

对应的旧标准:DL/T 401-91

ICS 27.100

F20

## 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 401—2002

### 高压电缆选用导则

Guide to the selection of high-voltage cables

2002-04-27发布

2002-09-01实施

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

#### 前 言

本标准是非等效采用国际电工委员会IEC 183: 1984《高压电缆选用导则》，对原电力工业部1991年3月颁发的DL 401—1991《高压电缆选用导则》进行修订。

本标准较修订之前版本的有如下技术内容的改变。

1.根据我国电力系统设备的绝缘配合要求，本标准的表1按GB 311.1—1997对系统标准电压( $U_N$ )和设备最高电压( $U_m$ )作了规定，而电缆额定电压( $U_0$ )则原则上按相关的电缆现行国家标准规定。对于66kV电缆，由于尚无该产品的国家标准， $U_0$ 则按采用此电压等级的东北地区的规定。对于220kV及330kV电缆， $U_0$ 按IEC 60141—1(1993)第1号修改单(1995)的规定，以符合国内系统的实际情况。

2.根据IEC标准对330kV及以上电力电缆仍应进行操作冲击电压试验。

3.删去原第7章。

4.原附录A(参考件)删去。

5.对原附录B高压单芯电缆护套绝缘保护方案(参考件)作了删减，并改为附录A(提示的附录)。

本标准的附录A是提示的附录。

本标准自实施之日起代替DL 401—1991。

本标准由电力行业电力电缆标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：武汉大学、广东省电力设计院。

本标准起草人：江日洪 唐麓基 何三珠。

#### 目 次

前言

1 范围

2 引用标准

3 电缆和附件的额定电压

- 4 使用条件
- 5 电缆绝缘水平选择
- 6 电缆绝缘种类、导体截面和结构的选择
- 7 电缆终端的选择
- 附录A (提示的附录) 单芯电缆外护套过电压保护方案

## 中华人民共和国电力行业标准

**DL/T 401—2002**  
**neq IEC 183: 1984**  
代替 DL401—1991

# 高压电缆选用导则

## Guide to the selection of high-voltage cables

中华人民共和国国家经济贸易委员会 2002-04-27 批准2002-09-01实施

## 1 范围

本标准适用于交流50Hz、额定电压1kV以上三相交流系统的各种类型电力电缆及其终端。本标准就电缆及其附件的使用条件、绝缘水平、结构型式、导体截面的选择提供指导。此外，也概要地提供了为选择合适的电缆及其终端所必需的一些资料。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 2952—1989 电缆外护层

GB/T 3956—1997 电缆的导体

GB 9326—1988 交流330kV及以下油纸绝缘自容式充油电缆及附件

GB 11017—1989 额定电压110kV铜芯铝芯交联聚乙烯绝缘电力电缆

GB 12706—1991 额定电压35kV及以下铜芯铝芯塑料绝缘电力电缆

JB 7829—1995 额定电压26/35kV及以下电力电缆户内型户外型热收缩终端

JB/T 8503.1—1996 额定电压26/35kV及以下塑料绝缘电力电缆户内型、户外型预制件装配式终端

IEC 60840—1999 额定电压30kV( $U_m=36kV$ )以上至150kV( $U_m=170kV$ )挤包绝缘电缆及其附件——试验方法和要求

IEE std 48—1996 2.5kV~765kV交流电缆终端的试验方法和要求

## 3 电缆和附件的额定电压

**3.1** 在本标准中以 $U_0$ 、 $U$ 表示电缆和附件的额定电压，以 $U_m$ 表示电缆运行最高电压；以 $U_{p1}$ 和 $U_{p2}$ 分别表示其雷电冲击和操作冲击绝缘水平。这些符号的意义如下：

$U_0$ ——设计时采用的电缆和附件的每一导体与屏蔽层或金属套之间的额定工频电压；

$U$ ——设计时采用的电缆和附件的任何两个导体之间的额定工频电压；



$U_m$ ——设计时采用的电缆和附件的任何两个导体之间的运行最高电压，但不包括由于事故和突然甩负荷所造成的暂态电压升高；

注： $U$ 值仅在设计非径向电场的电缆和附件时才有用。

$U_{p1}$ ——设计时采用的电缆和附件的每一导体与屏蔽层或金属套之间的雷电冲击耐受电压之峰值；

$U_{p2}$ ——设计时采用的电缆和附件的每一导体与屏蔽层或金属套之间的操作冲击耐受电压之峰值。

3.2 电缆的额定电压值 $U_0/U$ 和 $U_m$ 的关系列于表1。

表 1 电缆的额定电压值 $U_0/U$ 和 $U_m$ 的关系kV

序 号	$U_0/U$	$U_m$
1	1.8/3, 3/3	3.5
2	3.6/6, 6/6	6.9
3	6/10, 8.7/10	11.5
4	8.7/15, 12/15	17.5
5	12/20, 18/20	23.0
6	21/35, 26/35	40.5
7	50/66	72.5
8	64/110	126
9	127/220	252
10	190/330	363
11	290/500	550

4 使用条件

为了确定所选用电缆是否适用，需要以下使用条件方面的资料，并应参阅讨论其中大部分使用条件的有关IEC标准。

4.1 运行条件

- a) 系统额定电压。
- b) 三相系统的最高电压。
- c) 雷电过电压。
- d) 系统频率。
- e) 系统的接地方式以及当中性点非有效接地系统(包括中性点不接地和经消弧线圈接地)单相接地故障时的最长允许持续时间和每年总的故障时间。
- f) 如选用电缆终端时应给出环境条件：
  - 电缆终端安装地点海拔超过1000m时的海拔高度；
  - 户内或户外安装；
  - 预计是否有严重的大气污染；
  - 电缆与变压器、断路器、电动机等设备连接时所采用的绝缘和设计的安全净距。例如应规定安全净距离和周围的绝缘。
- g) 最大额定电流：
  - 1) 持续运行最大额定电流；
  - 2) 周期运行最大额定电流；
  - 3) 事故紧急运行或过负荷运行时最大额定电流。

注：确定导体规格时为考虑周期负荷则必须要有负荷曲线。

- h) 相间或相对地短路时预期流过的对称和不对称的短路电流。
- i) 短路电流最大持续时间。
- j) 电缆线路压降。

## 4.2 安装资料

### 4.2.1 一般资料

- a) 电缆线路的长度和纵断面图。
- b) 电缆敷设的排列方式和金属套互联与接地方式。
- c) 特殊敷设条件(如敷设在水中), 个别线路需要特殊考虑的问题。

### 4.2.2 地下敷设

- a) 安装条件的详细情况(如直埋、排管敷设等), 用以确定金属套的组成、铠装(如需要时)的型式和外护套的型式, 如防腐、阻燃或防白蚁。
- b) 埋设深度。
- c) 沿电缆线路的土壤种类(即沙土、黏土、填土)及其热阻系数, 且需说明上述资料是实测还是假设值。
- d) 在埋设深度上土壤的最高、最低和平均温度。
- e) 附近带负荷的其他电缆或其他热源的详情。
- f) 电缆沟、排管或管线的长度, 若有工井则包括工井之间的距离。
- g) 排管或管道的数量、内径和构成材料。
- h) 排管或管道之间的距离。

### 4.2.3 空气中敷设

- a) 最高、最低和平均环境空气温度。
- b) 敷设方式(即直接敷设在墙上、支架上等; 单根或成组电缆; 隧道、排管的尺寸等)。
- c) 敷设于户内、隧道或排管中的电缆的通风情况。
- d) 阳光是否直接照射在电缆上。
- e) 特殊条件, 如火灾危险。

## 5 电缆绝缘水平选择

### 5.1 电力系统种类

A类: 接地故障能尽可能快地被清除, 但在任何情况下不超过1min的电力系统。

B类: 该类仅指在单相接地故障情况下能短时运行的系统。一般情况下, 带故障运行时间不超过1h。但是, 如果有关电缆产品标准有规定时, 则允许运行更长时间。

注: 应该认识到在接地故障不能被自动和迅速切除的电力系统中, 在接地故障时, 在电缆绝缘上过高的电场强度使电缆寿命有一定程度的缩短。如果预期电力系统经常会出现持久的接电故障, 也许将该系统归为下述的C类是经济的。

C类: 该类包括不属于A类或B类的所有系统。

为了使本标准的推荐能适用于各种型式电缆, 还应参照有关电缆产品标准, 如GB11017、GB12706和GB12976。

### 5.2 $U$ 的选择

$U$ 值应按等于或大于电缆所在系统的额定电压选择。

### 5.3 $U_m$ 的选择

$U_m$ 值应按等于或大于电缆所在系统的最高工作电压选择。

### 5.4 $U_{pl}$ 的选择

根据线路的冲击绝缘水平、避雷器的保护特性、架空线路和电缆线路的波阻抗、电缆的长度以及雷击点离电缆终端的距离等因素通过计算后确定, 但不应低于表2的规定值。



表2 电缆的雷电冲击耐受电压kV

$U_0 / U$	1.8 / 3	3.6 / 6	6 / 10	8.7 / 10, 8.7 / 15	12 / 20	18 / 20	24 / 30
$U_{pl}$	40	60	75	95	125	170	220
$U_0 / U$	26 / 35	50 / 66	64 / 110	127 / 220	190 / 330	290 / 500	
$U_{pl}$	250	450	550	1050	1175	1550	

5.5  $U_{p2}$ 的选择

对于330kV和550kV超高压电缆应考虑操作冲击绝缘水平， $U_{p2}$ 应与同电压级设备的操作冲击耐受电压相适应，表3列出电缆操作冲击耐受电压值。

表3 电缆的操作冲击耐受电压kV

$U_0 / U$	190 / 330	290 / 500
$U_{p2}$	950	1175

5.6 外护套绝缘水平选择

对于采用金属套一端互联接地或三相金属套交叉互联接地的高压单芯电缆，当电缆线路所在系统发生短路故障或遭受雷电冲击和操作冲击电压作用时，在金属套的不接地端或交叉互联处会出现过电压，可能会使外护套绝缘发生击穿。为此需要装设过电压限制器，此时作用在外护套上的电压主要取决于过电压限制器的残压。外护套的雷电冲击耐受电压按表4选择。必要时可参照本标准附录A(提示的附录)进行验算。

表4 电缆外护套雷电冲击耐受电压值kV

电缆主绝缘雷电冲击耐受电压	雷电冲击耐受电压	电缆主绝缘雷电冲击耐受电压	雷电冲击耐受电压
380~750	37.5	1175~1425	62.5
1050	47.5	1550	72.5

6 电缆绝缘种类、导体截面和结构的选择

6.1 绝缘种类选择

6.1.1 油纸绝缘电缆具有优良的电气性能，使用历史悠久，一般场合下仍可选用。如电缆线路落差较大时，可选用不滴流电缆。

6.1.2 聚氯乙烯绝缘电缆的工作温度低，特别是允许短路温度低，因此载流量小，不经济，稍有过载或短路则绝缘易变形。故对1kV以上的电压等级不应选用聚氯乙烯绝缘电缆。

6.1.3 乙丙橡胶绝缘(EPR)电缆的柔软性好，耐水，不会产生水树枝，耐γ射线，阻燃性好，低烟无卤。但其价格昂贵，故在水底敷设和在核电站中使用时可考虑选用。

6.1.4 交联聚乙烯(XLPE)电缆具有优良的电气性能和机械性能，施工方便，是目前最主要的电缆品种，可推荐优先选用。对绝缘较厚的电力电缆，不宜选用辐照交联而应选用化学交联生产的交联电缆。为了尽可能减小绝缘偏心的程度，对110kV及以上电压等级，一般宜选用在立塔(VCV)生产线或长承模生产线(MDCV)上生产的交联电缆。

6.1.5 充油电缆的制造和运行经验丰富，电气性能优良，可靠性也高，但需要供油系统，有时需要塞止接头。对于220kV及以上电压等级，经与交联电缆作技术经济比较后认为合适时仍可选用充油电缆。

6.2 导体截面选择

导体截面应从有关的电缆产品标准中列出的标称截面中选取。如果所选的某种型式的电缆没有产品标



准, 则导体截面应从GB / T 3956中第2种导体的标称截面中选取。在选择导体截面时应考虑下列因素:

a) 规定的连续负荷、周期负荷、事故紧急负荷以及短路电流情况下电缆导体的最高温度。

注: 在IEC 60287《电缆持续载流量(负荷因数100%)的计算》中提供了持续载流量的详细计算方法。

b) 在电缆敷设安装和运行过程中受到的机械负荷。

c) 缘中的电场强度。采用小截面电缆时由于导体直径小导致绝缘中产生不允许的高电场强度。

### 6.3 金属屏蔽层截面的选择

**6.3.1** 对于无金属套的挤包绝缘的金属屏蔽层, 当导体截面为 $240\text{mm}^2$ 及以下时可选用铜带屏蔽, 但当导体截面大于 $240\text{mm}^2$ 时宜选用铜丝屏蔽。金属屏蔽的截面应满足在单相接地故障或不同地点两相同时发生故障时短路容量的要求。

**6.3.2** 对于有径向防水要求的电缆应采用铅套, 皱纹铝套或皱纹不锈钢套作为径向防水层。其截面应满足单相或三相短路故障时短路容量的要求。如所选电缆的金属套不能满足要求时, 应要求制造厂采取增加金属套厚度或在金属套下增加疏绕铜丝的措施。

### 6.4 交联电缆径向防水层的选择

对于35kV及以下交联聚乙烯电缆一般不要求有径向防水层。但110kV及以上的交流电缆应具有径向防水层。敷设在干燥场合时可选用综合防水层作为径向防水层; 敷设在潮湿场合、地下或水底时应选用金属套径向防水层。

### 6.5 外护套材料的选择

在一般情况下可按正常运行时导体最高工作温度选择外护套材料, 当导体最高工作温度为 $80^{\circ}\text{C}$ 时可选用PVC-SI(ST1)型聚氯乙烯外护套。导体最高工作温度为 $90^{\circ}\text{C}$ , 应选用PVC-S2(ST2)聚氯乙烯或PE-S7(ST7)聚乙烯外护套。在特殊环境下如有需要可选用对人体和环境无害的防白蚁、鼠啮和真菌侵蚀的特种外护套。电缆敷设在有火灾危险场所时应选用防火阻燃外护套。

### 6.6 电缆的使用环境

为了正确选择电缆的金属套和外护套, 除上述6.4和6.5外, 还要考虑电缆的使用环境。电缆的使用环境主要由金属套和外护套的性能决定, 因此一般应符合GB2952.2—1989中表1的规定。

**6.6.1** 铅套和铝套电缆除适用于一般场所外, 特别适用于下列场合:

——铅套电缆。腐蚀较严重但无硝酸、醋酸、有机质(如泥煤)及强碱性腐蚀质, 且受机械力(拉力、压力、振动等)不大的场所。

——铝套电缆。腐蚀不严重和要求承受一定机械力的场所(如直接与变压器连接、敷设在桥梁上、桥墩附近和竖井中等)。

——不锈钢套电缆。腐蚀较严重或要求承受机械力的能力比铝套更强的场所。

**6.6.2** 外护套适用的场所如下:

——02型(PVC-S1和PVC-S2型聚氯乙烯)外护套主要适用于有一般防火要求和对外护套有一定绝缘要求的电缆线路。

——03型(PE-S7型聚乙烯)外护套主要适用于对外护套绝缘要求较高直埋敷设的电缆线路。

## 7 电缆终端的选择

电缆终端的设计取决于所要求的工频和冲击耐受电压值(可能与电缆所要求的值不同)、大气污染程度和电缆终端所处位置的海拔高度。

### 7.1 工频和冲击耐受电压水平

终端的工频和冲击耐受电压水平应在考虑第5章、7.2和7.3后确定。

### 7.2 大气污染

由大气污染程度确定电缆终端所用套管的型式和最小爬距。

### 7.3 海拔高度

高海拔处的空气密度比海平面处的低, 因此降低了空气的介电强度, 从而适合于海平面处的空气净距在较高海拔处有可能会不够。电缆终端的击穿强度和内绝缘与油界面间的闪络放电值则不受海拔高度的影



响。在标准大气条件下能符合冲击耐受电压试验要求的终端均可在不高于1000m的任何海拔高度使用。为了确保在更高海拔处符合使用要求，应适当增加在正常条件下规定的空气净距。

7.4 终端型式和性能要求

对于额定电压26 / 35kV及以下交联电缆终端推荐选用热收缩式和预制件装配式，可在技术经济比较后选用。为了选择全性能符合使用要求的电缆终端，这两种终端的性能除了应符合GB11033规定外，还必须分别符合各自的产品标准JB 7829和JB / T 85031的规定。

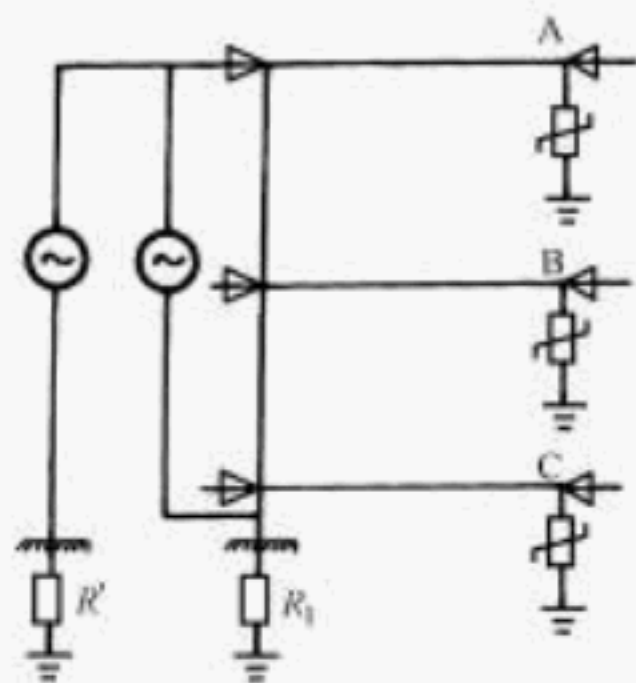
对于64 / 110kV及以上的电 缆终端目前尚无国家标准和行业标准，其性能可参见IEC 60840和美国IEEE std 48，并根据具体情况加以选定。

附录A(提示的附录)

单芯电缆外护套过电压保护方案

A1 电缆金属套一端互联接地，另一端接电压限制器(方案一)

如图A1所示，外护套所受电压计算公式见表A1。



图A1 电缆金属套一端  
互联接线

表A1 电缆金属套一端互联接地时外护套所受电压

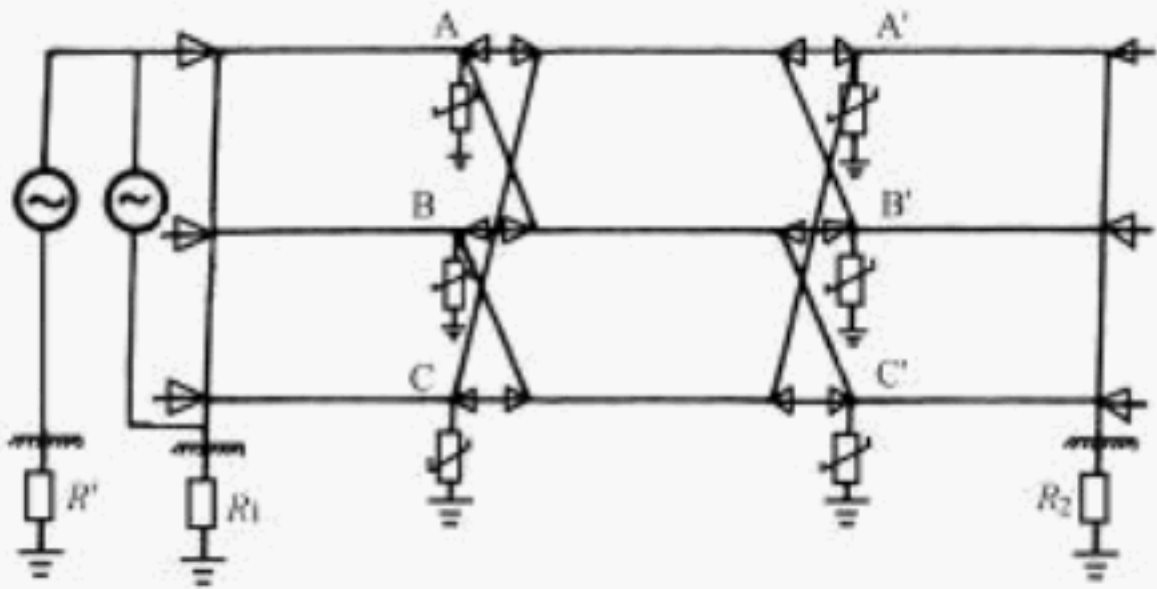
流经限制器的冲击电流	限制器所受工频电压	外护套所受电压		短路方式		计 算 公 式
		工频	冲击			
$\frac{2U_{1m}}{Z_1+Z_2}$	$U_A$	$U_A$	$KU_A$	三相短路		$\dot{U}_A = -\dot{I}\left[-\frac{1}{2}(X_s+Z_{00}-2Z_{01})+j\frac{3}{2}(X_sZ_{00})\right]$
				A、C两相短路		$\dot{U}_A = -\dot{I}(X_s-Z_{00})$
				A相 接地	电缆头地网内短路	$\dot{U}_A = -\left(\dot{I}X_s+\dot{I}_2R_1\right)$
					地网外短路	
注1：由于单相接地电流以大地为回路，所以金属套两端将感应很高的电压 $\dot{I}X_s$ 。						
注2：加在外护套和限制器上的电压除金属套两端的感应电压 $\dot{I}X_s$ 外，还要叠加地网电						

位  $\dot{I}_2 R_1$ 。当流经地网短路电流大时，后者可达极高数值。

注3：由于三相和两相短路时短路电流不以大地为回路，其感应电压很低，故外护套和电压限制器所受工频电压取决于单相接地故障。

A2 电缆金属套交叉互联，电压限制器Y<sub>0</sub>接线(方案二)

如图A2所示，外护套所受电压计算公式见表A2。



图A2 电缆金属套交叉互联，电压限制器Y<sub>0</sub>接线

表A2 电缆金属套交叉互联电压限制器Y<sub>0</sub>接线外护套所受电压

流经限制器的冲击电流	限制器所受工频电压	外护套所受电压		短路方式	计 算 公 式
		工频	冲击		
$\frac{2U_{\text{im}}}{Z_1+Z_2}$	$U_C$ 或 $U'_C$	$U_C$ 或 $U'_C$	$KU_C$ 或 $KU'_C$	三相短路	$\dot{U}_C = -\dot{I} \left[ -\frac{1}{2}(X_s + Z_{00} - 2Z_{01}) + j\frac{\sqrt{3}}{2}(X_s - Z_{00}) \right]$
				A、C两相短路	$\dot{U}_C = -\dot{I}(X_s - Z_{00})$
				A相 接地	$\dot{U}_C = -\dot{I}Z_{00} + \frac{1}{Z_s + R_2 + R_1} \left[ (X_s + R_2) \times (R_1 + \frac{Z_s}{3}) \dot{I} - R_1(R_2 + \frac{2}{3}Z_s) \dot{I}_2 \right]$ $\dot{U}'_C = IZ_{00} + \left[ R_2 - \frac{(X_s + R_2)(R_2 + \frac{Z_s}{3})}{Z_s + R_2 + R_1} \right] \dot{I}$ $= \frac{-R_1(R_2 + \frac{2}{3}Z_s)}{Z_s + R_2 + R_1} \times \dot{I}_2$
				地网外短路	$\dot{U}_C = -\dot{I}Z_{00} + \frac{1}{Z_s + R_2 + R_1} \left[ X_s \times (R_1 + \frac{Z_s}{3}) \dot{I} - R_1(R_2 + \frac{2}{3}Z_s) \dot{I}_2 \right]$ $\dot{U}'_C = -\dot{I}Z_{00} - \frac{\dot{I}X_s + \dot{I}_2R_1}{Z_s + R_2 + R_1} (R_2 + \frac{Z_s}{3})$



注1: 由于金属套两端压降和地网压降部分抵消, 因此A相接地时, C相外护套和电压限制器所受工频电压要比A相高。

注2: 单相接地时, 外护套和电压限制器所受工频电压和接地电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 以及流经接地电阻的电流有关, 当电流很大时, 工频电压可达很高数值, 一般出现在单电源网外接地

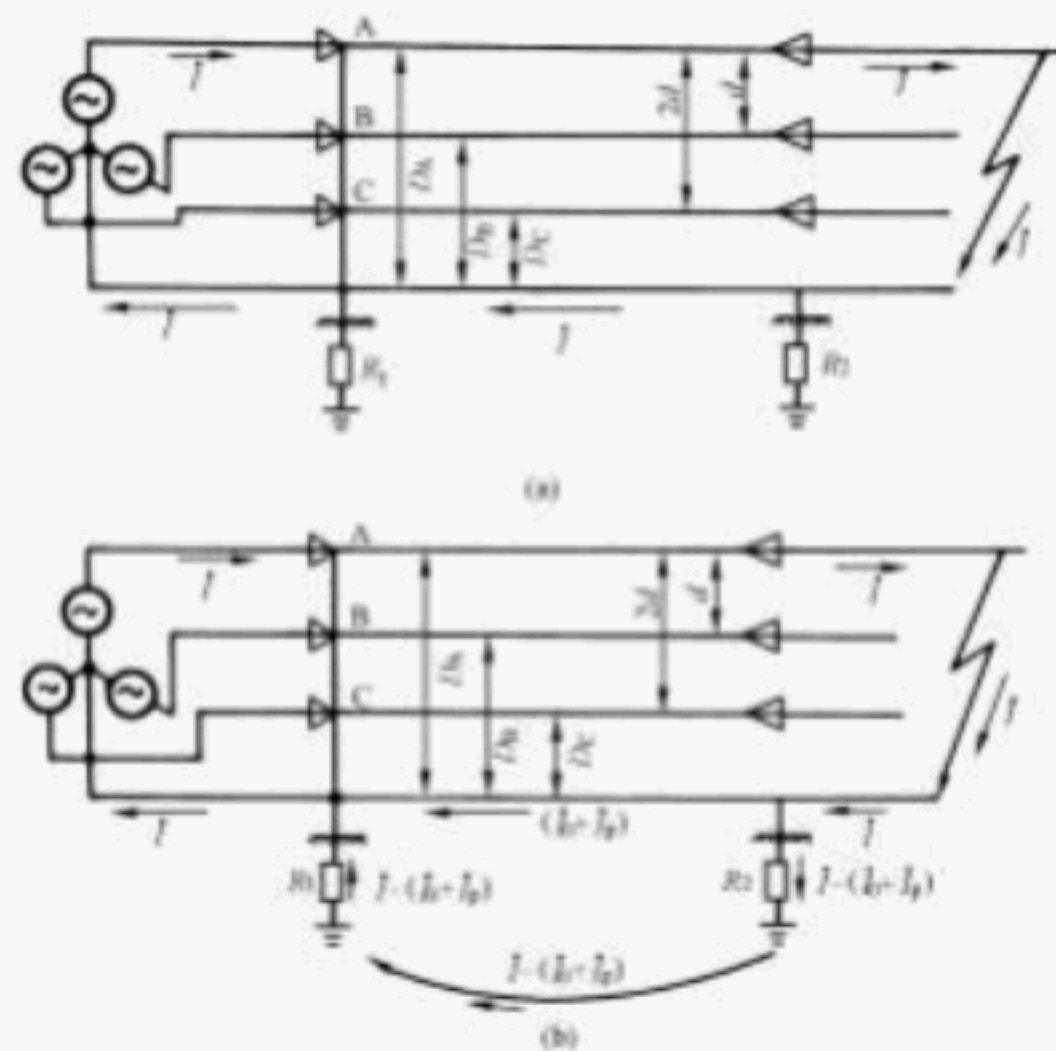
和多电源网内接地的情况, 且首端( $\dot{U}'_c$ )和末端( $\dot{U}_c$ )的电压不相等。

注3: 网内单电源时, 由于大部分电流将以金属套为回路, 外护套和电压限制器所受电压将大大降低, 此时应以两相接地故障校验。

### A3 电缆金属套一端互联接地加回流线(方案三)

#### A3.1 接地电流以回流线为回路

如图A3所示, 金属套一端互联接地的电缆线路, 为了降低金属套电压, 通常在其旁边平行敷设一根回流线(两端接地)。当系统单相接地发生在回流线接地的地网中时, 接地电流的大部分通过回流线, 若忽略入地部分的接地电流, 此时电缆金属套相对于回流线的感应电压为



图A3 电缆金属套一端互联接地加回流线

(a)接地电流以回流线为回路; (b)部分接地电流以大地为回路

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{sA} &= (R_p + j2\omega \times 10^{-7} \ln \frac{D_A^2}{r_p r_s}) \dot{I} \\ \dot{U}_{sB} &= (R_p + j2\omega \times 10^{-7} \ln \frac{D_A D_B}{r_p d}) \dot{I} \\ \dot{U}_{sC} &= (R_p + j2\omega \times 10^{-7} \ln \frac{D_A D_C}{r_p 2d}) \dot{I} \end{aligned} \right\} \quad (A1)$$

#### A3.2 部分接地电流以大地为回路

各相电缆金属套对回流线的感应电压为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{sA} &= \dot{I} Z_{AA} - (\dot{I}_0 + \dot{I}_p) Z_{pA} \\ \dot{U}_{sB} &= \dot{I} Z_{BA} - (\dot{I}_0 + \dot{I}_p) Z_{pB} \\ \dot{U}_{sC} &= \dot{I} Z_{CA} - (\dot{I}_0 + \dot{I}_p) Z_{pC} \end{aligned} \right\} \quad (A2)$$

## A4 符号说明

$\dot{U}_{sA}$ 、 $\dot{U}_{sB}$ 、 $\dot{U}_{sC}$ ——分别为A、B、C相电缆金属套对回流线的电压, kV;

$\dot{I}$ ——总的短路电流, kA;

$\dot{I}_2$ ——本变电所供给的短路电流, kA;

$\dot{I}_0$ ——通过回流线直接回归的接地电流, kA;

$\dot{I}_p$ ——回流线上感应的电压所形成的以大地为回路的循环电流,

$$I_p = \frac{R_1 + R_2 + Z_{pA}}{R_1 + R_2 + Z_{pP}} I - I_0, \text{ kA};$$

$R_1$ 、 $R_2$ ——电缆金属套两端接地电阻,  $\Omega$ ;

$U_{im}$ ——沿线路传来的雷电波幅值, 等于线路的50%放电电压( $U_{50\%}$ );

$K$ ——残工比,  $K = \frac{\text{电压限制器10kA冲击电流下的残压(幅值)}}{\text{电压限制器2s工频耐压值(有效值)}}$ ;

$X_s$ ——电缆金属套的自感电抗,  $X_s = j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{r_s}, \Omega$ ;

$Z_{01}$ ——中相和边相金属的互感阻抗,  $Z_{01} = j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{d}, \Omega$ ;

$Z_{00}$ ——边相和边相金属套的互感阻抗,  $Z_{00} = j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{2d}, \Omega$ ;

$Z_a$ ——交叉互联的三相电缆金属套的等值阻抗,

$$Z_a = R_s + jX_a = R_s + j(x_s + Z_{01} + Z_{00}), \Omega;$$

$R_s$ ——电缆金属套电阻,  $\Omega$ ;

$Z_1$ ——电缆导体对金属套的波阻抗,  $Z_1 = \frac{1}{2\pi} \left( \ln \frac{r_s}{r_1} \right) \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, \Omega$ ;

$Z_1$ ——架空线路波阻抗,  $\Omega$ ;

$R_p$ ——回流线总电阻,  $\Omega$ ;

$Z_{AA}$ ——A相电缆金属套和发生接地故障的A相的导体之间以大地为回路的互感阻抗,

$$Z_{AA} = R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{r_s}, \Omega;$$

$Z_{BA}$ 、 $Z_{CA}$ ——分别为B、C相电缆金属套与接地的A相的导体之间以大地为回路的互感阻抗,

$$Z_{BA} = R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{d}, \quad Z_{CA} = R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{2d}, \Omega;$$

$Z_{pA}$ 、 $Z_{pB}$ 、 $Z_{pC}$ ——分别为回流线与A、B和C相金属套之间以大地为回路的互感阻抗,

$$Z_{pA} = R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{D_A}, \quad Z_{pB} = R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{D_B}, \quad Z_{pC} = R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{D_C}, \Omega;$$

$Z_{pp}$ ——回流线自感阻抗,  $Z_{pp} = R_p + R_g + j2 \times 10^{-7} \omega \ln \frac{D}{r_p}, \Omega$ ;



- $R_g$ ——大地电阻,  $R_g = R'_g l$ , 而  $R'_g = \pi^2 f \times 10^{-7}$ ,  $\Omega$ ;  
 $r_s$ ——电缆金属套半径, mm;  
 $r_1$ ——电缆导体半径, mm;  
 $r_p$ ——回流线等值半径, mm;  
 $l$ ——电缆护套的长度, m;  
 $d$ ——电缆间距离, m;  
 $D$ ——地中等值电流的深度,  $D = 660\sqrt{\rho/f}$  (当  $f=50\text{Hz}$  时,  $D = 94\sqrt{\rho}$ ), m;  
 $\rho$ ——土壤电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;  
 $D_A$ 、 $D_B$ 、 $D_C$ ——分别为回流线至A、B、C相电缆的间距, m;  
 $\mu$ ——电缆主绝缘的导磁系数, H/m;  
 $\varepsilon$ ——电缆主绝缘的介电系数, F/m。