

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2015.05.012

特高压交流输电技术专利分析

王喆

(国家知识产权局专利局 北京 100088)

摘要: 本文先简要介绍了特高压交流输电技术以及国内外的发展现状,之后从专利的角度出发,分析了我国特高压交流输电的专利申请数量、主要研发机构、技术研发重点等情况,最后给出发展特高压交流输电的几点建议。

关键词: 特高压, 交流输电, 专利分析

中图分类号: TM72

Patent Analysis of UHV AC Transmission Technology

WANG Zhe

(Patent Office of the State Intellectual Property office, Beijing 100088)

Abstract: Firstly, this paper briefly introduces the UHV AC transmission technology and its domestic and foreign development status, and then analyzes the patent application number, main research and development institutions, key points of technology research, development and other issues from patents. Finally, some suggestions are given for the development of the UHV AC transmission technology.

Keywords: UHV, AC transmission, patent analysis

作者简介: 王喆(1978-), 硕士, 副调研员, 研究方向: 智能电网, 继电保护, 输配电, E-mail: wangzhe@sipo.gov.cn。

1 引言

我国一次能源基地和用电负荷中心呈“逆向分布”，76%的煤炭资源在北部和西北部，80%的水能资源在西南部，90%的陆地风能在西北、东北和华北北部，太阳能年日照超过3000小时的地区主要在西部，而70%以上的能源需求则集中在我国沿海、京津唐和中部地区，距离一般超过800~3000公里。这种能源资源产地和需求分布的不均衡使得实施“西电东送”、“北电南送”能源配置格局成为我国资源分布与生产力布局的客观要求。特高压输电技术由于具有输送容量大、距离远、效率高的特点，可以满足大容量、远距离的跨区输电要求^[1-3]。因此，为了减少输电损耗和输电走廊占地面积，“西电东送”工程需采用远距离、大容量、低损耗的特高压输电线路。

特高压输电包括特高压交流输电和特高压直流输电^[4]，特高压交流输电主要用于构建网络，中间可以落点，电力的接入、传输和消纳十分灵活，是电网安全运行的基础，因此其定位于主网架建设和跨大区联网输电，为直流输电提供重要支撑；特高压直流输电只具有输电功能，不能形成网络，中间不能落点，因此其定位于超远距离、超大容量的“点对点”输电，但其需要依托坚强的交流电网才能发挥作用。因此，为了充分发挥特高压交流和直流输电的各自功能和优势，构建以特高压电网为骨干网架、“强交强直”的混合型国家电网是电力工业持续发展的科学选择，可以保证电网安全性和经济性，满足国民经济发展的需要。

2 国内外特高压交流输电的发展状况

交流输电电压一般分高压、超高压和特高压。国际上，高压（HV）通常指35千伏~220千伏的电压；超高压（EHV）通常指330千伏及以上、

1000千伏以下的电压；特高压（UHV）指1000千伏及以上的电压。

特高压交流输电具有输送容量大、输送距离长、线路损耗低、走廊利用率高、联网能力强和工程投资省等显著优势，具有明显的经济效益和可靠性，作为中、远距离输电的骨干线路，将在电网的建设和发展中起重要的作用，代表着当今输电技术的最高水平和我国电网的发展方向。

2.1 国外特高压交流输电现状

特高压交流输电的研究始于上世纪60年代末，美国、前苏联、意大利、加拿大、德国、日本、瑞典等国家均根据本国的经济增长和电力需求制定了发展特高压的计划。前苏联建成工业实验性工程，日本建成实证试验站，专门研究特高压输变电技术及相关输变电设备，美国和意大利也进行了试验研究，取得了一批重要成果。

1、前苏联 1150kV 工程

前苏联是世界上最早建设特高压交流输电工程的国家之一，从上世纪70年代末开始建设埃基巴斯图兹-科克切塔夫-库斯坦奈特高压1150千伏（最高运行电压1200千伏）输电工程，从1985年8月至今共建成2350公里、1150千伏输电线路和4座1150千伏变电站（其中1座为升压站）。其中有907公里线路和3座150千伏变电站（其中1座为升压站）从1985~1990年按系统额定电压1150千伏运行了5年之久。之后由于前苏联经济上的解体和政治原因，卡札克斯坦中央调度局将全线降压为500千伏电压等级运行，在整个运行期间，过电压保护系统的设计并不需要进行修改，至今运行情况良好。

2、日本 1000kV 工程

日本是世界上第二个建成特高压工程的国家。1973年，日本建成第一回500千伏交流输电线路，同年，正式开始了1000千伏级特高压交流

输电技术研究工作。1993年建成柏崎刈羽-西群马-东山梨1000千伏线路,全长190公里;1999年建成西群马-福岛核电站1000千伏线路,全长240公里。目前已建成全长426公里的东京外环特高压输电线路。线路建成后,由于负荷增长停止不前,电能建设和1000千伏升压计划也大幅推迟,一直按500千伏降压运行。

3、意大利1050kV试验工程

上世纪70年代,意大利和法国受西欧国际供电联合会的委托进行欧洲大陆选用交流800千伏和1050千伏输电方案的论证工作,之后意大利特高压交流输电项目在国家主持下进行了基础技术研究,设备制造等一系列的工作,并于1995年10月建成了1050千伏试验工程。至1997年12月,在系统额定电压(标称电压)1050kV电压下进行了2年多时间,取得了一定的运行经验。

2.2 国内特高压交流输电现状

我国自1986年起就开展了“特高压交流输电前期研究”项目,开始对特高压交流输变电项目进行研究。2004年,中国国家电网公司启动了特

高压输电工程关键技术和可行性研究,根据制定的特高压交流输电关键技术研究框架,完成了共计46项特高压交流输电技术课题的研究,同时国家电网公司频繁与国际组织和科研机构以及设备厂家进行技术交流。2005年,中国完成了试验示范工程的优选和可行性研究工作,初步明确了中国特高压输电试验示范工程方案。到2006年,中国特高压交流输电研究项目取得了大量的第一手研究成果,解决了建设特高压试验示范工程的全部关键问题,基本掌握了特高压交流输变电的技术特点和特高压电网的基本特性。2009年,我国首个晋东南-南阳-荆门1000千伏特高压交流试验示范工程正式投运,在积累了大量电网运行和控制方面的宝贵经验之后,2013年,淮南-浙北-上海1000kV特高压交流工程正式投运,2014年,浙北-福州1000kV特高压交流工程正式投运^[5]。在“十三五”期间我国还将陆续建成淮南-南京-上海、锡盟-山东、蒙西-天津南、榆横-潍坊等特高压交流工程,形成新的特高压交流电网结构。所有我国已投和在建特高压交流工程可参见(表1)。

表1 我国已投和在建特高压交流工程

状态	工程名称	电压等级(千伏)	线路长度(公里)	换流容量(万千瓦)	投运时间(年)
已投	晋东南-南阳-荆门	1000	640	1800	2009
	淮南-浙北-上海	1000	2×649	2100	2013
	浙北-福州	1000	2×603	1800	2014
在建	淮南-南京-上海	1000	2×780	1200	2016
	锡盟-山东	1000	2×730	1500	2016
	蒙西-天津南	1000	2×608	2400	2016
	榆横-潍坊	1000	2×1049	1500	2016

2.2.1 已运特高压交流工程

1、晋东南-南阳-荆门1000千伏特高压交流试验示范工程

2006年8月,作为中国首个特高压交流输变电工程的晋东南-南阳-荆门1000千伏特高压

交流试验示范工程,经国家发改委核准后开工建设。2009年1月6日正式投运,中国特高压电网建设之路由此开启。这是目前世界上运行电压最高、技术水平最先进、中国具有完全自主知识产权的交流输变电工程,标志着我国在特高压核心

技术和设备国产化上取得重大突破。

2、淮南 - 浙北 - 上海 1000 千伏特高压交流工程

2013 年 9 月 25 日，作为我国第二条特高压交流线路的淮南 - 浙北 - 上海特高压交流工程正式投运，这是华东电网第一个特高压交流输电工程，世界首个同塔双回路特高压交流输电工程。这是一条连接淮南大型能源基地和浙江、上海大负荷中心的跨省域特高压交流通道，通过这条电力高速路，两淮“乌金”便借助电力，源源驶向长三角，让安徽与其实现无缝对接。

3、浙北 - 福州 1000kV 特高压交流工程

在淮南 - 浙北 - 上海 1000 千伏特高压交流南半环的基础上，华东电网建设浙北 - 福州 1000kV 特高压交流工程，初步形成华东特高压主网架。该工程于 2014 年 12 月 26 日正式投运，提升了华东电网接受区外来电的能力和区内资源优化配置的能力，保障沿海核电可靠送出，满足福建电网盈余电力送出需要，并为福建电网远期接受外来电力创造条件。同时，工程在穿越“两江一湖”等走廊紧张路段采用 1000 千伏同塔双回路架设，在极为有限的输电走廊范围内，将输电能力提升 4 ~ 5 倍，大幅提高了浙江省内南北电力交换的能力，节约了宝贵的土地资源。

2.2.2 在建特高压交流工程

1、淮南 - 南京 - 上海 1000 千伏特高压交流输变电工程

2014 年 11 月 4 日，淮南 - 南京 - 上海 1000 千伏特高压交流输变电工程正式开工建设。该工程是迄今规模最大、难度最大的特高压交流工程，也是华东特高压受端电网的重要组成部分，建成后可增强长三角地区电网互联互通、相互支援能力。该工程途径安徽、江苏、上海 3 省市，跨越淮河和长江，变电容量 1200 万千瓦，线路全长 759.4 公里，工程投资 683 亿元，预计于 2016 年

建成投运。

2、锡盟 - 山东 1000 千伏特高压交流输变电工程

2014 年 11 月 4 日，锡盟 - 山东 1000 千伏特高压交流输变电工程正式开工建设。该工程是山东省首个 1000 千伏特高压电网工程，途经内蒙古、河北、天津、山东 4 省。工程线路在交通困难、地质条件较复杂等地段采用两个单回路架设，长度 2×316 公里，其余地段采用同塔双回路架设，长度 2×414 公里。工程变电容量 1500 万千瓦，输电线路 2×730 公里。工程投资 178 亿元，预计于 2016 年建成投运。

3、蒙西 - 天津南 1000 千伏特高压交流输变电工程

2015 年 3 月 27 日，蒙西 - 天津南 1000 千伏特高压交流输变电工程正式开工建设。该工程是华北特高压交直流主网架的重要组成部分，途经内蒙古、山西、河北、天津 4 省市。该工程与锡盟 - 山东 1000 千伏特高压交流输变电工程可形成互联，将有力支撑华北特高压交直流主网架构建，有效缓解京津冀地区用电紧张局面。工程变电容量 2400 万千瓦安，全线双回路架设，全长 2×608 公里。工程投资 175 亿元，计划于 2016 年建成投运。

4、榆横 - 潍坊 1000 千伏特高压交流输变电工程

2015 年 5 月 12 日，榆横 - 潍坊 1000 千伏特高压交流输变电工程正式开工建设，该工程是华北特高压交直流主网架的重要组成部分，建成后将有效缓解华北地区电力供需矛盾，途经陕西、山西、河北、山东 4 省，是迄今输电距离最长的特高压交流工程。工程变电容量 1500 万千瓦，全线双回路架设，全长 2×1049 公里，工程投资 242 亿元，预计于 2017 年建成投运。

经过十年的不懈努力，我国已掌握特高压交

流输电核心技术,并建立了完整的技术标准体系,我国的特高压交流标准电压已被推荐为国际标准电压,抢占了世界电网技术制高点,扭转了电力工业长期跟随西方发达国家发展的被动局面。在世界上率先掌握了特高压大容量输电系统集成、大电网运行控制等技术,为推广应用特高压交流输电技术奠定了基础。

3 我国特高压交流输电的专利分析

随着多项特高压交流工程的建成投运,我国在特高压交流输电的工程建设和运行方面积累了宝贵的经验。在“十三五”期间我国还将陆续建成淮南-南京-上海、锡盟-山东、蒙西-天津南、榆横-潍坊等特高压交流工程,形成新的特高压交流电网结构,因此,有必要对已有的特高压交流输电的科研成果和运行经验进行总结归纳。下面将从专利的角度出发,基于特高压交流输电技术在我国专利申请情况,从专利申请数量、主要研发机构、技术研发重点等方面对特高压交流输电技术进行进一步的分析和探讨,希望能为今后我国特高压

交流输电的发展提供有益的参考和指导。

3.1 专利申请量

截至2015年9月15日,在中国专利检索系统中检索到的已公开特高压交流输电专利申请共710件,其中,发明专利申请400件,实用新型专利310件,其申请量的逐年分布情况参见图1。由图1可见,我国最早在2003年开始有特高压交流输电专利的申请,随着2005年试验示范工程的优选和可行性研究工作的开展,在2006年至2008年之间,专利申请的数量逐年增长,显示在此期间取得了大量的科研成果。在2009年至2010年,随着我国首个晋东南-南阳-荆门1000千伏特高压交流试验示范工程的投运,专利申请量呈现较快的增长趋势,2009年的专利申请量增加到100件,比2003年至2008年的专利申请数量的总和还要多,2010年为93件,表明在该示范工程投运后的这两年间,围绕投运后实际出现的各种技术问题和需求,科技研发人员进行了大量的探索,研发势头强劲,积累了大量的宝贵经验。随后的2011和2012年间,

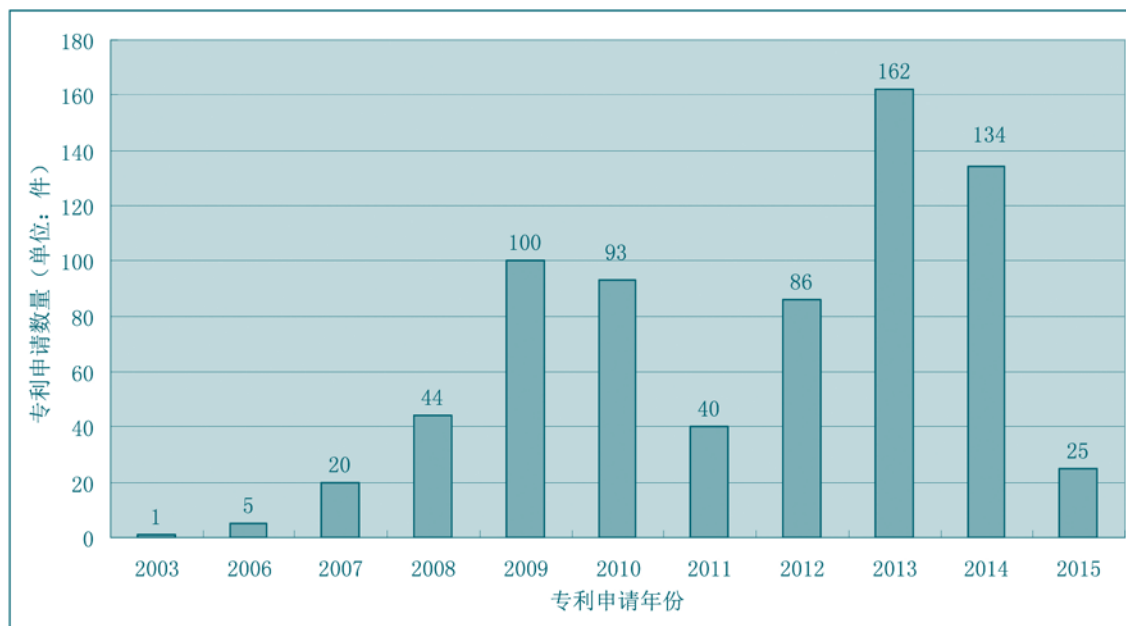


图1 我国特高压交流输电专利申请量逐年分布

专利申请量略有减少。但 2013 年后，随着淮南—浙北—上海 1000 千伏特高压交流工程等多个特高压交流工程的建设和投运，专利申请数量又快速回升，2013 年为 162 件，2014 年为 134 件，2015 年为 25 件（由于专利申请自申请日起 18 个月之后才被公开，因此 2014 年和 2015 年的部分专利申请因未公开而未被统计在内）。

3.2 主要研发机构

在 710 件特高压交流输电专利申请中，仅有 3 件为国外申请人提出的申请，其余 707 件均为国内申请人提出的申请；此外，上述申请中，415 件为多个申请人共同提出的申请，占专利总申请量的 58%，其余为单一申请人提出的申请，占专利总申请量的 42%。我国特高压交流输电专利的主要申请人分布请参见图 2 所示。

国内申请人包括电网公司及各省 / 市电力公司，大学高校，研究 / 设计院以及其他公司。具

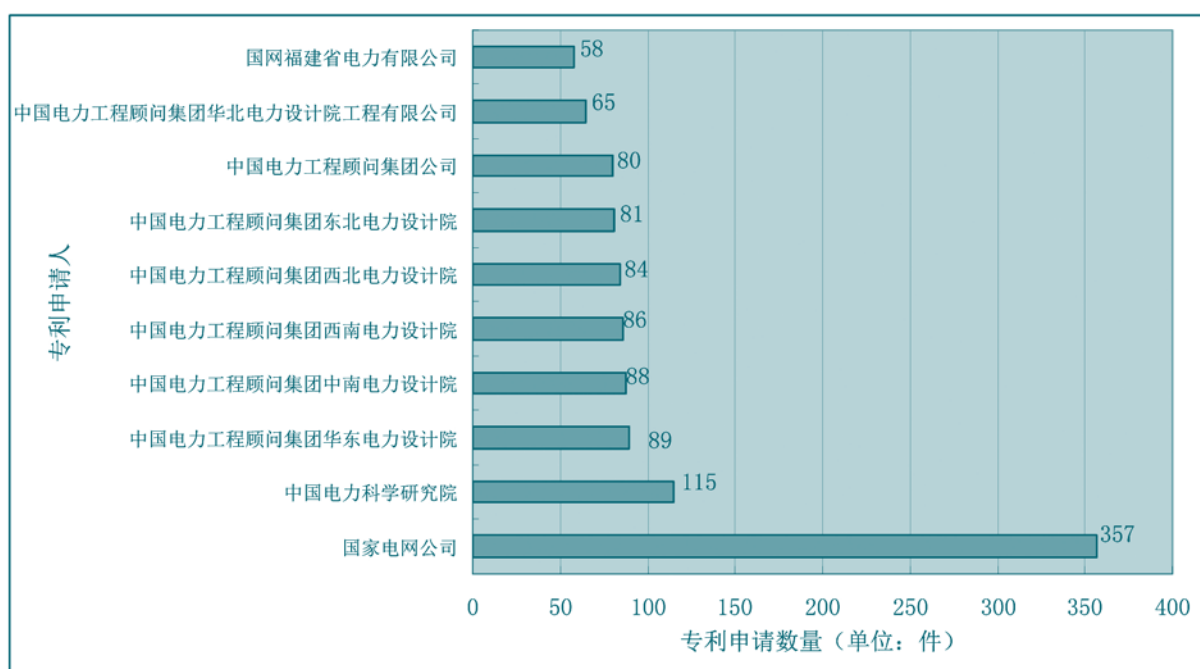


图 2 我国特高压交流输电专利主要申请人分布

体而言，在由国网、南网及下属各省市电力公司提出的专利申请中，国家电网公司 357 件，占专利总申请量的 50%，全部为其与下属电力公司、研究 / 设计院或大学共同提出的专利申请；各省 / 市电力公司及下属单位 326 件，占专利总申请量的 46%，其中国网福建省电力有限公司 58 件，国网上海市电力公司 13 件。由大学高校提出的专利申请共 71 件，占专利总申请量的 10%，其中华北电力大学 14 件，武汉大学 12 件，清华大学 7 件，其余的大学高校还包括昆明理工大学、西安交通

大学、湖南大学、华中科技大学、三峡大学、天津大学等。由研究 / 设计院提出的专利申请共 374 件，占专利总申请量的 53%，其中中国电力科学研究院 115 件，中国电力工程顾问集团华东电力设计院 89 件，中国电力工程顾问集团中南电力设计院 88 件，中国电力工程顾问集团西南电力设计院 86 件，中国电力工程顾问集团西北电力设计院 84 件，中国电力工程顾问集团东北电力设计院 81 件，电力规划设计总院 41 件，国网电力科学研究院 35 件，其余的研究 / 设计院还包括国网

智能电网研究院、国网北京电力建设研究院以及各省市电力公司的电力研究院/设计院等。在由其他公司提出的专利申请中，中国电力工程顾问集团公司80件，中国电力工程顾问集团华北电力设计院工程有限公司65件，北京国电华北电力工程有限公司22件。

综上所述，在我国特高压交流输电专利中，绝大多数都为国内申请人，且大部分为多个申请人提出的共同申请，主要研发机构是网省电力公司、科研院所。由此可知自2004年我国大力发展特高压输电以来，以网省电力公司和研究/设计院为主体的科研技术人员，在借鉴国外已有的特高压交流输电工程经验和我国自身国情的基础上，在理论研究、技术攻关、设备研制、规划设计等各个方面投入大量的时间和精力进行技术创新，以确定适合我国实际情况的特高压交流输电技术。伴随我国首条特高压交流试验示范工程和多条特高压交流工程的建设和投运，相应产生

了大量我国自主研发的特高压交流输电知识产权成果，特高压交流输电实现了从理论到实践的全面突破，实现了“中国创造”和“中国引领”。

3.3 技术研发重点

普通交流电网的电压等级为220kV，特高压交流电网的电压等级为1000kV，单纯看来，二者的差别仅在于电压等级的高低不同。但随着电压等级的提高，很多技术问题随之而来，比如，保护控制技术、电力设备的耐压问题、输电线路的绝缘问题、电磁环境问题^[6]、试验仿真问题^[7]等等。下面，将分析我国特高压交流输电方面的专利申请的技术研发重点。

通过对特高压交流输电技术专利进行国际专利分类（IPC）的小类进行统计分析，发现我国特高压交流输电技术的研发重点集中在国际专利分类表的H部和G部，具体的小类分布如（图3）所示，对应的IPC小类含义注释可参见（表3）。

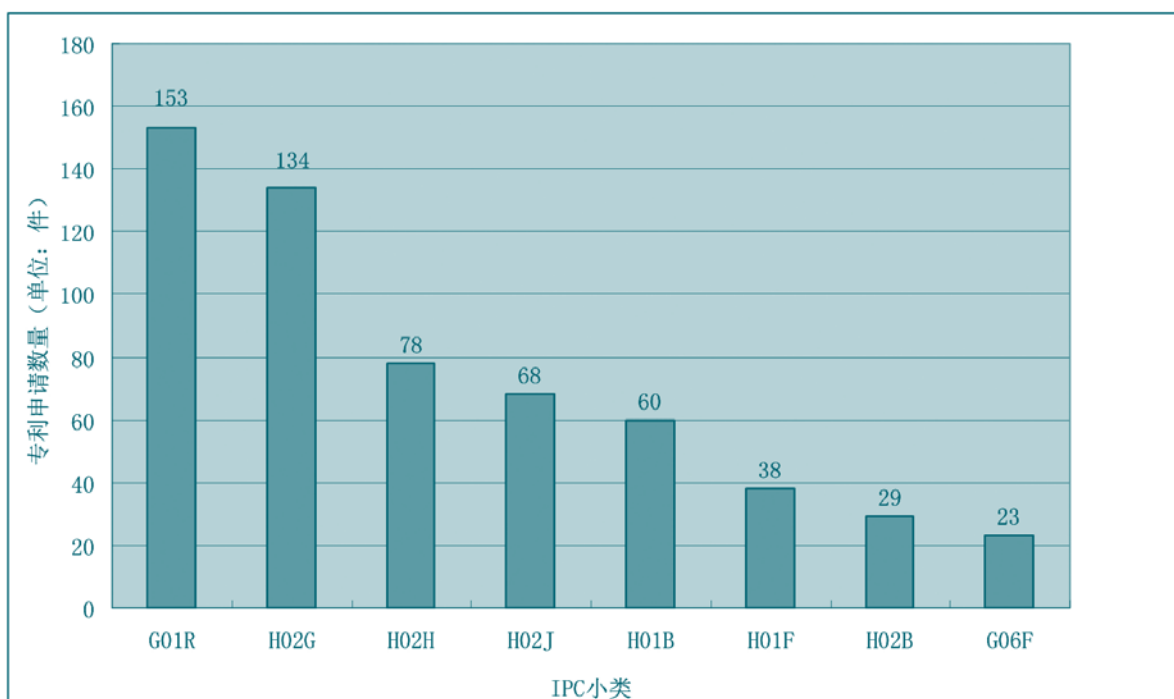


图3 我国特高压交流输电专利 IPC 小类分布

表 3 IPC 小类注释

序号	IPC 小类	注释
1	G01R	测量电变量；测量磁变量
2	H02G	紧急保护电路装置
3	H02J	供电或配电的电路装置或系统；电能存储系统
4	H01B	电缆；导体；绝缘体；导电、绝缘或介电材料的选择
5	H01F	磁体；电感；变压器；磁性材料的选择
6	H02B	供电或配电用的配电盘、变电站或开关装置
7	G06F	电数字数据处理

具体而言，我国特高压交流输电专利的技术研发重点以及申请数量主要分布如下：

(1) 电力设备：特高压电压等级的提高导致电力设备的耐压、线路的高压绝缘等一系列问题，需要着力研发适用于特高压环境的电力设备。涉及电力设备方面的专利共 359 件，占专利总申请量的 50%，其中涉及输电线路杆塔的专利 59 件，涉及变压器的专利 49 件，涉及绝缘子的专利 48 件，涉及断路器、隔离开关的专利 30 件，涉及电抗器的专利 25 件，涉及互感器的专利 25 件，涉及避雷器的专利 21 件，此外还涉及 GIS、电容器、输电导线等方面。

(2) 控制保护技术：特高压输电的电压水平高，系统影响大，电网的安全稳定运行尤为重要，因此对电网保护控制技术提出了更高要求。涉及控制保护技术方面的专利共 148 件，占专利总申请量的 21%，其中，涉及系统高压交流输电系统的电压、电流、功率等稳定控制方法的 60 件，涉及继电保护方法的 48 件，此外还涉及过电压抑制、过电流抑制、故障分析、变流器控制等方面。

(3) 电磁环境：特高压输电工程的运行电压更高，导线上的电荷量和导线内的电流更大，导线表面和附近空间的电场强度明显增大，电晕放电产生的可听噪声和无线电干扰影响突出。因此，如何控制特高压输电工程的电磁环境，是特高压电网建设和运行需要考虑的主要问题之一。涉及

电磁环境控制方面的专利 67 件，占专利总申请量的 9%。

(4) 试验仿真技术：特高压系统影响大，因此只有经过严格试验考核和验证过的设备、技术才能应用于实际电网中。同时，设备的研制、绝缘的设计等也需要通过试验来完善。仿真分析师电力系统规划设计和调度运行的基础，为了验证特高压交流输电系统模型的可行性与稳定性，需要对系统的稳态、动态、暂态等各方面进行准确模拟分析，因此仿真分析需要具有准确性、灵活性和快速性。涉及试验仿真技术方面的专利 63 件，占专利总申请量的 9%，具体包括各种电力设备的性能试验，杆塔力学试验、高海拔试验、控制保护系统动态仿真等。

综上所述，我国特高压交流输电专利的技术研发重点主要集中在电力设备和控制保护技术方面，这是特高压交流输电的核心技术，业内专家学者对此做了大量的研究和分析，电磁环境控制和试验仿真技术也是特高压交流输电领域普遍关注的内容。

4 发展特高压交流输电的几点建议

我国能源分布的特点决定了特高压交流输电在我国具有广阔的应用前景。随着国内多项特高压交流输电工程的开展，政府有关部门，网省电

力公司以及电力领域的专家学者们已做了大量的准备工作和科研工作,有利促进了特高压交流输电技术的发展以及工程项目的顺利运行,为特高压交流输电技术在我国的发展奠定了良好的基础。与此同时,通过对我国特高压交流输电专利数据的分析可知,目前我国特高压交流输电技术仍处于发展上升阶段,前景十分乐观。结合目前的发展现状,给出以下几点建议:

(1)我国已有多项已投运的特高压交流输电工程,并已经产生了大量宝贵的科研成果,随着未来4项特高压交流输电工程投入运行,应积极保持当前的研发势头,使工程和科研二者平行发展,互相促进,实现良性循环;此外,还应不断积累实际运行经验,扩宽信息来源,加强信息共享,

逐渐探索出适合我国国情的特高压交流输电技术。

(2)目前我国特高压交流输电专利申请中,大多为网省电力公司与下属单位、研究/设计院、大学高校的联合申请,通过资源互补来共同解决实际工程中遇到的各种问题。这种共同承担联合模式有效促进了产、学、研良性的互动和房展,建议在今后的发展中继续加以传承和保持,以大力推进核心技术创新和产出。

(3)随着国内特高压交流输电技术研究的深入开展,国内企业单位应进一步增强知识产权意识,着力策划专利部署,使研究的技术成果及时转换为相应的知识产权成果以得到相应的保护,为我国特高压交流输电今后的发展打下更坚实的基础。

参考文献

- [1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [2] 杨力. 特高压输电技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [3] 周孝信, 陈树勇, 鲁宗相. 电网和电网技术发展的回顾与展望——试论三代电网[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(22): 1-11.
- [4] 梁涵卿, 邬雄, 梁旭明. 特高压交流和高压直流输电系统运行损耗及经济性分析[J]. 高电压技术 2013, 39(3): 630-635.
- [5] 王晓刚, 印永华, 班连庚, 等. 1000kV 特高压交流试验示范工程系统调试综述[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(2): 12-18.
- [6] 许翠娥, 文艺, 李建明. 特高压交流输电线路工频电磁环境分析[J], 四川电力技术, 2014, 37(1): 63-67.
- [7] 张健, 张文朝, 肖扬, 等. 特高压交流试验示范工程系统调试仿真研究及验证分析[J]. 电网技术, 2009, 33(16): 29-32.