

高压充油电缆施工工艺流程

中华人民共和国能源部 1991-12-02 批准

1992-06-01 实施

1 总则

- 1.1 本规程适用于交流 330kV 及以下自容式充油电缆的施工。
- 1.2 充油电缆的运输、保管及安装除应符合本规程的规定以外，尚应符合 GB9326—88《交流 330kV 及以下油纸绝缘自容式充油电缆及附件》和 GBJ232—82《电气装置安装工程施工及验收规范》中电缆线路篇、接地装置篇的有关规定。
- 1.3 充油电缆施工是专业性比较强，技术要求比较高，工艺质量要求比较严的工作，因此电缆工应由经过培训并经考试合格的人员担任。
- 1.4 充油电缆施工的场地如电缆槽、隧道、竖井及电缆终端室等的土建工程及装修工作必须在电缆施工前完毕、清理干净、排除积水。
- 1.5 充油电缆施工完毕应进行检查验收，项目如下：
  - a. 电缆的敷设和安装是否符合设计要求；
  - b. 电缆敷设和终端、接头制作的质量是否符合本规程的规定；
  - c. 电缆的试验项目及其结果是否符合本规程的规定；
  - d. 按本规程规定提交的技术资料和文件是否齐全。

2 运输与保管

- 2.1 充油电缆应按 GB9326—88 和技术条件进行出厂验收，当检查验收合格后方可装车发运。
- 2.2 充油电缆运输时应包装好，避免机械损伤和太阳直接照射。电缆至压力供油箱(以下简称压力箱)间的油管路及压力表应妥善固定和保护，电缆两端封头应可靠的固定，防止因晃动、碰撞而损坏。
- 2.3 电缆盘在车上运输时应将盘边垫塞牢固，并将电缆盘牢靠地固定在车上。
- 2.4 充油电缆在铁路运输中应有专人跟车，定时进行外观检查，抄录油压、气温，防止电缆及附件损坏，造成失压进气。
- 2.5 充油电缆盘不得平放运输。装卸时，不得用钢丝绳直接穿入电缆盘的孔中起吊，以免电缆盘受力不均或钢丝绳挤压盘边而损坏电缆。严禁将电缆盘直接由车上滚下。
- 2.6 充油电缆在坡度较大的道路上运输时宜用拖车拖运。
- 2.7 电缆盘不得平卧放置。在室外存放时，应有遮篷防止太阳直接照射电缆，并应有防止遭受机械损伤和附件丢失的措施。根据存放的地点和条件，必要时应设专人看守，确保安全。
- 2.8 充油电缆及附件运到现场后应按下列项目检查验收：
  - a. 电缆及其附件的产品说明书、检验合格证、设备明细表、安装图样及供油特性曲线等技术文件应齐全；
  - b. 电缆盘及盘上附件应完好无损，电缆及其封端应无漏油迹象，压力箱油压应符合电缆

油压变化的要求；

c. 电缆附件应齐全、完好，绝缘材料的防潮包装及密封应良好。

2.9 电缆及附件如不立即安装应按下列要求储存：

a. 电缆盘除按 2.7 条要求外还应标明电缆的型号、电压、规格和长度。电缆盘的四周应有通道，便于检查，地基应坚实，电缆盘应稳固；

b. 电缆的附件及绝缘材料应在包装良好的情况下置于干燥的室内。

2.10 存放过程中应定期检查电缆及附件是否完好，油压是否正常，有无渗漏油现象，并作记录。如存放时间较长可加装油压报警装置，防止油压降至最低值。如电缆油压降至零或出现负压，电缆内易于吸进空气和潮气。失压进气处理前，严禁滚动电缆盘，以免空气和水分在电缆内窜动。

2.11 电缆在运输过程和存放保管中，油压下降不正常时，应仔细检查，发现封端漏油时应及时处理，如暂时无法处理，应对压力箱补充油压，防止电缆油压降至零。

2.12 存放电缆的附近，严禁烟火，并设有必要的消防器材。

### 3 施工准备

3.1 施工前施工人员应仔细阅读有关图样资料，掌握充油电缆的特点和技术要求。施工人员一年以上未从事电缆终端纸卷绕包及搪铅工艺时，应提前进行练习。

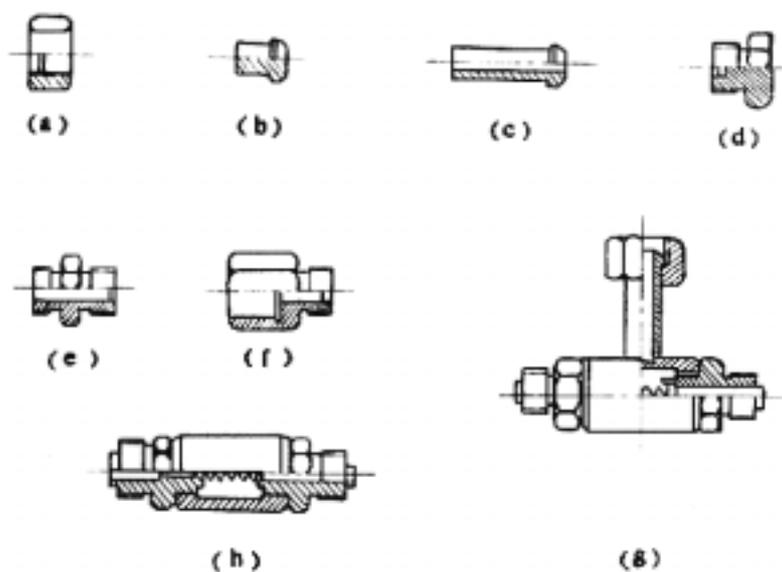


图 1 油管路零件

(a) 螺母(固定连接件用)；(b) 堵头(封堵油管用)；(c) 油嘴(油管的焊接件)；

(d) 油嘴堵头(封堵油嘴用)；(e) 双头螺纹管接头(接长油嘴用)；(f) 仪表螺母

(连接电接点压力表用)；(g) 三通压力阀(连接压力箱、压力表、电缆用)；

(h) 尾管压力阀(尾管连接用)

3.2 电缆施工前真空设备及电缆油真空去气设备(以下简称去气机)应进行检查和试运行。其真空度应达到 0.13Pa。

3.3 工器具准备：

制作好断缆与剥铅套用的劈刀和截断导体用的内衬钢钎、导体卡子及扁铲，并参照表

B1 准备好所需的设备及工器具。凡需与电缆及终端内部接触的工器具必须清洁干燥。

#### 3.4 材料准备：

3.4.1 施工中电缆与压力箱、去气机、真空设备之间的连接管路可采用尼龙管或厚壁塑料管。

3.4.2 油管路的各种零件，应简单耐用，密封可靠，拆装更换方便，并具有互换性。其内径需与油管路配合，可按图 1 事先制作好。

3.4.3 电缆分段时用的端头封帽，应预先加工制作好，其内径比电缆铅护套的外径约大 2mm。封帽顶上可作成双油嘴，以利使用灵活方便。接表 B2 准备好所需的施工材料。

### 4 充油电缆的敷设

#### 4.1 敷设前的准备

##### 4.1.1 电缆的敷设方式

电缆敷设方式有下列几种：

- a. 敷设在电缆沟、隧道、竖井内及建筑物墙壁的支架上；
- b. 敷设在桥梁构架上；
- c. 敷设在电缆沟槽内；
- d. 直接埋在地下；
- e. 敷设在排管内；
- f. 敷设在水底。

采用何种敷设方式，根据具体情况进行设计，按设计施工。

##### 4.1.2 电缆构筑物的准备及检查

###### 4.1.2.1 路线的准备及检查：

a. 支架上敷设：按设计图样预先安装好支架，并按 GBJ232—82 中电缆线路篇的有关规定进行检查。

b. 槽内敷设：敷设电缆前，应清除槽内杂物。槽底宜先铺一层砂子，其厚度约为 50mm。

c. 直埋敷设：挖沟完毕后，应按设计要求进行检查，沟底应平整，深浅应一致。易塌陷地段已处理好。沟底应有良好的土层，不应有石块或其他硬质杂物，否则，应铺以不少于 100mm 厚的软土或砂层。

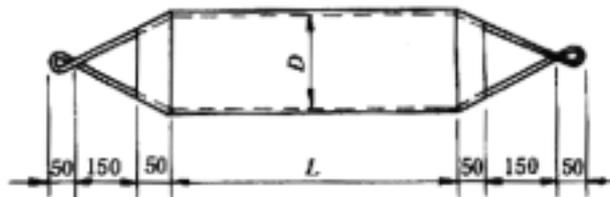


图 2 管路疏通试验棒

d. 桥梁上敷设：敷设电缆前，应按设计要求作好准备。防震、防日晒、防火等措施应可靠。

e. 管道内敷设：保护管连接处应平滑、高低应一致。为了在敷设时不致损伤电缆，管子内壁应光滑、无尖刺及无异物。检查、疏通及清扫管路可用图 2 所示的试验棒。试验棒的规格见表 1。按图 3 所示的方法疏通管路。当发现试验棒表面有擦伤痕迹，或不很畅通或管内有台级及有错位可能时，应使用 5m 长的试验电缆，按敷设时的张力进行模拟试拉，然后检

查电缆护套的异常情况，决定此管路能否使用。

表 1 试验棒规格

mm

管 路 内 径	试 验 棒 外 径(D)	试 验 棒 长 度(L)		
250	240	1000	800	600
200	190			
175	165			
150	140			
130	120			
100	90			
90	80			

注：试验棒以钢管制成。

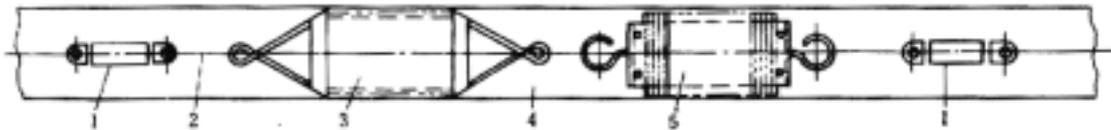


图 3 试验棒疏通管路示意图

1—防捻器；2—钢丝绳；3—试验棒；4—管路；5—圆形钢丝刷

4.1.2.2 电缆构筑物的排水坡度，应符合设计要求。电缆构筑物不应作为公用排水设施，严禁地下水排入电缆构筑物内。检查集水井是否符合要求，排水设施是否安装好，试运行是否良好。

4.1.2.3 电缆路线弯道处的弯曲半径不得小于所敷设电缆外径的 20 倍。电缆路线的水平差应符合电缆产品的规定。

4.1.2.4 检查电缆卡子的基础螺丝的规格、预埋间距，并进行调整。检查卡子是否按要求准备好，并预装电缆卡子。

4.1.2.5 辅助接地线(回流线)应敷设完毕，其规格及安装位置应符合设计要求。

#### 4.1.3 敷设方案及起迄点的选择

4.1.3.1 敷设方案的选择：敷设方法分人力牵引、机械牵引、人力和机械混合牵引。短段电缆宜用人力牵引敷设。在复杂路线上，宜采用以机械牵引为主，辅以人力配合牵引的敷设方法。

##### 4.1.3.2 起迄点的选择：

- a.一般由位置较高的一端向低的一端敷设；
- b.由场地较为宽畅、运输较为方便的一端向另一端敷设；
- c.路线较复杂的“咽喉”段宜靠近敷设的终点；
- d.一般按照牵引力和侧压力计算值最小的方案进行选择，并根据现场具体情况，最后平衡所选起迄点的位置，以免损伤电缆。

4.1.3.3 测量路线尺寸，计算实际所需电缆长度，确定换接压力箱及截除多余电缆的位置。对于护套交叉互联的线路，其三段长度应尽量相等。

#### 4.1.4 托辊的制作与布置

4.1.4.1 托辊的直径一般大于 90mm，托辊的长度，平直段为 250~300mm，弯曲段或者较为复杂的路段，按具体情况宜适当加长，使电缆在托辊上有活动余地而不致脱辊。托辊可用木、

钢或塑料制作。托辊应灵活，以减少摩擦力。

4.1.4.2 托辊间距视电缆直径大小和硬度而定，一般为 1~2m。间距过大，易使电缆弛度大而影响敷设，甚至会损伤电缆。弯曲段应适当减小间距。

4.1.4.3 弯曲段、保护管道、排管、沟道及建筑物的进出口，应设置转角滑轮或防护喇叭或导向托辊。

4.1.4.4 在竖井(垂直段)井口，斜坡段、转角处等部位以及某些较为复杂的路段，应制作特殊的支架(见图 4)以满足电缆弯曲半径的要求。

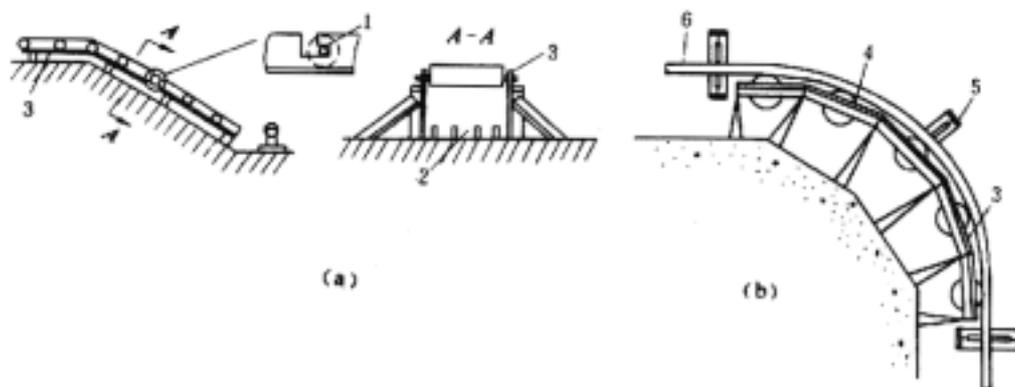


图 4 特殊支架示意图

(a)斜坡道支架；(b)转角支架

1—托辊槽；2—电缆槽；3—支架；4—导向托辊；5—水平托辊；6—电缆

4.1.4.5 为便于在同一路线上敷设多根电缆，某些支架应做成可拆结构。当一根电缆敷设完后，可慢慢地将电缆抬起，拆下托辊，将电缆放入沟槽中，然后再装上托辊，继续敷设下一根电缆。

4.1.4.6 托辊支架应牢固，以免倾斜。支架高度按路线情况而定，应使所有托辊受力一致。支架和托辊安装后，应进行受力检查。

#### 4.1.5 牵引机具的准备

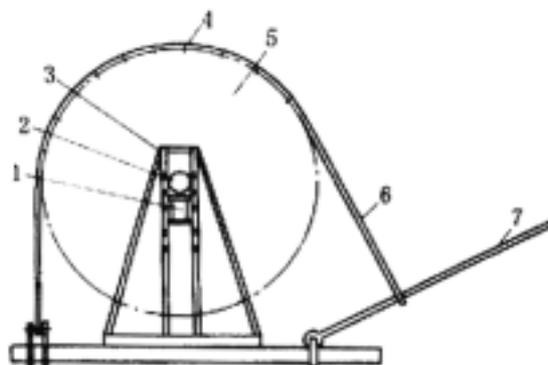


图 5 电缆盘制动装置

1—千斤顶；2—盘轴；3—电缆盘支架；4—带防滑器的制动带；

5—电缆盘；6—制动带；7—制动手柄

a.按电缆敷设路线的复杂程度及电缆的受力情况，选用适当数量及规格的牵引机具(如

5t 慢速卷扬机等)；

- b.准备适当规格的牵引强度限制器和防捻器；
- c.为了降低电缆的牵引强度，可选配适当数量的电动滚轮或履带式牵引机；
- d.根据不同的牵引方法，准备相应的钢丝绳、牵引头、牵引网套等；
- e.应对牵引机具进行全面检查、安装、调整及试运行；
- f.当数台机具同步运行及人力配合牵引时，应设置同步运行控制及信号系统。

#### 4.1.6 电缆盘架的准备

a.电缆盘千斤顶支架应坚固。千斤顶、轴座及盘轴应按电缆盘的重量和动载荷选用。当现场回转余地较大时，可直接将电缆盘吊装在支架上或将电缆盘支架固定在拖车上施放。

b.应准备两套电缆盘制动装置，分别安装在电缆盘两边轮缘的适当位置，对电缆进行双侧制动。图 5 为一种简单而有效的盘缘带式人工制动装置。

#### 4.1.7 信号系统的准备

- a.准备适当数量的电话或步话机，便于指挥和联络；
- b.设置适当数量的电铃、信号灯作为准备、起动及停止的信号；
- c.沿途设置适当数量的控制按钮，当敷设过程中发生异常现象时，用于紧急停止牵引的操作。

#### 4.1.8 压力箱及其他特殊材料的准备

a.备用压力箱的数量应满足敷设要求，阀门完好，压力表指示正常，油压应不低于 0.15MPa，油样试验应合格；

b.高落差电缆用的特制铜封帽，厚 5mm 的橡皮，环氧树脂及玻璃丝带等应准备好。

#### 4.1.9 电缆的检查

- a.电缆的型号、规格、数量应符合设计要求；
- b.电缆经外观检查，应无机械损伤；
- c.油管路应无裂纹及损伤，油管接头应无渗漏油；
- d.电缆盘上压力箱的油压应不低于 0.15MPa，其供油阀门应在开启位置，动作应灵活。

压力表的指示值与到货时相比，应无异常现象。所有接头应无渗漏油；

e.电缆的油样试验应符合 10.1 条的要求。如发现电缆油有异常现象，应进行处理后再敷设。

#### 4.1.10 施工现场准备

- a.现场应清洁，道路应畅通，无积水和杂物；
- b.照明应充足；
- c.灭火器、砂箱、石棉布等消防器材应齐全；
- d.在带电设备附近敷设电缆时应有安全措施。

### 4.2 一般规定

4.2.1 敷设电缆时其弯曲半径不得小于电缆外径的 25 倍。竣工后电缆的弯曲半径不得小于电缆外径的 20 倍。

4.2.2 充油电缆敷设时的最低环境温度一般不低于 0 。

4.2.3 电缆盘组装与放线应符合下列要求：

4.2.3.1 电缆盘装于支架上，转动应灵活，无颤动现象。

4.2.3.2 按电缆线路的敷设方向，电缆应从盘的上端引出。

4.2.3.3 组装制动装置，转动电缆盘作制动试验，制动应灵活可靠，无打滑现象。

4.2.3.4 人力转动电缆盘时，电缆盘应随牵引速度而转动，不宜过快或过慢。

4.2.4 电缆的牵引强度及牵引速度应符合下列要求：

电缆的允许牵引强度，随牵引方法的不同(即电缆结构中受牵引作用部分的不同)而异。通常取受力部分材料的抗拉强度的四分之一左右作为最大的允许牵引强度。

4.2.4.1 使用牵引头牵引电缆时，牵引力作用在导体上，铜导体的抗拉强度为 240MPa，因此，允许的牵引强度为 70MPa。同时，还要考虑到作用在导体上的牵引力不能使中心油道发生任何变形，使油道不发生变形的最大牵引力为 27kN。

4.2.4.2 使用牵引网套牵引电缆时，牵引力作用在金属护套上。由于铅护套的外边还有加强带加固，故允许牵引强度可取 10MPa。当电缆的外护层为塑料时，塑料的允许牵引强度为 4~7MPa。

4.2.4.3 牵引电缆经过转角处时，在弯曲部分的内侧，电缆要受到侧压力(侧压力为牵引力和弯曲半径之比)。侧压力过大将使电缆受到损坏，甚至将电缆压扁。充油电缆的外护层一般为塑料，其允许侧压力为 3kN/m。

4.2.4.4 敷设电缆时的牵引速度不宜过快，一般为 5~8m/min。在较复杂的路线上敷设时，应适当放慢。

4.2.5 电缆截断时应符合下列要求：

4.2.5.1 在任何情况下，充油电缆的任一段都应有压力箱保持油压。

4.2.5.2 连接油管路或安装闷头时，应排除管内空气，并采用喷油连接。

4.2.5.3 充油电缆的截断处，必须高于邻近两侧电缆 0.5m 以上。

4.2.6 敷设电缆时，应核对相序及长度，排列应整齐，不得交叉。

4.2.7 电缆应按设计要求加以固定，并符合下列要求：

a. 电缆卡子内应衬垫耐油橡皮，橡皮接头处不应有重叠。

b. 卡子和电缆金属护层之间的绝缘应良好。位于终端下部或接头的两端安装的卡子，当有可能与金属护层接触时，应当在恢复外护层绝缘后再安装卡子。

c. 卡子大小应合适。卡子固定后，电缆在卡子中不应倾斜。

4.2.8 三相单芯电缆的中间接头的位置应适当错开。直埋电缆的接头，应在地面上设置标志。

4.3 电缆的牵引敷设

敷设电缆时，应根据各种构筑物的不同情况及电缆路线的复杂程度，选用恰当的牵引方法，以简化施工，防止电缆受到损伤。对于长电缆，当路线较为平直时，宜直接牵引铜导体；对于短电缆，牵引力不大，可采用牵引网套进行牵引；当路线较复杂时，应选用将钢丝绳绑扎于电缆上的牵引方法。

4.3.1 使用牵引头牵引导体的方法。

4.3.1.1 从电缆盘上放出一段电缆，装配牵引头。牵引头的安装按以下方法进行：

a. 用合格电缆油冲洗牵引头各部件(见图 6)；

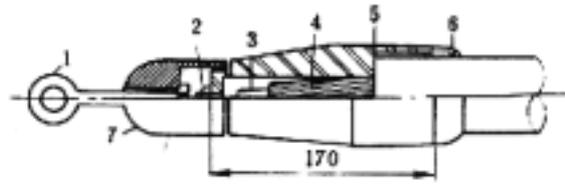


图 6 牵引头

1—牵引梗；2—油嘴；3—塞芯梗；4—导体；  
5—牵引套；6—铅封；7—牵梗套

- b. 剥除电缆端部一段外护层及加强带，清扫铅护套；
- c. 关闭电缆盘上压力箱的供油阀门，除去电缆的原封帽，剥除端部 8cm 长的铅护套及绝缘纸，用合格的电缆油冲洗电缆端部；
- d. 拔除油道内 15cm 长的螺旋管，微开压力箱供油阀门，冲洗油道后关闭。插入楔形塞芯梗；
- e. 套上牵引套，并在顶端加一帽罩，用手锤敲击帽罩及塞芯梗，使芯线胀开，从而使导体与牵引头内壁卡紧；
- f. 搪铅。待铅封冷却后，微开电缆盘上压力箱供油阀门，冲洗端部，排除牵引头内油污及空气。安装油嘴及闷头；
- g. 旋上牵梗套；
- h. 敷设钢丝绳至电缆首端，安装防捻器及牵引强度限制器，连接牵引头进行牵引。

4.3.1.2 新制作的牵引头在使用前必须做拉力试验，以免牵引时滑脱或断裂。必要时应做密封性试验，以免在敷设过程中渗漏油。

#### 4.3.2 使用牵引网套的牵引方法。

牵引网套通常是由细钢丝绳编织而成(见图 7)。由于它只是将牵引力过渡到护层上，而护层的允许牵引强度较小，因此，仅对短段电缆，经过计算，牵引力小于护层的允许牵引力时方可单独使用。对长电缆或较复杂的路线可作为辅助牵引。牵引网套的安装方法如下：



图 7 牵引网套

1—电缆；2—钢丝绳

- a. 将牵引网套收短，使网套成松弛状，然后套在电缆被牵引的首端。
  - b. 将网套拉紧，使网套的每根钢丝绳平贴于电缆外护层上。
  - c. 用铁丝间隔绑扎 2~3 处，使网套不致滑脱。
- 4.3.3 将钢丝绳绑扎于电缆上的牵引方法。

在复杂路线上采用这种方法敷设电缆，整根电缆的牵引力完全由钢丝绳承担。如果绑扎适当，电缆护套多点均匀受力，不会超过其最大牵引强度的允许值。有时为简化施工，进行间隔式绑扎。但应进行计算，被绑扎的一段所能牵引电缆的最大长度，其牵引力不得超过电缆护套的允许牵引强度。同时，绑扎的工艺要好。不允许牵引时滑脱损伤电缆外护层。因此，

应由熟练的技术工人来绑扎。

4.3.3.1 被绑扎于电缆上的钢丝绳宜采用旧绳，以防止由于钢丝绳的松劲而导致电缆的扭转。

4.3.3.2 钢丝绳应绑扎在电缆受弯曲的内侧以减少电缆的扭转，同时也相应地减少侧压力的作用。

4.3.3.3 采用 5~6mm 尼龙绳双股绑扎，每根长度 5~6m。绑扎方法如下：

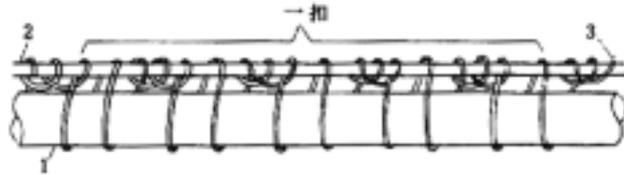


图 8 尼龙绳绑扎示意图

1—电缆；2—钢丝绳；3—尼龙绳

a. 为了防止钢丝绳滑脱，尼龙绳应在电缆和钢丝绳上分别间隔式以倒爬扣绑扎，即在钢丝绳上绑两匝(每一匝为双股)、然后在钢丝绳和电缆上共同绑两匝。绑扎宽度为 10 匝左右，称为一扣。如图 8 所示。

b. 一般每相距 4~5m 绑一扣，每次绑 4~5 扣，长度共 16~25m，然后进行敷设。此 4~5 扣的一段称为第一绑扎段。

c. 当第一绑扎段的尾扣通过其第一扣绑扎的位置约 4~5m 时，停止敷设，开始绑第二个绑扎段。以此类推，边绑扎，边敷设。

d. 当电缆敷设至第一台牵引机不能再进行牵引时，应停止敷设，解除第一绑扎段的绳扣。后边继续绑扎一个绑扎段，与此同时，开始绑扎第二台牵引机牵引钢丝绳的第一个绑扎段，继续敷设。以此类推。

4.3.3.4 当电缆路线全是直线(水平或斜坡)段时，可每相距 4~5m 绑一扣。每次绑扎 4~5 扣，然后牵引 10~30m；再绑扎 4~5 扣，再牵引 10~30m。以此类推，边绑扎，边敷设。

4.3.3.5 敷设前，应做绑扎练习，并作拉力试验，合格后才能进行敷设。

4.3.4 用履带式牵引机和电动滚轮牵引：

用履带式牵引机牵引，牵引力作用在金属护套上，因此，牵引电缆的长度较短。当与电动滚轮配合使用时，可以敷设大长度的电缆。

4.3.5 电缆敷设工艺的要求。

4.3.5.1 当采用机械牵引和人力拖动牵引相配合的敷设方法时，人与人之间的距离以 3m 左右为宜。机械牵引和人力牵引应通过指挥及信号系统同步进行。

4.3.5.2 敷设时，应有专人监护电缆首端，防止电缆首端撞在托辊上。

4.3.5.3 敷设过程中，应注意观察电缆与托辊的接触情况，随时加以调整。

4.3.5.4 敷设过程中，应设专人监护电缆及托辊，以防电缆脱辊或托辊倒伏。

4.3.5.5 设专人控制事故按钮，发现异常情况，应立即停止敷设。

4.3.5.6 敷设电缆时，按设计预留适当裕度，中间接头处应适当预留施工裕度，终端处的施工裕度以 0.5m 左右为宜。

4.3.5.7 电缆施放完后，应从一端开始，或从中间向两端逐段使电缆入槽(或放于支架上)。严禁分段同时就位。

4.3.5.8 在竖井内或有一定坡度的线路上，以及在支架上敷设完的电缆，应及时调直，并按设计固定。

4.3.5.9 敷设于沟槽内的电缆，按设计填满河砂，盖好盖板。砂内应无垃圾、石块或其他硬质杂物。

4.3.6 直埋电缆施放完毕，应进行下列工作：

4.3.6.1 在电缆上部覆盖 100~150mm 厚的软土，然后进行护层绝缘试验(当有外导电层时，不需要覆盖土即可进行试验)。

4.3.6.2 铺设混凝土保护盖板，其宽度应超出电缆直径两侧各 50mm 以上。在不易受机械损伤的地段，可铺砖代替。

4.3.6.3 用土将沟填平，并要求逐层夯实，以免沉陷。不允许用炉渣或垃圾回填。当沟中有积水时，应先将水排干后再回填土。

4.3.6.4 直埋电缆应设置方位标志。直线段，宜每 50~100m 设置一个，其他转弯及进出建筑物处应适当设置。

#### 4.4 高落差电缆的敷设

高落差电缆的显著特点是位于电缆线路下端的静油压较高，上部的铅护套要承受下部电缆的重量，若加固带为单向缠绕，则垂直敷设时，电缆会产生扭转。因此，敷设高落差电缆比普通电缆困难，一旦出现异常情况(如下端漏油)进行处理也相当困难。为此，在敷设时要特别注意并应采取适当安全措施。

4.4.1 在竖井中敷设高落差电缆时，应设置适当数量的爬梯及休息平台，以便于施工、维护和检修。

4.4.2 高落差电缆出厂前，电缆的外端头应采用特制铜封帽，进行加固。到现场后若发现未进行加固，敷设前可按图 9 及以下工艺进行加固处理：

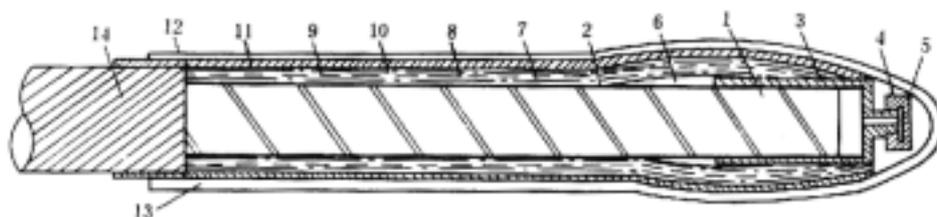


图 9 电缆端头加固处理

1—绝缘屏蔽；2—铅护套；3—铜封帽；4—耐油橡皮；5—密封螺帽；

6—铅封；7、9—环氧玻璃丝带；8—径向加强铜带；10—轴向加强铜带；

11—加固铁丝；12—塑料带；13—橡皮；14—麻护层

- 铜封帽长 200~250mm，预镀锡 100mm 左右。经清扫后，用合格的电缆油冲洗；
- 剥除(不要剪掉)电缆端部 450mm 以内的外护层，清扫铅护套；
- 关闭盘上压力箱供油阀门，除去原有封帽，套装特制封帽，搪铅；
- 微开压力箱供油阀门冲洗端部，排除封帽内油污及空气，安装封帽闷头；
- 绕包环氧玻璃丝带。一端绕包至外护层，另一端绕包至封帽端部。绕包的厚度不少于 4 层；
- 恢复加强铜带及外护层，外包 5mm 厚的橡皮作为缓冲保护。

4.4.3 敷设时，采用将钢丝绳绑扎于电缆上的牵引方法，一般由高的一端向下遛放敷设。绑扎的方法，每相距 1.5~2m 用 5mm 尼龙绳绑扎一扣(双股)，每一绑扎段为 6~8 扣。相邻两绑扎段的间距不宜过大。绑扎时，钢丝绳应拉紧，尼龙绳应紧固。

4.4.4 当电缆井为垂直、周围无障碍时，敷设速度一般为 3~4m/min；当电缆竖井有斜坡段时，则敷设速度应减缓到 0.5~2m/min 为宜。

4.4.5 敷设电缆时，应采取有效措施，限制电缆的扭转。其方法有下列几种：

a.采用旧钢丝绳，使用前应使其自然松扭。绑扎钢丝绳时，应使电缆的受力方向顺着电缆纵向加强带的绕包方向；

b.沿竖井在敷设电缆的两侧各设置一根与电缆平行的钢丝绳(或木杆)，在电缆上绑扎能在钢丝绳上滑动的横向木棍，限制电缆扭转；

c.在线路弯道处设置锥形反扭木制托辊。

为记录电缆在敷设过程中的扭转情况，开始敷设时，最好在电缆首端上部沿中心线做好标记。边敷设边做记录。扭转角度尚无具体规定，但愈小愈好。

4.4.6 电缆施放完后，宜由下端头开始逐段就位固定。固定竖井段电缆时，由下向上，解一段尼龙绳扣，固定一段电缆。而上部电缆的长短则由位于竖井口处的牵引机调整。

4.4.7 截除多余的电缆时，由于低端接压力箱困难，使高端截断电缆复杂。截断步骤应按以下方法进行：

a.剥除截断处约 400mm 长的外护层及加强带，清扫铅护套。

b.关闭电缆盘上压力箱的供油阀门，截断电缆。

c.用合格的电缆油冲洗电缆端部及封帽，套装电缆封帽(已敷设好的电缆尾端应装双孔封帽)，搪铅，封帽的双孔应上下排列。

d.上孔接备用压力箱油管，微开压力箱供油阀门，慢慢排除封帽内油污，然后改接下孔。

e.上孔接真空泵管路，抽真空。当真空度达 1.33Pa 时，维持半小时后，开启压力箱供油阀门注油。当溢油缸内出油时，停止抽真空，关闭压力箱供油阀门，拆除真空管路，安装闷头，开启压力箱供油阀门，使电缆保持油压。

#### 4.5 水底电缆敷设

水底充油电缆的敷设除与其他类型绝缘的水底电缆敷设有共同点外，还有其特殊性，应根据各工程的特点决定敷设时的油压，选择敷设的起迄点和敷设、装载、牵引的方式等。

4.5.1 敷设时要适当调整油压，使最大深处的电缆油压大于水压 0.02MPa，以防在施工中出现护层损伤时水进入电缆。

4.5.2 电缆敷设的牵引端一般应使铠装、导体及金属护套连在一起受力。

4.5.3 水底电缆敷设时，一般从登陆长度较长、滩地较长、敷设船不易停泊和登陆作业困难的一侧开始。电缆登陆时应用轮胎将浅水段的电缆浮起向岸滩移动。在滩地上应用托辊托起，防止外护层擦损。登陆完毕后，将电缆作临时锚定，同时应在陆上接上压力箱。一般最好采用两端供油保压。压力箱应有足够的供油量，并在整个敷设过程中备有随时可启动的油处理设备。

4.5.4 跨度不大的水底电缆用盘交货，电缆盘放在船上敷设。电缆盘轴与放线架间和放线架与船甲板间要牢靠的固定。盘轴在电缆盘的两侧要有限位装置，防止在敷设时电缆盘在轴上

左右窜动。盘的两边轮缘上应装制动装置，以控制入水角及敷设张力。敷设时，由于制动频繁，电缆匝与盘间会发生相对移动，可能造成盘上供油管损伤，因此当电缆登陆结束，接上压力箱后，盘上的压力箱要解开并将电缆末端封堵。

4.5.5 跨度大、质量大和外径粗的水底电缆用散装交货，不存在敷设时的内出头移动的问题，一般应采用两端供油。

4.5.6 散装电缆的圈绕方式有二种，敷设方式如下：

4.5.6.1 每层均由外向内逐匝圈入。施放时由内向外逐圈提起。敷设时各匝间无摩擦，适宜使用速度较高的敷设船，进行自航或拖轮拖航敷设。由内圈转向外圈的电缆的二侧要用木板条垫成斜坡，以防电缆受压变形。

4.5.6.2 各层自然圈绕，即第一层由外向内，第二层由内向外，第三层又由外向内。当敷设由外向内放出的匝时，电缆匝间要相互摩擦，因此不适宜于高速度敷设，只适用于绞锚法或牵引法敷设。

4.5.7 装载电缆时如外护层上涂的白垩较少，应在匝间及层间涂白垩或滑石粉，以防匝间及层间粘连。

4.5.8 水底电缆敷设时，要适当掌握入水角、剩余张力和敷设速度，要防止电缆打扭和敷设过紧，使电缆在水底悬空。充油电缆扭结后再拉直会导致电缆严重损坏。

4.5.9 大长度水底电缆采用散装交货时，圈绕电缆的扭转角及退扭高度应符合制造厂的规定。

4.5.10 水底电缆的护层一般为两端接地，铠装的锚定又是护层循环电流的通路接点，铠装丝与锚定装置要有良好的电气接触。回流线及接地线的截面要按最大的循环电流来选择。

## 4.6 换接压力箱

在敷设过程中要采取防止气体进入的措施，自始至终要用压力箱维持电缆内部的油压。需要更换压力箱时，应先接上新的，然后再拆除原有的压力箱。

4.6.1 敷设电缆前，将电缆首端的封帽换成双孔封帽。

4.6.2 电缆不需要截断，一次敷设完时的换接方法：当电缆将要施放完时，先在首端接上备用压力箱，去掉盘上压力箱，继续进行敷设。

4.6.3 当电缆需要截断时，应在首端先接上压力箱，然后才允许截断操作。步骤如下：

a. 选择适当地点，将截断处的电缆抬至比两侧的电缆高出 0.5m 以上。

b. 在最高点量出 0.4 ~ 0.5m 的一段电缆，用铁丝将该处两端的外护层扎紧，剥除该段外护层及加强铜带，清洁金属护套。

c. 关闭电缆两端压力箱供油阀门，截断电缆，分别微开电缆两端压力箱供油阀门，冲洗端部后即关闭。

d. 用合格的电缆油冲洗封帽后，套装封帽，搪铅。铅封应严密，无气孔、夹渣及假焊现象。

e. 铅封冷却后，微开压力箱供油阀门，排除封帽内油污及空气，安装闷头。

4.6.4 当电缆端部带压力箱及油管路进行敷设时，应派专人严加监护，防止油管受到任何损伤。

## 5 充油电缆终端的制作

### 5.1 制作前的检查和准备

### 5.1.1 场地准备

- a. 施工场地应清扫干净，有足够的照明和可靠的施工电源，备有消防器材；
- b. 操作区相对湿度不宜超过 70%。在湿度较高的洞(室)内制作终端时，可用电炉加温干燥或安装合适的空气去湿装置，或适当延长 7.2.3 条规定的真空时间，严禁在大雾或雨中施工；
- c. 如果操作区有风和尘土，应搭建一个合适的帐篷作为工作间；
- d. 终端支架必须坚固稳定足以承受电缆及终端的自重和由于风、连接导线等引起的外机械力的作用；
- e. 围绕终端支架应搭设一个能够保障终端制作安全和方便操作的临时脚手架。脚手架必须稳固，上方应装置适当的起重工具(吊车或滑轮组等)供起吊电缆和安装瓷套用。

### 5.1.2 零部件、器材检查和准备

- a. 按照图样对零部件进行核对，校核及熟悉终端各零部件之间及其与电缆的装配或进行试装配；
- b. 检查瓷套和环氧套，确认无任何破裂或其他有碍使用的疵点，必要时瓷套可作液压试验；
- c. 检查所有零部件，确认它们完好无损，密封件无缺陷，尾管铅封部位的镀锡应完全；
- d. 瓷套内壁应清洁干燥。如果开箱后发现瓷套内壁脏污，可先用清水刷洗，再用优质汽油或四氯化碳擦净，后用红外线灯泡干燥内壁。干燥洁净的瓷套可用塑料薄膜将两端端部封闭。

### 5.1.3 油样检查

施工前按 10.1 条对各部分的油样进行试验，应符合要求。

## 5.2 电缆终端施工方式

5.2.1 电缆线路有落差时，应先进行下终端施工，后制作上终端。

5.2.2 电缆线路落差(指下终端剖铅口与电缆最高位置的高度差，下同)小于 11m 时，下终端可采用常规方法施工。

5.2.3 电缆线路落差超过 11m 但小于 30m 时，下终端可用真空法施工。其工艺如下：

- a. 制作下终端时，在电缆上端的封帽外再套装一个外加封帽。套装前，电缆封帽及外加封帽应清扫干净，套装后，外加封帽上接上压力箱，并采用真空注油的方法对其注满油，保持一定的正压力，如图 10 所示。

- b. 打开电缆下端阀门放油，待油停止流出后(当内部油柱压强与大气压强相等时)，按常规方法制作下终端。

- c. 当下终端制作完毕真空浸渍充油后，拆除上端外封帽。

5.2.4 电缆线路落差超过 30m 时，由于落差所造成的静油压力很大，下终端应按 5.4 条规定的冷冻法工艺将电缆油道冻结，油路分成两部分，使下终端位于电缆油路分隔后的最高位置，待电缆终端制作完毕，再解除冷冻，恢复正常状态。

## 5.3 电缆就位

5.3.1 检查电缆的长度，保证电缆在制作终端时有足够长度和适当的余量。通常，电缆在终端支架内吊起按设计高程定位后，电缆顶端距终端支架平面应不小于瓷套高度加 500mm，

如图 11 所示。电缆就位时，其弯曲半径应符合 4.2.1 条的要求。

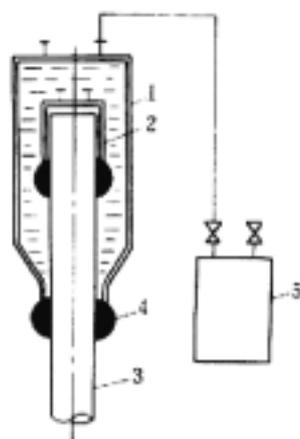


图 10 电缆上端封帽的处理

1—外加封帽；2—电缆封帽；3—电缆铅套；4—铅封；5—压力箱

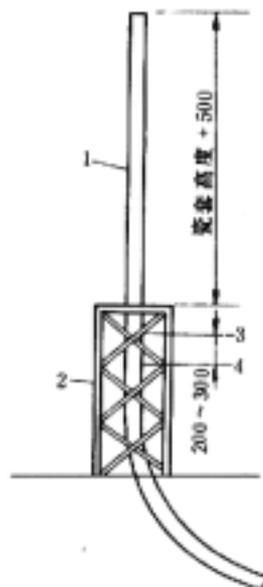


图 11 电缆就位

1—电缆；2—终端支架；3—尾管安装位置的下端；4—外护层剥切终止处

5.3.2 在电缆的另一端应接上有足够容量的压力箱，以维持电缆在任何时候都保持正油压。压力箱可根据操作工艺需要，随时开启或关闭，冲洗制作中的终端。

5.3.3 将电缆吊起后，根据终端支架结构决定剥除电缆外护层的终止点。终止点的位置一般取在尾管以下 200~300mm 处，剥去终止点以上的电缆铅套外的护层。为了便于剥除外护层，可以用喷灯温和地、均匀地移动，加热电缆外护层。用镀锡铜丝将外护层终止处的加强带捆绑固定。终止处以上的加强带留出适当长度(估计能恢复绕包到铅封处)用溶剂洗净卷绕后保留。

5.4 高落差电缆下终端制作的冷冻方法

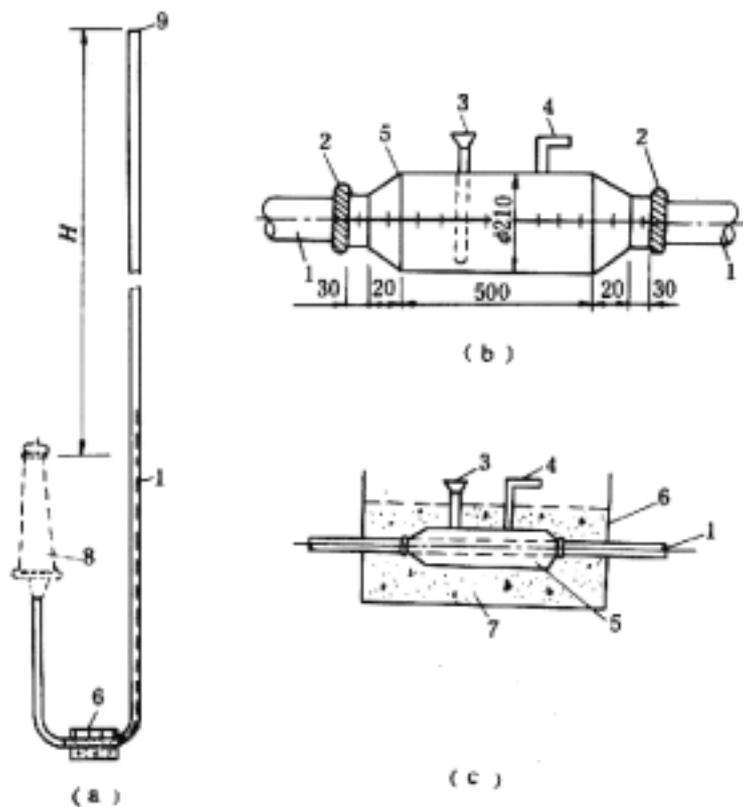


图 12 冷冻法制作高落差电缆下终端

(a)冷冻点布置；(b)冷冻盒；(c)保温箱

1—电缆；2—石棉密封；3—液氮注入口；4—氮气出口；5—冷冻盒；  
6—保温箱；7—绝热材料；8—下终端；9—电缆上端

5.4.1 用液氮作为冷冻剂。典型的冷冻盒结构如图 12(b)所示。冷冻盒标注有参考尺寸，其容积约为 20L，用铜或铁皮制成。为便于装卸，冷冻盒一般做成两半，使用时将两半包在电缆上，用螺栓紧固再用毛毡等密封。冷冻盒外需有保温层，通常用珍珠岩组成，其厚度一般不小于 100mm。

5.4.2 冷冻工艺：

a.选好冷冻点，将冷冻盒装在电缆上，用湿毛毡密封，再用水调和的石棉泥塞缝。套上保温箱后，将液氮瓶(杜瓦瓶)以 10kPa 压力从冷冻盒注入口注入小量液氮，经 5~10min 预冷，此时由于冷冻盒温度较高，有大量的氮气喷出。

b.徐徐注入液氮，此时冷冻盒出气口大量排气，用氮量最大，如冷冻盒缝隙处有液氮或氮气泄出，可用毛刷沾水在漏处涂刷，直至密封良好。

c.在保温箱内填入珍珠岩，装上箱盖进行保温，继续缓慢注入液氮使冷冻盒充满，直至电缆油冷冻。全部冻结的时间约 1~2h，液氮用量约 60L。

d.检查电缆油道是否冻结阻塞时，可打开电缆封端头的闷头螺帽。打开闷头后，如果电缆溢出少量油，再经一段时间的微量滴油而终止，则认为电缆油道已冻结阻塞。溢油量和滴油的时间与冷冻前电缆内的油压有关。

e.电缆油冻结后，每隔 15~30min 补充液氮一次直至下终端制作完毕。制作一个终端共需用液氮约 150L，冻结总时间约为 15h。

f.冷冻点不宜太靠近电缆终端，以免造成搪铅困难和增加液氮消耗量，一般距终端 10~15m 为宜。

g.当电缆终端充油工序完成后，停止注入液氮，卸掉冷冻盒，使电缆油自然解冻。

#### 5.4.3 冷冻的安全措施：

a.操作工应戴面罩、帆布手套、脚套，以防液氮溅出冻伤皮肤，严禁用手摸冷冻设备。

b.液氮瓶和冷冻盒的出气口不应堵死。非操作人员应远离冷冻部位。

c.冷冻盒的出气管和注入口宜包上绝热材料。

d.冷冻场地通风应良好，以免工作人员窒息。

e.搬运液氮瓶时应轻拿轻放，存放和运输时应打开排气阀，使压力表指示为零。禁止倾斜和放倒。

### 5.5 装配绝缘支柱和底座

5.5.1 用螺栓将绝缘支柱固定在终端支架和底座之间，在直径对称位置上均匀拧紧螺栓，力矩控制在 25~35N·m。

5.5.2 底座应用水平仪校正水平。

### 5.6 安装出线杆

5.6.1 在电缆上，从底座平面向上量取相当于瓷套的实际长度，截断多余电缆，套入尾管。

5.6.2 按图样规定的尺寸，剥去电缆端部的铅护套和纸绝缘使铜导体裸露。注意，最后几层绝缘纸应用手撕去，以免割伤导体。用刷子或清洁布擦净附在导体上的铜屑和其它杂物。用 1~2mm 铜丝扎紧导体，防止松散。打开另一端压力箱进行冲洗。

5.6.3 从油道内拉出长约 50mm 一段螺旋管并切断舍去。将衬管小心插入油道内，套上出线杆。出线杆上压接处的加强螺丝应尽量拧紧，并将长出部分截掉挫平。然后用压接钳和相应规格的压模压紧。压接钳的吨位必须足够大，一般大于 50t。压模的规格必须与电缆导体一致。压接至少需进行两次，第二次压接时应将压模转动 45°。

5.6.4 压接后应用锉刀和砂纸将出线杆上压模留下的凸痕圆整光滑，不得残留肉眼可见的毛刺。

5.6.5 完成安装后的出线杆应用刷子或清洁布擦净附着的铜屑和异物。开启电缆另一端的压力箱进行冲洗，油从出线杆油孔内流出应畅通无阻。

### 5.7 剥铅护套

按图样规定的尺寸标记铅护套的终止点，用割刀在终止点上做一个圆周切口，在被剥铅护套的全长上划两道相距 10mm 的轴向切口，如图 13 所示。用尖嘴钳剥下铅护套。上述轴向切口深度必须严格控制，切不可由于太深而损坏电缆的纸绝缘，也不要太浅而使剥铅困难。也可以用其它方法剥铅护套，例如劈刀剖铅等，但不应损伤电缆绝缘。

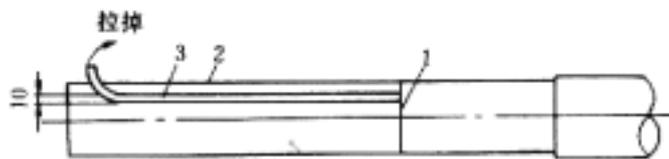


图 13 剥铅护套

1—圆周切口；2—铅护套；3—轴向切口

### 5.8 增绕式终端内绝缘绕包

5.8.1 绕包绝缘的尺寸和工艺必须符合制造厂图样的要求。

5.8.2 剥除距铅护套口 20mm 以上的半导体屏蔽碳黑纸。20mm 以内的碳黑纸应保留，以供终端屏蔽与电缆屏蔽连接用。

5.8.3 绕包纸卷前先将出线杆上的堵头关闭，并稍开启电缆另一端的压力箱，使在纸卷绕包过程中，电缆油能从纸层间不断地缓慢流出。

5.8.4 被绕包的纸卷应预热至 60~70℃。纸卷应在纸卷桶内均匀加热，严防加热过程中纸卷受污染。图 14 所示为一种常用的纸卷加热方法。

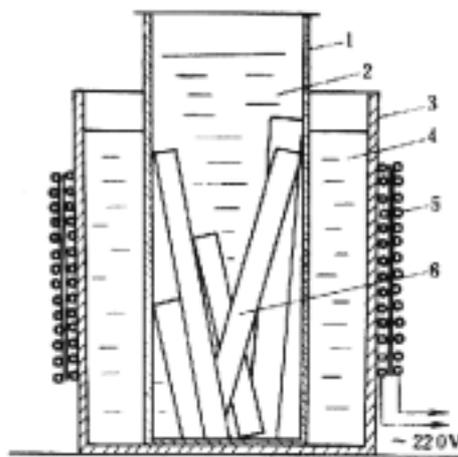


图 14 纸卷感应加热

1—纸卷桶；2—绝缘油；3—感应加热桶；4—导热介质(油)；

5—感应的加热线圈；6—纸卷

5.8.5 绕包纸卷的方向必须与电缆外层绝缘纸带的绕包方向相同。

5.8.6 绕包第一层纸卷时，纸卷头应插入电缆绝缘纸带  $\frac{3}{4}$  ~ 1 匝，并且应平服地紧贴在电缆

绝缘上，绕包在电缆上的纸卷应尽可能紧密。绝缘纸卷不允许出现皱折或局部松软点。

5.8.7 两只纸卷之间的搭接不应有明显的间隙。

5.8.8 在绕包纸卷的工艺过程中应经常用 60~70℃ 的合格热油浇注，以清除纸卷绕包过程中沾染的污物和防止吸潮。

5.8.9 绕包纸卷时，应仔细将纸卷的外径调整至环氧套的内径，使环氧套能相当紧地套入，并且还须严格按图样控制应力锥的尺寸。

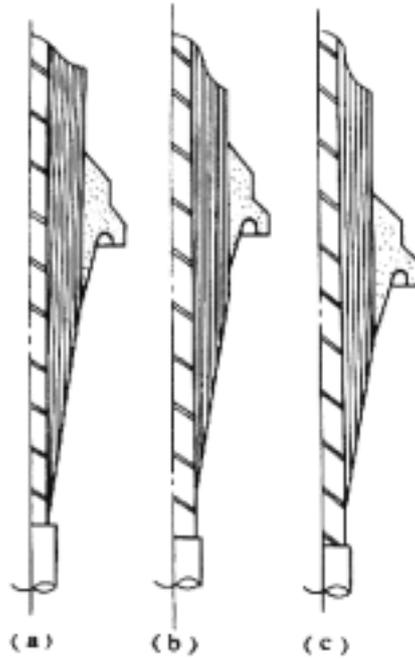


图 15 环氧套安装位置

(a)正确；(b)不良；(c)错误

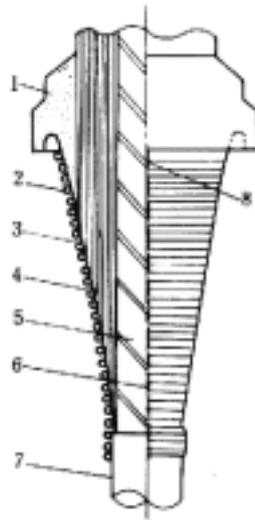


图 16 应力锥屏蔽处理

1—环氧套；2—编织镀锡铜带；3—碳黑纸；4—增绕纸卷；

5—电缆线芯绝缘；6—锡焊；7—电缆铅护套；8—编织铜带转折处

5.8.10 必须严格按图样规定的尺寸套上环氧套。环氧套上的应力锥应与纸绝缘的应力锥光滑过渡，如图 15 所示。

5.8.11 在纸绝缘的应力锥上，自下而上地叠绕一层皱纹碳黑纸，其下端应与 5.8.2 条所述铅护套口 20mm 的碳黑纸重叠，上端到环氧套的应力锥上约 25mm 止，全部碳黑纸应连续，不能留出空白点。

5.8.12 在电缆铅护套上密绕 3~5 匝编织镀锡铜带，接着在应力锥斜面上连续缠绕到应力锥的顶部。然后，将编织铜带转 90° 折回到应力锥斜面上。用锡焊将编织铜带匝间和折回部

分焊在一起，如图 16 所示。

5.8.13 用刷子或软布清除残余焊料和焊剂，并用热油冲洗整个终端内绝缘。

5.8.14 用油浸绝缘皱纹纸绕包在电缆线芯绝缘与出线杆之间的间隙上。

#### 5.9 电容锥式终端内绝缘绕包

电容锥式终端内绝缘绕包方法与 5.8 条增绕式终端内绝缘绕包基本相同，不同的是电容锥式终端没有环氧套，而是在终端绝缘层表面附加了若干个电容极板(铝箔)，使轴向电场强度分布均匀，以减小电缆终端高度。电容锥式终端必须按下列规定放置电容极板。

5.9.1 仔细检查极板，极板尺寸应符合图样规定，不可有破损，极板表面应洁净无氧化膜。

5.9.2 以极板高度制作标尺，标尺基准定在尾管上端平面较为方便。

5.9.3 按标尺上 0 号极板的位置将 0 号极板平整地贴在 0 号极板要求的外径的增绕纸卷上，并将准备好的电极引线的镀锡铜片平整地压在 0 号极板上后，继续绕包纸卷。当纸卷外径达到 1 号极板要求的外径时，按标尺上 1 号极板位置将 1 号极板平整地贴在纸卷上，继续绕包纸卷。依此类推，直至最后一号极板。最后一号极板须用与 0 号极板相同的方法引出电极引出线。

5.9.4 极板层间距离为 1mm，绝缘纸厚为 0.125mm，即绕包约 7 层纸放置一层铝箔电极。在绕包时最好一边数好层数一边用卡尺控制外径。

5.9.5 将 0 号极板的引出线与终端出线杆连接，而最后一号极板与应力锥屏蔽相连。

#### 5.10 瓷套安装

5.10.1 先调整尾管位置，降落电缆使铅护套口与尾管齐平，并调整环氧套支架的受力位置。

5.10.2 清除尾管上残留的异物，放好密封圈，吊起瓷套并在瓷套下端安装法兰和衬瓦，套入终端内绝缘，徐徐下落。注意瓷套内壁不可与增绕绝缘和环氧套碰撞，以免损伤内绝缘和移动环氧套位置。瓷套落至距尾管 200mm 左右时，用热油冲洗瓷套内壁，特别注意瓷套密封面和密封圈的清洁，然后落下固定。紧固螺栓时，应按直径对称位置均匀拧紧，力矩控制在  $25 \sim 35\text{N} \cdot \text{m}$ 。

5.10.3 安装瓷套上端衬瓦及法兰，将密封圈嵌入顶盖密封圈槽内后，按 5.10.2 条拧紧螺栓的要求，用螺栓将顶盖与法兰连接。

5.10.4 安装出线杆轴封时，注意用管钳卡住出线杆，以防止电缆导体受扭。

#### 5.11 搪铅

5.11.1 搪铅必须由技术熟练的工人操作，未经培训或技术水平不高的工人不得操作。

5.11.2 搪铅前必须用钢丝刷用力擦去铅封处(包括电缆铅护套和尾管镀锡处)的金属氧化物，并用喷灯均匀加热后用硬脂酸清洗。

5.11.3 喷灯加热时，火头必须不断移动，切不可长时间将火头集中在一点，以免烧坏电缆铅护套和绝缘纸。

5.11.4 铅封应分两次进行，第一次封堵油，第二次成形和加强，铅封必须密实无气孔。

5.11.5 对于高落差电缆，在冷冻解除前，铅封应用环氧树脂指加固，先在铅封上用钢丝刷刷去氧化膜及硬脂酸等脏物，再用汽油或四氯化碳擦净外表，待表面干燥后，用配制好的环氧树脂和无碱玻璃丝布带交替包刷，重复 3~5 次。

#### 5.12 加强铜带的恢复

搪铅完毕冷却后，应立即进行尾管部分的加强铜带恢复工作。先在铅护套上绕包塑料带 2 层左右(使其外径与电缆内衬层相同)，将 5.3.3 条所述留下的加强带松开并包在塑料层上，再在加强带外部密绕一层镀锡铜丝，直至铅封头上，最后在镀锡铜丝上搪一层薄铅，或用锡焊对称焊两条固定。

### 5.13 去气和充油

终端的去气和充油工作按第 7 章的要求进行。

## 6 充油电缆接头的制作

### 6.1 接头制作的时间

电缆接头的制作宜在电缆终端制作前进行。

### 6.2 制作前的检查和准备

#### 6.2.1 场地准备

施工场地应符合 5.1.1 条 a、b、c 的要求。

#### 6.2.2 零部件、器材检查和准备

- 按照图样对零部件进行核对，校核及熟悉接头各零部件之间的装配或进行试装配；
- 检查所有零部件，确认它们完好无损，密封件无缺陷，外壳铅封部位镀锡应完全；
- 外壳内壁应清洁干燥。如果开箱后发现外壳内壁脏污，可先用清水刷洗，再用优质汽油或四氯化碳擦净，最后加热干燥外壳内壁。

#### 6.2.3 油样检查

施工前应确认电缆本体、压力箱和纸卷桶的油样符合 10.1 条的规定。

### 6.3 电缆就位

6.3.1 检查电缆长度，保证电缆在制作接头时有足够的长度和适当的余量。电缆的弯曲半径应符合 4.2.1 条的要求。

6.3.2 移动被连接的两段电缆使之相对地、呈一直线状地靠近在一起并搁置在临时支架上。临时支架应稳固，其高度以提供操作工合适操作位置为宜。

6.3.3 接头的制作位置应置于电缆供油段的最高点，以避免制作接头的过程中电缆内的油份流失和电缆绝缘进气。在不可能将接头制作位置置于电缆供油段最高处情况下，如果落差(指接头与该供油段最高位置电缆或附件之间的高度差)小于 11m，尚可用常规工艺制作接头，否则可按 5.4 条所述冷冻法将电缆油路分成两部分，使接头制作位置处于分隔后电缆油路的最高位置。

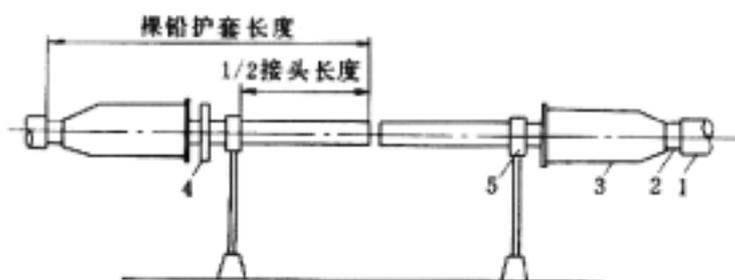


图 17 接头制作准备

1—电缆外护层；2—电缆铅护套；3—接头外壳；

4—环氧树脂绝缘片(绝缘接头用); 5—支架

6.3.4 两根被连接电缆的另一端应分别接上有足够容量的压力箱，以维持电缆在任何时候都保持正油压。压力箱可根据操作工艺需要，随时开启或关闭，冲洗制作中的接头。

6.3.5 剥去电缆外护层，用汽油擦净电缆铅护套，将接头外壳分别套在被连接的两根电缆上，如图 17 所示。电缆外护层的剥离长度可按图 17 估算。为了便于剥离外护层，可以用喷灯温和地、均匀地移动加热电缆外护层。在外护层剥离的终止处用铜丝将加强带捆绑固定并留出适当长度(估计能恢复绕包到铅封处)，用溶剂洗净卷绕后保留。

#### 6.4 导体连接

按接头图样规定的尺寸和 5.6.2 ~ 5.6.5 条的工艺方法，剥去被连接电缆端部的铅护套和纸绝缘，套上压接套管，进行电缆导体的连接。

#### 6.5 剥铅护套

按 5.7 条的规定剥除两段被连接电缆的铅护套。也可分两次剥铅，即切反应力锥时，先剥一段，绕包纸卷时，再剥到规定尺寸。

#### 6.6 切削反应力锥

6.6.1 切削反应力锥是关系接头绝缘的关键技术之一。反应力锥的形状、尺寸应严格按图样规定切制。

6.6.2 推荐用下述方法切削反应力锥：

用直径为 0.1 ~ 0.2mm 的钢丝，将其两端系上 0.25 ~ 0.5kg 重锤，在电缆绝缘上绕扎一周，按反应力锥尺寸要求移动钢丝位置并逐层撕掉多余的电缆纸即可切制成所要求的反应力锥，如图 18 所示。

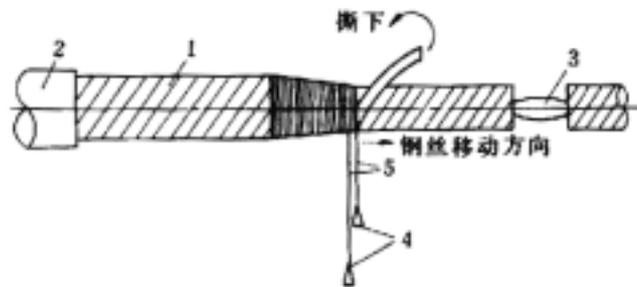


图 18 切削反应力锥

1—电缆绝缘；2—电缆铅护套；3—压接套管；4—重锤；5—钢丝

6.6.3 在靠近压接套管的反应力锥端部，应留出 10 ~ 20mm 的电缆导体屏蔽碳黑纸，供压接套管屏蔽与电缆导体屏蔽搭接用。

6.6.4 完成反应力锥切制后，应用热油(60 ~ 70 )冲洗，清除反应力锥上残留的纸屑和工艺过程中的污物。

#### 6.7 绕包内绝缘

6.7.1 绕包绝缘的尺寸和工艺必须符合制造厂图样的要求。

6.7.2 在剥去电缆绝缘屏蔽碳黑纸时，应在铅护套口保留 20 ~ 30mm 的碳黑纸，供接头屏蔽与电缆屏蔽连接用。

6.7.3 在压接套管上绕包碳黑皱纹纸，两端与 6.6.3 条所述电缆导体屏蔽碳黑纸搭接。碳黑皱

纹纸绕包应塔盖均匀,平整服贴,在直径变化处应光滑过渡,严禁出现空白点、翘角等现象。

6.7.4 在压接套管与反应力锥之间填充绝缘皱纹纸。绕包绝缘皱纹纸应尽可能紧密、均匀,避免出现松软点和外径不规则,通常将窄的纸带填在内层,较宽的包在外层。

6.7.5 绕包内绝缘纸卷时应按照 5.8.4~5.8.8 条的规定进行,特别要注意保证应力锥的形状和尺寸。

6.7.6 完成纸卷绕包后,应仔细将纸卷外径调整到图样规定的尺寸,并用热油(60~70 )冲洗。

6.7.7 在绝缘纸卷外以 12 搭盖方式绕上一层碳黑皱纹纸,其两端与 6.7.2 条所述电缆绝缘屏蔽碳黑纸连接。

6.7.8 用 5.8.12 条所述方法在 6.7.7 条所述碳黑皱纹纸上密绕一层镀锡铜编织带。

## 6.8 外壳安装及搪铅

6.8.1 将外壳从两边电缆上拉入接头内绝缘上,注意不要碰伤内绝缘。按图样规定的尺寸,固定好外壳的位置。

6.8.2 制作绝缘接头,在拧紧环氧树脂绝缘片与外壳连接的螺栓时,应按 5.10.2 条的要求进行。绝缘接头的碳黑皱纹纸和铜带中部应断开。外壳安装好后,应用 1kV 兆欧表检查外壳轴向绝缘。

6.8.3 按 5.11 条所述工艺要求搪铅。

## 6.9 加强铜带的恢复

搪铅完毕冷却后,应立即进行加强铜带恢复,先在铅护套上绕包塑料带 2 层左右,将 6.3.5 条所述留下的加强铜带松开并包在塑料层上,再在加强铜带外部密绕一层镀锡铜丝。

## 6.10 去气和充油

接头的去气和充油工作应按第 7 章的要求进行。

## 7 电缆终端和接头的去气与充油

### 7.1 去气和充油管路的连接和检查

7.1.1 在制作终端和接头的过程中,应进行真空处理并将合格的电缆油在真空下经压力箱注入终端或接头内。典型的去气和充油管路连接见图 C1。

7.1.2 为了获得高真空度,管路的长度应尽可能短。管路的内径对去气速度影响极大,内径不宜小于 12mm。

7.1.3 为了防止麦氏真空计中水银进入终端或接头内,麦氏真空计应接在溢油缸上而不宜直接接在终端或接头上。

7.1.4 为了保证去气和充油设备有良好的工作状态,在进行去气工作之前应按下述步骤检查管路有无泄漏:

- a.关闭图 C1 中的所有阀门;
- b.起动真空泵 10;
- c.从靠近真空泵位置开始,逐一打开阀门并检查各段真空管路,应无泄漏。

### 7.2 去气

7.2.1 终端和接头去气工艺参照 C4 条 a~e 项进行。

7.2.2 电缆终端真空去气时,必须从终端尾管处放出电缆本体及终端纸卷内流入瓷套的油,

并自压力箱注油冲洗终端尾管(或接头外壳)因搪铅高温而劣化的油。

### 7.2.3 去气要求：

当麦氏真空计 13 的读数到达 13Pa 时，开始计时。到达表 2 规定的时间后，麦氏真空计 13 的读数不应大于 2.6Pa。此时停止真空泵 10 运转，15min 后，麦氏真空计 13 的读数应小于 40Pa。

### 7.3 充油

7.3.1 终端和接头充油工艺参照 C4 条 f、g 项进行。充油速度不应过快，表 3 所列充油速度供参考。

7.3.2 终端或接头充油后，应继续注油，让多余的油流入溢油缸内。溢油量多少可根据油源和终端、接头的油腔体积决定，一般不少于油腔体积的  $\frac{1}{10}$ 。

**表 2 终端、接头真空要求**

真空部件	接头			终端		
	110	220	330	110	220	330
电压等级 kV	110	220	330	110	220	330
到达 13Pa 后维持真空时间 h	4	8	12	6	8	10
到达真空度 Pa	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
停泵时间 min	15	15	15	15	15	15
跌下后真空度 Pa	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40

**表 3 终端、接头充油速度**

充油部件	接头			终端		
	110	220	330	110	220	330
电压等级 kV	110	220	330	110	220	330
充满油所需时间 min	15	25	35	30	45	60

## 8 供油系统的安装

### 8.1 充油电缆的供油要求

充油电缆在运输、储存、敷设、安装、运行等任何过程中都应与压力箱连接，并打开阀门，使电缆内保持正油压。

### 8.2 供油系统的组成

充油电缆线路的供油系统一般由压力箱、供油管、绝缘接管、真空阀、真空压力表及电接点压力表等部件组成。

### 8.3 部件、材料的准备及其要求

8.3.1 供油管一般用紫铜管，油管内径一般不小于电缆油道直径。连接油管应尽可能短。油管一般用焊接连接。若油管有焊接接头时，必须进行油压试验，管接头应承受 1.5 倍工作油压，试验 15min 无泄漏。

8.3.2 紫铜管不能弯扁，管内壁应清洗干净，必要时可用四氯化碳溶解油腻，然后用干燥的高压气体吹去未挥发尽的溶剂，最后用干净电缆油冲洗。

8.3.3 绝缘接管用环氧树脂浇铸而成，装在终端尾管阀门的外侧。靠近绝缘接管的紫铜油管应用卡子固定，以防止振动损坏绝缘接管。

8.3.4 安装前应检查真空阀是否漏气、漏油。真空阀在真空下不应漏气，在 0.6MPa 油压下不应漏油。

#### 8.4 压力箱的配置

压力箱应按设计规定的只数及位置进行安装，配置情况一般有下列几种：

8.4.1 充油电缆线路每相都应装设压力箱。一般情况可配置于线路户内的一端，当线路两终端头位置高差较大时，宜配置于位置高的一端。

8.4.2 当电缆线路较长时，在一侧配置压力箱不能满足暂态油压变化要求时，应在线路两端分别配置压力箱，或在塞止接头处配置压力箱。

8.4.3 需要压力箱数量较多时，可在线路两端分别配置。

#### 8.5 压力箱油压整定

压力箱油压的下限压力和上限压力应按设计规定值进行整定，以使电缆在规定的油压范围内运行。压力箱的整定油压可用下列公式计算

$$P_W \geq P_{\min} + \Delta P_b + P'_h$$

$$P_S \leq P_{\max} - \Delta P_t - P_h$$

式中  $P_W$  ——下限压力；

$P_S$  ——上限压力；

$P_{\max}$  ——电缆允许的最高油压；

$P_{\min}$  ——电缆允许的最低油压；

$P_t$  ——加上负载时的最大暂态压力变化；

$P_b$  ——切除负载时的最大暂态压力变化；

$P_h$  ——电缆线路中的最低点与压力箱之间的高度差所产生的静油压；

#### 8.6 油压监测装置的装设

每相电缆线路应装设油压监测装置。该装置至少应具备实现油压越限的报警功能(如配置带电接点的压力表)。

#### 8.7 压力箱及油管路的安装方式

8.7.1 按相设置多台压力箱时，应并联连接。

8.7.2 压力箱应尽量靠近电缆终端布置，安置在户外时，应对压力表加保护罩，环境温度低于-15℃时，应设防寒设施；安置在炎热地区时，宜有遮阳设施；安置在八度及以上地震烈度区或土壤具有可能不均匀沉降的地方，应与终端头的基础整体相连。

8.7.3 当油管的材质为金属时，应经一段不低于电缆外护层绝缘强度的绝缘管与电缆终端相

连。

## 9 金属护套接地及测温装置的安装

9.1 电缆护套的接地方式按设计进行，一般有下列几种：

9.1.1 电缆线路很短，而利用小时数较低且传输容量有较大裕度时，三相电缆护套的两端可分别接地。

9.1.2 电缆线路在 500m 以下时，电缆护套的一端可直接接地，另一端经保护器接地。

9.1.3 电缆线路较长时，电缆可分成若干单元，每单元原则上分成相等的三段，每段护套交叉互联，每单元的两端护套三相互联接地，分段处采用绝缘接头，见图 19。

9.1.4 一端接地的电缆线路可平行敷设一根两端接地的导线作为回流线，以降低系统单相接地时电缆护套上的感应电压。

9.1.5 如电缆直接与架空线路连接时，电缆护套的直接接地一般装设在靠近架空线和避雷器的一端，而保护器装在另一端。

9.2 保护器的连接方式，一般有下列两种：

9.2.1 一端直接接地的线路，不接地端的每相金属护套上接一只保护器，并将三只作星形连接，其中性点接至与电缆平行的回流线后再接地，如图 20 所示。

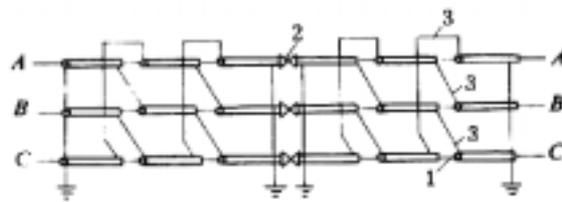


图 19 长线路电缆金属护套接地示意图

1—绝缘接头；2—塞止接头；3—交叉互联线

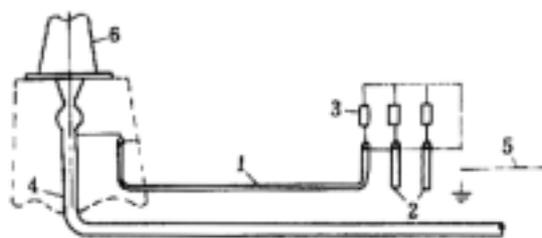


图 20 一端互链接地的线路上保护器的连接方式

1—同轴电缆；2—其他两相同轴电缆；

3—保护器；4—电缆；5—回流线；6—终端

9.2.2 护套交叉互联的线路，绝缘接头处的保护器可作星形连接，也可作三角形连接，星形接线的中性点一般接地，如图 21 所示。

9.3 保护器应分相装设，装设的位置应使运行人员不会触及保护器的带电部分，同时又便于巡视与检修。

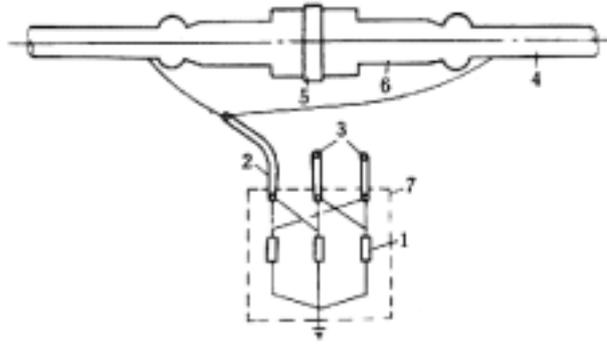


图 21 保护器在绝缘接头处的连接方法

1—保护器；2—同轴电缆；3—其他两相同轴电缆；4—电缆；  
5—绝缘接头环氧树脂绝缘片；6—绝缘接头外壳；7—接线盒

9.4 电缆护套至保护器间的连接线应尽量短，并应采用波阻抗小的同轴电缆，以降低冲击电流在引线上的压降，从而降低护层电压。

9.5 电缆护套与连接护套的装置之间应装设绝缘件，安装时应检查其绝缘的可靠性，如电缆终端底座与其支架间应装设绝缘子；尾管引出的油管路上应装设绝缘接管；电缆接头外壳与支墩间应装设绝缘件；护套与保护器间的连接线，不能用裸导线，一般采用同轴电缆。这些绝缘件与电缆护套对地的绝缘应具有同一水平(直流耐压 10kV、1min)，安装时可用 1kV 兆欧表测量其绝缘电阻，其值应大于 5M。

9.6 电缆终端尾管下裸露的铅护套及尾管油管路的绝缘接管离地面的距离应在 2.5m 以上，使运行人员触及不到，否则应采取绝缘措施。

9.7 电缆终端下部装有电流互感器时，为了消除护套两端接地的循环电流或护套一端接地过电压保护器动作时的电流对电流互感器的影响，必须将装有电流互感器一端的护套接地线，或者连接保护器的接地引线穿过电流互感器。

## 10 充油电缆的现场试验

### 10.1 施工前油样试验

充油电缆施工前应对电缆本体、压力箱、电缆油桶及纸卷桶逐个取油样作电气性能试验，其标准如下：

- a.油温  $20 \pm 10$  时，工频击穿强度应不小于 50kV(在试验电极距离 2.5mm 时，下同)；
- b.额定电压为 110、220kV 的电缆本体、纸卷筒的油样在  $100 \pm 1$  和电场梯度 1kV/mm 时， $tg \delta$  应小于 0.005；
- c.油桶、压力箱的油样及额定电压为 330kV 的电缆本体、纸卷筒的油样在  $100 \pm 1$  和电场梯度 1kV/mm 时， $tg \delta$  应小于 0.003。

### 10.2 充油电缆竣工试验

充油电缆线路安装完工之后，投入运行前，应进行下列试验：

#### 10.2.1 终端、接头油样试验

取电缆终端、接头内的油样作电气性能试验，室温下工频击穿电压应不小于 50kV。油温  $100 \pm 1$  和电场梯度 1kV/mm 时的  $tg \delta$  值，对于额定电压为 110、220kV 者应小于 0.005，对于额定电压为 330kV 者应小于 0.004。

### 10.2.2 外护层试验

用 1kV 兆欧表测量金属护套对地的绝缘电阻，正常情况下绝缘电阻约为 3 ~ 5M 。

在金属护套与电缆外护层表面之间施加 10kV 直流电压 1min 的耐压试验，护层绝缘应不击穿。

### 10.2.3 电缆导体直流电阻的测量

为了检查电缆终端出线杆与电缆导体的压接质量及导体的某些缺陷，可测量每相电缆导体的直流电阻，其值换算到 20℃ 时，应不大于表 4 的规定。

表 4 电缆导体的直流电阻(20℃ 时)

标 称 截 面 mm <sup>2</sup>	直 流 电 阻 / km
120	0.150
150	0.122
185	0.0972
240	0.0740
270	0.0668
300	0.0590
400	0.0461
500	0.0366
600	0.0297
630	0.0283
800	0.0221
900	0.0196
1000	0.0176

### 10.2.4 电缆的直流耐压试验

10.2.4.1 直流耐压试验之前整个电缆线路包括接头及两个终端必须与供油系统接通，其油压应符合设计要求，在电缆导体与金属护套之间进行 15min 的直流耐压试验，绝缘应不击穿，所加电压应符合表 5 要求。

表 5 直流耐压试验电压

kV

电缆额定电压		直流试验电压
线电压	相电压	
110	64	290
220	130	520
330	200	700

10.2.4.2 试验前必须将电缆终端瓷套的表面用无水酒精仔细擦干净，以消除对泄漏电流读数的影响。

10.2.4.3 试验前每相电缆两端的金属护套、铜带、钢丝和压力箱以及邻近电缆两终端的电气设备必须良好接地，如有电容器还需两极短路接地。交叉互联线路接头处的金属护套应短接，外护层应多点接地。在对一相电缆进行试验时，其他各相电缆两端的导体均应良好接地。

试验时被试电缆导体接负极，试验设备引出的高压引线应同时连接到电缆终端的出线杆和上法兰。

10.2.4.4 试验时，升压速度不可太快，以免充电电流过大而损坏试验设备，一般升压时间为1min 至数分钟(视试验电压和电缆的电容大小而定)。

10.2.4.5 试验电压必须十分稳定，以消除因电压波动所产生的充电电流对泄漏电流的影响。

10.2.4.6 试验全过程，电缆两端均须有人监视，出现问题互相联系。试验完毕的电缆经过一段时间的自放电后再通过适当的电阻进行放电。

#### 10.2.5 压力报警系统的调试

电缆供油系统装有电接点压力表，当压力超过工作压力范围时发出信号，以加强监视，试验时要对压力表进行校验，对油压上、下限整定值进行检查，对报警信号进行检验。

#### 10.2.6 接地装置的测试

10.2.6.1 如充电电缆护层一端接地，另一端经放电间隙接地，则需要对放电间隙进行调整，以达到设计要求的放电电压值。对于经氧化锌保护器接地的则可测试其起始动作电压和泄漏电流，其值应符合制造厂的规定。

10.2.6.2 测量接地线的接地电阻，其值应符合 GBJ232—82 中接地装置篇的有关规定。

如电缆护层两端都直接接地，应检查通过环流部分接地线的截面积是否符合要求。

#### 10.2.7 油流试验

电缆施工完毕，可进行油的自由流通试验以检验电缆及其附件的油道中是否有堵塞物存在。油流试验应在电缆线路的每一相上进行。试验标准待定。试验方法参见 D1 条。

#### 10.2.8 浸渍系数试验

电缆终端及接头真空浸渍的效果仅用取油样作  $\text{tg}$  试验和工频击穿强度试验还不能确切地反映出来，因此竣工试验时，为了检查绝缘中气体的含量，可进行浸渍系数试验。

浸渍系数试验应在电缆线路的每一相上进行。试验标准待定。试验方法参见 D2 条。

### 10.3 电缆油的取样

电缆油的试验结果关系到电缆施工的质量，但是由于取油样方法不当，试验结果会有很大的差异，甚至会得出相反的结果。取油样方法应按下列要求进行。

10.3.1 自容器中取油样时，应取自容器中电缆油最有可能被污染的容器下部。到货的油桶应逐个抽取油样作试验。

10.3.2 装油样用的容器应用磨塞广口玻璃瓶，并且最好为琥珀色的，如果用透明的玻璃瓶，在取油样后暴露在日光中的时间不应超过 5min。

10.3.3 装油样的玻璃瓶，取油样之前必须彻底清洗和干燥。清洗时不允许用容易脱落纤维的破布或棉纱等擦拭容器，应先用中性洗涤剂清洗，再用大量自来水冲洗，然后用蒸馏水(或去离子水)冲洗，滴干后再将油样瓶放入烘箱内在 100~105 的温度下烘 1h。油样瓶上必须有标签，标明油桶或电缆或终端的名称、编号、取样日期、气候等。

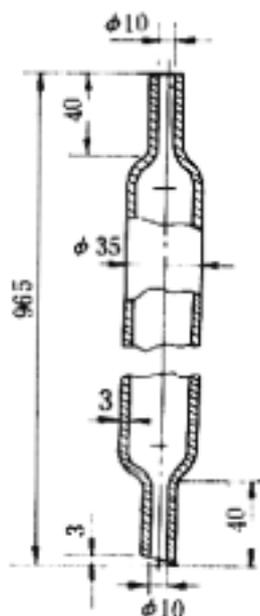


图 22 吸油管

10.3.4 在油桶、纸卷桶中取油样时可用吸油管(见图 22)。吸油管使用之前必须彻底清洗和干燥,其方法与清洗干燥油样瓶的方法相同。清洗干燥好后应立即加以密封,只有在临使用之时才能启封。

10.3.5 在油温低于环境温度时不允许取油样,在相对湿度高于 75%时也不应取油样,在有风、沙、雨、雪和雾的天气也不宜取油样。如果在这些特殊情况下取油样时,则必须采取防止油受潮或受污染的有效措施,如采用篷布加以遮蔽,将取油样设备加热到环境温度以上。

10.3.6 取油样前必须用被取的油将取样器和容器进行刷洗。取样人员切勿用手触及取样器与油样接触的部分。

10.3.7 在油桶和纸卷桶中取油样时,必须在油桶和纸卷桶运到场地停放 8h 以后进行。采用吸油管取底部(离桶底约 50mm)油样的步骤如下:

- a.用大拇指堵住吸油管的上口,将下口插入油桶或纸卷桶的底部;
- b.放开大拇指使电缆油进入管内;
- c.再用大拇指堵住上口提起吸油管,用吸入管内的油刷洗吸油管,然后弃去管中的油;
- d.第二次吸入管内的油注入取油样瓶中刷洗油样瓶;
- e.第三次吸入管内的油注入取油样瓶中作试验用。灌注时要防止产生气泡。

10.3.8 在未安装的压力箱和电缆上取油样。对新到货的及施工前存放较久的压力箱和电缆,应取油样进行试验。取油样步骤如下:

- a.用不脱落纤维的清洁布擦去压力箱阀门或电缆封帽上的污物和尘埃;
- b.卸下压力箱阀门上的或电缆封帽上的堵头;
- c.开启阀门,使电缆油慢慢流出,放掉冲洗排油口的油样约 300mL;
- d.用电缆油刷洗油样瓶,最后将电缆油慢慢地灌入油样瓶中;
- e.取电缆中的油样时应特别注意防止进气,电缆取油样的那一端应向上倾斜或垂直。电缆盘上压力箱的油压不宜低于 0.1MPa。

10.3.9 电缆线路安装完后在终端和接头上取油样，步骤如下：

a.取油样应在终端和接头安装完毕充油达到设计油压并静置 72h 后进行；

b.电缆终端的油样取自出线杆，接头的油样取自上油嘴。其它取油样事项与取压力箱油样相同。

10.3.10 装有油样的油瓶拿到试验室后，不能立即打开瓶塞子，必须等待足够时间使油样的温度达到室温后才能开启。

#### 10.4 电缆油的试验

10.4.1 电缆油工频击穿电压试验，步骤如下：

a.试验油杯存放一段时间后，重新使用前应用无绒的绸布将油杯和电极擦净，然后以溶剂汽油或四氯化碳将油杯、电极和电极的支持杆仔细洗涤，再用经过滤处理后的电缆油刷洗一遍倒掉，用上述油进行击穿电压试验。如击穿电压在 50kV 以上则认为清洗合格、否则必须重新清洗；

b.当电极拆卸重新装在油杯上或每批试样的第一次试验前必须用标准规检查并核对电极的间隙距离，其值应为 2.5mm；

c.所取的电缆油样在注入试验杯前应进行观察，如有明显的水分和杂质，该油样就没有试验的必要；

d.试验在室温 15 ~ 35℃，湿度不高于 75%的条件下进行；

e.冬季送到试验室的油样，待其温度与室温相同时，才能将油样容器的密封启开。在启开塞子前，装试样的容器应小心地颠倒几次，但不得使试样留有泡沫及气泡；

f.试验前先倒出一小部分被试验的油样刷洗油杯，然后再将油样慢慢倒入试验杯中，试验杯中试样的液面超过电极的高度应不小于 15mm，试样倒入试验杯后应静止 10 ~ 15min 再作试验。禁止用手指接触电极、油杯内部和试样；

g.试验时升压必须从零开始，并以每秒约 3kV 的速度均匀地一直升到试样击穿，开关脱扣为止；

h.对一杯试样连续作 5 次击穿试验，每次击穿后用玻璃棒在电极间拨动数次以除掉附着的游离碳，然后静置 5min 再进行下一次试验。五次击穿电压的算术平均值作为试样的平均击穿电压。

10.4.2 电缆油的 tg<sub>δ</sub> 测试：

10.4.2.1 由于杂质污染对油的 tg<sub>δ</sub> 值影响很大，因此必须对油杯进行严格的清洗，其步骤如下：

a.先将油杯全部拆开，依次用乙醚和苯将部件彻底清洗；

b.将所有部件用四氯化碳充分洗涤干净。清洗后切勿用手接触电极表面；

c.将所有部件放在温度为 100 ~ 105℃ 的烘箱中烘干；

d.戴上清洁、不脱绒的手套在烘箱内把油杯装配起来，并将油杯放在较试验温度高 5℃ 的烘箱内待用；

e.当连续测量一批同一类型的试样时，如果前一次被测试样的 tg<sub>δ</sub> 小于规定值，则在作下一次试验时可不清洗，但必须用试样冲洗电极两三次，否则作另一次油样试验之前必须彻底清洗油杯。

#### 10.4.2.2 电缆油 tg 的试验步骤：

a.将预热过的油样注入油杯一部分后放回烘箱内保温，把内电极放回油杯中，使其上下移动刷洗二次，再取出内电极，倒去油杯中的油样；

b.将预热过的油样注入油杯，使内电极温度达到试验温度  $\pm 1$  后，经过 5min 即可进行测试。如试样未经预热而直接注入油杯内预热时，必须使试样在 1h 内达到试验温度  $\pm 1$  ；

c.按电极间隙 1kV/mm 施加 50Hz 工频试验电压进行测定，从 70 开始每隔 10 测定一次，直到 100 。由于加热时间对测试值有影响，应尽快完成测量，测量完后，立即倒出试油；

d.取油样冲洗油杯一次，再进行第二次测量，操作程序同上，直至相邻两次测量结果的差值，不超过 0.0001 加两个值中较大一个的 25% 时为止，取两次有效测量中较小的一个值，作为 tg 测定结果；

e.试样送入试验室后，应按 10.4.1 条 e 的规定进行处理。

### 11 施工的质量检查和交接验收

#### 11.1 中间检查验收

隐蔽工程应在施工过程中进行中间检查验收，并作好签证。

##### 11.1.1 电缆敷设过程中的检查验收：

11.1.1.1 敷设前检查电缆，其规格应符合要求，无渗漏油现象。

11.1.1.2 直埋电缆和沟槽内电缆敷设完后应进行检查，电缆的位置应正确，弯曲半径应大于电缆外径的 20 倍，电缆外表应完好无损、无漏油现象。

##### 11.1.2 终端和接头的检查：

终端和接头的绝缘纸剥切尺寸、绕包尺寸，出线杆、压接管的压接尺寸应符合图样和工艺要求。

#### 11.2 投入运行前的检查验收

11.2.1 电缆排列应整齐，无机械损伤，无渗漏油现象，标志牌应装设齐全、正确、清晰。电缆的固定应符合图样要求。

11.2.2 供油系统安装应牢固、无渗漏油现象，压力箱的油压及最低、最高压力报警的整定值应符合要求。供油系统、压力报警系统及测温系统的安装应符合设计图样要求。

11.2.3 电缆金属护套的接地应良好，经放电间隙或保护器接地的，其值应符合 10.2.6.1 条要求。

11.2.4 终端、接头及其支架的金属部件油漆应完好，相色应正确。

11.2.5 电缆沟及隧道内应无杂物，盖板应齐全，灭火装置及器材应装设完好。

#### 11.3 电缆投入运行中的检查

11.3.1 电缆带电后检查终端上部，应无放电现象。

11.3.2 电缆带负荷后，检查压力箱的油压变化，应符合整定计算的要求。

11.3.3 在不同负荷下检查电缆导体的稳定温度并作记录。

##### 11.3.4 护套感应电压和电流测试：

对于护套两端接地的电缆线路，在额定电流下，测量两端接地线的电流，其值应相等。如相差很大，说明护层绝缘有损坏。对于护套一端接地的电缆线路，在额定电流下，测量直

接接地端接地线的电流，其值应为零。如电流很大，说明护层绝缘损坏。另外，对于护套一端接地的电缆线路还应测量非直接接地端金属护套的感应电压。

11.3.5 检查电缆及其终端、接头的外表部分，应无渗漏油现象。

11.4 验收时应提交的技术资料 and 文件

11.4.1 电缆线路的敷设布置图，终端、接头及供油系统的安装图，测温及油压报警系统接线图。

11.4.2 变更设计部分的实际施工图及变更设计的证明文件。

11.4.3 制造厂提供的产品说明书、试验记录、合格证件及安装图样等技术文件。

11.4.4 电缆敷设及终端、接头的施工技术记录，如电缆的规格、实际敷设长度、弯曲半径，终端及接头的施工日期、湿度、天气情况、绝缘绕包的实际尺寸，真空浸渍过程中的真空度，施工中发生的问题及处理方法和结果，电缆油的型号以及压力箱的上、下限压力整定值等。

11.4.5 应提交下列试验记录。试验结果应符合本规程第 10、11 章的有关规定。

- a. 电缆、终端、接头及压力箱内电缆油样的 tg 和工频击穿强度试验记录；
- b. 电缆护层试验记录；
- c. 电缆导体直流电阻测量记录；
- d. 电缆线路直流耐压试验记录；
- e. 油压报警系统调试记录；
- f. 电缆接地装置测试记录；
- g. 电缆带负荷后导体温度测试记录；
- h. 电缆护套感应电压和电流测试记录；
- i. 油流试验记录；
- j. 浸渍系数试验记录。

## 附录 A

本规程要求严格程度用词的说明

(参考件)

A1 必须遵守的条文，采用“必须”、“严禁”等字样。

A2 无特殊情况必须遵守的条文，采用“应”、“不应”、“不得”等字样。

A3 表示有所选择，在条件许可时首先要这样作的条文，采用“一般”、“宜”、“可”、“一般不”、“不宜”等字样。

## 附录 B

充油电缆施工用的主要设备及工器具和材料

(参考件)

表 B1 工用的主要设备及工器具

序	名称	规格	单	数	用途
---	----	----	---	---	----

号			位	量	
1	去气机	购置也可自制	台	1	电缆油循环去气
2	真空设备	购置也可自制	台	1	终端抽真空
3	麦氏真空表	665 ~ 0.133Pa	块	2	测试真空度
4	压力表	0 ~ 0.6MPa	只	2	
5	平板拖车	20 ~ 40t	台	1	运输电缆,根据实际决定
6	托 辊	按图 4 自制	个		根据电缆敷设方案定
7	卷扬机		台		根据电缆敷设方案定
8	链式起重机	1t	台	1	吊装瓷套
9	压力箱	50L	只	4	电缆敷设及终端制作
10	劈 刀	自制	把	2	劈断电缆
11	剖铅刀	自制	把	2	剖铅层
12	胡桃钳	200mm	把	2	剥铅层
13	钢 钎	12 或 15mm	根	1	截断导体用的内衬芯杆
14	导体卡子	根据导体定	套	1 ~ 2	卡紧导体
15	扁 铲	自制	把	2	截断导体
16	烘 箱	电热鼓风自动恒温	台	1	干燥终端的绝缘附件
17	感应加热油桶	自制纸卷筒及绝缘件加热			
18	搪瓷盘	白色 400×500mm	个	2	存放终端制作工具
19	医用钳子	400 ~ 500mm	把	1	夹纸卷
20	弯 刀	自制	把	1	割切纸卷
21	喷 灯		个	5	搪 铅
22	干湿温度计		个	1	
23	搪瓷漏斗	100	个	1	注油
24	真空阀门		个	30	
25	磨塞广口瓶	500cm <sup>3</sup> 琥珀色	个	10	取油样
26	尼龙绳	6 ~ 8mm	m		敷设电缆,根据方案定
27	玻璃吸油管	见图 22	支	2	取油桶油样
28	滤油机		台	1	
29	铝 盘	500×1100mm	个	2	接头施工
30	压接钳	电动油压 100t	台	1	压接出线杆、接头套管
31	压 模	与导体配合	套	1	压接出线杆、接头套管

表 B2 施工用的主要材料和零件 (按六个终端头计)

序号	名 称	规 格	单 位	数 量	用 途
----	-----	-----	-----	-----	-----

1	汽 油		kg	20	喷灯及清洗电缆用
2	航空汽油		kg	8	清洗附件
3	白 绸		m	10	擦净零件、器皿
4	白 布		m	60	
5	无水酒精		瓶	10	清洗剂
6	四氯化碳		瓶	10	清洗剂
7	洗涤剂	中性	kg	6	清洗取油样容器、设备
8	封 铅	铅 65% 锡 35%	kg	18	搪铅材料
9	硬脂酸		kg	3	搪 铅
10	丝光卡其布		m	3	搪 铅
11	焊锡丝		卷	10	焊接终端应力锥屏蔽带
12	焊锡膏	无酸性	盒	3	
13	尼龙管	或厚壁塑料管内径 12mm	m	50	施工用油管路
14	紫铜管	16/ 12mm	m		供油管路，按设计要求
15	真空脂	#1、#2	支	各 5	真空泵
16	红外线灯泡	250W	个	6	干燥瓷套
17	封 帽	内径比电缆铅套外 径大 2mm	个	6	电缆端头封堵
18	螺 母	见图 1	个		油管路零件
19	堵 头	见图 1	个		油管路零件
20	油 嘴	见图 1	个		油管路零件
21	油嘴堵头	见图 1	个		油管路零件
22	双头螺纹管接头	见图 1	个		油管路零件
23	仪表螺母	见图 1	个		油管路零件
24	三通压力阀	见图 1	个		油管路零件
25	尾管压力阀	见图 1	个		油管路零件

## 附 录 C

### 电缆油去气和电缆终端及接头的真空浸渍工艺

(参考件)

#### C1 电缆油去气机

电缆油去气机是供除去电缆油中的气体及向电缆终端注油用。其主要部分由储油罐、齿轮油泵、去气缸、真空泵、真空阀门和不锈钢管等组装而成，如图 C1 所示。

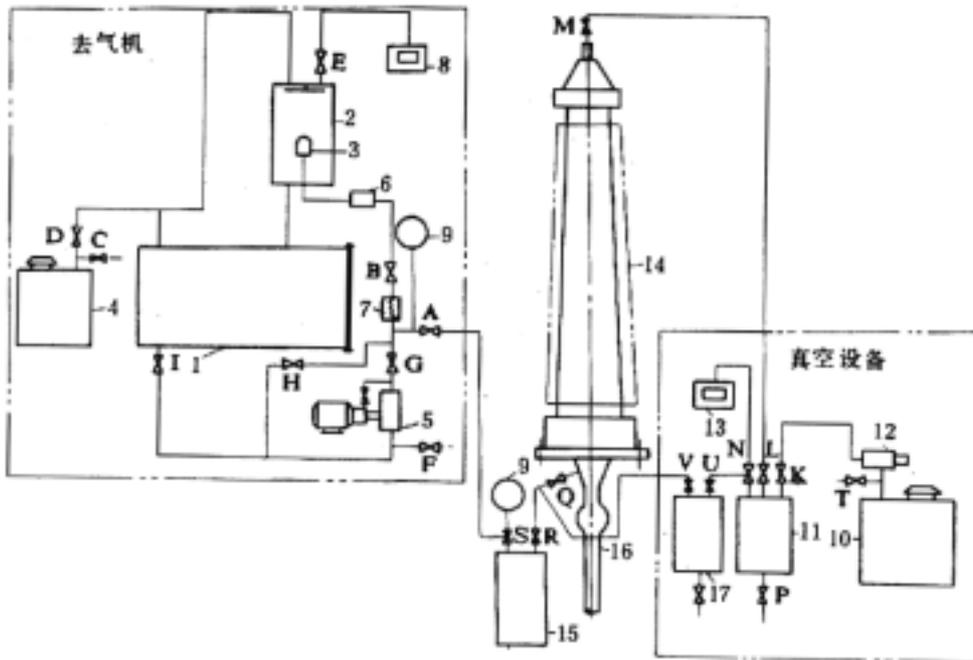


图 C1 电缆终端(接头)去气及充油系统图

- 1—储油罐；2—去气缸；3—喷油器；4、10—真空泵；5—齿轮油泵；  
 6—过滤器；7—加热器；8、13—麦氏真空计；9—压力真空表；  
 11、17—溢油缸；12—电磁阀；14—终端；15—压力箱；16—电缆；  
 A、B、C、...、V — 真空阀

$\frac{3}{4}$

C1.1 储油罐为密闭的容器，当充油至罐的 $\frac{3}{4}$ 容积时，去气效果较好，而该油量一般需满足两个 220kV 终端头的需要量(约 200L)或一个 330kV 终端头的需油量(约 220L)。

C1.2 去气缸由有机玻璃圆筒。上下端盖、铝挡板组成。挡油板距上端盖 15mm，与玻璃筒壁间距 5mm。

C1.3 真空泵的抽气率为 15L/min，真空精度为 0.13Pa，可连续运行。过滤器可采用 80 × 100mm 的筒体，内装 2000 目/cm<sup>2</sup>的铜丝网 6~9 层。

C1.4 去气机各部件之间采用不锈钢管连接，为避免运行过程中的振动，在去气缸和储油罐之间可采用尼龙管或厚壁塑料管连接。采用旋转式麦式真空计以测量真空系统中的真空度，其极限真空度可达 0.133Pa。

## C2 真空设备

真空设备用以排除电缆终端和电缆内的气体与水分。它由抽气率为 30L/min、真空精度为 0.13Pa 的真空泵与溢油缸组成，如图 C1 所示。

## C3 去气机操作工艺

### C3.1 储油罐进油操作

#### C3.1.1 真空进油操作程序如下：

a. 图 C1 各阀门均在关闭状态，拆除阀 A、S 之间的管路，在阀 A 上接管子，另一端插入已试验合格的油桶内；

- b.开启阀 C、启动真空泵 4，待运行正常后关闭阀 C，开阀 B、D 继续运行；
- c.用麦氏真空表 8 测量真空度，待真空度达到 1.33 ~ 0.67Pa 后，开启阀 A 抽油；
- d.插入油桶内的油管应随着油面下降逐步插入，不应插到桶底，以免将沉淀物和水份吸入。当油桶内的油面离底 100 ~ 150mm 时，应即关阀 A，另换桶抽油；

e.观察贮油罐 1 的油位达  $\frac{3}{4}$  高度时，关闭阀 A；

f.停车时先关阀 D，开启阀 C，再停真空泵 4，经 3min 左右关阀 C。操作顺序不得颠倒。

C3.1.2 压力抽油操作程序如下：

- a.图 C1 各阀门均在关闭状态，在阀 F 上接上管子，另一端插入已试验合格的油桶内；
- b.开阀 G、B，启动油泵 5，再开阀 F 抽油；
- c.当油罐的油量达到要求时即关阀 F 停运油泵 5；
- d.关阀 G、B。

C3.2 电缆油去气操作程序如下：

- a.图 C1 各阀门均在关闭状态，开阀 C 启动真空泵 4，待运行正常后关闭阀 C，开阀 D；
- b.开阀 G，启动油泵 5，并开阀 B、I，观察去气缸 2 内的喷油状态，若喷油量太大排水量太小，油雾易被抽到真空泵内，破坏真空系统，损坏设备；若喷油最太小，油循环效率低。可用阀 I、G 调节喷油量；

c.投入加热器 7，油温不可高于 70 ；

d.在真空度为 1.33 ~ 2Pa 下循环去气 5 ~ 6h，取油样试验，合格时等待使用；

e.停止油泵运行，关阀 G 和阀 B，再关阀 D、开阀 C，然后停真空泵 4，约 3min 后关阀 C。

C4 电缆终端(接头)的真空浸渍工艺

真空浸渍操作程序如下：

a.图 C1 各阀门均在关闭状态，接好电缆终端、真空设备、去气机、压力箱之间的管路。在接阀门 A 与 S 之间的管路时，应在有油流出的情况下接上，保证管路内不存在气体；

b.开阀 T，启动真空泵 10；

c.关阀 T，开阀 K，运行一段时间后测量真空度，其值不应低于 1.33Pa；

d.开阀 L、M、Q、N、U、V，使电缆终端及溢油缸 17 同时抽真空，并使电缆本体及终端纸卷内的油自尾管流入溢油缸 17，待油基本流完后，开阀 R，使压力箱的油注入瓷套和尾管，进行冲洗，并排至溢油缸 17，冲洗约 5 ~ 6L 油后关阀 R；

e.对电缆终端的上、下端同时抽真空，保持真空度为 2Pa 连续运行 6 ~ 8h；

f.使去气机在循环去气状态，当终端(接头)的去气达到 7.2.3 条要求时，关阀 V，开阀 A、S、R，关阀 B，通过压力箱向电缆终端充油；

g.当油充满电缆终端后并从溢油缸 11 溢出 7 ~ 8L 油时，停运真空泵 10。关阀 L、M，继续充油，待压力箱的油压满足要求时，关阀 A，开阀 B，停运去气机；

h.去除临时管路，在出线杆顶端装上密封帽；

i.静置 72h 后，取终端内的油样作试验，若不合格应在真空状态下放出终端内的油，再进行真空浸渍处理至合格为止；

j.电缆终端去气时，真空泵的电源应可靠，去气过程中不得破坏真空。

附录 D  
油流试验及浸渍系数试验  
(参考件)

D1 油流试验

D1.1 油流试验应在电缆竣工后每一相上进行。

D1.2 试验方法：

a.按图 D1 连接好管路和设备，将辅助压力箱的油压调到使电缆最高点的压力为 0.05 ~ 0.1MPa；

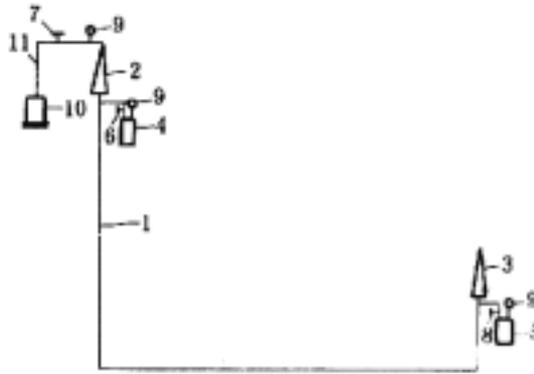


图 D1 油流试验布置图

1—电缆；2—上终端；3—下终端；4—工作压力箱；5—辅助压力箱；  
6、7、8—阀门；9—压力表；10—量筒；11—溢油管

b.关闭工作压力箱上的阀门 6，打开辅助压力箱上的阀门 8；

c.电缆承受压力 1h 后将溢油管上的阀门 7 打开；

d.溢油管喷流稳定后，在量筒中注入 0.001m<sup>3</sup> 油，并记录溢油管开始溢流入量筒及结束溢流所经过的时间和辅助压力箱的压力；

e.按下式计算出单位时间流入量筒的油的体积

$$Q' = \frac{0.001}{t}, \text{m}^3/\text{s}$$

式中  $t$ ——流出 0.001m<sup>3</sup> 油的时间，s。

f.按理论公式计算单位时间应流出油的体积

$$Q = 0.394 \frac{(10.2P - h\gamma)r^4}{\eta l}, \text{m}^3/\text{s}$$

式中  $P$ ——油溢流入量筒期间，辅助压力箱的平均过剩压力，MPa；

$h$ ——被试电缆上端与下端之间的位差，m；

$\gamma$ ——油的密度，10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>；

$r$ ——油道半径，m；

$l$ ——油道长度，m；

——在试验温度下，油的粘度，Pa·s。

### D1.3 试验参考值：

单位时间实际流出油的体积  $Q$ ，应不小于按理论公式计算  $Q$  的 80%。

### D2 浸渍系数试验

D2.1 浸渍系数试验应在电缆竣工后每一相上进行。

#### D2.2 试验方法：

a.按图 D2 连接好管路和设备，将辅助压力箱的压力调到 0.05 ~ 0.1MPa；

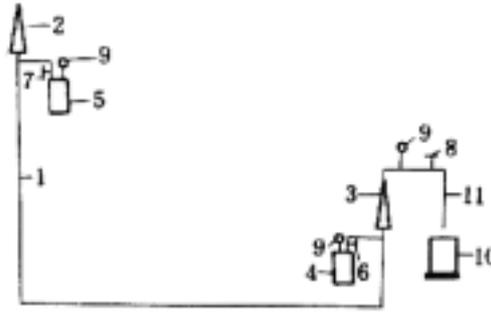


图 D2 浸渍系数试验布置图

1—电缆；2—上终端；3—下终端；4—工作压力箱；5—辅助压力箱；

6、7、8—阀门；9—压力表；10—量筒；11—溢油管

b.关闭工作压力箱上的阀门 6，打开辅助压力箱上的阀门 7；

c.在试验压力下 1h 后将辅助压力箱上的阀门 7 关闭，打开溢油管阀门 8，使油放入量筒中，记录开始放油前的油压；

d.放完油后将溢油管阀门 8 关闭并记录油放完后的油压；

e.按下列公式计算浸渍系数  $K$

$$K = \frac{\Delta V}{\Delta PV}$$

式中  $V$ ——被试电缆流入量筒中油的体积， $m^3$ ；

$V$ ——被试电缆中含有油的体积， $m^3$ ；

$P$ ——在油流出开始前及结束后，压力之差，MPa。

#### D2.3 试验参考值：

浸渍系数  $K$  应不大于  $60 \times 10^{-4}$ 。

附加说明：

本标准由原水利电力部水利水电建设总局提出。

本标准由能源部电力电缆标准化技术委员会和水利部地质勘探机电研究所归口。  
能源部

本标准由水利部地质勘探机电研究所负责起草。  
能源部

主要起草人李宗廷、刘进国、王佩龙、桑纪明、杨积珍、李香合赫。