**一、项目名称**

聚丙烯管道结构调控关键技术及应用

**二、提名意见**

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的提名要求。

该项目围绕我国节约资源和节能减排的需要，立足于PP-R管道高性能化的结构调控关键技术开展自主创新，突破多层旋转取向玻纤增强聚丙烯管道关键技术、双重界面调控增韧技术、负载新型β成核剂增强增韧技术等三大核心技术，解决了PP-R管道存在的高温强度低、低温脆性大、生产效率低等一系列行业共性技术难题，实现了PP-R管道产品的技术升级换代，加快我国“以塑代钢”应用进程，可显著节约资源，降低能耗，减少塑料给环境带来的巨大压力。该项目获授权发明专利30件，实用新型专利35件，编写技术标准5项，获得国家重点新产品1项，广东省高新技术产品5项，发表论文三十多篇，出版专著5部，实现了多系列高性能PP-R管道的批量生产，取得了显著的经济效益和社会效益。项目整体技术水平达到国际先进水平，对推动塑料管道行业科技进步具有非常重要的意义。

对照国家科学技术进步奖授奖条件，推荐该项目申报国家科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介**

新型塑料管道的高性能化对扩大其应用范围，节约资源和能源消耗具有重大意义。无规共聚聚丙烯（PP-R）管道作为新型塑料管道的重要品种年用量约300万吨，在新型塑料管道领域占有极为重要的地位，但其高温强度低、低温脆性大、生产效率低等行业共性难题制约了其进一步发展。因此，如果能解决这些行业共性技术难题，就能大幅度减少资源消耗、节约能耗、减少塑料给环境带来的巨大压力，同时扩大其应用范围，加快我国“以塑代钢”应用进程。针对以上难题，项目组历经十余年研究，完成聚丙烯管道高性能化的结构调控关键技术突破及产业化，形成一系列具有自主知识产权的创新性成果，推动了塑料管道行业的发展。项目主要技术成果如下：

1、独创多层旋转取向玻纤增强聚丙烯管道关键技术，使管道中间层玻纤沿周向取向，同时使聚丙烯分子沿取向方向形成部分串晶结构，实现纤维取向与结晶协同增强。本项目增强聚丙烯管道的静液压强度比国内外同类产品提高50%，相同应用条件下管系列可下降一个等级，使管材壁厚减薄约15%，显著减少资源消耗；增强聚丙烯管道还用作集中供热管道的工作内管，可完全替代钢管，使管道的温度降≤0.1℃/km ，有效防止热损失，节能效果突出。

2、突破纳米粒子接枝改性、双重界面调控增韧、预牵伸分散技术，将材料结构设计和熔融共混工艺相结合，仅需采用传统塑料成型加工方法即可使纳米粒子均匀分散，形成非层状纳米粒子增韧聚丙烯管道并产业化。该项目PP-R管道的低温冲击强度比国内外同类产品提高30-100%，解决了PP-R管道应用十几年来一直存在的脆性开裂难题。

3、创新负载技术将稀土类成核剂和有机盐复配，形成一种新型β成核剂对PP-R进行晶型改性，得到既增强又增韧的PP-R管道。添加微量新型β成核剂（0.1wt%）后，PP-R材料的结晶度提高22.6%，使PP-R管道的静液压强度大幅度提高，静液压曲线上无拐点，体现出更优异的耐高温蠕变性能；材料的β晶相对含量从0提升到56.5%，明显高于北欧化工β-PPR的33%，赋予了PP-R管道优良的低温冲击性能。

4、基于1-3的创新成果，提出面向通用塑料高新能化的结构调控建模与优化设计新方法，建立了高剪切场下的串晶理论计算模型，提出了双重界面调控增韧理论，填补国际技术空白，是上述技术领域的共性建模与设计方法，使通用塑料的结构、形貌、性能参数设计有统一的理论依据，改变过去按经验或单一参数简化设计的局面。

项目在PP-R管道高强度、低脆性等整体技术方面取得突破，实现PP-R管道产品的技术升级换代，解决了行业共性技术难题，可显著节约资源能源，减少塑料给环境带来的巨大压力。由院士组成的专家组评价意见及第三方检测报告表明：项目整体技术达到国际先进水平。项目获授权发明专利30件，实用新型专利35件，技术标准5项，国家重点新产品1项，广东省高新技术产品5项，发表论文三十多篇，参编国内外专著5部。项目产品被秘鲁著名管道公司EMPRESA METAL MEXCANICA S.A.(PERU)、全国大型房地产开发商绿城房地产集团有限公司、天津津电管网安装工程有限公司等采用，在国内有1200多家总代理，五万多家分销商，占有率居国内相关专业市场第一位；产品还通过国外权威机构西班牙AENOR、欧盟CE认证，正积极推进德国DVGW认证，出口到西班牙、亚太、俄罗斯等，改变我国高性能塑料管道进出口局面。近3年实现销售额530434.46万元，利润140354.83万元，节支总额26481.70万元，经济效益显著。

**四、客观评价**

**（1）评价意见、国内外同行评价**

“高性能聚丙烯管道绿色制造技术及产业化”（中循协（评价）字[2018]第12号，通过由院士组成的专家组的成果评价，认为该项目研究旋转取向玻纤增强技术、含氟纳米粒子复合增韧技术、高速节能挤出等技术，项目产品静液压强度、低温冲击强度、生产速度等关键技术指标优于国内外同类产品。评价委员会一致认为该项目整体技术达到国际先进水平。

“高性能纤维增强聚丙烯材料关键技术研发”通过科技成果评价（国评评字[2017]第0004号），该成果很好地解决了传统聚丙烯管道强度低、膨胀系数大的缺陷，国内外未见相同的产品工艺，综合技术水平达到国际先进水平。

“多功能无规共聚聚丙烯（PP-R）管道系统的研发与应用”通过科技成果鉴定（佛科鉴字[2012]007号），认为该项目采用纳米复合材料熔融挤出-牵伸-淬冷关键工艺，通过纳米SiO2粒子和新型复配β成核剂明显改善了PP-R管材的低温冲击性能，总体技术达到国际先进水平。

“新型高速节能PPR管材挤出关键技术研发及产业化”通过科技成果鉴定（佛科鉴字[2015]021号），专家组认为开发出的新型高速节能PPR管材挤出生产线具有挤出速度快、生产效率高、挤出稳定、能耗低等特点，总体技术达到国内领先水平。

“集中供热预制直埋保温塑料管的开发与应用研究” 成果评价（国评评字[2017]第0005号），专家组认为开发出的集中供热预制直埋保温塑料管具有使用寿命长，保温效果好等特点，总体技术达到国内领先水平。

**（2）第三方权威检测及国际产品认证**

该项目产品经国家化学建筑材料测试中心、广东省质量监督塑料管材管件检验站、福建省产品质量检验研究院等机构测试，高性能聚丙烯管道的各项基该项目符合国标GB/T 18742.2-2002《冷热使用聚丙烯管道系统 第2部分：管材》要求，而且静液压强度、落锤冲击强度等技术指标还远远高于国际标准：高性能纤维增强聚丙烯管的静液压强度分别在20℃、1h、24MPa；95℃，22h，6.3；95℃，165h，5.7MPa MPa三个条件下无胀破、无渗漏，较国内外同类技术提高50%；线膨胀系数为0.4×10-4 m/m.K，降低了约2/3；纳米粒子增韧PP-R管道的0℃冲击强度破损率为0，低温韧性优良；高性能PP-R管道的内表面粗糙度为0.399μm，降低了近4倍；预制直埋保温PP-R管道的导热系数为0.03W/m.k，约是保温钢管的1/9；该项目部分产品通过了国外权威机构西班牙AENOR和欧盟的CE认证测试，目前申请的德国DVGW认证测试正顺利开展中，拿到了通往国际市场的“通行证”。

**（3）科技查新报告**

该项目曾委托教育部科技查新工作站、广东省科学技术情报研究所针对项目内容及创新点开展了国内外科技成果查新，通过对EI、SCI、西文期刊数据库、Engineering Village数据库、ISI Web of Knowledge数据库、中国科技成果数据库、中国专利文献数据库、中文科技期刊数据库、中国学术会议论文数据库等30多个国内外知名数据库进行检索，检索结果表明，国内外文献未见有与该项目相同的研究内容及相同研究成果的报道，可见该项目具有技术新颖性特点。

**（4）企业用户评价**

项目整体技术应用于日丰各生产基地，项目产品被大型房开、知名管网工程公司采用，取得了它们的高度评价。

日丰企业（佛山）有限公司，日丰企业集团有限公司（国内塑料管道龙头企业）的五大生产基地之一，应用了该项目技术，年产能10万吨以上。与应用前相比，产品原料成本大幅降低，生产效率提高近1倍，节能30%以上。

EMPRESA METAL MEXCANICA S.A.(PERU)（秘鲁著名管道公司）从2015年1月开始陆续采购，评价项目产品耐压性好、耐低温冲击性能优良，施工轻便、快捷，安装效率高，较其国内同类产品综合性能更好，性价比高。

天津津电管网安装工程有限公司（我国北方寒冷地区典型应用单位）从2011年1月即开始应用项目产品，评价产品低温冲击性能优异，在寒冷天气下也不会发生脆裂，可显著提高安装质量，降低客户投诉率。

绿城房地产集团有限公司（全国大型房地产开发商）通过前期的严格考察，从2018年开始与我司签订为期两年的战略合作协议，全面采购本公司含PP-R在内的新型塑料管材，应用于旗下装配式商业住宅产品。

**（5）科技奖励与创新产品**

该项目获得中国循环经济协会科技奖一等奖，形成国家重点新产品1项，广东省高新技术产品5项，通过了北京新华节水产品认证。

**五、应用情况**

目前，该项目技术成果已经实现了产业化转化应用：依托项目技术、装备成果，在国内五大生产基地应用，建成PP-R管材生产线60条，注塑机300台，可生产DN 20-160多种规格的PP-R 管道系列产品，几乎涵盖了PPR管材和管件的所有规格；完成了PP-R管材专用模具、专用配套产品等的设计与开发，实现了新型PPR管材和管件的规模化生产。高性能PPR管道是对普通PPR管道产品的性能作了进一步的拓展及改善，除用于普通冷热水输送系统领域外，还可用于建筑、矿山、工农业、消防喷淋等领域的液体和固液混和物输送，应用范围进一步扩大。项目产品通过1200多家总代理推广应用，形成了五万多家分销商，占有率居国内相关专业市场第一位；产品还通过了国外权威机构如西班牙AENOR、欧盟CE认证，且正积极推进德国DVGW认证，出口到西班牙、亚太、俄罗斯、秘鲁等，改变我国高性能塑料管道进出口局面。近3年实现销售额530434.46万元，利润140354.83万元，节支总额26481.70万元，经济效益显著。

**六、主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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（标准发布）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 | 一种PPR管材挤出生产设备 | 中国 | 201310299206.4 | 2015.08.19 | 1765341 | 日丰企业集团有限公司、佛山市日丰新型管材有限公司 | 王军、彭晓翊、 颜欢、李白千 | 有效 |
| 发明专利 | 一种含氟纳米无机粒子增韧聚合物及其制备方法 | 中国 | 200710027051.3 | 2009.07.08 | 521179 | 中山大学;日丰企业集团有限公司 | 周彤辉、阮文红、章明秋、容敏智、李白千 | 有效 |
| 发明专利 | β-PPR管材及其制备方法 | 中国 | 201610206771.5 | 2018/11/6 | 3138629 | 日丰科技有限公司、日丰企业集团有限公司 | 王军、彭晓翊、李白千、李超浪 | 有效 |
| 发明专利 | 一种硅溶胶负载型β晶聚丙烯成核剂的制备方法 | 中国 | 201510042281.1 | 2016.03.23 | 1994916 | 日丰科技有限公司、日丰企业集团有限公司 | 管子现、李白千、彭晓翊、秦小梅 | 有效 |
| 发明专利 | 多功能PP-R管材及其制备方法 | 中国 | 201210265967.3 | 2015.01.21 | 1572717 | 日丰企业（佛山）有限公司、日丰企业集团有限公司 | 王军、彭晓翊、 秦小梅、李白千 | 有效 |
| 发明专利 | 一种新型预制直埋保温PPR复合管道及其制备方法 | 中国 | 201610292336.9 | 2018.09.21 | 3082254 | 日丰企业集团有限公司、日丰科技有限公司 | 金季靖、彭晓翊、李白千 | 有效 |
| 发明专利 | 一种硅氟改性聚烯烃复合材料及其制备方法 | 中国 | 201410004020.6 | 2016.02.03 | 1939429 | 日丰企业集团有限公司、佛山市日丰新型管材有限公司 | 邓志、彭晓翊、秦小梅、李白千 | 有效 |
| 发明专利 | 一种聚丙烯复合材料及其制备方法 | 中国 | 201410395880.7 | 2017.05.03 | 2469227 | 日丰企业集团有限公司、日丰科技有限公司 | 彭晓翊、李白千、秦小梅、王军 | 有效 |
| 发明专利 | 一步法保温PP-R管材及其制备方法 | 中国 | 201210309033.5 | 2015.2.25 | 1594204 | 日丰企业集团有限公司 | 王军、彭晓翊、 秦小梅、李白千 | 有效 |
| 发明专利 | 一种含石墨烯的增强耐磨材料组合物、增强耐磨材料及制法 | 中国 | 201110313859.4 | 2013.01.16 | 1122305 | 日丰企业集团有限公司 | 李白千、彭晓翊、程小莲 | 有效 |

**七、主要完成人情况**

| **姓名** | **排名** | **技术**  **职称** | **工作单位** | **创造性贡献** | **曾获国家科技奖励情况** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 李白千 | 1 | 教授级高工 | 日丰企业集团有限公司 | 李白千是该项目的总负责人，负责项目总体设计，早期资料搜集，确认开发方向，统筹整个开发进程，围绕创新点1-4开展了大量研究工作，是该项目取得的32项专利的发明人之一。 | 无 |
| 王军 | 2 | 工程师 | 日丰企业集团有限公司 | 王军是该项目的重要技术骨干，负责开展项目管材配方设计、工艺优化等研究。项目进程中，围绕创新点1-4开展了大量研究工作，是该项目取得的14项专利的发明人之一。 | 无 |
| 阮文红 | 3 | 教授 | 中山大学 | 阮文红是该项目合作单位中山大学的技术负责人，主要围绕创新点2、3、4开展了创新工作，突破纳米粒子增韧技术，提高PP-R管道低温韧性，解决脆性开裂难题，是该项目取得的1项专利的发明人之一，17篇论文的作者之一，2部专著的作者之一。 | 无 |
| 张杰 | 4 | 教授 | 四川大学 | 张杰是该项目合作单位四川大学的技术负责人，主要围绕创新点1和创新点4开展了创新工作，突破旋转取向玻纤增强技术、高速节能挤出技术，提高PP-R管道强度，提高生产效率，是该项目取得的2项专利的发明人之一，8篇论文的作者之一。 | 无 |
| 彭晓翊 | 5 | 高级工程师 | 日丰企业集团有限公司 | 彭晓翊是该项目的主要技术骨干，围绕项目创新点1、2、3、4开展了玻纤增强PP-R管道、β成核剂增韧PP-R管道等大量研究工作，是该项目取得的34项专利的发明人之一。 | 无 |
| 章明秋 | 6 | 教授 | 中山大学 | 章明秋是该项目合作单位中山大学的技术参与人，主要围绕创新点2、3、4开展了创新工作，突破纳米粒子增韧技术，提高PP-R管道低温韧性，解决脆性开裂难题，是该项目取得的1项专利的发明人之一，17篇论文的作者之一，2部专著的作者之一。 | 无 |
| 申开智 | 7 | 教授 | 四川大学 | 申开智是该项目合作单位四川大学的技术参与人，主要围绕创新点1、4开展了创新工作，突破旋转取向玻纤增强技术，使玻纤沿周向取向，且部分大分子形成串晶，提高PP-R管道强度，是该项目取得的2项专利的发明人之一，4篇论文的作者之一。 | 无 |
| 秦小梅 | 8 | 工程师 | 日丰企业集团有限公司 | 秦小梅是该项目的主要技术骨干，围绕项目创新点1、2、3开展了大量研究工作，研究了新型β成核剂配方，研究了增强增韧性新能PP-R管道，是该项目取得的23项专利的发明人之一。 | 无 |
| 金季靖 | 9 | 工程师 | 日丰企业集团有限公司 | 金季靖是该项目的主要技术骨干，围绕项目创新点1 “预制直埋保温PP-R管材技术”开展了研究工作，负责管材工作内管、保温层、外护套管的研究，是该项目取得的3项专利的发明人之一。 | 无 |
| 程小莲 | 10 | 工程师 | 日丰企业集团有限公司 | 程小莲是该项目的主要技术骨干之一，围绕创新点1和创新点3开展了大量研究工作，是该项目取得的3项专利的发明人之一。 | 无 |

**八、主要完成单位及创新推广贡献**

**1.日丰企业集团有限公司**

日丰企业集团有限公司，是一家集研发、生产、销售于一体的高新技术企业，公司致力于拓展新型压力管道系统、水暖卫浴、管道阀门、密封胶等系列建材产品，经过二十多年的发展，已成为国内新型管道行业的龙头企业，建有全球第一大铝塑管生产基地。针对聚丙烯管材高温强度低、低温脆性大、生产效率低、长距输送热损大，导致材料消耗多，能源耗费大等行业共性技术难题，日丰企业集团有限公司通过产学研合作，围绕创新点1-4开展了十余年研究，形成了创新性的节能环保高性能PP-R管道及相应的新型成型技术，解决了聚丙烯类管材行业长期未解决的技术难题，拓展及改善了普通PP-R管道产品的性能，生产出系列高性能聚丙烯管材，可满足不同细分领域的应用需求，逐渐将PP-R管材的应用从普通民用拓展到工业、消防喷淋系统等领域，同时提高生产效率，降低能耗。项目期间，获授权发明专利28件，实用新型专利35件，技术标准5项，国家重点新产品1项，广东省高新技术产品5项。同时日丰公司在项目的产业化和应用推广中做了大量工作，取得了显著的经济社会效益，为推动我国高分子行业和建筑管道行业的发展做出了积极的贡献。

**2. 中山大学**

中山大学为项目创新技术主要完成单位之一，对项目创新点2、3、4相关工作作出重要贡献。突破纳米粒子接枝改性、双重界面调控增韧、预牵伸分散技术，将材料结构设计和熔融共混工艺相结合，仅需采用传统塑料成型加工方法即可使纳米粒子均匀分散，形成非层状纳米粒子增韧聚丙烯管道并产业化。研究过程中发表论文二十多篇，参编国内外专著5部。

**3. 四川大学**

四川大学为项目创新技术主要完成单位之一，对项目创新点1和4相关工作作出重要贡献，主要围绕项目创新点“旋转取向玻纤增强技术”、“高速节能挤出技术”两个方面，指导完成聚丙烯管道的生产设备及工艺的研究工作，具体如下：研究旋转取向玻纤增强技术，设计“旋转取向+三层共挤”挤出机模具及机头，协助日丰集团开发出玻纤增强聚丙烯管道，并实现产业化。对PPR高速挤出流变性能进行研究分析，指导挤出机螺杆及机头模具设计，提高PPR生产效率，并优化生产挤出设备传动系统和加热冷却系统，降低生产能耗，实现PPR节能、高速挤出生产。项目进程中，共同申请发明专利2项，实用新型专利2项，其中实用新型专利已授权，发表相关论文8篇。

**4. 日丰企业（佛山）有限公司**

日丰企业（佛山）有限公司成立于2013年，日丰集团有限公司的全资子公司。在该项目过程中，日丰企业（佛山）有限公司全方位配合日丰集团开展项目工作，解决了聚丙烯管材高温强度低、低温脆性大、易透光渗氧、长距离输送热损大及生产效率低等行业共性技术难题，为该项目的产业化应用提供技术支持，保证该项目顺利完成。项目进程中，共同申请了发明专利4件。

**5. 日丰科技有限公司**

日丰科技有限公司成立于2013年，注册资本1300万元，是依据日丰集团未来的发展战略而成立，以高新技术企业为目标，以科技创新保持“日丰”行业领先地位为目的，发展为专业从事新材料开发、应用及技术服务输出的科技公司。在该项目过程中，日丰科技有限公司全方位配合日丰集团开展项目工作，解决了聚丙烯管材高温强度低、低温脆性大、易透光渗氧、长距离输送热损大及生产效率低等行业共性技术难题，为该项目的产业化应用提供技术支持，保证该项目顺利完成。项目进程中，共同申请了发明专利26件。

**九、完成人合作关系说明**

项目完成单位日丰企业集团有限公司、中山大学、四川大学、日丰企业（佛山）有限公司、日丰科技有限公司在高性能聚丙烯管道绿色制造技术及产业化项目开发过程中有着多年的合作，共同承担或参与了该项目的部分工作。项目主要完成人均对本项研究内容开展做出了重要贡献，具体说明如下：

项目第一完成人李白千是日丰集团总工程师，第二完成人王军、第五完成人彭晓翊、第九完成人金季靖是日丰集团研究院的研发骨干，第四完成人张杰、第七完成人申开智是四川大学教授，合作近五年，开展该项目研究，就“基于中间层为玻纤沿周向取向的无规共聚聚丙烯三层复合管”、“中间层纤维沿周向取向的三层塑料复合管的挤管机头”共同申请发明专利2件，实用新型专利2件。

项目第三完成人阮文红、第六完成人章明秋是中山大学材料科学研究所同一课题组成员，与项目第一完成人李白千和第五完成人彭晓翊与从2007年开始共同承担“纳米无机粒子/聚烯烃高性能复合材料应用关键技术”、“牵伸分散纳米粒子技术及其在聚烯烃管材中的应用”等项目，共同申请发明专利1件。

项目第一完成人李白千与第二完成人王军、第五完成人彭晓翊、第八完成人秦小梅就高新能聚丙烯管道开展了多方面研究，包括增韧聚丙烯复合材料、保温PP-R管道等，共同申请3件发明专利“多功能PP-R管材及其制备方法”、“一种聚丙烯复合材料及其制备方法”、“一步法保温PP-R管材及其制备方法”。

项目第一完成人李白千与第五完成人彭晓翊、第九完成人金季靖开展了预制直埋保温PP-R复合管道及其制备技术的研究，共同申请1件发明专利“一种新型预制直埋保温PPR复合管道及其制备方法” 。

项目第一完成人李白千与第五完成人彭晓翊、第十完成人程小莲共同申请1件发明专利“一种含石墨烯的增强耐磨材料组合物、增强耐磨材料及制法”

项目第一完成人李白千与第二完成人王军、第五完成人彭晓翊共同申请1件发明专利“一种PPR管材挤出生产设备”

项目第一完成人李白千与第五完成人彭晓翊、第8完成人秦小梅共同申请2件发明专利一种硅溶胶负载型β晶聚丙烯成核剂的制备方法、“一种硅氟改性聚烯烃复合材料及其制备方法”

除了上述共同知识产权，项目组成员之间还有多种合作方式，如专著合著、论文合著、统统立项、共同获奖等，在此不再一一赘述。