

# 降低高压海底电缆登陆段电能损耗的措施研究

何旭涛, 马兴端, 闫循平

(启明电力设计院, 浙江 舟山 316021)

**摘要:** 海底电力电缆施放在海底水域中, 因其使用环境的特殊性, 海底电缆通常采用粗钢丝铠装保护, 从而产生较大的涡流和环流损耗, 登陆段的损耗发热成为制约海底电缆输送容量的瓶颈。采用剥去登陆区段电缆的铠装钢丝并单端接地等工艺措施, 能有效降低单芯海底电缆登陆段损耗, 显著提升输送容量。

**关键词:** 海底电缆; 登陆段; 电能损耗; 措施

**中图分类号:** TM756.1

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1007-1881(2011)10-0029-03

## Research on Power Loss Reduction Measures for Landing Parts of High Voltage Submarine Power Cables

HE Xu-tao, MA Xing-duan, YAN Xun-ping

(Qiming Electric Power Design Institute, Zhoushan Zhejiang 316021, China)

**Abstract:** Steel armor has been widely used to protect submarine cables, which are laid under the sea, due to the specific characteristics of its operation environment. Therefore, submarine cables suffer great eddy current and circulating current losses. The heat generated in the landing parts of the cables becomes the bottleneck that constrains the transmission capacity. The technological measures such as removing the steel armor of the landing parts and perform single-end grounding can effectively reduce the loss in the landing parts of single-core submarine cables and significantly enhance the transmission capacity.

**Key words:** submarine cables; landing parts; electric energy loss; measures

海洋输电包括利用海底电缆进行岛屿供电、海洋平台供电、海上风电场等, 是海洋工程基础设施建设的重要组成部分, 也是支撑海岛经济和社会发展的基础。中国有漫长的海岸线, 岛屿众多, 随着国家“振兴海洋, 开发海洋”战略的实施, 海洋输电网络出现了由大容量、长距离海底电缆实现电能传输的独特模式。海缆线路按使用环境可分为 3 个区段: 海水全浸区段、潮差区段和登陆区段。由于登陆区段的环境热阻比其他区段大许多, 成为海缆电流传输的瓶颈, 明显降低了海缆电能传输的效率。

本文的海底电缆计算引例为 110 kV 交联聚乙烯绝缘铅护套钢丝铠装单芯海底电力电缆, 为引述方便, 文中简称为海底电缆。

## 1 国外海底电缆工程降低损耗采取的措施

### 1.1 加拿大至温哥华岛 525 kV 交流海底电缆联网工程

加拿大至温哥华岛 525 kV 输电工程用海缆两回, 铜导体截面 1 600 mm<sup>2</sup>, 每回传输容量 1 200 MW, 海底电缆全线长 148 km。为降低海缆损耗, 海缆铠装层由铜扁线构成, 导致海缆本体造价高昂(海南 500 kV 海缆的铠装型式与之相同)。

### 1.2 西班牙至摩洛哥 400 kV 海底电缆联网工程

西班牙至摩洛哥跨直布罗陀海峡的 400 kV 海缆的输送容量为 700 MW, 采用充油电缆。海水全浸区段海缆导体截面 800 mm<sup>2</sup>, 采用铜扁线铠装; 登陆区段电缆导体增大为 1 600 mm<sup>2</sup>, 以

解决登陆区段电缆传输容量与海水全浸区的配合问题。2个区段海缆间采用过渡接头连接,处于海水潮差区的接头也正是故障的高发点。

## 2 高电压海底电缆运行特点

### 2.1 长度长

海底电缆应用于海岛电力供应以及海洋风电场发电系统电力传输,因此比陆上电缆工程的长度更长,达几公里甚至几十公里,因而长度长是海底电缆的显著特点。

### 2.2 接地方式特殊

由于海缆连续长度长,跨越海洋、江河、湖泊,无法在海洋或江河湖泊中间处进行类似于陆上电缆的换位布置及接地,因而采用半导体层来释放感应电荷,并在电缆系统两端将海缆的金属套和铠装层互联接地。

### 2.3 损耗较大

由于制造及施工条件的制约,目前国内高电压海缆多采用单芯导体结构,电缆的相间距一般达数十米以上,海缆金属套和铠装层之间有很大的环流,电能损耗较大,损耗引起的发热又造成海缆载流量下降,尤其是热阻较大的登陆区段情况更甚。

## 3 海缆登陆段降低电能损耗的工程意义

### 3.1 海缆各区段损耗及载流量对比

以舟山一项 110 kV 海底电缆工程为例,海水全浸区段海水或海床的热阻较小,设计参考温度为 12~21℃,海床热阻系数 0.8 K·m/W,该区段海缆长度 40 km;潮差区段设计参考温度 25℃,土壤热阻系数 1.2 K·m/W,该区段海缆长度 0.1 km;登陆区段设计参考土壤温度 30℃,土壤热阻系数 2.1 K·m/W,该区段海缆长度 0.5 km;由于受敷设环境热阻条件所限,登陆区段成为海缆传输电流的瓶颈。

在不同环境条件下,110 kV 电压等级、500 mm<sup>2</sup> 铜导体截面的三相交联聚乙烯绝缘海缆两端金属套和铠装层互联接地运行时,对载流量、金属套和铠装层的损耗进行分析计算,各区段计算结果见表 1。

### 3.2 降低登陆区段海缆电能损耗的工程意义

我国生产的海缆均为钢丝铠装结构型式,具

表 1 110 kV 单芯 500 mm<sup>2</sup> 海底电缆载流量与损耗对照

环境条件	海水全浸区段		潮差区段		登陆区段	
	载流量 /A	损耗系数	载流量 /A	损耗系数	载流量 /A	损耗系数
铜扁线铠装 厚度/mm						
2	833	0.76	754	0.76	494	0.8
2.5	860	0.61	780	0.62	514	0.64
3	880	0.52	800	0.52	529	0.54
2×2.5	929	0.3	848	0.32	567	0.32
钢丝铠装 (直径 6 mm)	635	2.2	581	1.5	395	1.9

注:损耗系数为每相金属套和铠装层损耗与导体损耗的比值。

有很强的防外力机械破坏能力,且造价相对较低,能满足海缆设计及环境使用要求。但钢丝铠装海缆登陆区段的载流量明显低于海水全浸区,仅为海水全浸区载流量的 60%~70%,使该区段成为整条海缆线路传输容量的瓶颈。

海缆系统各区段一般采用相同的导体截面、相同结构类型,不必采用过渡接头(连接不同导体截面、不同结构、不同金属套,过渡接头的开发难度很大,且容易成为海缆系统的薄弱环节)。由于海缆系统中海水全浸区的电缆长度占全线的绝大部分,其长度可达数十公里,如果因为登陆区段的载流量低而增加海底电缆导体截面或采用昂贵的铜扁线铠装,将导致工程造价大幅提高。如果采取措施降低海缆登陆区段的电能损耗,消除瓶颈,从而提高整条海缆传输容量,不仅可以避免过渡接头,而且全线均可采用比较经济的电缆,对节约工程造价、减少资源消耗具有显著的经济效益及社会效益。

## 4 降低海缆登陆段电能损耗的措施

### 4.1 降低登陆段海缆电能损耗的措施

因钢丝感应产生的交流损耗(涡流损耗和磁滞损耗)较大,为减小登陆段电缆的交流损耗及环流损耗,可采取以下措施:剥去登陆区段海缆的钢丝铠装层,并在此处将海缆的金属套、铠装层互联接地,登陆区段电缆终端侧不直接接地,即登陆区段海缆采用单端互联接地的方式。110 kV 交联聚乙烯绝缘海底电缆登陆区段剥去铠装层并接地后,其载流量计算结果如表 2 所示。

从表 2 可见,钢丝铠装海缆登陆段剥去铠装及单端互联接地后,损耗明显减少,500 mm<sup>2</sup> 铜导体截面的海缆传输电流可提高至 643 A,输送

表 2 110 kV 单芯 500 mm<sup>2</sup> 海底电缆剥去铠装层后的载流量与损耗

环境条件 铜扁线铠装厚度/mm	登陆区段	
	载流量/A	损耗系数
2	631	0.015
2.5	631	0.015
3	631.6	0.015
2×2.5	634	0.015
钢丝铠装 (直径 6 mm)	643	0.002 2

注: 损耗系数为每相金属套和铠装层损耗与导体损耗的比值。

容量提高了 62%, 经济效益显著。

潮差区段的海缆也可采用此种措施以降低电能损耗、提高传送容量。

#### 4.2 工程应用注意事项

海底电缆结构如图 1 所示。海缆登陆后, 将铠装镀锌钢丝与 PP 绳沥青外皮剥除, 并在剥去铠装层的断点处做接地装置。但剥去铠装后的内垫层及铅护套因失去了铠装的保护而容易受损, 因此必须认真做好剥除铠装后的登陆段电缆的机械保护措施, 并固定电缆, 防止电缆受外力损坏。

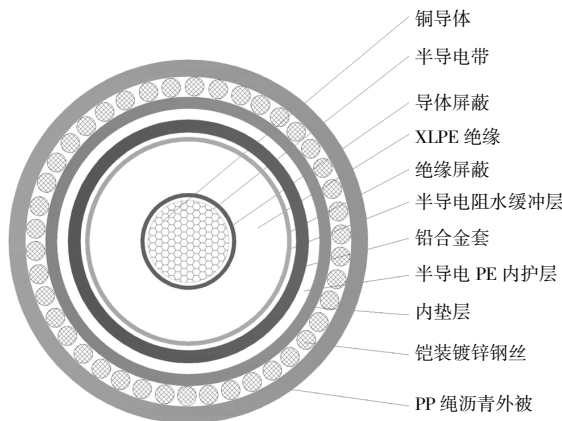


图 1 110 kV 交联聚乙烯绝缘铅护套钢丝铠装单芯电缆结构示意图

## 5 结语

(1) 因使用环境的需要, 海底电缆外部一般采用粗钢丝作铠装保护, 而这也是高电压单芯海底电缆登陆段产生电能损耗的主要原因。

(2) 本文提出的海底电缆登陆区段采用剥去铠装钢丝并单端接地的措施, 是有效降低登陆区段海缆电能损耗的一项不增加投资、见效显著的工程性解决方案, 并能有效提高整条海底电缆的传输容量。该措施已成功运用于舟山海缆工程中。

(3) 降低海缆电能损耗对于“节约资源, 保护环境”具有重要意义。本文提出的技术措施对于提高海底电缆输电工程设计、运行水平具有参考价值, 对同类型电缆工程具有借鉴作用。

#### 参考文献:

- [1] R.G.FOXALL.Design, manufacture and installation of a 525 kV alternating current submarine cable link from mainland Canada to Vancouver island[C]. CIGRE Session 1984:21-04.
- [2] R.GRANADINO.400 kV 700 MW fluid filled submarine cables for the Spain-Morocco interconnection[C]. CIGRE Session 2000:21-301.
- [3] JB/T 10181.1-2000(idt IEC 60287-1-1:1994)载流量公式(100%负荷因数)和损耗计算[S].北京:机械工业出版社,2000.
- [4] GB 50217-2007 电力工程电缆设计规范[S].北京:中国计划出版社,2008.

收稿日期: 2011-06-16

作者简介: 何旭涛(1973-), 男, 浙江舟山人, 工程师, 从事高压输电线路工程与海洋输电工程设计工作。

(本文编辑: 龚 皓)

## 下 期 要 目

- 电力系统继电保护定期校验技术综述及其展望
- 振荡波测试技术在中压电力电缆局部放电检测中的应用
- 220 kV 变压器色谱在线预警系统的应用
- GE745 系列变压器保护二次谐波闭锁算法研究
- 数字化变电站对变电运行的影响
- 乌沙山发电厂热工系统故障分析处理与改进措施
- 基于试验法的 600 MW 超临界汽轮机阀门特性优化
- 火电机组协调控制中基于能量分析的锅炉前馈研究
- 烟气脱硫 GGH 换热元件的更换改造工程与压差保持
- 浅析 SOG 智能负荷开关在德清配电网中的应用