

编者按:

电容器是电力核心设备,广泛应用于家用电器、通信设备、高铁、太阳能和风能发电、高压电力等领域。直流干式电容器作为柔性直流工程大量使用的核心设备,长期被国外企业垄断,进口价格昂贵且供应不稳定,给我国电力能源安全带来隐患。

前不久,基于中国石化超纯净聚丙烯原料生产的国内首批直流干式电容器,在南方电网世界首个±800千伏特高压多端柔性直流工程龙门换流站投运,标志着直流干式电容器这一电力核心设备成功打破国外垄断,对保障我国电力能源安全及电网设备供应链安全有着重大意义。本版推出专题,展示中国石化在推动超纯净聚丙烯原料、电工薄膜产销研用替代进口方面做出的努力。

本版文图除署名外由 潘亚男 赵瑾 张良 王丹丽 丁超兵 孙福国 提供



电力核心设备上国产“膜”

产品名片

超纯净聚丙烯有哪些性能优势?

超纯净低灰分、高等规度聚丙烯制成的聚丙烯(PP)电工薄膜,拥有良好的击穿电压、体积电阻、介电常数、介电损耗等电性能,能够

保证电容器的容量稳定、耐压优异、绝缘电阻性能优良、使用的安全性高及寿命周期长,是电容器薄膜的理想原材料。

超纯净聚丙烯应用在哪些领域?

超纯净聚丙烯可用作电容器膜、锂电池隔膜,在电容器制造中是重要的基础介质材料,现已广泛应用于国防和电子工业,目前国内外都大力发展聚丙烯薄膜电

容器。此外,其在医药、纺织等行业也展现出良好的应用前景,可用于医疗用品、人造短纤维、纺丝无纺布等。

聚丙烯(PP)电工薄膜有哪些特点?

聚丙烯(PP)电工薄膜是一种电性能优异的高频电介质绝缘材料,是BOPP薄膜类的顶端产品。其主要特征:一是可实现超薄化,从而实现电容器的小型化、轻量化;二是可实现粗面化,制成高容量的浸油型电力电容器,这

是现今电容器发展的一个方向;三是介电损耗小,这是能长效稳定工作的主要因素;四是介电常数不随频率变化而变化,这是其在变频电容器中占主要地位的主要因素;五是防潮性能优良,不吸水。

市场情况

2020年中国薄膜电容器市场规模约为102亿元,比上年增长13%。2021年中国薄膜电容器市场规模约为117亿元,比上年增长15%,其中新能源汽车领域薄膜电容器市场规模增长超30%,光伏及风电领域薄膜电容器市场规模增长超20%。

据相关机构预测,未来几年,随着国家在

新基建、物联网、新能源汽车、5G终端等方面加大投入,以及消费类电子产品持续升级,薄膜电容器的市场需求将进一步呈现快速增长趋势,有望产生100亿元以上的增量市场规模,年复合增长率超过13%,这也将带动薄膜电容器生产原料——超纯净聚丙烯需求的持续增长。

原料研发

企业足音

北化院:打破超纯净聚丙烯树脂技术垄断

2008年初,国内市场对超纯净聚丙烯树脂提出了迫切需求,这种树脂的灰分比常规树脂低80%~90%,主要用于高档锂电池隔膜和电容器膜料。

进口超纯净聚丙烯是采用聚合后洗涤脱灰得到的,生产工艺高能耗、高污染和高成本。北化院决定从催化剂入手,通过催化剂的创新来达到直接由反应器中制备超纯净聚丙烯的目的。

北化院科研团队经过最初的探索研究,制备出活性为现有主流催化剂两倍的催化剂。在此基础上,他们对配方及工艺进行优化,使催化剂的活性达到主流商业

化催化剂活性的3倍以上,并且可以在活化剂使用量降低80%~90%的情况下保持活性。科研团队将这一催化剂命名为HA催化剂,这也是目前国际上活性最高的商业化催化剂。

HA催化剂开发成功后,北化院科研团队开发了与之配套的直接本体法生产超纯净聚丙烯技术。与现有生产超纯净聚丙烯技术相比,该技术从催化剂到工艺都进行了创新,处于国际领先地位。这一技术的成功实施,打破了进口树脂的垄断。

随着应用HA催化剂开发的超纯净聚丙烯在电工膜领域逐步推广,科研团队发

现目前产品在满足高纯度的要求下,难以同时满足高等规度的需求。他们再次聚焦催化剂开展深入研究,发现了提高立构定向性的方法,进一步开发了超立构定向性超高活性的HA-R催化剂,并基于该催化剂开发了配套的聚合工艺技术。

2021年,HA-R催化剂首次在中原石化工业装置上成功应用,并陆续攻克了薄膜击穿电压低、耐久性不足、析出物多等系列技术难题,生产出性能优异的系列电工膜产品FC03、FC03R、FA02等。FC03成功用于我国自主生产的首批直流干式电容器。

开发生产

中原石化:产品性能达到国际先进水平

国内首批直流干式电容器在南方电网龙门换流站投运前,国内所有柔直工程使用的直流干式电容器依赖整机进口,正是因为生产这种电容器所需的关键原材料——超纯净聚丙烯料还停留在实验阶段,无法实现量产,同时国内也没有一套完整有效的可靠性论证技术及产品标准,导致我国直流干式电容器整个产业链长期存在严重短板。

中原石化联合南方电网、科研院所、知名高校、下游企业十余家单位构建全产业链融合创新的合作机制,形成“1+10+3”创新联合体。通过5年艰难探索,共组

织试生产26次,优化关键参数14次,实施技术改造项目6个,最终生产出合格的电工用聚丙烯粗化膜料和电工用聚丙烯金属化膜料,并分别通过权威部门新产品技术鉴定。

根据下游客户应用过程中反馈的问题,中原石化持续优化生产方案、助剂体系,产品质量明显提升。工艺专家、技术专家、分析专家、信息专家组成创新攻关团队,从科研开发投入、市场调研、原料质量管控、检验分析等方面保障电工膜料生产。

相较国外同类产品,中原石化生产

的聚丙烯电工膜料采用“一步法”工艺,没有洗涤脱灰工序,不仅环保,而且运行成本、产品成本、运输成本低,价格优势明显,影响供货稳定性的意外干扰因素少。2月18日,电工用聚丙烯粗化膜料、电容器用聚丙烯薄膜、国产化柔性直流输电换流站用干式电容器等产品,顺利通过了中国机械工业联合会组织的新产品技术鉴定。电容器在南方电网的工业化示范应用,为后续柔直工程大规模应用国产电容器设备打下坚实基础,也为中国石化超纯净聚丙烯原料及国产电容器薄膜的全面推广注入强劲动力。

市场供销

化销华中:助南方电网解决“卡脖子”产品难题

化销华中员工在走访锂电池隔膜料市场时了解到:直流干式电容器作为柔性直流工程大量使用的核心设备,长期以来被国外企业垄断。生产这种电容器所需的关键原材料——超纯净低灰分、高等规度聚丙烯是我国的“卡脖子”产品之一。

化销华中一方面积极帮助中原石化克服装置困难,运用北化院超高活性催化剂尝试生产超纯净聚丙烯;另一方面,携手南方电网等产业链下游客户,并借助高

校科研力量,推动产销研用协同攻关替代进口原材料。

2018年,中原石化首次产出超纯净聚丙烯膜料FC03,由于缺乏足够的试用反馈,未收到预期效果。随后的几年时间,化销华中发挥桥梁作用,密切产销研用结合。经过反复论证方案、多次试用反馈、调整工艺配方,化销华中协助中原石化调整试产十余批次产品,不断破解产品灰分超标、薄膜击穿电压低、耐久性不足等技术难

题,最终于2022年生产出性能优异、具备量产条件的电容器薄膜产品。

2022年12月,应用超纯净聚丙烯膜料FC03生产的直流干式电容器通过型式试验;2023年2月,通过中国机械工业联合会组织的新产品技术鉴定。电容器在南方电网的工业化示范应用,为后续柔直工程大规模应用国产电容器设备打下坚实基础,也为中国石化超纯净聚丙烯原料及国产电容器薄膜的全面推广注入强劲动力。

用户反馈

南方电网:“产品在不同生产线均具适应性”

早期超纯净电容器膜料制成电容器测试后,高温下电容衰减较快、耐久性不足。经过不断改进,我们反馈的灰分超标、薄膜击穿电压低、电容衰减较快等一系列技术难题被陆续解决。通过试制数千个电容器元件及上百台样机、开展上千小时的摸底试验,我们验证了中国石化产品在不同生产线上的适应性,目前有多家电容器制造企业在同步应用。

国产设备的大规模推广应用有效降低了直流干式电容器采购成本。以龙门站为例,电容器如果全部换成国产化设备,一个站就能够节省成本5000万元以上。

直流干式电容器从材料、设计、研发到生产实现全链条自主可控,对打破国外技术垄断、扩充关键技术装备国产化序列、保障电网设备产业链供应链安全有着重大意义,必将促进我国干式直流电容器制造行业的快速发展,进一步带动相关产业高端电工绝缘材料工业化制备水平,推动我国高端装备制造业的国产化升级,具有广阔的应用前景。(南方电网科研院院长 蔡希鹏)

新闻会客厅

加快大规模应用 满足市场需求



集团公司高级专家 夏先知

问:超高活性催化剂在生产超纯净聚丙烯方面发挥了怎样的作用?在行业内处于什么水平?

夏先知:电容器膜用超纯净聚丙烯树脂,需要灰分含量低或者说超纯净,且聚丙烯的分子链结构、凝聚态结构都要符合特定的要求。

中原石化采用连续本体聚合工艺不经过溶剂洗涤,批量稳定大规模生产电容器膜用超纯净聚丙烯树脂的方法,是一种绿色低碳的生产方法。该方法对所使用的催化剂性能要求很高,需要催化剂在多种工艺条件下具有超高的活性,使所生产的聚丙烯灰分超低。同时,催化剂还要具有高的定向能力等,使所生产的聚丙烯具有很高的等规度、合适的等规度分布及分子量分布等,一般的催化剂是达不到的。

北化院开发的HA及HA-R催化剂,具有优异的性能,能满足上述要求。北化院和中原石化充分合作,使用HA和HA-R催化剂,通过聚合中的操作过程、工艺参数等的调整及添加剂的调整等,经过多次实验,成功生产出各项指标合格的电容器膜用超纯净聚丙烯树脂。可以说,催化剂在这种特殊树脂的生产中起到关键核心作用。

超纯净聚丙烯树脂的绿色低碳生产及其在电容器中的成功应用,充分表明中国石化在超纯净聚丙烯的生产及应用方面,已经处于世界领先水平,同时表明中国石化的HA及HA-R催化剂是世界领先的聚烯烃催化剂。



中原石化首席技师 杨雷

问:聚丙烯电工膜系列产品在研发生产过程中有哪些难点问题?

杨雷:一是技术创新突破难度大。超纯净电工级聚丙烯树脂不同于传统的聚丙烯产品,对灰分指标要求特别严(≤25ppm)。常规的聚丙烯产品一般在150ppm~200ppm,远远达不到指标要求。国外公司大多采用“淤浆聚合+洗涤脱灰”的“两步法”进行生产。中原石化利用北化院自主知识产权的超高活性催化剂,在中国石化ST-II环管法聚丙烯装置上采取“一步法”直接聚合生成低灰分、高等规的聚合物粉料,再辅以适配国产粉料分子结构的助剂体系及全流程的洁净化控制,最终得到符合要求的电工膜产品。

二是生产稳定控制难度大。电工膜料对产品关键指标及批次间质量均一性要求较高,再加上高活性催化剂与传统催化剂的特性区别较大,生产初期因没有数据作参考,没有经验可借鉴,装置运行稳定性差,切换过程长,严重时导致装置非计划停工。中原石化通过优化调整关键工艺参数,同时发挥APC(先进过程控制)、隐屏智能等系统的作用,使装置运行稳定性及产品质量明显提升,较好地解决了生产难、控制难、稳定难等问题。



化销华中分公司代表、党委书记 于士如

问:聚丙烯电工膜产品的市场前景怎样?

于士如:目前国内有十余家电容器膜生产厂家,生产电容器膜所用的聚丙烯原料基本为进口产品,年进口量超10万吨。其中,北欧产品曾垄断中国市场数十年,后来韩国、新加坡相关产品也相继进入中国市场。

随着近年来国家特高压电网的发展、高铁的建设、新能源汽车的推广、风能和太阳能行业的快速发展,尤其是“双碳”目标的推进,未来我国还会持续加大对新能源的扶持力度,新能源汽车行业将迎来重要发展机遇,风能和太阳能行业也会在政策支持和成本下降的双重推动下,以超常规的速度发展。因此,未来市场对耐热性好、耐压能力强、安全防爆的薄膜电容器需求将快速增长,聚丙烯电工膜产品具有良好的市场前景和经济效益。

化销华中立足化工产业链的“桥梁纽带”定位,不断深化与科研院所、生产企业、龙头客户的合作,凝聚“产销研用”攻关合力,协同推进高端化工材料开发、高附加值产品推广。此次中国石化突破“卡脖子”技术研发的超纯净聚丙烯原料,成功应用于我国自主生产的首批直流干式电容器,并在南方电网投运,为后续柔直工程大规模应用国产电容器设备打下坚实基础。

