

自主创新 跨越发展

——电工研究所研制的 400 兆瓦蒸发冷却水轮发电机 走在世界前列*

田新东

卢盛魁

(电工研究所 北京 100080)

(本刊编辑部 北京 100864)

关键词 蒸发冷却技术, 世界领先

水力发电由于不污染环境和资源可再生, 世界各国特别是发达国家竞相优先开发。水轮发电机的关键技术之一是冷却问题。大型水轮发电机采用全空冷时, 定子绕组产生的热量, 经绝缘或铁心后传至空气, 再由冷却器的二次冷却水散出, 导体会有较高的温升, 因而引起热应力、热变形, 严重影响绝缘寿命并使电机运行安全性降低。20 世纪 70 年代, 国际上采用水内冷方式来改善电机的性能, 以突破全空冷的制造容量极限, 但水内冷存在漏、堵和腐蚀引起事故的本质性弱点。电工研究所在老一代科学家带领下, 针对空冷缺点和水冷弱点, 独辟蹊径, 对蒸发冷却技术进行了原理性探索和应用基础研究。经过 40 年数百个人年的潜心研究, 在国际尚无先例的情况下, 从应用基础到工程实用化, 形成了以无泵自循环运行原理和采用高绝缘性能、低沸点介质为主要特征的全新蒸发冷却技术。将自主知识创新与技术创新紧密结合起来, 并将该技术在工业机组上应用, 取得了突破性进展, 使这项科技成果转化成为生产力。

1 实现跨越式发展

自 1976 年起, 电工研究所就开始与东方电机

股份有限公司合作, 先后研制成功二台 10 兆瓦及一台 50 兆瓦蒸发冷却水轮发电机, 并在云南电力公司大寨水电厂以及陕西安康火石岩水电开发公司的支持与合作下, 取得了长期运行经验, 创下了内冷发电机安全可靠运行的记录, 初步展现了该技术的优越性和生命力, 得到有关部门的高度评价和赞赏。50 兆瓦机组鉴定委员会认为: 该机的研制成功及电站运行情况表明, 蒸发冷却是更为优越的内冷技术, 可以有效地减小水轮发电机尺寸和重量, 有明显的经济效益, 也表明了我国发展蒸发冷却技术在理论和实践上的国际领先地位, 为发展大型水轮发电机提供了新的冷却途径。

我国大型水电站的兴建, 对水轮发电机组提出了更高的要求, 希望能尽快研制出 400 兆瓦容量等级水轮发电机。但是, 如何由 50 兆瓦容量向上跨越呢? 常规的发展是在 150—200 兆瓦容量等级上应用成功后, 再跨上 400 兆瓦容量, 按此模式势必要多花 8—10 年的时间。为了赶上我国水电建设的发展步伐, 缩短科研成果转化周期, 以顾国彪院士为首的科研人员提出了从 50 兆瓦到 400 兆瓦的跨越式发展战略, 并得到国家主管部门的支持, 于 1996 年正式立项。

这样大型的水电建设项目, 必须是科研、生产、

* 收稿日期: 2001 年 6 月 13 日

用户三方面的结合。为了使这一大工程科研有效地进行,中国科学院、电力部、机械部发挥了指挥及协调的功能;电工研究所、东电公司、李家峡水电分公司承担具体任务。蒸发冷却系统约有 3 000 多个零部件需在工地现场组装,以形成一个全密闭的内冷系统。每个零部件都必须经过严格检查和验收,组装后气密泄漏率不能超过 2% 的技术指标。对如此庞大的冷却系统进行整体密封性能检验与缺陷的修复,是一项繁重而艰难的技术工作,如果检验技术不过关,就不可能从近万个可能的疑点中查找泄漏位置并加以纠正,电机的冷却系统性能就不可能达到规定的标准。他们研究了多种方法与仪器,保证了这一关键环节的顺利通过。

蒸发冷却技术应用在水轮发电机上,在国际上是有先例可循的创新技术。对于参加工作的大部分科研人员,都是第一次经历,为了使大家了解和确认这项新技术以及制造、安装、监理、运行、维护的过程,在 1997 年一年内曾先后三次召开技术审查会,最终形成了一致认同的技术方案。由于各个部门互相支持、合作以及领导部门组织、协调,在两年内完成了 400 兆瓦蒸发冷却水轮发电机的研制、安装与运行,实现了跨越式的发展。

2 冷却技术国际领先、电机性能国际前列

电工研究所研制的世界第一台 400 兆瓦蒸发冷却大型水轮发电机,其冷却技术国际领先,电机整体性能处于国际前列,冷却系统实现了低压力、

低温升工况下运行,达到了运行稳定、可靠及高效率的技术性能。蒸发冷却应用了高绝缘性能、导热性好的氟碳介质,沸腾后可将热量带走,再经热交换器由二次水带走热量。在水轮发电机的立式结构条件下,依靠沸腾吸热发生流体密度的变化,产生流动压头实现自循环冷却。因此,只要有一个良好的全密闭的冷却系统,就可以免维护地长期工作。冷却系统随着电机发热的变化自动调整循环流量,适应散热的需要,即使有少量的泄漏,也不会影响电机的运行。因此,它是极为可靠,且适合我国制造水平可以替代水内冷的新技术。发电机定子采用蒸发冷却后,转子的冷却风量大为减少,风摩损耗相应减小,效率得到提高。蒸发冷却的应用不仅提高了制造容量极限,还提高了发电机的可靠性及使用寿命。400 兆瓦机组的成功运行,充分证明了这项技术的优越性及实用性。具有自主知识产权的大型水轮发电机的冷却技术,使我国大型水轮发电机现代化的程度上到了更高的台阶,走在了这一领域的国际前列。

21 世纪初叶,我国将有一大批大型和超大型水轮发电机亟待研制和生产,而冷却是关键技术之一。400 兆瓦水轮发电机因具有性能优良、技术成熟和与我国现有电机制造业制造能力完全适应的突出特点,因此可预期该成果产出的经济和社会效益将是十分巨大的。该机的研制的成功,为向下一个特大型水轮发电机目标前进打下了基础。

(相关图片请见封三)