

35千伏以下油浸紙絕 緣電力電纜的計算

夏德清編

科學技術出版社

內 容 提 要

本書主要介紹電纜的設計、工藝、試驗等各方面的計算。如結構尺寸方面有電纜的導線根數、充填系數及扇形截面等計算；工藝方面有扇形壓輪孔型設計、紙包節距選擇以及成纜、干燥、浸油、壓鉛、外護層等有關計算；機械性能方面有絞芯的拉斷力、鉛層的内應力、總裝鋼絲的單絲自扭以及拉斷力等計算。對電纜的電氣性能方面有導線電阻、絕緣電阻、電容、電感、電場強度以及介質損耗角等計算；電纜的熱計算方面則有安全載流量計算、溫升特性、短路電流等計算，此外對電纜的所用原材料重量計算，以及試驗時的应用公式和裝盤長度計算等，也均有介紹。書中并有例題詳解以說明公式用途及計算方法。

本書可供從事電纜設計、製造的技術人員应用，也可供基本建設方面以及電業部門從事電纜整股和教學的參考書。

35 千伏以下油浸紙絕緣

電力電纜的計算

編 者 夏 德 濟

*

科學技術出版社出版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 號

上海市印刷四廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·718

書本 850×1168 毫米 1/32·印張 6 1/4·字數 152,000

1958 年 7 月第 1 版

1958 年 7 月第 1 次印刷·印數 1—2,500

定價：(10) 1.10 元

前 言

几年来編者在电纜厂工作，感到电纜的設計和制造均有其特殊性，而計算电纜不仅繁杂且有其特殊意义，例如在电纜厂指导生产的往往不是大小图紙，而是一紙計算规范。产品的結構尺寸与材料的用量固然需要計算，就是工艺上所应用的数据如节距、搭牙等也均須在設計时确定。至于电纜的各項特性参数更为設計所必需的項目。因此本書目的旨在介紹电纜設計，工艺及試驗等各方面的計算，以供从事电纜設計制造者参考。

本書內容共分八章：(一)緒論；(二)結構尺寸計算；(三)工艺計算；(四)机械性能計算；(五)电气性能計算；(六)热計算；(七)單位長度用料計算；(八)試驗及其他。由于內容方面旨在介紹計算公式，故对电纜的性能和制造工艺等不作全面敘述。对介紹公式方面，为了使讀者更为明晰起見，尽量加以演証，并多举实例，以說明公式的应用。公式系根据电纜結構，由导綫而絕緣、而护层，自內向外按次序介紹。在結構尺寸計算里，除了介紹一般尺寸計算以外，編者認為赵允恭所著“电力电纜高度紧压綫芯的計算設計和制造工艺”一書，吸取了苏联先进經驗，并对節約有重大意义，故作了重点的介紹。工艺計算系针对电纜制造的特殊工艺，如节距的恰当选择、間隙的控制和計算等，均以能切实指导生产、实用为主。电纜的机械性能計算一章，主要对电纜在制造和使用过程中有关机械性能的計算，如电纜所能承受的拉断力，鉛层的极限內应力等，提供設計和敷設者应用。电气性能計算一章，就电纜各項电气参数的計算公式加以詳細介紹，为設計电纜所必需。热計算一章，

以環繞計算電纜的安全載流量為主，而對電纜的發熱特性及內部溫度分布也作了一番探討，不但對電纜設計者有用，而對使用產品部門也有參考價值。單位長度用料計算，對工廠備料有實際意義，所取常數均系蘇聯工廠的經驗數據，并經國內工廠加以考驗認為合理可用的。最后一章試驗及其他，對各項試驗方法，如電阻、 $\tan \delta$ 等測量用電橋的基本原理的公式，作為本章的主要內容。此外對木盤裝盤量的計算等也搜集在本章中。

由於編者限于水平，在內容方面不免有挂一漏萬之虞，誤謬之處在所難免，尚希國內專家們多加指教補充為感。

編 者 一九五七年九月

目 录

前言

第一章 緒論..... 1

- | | |
|-------------------|---------------|
| § 1 電纜的型号、名称及应用范围 | § 4 電纜的制造过程 |
| § 2 電纜的結構及制造范围 | § 5 電纜的主要性能要求 |
| § 3 電纜的敷設条件 | |

第二章 電纜的結構尺寸計算.....14

- | | |
|----------|---------|
| § 1 導綫部分 | § 4 鉛层 |
| § 2 絕緣部分 | § 5 外护层 |
| § 3 成纜 | |

第三章 電纜的工藝計算.....40

- | | |
|-----------|-----------|
| § 1 導綫部分 | § 4 干燥及浸油 |
| § 2 紙絕緣部分 | § 5 压鉛 |
| § 3 成纜 | § 6 外护层 |

第四章 電纜的机械性能計算.....70

- | | |
|----------|----------|
| § 1 導綫部分 | § 3 鉛层 |
| § 2 絕緣部分 | § 4 鍍裝部分 |

第五章 電纜的电气性能計算.....83

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| § 1 導綫电阻的計算 | § 6 電纜的自感系数、互感系数
及阻抗的計算 |
| § 2 絕緣电阻計算 | § 7 电場強度的計算 |
| § 3 电容的計算 | § 8 介質損耗 |
| § 4 電纜介質內各項介質常数
的計算 | § 9 電纜的击穿 |
| § 5 充电电流的計算 | § 10 電纜的寿命推算 |

第六章 電纜的热計算..... 128

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| § 1 電纜的热源 | § 6 周圍环境温度的校正系数 |
| § 2 電纜的热阻 | § 7 均匀導綫受热与冷却时的
瞬态状态 |
| § 3 電纜內任意一点溫度 T_x 的
求法 | § 8 过载和变載 |
| § 4 安全載流量計算 | § 9 短路电流 |
| § 5 敷設条件对電纜負荷的影响 | |

第七章 電纜單位長度用料計算.....	171
§ 1 銅或鋁導線重量	§ 9 麻料及油紙浸漬劑重量
§ 2 芯絕緣紙重量	§ 10 銅帶鍍裝重量
§ 3 填麻或填紙繩重量	§ 11 圓鋼絲重量
§ 4 包帶紙重量	§ 12 扁鋼絲重量
§ 5 絕緣浸漬劑重量	§ 13 麻被重量
§ 6 鉛的重量	§ 14 瀝青塗料重量
§ 7 油紙的重量	§ 15 白堊粉重量
§ 8 麻襯層重量	
第八章 試驗及其他.....	177
§ 1 導線電阻的測量	§ 5 電纜介質損耗的分析
§ 2 絕緣電阻的測量	§ 6 松香混合油密度的計算
§ 3 電容的測量	§ 7 電纜裝盤長度計算
§ 4 介質損耗角正切 $\lg \delta$ 的測量	
附录.....	189
参考文献.....	194

第一章 緒 論

§1 電纜的型号、名称及应用范围

我国目前制造的 35 千伏以下油浸紙絕緣电力电纜，主要是仿照苏联产品国家标准 ГОСТ 340-53 制造。因此一般也就采用了仿苏型号。

苏联产品型号的編制簡明易懂，例如銅芯导线的裸鉛包电纜用 CT 表示，因为 C 是俄文鉛的字首，而 T 是裸的字首，如为鉛芯导线的裸鉛包电纜，則用 ACT 来表示。倘使在字尾用 A，如 CA 型号，則表示鉛包层之外应塗一层瀝青。如 CB 則表示鋼帶鍍裝，CBT 为裸鋼帶鍍裝。以上仅是举几个例來說明型号所代表的意义，至于詳細的产品型号可参考表 1-1，它不但介紹了所有型号的大致結構，而且还扼要的介紹了各种产品的应用范围。

表 1-1 油浸紙絕緣电力电纜型号，名称及应用范围

型 号	名 称	应 用 范 围
CT ACT	裸鉛包电力电纜。	室內敷設用，裝設在溝道中管子內时对于电纜应沒有机械損伤，且对鉛有中性环境。
CTT ACIT	加強式裸鉛包电力电纜。	敷設在管子和集体溝道中。
CA ACA	鉛包塗瀝青电力电纜。	室內敷設用，裝設在溝道中管子內时对于电纜应沒有机械損伤，且对护层有中性的环境。

續

型 号	名 称	应 用 范 围
CB ACB	鉛包, 两层鋼帶鍍裝, 帶有電纜蔴 外护层電力電纜	敷設在地下, 能承受機械損傷, 但 不能承受很大的拉力。
CBΓ ACBΓ	鉛包, 两层鋼帶鍍裝, 外塗瀝青混 合物電力電纜。	同 上
CBB ACBB	同 CB, 但為干絕緣	作為垂直和傾斜地區的敷設用。
CBΓB ACBΓB	同 CBΓ, 但為干絕緣。	同 上
CK ACK	鉛包, 鍍鋅粗鋼絲鍍裝, 帶有電纜 蔴外护层電力電纜。	敷設在水中。
CKB ACKB	同上, 但為干絕緣。	同 上
CH ACH	鉛包, 鍍鋅扁鋼絲鍍裝, 帶有電纜 蔴外护层電力電纜。	同 CB, 但能承受拉力
CHB ACHB	同上, 但為干絕緣。	同 CBB, 但能承受拉力。
CHΓ ACHΓ	鉛包, 鍍鋅扁鋼絲鍍裝, 外塗瀝青 混合物電力電纜。	同 CBΓ, 但能承受拉力。
CHΓB ACHΓB	同上, 但為干絕緣。	同 CBΓB, 但能承受拉力。
OCB AOCE	三芯單獨絕緣分相鉛包, 两层鋼帶 鍍裝, 帶有電纜蔴外护层電力電 纜。	同 CB。
OCBΓ AOCEΓ	三芯單獨絕緣分相鉛包, 两层鋼帶 鍍裝, 外塗瀝青混合物電力電纜。	同 OCB。
OCBB AOCEBB OCBΓB AOCEBΓB	同 OCB 及 OCBΓ, 但為干絕緣	同 OCBB。

續

型 号	名 称	应 用 范 围
OCK AOCK	三芯單點絕緣分相鉛包、粗鋼絲纏裝，帶有電纜屏蔽外護層電力電纜。	同 CK。
OCKB AOCKB	同 OCK，但為干絕緣	同 CKB。

§ 2 電纜的結構及製造範圍

電纜的結構因型號、導線截面、芯數及電壓不同而有所不同。截面從 2.5 平方公厘至 800 平方公厘，共分十九級，芯數分單芯、二芯、三芯及四芯；電壓通常分 1、3、6、10、20 及 35 千伏六級。下面我們簡單地介紹一下電纜元件的主要結構。

(甲) 導線 導線分單線及絞線兩種，一般規定 16 平方公厘及以下為單根導線，25 平方公厘及以上由多根單線絞合組成絞線。以截面形狀分有圓形和扇形之別。以加工工藝分有緊壓和不緊壓兩種。通常圓形絞線是不緊壓的，適用於單芯電纜，而多芯電纜則為扇形導線，且必須緊壓。

導線所用材料有用銅的，但也有用鋁的。

(乙) 絕緣層 一般電纜的絕緣層是由多層紙帶繞包組成，內部並須充滿由松香和礦物油組成的粘性浸漬劑。絕緣層厚度視電壓而定，以保證必要的耐電強度，同時使導線表面的電場強度予以降低。

(丙) 內護層 內護層通常指鉛護層而言，不過最近也有鋁代替鉛作為護層的。鉛層直接包在絕緣層上，以保護絕緣層，避免與空氣或其他物體直接接觸。因此它必須包得緊密無縫，同時還必須保證一定的機械強度，以便能承受當電纜在敷設運用時的可能變形。

(丁) 外护层 外护层作用是防止電纜遭受外界机械損伤和化学腐蝕性。它由下列各层所組成：

(一) 油紙层——通常以二层預行浸漬过瀝青的紙帶直接繞包于鉛层上。

(二) 麻襯层——由多根麻繩成一层麻布帶，預先經過瀝青浸漬后，繞包在油紙层的外面。麻襯必須彼此排列紧密，它的作用主要是作为装铠的襯垫，以避免鋼帶刮伤鉛层。

(三) 铠装层——由二层鋼帶或一层鋼絲繞包組成，是外护层的主要部分。

(四) 麻被层——它的組成与麻襯层相同，作用是保护鋼帶銹蝕。

(五) 白垩粉——由滑石粉溶于水塗在電纜的最外面，以防止電纜彼此之間粘牢。这里还必须說明，在每层之間还要飽塗瀝青。图 1-1 及图 1-2 表示的二种不同結構電纜的截面图。图 1-1 系 CB 型電纜，它的結構特点是扇形導線，三芯組成電纜后再外包鉛护

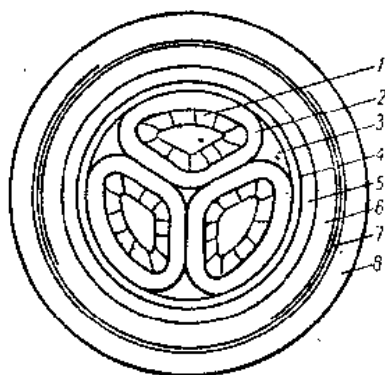


图 1-1 10 千伏及以下，包帶式油浸紙絕緣鉛包铠裝有麻护层電力電纜截面图。

1—导線；2—半导体紙；3—相絕緣；
4—半导体紙；5—鉛层；6—油紙；
7—填麻；8—鋼帶；9—麻襯；
10—鋼帶；11—麻被。

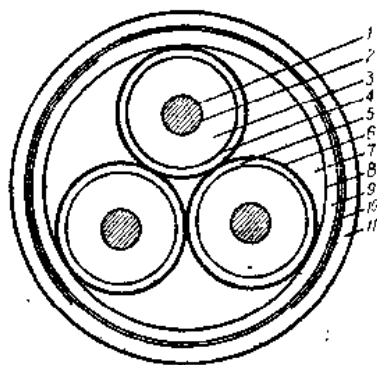


图 1-2 20~35 千伏，分相鉛包鋼帶絕緣電力電纜截面图。

1—导線；2—半导体紙；3—相絕緣；
4—半导体紙；5—鉛层；6—油紙；
7—填麻；8—鋼帶；9—麻襯；
10—鋼帶；11—麻被。

层,这种形式通常在 10 千伏及以下的電纜采用。图 1-2 系表示分相鉛包電纜,它的主要特点是每根圓形導綫經過絕緣后,分別包鉛层,然后組成電纜,这样可以避免与紙帶成切綫方向的電場强度,这种形式一般是 20 及 35 千伏級電纜采用。

至于電纜的生产范围可詳見表 1-2。

§ 3 電纜的敷設条件

根据苏联国家标准 ГОСТ 340-53 对产品的敷設,有以下几点規定:

(甲) 綫芯長期允許工作温度:

額定电压为 3 千伏及以下的電纜不超过	+80°C
額定电压为 6 千伏的電纜不超过	+65°C
額定电压为 10 千伏的電纜不超过	+60°C
額定电压为 20 及 35 千伏的電纜不超过	+50°C

(乙) 電纜在綫路上最高和最低两点之水平差(不用塞止式接头匣)应不超过:

額定电压为 1~3 千伏无鎧裝電纜	20 公尺
額定电压为 1~3 千伏鎧裝電纜	25 公尺
額定电压为 6~10 千伏鎧裝電纜	15 公尺
額定电压为 20~35 千伏鎧裝電纜	15 公尺
所有干絕緣電纜	100 公尺

(丙) 電纜在敷設时周围环境不低于 0°C 时,无須先行加热。

§ 4 電纜的制造过程

電纜的制造有着按工序連續性生产的特点,不象机器制造工厂可按图同时进行零件制造,最后总裝配。因此它必須按下列工序依次进行:

(甲) 導綫絞制及压型 絞綫必須在絞綫机上进行。通常絞

表 1-2 油浸紙絕緣電力電纜電壓、截面、芯數生產範圍表

型 号	芯 数	电 压 (千 · 伏)					
		1	3	6	10	20	35
截 面 范 围 (平 方 公 厘)							
CT, CA	1	2.5~800	6~625	10~500	16~500	25~400	70~300
CB, CBT	1	4~800	6~625	10~500	16~500		
CH, CHT	1	50~800	35~625				
CEB, CEBT	1	4~500	6~500	10~95	16~95		
CHB, CHBT	1	50~500	35~500	35~95	35~95		
CT, CA, CB, CBT	2	2.5~150					
CH, CHT	2	25~150					
CEB, CEBT	2	4~120					
CHB, CHBT	2	25~120					
CT, CA, CB, CBT	3	2.5~240	4~240	10~240	16~240		
CHT	3	2.5~185	4~185	10~185	16~185		

СЛ, СЛГ, СК	3	25~240	25~240	16~240	16~240	
ОСВ, ОСВГ	3				25~135	70~150
ОСК	3				25~135	70~120
СВВ, СВГВ, СЛВ, СЛГВ	3	4~150	6~150	16~120		
СКВ	3	25~150	25~150	16~120		
ОСВВ, ОСВГВ, ОСЛВ, ОСЛГВ, ОСКВ	3			16~95	25~95	
ОГ, СА, СВ, СВГ	4	4~185				
СЛ, СЛГ	4	16~185				
СВВ, СВГВ	4	4~120				
СЛВ, СЛГВ	4	16~120				
СК, СКВ	4	25~120				

注：鋁芯電纜的生產範圍和相應的鋼芯電纜一致。

綫机分为两种綫制形式, 如图 1-3a 所示为退扭式 (又名浮动綫盤式), 适用于綫制圓形綫

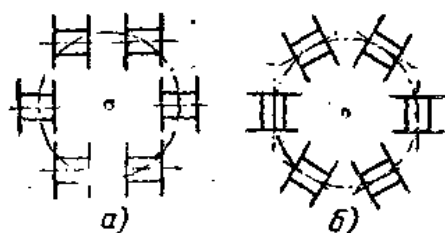


图 1-3 綫芯綫制方式

(a) 退扭式; (b) 不退扭式

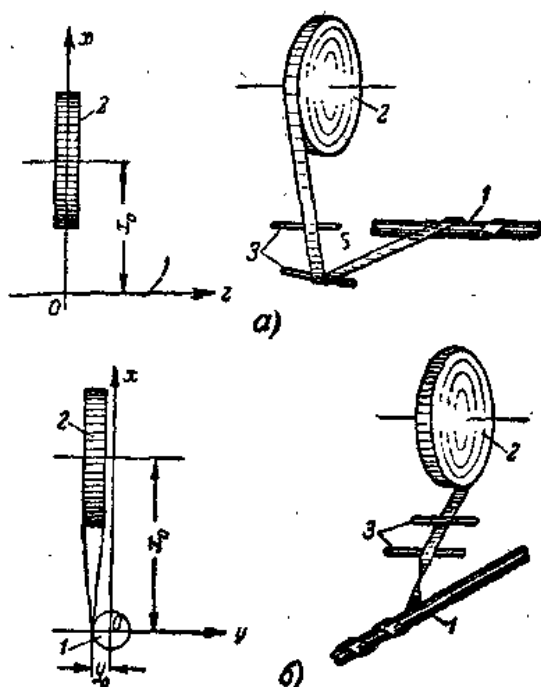
式, 适用于綫制圓形綫; 图 1-3 b 为不退扭式 (又名固定綫盤式), 主要是用于綫合扇形絕緣綫芯。綫芯的扇形截面主要依靠数副具有扇形孔型的压輪压制而成, 一般压輪

单独安裝在綫綫机的后面, 是綫綫机的一个独立部件。

(乙) 紙包 紙包在紙包机上进行, 紙包机的主要部分为紙包头 (图 1-4), 紙帶就裝在上面。繞包的方式有下列数种:

(一) 平面式图 (1-4 a);

(二) 切綫式图 (1-4 b);



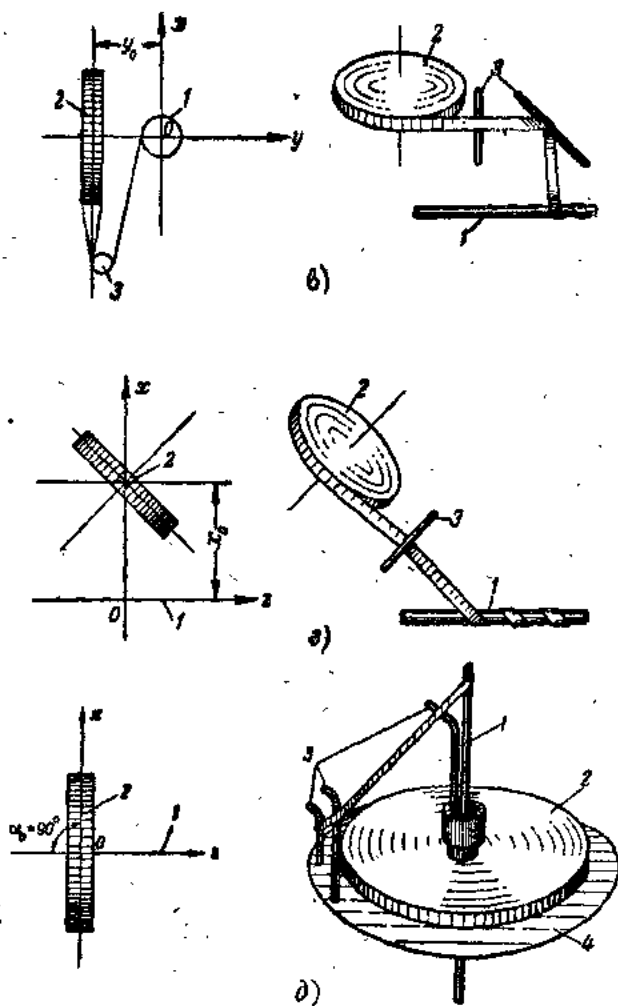


图 1-4 紙帶繞包方式

(a) 平面式；(b) 切綫式；(c) 半切綫式；(d) 普通式；(e) 同心式。

1—綫芯；2—紙帶盤；3—導杆。

(三) 半切綫式图 (1-4 c)；

(四) 普通式图 (1-4 d)；

(五) 同心式图 (1-4 e)。

通常应用以切綫式的繞包方式較好,故 35 千伏級的電纜均用此种方式的紙包头进行繞包。至于平面式性能也很好,它的优点是速度快、包得紧。目前先进的制造方法是將綫綫、压型和紙包联合在一起,可以提高产品质量,消除廢品。

(丙) 成纜和包帶 成纜的作用是将数相已經紙包好的單独綫芯加以絞合成纜。成纜机式样与絞綫机相仿,不过体积稍大而已。包帶的作用一方面使成纜后的綫芯不致再行松开,此外还增强了導綫与鉛层之間的耐电强度。

(丁) 干燥浸漬 干燥浸漬的作用是去除絕緣紙內水分,并以浸漬剂充填在絕緣层內各部分。本工序在浸漬缸内进行(图 1-5)。首先用蒸汽或以电流通过導綫使電纜加热,同时以真空泵抽去缸內所蒸发的水分,在达到一定程度的真空度后,即以混和好的浸漬剂流入缸內,并加压力使油能滲入電纜絕緣层內部。

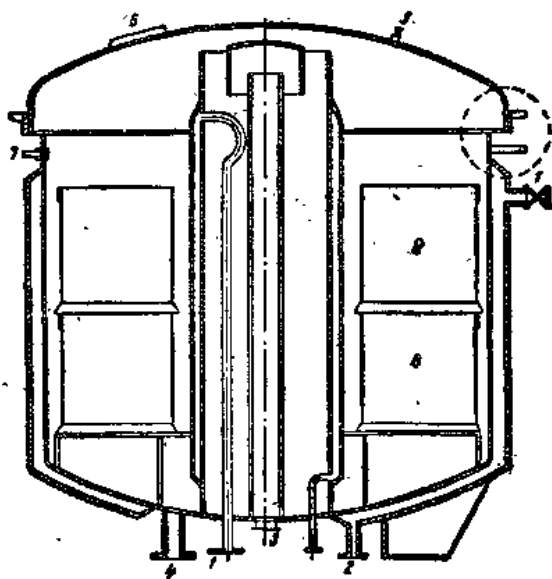


图 1-5 真空干燥浸漬缸

1—蒸汽入口; 2—冷却水出口; 3—真空管; 4—油料入口; 5—空气阀; 6—窥孔; 7—电綫接头; 8—裝有電纜的托盤。

(戊) 压鉛 電纜綫芯浸漬完畢必須立即压鉛，以免空气中水分侵入電纜絕緣層內。压鉛系在压鉛机上进行(图1-6)。压鉛时鉛錠必須先行熔化，然后傾注在盛鉛筒內。当压芯自上而下压下时，鉛液被压入模座內，并且通过模芯和模盖，在電纜的絕緣綫芯上形成一个护套管。

(己) 裝鎧 裝鎧分鋼帶和鋼絲两种，前者設備类似紙包头，后者則与絞綫机相同。裝鎧完畢的電纜被复繞在木盤上进行各項試驗，合格后即可出厂使用。

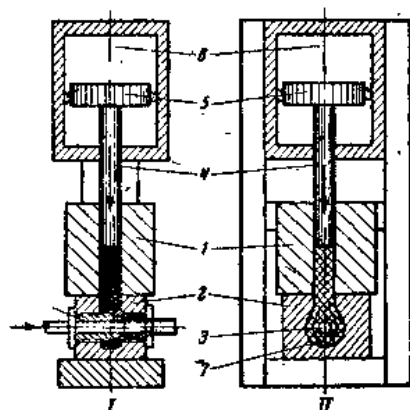


图 1-6 立式压鉛机

1—盛鉛筒；2—模座；3—模芯；
4—压芯；5—活套；6—液壓缸；
7—鉛管形成所在

§ 5. 電纜的主要性能要求

電纜由于具有連續性生产的特点，因此在生产过程中的某些缺点是不容易在完成成品后发现的，同时更由于敷設電纜工程艰巨，而一旦電纜发生故障后影响又非常之大，因此電纜制造工厂对電纜的制造，除了在生产过程中加强中間控制以外，还必须对成品按照規定标准作严格的出厂檢驗。以下介紹其中主要的試驗項目：

(甲) 導綫电阻 按照苏联国家标准規定，成品導綫电阻的測量結果，折算至截面 1 平方公厘，長度 1 公尺及溫度为 $+20^{\circ}\text{C}$ 时，銅綫芯須不超过 0.0184 欧姆；鋁綫芯为 0.031 欧姆。

根据电阻測量的結果，可以发现導綫截面是否符合規定；綫徑是否在制造过程中拉細；綫的材料是否优良以及單根導綫是否断裂等現象。測量導綫电阻須以整根電纜放在惠斯登电桥上进行。