



附表 1

完成人合作关系说明

工业燃煤锅炉、钢铁等行业烟气中细颗粒物粒径小、扩散性强、常规除尘设备捕集效率有限，尤其是亚微米及微米级颗粒物难以实现高效脱除；同时，传统烟气治理主要以颗粒物质量浓度和去除效率作为评价指标，对不同工序、不同净化环节细颗粒物的毒性效应及健康风险认识不足。细颗粒物“难检测、难捕集、风险不清”已成为制约工业烟气深度治理和大气污染精准防控的重要技术问题。面向工业烟气污染深度治理以及环境健康风险协同控制需求，亟需建立集细颗粒物精准检测、高效凝聚捕集、成套装备开发及毒性风险评价于一体的全过程技术体系。

在此背景下，自 2012 年起，中国重型机械研究院股份公司联合西安理工大学、西安科技大学、宝山钢铁股份有限公司，依托陕西省科技统筹创新工程计划项目“燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范”（项目编号：2012KTZB03-01-02），组织张磊、何剑、张蕾、刘道清、叶志刚、徐志嫻、宋瑞康等科研与工程技术人员开展联合技术攻关及后期应用。项目实施过程中，各完成人围绕“细颗粒物高效减排与毒性风险管控”总体目标，充分发挥科研院所、高校及大型工业企业在装备研发、污染控制机理、测试评价、毒理分析和工程应用等方面的优势，通过联合试验、技术研讨、现场测试、装备开发及示范工程建设等方式，形成了长期稳定、分工明确、优势互补的产学研协同合作关系，单位之间以及人员之间相互配合共同完成项目涉及的各项任务。

第一完成人张磊，现在中国重型机械研究院股份公司工作。2012-2015 年，张磊与张蕾、何剑共同承担陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，围绕燃煤锅炉细颗粒物污染控制及技术集成开展联合攻关，并完成项目实施及结题。2012-2016 年，张磊与张蕾合作开展烟气污染控制研究，共同发表学术论文 The preparation of composite carrier by using diatomite and activated carbon for desulfurization in flue gas. 2017 年-2020 年，张磊与何剑、张蕾合作开展抑尘剂相关研究，共同发表学术论文 Preparation of Lignite Dust Suppressant by Compound Surfactants and Effect of Inorganic Salt on Dust Suppressant. 2012 年-2026 年，张磊与何剑、张蕾、刘道清、叶志刚、徐志嫻、宋瑞康延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》，并进行项目鉴定（科技成果评价报告：2026XCP01820）。

第二完成人何剑，现在西安理工大学工作。2012-2015 年，何剑与张磊、张



蕾共同承担陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，围绕燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术开展合作研究，并完成项目实施及结题。2013-2015 年，何剑与刘道清围绕微细颗粒物电凝聚强化控制开展技术研发，共同获得授权发明专利“一种降温电凝并装置及方法”（专利授权号：ZL201510369213.6）。2021-2024 年，何剑与徐志嫻围绕工业烟气颗粒物毒性效应及健康风险开展合作研究，共同发表学术论文《钢铁厂不同工序排放的颗粒物毒理机制探究》。2017 年-2020 年，何剑与张磊、张蕾合作开展抑尘剂相关研究，共同发表学术论文 Preparation of Lignite Dust Suppressant by Compound Surfactants and Effect of Inorganic Salt on Dust Suppressant。2012 年-2026 年，何剑与张磊、张蕾、刘道清、叶志刚、徐志嫻、宋瑞康延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》，并进行项目鉴定（科技成果评价报告：2026XCP01820）。

第三完成人张蕾，现在西安科技大学工作。2012-2015 年，张蕾与张磊、何剑共同承担陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，围绕燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术开展联合研究，并完成项目立项实施及结题验收。2012-2016 年，张蕾与张磊围绕燃煤烟气污染控制开展合作研究，共同发表学术论文 The preparation of composite carrier by using diatomite and activated carbon for desulfurization in flue gas。2017 年-2020 年，张磊与何剑、张蕾合作开展抑尘剂相关研究，共同发表学术论文 Preparation of Lignite Dust Suppressant by Compound Surfactants and Effect of Inorganic Salt on Dust Suppressant。2022-2025 年，张蕾与宋瑞康围绕烟气污染物协同净化及催化材料开展合作研究，共同发表学术论文 Study on Synergistic Desulfurization and Chlorine Resistance of Alkaline Metal Oxides@ZrO₂/γ-Al₂O₃-Loaded Catalysts。2012 年-2026 年，张蕾与张磊、何剑、刘道清、叶志刚、徐志嫻、宋瑞康延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》，并进行项目鉴定（科技成果评价报告：2026XCP01820）。

第四完成人刘道清，现在宝山钢铁股份有限公司工作。2012 年-2026 年，刘道清与张磊、何剑、张蕾、叶志刚、徐志嫻、宋瑞康延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》，共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》，并进行项目鉴定（科技成果评价报告：2026XCP01820）。2013-2015 年，刘道清与何剑围绕微细颗粒物电凝聚强化控制开展技术研发，共同获得授权发明专利“一种降温电凝



并装置及方法”(专利授权号: ZL201510369213.6)。

第五完成人叶志刚, 现在中国重型机械研究院股份公司工作。2012年-2026年, 叶志刚与张磊、何剑、张蕾、刘道清、徐志嫻、宋瑞康延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》, 共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》, 并进行项目鉴定(科技成果评价报告: 2026XCP01820)。

第六完成人徐志嫻, 现在西安理工大学工作。2021-2024年, 徐志嫻与何剑围绕工业烟气颗粒物毒性效应及健康风险开展合作研究, 共同发表学术论文《钢铁厂不同工序排放的颗粒物毒理机制探究》。2012年-2026年, 徐志嫻与张磊、何剑、张蕾、刘道清、叶志刚、宋瑞康延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》, 共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》, 并进行项目鉴定(科技成果评价报告: 2026XCP01820)。

第七完成人宋瑞康, 现就读于西安科技大学。2012年-2026年, 宋瑞康与张磊、何剑、张蕾、刘道清、叶志刚、徐志嫻延续陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》, 共同完成《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》, 并进行项目鉴定(科技成果评价报告: 2026XCP01820)。2022-2025年, 张蕾与宋瑞康围绕烟气污染物协同净化及催化材料开展合作研究, 共同发表学术论文 Study on Synergistic Desulfurization and Chlorine Resistance of Alkaline Metal Oxides@ZrO₂/γ-Al₂O₃-Loaded Catalysts。

各完成人长期围绕工业烟气细颗粒物污染控制、颗粒物凝聚强化、烟气污染物协同净化以及颗粒物毒性效应与健康风险评价等方向开展持续合作, 通过共同承担科研项目、合作发表学术论文、形成授权发明专利及共同获得科技奖励, 逐步建立了由基础研究—关键技术研发—知识产权形成—成果评价与应用相衔接的稳定合作关系, 为本项目工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术体系的形成及工程化应用奠定了良好的合作基础。

第一完成人签名:

张磊



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同立项	张磊/2, 张蕾/19, 何剑/21	2012 年 8 月	2015 年 12 月	《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》立项、结题	陕西省科技统筹创新工程计划重大项目《燃煤锅炉细颗粒物污染控制技术与集成示范》项目合同书、结题证明
2	共同成果鉴定	张磊/1, 何剑/2, 张蕾/4, 刘道清/5, 叶志刚/6, 徐志嫻/7, 宋瑞康/8	2012 年 8 月	2026 年 9 月	科技成果鉴定《工业烟气细颗粒物高效控制与健康风险评价关键技术及应用》	科技成果评价报告（报告编号：2026XCP01820）
3	论文合著	张蕾/1, 张磊/2	2012 年 8 月	2016 年 9 月	The preparation of composite carrier by using diatomite and activated carbon for desulfurization in flue gas	期刊封面及目录、论文原文（入藏号 000376707900030）
4	论文合著	何剑/1, 徐志嫻/4	2021 年 6 月	2024 年 6 月	钢铁厂不同工序排放的颗粒物毒理机制探究	期刊封面及目录、论文原文 DOI（10.13671/j.hjkxxb.2024.0277）



科学技术奖励工作办公室

5	论文合著	张蕾/1, 宋瑞康/5	2022 年 9 月	2025 年 5 月	Study on Synergistic Desulfurization and Chlorine Resistance of Alkaline Metal Oxides@ZrO ₂ /γ-Al ₂ O ₃ -Loaded Catalysts	检索证明及 DOI 号 (10.1002/ade m.202500654)
6	论文合著	何剑/1, 张蕾/3, 张磊/4	2017 年 4 月	2020 年 10 月	Preparation of Lignite Dust Suppressant by Compound Surfactants and Effect of Inorganic Salt on Dust Suppressant	检索证明及 DOI 号 (10.1155/202 0/6278703)
7	共同知识产权	刘道清/1, 何剑/3	2013 年 6 月	2015 年 6 月	发明专利 “一种降温电凝并装置及方法”	专利证书 (专利授权号: ZL2015103692 13.6)

承诺: 本人作为项目第一完成人, 对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责, 特此声明。

第一完成人签名:

张磊