

87.108
RTC
2

151923- * 145016

一九五六年全國鐵道科學工作會議
論文報告叢刊
(2)

我國鐵路電氣化的研究



鐵道工程系



人民鐵道出版社

PDe



一九五六年全國鐵道科學工作會議
論文報告叢刊
(2)

我國鐵路電氣化的研究

一九五六年全國鐵道科學工作會議論文編審委員會編

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

(北京市建國門外七寶廟)

書號: 794 開本787×1092 1/32 印張3 字數71千

1957年7月第1版

1957年7月第1版第1次印刷

印數 1,500 冊

統一書號: 15043·351 定價 (9)0.3

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、车辆、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京、唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，选择其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向、和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了避免浪费，凡是其他刊物或是以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再刊载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，并無主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾经做过九次学术报告，我们已将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步的改进。

铁道部技术局

1957年2月

目 录

我国铁路电气化的途径和发展远景	曹建猷 (2)
关于我国交流电力机车定型问题的几点商榷	杜庆萱 (15)
单相交流整流子牵引电动机的整流问题	姚哲明 (27)
电力机车用单相交流整流子电动机的研究	袁恩周 (37)

我国铁路电气化的途径和发展远景

曹建猷

目前世界各国铁路正处在技术改造的热潮中。所有工业先进国家最近都已经或者即将停止蒸汽机车的生产，而代之以较为经济和性能优越的电力机车和内燃机车。牵引动力的改造是铁路进行技术改造的首要环节，因此我国铁路在制定长期规划时也特别注意牵引动力的改造问题，并指出要尽速发展铁路电气化。

我国为何要尽速发展铁路电气化呢？我国铁路电气化应采取什么途径呢？我国铁路电气化的发展远景如何呢？这些都是我国许多人士、特别是铁路工作者十分关心的问题。作者在本文中试就以上问题提出个人见解，以供大家的参考和讨论。

为了更好地论证作者的观点，有必要首先就影响牵引力的发展的各种因素、世界各国情况、铁路电气化的科学技术问题等逐一加以说明。

铁路电气化是铁路发展的必然方向

根据以下理由可以断言：铁路发展的必然方向是铁路电气化。

一、电力机车是性能最优越的一种牵引动力

电力机车由于车上没有原动机，因此它单位功率的重量轻，也就是单位重量的功率大，可以拉得多、跑得快。同时，其他类型机车的功率受到原动机功率的限制，而电力机车可以在短时期内实际上无限制地从电网取用电力，因而它可以充分发挥牵引电动机的优越特性。

为了具体说明电力机车性能的优点，最好是将它和其他种类的机车作具体的比较。

试考虑苏联制造的三种大型机车：（1）广泛应用的大型蒸汽机车 $\Phi\Delta$ ；（2）新型干线柴油内燃机车 $T\Theta 3$ ；（3）新型八轴电力机车 $H8$ 。

三种机车的重量、功率和单位重量的功率如下表：

机 车 种 类	重 量 (吨)	功 率 (馬力)	單位重量的功率 (馬力/吨)
$\Phi\Delta$ 型蒸汽机车	235	2000	8.5
$T\Theta 3$ 型内燃机车 (兩节)	252	3600	14.3
$H8$ 型电力机车	180	5700	31.7

由上可知，电力机车是最小而功率最大的一种机车。它的单位重量的功率为蒸汽机车 $\Phi\Delta$ 的 3.7 倍，为内燃机车 $T\Theta 3$ 的 2.2 倍。

按照三种機車的牽引性能曲綫[1]: 在同样每小时70公里的速度下, $\Phi\Gamma$ 型機車的牽引力是10000公斤, $T\mathfrak{D}3$ 是11000公斤, $H8$ 是22000公斤。最大牽引力: $H8$ 为46800公斤, 时速475公里; $T\mathfrak{D}3$ 为41600公斤, 时速21公里; $\Phi\Gamma$ 为2500公斤, 时速20公里。

据計算: 在9%的坡道上, $H8$ 型电力機車可拉40000吨, $T\mathfrak{D}3$ 型內燃機車可拉3700吨, 而 $\Phi\Gamma$ 型蒸汽機車仅約2000吨, 而且內燃機車牽引和蒸汽機車牽引比較, 可以提高商 务 速度25%, 电力機車可提高50%。

因此, 应用电力機車, 可以大大地提高列車重量与速度, 从而大大地提高鉄路的通过能力和运输能力。一般來說, 採用內燃機車牽引可以提高鉄路运输能力1倍, 採用电气牽引可以提高鉄路运输能力1.5~2倍[2]。

二、鉄路电气化是社会主义事業的一部分

「共产主义——这就是苏維埃政权加上全国电气化」。列宁这个公式中的电气化, 自然也适用於鉄路。

鉄路电气化意味着劳动生产率的显著提高, 劳动条件的大大改善。电力機車可以牽引較重的列車, 而且由於整備時間減短, 起動快和速度高, 电力機車的日車公里一般較蒸汽機車高70~80%, 較內燃機車高20~30%。大修公里, 电力機車約为150万公里, 內 燃 機車約为90万公里。

当使用牽引变电所自动化和远程控制后, 电气牽引所需运营人員总数要比任何其他牽引形式为少。

除完成运输任务外, 鉄路电气化还可以帮助解决鉄路鄰近区域的供电問題和促进农業电气化的發展。

因此, 鉄路电气化不仅提供了一种新而有效的牽引形式, 而且也是社会主义事業的一个組成部分。

三、鉄路电气化是牽引动力利用自然資源的最好方式

自然資源的有效利用, 从来就是科学工作的一項重要內容。科学工作者不断地为了提高动力机的效率付出巨大的劳动。为要对各种牽引动力在資源的利用上作出全面的評價, 單就機車本身的效率来看是不够的, 必須把列車牽引的全部消耗計算在內, 並將問題追溯到資源的開發上去。

因此, 牽引动力的全效率可以規定为:

$$\eta = \frac{\text{機車所做的机械功}}{\text{自然动力資源的消耗量}}。$$

动力資源的消耗, 包括機車动力机的能量損失, 燃料的開採、运输和加工中所需能量, 機車本身运动的消耗, 停車和輔助操作的耗費等。

这样計算的結果, 得出电气牽引採用火力發電时的全效率为16.2~17.8%, 內燃機車牽引为15.6~16.8%, 蒸汽機車牽引为2.9~5.0%[3]。以上計算, 在估計各項損失和消耗时虽可能有少許差誤, 但所得結果已够清楚地說明各种牽引形式在資源利用效率上的显著差別。

應該指出, 上述数字尚未將电力機車再生能量計算在內。在一般情況下, 採用再生可

以节约的电力等於电气列车全部耗电量的18—20%。

由上可知，蒸汽机车在资源利用上是效率最低的一种机车；它的平均全效率不到电力机车的四分之一。虽然蒸汽机车本身的效率可达6~8%，但是若将停车、整備及本身运动等消耗计算在内，就会得出上面低得多的数字。

因此，採用蒸汽机车牵引在资源的利用上是很不经济的。这也就是各国要停止蒸汽机车生产的主要原因。

内燃机车的全效率和电力机车相近，但是它们使用着不同的燃料。内燃机车所用的液体燃料是一种贵重的自然资源。据计算，一台内燃机车如果牵引3000吨列车，平均日行450公里，每年工作300日，则每年所消耗的液体燃料将在1400吨以上。美国用于内燃机车的液体燃料，每年就达1000万吨以上。美国是一个石油产量丰富的国家，本国产量年达3亿吨，在国外掠夺的还不计算在内。然而，十年来，美国柴油的价格已上涨一倍以上。

世界石油藏量不多，据估计只有煤的百分之一左右。此外，石油还是汽车运输和国防上不可缺少的燃料。因此在铁路运输上採用内燃机车牵引，不可能是一个长远的發展方向。

在自然资源的利用上，电气牵引有一个独特的优点：它可以应用水电站所发出的电力。煤和石油都是在应用中被消耗掉的，而水力资源一旦开发后可以无竭。更重要的是：煤和石油是化学合成的重要原料。随着科学的进步，化学合成的应用范围也日益广泛。许多高分子化合物，如某些重要绝缘材料、人造橡胶、尼龙等制品，现已成为工业、国防以至生活方面不可缺少的物资。与原材料煤和石油相比，它们的经济价值要高得多。远在1888年，俄罗斯伟大的化学家 Менделеев 就曾认为化学燃料应该用于合成，烧掉至为可惜。

事实上电气牵引不但可以利用水力，而且可以应用任何其他方式所发出的电力，包括原子能电站的电力。

自从1954年苏联科学院建立的世界第一座原子能发电站开始供电以来，已为原子能电力的应用开辟了广阔的前途。据估计，以能量计算：世界原子燃料铀和钍的藏量，为化学燃料煤、石油和天然气的总藏量的20倍以上。这就说明了将来代替化学燃料的是原子燃料铀和钍。事实上，英国由于缺少水力和燃料昂贵，已计划要大量发展原子能动力，使原子能发电容量在二十年内达到总发电容量的40%。苏联欧洲部分在大力开发水力资源之后，已发现在目前的技术条件下，原子能发电在西部地区在经济上已有可能与其他发电形式相抗衡。

除重元素所产生的原子动力外，世界科学家们正以极大的努力试图实现氢聚变的控制与和平利用。这种浓度和强度超乎一切的能量来源，如果一旦能加以控制，将真正解决子孙万代所需的动力资源。热核反应的产生，要求百万度以上的高温。目前取得这样高的温度，还需要借助原子爆炸。但是最近的发展表明，完全有可能用比较缓和和安全的方法来进行「点火」。

重氢聚变的最后利用，还需要经过更多的努力。但是可以断言，这个日期不会是过于长远的。

由上可知：化学燃料的宝藏有限，烧掉可惜。水力资源的开发容量，也有一定的经济极限。预计在三、四十年之后，动力的进一步需要，将必然要借助于原子能和热核子反

应。因此可以断言，下一世紀將是一个广闊的原子能时代。可以想像：将来水力发电站和原子能发电站所結成的电力網將遍及世界，电力機車將在世界所有重要铁路幹綫上行駛。

四、其他牵引形式是列車牵引的过渡形式和輔助形式

由以上討論可知：蒸汽機車由於效率低、劳动条件差、牵引性能不好，必然迅速为其他牵引形式所替代。內燃機車效率高，是目前一种先进的機車。应用这种機車投資較低，而且和蒸汽機車相較，性能要比較优越。

內燃機車可以使用煤气，即所謂煤气內燃機車。这种機車需要裝上煤气發生炉，因而加大了原已很重的機車內負荷，而且还要使用部分液体燃料，因此構造十分复杂[4]。試驗証明：在現有状态下，煤气內燃機車运用还不可靠，牵引性能也不好，不可能有很大的發展前途。

最近發展的一种新型牵引动力——燃气輪機車，同蒸汽機車和內燃機車比較，有許多优点。它的重量輕，效率高，而且可以燒用重油和固体燃料。据估計，它的效率可以到12~15%以上；因此，它和蒸汽機車相較，可以节省50~60%的燃料。目前燒用重油的燃气輪機車已有几国在試用。燃煤的燃气輪機車也已在設計和試驗阶段，若干技术問題尚待解决。由於它的以上特点以及与蒸汽機車比較有显著的优越性，在將來很可能發展成为一种重要的牵引动力。

以上几种機車的共同点是必須燒用化学燃料，因而随着自然资源情况的变化，將來必然被逐漸淘汰。在这个时期到来以前，由於它們投資較少，在运量較小的綫路上使用比較經濟，因而适宜作为輔助的牵引动力。

原子能动力直接用於列車牵引，是一个目前引起广泛兴趣的問題。不少科学家試圖設計过原子能機車。从目前情况来看，这种機車在技术上是完全可能的，但是需要尽很大的努力来研究出輕小的原子堆防护層以減輕機車的重量。同时，可能还需要等待一个相当長的时期，它在經濟上才能和其他牵引形式竞争。以美国的資料为例，1954年 Utah 大学設計的原子能機車，用汽輪發電机，功率为7000馬力，機車总長約50公尺，仅防护層即重200吨[5]。1955年 Cunnells 設計的原子能機車用燃气輪發電，功率为3000馬力，反应堆容量为20000千瓦，效率为16%。如以美国原子能委员会标价的三分之二、每一循环燒掉燃料20%計算，这个機車燃料的成本將为柴油機車的2倍，总成本为柴油機車的2.5倍[6]。

以目前可能最好的材料組合来計算，反应堆和防护層的直徑需3~4公尺，共重100吨以上。

此外，还有公共安全問題需待解决。

从牵引性能来看，原子能機車和其他裝置原动机的機車相似。虽然原子能機車可以比較容易地加大反应堆的容量，但是車重还是較大，牵引特性終究不如电力機車优越。

科学进步是沒有止境的，很难断言在很長远的將來牵引动力將發展成为何种型式，或者將來是否仍保存着現有形式的铁路。然而，可能予見的將來，铁路將很快發展为以电气牵引为主的运输工具，原子能动力主要將通过电力站的形式加入統一的电力網，向城市、乡村以及运输綫路送电。內燃機車和燃气輪機車將为过渡时期中可靠的輔助牵引动力。原子能機車很可能在支綫上应用，並与电力機車一道，在相当長远的时期內共同担負着铁路的运输任务。

世界各国铁路电气化的展望

在铁路上采用电气牵引到现在已有75年的历史。目前世界各国已有电气化铁路的总长度约为55000公里，约佔铁路总长度的4%，其中大部分集中在西欧国家。根据已有材料，目前欧洲约有电气化铁路30000公里（不包括苏联西部），约佔该地区铁路总长度的12%，美洲约有9000公里，亚洲约有6000公里，非洲约有3000公里，澳洲约有900公里〔7〕。在欧洲国家中，瑞士、瑞典、荷兰、意大利等国由于水力资源较为丰富，因此电气化铁路佔铁路总长度的比例也较大。在这些国家中，电气牵引担负着三分之二以上的铁路运量，瑞士铁路几乎已全部电气化。

铁路电气化在各国近来一般都有显著的发展，许多国家並计划在最近的若干年内使更多的铁路改用电气牵引〔8〕。

苏联现有约5500公里的电气化铁路，其中大部分系战后建成。鑒於铁路电气化对国民经济的重大意义，苏联最近决定还要大大地加速电气化铁路的建设，並規定在15年内要使40000公里的铁路电气化。据计算：从莫斯科到海参威全长约10000公里的铁路在电气化以后，每年至少可以节约燃料1800万吨，运营费將比蒸汽牵引减少27亿多卢布。据估计，这条线路电气化所需要的投资不出四年就可以收回〔9〕。为了供应这条线路的电力，除利用水力发电以外，还要建立许多火力发电站。

英国去年宣佈的15年铁路现代化计划，决定要停止蒸汽機車的生产，在主要线路上改用电气牵引和內燃牵引〔10〕。初期电气化计划，估计投资为1.85亿英镑，电气化线路长度约2350公里。加上现有约1900公里，电气化铁路將佔总长度的13.5%以上。

法国现有电气化铁路约4500公里。最近几年来正在將若干重要幹线铁路改用电气牵引。在法国东北地区预计在1959年以前可以完成817公里线路的电气化。此外，並计划还要將若干线路电气化。在这个计划完成后，法国將共有电气化铁路约6800公里，佔铁路总长的17%，担负着铁路总运量的50%〔11,12,13〕。

西德铁路计划要将4300公里的线路电气化。在计划完成后，西德將有电气化铁路6100公里，佔铁路总长约20%，估计將担负总货运量40%。

奥地利最近几年要使电气化线路长度达到铁路总长的40%，使电气牵引担负80%的铁路运输任务。

瑞士铁路已有约97%採用电气牵引，並要在2~3年内將所余线路电气化。

日本现有电气化铁路约2000公里，最近决定还要电气化约3300公里。在这个计划实现后，日本电力铁道將为其铁路总长的25%，担任运量75%〔14〕。

美国铁路在最近十年来基本上已由蒸汽改为柴油內燃機車牵引。目前美国內燃機車牵引的运量，约达铁路全部运量的85%。美国电气化铁路所佔比重很小，而且近十余年以来沒有发展。

由以上情况可以看出：尽管过去进度比较缓慢，除美国以外，目前铁路电气化已成为各国铁路发展的一般趋势。过去若干铁路电气化发展比例较大的国家，大都憑借较为丰富的水力资源。但最近的发展表明，在很多国家中，水力资源已不是决定铁路电气化发展的主要因素。事实上，新计划改用电气牵引的许多线路，將借助力力发电站或原子能发电站

來供電。

值得注意的是，英國在分析該國鐵路電氣化進展緩慢的原故時說：習慣、戰爭和不景氣使得電氣牽引長期未得迅速發展。

美國由於資源情況特殊，主要採用柴油機車牽引。而且由於過去鐵路網盲目發展，大部分線路運量不大，因而如果採用電氣牽引，初期投資不容易在短期內收回。加以對電費的某些不合理規定，因此多年來，電氣牽引不但沒有發展，而且在內燃牽引的幹線上，某些較短的電氣化區段也已改行內燃機車。

但是，鑒於近年來柴油價格不斷上升，美國若干人士又重新提出鐵路電氣化問題。兩年前，有人在電工學會學報上著文證明，在美國採用電氣牽引，要比柴油機車牽引為經濟〔15〕。並有人予料，在未來十年內，現有情況將會有所改變——柴油價格將繼續上漲，而電費由於原子能發電站和新的水電站的發展而將要下落，某些線路可能要從柴油機車牽引改為使用電力機車〔16〕。

蘇聯的情況最足以說明世界鐵路較長期的發展方向。蘇聯在以發展鐵路電氣化為主要的方向下，同時也大量採用內燃牽引。但是根據蘇聯計劃，大凡貨運繁忙的重要幹線和客運頻繁的鐵路幹線，在10~15年內要改行電力機車〔17〕。

鐵路電氣化的科學技術問題

自從電氣牽引在鐵路上應用以來，有關的科學家和鐵路從業人員所最關注的問題是電氣牽引的電流制問題。從來有關電氣牽引的學術討論，大都牽涉到電流制或者與電流制問題有密切的關係。電流制問題之所以引起如此廣泛的重視，是由於電流制的選擇在很大的程度上決定着電氣牽引的經濟和技術質量，並影響到鐵路電氣化的應用範圍與規模。

現有的電流制，按接觸網電流的性質，概括可分為四種：（1）直流制；（2）低頻率單相交流制；（3）工業頻率單相交流制；（4）三相交流制。除工業頻率單相交流制在最近兩三年才有較顯著的發展外，其他制度都有了比較長久的歷史。

蘇聯遠在開始採用電氣牽引以前，就已着手研究鐵路電氣化所應採用的電流制問題。1921年，Вульф 教授所提報告認為，蘇聯應該採用3000伏直流制。自1929年蘇聯鐵路開始採用電氣牽引以來，就是用的這種制度。但是，由於3000伏直流制存在着若干缺點，發展上受到一定的限制，因而在1939年，蘇聯科學院以 Лебедев 教授為首的一個委員會又重新研究電流制問題。研究結果表明，直流制和工業頻率單相交流制最適合蘇聯情況。委員會並推薦在交流電力機車未獲解決以前仍繼續採用3000伏直流。然而，蘇聯關於牽引電流制問題的爭執，一直到戰後還沒有終止。根據不久以前的消息，不少科學家仍認為3000伏直流制還沒有充分發揮它的潛力。同時，許多科學家曾研究將直流電壓提高到12~20千伏的問題〔18〕。值得注意的是，由 Косменко 院士領導的蘇聯科學院電氣牽引新制委員會近來極力推薦電氣牽引採用工業頻率單相交流制〔19〕。

工業頻率單相交流制1932年創始於匈牙利。1936年德國曾建成一個試驗區段。戰後法國總結了德國的經驗，1950年在 Aix-les-Bains 到 Annecy 之間建設了一段試驗性線路，並獲得了十分有利的結果。自1954年以來，法國即着手在東北地區應用這種制度將重要幹線逐步改用電氣牽引，引起了全世界的廣泛注意。法國試用工業頻率單相交流制的成功，使

得許多國家又重新估價在牽引電流制上的已定政策。

應該說，蘇聯在初期決定採用3000伏直流制牽引是完全正確的。當時在技術上還沒有能夠解決採用交流制所引起的一系列的問題，特別是製造可靠的交流電力機車的問題。近年來由於電工技術的進步，採用工業頻率單相交流電氣化在技術上已可能實現。事實上，到目前為止，有許多國家如匈牙利、西德、法國、剛果、英國、土耳其等已在某些線路上採用這種制度〔20〕。兩年來法國東北部地區主要幹線上採用交流制的經驗，更足夠說明這個制度在技術上的可能性和優越性。根據最近資料，除法國外，英國、日本、奧地利、葡萄牙等國業已決定在新建的電氣化線路上採用工業頻率單相交流制。在新制方面蘇聯已建成一個150公里的試驗區段，對供電裝置、通訊信號設備和交流電力機車進行試驗。

採用工業頻率單相交流制，可以大大地減少變電所的數目，縮短高壓傳輸線的長度，節約接觸網的用銅量和減輕接觸網支柱的構造，因而大大地降低了電氣化固定設備所需要的投資。而且由於應用了集中供電方式，供電設備裝置容量要較小；電壓提高，供電系統的損失減小，因而電氣牽引的耗電量也較低。

在機車車輛方面，採用交流制增加了它們可能而有利的型類，使鐵路工作者有可能按照不同的線路和運輸要求，選用最合適的機車類型。法國經驗證明，由交流電力機車組成的運輸隊伍，並不比直流電力機車成本高，而且經過改進和大量生產後，估計總價可能比直流機車還要低。

因此，採用工業頻率單相交流制，可以節省鐵路電氣化的投資，減少有色金屬的需要量，並有可能獲得電力機車較好的牽引性能。交流制要求沿路通訊線採用電纜，因而需要一筆較高的費用。但通訊線路電纜化是一種先進技術，而且所需的額外投資，3~4年內就可收回。

工業頻率單相交流制接觸網的電壓，在技術上可以提高到從經濟考慮需要的任何數值。目前各國一般趨向採用20000~25000伏電壓。計已有的電壓是：匈牙利16000伏，西德20000伏，剛果22000伏，法國25000伏，英國的一個近郊區段採用6600伏。此外，英國決定在幹線上採用25000伏，阿根廷採用27000伏〔21〕。美國曾有人倡議將電壓提高到35000~48000伏〔22〕。蘇聯也正在研究較高電壓的問題。較高電壓可以進一步減少變電所的數目，更多地節約有色金屬，並減輕對通訊線路的干擾。但是必須同時考慮加大隧道橋梁等限界所需要的額外投資。

目前有關工業頻率單相交流制牽引的主要科學技術任務之一是創造可靠而經濟的交流電力機車車輛。交流電力機車可以有很多不同的類型，但是按其電流性質可以將他們劃分為四種主要類型：（1）整流器式的交—直流電力機車；（2）旋轉變流機（電動發電機組）式交—直流電力機車；（3）單相—三相交流電力機車；（4）直接採用單相整流子電動機的直接式交流電力機車。

整流器式機車的主要問題是要求運用上可靠的整流器。為了這個目的，可以採用水銀整流器或半導體整流器。目前機車上應用最多的水銀整流器是引燃管，法國、蘇聯、美國等都採用着這種形式。此外，英國在試用多陽極水銀整流器，美國在試驗利用勵弧管。在機車上應用的要求是製造用空氣冷卻的大型密封式水銀整流器。

目前所有的水銀整流器式幹線電力機車都沒有裝置再生設備。用柵極控制的水銀整流器在理論上是可以進行逆變流的，問題在於提高它的工作可靠性。巴西和南非的一些直流

制电气化鉄路上，变电所中已採用逆变流裝置[23,24]。

半导体整流器可以採用矽、鍺和砷，其中以鍺和砷單晶体整流器性能較好。單晶体的应用，还是新近的事。它們的效率要比水銀整流器高，而且体积輕小，能經受振动。目前英国已試制出一部鍺整流器摩托車輛，整流器容量为750千瓦，每个單晶体單元額定1千瓦，平均电流50安，最高反电压規定为32.5伏[25]。

半导体整流器的問題在於制造中要求精密度很高，成品不易做到一致。例如鍺整流器的 $p-n$ 結，厚度仅約 10^{-4} 公分，电压降約 0.5 伏，厚度的少許变化就可以影响其性能。在高压强力整流器中需要用很多做串並联，因而对制造精密度有特別高的要求。

鍺整流器的一个缺点是耐温不高，在約 30°C 以上，逆电流就显著增大。新近發展的砷整流器热性能較好，估計可以耐温 300°C [26]。但是这种晶体的提純要比較困难。

半导体整流器用於再生时的逆变流問題尚待进一步研究。必須創造可靠的、用於强电流的半导体三極管。

交流單相 - 三相机车的中心問題是牽引电动机的速度控制問題。著名的匈牙利肯都系統已有了很久的历史。最近法国机车上採用的是用直流电动机拖动的三相異步电机組做为变频机，頻率由改变电动机轉速予以控制。值得注意的是苏联科学院院士 КОСТЕНКО 所拟制的变相变频綫路，这个綫路天才地应用了兩台單相整流子發電机，而且在变频时主电路不需要进行轉換[27]。

單相 - 三相交流电力机车的变相变频方式很多，也是交流电力机车电力傳动研究的主要对象。

直接式机车最重要的組成部分是單相整流子牽引电动机。低頻率整流子牽引电动机已有很長久的运用經驗，工業頻率的近来也有很大的改进。这种电动机的主要技術問題在于解决大功率單位在起动和低速運轉时的整流問題[28]。此外，还必須为整流子电动机創造更好的再生綫路。

牽引电动机的共同問題，主要是大功率电动机的設計問題。为了提高牽引电动机的功率，必須研究能耐高温的新絕緣材料和加强通風方式的理論研究。目前所採用的絕緣材料最高运用温度为 145°C ，如用含砷有机物絕緣，温度可能提高到 180°C 。此外，还需要改进牽引电动机的整流状态，根絕在規定的运用条件下的环火現象。

为了採用新的牽引电流制，必須拟制新供电系統的設計方法。供电系統中，三相平衡問題，諧波影响問題，对通訊綫路的干扰問題等需待解决。同时，由于用新制牽引，必須对鉄路信集閉系統进行改造。現有的交流制供电系統的計算方法还不够准确，計算过程也过于复杂[29]。必須在較严格的理論基础上求出供电系統計算公式，並做出簡便的工程計算方法以便現場应用。

另外，在供电系統的設計中必須充分考虑农業电气化和鄰近城市和工業的电力供应問題，求出全面合理的供电方式。

接觸網的設計必須适应新的情况。导綫选择应以尽量节约用銅为原则。鋼吊錢已在低頻率單相交流牽引制中广泛应用。此外，必須研究接觸导綫的銅的代用材料和导綫的防蝕与抗磨等問題。

目前列車正向高速度發展。快車时速已达 120 公里以上。法国电气列車的試驗速度，最高达到每小时 332 公里。为了适应这个情况，除機車車輛的結構和走行部分必須进行相

应的改进外，接觸網的技术条件和計算方法也必須作相应的改变。

沿路的接觸網支柱近来趋向採用钢筋混凝土結構。混凝土支柱可以節約高質鋼材，而且經久耐用。但是这种支柱的結構，还需要进行很多的理論研究和試驗。新支柱的应用，要求制定全套的新計算方法。此外，新支柱基础的穩定性的計算方法，也必須解决。

交流接觸網的另一重要問題是隧道和桥梁中的絕緣問題。据統計，电力鉄道的短路事故大部分發生在隧道內。由于交流制电压較高，这一問題需要予以更多的注意。

牽引变电所目前的主要問題是定型設計和自动化远控化問題。牽引变电所自动化的应用已相当普遍，遙远控制也有很大程度的發展。供电裝置的全盤自动化是一个必然的發展方向。这个問題需要进一步进行研究，以便得出运用可靠而元件最少的控制系統。

最后，在採用电气牽引中，經濟問題的研究是十分重要的工作。必須拟定採用新制的經濟設計原則和方法，研究在不同运量和不同地区条件下採用电气牽引的技术經濟效果，以及和其他牽引形式銜接与配合的技术經濟問題，以便得出电气化鉄路最合理的設計方案，确定电气牽引应用于各个具体綫路上的合理性，並为决定鉄路电气化的發展規模与步驟提供科学基础。

我国鉄路电气化的途徑和發展远景

几年来，我国国民經濟的飞躍發展，使我国在世界鉄路技术革新的浪潮中，有条件考虑迅速进行鉄路牽引动力的改造的問題。我国鉄路目前全部使用蒸汽機車，它們不但很不經濟，而且在許多綫路上已不能胜任日益繁重的運輸任务。在若干区段上，由于隧道多、坡度大，蒸汽機車的操作条件，已严重地威胁着司机的健康与安全。因此，在某些区段上改用新型牽引动力，原来就已十分迫切。

从前面的分析可知，电力機車將發展成为鉄路牽引的主力。但目前應該採用何种新的牽引形式，主要还要看近期的資源情况如何。各国的資源条件不同。美国主要採用內燃機車。苏联和欧洲各国則側重鉄路电气化，但很多国家同时也大量採用內燃牽引。我国目前和近期的情况是：煤产量較多，石油很少，水力資源十分丰富，而且計劃大量予以开发。因此，为了适应資源条件，迅速改造我国鉄路的牽引动力，我国必須在某些必要区段和重要鉄路干綫上尽速發展电气化，將內燃機車作为可靠的輔助动力，在运量較小而缺水的地区採用。

关于我国應該採用何种电流制的問題，作者曾在去年四月間著文就各种制度进行較詳尽的理論的分析和比較，並建議在我国干綫及近郊电力鉄道中採用工業頻率單相交流制，而且在提前电气化的各个区段中即予执行[30]。随后苏联科学院Костенко院士在来华訪問时，亦曾極力主張我国採用这种制度[31]。一年余来世界各国的發展充分証明，採用这种制度是完全正确的。近来已有許多国家决定採用这种电流制。值得注意的是，去年还决定採用直流制的英国，最近重新作出决定在將要电气化的綫路上採用工頻交流，並要將某些已有的直流区段予以改造。

如上所述，採用新的工業頻率單相交流制牽引，許多科学技术問題尚有待解决。对我国來說，目前迫切的問題是要确定干綫电压标准，提出機車規格和进行定型設計，掌握新制电气化設計和施工技术，以及所需各种設備的供应等。同时，还必須从現有和新的人員

中，培养出大批操作和維護人員。

关于我国干綫电压标准的問題，在現已流行的20000~25000伏或更高电压之間的選擇，主要应在經濟的基础上，通过計算和試驗来决定，同时也应当考虑与苏联及人民民主国家間国际联运和国际协作的問題。我国干綫电压應該規定一个統一的标准。但是在隧道、桥梁过多的已有綫路上，由于加大限界投資过大，並可能过多地延誤列車的正常运行，可以而且應該考虑採用較低电压，以适合原有限界並保證安全运行。英国在決定採用25000伏單相交流牽引制时，就曾考虑在上述情况下改用6600伏电压[32, 33, 34]。

交流电力機車，各国目前主要趋向採用整流器式交—直流电力機車。这种機車有較好的牽引性能，而且造价比較低廉。根据目前資料，运用也很可靠。美国 Pennsylvania 鐵路在1952年試用了兩台之后，証明效能良好[35]。这条鐵路採用的是25周低頻率的單相交流制，但是同样的結論可以适用于其他頻率。特別值得注意的是，法国在东北部鐵路較長期而广泛地試用了各种类型的交流电力機車之后，最近决定嗣后只訂購整流器式機車。

在機車类型上，其他国家也有的得出了不完全相同的結論。直接式機車構造簡單，控制簡便，使用的效果也很良好。交流單相—三相機車虽較重，但运用可靠，而且再生簡易，功率因数高。兩种機車都使用正弦波电流，而且不受温度变化的影响。西德在試驗了四种不同类型的機車之后，認為直接式機車較為适宜[36, 37]。奥地利在即將用工業頻率單相交流制进行电气化的綫路上，決定採用直接式高低頻率兩用機車。苏联除在試驗整流器式機車之外，还決定要試制交流單相—三相电力機車[38]。

目前已有的摩托車輛，大都採用交流整流子牽引电动机，而且还在大量制造。整流器式摩托車輛也有很多在运用中。

根据以上情况可知，几种主型機車都各有其特点。因此，我国对各种类型均应进行研究。但是，考虑到整流器式機車造价較低，技术比較成熟，而且牽引性能較其他機車优越，因此对我国將自造的第一批电力機車应优先考虑採用整流器式。初期向国外購買的機車，在可能範圍內，应同时考虑在运用上已証明可靠而适用于我国的其他类型，以应用于我国干綫，讓各种機車有尽可能多的改进与發展的机会，为将来进一步确定机型打下基础。

至于新制电气化設計問題，應該尽速加以研究解决。根据我国情况，接触網支柱应尽量採用混凝土結構，並積極地展开相应的研究工作。同时，除鋼筋混凝土支柱外，还应该考虑採用竹筋。接触导綫目前可以採用銅綫，但是應該研究出好的代用品。吊綫材料應該尽量避免用銅。銅是国家建設所广泛需要的物資，應該尽量注意節約。

牽引变电所的設計可以很好地应用我国已有的經驗。控制可以暫時考虑採用半自动，以便減少初期工作中設備的供应上的困难。我国电力工業已有一定基础，电机制造業也基本上已能自行設計和制造各种电力設備。为了我国鐵路电气化工作能迅速开展，除必要尽量吸收国外經驗外，应充分利用我国各部門已有的設計能力和設計标准，並尽可能採用國內已批生产的設備。过去与各設計和制造部門相互联系还不够，今后應該注意加强。

鐵路电气化的科学技术問題十分广泛，需要經過長时期的努力才能逐步达到自行解決問題的境地。在整个工作过程中，应注意吸取国外的經驗。为了更好地解决目前的迫切問題並促使我国科学技术力量迅速成長，在初期的工作中，吸取国外經驗並取得苏联以及其他人民民主国家的技術援助，尤其十分重要。除此之外，我国应更好地組織已有人力，以

便能更有效地开展工作。

我国有关铁路电气化的技术基础原已很薄弱。但是过去对如何加以组织利用的问题，並沒有予以适当注意。据作者了解，我国初期拟定要电气化的区段並不多，但是却同时有几个設計院在独立考虑組織自己的人員。参加設計指导工作的苏联铁路电气化設計專家 Кришевский 同志就曾提过这样的意見，認為在目前情况下电气化設計人員應該集中培养和使用。分散組織、各搞一套的方式在現情况下对工作是不利的，應該迅速注意糾正。

作者認為在現阶段下应先努力健全一个电气化設計組織，並为了工作上的便利，这个組織最好設在北京或天津。这样既可以和鐵道部各業務局取得密切联系，也可以和鐵道科学研究院、和其他部門研究機構和設計院以及和高等学校接近，便于取得技术援助。

應該說，已作出的宝成铁路宝鳳段的电气化技术設計質量是很好的。但是由于各方面的联系与协作工作作得不够，因而这个設計也还存在着若干缺点。例如在牽引定数上就沒有和机务局取得一致，以致在計算中列車重量定得过低。列車阻力和制动系数採用了苏联数据，而这些数据恰好不适合于中国的情况。据作者所知，鐵道科学研究院早已开始了我国車輛的数据測定，而且已得出了适用于我国車輛的具体数字。設計機構和研究院及高等学校接近在目前是十分有利的，这样既可以加强設計工作，也便于科学研究工作与实际相結合。

現在各方面对于機車定型的问题都十分关切。但是目前还没有一个統一的組織来进行这个工作。作者建議由鐵道部、一机部、电机制造部來組織一个專門的委員會，对機車定型和設計制造問題进行协商，以便在制造上取得合理分工，在定型和設計上迅速取得技术上的一致意見，並使这个委员会成为一个決定問題的機構。根据苏联經驗，过多的層次与組織对迅速推广新技术是不利的[39]。有关的科学研究組織，根据目前情况，也应该特別注意有效的协作和分工。

电气设备的及时供应，是实现铁路电气化的一个基本保証。如果做不到这一点，原計劃就不可能按期完成。苏联第二个五年計劃原要电气化5000公里的铁路，但由于設備和电力未得及时供应，以致到战前还只完成1900公里[40]。因此，在拟定計劃和执行計劃时，必須取得各方面的协商和工作协调，才能保証計劃的如期实现。

我国铁路电气化已由醞釀逐渐进入现实的阶级。第一条准备电气化的干綫区段，已完成了技术設計。根据最近消息，另有共長約2000公里的若干綫路，准备在第二个五年計劃期內进行电气化。这些綫路大都处在地形比較复杂的地区，通过能力已必須由改用牽引形式加以提高。無疑的，我国工業現有水平还不高，铁路大規模的技术改造要待逐步实现。因此，对于铁路电气化的規模与速度，不可能作过高过急的要求。

誠然，铁路电气化所需投資甚大，因此在現有条件下，只有在运量較大的綫路上应用才有其經濟价值。一般說来，电气化目前适用的区域为：貨运繁忙的铁路干綫，客运繁忙的铁路綫，大城市和工業区的郊区綫路以及山岳地带和缺水地区。但是，在初期进行电气化的工作中，應該避免限于过分另碎和分散的短小区段，因而限制了电气牽引作用的充分發揮[41]。在目前計劃电气化的若干区段中，特別要注意为进一步發展作好准备。国家的許多主要铁路干綫，例如京山、京汉等綫，应提前研究其电气化的日期和步驟。

我国水力資源特別丰富，估計可以開發的發電容量达3.5亿千瓦，高出苏联和美国数倍。这些水力地区分布極广，特別以西南各省最为丰富。根据国家計劃，东部和黃河長江

的大型水电站均拟提前建設。黑龙江水利的開發，最近也已和苏联取得協議。在不久的时期內，各个地区將相繼出現龐大的联合供电系統。电力供应的迅速增長，特別有利于铁路电气化的發展，因而我們必須充分作好准备工作，以免铁路电气化事業落后于發展形势的要求。

我国經濟与文化事業的發展一日千里。对工業、運輸業和农業的技术改造以及国家科学技术的發展，最近並分別訂出了長远规划。正如赫魯曉夫同志所指出：铁路电气化是对铁路運輸实行技术改造和在更高的技术基础上發展铁路運輸的最重要的环节。有理由相信，在总的国民經濟的發展的基础上和党的英明领导下，經過全路員工和有关部门人士的辛勤努力，在不很長远的將來，我們可以見到我国铁路成为以电气牽引为主的全国運輸动脉。

参 考 文 献

- [1] Е. Г. Бовэ. Результаты испытаний мощного восьмиосного электровоза. Железнодорожный транспорт, №12, 1955.
- [2] Настойчиво внедрять мощные тепловозы и электровозы (Передовая). Железнодорожный транспорт, №11, 1955.
- [3] С. С. Ушаков. Использование топливноэнергетических ресурсов при различных видах тяги. Техника жельзных дорог, №2, 1956.
- [4] Т. Н. Хохлов. Газогенераторный тепловоз ТЭ4 и результаты его испытания. Железнодорожный транспорт, №10, 1955.
- [5] G. K. Abel, etc. An Atomic Locomotive. University of Utah, January 1, 1954.
- [6] The Locomotive. Vol. 62. №763, p. 44, March 1956.
- [7] VDJ Nachrichten, Bd. 9, №8, в. 3, 9, 1955.
- [8] А. А. Терехов. Однофазный ток 50 пер/сек на железных дорогах зарубежных стран. Новые виды тяги на транспорт, АН СССР, 1956.
- [9] 赫魯曉夫：苏联共产党中央委员会向党的第二十次代表大会的总结报告。人民出版社。
- [10] The Railway Gazette, Vol. 102, №4, p. 67, January 28, 1955.
- [11] M. Lefort. L'Electrification des lignes du nord-est de la France : deuxieme etape. Revue Generale des Chemins de Fer, et des Tramways, №73, p. 118, 1954.
- [12] W. J. A. Sykes. The Progress of 50 c/s Railway Electrification in France. Journal IEE, №3, New Series, March, 1955.
- [13] The Railway Gazette, Vol. 103, №26, p. 745, December 23, 1955.
- [14] 矢山康夫：国鉄交流電化。電気車の科学, Vol. 9, №5, May 1956.
- [15] H. F. Brown, R. L. Kimball. A Reappraisal of the Economics of Railway Electrification : How, When and Where Can It Compete with the Diesel-Electric Locomotive? AIEE Trans., Vol. 73, Part II, 1954.
- [16] The Railway Gazette, Vol. 102, №7, p. 126 February 18, 1955.
- [17] 苏联共产党第二十次代表大会关于1956—1960年苏联發展国民經济第六个五

年計劃的指示。人民出版社。

[18]З.Е.Розенфельд и др. Электрические железные дороги. Трансжелдориздат, 1951.

[19]Deutsche Eisenbahntechnik, Jahrgang 3, Heft 12, s.475, Desember 1955.

[20]M. Pelou. La traction monophasée a 50 Hz a la conquete du Monde. Electricite, 40 Année, №226, Avril 1956.

[21]The Railway Gazette, Vol. 103, №14, p.395, September 30, 1955.

[22]И.И.Иванов. Научно-технические вопросы электрификации железных дорог. Электричество, №7, 1955.

[23]Revue Generale des Chemins de Fer, p.21, 1955.

[24]Электричество, №6, стр.87, 1956.

[25]The Locomotive, p.62, April 1956.

[26]The Railway Gazette, Vol.103, №18, p.514, October 28, 1955.

[27]Б.Р.Бондаренко и др. Электровозы однофазного тока промышленной частоты. Железнодорожный транспорт, №11, 1955.

[28]А.Б.Иоффе. Об однофазном коллекторном двигателе на частоте 50 гц для тяги. Электричество, №1, 1956.

[29]К.Г.Марквардт. Энергоснабжение электрифицированных железных дорог. Трансжелдориздат, 1948.

[30]曹建猷: 我国电力铁道应该採用何种电流制? 唐山铁道学院第一次教学及科学研究会報告集, 1955.

[31]严济慈: 深厚的友誼, 宝貴的建議. 人民日报, 1955年8月2日.

[32]The Locomotive, p. 62, April 1956.

[33]The Railway Gazette, Vol. 102, №19, p. 539, May 13, 1955.

[34]The Railway Gazette, Vol. 103, №2, p. 49, July 8, 1955.

[35]F.D.Brown. Some Application phases of the ignitron Rectifier Locomotives on the Pennsylvania Railroad. AIEE Trans., Vol.73, Part II, p. 128, 1954.

[36]Bull. ASE, №1. p. 34, 1955.

[37]Elektrische Bahnen, Sonderheft, Mai, 1956.

[38]О внедре ни электрической тяги на однофазном токе промышленной частоты(хрónica). Железнодорожный транспорт, №6, 1956.

[39]На электрических магистралях Франции. Гудок, 7 июль, 1956.

[40]J.N.Westwood. Locomotives of the U.S.S.R. The Locomotive, p.88, May 1956.

[41]До конца преодолеть отставания в электрификации транспорта. Гудок, 1 март, 1956.

關於我國交流電力機車 定型問題的幾點商榷

杜慶萱

(I) 引言

為了適應社會主義建設飛躍的發展，滿足日益增長的運輸要求，鐵路電氣化已作為今後我國鐵路技術改造的一個主導環節而具體地提到我們工作日程上來了。在現有的各種電氣化鐵路電流制中，目前應用最廣的直流制不可否認是存在着一定難以克服的缺點的；根據全面的技術經濟比較，普遍認為單相工頻交流制最有發展前途。

毫無疑問，我國鐵路電氣化過程中亦將採用這種電流制作為國家標準。在電流制的問題得到肯定之後，接着亟需解決的就是電力機車的定型問題。我們應該考慮在多種類型的交流電力機車中抉擇出經濟可靠，性能優越，最合適的電力機車作為基本型式，在這方面集中力量從事生產製造並繼續不斷進行研究與改進。

單相交流電力機車的種類很多，但主要可以分為下列四種基本型式：

(1) 具有單相整流子電動機的電力機車。在這種電力機車上，通過主變壓器降壓後，以單相工頻交流電直接供給整流子電動機帶動電力機車。

(2) 具有整流器的單相一直流電力機車。在這種機車上，單相工頻交流電除了要通過主變壓器降壓外還要用整流器將交流轉換為直流，然後再用直流牽引電動機來帶動電力機車。

(3) 具有旋轉變流機（電動-發電機組）的單相一直流電力機車。在這種電力機車上，先由主變壓器降低電壓供電給電動-發電機組，電動-發電機組將交流電轉換為直流電，機車亦由直流牽引電動機來驅動。

(4) 單相-三相電力機車。單相-三相電力機車上裝有換相機或分相機將單相電變換為三相電，然後利用變頻機改變三相電的頻率從而控制電力機車上的三相異步牽引電動機。

以上幾種交流電力機車均各自具有其一定的特點，但同時也或多或少尚存在着一些尚待克服的缺陷。目前各國都還在繼續進行研究、試驗，並通過實際試運轉來檢查它們各方面的性能。因此目前來研究一下我國電力鐵道交流電力機車的定型問題是具有非常現實的意義的。

(II) 建議以單相-直流整流器電力機車

作為我國電力機車定型的根據

從電力機車的牽引動力——牽引電動機——方面來說，直流串激電動機經過數十年來在機車上實際應用的考驗，證明其具有最良好的牽引性能，已被一致公認為電力鐵道上