

附件 5

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目 申 报 表

项目名称: 光伏太阳能空心板路面模型制备及试验研究				
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学号	专业	性别	入学年份
李孟杰	201410010105	道路工程 (卓越)	男	2014 年 9 月
杨倪坤	201410010113	道路工程	男	2014 年 9 月
杜慧子	201511010109	道路工程 (卓越)	女	2015 年 9 月
杨宇轩	201508020213	道路工程 (卓越)	男	2015 年 9 月
张逸航	201510010429	道路工程 (卓越)	男	2015 年 9 月
指导教师	查旭东	职称	教授	
项目所属 一级学科	交通运输工程	项目科类(理科/文科)	理科	
学生曾经参与科研的情况				
<p>杨倪坤 2014-2015 年参与题为《磷酸镁水泥复配泡沫沥青沥青路面快速冷补材料关键技术研究》的科技立项;</p> <p>杨倪坤 2015-2016 年参与题为《基于海绵城市下道路雨水花园设计及其蓄渗排水效果研究》的科技立项;</p> <p>李孟杰 2015-2016 年参与题为《生态边沟路面径流净化效果试验研究》的科技立项;</p>				
指导教师承担科研课题情况				
<p>主持和参加科研课题 40 余项, 其中主持国家自然科学基金项目 2 项, 技术负责西部交通建设科技项目 1 项, 主持完成其他厅市级科技项目 10 余项。获省部级科技进步特等奖 1 项, 二等奖 4 项, 三等奖 5 项。</p>				

一、项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

1.1 项目研究和实验的目的

随着社会的不断发展，人们对于能源的需求急剧增加造成化石能源的短缺，同时也给环境带来了污染。比如煤、石油、天然气的燃烧产生了温室气体、有毒气体和烟尘等，导致了温室效应、酸雨以及雾霾等环境问题。由于化石能源的逐渐短缺和环境污染问题的日益严重，关于清洁能源的开发利用引起社会的广泛关注，又由于太阳能具有普遍性、无害性、长久性，且其能量巨大成为社会关注的焦点。太阳能是非常具有代表性的清洁能源，只要有阳光的地方就有太阳能，且阳光无地域限制；再者太阳能的总量十分巨大，因此研究对太阳能的利用是具有重大的社会经济效益的。同时，据交通运输部 2015 年 12 月的统计数据，截止到 2015 年底，全国公路通车总里程达 457 万公里，高速公路里程突破 12 万公里，且占其大部分空间的路面仅供人们出行和车辆行驶之用，具有占地面积大且功能单一的特点，而路面处于开放空间全年都在太阳光的照射下，其中必然存在巨量的太阳能可以利用。因此，如何低成本规模化开发利用路面太阳能并扩展路面功能值得深入研究。

本项目在国内外太阳能路面，空心板结构和聚光太阳能发电的基础上，将自主研发了一种基于菲涅尔透镜的光伏太阳能空心板路面，通过菲涅尔透镜收集太阳能，并利用太阳能电池板将其转化为电能，供智慧道路系统及居民生产生活用电。这对于改善我国能源紧缺的现状、降低交通事故率，具有重大的经济效益和社会意义。

1.2 项目研究的内容

- 1、设计菲涅尔透镜透光聚光保护板，研究其抗滑性能；
- 2、设计光伏太阳能空心板路面模型结构、模具并制备实体模型；
- 3、光伏太阳能空心板路面板块模型的力学性能及路用性能试验研究；
- 4、光伏太阳能空心板路面板块模型的发电效能试验研究和经济性分析。

1.3 项目解决的关键技术问题

1、通过在国内外相关研究成果的基础上集成创新，利用力学知识以及 ANSYS 有限元分析软件，拟定合理的板块模型尺寸，同时采用菲涅尔透镜设计聚光导体，利用光学知识以及 TracePro 光学模拟软件对菲涅尔透镜聚光原理进行分析，设计

新型聚光导体结构参数，并通过对其导光性能进行测试确定合理的排布方式。

2、针对已有模型难以拆卸、大规模应用等难题，设计光伏太阳能空心板路面板块结构及模具并对其施工维护方案进行研究。最后通过制作实体模型，进行板块应用于工程实践的可行性分析。

3、对成型光伏太阳能空心板路面板块进行力学性能试验、路用性能试验，得到板块用于路面的技术可行性参数，同时对模型发电效能进行测试，依照试验结果推算模型费用效益比进行经济性分析。

二、国内外研究现状和发展动态

2.1 路面太阳能利用技术

目前国外对于路面太阳能的开发利用主要是采用光热转换的集热法，以此收集的能量可用来供暖、发电和融雪化冰等。世界上第一个在沥青路面收集太阳能的公司是荷兰的 OomsAvenhorn Holding 公司，其开发了一种道路能量系统(Road Energy System)，该系统能使夏季的路面冷却，冬季的路面防止结冰^[1]。1998 年，针对在日本早期铺筑的 19 项地面集热蓄能融雪化冰试验工程，日本北海道大学研究者们进行了综合对比分析。研究表明，平均地面集热率可达 36%，北海道地区的季节变化可以实现用能与蓄能的基本平衡。还有英国的跨季热量传递技术、美国的地源热泵技术以及我国的太阳能土壤蓄热系统和沥青路面融冰雪系统等。但是，此种集热技术的热能转换效率较低，施工维护困难，难以大规模推广。

光伏发电系统目前在道路工程中虽然得到应用，但主要是将光伏太阳能电池板安装在路面以外的附属设施中。在英国及其他国家已经研究并开发了一种 LED 路钉，在 2010 年，美国华盛顿州交通运输部进一步研究了一种太阳能 LED 灯，其结构由 LED 灯与太阳能电池板组成，钉在车道边缘，起到警示作用^[3]。此种利用能源的方式仅能获取非常有限的能量，且并未达到扩展路面功能的目的。

由于集热法的局限性，科学家们基于光伏发电系统原理将光电转换技术与路面本身结合，提出太阳能路面板块等相关概念。2006 年，美国爱达荷州塞格尔市的电气工程师 Scott Brusaw 提出采用光伏太阳能电池板替代传统路面的创新构想，称之为“太阳能路面”(Solar Roadways)，并得到了美国联邦公路局(FHWA)的资助^[4]。其原型太阳能路面由三层结构组成，即底层隔水板、中层光伏太阳能电池板和表层透明或半透明透光保护板，见图 1 所示。2014 年，该公司成功铺筑了一个停车场^[5]，其表层玻璃板为特别材料制得，强度、抗滑性、耐磨性可满足路用性

能要求，但造价不菲。2014年，荷兰铺筑并开放了一段太阳能自行车道，见图2。这条自行车道路号称世界第一条由太阳能结构单元组成的公共道路^[6]，其结构特点为表面为玻璃板，中层为太阳能电池板，混凝土将电池板包裹在内中起到保护的作用，其行驶舒适度与普通道路无异，但仅能承载自行车及行人的荷载。尽管太阳能路面板块尚具有很多局限性，但由于其可预制、施工维护简易快捷、且具有绿色交通和智慧交通的特性，已悄然成为道路、能源、材料和电子等多个交叉学科领域关注的热点。

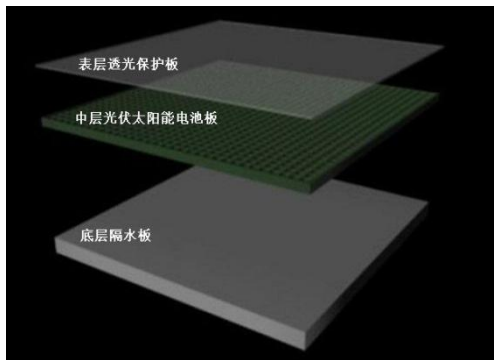


图1 太阳能路面板块结构示意图

图2 太阳能自行车道示意图

2.2 自密实混凝土

光伏太阳能空心板路面板块的基体一般为自密实混凝土，自密实混凝土这一概念最早由日本学者 Okamura 于 1986 年提出^[7]，属于一种高性能混凝土。自密实混凝土拌合物的自密实过程为：粗骨料悬浮在具有足够粘度和变形能力的砂浆中，在自重的作用下，砂浆包裹粗骨料一起沿模板向前流动，通过钢筋间隙、进而形成均匀密实的结构^[8]。自密实混凝土相比于普通混凝土具有以下优点^[9]：（1）具有卓越的流动性和自填充性能，不需人工额外振捣密实，依靠自重充模、密实。（2）填充密实，避免了原始缺陷的产生，具有足够的耐久性。（3）浇注速度快，简化了施工工艺，提高了施工效率，降低了人工成本。

现阶段研制出来的自密实混凝土具有许多优点，但配合比设计也比普通混凝土要复杂一些，国内外对自密实混凝土的设计理念也不尽相同^[10]。日本东京大学最早进行了自密实混凝土配合比设计方法研究，提出了所谓的自密实混凝土原型模型方法(prototype method)，后来日本、泰国、荷兰、法国、加拿大、中国等国的学者进一步进行了自密实混凝土的设计方法研究^[11]，中国土木工程学会编制的《自密实混凝土设计与施工指南》中，推荐的是一种固定砂石体积含量法，是对日本学者 Okamura 的原型模型方法的改进，即先设定砂石体积，再求得浆体体积，再根据强度要求的水胶比，求得用水量和掺和料用量^[12]，我国吴中伟院士也曾对

这种方法做过介绍^[13]。龙广成、谢友均等研究了一种基于骨料间距模型的配合比设计方法，即将混凝土视为粗骨料和砂浆组成的两相混合体系，则保证流动性的条件是相邻粗骨料之间应存在足够的间距，即浆体层^[14]。我国住建部在 2012 年发布了《自密实混凝土应用技术规程》，推荐自密实混凝土配合比设计采用绝对体积法^[15]。

2.3 太阳能水泥混凝土空心板

水泥混凝土空心板结构常用于建筑或者桥梁，制作成的空心楼板或者空心桥面板，具有节约材料、减轻结构自重等优点。研究人员通过有限元分析软件进行力学性能数值模拟对于空心楼板结构，湖南科技大学的谭磊和刘锡采用 ANSYS 分析了现浇混凝土空心楼板的变形特征、内力分布规律等，得出了空心板的空腔会使得空心板在局部出现应力、应变较大的现象^[16]。简政和赵良华等人研究空心楼板的计算方法，提出了一种将混凝土空心板转化为等效实心板的合理可行的计算方法^[17]。

水泥混凝土空心板应用于路面结构时，尹德清选用有限棱柱法对空心路面结构进行理论上的应力应变分析，同时对试验路通车后的使用情况进行了观测，分析了空心路面的经济效益和社会效益，表明了空心路面结构在工程实践中应用是可行的^[18]。重庆建筑大学的洪桔、周志祥等人针对传统道路修筑方式的缺陷，提出了一种有效节省路面造价的新型的道路结构体系——连续砼空心板式道路^[19]。

2013 年，长沙理工大学的查旭东、曾军设计了一种路面空心板块结构，由表层透光保护板、中层光伏太阳能电池板和底座预制混凝土空心板三层组成，即将太阳能电池板放置在中间镂空的心空板块面层结构中，既保证太阳能电池板的寿命，又具有一定的承载能力^[20]。2014 年，长沙理工大学的查旭东、蔡良等进一步优化了太阳能路面空心板块结构，并制作相应的实体模型，见图 5。对该模型的力学性能和发电效能进行了测试，为研究太阳能空心板块路面结构提供理论和实体参考^[21,22]。

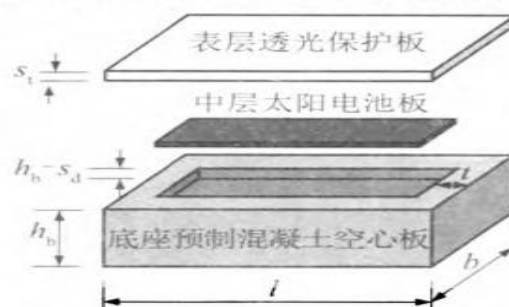


图 5 太阳能路面空心板示意图

2.4 菲涅尔透镜

目前,在太阳能聚光利用中研究最广泛的是菲涅尔透镜,菲涅尔透镜是由由聚烯烃材料注压而成的薄片,由平凸透镜演变而来,镜片表面一面为光面,另一面刻有一系列同心棱形槽,如图6所示。菲涅尔透镜每个环带都相当于一个独立的折射面,这些棱形环带都能使入射光线会聚到一个共同的焦点上。由菲涅尔透镜设计出的聚光器与传统的聚光器相比,其成本低、结构简单、紧凑,质量轻,透光率高,方便制造。

菲涅尔透镜最早由法国物理学家菲涅尔(A. J. Fresnel)在1822年提出。近些年来,菲涅尔集光器几乎占据光学收集器件半壁江山,国内外许多研究机构和个人从不同角度对其进行了研究。从研究范围来看,对菲涅尔透镜的研究涵盖了材料本身的光学性能、镜面的楞型结构、跟踪系统、焦斑的位置大小尺寸以及焦斑的能量分布等多个方面。

早在1970年左右,美国NASA概述了太阳能菲涅尔聚光器的设计方法,为后人研究菲涅尔聚光器给予指导作用^[23];成立于1986年的美国菲涅尔透镜科技公司,较早从事菲涅尔透镜的设计和应用,并颇有成就^[24];美国Amonix公司已利用菲涅尔透镜建造了高聚光的光伏发电系统,同时Wagner等提出利用菲涅尔透镜进行太阳光谱分离的研究,企图设计出效率超过50%的聚光光伏发电系统^[25,26]。O'Neil^[27,28]设计了一种新型、高效、轻便可用于空间聚光光伏发电的点聚焦曲面菲涅尔透镜阵列。2010年IBM公司利用菲涅尔透镜进行聚光并将其投射到太阳能电池板上,通过这种方法,成功将230W的太阳能转化成了70W的电力,转化效率约为传统的5倍。

目前,国内对于菲涅尔透镜的研究也较多,早在1991年,郭孝武对太阳能利用中几种菲涅尔透镜进行了对比分析,导出了统一的设计公式,只要改变某些参数就可用来设计不同的菲涅尔透镜,后续的研究者在此基础上又设计出菲涅尔透镜效率的计算^[29];2001年,航天科技集团公司兰州物理研究所张明等对平板点聚焦菲涅尔太阳聚光透镜进行研究,给出了点聚焦透镜的设计方法,讨论了设计参数对透镜光学效率的影响,为这类透镜的设计提供理论依据^[30];2003年,汪韬等采用热压成型工艺以聚甲基丙烯酸甲脂为材料加工成型点聚焦菲涅尔聚光透镜,并搭建实验平台测试了该菲涅尔线透镜提高太阳电池的单位输出功率的效果^[31];2008年哈尔滨工业大学刘颖系统地论述了太阳能聚光器能流密度分布理论^[32];

2008年宁铎等提出免跟踪透射式太阳聚光器的设计思路^[33]；2009年姚叙红等对菲涅尔透镜提高太阳能利用率的研究，分析了菲涅尔透镜在提高太阳能利用率时的各种损失因素；2011年华中科技大学姚家伟等提出焦点均匀分布点式菲涅尔太阳能聚光器的设计方法^[34]。可见在现在太阳能应用蓬勃的今天，菲涅尔聚光器的研究仍然是一重大课题。2013年，中国计量学院陈志明为此设计和搭建一套菲涅尔透镜聚光性能测试系统，并通过软件模拟和实验测试对菲涅尔透镜聚光性能进行研究^[35]。

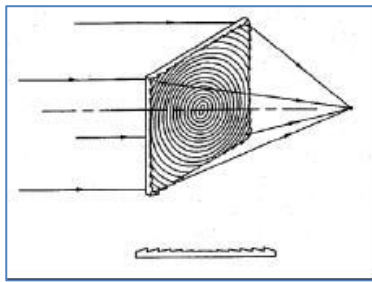


图6 菲涅尔透镜结构示意图



图7 菲涅尔透镜

2.5 分析总结

国内外已经有许多对于路面太阳能利用技术的研究，包括光-热转换和光-电转换两大类，但是太阳能路面板块的研究才刚刚起步，方兴未艾，因此研究一种经济节约，结构承载力，抗滑性，发电效能均满足使用要求的太阳能路面板块是具有理论及实际意义的。现有的太阳能路面板块的表层多选用特制的玻璃，优点是透光性能强，缺点是抗滑性不足，承载力有限，且造价高昂。因此本文考虑引入一种光伏太阳能路面空心板块结构来作为板块基本单元，同时满足透光和路用性能要求。

项目前期已对增强自密实混凝土的路用性能及强度进行研究，优化自密实混凝土的配合比，并配制出可自行流动成型，无需振捣即可密实填充模具各个角落的自密实混凝土。在此基础上我们将设计一种更为合理的基于菲涅尔透镜的光伏太阳能路面空心板块结构单元，利用力学知识以及 ANSYS 有限元分析软件，拟定合理的板块模型尺寸，同时设计菲涅尔透镜聚光板块及其凸起设计，利用光学知识以及 TracePro 光学模拟软件对菲涅尔透镜聚光原理进行分析，得到菲涅尔透镜的结构参数及透光、聚光性能并对其抗滑性能进行研究。对光伏太阳能路面空心板块结构进行优化，设计模具并对其施工维护方案进行研究。最后通过制作实体模型，进行板块应用于工程实践的可行性分析。使其满足路用性能的同时有良

好聚光能力和抗滑性能且便于施工维护。

对成型光伏太阳能路面空心板块进行力学性能试验、路用性能试验，得到板块用于路面的技术可行性参数，同时对模型发电效能进行测试，依照试验结果推算模型费用效益比进行经济性分析。

2.6 参考文献

- [1]Loomans M, Oversloot H, De-bondt A H, et al. Design tool for the thermal energy potential of asphalt pavements[A]. Proceedings of the 8th International IBPSA Conference[C]. 2003: 745~752.
- [2]Rahm S, Khallat MA, Chowdhury BH. A discussion on the diversity in the application of photovoltaic systems[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1988, 3(4): 738~746.
- [3]Bradley B. Alternative Uses of Highway Right of Way. September 5, 2014.
- [4]Subramanian, Rajarajan. The Current Status of Roadways Solar Power Technology: A Review[J]. Environmental Sustainability in Transportation Infrastructure—Selected Papers from the International Symposium on Systematic Approaches to Environmental Sustainability in Transportation, 2015: 177~187.
- [5]Brusaw S. Solar Roadways. January 5, 2015.
- [6]Tobal K. Netherlands Installs World's First Solar Bike Path. , November 14, 2014.
- [7]OKAMURA Hajime, OUCHI Masahiro. Self-compacting concrete: development, present use and future [A]. Proceedings of 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete [C]. 1999: 3~14.
- [8]刘运华, 谢友均, 龙广成. 自密实混凝土研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2007, 35(05): 671~678.
- [9]严琳. 自密实混凝土的配制及其性能研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [10]吕兴军, 丁言兵, 曹明莉. 自密实混凝土配合比设计研究进展[J]. 混凝土, 2013(08): 105~109.
- [11]吴红娟. 自密实混凝土配合比设计方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [12]中国土木工程学会标准. 自密实混凝土设计与施工指南(CCES 02-2004)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [13]吴中伟, 廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [14]龙广成, 谢友均. 自密实混凝土[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [15]中华人民共和国行业标准. 自密实混凝土应用技术规程(JGJT283-2012)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [16]谭磊, 刘锡. 现浇混凝土空心板有限元分析[J]. 湖南工程学院学报, 2008, 18(1).
- [17]简政, 赵良华, 许跃湘. 现浇混凝土空心楼板计算方法的研究与分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 2006, 38(3).
- [18]尹德清. 水泥混凝土空心路面应用研究与施工工艺[J]. 中外公路, 1999(6):16-20

- [19]洪桔, 周志祥.一种连续混凝土空心板式道路[J].重庆建筑大学学报, 1997, 19(6):98-100
- [20]曾军. 空心板块路面结构力学分析[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
- [21]蔡良. 太阳能路面空心板块结构模型试验研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2014.
- [22]查旭东, 张铖坚, 伍智吉等. 太阳能路面空心板块单元力学分析与模型制备[J]. 太阳能学报, 2016, 37 (1): 136~141.
- [23] Robert M. Cosby, Solar Concentration by Curved—base Fresnel Lenes[J], NASA on WASHINGTON, D. 'C. 1977.
- [24] [http://www.fresneltech.com/pdf/Fresnel Lenses. pdf](http://www.fresneltech.com/pdf/Fresnel%20Lenses.pdf).
- [25] D. J. Wagner,Refractive spectrum splitting concentrator system[P], US Patent 7206142, 2007.
- [26] A, Barnett; C, Honsberg; D, Kirkpatrick, et al. 50% Efficient Solar Cell Architectures and Designs[C], Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference, Vol. 2. 2560—2564, 2006.
- [27] O'Neil MJ. Stretched Fresnel lens solar concentrator for space power [P]. USA,PatentNo. 6,075,200, 2000.
- [28] O'Neil MJ , Piszczor MF, Eskenazi MI, Mc Danal AJ, George PJ, Botke MM, et al.Ultra-light stretched Fresnel lens solar concentrator for space power applications[P]. Proceeding of SPIE 2003; 5179: 116-126.
- [29] 郭孝武, 菲涅尔透镜统一设计方法[J], 太阳能学报, 1991, 12(4): 423-426.
- [30] 张明, 黄良甫等.空间用平板形菲涅尔透镜的设计和光学效率研究[J], 光电工程, 2001, 28(5):18-21.
- [31] 汪韬, 赛小锋等.新型菲涅尔线聚焦聚光太阳电池组件研究[J], 光子学报, 2003, 32 (5): 625-627.
- [32] 刘颖. 太阳能聚光器聚焦光斑能流密度分布理论和实验研究: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [33] 宁铎, 刘飞航, 吴彦锐等. 免跟踪透射式太阳聚光器的设计[J]. 光子学报, 2008, 37 (11): 2285-2287.
- [34] 姚家伟, 罗小兵. 焦点均匀分布式菲涅尔太阳能聚光器设计及性能分析[C]; 中国工程热物理学会学术会议论文, 2011 年.
- [35] 陈志明. 菲涅尔透镜聚光性能研究[D].中国计量学院,2013.

三、本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

1、对所选太阳能发电系统的太阳能电池板发电性能进行测试，测定了其在不同辐照度条件下的伏安特性曲线及输出功率，并分析了其最佳朝向及倾角；

2、进行了自密实混凝土的配合比设计，确定了合理的水胶比及粗、细集料用量，测试其工作性能、抗压强度、抗弯拉强度及弹性模量；

3、根据实测的自密实混凝土力学参数，通过建立合理的有限元实体模型，采用 ANSYS 软件对太阳能路面结构进行力学分析；

四、项目的创新点和特色

1、一种新型的路面结构——基于菲涅尔透镜的光伏太阳能空心板路面板块：区别于传统的水泥混凝土路面，基于菲涅尔透镜的聚光原理将太阳光聚集在板块中层光伏太阳能电池板上，将太阳能转化为电能储存，供路旁附属设施使用。

2、使用菲涅尔透镜设计板块表层透光保护板，并根据其透光性能、聚光原理设计其凸起形式，以达到满足实际使用的太阳能光伏电池的转化效率；同时研究其路用性能，如抗滑性能、路面平整度等指标。

3、设计出满足要求的自密实混凝土。对其工作性能进行试验研究，并对其抗压强度及抗弯折强度试验检测。

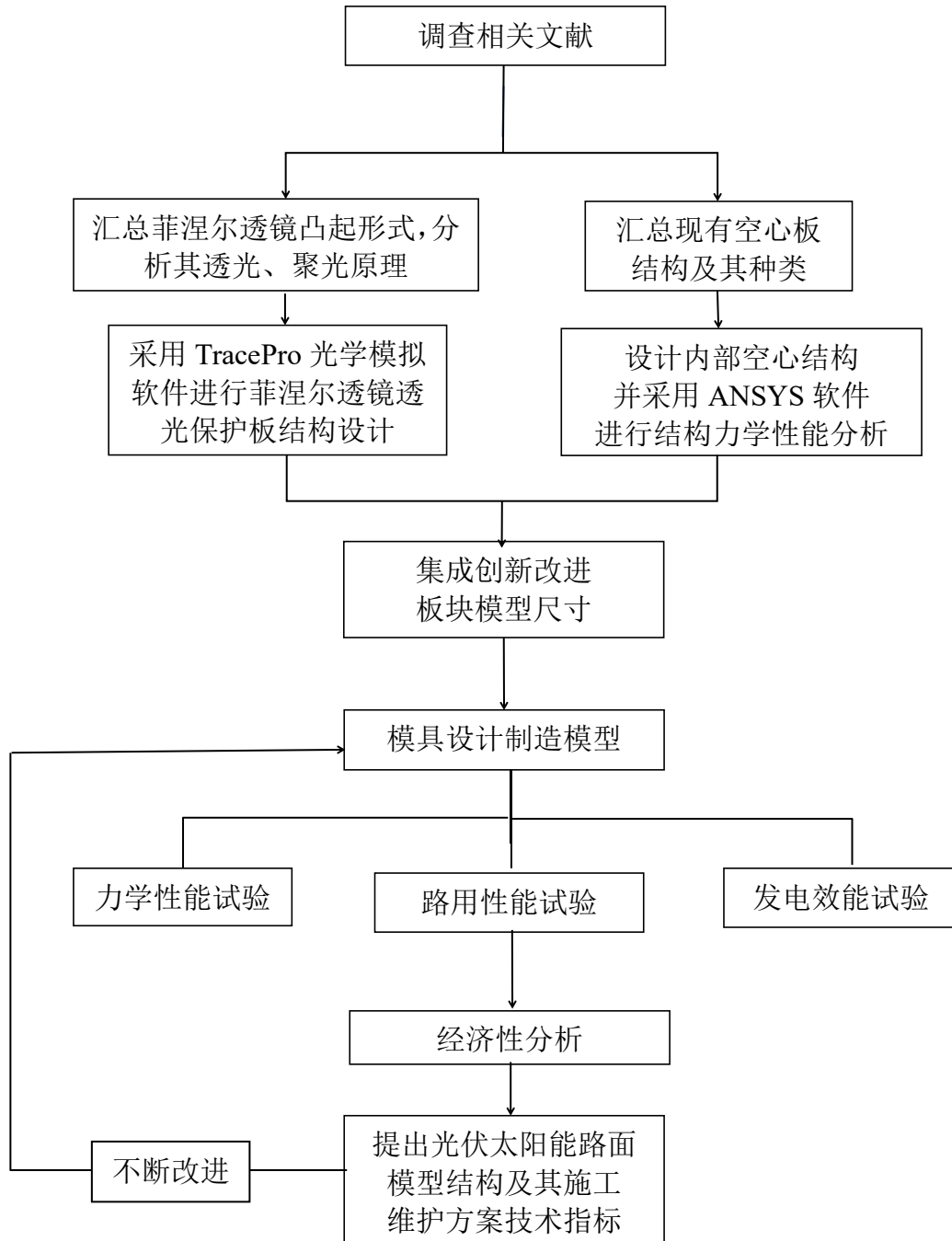
4、设计与光伏太阳能空心板路面板块相配套的模具，方便在工厂预制模块以及现场大面积施工。

5、制备基于菲涅尔透镜的光伏太阳能空心板路面板块模型，并对其力学性能、路用性能进行试验研究。通过实验，研究确定光伏太阳能空心板路面施工方法。对模型发电效能进行测试，依照试验结果推算模型费用效益比进行经济性分析。

五、项目的技术路线及预期成果

5.1 技术路线

采用室内软件模拟与室外缩尺模型试验并重，理论分析与调查研究并行，基本结构性能测试与工程应用示范相结合的技术手段，系统开展设计并改进基于菲涅尔透镜的光伏太阳能空心板路面模型技术参数及力学性能、路用性能、发电效能试验的研究。



5.2 预期成果

1、使用菲涅尔透镜设计板块表层透光保护板，并根据其透光性能、聚光原理设计其凸起形式，以达到满足实际使用的太阳能光伏电池板的转化效率；同时研究其路用性能，如抗滑性能、路面平整度等指标。

2、设计与光伏太阳能空心板路面板块相配套的模具，方便在工厂预制模块以及现场大面积施工。

3、设计出满足要求的自密实混凝土。对其工作性能进行试验研究，并对其抗压、抗剪、抗弯拉强度进行试验检测。

4、制备基于菲涅尔透镜的太阳能空心板路面板块模型，并对其力学性能、路用性能进行试验研究。通过实验，研究确定光伏太阳能空心板路面施工方法。

5、对模型发电效能进行测试，依照试验结果推算模型费用效益比进行经济性分析。

6、发表学术论文 1~2 篇，申请专利 1~2 项。

7、得到课题调研与试验分析报告、课题总体工作报告和研究报告。

六、年度目标和工作内容（分年度写）

2017 年 4 月~2017 年 6 月：进行理论设计，菲涅尔透镜设计参数、板块结构尺寸；

2017 年 7 月~2017 年 9 月：定做模具并制备太阳能路面板块模型；

2017 年 10 月~2018 年 1 月：进行太阳能路面板块模型力学性能研究；

2018 年 2 月~2018 年 5 月：进行太阳能路面板块模型路用性能研究；

2018 年 6 月~2018 年 10 月：进行太阳能路面板块模型发电效能研究；

2018 年 11 月~2019 年 2 月：研究其发电效率的影响因素，进行经济性分析；

2019 年 3 月~2019 年 5 月：项目结果整理以及成果发表，提交项目结题报告。

指导教师意见

签字：

日期：

