要组成部分,是储能电池稳定运行必不可少的部分,尤其是在电池储能电站这种密集型的电池阵列中,温度的控制更是显得十分重要。目前电池冷却方式按照是否有蒸汽压缩循环分为两大类,其中无蒸汽压缩循环的电池热管理系统包括相变材料

冷却、热管冷却,热电元件冷却以及传统风冷。而有蒸汽压缩循环的电池热管理系统包括有舱内空气冷却、二次循环液体冷却和直接制冷剂两相冷却^[5]。

1 空气冷却系统

空气冷却就是在电池内部建立合适的通道,使大量空气可以进入电池内部,带走热量,降低电池温度。根据空气的流动方式一般分为被动冷却和主动冷却两种方式。被动冷却是通过自然对流的方式与电池表面发生热交换,被动冷却系统结构十分简单,几乎不需要额外的设备元件,成本极低。但由于空气本身比热容和导热率都很低,且自然对流的表面换热系数低,这使得被动散热的效率很低,只适用于低倍率充放电的电池系统。一旦电池充放电倍率上升,电池的发热将成倍上升,被动散热系统将不能满足散热需求。在此基础上,通过风扇或者气泵,加速空气流动,强化对流换热,主动式空气冷却可以很大程度上提高空气冷却的效率,由于其结构简单,成本低廉在电动汽车电池上应用广泛。

Yang^[6]等通过水喷雾蒸发对空气预冷,应用于电池组热管理,采用计算流体力学方法研究了不同流量、液滴大小、空气流速和环境温度对电池性能的影响。结果表明,与干式冷却相比,水雾冷却可以大幅降低最高温度,但降低了温度分布的均匀性,提高空气流速,可以降低最高温度,但在温度分布均匀性中起相反作用。Jiaqiang^[7]等研究了由60个18650锂电池组成的电池组的热特性,通过改变进出气口的相对位置,研究不同的风冷策略,以获得最佳的冷却方式,

在此基础上。在此基础上,为了提高侧进风口和侧出风口的空气冷却性能,提出利用挡板来改善气流分布,显著提高进气侧的温度分布。

尽管空气冷却有着一定的优势,但由于传热介质来自于大气,所以无法将电池温度降低到大气环境温度以下,在一些地区夏季的工作环境下,电站靠近太阳能光伏电站附近,电池周围的空气温度就接近40℃,这使得电池的工作温度可能超过50℃,造成安全问题。于是,通过将蒸气压缩循环加入风冷系统,可以实现冷却空气温度低于环境温度,系统结构如图1所示。

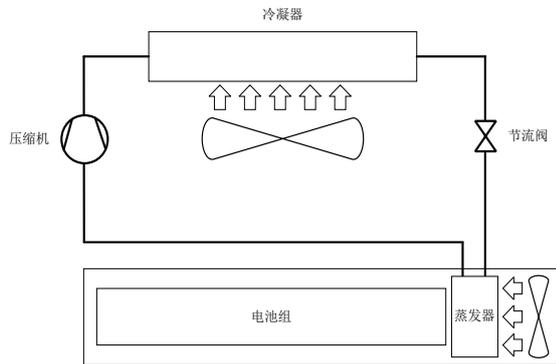


图1 含有制冷循环的风冷系统结构示意图

2 液体冷却系统

液体冷却系统使用的冷却介质是液体,通过对流换热的方式将电池内部热量带走,使电池可以工作在一个适宜的温度环境下。根据冷却液与电池的接触情况,液体冷却系统可以分为直接接触式和间接接触式,直接接触式就是将电池完全浸在冷却液中,使电池与冷却液直接接触。一般会使用绝缘导热油作为传热介质,由于需要具备极高的密封性和电气绝缘性能,直接接触式液体冷却在实际应用中很少。间接接触是电池直接与金属管或金属板接触,通过管内或板内流动的冷却液带走电池热量,实现电池冷却的目的,如图2所示。间接接触式的冷却介质一般选用水或乙二醇。由于液体冷却在换热性能以及温度均匀性上均优于空气冷却,并且冷却管路的体积也远小于风道体积,致使液体冷却系统得到广泛应用。在间接接触式冷却系统中,由于冷板安装相对简单,换热效率高,在实际工程中应用中较多,冷板的流道结构对其性能起到决定性的作用^[8]。

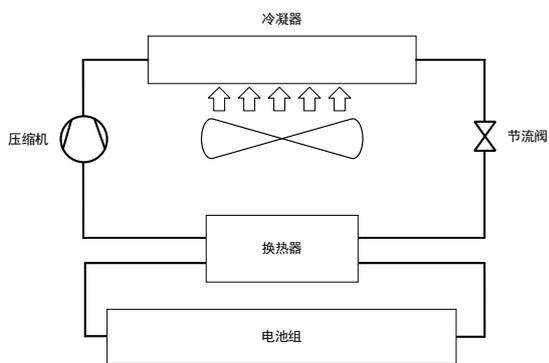


图2 液体冷却式系统结构示意图

Chen^[9]等通过实验对比了空气冷却、直接液体冷却、间接液体冷却和翅片冷却四种冷却方案,空气冷却需要比其他方案多2~3倍的能耗才能维持相同的平均温度,翅片冷却会使电池重量增加40%以上,考虑成本,系统复杂程度,冷却效果和温度均匀性后间接液体冷却具有最好的综合性能。Chen^[10]等通过数值模拟的方法研究了I型、Z型和U型平行微通道冷板对电池组温度的影响差异,结果表明,I型与Z型的性能相似且优于U型。在此基础上还分别建立了对称系统,对称分布的微通道冷板具有较低的最高温度和较小的最大温差。Zheng^[11]提出了一种液体冷却复合相变蓄热材料的热管理方法,通过相变材料填充,消除电池组散热盲点,提高电池的热均匀度。并对系统进行8C高倍率充电仿真,达到最高温度38.69℃和2.23℃的温差

3 直接制冷剂冷却系统(直冷式系统)

直接制冷剂冷却系统与液体间接冷却系统类似,电池直接与金属管或金属板接触,金属管或金属板作为电池内部的蒸发器,直接与外部的制冷循环系统相连,制冷系统中的制冷剂作为冷却介质,减少了传统液体冷却系统中的二次换热,通过制冷剂的相变潜热,吸收电池热量,实现冷却的目的。

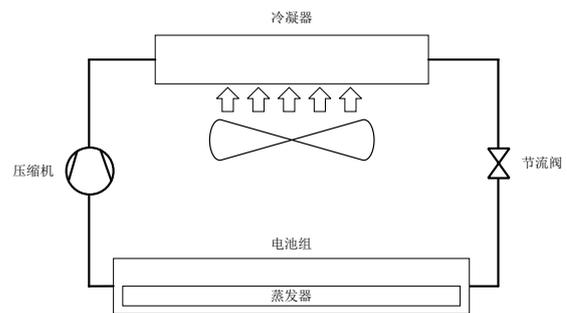


图3 直接冷却式系统结构示意图

Kr ü ger^[12]等使用R134a和R1234yf作为直冷式电动汽车电池热管理的制冷剂,结果表明两种制冷剂都能使电池的最大温度保持在40℃以下。使用R1234yf的系统中,电池的温度会比使用R134a的系统低2℃,但是能量消耗会大幅提高。在夏季炎热的天气条件下,乘客的舒适程度会受到电池冷却的影响,当直冷式电池冷却开启时,乘员舱蒸发器出口温度上升1℃。张聪哲^[13]等通过并联电池冷却回路与成员舱制冷回路,实现电动车夏季工况的节能运行,在联邦测试-72工况下,电池温度可在68s内稳定至25℃。陈杰^[14]等针对电动汽车空调系统与电池冷却系统的耦合系统控制复杂,成本高的问题,提出了独立的电池冷却系统,并进行了性能测试。得出环境温度,膨胀阀开度,压缩机转速以及冷凝风量会影响电池的冷却效果。

4 冷却系统特性分析

电池冷却作为电池储能系统中的关键组成,是电池储能电站安全运行的关键。由于在电池储能电站中使用的电池与电动汽车中使用的电池极为相似,同时一些退役的电动汽车

电池,也可以用来建设电池储能电站,以实现资源利用的最大化,所有电池储能电站的冷却系统,一定程度上是电动汽车电池冷却技术的进一步发展。目前在电动汽车上应用的冷却方式主要有风冷,液冷和直冷三种。

表1 风冷、液冷和直冷优缺点对比

| 冷却方式 | 优点 | 缺点 |
|------|---------------------------|------------------------------------|
| 风冷 | 成本低,结构简单 | 降温速度慢,需要建立良好风道,临近热失控下温度表现差,温度均匀性较差 |
| 液冷 | 冷却效果较好,电池结构紧凑,降温速度较快 | 成本高,降温速度受冷却液性质影响较大,二次换热能量损失,漏液影响安全 |
| 直冷 | 冷却效果好,电池结构紧凑,降温速度快,温度均匀性高 | 成本较高,结构相对复杂 |

热管冷却与相变材料冷却一般应用在小型电池或者充放电倍率较低场合,而且热管和相变材料本身不适宜做主要冷却方式,不论是热管还是相变材料,都需要其他辅助散热装置,如外置翅片或热管冷端水冷。所以热管和相变材料更适合做辅助冷却或中间传热介质提高电池的温度均匀性。空气冷却由于其成本低,结构简单,在新能源电动汽车中应用较多。但是由于空气本身导热率低,一旦电池温度接近热失控温度边缘,风冷的散热效率难以在短时间内排出热量,进而可能造成电池的热失控引发自燃。在电池储能电站中,由于数百块电池会同时工作,这种风险也同样被放大数百倍,除此之外,在电池储能电站中由于大量电池的高密度的堆积摆放,也不利于风冷良好风道的建立,会进一步导致电池内部热量的堆积,对电池储能电站的运行带来不稳定的因素。相比之下液体冷却和直接冷却系统具有更快的降温速度,并且可以将电池温度降低到环境温度以下,这是普通风冷式冷却所无法达到的。此外,由于无需额外规划风道,使得电池体积可以减小,有利于提高储能电站的储能密度。液体冷却系统中,由于冷却液是通过显热进行热交换,可能会出现电池温度均匀性较差的问题,并且冷却液需要与制冷系统进行换热,一定程度上也会增加能量的损失。同时在冷却系统启动初期,冷却液的温度不能快速降低,导致电池温度在一段时间内依然处于上升趋势。如果要一直保持冷却液处于较低的温度,就会大幅增加冷却系统的电力消耗,降低储能电站的储能效率。

5 结束语

综合考虑储能电站的规模后,小型电池储能电站应优先

考虑空气冷却或液体冷却,中型大型电池储能电站则应该使用液体冷却或直接冷却系统。

参考文献:

- [1]齐军,王小海,侯佑华,etal.适用于蒙西电网的大规模储能技术分析[J].内蒙古电力技术,2019,37(04):1-6+11.
- [2]Bp. BP statistical of review of world energy[R]. IRENA,2019.
- [3]冯晓丽.光伏储能电站的经济性分析[J].电工电能新技术,2019,38(09):52-58.
- [4]周芳,刘思,侯敏.锂电池技术在储能领域的应用与发展趋势[J].电源技术,2019,43(02): 348-350.
- [5]Kim J, Oh J, Lee H. Review on battery thermal management system for electric vehicles[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 149: 192-212.
- [6]Yang Y, Yang L, Du X, et al. Pre-cooling of air by water spray evaporation to improve thermal performance of lithium battery pack[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 163: 114401.
- [7]E J, Yue M, Chen J, et al. Effects of the different air cooling strategies on cooling performance of a lithium-ion battery module with baffle[J]. Applied Thermal Engineering, 2018, 144: 231-241.
- [8]姚鹏.电动汽车电池组液冷散热分析与优化[D].江苏大学,2019.
- [9]Chen D F, Jiang J C, Kim G H, et al. Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells[J].Applied Thermal Engineering, 2016, 94: 846-854.
- [10]Chen K, Chen Y M, Song M X, et al. Multi-parameter structure design of parallel mini-channel cold plate for battery thermal management[J]. International Journal of Energy Research: 14.
- [11]Zheng Y R, Shi Y, Huang Y H. Optimisation with adiabatic interlayers for liquid-dominated cooling system on fast charging battery packs[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 147: 636-646.
- [12]Kr u ger I L, Limperich D, Schmitz G. Energy Consumption Of Battery Cooling In Hybrid Electric Vehicles[J],2012.
- [13]张聪哲,叶芳,郭航,etal.纯电动汽车冷媒直冷夏季热管理系统性能模拟[J].应用能源技术,2018,(04):1-7.
- [14]陈杰,覃峰,黄国强.基于“制冷剂直接冷却”方案的独立式电池冷却模块设计与试验研究[J].制冷与空调,2017,17(06):40-44.