

# 综合中同轴电缆原理



电信技术基础自学丛书

XIN JISHU JICHU ZIXUE CONGSHU

248

## 内 容 提 要

本书是在南京邮电学院综合中同轴电缆维护技术人员训练班讲义的基础上编写的，内容以四管综合中同轴电缆为典型，主要讲述综合中同轴电缆的结构、电气特性的基本理论知识。由于综合中同轴电缆中含有同轴管和高频四线组，本书也可作从事高频对称电缆施工和维护人员的参考。

## 综 合 中 同 轴 电 缆 原 理

南京邮电学院综合中同轴  
电缆维护技术人员训练班 编

•

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

•

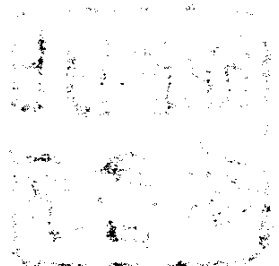
开本：787×1092 1/32 1977年2月 第 一 版

印张：54/32 页数 82 1977年2月河北第一次印刷

字数：119 千 字 印数：1 — 18,000 册

统一书号：15045·总2127—有545

定价：0.42 元



# 毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

---

## 前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国的社会主义通信事业正在迅速地向前发展。

为了落实伟大领袖毛主席“备战、备荒、为人民”的战略方针；为了保证党中央和毛主席的号令能迅速地传达到全国各地；为了适应我国社会主义建设飞速发展的需要，我们将在全国范围内建立一个以现代化通信工具为主的四通八达的通信网。为此，我院开办了综合中同轴电缆维护技术人员训练班，以适应通信发展的需要。

本书是在综合中同轴电缆维护技术人员训练班的讲义基础上编写的，内容以四管综合中同轴电缆为典型，主要讲述综合中同轴电缆中的同轴管和对称四线组的结构、电气特性、不均匀性和串音等方面的基本理论知识。

本书主要供从事长途电缆维护工作人员阅读，也可供从事设计、施工的人员参考。本书内容力求简练，避免复杂的数学推导，着重讲清物理概念。由于编者水平有限，不妥之处，请读者批评指正。

南京邮电学院综合中同轴电缆  
维护技术人员训练班

1975.8.

# 目 录

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 第一章 概述                | ( 1 )  |
| 第二章 综合中同轴电缆的结构        | ( 6 )  |
| 第一节 综合中同轴电缆的程式        | ( 6 )  |
| 第二节 同轴管的结构            | ( 7 )  |
| 第三节 四线组的结构            | ( 9 )  |
| 第四节 电缆的保护层            | ( 10 ) |
| 第五节 电缆的色谱和端别          | ( 12 ) |
| 第三章 综合中同轴电缆的电气参数和传输特性 | ( 14 ) |
| 第一节 对称回路的一次参数         | ( 14 ) |
| 第二节 同轴回路的传输特点         | ( 28 ) |
| 第三节 同轴回路的一次参数         | ( 33 ) |
| 第四节 均匀线的传输方程式         | ( 39 ) |
| 第五节 对称回路的二次参数         | ( 44 ) |
| 第六节 同轴回路的二次参数         | ( 55 ) |
| 第七节 输入阻抗              | ( 62 ) |
| 第四章 同轴电缆的不均匀性         | ( 70 ) |
| 第一节 产生不均匀的原因          | ( 70 ) |
| 第二节 不均匀性对传输质量的影响      | ( 72 ) |

|            |                          |                |
|------------|--------------------------|----------------|
| 第三节        | 不均匀性的衡量·····             | ( 73 )         |
| 第四节        | 减小不均匀性的措施·····           | ( 75 )         |
| <b>第五章</b> | <b>对称电缆回路间的串音·····</b>   | <b>( 78 )</b>  |
| 第一节        | 串音产生的原因·····             | ( 78 )         |
| 第二节        | 电磁耦合系数·····              | ( 80 )         |
| 第三节        | 串音衰耗和串音防卫度·····          | ( 82 )         |
| 第四节        | 串音的计算·····               | ( 86 )         |
| 第五节        | 耦合导纳的频率特性·····           | ( 92 )         |
| 第六节        | 高频对称电缆回路间减小串音的措施·····    | ( 99 )         |
| <b>第六章</b> | <b>同轴电缆回路间的串音·····</b>   | <b>( 132 )</b> |
| 第一节        | 同轴回路间干扰的概念·····          | ( 132 )        |
| 第二节        | 耦合阻抗·····                | ( 134 )        |
| 第三节        | 串音的计算·····               | ( 136 )        |
| 第四节        | 串音衰耗与线路长度及频率的关系·····     | ( 138 )        |
| 第五节        | 串音衰耗的标准·····             | ( 141 )        |
| <b>附录一</b> | <b>和线路传输有关的数学公式·····</b> | <b>( 146 )</b> |
| <b>附录二</b> | <b>双曲线函数及三角函数表·····</b>  | <b>( 153 )</b> |

# 第一章 概 述

在这本书中，我们将以四管综合中同轴电缆为典型，叙述同轴管和对称四线组的结构、特性和原理。

长途线路一般分为架空明线线路与电缆线路两种类型，电缆线路与明线线路比较，其主要优点是：

一、通信稳定、安全可靠——由于电缆外面有金属外皮和铠装护层，并且可以埋设在地下，受外界损伤和气候变化的影响及电气干扰等影响都比较小，所以电气性能比较稳定，不容易发生故障。

二、通信容量大——电缆能容纳较多的线对，且复用频率较高，与架空明线比较在一条线路上可以开通更多的电路。一般说来，架空明线最高传输频率为150千赫—12路载波，而对称电缆可复用到252千赫—60路载波、552千赫—120路载波，甚至800千赫—180路载波。本书所介绍的中同轴电缆则可复用到9兆赫—1800路载波，还可以组成更多的电路。

三、电缆线路可以敷设于地下、水底，使用年限长，维护费用较明线节省。

现将几种线路复用频率的一般情况，列表比较如表1.1。

对称电缆与同轴电缆比较，对称电缆所能传输的频率的范围要窄得多。这是因为频率越高，对称电缆线对间的相互串扰也愈严重，而同轴管之间的相互干扰，却与此相反，频率越高干扰愈轻。所以在高频多路通信中，同轴电缆要比对称电缆优越。在施工方面，对称电缆的平衡工作比较麻烦费时，但分支

表 1.1 各种类型通信线路复用频率、通路数及增音段长度

| 线 路 类 型   | 通 路 数      | 频 谱 范 围(千赫) | 增 音 段 长 度(公 里) |
|-----------|------------|-------------|----------------|
| 架 空 明 线   | 1 + 3      | 0.3~27      | 300            |
| 架 空 明 线   | 1 + 3 + 12 | 0.3~150     | 80~120         |
| 对 称 电 缆   | 24         | 12~108      | 35             |
| 对 称 电 缆   | 60         | 12~252      | 12~18          |
| 小 同 轴 电 缆 | 300        | 60~1300     | 8              |
| 小 同 轴 电 缆 | 960        | 60~4100     | 4              |
| 中 同 轴 电 缆 | 1800       | 300~9000    | 6              |
| 中 同 轴 电 缆 | 2700       | 300~12000   | 4.5            |
| 中 同 轴 电 缆 | 10800      | 300~60000   | 1.5            |

容易，灵活性大。同轴电缆不需要平衡，但它分支不易。因此，对称电缆适宜用在电路容量较小、分支较多的城市之间的线路上；而同轴电缆适用于电路容量大，分支较少的大城市之间的主干线路上。

大城市之间以同轴电缆作为通信线路，可以提供大量的电路和传送电视，以满足革命和生产的需要。但在一条干线通过的路由上，还有许多小城市，这些小城市相互间所需要的通话电路比起大城市来要少得多，为了节约投资，有必要在同轴电缆中也包括一些对称四线组，作为小城市之间通信以及通信部门的业务联络通信用。这种既有同轴管又有对称四线组的电缆叫做综合电缆。

同轴电缆按其同轴管的尺寸一般分为大同轴、中同轴和小同轴三种。在一条同轴电缆中的同轴管数也不相同，有单管、四管、八管等等。在本书中我们将着重介绍具有四个中同轴管



的综合同轴电缆。

与这种四管综合中同轴电缆相配合的主要通信机械设备的电缆载波机和增音机，本书在介绍综合中同轴电缆的结构之前，首先简要地说明中同轴载波通信系统的基本概念。

中同轴电缆载波系统的设备，可以分为终端调制设备（终端机）和线路设备两部分。线路设备又由电缆和增音设备及其辅助设备组成。该系统除能在中同轴管上传输大量电话电路和电视节目外，还可将部分电话电路作二次复用，传送电报、传真、广播、数据。

1800路电缆载波系统采用单电缆四线单频制传输方式。即一套1800路载波系统其发信和收信两个传输方向使用同一线路频谱（从300千赫至9兆赫）在同一条电缆中传送。但两个传输方向各用同一条电缆中的一个同轴管（每个同轴管的内外导体相当于两根线）传送。由于一套1800路系统收、发各占用一个同轴管，所以四管综合中同轴电缆的四个同轴管可组成两套载波系统。此外，四管综合中同轴电缆中还有四个高频四线组，可以用每个四线组中各一对心线，按单电缆两线双频制（即一个系统使用一对线，收、发信使用不同的线路频谱）开放12路载波电话，可组成 $4 \times 12$ 共48路电话电路供区间通信用。四个高频四线组的各另一对心线及一个低频四线组可用来组成业务通信电话，供终端站与增音站及增音站间通信联系用，六根信号线则做遥信告警用。

我国电视节目采用兼容制（即黑白、彩色电视均能接收），频带约6兆赫，一个单方向的电视节目将占用一个同轴管的全部或一部分传输频带。双方向传输则需通过两个同轴管传送。

中同轴电缆载波系统在一个音频转接段内，根据沿线通过的城镇政治上和业务上的需要，可以在中途用高频转接或分路

的方法下来一部分电路(同时也上去相同数量),但高频转接或分路的次数有一定限制。这种分出和接入的若干群路或直通转接,可在沿线的高频转接站或有人维护增音站来实现。

1800路电缆载波系统在线路上使用的频谱是经过多级调制把1800个话音频带(300~3400赫)按频率划分组成一个从308千赫至9兆赫的1800路群信号的。为便于同其他程式的载波、微波多路通信系统相互转接使用,便于通信网的灵活调度,一般都采用目前大、中容量载波设备相同的调制程序,取用相同的各种标准群路频谱,如12路基群从60至108千赫;60路超群从312至552千赫,300路主群从812至2044千赫。

由于1800路电缆载波系统使用的线路频率比较高,衰耗比较大,因此沿线路每隔几公里就要设置一个增音站(见表1.1),在一个音频转接段中,就要设置几百个增音站。这么多增音站,不可能都设置人员维护,因此在1800路电缆载波系统中大部分增音站是无人维护的(简称无人站),每隔若干个无人站才设置一处有人维护的增音站(简称有人站)。有人增音站的设备是安装在房屋建筑物内的,无人维护增音站的设备一般安装在地下人孔中。

由于地下温度的变化等原因会引起电缆衰耗的变化,从而使沿线传输电平受到影响,为补偿这种影响,中同轴电缆载波系统都设有自动电平调节设备。1800路电缆载波系统采用两种调节方法:一种是地温调节,每隔6公里的无人增音站的增音机里装有地温调节设备,受当地地温控制,自动调节本站的电平,这种增音站叫做地温增音站。另一种是利用导频调节,由发信端送出频率、幅度都很稳定的三个导频作为消除电缆衰耗变化和所有增音机因工作环境温度变化、电源电压变化等所引起增益变化之用。其中,在沿线路每隔50公里设有一个导频的

导频调节设备的站，叫做单导频无人增音站，一般每隔几个地温增音站，就要设一个单导频增音站。在每一有人站和终端站的收信支路装有多导频的自动电平调节设备，此设备受接收的导频控制，自动调节该站线路放大器的输出电平。

1800路电缆载波系统中的无人站不设电源设备，所需要的电源由有人站通过远供设备供给，电流通过同轴管的内导体输送。每个有人站的远供发送设备可供给每边各十多个串连的无人站的电源需要。为无人站输送电源的系统叫做远供系统。除此之外，为了能经常监测大量无人站增音机的工作状态，及时指示发生障碍的站位，设有遥测系统；为了配合电缆气压维护，及时判断漏气障碍地点，设有遥信系统；为供业条人员联系工作使用的联络电话，设有业务通信系统，这些系统统称为辅助系统。

## 第二章 综合中同轴电缆的结构

### 第一节 综合中同轴电缆的程式

我们把含有同轴管和对称四线组的电缆称为综合同轴电缆，根据同轴管的内外导体尺寸的大小可分为大同轴、中同轴和小同轴三种，图2.1为四管的综合中同轴电缆的截面示意图。本书将以这种电缆为典型，介绍它的结构、特性和原理等等。

在这种综合中同轴电缆中，包含有四个同轴管（每个同轴管的内导体直径为2.6毫米，外导体的内直径为9.4毫米），四个高频四线组，一个低频四线组（心线直径均为0.9毫米）及六根信号线（心线直径为0.6毫米），用下列方式表示：

$$\begin{array}{ccccccc} 4 \times 2.6/9.4 + 4 \times 4 \times 0.9 + 1 \times 4 \times 0.9 + 6 \times 1 \times 0.6 \\ \downarrow \qquad \qquad \downarrow \qquad \qquad \downarrow \qquad \qquad \downarrow \\ 4 \text{个同轴管} + 4 \text{个高频四线组} + 1 \text{个低频四线组} + 6 \text{根信号线} \end{array}$$

在四个同轴管中，处于对角线的两个同轴管各组成一个通路，每一通路都可用来传输1800路电话或传输彩色电视。一般可用一个通路开通1800路电话，另一通路传输彩色电视，两个通路可互换使用。

高频四线组每组中的蓝绿线对开十二路载波电话，红白线和低频四线组及信号线，用于业务通信和有人增音站与无人增音站的遥信、遥测及告警电路等。

同轴管的大小经常用分数式表示，分子表示内导体的直径

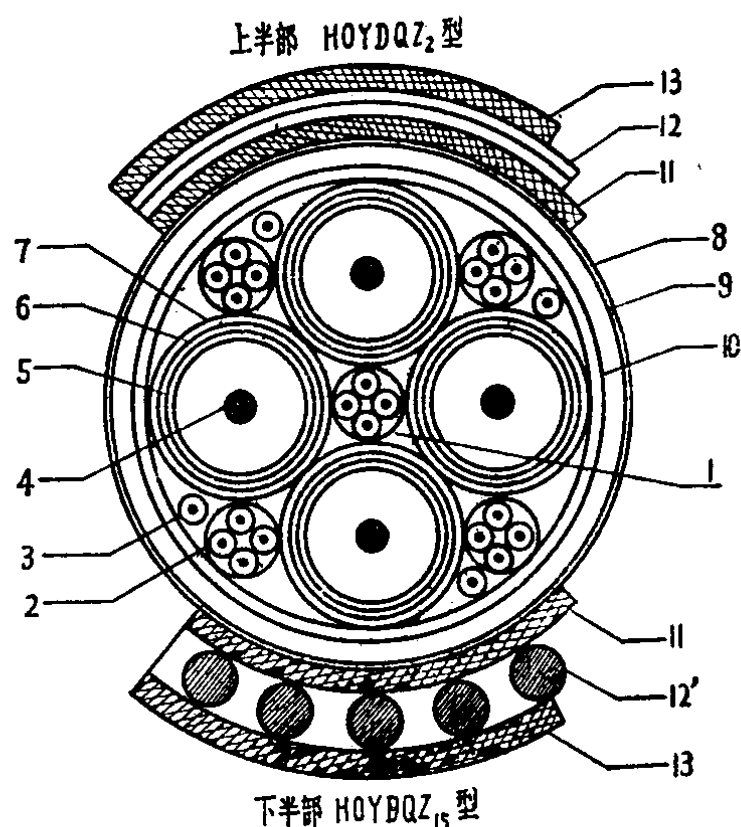


图 2.1 综合中同轴电缆截面示意图

注： 1. 低频四线组； 2. 高频四线组； 3. 信号线； 4. 同轴管的内导体； 5. 同轴管的外导体； 6. 两层镀锡钢带； 7. 电缆纸； 8. 电缆纸； 9. 铅皮； 10. 沥青电缆纸； 11. 沥青油麻； 12. 两层铠装钢带(HOYDQZ<sub>2</sub>)； 12.  $\phi=4.0$ 毫米镀锌圆钢丝铠装(HOYDQZ<sub>15</sub>)； 13. 沥青油麻。

(毫米数)；分母表示外导体的内直径(毫米数)。习惯上称5/18同轴对为大同轴；2.6/9.5(或2.6/9.4)同轴对为中同轴，1.2/4.4同轴对为小同轴。

下面分别说明综合中同轴电缆的三个基本构成部分(同轴管，四线组和护层)的结构。

## 第二节 同轴管的结构

如图 2.2 所示，同轴管是由一个金属空心圆管(外导体)及

一个圆柱形导体(内导体)构成的, 内导体用绝缘垫片支承, 使内外导体的轴心重合, 所以称为同轴管。

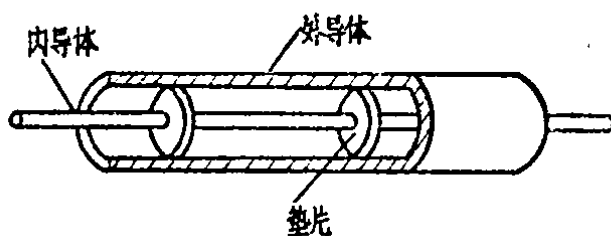


图 2.2 采用垫片绝缘的同轴电缆

### 一、内导体

同轴管的内导体, 应具有优良的导电率, 一定的机械强度和柔韧性, 目前采用的是直径为2.6毫米的半硬铜线。对内导体直径的公差要求很严, 不能超过 $\pm 0.005$ 毫米。

### 二、内导体的绝缘介质

同轴管里的绝缘体除做为内、外导体的绝缘介质外, 同时还起到使内外导体处于同心位置的作用。它除具有很高的绝缘性能和一定的机械强度外, 还应具有高的击穿电压, 和电阻率, 很低的吸水性以及准确的尺寸和在长期使用过程中不变形的特性。

四管综合中同轴电缆的同轴管的绝缘体采用的是厚 2.0 毫米的聚乙烯圆形垫片。绝缘垫片每隔30毫米嵌在内导体上如图 2.2, 这样就构成了介质——空气混合绝缘。从介电特性来说, 空气是最理想的绝缘物。由于在这种同轴管中聚乙烯介质与空气之比为1:15, 同时由于聚乙烯的介质损耗比较小, 所以这种同轴管的传输衰耗比较小。

### 三、外导体

外导体的理想结构, 是在整个长度上都很均匀的空心圆柱体。但要制造具有足够的柔韧性且无纵缝的外导体是很困难

的。目前常用的外导体是将0.25毫米厚的铜片卷成圆管状，圆管具有皱边式或锁齿式纵缝，见图 2.3。这种结构之所以得到推广就是因为它最接近于理想圆柱体，而且比较稳定，坚固，加工方便。

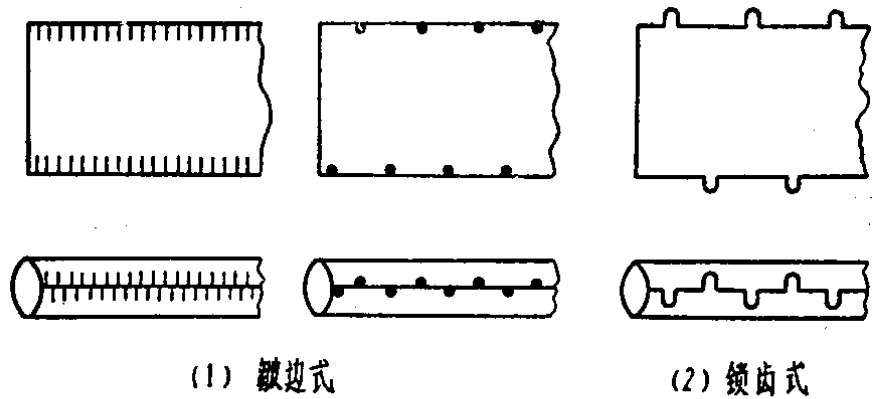


图 2.3 皱边式及锁齿式外导体

#### 四、屏蔽钢带

为使同轴管具有足够的机械强度，并防止各种电磁干扰，同轴管外面一般要加屏蔽体。本书所介绍的四管综合中同轴电缆的同轴管的屏蔽体是用两层厚为0.15毫米，宽为14.3毫米的镀锡钢带，同向间隙绕包在外导体上面构成的。

在屏蔽钢带外还绕包二层纸带，纸带既包紧了钢带，又起外部绝缘的作用。

### 第三节 四线组的结构

#### 一、导电心线

四线组的心线，必须具有很高的导电率，良好的柔韧性及足够的机械强度，因此采用软铜线，本书介绍的综合中同轴电

缆的对称四线组的心线直径为0.9毫米。

## 二、导电心线的绝缘层

四线组心线的绝缘一般也是采用介质——空气混合绝缘方式。本电缆用的是泡沫聚乙烯绝缘，如图 2.4。它是通过挤塑机，在心线的表面均匀地挤包一层发泡的聚乙烯塑料制成的，含有50%左右的空气隙。因此，它的重量比较轻；介质损耗和介电常数比较小，适宜用作高频传输的四线组绝缘层。

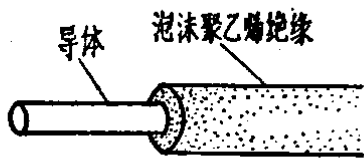


图 2.4 泡沫聚乙烯绝缘

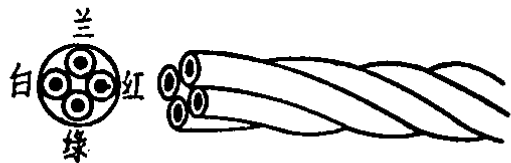


图 2.5 星型扭绞式

## 三、心线的扭绞

四线组心线都是扭绞在一起的。这样做的目的，一方面当电缆弯曲时，可固定各心线的相对位置，使回路特性保持稳定，提高它的机械强度，而更重要的在于减少回路间的相互干扰。目前广泛采用的是星绞式如图 2.5，即将四条绝缘心线排列在对角线顶点位置，一起按一定节距进行扭绞，成为四线组。位于对角线的位置的两根心线构成一个回路，即红、白心线构成一个回路，蓝、绿心线构成另一回路。各个四线组都具有不同的扭绞节距，以减少四线组间的相互串扰。

# 第四节 电缆的保护层

电缆的保护层，见图 2.1。按由内向外的顺序分别介绍各



层的作用和组成情况如下:

**一、电缆纸(或塑料带与电缆纸)**——绕包在缆芯外面,用以防止在缆芯上挤压金属护套时烫坏心线的绝缘层,并防止电缆接续封焊时喷灯烧伤心线。

**二、金属护套**——用以防止心线的绝缘层受潮和保护心线免受外界的机械损伤并具有电气屏蔽作用。金属护套由铅皮或铝皮制成。

**三、外护层**——按由内向外的顺序分为:

1. **内衬层**——是电缆的防水防腐层,用来保护金属护套免受外界酸、碱、盐和水份的腐蚀。内衬层一般由沥青复合物、浸渍纸带绕包层(或浸渍黄麻)所组成,也有加一层塑料带的。

2. **铠装层**——用以保护电缆在敷设和使用时免受机械损伤。铠装层一般由钢带或钢丝所组成。

3. **外被层**——用以防止铠装层锈蚀并使铠装钢带或钢丝不易散开。外被层按外护层防腐级别的不同其组成也不同。一级防腐的外护层,其外被层由沥青、浸渍的电缆麻(或玻璃毛纱)、沥青及防粘合的涂料所组成;二级防腐外护层的外被层,主要包含有一层塑料护套。

注:一级和二级外护层具有相同的内衬层,但二者的外被层不同。一级外护层着重保护金属护套;二级外护套则对金属护套和铠装均加以保护。

常用的综合中同轴电缆,按其外护层的不同有以下几种:

$HOYDQZ_2(HOYQ_2)$ ——铅包,钢带铠装油麻护层电缆(图2.1的上半部),用于地下埋设;

$HOYDQZ_5(HOYQ_5)$ ——铅包,粗钢丝铠装油麻护层电缆(图2.1的下半部),用于水底敷设;

$HOYDQZ_{11}$ ——铅包,一级防腐油麻护层电缆,用于侵