

高等學校教學用書

電力網及電力系統

上 冊

蘇聯 阿·阿·格拉祖諾夫著

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書論述了電力網的結構，包括線路力學部分的電力網和電力系統的理論及各種主要電力網結線圖。書中對於地方電力網、區域電力網及輸電線路作了一般的討論，並敘述遠距離輸電和電力系統中電能損耗降低問題。

書中的理論部分都用數字例題加以說明。

本書可作為電工和動力院系的教材，並可供電力網及電力系統的工程師參考。

* *

*

電力網及電力系統

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

上 冊

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)
1954年莫斯科俄文修訂第三版翻譯

蘇聯A. A. ГЛАЗУНОВ著

張 鍾 俊譯

燃料工業出版社出版

社址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版營業證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：廖美璧 校對：周金英

書號 431 電188

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 11 1/2 印張 * 315千字 * 定價一元八角五分

一九五五年六月北京第一版第一次印刷(1—5,100冊)

第一版序言

以前在蘇聯的高等動力學校以及現在的一些高等動力學校中，「電力網及電力系統」一課的結構，實質上是分成四個單獨課程來進行的，即分成：1)地方電力網，2)輸電線路，3)電力系統，4)架空線路的力學部分四編來進行的。

課程第一編材料的主要部分，通常詳細地討論公用電力網。由電纜敷設的20—35千伏地方電力網，則故意地放在第二和第三編中。必須注意，電纜線路和電壓超過10千伏電力網的問題，時常因此而在電力網課程中完全沒有講到。

課程的第二編討論高電壓電能的遠距離輸送。討論的重心為一端具有負荷的線路。

在電力網理論部分課程的第三編中，主要地包括動力系統閉式電力網的計算，這實質上重複了地方電力網的計算部分。

課程的第四編可以認為完全獨立的，而事實上也與前面三編並無聯系。

這種課程結構，是重工業人民委員會教育局從前的教學大綱中所規定的，雖然從電力網和電力系統發展史的觀點來看是正確的，但從蘇聯電氣化的現代發展的觀點來看，則認為是完全不正確的。

在以前採用的理論課程「電力網及電力系統」的結構中，主要的缺點如下：

1. 課程各編當做獨立的課程來依次敘述，因而削弱了各編間的聯系。學過了整個電力網理論課程的學生，幾乎還沒有感覺到，在課程各編中所學過的理論是電力網的統一理論，而課程某一編中的大部分論據，對任意種的電力網是具有公共性的，並且是完全可用的。

2. 在課程的第一編中必須敘述有關地方電力網的全部材料，

這致使這編中的某些部分，對某些問題作了理論上不正確的闡明。

3. 各種電力網的運行情況必須分別加以闡明，這致使同一的原理和實用論據須在每編中重複敘述。這些重複的地方是很多的，因而花費了許多的時間。

4. 在課程的各編中必須說明一系列的相同問題，這致使學生一方面感到這些問題雞零狗碎，而另一方面則不能完全領會這些問題的概念。

5. 這課程從前採用的結構，實質上並不是按電力網的各種型式來進行講授，而是按電力網計算方法所決定的各編來進行講授。這是不以電力網理論的合理發展為基礎的不自然的課程結構。

這課程從前結構的上述缺點以及某些這裏還沒有列出的缺點，證明課程的這種結構是不合適的。簡直可以說，這種結構竟不完善到這樣的地步，以致該課程在高等學校裏不易講授，而學生則在學過了「電力網及電力系統」一課後，所具有的知識比他能夠得到的要少得多。並且，這些知識還是無系統的。祇有那些額外做過許多獨立工作的學生，才可能獲得電力網完整理論的系統知識。在進行工作時，他必須重新閱讀課程第一編中敘述的論據的一部分，而這些論據是以後面各編中理論概念為基礎的；俟後他還須校正某些理論論據，並根據這些論據來分析課程的這一編。

在1938年修訂高等動力學校的教學計劃和教學大綱時，採用了本書著者對這一課程建議的另一結構。高等動力學校的全部學生，須學習電力網及電力系統的普通課程，而祇有選定了電力網及電力系統作為畢業設計論文的學生，則再學習一個特別課程。普通課程中所敘述的是電力網及電力系統的一般理論，而在特別課程中則敘述電力網及電力系統運行以及各種電力網計算的特點。為了節省篇幅起見，這裏不再論述電力網及電力系統課程的合理結構。讀者如對這問題感到興趣，可參閱本書著者在設於

莫斯科動力學院的重工業人民委員會教育局科學教學法室印出的〔電力網及電力系統〕課程的組織及教學法)。

本書祇包括電力網及電力系統普通課程的內容，而其中的前面部分則敘述有關電力網及電力系統電的特性和參數的問題。在另一本書中將敘述建築電力網和架空電力線路機械部分的問題。

本書材料的敘述，是以電力網理論的合理發展為次序的，但對學生所需各種電力網設計和運行的基本知識，也加以適當的照顧。當高等動力學校學生進行他們必修的〔電力網設計〕課程時，將對上述的設計和運行的基本知識，更加深入地鑽研，所學的內容也將增加。

著者並不認為本書可以滿足對高等學校教本應該提出的所有高度的要求。主要的理由是著者用來編寫這一教本的時間不夠。可不要忘記，由於採用了新穎的課程結構，著者的工作是非常困難的。

工學博士 阿·阿·格拉祖諾夫教授

1939年5月，莫斯科

第三版序言

榮膺列寧勳章的莫斯科動力學院以及蘇聯其他高等學校的教學經驗，證實了著者建議組織電力網及電力系統普通課程的正確性。這樣一門包括理論（包括線路的機械部分）、各種電力網結構以及一系列電力系統問題的綜合課程，可使學生更易於了解和掌握他們從講授中得到的概念。

繼續進行本課程教學法的研究，已經十分成功地把地方電力網和區域電力網的理論與電力輸送的理論結合在一起。地方電力網可以當做區域電力網和電力系統的特例，祇須略去其中導納的影響。這種教學法可使學生得到電力網及電力系統一個統一的理論，精簡教材的篇幅，並同時提高學生們的理論水平。

蘇聯部長會議和第十九次黨代表大會關於建築古比雪夫和斯大林格勒水力發電廠並把輸電線路架設到莫斯科以及關於開始建築其他一系列的大型水力發電廠的歷史性的決議，需要在課程中加強遠距離電力輸送的部分。在本書中已增加了新的「遠距離輸電」一章，其中敘述了高電壓交流和高電壓直流遠距離輸電的基本理論。在莫斯科動力學院內，這些問題的詳盡研究是在「電力系統」和「直流輸電」這兩門專業課程中進行的。前一課程是在「電力網及電力系統」專門化中講授的，而後一課程則是為電力系的全體學生開設的。

降低電力系統中功率和電能損耗，在蘇聯已一年比一年佔據着更加重要的位置。因之，在這課程中和本書中，增加了「電力系統中電能損耗的降低」一章，以便敘述這一問題的基本原理並補足了過去的不足。在用戶處採用措施來降低電能損耗以及與發電廠間功率分配有關的電能損耗降低，並不在本書中加以討論。莫斯科動力學院四年來在本課程以及畢業論文設計和課程設計中，列入了電能損耗降低的問題的教學經驗，不但證明了它的恰當

性，並且也證明了這種辦法的必要性。

因為電力系統中頻率的調整是在「發電廠和變電所的電氣部分」和「電力系統自動化」兩個課程中講授的，而它的講授時間則列在「電力網及電力系統」課程之後，所以在本書中亦編入了這一問題的基本概念。沒有電力系統頻率調整的概念，就不可能了解發電廠嚴格地按規定的負荷曲線的運行，即不可能按各個發電廠的計算用負荷等作電力系統的分析。

在地方電力網中，最大負荷使用時間不斷地在增加，因而在本書中增加一節討論電流密度恒定時按電壓損耗作地方電力網的計算。

在閉式電力網計算的一章中，補充了幾個工程上應用的計算方法，以便在許多情形中簡化閉式電力網的計算。

本書大部分章節的內容，已經過大量的修訂。

書中材料敘述的次序，也有些改變。以電力系統中功率損耗和能量損耗問題的討論來開始課程的理論部分，可使這課程的結構更其正確和合理。這樣改編了之後，像選擇區域性線路導線截面這一類的講授，就不會引起任何困難。

阿·阿·格拉祖諾夫副教授也參與本書的修訂工作，他收集和準備第十二章中的資料，參加第十一章的修訂工作，編寫和計算新的例題，整理手稿以及進行全書的校對工作。

對於本書的一切意見，作者均樂於接受，並盡可能地在修訂下一版時採納。

工學博士 阿·阿·格拉祖諾夫教授

1953年11月 莫斯科

目 錄

第一版序言

第三版序言

引 言

§1. 電力網及電力系統發展簡史	10
§2. 高壓和低壓電工裝置	15
§3. 電力網的電壓	17
§4. 電力網結線圖的基本概念	21
§5. 電力網計算	24

第一編 電力網結構

第一章 電力網導線	23
§1-1. 概述	23
§1-2. 導線的材料	27
§1-3. 裸線的構造	29
第二章 架空線路的結構	32
§2-1. 概述	32
§2-2. 架空線路導線的工作情況	33
§2-3. 防止導線振動的方法	37
§2-4. 架空線路電桿的型式	38
§2-5. 電桿上導線和架空地線的位置	44
§2-6. 架空線路中的木桿	47
§2-7. 架空線路中的鐵塔	52
§2-8. 架空線路中的鋼筋混凝土桿	56
§2-9. 架空線路用的金具	56
第三章 戶內電力網和電纜電力網的結構	62
§3-1. 概述	62
§3-2. 在穿心絕緣子和立式絕緣子上敷設絕緣導線	63
§3-3. 在管中敷設絕緣導線	66
§3-4. 電纜線路的敷設	67

§3-5. 電纜接頭匣	70
§3-6. 電力網特殊的敷設方法	73

第二編 電力網計算

第四章 電力網元件的阻抗和導納	76
§4-1. 由具有有色金屬芯線導線敷設的架空線路和電纜線路的阻抗	76
§4-2. 電力網線路的電導	81
§4-3. 電力網線路的電納	84
§4-4. 鋼線的阻抗及導納	86
§4-5. 變壓器的阻抗及導納	89
第五章 電力系統中的功率損耗和電能損耗	94
§5-1. 概述	94
§5-2. 電力網線路中的功率損耗	95
§5-3. 具有均勻分佈負荷線路中的功率損耗	97
§5-4. 電力網線路中的電能損耗	98
§5-5. 最大功率損耗時間	101
§5-6. 變壓器中的功率損耗和電能損耗	104
§5-7. 電力網的運行費用	108
§5-8. 按電能損耗選擇導線和電纜芯線的截面	111
§5-9. 在接有幾個負荷的架空線路和電纜線路中導線及芯線截面的選擇	115
§5-10. 電力網的計算用負荷和發電廠的計算用容量	118
第六章 導線和電纜的發熱	121
§6-1. 概述	121
§6-2. 在持續電流作用下裸線的發熱	122
§6-3. 在持續電流作用下絕緣導線的發熱	125
§6-4. 在持續電流作用下電纜的發熱	123
§6-5. 在短促斷續負荷作用下導線和電纜的發熱	123
§6-6. 短路時導線和電纜的發熱	130
§6-7. 電力網中的熔斷器	131
§6-8. 導線和電纜芯線截面的選擇	135
第七章 閉式區域電力網中的電壓損耗	144

§7-1. 概述	144
§7-2. 輸電線路的基本方程	147
§7-3. 等效網絡的變換	152
§7-4. 按負荷電流作線路計算	154
§7-5. 按負荷功率作線路計算	160
§7-6. 輸電線路的圓圖	167
§7-7. 線路運行情況的分析	171
§7-8. 電壓損耗的近似計算法	176
§7-9. 具有兩級電壓的電力網的計算	181
§7-10. 變壓器分接頭的選擇	185
§7-11. 直流線路的計算	199
§7-12. 區域電力網中電壓損耗與導線截面的關係	200
第八章 遠距離輸電	202
§8-1. 概述	202
§8-2. 功率輸送特性	203
§8-3. 系統靜態穩定概述	205
§8-4. 系統動態穩定概述	206
§8-5. 輸電線路的自然功率	208
§8-6. 交流遠距離輸電	209
§8-7. 在 $\lambda/4$ 波長及 $\lambda/2$ 波長線路上的輸電情況	215
§8-8. 交流輸電線路的補償	217
§8-9. 古比雪夫-莫斯科輸電系統	219
§8-10. 第一個高壓直流輸電系統	224
§8-11. 高電壓直流輸電系統	226
§8-12. 高電壓交流遠距離輸電和直流遠距離輸電的比較	228
第九章 開式地方電力網中的電壓損耗	232
§9-1. 概述	232
§9-2. 地方電力網的線路計算	232
§9-3. 地方電力網計算特例	237
§9-4. 具有均勻分佈負荷線路上的電壓損耗	242
§9-5. 具有支線的開式電力網	243
§9-6. 按容許電壓損耗決定導線的截面	245
§9-7. 按最少金屬使用量決定導線的截面	249

§9-8. 按恒定電流密度決定導線的截面	254
§9-9. 按各種方法設計的電力網的應用場所	257
第十章、閉式電力網計算	231
§10-1. 概述	231
§10-2. 兩端供電線路中的功率分佈	233
§10-3. 供電點電壓不同的兩端供電線路	237
§10-4. 兩端供電線路的特例	238
§10-5. 計及功率損耗時電力網中的功率分佈	270
§10-6. 閉式電力網中的電壓損耗	271
§10-7. 兩端供電線路中導線截面的決定	276
§10-8. 網絡變換法的理論根據	234
§10-9. 網絡變換法	234
§10-10. 迴路方程法	306
§10-11. 重疊法	314
§10-12. 逐漸接近法	317
§10-13. 網絡拆開法	321
§10-14. 含有變壓器的閉式電力網	323
§10-15. 電力系統的模擬	323
§10-16. 閉式電力網中導線截面的決定	325
附 錄	332

引 言

§ 1. 電力網及電力系統發展簡史

初期的電力網及電力系統是用直流電工作的。這些裝置的電壓約為 100 伏，這是由於不能製造電壓更高的白熾電燈的緣故。對發電廠和電力網的建造和運行，這樣低的電壓要引起很大的困難，並且費用龐大。每一個發電廠祇能在很小的區域內供電。俟後電壓增加到 200 伏並採用了 400 伏三線制的電力網，但它們對擴大發電廠供電範圍的作用，影響並不大。發電廠仍舊祇能供電給個別的住宅或隣近發電廠的少數市街。

俄國工程師弗·阿·庇羅茨基的工作，對電能輸送理論和實踐的發展具有重大的意義。他於 1874 年在彼得堡的狼場上，實現了 1 公里距離的電能輸送。他於 1876 年又在沿海鐵路的路軌上進行電能輸送的試驗。這些試驗於 1880 年由電流推動了電車而勝利地獲得成功。在這試驗中，一條鐵軌作為出線，而另一條鐵軌則作為回線，並在車廂內裝置了一台由電流驅動的電動機。

庇羅茨基於 1879 年在 [工程雜誌] 上發表了一篇論文。在這一論文中，他比較了火力發電廠和水力發電廠電能的生產價格。他有遠見地主張，電能不但可以用來照明，而且也可以用來驅動機器和工具。他第一次指出了在那伐河上建築水力發電廠的合理性。

得·阿·拉企諾夫於 1880 年在俄國 [電] 雜誌上發表的論文 [電氣機械的功能]，對電能輸送理論的發展具有非常重大的意義。在這一論文中，他得出了下列的結論：[上面的公式指出，有用的作用與電阻無關，因而可以把功能輸送到很遠的距離外而不致在經濟上蒙受不利]。在這一論文中，拉企諾夫證明了並建立了一個定律——當輸電距離增大時，必須提高電氣設備的電壓。這定律正是電能輸送全部現代理論的基礎。

僅在 15 個月以後，馬爾賽-傑普烈在巴黎舉行的第一次世界電工會議上報告的論文中，重複地申述了得·阿·拉企諾夫的論據。

在 1882 年，馬爾賽-傑普烈應用一台 3 馬力容量的發電機，完成了距離 57 公里、電壓為 1500—2000 伏的直流輸電。

祇有在恩·恩·雅勃洛奇柯夫發明了變壓器之後，遠距離的電能輸送才實際上成為可能。變壓器可以提高輸電電壓並在受電器處把電壓降低到需要的數值，並不致耗損大量的電能。

天才的俄國科學家和工程師 麥·奧·杜利伏-杜布羅伏里斯基，在實現了世界上第一次的三相交流電能的輸送後，奠定了現代電力系統工程上和科學上的基礎。他於 1891 年在臘芬建造了一個具有 300 馬力水輪機和 230 仟伏安、95 伏三相交流發電機的水力發電廠。發電機輸出的電流，經過一個聯接到三相架空輸電線的 95/15200 伏昇壓變壓器，被送到 175 公里外馬恩河上法蘭克福城的展覽會中。線路上懸掛的銅線的直徑為 4 公厘。在展覽會中，建造着兩座把電壓降低至 112 伏的降壓變電所，由一座變電所供電給白熾電燈，而由另一座變電所供電給一台 100 馬力的三相感應電動機。

輸電線路的工作電壓為 15 仟伏，但在展覽會閉幕後又進行了把輸電電壓提高到 25—30 仟伏的試驗。

杜利伏-杜布羅伏里斯基創造並運用了世界上首次出現的三相交流發電機、三相交流電動機和三相變壓器。他首先指出了交流電的所有優點以及實現經濟上合理的和可靠的遠距離電能輸送的可能性。杜利伏-杜布羅伏里斯基的這一工作，使直流電的設備停止製造，並逐漸將運行中的直流電設備改裝成交流電設備。

在杜利伏-杜布羅伏里斯基生命最後階段的 1918 年，他帶着他常有的直覺指出，把大的電功率作遠距離的輸送，不應利用交流電來實現而應利用直流電來實現。而高電壓的直流電則應利用整流器而不應利用直流發電機來得到。我們天才的科學家的這些論據，正是遠距離電能輸送現代理論的基礎。

帝俄時代的電力基礎的水平是很低的。俄國 1913 年中電能的生產量，僅佔全世界的第 15 位。

在 1902 年建築的巴庫發電設備中，電能的輸送和分配用 20 仟伏的電壓。在 1911 年，皇村是歐洲第一個完全用電能作為照明之用的城市。

在 1914 年俄國建築了一條長 70 公里、電壓為 70 仟伏的輸電線路，把電能從一個利用泥煤為燃料的發電廠輸送到莫斯科。這一條輸電線路是由著名的工程師克拉松所建築的（他是杜利伏-杜布羅伏里斯基在建築臘芬-法蘭克福輸電線路時的助手）。

應當認為蘇聯的電氣化的時期，是在偉大的十月社會主義革命之後才開始的。

按照列寧的指示，全蘇中央執行委員會於 1920 年 2 月 7 日組織了委員會來編製全俄國家電氣化計劃。在同年的 12 月，這計劃在第八次蘇維埃全國代表大會中批准通過。斯大林同志立即對該計劃給予極高的評價，在他給列寧的信中，他寫道：這計劃是「巧妙地描繪了不加引號的真正統一的和真正國家的經濟計劃」。

關於全俄國家電氣化計劃全國性和政治性的重大意義，可以用列寧的一句名言「共產主義——這就是蘇維埃政權加上全國電氣化」很明顯地表達出來。

按照全俄國家電氣化計劃，將在 10—15 年期間建築 30 個發電廠，它們的總容量為 1750 兆瓦。全俄國家電氣化計劃，已在 1931 年完成。

在 1922 年，喀什爾地區的發電廠以及俄國首次出現的 110 仟伏輸電線路，開始投入運行。以後 110 仟伏輸電線路的建築，便飛躍地展開。

在幾個五年計劃年代中，蘇聯的電氣化獲得了龐大的發展。在 1932 年，歐洲最大的第聶伯水力發電廠開始投入運行。這一發電廠的電能是用 154 仟伏的電壓輸出的。

在 1933 年，斯維爾斯克水力發電廠投入運行，用 220 仟伏的電壓把電能輸出。侯後又在斯大林諾高爾基區域發電廠、烏格里

基斯基水力發電廠、施契爾巴科夫斯基水力發電廠以及其他的發電廠建築了 220 仟伏的輸電線路。

必須注意，黨和政府英明的政策，在建築發電廠的時期，同時保證了祖國動力工業和電工工業的發展。與帝俄時代相反，在現在蘇聯發電廠與電力網的所有設備上，都標上了出產近代第一流設備的蘇聯廠名。

在偉大的衛國戰爭的前夕，蘇聯的電力網已經擁有數萬公里的高壓線路。法西斯侵略者破壞了許多發電廠和電力網。由於蘇聯人民英雄式的努力，所有破壞的設備已在 1951 年初全部修復。

在第十九次黨代表大會上批准的關於蘇聯發展第五個五年計劃(1951—1955年)的指示中寫着：「在五年期間，發電廠的整個容量要增加到約兩倍，而水力發電廠的容量則增加到三倍，特別在火力發電廠方面，首先須保證擴大現有的企業。許多大型的水力發電廠要開始投入運行，其中包括發電容量為 210 萬瓩的古比雪夫水力發電廠和總發電容量為 191.6 萬瓩的卡馬、高爾基、明基卡烏爾、烏斯特-卡曼諾戈爾斯卡亞及其他的水力發電廠。建成和使用古比雪夫-莫斯科輸電線路。

展開斯大林格勒、卡霍夫卡和新西伯利亞水力發電廠的建設工作，開始建築新的大型水力發電廠：伏爾加河上契鮑克薩利水力發電廠、卡馬河上的沃特金斯克水力發電廠、伊爾提斯河上的布克塔馬水力發電廠等。

開始進行開發安加拉河動力資源的工作，以便在利用廉價電力和當地原料的基礎上，發展鍊鋁、化工、採礦和其他的工業。

在最近四年中，蘇聯發電廠的容量增加了 1100 萬瓩，蘇聯在 1953 年多生產了 1330 億瓩小時的電能。

下列的大型水力發電廠已在 1953 年投入運行：伊爾提斯河上的烏斯特-卡曼諾戈爾斯卡亞水力發電廠，古摩斯克水力發電廠，明基卡烏爾水力發電廠前期工程。在蘇聯發電廠的總容量上，祇這一年就增加了 280 萬瓩，即等於按全俄國家電氣化計劃十年中所完成的 1.6 倍。

第十九次黨代表大會對發展動力的重視，說明了動力對祖國國民經濟發展的重大意義。電能是生產資料最重要部分之一。生產資料發展的意義，已經很明顯地在斯大林同志的著作「蘇聯社會主義經濟問題」中指出：「顯而易見，如果追隨着這些同志的脚步走去，那末我們就不得不把生產資料生產的首要地位讓給消費資料的生產。然而，放棄生產資料生產的首要地位，又是什麼意思呢？這就是說，消滅我國國民經濟不斷增長的可能性，因為如果不同時實現生產資料生產的首要地位，就不可能造成國民經濟不斷的增長」①。

列寧的公式：「共產主義——這就是蘇維埃政權加上全國電氣化」強調了動力對蘇聯的特別意義。

容量 210 萬瓩的古比雪夫水力發電廠，每年平均生產 100 億瓩小時的電能，其中有 61 億瓩小時須輸送到莫斯科。容量 170 萬瓩的斯大林格勒水力發電廠，也每年平均生產 100 億瓩小時的電能，其中有 40 億瓩小時將輸送到莫斯科。伏爾加河上的水力發電廠是全世界最大的水力發電廠。

必須把 120 萬瓩的功率由古比雪夫水力發電廠輸送 900 公里左右。這一發電廠的電能是用 400 仟伏超高壓的三相交流電送出的。400 仟伏電壓的應用，表明蘇聯已過渡到新的更高的技術水平，因為對這一電壓，電機、電器和輸電線路在許多情形中須根據新的原理來製造。這種新的設備的結構、製造和熟練，需要做很多的科學技術研究工作，在設計機構、製造廠、科學院和高等學校中，現在正在廣泛地進行這種研究工作。

蘇聯近年來已進行了大量的高電壓直流輸電的研究工作。在把大功率的電能輸送到很遠地點的情形中，直流輸電要比交流輸電具有很大的優點。第十九次黨代表大會關於建築遙遠的大型水力發電廠的決議，使蘇聯的工程師和科學工作者們，有義務完全結束某些問題的未做完的工作，而致力於實現工業上的大功率的

① 斯大林著「蘇聯社會主義經濟問題」，俄文版第24頁，人民出版社中文譯本第21頁。

高電壓直流輸電的研究工作。在蘇聯已經進行的這些研究工作，使我們相信，在不久的將來就可能出現運行可靠的這種設備。

最後指出，蘇聯工程師和科學家們，對電力網和電力系統的建築及運行理論的發展，起着非常重大的作用。他們創立了他們自己的科學學派，創製了新穎的結構，並製定了電力系統獨創的建築、修理和運行方法。

§ 2. 高壓和低壓電工裝置

人體的組織對電流是非常敏感的，如果有 0.1 安的電流通過人體，通常就會引起死亡。0.05 安以上的電流，是會危害生命的，祇有 0.03—0.04 安的電流，才可認為是沒有危險性的。通過人體的電流值與接觸到的電壓、人體的電阻以及與人體串聯在一起的阻抗有關。人體的電阻與很多情況有關，因而變化很大；在一般情況中，它等於 800—1600 歐。

為了避免發生不幸的人身事故，在電工裝置中須採用特種措施來保障其中工作人員的安全。所有電工裝置可以從安全的觀點，區分為低壓裝置和高壓裝置兩種。凡用戶處任一導線和地間的工作電壓不超過 250 伏的，稱為低壓電工裝置。所有其他一切電工裝置，則稱為高壓裝置。因為立在地上的人們接觸到電工裝置的一根導線的機遇，比同時接觸到兩根導線的機遇多些，所以上面祇規定了導線和地間的電壓。

低壓裝置在日常條件下的維護和使用，可以應用比較簡單的方法來保障安全。

在高壓裝置中，必須採用特殊的措施來保障工作人員的安全；但如果讓沒有受到特種電工訓練的人員來操作，還是不能收得應有的效果的。祇有受過特種訓練的人員，才可允許在高壓裝置上操作。

電工裝置從安全的觀點區分為低壓和高壓裝置是具有條件的。我們也看到過在電壓 100 伏或 100 伏以下觸電死亡的人們。這些不幸事件的理由，主要是不遵守操作規程、裝置不合格、幾