

学校编码: 10384  
学 号: 32420141152246

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

富锂层状正极材料

$\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$  的燃烧法合成及其电化学性能研究

Study on the Combustion Synthesis and Electrochemical Performances Of Li-rich Layered Cathode Material

$\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$

何定增

指导教师姓名: 郭奇勋副教授  
专业名称: 材料工程  
论文提交日期: 2017 年月  
论文答辩时间: 2017 年月  
学位授予日期: 2017 年月

答辩委员会主席:  
评阅人:

2017 年月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘要

伴随社会经济的快速发展，能源的消耗越来越大，同时环境污染以及大气变暖的问题也日渐严重，从而导致传统化石燃料无法有效满足世界经济的快速发展。在此背景下，锂离子电池的应用与发展开始受到普遍关注。锂离子电池本身具备多方面的优势特征，包括能量密度高、循环寿命长、充放电容量大以及安全性较好等。锂离子电池正极材直接影响着锂电池性能优劣，所以在发展新型高能锂离子电池的过程当中，重点在于制备更高性能正极材料。与其他正极材料相比而言，富锂锰基层状正极材料具有较高的放电容量，最高可达  $250 \text{ mAh g}^{-1}$ ，由此被普遍视作新一代锂离子电池备选正极材料。对于富锂层状正极材料来说，合成方法不同，则最终材料所具备的电化学性能也会存在差异。而对于同一种合成方法，不同的工艺参数也能够显著影响最终材料性能。因此，这就需要尝试应用多种方法，不同的工艺参数对富锂层状正极材料进行合成，选出最优的工艺参数。据此，本文以锰基富锂层状正极材料  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$  作为具体研究对象，对富锂层状正极材料制备的相关问题进行了深入研究，以期通过调节试验参数，有效提升富锂层状正极材料所具备的电化学性能。

通过溶胶凝胶燃烧法合成出了富锂层状氧化物  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ ，其中以尿素为螯合剂和燃料。考虑了不同的烧结温度和不同的溶剂对材料电化学性能的影响。不同温度、不同溶剂合成的样品通过 X-射线衍射、场发射电子显微镜来表征其物理性质。烧结温度、溶剂对材料的电化学性能的影响则通过对恒电流充放电曲线、循环性能、倍率性能、电化学阻抗和循环伏安曲线分析来判定。800°C，水溶剂中合成的  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$  在电流密度为  $20 \text{ mA g}^{-1}$  的首次放电容量为  $255.8 \text{ mAh g}^{-1}$ ，循环 50 圈后，容量保持率为 76.8%，同时相对于 750°C、850°C 及 800°C 乙醇溶剂中合成的样品具有更好的倍率性能。实验结果表明，使用水作溶剂，在 800°C 下合成的  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$  具有较好的电化学性能。

采用溶液燃烧法制备富锂层状正极材料  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ ，考察了保温时间对材料结构、形貌和电化学性能的影响，并在此基础上对比利用溶胶凝胶燃烧法来制备富锂层状正极材料  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ ，考察不同实验方

法对制备目标产物电化学性能的影响。实验结果表明：溶液燃烧法制备富锂层状正极材料  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$  的过程中，保温时间对所合成的材料的结构、形貌及电化学性能有较大的影响。选择  $850^\circ\text{C}$  保温 10h 得到的样品 SC-10 具有较好的性能。在  $20\text{ mA g}^{-1}$  电流密度下样品 SC-10 的首次充放电比容量为  $335.1\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $266.7\text{ mAh g}^{-1}$ ，库伦效率为 80%。而同样条件下溶胶凝胶法制备的样品 SCG-10 首次充放电比容量为  $302.8\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $229.3\text{ mAh g}^{-1}$ ，库伦效率为 75.7%，均低于溶液燃烧法获得样品。在倍率性能测试中，随着倍率不断提高，样品 SC-10 倍率性能优势明显。在  $1000\text{ mA g}^{-1}$  条件下测试，其可逆比容量依旧保持在  $70\text{ mAh g}^{-1}$ 。而且电化学交流阻抗谱显示溶液燃烧法制备的样品的电化学反应阻抗较小。

采用了溶液燃烧法合成富锂锰基正极材料  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ ，所选助燃剂分别为蔗糖和尿素，合成的材料分别命名为 ZC 和 NC。通过观察样品 ZC 和样品 NC 的扫描电子显微镜照片能够看出，两者的形貌相差甚远，样品 ZC 团聚较严重、颗粒大，而样品 NC 则分散较为均匀、颗粒较小并且尺寸分布均匀。通过观察两个样品的 XRD 衍射花样，我们可以看到样品 ZC 的 XRD 衍射花样中具有两个杂相，说明助燃剂会影响所合成的材料纯度，进一步影响材料的放电比容量。样品 NC 在 0.1C、0.2C、0.5C、1C、2C 和 5C 的倍率性下的放电比容量分别是  $255.2\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $201.7\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $172.9\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $145.6\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $123.9\text{ mAh g}^{-1}$  和  $77\text{ mAh g}^{-1}$ ，相应的样品 ZC 的放电比容量分别是： $136.5\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $111.0\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $86.7\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $68.1\text{ mAh g}^{-1}$ 、 $49.4\text{ mAh g}^{-1}$  和  $20.7\text{ mAh g}^{-1}$ 。由此可见，样品 ZC 的电化学性能远不如样品 NC，说明尿素更有利于合成富锂锰基正极材料  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ 。

**关键词：**正极材料 溶液燃烧法  $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$

## Abstract

With the rapid development of economy, fossil energy depletion, environmental pollution and global warming are getting worse, which leads to the fact that the traditional fossil fuels can not effectively meet the real needs of the world economic development. Base on this background, the application and development of lithium-ion batteries began to draw widespread attention. There are many advantages in the lithium-ion battery, such as high energy density, long cycle life, high charge and discharge capacity, good safety and so on. Since the cathode materials have a great influence on the performance of lithium-ion battery. Synthesis of high-performance cathode materials is the key to develop new high-performance lithium-ion battery. Compared with other cathode materials, lithium-rich manganese-based cathode materials is generally regarded as one of the candidates for the next generation of lithium-ion battery cathode materials, with higher discharge specific capacity, up to 250mAh g<sup>-1</sup>. For the lithium-rich layered cathode materials, different synthetic methods will result in different electrochemical performance. For the same synthetic method, the process parameters can significantly affect the final material properties. Therefore, it is necessary to try a variety of methods to synthesize lithium-rich cathode materials and optimize the electrochemical performance. In this paper, the specific research object is lithium-rich manganese-based cathode material Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub>. We have made an in-depth study on the related problems of cathode material preparation to effectively improve the electrochemical performance of the lithium-rich layered cathode materials by adjusting the experimental parameters.

Nanocrystalline Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> cathode materials are successfully prepared by sol-gel combustion method with urea as both chelating agent and fuel. The effects of calcining temperature and solvent on the electrochemical performance

are studied. The as prepared samples are characterized and tested by means of XRD, SEM and electrochemical methods. The electrochemical tests indicates that the materials synthesized at 800°C with water solvent deliver a high initial discharge capacity of 255.8 mAh g<sup>-1</sup>, and a capacity retention of 76.8% after 50 cycles at a current density of 20 mA g<sup>-1</sup> between 2.0 V and 4.8 V vs. Li/Li<sup>+</sup>. It also shows better rate capability compared with the materials calcined at 750°C, 850°C as well as the materials using alcohol solvent calcined at 800°C. The experimental results show that enhanced electrochemical performance of the materials calcined at 800°C with water solvent is due to the uniformly distributed nanoparticles with a shorter diffusion path, perfect crystallinity, and ordered layered structure including less cations mixing.

Li-rich layered oxide Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> is synthesized successfully by solution-combusting method. The influence of different soaking time on the physical properties and electrochemical performance is studied. Based on the above conditions, Li-rich layered oxide Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> is synthesized successfully by sol-gel combustion method as reference to investigate the influence of different method on the electrochemical performance. The results demonstrated that soaking time has a great influence on the physical properties and electrochemical performance of the material synthesized by solution-combusting method. The sample SC-10 shows the best performance, with conditions of 850°C calcining temperature and 10h soaking time. The sample SC-10 shows a high charge-discharge capacity of 335.1 mAh g<sup>-1</sup>, 266.7 mAh g<sup>-1</sup> after 1 cycle with a current density of 20 mA g<sup>-1</sup>, while the capacity of SCG-10 synthesized by sol-gel combustion is 302.8 mAh g<sup>-1</sup>, 229.3 mAh g<sup>-1</sup> under the same condition. Additionally, sample SC-10 exhibits better rate capability with the reversible discharge capacity over 70 mAh g<sup>-1</sup> under the condition of 1000 mA g<sup>-1</sup>. According to EIS results, it is easily found that the charge-transfer resistance of the sample SC-10 is smaller than that of the sample SCG-10.

At last, Li-rich layered materials Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> is synthesized via sucrose combustion (ZC) and urea combustion (NC) methods. From the SEM images of the sample ZC and sample NC, it can be seen a great difference between the two samples. The particles in the sample ZC are larger with serious aggregation, while in



the sample NC, they are in homogeneous dispersion and uniform size. From the XRD patterns of the sample ZC and sample NC, showed that there are two impurity phases in the sample ZC, demonstrating that different oxidizers will affect the purity of synthesized materials. The sample NC delivers high reversible discharge capacities of 255.2 mAh g<sup>-1</sup>, 201.7 mAh g<sup>-1</sup>, 172.9 mAh g<sup>-1</sup>, 145.6 mAh g<sup>-1</sup>, 123.9 mAh g<sup>-1</sup> and 77 mAh g<sup>-1</sup> at the current density of 0.1C, 0.2C, 0.5C, 1C, 2C and 5C, respectively. However the reversible discharge capacities for the sample ZC was just 136.5 mAh g<sup>-1</sup>, 111.0 mAh g<sup>-1</sup>, 86.7 mAh g<sup>-1</sup>, 68.1 mAh g<sup>-1</sup>, 49.4 mAh g<sup>-1</sup> and 20.7 mAh g<sup>-1</sup>, respectively, at the same current density. The electrochemical performance of the sample ZC is not as good as the sample NC. It can be concluded that urea is conducive to synthesize Li-rich layered materials Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> by solution-combusting method.

**Keywords:** Li-rich layered materials; Solution combustion;  
Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub>

<b>目 录</b>	
<b>摘 要</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 引言</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 锂离子电池概述</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 锂离子电池的发展史.....	2
1.2.2 锂离子电池的结构及工作原理.....	3
1.2.3 锂离子电池主要特征.....	5
<b>1.3 锂离子电池的正极材料</b> .....	<b>6</b>
1.3.1 LiCoO <sub>2</sub> 正极材料 .....	7
1.3.2 尖晶石结构下的 LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 正极材料 .....	8
1.3.3 橄榄石结构下的 LiFePO <sub>4</sub> 正极材料 .....	9
1.3.4 层状 LiNi <sub>1-x-y</sub> Co <sub>x</sub> Mn <sub>y</sub> O <sub>2</sub> 正极材料 .....	10
<b>1.4 富锂锰基正极材料</b> .....	<b>11</b>
1.4.1 富锂锰基正极材料的结构.....	12
1.4.2 富锂锰基正极材料的电化学性能.....	12
1.4.3 富锂锰基正极材料的合成方法.....	13
<b>1.5 本论文的选题背景和研究内容</b> .....	<b>16</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>17</b>
<b>第二章 实验材料、仪器和实验方法</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 实验中所用的试剂和设备</b> .....	<b>22</b>
2.1.1 实验试剂.....	22
2.1.2 实验设备.....	23
<b>2.2 材料表征方法</b> .....	<b>24</b>
2.2.1 材料成分物相分析.....	24
2.2.2 形貌分析.....	24
2.2.3 材料比表面积.....	25

<b>2.3 材料的电化学性能测试</b> .....	<b>25</b>
2.3.1 电极片制备与电池组装.....	25
2.3.2 恒电流下的循环充放电测试.....	26
2.3.3 循环伏安测试.....	26
2.3.4 交流阻抗测试.....	27
<b>第三章 富锂锰基正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 的溶胶-凝胶燃烧法制备及电化学性能研究</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 前言</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2 溶胶凝胶燃烧法合成富锂正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math></b> .....	<b>29</b>
<b>3.3 富锂正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 的结构与形貌分析</b> .....	<b>29</b>
3.3.1 XRD 分析 .....	29
3.3.2 材料形貌分析.....	30
<b>3.4 富锂锰基正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 的电化学性能</b> .....	<b>32</b>
3.4.1 材料的充放电性能分析.....	32
3.4.2 材料的循环伏安测试.....	35
3.4.3 材料的 EIS 分析.....	36
<b>3.5 本章小结</b> .....	<b>39</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>40</b>
<b>第四章 溶液燃烧法制备富锂锰基层状正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 并与溶胶凝胶燃烧法比较</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1 前言</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2 富锂正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 的合成</b> .....	<b>43</b>
4.2.1 溶液燃烧法合成正极材料 $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ .....	43
4.2.2 溶胶凝胶燃烧法合成正极材料 $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ .....	43
<b>4.3 富锂正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 的结构与形貌分析</b> .....	<b>44</b>
4.3.1 材料的 XRD 分析 .....	44
4.3.2 材料形貌分析.....	45
<b>4.4 富锂锰基正极材料 <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> 的电化学性能</b> .....	<b>47</b>
4.4.1 材料的充放电性能分析.....	47
4.4.2 材料的循环伏安测试.....	50
4.4.3 材料的 EIS 分析.....	52
<b>4.5 本章总结</b> .....	<b>54</b>

参考文献.....	55
<b>第五章 不同助燃剂下制备的富锂正极材料</b>	
<b>Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> 及其电化学性能研究 .....</b>	<b>58</b>
5.1 前言 .....	58
5.2 富锂层状正极材料 Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> 的合成 .....	58
5.3 富锂正极材料 Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> 的结构与形貌分析 .....	59
5.3.1 不同助燃剂合成的材料的 XRD 分析 .....	59
5.3.2 不同助燃剂合成的材料的形貌分析.....	60
5.4 富锂锰基正极材料的电化学性能.....	61
5.4.1 不同助燃剂合成材料的充放电性能分析.....	61
5.4.2 不同助燃剂合成的材料的循环伏安测试.....	66
5.4.3 不同助燃剂合成的材料的 EIS 分析.....	67
5.5 本章总结.....	69
参考文献.....	70
<b>第六章 总结与展望 .....</b>	<b>72</b>
<b>个人简介及攻读研究生期间所发表的论文 .....</b>	<b>74</b>
<b>致谢.....</b>	<b>75</b>

## Table of contents

<b>Abstract in Chinese</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>III</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Preface</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Summary of lithium ion batteries</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 The history of lithium ion batteries.....	2
1.2.2 The structure and working principle of lithium-ion batteries .....	3
1.2.3 The main characteristics of the lithium ion battery.....	5
<b>1.3 Cathodic material of lithium ion battery</b> .....	<b>6</b>
1.3.1 LiCoO <sub>2</sub> cathode material.....	7
1.3.2 LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> cathode material with spinel structure .....	8
1.3.3 LiFePO <sub>4</sub> cathode material with olivine structure .....	9
1.3.4 Layered LiNi <sub>1-x-y</sub> Co <sub>x</sub> Mn <sub>y</sub> O <sub>2</sub> cathode material.....	10
<b>1.4 Li-rich manganese-based cathode material</b> .....	<b>11</b>
1.4.1The struture of Li-rich manganese based cathode material .....	12
1.4.2The electrochemical properties of Li-rich manganese-based cathode material .....	12
1.4.3Synthetic methodof Li-rich manganese-based cathode material .....	13
<b>1.5 The background and the research content of this paper</b> .....	<b>16</b>
<b>Reference</b> .....	<b>17</b>
<b>Chapter 2 Instruments and experimental maethods</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 Reagents and equipments used in the experiment</b> .....	<b>22</b>
2.1.1Reagents.....	22
2.1.2Equipments .....	23
<b>2.2 Material characterization methods</b> .....	<b>24</b>
2.2.1The analysis of material composition and phase .....	24
2.2.2Morphology analysis.....	24
2.2.3Specific surface area of material.....	25
<b>2.3 The electrochemical properties test</b> .....	<b>25</b>
2.3.1Preparation of electrodes and the battery assembly .....	25

2.3.2 Charge-discharge test in constant current .....	26
2.3.3 Cyclic voltammetry .....	26
2.3.4 EIS test .....	27
<b>Chapter 3 Study on the sol-gel combustion synthesis and electrochemical performances of li-rich layered cathode material</b>	
<b>Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> .....</b>	<b>28</b>
3.1 Preface .....	28
3.2 Sol-gel combustion synthesis of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	29
3.3 The structure and morphology analysis of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	29
3.3.1 XRD analysis .....	29
3.3.2 Morphology analysis .....	30
3.4 The electrochemical properties of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	32
3.4.1 Charge - discharge performance of the materials .....	32
3.4.2 Cyclic voltammetry of the materials .....	35
3.4.3 EIS analysis of the materials .....	36
3.5 Summary of this chapter .....	38
Reference .....	40
<b>Chapter 4 Solution combustion synthesis of Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> and compared with sol-gel combustion</b>	
<b>Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> .....</b>	<b>41</b>
4.1 Preface .....	41
4.2 The synthesis of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	42
4.2.1 Solution combustion synthesis of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	42
4.2.2 Sol-gel combustion synthesis of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	42
4.3 The structure and morphology analysis of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	43
4.3.1 XRD analysis of the materials .....	43
4.3.2 Morphology analysis of the materials .....	44
4.4 The electrochemical properties of Li[Li <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.54</sub> Ni <sub>0.13</sub> Co <sub>0.13</sub> ]O <sub>2</sub> .....	46
4.4.1 Charge - discharge performance of the materials .....	46
4.4.2 Cyclic voltammetry of the materials .....	49
4.4.3 EIS analysis of the materials .....	51
4.5 Summary of this chapter .....	53
Reference .....	53
<b>Chapter 5 The preparation and electrochemical performance of Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> prepared with different fuel</b>	
<b>Li[Li<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.54</sub>Ni<sub>0.13</sub>Co<sub>0.13</sub>]O<sub>2</sub> .....</b>	<b>57</b>
5.1 Preface .....	57

<b>5.2 The synthesis of <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> Li-rich manganese-based cathode material .....</b>	<b>57</b>
<b>5.3 The structure and morphology analysis of <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math>.....</b>	<b>58</b>
5.3.1 XRD analysis of the materials prepared with different fuel.....	58
5.3.2 Morphology analysis of the materials prepared with different fuel .....	59
<b>5.4 The electrochemical properties of <math>\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2</math> .....</b>	<b>60</b>
5.4.1 Charge - discharge performance of the materials prepared with different fuel .....	60
5.4.2 Cyclic voltammetry of the materials prepared with different fuel .....	65
5.4.3 EIS analysis of the materials prepared with different fuel .....	66
<b>5.5 Summary of this chapter .....</b>	<b>68</b>
<b>Reference .....</b>	<b>69</b>
<b>Chapter 6 Conclusions and plans .....</b>	<b>71</b>
<b>Personal profile and publication list during graduate studies .....</b>	<b>74</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>75</b>

# 第一章 绪论

## 1.1 引言

能源是一个国家组织生产与发展经济的重要动力资源。而一次性能源存储量的逐渐减少,使得能源问题开始受到了社会各界的普遍关注。自进入新世纪以来,人类经济社会发展的能源需求量越来越大,同时能源危机与环境污染问题也日渐突显,形成了不可忽视的矛盾问题。一次能源不仅无法有效满足人类社会发展的长期需求,同时还会带来一系列的不利影响,比如生态环境污染。所以,开发可供多次利用的绿色能源就成为了现代社会发展的迫切需求。锂离子电池是一种可以把化学能转化成电能的新型装置,可以在解决能源危机方面发挥关键作用。锂离子电池之所以能够成为一次性能源替代者,主要是由于自身具备多方面的优势,比如充放电比容量大、电压平台较高、循环安全性能良好以及充放电寿命周期长久等,而且放电率较低,没有记忆效应,电能存储时间较长,重量轻且体积小,可以为携带提供方便。目前,世界各国都组织科研力量对其开展深入的理论研究与工艺探索。在历经多年发展之后,锂离子电池逐渐成为了一种主流电池装置,被普遍应用到了人们的生产与生活当中。

锂离子电池最早是由日本 Sony 公司在 1991 年研发成功并投入使用,其正极材料为层状  $\text{LiCoO}_2$ , 而负极材料则是石墨。在此之后,锂离子电池发展速度非常之快,实现产业化与大规模应用。尤其是在笔记本电脑、手机以及其他小型移动设备的电池装置中具有明显的优势,目前还被应用到了电动汽车领域当中。相关研究结果显示,锂离子电池作为汽车动力装置,有效利用率能够达到 90% 以上,而镍氢电池则只有 50% 左右。所以,当前国内针对锂离子电池进行了全面且深入的科研探索,同时还得到了各国政府的强力支持。国际上有三星、日立、LG 以及特斯拉等大型企业,而国内则有比亚迪、乐视、东莞新能源等公司,都对锂离子动力电池进行了研究开发。通过普及锂离子电池,可以在一定程度上缓解当前所面临的能源危机以及环境污染问题。可以预见的是,在未来很长一段时间内,关于锂离子电池的研究都将会是重点,研究内容主要集中在高能量、大功率以及高安全性等方面。通过研究与应用锂离子电池,可以为实现我国国民经济



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库