

一种锂离子电池、充电方法、锂离子电池系统

本申请要求于 2024 年 09 月 26 日在中国专利局提交的、申请号为 202411346279.9、发明名称为“一种锂离子电池、充电方法、锂离子电池系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及锂电池技术领域，尤其涉及一种锂离子电池、充电方法、锂离子电池系统。

背景技术

近年来，随着电池的应用范围越来越广泛，电池广泛应用于水力、火力、风力和太阳能电站等储能电源系统，以及电动工具、电动自行车、电动摩托车、电动汽车、军事装备、航空航天等多个领域。在锂电池的应用过程中，电池容量越来越大，电池中极片越来越厚；需要更大容量，更厚极片的电池。但随着电池容量越大，尤其厚极片，电池中产气问题比之前越发严重，电池防爆阀被冲开的现象越来越多，防爆阀被冲开后，电池就不能再继续使用。我们期望电池的防爆阀在异常使用或极端环境下冲开，而非在正常使用时冲开。

如何进一步提高电池容量及倍率性能，同时降低防爆阀被不合理冲开而造成电池报废的风险，已经成为目前亟待解决的问题。

发明内容

本申请是鉴于上述课题而进行的，其目的在于，提供一种能够在正常使用时防爆阀不被冲开的大容量锂离子电池。

为了达到上述目的，本申请提供了一种锂离子电池，包括壳体、电芯、电解液，所述电芯及所述电解液设置于所述壳体的内部，所述电芯包括正极片、负极片、隔膜，所述隔膜设置于所述正极片和所述负极片之间，所述正极片包括正极集流体和正极活性物质层，所述正极活性物质层与所述正极集流体电连接，所述负极片包括负极集流体和负极活性物质层，所述负极活性物质层与所述负极集流体电连接；

所述负极集流体的至少一面设置有所述负极活性物质层，一面的所述负极活性物质层的厚度在 $50\mu\text{m}$ - $95\mu\text{m}$ 之间；所述负极活性物质层包括负极活性物质，所述负极活性物质包括石墨；所述石墨的 D_{v50} 在 $10\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$ 范围，所述石墨的石墨化度大于等于 90%；

所述正极集流体的至少一面设置有所述正极活性物质层，一面的所述正极活性物质层的厚度在 $60\mu\text{m}$ - $105\mu\text{m}$ 之间；所述正极活性物质层包括正极活性物质，所述正极活性物质包括含锂磷酸盐及位于所述含锂磷酸盐表面的碳层；

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 700\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的实际储气空间 $v>190\text{cm}^3$ 。

本申请进一步提供了不同容量的锂离子电池，具体来说：

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 600\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 V_0 ， $V_0=0.38\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；或，

所述锂离子电池的容量 L 在 $600\text{Ah}<L\leq 700\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 V_0 ， $V_0=0.44\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；

所述锂离子电池的实际储气空间 v 大于等于所述锂离子电池的理论储气空间 V_0 。

进一步优选：

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 600\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 V_0 ， $V_0=0.54\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；或，

所述锂离子电池的容量 L 在 $600\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$, 所述锂离子电池的理论储气空间为 V_0 , $V_0 = 0.65\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$;

所述锂离子电池的实际储气空间 v 大于等于所述锂离子电池的理论储气空间 V_0 。

从提高能量密度的角度, 进一步限定:

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah} < L \leq 600\text{Ah}$, 所述锂离子电池的理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}$, $V_{0\text{max}} = 0.54\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$; 或,

所述锂离子电池的容量 L 在 $600\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$, 所述锂离子电池的理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}$, $V_{0\text{max}} = 0.65\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$;

所述锂离子电池的实际储气空间 v 小于等于所述锂离子电池的理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}$ 。

部分实施方式中, 所述石墨的至少部分表面包覆碳层, 所述石墨的 $D_{v90} \leq 40\text{ }\mu\text{m}$, 所述石墨的 $D_{v10} \geq 3\text{ }\mu\text{m}$, 所述石墨的 $D_{v99} \leq 49\text{ }\mu\text{m}$ 。

部分实施方式中, 所述石墨的 OI 值在 3-30 范围内, 优选所述石墨的 OI 值在 10-30 范围内, 再优选所述石墨的 OI 值在 15-30 范围内。

部分实施方式中, 所述石墨的石墨化度在 90%-95% 之间, 优选所述石墨的石墨化度在 91%-95% 之间。

部分实施方式中, 所述负极片的单面活性物质层的面密度在 $0.07\text{mg}/\text{mm}^2$ - $0.13\text{mg}/\text{mm}^2$ 之间。

部分实施方式中, 所述负极片的单面活性物质层的压实密度在 $1.3\text{g}/\text{cc}$ - $1.7\text{g}/\text{cc}$ 之间。

部分实施方式中, 所述正极片的单面活性物质层的面密度在 $0.16\text{mg}/\text{mm}^2$ - $0.26\text{mg}/\text{mm}^2$ 之间。

部分实施方式中, 所述正极片的单面活性物质层的压实密度在 $2.3\text{g}/\text{cc}$ - $2.7\text{g}/\text{cc}$ 之间。

部分实施方式中, 所述隔膜包括基膜及涂层, 所述涂层粘接在所述基膜的表面并部分位于所述基膜的内部, 所述隔膜的孔隙率在 30%-50% 之间。

部分实施方式中, 所述石墨表面的所述碳层的厚度在 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ - $2\text{ }\mu\text{m}$ 之间。

部分实施方式中, 所述负极活性物质层还包括碳管; 所述碳管包括寡壁碳管及单壁碳管中的至少一种。

部分实施方式中, 所述负极活性物质层还包括硅, 所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-8%。

部分实施方式中, 在所述负极活性物质层的厚度方向, 所述硅分布于所述负极活性物质层中靠近所述负极集流体的一侧。

部分实施方式中, 所述含锂磷酸盐包括磷酸铁锂, 所述磷酸铁锂中掺杂有金属元素, 所述金属元素选自钛或钒中的至少一种。

部分实施方式中, 掺杂的所述金属元素的质量占所述正极活性物质的质量比例不超过 0.4%。

部分实施方式中, 掺杂的所述金属元素包括钛, 所述钛的质量占所述正极活性物质的质量比例为 0.2%-0.4%。

部分实施方式中, 掺杂的所述金属元素包括钛和钒, 所述钛的质量占所述正极活性物质的质量比例为 0.1%-0.2%, 所述钒的质量占所述正极活性物质的质量比例为 0.01%-0.05%。

部分实施方式中, 所述正极活性物质层包括碳管, 所述碳管包括寡壁碳管及单壁碳管中的至少一种。

部分实施方式中, 所述电解液包括锂盐和溶剂, 所述锂盐的体积摩尔含量为 $0.8\text{mol}/\text{L}$ - $1.5\text{mol}/\text{L}$, 所述锂盐包括六氟磷酸锂。

部分实施方式中, 所述锂盐还包括双氟磺酰亚胺锂。

部分实施方式中,所述六氟磷酸锂的体积摩尔含量高于所述双氟磺酰亚胺锂的体积摩尔含量。

部分实施方式中,所述双氟磺酰亚胺锂的质量占所述电解液的质量百分比在 3%-9%之间。

部分实施方式中,所述溶剂包括 EC, DMC, EMC, DEC; 所述 EC 的含量在 30%-40% 之间, 所述 DMC 及所述 EMC 的质量之和大于所述 EC 的质量; 所述 EC 的含量为所述 EC 的质量/(所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值)。

部分实施方式中,所述 EMC 与所述 DMC 的总含量在 50%-60%; 所述 EMC 与所述 DMC 的总含量为所述 EMC 与所述 DMC 的总质量/(所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值)。

部分实施方式中,所述 DMC 的含量在 10%-15%; 所述 DMC 的含量为所述 DMC 的质量/(所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值)。

部分实施方式中,所述电解液还包括羧酸酯, 其中所述羧酸酯的含量不超过 10%; 所述羧酸酯的含量为所述羧酸酯的质量/(所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值)。

部分实施方式中,所述负极片为方形结构, 所述负极片的宽度在 100mm-150mm 之间, 所述隔膜的孔隙率在 30%-50%; 优选所述电芯的长宽比在 6-8 之间。

部分实施方式中,所述负极片为方形结构, 所述负极片的宽度在 200mm-250mm 之间, 所述隔膜的孔隙率在 35%-50%; 优选所述电芯的长宽比在 2.8-4 之间。

部分实施方式中,所述负极片还包括负极极耳, 所述负极极耳与所述负极集流体电连接, 所述正极片还包括正极极耳, 所述正极极耳与所述正极集流体电连接;

所述壳体包括正极柱、负极柱、防爆阀, 所述正极柱与所述正极极耳电连接, 所述负极柱与所述负极极耳电连接, 所述防爆阀设置于所述壳体的第一端, 所述正极柱及所述负极柱中的至少一个也设置于所述壳体的第一端, 所述防爆阀的开启气压为 0.55Mpa-0.65Mpa, 所述防爆阀的面积与所述锂离子电池的容量的比值范围为 $0.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ - $1.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ 。

部分实施方式中,所述正极柱设置于所述壳体的第一端, 所述正极极耳设置于所述正极集流体的短边上, 所述正极极耳的上端与所述壳体之间形成第一上部排气通道, 沿所述第一上部排气通道的气流方向, 所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域至少部分重合。

部分实施方式中,沿所述第一上部排气通道的气流方向, 所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域的重合度超过 80%; 所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域的重合度为: 所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域的重合区域的面积, 与所述第一上部排气通道的投影区域的面积的比值。

部分实施方式中,所述正极极耳在所述正极集流体的短边不对称分布。

部分实施方式中,沿所述电芯的宽度方向, 所述正极极耳的上端到所述正极片的上端的垂直距离为第一距离, 所述正极极耳的下端到所述正极片的下端的垂直距离为第二距离, 所述第一距离大于所述第二距离。

部分实施方式中,所述负极柱设置于所述壳体的第一端, 所述负极极耳设置于所述负极集流体的短边上, 所述负极极耳的上端与所述壳体之间形成第二上部排气通道, 沿所述第二上部排气通道的气流方向, 所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域至少部分重合。

部分实施方式中,沿所述第二上部排气通道的气流方向, 所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域的重合度超过 80%; 所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域的重合度为: 所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域的重合区域的面积, 与所述第二上部排气通道的投影区域的面积的比值。

部分实施方式中,所述负极极耳的宽度与所述负极集流体的短边的宽度比值在 0.5-0.8

范围内，可选地在 0.6-0.8 范围内。

部分实施方式中，所述负极极耳在所述负极集流体的短边不对称分布。

部分实施方式中，沿所述电芯的宽度方向，所述负极极耳的上端到所述负极片的上端的垂直距离为第三距离，所述负极极耳的下端到所述负极片的下端的垂直距离为第四距离，所述第三距离大于所述第四距离。

部分实施方式中，所述石墨的 $Dv50$ 与 $Dv10$ 的差值 $\leq 10\ \mu m$ ，所述石墨的 $Dv90$ 与 $Dv50$ 的差值 $\leq 15\ \mu m$ 。

部分实施方式中，所述正极集流体为铝箔，所述正极片的单面活性物质层的厚度 $\leq 95\ \mu m$ ，所述正极集流体的厚度为 $D1$ ， $D1$ 的数值范围在 $11\ \mu m$ - $13.5\ \mu m$ 。

部分实施方式中，所述正极片的单面活性物质层的厚度 $> 95\ \mu m$ ，所述正极集流体的厚度为 $D2$ ， $D2$ 的数值范围在 $13.5\ \mu m$ - $16\ \mu m$ 。

部分实施方式中，所述负极活性物质层还包括硅；所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $50\ \mu m$ - $70\ \mu m$ ，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-10%。

部分实施方式中，所述负极活性物质层还包括硅；所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $70\ \mu m$ - $80\ \mu m$ ，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-8%。

部分实施方式中，所述负极活性物质层还包括硅；所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $80\ \mu m$ - $95\ \mu m$ ，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-5%。

部分实施方式中，所述电解液还包括羧酸酯，所述羧酸酯的含量在 5%-10%，所述双氟磺酰亚胺锂的质量占所述电解液的质量百分比在 2%-7%之间。

部分实施方式中，所述负极活性物质包括所述石墨及所述石墨表面的所述碳层组成的一次颗粒，所述一次颗粒的 $Dv50$ 在 $10\ \mu m$ - $20\ \mu m$ 。

部分实施方式中，所述负极活性物质包括二次颗粒，所述二次颗粒包括所述一次颗粒的团聚体，所述二次颗粒的 $Dv50$ 在 $10\ \mu m$ - $30\ \mu m$ 。

部分实施方式中，所述团聚体的表面包覆碳层。

本申请也公开一种充电方法，用于对锂离子电池充电，所述充电方法包括第一充电段和第二充电段，所述第一充电段的电压小于所述第二充电段的电压，所述第一充电段的电压随着充电时间的增长而变大，所述第二充电段的电压不变，所述第一充电段包括以下充电过程：

在第一时间以第一电流对所述锂离子电池充电；

在第二时间以第二电流对所述锂离子电池充电；

在第三时间以第三电流对所述锂离子电池充电；

在第四时间以第四电流对所述锂离子电池充电；

所述第一电流大于所述第二电流，所述第一时间大于所述第二时间，所述第三电流不大于所述第一电流，所述第三时间大于所述第二时间，所述第四电流小于所述第三电流，所述第四时间小于所述第三时间。

所述第二电流等于所述第四电流。

本申请进一步提供一种锂离子电池系统，所述系统包括管理模块及锂离子电池，所述管理模块中包括对所述锂离子电池的充电程序，所述充电程序实现所述充电方法。

附图说明

图 1 是本申请一种正极片结构示意图。

图 2 是本申请一种负极片结构示意图。

图 3 是本申请一种锂离子电池结构示意图。

图 4 是本申请一种锂离子电池产气过程示意图。

图 5 是本申请另一种负极片结构示意图。

图 6 是本申请另一种正极片结构示意图。

图 7 是本申请再一种正极片结构示意图。

图 8 是本申请再一种负极片结构示意图。

图 9 是本申请另一种锂离子电池结构示意图。

图 10 是本申请另一种锂离子电池产气过程示意图。

附图标记说明：

10 正极片；11 正积极耳；20 负极片；21 负极极耳；30 电芯；40 壳体；41 正极柱；42 负极柱；43 防爆阀；50 气流流向示意箭头；51 第一上部排气通道；h1 第一距离；h2 第二距离；h3 第三距离；h4 第四距离；Ld 长度方向；Hd 高度方向。

具体实施方式

以下参照附图详细说明具体公开了本申请的锂离子电池、充电方法、锂离子电池系统的实施方式。但是会有省略不必要的详细说明书的情况。例如，有省略对已众所周知的事项的详细说明、实际相同结构的重复说明的情况。这是为了避免以下的说明不必要地变得冗长，便于本领域技术人员的理解。此外，附图及以下说明是为了本领域技术人员充分理解本申请而提供的，并不旨在限定权利要求书所记载的主题。

本申请所公开的“范围”以下限和上限的形式来限定，给定范围是通过选定一个下限和一个上限进行限定的，选定的下限和上限限定了特别范围的边界。这种方式进行限定的范围可以是包括端值或不包括端值的，并且可以进行任意地组合，即任何下限可以与任何上限组合形成一个范围。例如，如果针对特定参数列出了 60-120 和 80-110 的范围，理解为 60-110 和 80-120 的范围也是预料到的。此外，如果列出的最小范围值 1 和 2，和如果列出了最大范围值 3，4 和 5，则下面的范围可全部预料到：1-3、1-4、1-5、2-3、2-4 和 2-5。在本申请中，除非有其他说明，数值范围“a-b”表示 a 到 b 之间的任意实数组合的缩略表示，其中 a 和 b 都是实数。例如数值范围“0-5”表示本文中已经全部列出了“0-5”之间的全部实数，“0-5”只是这些数值组合的缩略表示。另外，当表述某个参数为 ≥ 2 的整数，则相当于公开了该参数为例如整数 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 等。

如果没有特别的说明，本申请的所有实施方式以及可选实施方式可以相互组合形成新的技术方案。

如果没有特别的说明，本申请的所有技术特征以及可选技术特征可以相互组合形成新的技术方案。

如果没有特别的说明，本申请所提到的“包括”和“包含”表示开放式，也可以是封闭式。例如，所述“包括”和“包含”可以表示还可以包括或包含没有列出的其他组分，也可以仅包括或包含列出的组分。

如果没有特别的说明，在本申请中，术语“或”是包括性的。举例来说，短语“A 或 B”表示“A，B，或 A 和 B 两者”。更具体地，以下任一条件均满足条件“A 或 B”：A 为真（或存在）并且 B 为假（或不存在）；A 为假（或不存在）而 B 为真（或存在）；或 A 和 B 都为真（或存在）。

本申请的锂离子电池包括壳体，电芯，电解液，电芯和电解液设置在壳体内部，壳体密封设置；其中电芯包括正极片，负极片，隔膜，分别如下：

负极片：

负极片包括负极集流体和负极活性物质层，负极集流体的至少一面设置有负极活性物质层，负极活性物质层与负极集流体电连接。

负极活性物质层包括负极活性物质，负极活性物质包括石墨，石墨可以采用天然石墨或人造石墨，优选人造石墨。

不同粒径的石墨的比表面积不同，产气量不同。石墨的粒径越小，锂离子越容易嵌入及脱出石墨层间。但石墨的粒径越小，其比表面积越大，从而造成 SEI 生成量变多，则会造成产气量增大；SEI 量变多一方面导致锂离子电池首效低，另一方面随着锂离子电池充放电循环的进行，SEI 处于不断消耗再生的过程，所以会带来整个生命周期的产气量加大。同时石墨的粒径也不能过大，当石墨的粒径过大时，会造成在大颗粒的石墨表面因锂离子不能及时进入石墨层间而产生锂枝晶，并进而可与电解液反应而产气，尤其在大倍率（充电倍率在 1C 以上时）下，锂枝晶及产气问题会更加严重。对于本申请的大容量厚极片电芯〔本申请中大容量厚极片电芯，是指锂离子电池容量不小于 200Ah，且单面负极活性物质层的压实密度在 1.3g/cc 到 1.7g/cc 之间（此压实密度为锂离子电池充放电次数小于等于 100 次范围内测量得到。由于锂离子电池的制备过程中，一般会对极片进行辊压操作以提高极片的压实密度，但往往极片在成品锂离子电池的循环前期压实密度往往会反弹变小，所以为了更有效地反映成品锂离子电池的压实密度，所以申请人选取充放电次数少的锂离子电池中负极片单面活性物质层的压实密度），且单面负极活性物质层的面密度在 0.07mg/mm² 到 0.13mg/mm² 之间（此面密度为锂离子电池充放电次数小于等于 100 次时测量得到）〕，以 Dv50 来计算的石墨粒径选择 10 μ m-30 μ m。

同时申请人还进一步设计不能在负极片中形成太多大粒径的石墨，是因为在负极片中，石墨的粒径大于 50 μ m 后，对应此大粒径石墨的位置，很容易因为聚集在此位置的锂离子来不及完全进入石墨层间，而导致部分锂离子在石墨表面沉积而形成锂枝晶，甚至可能刺破 SEI 膜，造成电解液进一步消耗形成 SEI 并产气，且随着锂枝晶继续生长，除了造成此位置局部温度升高，更甚至锂枝晶会刺破隔膜，引起锂离子电池内部短路造成剧烈产气甚至爆炸等隐患；更进一步，在负极片上与正极片边缘接触的位置，此类大粒径石墨带来的锂枝晶问题更为严重；大粒径的石墨越集中，则在集中位置越容易形成锂枝晶，所以在制备负极片过程中要尽量剔除大粒径石墨，并保证大颗粒石墨的数量在可控范围，具体可控制石墨的 Dv90 的数值不大于 40 μ m，并进一步控制石墨的 Dv99 的数值不大于 49 μ m。

另一方面，对本申请的大容量厚极片电芯中，石墨的粒径范围除了要控制 Dv50 在范围之外，也要控制极片中不出现太多的小粒径石墨，减少小粒径石墨的比表面积因素带来的持续产气问题，具体可控制 Dv10 的数值不小于 3 μ m。

另外，发明人还创造性地设计石墨的 Dv50 与 Dv10 的差值 $\leq$ 10 μ m，石墨的 Dv90 与 Dv50 的差值 $\leq$ 15 μ m，这两个差值的设置，使得石墨的粒径分布更集中，从而使得负极片内各处的电流密度更均匀，负极片内部电流密度分布越均匀，越不容易产生锂枝晶，且对石墨表面的 SEI 破坏作用减少，进一步降低产气量。但从另一方面，为了提高极片的压实密度，往往在制备过程中刻意通过大小颗粒混合的方式来提高压实密度，从而进一步提高电芯的体积容量。在对体积容量需求高的电芯中，可不采用 Dv50 与 Dv10 的差值 $\leq$ 10 μ m，Dv90 与 Dv50 的差值 $\leq$ 15 μ m 的设计。

由于石墨是层状结构，在锂离子电池循环过程中，电解液中的锂离子更容易从石墨层间插入石墨中完成嵌锂，而无法在垂直于石墨层的方向上嵌锂，对应石墨的 OI 值（取向度，C004/C110），OI 值越大，越容易嵌锂。当石墨作为负极活性物质时，发明人设计石墨（也可以是包碳后的石墨）的 OI 值在 3-30 范围；当 OI 小于 3，石墨嵌锂就会困难，进而出现锂枝晶数量多，在 200Ah 以上的大容量电芯中，产气量就会很大；另外，对于 200Ah 以上的锂离子电池，一般做储能锂离子电池使用，不需要大倍率充放电（但有些实施方式或使用场景中，也会对大容量储能锂离子电池，提出大倍率充放电要求），所以出于成本考虑，也不需要 OI 值超过 30，不然性价比就不高。

不同工艺生产的石墨的石墨化度不同，发明人期望使用石墨化度越高越好的石墨，石墨化度越高石墨层间在循环过程中越不容易剥离，SEI 也越稳定，长循环产气也越少，但受限

于现有人造石墨的制备工艺，及性价比，石墨化度不能无限制高；根据本申请发明人设计，在本申请的大容量厚极片锂离子电池中，石墨化度（也包括本申请中包碳后的石墨）要大于等于 90%；更进一步，为了满足 400Ah 以上的大容量锂离子电池，发明人优选石墨的石墨化度在 91%到 95%之间。石墨化度小于 91%，则 400Ah 以上的大容量锂离子电池在长循环过程中产气量就会较大，但当石墨化度超过 95%，则发明人认为，根据现有的石墨价格，则石墨化度超过 95%的石墨的性价比不再有优势。

为了进一步减少产气，本申请发明人对石墨表面进行了包碳。石墨包覆无定形碳后，由于无定形碳的嵌锂点位多，一方面可以缓解快充时锂离子对石墨层间的冲击，减少石墨层间的剥离问题，从而能更好减少产气；另一方面包碳可能会降低负极片的容量，所以包碳量不能太多；同时包碳量也不能太少，太少不利于形成均匀的包碳层；本申请发明人对石墨的包碳厚度控制在 $0.5\mu\text{m}$ - $2\mu\text{m}$ 之间；为了验证包碳厚度及包碳均匀性，本申请发明人对循环后的锂离子电池放电并拆解，对拆解得到的负极片刮粉后取样测量 TEM，在 TEM 视野中随机选取 5 个石墨颗粒，并在每个石墨颗粒的外周面均匀选取 5 个点测量包碳厚度，对得到的 25 个测量结果取平均值即得到包碳厚度。由于包碳厚度很小，对前述石墨的粒径影响很小，本申请忽略包碳对石墨粒径(如 $Dv50$)的影响，同时也忽略包碳对石墨化度和 OI 值的影响；另外，为了便于从成品锂离子电池端分析上述石墨粒径带来的影响，在对成品锂离子电池测试分析时，虽然负极活性物质层中有导电剂等因素会影响石墨的粒径范围，但由于含量小等因素，本申请也忽略，经忽略此类次要因素后，本申请将成品锂离子电池测试得到的石墨粒径范围认为同最初石墨的粒径范围相同，将成品锂离子电池测试得到的石墨的石墨化度和 OI 值认为同最初石墨的石墨化度和 OI 值范围相同。

石墨可以是一次颗粒，也可可为包碳后的一次颗粒，这时负极活性物质包括石墨及石墨表面的碳层组成的一次颗粒，一次颗粒的 $Dv50$ 在 $10\mu\text{m}$ - $20\mu\text{m}$ 。也可以是一次颗粒团聚而成的团聚体，即二次颗粒。二次颗粒的 $Dv50$ 在 $10\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$ 。但这种团聚体因为有一次颗粒的存在，而导致比表面积升高。为了降低产气，对这类二次颗粒优选结构为：一次颗粒表面包覆碳层，包碳的一次颗粒团聚形成二次颗粒；并进一步优化，在团聚形成的二次颗粒表面包覆碳层；一次颗粒表面的碳层成分与二次颗粒表面包覆的碳层成分可以不同，也可以相同。本申请进一步公开这类包碳的二次颗粒的制备工艺：将一次颗粒分散在包含有机碳源单体的溶液中，并进行水热聚合反应，聚合反应后在一次颗粒表面形成包含有机碳源聚合物的包覆层，之后碳化，得到包碳的一次颗粒；之后将包碳后的一次颗粒分散在包含有机碳源前驱体的液体中，并进行喷雾干燥后碳化。这种包碳后的二次颗粒更能满足本申请大容量厚极片电芯的产气要求，尤其对 400Ah 以上的大容量电芯。

负极片除了包括负极活性物质(本申请的负极活性物质包括石墨，石墨的表面可以包碳)外，还包括粘结剂，导电剂。本申请的技术方案用于单面负极活性物质层的压实密度在 1.3g/cc 到 1.7g/cc 之间（此压实密度为锂离子电池充放电次数小于等于 100 次范围内测量得到，由于锂离子电池的制备过程中，一般会对极片进行辊压操作以提高极片的压实密度，但往往极片在成品锂离子电池的循环前期压实密度往往会反弹变小，所以为了更有效的根据成品锂离子电池的压实密度，所以申请人选取充放电次数少的电芯来负极片单面活性物质层的压实密度），单面负极活性物质层的面密度在 0.07mg/mm^2 - 0.13mg/mm^2 之间（此面密度为锂离子电池充放电次数小于等于 100 次时测量得到），单面负极活性物质层的厚度在 $50\mu\text{m}$ - $95\mu\text{m}$ 之间，负极集流体的厚度为 $5\mu\text{m}$ ，对应负极集流体双面均涂敷有负极活性物质层时，负极片的厚度为 $105\mu\text{m}$ - $195\mu\text{m}$ （此负极活性物质层的厚度、负极片的厚度为锂离子电池充放电次数小于 100 次测量得到），由于本申请技术方案使用的负极片的厚度高，为了使负极活性物质层中各位置都保持良好的电接触，本申请优选负极活性物质层中的导电剂包括碳管，且优选单壁碳管和/或寡壁碳管；本申请所用的单壁碳管的长度为 $1\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$ ，且截面为一层石

石墨烯片，直径在 0.75nm-10nm，并进一步优选 1nm-3nm；本申请所用的寡壁碳管的截面为 2-5 层石墨烯片，直径在 1nm-15nm，并进一步优选 2nm-5nm。相对于其他常规导电剂如炭黑，一方面单壁碳管或寡壁碳管导电性能更好；另一方面在厚极片中由于极片涂布面积大，且由于石墨循环过程会膨胀及收缩，尤其在石墨中掺杂硅后，膨胀及收缩的厚度差值进一步扩大，则厚极片在循环过程中很可能会造成厚极片上部活性物质获得电子变得困难，甚至造成厚极片分层现象，上层活性物质获得电子困难的问题更为严重；而单壁碳管或寡壁碳管由于其相对炭黑具有更大的长径比，从而能够对厚极片有固定作用，提高上层活性物质获得电子的能力，并防止分层现象发生。

本申请的负极片的负极活性物质除了包括石墨外，也可包含硅。硅的加入是为了提高整个锂离子电池的容量。但硅的循环膨胀问题，使得在厚极片中硅含量不能过多，尤其在本申请的大容量厚极片电芯中，膨胀问题更容易导致厚极片分层，引起活性物质的导电通路断开的问题。另一方面，由于充放电循环过程中硅的膨胀而导致 SEI 的不断破裂再生，这个过程中伴随着产气的持续进行，且锂离子电池的容量越大，因硅膨胀而引起的产气问题越严重。因此本申请对硅在负极活性物质层中的质量含量范围需要考虑两方面因素，且要对两方面因素取交集；第一方面因素为锂离子电池的容量对硅含量的影响，具体如下：当锂离子电池的容量在 $200\text{Ah} \leq L \leq 500\text{Ah}$ 时，进一步优选 $300\text{Ah} < L \leq 500\text{Ah}$ 时，硅在负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-10%；当锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$ 时，硅在负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-8%；当锂离子电池的容量在 $700\text{Ah} < L \leq 1100\text{Ah}$ 时，硅在负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-5%；第二方面因素为负极片的单面活性物质层的厚度对硅含量的影响，具体如下：当负极片的单面活性物质层的厚度在 $50\mu\text{m}-70\mu\text{m}$ 时，硅在负极活性物质层中的质量含量范围为 1%-10%；当负极片的单面活性物质层的厚度在 $70\mu\text{m}-80\mu\text{m}$ 时，进一步优选硅在负极活性物质层中的质量含量范围 1%-8%；当负极片的单面活性物质层的厚度在 $80\mu\text{m}-95\mu\text{m}$ 时，进一步优选硅在负极活性物质层中的质量含量范围为 1%-5%。

在负极活性物质层的厚度方向，硅主要或全部分布于负极活性物质层的下部，也就是靠近负极集流体的一侧。进一步优选，负极活性物质层中靠近负极集流体的面上的硅含量高于负极活性物质层中远离负极集流体的面上的硅含量，并进一步优选，负极活性物质层中远离负极集流体的面上不含硅。

本申请所述的负极活性物质层的下部指的是，在负极活性物质层的厚度方向，负极活性物质层中靠近负极集流体一侧的部位；对应地，负极活性层包括上部，指的是负极活性层远离负极集流体一侧的部位。本申请所述的负极活性物质层中远离负极集流体的面是指沿负极活性物质层的厚度方向，从负极活性物质层远离负极集流体的表面至 $20\mu\text{m}$ 深度的区域；本申请所述的负极活性物质层中靠近负极集流体的面是指沿负极活性物质层的厚度方向，从负极活性物质层靠近负极集流体的表面至 $20\mu\text{m}$ 深度的区域。可以切开负极活性物质层，用扫描电镜（SEM）观察切开的界面，并用 EDS（X 射线能谱仪）做元素扫描，从而确定硅的元素含量。

在负极活性物质层的厚度方向，硅主要或全部分布于负极活性物质层的下部，从而在硅膨胀收缩过程，能够利用负极活性物质层上部来压住负极活性物质层的下部，从而缓解硅膨胀带来的不利影响。并且本申请中负极活性物质层中的硅指的是硅元素，举例来说，具体可包括硅单质，或硅的氧化物，或硅的氮化物，或含硅元素的盐（如硅酸盐）中的一种或多种。

具体来说，本申请中含硅的负极活性物质层结构有如下几种方式：

第一种方式：硅在负极活性物质层的上部和下部均有分布，但硅在负极活性物质层的上部的含量小于在下部中的含量；具体可通过测量靠近负极活性物质层的下表面（靠近集流体的面）的硅含量，及通过测量靠近负极活性物质层上表面的硅含量。

第二种方式：硅只分布在负极活性物质层的下部，负极活性物质层的上部不含硅，具体来说，距离负极活性物质层上表面 $20\mu\text{m}$ 的厚度范围内不含硅，因为超过 $20\mu\text{m}$ 后，上部负极活性物质层就无法起到压住下部膜片的作用。

负极片结构：

本申请负极片包括负极集流体和负极活性物质层，其中负极集流体可以是铜箔，也可以是含碳的纤维集流体，也可以是多孔集流体，负极活性物质层与负极集流体结合，在锂离子电池循环过程中，负极活性物质层通过负极集流体获取电子。

负极片还包括负极端耳，负极端耳与负极集流体电连接，负极端耳与负极集流体的连接方式有多种，如负极端耳焊接在负极集流体上，或负极端耳与负极集流体属于一体结构（如负极集流体是铜箔，负极端耳是负极集流体切割形成的）。

负极集流体可以是多种结构，如第一种结构，负极集流体可以是长方形，包括长边和短边，负极集流体的长边为长方形结构的长，负极集流体的短边为长方形的宽，负极活性物质层设置在负极集流体上下表面的至少部分区域，负极端耳设置在负极集流体的短边上；又如第二种结构，负极集流体是长方形结构，包括长边和短边，负极端耳设置在负极集流体的长边上，每条长边上设置多个负极端耳，第二种结构的负极集流体的长边长于第一种结构的负极集流体的长边，所以需要在第二种结构的负极集流体上设置多个负极端耳，有利于减少厚极片电芯的极耳位置产热。第一种结构下，可以在负极集流体的一个或多个短边上均设置有负极端耳。由于负极集流体的长边比较长，具体来说，负极集流体的长宽比大于 6，整个负极片内的电子供应都跟负极端耳的宽度有关，如果负极端耳的宽度不够，则会导致负极端耳位置发热严重，所以负极端耳的宽度与负极集流体的短边的宽度比值要不小于 0.5；进一步优化，负极端耳的宽度与负极集流体的短边的宽度比值在 0.5-0.8 范围内，不能超过 0.8，因为超过 0.8 后，负极集流体会很接近壳体，在壳体是导体的情况下，轻微的撞击就很容易造成负极集流体与壳体之间电连接；进一步负极端耳的宽度与负极集流体的短边的宽度比值在 0.6-0.8 范围内，因为当充电倍率不小于 3C 后，对负极端耳位置产热影响进一步加剧，所以可通过设置负极端耳的宽度与负极集流体的短边的宽度比值不低于 0.6，以此缓解负极端耳位置的产热影响（正极端耳位置的设置方式原理同负极端耳）。

负极片制备工艺：

负极片的制备工艺包含以下过程：

过程一，混合包含负极活性物质、导电剂、粘结剂等物质组成负极活性物质层。此混合工艺包括两类方法，方法一：将负极活性物质、导电剂、粘结剂、粘结剂的溶剂等物质混合形成液态浆料，涂敷在作为负极集流体的铜箔表面，或作为负极集流体的碳纤维表面及碳纤维之间，涂敷之后经历烘干、辊压等工序得到用于制备电芯的负极片前体；方法二：将负极活性物质、导电剂、粘结剂等物质（可包括少量的粘结剂和溶剂）混合形成不可流动固态或半固体混合物，并热压到负极集流体上，从而形成负极片前体。

过程二，对负极片前体进行分切，得到待用的负极片。

过程一形成的负极端片前体上，负极集流体表面的负极活性物质层存在薄区，薄区的形成方式有多种，如在上述方法一中，通过多个涂布模头对负极集流体所在的片材进行涂敷，涂敷过程中部分模头的涂敷量小于其他模头，则之后烘干过程中，在涂敷量小的模头形成的涂敷区即为薄区。也可调整多个涂布模头之间的间隙，使得多个涂布模头形成的涂敷液在负极集流体的片材上相互不接触或部分接触，由于涂敷烘干过程中，涂敷液的边缘厚度薄，从而在涂敷液的边缘形成薄区；

在过程二中，分切沿着薄区进行，从而得到的负极端片的长边的边缘包括薄区；也即负极端片的长边的边缘厚度小于负极端片的中部厚度。

上述制备工艺增加了成本，因此从成本角度考虑，也可不形成薄区，从而分切后得到的

负极极片的长边的边缘厚度与负极极片的厚度基本一致。

正极片：

正极片包括正极集流体和正极活性物质层，正极集流体的至少一面设置有正极活性物质层，正极活性物质层与正极集流体电连接。

正极活性物质层包括正极活性物质，正极活性物质可以选用含锂磷酸盐如磷酸铁锂或磷酸锰铁锂，也可选用三元正极材料如镍钴锰酸锂或镍钴铝酸锂或对前两者进行元素掺杂。由于材料特性关系，三元正极材料在充放电循环过程中容易产生气体，尤其三元正极材料中镍含量高的情况下，这使得在大容量电芯下正常循环时，产气量异常大，甚至有可能在正常循环时的产气量就可冲开防爆阀，造成锂离子电池失效。因此本申请技术方案中优选正极材料为含锂磷酸盐。但含锂磷酸盐导电性差，需要对含锂磷酸盐表面包覆碳层。同时考虑到与三元正极材料相比，含锂磷酸盐容量低，因此本申请通过对含锂磷酸盐掺杂金属元素的方式来提高容量，具体可掺杂金属钛元素、金属钒元素中的一种或多种，均可提高含锂磷酸盐的容量，且可提高导电性，也可有利于提高本申请大容量电芯的充放电速度。本申请考虑掺杂元素的质量占正极活性物质（包括含锂磷酸盐和碳层）的质量比例不超过 0.4%，具体范围为 0.01%-0.4%；更具体来说，具体可掺杂 0.2%-0.4% 的钛元素；也可掺杂 0.1%-0.2% 的钛元素并同时掺杂 0.01%-0.05% 的钒元素。但掺杂元素的含量并不是越多越好。发明人对本申请大容量厚极片电芯进行充放电研究，正极活性物质使用含有掺杂元素的磷酸铁锂，当掺杂元素质量占正极活性物质的质量比例超过 0.4% 后，会造成磷酸铁锂晶格结构开始发生较大变化，反而不利于性能发挥。

正极极片中除了包括正极活性物质（本申请的正极活性物质包括含锂磷酸盐，含锂磷酸盐可以包碳及掺杂有金属元素）外，还包括有粘结剂，导电剂。本申请的技术方案用于正极片的单面活性物质层的压实密度在 2.3g/cc-2.7g/cc 之间（此压实密度为锂离子电池充放电次数小于等于 100 次范围内测量得到，由于锂离子电池的制备过程中，一般会对极片进行辊压操作以提高极片的压实密度，但往往极片在成品锂离子电池的循环前期压实密度往往会反弹变小，但正极片相对负极片来说，反弹的更小），且正极片的单面活性物质层的面密度在 0.16mg/mm^2 - 0.26mg/mm^2 之间（此面密度为锂离子电池充放电次数小于等于 100 次时测量得到），更进一步对应正极片的单面活性物质层的厚度在 $60\mu\text{m}$ - $105\mu\text{m}$ 之间，在正极集流体的双面涂敷正极活性物质层的位置，测量正极片的厚度范围在 $135\mu\text{m}$ - $225\mu\text{m}$ （此正极片的单面活性物质层的厚度、正极片的厚度为锂离子电池充放电次数小于 100 次测量得到）的厚极片电芯。由于本申请正极片的单面活性物质层比较厚，本申请发明人进一步设置，当正极集流体为铝箔时，当正极片的单面活性物质层的厚度 $\leq 95\mu\text{m}$ 时，测量得到正极集流体的厚度为 D1，当正极片的单面活性物质层的厚度 $> 95\mu\text{m}$ 时，测量得到正极集流体的厚度为 D2，其中 $D2 > D1$ ；更进一步设置，D1 的数值范围在 $11\mu\text{m}$ - $13.5\mu\text{m}$ ，并进一步优选 $12\mu\text{m}$ - $13\mu\text{m}$ ；D2 的数值范围在 $13.5\mu\text{m}$ - $16\mu\text{m}$ ，并进一步优选 $14\mu\text{m}$ - $15\mu\text{m}$ ；因为正极活性物质层厚度越厚，所需要集流体的导电流能力越强，对应需要的集流体越厚。

由于本申请技术方案使用的正极片的厚度高，为了使正极活性物质层中各位置都保持良好的电接触，本申请优选正极活性物质层中的导电剂包括碳管，且优选单壁碳管或寡壁碳管。相对于其他常规导电剂如炭黑，一方面单壁碳管或寡壁碳管导电性能更好，另一方面厚极片在循环过程中很可能造成厚极片上部活性物质获得电子变得困难，甚至造成厚极片分层现象，而单壁碳管或寡壁碳管由于其相对炭黑具有更大的长径比，从而能够对厚极片有固定作用，提高上部活性物质获得电子的能力，并防止分层现象发生。

正极片结构：

本申请正极片包括正极集流体和正极活性物质层，其中正极集流体可以是铝箔，也可以是含碳的纤维集流体，也可以是多孔集流体，正极活性物质层与正极集流体结合，在锂离子

电池循环过程中，正极活性物质层通过正极集流体获取电子。

正极片还包括正积极耳，正积极耳与正极集流体电连接，正积极耳与正极集流体的连接方式有多种，如正积极耳焊接在正极集流体上，或正积极耳与正极集流体属于一体结构（如正极集流体是铝箔，正积极耳是正极集流体切割形成的）。

正极集流体可以是多种结构，如第一种结构，正极集流体可以是长方形，包括长边和短边，正极集流体的长边为长方形结构的长，正极集流体的短边为长方形的宽，正极活性物质层设置在正极集流体上下表面的至少部分区域，正积极耳设置在正极集流体的短边上；又如第二种结构，正极集流体是长方形结构，包括长边和短边，正积极耳设置在正极集流体的长边上，每条长边上设置多个正积极耳，第二种结构的正极集流体的长边长于第一种结构的正极集流体的长边，所以需要在第二种结构的正极集流体上设置多个正积极耳，有利于降低厚极片电芯在极耳位置的产热量。第一种结构下，可以在正极集流体的一个或多个短边上均设置有正积极耳，且正积极耳的宽度与正极集流体的短边的宽度比值在 0.5-0.8 范围内，进一步在 0.6-0.8 范围内，不能超过 0.8，比值设置原理同负积极耳，此不再赘述。

本申请中，正极片结构及正积极耳及正极片的制备工艺均类似负极片，本申请在此不再赘述；但仍需表明本申请部分实施方式中正积极耳在正极集流体上也不均匀分布，正积极耳的上端到正积极片的上端的距离为第三距离 h_3 ，正积极耳的下端到正积极片的下端的距离为第四距离 h_4 ， $h_3 > h_4$ 。

本申请中所述的负极片的厚度或正极片的厚度具体测试方法为：对充放电循环 1-100 圈的锂离子电池放电到 2.5V 电压，此电压认为锂离子电池放电完成，之后对锂离子电池拆解得到正极片和负极片，用电解液的溶剂如 EC 溶液清洗正极片和负极片，以洗掉正极片和负极片表面的锂盐或其他残留，之后烘干溶剂，并测量正极片的厚度及负极片的厚度。

本申请中对活性物质的粒径的测试方法如下：对充放电循环 1-100 圈的锂离子电池放电到 2.5V 电压，此电压认为锂离子电池放电完成，之后对锂离子电池拆解得到正极片和负极片，用电解液的溶剂如 EC 溶液清洗正极片和负极片，以洗掉正极片和负极片表面的锂盐或其他残留，之后烘干溶剂，接下来对极片进行惰性气氛下高温处理（如 500℃-600℃），以使得极片中的粘结剂失活，高温处理后，极片粉化得到活性物质，之后对粉化后的活性物质经过（按压）过筛，取下层颗粒样品做粒度测试；

对于本申请所述的圈（如循环 100 圈）是指一次充电加一次放电记为一圈，更具体来说，实际使用过程中，不一定满充电或满放电，但只要充一次电后，接着放电，至下次充电开始，记为一圈。

隔膜：

本申请方案所用隔膜包括基膜，基膜包括纤维，基膜材质包括 PP 或 PE，基膜表面设置有涂层，涂层中包括无机物质和无机颗粒，涂层涂敷及粘接在基膜表面并部分渗透到基膜内部，涂层的存在能够很好地抑制负极片生成的锂枝晶穿透隔膜而造成锂离子电池内短路；但涂层不能使得隔膜完全闭孔，因为仍需电解液通过，所以隔膜的孔隙率设置为 30%-50% 之间。

电解液：

电解液包括锂盐和溶剂，锂盐包括六氟磷酸锂（ LiPF_6 ）。但六氟磷酸锂的热稳定性差，80℃时开始分解出五氟化磷（ PF_5 ）和氟化锂（ LiF ），而五氟化磷（ PF_5 ）可进一步与水反应生成氟化氢气体，氟化锂（ LiF ）可进一步与溶剂如 DMC 反应生成气体，因此六氟磷酸锂对大容量电芯产气影响不可忽视。且随着锂离子电池的容量的增高，电芯内部积累温度也会越来越高，所以 LiPF_6 在大容量电芯中的产气影响也越来越大。

另一种锂盐为双氟磺酰亚胺锂（ LiFSI ），此种锂盐热稳定性好，分解温度高达 200℃，有利于降低因温度升高而带来的产气问题。部分原因考虑到双氟磺酰亚胺锂（ LiFSI ）成本

太高，所以电解液的锂盐仍需保留六氟磷酸锂（ LiPF_6 ），另外 LiFSI 对正极集流体铝箔有一定腐蚀作用，而 LiPF_6 可以缓解该腐蚀作用。综合考虑， LiPF_6 的体积摩尔含量要高于 LiFSI 的体积摩尔含量。

由于在锂离子电池循环过程，尤其是首次充放电形成 SEI 的过程会大量消耗锂盐，所以本申请方案更多监控循环的成品锂离子电池中的锂盐含量。具体来说在锂离子电池充放电次数在 5 到 100 次之间测量得到，锂盐包括六氟磷酸锂（ LiPF_6 ）和双氟磺酰亚胺锂（LiFSI）的情况下，锂盐的体积摩尔含量在 0.8mol/L - 1.5mol/L 之间；出于降低对铝箔腐蚀的考虑，更进一步限定双氟磺酰亚胺锂（LiFSI）的质量占电解液的质量百分比在 0.1%-9% 之间。

另一方面，考虑到锂离子电池的容量提升后，产气量加剧，当锂离子电池的容量大于 300Ah 后，LiFSI 的质量占电解液的质量百分比不小于 1%。

根据锂离子电池的容量及成本考虑：当锂离子电池的容量 L 在 $200\text{Ah} \leq L \leq 300\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 0.1%-9%，出于成本考虑，优选 LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 0.1%-5%；当锂离子电池的容量 L 在 $300\text{Ah} < L \leq 500\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 1%-9%，出于成本考虑，优选 LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 1%-5%；当锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 3%-9%；当锂离子电池的容量 L 在 $700\text{Ah} < L \leq 1100\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 5%-9%。

本申请的电解液中，溶剂包括 EC，DMC，EMC，DEC，具体对应的中文名称为：碳酸乙烯酯（EC）、碳酸二甲酯（DMC）、碳酸二乙酯（DEC）、碳酸甲乙酯（EMC）。因为 EC 为环状碳酸酯，环状碳酸酯介电常数高、离子电导率高，能够在负极表面形成稳定的 SEI 膜，但其粘度较大，不利于锂离子扩散，所以 EC 的含量在 30%-40% 之间；其中 DMC 及 EMC 均为链状碳酸酯，链状碳酸酯的粘度普遍低于环状碳酸酯，对于本申请厚极片锂离子电池来说，需控制，DMC 及 EMC 的质量之和需大于 EC 的质量，并进一步控制 EMC 与 DMC 的总含量在 50%-60%。另外，相对 EMC 来说，DMC 的沸点低，易产气，从控制高温产气的方面需求，需控制 EMC 的质量高于 DMC。但 DMC 的粘度更低有利于电解液在长极片及隔膜上的爬升（恒向及纵向扩散能力），需要 DMC 的存在，并满足 DMC 的含量在 10%-15%。其中，EC 的含量指的是 EC 的质量除以电解液质量与锂盐质量的差值，即 $\text{EC 的质量} / (\text{电解液质量} - \text{锂盐质量})$ ；类似地，EMC 与 DMC 的总含量指的是 EMC 与 DMC 的总质量除以电解液质量与锂盐质量的差值，即 $(\text{EMC 质量} + \text{DMC 质量}) / (\text{电解液质量} - \text{锂盐质量})$ ；DMC 的含量指的是 DMC 的质量除以电解液质量与锂盐质量的差值，即 $\text{DMC 的质量} / (\text{电解液质量} - \text{锂盐质量})$ 。

部分实施方式中，电解液中也加入一定含量的羧酸酯，羧酸酯的含量是指羧酸酯的质量除以电解液质量与锂盐质量的差值，即 $\text{羧酸酯的含量} = \text{羧酸酯的质量} / (\text{电解液的质量} - \text{锂盐的质量})$ ，羧酸酯有助于锂离子电池充放电过程中在负极成膜，提高离子电导率，减少负极界面处产气。但羧酸酯含量过多，反而会造成产气量的增加，尤其在快充体系下。对于本申请部分实施方式，羧酸酯的含量不超过 10%。

在部分实施方式中，羧酸酯也可与 LiFSI 搭配使用，两者搭配均能降低产气，最直观的效果是可以降低 LiFSI 的用量，从而降低成本。具体来说，当羧酸酯的含量在 5%-10% 时：锂离子电池的容量 L 在 $200\text{Ah} \leq L \leq 300\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 0.1%-5%；锂离子电池的容量 L 在 $300\text{Ah} < L \leq 500\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 1%-5%；锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 2%-7%；当锂离子电池的容量 L 在 $700\text{Ah} < L \leq 1100\text{Ah}$ ，LiFSI 的质量占电解液的质量的百分比为 3%-8%。

电芯结构：

本申请的电芯结构包括正极片、负极片和隔膜，本申请的电芯结构可以是叠片结构，也可以是卷绕结构。本申请方案适用于大电芯，锂离子电池的容量在 200Ah 到 1100Ah 之间。

不管是叠片结构还是卷绕结构电芯，在使用过程中电芯往往竖直放置，电芯越宽，电解液由电芯下端爬升到电芯上端所需要的距离越长，电解液从电芯下端爬升到电芯上端主要通过隔膜，具体来说与隔膜的孔隙率有关，尤其在锂离子电池循环后期，壳体内部的电解液数量变少，如果壳体底部的电解液无法爬升到电芯上端，就会造成电芯上端的极片因无法接触电解液或电解液少，而造成锂离子在负极沉积不均匀而产生大量锂枝晶，造成产气量上升。另一方面，电芯越宽，电芯中部的热量越不容易散失，从而导致电芯中部热量集中而导致电芯产气量升高，而隔膜孔隙率高也会一定程度有助于散热。但隔膜孔隙率也不能过高，否则容易在充电过程中因电流密度不均匀而造成负极锂枝晶增多，而导致产气量升高，尤其在大倍率充电时。在本申请电解液成分下，当负极片的宽度在 100mm-150mm 之间时，隔膜的孔隙率在 30%-50%即可；当负极片的宽度在 200mm-250mm 之间，隔膜的孔隙率要在 35%-50%之间。根据前述电芯的容量要求，当负极片的宽度在 100mm-150mm 之间时，优选电芯的长宽比在 6-8 之间；当负极片的宽度在 200mm-250mm 之间，优选电芯的长宽比在 2.8-4 之间。

锂离子电池：

本申请中的锂离子电池包括壳体，电芯，和电解液，电解液和电芯设置在壳体内部。壳体密封设置，壳体包括正极柱、负极柱、防爆阀。正极柱与正极极耳电连接，负极柱与负极极耳电连接；正极柱和负极柱可以分别设置在壳体的两端也可以均设置在壳体的同一端。

防爆阀设置于所述壳体的第一端，正极柱及负极柱中的至少一个也设置于壳体的第一端。

优选地，防爆阀设置在正极柱所在壳体一端的边缘，即防爆阀设置于壳体的第一端，正极柱也设置于壳体的第一端。正极极耳的上端与壳体之间形成第一上部排气通道，沿第一上部排气通道的气流方向，防爆阀的投影区域与第一上部排气通道的投影区域部分重合。更进一步，沿第一上部排气通道的气流方向，防爆阀的投影区域与第一上部排气通道的投影区域的重合度超过 80%。

或防爆阀设置在负极柱所在壳体一端的边缘，即防爆阀设置于壳体的第一端，负极柱也设置于壳体的第一端。负极极耳的上端与壳体之间形成第二上部排气通道，沿第二上部排气通道的气流方向，防爆阀的投影区域与第二上部排气通道的投影区域部分重合，更进一步，沿第二上部排气通道的气流方向，防爆阀的投影区域与第二上部排气通道的投影区域的重合度超过 80%。

防爆阀的投影区域与第一上部排气通道的投影区域的重合度指的是，沿第一上部排气通道的气流方向，防爆阀的投影区域与第一上部排气通道的投影区域的重合区域的面积，与第一上部排气通道的投影区域的面积的比值。同理，防爆阀的投影区域与第二上部排气通道的投影区域的重合度指的是，沿第二上部排气通道的气流方向，防爆阀的投影区域与第二上部排气通道的投影区域的重合区域的面积，与第二上部排气通道的投影区域的面积的比值。

防爆阀与第一上部排气通道或第二上部排气通道在气流方面的投影区域部分重合是为了在异常情况下，锂离子电池内部气压过大时，能够迅速冲开防爆阀，防止气压在壳体内部积累而产生爆炸。而防爆阀与第一上部排气通道或第二上部排气通道的重合度超过 80%，是因为本申请的大容量电芯（锂离子电池的容量大于等于 200Ah）在异常情况下，产气量巨大，经过申请人的实验和模拟，重合度低于 80%，部分锂离子电池会出现爆炸。为了进一步防止锂离子电池爆炸，对于本申请的大容量电芯（锂离子电池的容量大于等于 200Ah），申请人进一步优化，防爆阀的面积与锂离子电池的容量的比值范围为 $0.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ - $1.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ ；并进一步限定，当锂离子电池的容量小于 600Ah，防爆阀的面积与锂离子电池的容量的比值小于等于 $1\text{mm}^2/\text{Ah}$ ；当锂离子电池的容量大于等于 600Ah，小于 1200Ah，防爆阀的面积与锂离子电池的容量的比值小于等于 $1.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ 。为了进一步防止锂离子电池爆炸，对于本申

请的大容量电芯（锂离子电池的容量大于等于 200Ah），申请人进一步优化，当电芯的长宽比大于 2.8 后，防爆阀有多个，且多个防爆阀均位于锂离子电池的上半部，此处锂离子电池的上半部是相对在锂离子电池实际使用场景中摆放位置来说。因为锂离子电池实际使用时，在锂离子电池循环初期，由于锂离子电池内还有大量游离电解液，如果此时发生异常使用情况而导致防爆阀冲开，则申请人不希望电解液也跟随产生的气体从防爆阀喷出，因为喷出的电解液会进一步引起其他外短路，所以防爆阀要设置在锂离子电池的上半部，即使有多个防爆阀，也要让每一个防爆阀均设置在锂离子电池的上半部。

防爆阀可以位于锂离子电池两侧的短边上（如本申请图 3 所示），也可以位于锂离子电池的长边上，此时有多种设置方式，如本申请图 9 所示为其中一种方式。

也可以为如下设置方式：防爆阀位于壳体长边上，正极极耳位于正极集流体的短边上，负极极耳位于负极集流体的短边上，正极极耳和负极极耳分别位于电芯两端，正极极耳和/或负极极耳相对极片对称设置（其他设置方式中不对称设置至少一方面原因是为了给防爆阀或其他器件（如注液通道）留出空间，同时为了兼顾极耳的过流能力，需要极耳有一定宽度，所以往往通过将极耳相对于极片上端下移，但极耳下移会有接触壳体的风险，所以往往需要控制极耳下边缘与壳体之间的距离），而防爆阀位于壳体长边，极耳位于集流体短边（极柱也位于壳体短边）后，不用太多担心极耳下边缘过于靠近壳体而引起短路，因为此时防爆阀设置在长边上，就可以让极耳相对集流体短边对称设置，并相应增大极耳宽度与集流体短边的比值，此比值可设置为 0.7-0.8，从而增大极耳的过流能力。

本申请不限定防爆阀的具体结构，只要壳体上能在异常情况下被冲开的部位都能起到防爆阀的作用，如当壳体是铝塑膜形成的壳体，则铝塑膜封装的薄弱区就可起到防爆阀的作用，此时薄弱区可能是一条线结构，则防爆阀的面积计算方法为，以薄弱区的长度为周长对应的正方形的面积。

对于防爆阀有多个，此时有多种方案设计，如防爆阀有两个，两个防爆阀分别位于锂离子电池两个相对的短边上，此时两个防爆阀需要对称设置，不然就会造成一个防爆阀启动后另一个防爆阀不会启动；又如防爆阀有两个，两个防爆阀均位于锂离子电池上端的长边上，此时，这两个防爆阀需要相对锂离子电池长边对称分布，此处对称分布是指每个防爆阀到锂离子电池长边中点的距离均相等，因为对于长电芯来说，如果异常情况（如碰撞）发生在靠近电芯中部的位置，则在碰撞位置，可能会迅速产生大量气体，导致无法快速传到至电芯两端的防爆阀，从而可能导致锂离子电池爆炸；又如防爆阀可以为三个，两个防爆阀分别对称设置于锂离子电池两个相对的短边上，第三个防爆阀设置在锂离子电池长边上，且优选设置在长边的中部，因为对于长电芯来说，如果异常情况（如碰撞）发生在靠近电芯中部的位置，则在碰撞位置，可能会迅速产生大量气体，导致无法快速传到至电芯两端的防爆阀，从而可能导致锂离子电池爆炸。

当电芯为叠片电芯时，正极柱和负极柱分别设置在壳体的两端也可以设置在壳体的同一端；当电芯为卷绕电芯时，优选正极柱和负极柱设置在壳体同一端。

产气分析：

在锂离子电池制备过程中，第一次充放电会在负极片的活性物质表面形成 SEI 层，这个过程中产生大量的气体，需要抽气程序将这部分气体排出锂离子电池外，之后再密封壳体作为成品锂离子电池出厂。成品锂离子电池的使用过程中包括正常充放电循环使用，也包括异常使用环境，如高温，碰撞等。在正常使用环境下，随着充放电循环的过程，负极中的石墨层间不断地脱嵌锂，会造成石墨体积膨胀，也可能造成石墨层间剥离等，这些因素会导致负极活性物质表面的 SEI 破坏也伴随重新生成，重新生成 SEI 的过程会产生气体。另外，随着石墨的嵌锂，尤其对于厚极片，部分锂离子来不及嵌入石墨层间从而在负极活性物质表面析出锂枝晶，析出的金属锂枝晶部分会与电解液反应，生成 SEI 的同时，消耗电解液并产生

气体。正极片在充放电过程中也会产生气体，三元材料作为做为正极活性物质时，产生的气体多，但本申请技术方案采用的是含锂磷酸盐，所以正极产气量少。在锂离子电池异常使用时，如高温，锂离子电池中的具体反应部分如下所示：

当锂离子电池温度超过 80℃时，SEI 膜中的有机锂会分解产气，六氟磷酸锂会分解并与溶剂反应产气；

当锂离子电池温度超过 120℃时，负极表面的 SEI 膜已大部分分解，从而使得负极中的锂等物质与有机溶剂反应产生气体；

当锂离子电池温度在 110℃到 300℃时，六氟磷酸锂大量分解，电解液也大量反应产气；

当锂离子电池温度超过 300℃时，含锂磷酸盐分解并产气，并进一步诱发电解液分解产气；

另外在锂离子电池温度超过 235℃时，正负极片所用的粘结剂 PVDF 也开始分解。

热失控的前期产气相对温和，此时如尽快对锂离子电池停止充放电并进行降温，会阻止热失控的进一步发生，并能够使得锂离子电池负极重新形成 SEI 膜，而继续使用该锂离子电池；但如果没有及时阻止热失控，则在热失控中后期，随着热量大量积累，产气大量发生使得锂离子电池内的气压大量升高而冲开防爆阀，虽然防爆阀阻止了该锂离子电池的爆炸反应，但防爆阀开启后，该锂离子电池也不能再继续使用。

所以本申请的技术方案不断优化了锂离子电池中，正极片、负极片、隔膜、电解液、电芯结构等特征，使得正常使用情况下的产气量尽量降低，从而能够首先保证在锂离子电池正常使用的生命周期内（如充放电循环 3000 圈）产生的气体不足以冲开防爆阀；并进一步保证能够给热失控产生的气体留尽量多空间，使得锂离子电池不在热失控前期冲开防爆阀。具体来说，如果正常循环过程产气量少，则叠加热失控前期产生的气体，仍不足以达到防爆阀的开启气压，则防爆阀并不冲开，此时如果阻止热失控进一步发生，则该锂离子电池仍可继续使用。更具体来说，防爆阀的开启气压一般在 0.6Mpa-1Mpa 之间，本申请为了锂离子电池安全，设计防爆阀的开启气压为 0.55Mpa-0.65Mpa，为了给热失控留下气体空间，本申请设计本申请锂离子电池在 40℃充放电循环 3000 圈后，锂离子电池内部压力不超过 0.35Mpa。

由于壳体内部除了电芯和电解液外还有理论储气空间。理论储气空间通常表示电池在设计时所预留的最大气体储存能力。理论储气空间的形成一方面在于锂离子电池制备过程中没有被添加的电解液填充的电芯与壳体之间的空间，另一方面由于锂离子电池循环过程中不断消耗电解液，使得消耗的电解液腾出来的空间，这两方面因素共同形成锂离子电池内部理论储气空间。尤其在锂离子电池循环后期，由于电解液大量被消耗，仅存的电解液也大部分位于隔膜的孔隙中，使得电芯与壳体之间电解液很少。所以在本申请设计理论储气空间时，一方面忽略电芯的厚度方向上电芯与壳体之间的空间，因为锂离子电池制备过程中，电芯的厚度方向上，电芯的厚度与壳体的厚度相差不多，预留的空间已很少，而电芯循环后膨胀及电解液填充电芯等因素使得电芯的厚度方向上电芯几乎贴合壳体，所以可忽略电芯的厚度方向上电芯与壳体的空间；另一方面，随着循环进行，尤其在电池循环后期，由于电解液大量被消耗，仅存的电解液也大部分位于隔膜的孔隙中，使得电芯与壳体之间电解液很少。所以可以通过计算电芯的宽度方向上电芯与壳体之间的空间及电芯的长度方向上电芯与壳体之间的空间，两者之和构成实际储气空间。

具体来说，本申请在设计电芯时，首先预设容量，根据体积与容量之间的关系，则可计算出所需要的理论储气空间 V_0 ；对于成品锂离子电池来说，锂离子电池的容量为 0.33C 充电倍率下的容量。

本申请的方案适用于多种锂离子电池结构，在此仅结合附图实例性描述如下：

如图 1，图 2，图 3，图 4 所示的方形叠片锂离子电池，锂离子电池长宽比为 6.5，该锂离子电池包括壳体 40，及位于壳体 40 内部的电芯 30 和电解液（图中未示出），图 1 中正

极片 10 及图 2 中负极片 20 及隔膜（图中未示出）层叠形成电芯 30，壳体 40 还包括正极柱 41，负极柱 42，及防爆阀 43。

正极片 10 和负极片 20 均为方形结构，这里的方形结构是指忽略极耳的整体形状，正极片 10 包括正积极耳 11、正极集流体、正极活性物质层，正极集流体为长方形结构，正积极耳 11 设置在正极集流体的一条短边上，正积极耳 11 在正极集流体的短边不对称分布。沿电芯的宽度方向，也就是沿正极集流体的短边方向上，正积极耳 11 的上端到正极片 10 的上端的垂直距离为第一距离 h_1 ，正积极耳 11 的下端到正极片 10 的下端的垂直距离为第二距离 h_2 ，其中 h_1 大于 h_2 ，且正积极耳 11 的宽度与正极集流体的短边宽度比值为 0.75。负极片 20 包括负积极耳 21、负极集流体、负极活性物质层，负极集流体为长方形结构，负积极耳 21 设置在负极集流体的一条短边上，负积极耳 21 在负极集流体的短边不对称分布。沿电芯的宽度方向，也就是沿负极集流体的短边方向上，负积极耳 21 的上端到负极片 20 的上端的垂直距离为第三距离 h_3 ，负积极耳 21 的下端到负极片 20 的下端的垂直距离为第四距离 h_4 ，其中 h_3 大于 h_4 ，且负积极耳 21 的宽度与负极集流体的短边宽度比值为 0.75。

电芯 30 由多个正极片 10 和多个负极片 20 及隔膜层叠而形成，每个正极片 10 的一条短边上均设置有正积极耳 11，每个负极片 20 的一条短边上均设置有负积极耳 21，正积极耳 11 和负积极耳 21 分别位于电芯 30 的两端。

正极柱 41 与正积极耳 11 电连接，负极柱 42 与负积极耳 21 电连接，正极柱 41 和负极柱 42 设置在壳体 40 两端，防爆阀 43 设置在正极柱 41 所在壳体 40 一端的边缘。如图 3 和图 4 所示，正积极耳 11 的上端与壳体 40 之间形成第一上部排气通道 51，壳体 40 与正积极耳 11 相连的一端包括防爆阀 43，沿第一上部排气通道 51 的气流方向（图 4 中的水平方向，也是电芯的长度方向 L_d ），防爆阀 43 与第一上部排气通道 51 部分重合。具体来说，沿第一上部排气通道 51 的气流方向，防爆阀 43 与第一上部排气通道 51 的重合度为 85%，也即在图 4 中沿竖直方向（也是高度方向 H_d ，此时高度方向也是锂离子电池的宽度方向），防爆阀 43 的宽度与第一上部排气通道 51 的宽度的比值为 85%。如图 4 所示，示意了锂离子电池内部气体的流向，电芯 30 内部产生的气体大多通过极片之间的孔隙或隔膜沿着极片边缘排出电芯 30，在正常循环中，由于气体是持续并相对缓慢产生，由于流动性，产生的气体相对均匀分散在壳体 40 内部，包括部分气体集中在第一上部排气通道 51 的位置；当异常情况下，气体迅速产生，从而导致壳体 40 内气压升高，而使得第一上部排气通道 51 位置气压升高，从而冲开防爆阀 43。

如图 3 所示，由于在极片的厚度方向，也是电芯 30 的厚度方向（在图中厚度方向为垂直于视图所在平面的方向，也即垂直于 H_d 与 L_d 的方向），电芯 30 与壳体 40 之间的空隙小，且随着电芯 30 在循环中出现膨胀，且膨胀主要发生在电芯 30 的厚度方向，使得循环后的电芯 30 与壳体 40 之间的空隙进一步减小，在计算实际储气空间时，可忽略该厚度方向，只计算电芯 30 的长度方向及电芯 30 的高度方向（也是宽度方向）电芯 30 与壳体 40 之间的空间，也即图 3 中标号①②③④所在位置的空间。

图 1 到图 4 只是示意性，防爆阀 43 也可以设置在负极柱 42 所述壳体 40 一端的边缘，也即在图 3 或图 4 中，将防爆阀 43 设置在锂离子电池右侧短边上。

如图 5，图 6，图 9，图 10 为本申请另一种锂离子电池结构，锂离子电池的长宽比为 3，该锂离子电池也包括壳体 40，及位于壳体 40 内部的电芯 30 和电解液（图中未示出），图 5 中负极片 20 及图 6 中正极片 10 及隔膜（图中未示出）层叠形成电芯 30，壳体 40 还包括正极柱 41，负极柱 42，及防爆阀 43。正极片 10 和负极片 20 均为方形结构，这里的方形结构是指忽略极耳的整体形状。正极片包括正积极耳 11、正极集流体、正极活性物质层，正极集流体为长方形结构，正积极耳 11 设置在正极集流体的一条长边上。负极片 20 包括负积极耳 21、负极集流体、负极活性物质层，负极集流体为长方形结构，负积极耳 21 设置在负极

集流体的一条长边上。电芯 30 由多个正极片 10 和多个负极片 20 及隔膜层叠而形成，每个正极片 10 的一条长边上均设置有正极端耳 11，每个负极片 20 的一条长边上均设置有负极端耳 21，正极端耳 11 和负极端耳 21 均位于电芯 30 的上端。正极柱 41 与正极端耳 11 电连接，负极柱 42 与负极端耳 21 电连接，正极柱 41 和负极柱 42 设置在壳体 40 的上端，防爆阀 43 设置在正极柱 41 及负极柱 42 之间。图 10 也给出了气流流向示意图。如图 9 所示，由于在极片的厚度方向，也是电芯 30 的厚度方向（在图中厚度方向为垂直于视图所在平面的方向，也即垂直于 Hd 与 Ld 的方向），电芯 30 与壳体 40 之间的空隙小，且随着电芯 30 在循环中出现膨胀，且膨胀主要发生在电芯 30 的厚度方向，使得循环后的电芯 30 与壳体 40 之间的空隙进一步减小，因此在计算实际储气空间时，可忽略该厚度方向，只计算电芯 30 的长度方向及电芯 30 的高度方向电芯 30 与壳体 40 之间的空间体积，也即图 9 中标号①②③④所在位置的空间。更具体的计算方法为，电芯 30 的长度方向的空间体积（也即标号①和标号②的空间体积之和）：壳体 40 的内腔长度与电芯 30 的长度的差值乘以壳体 40 的内腔宽度再乘以壳体 40 的内腔厚度；电芯 30 的高度方向的空间体积（也即宽度方向的空间体积，也即标号为③和标号④的空间体积之和）：壳体 40 的内腔宽度与电芯 30 的宽度的差值乘以电芯 30 的长度再乘以壳体 40 的内腔厚度。实际储气空间为上述电芯 30 的长度方向的空间体积与电芯 30 的宽度方向的空间体积之和。

本申请的壳体 40 的内腔厚度也简称壳体 40 内厚（也即厚度方向，壳体 40 一侧内壁到壳体 40 另一侧内壁之间的距离），壳体 40 的内腔宽度也简称壳体 40 内宽（也即宽度方向，壳体 40 一侧内壁到壳体 40 另一侧内壁之间的距离），壳体 40 的内腔长度也简称壳体 40 的内长（也即长度方向，壳体 40 一侧内壁到壳体 40 另一侧内壁之间的距离）。另外，用负极集流体宽度（除去极耳），代替电芯 30 的宽度；用负极集流体长度（除去极耳）代替电芯 30 的长度；虽然极耳也会占据一定的空间，但本申请忽略极耳占据的空间体积。

计算实际储气空间时，可忽略厚度方向，只计算长度方向及高度方向电芯 30 与壳体 40 之间的空间，标号①②③④所在位置的空间，进一步也不包括壳体 40 与电芯 30 之间的其他组件，如支撑结构等，这类组件也会占用体积，实际储气空间减去其他组件的体积。

如图 7，图 8，图 9，图 10 为本申请另一种锂离子电池结构，锂离子电池长宽比为 3，该锂离子电池也包括壳体 40，及位于壳体 40 内部的电芯 30 和电解液（图中未示出），图 7 中正极片 10 及图 8 中负极片 20 及隔膜（图中未示出）卷绕形成电芯 30，壳体 40 还包括正极柱 41，负极柱 42，及防爆阀 43。正极片 10 和负极片 20 均为方形结构，这里的方形结构是指忽略极耳的整体形状。正极片包括正极端耳 11、正极集流体、正极活性物质层，正极集流体为长方形结构，正极端耳 11 设置在正极集流体的一条长边上，且一个正极集流体上均匀设置多个正极端耳 11。负极片 20 包括负极端耳 21、负极集流体、负极活性物质层，负极集流体为长方形结构，负极端耳 21 设置在负极集流体的一条长边上，且一个负极集流体上均匀设置多个负极端耳 21。电芯 30 由一个正极片 10 和一个负极片 20 及隔膜卷绕而形成，正极端耳 11 和负极端耳 21 均位于电芯 30 的上端；正极柱 41 与正极端耳 11 电连接，负极柱 42 与负极端耳 21 电连接，正极柱 41 和负极柱 42 设置在壳体 40 上端，防爆阀 43 设置在正极柱 41 及负极柱 42 之间。图 10 也给出了气流流向示意图。如图 9 所示，由于在极片厚度方向，也是电芯 30 的厚度方向（在图中厚度方向为垂直于视图所在平面的方向，也即垂直于 Hd 与 Ld 的方向），电芯 30 与壳体 40 之间的空隙小，且随着电芯 30 在循环中出现膨胀，且膨胀主要发生在电芯 30 的厚度方向，使得循环后的电芯 30 与壳体 40 之间的空隙进一步减小，在计算实际储气空间时，可忽略厚度方向，只计算长度方向及高度方向电芯 30 与壳体 40 之间的空间，也即图 9 中标号①②③④所在位置的空间。

为了更进一步研究不同锂离子电池体系不同材料下所需的实际储气空间，申请人结合自己在小容量锂离子电池的设计经验及前期摸索设计了一系列的实验，其中实验组如下：

[第一基础组]

申请人首先设置了第一基础组锂离子电池共 100 个,第一基础组的设计目的是为了获得大容量电芯的容量与产气的比值。第一基础组锂离子电池原始加入的材料及锂离子电池结构如下:负极活性物质采用包碳后的石墨,石墨的 OI 值为 10,石墨化度为 92%,石墨的 Dv50 为 15 μ m, Dv10 为 6 μ m, Dv90 为 26 μ m, Dv99 为 42 μ m,石墨为非团聚的单颗粒,负极片的单面活性物质层的面密度为 0.11 mg/mm²,负极片的单面活性物质层的压实密度为 1.4g/cc,负极活性物质层的单面厚度为 79 μ m,负极集流体为铜箔,厚度为 6 μ m,负极集流体的两面均设置有负极活性物质层,负极端耳设置在负极片的长度方向的一端,也就是设置在短边上,且负极端耳与负极片为一体结构,负极片的宽度为 120mm,负极端耳的宽度为 75mm,且沿负极片的宽度方向,负极端耳的上端到负极片的上端的距离 h3 为 28mm,负极端耳下端到负极端片下端的距离 h4 为 17mm;负极片有多个,多个负极片上均设置有负极端耳,多个负极端耳与壳体第二端上的负极柱电连接,壳体的第一端设置有防爆阀。

正极活性物质为包碳后的磷酸铁锂(LFP),正极片的单面活性物质层的压实密度为 2.6g/cc,正极片的单面活性物质层的面密度为 0.24 mg/mm²,正极片的单面活性物质层的厚度为 92 μ m,正极端耳设置在正极片长度方向的一端,也就是设置在短边上,且正极端耳与正极片为一体结构,正极片宽度为 116mm,正极端耳的宽度为 75mm,正极端耳的上端到正极端片的上端的距离 h1 为 26mm,正极端耳的下端到正极端片的下端的距离 h2 为 15mm,正极片有多个,多个正极片上均设置有正极端耳,多个正极端耳与壳体第二端上的正极柱电连接;正极端耳的上端与壳体之间形成第一上部排气通道;壳体的第一端设置有防爆阀,且防爆阀设置在正极柱的上方,沿第一上部排气通道的气流方向,防爆阀与第一上部排气通道的重合度为 85%;(正极活性物质 LFP 一次颗粒的平均粒径为 0.1 μ m-5 μ m(由于 LFP 颗粒本身极易团聚,并不能精确测量其颗粒平均粒径,不过由于 LFP 相对三元正极材料产气量很小,且 LFP 与石墨组成锂离子电池后,负极石墨位置的产气量远大于正极 LFP 位置的产气量,所以本申请不对 LFP 作为正极材料的粒径做限定))。

隔膜包括 PE 基膜,基膜上设置有氧化铝涂层,隔膜孔隙率为 40%。

电解液的锂盐是 LiPF₆,相对于电解液的质量百分含量为 16%,电解液的溶剂包括 EC、DMC、EMC、DEC,质量百分含量分别为 30%、13%、38%、8%。

电芯结构为叠片结构,锂离子电池的容量设计为 300Ah,第一基础组锂离子电池的储气空间为 1500cm³;设计第一基础组锂离子电池的储气空间远大于所需空间,有多重考量如下:一方面是为了各基础组测试时都能循环够 3000 圈而防爆阀不启动,从而计算出不同基础组中锂离子电池的容量与产气量的关系;再一方面,此第一基础组中锂离子电池的储气空间大,便于在壳体内部设置气体压力传感器。

锂离子电池注液完成后,会经历化成及抽气工序。

防爆阀的冲开压力为 0.6Mpa。

锂离子电池的壳体为铝合金,壳体内部设置有气体压力传感器。

对第一基础组的 100 个锂离子电池充放电循环,锂离子电池的外部环境温度为 40℃,充放电截至电压为 2.5V-3.65V,充电过程包括恒流段和恒压段,在恒流段:以 1C 倍率先对锂离子电池恒流充电至截至电压(3.65V),在恒压段:恒压充电;放电过程为以 1C 倍率对锂离子电池放电至放电截至电压(2.5V)。对基础组充放电循环 50 圈后,取其中 5 个锂离子电池拆开分析锂离子电池各组分的变化,剩余的 95 个锂离子电池继续循环至 3000 圈。对取出的 5 个锂离子电池分析发现,大部分正负极材料及正负极片均未有太大变化,除了负极片的压实密度和负极片的厚度会发生变化,测量得到负极片的单面活性物质层的压实密度变为 1.35g/cc,负极片的单面活性物质层的厚度变为 85 μ m;正极片的单面活性物质层的压实密度及厚度变化相对小,经测量,正极片的单面活性物质层的压实密度变为 2.59g/cc,

正极片的单面活性物质层的厚度变为 $93\mu\text{m}$ 。

剩余的 95 个锂离子电池循环 3000 圈后均没有发生防爆阀冲开，锂离子电池循环达到 3000 圈后，记录每个锂离子电池内的气体压力传感器的气压 P （不同锂离子电池的气压 P 会有差异），并根据 $PV=NRT$ ，取 T 为 40°C ， R 为 8.314 ， V 为 1500cm^3 ，气压 P 单位取 Mpa ，得到各锂离子电池对应的产气量 N ，汇总 95 个数据，计算得到当锂离子电池的容量 L 为 300Ah 时，锂离子电池的产气量 N 与锂离子电池的容量的比值 N/L 为 0.02554mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.03495mmol/Ah 之间。

进一步根据 $Pv=NRT$ ，当固定气压 P 为 0.35Mpa ，从而得到储气空间 v 与锂离子电池的容量 L 的比值： $v/L=NRT/PL$ ；取 T 为 40°C ， R 为 8.314 ， N/L 为 0.02554mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.03495mmol/Ah ，从而得到 $0.19\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.26\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，也即 $0.19L \leq v \leq 0.26L$ ， v 单位为立方厘米（ cm^3 ）。

[第一调整组]

在第一基础组的基础上，设置第一调整组，第一调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的 OI 值不同石墨的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现石墨 OI 值为 3，对应的若干第一调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ）；当石墨 OI 值低于 3，对应的若干第一调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ）；发现当石墨 OI 值高于 3 且小于等于 30 时（出于成本考虑，本申请并未验证 OI 值高于 30 的情况，但根据发明人的推测，石墨 OI 值越高，快充性能越好，产气越少），对应的若干第一调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值均低于第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ）。

[第一二次调整组]

在第一调整组的基础上，进一步设置第一二次调整组。第一二次调整组与第一调整组的区别仅在于，充电倍率变为 $2C$ 。

发现石墨 OI 值为 10 对应的若干第一二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ），当石墨 OI 值低于 10 对应的若干第一二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ），发现当石墨 OI 值高于 10 且小于等于 30 时，对应的若干第一二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值均低于第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ）。

[第一三次调整组]

在第一调整组的基础上，进一步设置第一三次调整组，第一三次调整组与第一调整组的区别仅在于，充电倍率变为 $3C$ 。

发现石墨 OI 值为 15 对应的若干第一三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ），当石墨 OI 值低于 15 对应的若干第一三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ），发现当石墨 OI 值高于 15 且小于等于 30 时，对应的若干第一三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值均低于第一基础组的上限（ 0.03495mmol/Ah ）。

因此，根据第一基础组、第一调整组、第一二次调整组和第一三次调整组的结果可以总结得到，当需要电芯具备高倍率充电能力时，如倍率为 $2C$ 以上时，石墨 OI 值范围可设计为 10-30，如倍率为 $3C$ 以上时，石墨 OI 值范围可设计为 15-30。

[第二调整组]

在第一基础组的基础上，设置第二调整组，第二调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的石墨化度不同石墨的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值。发现石墨化度为 90%对应的若干第二调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨化度低于 90%对应的若干第二调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；当石墨化度高于 90 且小于等于 95 时（处于成本考虑，本申请并未验证石墨化度高于 95 的情况，但根据发明人的推测，石墨石墨化度越高，快充性能越好，产气越少），对应的若干第二调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第二二次调整组]

在第二调整组的基础上，设置第二二次调整组，第二二次调整组的设计思路为，在第二调整组的基础上，将充电倍率设为 2C，并控制其他特征与第二调整组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值。发现石墨化度为 91%对应的若干第二二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨化度低于 91%对应的若干第二二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第三调整组]

在第一基础组的基础上，设置第三调整组，第三调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的 Dv50 不同石墨的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值。发现石墨 Dv50 为 10 μ m，对应的若干第三调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨 Dv50 低于 10 μ m，对应的若干第三调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；发现石墨 Dv50 为 30 μ m，对应的若干第三调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨 Dv50 高于 30 μ m，对应的若干第三调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；当石墨 Dv50 在 10 μ m 到 30 μ m 之间，对应的若干第三调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第三二次调整组]

在第三调整组的基础上，进一步设置第三二次调整组，与第三调整组的区别，仅在于充电倍率变为 2C。

发现石墨 Dv50 为 20 μ m，对应的若干第三二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨 Dv50 超过 20 μ m，对应的若干第三二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；当石墨 Dv50 在 10 μ m 到 20 μ m 之间，对应的若干第三二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第三三次调整组]

在第三调整组的基础上，进一步设置第三三次调整组，与第三调整组的区别，仅在于所用的石墨为包碳后的石墨二次颗粒。

发现包碳后的石墨二次颗粒 Dv50 为 30 μ m，对应的若干第三三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当包碳后的石墨二次颗粒 Dv50 超过 30 μ m，对应的若干第三三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比

值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；当包碳后的石墨二次颗粒 Dv50 在 10 μ m 到 30 μ m 之间，对应的若干第三三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第三四次调整组]

在第一基础组的基础上，设置第三四次调整组，第三四次调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的 Dv10 不同石墨的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现石墨 Dv10 为 3 μ m，对应的若干第三四次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨 Dv10 低于 3 μ m，对应的若干第三四次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第三五次调整组]

在第一基础组的基础上，设置第三五次调整组，第三五次调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的 Dv90 不同石墨的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现石墨 Dv90 为 40 μ m，对应的若干第三五次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨 Dv90 高于 40 μ m，对应的若干第三五次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第三六次调整组]

在第一基础组的基础上，设置第三六次调整组，第三六次调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的 Dv99 不同石墨的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现石墨 Dv99 为 49 μ m，对应的若干第三六次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当石墨 Dv99 高于 49 μ m，对应的若干第三六次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第四调整组]

在第一基础组的基础上，设置第四调整组，第四调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列的面密度不同的负极片的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现负极片的单面活性物质层的面密度为 0.13mg/mm² 时，对应的若干第四调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），负极片的单面活性物质层的面密度超过 0.13mg/mm² 时，对应的若干第四调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；当负极片的单面活性物质层的面密度在 0.07mg/mm²-0.13mg/mm² 之间时，对应的若干第四调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；另外，当负极片的单面活性物质层的面密度低于 0.07mg/mm² 时，对整个负极片来说，由于负极集流体的存在，导致负极片上活性物质相对少，尤其对于超过 200Ah 的大容量电芯，需要更多的负极片来实现大容量，从而大容量电芯来说，集流体的体积占比就会增高，因此根据发明

人的前期实践，本申请部分实施方式中规定负极片的单面活性物质层的面密度不低于 0.07mg/mm^2 。

[第五调整组]

在第一基础组的基础上，设置第五调整组，第五调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列辊压工序后压实密度不同的负极片组成的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现辊压后负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.74g/cc 时，对应的若干第五调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah)，辊压后负极片的单面活性物质层的压实密度超过 1.74g/cc 时，对应的若干第五调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah)；当辊压后负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.32g/cc - 1.74g/cc 之间时，对应的若干第五调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah)；另外，当辊压后负极片的单面活性物质层的压实密度低于 1.32g/cc 时，设置原理类似面密度，对整个负极片来说，负极集流体的质量占比较高，尤其对于超过 200Ah 的大容量电芯，需要更多的负极片来实现大容量，从而大容量电芯来说，集流体的质量占比就会增高，因此根据发明人的前期实践，本申请规定负极片的单面活性物质层的压实密度不低于 1.32g/cc 。在第五调整组中，取辊压后负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.74g/cc 的若干锂离子电池在循环 50 圈后拆解，发现负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.7g/cc ；取辊压后负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.32g/cc 的若干锂离子电池在循环 50 圈后拆解，发现负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.3g/cc 。

[第六调整组]

在第一基础组的基础上，设置第六调整组，第六调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列辊压工序后面密度不同的正极片组成的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现辊压后正极片的单面活性物质层的面密度在 0.26mg/mm^2 时，对应的若干第六调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah)，辊压后正极片的单面活性物质层的面密度超过 0.26mg/mm^2 时，对应的若干第六调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah)；辊压后正极片的单面活性物质层的面密度在 0.16mg/mm^2 - 0.26mg/mm^2 之间时，对应的若干第六调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah) 另外，当正极片的单面活性物质层的面密度低于 0.16mg/mm^2 时，对整个正极片来说，由于正极集流体的存在，导致正极片上活性物质相对少，尤其对于超过 200Ah 的大容量电芯，需要更多的正极片来实现大容量，从而大容量电芯来说，集流体的体积占比就会增高，因此根据发明人的前期实践，本申请规定正极片的单面活性物质层的面密度不低于 0.16mg/mm^2 。

[第七调整组]

在第一基础组基础上，设置第七调整组，第七调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列辊压工序后压实密度不同的正极片组成的锂离子电池，并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现辊压后正极片的单面活性物质层的压实密度在 2.71g/cc 时，对应的若干第七调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限 (0.03495mmol/Ah)，

当辊压后正极片的单面活性物质层的压实密度超过 2.71g/cc 后,对应的若干第七调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);当辊压后正极片的单面活性物质层的压实密度在 2.3g/cc-2.71g/cc 之间,对应的若干第七调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);另外,当辊压后正极片的单面活性物质层的压实密度低于 2.3g/cc 时,设置原理类似面密度,对整个正极片来说,正极集流体的质量占比较高,尤其对于超过 200Ah 的大容量电芯,需要更多的正极片来实现大容量,从而大容量电芯来说,集流体的质量占比就会增高,因此根据发明人的前期实践,本申请规定正极片的单面活性物质层的压实密度不低于 2.3g/cc。在第七调整组中,取辊压后正极片的单面活性物质层的压实密度在 2.71g/cc 的若干锂离子电池在循环 50 圈后拆解,发现负极片的单面活性物质层的压实密度在 2.7g/cc;取辊压后正极片的单面活性物质层的压实密度在 1.3g/cc 的若干锂离子电池在循环 50 圈后拆解,发现正极片的单面活性物质层的压实密度在 1.3g/cc,当压实密度低时,正极片压密几乎没有变化。

[第八调整组]

在第一基础组基础上,设置第八调整组,第八调整组的设计思路为,在第一基础组的基础上,设计一系列隔膜孔隙率不同的隔膜组成的锂离子电池,并控制其他特征与第一基础组相同。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后,得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值,发现隔膜孔隙率在 50%时,对应的若干第八调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah),发现隔膜孔隙率超过 50%后,对应的若干第八调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);且发现隔膜孔隙率为 30%,对应的若干第八调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah),隔膜孔隙率低于 30%,对应的若干第八调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);发现隔膜孔隙率在 30%-50%之间,对应的若干第八调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah)在第一基础组的基础上进一步设置第八二次调整组,第八二次调整组与第一基础组的区别在于负极片宽度不同(相应的电芯宽度,正极片宽度,负极极耳宽度,正极极耳宽度均不同),设计一系列宽度不同的负极片组成的锂离子电池,这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后,得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值,发现负极片宽度在 250mm 时,对应的若干第八二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah),在超过 250mm 后,对应的若干第八二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);在负极片宽度在 100mm-250mm 之后(对于大容量电芯的常规设计为负极片宽度大于 100mm,因此本申请并未验证小于 100mm 的情况),对应的若干第八二次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);在第一基础组的基础上进一步设置第八三次调整组,第八三次调整组与第一基础组的区别在于负极片宽度为 200mm(相应的电芯宽度,正极片宽度,负极极耳宽度,正极极耳宽度均不同),设计一系列孔隙率不同的隔膜组成的锂离子电池,这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后,得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值,发现隔膜孔隙率在 35%时,对应的若干第八三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah),在隔膜孔隙率低于 35%时后,对应的若干第八三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);在隔膜孔隙率在 35%-50%之间,对应的若干第八三次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限(0.03495mmol/Ah);在第一基础组的基础上进一步设置第八四次调整组,第八四次调整

组与第一基础组的区别在于负极片宽度为 150mm（相应的电芯宽度，正极片宽度，负极极耳宽度，正极极耳宽度均不同），设计一系列孔隙率不同的隔膜组成的锂离子电池，这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），在隔膜孔隙率低于 30% 时，对应的若干第八四次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；在隔膜孔隙率位于 30%-50% 时，对应的若干第八四次调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第九调整组]

在第一基础组的基础上，设置第九调整组，第九调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列 DMC 含量不同的电解液组成的锂离子电池。DMC 含量是指 DMC 的质量除以电解液质量与锂盐质量的差值。DMC 含量变化，会相应带来 EC、DMC、EMC、DEC 等电解液溶剂比例的变化，但根据发明人的经验及实验摸索，需要让 EC 含量在 30%-40%，EMC 与 DMC 的质量总和除以电解液质量与锂盐质量的差值在 50%-60%（在该含量下，由于电解液中还会存在其他的添加剂，因此在一些情况下，EC、EMC、DMC 的质量总和除以电解液质量与锂盐质量的差值会低于 100%）。由于 DMC 含量高会降低电解液的粘度，有利于减少产气和快充，但 DMC 在锂离子电池充放电过程中产气较大，所以对于本申请的锂离子电池，DMC 需要一个范围。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现 DMC 含量在 10%，对应的若干第九调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当 DMC 含量低于 10% 后，对应的若干第九调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；发现 DMC 含量在 15%，对应的若干第九调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），当 DMC 含量高于 15% 后，对应的若干第九调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）；当 DMC 含量在 10%-15%，对应的若干第九调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第十调整组]

在第一基础组的基础上，设置第十调整组，第十调整组的设计思路为，在第一基础组的基础上，设计一系列羧酸酯含量不同的电解液组成的锂离子电池。羧酸酯含量是指羧酸酯的质量除以电解液质量与锂盐质量的差值。羧酸酯有助于锂离子电池充放电过程中在负极成膜，提高离子电导率，有助于快充，减少负极界面处产气，但羧酸酯含量过多，反而会造成产气量的增加，尤其在快充体系下，羧酸酯的含量需要在一定范围。

这一系列锂离子电池在循环 3000 圈后，得到这一系列锂离子电池的产气量与容量的比值，发现当羧酸酯含量低于 10% 时，对应的若干第十调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值均低于第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），发现羧酸酯含量在 10% 时，对应的若干第十调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值接近第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah），发现羧酸酯含量高于 10% 后，对应的若干第十调整组锂离子电池的产气量与容量的比值的平均值超过第一基础组的上限（0.03495mmol/Ah）。

[第十一调整组]

在第一基础组的基础上，设置第十一调整组，第十一调整组只需 10 个锂离子电池，与第一基础组的区别为，充电方法不同，在恒流段，不再固定以恒定电流充电，而是高低电流交错分布充电，具体方法为：1C 倍率充电 2 分钟，之后衔接 0.2C 充电 0.5 分钟，之后再次 1C 充电 2 分钟，从而交替往复直至充电截至电压，并开启恒压充电。

采用本组的高低电流交错分布充电方式，循环 3000 圈后，每一个第十一调整组中的锂离子电池均比对应的第一基础组中的对应锂离子电池产气量减少，其他条件与第一基础组相同。

[第十二调整组]

在第一基础组的基础上，设置第十二调整组，第十二调整组只需 10 个锂离子电池，与第一基础组的区别为，充电方法不同，在恒流段，不再固定以恒定电流充电，而是高低电流交错分布充电，具体方法为：1C 倍率充电 2 分钟，之后衔接 0.2C 充电 0.5 分钟，之后再次 0.8C 充电 2 分钟，之后再衔接 0.2C 充电 0.5 分钟，以此方式，逐渐降低高电流的电流值，直至充电截至电压，并开启恒压充电。

采用本组的高低电流交错分布充电方式，循环 3000 圈后，每一个第十二调整组中的锂离子电池均比对应的第一基础组中的对应锂离子电池产气量减少，其他条件与第一基础组相同。

[第十三调整组]

在第一基础组的基础上，设置第十三调整组，第十三调整组只需 10 个锂离子电池，与第一基础组的区别为，充电方法不同，在恒流段，不再固定以恒定电流充电，而是高低电流交错分布充电，具体方法为：1C 倍率充电 2 分钟，之后停止充电 0.1 分钟，之后再次 1C 充电 2 分钟，从而交替往复直至充电截至电压，并开启恒压充电。

发明人惊喜的发现，采用本组的高低电流交错分布充电方式，循环 3000 圈后，每一个第十三调整组中的锂离子电池均比对应的第一基础组中的对应锂离子电池产气量减少，其他条件与第一基础组相同。

基于第十一调整组、第十二调整组、第十三调整组，发明人进一步总结出一种降低产气的充电方法，包括恒流充电段和恒压充电段，在恒流充电段，包括以下充电过程：先以第一电流充电第一时间，再以第二电流充电第二时间，再次以第三电流充电第三时间，再次以第四电流充电第四时间，第一电流大于第二电流，第一时间大于第二时间，第三电流不大于第一电流，第三时间大于第二时间，第四电流小于第三电流，第四时间小于第三时间；其中第二电流可为 0；并进一步优选第二电流等于第四电流。

[第二基础组至第十二基础组]

在第一基础组的基础上，设置第二基础组，与第一基础组的差异在于：通过降低正负极片的个数，将锂离子电池的容量调整为 100Ah，其他条件均相同，最终得到循环 3000 圈后，锂离子电池的产气量 N 与容量 L 的比值为 0.01479mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.02285mmol/Ah 之间。根据 $Pv=NRT$ ，从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值： $v/L=NRT/PL$ ；取 T 为 40°C ， R 为 8.314 ，气压 P 为 0.35Mpa ， N/L 为 0.01479mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.02285mmol/Ah ，从而得到 $0.11\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.17\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，也即 $0.11L \leq v \leq 0.17L$ ， v 单位为立方厘米（ cm^3 ）。

在第一基础组的基础上，设置第三基础组，与第一基础组的差异在于：通过降低正负极片的个数，将锂离子电池的容量调整为 200Ah，其他条件均相同，最终得到循环 3000 圈后，锂离子电池的产气量与容量的比值为 0.01882mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.02689mmol/Ah 之间；根据 $Pv=NRT$ ，从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值： $v/L=NRT/PL$ ；取 T 为 40°C ， R 为 8.314 ，气压 P 为 0.35Mpa ， N/L 为 0.01882mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.02689mmol/Ah ，从而得到 $0.14\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.2\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，也即 $0.14L \leq v \leq 0.2L$ ， v 单位为立方厘米（ cm^3 ）。

在第一基础组的基础上，设置第四基础组，与第一基础组的差异在于：通过增加正负极片的个数，将锂离子电池的容量调整为 400Ah，其他条件均相同，最终得到循环 3000 圈后，锂离子电池的产气量与容量的比值为 0.03226mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.04571mmol/Ah 之间；根据 $Pv=NRT$ ，从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值： $v/L=NRT/PL$ ；取 T 为 40°C ， R 为 8.314 ，气压 P 为 0.35Mpa ， N/L 为 0.03226mmol/Ah （毫摩每安时）- 0.04571mmol/Ah ，从而得到

$0.24\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.34\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.24\text{L} \leq v \leq 0.34\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第五基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 500Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.03899\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.05377\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.03899\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.05377\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.29\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.4\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.29\text{L} \leq v \leq 0.4\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第六基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 600Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.04436\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.06318\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.04436\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.06318\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.33\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.47\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.33\text{L} \leq v \leq 0.47\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第七基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 700Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.05109\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.07259\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.05109\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.07259\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.38\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.54\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.38\text{L} \leq v \leq 0.54\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第八基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 800Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.05915\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.08738\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.05915\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.08738\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.44\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.65\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.44\text{L} \leq v \leq 0.65\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第九基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 900Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.06856\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.09545\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.06856\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.09545\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.51\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.71\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.51\text{L} \leq v \leq 0.71\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第十基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 1000Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.07932\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.10486\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.07932\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.10486\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.59\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.78\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.59\text{L} \leq v \leq 0.78\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第十一基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负极片的个数, 将锂离子电池的容量调整为 1100Ah, 其他条件均相同, 最终得到循环 3000 圈后, 锂离子电池的产气量与容量的比值为 $0.09141\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.11696\text{mmol}/\text{Ah}$ 之间; 根据 $Pv = NRT$, 从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值: $v/L = NRT/PL$; 取 T 为 40°C , R 为 8.314, 气压 P 为 0.35Mpa, N/L 为 $0.09141\text{mmol}/\text{Ah}$ (毫摩每安时) - $0.11696\text{mmol}/\text{Ah}$, 从而得到 $0.68\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.87\text{cm}^3/\text{Ah}$, 也即 $0.68\text{L} \leq v \leq 0.87\text{L}$, v 单位为立方厘米 (cm^3)。

在第一基础组的基础上, 设置第十二基础组, 与第一基础组的差异在于: 通过增加正负

极片的个数，将锂离子电池的容量调整为 1200Ah，其他条件均相同，最终得到循环 3000 圈后，锂离子电池的产气量与容量的比值为 0.1062mmol/Ah（毫摩每安时）-0.13174mmol/Ah 之间；根据 $Pv=NRT$ ，从而得到储气空间 v 与容量 L 的比值： $v/L=NRT/PL$ ；取 T 为 40℃， R 为 8.314，气压 P 为 0.35Mpa， N/L 为 0.1062mmol/Ah（毫摩每安时）-0.13174mmol/Ah，从而得到 $0.79\text{cm}^3/\text{Ah} \leq v/L \leq 0.98\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，也即 $0.79L \leq v \leq 0.98L$ ， v 单位为立方厘米(cm^3)。

结合上述调整组及基础组，发明人进一步分析认为，锂离子电池的产气量与容量的比值随着容量的增大而增大；为了对不同容量的锂离子电池在理论储气空间上给出设计指引，从尽量安全的角度考虑，发明人对于容量 L 不同的锂离子电池，给出不同的设计标准，对于容量在 200Ah 以下的锂离子电池，不需要关注理论储气空间的问题，因为电芯装配过程中，由于极耳要焊接在极柱上，以及极耳宽度短于极片宽度，必然在极耳周围因电芯装配而存在一定的空间，该必然存在的空间一般就在 35cm^3 左右，而对于第二基础组最大产气量为 17cm^3 ，第三基础组最大产气量在 40cm^3 ，所以 200Ah 以下的锂离子电池，极耳周围的装配空间已经基本够用于产气积累，所以本申请更多关注 200Ah 及以上的锂离子电池，200Ah 及以上的锂离子电池，其理论储气空间才更有意义。

对于 200Ah 及以上的电芯：

为了更安全，同时也为了提高高温异常的容纳能力，需要放大储气空间的标准，具体来说对于容量 $200\text{Ah} \leq L \leq 300\text{Ah}$ 的锂离子电池，实际储气空间要不小于第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的下限 $0.24\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，具体来说，用第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的下限 $0.24\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论储气空间；

为了进一步降低产气带来的问题，进一步优选实际储气空间还要不小于第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.34\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，对应用第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.34\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论储气空间；

为了兼顾锂离子电池能量密度，在用第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的下限 $0.24\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论储气空间的基础上，进一步优选实际储气空间还要不大于第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.34\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，对应用第四基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.34\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论最大储气空间。

同理，对于容量 $300\text{Ah} < L \leq 400\text{Ah}$ 的锂离子电池：

实际储气空间要不小于第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的下限 $0.29\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，具体来说，用第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的下限 $0.29\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论储气空间；

进一步优选还要不小于第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.4\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，对应用第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.4\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论储气空间；

为了兼顾锂离子电池能量密度，在用第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的下限 $0.29\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论储气空间的基础上，进一步优选实际储气空间还要不大于第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.4\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，对应用第五基础组的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的比值的上限 $0.4\text{cm}^3/\text{Ah}$ 用来计算理论最大储气空间。

其他容量区间做类似设计。

具体为：

1) 当锂离子电池的容量 L 满足 $L \geq 200\text{Ah}$ ，优选 $200\text{Ah} \leq L \leq 300\text{Ah}$ 时，对应的理论储气空间 $V_0 = 0.24\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.24\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，如锂离子电池的容量 L 为 200Ah，则理论储气空间为

$0.24\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot 200\text{Ah}=48\text{cm}^3$ 。则对于锂离子电池的容量 $L \geq 200\text{Ah}$ ，优选 $200\text{Ah} \leq L \leq 300\text{Ah}$ 时，实际储气空间 $v \geq 48\text{cm}^3$ 。

为了进一步降低产气带来的问题，进一步优选对应的理论储气空间 $V_0=0.34\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.34\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，如锂离子电池的容量 L 为 200Ah ，则此时理论储气空间为 $0.34\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot 200\text{Ah}=68\text{cm}^3$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度，理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.34\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 。则，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.24\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，同时，实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.34\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，如锂离子电池容量 L 为 200Ah ，则此时理论最大储气空间为 68cm^3 。

2) 当锂离子电池的容量 L 满足 $300\text{Ah} < L \leq 400\text{Ah}$ 时，对应的理论储气空间 $V_0=0.29\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.29\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。考虑到 $L > 300\text{Ah}$ ，则理论储气空间 $V_0 > 0.29\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot 300\text{Ah}=87\text{cm}^3$ 。即，当锂离子电池的容量 L 满足 $300\text{Ah} < L \leq 400\text{Ah}$ 时，实际储气空间 $v > 87\text{cm}^3$ 。

为了进一步降低产气带来的问题，进一步优选对应的理论储气空间 $V_0=0.4\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.4\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度，理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.4\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 。则，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.29\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，同时，实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.4\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

3) 当锂离子电池的容量 L 满足 $400\text{Ah} < L \leq 500\text{Ah}$ 时，对应的理论储气空间 $V_0=0.33\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.33\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ；为了进一步降低产气带来的问题，进一步优选对应的理论储气空间 $V_0=0.47\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.47\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度，理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.47\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，则，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.33\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，同时，实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.47\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

可以理解地，结合上述 2) 和 3)，当锂离子电池的容量 L 满足 $300\text{Ah} < L \leq 500\text{Ah}$ 时，也满足实际储气空间 $v > 87\text{cm}^3$ 。

4) 当锂离子电池的容量 L 满足 $500\text{Ah} < L \leq 600\text{Ah}$ 时，对应的理论储气空间 $V_0=0.38\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.38\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。考虑到 $L > 500\text{Ah}$ ，则理论储气空间 $V_0 > 0.38\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot 500\text{Ah}=190\text{cm}^3$ 。即，当锂离子电池的容量 L 满足 $500\text{Ah} < L \leq 600\text{Ah}$ 时，实际储气空间 $v > 190\text{cm}^3$ 。

为了进一步降低产气带来的问题，进一步优选对应的理论储气空间 $V_0=0.54\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.54\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度，理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.54\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，则，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.38\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，同时，实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.54\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

5) 当锂离子电池的容量 L 满足 $600\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$ 时，对应的理论储气空间 $V_0=0.44\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.44\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ；为了进一步降低产气带来的问题，进一步优选对应的理论储气空间 $V_0=0.65\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.65\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度，理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.65\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，单位为 cm^3 ，则，实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0=0.44\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ ，同时，实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}=0.65\text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

可以理解地，结合上述 4) 和 5)，当锂离子电池的容量 L 满足 $500\text{Ah} < L \leq 700\text{Ah}$ 时，

也满足实际储气空间 $v > 190 \text{cm}^3$ 。

6) 当锂离子电池的容量 L 满足 $700 \text{Ah} < L \leq 800 \text{Ah}$ 时, 对应的理论储气空间 $V_0 = 0.51 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.51 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$; 为了进一步降低产气带来的问题, 进一步优选对应的理论储气空间 $V_0 = 0.71 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.71 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度, 理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.71 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 则, 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.51 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 同时, 实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.71 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

7) 当锂离子电池的容量 L 满足 $800 \text{Ah} < L \leq 900 \text{Ah}$ 时, 对应的理论储气空间 $V_0 = 0.59 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.59 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$; 为了进一步降低产气带来的问题, 进一步优选对应的理论储气空间 $V_0 = 0.78 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.78 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度, 理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.78 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 则, 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.59 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 同时, 实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.78 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

8) 当锂离子电池容量 L 满足 $900 \text{Ah} < L \leq 1000 \text{Ah}$ 时, 对应的理论储气空间 $V_0 = 0.68 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.68 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$; 为了进一步降低产气带来的问题, 进一步优选对应的理论储气空间 $V_0 = 0.87 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.87 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度, 理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.87 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 则, 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.68 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 同时, 实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.87 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

9) 当锂离子电池容量 L 满足 $1000 \text{Ah} < L \leq 1100 \text{Ah}$ 时, 对应的理论储气空间 $V_0 = 0.79 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.79 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$; 为了进一步降低产气带来的问题, 进一步优选对应的理论储气空间 $V_0 = 0.98 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.98 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

为了兼顾锂离子电池能量密度, 理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.98 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 单位为 cm^3 , 则, 实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 $V_0 = 0.79 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$, 同时, 实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}} = 0.98 \text{cm}^3/\text{Ah} \cdot L$ 。

在实际设计锂离子电池时, 就可以根据预设的锂离子电池的容量 L , 计算出理论储气空间 V_0 和理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}$, 则电池壳体中实际预留的实际储气空间 v 应大于等于理论储气空间 V_0 ; 为了兼顾能量密度, 优选实际储气空间 v 应小于等于理论最大储气空间 $V_{0\text{max}}$;

对于实际储气空间, 不包括壳体与电芯之间的其他组件, 如支撑结构等, 这类组件也会占用体积。

以上基础组及调整组均是示例性的, 仅用于解释本申请, 而不能理解为对本申请的限制。

实施例 1, 与第一基础组的区别为锂离子电池的储气空间等于理论储气空间 72cm^3 , 且壳体内部没有气体压力传感器。另外, 该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈, 该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后, 之后的每次充电过程为: 充电至截至电压前, 在 40 摄氏度充电过程中, 增加 3 分钟的 90℃ 循环, 其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同, 并循环至 3000 圈。

实施例 2, 与第三基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 48cm^3 , 且壳体内部没有气体压力传感器。另外, 该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈, 该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后, 之后

的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 3，与第十一基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 869cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 4，与第四基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 116cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 5，与第五基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 165cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 6，与第六基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 228cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 7，与第七基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 308cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 8，与第八基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 408cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 9，与第九基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 531cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

实施例 10，与第十基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 680cm^3 ，且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈。

对比例 1，与第一基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 54cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.18\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第一基础组的下限 $0.19\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳

体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 2，与第三基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 26cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.13\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第三基础组的关系下限 $0.14\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 3，与第十一基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 737cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.67\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第十一基础组的下限 $0.68\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 4，与第四基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 92cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.23\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第四基础组的下限 $0.24\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 5，与第五基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 140cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.28\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第五基础组的下限 $0.29\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 6，与第六基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 192cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.32\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第六基础组的下限 $0.33\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 7，与第七基础组的区别为锂离子电池储气空间等于理论储气空间 259cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.37\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第七基础组的下限 $0.38\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循

环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电);另外,该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈,该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电)。

对比例 8,与第八基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 344cm^3 (对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.43\text{cm}^3/\text{Ah}$,小于第八基础组的下限 $0.44\text{cm}^3/\text{Ah}$),且壳体内部没有气体压力传感器。另外,该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈,该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电)。

对比例 9,与第九基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 450cm^3 (对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.50\text{cm}^3/\text{Ah}$,小于第九基础组的下限 $0.51\text{cm}^3/\text{Ah}$),且壳体内部没有气体压力传感器。另外,该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈,该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电)。

对比例 10,与第十基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 580cm^3 (对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.58\text{cm}^3/\text{Ah}$,小于第十基础组的下限 $0.59\text{cm}^3/\text{Ah}$),且壳体内部没有气体压力传感器。另外,该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈,该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电)。

对比例 11,与第一基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 66cm^3 (对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.22\text{cm}^3/\text{Ah}$,小于第一基础组的上限 $0.26\text{cm}^3/\text{Ah}$),且壳体内部没有气体压力传感器。另外,该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈,该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电)。

对比例 12,与第三基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 36cm^3 (对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.18\text{cm}^3/\text{Ah}$,小于第三基础组的上限 $0.2\text{cm}^3/\text{Ah}$),且壳体内部没有气体压力传感器。另外,该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈,该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后,之后的每次充电过程为:充电至截至电压前,在 40 摄氏度充电过程中,增加 3 分钟的 90℃循环,其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同,并循环至 3000 圈(如果某个锂离子电池防爆阀冲开,则停止充放电)。

对比例 13,与第十一基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 836cm^3 (对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.76\text{cm}^3/\text{Ah}$,小于第十一基础组的上限 $0.87\text{cm}^3/\text{Ah}$),

且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 14，与第四基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 114cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.28\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第四基础组的上限 $0.34\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 15，与第五基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 155cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.31\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第五基础组的上限 $0.4\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 16，与第六基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 216cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.36\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第六基础组的上限 $0.47\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 17，与第七基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 294cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.42\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第七基础组的上限 $0.54\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 18，与第八基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 392cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.49\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第八基础组的上限 $0.65\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 19，与第九基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 513cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.57\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第九基础组的上限 $0.71\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之

后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 20，与第十基础组的区别为锂离子电池储气空间等于 660cm^3 （对应的锂离子电池的储气空间 v 与容量 L 的关系为 $0.66\text{cm}^3/\text{Ah}$ ，小于第十基础组的上限 $0.78\text{cm}^3/\text{Ah}$ ），且壳体内部没有气体压力传感器。另外，该实施例中第一部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环 3000 圈，该实施例第二部分的 50 个锂离子电池在 40 摄氏度下循环到 1500 圈后，之后的每次充电过程为：充电至截至电压前，在 40 摄氏度充电过程中，增加 3 分钟的 90℃ 循环，其他条件与第一部分的 50 个锂离子电池相同，并循环至 3000 圈（如果某个锂离子电池防爆阀冲开，则停止充放电）。

对比例 21，与第一基础组的区别为正极活性物质采用镍含量占镍钴锰三种金属含量的原子比为 0.8 的镍钴锰酸锂，及相应调整充放电截至电压，以及正极膜片厚度和压实密度，其他条件与第一基础组类似。

实施例 1-10 中锂离子电池循环 3000 圈后防爆阀均没有被冲开；

对比例 1-10 中，每个对比例的第一部分锂离子电池均没有被冲开，每个对比例的第二部分锂离子电池有 15-25 个锂离子电池被冲开；

对比例 11-20 中，每个对比例的第一部分锂离子电池均没有被冲开，而每个对比例的第二部分锂离子电池有 1-10 个锂离子电池被冲开；

对比例 21 中，有 70 个锂离子电池被冲开；

对比例 21 和实施例 1 对比说明，材料体系的选择尤其是正极材料的选择对防爆阀是否被冲开影响大，从产气角度考虑，优选含锂磷酸盐材料；

实施例 1-10 和对比例 1-10 及对比例 11-20 对比说明，当实际储气空间不小于理论储气空间后，不仅正常循环的锂离子电池不会被冲开，且具有抵抗高温异常的能力，从而使得锂离子电池更安全；对比例 1-10 及对比例 11-20 说明虽然实际储气空间小于理论储气空间，但越接近理论储气空间，抵抗高温异常的能力越高。

本申请从正极活性物质及负极活性物质，到正极片及负极片，再到隔膜及电解液，从多重因素考虑，尽量减少产气，从而减少不必要的内部空间，从而能够设置更多的活性材料，提高锂离子电池容量。同时在前述减少产气措施的基础上也对储气空间优化，从而能使得本申请锂离子电池在正常使用条件下防爆阀不被冲开，且具有抵抗高温异常的能力，从而能够降低因防爆阀冲开而造成锂离子电池报废的风险。

需要说明的是，本申请不限于上述实施方式。上述实施方式仅为示例，在本申请的技术方案范围内具有与技术思想实质相同的构成、发挥相同作用效果的实施方式均包含在本申请的技术范围内。此外，在不脱离本申请主旨的范围内，对实施方式施加本领域技术人员能够想到的各种变形、将实施方式中的一部分构成要素加以组合而构筑的其它方式也包含在本申请的范围内。

权 利 要 求 书

1、一种锂离子电池，包括壳体、电芯、电解液，所述电芯及所述电解液设置于所述壳体的内部，所述电芯包括正极片、负极片、隔膜，所述隔膜设置于所述正极片和所述负极片之间，所述正极片包括正极集流体和正极活性物质层，所述正极活性物质层与所述正极集流体电连接，所述负极片包括负极集流体和负极活性物质层，所述负极活性物质层与所述负极集流体电连接；

其特征在于，所述负极集流体的至少一面设置有所述负极活性物质层，所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $50\mu\text{m}$ - $95\mu\text{m}$ 之间；所述负极活性物质层包括负极活性物质，所述负极活性物质包括石墨；所述石墨的 $Dv50$ 在 $10\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$ 范围，所述石墨的石墨化度大于等于 90%；

所述正极集流体的至少一面设置有所述正极活性物质层，所述正极片的单面活性物质层的厚度在 $60\mu\text{m}$ - $105\mu\text{m}$ 之间；所述正极活性物质层包括正极活性物质，所述正极活性物质包括含锂磷酸盐及位于所述含锂磷酸盐表面的碳层；

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 700\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的实际储气空间 $v>190\text{cm}^3$ 。

2、根据权利要求 1 所述的锂离子电池，其特征在于，

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 600\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 $V0$ ， $V0=0.38\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；或，

所述锂离子电池的容量 L 在 $600\text{Ah}<L\leq 700\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 $V0$ ， $V0=0.44\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；

所述锂离子电池的实际储气空间 v 大于等于所述锂离子电池的理论储气空间 $V0$ 。

3、根据权利要求 1 所述的锂离子电池，其特征在于，

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 600\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 $V0$ ， $V0=0.54\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；或，

所述锂离子电池的容量 L 在 $600\text{Ah}<L\leq 700\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论储气空间为 $V0$ ， $V0=0.65\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；

所述锂离子电池的实际储气空间 v 大于等于所述锂离子电池的理论储气空间 $V0$ 。

4、根据权利要求 2 所述的锂离子电池，其特征在于，

所述锂离子电池的容量 L 在 $500\text{Ah}<L\leq 600\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论最大储气空间 $V0\text{max}$ ， $V0\text{max}=0.54\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；或，

所述锂离子电池的容量 L 在 $600\text{Ah}<L\leq 700\text{Ah}$ ，所述锂离子电池的理论最大储气空间 $V0\text{max}$ ， $V0\text{max}=0.65\text{cm}^3/\text{Ah}\cdot L$ ；

所述锂离子电池的实际储气空间 v 小于等于所述锂离子电池的理论最大储气空间 $V0\text{max}$ 。

5、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述石墨的至少部分表面包覆碳层，所述石墨的 $Dv90\leq 40\mu\text{m}$ ，所述石墨的 $Dv10\geq 3\mu\text{m}$ ，所述石墨的 $Dv99\leq 49\mu\text{m}$ ；和/或，

所述石墨的 OI 值在 3-30 范围内；和/或，

所述石墨的石墨化度在 90%-95%之间。

6、根据权利要求 5 所述的锂离子电池，其特征在于，所述石墨的 OI 值在 10-30 范围内。

7、根据权利要求 5 所述的锂离子电池，其特征在于，所述石墨的石墨化度在 91%-95%之间；和/或，

所述石墨的 OI 值在 15-30 范围内。

8、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极片

的单面活性物质层的面密度在 0.07mg/mm^2 - 0.13mg/mm^2 之间。

9、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极片的单面活性物质层的压实密度在 1.3g/cc - 1.7g/cc 之间。

10、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极片的单面活性物质层的面密度在 0.16mg/mm^2 - 0.26mg/mm^2 之间。

11、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极片的单面活性物质层的压实密度在 2.3g/cc - 2.7g/cc 之间。

12、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述隔膜包括基膜及涂层，所述涂层粘接在所述基膜的表面并部分位于所述基膜的内部，所述隔膜的孔隙率在 30%-50% 之间。

13、根据权利要求 5 所述的锂离子电池，其特征在于，所述石墨表面的所述碳层的厚度在 $0.5\mu\text{m}$ - $2\mu\text{m}$ 之间。

14、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极活性物质层还包括碳管；和/或，

所述负极活性物质层还包括硅，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-8%。

15、根据权利要求 14 所述的锂离子电池，其特征在于，所述碳管包括寡壁碳管及单壁碳管中的至少一种。

16、根据权利要求 14 所述的锂离子电池，其特征在于，在所述负极活性物质层的厚度方向，所述硅分布于所述负极活性物质层中靠近所述负极集流体的一侧。

17、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述含锂磷酸盐包括磷酸铁锂，所述磷酸铁锂中掺杂有金属元素，所述金属元素选自钛或钒中的至少一种。

18、根据权利要求 17 所述的锂离子电池，其特征在于，掺杂的所述金属元素的质量占所述正极活性物质的质量比例不超过 0.4%。

19、根据权利要求 18 所述的锂离子电池，其特征在于，掺杂的所述金属元素包括钛，所述钛的质量占所述正极活性物质的质量比例为 0.2%-0.4%。

20、根据权利要求 18 所述的锂离子电池，其特征在于，掺杂的所述金属元素包括钛和钒，所述钛的质量占所述正极活性物质的质量比例为 0.1%-0.2%，所述钒的质量占所述正极活性物质的质量比例为 0.01%-0.05%。

21、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极活性物质层包括碳管，所述碳管包括寡壁碳管及单壁碳管中的至少一种。

22、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述电解液包括锂盐和溶剂，所述锂盐的体积摩尔含量为 0.8mol/L - 1.5mol/L ，所述锂盐包括六氟磷酸锂。

23、根据权利要求 22 所述的锂离子电池，其特征在于，所述锂盐还包括双氟磺酰亚胺锂。

24、根据权利要求 23 所述的锂离子电池，其特征在于，所述六氟磷酸锂的体积摩尔含量高于所述双氟磺酰亚胺锂的体积摩尔含量。

25、根据权利要求 24 所述的锂离子电池，其特征在于，所述双氟磺酰亚胺锂的质量占所述电解液的质量百分比在 3%-9% 之间。

26、根据权利要求 23 所述的锂离子电池，其特征在于，所述溶剂包括 EC，DMC，EMC，DEC；所述 EC 的含量在 30%-40% 之间，所述 DMC 及所述 EMC 的质量之和大于所述 EC 的质量；所述 EC 的含量为所述 EC 的质量/(所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值)。

27、根据权利要求 26 所述的锂离子电池，其特征在于，所述 EMC 与所述 DMC 的总含

量在 50%-60%；所述 EMC 与所述 DMC 的总含量为所述 EMC 与所述 DMC 的总质量/（所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值）。

28、根据权利要求 27 所述的锂离子电池，其特征在于，所述 DMC 的含量在 10%-15%；所述 DMC 的含量为所述 DMC 的质量/（所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值）。

29、根据权利要求 23 所述的锂离子电池，其特征在于，所述电解液还包括羧酸酯，其中所述羧酸酯的含量不超过 10%；所述羧酸酯的含量为所述羧酸酯的质量/（所述电解液的质量与所述锂盐的质量的差值）。

30、根据权利要求 23-29 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极片为方形结构，所述负极片的宽度在 100mm-150mm 之间，所述隔膜的孔隙率在 30%-50%。

31、根据权利要求 23-29 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极片为方形结构，所述负极片的宽度在 200mm-250mm 之间，所述隔膜的孔隙率在 35%-50%。

32、根据权利要求 30 所述的锂离子电池，其特征在于，所述电芯的长宽比在 6-8 之间。

33、根据权利要求 31 所述的锂离子电池，其特征在于，所述电芯的长宽比在 2.8-4 之间。

34、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极片还包括负极极耳，所述负极极耳与所述负极集流体电连接，所述正极片还包括正极极耳，所述正极极耳与所述正极集流体电连接；

所述壳体包括正极柱、负极柱、防爆阀，所述正极柱与所述正极极耳电连接，所述负极柱与所述负极极耳电连接，所述防爆阀设置于所述壳体的第一端，所述正极柱及所述负极柱中的至少一个也设置于所述壳体的第一端，所述防爆阀的开启气压为 0.55Mpa-0.65Mpa，所述防爆阀的面积与所述锂离子电池的容量的比值范围为 $0.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ - $1.5\text{mm}^2/\text{Ah}$ 。

35、根据权利要求 34 所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极柱设置于所述壳体的第一端，所述正极极耳设置于所述正极集流体的短边上，所述正极极耳的上端与所述壳体之间形成第一上部排气通道，沿所述第一上部排气通道的气流方向，所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域至少部分重合。

36、根据权利要求 35 所述的锂离子电池，其特征在于，沿所述第一上部排气通道的气流方向，所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域的重合度超过 80%；所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域的重合度为：所述防爆阀的投影区域与所述第一上部排气通道的投影区域的重合区域的面积，与所述第一上部排气通道的投影区域的面积的比值。

37、根据权利要求 35 或 36 所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极极耳在所述正极集流体的短边不对称分布。

38、根据权利要求 37 所述的锂离子电池，其特征在于，沿所述电芯的宽度方向，所述正极极耳的上端到所述正极片的上端的垂直距离为第一距离，所述正极极耳的下端到所述正极片的下端的垂直距离为第二距离，所述第一距离大于所述第二距离。

39、根据权利要求 34 所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极柱设置于所述壳体的第一端，所述负极极耳设置于所述负极集流体的短边上，所述负极极耳的上端与所述壳体之间形成第二上部排气通道，沿所述第二上部排气通道的气流方向，所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域至少部分重合。

40、根据权利要求 39 所述的锂离子电池，其特征在于，沿所述第二上部排气通道的气流方向，所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域的重合度超过 80%；所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域的重合度为：所述防爆阀的投影区域与所述第二上部排气通道的投影区域的重合区域的面积，与所述第二上部排气通道的投影区域的面积的比值。

41、根据权利要求 39 或 40 所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极极耳的宽度与所述负极集流体的短边的宽度比值在 0.5-0.8 范围内。

42、根据权利要求 41 所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极极耳的宽度与所述负极集流体的短边的宽度比值在 0.6-0.8 范围内。

43、根据权利要求 39 或 40 所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极极耳在所述负极集流体的短边不对称分布。

44、根据权利要求 43 所述的锂离子电池，其特征在于，沿所述电芯的宽度方向，所述负极极耳的上端到所述负极片的上端的垂直距离为第三距离，所述负极极耳的下端到所述负极片的下端的垂直距离为第四距离，所述第三距离大于所述第四距离。

45、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述石墨的 Dv50 与 Dv10 的差值 $\leq 10\mu\text{m}$ ，所述石墨的 Dv90 与 Dv50 的差值 $\leq 15\mu\text{m}$ 。

46、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极集流体为铝箔，所述正极片的单面活性物质层的厚度 $\leq 95\mu\text{m}$ ，所述正极集流体的厚度为 D1，D1 的数值范围在 $11\mu\text{m}$ - $13.5\mu\text{m}$ 。

47、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述正极片的单面活性物质层的厚度 $>95\mu\text{m}$ ，所述正极集流体的厚度为 D2，D2 的数值范围在 $13.5\mu\text{m}$ - $16\mu\text{m}$ 。

48、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极活性物质层还包括硅；所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $50\mu\text{m}$ - $70\mu\text{m}$ ，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-10%。

49、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极活性物质层还包括硅；所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $70\mu\text{m}$ - $80\mu\text{m}$ ，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-8%。

50、根据权利要求 1-4 中任一项权利要求所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极活性物质层还包括硅；所述负极片的单面活性物质层的厚度在 $80\mu\text{m}$ - $95\mu\text{m}$ ，所述硅在所述负极活性物质层中的质量含量范围在 1%-5%。

51、根据权利要求 29 所述的锂离子电池，其特征在于，所述羧酸酯的含量在 5%-10%，所述双氟磺酰亚胺锂的质量占所述电解液的质量百分比在 2%-7%之间。

52、根据权利要求 5 所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极活性物质包括所述石墨及所述石墨表面的所述碳层组成的一次颗粒，所述一次颗粒的 Dv50 在 $10\mu\text{m}$ - $20\mu\text{m}$ 。

53、根据权利要求 52 所述的锂离子电池，其特征在于，所述负极活性物质包括二次颗粒，所述二次颗粒包括所述一次颗粒的团聚体，所述二次颗粒的 Dv50 在 $10\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$ 。

54、根据权利要求 53 所述的锂离子电池，其特征在于，所述团聚体的表面包覆碳层。

55、一种充电方法，其特征在于，所述充电方法用于对权利要求 1-54 中任一项权利要求中所述的锂离子电池充电，所述充电方法包括第一充电段和第二充电段，所述第一充电段的电压小于所述第二充电段的电压，所述第一充电段的电压随着充电时间的增长而变大，所述第二充电段的电压不变，所述第一充电段包括以下充电过程：

在第一时间以第一电流对所述锂离子电池充电；

在第二时间以第二电流对所述锂离子电池充电；

在第三时间以第三电流对所述锂离子电池充电；

在第四时间以第四电流对所述锂离子电池充电；

所述第一电流大于所述第二电流，所述第一时间大于所述第二时间，所述第三电流不大于所述第一电流，所述第三时间大于所述第二时间，所述第四电流小于所述第三电流，所述第四时间小于所述第三时间。

56、根据权利要求 55 所述的充电方法，其特征在于，所述第二电流等于所述第四电流。

57、一种锂离子电池系统，其特征在于，所述系统包括管理模块及权利要求 1-54 中任一项权利要求中所述的锂离子电池，所述管理模块中包括对所述锂离子电池的充电程序，所述充电程序实现权利要求 55 或 56 中所述的充电方法。