

复合电池技术在智能燃气表领域的应用

□ 金卡高科技股份有限公司 (310018) 章欢 丁渊明 张晓丹

摘要: 本文首先介绍了智能燃气表在应用中遇到的锂电池瓶颈问题, 并针对以上问题提出了复合电池的解决方案, 最后通过在实际场景中的应用, 表明复合电池能够应对智能燃气表的用电需求。

关键词: 智能燃气表 锂亚硫酰氯电池 超级电容器 复合电池 阀门

1 智能燃气表的锂电池瓶颈问题

锂亚硫酰氯电池(以下简称锂电池)是实际应用中比能量最高的一种电池, 它具有工作电压高、比能量高、自放电率低等优点, 其非常适合小电流的长寿命应用环境。目前, 智能燃气表普遍采用

内装锂电池来给阀门和无线远传模块供电, 以控制阀门的开启与关闭、信号的发送与接收。但是, 当锂电池使用达到一定年限后, 往往会出现电量不足的情况, 而这种电量不足都是和电池的放电深度、高温钝化以及低温极化息息相关的。一旦锂电池出现电量不足, 将无法可靠地关断阀门和远程传输, 造成无法计

能达到或超过单撬最大供气量, 可能出现单支路超负荷运行引起的设备损坏, 从而导致安全生产事故的发生。可在两支路出口处各增设节流阀控制其最大流量。

(3) 更换卸气CNG槽车后会出现双撬并联供气无法达到平衡, 需重新开启其中一支路, 恢复平衡供气。

(4) 可选用结构、型号相同的两台设备进行并联供气, 并且两台设备共用同一进出气口, 设计管径及管段长度均须一致, 可在一定程度上避免因更换槽车引起的平衡失效问题。

综上所述, 双撬并联运行可实现CNG供气模式下大流量连续性供气, 缓解用气高峰期因CNG槽车储气量及气瓶压力限制而出现的设备负荷过大, 以此避

免造成的设备故障、中断供气和在一定程度上降低了生产安全事故的发生。尤其在天然气市场培育初期, 采用CNG供气模式供气可大幅降低前期投入成本和风险, 对加快天然气市场培育的步伐有着重要作用意义。

参考文献

- 1 花景新, 张增刚, 马志远. 燃气管道供应[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 207-208
- 2 黄正兵. 四种燃气供应方式在中小城镇应用情况比较[J]. 大科技, 2015: 16
- 3 赵起龙. 试析压缩天然气供应工艺及规模[J]. 中国化工贸易, 2014; 23: 156, 160

费、逃费现象等情况出现,就不得不更换电池,而上门为用户更换电池对于燃气表生产厂家和燃气公司来说都是一件难以接受的事情。图1列举了锂电池在不同状态下的放电能力,当电池达到一定的放电深度(如50%)、高温钝化或者在低温条件下时,电池的放电能力都会出现严重的下降,当出现大电流事件时

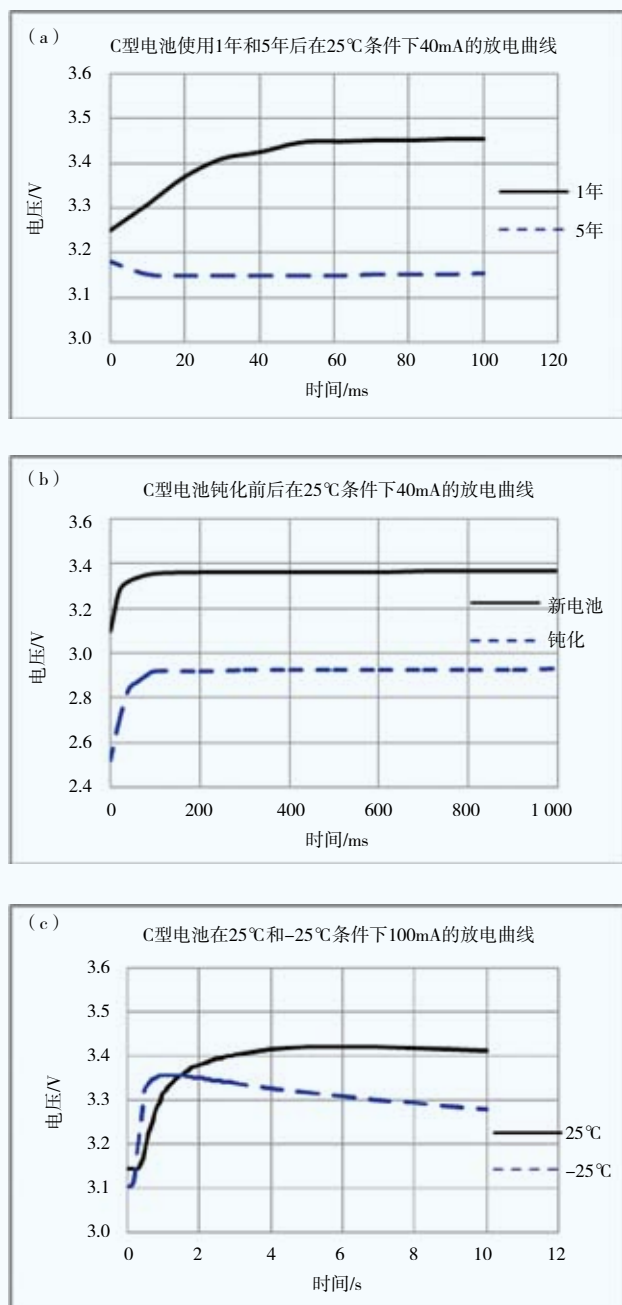


图1 锂电池在不同状态下的放电能力,其中(a)、(b)和(c)分别表示电池在50%放电深度、钝化后和低温-25°C条件下的放电对比

(如开关阀门),就会出现瞬时最低电压(Transient Minimum Voltage, TMV),此时就极有可能导致MCU断电,燃气表由于电池供电不足导致需要更换电池。

以上问题已经成为内部安装了锂电池的智能燃气表的致命缺点,直接影响到它的推广和使用。针对电池的电量不足、钝化和低温放电能力问题,燃气表生产厂家设计了很多方案,如:

(1) 尽量降低功耗,设计平均工作电流在 $25\mu\text{A}$ 以内,保证电池可以连续使用6年以上,这对电路的设计和元器件的选型提出了更高的要求,增加了设计难度和成品检测的工序;

(2) 设计独立去钝化电路,通过软件控制定期的给电池去钝化,这会增加电池的负荷,降低电池的使用寿命;同时,选择合适的去钝化电流、时间和频率需要大量的试验数据,也会延长智能燃气表的研发周期;

(3) 采用功率型锂电池,由于功率型锂电池采用的是卷绕结构,这样就显著增大了锂负极的活性表面积,使得功率型锂电池的低温和大电流放电能力显著提高。但是,卷绕式的结构设计由于锂负极的表面积大,容易出现安全问题,对于智能燃气表的应用环境而言,其安全风险远高于能量型(碳包式)锂电池。

以上的方案虽然能解决锂电池的一些问题,但是也会带来其它的副作用,诸如会提高燃气表的制造成本和安全风险。同时,由于锂电池在放电深度达到50%左右时,其低温放电能力已经无法满足燃气表大电流工作的需求,造成锂电池寿命提前终止。考虑到锂电池每年1%-2%的自放电率,实际锂电池用于燃气表的电量在30%左右,即10年设计的锂电池可能在3年后就无法工作了,锂电池已经成为制约智能燃气表发展的瓶颈问题。

2 复合电池技术

目前,已经有不少的锂电池厂家依照智能表计的应用环境,设计出了两条复合电池技术路线。两种技术路线均采用给电池并联一个大容量电容的方式,大电流放电由电容来完成,而电池负责给电容充电。由于锂电池在90%的放电深度条件下,其电压仍然能保持在3.6V左右,完全能给电容充满电,不会出现大

电流造成电池寿命提前终止的情况。因此，理论上而言，在除去电池的自放电后，电池电量的70%都可以用于智能燃气表。从而，使得长寿命（10年以上）内置锂电池方案得以应用。

2.1 锂电池+超级电容器

两条技术路线中，锂电池+超级电容器是将能量型锂亚电池与电化学双电层超级电容器（Electrochemical Double Layer Capacitor, EDLC）并联，代表性的公司是韩国Xeno Energy。EDLC是利用电子导体活性炭与离子导体有机或无机电解液之间形成感应双电荷层原理制成的电容器，其原理图参考图2（a）。超级电容器电荷距离远比传统电容器介质材料所能实现的距离更小，活性炭电极表面积成数量级增大，使得超级电

容较传统电容器而言有超级大的静电容量，这也是其超级所在。如此巨大的电容量，甚至可以将这种电容器作为存储电能的“电池”使用，相对于普通的使用电化学原理构成的电池来说，这种电池的充电和放电过程，完全没有涉及化学的物质变化，因此也被称为“物理电池”，其最大的优点是使用寿命长，理论上可以经受无限多次的充放电循环使用，而且充电速度和能量转化效率也是普通化学电池无法相比的。

2.2 锂电池+复合电容

另一条技术路线是将能量型锂亚电池与复合电容并联。其中，在国际上，以色列塔迪兰（Tadiran）公司能够提供多种规格的复合电容，且其锂电池+复合电容的解决方案已经在欧洲的智能表具领域上应用了近10年，其产品已经得到长期实践验证。在国内代表性的是惠州亿纬锂能有限公司（EVE）研发的复合电容，该公司的复合电容设已经在向ETC收费和智能表具领域推广，应用的时间并不长。复合电容是将超级电容器双电层物理储能工作原理（图2a）与锂离子电池嵌入脱嵌化学储能工作原理（图2b）有机结合，实现了超级电容器的高功率、高循环寿命以及优异的温度特性、安全性能与锂离子电池的高能量特性的优势互补。

2.3 两种复合电池的比较

由于EDLC的内阻和容量均远小于复合电容，因此，在常温条件下见图3（a），由于EDLC和复合电容的内阻都很小，二者均具有大电流放电能力，其容量的大小决定着二者放电的持续能力，所以常温下复合电容的放电电压高于EDLC；在低温条件下见图3（b），由于EDLC的内阻远小于复合电容，复合电容的电化学极化效应会造成其有很大的电压降，所以低温下复合电容的放电电压低于EDLC。综上所述，EDLC更加适合低温且放电时间短的应用环境，复合电容更适合常温且放电时间长的应用环境。

同时，采用锂电池+EDLC的技术路线可能存在以下问题：

（1）EDLC漏电流大导致电池容量消耗过快。以目前厂家宣称的数据来看，常温条件下5.5V/1.5F的EDLC漏电流大约为 $5\mu\text{A}\sim 10\mu\text{A}$ ，已经远大于复合电容 $1\mu\text{A}\sim 2\mu\text{A}$ 。当智能燃气表的平均功耗较高（ $50\mu\text{A}$ 以上）时，会出现电池容量无法满足10年以上寿命的要求；

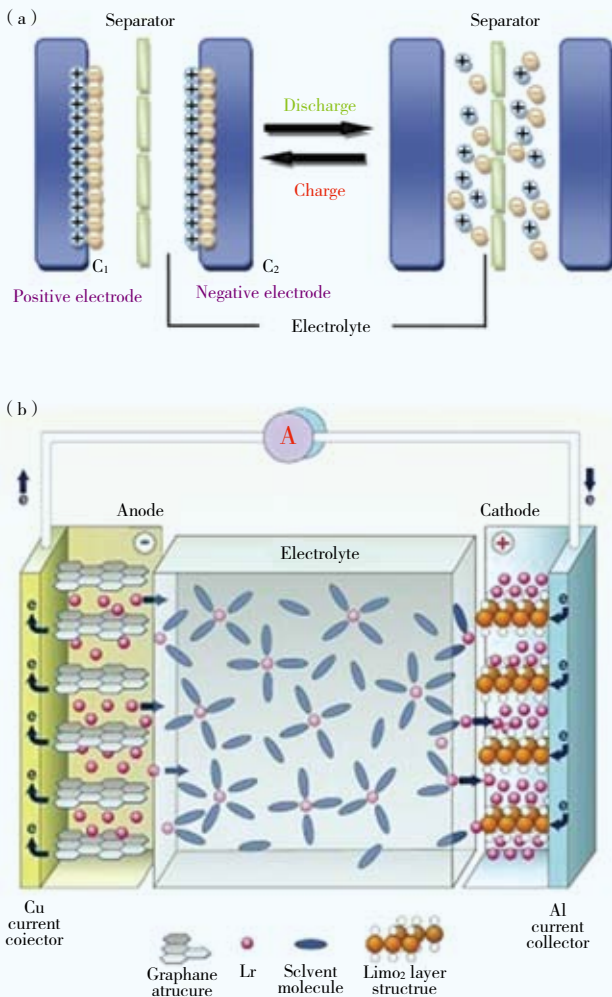


图2 超级电容器和锂离子电池的工作原理，其中（a）和（b）分别表示EDLC和锂离子电池的工作原理

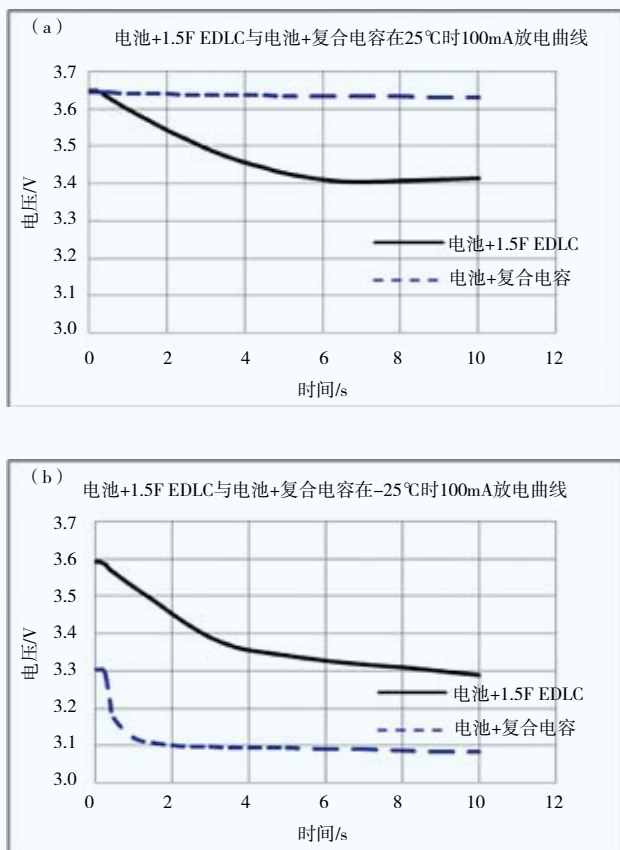


图3 两种技术路线的大电流放电对比

注：(a)和(b)分别为25℃和-25℃ 100mA的放电曲线

(2) EDLC容量小导致其放电后, 电池仍然会受到较大放电电流的冲击, 这个放电电流可能来自于给EDLC进行充电, 也可能来自于补充外部的放电。而一旦锂电池时不时地接受到这种大电流冲击时, 其电池容量会减低, 自放电也会显著增大, 从而导致电池使用寿命无法达到预期;

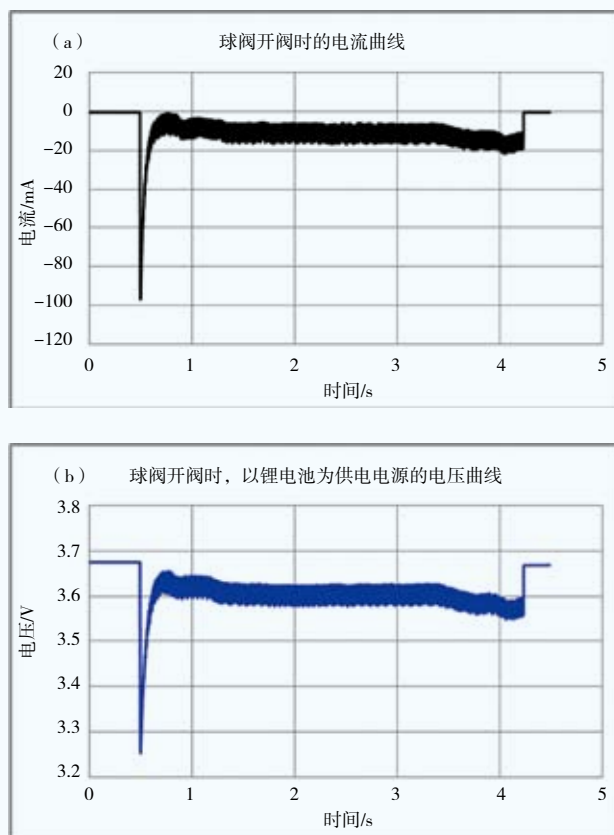
(3) 5.5V EDLC是两只2.7V EDLC串联而成, 由于EDLC个体本身就存在较大的差异(容量、内阻), 随着使用时间的延长, 个体之间的差异会更加明显, 有可能出现两只EDLC电压不均的情况。那么, 就有可能使一只EDLC的电压超过2.7V, EDLC长期在高电压环境下工作, 会导致电解液分解, 内阻增大, 寿命提前终止。

3 复合电池在智能燃气表中的应用

众所周知, 在智能燃气表中, 大电流放电成为影

响电池寿命的直接因素。复合电池在智能燃气表中的应用, 一方面解决了锂电池钝化造成的放电能力降低的问题, 另一方面提高了锂电池电量的实际利用率, 使得10年锂电成为可能。

以燃气表中常用的球阀为例, 来研究常温条件下, 锂电池、锂电池+EDLC和锂电池+复合电容3种技术方案, 在阀门开启过程中供电电源电压的变化。其中图4(a)为球阀在开阀时的电流变化曲线, 图4(b)、4(c)和4(d)分别为锂电池、锂电池+EDLC和锂电池+复合电容三种电源方案在球阀开阀过程中的电压变化曲线。在阀门开启的瞬间, 见图4(a), 会有一个100mA左右的瞬时电流, 随后电流稳定在10mA左右, 直至完成开阀。当以锂电池, 见图4(b), 为供电电源时, 由于锂电池的滞压效应, 使得在阀门启动时锂电池的电压迅速减低至3.25V左右, 随后迅速反弹至3.60V, 可知, 阀门启动瞬间锂电池的滞压效应极有可能会造成燃气表的MCU复位; 当以锂电池+EDLC, 如图4(c), 为供电电源时, 由于EDLC的内阻极小, 极化效应并不明显, 阀门启动的瞬间其电压在3.66V左右, 同时, 由于EDLC的容量



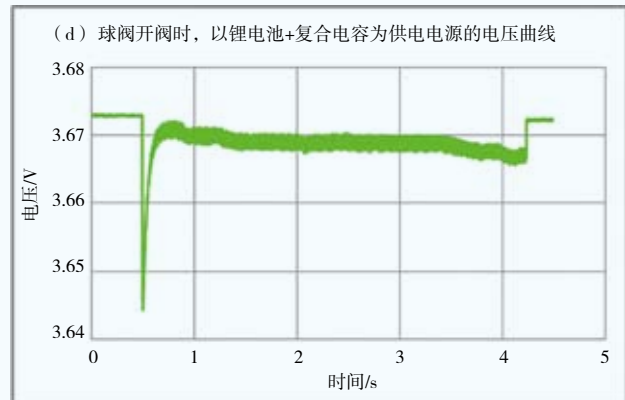
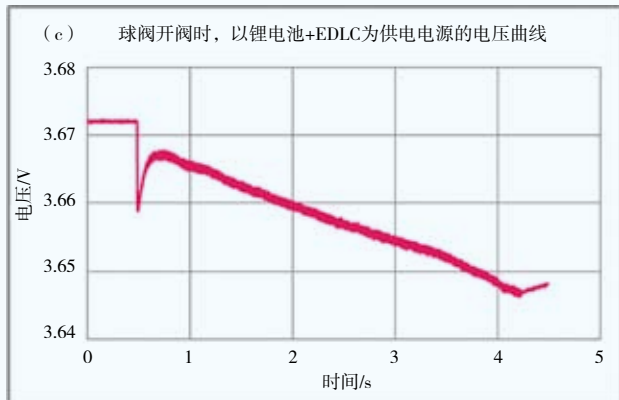


图4 球阀开阀过程中电源电压的变化

很小，后续阶段的小电流放电仍然会表现出电压的持续降低直至3.645V；当以锂电池+复合电容为供电电源时，由于复合电容的内阻远小于锂电池，极化效应远小于锂电池，因此在阀门开启的瞬间电源电压减低至3.645V，而其容量远大于1次阀门开启消耗的电容量，表现出供电电源的电压迅速反弹至3.67V左右。

4 结论

无论是采用电池+EDLC或者是电池+复合电容的技术方案，均能满足智能燃气表中大电流事件的要求，且能提高电池容量的利用率，使得锂电能量长达10年的寿命。

工程信息

潍坊港华首个“镇镇通”工程通气点火

2016年11月3日上午10:30，潍坊港华为昌乐县营丘镇古城村首批用户开通了天然气，这是潍坊港华辖区内的首个镇镇通工程。该工程也是潍坊港华响应山东省“气化山东”的要求，推进城镇燃气主干管网向城乡结合部和小城镇延伸，加快实现全省天然气“镇镇通”的一项重要举措。

2016年，山东省政府提出全面实施“气化山东”的要求。优先考虑城镇燃气管网延伸供气，大力实施天然气“镇镇通”，稳步推进天然气“村村通”试点，鼓励采取LNG、CNG供气站供气方式，加快推进天然气利用，争取2018年社区驻地全部通上管道天然气。潍坊港华积极响应这一战略部署，对辖区内的城镇进行燃气规划。

营丘镇管道燃气工程起点为潍坊港华中石油泰青威燃气干线潍坊支线营丘阀室，工程分期建

设，一期工程投资1 200万元，建成营丘高-中调压站1座，中、低压燃气管线6km，为河头社区、营丘社区的居民，工商业用户供气。一期工程于2016年5月开始建设，2016年11月3日正式点火通气。二期工程将于2017年开工建设，投资2 000万元，采用LNG/CNG供气站方式，为马宋、崔家庄、阿陀3个社区供气，以后通过天然气管道延伸，最终实现天然气管道全覆盖。

古城村作为潍坊港华辖区内第一个供应上天然气的“新农村”，位于昌乐县营丘镇坊昌路北，现有居民425户。根据潍坊港华整体规划，燃气管道由坊昌路北侧燃气管道接入，外线管线2km，村中敷设管道6km，可满足村民生活用气需求，接下来潍坊港华将按照设计图陆续展开施工，为居民接通天然气。

(胡凯)