

导体和电气设备选型指南丛书

额定电压66kV及以上 挤包绝缘电力电缆及附件

中国工程建设标准化协会电气专委会 组编
导体和电气设备选择分委员会

中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司

胡振兴 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

导体和电气设备选型指南丛书

额定电压66kV及以上

挤包绝缘电力电缆及附件

中国工程建设标准化协会电气专委会 组编
导体和电气设备选择分委员会

中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司

胡振兴 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《导体和电气设备选型指南丛书》是由中国工程建设标准化协会电气专委会、导体和电气设备选择分委员会组织编写的一套针对导体和电气设备选型的技术丛书,共13分册,本分册为《额定电压66kV及以上挤包绝缘电力电缆及附件》。

本书是关于额定电压66kV及以上挤包绝缘电力电缆及附件选择和应用的一本实用工程技术书。全书共分7章,分别为额定电压66kV及以上电压等级挤包绝缘电力电缆的选用原则,额定电压66kV及以上电力电缆附件的结构、选用原则及安装,额定电压66kV及以上电压等级挤包绝缘电力电缆截面的选用,额定电压66kV及以上电压等级电力电缆的敷设,额定电压66kV及以上电力电缆的过电压保护,电力电缆在线监测以及电力电缆敷设案例。

本书可供从事额定电压66kV及以上挤包绝缘电力电缆及附件设计、制造、安装、运行和试验等相关专业的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

额定电压66kV及以上挤包绝缘电力电缆及附件 / 胡振兴主编;中国工程建设标准化协会电气专委会,导体和电气设备选择分委员会组编. —北京:中国电力出版社,2015.10

(导体和电气设备选型指南丛书)

ISBN 978-7-5123-8421-7

I. ①额… II. ①胡… ②中… ③导… III. ①绝缘电缆-工程技术 IV. ①TM247

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第242353号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年10月第一版 2015年10月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 12.75印张 218千字

印数0001—2000册 定价52.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

导体和电气设备选型指南丛书

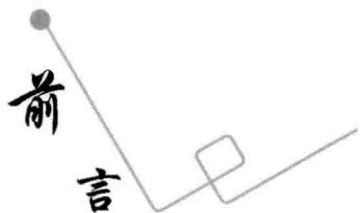
编 委 会

主 任	李淑芳		
副 主 任	吴德仁	曹永振	王雷鸣
执行主编	弋东方	郎润华	
编 委	王 鑫	郝士杰	孙 进
	杨月红	徐剑浩	

《额定电压 66kV 及以上挤包绝缘 电力电缆及附件》

编 写 人 员

主 编	胡振兴		
参 编	邓 鹏	丁 唯	齐 春
	罗晓康	杨毅伟	龙西陵



我国的电力行业随着经济快速增长而高速发展，到 2014 年年底，全国发电装机容量已突破 13.6 亿 kW，居世界第一。火、水、风、光、核等多样能源犹如百花争艳。国家电网的交流输电电压达到了 1000kV，直流输电电压达到了 800kV，智能电网的建设方兴未艾。电工准备制造业日新月异。自主创新，促进电力技术发展到了崭新的阶段。

为了顺应这样的大好形势，也为了总结、梳理、深化和推介导体和设备选型经验，提高设计水平和质量，中国工程建设标准化协会电气专委会导体和电气设备选择分委员会决定邀请国内院校、科研、设计、制造等单位的业内专家，联合编撰一套导体和电气设备选型指南丛书，供读者使用。

本套丛书将包括电动机、变压器、互感器、电抗器、开关设备、成套设备、电容补偿设备、变频及启动设备、中性点设备、过电压保护设备、绝缘设备、导体、电缆等 13 个分册。祈望这套丛书能够编撰成：① 教科书的延伸；② 规程规范的诠释；③ 设计人员的工具；④ 招投标的助手；⑤ 制造厂商的参谋。

本书为《额定电压 66kV 及以上挤包绝缘电力电缆及附件》分册，全面介绍额定电压 66kV 及以上挤包绝缘电力电缆及附件选型及设计，给出工程设计中型式选择和配置原则，以及各种设备的选择方法，列举典型的选择和应用实例，供电气设计人员、运行人员参考使用，以达到正确的选择和使用 66kV 及以上挤包绝缘电力电缆及附件的目的。

编撰这套丛书是中国工程建设标准化协会电气专委会导体和电气设备选择分委员会应尽的社会责任，在这里，要特别感谢标委会全体委员们的共同努力。由于编写时间仓促，书中难免有疏漏之处，衷心希望广大读者对本套丛书提出宝贵意见。

中国工程建设标准化协会电气专委会
导体和电气设备选择分委员会
2015 年 1 月 北京

目 录

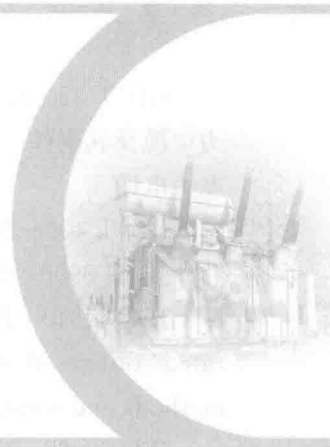
前言

第 1 章 额定电压 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电力电缆的选用原则	1
1.1 适用的标准、规程、规范和技术规定	1
1.2 额定电压 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电力电缆的结构 及选用原则	3
1.3 电缆护层接地方式的选择	28
1.4 电缆远距离送电补偿电抗器容量	36
1.5 电缆周围环境工频磁场强度的限值	38
第 2 章 额定电压 66kV 及以上电力电缆附件的结构、选用原则及安装	40
2.1 适用的标准、规程、规范和技术规定	40
2.2 电缆附件的结构特点及选用原则	41
2.3 全干式电缆终端的安装	52
第 3 章 额定电压 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电力电缆截面的选用	55
3.1 电缆载流量计算	55
3.2 电缆短路最小热稳定截面计算	71
3.3 电缆载流量计算软件介绍	73
第 4 章 额定电压 66kV 及以上电压等级电力电缆的敷设	80
4.1 66kV 及以上电压等级电力电缆敷设的一般要求	80
4.2 电缆构筑物尺寸的确定	95
4.3 电缆的支持与固定	100
第 5 章 额定电压 66kV 及以上电力电缆的过电压保护	105
5.1 单芯交联电缆护层电压计算	105
5.2 电缆的行波保护	130
5.3 电缆金属套过电压保护	143
5.4 电缆金属套过电压计算软件介绍	150
第 6 章 电力电缆在线监测	152
6.1 XLPE 电缆绝缘老化机理	153

6.2 电力电缆在线监测方法	163
6.3 高压电缆在线监测案例	180
第7章 电力电缆敷设案例	182
7.1 500kV 电力电缆敷设	182
7.2 220kV 电力电缆敷设	182
7.3 110kV 电力电缆桥、支架敷设	189
参考文献	193

第1章

额定电压66kV及以上电压等级 挤包绝缘电力电缆的选用原则



1.1 适用的标准、规程、规范和技术规定

国内外适用于 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电力电缆的部分标准如下：

GB/T 2952.1—2008 电缆外护层 第1部分：总则

GB/T 2952.2—2008 电缆外护层 第2部分：金属套电缆外护层

GB/T 2952.3—2008 电缆外护层 第3部分：非金属套电缆通用外护层

GB/T 3956—2008 电缆的导体

GB/T 11017.1—2014 额定电压 110kV ($U_m=126kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第1部分：试验方法和要求

GB/T 11017.2—2014 额定电压 110kV ($U_m=126kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分：电缆

GB/Z 18890.1—2002 额定电压 220kV ($U_m=252kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第1部分：额定电压 220kV ($U_m=252kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件的电力电缆系统——试验方法和要求

GB/Z 18890.2—2002 额定电压 220kV ($U_m=252kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分：额定电压 220kV ($U_m=252kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆

GB/T 22078.1—2008 额定电压 500kV ($U_m=550kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第1部分：额定电压 500kV ($U_m=550kV$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件——试验方法和要求

GB/T 22078.2—2008 额定电压 500kV ($U_m=550\text{kV}$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分: 额定电压 500kV ($U_m=550\text{kV}$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆

DL/T 401—2002 高压电缆选用导则

JB/T 8996—2014 高压电缆选择导则

IEC 60840 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30kV ($U_m=36\text{kV}$) up to 150kV ($U_m=170\text{kV}$) ——Test methods and requirements

IEC 62067 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV ($U_m=170\text{kV}$) up to 500kV ($U_m=550\text{kV}$) ——Test methods and requirements

IEC 60228 Conductors of insulated cables

IEC 60183 Guide to the selection of high-voltage cables

IEC 60287 Electric cables—Calculation of the current rating

IEEE 48 Test procedures and requirements for alternating-current cable terminations 2.5kV through 765kV

IEEE 404 Extruded and laminated dielectric shielded cable joints rated 2500V to 500 000V

IEEE 532 Guide for selecting and testing jackets for underground cables

IEEE 575 Guide for the Application of Sheath-Bonding Methods for Single-Conductor Cables and the Calculation of Induced Voltages and Currents in Cable Sheaths

IEEE 592 Exposed semiconducting shields on high-voltage cable joints and separable insulated connector

NEK 606 Cables for offshore installations halogen-free and/or mud resistant

IEEE 635 Guide for selection and design of aluminium sheaths for power cables

IEEE 1580 Recommended Practice for Marine Cable for Use on Shipboard and Fixed or Floating Platforms

1.2 额定电压 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电力电缆的结构及选用原则

额定电压 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电缆一般由导体、导体屏蔽层、绝缘层、绝缘屏蔽层、缓冲层、金属屏蔽层和（或）金属套、外护层等构成，典型结构如图 1-1 所示。

1.2.1 导体

1.2.1.1 导体材料

电缆导体的作用是传输电流，一般采用铝或铜制成。

（1）铝。铝导体更多用于 110kV 及以下电压等级的电缆，国家标准要求采用 LY4 型或 LY6 型硬圆铝线，其主要参数见表 1-1。圆铝线由表面清洁，没有褶皱边、错圆、裂纹、夹杂物、扭结等缺陷的电工圆铝杆制成。用铝作导体具有很多优点：导电性较好，仅次于银、铜、金，居第四位；密度小，作为电缆导体质量轻；导热性好；有一定的耐腐蚀性；塑性好，易加工；自然界含量丰富，价格便宜。缺点是抗拉强度低。作为导体的电工铝，铝的含量一般不低于 99.5%，硅含量在 0.1% 以下，铜的含量和锰、铬、钒、钛等元素的总含量低于 0.01%。

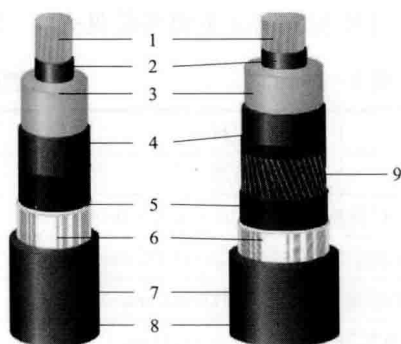


图 1-1 额定电压 66kV 及以上电压等级挤包绝缘电力电缆的典型结构

- 1—导体；2—内屏蔽层；3—绝缘层；
4—外屏蔽层；5—缓冲层；6—金属套；
7—外护层；8—外导电层；9—金属屏蔽层

表 1-1 LY4 型或 LY6 型硬铝线主要参数

项 目	单位	LY4	LY6
直径范围	mm	0.3~6	0.3~10
直径偏差（直径 0.3~0.9mm）	mm	±0.013	±0.013
直径偏差（直径 0.91~2.49mm）	mm		±0.025
抗拉强度	kgf/mm ²	12.75~16.83	
电阻率（20℃）	Ω·mm ² /m	0.028 2	
密度（20℃）	g/cm ³	2.703	
熔点	℃	658	
线膨胀系数	℃ ⁻¹	0.000 023	
电阻温度系数	℃ ⁻¹	0.004 03	

(2) 铜。铜导体可用于任何电压等级的电力电缆，国家标准要求采用 TR 型软铜线。由于杂质含量对铜的电导率影响很大，即使很少量的杂质都会引起电导率的大幅下降，因此软铜线要求由含铜量不小于 99.9% 的无氧铜线坯制成。相比于铝导体，铜具有更好的导电、导热性能，更好的耐腐蚀性和更好的机械性能。TR 型软铜线主要参数见表 1-2。

表 1-2 TR 型软铜线主要参数

项 目	单位	TR 软铜线
直径范围	mm	0.02~14
直径偏差 (直径 0.02~0.025mm)	mm	±0.002
直径偏差 (直径 0.026~0.125mm)	mm	±0.003
直径偏差 (直径 0.126~0.4mm)	mm	±0.004
直径偏差 (直径 0.401~14mm)	mm	±1% <i>d</i> (直径)
伸长率	%	10~35
电阻率 (20℃)	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.017 2
密度 (20℃)	g/cm^3	8.89
熔点	℃	1081.5
抗拉强度	kgf/mm^2	35~40
线膨胀系数	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.000 017
电阻温度系数	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.003 93

电阻率是电缆导体最重要的性能参数，不同温度下的电阻率可按式 1-1 计算。

$$R_{\theta} = R_{20} [1 + \alpha(\theta - 20)] \quad (1-1)$$

式中 R_{θ} —— θ (℃) 时的导体电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；

R_{20} ——20℃时的导体电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；

α ——导体电阻温度系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

20℃温度时，铜的电阻率仅为铝的 60%，且铜的电阻温度系数低于铝，因此无论在什么温度下，铜的导电性能均优于铝。在相同载流量下，采用铜导体的电缆线芯截面积小、外层材料用量少、在弯曲半径和制造长度上具有优势，同时铜的机械强度高、抗拉能力强、抗疲劳性能好、反复弯折不易断裂，可靠性高、便于施工。缺点在于铜材价格较高。铝导体的优势是原料在自然界含量丰富、价格便宜、质量轻、施工运输方便，但铝的电阻率大，相同载流量下，电缆截面积大，机械强度差、抗拉能力一般、弹性小、热膨胀系数大、接头易变形、松动，

导致接触不良。据美国消费品安全委员会（CPCS）统计的火灾事故率，铜芯线缆为铝芯电缆的 1/55，可以确认铜芯电缆的可靠性更高。对于 110kV 及以下电压等级，在电缆长度短、重要程度低、回路电流小的情况下可考虑采用铝导体，110kV 以上电压等级一般认为通常是重要回路，宜采用铜导体。

1.2.1.2 导体截面及结构型式

对于单芯电缆，66~500kV 电缆导体的标准截面积有：240，300，400，500，630，800，1000，1200（1400），1600（1800），2000（2200），2500，3000mm²。由于截面积较大，为了增加柔韧性和弯曲性，以铜电缆为例，线芯由多根小直径的软铜线绞合而成，绞合结构大大提高了导体的稳定性和柔韧性，当弯曲时，不会产生塑性形变，也不容易损伤电缆的绝缘。线芯的绞合形式分规则绞合和不规则绞合两类。导体有规则、同心且相邻各层依不同方向的绞合为规则绞合，常见规则绞合截面如图 1-2 所示；所有导体都依一个方向的绞合为不规则绞合。规则绞合线芯结构稳定，电力电缆大都采用这种方式；不规则绞合的线芯绞合结构稳定性差，不适用于高压大截面电缆。

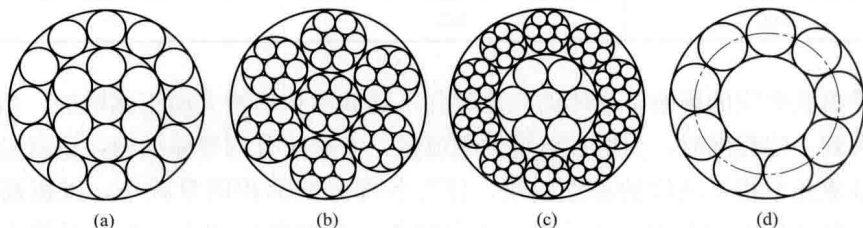


图 1-2 常见规则绞合截面

(a) 简单正规绞合；(b) 复合正规绞合；(c) 简单非正规绞合；(d) 复杂非正规绞合

线芯紧压前，绞合结构的导线之间存在一定的缝隙，使得线芯轮廓面积大于线芯导体实际面积，后者和前者之比称为填充系数。紧压后，每根导体不再是圆形，而呈不规则形状填充原有缝隙，从而减小线芯轮廓面积，节约外层材料，降低成本，这种工艺制成的线芯也称紧压绞合圆形结构。电缆紧压绞合结构导体最少单线数量见表 1-3。

表 1-3 电缆紧压绞合结构导体最少单线数量

标称截面积 (mm ²)	导体最少单线数量	
	铜	铝
240	34	30

续表

标称截面积 (mm ²)	导体最少单线数量	
	铜	铝
300	34	30
400	53	
500	53	
630	53	
800	53	
1000	170	—
1200	170	—
1400	170	—
1600	170	—
1800	265	—
2000	265	—
2200	265	—
2500	265	—

受集肤效应的影响,导体的载流量并不随截面积的增大而正比增加,当截面增大到一定程度时,为增加电缆的载流量,需采用分割导体结构,也就是将导体分割成几个相互绝缘的独立股块,使得各部分截面积明显减小,以提高载流量。分割股块有四分割、五分割、六分割等,分割股块越少,生产时绞合、紧压、成缆等工艺要求难度越低,但在减少集肤效应影响上,多股块分割效果更好,目前国内以五分割居多。各股块外层通常包裹绝缘皱纹纸,缆芯外层缠绕绝缘尼龙带。常见的分割导体结构形式有扇形分割和组合式分割(瓦楞形加中间圆形股块),如图 1-3 和图 1-4 所示。

一般来说,当缆芯截面积达 1000mm² 及以上时,必须采用分割导体结构,截面积为 800mm²,可任选紧压导体或分割导体结构,截面积在 800mm² 以下的导体采用紧压绞合圆形结构。

1.2.1.3 导体芯数

三芯电缆截面和弯曲半径大、制造长度短,成缆的附加工序多,成本高于 3 根单芯电缆之和;单芯电缆质量、弯曲半径较小,可采用轻型化敷设设备,运输和敷设上更加便利,多数情况下在陆上采用高压单芯电缆比三芯电缆经济、方便、施工难度小。

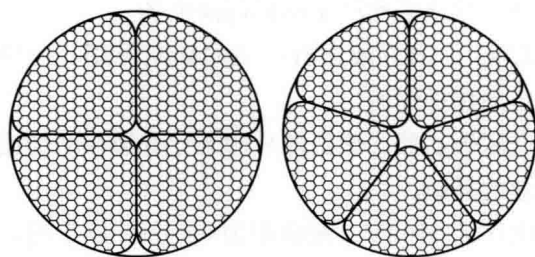


图 1-3 扇形四分割、五分割截面图

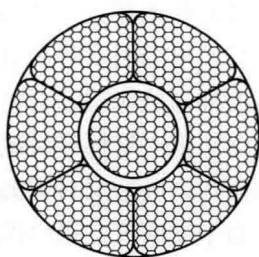


图 1-4 组合式分割截面图

对于水下敷设和部分陆上工程,根据实际情况,也有不少采用三芯电缆,这是因为采用三芯电缆,可一次性完成敷设,减少工作量,而单芯电缆需多次安装完成,特别是水下敷设的路由勘测和清理工作。

如欧洲曾开发了 132kV 800mm² 三芯 XLPE 电缆,用于长距离跨海工程;我国洞庭湖穿越湖底的 110kV XLPE 水下电缆工程,采用英国的 400mm² 三芯型电缆;日本开发了 154kV 1000mm² 三芯 XLPE 电缆用于埋管敷设。单芯/三芯海底电缆如图 1-5 所示。

2008 年某热电厂改造,需新装 4 回路 154kV 电缆,原有隧道已有 3 回路 154kV 电缆。为避免重新挖掘,采用了三芯电缆,在原隧道内完成了电缆敷设,节省了大量土建费用,并顺利按期完工。



图 1-5 单芯/三芯海底电缆

为特别重要回路供电或电缆更换、维修很困难的电缆,可综合技术、经济比较考虑是否设置备用相。备用相数量可按单回路设置第四芯或双回路设置第七芯。

1.2.2 内屏蔽层

内屏蔽层也称导体屏蔽层,它在导体和绝缘层之间,是一种半导体薄层,有如下作用:

(1) 避免局部放电。气隙的存在是引发局部放电的主要原因之一。电缆导体绞合后,外表面不是平整光滑的圆,它与绝缘层之间易形成气隙。内屏蔽层与被屏蔽的导体等电位并与绝缘层良好接触,消除线心表面气隙,从而避免在导体与绝缘层之间发生局部放电。

(2) 使电场分布均匀, 消除多线形导线表面产生的局部高电场。

(3) 电缆温度瞬间升高时 (如短路), 内屏蔽层有一定的隔离作用, 避免高温直接冲击绝缘层, 对绝缘层有一定的保护作用。

(4) 铜对聚烯烃类绝缘材料 (交联聚乙烯、聚乙烯) 的老化有潜在的加速催化作用, 内屏蔽层对铜离子可作有效的屏蔽。

对于交联聚乙烯电缆, 当额定电压为 110kV、截面积为 500mm^2 以下时, 导体屏蔽层为挤包的半导体层; 截面积为 500mm^2 及以上或额定电压为 220kV 及以上时, 导体屏蔽层一般由半导体包带和挤包半导体层组成, 挤包半导体层均匀地包覆在半导体包带外, 并牢固地粘在绝缘层上。内屏蔽层采用交联型的半导体屏蔽塑料, 材料性能见表 1-4。

表 1-4 材 料 性 能

序号	项 目	单位	性能指标	
			110kV 和 220kV	500kV
1	抗张强度	N/mm^2	≥ 12	≥ 12
2	断裂伸长率	%	≥ 150	≥ 180
3	热延伸试验 (200℃, 0.20MPa)			
	负荷伸长率	%	≤ 100	
	永久变形率	%	≤ 10	
4	凝胶含量	%	≥ 65	≥ 65
5	直流电阻率			
	23℃	$\Omega \cdot \text{cm}$	< 100	< 35
	90℃	$\Omega \cdot \text{cm}$	< 350	

1.2.3 绝缘层

作为电缆的绝缘材料, 必须具备如下主要性能:

- (1) 电气性能, 包括绝缘电阻、耐压强度、介质损耗等。
- (2) 耐热性能, 包括短时和长期运行温度、热老化变形等。
- (3) 机械性能, 包括抗拉强度、伸长率、弹性等。

常见的电缆绝缘材料有浸渍纸、橡胶和塑料等, 66~500kV 电力电缆主要包含自容式充油电缆和挤包绝缘电缆两大类, 其中充油电缆绝缘层材料为油浸渍纸, 挤包绝缘电缆绝缘层材料为塑料、橡胶。早在 1917 年, 意大利便发明了自容式充油电缆, 此后, 高压电缆得到了快速地发展。到 1960 年之前, 法国制成

了 500kV 充油电缆。我国在二十世纪六七十年代开始研制使用高压充油电缆，并在八十年代制成 500kV 充油电缆及附件。至今，充油电缆已有近百年的使用历史，但由于有单独的供油系统，存在结构复杂、敷设施工难度大、高落差敷设受限、有漏油污染环境的可能以及易着火酿成严重火灾的缺点，工程中已越来越多的采用挤包绝缘电缆。66~500kV 挤包绝缘电缆包括乙丙橡胶（EPR）、低密度聚乙烯电缆（简称 LDPE 电缆）和交联聚乙烯电缆（简称 XLPE 电缆）3 种型式，其中乙丙橡胶电缆价格较贵，但柔软性好、耐水性好、耐热循环老化能力强且阻燃性好，适合水下敷设时采用，一般仅用于 150kV 及以下。如：在 2001 年，Prysmian 公司生产的 150kV 乙丙橡胶绝缘电缆 24.6km 敷设于威尼斯北部的 Murano 与西北的 Mestre 之间，截面积为 1000mm^2 。国内则由于工艺水平原因乙丙橡胶电缆主要应用于 35kV 及以下场合；聚乙烯电缆耐热老化能力差、机械强度不高、易产生开裂；而交联聚乙烯电缆抗热老化性能好、工频击穿强度高、机械性能和抗开裂能力好。目前工程中更多地采用交联聚乙烯电缆，包括海底电缆也有应用。

高压电缆的绝缘工艺以往常强调立塔（VCV）生产线或长承模（MDCV）生产线，现在悬链线（HCCV）生产工艺也已成熟，因此不必再强调生产工艺，还是应以电缆偏心率、外径圆整水平等实际参数指标为选型依据。

1.2.3.1 低密度聚乙烯

聚乙烯是一种非极性的、类似于石蜡结构的高分子碳氢化合物，根据制造工艺可制成低、中、高密度聚乙烯。

低密度聚乙烯（LDPE）采用氧气或过氧化物做催化剂，将乙烯气态单体在 100~200MPa 压力下加热（200℃左右）聚合而成，这种聚乙烯分子链多，结构疏松呈“树枝状”，密度低（ $0.91\sim 0.925\text{g/cm}^3$ ）。

中密度聚乙烯（MDPE）采用氧化物催化剂，聚合压力 2~5MPa，温度 75~325℃，密度为 $0.926\sim 0.94\text{g/cm}^3$ 。

高密度聚乙烯（HDPE）采用络合催化剂，制造压力和温度分别为 0~1MPa 和 60~75℃，产品密度为 $0.941\sim 0.97\text{g/cm}^3$ 。

聚乙烯的密度变化基本不影响电气性能，而物理、化学性能则随密度的增加提高，主要体现为刚性增加、机械性能变好，但加工性能变差。相比之下，低密度聚乙烯柔韧性好，加工容易；而高密度聚乙烯机械强度虽高，但不易加工。因此一般根据电缆的特性和需要选择适合密度的聚乙烯，电力电缆主要采用低密度聚乙烯。以上 3 种聚乙烯物理化学性能参数见表 1-5。

表 1-5

3 种聚乙烯物理化学性能参数

序号	性 能	单位	LDPE	MDPE	HDPE
1	密度	g/cm^3	0.910~0.925	0.926~0.940	0.941~0.970
2	透明性		半透明	半透明~不透明	半透明~不透明
3	透气速率	相对值	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
4	吸水性 (质量分数, 24h)	%	<0.015	<0.01	<0.01
5	抗拉强度	MPa	8~16	8~26	20~40
6	伸长率	%	400~600	50~800	15~1000
7	弹性模量	MPa	100~300	200~400	400~1200
8	弯曲模量	MPa	250	—	1000
9	肖氏硬度	D	41~46	50~60	60~70
10	结晶熔点	$^{\circ}\text{C}$	108~126	120~130	126~135
11	热变形温度 (荷重 186N/cm ²)	$^{\circ}\text{C}$	32~41	41~49	43~49
12	线膨胀系数	$\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	2.2×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.5×10^{-4}
13	热导率	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	0.35	—	0.18
14	长期使用温度	$^{\circ}\text{C}$	65~70	75~80	80
15	脆化温度	$^{\circ}\text{C}$	<-70	<-70	<-70
16	体积电阻率	$\Omega \cdot \text{cm}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$
17	击穿强度 (瞬时)	kV/mm	18~40	18~40	18~40
18	相对介电常数 60~100Hz 10 ³ Hz		2.25~2.35	2.25~2.35	2.30~2.35
			2.25~2.35	2.25~2.35	2.30~2.35
19	介电损耗角正切 60~100Hz 10 ³ Hz		<0.000 5	<0.000 5	<0.000 5
20	耐弧性		135~160	200~235	>200
21	弱酸		耐	很耐	很耐
22	强酸		受氧化酸侵蚀	受氧化酸侵蚀较慢	受氧化酸侵蚀较慢
23	碱		耐	很耐	很耐
24	耐溶剂性		常温下不受侵入	常温下不受侵入	常温下不受侵入
25	燃烧性		易燃	易燃	易燃

聚乙烯分子结构对称、不含极性基团,是一种非极性材料,其介电常数,介电损耗小,体积电阻率高,电气性能好。聚乙烯电缆耐低温,能在-60℃左右的条件下使用,但长期允许运行温度低,仅 70℃,短时允许温度仅 150℃。在长期