2019 年度教育部高等学校自然科学奖

参与项目公示

项目名称	具有独特微观结构和优异力学性能水凝胶的制备新方法
推荐单位	北京师范大学
项目简介	该项目属于化学科学中高分子化学与物理的功能高分子研究领域。水凝胶是一类典型的软、湿材料，但是普通的合成高分子凝胶的力学性能通常极差，这极大地限制了其在人工肌肉、软机械、致动器、组织工程和柔性电子器件等方面的应用。近年来关于高机械强度水凝胶的研究已成为一个热点。制备具有优异力学性能水凝胶的核心和重要挑战是如何设计、制备独特的微观（交联）结构并赋予其有效的能量分散机制。为此，该项目开发了多种创新性强、简便、通用的制备具有新颖微观结构凝胶的方法，所得凝胶的多项力学性能指标处于当时最高水平或领先水平。主要科学发现包括： 1） 开发了基于多官能度引发和交联中心(PFICC)制备高机械强度凝胶的方法。以过氧化的大分子微球和氧化石墨烯等作为 PFICC，制备了大分子微球复合(MMC)凝胶和氧化石墨烯(GO)纳米复合凝胶等具有非常优异力学性能的水凝胶。美国科学院院士哈佛大学锁志刚教授等在 Nature 发表的文章以及日本北海道大学龚剑萍教授在其发表在 Nat. Mater.的文章中引用的几种典型高强度凝胶中就包括了 MMC 凝胶，龚剑萍教授还说“MMC 凝胶受到了更多的关注”，法国 Creton 教授说“这一策略已被应用和广泛地研究”。美国国家工程院和医学科学院院士 Nicolas A. Peppas 等对 GO 复合凝胶的制备方法、性能等作了详细介绍。 2） 首创完全依赖聚合物之间强的、类似化学交联的协同氢键作用制备高强度水凝胶的方法。所得水凝胶表现出高的拉伸强度（1.20 MPa）和极高的伸长率（高达 4200%）。还制备了一种基于强、弱氢键物理交联的形状记忆凝胶。Sastry 等在 Chem. Rev.的文章和刘文广教授等在 Prog. Polym. Sci.的综述文章都对这些工作进行了重点评述。 3） 对海蜇中胶层的微观结构和性能进行了研究，在海蜇中引入合成凝胶，得到了具有优异力学性能的复合凝胶。Schmidt

	等评价说“这一概念及其结果可能产生关于微观结构对高强水凝胶设计的影响方面的新知识。”采用定向冷冻-解冻法和自己开发的定向冷冻辐射聚合(交联)法和定向冷冻氧化还原引发聚合法，制备了多种在微观结构和力学性能、溶胀性能等方面均表现出显著的各向异性的仿生高强度水凝胶。 4) 开发了离子转移印花（ITP）技术制备了具有复杂和可控变形的水凝胶及多种制备具有环境响应性和其他功能性的高强度凝胶的方法。 该项目在 Adv. Mater.，Adv. Funct. Mater.，ACS Nano，ACS Appl. Mater. Interfaces, Macromolecules 等期刊上发表 SCI 论文 32 篇。8 篇代表性论文 SCI 他引 784 次，被 Nature，Nat. Mater.，Prog. Polym. Sci., Chem. Soc. Rev.等权威期刊重点评述并高度评价。为“Handbook of Biomimetics and Bioinspiration”一书撰写“Jellyfish Inspired Hybrid Hydrogels”一章。授权专利 2 项。多次应邀在国际、国内学术会议上做大会报告和邀请报告。
主要完成人情况表	**汪辉亮**，排名：1，技术职称：教授 工作单位：北京师范大学，完成单位：北京师范大学 对本项目贡献：项目负责人，提出本项目所涉及的所有研究成果的关键学术思想和主要实验方案，负责组织和指导研究，参与了部分实验，撰写或修改定稿了所有的论文和专利文书，对所有发现点 1 到 4 都做出了创造性贡献,是 8 篇代表性论文的通讯作者。 **贺昌城**，排名：2，技术职称：副教授 工作单位：北京师范大学，完成单位：北京师范大学 对本项目贡献：项目重要参与人，参与水凝胶材料的结构设计与合成制备的配方与工艺设计，指导部分研究生进行凝胶材料制备及结构表征与性能测试，参与研究论文的撰写与修改等。对代表性论文 2、3、4、7 有重要贡献。 **黄庭**，排名：3，技术职称：高级工程师 工作单位：中国石油化工股份有限公司北京化工研究院，完成单位：北京师范大学 对本项目贡献：制备了具有均匀微观结构和优异力学性能的大分子微球复合(MMC)凝胶。对发现点 1 做出了实质性贡献。代表性论文 1 的第一作者。 **刘佳奇**，排名：4，技术职称：讲师 工作单位：首都师范大学，完成单位：北京师范大学 对本项目贡献：通过辐射化学方法实现了石墨烯的过氧化，并利用过氧化石墨烯(GPO)为引发和交联中心，制备了高机械强度的 GO 纳米复合水凝胶，并发现了这种凝胶的自愈性能。对发现点 1 做出了实质性贡献。代表性论文 2、3 的第一作者。

	张林，排名：5，技术职称：实验师 工作单位：营口理工学院，完成单位：北京师范大学 对本项目贡献：采用自制定向冷冻装置通过定向冷冻-解冻方法制备了具有规则取向孔洞结构的聚乙烯醇(PVA)水凝胶。对发现点 3 做出了实质性贡献。代表性论文 7 的第一作者。 **陈亚男**，排名：6，技术职称：无 工作单位：北京师范大学，完成单位：北京师范大学 对本项目贡献：利用强弱两种氢键作用，用聚乙烯醇（PVA）和单宁酸（TA）制备了一种具有优异力学性能和形状记忆行为的高强度凝胶。还以海蜇凝胶作为基底制备具有催化活性的金属或者金属氧化物纳米粒子复合凝胶。对发现点 2、3 有重要贡献。代表性论文 5 的第一作者。

序号	论文、专著 名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码 年(卷): 页码	发表年月	通讯作者 / 第一作者 (中文名)	SCI 他引次数	他引总次数	是否国内完成
1	A novel hydrogel with high mechanical strength: A macromolecular microsphere composite hydrogel. ***Advanced Materials***. Huang, Ting; Xu, Hongguang; Jiao, Kexin; Zhu, Liping; Brown, Hugh R.; Wang, Huiliang	21.95	2007, *19* (12), 1622-1626	2007.6	汪辉亮/黄庭	397	433	是
2	Synthesis of Graphene Peroxide and Its Application in Fabricating Super Extensible and Highly Resilient Nanocomposite Hydrogels. ***Acs Nano***.	13.709	2012, 6 (9), 8194-8202	2012.9	杨晓晶、汪辉亮/刘佳奇	87	94	是

	Liu, Jiaqi; Chen, Caifeng; He, Changcheng; Zhao, Jing; Yang, Xiaojing; Wang, Huiliang							
3	Self-Healing in Tough Graphene Oxide Composite Hydrogels. ***Macromolecular Rapid Communications***. Liu, Jiaqi; Song, Guoshan; He, Changcheng; Wang, Huiliang	4.441	2013, 34 (12), 1002-1007	2013.6	汪辉亮/刘佳奇	81	87	是
4	Facile Fabrication of Tough Hydrogels Physically Cross-Linked by Strong Cooperative Hydrogen Bonding. ***Macromolecules***. Song, Guoshan; Zhang, Lei; He, Changcheng; Fang, De-Cai; Whitten, Phillip G.; Wang, Huiliang	5.914	2013, 46 (18), 7423-7435	2013.9	汪辉亮/宋国山	59	60	是
5	Poly(vinyl alcohol)-Tannic Acid Hydrogels with Excellent Mechanical Properties and Shape Memory Behaviors. ***Acs Applied Materials & Interfaces***, Chen, Ya-Nan; Peng, Lufang; Liu, Tianqi; Wang, Yaxin; Shi, Shengjie; Wang, Huiliang	8.097	2016, 8 (40), 27199-27206	2016.10	汪辉亮/陈亚男	48	48	是

6	Jellyfish gel and its hybrid hydrogels with high mechanical strength. ***Soft Matter***. Wang, Xuezhen; Wang, Huiliang; Brown, Hugh R.	3.709	2011, 7 (1), 211-219	2011.1	汪辉亮/王雪珍	35	35	是
7	Anisotropic tough poly(vinyl alcohol) hydrogels. ***Soft Matter,*** Zhang, Lin; Zhao, Jing; Zhu, Jintang; He, Changcheng; Wang, Huiliang	3.709	2012, 8 (40), 10439-10447	2012.8	汪辉亮/张林	54	55	是
8	Tough Hydrogels with Programmable and Complex Shape Deformations by Ion Dip-Dyeing and Transfer Printing. ***Advanced Functional Materials***, Peng, Xin; Li, Yang; Zhang, Qin; Shang, Cong; Bai, Qin-Wen; Wang, Huiliang	13.325	2016, 26 (25), 4491-4500	2016.7	汪辉亮/彭欣	23	24	是