金属有机框架(Metal Organic Frameworks，MOFs)材料热点及前沿

——从文献计量角度分析

北京工业大学图书馆

2016 年 12 月

目 录

37%，2015 年，更是超过国外 WOS 论文的总和。图 1 是全球历年来 MOFs 论文的发表情况，图 1-2 是国内外 MOFs 论文的对比。

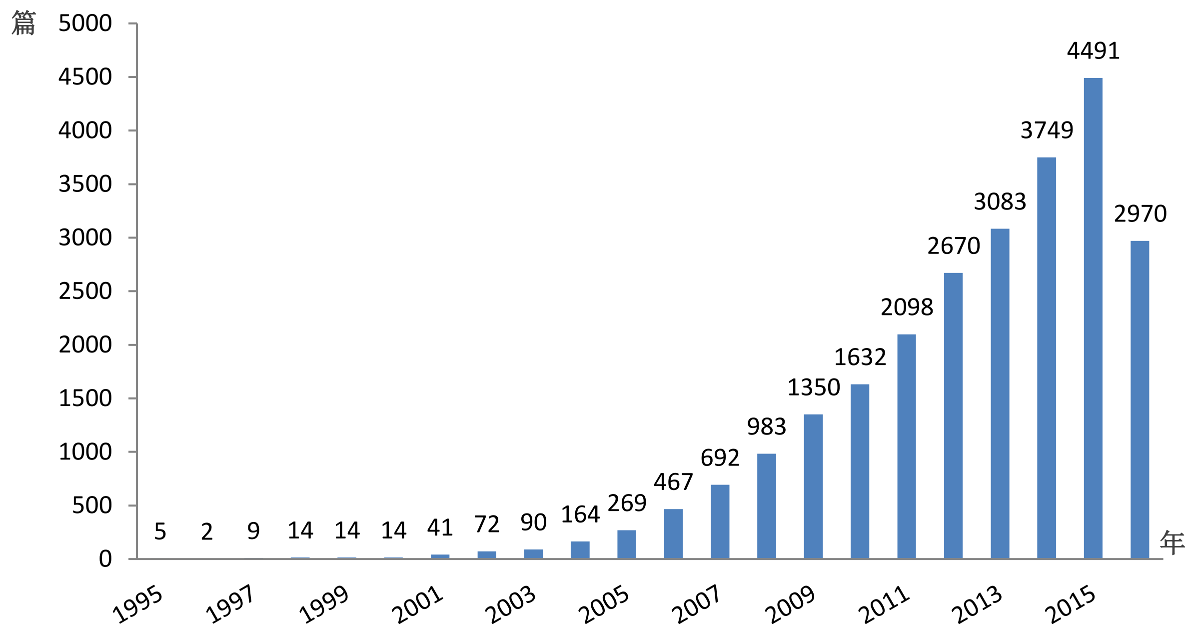

图 1-1　　1995 年至今 MOFs 的 WOS 论文数量

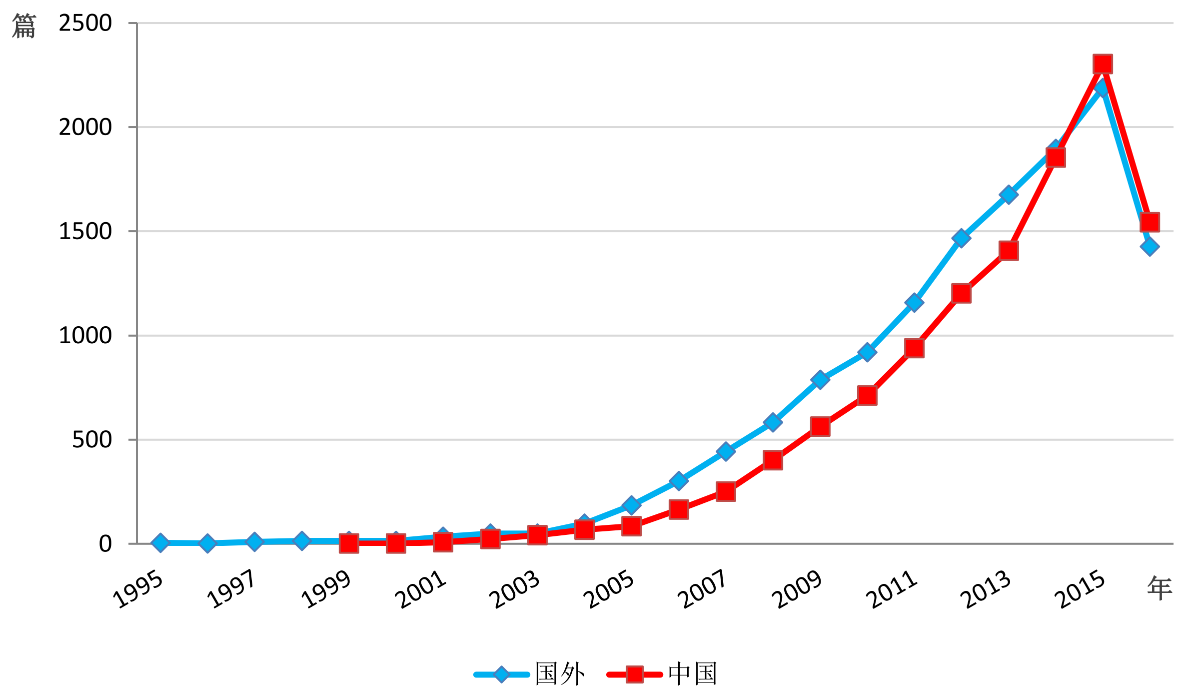

图 1-2　　1995 年至今国内外 MOFs 相关的 WOS 论文数量对比

图 1-3 显示了 MOFs 相关论文发表数量排名前 15 位的国家及其发表论文所占比例，其中，中国和美国占绝对优势，其次是德国、印度、英国和日本。图 1-4 是论文发表数量排名前 10 位的国家间合作关系图谱（其中，结点大小代表一个国家发表论文数量的多少，方形标签中是本国与其它国家合作发表论文的数量）。可以看出，针对 MOFs 的研究，国际间的合作非常广泛，中国同美国、日本、澳大利亚、新加坡以及德国的合作相对较多。

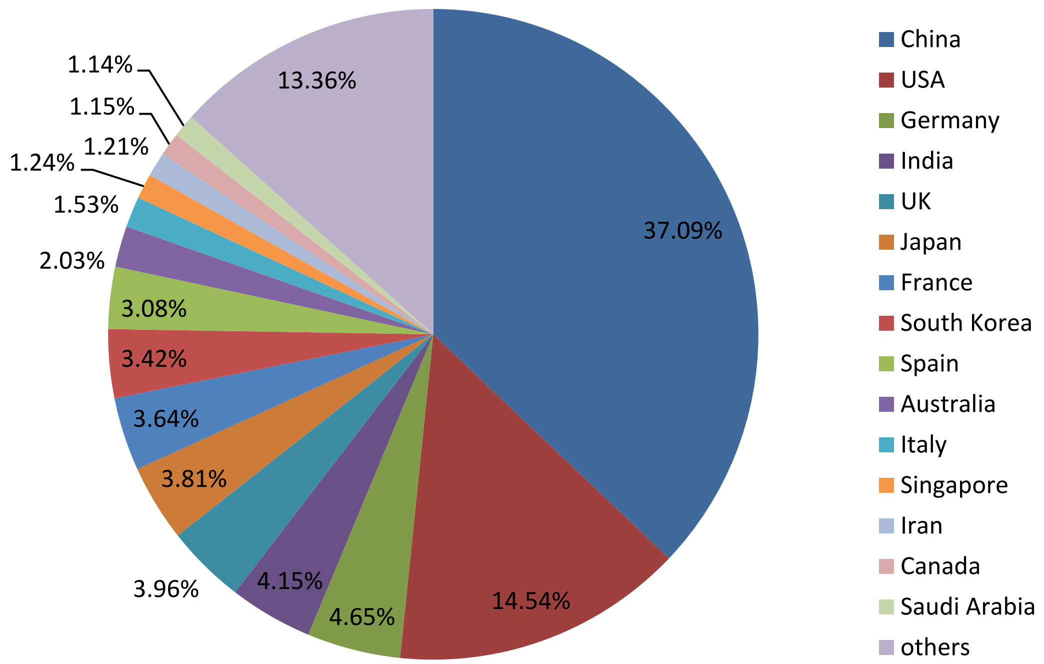

图 1-3　MOFs 相关论文发表数量排名前列的国家

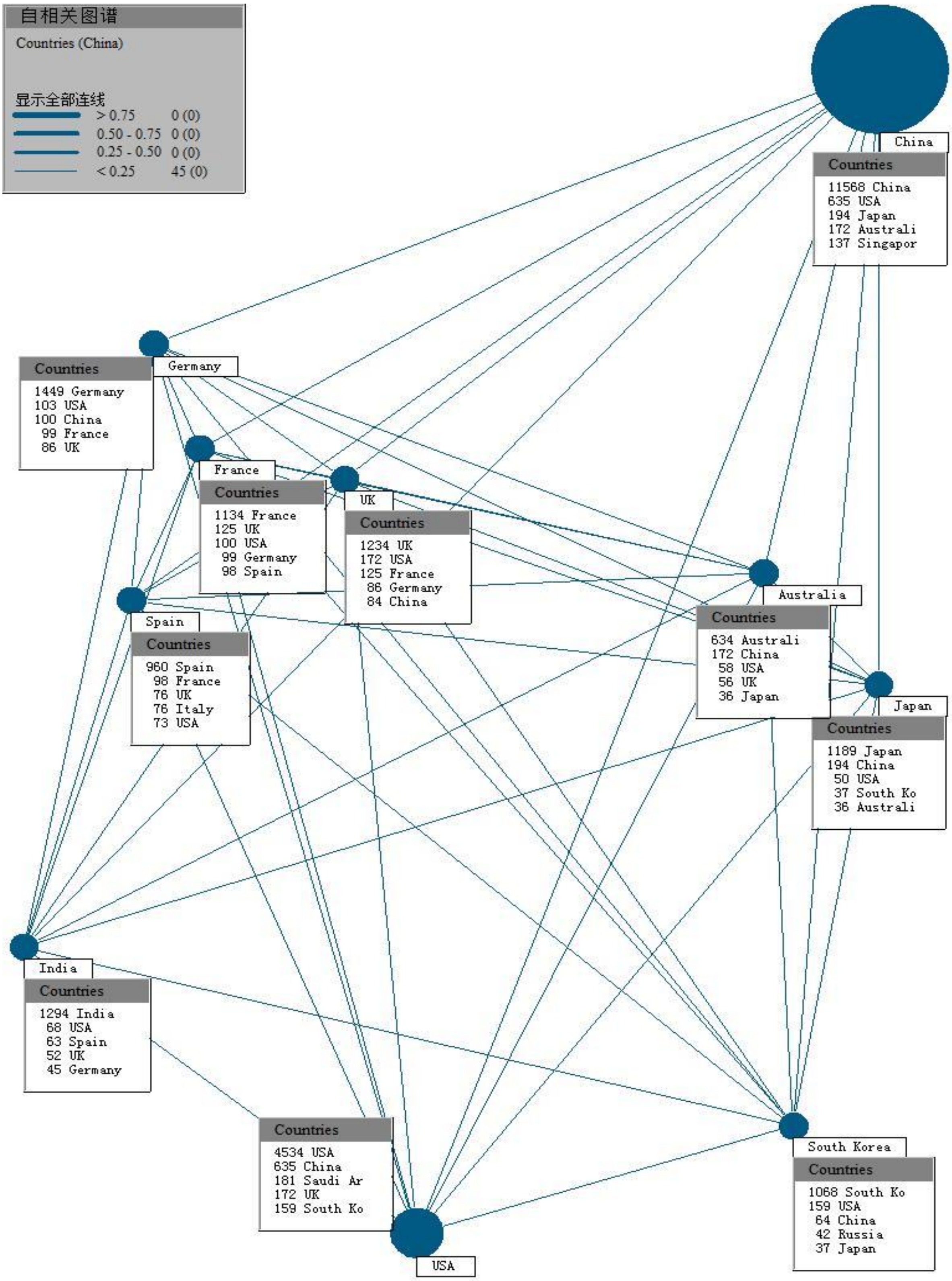

图 1-4　MOFs 论文 TOP10 的国家之间的合作

Web of Science 核心集的数据显示，全球共有 5000 多所机构参与 MOFs 研究。国内外发表论文数量排名前 10 的机构见表 1-1 和表 1-2。其中北京工业大学在国内 1100 多个机构中排

17	topology	291	42	chirality	105
18	ZIF	226	43	Fe	105
19	Density Functional Theory	225	44	Pd	105
20	Ag	220	45	heterometallic	104
21	Catalyst	219	46	host-guest systems	104
22	solvothermal	209	47	Pb	99
23	synthesis	205	48	anion	96
24	nanoporous	202	49	mixed matrix membrane	96
25	crystal engineering	201	50	diffusion	86

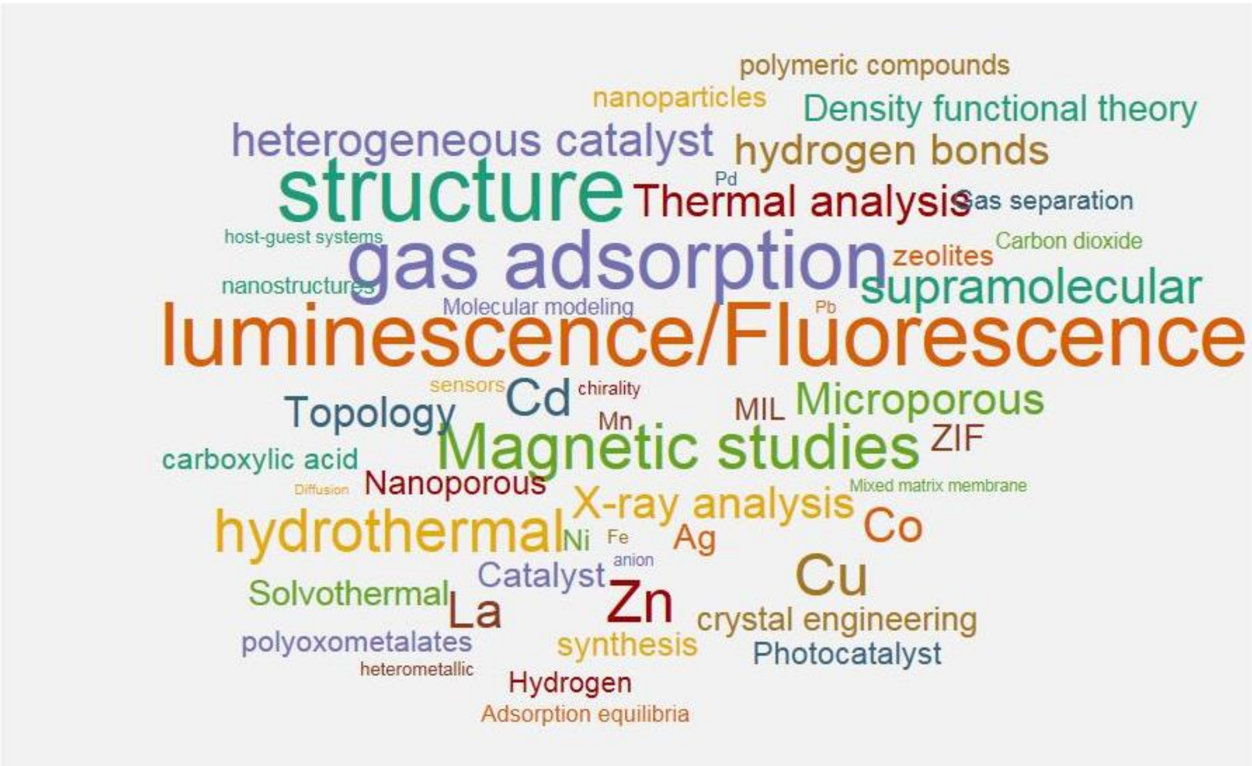

图 2-1 “作者关键词”中出现次数排名前 50 的词汇的云图

从表 2-1 和图 2-1 可以看出，目前 MOFS 的研究热点主要集中在：

1、从结构方面看，涉及的关键词主要有：supramolecular（超分子）、microporous（微孔）、topology（拓朴结构）、nanoporous（纳米孔）、crystal engineering（晶体工程）、nanoparticles（纳米颗粒）、nanostructures（纳米结构）、Molecular modeling（分子模型）、chirality（手性）；

2、从 MOFs 的组成（金属和有机配体）来看，主要为：Zn、Cu、Cd、La、Co、ZIF、

表 2-2 选取了 7 个研究 MOFs 较多的国家，分别根据热点词汇排名进行了统计分析，考察其研究热点。总体来看，各个国家的研究重点不尽相同，但"结构（structure）"几乎是所有 7 个国家研究最多的点（至少排名第三位），而在 MOFs 材料的应用方面，气体吸收（gas adsorption）和冷光/荧光（luminescence/fluorescence）研究得最多，此外，中国、日本和法国把 MOFs 材料的磁性研究（Magnetic studies）作为了重点，德国、印度和法国将"非均相催化剂（Heterogeneous catalyst）"作为了研究重点。

表 2-2　MOF 文献量 TOP7 国家的热点词汇排名

国家 排名	China	USA	Germany	India	UK	Japan	France
1	structure	gas adsorption	gas adsorption	gas adsorption	gas adsorption	gas adsorption	gas adsorption
2	luminescence/ Fluorescence	structure	structure	luminescence/Fluorescence	structure	structure	structure
3	Magnetic studies	luminescence/Fluorescence	microporous	structure	microporous	microporous	Magnetic studies
4	gas adsorption	Cu	Zn	supramolecular	hydrothermal	Magnetic studies	X-ray analysis
5	Hydrothermal	microporous	X-ray analysis	Cu	zeolites	luminescence/ Fluorescence	luminescence/ Fluorescence
6	Zn	X-ray analysis	luminescence/Fluorescence	X-ray analysis	X-ray analysis	Cu	microporous
7	Cd	Zn	Heterogeneous catalyst	hydrogen bonds	Zn	X-ray analysis	La
8	La	Hydrothermal	Magnetic studies	heterogeneous catalyst	Cu	Nanoporous	Cu
9	Cu	Thermal analysis	La	hydrothermal	ZIF	Zn	Nanoparticles
10	Topology	supramolecular	Thermal analysis	Zn	supramolecular	supramolecular	Heterogeneous catalyst

此外，在作者关键词中出现的 MOFs 材料有很多种，下面 13 个则是 2015 年之后在作者关键词中新出现的 MOFs 材料：ZIP-90、Zeolitic BIF、SUMOF-3、starfish-shaped Co3O4/ZnFe2O4 nanocomposites、STA-16(Co)、RuCuCo@MIL-101、Ru@MIL-53(Cr, Al)、Ru(bpy)(3)Cl-2、Pt@RF microspheres、NiMo@MIL-101、g-C3N4/MIL-53(Al)、Defect-modulated MOFs、Ag3PO4/Bi2S3-HKUST-1-MOF。

MOFs 研究涉及领域广泛，按照 Web of Science 核心集的学科划分，全部 MOFs 论文共涉及了 54 个学科领域（见表 2-3）：

表 2-3 论文所涉及的学科领域

学科领域	篇数	学科领域	篇数
Chemistry	22014	Agriculture	6
Materials Science	4912	Research & Experimental Medicine	6
Crystallography	4024	Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging	5
Science & Technology - Other Topics	2534	Remote Sensing	5
Physics	1686	Mathematical & Computational Biology	4
Engineering	1223	Toxicology	4
Energy & Fuels	939	Geology	3
Polymer Science	409	Meteorology & Atmospheric Sciences	3
Electrochemistry	388	Microscopy	3
Environmental Sciences & Ecology	228	Nutrition & Dietetics	3
Spectroscopy	178	Mining & Mineral Processing	2
Biochemistry & Molecular Biology	141	Automation & Control Systems	1
Thermodynamics	89	Business & Economics	1
Metallurgy & Metallurgical Engineering	73	Cardiovascular System & Cardiology	1
Instruments & Instrumentation	61	Cell Biology	1
Biophysics	38	Construction & Building Technology	1
Food Science & Technology	38	Dermatology	1
Biotechnology & Applied Microbiology	36	Legal Medicine	1
Pharmacology & Pharmacy	34	Microbiology	1
Computer Science	28	Mineralogy	1
Acoustics	27	Neurosciences & Neurology	1
Mechanics	27	Operations Research & Management Science	1
Optics	27	Pediatrics	1
Water Resources	20	Physiology	1
Mathematics	19	Plant Sciences	1
Nuclear Science & Technology	19	Telecommunications	1
Education & Educational Research	8	Transportation	1

Nd、Eu、Tb、Li、Mg、Y、Ti、Os、Pr 和 W

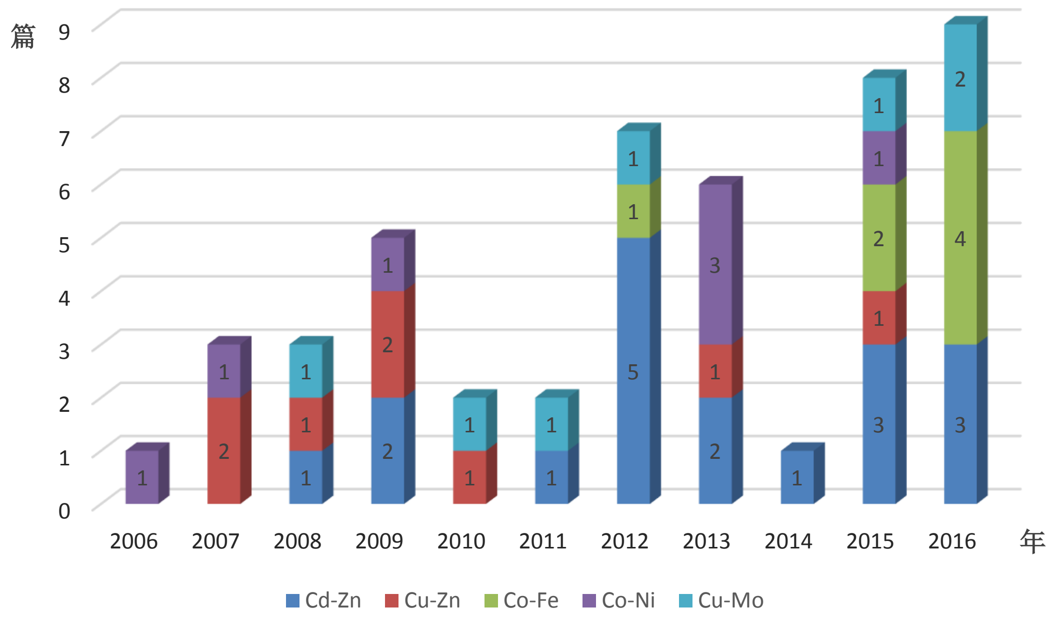

图 4-2　2006-2016 排名前 5 的双金属 MOFS 论文量

2015 年到本报告检索之日，在作者关键词中新出现的双/多金属 MOFs 有 26 种（如表 4-1 所示），但也有些双/多金属 MOFs 早期发表 1 篇论文之后，未再有新的文章报导。如 Co-Mo、Cu-Pb（均为 2005 年发表）和 Os-Pt（2008 年发表）。

表 4-1　2015 年后新出现的双/多金属

金属	2015（篇）	2016（篇）	金属	2015（篇）	2016（篇）
Ag-Bi	1	2	Ce-Cu	1	0
Ag-Pd	1	2	Ce-Pr-	0	1
Au-Co	2	0	Ce-Pt	0	1
Cu-Fe	2	0	Co-Cu-Ru	0	1
Cu-Pt	1	1	Cr-Mg	0	1
Al- Ru	0	1	Cr-Ru	0	1
Al-Fe	0	1	Cu-Pd	0	1
Al-Pt	1	0	Eu-Tb	1	0
Al-Zn	1	0	Fe-Ni	0	1
Au-Cd	0	1	K-Na	0	1
Au-Ni	1	0	K-Ti	1	0