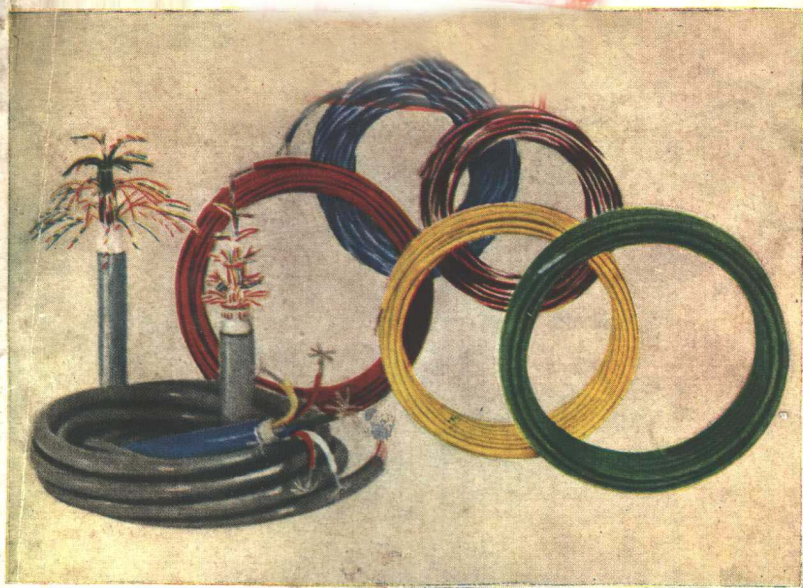




非金属外皮的通信电缆

徐 鯉 庭 編

人 民 邮 电 出 版 社

內 容 提 要

本书介紹的是新型非金屬外皮通信電纜的構造，性能，制造工艺和檢驗方法；特別对電纜塑料外皮的防潮性和耐老化性作了較詳細的論敘；此外，还重点地介紹了制造電纜非金屬外皮所用的各种材料及工艺装备。

本书供从事設計電信綫路和制造電綫電纜的工程技術人員参考，亦可作为大专学校电气絕緣专业学生的参考书。

非金屬外皮的通信電纜

★

徐 鯉 庭 編

人民邮电出版社出版

北京东西區 6 條胡同 13 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)

人民邮电出版社南京印刷厂印

南京太平路戶部街 15 號

新 华 书 店 发 行

★

開本 787×1092 1/32

印張 $3\frac{22}{32}$ 頁數 59

印刷字數 83,000 字

印數 1—1,067 冊

1958年 2月南京第一版

1958年 2月南京第一次印刷

統一書號：15045·總709—有129

定價：(10)0.60 元

序 言

現在摆在各国電纜工业面前的主要問題之一，就是寻找電纜鉛皮的代用品，这对我国的電纜工业而言，也不例外。電纜工业每年耗用的鉛数量很大，制造1000公里心綫直徑为1.2公厘，內有七个四綫組的长途电话電纜就要耗用3000吨以上的鉛。但鉛是一种稀缺金属，在世界上蘊藏量并不丰富，同时鉛的其他用途很多，是一种很宝贵的材料，应力加节约使用。此外，作为電纜的外皮材料时，鉛有其一定的缺点，譬如，鉛易受电化学性的腐蝕；鉛的比重很大，使得鉛皮電纜的运输敷設工作都很繁重；鉛的耐震性較差，而且經常弯曲时容易产生疲劳裂紋。所以采用其他更合适的材料来代替鉛作为電纜的外皮，不仅可以节约稀缺金属，而且对電纜外皮的质量也有一定的改进。

解决这个問題一直遵循着两条途徑：第一个途徑是采用其他产量較多的金属，如鋁等来代替鉛；第二个途徑就是采用透水性較小的高分子聚合物（塑料）来作電纜的外皮。第一个方法仅能解决部分問題，因为鋁的剛性較大，鋁外皮電纜不易弯曲，同时鋁也易受腐蝕，特别是用在海洋性的潮湿气候中时，仍然必須用塑料作为其外护层来加以保护。此外，加工鋁护层时要求很笨重、占地很广的昂贵工艺装备，所需的加工技术也很复杂，所以鋁并非電纜外皮的理想材料。

由于近来化学工业已經为我们提供了一些性能优越的高分子聚合物，所以目前已有可能生产不受腐蝕性化学物质和細菌侵害，耐震性很好的輕便電纜。这种電纜的柔性很好，可以經常弯曲，在大气中的老化也不严重，一般可以使用20年左右，加之塑料的加工方法主要是应用螺杆挤胶机，工艺过程比較簡單，而且是連續操作的，实现自动化控制的可能性很高，所以

在不久的将来大量生产和应用塑料护层的非金属外皮电缆，特别是通信电缆，不仅是可能而且是必然的趋向。

但是目前电缆的塑料外皮也还不是没有一点缺点的，其中最严重的问题就是一般塑料的透湿系数都很大（在 10^{-1} 克/公分·小时·每公厘汞柱压力差以上），个别透湿系数较小的塑料在机械性能方面却又很差。因此在使用塑料作为通信电缆的外皮时，还得采取下列各种措施之一来加以补救：

1) 采用吸水性较低的实心塑料绝缘代替原来吸水性较高的空气纸绝缘或浸渍纱丝绝缘。但是这会过多地增加电缆的外径和介质损失，虽然采用象聚乙烯等优良的塑料可以克服一部分困难，但是，这种塑料绝缘电缆的价格是比较昂贵的；

2) 采用一层透湿系数较低的塑料在内，一层机械性能较强的塑料在外的合成外皮；

3) 采用薄铝皮、薄钢皮和塑料所组成的合成外皮。

此外，随着农业合作化在全国取得决定性的胜利，我国广大农村将逐步地全面铺设通信和广播用的网路。如若采用架空线路，势必耗用巨量的木材，同时在维护中也将耗用很多的劳动力和木材。木材也是我国的宝贵材料之一，应加节约使用。如果采用聚氯乙烯塑料外皮的农村广播线，就可直接埋在地下或通过河泊，这样既可节约木材，又可减轻维护力量。

随着国民经济第二个五年建设计划的执行，在我国幅员广大的国土上将相应地建设许多新的通信线路和改造许多旧的线路，需用的通信电缆数量将甚为可观，生产和应用非金属外皮的通信电缆既是我們今后的方向，所以介绍一些这类电缆的结构、性能、制造工艺和试验方法实很必要。编者但愿本书出版后能对祖国的电信建设有一点贡献。

编 者

目 录

序言

第一章 非金屬外皮通信电纜的分类、結構和性能

- § 1.1 通信电纜的分类 (1)
- § 1.2 非金屬外皮的長途电信电纜 (3)
- § 1.3 非金屬外皮的市內电信电纜 (10)
- § 1.4 非金屬外皮的县內电话和农村有綫广播电纜 (15)
- § 1.5 非金屬外皮的无綫电工程用通信电纜 (22)

第二章 制造电纜非金屬外皮的材料

- § 2.1 聚氯乙稀塑料 (28)
- § 2.2 聚乙烯塑料 (31)
- § 2.3 聚異丁稀塑料 (37)
- § 2.4 氟素塑料 (40)
- § 2.5 聚酰胺塑料 (48)
- § 2.6 护套橡皮 (49)

第三章 螺桿挤膠机

- § 3.1 螺桿挤膠机的附屬设备 (52)
- § 3.2 螺桿挤膠机的构造 (59)
- § 3.3 螺桿挤膠机的挤出量和效率 (72)
- § 3.4 螺桿水冷的效果 (79)
- § 3.5 挤膠时产生廢品的原因及其防止的方法 (81)
- § 3.6 多色螺桿挤膠机 (84)
- § 3.7 挤膠工序的自动化控制 (88)

第四章 非金屬外皮通信电纜的寿命

- § 4.1 非金屬外皮的防潮性 (91)
- § 4.2 非金屬外皮的耐老化性 (106)

第五章 非金屬外皮通信电纜的檢驗和保存

- § 5.1 非金屬外皮通信电纜的檢驗 (107)
- § 5.2 非金屬外皮通信电纜的保存 (113)

参考书目

第一章

非金属外皮通信電纜的分类、

結構和性能

§1.1 通信電纜的分类

通信電纜的分类方法很多，但主要可按其結構、可通頻帶和应用範圍来加以区分。

通信電纜按其結構来分时，主要可分为对称電纜和同軸電纜两类。

对称電纜的主要形式有以下两种：

1) 空气紙絕緣的对絞電纜——这类電纜主要应用于短途通信工程中，其通信距离一般不超过 8 公里。綫对的絞合方式主要是对絞，但个别電纜也有是星絞的。这类電纜的外皮主要由鉛制成，但用聚氯乙烯絕緣的这类非金属外皮電纜，近来已經問世，在許多国家中并已获得推广。

2) 扭繩—紙絕緣和扭繩—聚苯乙烯絕緣的星絞電纜——这类電纜主要应用于长距离的通信。低頻者可通 3 千赫以下的頻帶，高頻者可通 60—108 千赫範圍內的頻率，而应用于 12—24 路載波電話綫路中。过去这类電纜的外皮主要由鉛制成，近来已开始生产聚乙烯絕緣或聚苯乙烯絕緣的这类非金属外皮電纜了。

同軸電纜是为通过高頻电流而設計的，其主要用途有二：一是用于为长途通信而設置的干綫電纜中，供傳送数量众多的

載波電話或電視節目用。由于干綫電纜通信距离很远，性能要求极高，外皮几乎絕對不能透水，所以非金屬外皮的干綫電纜尙未能获得推广。同軸電纜的另一用途就是应用于無線电通信設備中，作为天綫饋送綫、匹配電纜、延迟電纜等，由于这类電纜需要柔軟可曲，所以它們的外皮一向是用非金屬的塑料或橡皮来制造的。

通信電纜按其可通頻带来分时，主要可分为下列三类：

1) 低頻電纜——可通頻带在 3 千赫以下的通信電纜属于低頻電纜，这类電纜应用于短程通信中。

2) 高頻電纜——可通頻带为 60~252 千赫的对称電纜以及可通頻带在 7,000~10,000 千赫範圍內的同軸電纜属于高頻電纜，这类電纜主要应用于长途通信中，或作为傳送電視節目之用。

3) 射頻電纜——可通頻带可达1000兆赫（包括分米波通信）的通信電纜属于射頻電纜，这类電纜主要应用于無線电通信工程中。

通信電纜按其应用範圍来分时，主要可分为下列四类：

1) 长途電信電纜——敷設于城市与城市之間的通信電纜統称长途電信電纜，其中最主要的形式是大城市之間的干綫電纜。干綫電纜沒有固定的結構形式，一般是由同軸綫对，四綫組，屏蔽綫对和信号綫对等单元組織而成的綜合電纜。各单元的数目是根据通信量的大小，以及有无電視節目需要傳送而專門設計的。較小的城市之間，或大城市和其郊区之間通信頻繁时，可以采用由若干四綫組构成的所謂县內通信電纜，它也是长途電信電纜的一种形式。

2) 市内電信電纜——敷設于一个城市之內的通信電纜，

以及电信局内部所用的配线电缆均属于市内电信电缆。这类电缆的通信距离很短，所以一般心线较细，绝缘要求也不如长途电信电缆那样严格。特别是局用电缆，敷设条件较好，维护较易，即使仍然保留原来的纸绝缘或纱丝绝缘而直接改用聚氯乙烯塑料外皮，问题也不太大。

3) 农村广播电缆——敷设于乡村与乡村之间的通信电缆称做农村广播电缆。这类电缆的通信距离较短，质量要求不高。但需要结构简单、价格低廉，以符合目前的农村购买力而有可能推广。所以这种电缆的绝缘层和外皮往往合而为一，用一种塑料直接包在二根平行排列的铜线或镀锌钢线上，构成能直接埋在地下使用的农村广播电缆。这种电缆的塑料外皮同时也担负着绝缘层的作用。

4) 无线电工程用通信电缆——应用于无线电通信设备中的高频电缆均属这类电缆。因为要求通过的电流频率很高，所以这类电缆的结构形式往往是同轴的。同时由于需要经常移动，所以这类电缆大都采用非金属外皮。

下面预备按照通信电缆的应用范围来分节介绍各类非金属外皮通信电缆的结构和性能。我国自己的通信电缆工业现在还很薄弱，非金属外皮通信电缆的生产刚准备开始，这方面的科学研究力量也不雄厚，所以目前主要是摹倣苏联的产品。因此，下面所要介绍的内容也以苏联的现有产品为主。

§1.2 非金属外皮的长途电信电缆

由于苏联电缆科学研究院 (НИИВКП) 的努力，苏联在研究以塑料护层代替铅护层来制造非金属外皮的长途电信电缆方面已获得光辉的成就。到现在为止，苏联业已生产扭绳—聚苯

乙烯絕緣、扭繩—紙絕緣和实心聚乙烯絕緣的非金屬外皮長途電信電纜了。

圖 1.1 表示一根只有一個四綫組的扭繩—聚苯乙烯絕緣的長途電信電纜。這根電纜的外皮由兩層塑料組成：內層由透濕系數極小但機械性能很低的聚異丁烯混合物制成，外層則由透

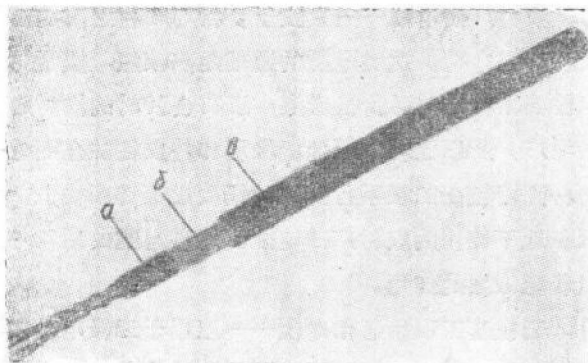


圖 1.1 一個四綫組的扭繩—聚苯乙烯絕緣電纜：
а—聚異丁烯塑料制成的護層，б—加強布帶，в—聚氯乙烯塑料外皮

濕系數較大而機械性能很高的聚氯乙烯塑料制成。因此，這種電纜的外皮防水性很高，曾把這種電纜敷設在電纜管道中達一年之久，其中並有一個月泡在有水的人孔中，但在測試時，電纜的絕緣電阻基本未變。

圖 1.2 表示一根具有四個四綫組的扭繩—聚苯乙烯絕緣的長途電信電纜（型號為 *МКСББ*），圖的右下角繪的是這種電纜剝去鎧裝外皮后的外貌。圖 1.3 則表示一根具有七個四綫組的扭繩—紙絕緣的長途電信電纜（型號為 *МКББ*）。這兩種電纜的纜心結構和它們同類型的鉛包電纜沒有什麼差別，只不過在帶絕緣的外面多了一層厚為 0.1 公厘，以 10—15 % 的重迭卷包在纜心上的軟銅帶而已。這層銅帶是由于改用塑料外皮

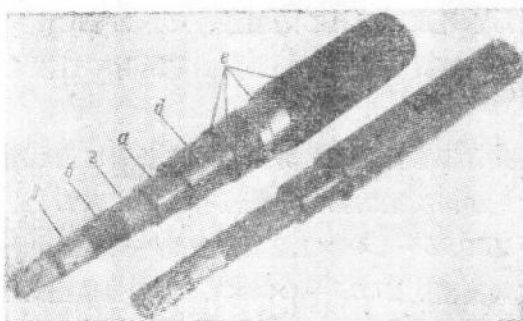


圖 1.2 四个四线组的扭绞—聚苯乙烯绝缘电缆:

a —聚异丁烯塑料制成的防水护层, b —屏蔽铜带, c —纸带, d —加强布带, e —聚氯乙烯塑料外皮, f —铠装外皮

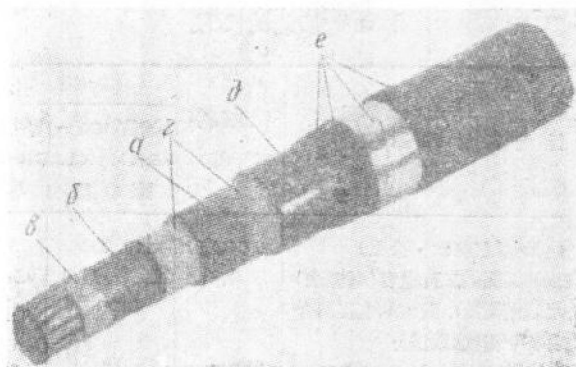


圖 1.3 七个四线组的扭绞—纸绝缘电缆:

a —聚异丁烯塑料制成的防水护层, b —屏蔽铜带, c —纸带, d —加强布带, e —聚氯乙烯塑料外皮, f —铠装外皮

后失去了原来铅外皮具有的屏蔽性, 为了保证两根并列敷设的电缆之间仍能保持和铅包时一样, 具有16奈培以上的近端串音衰减而加上去的, 最先用敷有金属的纸带时达不到上述要求。

这种电缆在铜带屏蔽层的外面还包有斜纹布带、聚异丁烯

混合物的防水外皮和聚氯乙烯塑料外皮。布带的作用是保护机械性能很差的聚異丁烯混合物当弯曲電纜时不致被銅帶所割伤。

这种具有銅帶屏蔽层的非金属外皮长途電信電纜的电气性能，基本上和同类型的鉛包電纜沒有区别。表 1.1 中列有在試制成功的 $MKCBF-4 \times 4 \times 1.2$ 型非金属外皮電纜中測得的实际数据和其同类型的 $MKCB-4 \times 4 \times 1.2$ 型鉛包電纜的电气性能的比较，由表中可見，这两种電纜的电气性能基本相同。

$MKCBF$ 型和 $MKCB$ 型電纜主要

电气性能的比较

表 1.1

性能名称和單位	測試頻率 (千赫)	性能数值	
		試制的 $MKCBF-4 \times 4 \times 1.2$ 型電纜	現生產的 $MKCB-4 \times 4 \times 1.2$ 型電纜
每公里的絕緣电阻(兆欧·公里)	0 (直流)	10,000	10,000
每公里实践回路間的工作电容(毫微法)	0.8	23.1~24.0	22.0~24.0
每 285 公尺制造長度中最大的电容耦合系数和电容不平衡(微微法):			
а) K_1	0.8	16	25
б) K_{2-3}	0.8	75	130
в) K_{9-12}	0.8	6	12
г) E_{1-2}	0.8	25	130

图 1.4 是 $MKCBF-4 \times 4 \times 1.2$ 型電纜綫路衰减的頻率特性曲綫，它是根据測量开路时和短路时的輸入阻抗所算得的。图 1.5 和 1.6 則分別表示 $MKCBF$ 型電纜四綫組內和不同四綫組間回路的远端串音防卫度和頻率的关系。

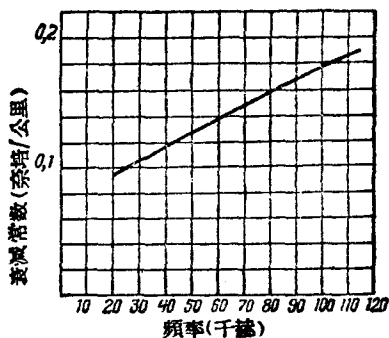


圖 1.4 MKCB—4×4×1.2型電纜的衰減常數和頻率的关系

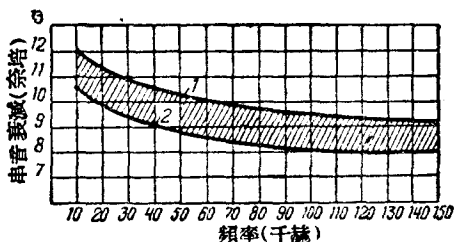


圖 1.5 当長度 $l=283$ 公尺时, MKCB—4×4×1.2型電纜四綫組內回路的远端串音防衛度和頻率的关系

1—最高值; 2—最低值

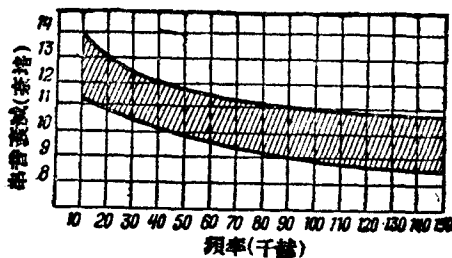


圖 1.6 当長度 $l=283$ 公尺时, MKCB—4×4×1.2型電纜不同四綫組間回路的远端串音防衛度和頻率的关系

表1.2中列有能通載波至108千赫的MKБ—7×4×1.2型扭繩—紙絕緣鉛包電纜和試制的同類型MKББ—7×4×1.2型非金屬外皮電纜的主要電氣特性。由此表可見，非金屬外皮的MKББ型電纜在電氣性能方面並不比其同類型的鉛包電纜遜色。

MKББ型和MKБ型電纜主要
電氣性能的比較

表 1.2

性能名稱和單位	測試頻率 (千赫)	性能數值	
		試制的MKББ -7×4×1.2 型電纜	現生產的MKБ -7×4×1.2 型電纜
每公里的絕緣電阻(兆歐·公里)	0(直流)	>10,000	>10,000
每公里實線回路間的工作電容(毫微微法)	0.8	25.5~26.2	25~28
每429公尺製造長度中最大的電容耦合系數和電容不平衡(微微法):			
а) K_1	0.8	10	40
б) K_{2-3}	0.8	100	200
в) K_{9-12}	0.8	10	15
г) E_{1-2}	0.8	160	300
429公尺中遠端串音防衛度的最小值:			
а) 一個四綫組內的綫對間(奈培)	108	9.6	8.7
б) 不同四綫組間的綫對間(奈培)	108	9.4	9.3

非金屬外皮長途電信電纜的電氣性能也相當穩定，把電纜在木盤上復繞十次以後，其電容耦合系數和電容不平衡值變動甚微，仍能達到技術條件的要求。一般來說， K_1 約變動3~5微微法； K_{2-3} 和 E_{1-2} 約變動5~7微微法，這就說明MKББ型和MKCBБ型電纜在電氣性能的穩定性方面亦不遜於其同類型的鉛包電纜。

图1.7表示一根具有实心聚乙烯絕緣和聚氯乙 烯外皮的 $МКВП-1 \times 4 \times 1.2$ 型電纜，图1.8所繪則为其截面。这种電纜的可通頻带达到12~108千赫，可用以組織省內的高頻通信。



圖 1.7 实心聚乙烯絕緣聚氯乙 烯外皮的 $МКВП-1 \times 4 \times 1.2$ 型電纜

这种電纜的軟銅心綫直徑为 1.2 ± 0.005 公厘，絕緣材料采用65%聚乙烯和35%聚異丁烯的混合物，其徑向厚度为1.1公厘，所以每根絕緣心綫的外徑应为3.4公厘。

四个絕緣心綫絞合后的纜心直徑为8.2公厘。为了使四綫組更加稳定和便于繞包屏蔽用的金属帶起見，在纜心外面包有一层徑向厚度为1.2公厘的內套，这层內套由和絕緣材料相同的塑料混合物制成（用其他不透水的塑料帶繞包亦可），在內套外面包有厚为0.1公厘的鋁箔作为屏蔽层，最外面則是聚氯乙 烯外皮。这种電纜的总外徑約为14公厘，每公里之重量約为200公斤。

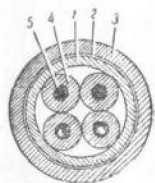


圖 1.8 $МКВП-1 \times 4 \times 1.2$ 型電纜的截面
1—厚为1.2公厘的聚乙 烯內套，2—厚为0.1公厘的鋁箔屏蔽層，3—厚为2.0公厘的聚氯乙 烯外皮，4—厚为1.1公厘的聚乙 烯絕緣層，5—直徑1.2公厘的銅心綫

$МКВП$ 型電纜的电气性能如表1.3所示。这种電纜可以通載波到103~150千赫。電纜回路的衰減常数当頻率110千赫时約为260毫奈，頻率150千赫时約为230毫奈，所以这种電纜的增音站距离在通12路或24路載波时为25公里。

MKBP型電纜的主要电气性能

表 1.3

电气性能名称和單位	測試頻率(千赫)	性能数值
每公里綫对的直流电阻(欧)	0(直流)	<32
每500公尺制造長度中綫对的直流电阻不平衡(欧)	0(直流)	<0.12
每公里電纜工作电容的最大值(毫微法)	0.8	38
所有心綫联在一起和屏蔽間的絕緣击穿强度(伏)	0.05	>3,000
每500公尺制造長度中电容耦合系数的最大值 K_1 (微微法)	0.8	40
每500公尺制造長度中实綫回路間串音防衛度的最小值(奈培)	108	8.8
每公里電纜的电感(毫亨)	0.8	0.473~0.469

按双纜通信制而采用这种電纜时，敷設在一条溝中的两根 MKBP—1×4×1.2型電纜之間的近端串音衰减在100千赫时約为13.5奈培，达不到所要求的16奈培。若欲使其近端串音衰减增为15~16奈培，只須用两层厚为0.07~0.08公厘的軟銅帶代替鋁箔包在 MKBP—1×4×1.2型電纜的纜心上作为屏蔽层即可。

当然，这种電纜也可以制成四綫組数目較多的電纜，供省內通信或长途通信之用。

§1.3 非金屬外皮的市內电信電纜

为連接分綫盒或分綫箱中各接头座而敷設在电信局牆壁內外的配綫電纜一向是以纖維絕緣的漆包綫为心綫的鉛包電纜(型号为TPK)。当这类電纜的对数不多时，电气性能要求不高，所以改为非金屬外皮電纜时只須以較不吸水的聚氯乙稀塑

料代替原来吸水性较强的棉紗絕緣，并在纜心外面纏以敷有金属的紙帶作为屏蔽，然后再以聚氯乙烯塑料作为其保护外皮即可。苏联生产的这种非金属外皮配綫電纜的型号是TPBKIII。

由于聚氯乙烯塑料的絕緣性能受溫度的影响很大，所以在这种以聚氯乙烯塑料为絕緣的配綫電纜中，心綫表面还必须有一层油基漆絕緣。試驗結果如图1.9和1.10所示。当溫度 $t = 20^{\circ}\text{C}$ 时，有漆包层或无漆包层的TPBKIII型電纜的絕緣电阻基本相同。但当溫度在 55°C 以上时，沒有漆包层的TPBKIII型電纜的絕緣电阻几乎降至为零，而有漆包层的TPBKIII型電纜的絕緣电阻却仍能維持50兆欧·公里之值。

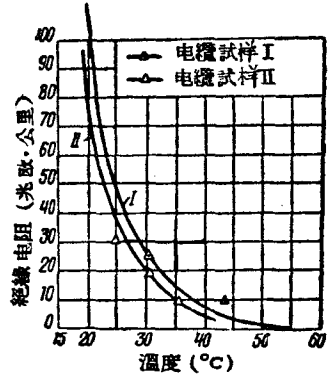


圖 1.9 心綫无漆包層时TPBKIII型電纜的聚氯乙烯絕緣層的电阻和溫度的关系

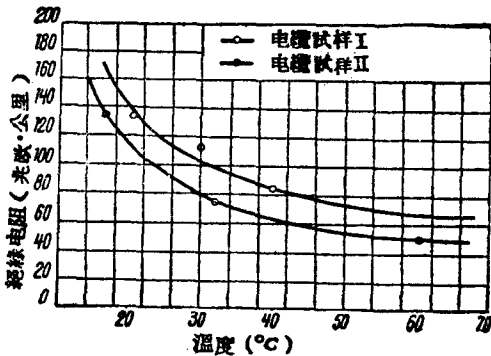


圖 1.10 心綫有漆包層时TPBKIII型電纜的聚氯乙烯絕緣層的电阻和溫度的关系

苏联現已正式生产这一种型号为 *TPBKIII* 的非金属外皮电纜来代替原来生产的 *TPK* 型鉛包电纜，但尚限于30对以下(*TPK* 型电纜的最大容量是100对)。

TPBKIII 型电纜的心綫是0.5公厘直徑的漆包銅綫，心綫外包有公称徑向厚度为0.35公厘的聚氯乙稀塑料絕緣。不同色的两根絕緣心綫扭絞成对、許多綫对再絞合成纜，纜心外面包一层作为屏蔽用的金属化紙，电纜的最外层則是聚氯乙稀塑料外皮，外皮的徑向厚度約为2~2.5公厘。

因为聚氯乙稀塑料絕緣的厚度大于棉紗絕緣，所以 *TPBKIII* 型电纜的外徑就将比同对数的 *TPK* 型电纜为大，这二种电纜外徑的比較如表1.4所示。

同对数的 *TPBKIII* 型和 *TPK* 型
电纜的外徑比較 表 1.4

对数	电纜的最大外徑(公厘)	
	<i>TPBKIII</i>	<i>TPK</i>
5	14	8.0
10	18	10.5
20	23	13.5
30	27	15.5

由于聚乙烯有优良的絕緣性能，而且很少受溫度的影响，所以配綫电纜采用聚乙烯为絕緣时可以省去导电心綫外面所包的油基絕緣漆，苏联現已試制成功型号为 *ТРПКIII* 的聚乙烯絕緣配綫电纜。这种电纜在結構上和 *TPBKIII* 型电纜沒有很多区别，只不过以聚乙烯絕緣包在裸銅綫上代替以聚氯乙稀塑料包