

电力电缆 选型与敷设

✦ 黄 威 夏新民 等编



第三版

The Third Edition

DIANLI
DIANLAN
XUANXING
YU FUSHE



化学工业出版社

电力电缆 选型与敷设

DIANLI DIANLAN
XUANXING YU FUSHI



黄威 夏新民 等编

第三版

The Third Edition



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电缆选型与敷设/黄威等编. —3 版. —北京: 化学工业出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-122-29283-4

I. ①电… II. ①黄… III. ①电力电缆-选型②电力电缆-敷设 IV. ①TM247②TM757

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 050595 号

责任编辑: 高墨荣

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 王 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 10 字数 269 千字

2017 年 6 月北京第 3 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电缆线路相比较架空线路有着极大的优越性，因此电缆的应用日益广泛，各类电缆的生产制造、新品种的开发也日趋增多。特别是从城乡电网改造开始，工矿企业、城镇的景观街道、高层建筑等已经普遍实现电缆化。摆在使用者和建设者面前的任务是如何培养和训练一支具有中、高级技术水平和操作技能的电缆敷设安装及维护队伍，使员工既能采用先进的技术和安装工艺进行电缆线路的敷设，又能在电缆运行维护全过程中用有关质量标准进行跟踪监视和检测，同时也能进行必要的故障检查和判别。为了满足广大电气专业技术人员和工人学习和掌握电力电缆选型、敷设施工技术需要，也为了提高电力电缆敷设工程质量，为确保电力系统安全经济运行，我们在参考有关技术资料的基础上，结合多年的施工和维修经验，编写了本书。本次修订是在第二版的基础上删减了过时的内容，增加了典型电力电缆的结构和性能、电缆的固定、电缆的过电压及防雷接地保护等内容。本书力求帮助读者解决在电力电缆线路选型、敷设施工及平时维护管理中遇到的问题。

本书可供从事电力电缆选型、线路设计施工的工程技术人员和现场工人使用，也可供职业技术学院有关专业师生参考。

本书由黄威、夏新民、黄一平、黄禹、孙琴梅参与编写。其中孙琴梅编写第1章，黄一平编写第2章，黄禹编写第3、4章，夏新民编写第5章，黄威编写第6章。全书由夏新民统稿。本书在编写过程中，得到了刘学红、王艳红、张敏的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 电力电缆的基础知识	1
1.1 电力电缆的用途与优缺点	1
1.2 电力电缆的种类及特征	2
1.2.1 电力电缆的种类	2
1.2.2 电力电缆的特征	4
1.3 电力电缆的制造流程	6
1.3.1 油浸纸绝缘电缆生产过程	6
1.3.2 橡塑绝缘电缆生产过程	6
1.3.3 塑料绝缘电缆生产过程	6
1.4 电力电缆的基本结构.....	11
1.4.1 导线结构设计.....	12
1.4.2 绝缘结构设计.....	13
1.4.3 屏蔽结构设计.....	18
1.4.4 护层结构设计.....	18
1.5 电缆的导体.....	20
1.5.1 导体材料、性能和规格.....	20
1.5.2 电缆的截面积.....	26
1.6 电缆的绝缘.....	27
1.6.1 绝缘材料.....	27
1.6.2 电缆绝缘和电压等级的关系.....	35
1.6.3 绝缘厚度和截面积的关系.....	36
1.7 电缆的护层.....	36
1.7.1 电缆护层的材料和结构.....	36
1.7.2 单芯交流电缆的护层.....	46
1.8 屏蔽层.....	46

1.8.1	屏蔽层的作用	47
1.8.2	屏蔽材料	48
1.8.3	屏蔽结构	48
1.8.4	塑料和油浸渍纸绝缘电缆的屏蔽层材料	49
1.9	电缆的性能试验	51
1.9.1	性能试验项目	51
1.9.2	绝缘电阻	51
1.9.3	耐电压性能	52
1.9.4	弯曲性能试验	53
1.9.5	冲击、挤压和冲割试验	54
1.9.6	老化性能试验	54
1.9.7	电缆的载流量	55

第2章 电缆的选型 57

2.1	电缆的型号与应用范围	57
2.1.1	电缆型号的编制原则	57
2.1.2	典型电力电缆的结构和性能	59
2.2	电缆的选用	76
2.2.1	电缆类型的选择	76
2.2.2	电缆截面的选择	83
2.3	电缆的载流量	91
2.3.1	载流量表的说明	91
2.3.2	不同绝缘电缆的载流量	94
2.3.3	导体的直流电阻计算	94
2.3.4	导体的交流电阻计算	106
2.3.5	电容量、电容电流、介质损耗计算	108
2.3.6	电缆载流量计算	110
2.4	电压损失计算	112
2.4.1	导线阻抗计算	112
2.4.2	电压损失计算	113

2.4.3	电缆线路的电压损失	114
第3章	电缆敷设程序及施工质量标准	119
3.1	概述	119
3.1.1	电缆线路敷设安装的施工程序	119
3.1.2	电缆敷设工程的图形符号及标注方法	120
3.2	电缆敷设的检查评定及竣工验收	140
3.2.1	电缆线路敷设安装工程质量的检查	140
3.2.2	电缆敷设安装施工工程的评定	141
3.2.3	电缆敷设安装施工工程的验收	143
3.3	电缆线路敷设施工质量标准与要求	144
3.3.1	与电缆线路安装有关的建筑工程施工标准	145
3.3.2	电缆运输与保管质量标准及要求	145
3.3.3	电缆敷设的质量标准及要求	146
3.4	电缆敷设工程接地装置安装质量标准	150
3.5	电缆敷设施工用工艺装备	155
3.5.1	通用工艺装备	155
3.5.2	专用工艺装备	155
第4章	电缆敷设施工工艺程序	158
4.1	电缆敷设的线路选择	158
4.1.1	电缆线路的类型	158
4.1.2	电力电缆线路路径选择	159
4.2	电缆线路的安装方式	159
4.3	电缆的检查和试验	160
4.3.1	电缆的检查	160
4.3.2	电缆安装敷设前的试验	161
4.4	电缆安装敷设的技术要求	166
4.5	电缆安装敷设的工艺方法	168
4.5.1	地下直埋敷设	168
4.5.2	电缆沟内敷设	171

4.5.3	钢索悬吊架空敷设	172
4.5.4	管道内敷设	174
4.5.5	电缆槽架内敷设	175
4.5.6	电气竖井内敷设	176
4.5.7	沿建筑物明设	176
4.5.8	电缆在穿越桥梁时的敷设	176
4.5.9	冬季电缆敷设的技术措施	177
4.5.10	敷设电缆的安全注意事项	178
4.6	电缆的固定	180
4.6.1	电缆固定的部位和要求	180
4.6.2	电缆的固定方式	181
4.6.3	高落差电缆的固定	183
4.6.4	电缆固定夹具的选择和使用	184
4.6.5	斜坡上电缆的固定及固沙措施	186
4.6.6	固定夹具的安装	186
第5章	电缆线路试验	188
5.1	电缆试验基础知识	188
5.1.1	预防性试验项目及技术标准	188
5.1.2	试验设备	191
5.1.3	试验内容	191
5.1.4	试验注意事项	193
5.2	电缆线路施工及验收标准	195
5.2.1	电缆敷设的一般规定	195
5.2.2	电力电缆工程的竣工试验标准	196
5.3	绝缘电阻测量	196
5.3.1	绝缘电阻测量原理	196
5.3.2	绝缘电阻的测量	197
5.4	泄漏电流试验和直流耐压试验	200
5.4.1	试验的意义	200

5.4.2	试验方法	203
5.5	电缆相位检查	205
5.5.1	电缆相位检查的重要性	205
5.5.2	常用电缆相位试验方法	206
5.6	高压交联聚乙烯绝缘电缆的竣工试验	207
5.7	电力电缆的试运行和交接验收	210
5.7.1	投入运行前的检查	210
5.7.2	试运行中的检查与测试	211
5.7.3	交接验收应提供的技术资料	212
5.8	YHCX2858 变频串联谐振耐压试验装置使用介绍	213
5.8.1	应用范围	214
5.8.2	主要性能指标及特点	214
5.8.3	系统配置	216
5.8.4	交联聚乙烯电缆试验接线及操作步骤	217
5.8.5	试验操作步骤及注意事项	218
第 6 章	电缆线路的运行维护和管理	221
6.1	电缆线路的运行	221
6.1.1	电力电缆运行工况良好的标志	221
6.1.2	电缆线路的运行要求	222
6.1.3	电缆线路的故障分类	230
6.1.4	常见电缆故障原因	231
6.1.5	电缆绝缘老化原因	234
6.1.6	几种环境老化机理分析	236
6.1.7	电力电缆故障诊断的一般步骤	237
6.1.8	电力电缆故障诊断的常用方法	240
6.1.9	脉冲反射法粗测电缆故障	240
6.1.10	常用电缆故障定点法	247
6.1.11	HD-5816 型电力电缆故障测试仪简介	249
6.1.12	直埋电缆故障位置寻测简易方法	253

6.1.13	采用滑线法查找电缆接地故障.....	257
6.1.14	裸露电缆故障的特殊定点方法.....	261
6.1.15	低压电力电缆故障探测.....	263
6.2	电缆线路的维护	264
6.3	电缆线路的管理	266
6.4	电缆火灾的预防及应对措施	273
6.4.1	电缆火灾的特点	273
6.4.2	电缆火灾的原因分析	275
6.4.3	电缆火灾的预防管理	278
6.4.4	常见电缆防火技术	282
6.5	直埋电缆的白蚁预防	285
6.6	电缆过电压及防雷接地保护	286
6.6.1	电缆的电磁场效应	286
6.6.2	电缆过电压的保护措施	292
6.6.3	电缆的防雷保护和接地方式	296

参考文献	305
------------	-----

第 1 章 电力电缆的基础知识

1.1 电力电缆的用途与优缺点

发电厂发出的电能传送到远方的变电所、配电所及各种用户，是通过架空线路或电缆线路实现的。用于传送和分配电能的电缆，称为电力电缆。

电能传送中，通过建筑物和居民密集的地区，地面空隙有限，不能立设杆塔和架空线，就需要施放地下电缆。在发电厂或变电所中，引出线很多，往往因空间不够，也需用电缆来输送电能。

采用电缆输送电能比用架空线具有下列优点。

① 占地小。地下敷设不占地面空间，不受地面建筑物的影响，不需在地面架设杆塔、导线，适用于城市、街道供电，使市容整齐美观。

② 对人身比较安全。地下隐蔽工程，人们不可能触及。

③ 供电可靠，不受外界的影响。自然界常见的如雷击、风害、水、风筝、鸟害等因素会造成架空线的短路和接地等故障，而电缆则不会受影响。

④ 运行维护简单方便，工作量少，费用低。

⑤ 电缆的电容较大，有利于提高电力系统的功率因素。

对于地下水电站来说，电缆引出线成为它不可缺少的一个重要组成部分，对于过江、过河输电线路，由于跨度太大而不宜敷设架空线，或者为了避免架空线对船只通航的障碍时，宜采用电缆，为避免电力线对通信产生干扰，则多采用电缆，在大城市人口稠密区的配电网、大型工厂、发电厂以及电网交叉区、交通拥挤区等，也

需采用电缆，其占地少，安全可靠，可以减少电网对交通、城市建设的影响。但是，电缆线路与架空线路比较存在如下缺点。

- ① 成本高，投资费用较大。
- ② 敷设后不易更换变动，不宜作临时性的线路使用。
- ③ 线路不易分支。
- ④ 故障测寻困难。
- ⑤ 检修费工、费时、费用大。
- ⑥ 电缆头的制作工艺要求较高。

综上所述，在什么情况下采用电缆，需综合考虑后再决定。

1.2 电力电缆的种类及特征

1.2.1 电力电缆的种类

电力电缆按绝缘材料、电能形式、结构特征、电压等级、导体标称截面积、导体芯数以及安装敷设的环境等有以下分类。

(1) 按绝缘材料分类

① 油纸绝缘

- a. 黏性浸渍纸绝缘（统包型、分相屏蔽型）。
- b. 不滴流浸渍纸绝缘（统包型、分相屏蔽型）。
- c. 有油压、油浸渍纸绝缘（自容式充油电缆、钢管充油电缆）。
- d. 有气压、黏性浸渍纸绝缘（自容式充气电缆、钢管充气电缆）。

② 塑料绝缘

- a. 聚氯乙烯绝缘。
- b. 聚乙烯绝缘。
- c. 交联聚乙烯绝缘。

③ 橡胶绝缘

- a. 天然橡胶绝缘。
- b. 乙丙橡胶绝缘。
- c. 丁基橡胶绝缘。

(2) 按传输电能形式分类

按传输电能形式分交流电缆和直流电缆。目前电力电缆的绝缘部分均为应用于交流系统而设计。直流电力电缆的电场分布与交流电力电缆不同,因此需要特殊设计。

(3) 按结构特征分类

① 统包型: 缆芯成缆后, 在外面包有统包绝缘, 并置于同一护套中。

② 分相型: 主要是分相屏蔽, 一般用在 $10\sim 35\text{kV}$, 有油纸绝缘和塑料绝缘。

③ 钢管型: 电缆绝缘外有钢管护套, 分钢管充油、充气电缆和钢管油压式、气压式电缆。

④ 扁平型: 三芯电缆的外形呈扁平状, 一般用于大长度海底电缆。

⑤ 自容型: 护套内部有压力的电缆, 分自容式充油电缆和充气电缆。

(4) 按电压等级分类

电力电缆都是按一定电压等级制造的, 由于绝缘材料及运行情况不同, 使用于不同的电压等级。我国电缆产品的电压等级有 $0.6/1\text{kV}$ 、 $1/1\text{kV}$ 、 $3.6/6\text{kV}$ 、 $6/6\text{kV}$ 、 $6/10\text{kV}$ 、 $8.7/10\text{kV}$ 、 $8.7/15\text{kV}$ 、 $12/15\text{kV}$ 、 $15/20\text{kV}$ 、 $18/20\text{kV}$ 、 $18/30\text{kV}$ 、 $21/35\text{kV}$ 、 $26/35\text{kV}$ 、 $36/63\text{kV}$ 、 $48/63\text{kV}$ 、 $64/110\text{kV}$ 、 $127/220\text{kV}$ 、 $190/330\text{kV}$ 、 $290/500\text{kV}$ 共 19 种。

电压等级有两个数值, 用斜杠分开, 斜杠前的数值是相电压值, 斜杠后的数值是线电压值 (设备最高电压)。常用电缆的电压等级 U_0/U (kV) 为 $0.6/1\text{kV}$ 、 $3.6/6\text{kV}$ 、 $6/10\text{kV}$ 、 $21/35\text{kV}$ 、 $36/63\text{kV}$ 、 $64/110\text{kV}$, 这种电压等级的电缆适用于每次接地故障持续时间不超过 1min 的三相系统, 而电压等级 U_0/U (kV) 为 $1/1\text{kV}$ 、 $6/6\text{kV}$ 、 $8.7/10\text{kV}$ 、 $26/35\text{kV}$ 、 $48/63\text{kV}$ 的电缆适用于每次接地故障持续时间一般不超过 2h 、最长不超过 8h 的三相系统。在选择和使用电缆时应特别注意。

从施工技术要求, 电缆中间接头、电缆终端结构特征及运行维护等方面考虑, 也可以依据电压这样分类: 低电压电力电缆 (1kV)、中电压电力电缆 (6~35kV)、高电压电力电缆 (110~500kV)。

(5) 按导体标称截面积分类

电力电缆的导体是按一定等级的标称截面积制造的, 这样既便于制造, 也便于施工。

我国电力电缆标称截面积系列为 1.5mm^2 、 2.5mm^2 、 4mm^2 、 6mm^2 、 10mm^2 、 16mm^2 、 25mm^2 、 35mm^2 、 50mm^2 、 70mm^2 、 95mm^2 、 120mm^2 、 150mm^2 、 185mm^2 、 240mm^2 、 300mm^2 、 400mm^2 、 500mm^2 、 630mm^2 、 800mm^2 、 1000mm^2 、 1200mm^2 、 1400mm^2 、 1600mm^2 、 1800mm^2 、 2000mm^2 共 26 种。

(6) 按导体芯数分类

电力电缆导体芯数有单芯、二芯、三芯、四芯和五芯共 5 种。单芯电缆通常用于传送单相交流电、直流电, 也可在特殊场合使用 (如高压电机引出线等), 一般中低压大截面的电力电缆和高压充油电缆多为单芯; 二芯电缆多用于传送单相交流电或直流电; 三芯电缆主要用于三相交流电网中, 在 35kV 及以下各种中小截面的电缆线路中得到广泛的应用; 四芯和五芯电缆多用于低压配电线路。只有电压等级为 1kV 的电缆才有二芯、三芯、四芯和五芯。

(7) 按敷设环境条件分类

地下直埋、地下管道、空气中、水底、矿井、高海拔、盐雾、大高差、多移动、潮热区等。一般环境因素对护层的结构影响较大, 有的要求考虑力学保护, 有的要求提高防腐蚀能力, 有的要求增加柔软度等。

1.2.2 电力电缆的特征

现将几种电力电缆的主要特点分别叙述如下。

(1) 油纸绝缘电缆

① 黏性浸渍纸绝缘电力电缆

- a. 成本低, 工作寿命长。
- b. 结构简单, 制造方便。
- c. 绝缘材料来源充足。
- d. 易于安装和维护。
- e. 油易淌流, 不宜作高落差敷设。
- f. 允许工作场强较低, 不宜作高电压电力传输。

② 不滴流浸渍纸绝缘电力电缆

- a. 浸渍剂在工作温度下不滴流, 适宜高落差敷设。
- b. 工作寿命较黏性浸渍电缆更长。
- c. 有较高的绝缘稳定性。
- d. 成本较黏性浸渍纸绝缘电缆稍高。

(2) 橡胶绝缘电缆

① 柔软性好, 易弯曲, 橡胶在很大的温差范围内具有弹性, 适宜作多次拆装的线路。

② 橡胶的耐寒性能较好。

③ 橡胶电缆有较好的电气性能、力学性能和化学稳定性。

④ 对气体、潮气、水的防渗透性较好。

⑤ 耐电晕、耐臭氧、耐热, 耐油的性能较差, 仅能适用于1000V以下的电压等级。

(3) 塑料绝缘电缆

① 聚氯乙烯绝缘电缆

- a. 安装工艺简单。
- b. 聚氯乙烯化学稳定性高, 具有非燃性, 材料来源充足。
- c. 能适应高落差敷设。
- d. 敷设维护简单方便。
- e. 聚氯乙烯电气性能低于聚乙烯。
- f. 工作温度高低对其力学性能有明显的影响。

② 聚乙烯绝缘电缆

- a. 聚乙烯有优良的介电性能, 但抗电晕、游离放电性能差。
- b. 聚乙烯工艺性能好, 易于加工, 耐热性差, 受热易变形,

易延燃，易发生应力龟裂。

③ 交联聚乙烯绝缘电缆

- a. 交联聚乙烯的允许温升较高，所以电缆的允许载流量较大。
- b. 交联聚乙烯有优良的介电性能，但抗电晕、游离放电性能差。
- c. 交联聚乙烯的耐热性能好。
- d. 适宜于高落差和垂直敷设。
- e. 接头工艺虽较严格，但因为对技工的手艺技术水平要求不高，因此便于推广使用。

1.3 电力电缆的制造流程

1.3.1 油浸纸绝缘电缆生产过程

见图 1-1。

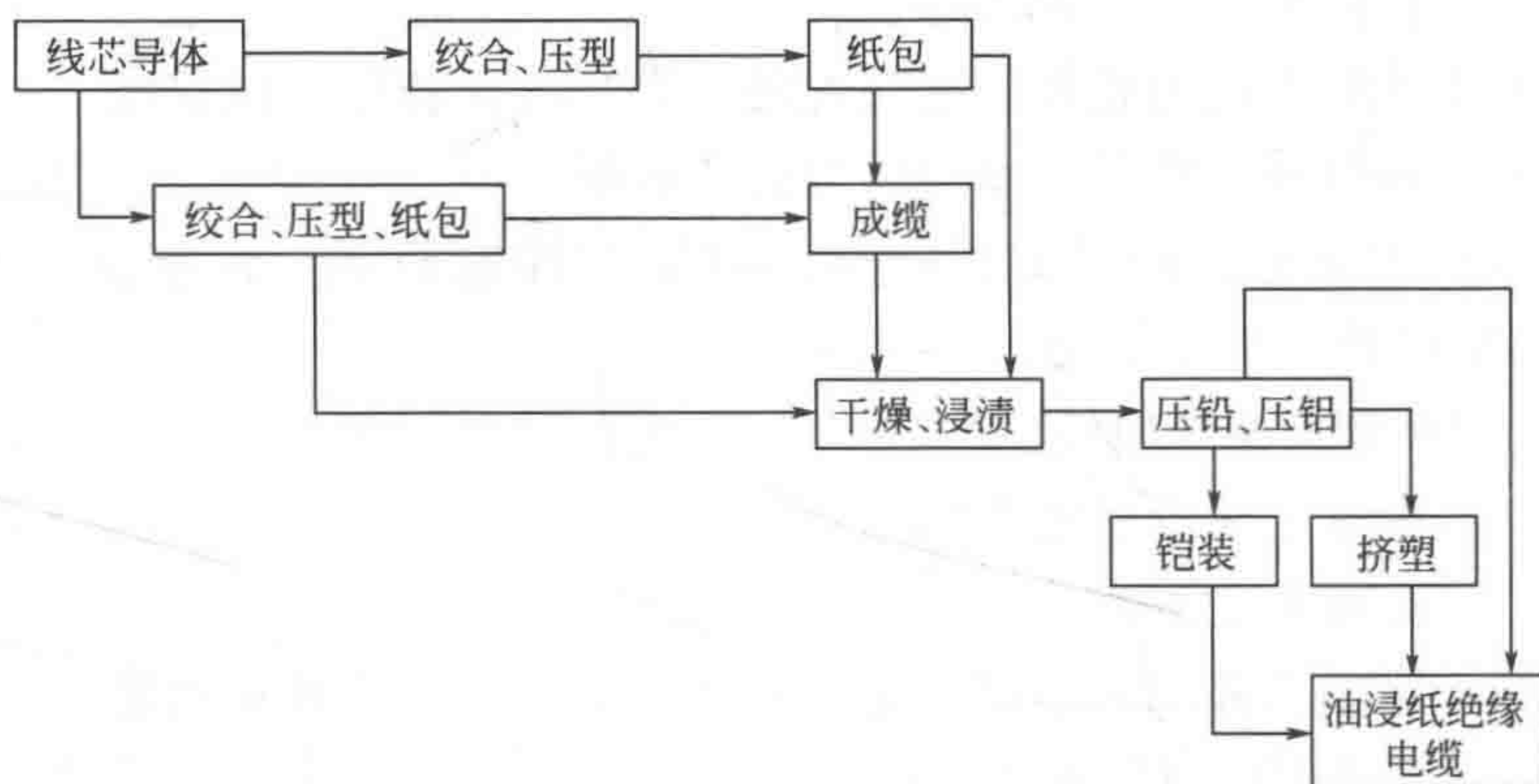


图 1-1 油浸纸绝缘电缆生产过程

1.3.2 橡塑绝缘电缆生产过程

见图 1-2。

1.3.3 塑料绝缘电缆生产过程

塑料绝缘电缆按照其本身的结构要求，在制造过程中总是从导

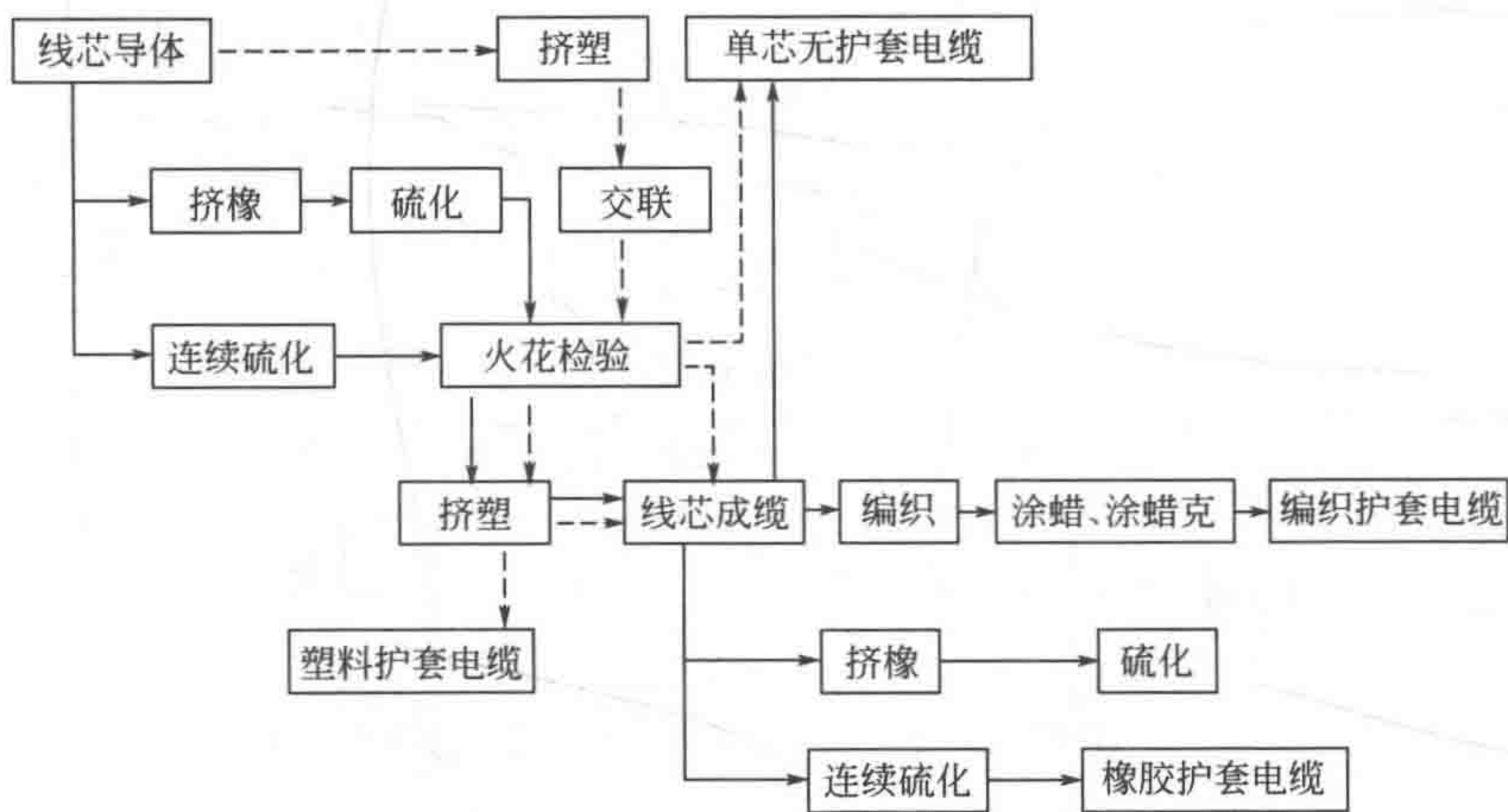


图 1-2 橡塑绝缘电缆生产过程

体加工开始，在导体线芯的外面一层一层地加上绝缘层、屏蔽层、保护层等结构而制成的。产品的结构越复杂，层数越多。塑料绝缘电缆制造工艺流程如图 1-3 所示。

(1) 导线拉制

导线拉制是指对连铸连轧机生产的圆形铜杆或铝杆进行冷加工（拉丝），利用拉丝机，经过多道拉丝模将杆材拉细，再对达到所需直径的铜、铝单线进行退火处理。

(2) 退火软化

金属经冷加工塑性变形后，内部晶粒破碎，晶格畸变，存在残余内应力，因此是不稳定的。它有向稳定状态发展的自发趋势，但在常温下原子的扩散能力很弱，变化很难进行。将冷变形的金属进行加热，使原子动能增加，促使其发生变化，使金属恢复冷加工前的性能。

(3) 绞线与紧压

绞线是利用绞线机将铜、铝单线多股胶合在一起，并利用金属压轮压制成圆形或扇形的紧压导体。电力电缆的导电线芯有两种绞合方法，分别是无退扭绞合和有退扭绞合。采用有退扭方法绞成的线芯没有扭转内应力，故多用于不紧压的绞线，以避免因有内应力在单线断裂时散开。没有退扭的绞合多用于紧压型线芯，因为自扭