

# 电力储能技术及其在四川电力系统中的应用前瞻

高希为, 滕 欢

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 电能难以储存的性质一直是困扰电力系统的主要问题之一。近几十年来, 储能技术的发展作为电力系统提高稳定性、调频调压、补偿负荷的新手段, 为电力系统的规划、设计、制造、控制、调度等方面带来新的发展。介绍了电力储能技术的情况和发展, 结合四川电力系统的特点, 进行了展望。

**关键词:** 电力系统; 储能; 四川电网

**Abstract:** The difficulty of energy storage is one of the main problems bothering the power system. In recent decades, the development of energy storage technology is taken as a new way to improve the system stability, the control of frequency and voltage and the load compensation, which brings a development of planning, design, production, control, dispatching for power system. The situation and development of energy storage technology are introduced. According to the features of Sichuan power system, an expectation of its application is discussed.

**Key words:** power system; energy storage; Sichuan Power Grid

**中图分类号:** TM911 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)02-0089-06

安全、优质, 经济是对电力系统的基本要求。改革开放以来, 随着中国经济建设的高速发展, 电网覆盖面积不断扩大, 运行控制水平不断提高, 用户对于电能质量和可靠性的要求也越来越高。而中国一次能源分布与负荷密度的不协调, 现有电网结构的薄弱造成装机容量难以满足峰值负荷、输电能力发展落后需求、复杂大电网暂态稳定问题日益突出; 随着储能技术几十年来的不断发展, 尤其是近年来的技术突破, 使该技术成为继 "采-发-输-配-用" 外的第六大环节<sup>[1]</sup>。

## 1 储能系统概述

电能储存的主要形式可以按照原理分为: 以动能和势能为介质的机械储能, 如抽水蓄能 (pumped

hydro power plant)、压缩空气储能 (compressed air energy storage CAES)、飞轮储能 (fly wheel energy storage FWES) 等; 将电能直接以电磁能量的形式储存的电磁储能, 如超导电磁储能 (super-conducting magnetic energy storage SMES) 等; 以电化学反应为基础的化学储能, 如超级电容器 (super capacitor energy storage SCES) 和各种蓄电池 (battery energy storage system BESS 如铅酸 (lead-acid)、镍镉 (Ni-Cd)、镍氢 (Ni-H)、钠硫 (NaS) 和液流电池 (redox flow batteries RFB) 等。各储能装置如表 1 所示。

储能系统主要由储能元件组成的储能装置和电力电子元件组成的能量转换装置构成。储能技术涉及材料、设计、制造、工程建设、控制等多个学科和领域, 储能系统主要由储能元件组成的储能装置和电力电子元件组成的能量转换装置构成。储能技术涉及

表 1 储能技术特点与应用对比

储能方式	能量调节	功率调节	响应时间	造价	维护	适应性	应用
抽水蓄能	高	低	秒级	中	低	场地要求	调峰、调频、调相/无功、备用电源、黑启动 <sup>[2-3]</sup>
压缩空气储能	高	低	分钟级	中	中	场地和燃气要求	调峰、平滑负荷、调频、分布储能、备用电源 <sup>[4-5]</sup>
飞轮储能	低	高	不间断	高	低	好	调峰、调频、UPS/EPs <sup>[6-7]</sup>
超导磁储能	低	高	毫秒级	高	高	一般	系统稳定、调频、调压、提升输送能力 <sup>[8-10]</sup>
超级电容器储能	中	高	毫秒级	高	低	好	平滑大功率负载、大功率直流电机启动支撑 <sup>[11-14]</sup>
铅酸电池储能	低	中	不间断	低	低	好	UPS/EPs <sup>[15]</sup>
钠硫电池储能	高	较高	不间断	高	中	好	小系统稳定性、平滑负荷、UPS/EPs <sup>[17-19]</sup>
液流电池储能	高	高	不间断	高	中	好	小系统稳定性、平滑负荷、UPS/EPs <sup>[20-22]</sup>

材料、设计、制造、工程建设、控制等多个学科和领域,现代储能系统正向着储能密度更大、转换损耗更小、运行费用更低、维护更方便、适应性更好、更安全环保的方向发展。

随着储能技术的发展和运用,电力系统中引入各种新型储能设备后,可以有效实现用户需求侧管理,削峰填谷,平滑负荷;可以促进新能源的利用,提高电力设备效率,降低供电成本;可以作为提高系统运行稳定性、调频调压、补偿负荷的一种手段。该技术的应用和进步将为电力系统的规划、设计、制造、控制、调度等方面带来新的发展。

## 2 电力储能技术应用现状

### 2.1 抽水蓄能电站

到 2005 年底,全球有超过 300 座抽水蓄能电站处于运行状态,其总装机容量达到 120 GW,平均年增长 9.1%。该领域发展最快、装机容量最多的国家是日本,其次是美国、意大利、德国等,部分国家的抽水蓄能机组占全国装机的比重已超过 10%<sup>[1]</sup>。

到 2005 年底,全国建成投产的抽水蓄能电站共 13 座,装机容量达 5 845 MW,占到总装机容量的 2.15%。预计到 2010 年,中国抽水蓄能电站占全国发电装机总量的比例将提高到 2.6% 左右。

### 2.2 压缩空气储能电站

自 1978 年德国 Huntorf CAES 投运以来,德国、美国、日本陆续有 MW 至 GW 级 CAES 电站投入试运行,俄罗斯、法国、意大利、以色列、韩国等国也在进行 CAES 的开发。

中国自 2003 年来也投入到 CAES 的研究中,目前华北电力大学正在进行压缩空气蓄能系统热力性能计算与优化及其经济性分析的研究;西安交通大学进行了冷、电、热联供的新型压缩空气储能的相关研究。哈尔滨电力部门和中石化等也有很多储气方面的研究和成果<sup>[23]</sup>。

### 2.3 飞轮储能

目前美国、日本、德国、英国、法国等工业强国正在大力开展 FW 技术的研究与开发,并取得了很大进展,开始由实验室研究转向试运行与实际应用,并向产业化、市场化方向发展<sup>[24-26]</sup>。

中国在该领域的研究起步较晚,近几年来从事飞轮储能技术研究的有中科院电工研究所、北京飞轮储

能柔性研究所以及部分高校等。目前已实现超导磁悬浮、高速电机、功率转换等领域的突破。

### 2.4 超导磁能存储

目前美国、日本、德国、芬兰、韩国等国都在 SMES 领域实现了实际系统的初步应用,其实现功率介于 0.3~10 MVA 之间,在保持电网稳定、提高输电能力和电能质量方面发挥了重要作用。

中国已先后研制成功 25 kJ~1 MJ 的 SMES 系统,目前中科院、中国电科院、华中科技大学、浙江大学等机构正将精力投入第二代高温超导带材钕钡铜氧涂层导体 SMES 储能单元、低耗快速功率变换及其控制方法、模块化系统集成、动态建模与仿真、分布式储能系统规划及其与电网匹配运行等关键技术中,通过示范推动 SMES 的实际应用。

### 2.5 超级电容器储能

目前国外的研究方向主要倾向于液体电解质双电层电容器和复合电极材料导电聚合物电化学 SC。美国、日本、德国、韩国等国都已将 SCES 应用于电网之中,实现了几十 MJ 数 MW 级的输出<sup>[27]</sup>。

在中国,北京有色金属研究总院、解放军防化院等一批院校和公司正在开展 SC 的研究。2005 年,中国科学院电工所完成了用于光伏发电系统的 300 Wh/1 kW SCES。另外,有关课题组正在研究基于 SCES 的分布式配网。但整体看,中国在 SC 领域的研究与应用水平明显落后于世界先进水平<sup>[28]</sup>。

### 2.6 蓄电池储能

目前日本在钠硫电池方面处于国际领先地位,2004 年全国钠硫储能总容量已超过 100 MW,美国也有 12 MW/120 MW h 钠硫电池系统作为军事基地的备用电站。液流电池方面,美国、日本、欧洲等国相继将液流电池储能系统应用于风电、调峰、电能质量等用途。

自 1995 年起,中国就开始了全钒液流电池的研究,已成功开发出 10 kW 级储能系统,并建立了电池实验室模型;2008 年,中国电科院研发了用于风电场的 100 kW 级储能系统。钠硫电池方面,目前,上海电力公司正着手 50 kW/1 MW 不同容量等级钠硫电池系统的研制,并将其用于 UPS/EPS 力图掌握关键技术,建立标准和规范,并实现模块化、规模化生产<sup>[24]</sup>。各种储能技术的应用对比如表 2 所示。

## 3 四川能源布局及电力系统特点

表 2 电力储能技术应用对比

储能技术	典型额定功率 /MW	能量密度 /Wh/kg	功率密度 /W/kg	作用时间	使用寿命 /次	综合效率
抽水蓄能	100~2 000	—	—	4~10 h	—	60%~70%
压缩空气储能	100~300	—	—	6~20 h	—	40%~50%
飞轮储能	0.005~5	5~50	180~1 800	15 s~15 min	10 <sup>6</sup>	70%~80%
超导磁储能	0.3~10	<1	1 000	ms~15 min	10 <sup>6</sup>	80%~95%
超级电容器储能	—	2~5	7 000~18 000	ms~1 min	>10 <sup>6</sup>	>90%
新型蓄电池储能	0.01~0.1	30~200	100~700	1 min~20 h	10 <sup>5</sup>	70%~80%

表 3 2005 年四川一次能源构成

能源种类	生产	折标煤 / $\times 10^4$ t	消费	折标煤 / $\times 10^4$ t	构成 /%	全国构成 /%	2020 规划 /%
煤炭	$7.905 \times 10^4$ t	5 661	$7.859 \times 10^4$ t	5 628	66.3	69.6	55
石油	$14 \times 10^4$ t	20	$652 \times 10^4$ t	936	11.0	21.2	22
天然气	$138 \times 10^8$ m <sup>3</sup>	1 832	$90 \times 10^8$ m <sup>3</sup>	1 195	14.1	2.7	8
化石类合计	—	7 513	—	7 759	91.3	93.4	85
水电	$653 \times 10^8$ kWh	803	$577 \times 10^8$ kWh	734	8.6	6.6	8
新能源	—	—	—	—	—	—	7

### 3.1 四川能源现状

#### (1) 化石能源为主水电增长较快

表 3 显示了 2005 年四川一次能源的情况,可以看出目前四川省仍以化石能源为主。根据中国能源可持续发展体系的逐步完善,水电和新能源如光伏、风电、核电的能源份额必将大幅提高。

#### (2) 资源丰富有待开发

截止 2005 年底,四川省探明储量  $1.640 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,其中可采天然气储量  $1.011 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,且在不断增加中,2005 年天然气开采量  $138 \times 10^8$  m<sup>3</sup>;已探明煤炭资源量  $135.3 \times 10^8$  t 保有资源量  $120.8 \times 10^8$  t 2005 年生产总能力  $9.693 \times 10^8$  t 已开发水电 2 359 MW,仅占技术可开发量的 19.6%<sup>[29]</sup>。可见四川省水电、天然气资源丰富,但在终端能源消费中所占比例仍然不高,开发潜力巨大,同时这一现状也决定了四川电力系统的发展方向。

### 3.2 四川电力系统现状

到 2005 年底,四川省发电装机容量达到 22 455.6 MW,其中水电 14 969.6 MW,火电 7 496.0 MW;2005 年底在建规模 18 700 MW,其中水电 14 100 MW、火电 4 600 MW,不含金沙江溪洛渡的 6 300 MW;外送能力达到 2 640 MW。水电从 2000 年的 36 900 GW h 时增长为 2005 年的 65 300 GW h 平均年增长率 11.82%<sup>[29]</sup>。

由于水电比重过大而火电比重过小,导致四川电力供应呈现明显的丰、枯特性。丰水期,由于本身电力消化和输送能力有限,系统安全隐患较大,水电站

被迫大量弃水;枯水期,江河来水减少,水电出力不足,火电受制于煤炭供应,难以填补水电不足的供应缺口,使得四川电网以受电为主,甚至造成高峰期部分地区拉闸限电。

为了满足丰枯互济、水火互补的需求,改善电能质量并提高电力系统的稳定性和可靠性,目前正加紧特高压交流和直流线路的建设,现已建成德宝超高压直流工程、黄万、洪板特高压交流工程等。到 2015 年和 2020 年,结合锦屏、溪洛渡、向家坝等电站的建设,川电外送容量将达到 12 GW 和 15 GW。逐步实现四川“大电网、大枢纽、大平台”的发展目标。

### 3.3 四川电力系统的需求

#### (1) 确保系统的安全性和稳定性。

四川电网覆盖面积大,一次能源的分布与负荷分布不均匀,水电比重大造成的丰枯期特性,电煤供应不足制约火电发展,局部电网结构不完善造成输电能力、无功补偿不足,系统的安全性和稳定性受到严重挑战。

随着近年来多条 500 kV、220 kV 送电线路和变电站的建设和投产,发展多点储能装置支撑的坚强电网可以有效保证系统的电压和频率,消除由于电网互联和负荷突变引起的区域振荡,实现输配电系统的动态管理和提高电网暂态稳定性,还能增强电网的抗灾能力。

#### (2) 调整四川电力产业结构,推进节能调度

2008 年 12 月底,四川电网统调统分电厂 154

个,装机容量 26 527.2 MW,其中:水电厂 120 个,装机 15 611.0 MW,占 58.85%;火电厂 34 个,装机 10 916.2 MW,占 41.15%<sup>[30]</sup>;“十二五”期间四川将继续调整火电结构,大力发展新技术项目,如将 CAES 引入火电机组;对移民和生态保护条件成熟的水电项目加快开工建设;优化电源结构,合理规划布局一些运行灵活、有利于调峰或可起到电网支撑作用的电力储能项目。积极推进节能发电调度试点工作,并及时总结经验,尽快推广实施。

### (3) 提高对外的输送能力,解决跨区域供需矛盾

随着宝德直流工程、广元、绵阳 500 kV 变电站等工程的投产,四川电网与西北电网通过德宝直流联网运行,四川电网与重庆电网通过 4 回 500 kV 联络线联网运行,并通过鄂渝联络线与华中主网联网运行。丰水期,四川电网将富余水电送至华中和西北地区;在枯水期,华中和西北电网向四川电网输送火电电量。这缓解了由于煤炭产量不足造成的四川缺电问题,并减轻了铁路运输的压力,但输送容量的增加仍然难以赶上快速增长的水电发电能力和输送需求。为了提升这些线路的输送能力和可靠性,除了加强输电能力的建设,还可以引入相关的储能设备,提高电能利用效率。

### (4) 增加供电可靠性,不断改善电能质量

在系统因事故发生重要负荷电力供应中断时,需要电力储能设备作为 UPS/EPs 提供动力,减小损失,为电网恢复创造条件。

在电能质量方面,目前四川电网由于地震以及电容器质量问题造成的无功补偿不足,严重影响了电压合格率。成都电网仅能满足变压器补偿要求,无法实现分层分片就地平衡,使得成都负荷中心的电压支撑问题较为突出,需要相关设备来补偿无功、支撑电压。

### (5) 大力扶持新能源和可再生能源发电

四川省的生物质能源、小水电、光伏、风能、地热能等新能源储量丰富。但一些可再生能源发电具有不稳定和不连续的特点,虽然与大系统并网冲击不大,但当局部电网比例超过 10% 时将需要能够快速充放电的储能设备支持。

## 4 储能技术在四川电力系统中的应用

图 1 显示了目前各种储能技术的应用方向和技术成熟度,实际应用还需考虑成本、环境条件等多种

因素,针对四川省电力系统的现实需求,计及电力系统发展战略和相关规划,通过自主创新掌握核心技术,适度引进以推动实际工程的应用。

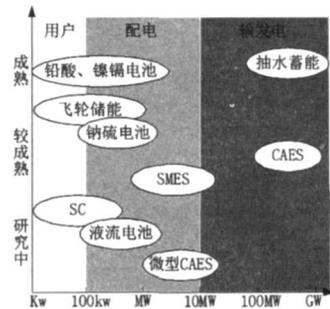


图 1 储能技术功率等级与技术成熟度

(1) 以中国高温 SMES 研究为重点引入分布式储能系统,提高区域电网暂态稳定性,抑制低频振荡,增加主干线路输电能力。

在即将形成的大电网互联模式下,当系统中出现较大扰动时,为了更快地相应扰动以保持系统功率的平衡和稳定,SMES 的毫秒级响应速度、大功率能量传递能力可以有效减小和吸收扰动对于电网的冲击,抑制和消除系统中的低频振荡、同步振荡和谐振,缩短暂态过渡过程,使系统迅速恢复稳定状态,提高系统的可靠性。

(2) 建设 GW 级抽水蓄能混合式电站和 CAES 电站,满足电网调峰、备用和节能调度需要。

为了优化电源结构,保证电网安全运行,改善电能质量,提升经济和环保性,借助目前全国范围内电力供应需求趋于缓和、国内抽水蓄能电站和大型高效火电机组的建设和规划进程得到加快的良机,利用新技术和创新提高效率、增加运行灵活性,一批新的水利、水电、抽水蓄能混合电站的新建和扩建,以及根据实际条件引入 CAES 的大型火电机组的改扩建将进一步促进社会经济协调发展、环境保护和资源的节约利用。

(3) 以可再生能源和新能源应用为切入点,开发 100 kW/MW 级液流和钠硫电池储能系统,逐步代替铅酸电池系统,平滑区域电网负荷、提高配电网供电可靠性、作为 UPS/EPs 等。

由于全钒液流电池性能可靠、成本低、寿命长等优点,目前已成为液流电池体系中主要的商用开发方向。钠硫电池技术由国外垄断,目前价格较高。对于这两种电池,中国已具备一定的技术积淀,为未来自主研发大容量储能系统奠定了条件。

## 5 结 论

评述了电力储能技术的情况和发展,结合四川电力系统的特点,结论如下。

(1)高效化、能量高密度化和成本低廉化的新型电力储能技术将更有效地在电力系统中发挥调峰、电压补偿、频率调节、电能质量管理等重要作用。

(2)通过引入相关储能设备将有助于四川电网的安全性和稳定性,增强对外输电能力,提高电网可靠性和电能质量,有利于产业结构调整、节能调度和可再生能源的推广。

(3)通过增大储能技术研究的投入,增强自主创新能力,掌握储能核心技术,才能降低成本,推动储能技术的实际应用。

## 参考文献

- [1] Ter-Gazarian A. Energy Storage for Power Systems [J]. IEE Energy Series 6.
- [2] Schoenung S M, Bums C. Utility Energy Storage Applications Studies [J]. IEEE Trans on Energy Conversion 1996, 11(3): 658—665.
- [3] Lu N, Chow J H, Desmochers A A. Pumped—storage Hydro—turbine Bidding Strategies in a Competitive Electricity Market[C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting Toronto Ontario Canada 2003.
- [4] Swider D J. Compressed Air Energy Storage in an Electricity System with Significant Wind Power Generation [J]. IEEE Trans on Energy Conversion 2007, 22(1): 95—102.
- [5] Lee S S, Kim Y M, Park J K, et al. Compressed Air Energy Storage Units for Power Generation and DSM in Korea [C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting Tampa USA, 2007.
- [6] Kim W H, Kim J S, Raek J W, Ryoo H J, Rim G H. Improving Efficiency of Flywheel Energy Storage System with a New System configuration [C]. Power Electronics Specialists Conference 1998. PESC 98 Record 29th Annual IEEE Volume 1, 24—28.
- [7] Zanei G, Cevenini E, Ruff H, Ulibas O. Integrated systems for UPS: New Solutions in the Power Quality Chain [C]. Telecommunications Energy Conference INTELEC 2007, 582—586.
- [8] Taguchi A, Inayoshi T, Nagafuchi T, et al. A Study of SMES Control Logic for Power System Stabilization [J]. IEEE Trans on Applied Superconductivity 2007, 17(2): 2343—2346.
- [9] Kamolyabutra D, Mitani Y, Tsuji K. Power System Stabilizing Control and Current Limiting by a SMES with a Series Phase Compensator [J]. IEEE Trans on Applied Superconductivity 2001, 14(1): 1753—1756.
- [10] Dechanupaprittha S, Hongesombut K, Watanabe M, et al. Stabilization of Tie—line Power Flow by Robust SMES Controller for Interconnected Power System with Wind Farms [J]. IEEE Trans on Applied Superconductivity 2007, 17(2): 2365—2368.
- [11] Ribeiro P F, Johnson B K, et al. Energy Storage Systems for Advanced Power Applications [J]. Proceedings of the IEEE, 2001, 89(12): 1744—1756.
- [12] 张慧妍, 韦统振, 齐智平. 超级电容器储能装置研究 [J]. 电网技术, 2006(8): 92—95.
- [13] Rufer A, Hottelier D, Barrade P. A Supercapacitor—based Energy Storage Substation for Voltage Compensation in Weak Transportation Networks [J]. Power Delivery IEEE transactions 2004, 19(2): 629—636.
- [14] Spath H, Becker K P. Short—time Backup—power for Mains—fed—links by Double Layer Capacitors [C]. IEEE 35th power electronics specialists conference 2004, 4(4): 2475—2481.
- [15] Yan J, Oti K, Yamamura N, et al. A Study on Electric Power Smoothing System for Lead—acid Battery of Stand—alone Natural Energy Power System Using EDLC [C]. Power Conversion Conference Nagoya 2007, 236—242.
- [16] Suzuki I, Shizuki T, Nishiyama K. High Power and Long Life Lithium—ion Battery for Backup Power Sources [C]. The 25th International Telecommunications Energy Conference Brazil 2003, 317—322.
- [17] Kamibayashi M, Nichols D K, Oshin A T. Development Update of the NAS Battery [C]. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition Yokohama Japan 2002, 1664—1668.
- [18] Hawkins J M, Robbins T P. A Field Trial of a Vanadium Energy Storage System [C]. The 23th International Telecommunications Energy Conference Edinburgh Scotland 2001, 652—656.
- [19] Ohtaka T, Iwamoto S. Possibility of Using NAS Battery Systems for Dynamic Control of Line Overloads [C]. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition Yokohama Japan 2002, 44—49.

[20] Skyllas-Kazacos M, Menictas C. The Vanadium Redox Battery for Emergency Back-up applications [C]. The 19th International Telecommunications Energy Conference Melbourne Australia 1997: 463-471.

[21] Sasaki T, Kadoya T, Enomoto K. Study on Load Frequency Control Using Redox Flow Batteries [C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting Denver Colorado USA, 2004, 580-586.

[22] Lone S A, Mufti M D. Integrating a Redox Flow Battery System With a wind-diesel Power System [C]. International Conference on Power Electronics Drives and Energy Systems for Industrial Growth-2006, New Delhi India 2006: 1-6.

[23] 刘文毅, 杨勇平, 张昔国, 等. 压缩空气蓄能 (CAES) 电站及其现状和发展趋势 [J]. 山东电力技术, 2007(2): 10-14.

[24] 张文亮, 丘明, 来小康. 储能技术在电力系统中的应用 [J]. 电网技术, 2008(7): 1-9.

[25] 张建成. 飞轮储能及其运行控制技术的研究 [D]. 河

北保定: 华北电力大学, 2000.

[26] 李雪松. 飞轮储能系统电动发电运行控制技术的研究 [D]. 河北保定: 华北电力大学, 2007.

[27] Kotz R, Carlen M. Principles And applications of Electrochemical Capacitors [J]. Electrochemical Acta 2000 (45): 2483.

[28] 胡毅, 陈轩恕, 杜砚, 等. 超级电容器的应用与发展 [J]. 电力设备, 2008, 9(1): 19-22.

[29] 四川省国民经济和社会发展第十一个五年规划 [Z]. 2006.

[30] 川投能源. 川投能源向四川省投资集团有限责任公司发行股份购买资产之重大资产重组暨关联交易报告书 [R]. 四川成都: 2009.

作者简介:

高希为 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 调度自动化与计算机管理系统。

滕欢 (1965-), 女, 高级工程师, 长期从事电力系统调度自动化科研、教学及工程实践工作。

(收稿日期: 2010-01-26)

(上接第 76 页)

对负荷自起动系数有明确规定:  $K_{st}$  与负荷的性质和网络接线有关; 对 220 kV 线路, 取 1; 对 110 kV 线路, 取 1.3。实际自起动系数的取值是影响保护灵敏度的重要因素, 《电网继电保护装置运行整定规程》应对之作明确规定, 对于 110 kV 电网采用 1.05 的返回系数和 1.5 的自起动系数已足够可靠。

以成都电网 110 kV 蓉华线为例, 蓉华线线路阻抗 7.6  $\Omega$ , 华阳站主变压器高低压侧间的阻抗为 58.9  $\Omega$ , 负荷功率因数 0.9, 线路阻抗角 72°。按躲过线路最大负荷 105 MVA 计 ( $I_n = 551$  A), 计算结果如表 3。

表 3 传统算法与改进算法距离阻抗计算结果

系数及定值	$K_k$	$K_h$	$K_{st}$	距离 III 段	$K_m$ (远后备)
传统算法	1.2	1.15	2	54.3 $\Omega$	0.82
改进算法	1.2	1.05	1.5	79.3 $\Omega$	1.19

可见, 自起动系数和返回系数的取值不一样, 距离保护的远后备灵敏度也大不一样。按照保护装置与系统实际负荷性质对距离保护进行整定, 能大大提高距离保护作远后备的灵敏度, 应根据装置和系统运行的实际情况取值, 既保证了保护的可靠性, 又尽量发挥了距离保护的远后备功能。

对于一些重载线路, 即使调整了各项系数仍不能满足灵敏度要求时, 应将保护装置更换为 RCS-941 型保护装置为宜。

## 4 结 语

通过采用原理完善的 RCS-941 保护装置, 能够很好地实现对邻变电站后备保护作用; 通过改进距离保护的整定计算方法, 使电网原有的保护装置灵敏度得到提高, 有利于电网的安全稳定运行。

## 参考文献

[1] 崔家佩, 孟庆炎, 陈永芳, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

[2] 李天华, 等. 3 kV~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程 [S]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2007.

[3] 王梅义. 电网继电保护应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

[4] RCS-941 系列高压输电线路成套保护装置技术说明书 [R]. 南瑞继保电气有限公司.

[5] LFP-941 系列高压输电线路成套保护装置技术说明书 [R]. 南瑞继保电气有限公司.

[6] 潘和勋, 等. 电力系统继电保护配置及整定计算 [D]. 成都: 成都科技大学.

(收稿日期: 2009-12-10)