

電力鐵道的供电

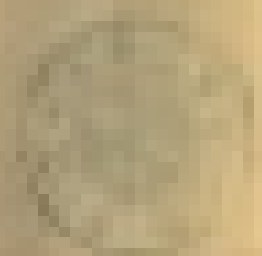
A. B. 瓦洛寧 著

人民鐵道出版社

14457

电力鉄道の供电

二 卷 一 冊 五 冊 中 一 冊



北 京 鐵 道 出 版 社

電力鐵道的供電

A. B. 瓦洛寧 著

曹建猷 李警路 等譯

潘 啓 敬 校

1

人民鐵道出版社

一九五八年·北京

本書敘述電力鐵道供電的設備、發電廠和變電所的電路、供電牽引部分主要元件，並對供電系統的設計，對防止電蝕及對通信綫路的干擾防護等均詳加說明。

原書曾經蘇聯交通部教育總局批准為鐵路運輸中等專業學校電力鐵道供電專業的教材。

本書可作為我國鐵路及礦山電力鐵道的技術人員的業務參考，並可作為電力鐵道專業學校的教材及高等學校師生的參考。

本書系由唐山鐵道學院曹建猷、李警路、劉潤田等譯，潘啓敬校。

電力鐵道的供電

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

蘇聯 А·В·ВОРОНИН 著

蘇聯國家鐵路運輸出版社（1954年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ Москва 1954

曹建猷 李警路 等譯

潘 啓 敬 校

責任編輯 周士鍾

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

（北京市建國門外七聖廟）

書號 925 開本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ 印張 $11 \frac{1}{2}$ 插頁 1 字數 285 千

1958年4月第1版

1958年4月第1版第1次印刷

印數 0001—850 冊 定價（10）1.90 元

目 录

作者对中譯本的序言	4
-----------------	---

序	5
---------	---

第一章 电力牽引系統

1. 直流电力牽引系統	10
-------------------	----

2. 交流电力牽引系統	12
-------------------	----

第二章 电力鐵道供电的一般問題

1. 从动力观点看来牽引的种类	18
-----------------------	----

2. 直流电力鐵道的总供电圖	19
----------------------	----

3. 牽引变电所的供电線路圖	21
----------------------	----

第三章 供电系統的原始部分

1. 概論	25
-------------	----

2. 发电厂簡述	27
----------------	----

3. 发电厂与变电所的接線圖及其主要設備	38
----------------------------	----

4. 电气設備的負荷曲線	52
--------------------	----

5. 傳輸線	58
--------------	----

第四章 供电系統的牽引部分

1. 牽引变电所	93
----------------	----

2. 牽引網	119
--------------	-----

3. 接觸網的供电及分段	133
--------------------	-----

4. 牵引变电所的负荷曲线	142
---------------	-----

第五章 电力铁道供电装置的电计算

1. 电计算的内容与方法	149
2. 根据列车运行图的电算法	153
3. 按平均运转量的电算法	180
4. 负荷电流的最大值及受电器上电压损失的最 大值的决定	217
5. 交流电力牵引时牵引网计算的特点	220
6. 牵引网导线的发热计算	226

第六章 短路电流计算及电牵引设备的短路及过 负荷保护

1. 基本定义	240
2. 短路电流值的决定	242
3. 牵引网的短路保护线路图	245

第七章 电力铁道供电系统的技术经济计算

1. 接触网导线最优越的截面的决定	257
2. 变电所位置的选择	265

第八章 电力铁道供电装置的设计问题

1. 基本要求及设计程序	271
2. 确定电力铁道供电装置主要参数的近似法	278

第九章 牵引电流沿钢轨线的通过和地下建筑物 对电腐蚀的防护

1. 沿钢轨通过的电流和杂散电流	288
2. 地下建筑物对杂散电流腐蚀的防护	293

第十章 电力牵引裝置的过电压及过电压保护

1. 大气过电压的参数..... 311
2. 电力牵引裝置的絕緣..... 314
3. 用来保护电力牵引裝置的避雷器..... 316
4. 电力牵引裝置过电压保护法..... 324

第十一章 通訊設備对牽引电流的危險及干扰影响的保护

1. 通訊設備的保护措施..... 332
2. 基本定义及对通訊設備的要求..... 335
3. 干扰电压的允許值及保护措施的选择..... 338
4. 整流电压及电流中諧波的抑制..... 341
5. 通訊設備中減低牽引电流干扰作用的措施..... 346

第十二章 电力牵引裝置所引起的無線电干扰及其抑制

1. 基本定义..... 348
2. 減低及抑制無線电干扰的方法..... 352

作者对中譯本的序言

『电力铁道供电』一書，乃是苏联交通部中等技术学校所用的一种課本，並且是由作者按照『电力铁道供电』專業相应課程的教学大綱写成的。

材料的叙述，採取了中等技术学校学生易於了解的方式，而且曾特別注意討論已电气化的鉄道的供电裝置中所發生的物理过程，以及这些裝置的电計算方法和它們的主要参数的选择原理。書中列举了在設計中經常应用的主要原始数据和計算公式，並叙述了供电裝置的若干运营問題。

电牽引裝置对短路电流和过电压的保护問題，以及地下建筑物受杂散电流腐蝕的保护問題，均給予了很大的注意，因为这些問題的正确解决，對於保証电牽引裝置的可靠工作和电气化区段地下金屬建筑物寿命的久暫，具有很大的实际意义。短路电流和过电压保护，以及电牽引工作中所發生的無線电干扰的降低和抑制等措施，应当就所有元件予以通盤考虑。因此，上述措施不仅將从供电裝置加以研究，而且还將从电力機車車輛加以研究。

在写此書时，作者曾尽量利用和反映苏联在电力铁道供电裝置的設計、施工、和运营方面所积累的大量經驗，以及科学研究机构近来在这方面所进行的工作的成果。

苏联鉄道电气化用的是3000伏直流，所以供电問題，主要是就这种电牽引制予以討論。新的有前途的工頻交流电牽引制的广泛运用还處於探討和准备阶段，对这种电牽引制，还缺乏足够的經驗。因而本書对交流电牽引的供电問題，只列举了一些基本概念。然而，应当指出，直流和交流电气鉄道的設計和运营問題，有着很多共同之处。因此，中国鉄道电气化虽然拟定採用交流，其工作人員对直流电牽引供电問題的研究，是有着很大的实际价值的。

作者希望，『电力铁道供电』一書，在中华人民共和国的出版，会对偉大中国鉄道採用电牽引問題的順利解决，有所帮助。

A. B. 瓦洛宁 (签字)

1957年6月25日於莫斯科

序

由於最近一个半世紀以來在电工方面的科学成就，電能在工業、農業、運輸和日常生活中的廣闊利用已是可能的了。

我國（指蘇聯，下同——譯者）科學家們在电工方面的發現是國民經濟當中廣泛實際利用電能的基礎，其作用和意義是難以重新估價的。

距離輸電的最初試驗是在俄國由Ф·А·比洛茨基於1874——1876年間進行的，它為了此項目的而利用鐵路的鋼軌。不久以後，他在彼得堡馬拉鐵道的車輛上曾安裝以電動機。在1880年的八、九月間，曾成功地進行了此型車輛試乘，直流電能系由小發電廠沿鋼軌而供給的。

電能遠距輸送的理論基礎系由Д·А·拉契諾夫最早（1880年）擬定的，他證明了要增加電能的輸送距離必須升高電壓。

最早的直流中心發電廠曾於十九世紀80年代在莫斯科及彼得堡建成，隨後在其他城市也建造起來。這些發電廠具有小功率，而且只供給照明負荷，因為低電壓（110——120伏）曾限制了其作用範圍。

電能愈來愈廣泛的應用迫使着尋找增加電廠作用範圍的合理的新方法。Н·Н·亞佈洛契柯夫對動力變壓器的發明（1876年），促使應用相當高電壓的單相交流電，並實現了增大電廠的作用範圍。

第一個單相交流發電廠是在敖德薩建立的（1887年）。以後，這種電壓達2000—2400伏的發電廠在其他許多城市內也建造起來了。

优秀的俄国电气技师M·O·多里渥-多布洛渥里斯基的工作在發展电力工程中具有重大的意义，他詳細地研究了用高压三相交流电輸送电能的問題，並为此而創造了同步發电机、三相变压器和三相異步电动机。由於这些工作，实际实现远距的电能輸送就成为可能。

俄国最早的三相發电厂是在諾渥洛錫依斯克（1890年）建造的，而后在彼得堡的敦何泰斯基工厂建造（1896年）。从此时起，三相电气裝置愈来愈得到广闊的应用。

虽然我国科学家和工程师們在解决电力工程發展的很多主要問題方面具有优先地位和較大的功績，但在偉大的十月社会主义革命以前，沙皇俄国时动力業的一般水平仍是很低的。1913年，俄国發电厂的功率約为1百万仟瓦，而电能的年生产量約为20亿仟瓦-小时。那时，俄国电能的生产量在世界上佔第15位。

俄国电气化的开始应从偉大十月革命以后的时期計算。

1920年初由B·И·列宁發起，創設了全俄电气化委员会，把我国所有的优越力量联合起来，在国民經济电气化的基础上拟定国民經济發展的計劃。

全俄电气化委员会在B·И·列宁的领导下进行直接任务的工作。俄罗斯全国电气化委员会由Г·М·克尔日然諾夫斯基领导，其成員中有我国著名的学者和工程师。

由於全俄电气化委员会的工作拟定了具有历史意义的俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国电气化計劃，此計劃於1920年12月由第八次全俄罗斯苏維埃代表大会批准。

在全俄电气化委员会的計劃中規定了国民經济各部門电气化問題的綜合解决，其中包括铁道运输。按照这个計劃的規定，电能的生产量約增至1913年的兩倍。电能的这种增产基本上靠大型区發电厂的建造来实现。計劃中規定在10—15年期间內建立总功率为150万仟瓦的30个發电厂。

按照全俄电气化委员会的計劃規定要建造几条电气化幹線鉄

道並使許多鐵道區段電氣化——主要是在山區和市郊。計劃中着重指出：為了保證電力鐵道電能而建立動力基礎是工業增長和在靠近鐵道區域內農業電氣化的強有力底刺激物。在全俄電氣化委員會的計劃中指出，《這樣以來，電氣化長幹線就轉為廣闊的文明地帶，強大的貨流沿此地帶的軸心而通過》。運輸、工業和農業的電氣化問題的這種綜合解決只有在社會主義計劃經濟條件下才成為可能。

全俄電氣化委員會計劃的任務到1931年即順利地超額完成了。

1922年，在莫斯科附近完成了卡希爾區域發電廠建設。1922年，列寧格勒的《紅十月》發電廠開始發電，而1925年，沙杜爾發電廠開工，它們燒的是泥煤。1926年，涅爾霍夫水力發電廠完工，而1927年，澤莫阿夫卡里水力發電廠完工，等等。這些發電廠是我國動力基地的基礎。

蘇聯的電氣化工作在五年計劃的年代中得到了大規模的發展。共產黨和蘇維埃政府的英明政策在建造發電廠的同時也保證了祖國動力工業和電工技術工業的發展。與沙皇時代的俄國相反，在現代蘇維埃發電廠的所有設備上可以看見祖國工廠的商標。

在第一個五年計劃當中，在1932年，歐洲最大的水力發電廠在德涅泊爾河上開始工作。1933年，尼士茹-斯維爾水力發電廠開始發電。電能從這些電廠的輸送和分配是用154和220仟伏電壓實現的，這樣在離開發電廠數百公里以外的地方也可以利用電能。

法西斯侵略者毀壞了許多發電廠和電網。全部被毀的設備及建築物在蘇維埃人民英勇的努力下到1951年初即完全得到恢復。1950年，電能的生產量為戰前1940年的187%。蘇聯電能的產量已趕過了歐洲所有的國家。

第十九次黨代表大會在發展蘇聯國民經濟第五個五年計劃（1951年——1955年）的指示中規定要盡速地增加發電廠的功率，以便更充分地滿足電能方面日益增長的需要和增加動力系統

中的后备功率。按照第五个五年计划的規定，要建造和扩充 711 个发电厂。当这些发电厂运转以后，苏联动力系统的总功率将增加 75%。

发电厂所投入的功率年年增加。仅在 1954 年内，苏联发电厂所投入的功率就比苏联根据全俄电气化委员会的计划进行电气化工作的最初 10 年内多一倍半。

在第五个五年计划中将有許多大型水力发电厂投入运转，其中包括功率为 210 万千瓦的古比雪夫水力发电厂，以及总功率为 196.1 万千瓦的卡姆、高尔基、敏格卡烏尔和其他水力发电厂。斯大林格勒、卡霍夫加、諾渥錫比尔斯克和其他許多水力发电厂的建設已展开。

安加拉河水力资源的利用工作开始了。

第一个原子能发电厂的投入运转是苏联技术的偉大成就。

铁道电气化工作随着动力基地的發展而扩大着。

由於全俄电气化委员会计划的拟定，早在 1920 年就提出了我国铁道电气化电流和电压主要系统的選擇問題。根据在 A·B·烏里夫教授领导下所进行的研究，結果确定利用电压为 3000 伏的直流是有利的。这种电力牵引系统目前在苏联用在採用电力機車牵引的路線上，而近来也用在採用摩托車輛牵引的市郊区段上。

电力牵引的实际应用須要进行一些严重的准备工作。第一条市郊型式的电气化铁道是由巴庫通往薩布契和蘇拉哈納的採油場的線路（1926 年）。1929 年，莫斯科铁道樞紐的第一条市郊电气化区段开始运营，該段为北方铁道中的莫斯科——米蒂希段，在 1932 年第一条採用电气機車牵引的区段开始运营，該段为南高加索铁道中的哈舒雷——澤斯塔封尼段（苏拉姆山区）。

在以后的年代中，我国铁道上的电力牵引愈来愈得到广泛的应用。铁道电气化的工作在偉大的衛國战争年代中也沒有停止。在最近的时期內，把个别区段的电气化改为整个铁道干線的电气化，將最大的铁道樞紐站全盤电气化。目前在我国铁道上改为电

力牽引並运行着的線路長度已有数千公里。

党的第十九次代表大会對於發展苏联第五个五年計劃的指示中規定，在第五个五年計劃投入运营的电气化線路比前一个五年計劃內投入运营的要多三倍。今后在鐵道運輸中的电力牽引应当更广泛的予以發展。

在五年計劃的年代中，我国工業已順利地掌握了复杂电力牽引設備的制造；如电气機車車輛、牽引变电所所用的交流机組等等。工業工厂的技师和工程师們創造了許多新式的这种設備，它們的技术特性和經營指标均超过外国技术上較著名的样品。

現在工業上對於电气化鐵道出产的有：БЛ22^м型六軸电气機車，其小时功率为2400仟瓦；С^р型摩托車輛組；PMHB型水銀整流器和其他的設備。С·М·布乔电力機車制造工厂的員工們創造了新式幹線八軸貨运大型电力機車，其構造速度为90公里/小时，小时功率为4200仟瓦。

在發展电力牽引方面我們苏維埃的科学家起了巨大的作用，他們的工作是解决鐵道电气化主要技术問題的基礎。祖国电力牽引工作者科学學派的首創人有А·В·烏里夫、А·Б·列別捷夫和В·А·瑟瓦林諸教授。

由於В·А·瑟瓦林、А·Б·列別捷夫、Н·Н·考斯特洛米秦、Д·К·敏諾夫、В·Е·洛金費尔德、К·Г·馬尔克哇尔特、И·И·福拉索夫和我国其他科学家及工程师們所完成的工作，創立了电气鐵道供电系統电計算和設計的方法。В·К·克拉皮賓、М·А·柴尔內曉夫、В·М·史列包士尼考夫、И·Л·卡干諾夫等人在离子变流器方面所完成的工作具有重大意义，由於这些工作，創造了十分完善結構的水銀整流器，解决了其柵極控制的問題，拟制了在採用离子变流器的牽引变电所中进行电能逆变的線路圖，並奠定了离子变流器工作的理論。

第一章 电力牵引系統

电能从发电厂經原始供电设备（区变电所和傳輸線）、牵引变电所和牵引網供給电气機車和摩托車輛。电力牵引系統決定於經過牵引網加到电气機車車輛受流器上的电压的大小和电流的种类。

在铁道电气化时所应用的电力牵引系統可分为如下几种：直流系統、三相电流系統、低頻單相电流系統和工頻（标准頻率）單相电流系統。每种系統均各有优点和缺点。最有兴趣的是电压为3000伏的直流系統及工頻單相电流系統，前者是目前我国铁道电气化时所採用的系統，后者在一定的条件下比直流系統具有很多优点。

1. 直流电力牵引系統

直流系統在电力牵引發展的最初出現，並得到了最廣闊的实际应用。当用这种系統时，在电力機車車輛上安裝直流牵引电动机，它直接由牵引網供电，機車上無电能的变换。

升高牵引網的电压可减少供电设备的一次开支，因为这样能減低接触網导線的截面和增加牵引变电所之間的距离。如此說来，利用提高牵引網电压的方法可以使直流电力牵引系統經濟些。由於这个緣故，在發展直流电力牵引系統的过程中，总是企圖提高牵引網电压的数值。由於改善牵引电动机結構的結果，实际上在採直流系統作幹線铁道电气化时已成功地把电压提高到3000—3300伏，而在个别裝置內已提高到4500伏。

現在，我国铁道电气化按照ГОСТ6962—54的規定採用电压

为3000伏的直流系統（当供給網上为額定負荷和額定电压时，在牽引变电所匯流排上的电压为3300伏）。1500伏的电压只允許用於实行标准化以前，即在1955年1月以前，已經运营着的电气化鉄道上。地下鉄道採用电压为750伏的直流系統，在电車和無軌电車線上为了保证較大的安全性採用550伏。

我国鉄道的运营經驗証明，电压为3000伏的直流牽引系統是完全可靠的，其应用具有巨大的技术經濟效果。不过，在运输量較大的路線上，在重型列車高速度运行时，採用这种电力牽引系統則必須悬挂大截面的接触網導線；此截面在一条路線上可达到400平方公厘以上，同时可使牽引变电所之間的距离減到20公里；牽引变电所是比較复杂而貴重的。

克服此項缺点的方法是繼續提高牽引網的电压。然而，制造具有較高整流子电压和較大外壳絕緣而且在运营中可靠工作的牽引电动机，在技术上有很多困难。直流牽引电动机最好的电压大約是600——800伏，可是在3000伏直流电力牽引系統的情況下，牽引电动机通常在整流子上的电压已达到了1500伏，而外壳絕緣为3000伏。繼續提高牽引網的电压会引起規定电压对最理想数值的更大偏差，也即会招致电动机不合理的結構（扩大了外廓尺寸、重量和材料的花費）。上边所說的也适用于电力機車車輛的輔助机器。

在电力機車車輛上为了把高压直流电能变換为适于供給牽引电动机的低压直流或交流而安裝以特殊机組，虽然原則上是可能而且技术上也可以实现，但是太复杂而且太貴。

現在所用的3000伏直流电力牽引系統有以上指出的主要缺点，故必須設法將直流系統加以改善並准备运用新的工頻單相电力牽引系統，其牽引網的电压可以大大增加（到22000——25000伏）。

改善3000伏直流电力牽引系統的主要措施之一是採用牽引網的分佈（分散）供电。在这种情况下，变电所互相佈置的距离非

常靠近，这样接触網导線的截面可以大大减小。为了实现牵引網的分佈供电，必要的条件是採用自动裝置和供电裝置的远程控制、採用無泵空气冷却式整流管的变流机組和其他許多措施来减低牵引变电所的一次建造費用及其經營費，即要使牵引变电所間作更近的佈置在經濟方面是有利的。在採用分佈供电系統的情況下，从接触網所取的負荷电流数值仍然相同。由此，在这种供电系統的情況下，减小接触網导線截面的可能性將受导線發热条件和取流条件所限制。因此，在牵引網分佈供电系統的情況下，最有效的是应用耐热較高的接触导線，它在溫度較高的条件下能工作，这样可使接触網各导線的所需截面减小。

由於改善电力機車車輛牵引机和輔助机以及配電器械等工作的結果，在直流电力牵引的情況下，再繼續提高牵引網电压的問題可以有利地得到解决。在这种情况下电机和其他器械所高出的价值，可以用供电設備一次投資的降低和接触網上有色金屬消耗的减少而加以抵償。

直流电力牵引系統的优点是：在这种情况下防止牵引电流对通訊設備起危害和干扰作用的問題，解决比較簡單。此种牵引系統的缺点是：流入地內的牵引电流（杂散电流）对地下金屬建築物腐蝕的危險性較大，而必須进行适当的保护措施。

2. 交流电力牵引系統

三相电流电力牵引系統在前一世紀末和二十世紀初曾得到少量的实际应用（主要是在意大利）。在这种电力牵引系統的条件下，採用双导線接触網，兩相沿此导線引入电气機車車輛，而第三相經過鋼軌而引入。电气機車車輛具有一个降压变压器和几个異步牵引电动机。这种牵引系統中的牵引变电所十分簡單。

三相电流系統的主要缺点是接触網太复杂——特別是在大型站場上，在高速运行时这种接触網不能保証可靠的取流。架空網線間的电空隙比較小，实际不允許把电压提高到 6—10 千伏以

上。三相电流电力牵引系统由于有这些缺点，所以没有得到广泛的实际应用，而以前根据此系统所电气化的许多区段，以后也都改用直流。

低频单相电流电力牵引系统在电气化路线全长中佔第二位（次於直流）。此种电力牵引系统是在1901——1906年間所拟定的，並曾得到推广，因为在三相电流铁道上经营双导线接触网中发生了很多困难，而直流系统在当时因牵引网上所采用的电压不高又不够经济。

低频单相电流系统的主要优点是能将牵引网电压提高到10—15千伏以上。

在低频单相电流系统的情况下，接触网导线的截面可减到接触悬挂机械稳定条件所规定的数值，同时，在运输量较小的路线上，牵引变电所之间的距离可增加到60—80公里。

在单相电流电力机车上，装以变压器，把牵引网电压降低到400—600伏，用此电压供给串激单相整流牵引电动机。

在德意志、瑞士、奥地利和瑞典各国的铁道上，利用了频率为16 $\frac{2}{3}$ 赫芝的单相电流。这时所以采用低频率，是因为制造在运营上可靠而方便的标准频率（50赫芝）的单相电流大型牵引电动机有一些困难。

美国的电力铁道利用频率为25赫芝的单相电流供电，此电流由公用发电厂得到，也就是说这时此种频率是工业频率。

电力铁道用频率为16 $\frac{2}{3}$ 赫芝的单相电流供电系由专用发电厂或标准频率的公用电网而实现的。在第一种情况下为了向铁道供电，必须设有频率为16 $\frac{2}{3}$ 赫芝单相电流的发电厂和专用的传输线，这样以来，电力铁道和区域（工业和农业）用户的综合性供电就不可能了。在第二种情况下，采用具有旋转式变相变频机的牵引变电所，这种变电所的价值高而且不经济。为了这个目的也有用静止（离子）变换器的企图。然而在这种情况下变电所比直流铁道的变电所要复杂些和贵些。