

案例9 直流供电系统发展之路——爱国、爱岗、爱业的 中国电气工程技术人员

【所属课程】 电气工程基础。

【教学内容】 直流供电系统。

【案例意义】 随着直流供电装置、策略的快速发展，同时伴随着制造业的不断升级，尤其是我国能源自主的国家战略的实施，直流供电系统在电力系统中有不可替代的重要地位。通过讲解中国直流供电系统发展的历史，体现中华民族一步步走向科技强国的努力与决心，并且通过钱学森先生的爱国事迹，培养学生的爱国精神，激励学生投身于祖国未来建设。

【教学过程】

1. 问题导入

万事万物都有一个发展的过程，直流供电系统的发展凝聚了千万人的智慧。对于直流供电系统来说，其发展可以分为两个部分，第一个是直流供电系统装置的进展，第二个是直流供电系统换流站控制策略的进展。通过讲述这两个部分的进展历史，体现出中国过程控制进展的不易；通过介绍爱国人士的努力付出，引出作为现代大学生应该具有的爱国精神。

2. 讲授正文

(1) 直流输电系统装置的进展。

我国幅员辽阔，自然资源丰富。我国能源丰富地区与用电负荷高的经济发达地区之间的分布极不平衡，若采用输电容量大、损耗低的高压直流输电技术，可有效缓解上述矛盾。我国的高压直流输电技术起步较早（1987年），完全依赖国内技术的首个直流工程——舟山直流输电工程投入运行。2010年，全世界首个 ± 800 kV电压等级的高压直流输电工程——云南—广东特高压直流（ultra high voltage direct current, UHVDC）输电工程（容量6400MW）双极投产运行。截至2018年，全国共有11个 ± 800 kV电压等级的UHVDC输电工程投入运行。近年来，单个UHVDC输电工程的容量仍在逐步提升，已投运的锡林郭勒盟—泰州、上海庙—山东UHVDC输电工程的容量已经达到10000 MW。2019年初，我国建立的全世界首个 ± 1100 kV电压等级的UHVDC输电工程——昌吉—古泉UHVDC输电工程成功启动全压送电，标志着我国的高压直流输电技术处于世界领先水平。

(2) 直流输电系统保护技术的进展。

近年来，随着我国HVDC输电系统总容量的逐步提升，交直流混联电网的格局正在形成。快速、可靠的HVDC系统保护对于整个交直流混联电网安全、稳定运行具有重要意义。直流输电线路作为HVDC系统重要的组成部分之一，输电距离长、运行环境恶劣，故障概率高。因此，将其作为直流线路配置性能优越的保护方案具有十分重要的意义。目前，实际的HVDC输电工程所使用的直流线路保护方案主要是由ABB公司提出的。然而，这些直流线路保护方案仍存在着诸多问题，并且在实际运行中也曾出现过由于线路保护拒动，直流系统被极控后备保护错误闭锁的事故。因此，为了提高电力系统安全运行水平，提出一套高压直流线路保护整体方案具有十分重要的意义。

我国电气工程科学技术人员通过多年的研究和实践，指出在直流线路内部故障时，直流

线路两侧的电流突变量方向相反，外部故障时两侧电流突变量方向则相同，并基于此提出了一种利用电流突变特性的直流线路纵联保护原理；在电流突变量保护判据的基础上，增加了电压突变量判据，并且分析了雷击和高阻接地对保护的影响；同时提出利用 Hilbert-Huang 变换求解直流线路两侧突变量的相位差，进而识别出区内、外故障；根据区外故障时直流线路两侧电压波形相似度很高，区内故障时两侧波形存在较大差异性，提出了一种基于波形比较的直流输电线路快速保护方案。

(3) 钱学森先生的爱国事迹。

通过介绍各种经典与主流控制策略，溯其根源，引入钱学森先生于 1954 年所著的《工程控制论》，并介绍此著作对现代控制策略的发展有着不可忽视的影响作用。钱学森首创把控制论推广到工程技术领域，目的是把工程实践中经常运用的设计原则和试验方法加以整理和总结，取其共性，形成科学理论，使科学技术人员获得更广阔的眼界，用更系统的方法去观察技术问题，指导千差万别的工程实践。除了《工程控制论》，钱学森先生还留下了《论系统工程》《星际航行概论》等不朽的学术著作。这些著作先后获得中科院自然科学奖一等奖、国家科技提高奖特等奖、小罗克韦尔奖章等。钱学森的一生是辉煌的，作为爱国者，他花费了五年的时间冲破层层阻力回到中国；作为科学家，他在中华人民共和国一穷二白的情况下，为中国科学技术的发展做出了贡献。作为当代大学生，中华民族未来的希望，我们更应将钱学森先生作为榜样，以国家核心利益为重，大力弘扬爱国主义精神，用爱国主义精神激励和鞭策自己，积极投身到祖国建设中，把爱国之情转化为爱国之行，做坚定的爱国者。

3. 课后自主讨论

布置课后自主讨论任务，让学生自主了解直流供电系统的进展内容，以及科学研究者们对改善与发展一个直流供电系统付出的不断努力，让学生能够体会到如今科技进步的来之不易，培养学生对国家未来建设的责任心与爱国精神。同时，通过自主查阅资料，激发学生的自主学习能力、提升学生的文献查阅能力，知识整理能力，提升专业知识，为今后专业知识的学习打下基础。

4. 分析总结

(1) 中国迈向近代化的步伐是艰难的，能有今天的成就都少不了各爱国人士的艰辛付出。通过我国及世界先进水平的发展对比，拓宽学生的国际视野，激发其社会责任感。

(2) 钱学森作为推动中国科技进步的爱国人士代表，很好地诠释了人生的真正价值在于对社会的奉献，作为榜样，其爱国精神应被当代大学生所学习。激发学生的爱国主义精神，培养学生的民族自豪感、认同感和荣誉感，保持对社会主义核心价值观的高度认同。

(3) 实现人生价值需要正确处理个人与国家的关系。实现自己的价值，既要有坚定的理想信念，又要遵循客观规律，具备一定的客观条件，积极投身祖国建设中。

(4) 从哲学的发展观看待世界，要通过探索实物的内在规律，全面观察事物的变化，培养相关思维。