

運輸中的新式牽引

上 册

(电气化鐵道部分)

苏联科学院綜合運輸問題研究所編

人民鐵道出版社

運輸中的新式牽引

上 冊

(电气化鐵道部分)

苏联科学院綜合運輸問題研究所編
交通大学电气機車教研組譯

人民鐵道出版社

一九五八年·北京

本書是按『НОВЫЕ ВИДЫ ТЯГИ НА ТРАНСПОРТЕ』（苏联科学院綜合運輸問題研究所編，苏联科学院出版社1956年出版。前半部是關於电气化鐵道方面，后半部是關於燃气輪機車和燃气輪船舶方面）一書譯出的，为便利讀者分上、下二册出版。

本册闡述了直流及工頻單相交流的主要特性、投資及运用費用的比較和工頻單相交流电气化鐵道的經濟-技术指标。还闡述了單相交流在其他国家的应用和其他国家电气化鐵道的現狀。

本書供鐵路運輸有关工程师、技术員以及科学研究人員和院校師生等學習参考之用。

本書主編者：Т.О. 恰恰徒罗夫。

運輸中的新式牽引

上 册

НОВЫЕ ВИДЫ ТЯГИ НА ТРАНСПОРТЕ

苏联 АКАДЕМИЯ НАУК СССР 編

苏联科学院出版社（1956年莫斯科俄文版）

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1956

交通大学电气機車教研組譯

人民鐵道出版社出版（北京市霞公府17号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010号

新华書店發行

人民鐵道出版社印刷厂印

（北京市建国門外七聖廟）

書号893 开本850×1163 $\frac{1}{2}$ 印張3 字數71千

1958年1月第1版

1958年1月第1版第1次印刷

印數0,001—1,000册 定价(10)0.55元

目 录

序.....	1
--------	---

苏联铁道电气化新制度的技术-经济基础

一、直流及工频单相交流电气牵引制度的主要特性.....	8
二、直流制及工频单相制就投资及运用费的预先比较.....	12
三、工频单相交流电气化铁道效果的技术-经济指标.....	17
四、工频单相交流电气牵引在苏联铁道上的应用.....	21

50週/秒单相交流制在国外电气化铁道上的应用

一、电气化铁道的现状.....	22
二、单相交流制在国外电气化铁道上的应用.....	34
三、美国和英国铁道运输今后电气化的远景.....	69
录附.....	74

序

在運輸中採用新技术，和國民經濟所有其他各部門一樣，是社會主義生產發展的客觀需要，這種客觀需要系基於社會主義的基本經濟法則。蘇聯共產黨第二十次代表大會關於發展蘇聯國民經濟的第六個五年計劃的指示中規定，國民經濟的各部門要在優先發展重工業、技術不斷進步以及勞動生產率不斷增長的基礎上進一步大力發展。

在運輸中所以需要新技术不僅是為了適應迅速增長的客貨運輸量的要求，也是由於只有在最新技術的基礎上，勞動生產率才有可能繼續提高。蘇聯共產黨中央委員會在1955年7月11日舉行的全體會議根據H.A.布尔加寧同志的報告『關於進一步提高工業、改進技術和改善生產組織的問題』所做的決議中指出，必需廣泛地展開有關建造燃氣輪裝置及柴油機、燃氣輪機車、內燃機車及電力機車方面的科學研究及設計與製造。

在鐵路運輸新技术中最重要部份是屬於電氣牽引及內燃牽引。雖說蒸汽機車簡單、可靠而便宜，但它是最低經濟的機車。蒸汽機車的運營效率只是0.035~0.04。電氣牽引的運營效率則大得多。在由火力發電站得到電能時，平均等於0.14~0.18，而在由水力發電站得到電能時，列車牽引根本不消耗燃料。內燃牽引的運營效率比蒸汽機車大到6~8倍。

鐵路電氣化以及採用內燃牽引可以保證提高列車重量標準和運行速度，因此也可加大鐵路的運輸能力及通過能力。為了使列車的重量和速度加大，需要採用更加強力的機車；而為了建造更加強力的機車則需要或者加大軸重或者增加動輪的數目。但是加

大軸重却受到功率及綫路上部建筑、首先是鋼軌及桥梁的限制。如果增加蒸汽機車动軸數量，就会連帶产生構造上很大的困难，因为根据機車通过弯道的情况来看，在一个剛性的樞架上不可能有5~6根以上的动軸。所以如果軸重已受到限制而又要建造更加强力的蒸汽機車，則必須改用活节式蒸汽機車，这样就使機車構造复杂、价格增加，並使运营費用加大。

在同样的軸数和黏着重量的情况下，內燃機車比蒸汽機車的功率要大得多：內燃機車的柴油發电机和牽引電動机的重量比蒸汽機車的蒸汽鍋爐、汽机以及煤水車的重量要小得多。但是把大型的柴油机裝在內燃機車車体的限界內，其中也有些困难。

从接触網得到电能而又沒有原動机的電力機車的特点是：單位功率的重量比內燃機車还要小。

电气牽引和內燃牽引比起蒸汽牽引来最大的优点是运营費用減少。这是由於燃料—能量消耗量縮減、檢修費用降低、所需機車乘务組數量減小所致。最后，改用新式牽引时，在減輕劳动条件和提高運輸業所有工作知識上有着很重要的作用。

運輸广泛实行电气化的任务早在列宁的全俄国家电气化計劃中就已提出。根据列宁的提議曾建造了首批的幹綫內燃機車，而我国就成为內燃牽引的先鋒。从那时起以后的36年之間，电气牽引和內燃牽引在苏联获得广泛的扩展，但是在这方面所达到的水平还是差得很远的；今后采用电气牽引和內燃牽引的速度要大大地增加。

苏联共产党第二十次代表大会關於發展苏联国民經济的第六个五年計劃的指示中規定：要在10~15年的期間內將貨运最緊張的綫路和山区的綫路以及客运頻繁的鐵路幹綫和巨大工業中心市郊区段改用电气牽引。規定在第六个五年計劃中，要有8100公里的新铁路綫交付使用，或者說是比第一个五年計劃要大3.5倍。將为铁路运输建造許多重型的電力機車和內燃機車；在总的貨物運轉量中，电气牽引和內燃牽引所佔的比重在1960年就要达到

40~45%，在1965年則达到85%，而1955年只不过佔12%。

在国外已积累了很多採用电气牽引和內燃牽引的經驗。在欧洲、日本以及南美和非洲的一些国家中主要是發展电气牽引，而美国則是內燃牽引。

現在西欧电气化鉄路的長度为29000公里。而西欧国家差不多只是在客运及調車工作中才採用內燃牽引。西欧国家电气牽引与內燃牽引間所以有这样的比例是由於柴油和电能价格的影响。在西欧各国中，鉄路电气化总是在缺煤而有大量水力資源的国家中大力發展，例如瑞士、瑞典、法国、意大利、德国南部、奥地利等国；而在亞洲国家中，則是日本發展了电气化。在煤价便宜的英国，电气化曾有一些推广，但差不多只是客运繁忙的市郊綫路正在改用电气牽引。

欧洲柴油燃料价格比較貴，显然，这也就影响到使內燃牽引的發展比較少。也可以指出，西欧的石油燃料价格昂貴也影响到其他种运输形式——汽車运输，因而产生广泛採用小容量內燃机的后果。

美国鉄路工作中各种牽引形式的比重 表 1

牽 引 形 式	1944年 (%)	1948年 (%)	1952年 (%)	1954年 (10个月) (%)	附 註
A. 調車工作:					
蒸汽牽引.....	77.3	61.7	22.6	9.6	} 各級鉄路
內燃牽引.....	21.3	37.0	76.1	89.5	
电气牽引及其他.....	1.4	1.3	1.3	0.9	
B. 客 运:					
蒸汽牽引.....	85.9	53.9	22.4	8.0	} 1 級鉄路
內燃牽引.....	8.0	39.5	71.0	85.8	
电气牽引.....	6.1	6.6	6.6	6.2	
B. 貨 运:					
蒸汽牽引.....	94.6	76.7	33.2	13.9	} 1 級鉄路
內燃牽引.....	3.6	21.3	64.9	83.8	
电气牽引.....	1.8	2.0	1.9	2.3	

在美国电气牵引与内燃牵引间是另一种比例关系。美国在二十世紀开始的几十年内铁路电气化曾發展过，到1930年为止电气化线路的长度已达4200公里。1929年的危机阻止了电气化的發展，而从1930年开始發展了内燃牵引。在以后的几年中，电气化线路的长度，逐渐縮減。在1940年，线路总长为4200公里，而在1951年則降低至3840公里（城市間長途电車线路未計在內）。在这段时期中用内燃牵引的线路总长則不断增加，而在1954年，这种牵引形式已佔主要地位，这可以从表1中看出。

在美国的机车总数中，内燃机车的比重不断增加。1954年共計有内燃机车23600台（單节的）、电力机车900台、蒸汽机车9100台；而1942年僅共有内燃机车1500台、电力机车900台，而蒸汽机车却有39600台。

美国由蒸汽牵引过渡到内燃牵引，虽然从1930年起就已开始，但主要的还是在过去八年中完成的。在这一过渡时期的开始阶段，在美国的铁路已經有各种不同类型的内燃机车在試驗运转。以后逐渐建立了强大的内燃机车制造工业；蒸汽机车已停止生产。

用内燃机车代替蒸汽机车是在貨物週轉量縮減的条件下才發生的，貨物週轉量在1944年曾达到10760亿吨公里的最大值，而到1954年則減少到7960亿吨公里。

在铁路运输中採用内燃牵引提高了机车的利用指标。貨运机车的生产率，在1954年内每机车小时的平均值为总重78600吨公里或是净重34820吨公里，而代替了1945年的总重58950吨公里及净重25550吨公里的数值。

列車平均旅行速度也提高了；在1945年貨运速度为25.36公里/小时、客运速度为55.8公里/小时，而在1954年則达到了貨运30.1公里/小时、客运63.55公里/小时的旅行速度。貨运的最高速度已由64提高到96公里/小时，而客运則由144提高到160公里/小时。

美国的铁路运输是沿着採用內燃牽引的道路發展起来的，而並沒有採取电气牽引的道路。所以是这样，一方面是由於电气牽引在固定供电設備方面需要大量的投資，而在電網里程較長同时部份区域負載又不很大时(还有縮減的趋势)，广泛採用电气牽引要耗費很大的費用，所以看来是處於不利的情况。另一方面，美国的柴油燃料比欧洲要便宜得多。四通八达的輸油管道可以保证把很便宜的石油产品送到全国各个区域，因而就毫無疑义地增加了內燃牽引的有利条件，而促使它發展。在过去30年間，資本主义国家海上運輸中內燃發動机裝置数量的增長(对总吨位的百分比)，可以由表2的数据中看出。

表 2

船 艙 类 型	1914年	1939年	1953年
燃煤的輪船.....	97.0	46.0	13.0
燃重油的輪船.....	2.5	29.5	53.0
用內燃机的輪船.....	0.5	24.5	34.0

表2中的数据指出，在总的吨位中，用內燃机的輪船不断地增加，而燃煤的輪船則逐漸降低，到1953年已降低到总吨位的13%。

在最近几年中，在电气牽引和內燃牽引的發展方面有着新的趋势。在电气牽引方面新的趋势是幹綫鐵路用工頻單相交流來电气化。法国的鐵路已着手改用这种电流制；在匈牙利老早就已採用这种制度。在其他一些鐵路運輸已開始电气化的国家，以及美国也已都对工頻單相交流制感到兴趣。

工頻單相交流制比直流制更有前途。它可以使牽引变电站間距离加大，使接触網导綫重量減小，使接触網支柱簡化並減輕，並且总的來說可以使所需固定設備投資縮減一半。此外，在用工頻單相交流制时，电力機車的牽引性能可改善，电力機車可以實現更高的速度並且在同样黏着重量下可以保证牽引重量更大的列車。

苏联也已改用工頻單相交流的电气牽引。已經建造了二台單

相—直流电力機車並在交通部的試驗环道上进行了試驗。在1956年可以把試驗区段交付使用，以便在运营条件下試驗电气牵引的新制度。这样就能够全面地研究电力機車車輛和固定供电設備的工作情况，選擇最好型式的电力機車，研究如何保护通訊綫路不受牵引电流的干扰。

由於当前需要使铁路电气化速度加快和採用單相交流的关系，所以在本文集中發表關於綜合运输問題研究所对採用工頻單相交流制技术—經濟效果的預計結果的数据，以及有关国外各铁路採用工頻單相交流电气化和採用电力機車类型的各項資料，對於苏联讀者們是有益处的。

有趣的是，近几年来美国人也对铁路电气化，特別是在單相交流方面的成就开始給予新的評價。在美国的雜誌中曾登載过關於铁路方面权威人士开始对工頻單相交流牵引制感到兴趣的資料。在这些資料中指出，过去美国对內燃牵引有些估計过高，而就內燃牵引与电气牵引的数据加以比較，已看出过去做得不对，因为当时沒有考慮到由於內燃機車使用時間增加时它的修理費用也要加大。美国大多数的內燃機車都是新的，所以它的修理費用还比較少。用过15~20年以后的內燃機車，維護与修理的費用要大大地增加，因此它和电力機車相比的优越性也要相应地降低。關於內燃機車維護及修理費用变动的問題是非常重要的，並且研究这个問題可以对二种牵引形式比較的結果产生很大的影响。

在用內燃發动机的機車中改用燃气輪机也是新的形式。过去几年間，燃气輪机已日益广泛地应用在运输和固定的动力裝置中。燃气輪机已經在航空运输中夺得巩固地位，同时也使用在機車及船舶上。

美国在1954年总共約有25台燃气輪機車在运用；所有这些機車都集中在新太平洋铁路上。在欧洲的国家中也有个别試驗用的燃气輪機車在运用。

燃气輪機車比起內燃機車的优点是，燃气輪機車只消耗价格

便宜的重柴油燃料，同时维护与修理费用也比内燃机车少得多。和同样功率的柴油机相比，燃气轮机具有较小的尺寸和重量。虽然燃气轮机平均的运营效率并不高，但它究竟比蒸汽机车的运营效率差不多要大两倍；燃气轮机的最大效率约为18%。

燃气轮机装置还能在船舶上使用。推广燃气轮机，能在运输上给出很大的效果。由于在苏联运输上，关于使用燃气轮机正在进行设计和研究，向读者们介绍外国的技术在这方面的成就是很重要的。

由于在运输中采用原子能的实际可能性，在运输动力前面已展开广阔的远景。今后这一问题应当成为科学研究的主要对象。

苏联科学院综合运输问题研究所是为了情报性的目的而在本文集中刊载了他们在牵引新形式的发展方面所搜集到的一部份材料，并且希望这一文集对制造并使用新型机车的运输方面及工业方面的工作人员有所裨益，并有利于在运输中继续采用最新的技术。研究所关于这一领域的科学研究结果将在今后的出版物中发表。

苏联科学院通讯院士

T·C·恰恰徒罗夫

苏联铁道电气化新制度的技术-经济基础

А·К·米諾夫和П·К·傑尼索夫

一、直流及工頻單相交流电气牵引制度的主要特性

苏联直流制电气化的铁道25年来运用的經驗，除了表现出电气牵引比蒸汽牵引具有很多优点而外，还显示出3000伏直流制的一些缺点，这些缺点降低了电气化的可能效果，並且随着电力机车行駛規模及功率的增大而影响日益严重。首先，这些缺点牽涉到供电設備；使通到电力机车的电压不够高。於是使牵引網絡中有色金属需要量加大，复杂的变流牵引变电站建筑及其电气設備費用的增多，以及由於牵引網絡中及在变电站中变流时的大量能量損耗而使效率降低。

同时，直接加到牵引电动机回路上的牵引網絡3000伏的电压，對於电力机车的設備不利：使电力机车的設備費用增加，並降低它在工作中的可靠性。所以为了广泛实行铁道电气化，应当預見到能适应列車速度及重量增長的要求以及能提供最好技术-经济指标的电气牵引制度。屬於这些指标的有：运行的可靠性、最低的能量、材料及劳动力消耗，以及降低运输成本。当铁道的供电与邻近区域的农业及工业供电用公共变电站及傳輸綫協調統一时，就具有更大的意义了。

增加列車重量及行車速度势必就要制造功率更大的电力机车。現有电力机车的特性列在表I中。

事实上，现实生活已要求採用功率更加强大的机车。現在苏联电气化的鉄路上已日益广泛地採用双机甚至三机牵引，並且列

車重量已达到4500吨，而在限制坡道上所消耗功率达4000~7000瓩。

表 1

电力機車 型 别	生 产 年 代	动 轴 数	軸 重 量	电力機車电动机在小时 工作制下的速度 (公里/小时)	小时制功率 (瓩)
Сс-11	1932	6	120	30	2040
ВЛ-22М	1948	6	132	37	2340
Л-8	1954	8	180	47	4200

应当預見到，在最近的將來，在限制坡道上的行車速度可提高到60~70公里/小时。为了适应今后进一步提高列車重量和行車速度的需要，大致拟出电力機車在限制坡道上發揮的牽引力及各種速度時所需要的功率（表2）。

表 2

未来电力機車的动軸数	6	8	2×6	
在限制坡道上的牽引力(吨)	27	36	54	
在各种速度时(公里/小时)	37	2400	3200	4800
电力機車的功率(瓩)	50	3600	4800	7200
	75	4800	6400	9600

过渡到双电力機車以及未来的大功率电力機車牽引时，將引起牽引網絡內电流的大量增加。

採用未来的电力機車时，每台电力機車所需要的电流值列在表3中。

表 3

小时制的速度 (公里/小时)	电 力 机 車 动 轴 数		
	6	8	2×6
	电 流 (安)		
37	900	1200	1800
50	1350	1800	2700
75	1800	2400	3600

附註。起動時的电流將比上列数值大20~30%。

当运行繁忙时，負載电流在工作網絡的导綫內引起相当大的电压降，因而降低了列車的可能行駛速度，这时使导綫發热的能量損失也增加。

增加电流势必就要相应地加大接触網导綫的截面；每公里双軌綫路銅的需要量可能达到 8~10 吨。加大导綫的截面随着也要大大增加修建接触網支柱用的黑色金屬及水泥的需要量。

在这些情况下，以及为了改善接触網的工作情况，不仅需要增加导綫的截面而且还要减少变电站間的距离，这样就要增加那些造价高而且复杂，並安裝有整流和降壓設備的建築物的数目。

有着这样的設想：当牵引变电站的各部件採用大量生产的方式来制造，减少变电站的后备容量，並採用自动化与遙远控制，进一步把变电站間距离縮短到 8~12 公里（代替 25~20 公里）时，3000 伏直流制的技术—經濟指标將得改进。

这时所有变电站都是自动化及遙远控制並且可分为兩类：

(a) 基本的，位置大約相距 60~100 公里，並由 115 千伏电压供电；(б) 中間的，它們是由基本变电站出来的三相 35 千伏的輸电綫供电，而这种輸电綫是掛在接触網的支柱上的。

这种系統的目的之一是减少接触網导綫的截面。但在用重型电力机車时，根据导綫的机械强度而得出的截面的最小值（接触导綫 100 公厘² 以及双金屬綫 95 公厘²，相当於銅綫截面 140 公厘²），對於导綫發热的条件說来是不可能的。在有些情况下，例如在採用 H-8 以及 БЛ-23 电力机車时，根据載流的条件需要加掛第二根接触导綫。掛在接触網支架上的輔助傳輸綫和一般供电方案比較起来，要多消耗些鋁。最后，过多的配置变电站，即使在变电站構造及特殊設備都标准化时，也影响到投資費用大量增加。

根据所有这些原因，在貨物週轉量較大时，直流 3 千伏制变为非常复杂而昂貴。

關於对电气化綫路供电的电流制度問題更正确、經濟而通用

的解决办法是提高接触網的电压。

提高牽引網絡中直流电压有兩個可能的方法，其中之一的特征是網絡电压（为4.5~6千伏）可以直接加到牽引电动机上，在此情況下牽引电动机的絕緣需要加強，其結果就提高了电力机車的造价，又降低了工作的可靠性。同时對於节省網絡的有色金属及变电站数，4.5~6千伏的电压还是不够高的。

另一方法的特征是把牽引網絡的电压提高到15~20千伏。这样引入电力机車的直流电必須在电力机車中用复杂的設備变为三相交流或低压直流，以便对牽引电动机供电及調速。在此情況下电力机車就变得很复杂了，而这样仍需保留变电站，以便从公共电力網絡中把三相交流电变为直流电。而变电站的复杂性却要随着牽引網絡电压的升高而加大起来。

因此，按技术上及經濟上的理由来看，升高直流接触網的电压是不合理的，至於直流3千伏制度在貨物週轉量迅速增長及客貨運速度加快条件下，也並不是發展的远景。

在这方面，工頻（50赫）單相交流制就具有較大的优点。

採用工頻單相的电气牽引时，是从接触導綫向电力机車供电，而向接触導綫上供电则是从牽引变电所或地区变电所的三相变压器中的一相直接輸送，並不变成直流。

在採用單相交流时，其电压的大小按受电部分接近已有的固定建筑物的限界情况，可容許在22~27千伏的範圍內，但對於新建的鐵路則可容許到35千伏。

在此情況下，牽引变电站的設備就可大为簡化。在电力机車上的牽引电动机也由变压器与高压方面隔开。这样使得电力机車最重和最貴部份——牽引电动机，可以制造在最合适的电压上，从而減少其造价和重量。牽引电动机与接触網隔开就減少牽引电动机过电压的可能性，而使它們工作的可靠性大为提高。

在單相交流的电力机車上可以採用不同类型的牽引电动机；交流电动机（單相整流子电动机或三相異步电动机）和直流电动

机。

目前採用离子整流器和直流牽引電動的單相-直流電力機車被認為是最簡單而又最經濟的。在單相交流電力機車上採用离子整流器和把它裝在牽引變電站內的不同點是前者可以實現重要的措施，保證新的電氣牽引制度具有高度的技術-經濟效果：(a) 升高接觸網的電壓；(b) 把牽引電動機的電壓降到最適宜的數值(700~800伏)，這樣就提高了工作可靠性，同時把它們的重量減少到 $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ ；(c) 大大提高了黏着係數；(r) 消除了起動時電阻中能量的損失。最後，离子變流設備從牽引變電站移到電力機車上，除了簡化牽引變電站外，還可從電力機車上去掉很多複雜的接觸器設備及起動電阻。具有小體積的半導體整流器提供了帶有靜止變流器的電力機車進一步簡化的廣闊遠景。

由於接觸網的電壓升高到七倍，當變電站間的距離加大到2~2.5倍時，通過它的電流即使在運輸頻繁及重型機車時也不會引起很大的電壓降和電能的損失；這樣接觸網的導線截面就可比在採用直流時所必需的經濟的導線面積減少了 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{2}{3}$ 。

牽引變電站的數目減少了 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{2}{3}$ ，它們的設備如上面所說的那樣，最簡化了。

接觸網支柱上吊掛的導線數量少而且重量很小時，可以減少支柱上的風力負載和其他的負載，因而使接觸網支柱結構簡化，修築支柱和其基礎用的金屬消耗量也就會減少。

因此，除了可節省約50~60%的建築時間外，單相交流的鐵路電氣化還可大大節省有色金屬及其他材料。此外又大大地減小對地下金屬設備(靠近電氣鐵路的管道)、電纜外殼有害的電解腐蝕作用。

二、直流制及工頻單相制就投資及運用費的預先比較

1950~1951年間，蘇聯科學院和全蘇鐵路運輸科學研究院根據蘇聯國內及國外電氣牽引狀況的資料，聯合進行了技術-經濟

分析，这个分析指出工頻單相制的电气牵引有着广阔的远景。

当綫路地形、貨物週轉量、重量及行車速度都相同时，直流3千伏制供电設備投資總額的差別不仅和电气化綫路貨物週轉量有关，同时也和列車行駛速度及重量有关。在增加列車行駛速度和重量的前提下，加大机車功率，則直流制比工頻單相制需要更貴的供电設備（在貨物週轉量相同条件下）。

表4列出电力机車在不同的功率、綫路坡度（ $i_{p\%}$ ）及年度貨物週轉量（ Γ 百万吨公里/公里）情況下，直流制和工頻單相制的动力設備（变电站及牵引網絡）价格差別，它是以直流制动力設備总价作为一百。

由表4看出，在一定的綫路貨物週轉量下，机車的功率愈大，亦即列車的行駛速度及重量愈大，則直流制与單相制供电設備价格的差額就愈大。

綫路的貨运工作量愈大，則归算到1000吨公里/公里的鐵路貨运强度的供电設備投資量愈小。

表 4

电力机車的功率 (瓩)	單軌綫路						双軌綫路					
	$\Gamma=10 \cdot 10^6$ 吨公里/公里			$\Gamma=20 \cdot 10^6$ 吨公里/公里			$\Gamma=20 \cdot 10^6$ 吨公里/公里			$\Gamma=40 \cdot 10^6$ 吨公里/公里		
	$i_{p\%}=6\%$	$i_{p\%}=9\%$	$i_{p\%}=12\%$	$i_{p\%}=6\%$	$i_{p\%}=9\%$	$i_{p\%}=12\%$	$i_{p\%}=6\%$	$i_{p\%}=9\%$	$i_{p\%}=12\%$	$i_{p\%}=6\%$	$i_{p\%}=9\%$	$i_{p\%}=12\%$
6×400	28.8	31.2	40.4	39.2	*	*	30.4	31.6	35.4	31.2	41.2	*
8×575	40.9	40.9	40.9	50.6	50.6	*	37.8	41.5	41.5	45	46.2	49.8
9×575	43.8	55.6	55.6	52	*	*	37.8	43.2	43.2	45.2	50.9	50.9

* 未曾研究过的。

表5表示归算到貨物週轉量为 20×10^6 吨公里/公里及 40×10^6 吨公里/公里双軌綫路上的投資量（百分数），並以貨物週轉量較前兩者小的直流制的投資数取为100%来计算。根据这些表中的数据，可以得出在單相牵引制耐用大功率电力机車才合理的