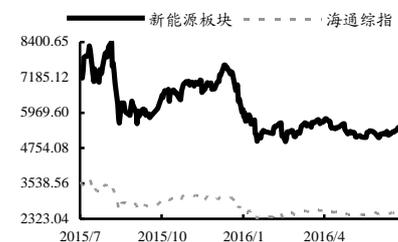


投资评级 **增持** 维持

石墨烯导电剂，最具爆发力的锂电新材料

市场表现



资料来源：海通证券研究所

相关研究

《电动物流一触即发，整车价值重估》
2016.06.22

《政策、招标催化，核电景气提升》
2016.06.20

《2016年中期新能源投资策略--特斯拉引领能源革命》
2016.06.21

分析师:周旭辉

Tel:(021)23219406

Email:zxh9573@htsec.com

证书:S0850514060003

分析师:徐柏乔

Tel:(021)32319171

Email:xbq6583@htsec.com

证书:S0850513090008

分析师:杨帅

Tel:(010)58067929

Email:ys8979@htsec.com

证书:S0850515060001

联系人:曾彪

Tel:(021)23154148

Email:zb10242@htsec.com

投资要点:

- 通过添加导电剂实现快充是解决里程焦虑问题的首要方案。**当前电动车使用体验不如预期，最大的阻碍就在于里程焦虑问题，解决方案有两个：1、增加电池组容量，提高单次充电续航里程，包括增加电池单体的数量或是提升单体的能量密度；2、使用导电剂提升电极导电性及电化学反应速度，从而提升单位时间内锂离子脱嵌及嵌入的量，实现快速充电。电池组容量同动力电池成本成线性关系，对整车经济性影响较大，通过此路径短期提升空间有限，目前情况下通过添加导电剂提升充电速度为首选。
- 石墨烯导电剂为当前最佳导电材料。**电芯在快充时，通过导电剂包覆正负极，可显著提升电极内部的电化学反应速度，提升倍率充放电性能，同时显著改善大电流充放电下电池的衰减性。受益于石墨烯超强的导电性、稳定性以及散热性能，同样导电剂添加量的前提下，石墨烯的电阻率是碳纳米管的十分之一，是导电碳黑的四十分之一，导电效果显著，同时电池衰减度显著优于其他导电剂。未来随着需求提升，石墨烯成本将显著下降，从而可开拓其他应用领域，市场空间巨大。
- 市场规模 10 亿，未来三年复合增速超 100%。**预计 2016 年全国动力锂电消耗量约 30Gwh，按照单位 Kwh 正极材料需求 0.27Kg，合计正极材料需求量 8 万吨，假设 10%的动力电池产线添加了石墨烯导电剂，配比比例为 0.3%，则石墨烯导电剂需求量 24 吨。目前石墨烯价格平均在 30-50 元/g，合计市场规模在 10 亿左右，且随着配套动力电池产线的增加以及石墨烯添加剂的配比的增加，我们预计未来三年市场规模保持在 100%以上的增速，最具爆发力。
- 电池龙头纷纷布局，或形成标配。**当前比亚迪已实现类石墨烯导电剂的大规模配置，比例已由 0.3%提升至 0.5%；国轩高科亦在加大使用量。目前新能源汽车消费以补贴带动需求，后续随着消费者对于整车驾驶体验的诉求提升，随着动力电池产能过剩，电池品质成为企业追求的目标，充电时间及使用寿命问题亟需解决，类石墨烯导电剂为首要选择，大概率将形成动力电池企业标配，需求提升或能进一步提升技术水平及其他应用领域。
- 投资策略与评级。**3C 锂电池经过十几年的发展，动力锂电池经过三年爆发式增长，市场空间达 1000 亿以上；锂电新材料作为添加剂从 0 到 1，爆发力更强。建议关注道式技术、东旭光电、国轩高科。道式技术收购青岛昊鑫，配套比亚迪、国轩高科等，为石墨烯产业化龙头企业。
- 风险提示：**市场推广不及预期，系统性风险。

目 录

1. 快速充电是解决电动车续航问题的重要方式	5
1.1 整车经济性决定短期电池容量提升空间有限.....	5
1.2 快速充电成为解决续航问题的重要方式.....	6
2. 石墨烯导电剂为现阶段实现快充的最佳方案	7
2.1 从充电原理看快充需求	7
2.2 石墨烯导电剂为现阶段实现快充的最佳方案.....	9
3. 十亿空间，爆发力强.....	10
3.1 渐成龙头电池标配，市场空间打开	10
3.2 负极材料大变革，石墨烯亦有大机会	11
4. 投资策略：锂电新材料，爆发力极强	13
4.1 道式技术：定位锂电新材料提供商，类石墨烯产品景气度高.....	13
4.2 东旭光电：石墨烯新贵，产业应用加速落地.....	14
4.3 国轩高科：联合航天万源，开发石墨烯电池.....	15

图目录

图 1	里程焦虑问题解决方案	5
图 2	通过提升能量密度来提升单体容量	6
图 3	快充是解决续航焦虑问题的重要方式.....	7
图 4	锂离子电池原理图.....	8
图 5	快速充电实现路线图	8
图 6	导电剂优劣势对比.....	9
图 7	导电剂功能原理	9
图 8	石墨烯导电剂 VS 碳黑导电剂 0.5C 下的循环次数.....	10
图 9	石墨烯导电剂 VS 碳黑导电剂 1C 下的循环次数.....	10

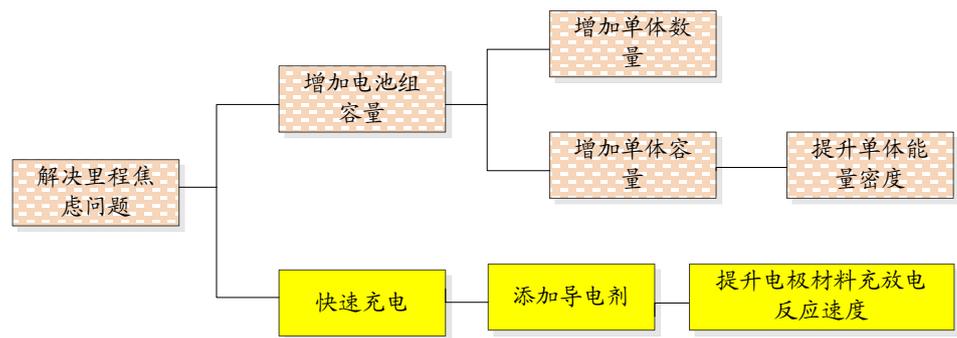
表目录

表 1	国产部分电动车型电池容量与工况续航里程表	5
表 2	不同导电剂下电阻率	9
表 3	电解液导电与阻燃添加剂	10
表 4	石墨烯导电剂市场规模测算	11
表 5	锂离子电池负极主要快充技术对比表	12
表 6	部分公司硅碳负极专利表	12
表 7	钛酸锂负极锂电池主要研发公司对比图	13

1. 快速充电是解决电动车续航问题的重要方式

电动车兼具节能、环保、经济等优势于一体，为各国政府所推崇，但当前电动车使用体验不如预期，最大的阻碍就在于里程焦虑问题。从电池组角度说，要解决该问题有两个途径：1、增加电池组容量，提高单次充电续航里程，包括两种方法，一是增加电池单体的数量，二是在单体数量不变的情况下提升单体的能量密度从而提升单体容量；2、使用导电剂提升电极导电性及电化学反应速度，从而提升单位时间内锂离子脱嵌及嵌入的量，实现快速充电。

图1 里程焦虑问题解决方案



资料来源：海通证券研究所

1.1 整车经济性决定短期电池容量提升空间有限

对部分国产电动车车型的电池组容量大小与工况续航里程做回归分析，可以看出两者相关度约为 92%，也就是说电池组容量的变化基本可以决定单次充电续航里程的变化，通过增加电池组容量来提升续航能力是十分有效的。

表 1 国产部分电动车型电池容量与工况续航里程表

车型	电池组大小 (kWh)	工况续航里程 (NEDC) (公里)	整车质量 (kg)
北汽 EV200	30	200	1295
比亚迪 e5	43	305	1980
比亚迪 e6	82	400	2420
比亚迪秦 EV	47	300	1900
和悦 IEV5	23	200	1260
吉利帝豪 EV	45	253	1570
启辰晨风	24	175	1494
荣威 E50	22	170	1080
EU260	41	260	1583
腾势	47	253	2090
众泰 E200	24	155	1050
众泰云 100	18	155	968
众泰芝麻 E30	16	150	810

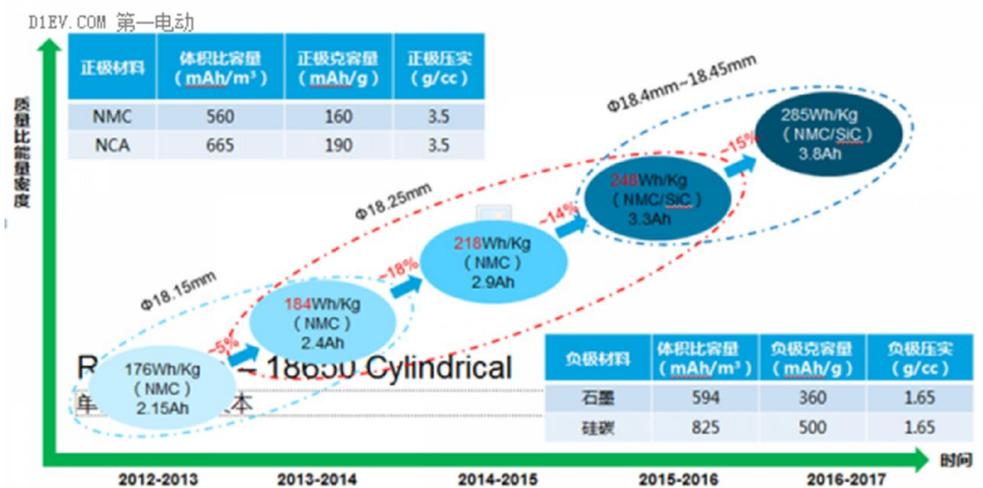
资料来源：各公司网站，汽车之家，海通证券研究所

对电动车而言，影响电池组容量的因素有两个：电池个数与能量密度；前者通过直接增加 Pack 中的动力电池个数来提升电池组容量，后者在不增加电池个数的情况下增加电池能量密度提升单个电池的容量从而提升整个 Pack 的容量大小。

因动力电池的成本同电池个数息息相关，单纯增加电池组个数来提升电池容量，整车经济性将大幅减弱，通过这种方法续航里程提升有限。同时从上表也可以看出，大部分车型的整车质量与电池容量都保持了同方向变动趋势，即现有能量密度下电池容量越大，整车质量也会越大。在通过增加电池数量来增加电池容量的时候，续航能力的提升有一部分会被增加的整车质量消耗掉，因此，对每个车型而言，在决定电池组容量的时候，都有一个续航与车身自重以及经济性的权衡问题，理性推断，当前市面上的车型都应该是权衡了这三点的成果。因此，想要通过增加电池数量来增加电池组容量可行性不高。

电池的能量密度是指单位体积（质量）的电池所储存的能量，在保持电池个数不变的情况下，更高的能量密度意味着更大的电池容量；百公里耗能不变的情况下，更大的电池容量意味着更远的续航里程。考虑到经济性，更高的能量密度还可以缩减电动车电池组所需要的电池个数和材料的数量，进一步降低成本。

图2 通过提升能量密度来提升单体容量



资料来源：第一电动网，海通证券研究所

当前国产电动车所用锂电池能量密度最高有 150-160Wh/kg。科技部部长万钢在 2016 年 4 月下旬举办的 2016 中国汽车论坛上表示，今后五年动力电池的发展目标是能量密度提升一倍，达到 300Wh/kg 以上，而制造成本降低 50%，至 1 元/wh 以下。提高动力电池能量密度的技术途径有三个：工艺进步、现有材料性能的提升与开发新材料、新体系。现有已应用于量产的锂电池工艺大多已经趋于成熟，通过工艺进步提升能量密度的空间不大；受制于材料自身的物理化学性能，现有的磷酸铁锂锂电池等在能量密度上很难有特别大的突破；因此开发高比能新材料、发展动力电池新体系是未来动力电池能量密度大幅提升的主要途径。而中国科学院物理研究所清洁能源中心副主任黄学杰曾表示“一种技术从实验室走向市场大概十年左右”，现在到 2020 年还剩不到五年，但却还没有一个明确的能实现 300Wh/kg 能量密度的锂电池技术发展路径，因而想要通过提升电池能量密度来大幅增加电池组容量在短期内还是很难实现的。

电池能量密度提升技术短期内难以突破，增加电池数量经济性不高，因此通过增加电池容量来解决续航问题还是很难的。

1.2 快速充电成为解决续航问题的重要方式

电动车的动力电池就类似于传统汽车的发动机，充电就类似于传统汽车的加油。传统汽车之所以续航能力强，除了油箱储能比现阶段的动力电池更强之外，随处可见的加油站也是很重要的因素。各省份应国家要求纷纷于近期出台了充电基础设施建设规划，致力于解决电动车车主出门充电难的问题，然而，仅仅是有电可充并不足以弥补电动车与传统汽车之间便捷性的差距。传统汽车开到加油站，算上排队的时间，10 分钟左右

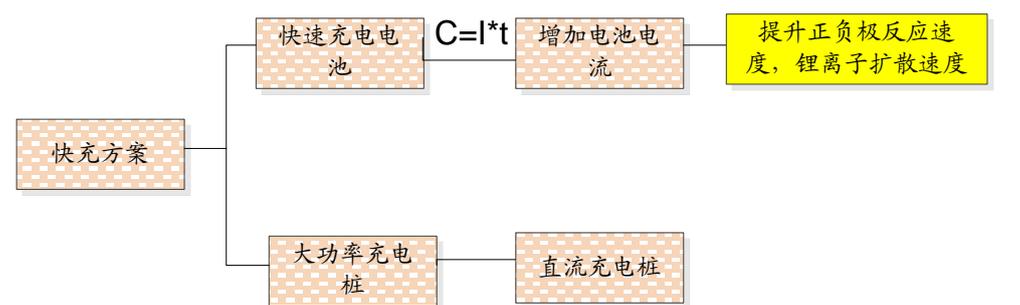
也就可以加满油，而电动车开到充电站，即使是快充桩一般也是 1 小时才能充满，比起加油站的效率还是低了很多。因此，要提升续航能力，仍需要继续发展快速充电技术。

电动车的快速充电主要是通过加大充电功率来实现的，这需要两方面的技术配合：一是充电桩要是大功率充电桩；二是电动车上的电池组要能适应大功率充电。

当前充电桩有不同的功率规格，例如腾势 EV 的充电设施就有 1.5kW、3.3kW、10kW、20kW、50kW 等规格，其中 1.5kW 的是 220V 家庭常规电源插座，3.3kW 的是交流固定充电桩，10kW 和 20kW 的是直流充电，这四个都是适用家庭 220V 电压的；50kW 的是直流超级充电，也就是腾势的快速充电。腾势的电池组容量为 47.5kWh，用 50kW 快充的话不到一小时可以充满电，如果通过技术提升进一步增加充电功率的话，充电时间可以进一步缩短。

电池容量 C 一定时，因 $C=I*t$ ，为了实现快速充电（即令充电时间 t 尽可能小），就要加大电流 I，此时需要增加正负极同电子的反应速度，增加锂离子嵌入和嵌出的速度，同时增加锂离子扩散速度达到适应大电流充放电的需求。而根据焦耳定律 $Q=I^2Rt$ ，增大电流导致的热量是成几何倍数增长的，电池过热可能会导致内部结构发生变化，加速老化甚至引起爆炸。尤其对电动车使用的电池组来说，电池一致性低的话，就容易导致内部电流分配不均，电流加大的情况下，更容易导致其中的部分电池老化甚至报废，极大缩短电池寿命。因此要实现快速充电，还需要电池组本身能够承受快速充电。

图3 快充是解决续航焦虑问题的重要方式



资料来源：海通证券研究所

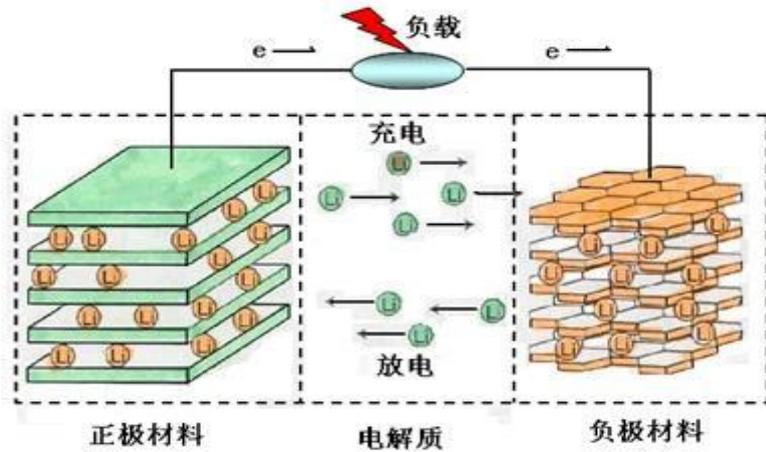
2. 石墨烯导电剂为现阶段实现快充的最佳方案

2.1 从充电原理看快充需求

锂离子电池充放电是通过锂离子在正负极的脱嵌反应来实现的。具体表现为，充电时正极锂离子脱插，负极锂离子嵌入；放电时正极锂离子嵌入，负极锂离子脱插。在这个过程中，嵌入与脱插的锂离子越多，电池容量越大。其充放电速度主要由锂离子在电极中的传输和脱嵌速度来决定。所以如果电极材料中电子和锂离子传导通道越多，其充电速度就越快。

传统锂离子电池无法进行快速充电，主要受限于锂电池正负极导电性能不足，无法同电子进行充分反应，反应层集中在表面影响内部电极的反应，导致锂离子短时间内脱嵌速度不足，无法形成大电流，间接影响锂离子扩散系数，同时受限于高倍率充电下电池寿命的衰减。而且传统电池在工作时会在电极表面形成一层固体电解质膜，阻挡了锂离子的“脚步”，进而减慢了锂离子的运输速度。

图4 锂离子电池原理图



资料来源：OFweek 锂电网，海通证券研究所

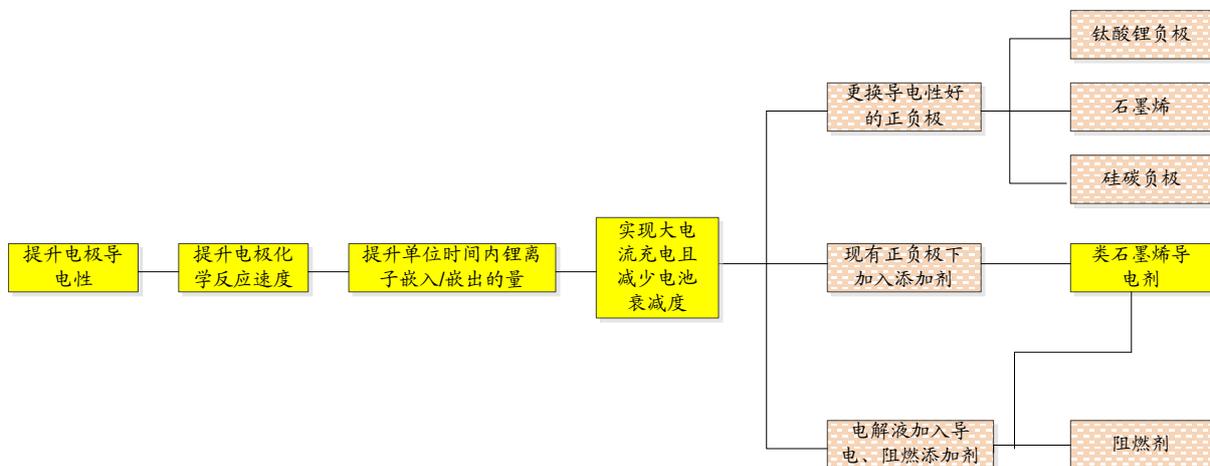
锂电池有个性能叫做倍率性能，用 C 来衡量。假设一块锂电池的容量是 3000mAh，那么 1C 就是用 3000mA 的电流给它充电，一小时充满；2C 就是用 6000mA 的电流充电，半小时充满。续航与电量正相关的情况下，充到支持相同续航里程的电量，倍率性能大的电池充电时间更短。

电芯在快充时，主要的技术难点为锂离子在正极的快速脱离，在电解液的传输以及在负极的嵌入，其中相对重要的是要求正负极具有良好的导电性，可以在短时间进行大规模化学反应，这样电子的扩散速度加快，增加了锂离子的脱嵌和嵌入速度。但是目前无论是三元、锰酸锂还是磷酸铁锂以及负极，电极导电性相对较弱，锂离子扩散系数不高，电化学反应时间无法在短时间进行，无法形成大电流从而不适合快速充电。

在负极材料领域，天然石墨材料锂离子的扩散系数只有 $1.90 \times 10^{-11} \text{cm}^2/\text{s}$ ，比钛酸锂低了三个数量级，且石墨负极对电解质敏感，不适合快速充电。当前理论上适合快充的负极材料主要有钛酸锂、纳米二氧化钛和石墨烯三种，但因成本、技术成熟度等的考虑，短期实现负极大规模替换的概率不大。

因此目前情况下，通过在正负极添加类石墨烯的导电剂，可大大增加正负极的导电性，促使在短时间内实现绝大多数电极材料同电子间的化学反应，增加锂离子脱嵌及嵌入速度，可显著提升电池的倍率充放电、能量密度等性能；同时亦可对电解液和隔膜进行技术改造，让这些部件更支持锂电池整体高倍率快充的实现。

图5 快速充电实现路线图



资料来源：海通证券研究所

2.2 石墨烯导电剂为现阶段实现快充的最佳方案

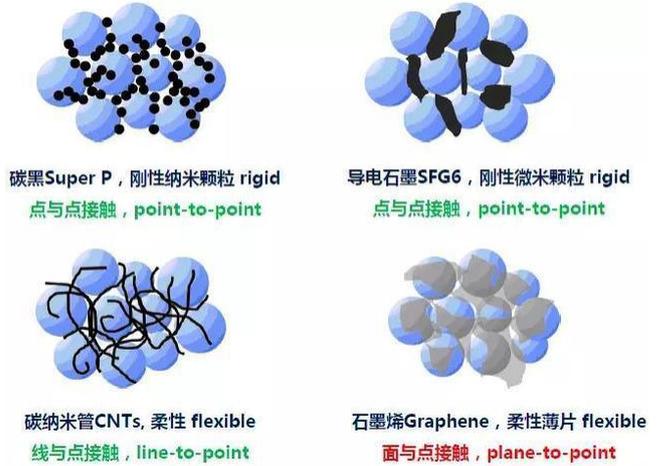
鉴于经济性、安全性以及技术成熟度考虑，以石墨为主流的负极材料短期不会有大的改变，导电剂是目前实现快充的最佳方案，应用前景广阔。目前导电剂包括导电石墨、导电炭黑、碳纳米管以及石墨烯导电材料。

图6 导电剂优劣对比

	传统导电剂 Conventional Conductive Additives		高端导电剂 Advanced Conductive Additives		
	导电炭黑 Super P LI	导电石墨 SFG6	气相生长碳纤维 VGCF	碳纳米管 CNTs	石墨烯 Graphene
颗粒尺寸 Particle Size	40 nm	片径3-6 μm	直径150 nm	直径~10 nm	厚度< 3nm
比表面积 SSA (m ² /g)	60	17	13	~200	30 (BET)
粉体电导率 Conductivity (S/cm)	10	1000	1000	1000	1000
吸油值 DBP (ml/100g)	290	180	/	~200	>2000

资料来源：中科院物理所，海通证券研究所

图7 导电剂功能原理



资料来源：中科院物理所，海通证券研究所

导电炭黑的特点是粒径小，比表面积大，在电池中它可以起到吸液保液的作用，缺点是价格高，难以分散。导电石墨的特点是粒径接近正负极活性物质的粒径，比表面积适中，它在电池中充当导电网络的节点。碳纳米管是近年新兴的导电剂，它一般直径在5纳米左右，长度达到10-20微米，它不仅能够在导电网络中充当“导线”的作用，同时它还具有双电层效应，发挥超级电容器的高倍率特性。

而最新的导电剂石墨烯由于具有优异的电子和离子传导性能及特殊的二维单原子层结构，并可在电极材料颗粒间构成三维电子和离子传输网络，导电结构为面与点的接触，大幅增加电极化学反应速度，效果远好于导电炭黑等点与点接触的导电性能，另外其良好的导热性能还有利于电池充放电时的散热，减少电池的极化，提高电池的高低温度性能，延长电池的寿命。

在同样导电剂添加量的前提下，石墨烯的电阻率是碳纳米管的十分之一，是导电炭黑的40分之一，导电效果显著。

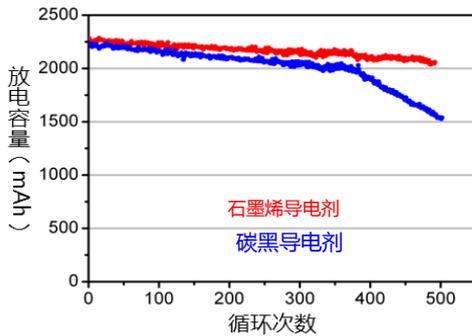
表2 不同导电剂下电阻率

导电剂添加量	磷酸铁锂极片电阻率 (Ω cm)		
	石墨烯	碳纳米管	导电炭黑
1wt%	2.1	20.5	82.4
2wt%	0.8	11.6	51.7
3wt%	0.4	2.1	29.8
4wt%	0.35	1.2	22.4
5wt%	0.17	1.2	10.6
6wt%	0.16	0.9	8.3

资料来源：Morsh, 工信部，海通证券研究所

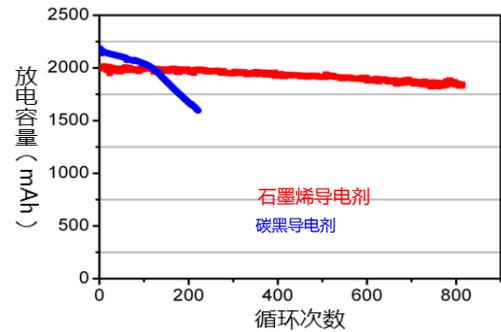
而在同样的充电电流的条件下，添加石墨烯导电剂的动力电池容量衰减程度远胜于其他类型动力电池，受益于其较好的稳定性，电池循环寿命大幅提升。

图8 石墨烯导电剂 VS 碳黑导电剂 0.5C 下的循环次数



资料来源：中科院物理所，海通证券研究所

图9 石墨烯导电剂 VS 碳黑导电剂 1C 下的循环次数



资料来源：中科院物理所，海通证券研究所

石墨烯问世以来具有很多优异的物理化学性质，由于技术难度大，其在实现产业化进展方面一直停滞不前，直到2015年5月石墨烯在锂离子电池导电剂方面得到实际应用，并在今年得到飞速成长。这一突破至关重要，会带动石墨烯产业的升级，对石墨烯实现量产、品质的提升、成本的降低等会有巨大的促进作用，从而拓展石墨烯在其他领域的应用。

除正负极外，导电剂等对于电解液快速充电亦有较大的改善作用。高倍率快速充电对电解液的要求：一是降低内阻；二是避免过热燃烧。降低内阻一般可通过降低粘度、提高电导率实现。锂电池电解液一般由锂盐、溶剂和添加剂构成。其中锂盐一般为六氟磷酸锂（LiPF₆），溶剂一般为碳酸乙烯酯等有机溶剂，因此通常会通过添加剂来使电解液满足功能需求。

表3 电解液导电与阻燃添加剂

添加剂	分类	功能	示例
导电添加剂	与阳离子作用型	提高导电锂盐的溶解和电离以及防止溶剂共插对电极的破坏	石墨烯，胺类和含两个N以上的芳香杂环及冠醚和穴状化合物等
	与阴离子作用型		硼基化合物等
	与电解质离子作用型		富电子基团键合缺电子的N、B形成的化合物等
阻燃添加剂	有机磷化物	降低电池放热值和电池自燃率，增加电解液自身的热稳定性	六甲基磷腈（HMPN）等
	有机氟代化合物		二氟乙酸甲酯（MFA）等
	卤代烷基磷酸酯		三（2,2,2-三氟乙基）磷酸酯（TFP）等

资料来源：CNKI，海通证券研究所

3. 十亿空间，爆发力强

3.1 渐成龙头电池标配，市场空间打开

石墨烯导电剂等已在多家全球知名电池公司取得实际应用，用量在不断提升中。使用该产品的电池，导电性能更好且更稳定，能量密度变大，更节省充电时间，电池循环寿命更长，估计提升50%以上。预期在近两年内产品的销量将会出现井喷式增长。目前比亚迪已实现多数动力电池生产线配套使用，且添加剂量由之前的0.3%提升到0.5%，国轩高科动力电池产线亦在推广使用。

目前新能源汽车消费以补贴带动需求，后续随着消费者对于整车驾驶体验的诉求提升，同时随着动力电池产能过剩，电池品质成为企业追求的目标以及打造核心竞争力的

方向，充电时间及使用寿命问题亟需解决，类石墨烯导电剂为首要选择，大概率将形成动力电池企业标配，需求提升或能进一步提升技术水平及其他应用领域。

预计 2016 年全国动力锂电消耗量约 30Gwh,按照单位 Kwh 正极材料需求 0.27Kg,合计正极材料需求量 8 万吨,假设 10%的动力电池产线添加了石墨烯导电剂,配比如例为 0.3%,则石墨烯导电剂需求量 24 吨。按照中国科学院成都有机化学有限公司官网所披露的石墨烯价格,结合市场其他企业信息,目前石墨烯粉体平均在 30-50 元/g,合计市场规模在 10 亿左右,且未来三年保持在 100%以上的增速。

表 4 石墨烯导电剂市场规模测算

	2016 年 E	2017 年 E	2018 年 E	2019 年 E	2020 年 E
动力电池市场规模: Gwh	30.0	37.8	48.8	58.0	73.1
正极材料需求量: 万吨	8.10	10.21	13.17	15.67	19.74
以石墨烯作为导电剂的正极材料比例: %	10%	20%	30%	40%	50%
单位正极材料石墨烯导电剂的配比: %	0.3%	0.4%	0.5%	0.5%	0.5%
石墨烯导电剂市场规模: 吨	24.3	81.6	197.5	313.3	493.5
石墨烯导电剂价格: 万元/kg	4.0	3.4	2.9	2.5	2.1
石墨导电剂市场规模: 亿元	10	28	57	77	103
YOY: %		185.6%	105.6%	34.9%	33.9%

资料来源: 中科院成都有机化学, 第一电动网, 海通证券研究所

3.2 负极材料大变革, 石墨烯亦有大机会

在负极, 锂离子扩散系数越高, 电化学反应时间就越短, 天然石墨材料中锂离子的扩散系数只有 $1.90 \times 10^{-11} \text{cm}^2/\text{s}$, 比钛酸锂低了三个数量级, 未来为适应大电流快速充放电需求, 负极材料大概率将实现变革。当前理论上适合快充的负极材料主要有石墨烯、钛酸锂、纳米二氧化钛三种。

石墨烯: 充电速度快, 比容量高。

石墨烯是碳的另一种同素异形体, 是一种六角形晶格结构的平面薄膜, 它仅一个碳原子层厚度, 具有柔韧、透明、不透水的特点, 比钻石更坚硬而且比黄金更易导电, 每个碳原子周围有三个电子, 并与最近邻原子的电子, 形成化学键。

- 1) 快充原理。对传统的石墨负极, 锂离子会沉积在负极表面形成枝晶; 对石墨烯而言, 锂离子可以通过它表面 10-20nm 的微小孔洞在石墨烯片间很好地存储, 同时实现了快速充电和更大的能量存储。
- 2) 优势。理论十倍于石墨的充电速度。原材料石墨储量大, 我国石墨储量占世界探明石墨储量的 70% 以上。导电性能非比寻常, 强度高。电子能量不会被损耗。
- 3) 劣势。当前还没有能够高效高质低成本量产的方法。没有大规模应用, 还在试验阶段, 与实际应用之间隔着遥远距离。本身纳米材料特性与当前电池工艺体系不兼容。

表 5 锂离子电池负极主要快充技术对比表

负极主要技术	快充原理	优势	劣势	研究单位	技术方向
钛酸锂	锂离子扩散系数大	高倍率充放电; 高安全性; 高稳定性; 零应变性; 绿色环保; 钛资源丰富; 低温性能出色	易胀气; 一致性存在差异; 钛酸锂价格较高; 比容量低	微宏动力、珠海银隆、东芝	降低成本, 提升比容量
纳米二氧化钛	不会形成电解质膜, 锂离子可以飞速嵌入	支持快充; 寿命长, 更环保; 原料成本低且易于加工; 稳定性好	比容量偏低; 还处于理论研究阶段	新加坡南洋理工大学	实现工业量产, 提高比能量
石墨烯	锂离子通过它表面 10-20nm 的微小孔洞在石墨烯片间很好地存储, 不会沉积于表面形成枝晶	高储能; 高充电速度; 石墨储量大; 导电性能好, 强度高; 电子能量不会被损耗	暂无低成本高质量量产方法; 仍处于试验阶段; 纳米材料特性不兼容当前电池工艺		低成本量产; 实际应用
“快离子环”	石墨负极构造“快离子环”, 使锂离子能够快速嵌入石墨的任何位置	石墨负极能量密度有保证; 磷酸铁锂正极安全性能好; 正负极原材料价格便宜; 循环性和稳定性好	热管理系统导致成本提高; 非常规思路市场接受度难以预测	CATL	
硅碳负极	通过提升能量密度, 增加电池容量, 从而在保证安全的前提下, 增大了可接受的电流, 实现快速充电	硅极大提高电池能量密度; 负极不易析出锂	充电过程中硅膨胀收缩剧烈, 影响循环性能	海洋王、杉杉、国轩、力神、微宏、贝特瑞	控制硅的膨胀、收缩, 提升循环性能

资料来源: 海通证券研究所整理

硅碳: 能量密度高, 配套石墨烯提升导电性能。

1) 快充原理。通过提升能量密度, 增加电池容量, 从而在倍率性能相同的前提下, 实现快速充电。

2) 优势。硅理论比容量 4200mAh/g, 能极大提高电池能量密度。硅电位高, 不易在负极析出锂

3) 劣势。充电过程中, 硅的膨胀和收缩剧烈, 易破裂甚至导致电池报废, 极大影响其循环性能。同时硅碳材料的导电性相比目前使用的石墨烯材料差很多, 那么石墨烯在硅碳负极导电剂方面必将具有潜在的应用前景。

4) 当前应用。特斯拉下一代电池配套 Tesla Model 3, 即采用硅碳负极, 可显著提升电池充放电性能及能量密度, 同时确保电池在大电流充电下衰减度极低。

表 6 部分公司硅碳负极专利表

申请号	公开(公告)号	发明名称	申请(专利权)人
CN201210570214.3	CN103904307A	硅碳复合材料及其制备方法和应用	宁波杉杉新材料科技有限公司
CN201210176587.2	CN103456963A	硅-石墨烯复合材料、锂离子电池的制备方法	海洋王照明科技股份有限公司; 深圳市海洋王照明技术有限公司
CN201510344931.8	CN105185956A	一种海绵状硅石墨烯及碳纳米管复合负极材料的制备方法	合肥国轩高科动力能源有限公司
CN201610154249.7	CN105576185A	一种锂离子电池的硅碳复合负极板片及其制备方法	天津力神电池股份有限公司
CN201410391833.5	CN105470459A	一种硅碳复合负极材料及其制备方法	微宏动力系统(湖州)有限公司
CN201310359739.7	CN103474667A	一种锂离子电池用硅碳复合负极材料及其制备方法	深圳市贝特瑞新能源材料股份有限公司

资料来源: 国家知识产权局, 海通证券研究所整理

目前杉杉股份、海洋王、国轩高科、力神、微宏、贝特瑞等电池相关企业在 12 至 16 年间都有硅碳负极相关的专利申请。特斯拉对 Model 3 所用电池能量密度的提升印证了各家电池企业技术储备的预判性。

钛酸锂: 循环寿命长。

1) 快充原理。钛酸锂 ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) 适宜快充的主要原因为锂离子扩散系数大。与碳负极材料相比, 钛酸锂具有高的锂离子扩散系数 $2 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

2) 优势。**高倍率充放电**：锂离子扩散系数高，可高倍率充放电。**高安全性**：钛酸锂电势高于纯金属锂，不易产生锂枝晶，电解液不致发生分解，提高锂电池安全性能。**高稳定性**：放电电压平稳。**零应变性**：其晶体在嵌入或脱出锂离子时晶格常数和体积变化都很小（小于 1%），因而在充放电循环中，能够避免由于电极材料的来回伸缩导致结构的破坏，从而提高电极的循环性能和使用寿命，减少循环带来的比容量衰减，具有非常好的耐过充、过放特征。**低温性能出色**：低温时也能正常充放电。

3) 劣势。**电池一致性存在差异**，随着充放电次数的增加电池一致性差异会逐渐增大。当前具备钛酸锂量产能力的厂商不多，相比于碳负极材料，**钛酸锂价格昂贵**。**比容量比其他的金属基材料低很多**，理论容量 175mAh/g，而碳负极比容量可达 300mAh/g 以上，硅碳复合材料理论比容量则约为 4200mAh/g。

4) 当前应用。

表 7 钛酸锂负极锂电池主要研发公司对比图

公司	微宏动力	珠海银隆
充电倍率	5C10~12 分钟	6C6 分钟
Pack 能量密度	上限 50Wh/kg	40~50Wh/kg
循环寿命	12000 循环	20000 循环
应用	重庆 2013 年一批公交车	北京公交 480 台纯电动双层巴士
优点	快速充电	快速充电、已验证的低温性能
缺点	负极为能量密度较低的硬碳和 LTO；正极采用高电压三元材料，安全性和高温寿命存在风险	能量密度较低

资料来源：北极星电力网，海通证券研究所

珠海银隆：2010 年战略控股美国奥钛，掌控全球钛锂材料顶级生产技术。目前珠海银隆最新的第四代高能量密度钛酸锂电池，与第三代相比成本下降 40%，能量密度提高 30%，并将继续通过扩产获得规模化效应降低成本。银隆的纯电动公交车在北京、包头、鞍山、齐齐哈尔等北方城市已投入使用，零下 30℃ 仍能即时启动，低温性能表现良好。

微宏：全称为微宏动力系统(湖州)有限公司，是美国微宏公司（Microvast, Inc.）投资的全资子公司。微宏 2011 年开始将快充商业化。凭借四大核心专利技术：改性钛酸锂材料(Lpto™)技术、多孔复合碳材料(LpCO™)技术、高孔隙率高透气性隔膜技术和液冷成组技术先后研制出钛酸锂快充电池和多元复合锂快充电池。

东芝：日本东芝公司生产的 SCIB（Super Charge ion Battery）锂电池，负极材料采用钛酸锂，具有安全性高、寿命长、低温特性出色的优点。它的缺点是单元的平均电压只有 2.5V 左右，比以往的锂离子充电电池低 1V 以上，配备该种电池的 EV 需要大量串联电池单元。该电池已应用于三菱汽车的 i-MiEV 和 MINICAB MiEV 部分车型以及本田的飞度 EV 上。

4. 投资策略：锂电新材料，爆发力极强

3C 锂电池经过十几年的发展，市场空间近千亿；动力锂电池经过三年爆发式增长，市场空间达 500 亿以上；锂电新材料作为添加剂从 0 到 1 配套，爆发力更强，预期将在更短的时间内实现全覆盖。同时石墨烯导电剂的广泛应用可快速拉低石墨烯生产成本，同时使得石墨烯技术工艺得到大幅提升，对石墨烯在负极材料、显示屏、散热剂等应用领域的发展起到加速作用。

4.1 道式技术：定位锂电新材料提供商，类石墨烯产品景气度高

并购青岛昊鑫新能源，加速石墨烯产业化。昊鑫主要产品为针对动力锂离子电池用的石墨烯粉料、石墨烯导电剂、碳纳米管。其中石墨烯导电剂（类石墨烯产品，真正的石墨烯产品只有一层，目前公司产品为5层）应用前景广阔。使用该产品的电池，导电性能更好且更稳定，能量密度变大，更节省充电时间，电池循环寿命更长，估计提升50%以上。

石墨烯技术全国领先。石墨烯核心指标为比表面积，单层石墨烯比表面积极限值是1400倍，目前青岛昊鑫的产品是6-8百倍，而目前市面上其他公司能够实现产业化的只有2百倍，能拿出公斤级以上产品的国内寥寥无几。公司目前粉料产能250-300吨，预计到今年底500吨，明年预计在1千吨，可快速实现放量。

市场高速拓展，前景应用广阔。目前国内电池主流厂商比亚迪还在加大用量，对于该产品的用料比例由0.3%提升至0.5%。同时国轩高科亦在尝试推广。除了动力电池，3C领域对于该产品的需求前景也很广阔。预计年销量额2016年将达到1个亿左右，2017年将达到3个亿左右，产品净利率维持在30%以上，业绩贡献显著。

收购湖南金富力，布局锂电材料领域。公司拟向湖南金富力新能源股份有限公司增资，持股15%，同时公司保留剩余股权收购权。金富力的主要产品为新型动力电池及相关材料、锰酸锂、磷酸铁锂和钛酸锂；未来或可同石墨烯业务形成联动，全面布局动力电池新材料，生产石墨烯负极等。

风险提示：市场开拓不及预期。

4.2 东旭光电：石墨烯新贵，产业应用加速落地

收购碳源汇谷，石墨烯新贵。东旭光电于2016年3月9日发布公告，出资800万收购碳源汇谷，并增资逾6500万。碳源汇谷保证其生产的石墨烯产品已实现99%以上的单层率，纯度达99.9%，单层石墨烯年产量可达3吨；保证目标公司生产的石墨烯/磷酸铁锂18650型电池可满足10C条件下的充放电，即在6分钟内可充满或放空。并承诺在2016、2017、2018年度，税后净利润分别不低于500万元、1000万元及2000万元。

石墨烯电池产业化落地。东旭光电于7月8日石墨烯基锂离子电池产品发布会，标志着石墨烯电池产业落地。该电池显著缩短了充放电时间、延长电池使用寿命，不仅对电子产品，而且对电动汽车等新能源领域都起到重大颠覆性影响。此次发布的“烯王移动电源”容量达4800mAh，充电时长仅需13-15分钟，比普通移动电源缩短了20倍，循环寿命也大幅提高达到3500次。

强强联合，加速科技进步。东旭光电于7月9号发布公告：1、与上海交通大学成立石墨烯技术研发中心，共建石墨烯产学研合作平台和孵化器；2、投资5亿元建设泰州石墨烯基锂电池项目，一期建设年产3吨低成本高品质单层石墨烯生产线一条，年产300吨锂电池正/负极材料生产线各一条；二期建设年产1.5亿Wh的动力电池电芯及pack生产厂；3、与美国凯途能源等公司签署战略合作协议的公告，共建石墨烯产业化平台。

把握国产化契机，不断扩充产能。公司抓住国家重视面板产业的契机，大力建设产线。目前，公司拥有五大生产基地。公司发布的2016年非公开发行预案，将建设3条第8.5代TFT-LCD玻璃基板生产产线，建成后年产能将达到540万片大尺寸基板。公司还与住友化学株式会社、东友精细化学株式会社及拓米国际有限公司共同投资设立控股子公司“旭友电子材料科技（无锡）有限公司”，负责采购、生产和加工（包括委托生产和加工）偏光片及在中国境内销售。利用业内优势地位，积极开拓上下游。

风险提示：市场开拓不及预期。

4.3 国轩高科：联合航天万源，开发石墨烯电池

合建动力电池，共享行业盛宴。国轩高科发布公告，同中国航天万源国际（集团）及唐山市路北区人民政府在唐山市合建动力电池项目签署《战略合作框架协议》，成立合资公司，合资公司主要从事动力电池、石墨烯材料以及储能产品在军事和民用领域的生产与销售；动力电池总体产能规划为 10 亿 Ah，总投资 30 亿元。其中一期产能 3 亿 Ah，预计投资 10 亿元；国轩持有 51% 股份，中国航天万源持有 49% 股份。

国资巨头，业务协同明显。航天万源主要股东为中国航天科技集团，注册资本 100 亿，拥有顶尖科技研发能力及资源，业务包括风电、光伏、石墨烯储能、发动机管理系统、汽车密封系统以及电动汽车动力系统，潜在协同效应明显。

共同研发石墨烯技术，长期看好。航天万源在石墨烯电池技术积累深厚，可日产 1Kg 以上，已实现磷酸铁锂正极材料石墨烯化，能量密度提升至 165Ah/Kg，同时利用石墨烯研发的宽温电解液可适合 -20 到 60 度的温度范围，成功运用至火箭等军工产品，通过合作国轩可加速提升电池技术工艺，超前实现石墨烯产业化。

强强联合，加速开发新能源乘用车客户。航天万源与一汽、二汽、上汽等全国主流车企保持着良好的合作关系，通过合作将提升乘用车动力电池的市占率，先期重点推进与华晨及长安的合作，在纯电动物流车、出租车及专用车的产品开发、电池配套、市场开拓、资本合作等方面强强联合。

战略布局储能业务，打通军工供应渠道。航天万源储能系统广泛应用于风光储能、银行、国家安全系统、军舰航母等电源系统；而国轩在电池、BMS 及动力电池梯次利用经验丰富，通过该合作，国轩将大规模涉足储能领域，同时可实现动力电池在军工车辆和舰艇上的应用。

风险提示。新能源汽车政策、产量不达预期；产品竞争加剧导致利润下滑。