

石墨产业资源现状及发展趋势分析*

杜轶伦^{1,2)}, 雷晓力^{1,2)}, 胡永达^{1,2)}, 季洪伟^{1,2)}

1) 中国地质调查局发展研究中心, 北京, 100037; 2) 国土资源部矿产勘查技术指导中心, 北京, 100120

关键词: 技术提升; 勘查开发协调; 产业聚集; 发展规划

石墨是我国优势矿产,同战略性新兴产业的重要的原材料。本文分析了我国石墨矿工业十二五取得的成绩,分析我国石墨矿产业的发展趋势,同时跟踪了石墨烯产业的发展。

1 我国石墨矿工业十二五取得的成绩

技术工业提升, 勘查开发更加协调。开发应用一批新工艺、新技术、促进了石墨行业的发展。鳞片石墨选矿工艺技术提升, 鳞片石墨选矿最终混合目精矿品位可达 95%以上。查明资源量大幅增加。晶质石墨资源量由 2010 年的 184.90Mt 上升到 264.53Mt, 增加资源量 79.627Mt, 增幅 43.06%, 储量居世界首位。鳞片石墨产量有所下降, 由 2010 年的 0.65Mt 下降到 0.60Mt, 年均增长率为-1.59%。

产业聚集速度加快, 结构优化取得成效。石墨依托资源产地逐步形成一定规模的采选加工基地, 产业向集群园区集中。“十二五”期间, 建成黑龙江鹤岗、鸡西石墨等产业集群。石墨矿山治理整顿不断加强, 开发秩序逐渐规范; 规模以上的非金属企业数量在逐年增大; 石墨矿产品质量、品种规格有所提升, 开发了石墨新能源材料、石墨散热导电材料、高性能石墨密封材料等深加工产品。

绿色矿山试点成功, 示范建设初见成效。非金属矿行业绿色矿山试点单位, 共计 59 家, 涵盖非金属矿产有石墨等 12 种。试点矿山企业在资源利用、技术创新、节能减排、环境保护、土地复垦和矿山绿化等领域进步明显, 在行业内属领先和先进水平, 对非金属矿行业绿色矿山建设具有引领和示范作用。

高层高度重视, 产业联盟建立。2014 年 12 月 14 日, 习近平来到南京市考察江苏省产业技术研究院调研, 在成果展示区, 他拿起石墨烯气体阻隔膜, 了解产品性能、市场应用、产业前景等, 得知这一产品达到国际领先水平, 习近平指出实现我国经济持续健康发展, 必须依靠创新驱动。要深入推进科技和经济紧密结合, 推动产学研深度融合, 实现科技同产业无缝对接, 不断提高科技进步对经济增长的贡献度。2015 年访英期间, 习近平将相继参观伦敦的帝国理工学院和曼彻斯特大学的石墨烯研究所。2016 年, 工信部批复关于支持筹建中国石墨产业发展联盟。批复提出, 筹建产业联盟, 要以保护和合理开发利用石墨资源、加快石墨材料产业化进程和构建完善石墨上下游产业链为宗旨。

2 我国石墨矿产业发展趋势

石墨需求将进一步增加, 2015 年石墨的表观消费量为 110 万吨, 其中晶质石墨为 0.65Mt, 微晶石墨 0.45Mt, 非金属协会预测 2020 年表观消费量为 1.65Mt, 其中晶质石墨为 0.85Mt, 微晶石墨为 0.80Mt。

2015 年, 国务院发布《中国制造 2025》, 文件指出要高度关注颠覆性新材料对传统材料的影响, 做好石墨烯等战略前沿材料提前布局和研制, 加快基础材料升级换代。电动汽车锂电池用石墨烯基电极材料较现有材料充电时间缩短 1 倍以上, 续航里程提高 1 倍以上。海洋工程等用石墨烯基防腐蚀涂料较传统防腐蚀涂料寿命提高 1 倍以上。柔性电子用石墨烯薄膜性价比超过 ITO, 且具有优异柔性, 可广泛应用于柔性电子领域。光/电领域用石墨烯基高性能热界面材料较现有产品性能提高 2 倍以上。整体突破石墨烯的规模制备技术, 石墨烯粉体

*注: 本文为地质调查项目“保护性开采特定矿种开发管理及矿业权相关制度研究”的成果。

收稿日期: 2016-07-10; 改回日期: 2016-09-20; 责任编辑: 费红彩。 Doi: 10.16509/j.georeview.2016.s1.047

作者简介: 杜轶伦, 男, 1985 年生。博士, 高级工程师现从事战略性矿产研究工作。Email: dylbeijing@163.com。

的分散技术，石墨烯基电极材料的复合技术。

3 世界石墨矿资源现状

全球石墨资源丰富，在五大洲均发现天然石墨资源，推测资源量超过 0.8Gt。2015 年世界基础储量估计 0.23Gt，比 2014 年 0.113Gt 增长了 1 倍。其中，土耳其 90.00Mt，巴西 72.00Mt，中国 55.00Mt，印度 8.00Mt，马达加斯加 0.94Mt。世界天然石墨产量 1.19Mt，与 2014 年持平。中国石墨产量居世界首位，为 0.78Mt，与 2014 年持平；印度石墨产量 0.17Mt，也与 2014 年持平；土耳其 32kt，与 2014 年的 29kt 增加了 10%；莫桑比克发现了大量的石墨矿资源，今后在石墨资源储量上有望超过中国。

4 石墨烯性能及主要应用

石墨烯具有许多优异特性，如超薄超轻：石墨烯厚 0.34 nm，比表面积 2630 m²/g；电子迁移率高，室温下为 20 万 cm²/V.S；电流密度耐性大，有望达到 2 亿 A/cm²；强度大，约为 180 GPa。此外，石墨烯也具有独特性质：高性能传感器功能；催化剂功能；吸氢功能；双极半导体功能；无散射传输功能；应力传感器功能等等。依据这些特性，石墨烯在新能源、生物技术、航空航天、集成电路、交通运输等方面可发挥巨大的作用。

目前已知制备石墨烯的方法有 10 种以上，主流的包括机械剥离法、化学气相沉淀法、外延生长法和氧化还原法等。此外，还可以通过石墨插层、有机合成、晶膜生长、溶剂加热等方法。现将几种主流方法优缺点列表如下：

制备方法	技术优势	缺点
机械剥离法	操作简单，石墨烯晶体结构完整	生产效率低，成本高
化学气相沉淀法	生产率高，适用于大面积石墨烯薄膜制备	石墨烯尺寸线，存在缺陷
外延生长法	石墨烯质量高，面积相对较大	能耗大
氧化还原法	技术成熟，方法简单，成本低廉	石墨烯结构破坏较为严重，只能供给低端使用

石墨烯应用广泛，在新材料领域、能源领域、电子领域、环境领域、医药领域都有着不错的应用前景。

新材料领域：可用于防腐涂料、散热材料、电化学材料、功能增强材料；

能源领域：可用于超级电容器以及锂离子电池；

电子领域：可用于触控屏、电子元器件、传感器材料、燃料电池材料；

环境领域：可用于金属污染土壤修复、重金属污染治理、海水淡化以及雾霾预警；

医药领域：可用于靶向药物输送以及催化载体。

DU Yilun, LEI Xiaoli, HU Yongda, JI Hongwei:
Present Situation of Graphite Resources and
Analysis of Development Trend of the Industry

Keywords: Technical improvement; Coordination
of exploration and development; Industry
agglomeration; Development plan