

新能源电池热失控试验箱的可变环境压力 技术改造解决方案

Technical Transformation Solution of Variable Environmental Pressure for Thermal Runaway Test Chamber of New Energy Battery

摘要：针对目前新能源电池热失控和特性研究以及生产中缺乏变环境压力准确模拟装置、错误控制方法造成环境压力控制极不稳定以及氢燃料电池中氢气所带来的易燃易爆问题，本文提出了相应的解决方案。方案的关键一是采用了低漏率电控针阀作为下游控制调节阀实现压力可编程精密控制，二是采用高压气体型真空源避免机械式真空泵的电火花造成引燃，三是在压力控制的同时也对电池加热温度进行自动控制。整个装置控制精度和自动化程度较高。

1. 问题的提出

随着现代新能源行业的飞速发展，各种新能源电池在经济社会中发挥着越来越重要的作用，由此对低压环境下新能源电池的使用、储存和运输也提出更高技术要求。例如高原地区和飞机运输中新能源电池的性能变化特征以及热失控传播特性，都是电池发展极其重要的一个环节。目前新能源电池在低压环境下的热失控特性和性能变化特性研究主要存在以下几方面的问题：

(1) 目前的新能源电池热失控的测试设备主要集中在研究常压下的热失控行为，环境压力对电池热失控特征的研究较为缺失，对压力变化影响热失控行为的研究仍需进行更深入研究。

(2) 研究变环境压力下电池燃烧爆炸行为的特性与特征，对于新能源电池的前期研发、中期使用以及后期预防热失控都有着尤为重要的参考意义。但目前缺乏变环境压力的准确模拟装置，控制方法存在严重问题而造成环境压力控制极不稳定，难以准确观察压力室内电池特性的变化，实验的可信度较差。

(3) 另外，氢燃料电池作为一种新能源电池同样存在上述问题，同样需要在不同海拔工况下验证电池的运行性能和可靠谱。但由于氢燃料电池的特殊性，特别是由于氢气属于易燃易爆气体，在环境压力模拟设备运行时流道内的旋转机械有可能在高速运转情况下产生火花，继而引燃氢气形成爆炸，这对于环境模拟实验设备而言是绝对不允许的。同时，氢气与空气在燃料电池内反应生成水，故而在排气中含有液滴，这部分液滴在进入设备时可能对旋转部件造成损害，影响设备可靠性。因此，对于氢燃料电池的环境压力模拟装置，需要避免这些问题的出现。

针对上述新能源电池以及氢燃料电池中环境压力准确控制方面存在的问题和需求，本文提出了相应的解决方案，解决方案主要包括以下两方面的内容：

(1) 针对现有的锂电池环境压力模拟装置进行技术改造，采用下游控制模式实现模拟箱内环境压力的可编程准确控制，以满足绝大多数新能源电池的环境压力模拟需要。

(2) 针对氢燃料电池的环境压力模拟，提出更安全的环境压力准确控制解决方案。

2. 解决方案

锂离子电池在高温环境下容易发生热失控，具有一定危险性，会发生着火甚至爆炸。为了给电池的测试试验同时提供高温和环境压力的模拟条件，解决方案是将电池放置在密闭的测试环境箱内，并对环境箱内部进行气压控制，使电池处于所需环境压力。然后通过给锂离子电池外部加热的方式给予电池达到热滥用的条件，再通过热电偶、数字天平装置研究温度与质量等参数的变化。热电偶测量热失控过程中的温度变化，数字天平测量热失控过程中电池质量参数的变化，整个测试装置的控制系統如图1所示。

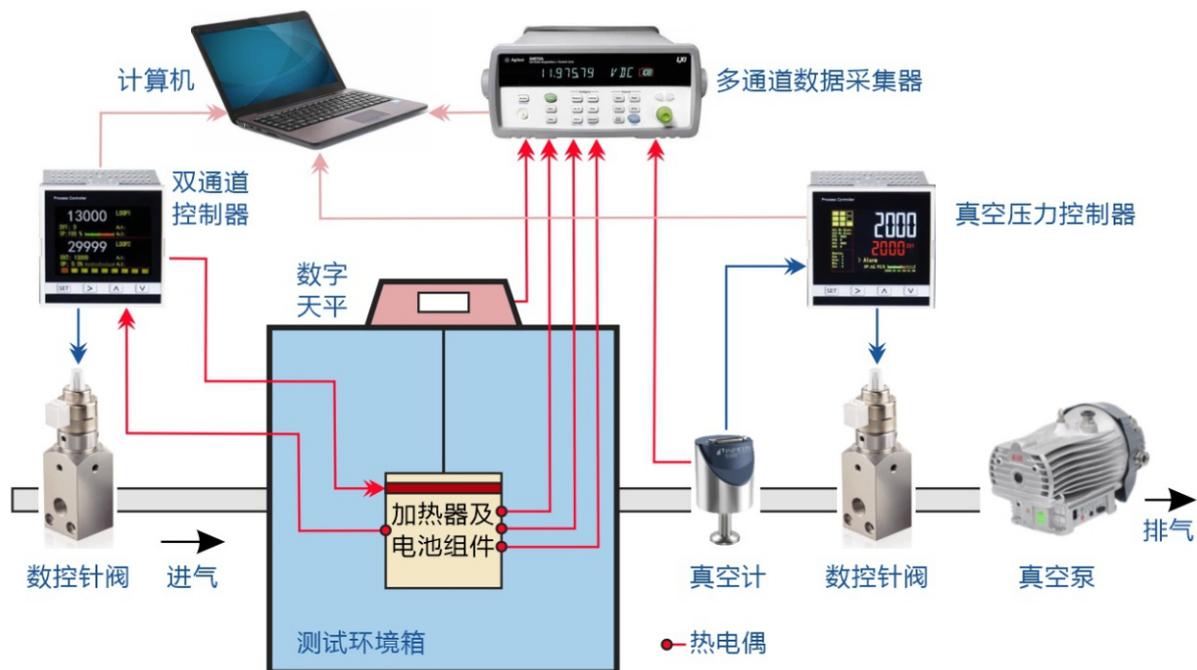


图1 电池环境压力和高温温度模拟控制系统结构示意图

如图1所示，整个控制系统主要由环境压力控制回路、电池加热温度控制回路、质量测量装置和数据采集装置构成，它们的各自功能和技术内容如下：

(1) 环境压力控制回路：其功能是对测试环境箱进行可编程气体压力控制，可对一系列不同的设定压力进行自动控制。控制回路由数控针阀、真空计、真空泵、真空压力控制器和真空管路组成，其中一个数控针阀控制进气流量、另一个数控针阀控制排气流量，真空计测量环境箱内的真空度并传输给控制器，控制器将接收到的真空度信号与设定值比较后驱动数控针阀的开度变化，并快速使得环境箱内的真空压力达到设定值。需要说明的是，这里的控制采用了固定进气针阀开度而改变排气针阀开度的下游控制模式，这样可以实现更高精度和稳定性的环境压力控制。

(2) 电池加热温度控制回路：其功能是对电池进行加热和温度控制，以模拟电池热失效过程中的温度变化。控制回路由加热器、电池组件、固定夹板、热电偶温度传感器和双通道控制器组成，其中热电偶采集电池温度并传输给控制器，控制器将接收到的温度信号与设定值比较后驱动加热器通电加热，并使电池温度快速达到设定值。

(3) 质量测量装置：其功能是测量电池本体在热失控过程中的质量损失。质量测量装置主要是悬挂式数字天平，放置在环境箱外部的数字天平通过悬丝测量电池质量。

(4) 数据采集装置：其功能是同时采集电池温度、环境压力和质量测量数据，并以曲线形式进行显示和存储。数据采集装置主要由多通道数据采集器和计算机组成，多通道数据采集器连接相应的温度压力传感器和数字天平，计算机与采集器进行通讯并用软件显示和存储采集结果。

需要说明的是，在解决方案中，计算机或上位机也可以与真空压力控制器和温度控制器进行通讯，并通过各自的软件对控制器进行参数设置、运行控制和控制过程参数变化曲线的显示。

图1所示的电池环境压力模拟控制系统并不适合氢燃料电池的性能测试，这主要是机械式旋转型的真空泵有可能在高速运转情况下产生火花而引燃氢气形成爆炸，同时氢燃料电池测试过程中会在真空管路内形成水滴而造成阀门和真空泵旋转部件的损伤。为了解决这两个问题，本文所提出的解决方案采用了以下两项技术：

(1) 将真空泵更换为真空发生器，即通过高压气体来形成真空，这样可以避免机械式旋转部件所带来的火花引燃危害。

(2) 环境压力的调节还是采用前面所述的电动针阀，因为这种NCNV系列具有非常好的真空密封性能，电机转动部分与所通气体完全隔离，不会带来引燃隐患。

3. 总结

综上所述，解决方案通过改进后的环境压力下游控制技术、高压气体真空发生技术和温度自动控制技术，可以很好的实现各种新能源电池在可变环境压力和高温温度下的热失控特性和运行特性变化测试和试验考核，解决方案具有以下几方面的突出特点：

(1) 可实现环境压力和温度的高精度控制，更有利于电池特性的精密研究和测试考核。

(2) 环境压力和温度控制可按照不同设定值进行编程控制，可自动实现电池特性测试的全过程。

(3) 通过使用控制器和数据采集器自带的计算机软件，可快速搭建起电池特性测试装置，无需再专门编写计算机程序，大幅减小了装置组建的工作量。