

项目公示信息表

一、项目基本情况

奖 种	国家技术发明奖
项目名称	金属锂原电池的电化学性能调控与先进制造技术
主要完成人	刘金成、袁中直、吕正中、曾文强、邓祥、祝媛
提名单位	中国轻工业联合会
提名单位意见	<p>该项目围绕金属锂原电池的电化学性能调控与先进制造技术，在连续化薄膜电极制造技术、自动化电池生产技术、安全性电池保护技术等方面获得了一系列具有自主知识产权的创新成果，形成了核心专利技术群和国家军用技术标准。</p> <p>该项目所发明的连续化多孔正极极片制造技术、电池设计和制造中的安全保证技术、全套自动化生产装备线，实现了锂亚硫酰氯和锂二氧化锰电池清洁高效的大规模生产，解决了国产锂原电池长期存在的性能一致性不足问题，大幅提升了国产金属锂原电池的电化学性能和安全可靠性；所提出的系列电池安全性技术有效防止了应用过程中的不安全行为，显著提高了锂亚硫酰氯和锂二氧化锰电池的安全性；所提出的电池电容器体系，解决了单一金属锂原电池在功率输出和电压响应方面的不足，有效实现了长期储存稳定性与瞬间大功率输出的完美结合。</p> <p>上述主要技术发明具有明显的技术原创性，所生产的锂原电池产品在综合性能上达到国际领先水平。整体技术成果在惠州亿纬锂能股份有限公司的成功应用使之成为目前国内第一、全球前列的金属锂原电池生产企业，有效提升了我国锂原电池产业的整体技术水平和市场美誉度，同时也为物联网、智能电网、智能交通、国防军工等新兴技术领域的发展提供了技术支持，取得了良好的社会效益。</p> <p>根据《国家科学技术奖励条例》和实施细则的有关要求，该项目符合国家技术发明奖的提名条件。</p> <p>提名该项目为国家技术发明奖<u>二</u>等奖。</p>

二、项目简介

金属锂原电池是以金属锂为负极的一次性高比能电池，是物联网、智能电网、智能仪器仪表、国防军工等领域的基础元器件，具有-55~+85℃宽的使用温度范围、600Wh/kg以上的高比能量、10年以上长寿命等优点的金属锂原电池就成为“卡脖子”关键器件，在2005年之前几乎全部依赖进口。落后的主要原因在于我国同类电池存在高比例的失效率和漏液率、高活性的金属锂电池所带来的安全性不足。针对这些问题，项目组解决了从电化学原理向规模化制造跨越的关键技术和制造装备问题，取得了以72项授权发明专利和2项国家军用标准为代表的原创性成果，主要归纳为电化学性能调控技术、安全性解决方案、锂离子电池电容功率匹配技术、智能制造工艺和设备等4个发明点。

导致电池放电失效的原因是电池制造装配中挤压多孔正极造成的孔率不均匀，本发明的针式集流体技术解决了电池装配结构造成的孔率变化、以多孔碳颗粒为基础的多孔正极连续制造技术根本性解决了海绵状多孔正极制造过程中的不均匀性，从而实现了电化学放电均匀性的调控，显著提高了放电均匀一致性和电池使用寿命。

高活性物质构成的高比能锂原电池，在制造和使用上均存在安全性问题。本项目通过解决高活性金属锂负极的安全制备关键技术并实现连续制造、解决亚硫酰氯电解液强挥发强腐蚀性下的全密闭连续化制备、通过电池密封组装和激光焊接技术，进一步地解决了精密控制技术，实现了安全的智能化流水线制造，使电池漏液率降为0；通过内部保险丝与外部电路管理相结合、多级缓冲泄压装置等方法保证了电池安全可靠。同时为了解决锂原电池功率特性不足的问题，发明了一种兼具电池和电容性能的混合锂离子电池电容器SPC，与锂原电池匹配实现了高能量与大功率的完美结合，有效地支持了锂原电池的容量和功率输出。

上述创新性成果在惠州亿纬锂能股份公司得到推广应用，销售超过10亿只，使其锂原电池产品市场占有率达到国内第一、世界前列，显著提升了我国锂原电池产业的技术进步和国际竞争力，在我国智能电网、物联网、共享经济的迅猛发展中起到了重要支撑作用，为国家节约大量外汇。这一系列创新技术虽然是在锂/亚硫酰氯和锂/二氧化锰等两种典型的金属锂原电池体系中取得的，但这些发明具有明显的通用性，不但可广泛适用于金属锂原电池，而且对于金属锂蓄电池的制造以及动力锂离子电池安全设计也具有重要的参考借鉴作用。

三、客观评价

2005年6月22日，广东省科技厅对于本项目承担的科技部中小企业创新基金项目“方型大容量锂/亚硫酰氯电池”进行了验收。以中科院院士、著名电化学家查全性教授为组长的专家组认为：“项目产品380mAh和780mAh方形大容量锂亚硫酰氯电池，在电池设计、制造工艺和安全性措施等方面均明显创新，电池主要技术指标达到国际先进水平，该产品填补了国内空白，国内外市场广阔、应用前景良好。”

项目成果获得3个省部级科学技术一等奖和3个国家专利优秀奖，这些获奖技术均为本项目核心组成部分，一起构成了本发明的完整技术解决方案。

本项目制造的金属锂原电池产品，经过工信部（原“信息产业部”）电子第五研究所（中国赛宝实验室）提取4批次各500只ER14250型锂原电池所进行的可靠性预计（基数大于10000只），电池失效率达到GB1772规定的“六级”失效率水平，储存寿命达到17.37年，工作寿命预计为MTTF=15.05年；随着项目成果的实施和不断完善，制造的电池工作寿命甚至提升到22年。

2009年，本项目发明专利“一种安全的一次锂电池”获中国专利优秀奖，推荐人中国工程院杨裕生院士、陈立泉院士的评价为“该专利通过电池内部设计和外部保护电路的双重保护，解决了长期影响锂亚硫酰氯电池的安全性问题，已经形成产品，并产生了较大的经济效益。该专利对于其他锂电池，特别是对目前热门的动力电池的开发也具有重要的借鉴意义。”

2012年，本项目产品“大容量大功率锂亚硫酰氯电池（ER48690M）”通过了广东省科技厅组织的科技成果鉴定会。以军用电池专家曹高萍研究员为组长的鉴定专家组认为本项目“创新工作如下：电池设计采用了端面焊接、多点集流的卷绕式结构，更好地满足了大电流输出时导热和分散负载的要求，有效地减小电池发热；自主设计的V型结构的具有多重变形功能的安全泄压阀，防止电池在滥用情况下发生爆炸；通过自主开发覆膜机和卷绕设备，实现了金属锂负极上的复合集流，保证了电池放电末期的安全性；实现了自动化和规模化制造及组装过程全数字化质量控制和记录，保证了产品的安全可靠性及一致性。”

2016年，本项目产品“一种圆柱电池电容器”获中国专利优秀奖，推荐人中科院院士孙世刚教授、中国工程院院士陈立泉教授认为“本专利通过对现有电池

电容器的密封结构进行改造，突破性解决了长期影响电池电容器使用的环境、寿命、安全性共性关键性技术问题，已经大批量生产和销售，取代了进口高性能电池电容器，应用于智能交通（ETC不停车收费系统）、智能表计（水表、电表、气表）、GPS智能追踪（货车、轮船、火车等物流行业GPS定位系统），E-call、射频识别系统、紧急设备、电动汽车等，产生了显著的经济效益和社会效益。”

四. 应用情况

本项目在成果完成单位惠州亿纬锂能股份有限公司得到应用，所制造的金属锂原电池产品（锂/亚硫酸氯电池，锂/二氧化锰电池，以及配套的 SPC 电池电容器）均与本项目有关，这些产品在国内和国际上的智能电网、智能仪器仪表、智能交通、汽车电子、智能安防、共享经济和国防装备等领域得到广泛应用和推广，产生了良好的经济效益和社会效益。

自 2000 年机械式电表开始向 IC 卡表和智能电表转化，并且从 2009 年我国开始建设坚强的智能电网，本项目金属锂原电池开始逐渐取代进口电池进入上海、江苏、广东等市场，最终在国家电网和南方电网中的表计终端上得到广泛应用，锂原电池累计在智能表计销售超过 38 亿元，为国家节约外汇超过 100 亿元。国际上排名前列的智能表计企业以及国内前 10 名智能表计制造企业均采购本项目锂原电池；

在以 ETC（不停车收费系统）为代表的智能交通领域，从无到有逐步取代了进口电池，作为唯一的国产锂原电池安全可靠地应用了近 10 年；2018 年又以新的锂原电池型号应用于交通“自由流”CPC 卡等智能系统；

在智能安防领域，也得到了广泛应用。包括智能烟感报警器、汽车电子安防（如 eCall 智能呼救系统）等市场，得到国际市场广泛认可和应用；

在物联网领域的应用，代表了现在和未来巨大的市场空间。目前已经在数据链、共享单车、货柜、集装箱、贵重资产的定位和追踪系统上得到应用推广，并且已经开始在 NB-IoT、LoRa、5G 终端的规模化商用试验。这些领域的需求正好符合金属锂原电池所具有的宽温、长寿命、高可靠性、免维护等特性，这都将成为锂原电池的应用市场，在 5G 等新兴通讯模式应用需求的推动下，金属锂原电池市场规模将进一步增加。

2014-2018 年来已有 6.43 亿只锂亚电池，4.28 亿只锂锰电池、近 1 亿只电池电容器进入应用推广，国内智能仪器仪表、ETC 等细分市场的占有率处于国内第一、世界前列，被各细分市场排名前列的应用单位广泛采用。各细分市场的典型应用单位和应用情况如下表所示。

锂原电池主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间
1	北京聚利科技股份有限公司	ETC OBU 模块	智能交通	2011.12~今

2	北京握奇智能科技有限公司	ETC OBU 模块	智能交通	2012.10~今
3	北京万集科技股份有限公司	ETC OBU 模块	智能交通	2012.5~今
4	江苏林洋能源股份有限公司	智能电表电池	智能仪器仪表	2003~今
5	威胜集团有限公司	智能电表电池	智能仪器仪表	2006.6~今
6	宁波三星电气股份有限公司	智能电表电池	智能仪器仪表	2006.7~今
7	杭州华立仪表股份有限公司	智能电表电池	智能仪器仪表	2006.9~今
8	杭州海兴电力科技股份有限公司	智能电表电池	智能仪器仪表	2006.6~今
9	OFO	共享单车车锁电池	共享单车	2016.5~今
10	SAGEMCOM ITALIA S.P.A	智能气表通讯电源	智能表计	2016.8~今
11	SECURE METERS LIMITED	智能气表通讯电源	智能表计	2016.10~今
12	Honeywell	智能水表通讯电源	智能表计	2015.1~今
13	ACTIA Automotive	汽车电子通讯电源	E-Call 紧急救援系统	2017.5~今
14	VALEO Comfort & Driving Assistance	汽车电子通讯电源	E-Call 紧急救援系统	2017.3~今
15	BRK Brands, Inc.	智能烟感报警电源	智能安防	2011.5~今

此外，在水下滑翔机、水下自航装备及大型水面飞行平台等领域也得到了重点应用，天津大学承担的国家重点研发项目水下滑翔机。采用本项目的金属锂原电池作为动力电池，将水下巡航时间由原来的几天提升到 141 天，航程提升到 3600 多公里。本项目金属锂原电池作为能源共性技术，在自航装备、搜救定位、长时间监测跟踪等领域，均具有广泛的应用前景。

五、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准实施）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	锂电池	中国	ZL200410015041.4	2006.03.15	254119	惠州亿纬锂能股份有限公司	刘金成、段成、李憬、梁荣斌、庄俊峰	有效
发明专利	一种安全性的一次锂电池	中国	ZL200510032624.2	2005.01.10	452612	惠州亿纬锂能股份有限公司	刘金成、沈立新	有效
发明专利	一种圆柱电池电容器	中国	ZL201210591404.3	2015.11.18	1838491	惠州亿纬锂能股份有限公司	吕正中、邹友生、卜芳、袁中直	有效
发明专利	电池全自动组装设备	中国	ZL201510969989.1	2017.11.17	2700343	惠州亿纬锂能股份有限公司	伍建武、邓祥、彭爱成、刘建华、刘金成	有效
发明专利	电池注液封装生产线	中国	ZL201410467012.5	2017.01.11	2341222	惠州亿纬锂能股份有限公司	曾文强、庞日军、黎坚、袁中直、刘金成	有效
发明专利	自动化电极片集流导电电极及其焊接设备	中国	ZL201410554932.0	2017.01.18	2354835	惠州亿纬锂能股份有限公司	邓祥、伍建武、彭爱成、刘建华、刘金成	有效
发明专利	一种内置保护装置式锂电池	中国	ZL201310492839.7	2016.01.27	1936494	惠州亿纬锂能股份有限公司	曹浪、袁中直、刘金成	有效
发明专利	一种锂离子电池电容器用密封件	中国	ZL201210591422.1	2016.06.10	1693211	惠州亿纬锂能股份有限公司	吕正中、王先文、邹永生、卜芳、袁中直、刘金成	有效
标准规范	锂电池安全要求	中国	GJB2374A-2013	2013.07.10	中国人民解放军总装备部	惠州亿纬锂能股份有限公司、中国人民解放军空军驻广州地区军事代表室、中国人民解放军总参谋部第六十一研究所	何志奇、刘志辉、刘金成、韩崢、袁中直、刘建华、林文侯、李金峰	有效

标准规范	锂-亚硫酸 氯方形电池 通用规范	中国	GJB 8173-2015	2015. 06. 19	中国人民 解放军总 装备部	惠州亿纬 锂能股份 有限公 司、中国 人民解放 军空军驻 广州地区 军事代表 室	祝媛、刘 志辉、袁 中直、韩 峥、刘金 成、刘建 华、李亚 德、林文 侯、周林	有效
------	------------------------	----	------------------	-----------------	---------------------	--	--	----

六、主要完成人情况表

姓 名	刘金成	排 名	1	技术职称	正高级高工
工作单位	惠州亿纬锂能股份有限公司			行政职务	董事长兼总裁
完成单位	惠州亿纬锂能股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>作为团队领军人物和主要的技术负责人，是本项目的主要技术发明人，在金属锂原电池电化学调控技术、电池的安全设计、连续化正极制造技术、自动化生产技术与装备等方面，提出了具体的技术创新思路；在本项目的技术研究中工作量占本人工作总量的 80%（本项目核心专利中第一项发明专利“锂电池”、第二项发明专利“一种安全性的一次锂电池”的第一发明人，以及第四至第八项发明专利的主要发明人之一，本项目两项标准规范的主要起草人）。作为项目的负责人，成功地组织了该项目的实施和推广应用，组织了场景应用研究和市场应用可靠性研究工作，在颗粒化多孔正极制备方法、针式集流体电池结构设计、电池装配方式、安全保护方法等诸方面提出了可行的技术方案，并领导项目团队成功地完成本项目的产业化实施。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	袁中直	排 名	2	技术职称	教授
工作单位	惠州亿纬锂能股份有限公司			行政职务	科技特派员
完成单位	惠州亿纬锂能股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>先后对强挥发、强腐蚀性亚硫酸氯电解液的全密闭提纯和制备方法、电池安全设计、薄膜电极制作关键技术和工艺、SPC 锂离子电池电容器密封设计和技术攻关等方面做出了创造性贡献。在该项技术研究中工作量占本人工作总量的 90%（本项目主要技术发明中的第三、第五、第七、第八项发明专利的主要发明人之一，本项目两项标准规范的重要起草人）。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	吕正中	排 名	3	技术职称	正高级高工
工作单位	惠州亿纬锂能股份有限公司			行政职务	总经理
完成单位	惠州亿纬锂能股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>在本项目中提出了与金属锂原电池电压匹配的锂离子电池电容器的设计思想，并在相关材料、生产技术的关键技术研究中做出了创造性贡献。在该项技术研究中工作量占本人工作总量的 90%(本项目主要技术发明中的第三项发明专利“一种圆柱电池电容器”、第八项发明专利“一种锂离子电池电容器用密封件”的第一发明人)。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	曾文强	排 名	4	技术职称	工程师
工作单位	惠州亿纬锂能股份有限公司			行政职务	经理
完成单位	惠州亿纬锂能股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>作为本项目主要技术发明中的第三项发明专利“锂电池自动注液封装技术”第一发明人，在金属锂原电池注液和封装密封效果作用原理上提出了具体的技术创新思路，在自动注液结构设计、运行方式、稳定可靠性保障等诸多关键技术提出了可行的解决方案，保证了高挥发、强腐蚀性电解液的制备和使用安全。在该项技术研究中工作量占本人工作总量的 80%。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	邓祥	排 名	5	技术职称	—
工作单位	惠州亿纬锂能股份有限公司			行政职务	经理
完成单位	惠州亿纬锂能股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>主要负责金属锂原电池智能化生产设备的研发，克服原有技术中的不足之处，提供标准化、机械化、自动化的生产设备，提高产品的生产效率和可靠性；涵盖金属锂原电池智能化生产线的极片制作、盖帽制作、电芯组装、表面清洗及焊接包装各个工序，为整个智能化生产线的设计和实现做出了重要贡献。此项目的生产设备技术研究工作占个人工作总量的90%以上；本项目主要技术发明中的第六项“自动化电极片集流导电电极及其焊接设备”的第一发明人，第四项“电池全自动组装设备”主要发明人之一。</p>					

六、主要完成人情况表

姓 名	祝媛	排 名	6	技术职称	工程师
工作单位	惠州亿纬锂能股份有限公司			行政职务	副院长
完成单位	惠州亿纬锂能股份有限公司				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>科技型中小企业技术创新基金项目“方型高容量锂-亚硫酰氯电池”主要执行人，在电池连续化极片制造工艺、电池安全性技术的研制方面以及电池应用可靠性研究、规模化制造推广等方面做出了创造性贡献，是国家军用标准《锂-亚硫酰氯方形电池通用规范》（GJB 8173-2015）的第一作者。</p>					

七、完成人合作关系说明

项目完成人刘金成、袁中直、吕正中、曾文强、邓祥、祝媛自 2003 年以来，作为一个研究团队一直从事金属锂电池的先进材料和制造技术的研究，共同承担了多项国家和省部级技术攻关和科技创新项目。

本人作为项目负责人，提出所有项目的研究方案、技术路线，并统筹解决项目执行过程中的问题；袁中直负责部分产品的技术方案，协助项目第一完成人解决实施和应用过程中的主要问题；吕正中具体负责项目发明中材料选型、结构表征，及产品的性能测试；曾文强负责在自动注液结构设计、运行方式、稳定可靠性保障等诸方面额可行技术方案；邓祥负责标准化、机械化、自动化的生产设备研制，提高产品的生产效率和可靠性；祝媛负责电池连续化极片制造工艺、电池安全性技术的研制。10 多年来的技术合作使项目完成人形成了分工明确、专业互补、配合默契的研究团队，有力地支持了本发明创新项目的实施。