



高 压 电 纜

М. И. 曼特罗夫講

西安交通大学电气絕緣与电纜技术教研組譯

高 等 教 育 出 版 社

本書为苏联专家 M. И. 曼特罗夫 (Мантров) 同志 1956 年在交通大学对教师講課的講义, 在出版时稍加整理和补充, 未經专家审阅。

本書首先概述现有各种型式的高压电纜结构, 比較他們的性能及适用場合, 同时說明各种参数的改变对电纜性能的影响。書中列出了不少可供参考用的结构数据, 然后詳細叙述高压电纜的制造工艺及檢查方法。

書中以較多篇幅叙述高压电纜的电性和热性計算問題。各种公式多数均有推导, 并給出其中常数应取的数值, 这不論对学生和工作人员均有裨益。由于接头匣是高压电纜不可缺少而且重要的一部分, 本書对接头匣的絕緣計算也有詳細論述。

最后, 本書叙述了高压电纜綫路上所用的附屬设备及漏油檢查等問題。

本書可作为高等学校絕緣与电纜专业的教学参考書, 也可供电纜研究、設計、制造及运行工作者参考。

本書由西安交通大学絕緣教研組張和康譯出, 并由教研組其他同志进行校訂和整理。

高 压 电 纜

M. И. 曼特罗夫講

西安交通大学电气絕緣与电纜技术教研組譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版业營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印装 新华書店發行

統一書号 15010·831 开本 850×1168¹/₃₂ 印張 5⁵/₁₆ 插頁 1

字数 123,000 印数 0001—3,000 定价 (7) 0.75

1959 年 11 月第 1 版 1959 年 11 月北京第 1 次印刷

引 言

高压电纜的基本类型我們已經在“电纜技术基础”課程的講稿中叙述过了。在“高压电纜”課程的講稿中，是研究用于地下敷設和水底敷設的交直流高压电纜的已有的和設計中的結構，引用在选择高压电纜的材料和主要結構数据时所需的一些数据，略述充油电纜以及油压电纜和气压电纜的制造工艺，叙述高压电纜、不同类型的电纜接头匣及补油設備的計算問題，也研究在生产条件下电纜品質的檢查問題。

目 录

第一章 高压电缆的结构概述 ·····	1
§ 1. 交流高压电缆·····	1
§ 2. 水底高压电缆·····	14
§ 3. 直流高压电缆·····	19
第二章 高压电缆的制造工艺 ·····	24
§ 1. 材料和主要结构数据的选择·····	24
§ 2. 电压 110 和 220 千伏的高压电缆的计算数据·····	36
§ 3. 充油电缆的制造技术·····	42
§ 4. 油压或气压电缆的制造技术·····	46
§ 5. 充油电缆浸渍时间的计算·····	52
§ 6. 电缆在生产条件下的品质检查·····	56
第三章 高压电缆的计算问题 ·····	60
§ 1. 高压电缆绝缘过程的特点·····	60
§ 2. 高压电缆绝缘中油层间电场强度的计算·····	70
§ 3. 高压电缆 n 层绝缘的计算·····	76
§ 4. 高压电缆负载的计算和热不稳定性的研究·····	89
§ 5. 高压电缆热稳定性的计算·····	102
§ 6. 敷设在空气中的电缆和电缆的散热系数的计算·····	109
第四章 高压电缆接头匣绝缘的计算 ·····	114
§ 1. 连接匣绝缘的计算·····	114
§ 2. 塞子式接头匣绝缘的计算·····	119
§ 3. 终端匣绝缘的计算·····	121
§ 4. 电缆接头匣中轴向电场强度的计算·····	126
第五章 充油电缆线路中的补油设备 ·····	130
§ 1. 压力箱和供油箱·····	130
§ 2. 充油电缆中漏油地点的决定·····	136
§ 3. 高压电缆线路图·····	143
参考书目 ·····	160

第一章 高压电缆的结构概述

§ 1. 交流高压电缆

实践指出,粘性浸渍电缆能在不高于 35 千伏,有时在不高于 66 千伏的电压下长期工作。粘性浸渍电缆不能在较高的工作电压下稳定地和长期地工作,这是因为在运用过程中电缆的温度不可避免地要变动、电缆材料(铜、纸、浸渍剂、铅)具有不同的温度膨胀系数、以及由于铅皮的弹性不佳,在电缆绝缘中形成作为电离基地的空隙。电离时

释出热和臭氧,引起浸渍剂化学成分的变化,因而引起电缆绝缘的击穿。

由于上述原因,当电缆的工作电压在 66 千伏以上时,通常采用不同油压力或气体压力的充油或充气电缆,使电缆的电离电压比粘性浸渍电缆的高得多。

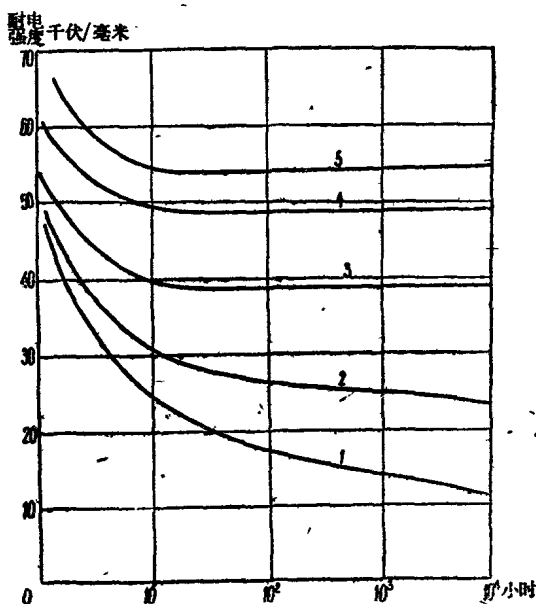


图 1-1. 高压电缆的寿命曲线。

从图1-1可见, 1-粘性浸渍电缆; 2-充有氮气(1个大气压)的电缆; 3-充油(1个大气压)电缆, 4-充油(10个大气压)电缆; 5-充油(15个大气压)电缆。充油电缆绝缘的击

穿强度和寿命比充气电缆和粘性浸渍电缆高得多，同时电缆绝缘的击穿强度在很大程度上取决于油压或气压。

高压电缆线路是由各个制造长度组成的，彼此间用普通的，半制止式或制止式的连接匣连接，而在线路的两端则装有终端接头匣。

为了保持电缆中一定的油压或气压，电缆线路备有特种设备，以保证线路的补油(供油箱)，或保证在线路中维持一定的过剩压力(压力箱)。

每条高压电缆线路备有控制设备，以保证自动地维持电缆中的压力，并在压力升降到极限值的故障情形时发出信号。在控制设备中也应该有测定电缆线路中的漏油或漏气的设备，这样可以及时地发现电缆由于外部损坏或由于电缆绝缘中介质损耗的逐渐的局部增大而击穿的预计地点。

表 1-1 中列出用的高压电缆的几种主要类型。

表 1-1. 高压电缆的几种主要类型

电 缆 的 类 型 和 结 构	工作电压 (千伏)	应 用 范 围
OCE 型三心电缆	10-35	高压电网和输电线路
圆形空心心线单心充油电缆。过剩油压 15 大气压以下	33-400	深入居民点，跨越河流高压线路的端部
铅皮强化的充气三心电缆。气压从 0.8 到 3 个大气压	10-35	敷设在陡斜的路线，配电与供电网
铅皮强化的充气单心电缆。气压 1 个大气压以下	1-10	路线陡斜的输电线路
敷设在钢管中的粘性浸渍气压三心电缆。气压在 14 个大气压以下	60-150	敷设在高山路线 穿过铁路和河流
油管中的无铅皮油压三心电缆。油压从 6 到 15 个大气压	100-400	敷设在发电厂中(从发电机到变压器)小段的大功率输电线路

在苏联，由于高压输电线路的发展，高压充油电缆用得很多。图

1-2 给出了第一批 110 千伏充油电缆工业样品之一的结构。这种电缆的样品曾在列宁全苏电工研究所的试验电缆线路上进行全面的试验。油道位于电缆中央，用尺寸 6×1 毫米的未韧炼的铜带制成螺旋形状，螺距为 9 毫米。螺旋的内径为 14 毫米，外径 16 毫米。在螺旋上包有二层直径 2.68 毫米的韧炼铜丝，第一层由 21 根

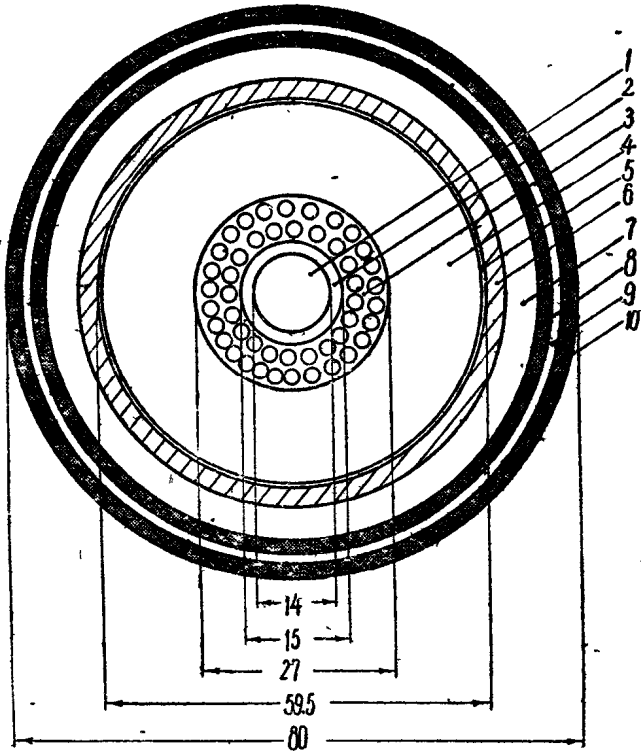


图 1-2. 敷设在试验线路上的 110 千伏电缆的结构。

1—油道； 2—铜螺旋； 3—两层铜丝； 4—纸绝缘； 5—穿孔铜带；
6—铅皮； 7 和 9—胶布带； 8 和 10—浸渍黄麻。

铜丝组成，第二层由 27 根铜丝组成。在第二层铜丝上包有敷金属的纸，其箔对着缆芯。包有敷金属纸的空心心线的第二层上的直径是 27 毫米。在这电缆中，纸绝缘的厚度是 16 毫米，同时从心线

算起的前面三分之二的絕緣厚度是用厚 0.12—0.13 毫米的紙制成的，而后面三分之一的絕緣厚度是用厚 0.17—0.18 毫米的紙制成的。在紙絕緣上包有厚 0.1 毫米的穿孔銅帶，匝間有紙帶衬墊。厚 4 毫米的鉛皮是用 2% 的錫作加成劑來製造的。電纜沿鉛皮的直徑是 67.5 毫米。在鉛皮上包有膠紙帶和黃麻的保護層，總厚度為 6.75 毫米。電纜的外徑等於 80 毫米。

被試驗的電纜以 1.1—1.2 米的深度敷設在地中；電纜中心間的距离為 250—300 毫米。

試驗時電纜心綫表面上的最大梯度等於 10.5 千伏/毫米，心綫溫度在 50 到 95°C 的範圍內變動。

安裝試驗電纜綫路時所用油的击穿強度為 160—185 千伏/厘米，酸度為 0.005—0.01 毫克 KOH，油的 $\text{tg } \delta$ 在 25°C 時等於 0.001—0.002，在 100°C 時等於 0.005—0.01。

電纜在試驗綫路上的試驗進行二年，在這時期內，經常從電纜的不同部段以及從終端匣和連接匣中取出油樣進行試驗。也經常地測量電纜絕緣和接頭匣絕緣的 $\text{tg } \delta$ ，而在綫路試驗結束後，對從試驗綫路中取出的電纜樣品作全面的電性試驗，並在拆開時進行詳盡的外表檢查。

在二年的試驗中，試驗電纜綫路在 20°C 時的 $\text{tg } \delta$ 值平均從 0.0045 增大到 0.0055，即變動較小。但是接頭匣絕緣中的 20°C 時的 $\text{tg } \delta$ 值達 0.011，這是由於接頭匣絕緣中應用了以油瀝青漆製成的黑蠟布。這種漆的膜逐漸地溶解在油中，使接頭匣絕緣的 $\text{tg } \delta$ 值增大。因此充油電纜綫路的 $\text{tg } \delta$ 值是很不均勻的，其主要原因是把黑蠟布用作接頭匣的絕緣。在後來的結構中，用電纜紙來代替黑蠟布。

在測量拆開的電纜樣品的絕緣的 $\text{tg } \delta$ 時，發現靠近鉛皮的絕緣層的 $\text{tg } \delta$ 值在 0.02—0.04 的範圍內，而靠近銅心綫的絕緣層的

$\text{tg } \delta$ 值在 0.01—0.03 的范围内。这种现象是由于铅和铜的催化作用加速了油的老化,同时这现象在连接匣和终端匣附近最为显著,因为这里漆布的油渍青漆膜的溶解于油也引起 $\text{tg } \delta$ 的增大。

在 80°C 时, 试验电缆线路 $\text{tg } \delta$ 的数值平均由 0.01 增大到 0.012。 $\text{tg } \delta$ 在 80°C 时的这样一个绝对值是过大的, 可能成为电缆发生热不稳定的原因。因此曾经进行了研究和试验工作, 用改善电缆纸和油的介电性能的方法来改善充油电缆绝缘的 $\text{tg } \delta$ 与温度的关系。试验指出, 在电缆纸的制造过程中将其进行较为仔细的冲洗, 可以使纯净电缆纸在 100°C 时的 $\text{tg } \delta$ 减小到 0.003—0.002。采用较完善的净油方法, 也可以显著地提高油在氧化和形成金属皂方面的稳定性。由于这些改善油和纸的介电性能的措施, 在后来制造的充油电缆中, $\text{tg } \delta$ 在 80°C 时的值不超过 0.002。

在电缆的二年试验的条件下, 曾测量了电缆绝缘的 $\text{tg } \delta$ 与电压的关系, 并发现当电压从 20 改变到 120 千伏时, $\text{tg } \delta$ 的值与电压无关, 即电缆绝缘中没有电离现象, 这说明绝缘的浸渍质量良好。

也进行过电缆绝缘的击穿试验, 发现从新的电缆和曾经在试验线路上工作过二年的电缆上取下的电缆纸带的击穿电压实际上相同 (厚 0.12 毫米的纸带为 8—9.5 千伏, 厚 0.17 毫米的纸带为 10.5—11.5 千伏)。

试验指出, 新电缆的全部样品都经得住 225 千伏交流电压 6 小时, 一部分样品经受了 6 小时的 250 千伏电压, 而在电压升高到 300—320 千伏时才击穿, 另一部分样品当电压为 250 千伏时在 6 小时以内击穿。在试验线路上工作过二年的电缆的绝缘的击穿电压与新电缆的上述击穿电压值并无区别。

根据所得的试验数据, 曾经建议把电缆绝缘的厚度从 16 毫米减小到 12 毫米, 当心线尺寸不变时, 这相当于心线表面上的最大

梯度为 7.5 千伏/毫米和平均梯度为 5.3 千伏/毫米。这一措施已经在以后的 110 千伏的充油电缆结构中实行。这种电缆的绝缘经受了 160 千伏交流电压 6 小时和 232 千伏电压 3 小时。这种绝缘在 50 次全波冲击的脉冲下的耐压强度可认为等于 55—60 千伏/毫米,亦即 660—720 千伏。

“北方电缆”厂制造的苏联第一条电压为 110 千伏的充油电缆工业试验线路于 1931 年敷设在列宁格勒附近。

1939 年,第一条 110 千伏充油电缆工业线路投入运用,1941 年,安装了第二条这样的电缆线路,在 1951 年投入运用。

1932 年,“北方电缆”厂制造了苏联第一条 220 千伏充油电缆试样。对于这电缆的进一步工作,由于伟大卫国战争而中断,到 1949 年才恢复。在战后的年代中,已经完全掌握了 220 千伏以下的充油电缆的生产,并且制定了电压 400 千伏以下的直流电缆的结构,掌握了它的生产。

现在电压 50 千伏以上的高压电缆线路通常用来使电能深入到城市中,越过江河和居民点,并用来将城郊发电厂与高压电网连接起来。

长 14 千米、电压 50 千伏的第一条地下电缆线路于 1914 年敷设在巴塞罗纳。后来在 1922 年,在法国敷设了长 60 千米、电压为 60 千伏的、由三条单心电缆组成的三相线路。

1924 年,电压 132 千伏的充油电缆首先在意大利制造和敷设。1927 年,电压 132 千伏的地下电缆线路在芝加哥(长度为 10 千米)和纽约(长度为 19 千米)投入运用,传输功率各为 100 兆伏安。

1933 年,在意大利制造并敷设了 220 千伏的充油电缆。

1936 年,敷设在巴黎近郊的长 19 千米、电压 220 千伏的地下电缆线路投入运用。现在交流电压 220 千伏以下的高压电缆的制造已完全掌握,并且制定了交流电压 380—400 千伏的电缆的试验

结构。

开麦諾(英屬哥倫比亞)河畔的地下发电厂与 300 千伏配電设备間的輸电是利用敷設在从岩石中掘出的长 613 米的隧道中的单相充油电纜来实现的。当两端的水平差为 11 米时,不需装設制式接头匣。电纜在 310 千伏电压下的电流容量等于 550 安。电纜絕緣根据最大工作电場强度 12 千伏/毫米設計。电纜的外徑为 97 毫米。

在古拔太(巴西)地下水电站中,变压器引出端与 230 千伏的地上配電设备間的輸电是利用工作压力 22 千克/厘米²的靜油电纜来实现的。电纜敷設在长 450 米的隧道中,两端水平差为 45 米,用来在周圍媒質溫度达 50°C 下长期工作。

总截面为 253 毫米²的、用硬拉銅制成的电纜心綫上繞以三条敷金屬紙帶,在其上包有厚 21.2 毫米的紙絕緣。絕緣用两条穿孔紙帶作屏蔽,再由銅絲鎧甲保护。为了避免在穿入鋼管前受外界作用,在电纜上包有厚約 2 毫米的鉛皮。电纜鋼管的外徑等于 220 毫米。电纜試样在 11 千克/厘米²的压力下工作,用 284 千伏的电压試驗 6 小时,然后电压逐級增大到 660 千伏。

現在举出瑞典的电压为 380 千伏的充油电纜的一些数据。

电纜用来在 340 千伏的电压下傳輸功率 360 兆瓦,最大工作电压为 400 千伏,額定工作电压等于 380 千伏。短路时的最大功率可以达到 10000 兆瓦,时间为 0.15 秒,这相当于 16700 安的电流。敷設时电纜两端的最大水平差可以达到 70 米。在第一个鉛皮下的油道溫度是 10—12°C。

当試驗长 10 米的电纜的两端时,絕緣应能經受电压为 1775 千伏的 5 个脉冲試驗,并应經受 450 千伏的交流电压和 850 千伏的直流电压的一分鐘試驗。

根据技术要求当心綫与鉛皮間加以电压时,損耗角正切在

155 千伏的电压下应不大于 0.5%，在 305 千伏的电压下不大于 0.6%。实际上电缆绝缘的 $\text{tg } \delta$ 在这些电压下是 0.0034—0.0036。

电缆能经受 30 千克/厘米² 的压力 24 小时。

电缆心线是镀锡的，截面为 500 毫米²，用抽拉法制造。心线的绝缘厚度为 28 毫米，其上包有厚 5.5 毫米的第一个铅皮。在这铅皮中有深 2 毫米的槽形油道。在第一个铅皮上包有厚 3.5 毫米的第二个铅皮。然后包一层聚乙烯带和浸渍剂，上面包三层铜带，再包一层聚乙烯带。

在铅皮上的直径是 109 毫米，而电缆的总直径则为 118 毫米。电缆的总重量为每米长度 52 千克。

当电缆中油压力为 4 千克/厘米² 时，短电缆的绝缘能经受 733 千伏的交流电压 1 分钟，当电压为 782 千伏时，在这电压下经过 14 秒后击穿。敷设后电缆绝缘曾用 850 千伏的直流电压试验过。

在英国，1928 年制成和敷设了第一根电压 66 千伏的单心充油电缆，1931 年敷设了第一根电压为 132 千伏的充油电缆。

现在英国正在制造和应用着电压 33、66 和 132 千伏的充油电缆，同时电压 33 千伏的电缆只制造成三心的，电压 66 千伏的电缆既制造三心的，也制造单心的，电压 132 千伏的只制造单心的。小量的电压 33 千伏的充油电缆制成单心的。

在英国，电压 66 和 132 千伏的单心充油电缆应用最广。1951 年这两种电压的电缆线路的长度达 950 千米，同一年，电压 66 和 33 千伏的三心电缆线路的长度达 550 千米。

在英国，电压为 33、66 和 132 千伏的充气电缆和气压电缆用得最广泛。1951 年这些电缆线路的长度达 300 千米。电压 132 千伏的电缆一般制成单心的；这一电压的电缆线路的长度在 1951 年达 70 千米。长 1.6 千米的第一根电压为 132 千伏的三心充气电缆在 1944 年制成并接入牛津附近的 132 千伏输电线路中。在充油电缆

表 1-2. 英国的充油电缆的最大长期电流负载

导体额定 面积, 吋 ²	单心, 33 千伏		三心, 33 千伏		单心, 66 千伏		三心, 66 千伏		单心, 132 千伏	
	油道直径				油道直径				油道直径	
	12毫米	16毫米	鋼油道	銅油道	12毫米	16毫米	鋼油道	銅油道	12毫米	16毫米

a) 负载(安)

敷設在地下的电缆, 土壤温度 15°C; 土壤热阻 120°C/瓦
厘米

0.06	—	—	185	185	—	—	—	—	—	—
0.10	260	260	245	250	260	265	240	245	250	255
0.15	315	315	300	305	320	320	295	300	305	305
0.20	365	365	350	355	365	375	345	350	350	360
0.25	410	410	400	405	410	420	390	400	395	400
0.30	445	445	440	450	455	455	430	440	435	435
0.40	520	520	515	525	520	530	505	515	495	505
0.50	575	575	570	580	585	585	560	570	555	560
0.60	630	630	620	635	635	640	610	625	610	610
0.75	690	690	—	—	700	705	—	—	635	665
1.00	770	770	—	—	805	810	—	—	755	750

b) 负载(安)

敷設在空气中的电缆; 周围媒质温度 25°C

0.06	—	—	195	200	—	—	—	—	—	—
0.10	330	330	270	275	345	360	275	280	325	340
0.15	405	405	340	345	425	440	345	355	405	415
0.20	480	430	405	415	495	520	410	420	470	490
0.25	550	550	470	480	560	590	470	485	535	555
0.30	610	610	525	545	635	645	525	545	600	610
0.40	720	720	630	655	735	765	620	640	695	715
0.50	825	825	705	730	840	865	695	715	790	810
0.60	925	925	770	805	930	960	755	785	885	900
0.75	1030	1030	—	—	1055	1080	—	—	980	1000
1.00	1155	1155	—	—	1250	1280	—	—	1160	1170

中,流体靜压力的正常值采用 3.5 千克/厘米²,而在气压电纜或高压力充气电纜中,压力达 14—18 千克/厘米²。

不同类型电纜的絕緣的热阻值在 500 到 700°C/瓦/厘米的範圍內,而最大电場强度在 7 到 11 千伏/毫米的範圍內。

表 1-2 中列出英国的充油电纜在不同敷設条件下的最大負載。

在英国的高压充气电纜和气压电纜中,采用 14 千克/厘米²的压力作为正常压力。在美国的各种类型的气体絕緣电纜中,气体压力随着电纜工作电压的增高而增大。例如,在充气电纜中采用下列压力:

a) 在电压从 10 到 40 千伏的电纜中,压力在 1.7 到 2 千克/厘米²的範圍內;

b) 电压 40 到 69 千伏的电纜在 2.5 到 3.5 千克/厘米²的压力下工作;

b) 电纜电压从 60 到 138 千伏时,气体的工作压力可以在 10 到 14 千克/厘米²的範圍內。

充油电纜以及敷設在气压或油压鋼管中的电纜,在美国用得最广的是电压为 66、69、110、132 和 138 千伏。

按高压电纜綫路的长度而言,半数是靜油电纜,这是敷設在鋼管中的三心电纜。电纜綫心用絞合圓形导絲制成。每根心綫上包有敷金屬紙帶。然后包紙絕緣,一般是分阶式的,上面包有敷金屬紙帶屏蔽,金屬帶屏蔽和成形截面(一般是半圓形截面)的加强用鋼絲。

表 1-3 和 1-4 中給出美国的靜油电纜的容許电流負載以及它們的溫度修正系数。

图 1-3 中給出了高压力的高压充气电纜的結構。电纜絕緣由預先用浸漬剂浸漬的紙制成。这种絕緣的一些电性能見图 1-4 和

表 1-3. 美国的数据设在地中的静油电缆当周围媒质的温度是
20°C 时的容许负载值

电 压 (千伏)	69	115	138	161	230
纜 最 大 温 度	75	70	70	70	70
导体截面 (吋 ²)	电 流 (安)				
0 1045	260	—	—	—	—
0.1317	295	—	—	—	—
0 1661	331	308	300	—	—
0 1962	368	335	326	322	—
0 2355	405	370	360	353	—
0 2747	440	401	392	384	—
0 314	472	432	421	413	—
0.3925	530	488	475	465	—
0.471	585	536	521	510	—
0.5495	630	579	563	550	—
0.5887	650	599	583	570	514
0.628	673	618	600	588	530
0.708	715	655	635	620	560
0 785	755	688	665	651	588
0 981	833	758	735	717	646
1.177	890	818	790	774	695
1.373	933	861	833	815	737
1.57	970	890	865	848	762

表 1-4. 设在地中的静油电缆的负载(表 1 3)
的温度修正系数

电 纜 电 压 (千 伏)	69	115	138	161	230
周围土壤温度(°C)	修 正 系 数 值				
15	1 05	1 06	1 06	1 06	1.06
20	1.00	1 00	1 00	1 00	1 00
25	0 94	0 94	0 94	0 94	0.92
30	0.90	0 88	0.87	0 87	0 84
35	0.84	0 81	0.80	0 79	0 75
40	0.78	0 73	0 72	0 71	0 64

1-5。从这些数据可见：

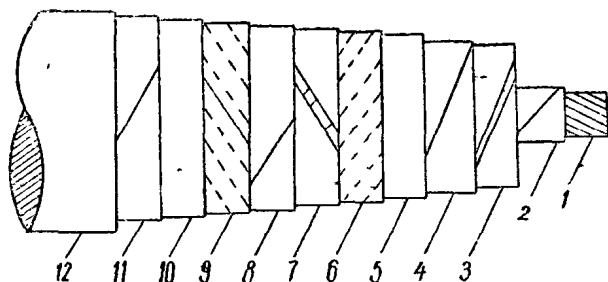


图 1-3 高压单心充气电缆的结构。

1—铜心线；2—穿孔敷金属带；3—介质——浸渍纸；4—铜带；5—第一个铅皮；6—钢丝布带，7和8—黄铜带，9—钢丝布带，10—第二个铅皮；11和12—保护层。

a) 电缆绝缘中的电离电场强度近似地与气体压力成正比地增大；

b) 由未浸渍的纸制成的电缆绝缘的电强度是由预先浸渍的纸制成的绝缘的电强度的 2—3 分之一；

в) 当纸的密度增大时，电缆绝缘的耐压强度显著地增大。

电缆绝缘中纸带间空气隙的分布对充气电缆比对充油电缆要重大得多。纸带间的间隙的分布规律是由纸带包在心线上时的搭叠值决定的。最好设法使间隙在幅向经过尽可能多的纸层而更替。这一问题在后面将较为详尽地加以分析。

其次也必须指出，电缆绝缘中的电离过程首先决定于心线表面的电场强度值，所以最好能确定心线半径、外加电压和电场强度 E_{\max} 和 E_{\min} 间的函数关系。

众所周知，心线表面的最大电场强度和铅皮附近的最小电场强度可按下面公式求取：

$$E_{\max} = \frac{U}{r \ln \frac{R}{r}}$$

$$E_{\min} = \frac{U}{R \ln \frac{R}{r}}$$

式中 U ——外加电压, r 和 R ——心线半径和绝缘上的半径。

从第一公式可得:

$$\ln \frac{R}{r} = \frac{U}{r \cdot E_{\max}}, \quad R = r e^{\frac{U}{r \cdot E_{\max}}}$$

将这些数值代入第二公式, 得所求的关系:

$$\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = e^{\frac{U}{r \cdot E_{\max}}}$$

心线截面 0.2 吋²、相间电压 132 千伏的上述结构的充气电缆的绝缘厚度是 0.65 吋。这种电缆的绝缘的 $\text{tg } \delta$ 值等于 0.0035—

0.004, 在电压 20 到 150 千伏的范围内与电压无关, 在 152 千伏电压下与温度的关系也很小。当温度从 20° 升高到 70°C 时, $\text{tg } \delta$ 从 0.0038 减小到 0.0025, 而当温度继续升高到 90°C 时, $\text{tg } \delta$ 增大到 0.0036。电缆样品在 200 磅/吋² 的压

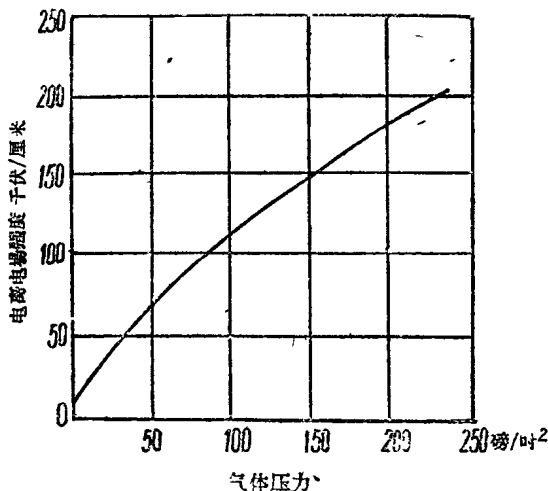


图 1-4. 充气电缆绝缘中的电离强度, 心线的截面为 0.25 吋², 绝缘厚度为 3.75 毫米; 纸厚为 0.063 毫米; 试验在 15°C 下的氮气中进行。

力下, 用 250 千伏的交流电压试验 15 分钟, 并用 264 千伏的直流电压试验 15 分钟。试验时电压加在心线与铅皮间。波为 1/50 微