

運輸中的新式牽引

下 冊

(燃气輪機車和燃气輪船舶部分)

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

下 冊

(燃气輪機車和燃气輪船舶部分)

苏联科学院綜合運輸問題研究所編

交通大学內燃機車教研組譯

一九五七年二月十九日

人民鐵道出版社

一九五七年·北京

本書是按『НОВЫЕ ВИДЫ ТЯГИ НА ТРАНСПОРТЕ』(蘇聯科學院綜合運輸問題研究所編, *蘇聯科學院出版社1956年出版。前半部是關於鐵路電氣化方面, 後半部是關於燃氣輪機車和燃氣輪船舶方面)一書譯出的, 為便利讀者分上、下二冊出版。

本冊闡述了西方國家關於燃氣輪機在機車上及船舶上的應用, 各種型式燃氣輪機的構造、性能、效率, 以及裝有不同燃氣輪發動機的牽引工具的效率比較等。是西方國家將燃氣輪機應用在牽引工具上的新成就。

本書供鐵路運輸及水路運輸有關工程師、技術員以及科學研究人員和院校師生等學習參考之用。

本書主編者: Т.О. 哈哈徒羅夫。

運輸中的新式牽引

下 冊

НОВЫЕ ВИДЫ ТЯГИ НА ТРАНСПОРТЕ

蘇聯 АКАДЕМИЯ НАУК СССР 編

蘇聯科學院出版社 (1956年莫斯科俄文版)

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1956

交通大學內燃機車教研組譯

人民鐵道出版社出版 (北京市政公府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刷 (北京市建國門外七聖店)

書號829 開本 $350 \times 116\frac{1}{2}$ 印張2 插頁2 字數49千

1957年9月第1版

1957年9月第1版第1次印刷

印數0001—530冊 定價(10)0.43元

目 录

一、機車及船舶的热力經濟性·····	1
二、运输業所用的燃气輪机（历史簡述）·····	7
三、燃气輪發动机在機車上的应用·····	10
四、帶有組合式發动机的機車·····	24
五、燃气輪机在商船上的应用·····	30
六、应用在軍艦上的燃气輪發动机·····	39
七、具有活塞式燃气發生器的船用燃气輪机裝置·····	43
八、具有不同發动机的牵引工具的效率比較·····	46

燃气輪機車及燃气輪船舶在国外的应用

A·A·保保夫

一、機車及船舶的热力經濟性

提高機車和船舶的动力裝置的热力經濟性是苏联国民經济中的一件最主要的任务，因为苏联的燃料开采总量中，約有80%消耗在运输事業的需要上。

現有动力裝置在全載荷下的热力經濟性（輔助設備的燃料消耗量亦考虑在內）可以用引列在表1中的数据來說明。

表 1

原动机（主發动机）类型	铁路運輸	水路運輸	
		河 运	海 运
蒸汽机（%）：			
热能动力部份·····	6~7	10~15	12~25
牵引工具·····	5.6~6.5	2.5~6.5	6~18
活塞式內燃机（%）：			
热能动力部份·····	27~36	26~34	26~43
牵引工具·····	22~28	6~14	12~24
燃气輪式內燃机（%）：			
热能动力部份·····	14~18	—	18~32
牵引工具·····	11~16	—	9~19
电动机（%）：			
动力裝置·····	18~25	—	—
牵引工具·····	12~16	—	—

附註。蒸汽动力裝置热能动力部份的效率是根据指示功率計算的，而蒸汽机的效率则是根据有效功率計算的。铁路運輸牵引工具的整体效率是計算到輪周上。

活塞式內燃机动力裝置是最經濟的，而蒸汽动力裝置虽然用得广泛，却是最不經濟的。燃气輪發动机动力裝置尚未达到与

活塞式內燃机同等的經濟性，但它們具有一系列优点，可以弥补某些燃料过多的消耗。

在尺寸和重量二方面都受到限制的运输式(特别是铁路运输)动力装置中，利用苏联蒸汽力能学的巨大成就的可能性以及提高这些装置的热力利用程度的可能性，要比在固定式动力装置中少一些。

有二种方法可用来大大提高运输事业上的热力利用水平。其中之一是运输电气化，在这种情况下生产能量的过程集中在巨大的电力站中。另一种方法是利用內燃机(活塞式、燃气輪式和組合式——带有自由活塞式燃气發生器的燃气輪机)。

單位运输功的燃料消耗或能量消耗，在很大程度上与运输工具的利用程度有关——增加列車或船舶的重量和速度。大家知道，当其他条件相等时，引用較大的功率能提高运输的質量指标和数量指标。

在把尺寸和重量維持在許可範圍內的情況下，最容易实现的提高运输工具效率的方法之一就是利用內燃机来代替蒸汽机，而在某些情况下甚至用它来代替蒸汽輪机。

苏联各种运输方式的牵引用热量消耗，可以用根据整个运输網平均而得的單位有效运输功(1000淨吨公里)的标准燃料單位消耗量来表示。在表 2 中根据1954年的数据，把标准燃料單位消耗量和帶內燃机的牵引工具的运输比重作了对比。

表 2

运 輸 方 式	1000淨吨公里的标准燃料消耗量 (公斤)			內燃机运输的 比重 (%)
	各类牵引平 均 值	其 中		
		蒸 汽 动 力 裝 置	內 燃 机 动 力 裝 置	
铁路运输.....	62.0	63.2	9.37	4.45
水路运输:				
河运.....	38.4	47.0	13.2	25.4
海运.....	30.0	39.5	12.8	44.0

由此看出，假如把鐵路單位運輸功的标准燃料消耗量取为100%，則水路運輸的相应的消耗量是：（a）河运——58%；（6）海运——48.5%。

各种运输方式的平均燃料單位消耗量，与牵引工具的主要动力装置的类型有很大的关系；鐵路運輸的燃料消耗最高，这是因为它主要用蒸汽機車（90%的貨物运送要靠它来完成）的緣故。更經濟的牵引工具使用的愈多，對於單位有效运输工作上平均燃料消耗量就愈少。

第十九次党代表大会作出了要在苏联国民經济中，特别是在运输事業中更广泛採用內燃机的決議。为了發展这一決議，在鐵路運輸中除了採用电力機車外，还必须广泛应用帶有內燃机的機車（內燃機車）。

現有燃料资源的利用情况可以用下列数据很好地說明：鐵路運輸消耗苏联总煤产量的26.7%，而消耗的石油燃料仅佔1.2%。海洋和內河船舶仅消耗石油工業所生产的石油产物的3.2%。

所以，內燃机（能保証牵引工具最經濟地工作）所用的液体燃料在鐵路運輸及水路運輸中用得很少。这就使得大部份的运输工作都消耗在运送像煤这样的燃料上。譬如，卡馬河流域的內河船舶所需要的燃料主要是烟煤（約75%），它是远从2700公里以外的庫茲涅茨克矿区运来的，而同时在卡馬河地区却有一个巨大的石油开采和加工中心。

鑒於提高运输效率的任务，有必要来研究一下外国採用新式牵引的經驗。

美国在鐵路運輸和水路運輸方面实现了用內燃机代替蒸汽机。在許多其他的国家里也有类似的趨勢。

运输效率的进一步提高是在機車上和船舶上採用燃气輪机和組合式發动机（帶有活塞式燃气發生器的燃气輪机）。

燃气輪裝置与其他的热力發动机不同，它最初是用在航空运输上。这是因为它有下列优点：（1）可以在一个机組內建立大

功率的發動機；（2）功率大時單位重量和尺寸均較小；這樣，能在柴油機所佔據的面積上，放置功率三倍大的燃氣輪機；（3）維護簡單，修理費用少；（4）可以利用廉價液體燃料；（5）沒有曲柄—連桿機構，保證發動機完全平衡；（6）起動扭矩大；（7）低溫情況下工作可靠。

燃氣輪發動機在目前發展階段上的缺點是：經濟性差，特別是在部份載荷的時候（但是它的經濟性仍比活塞式蒸汽動力裝置高）；受高溫燃氣作用的零件的使用期限相當短；調節設備複雜。

另外必須指出，到現在為止還沒有造出用固體燃料工作的燃氣輪發動機，其原因就是用煤（粉煤）工作的工作過程難以管理。

在美國，重液體燃料比柴油機燃料便宜得多，燃氣輪發動機的較高的燃料消耗並不會引起運轉費用的增長。例如，燃氣輪機車在芝加哥和厄立羅依之間的區段上（二城相距 660 公里）所消耗的天然燃料是 11850 公斤，而內燃機車牽引同樣重量的列車時消耗 5150 公斤，即比前者小 1.3 倍；燃料費用是：（a）在燃氣輪機車上——172.8 美元；（b）在內燃機車上——176 美元。

當燃氣輪機車的生產率提高 40% 時，每噸公里的燃料費用要比用內燃機車牽引時少 20%，而與蒸汽機車相比，則要少一倍多。

在西歐，因為液體燃料價格昂貴，所以在鐵路運輸上用燃氣輪機車的好處是不大的，現在暫時只有几輛試驗型燃氣輪機車。這就是在西歐電力機車牽引比內燃機車牽引用得更廣泛的理由之一。

至於水路運輸，則由於有可能提高船舶燃氣輪發動機的效率，所以它在船舶上的應用要比在機車更為普遍些。

在美國，燃氣輪機車在聯合太平洋鐵路上用得最普遍，在這條鐵路上於 1952 年就運用 10 台燃氣輪機車。目前在運用的有 25 台，每台功率為 4500 馬力的燃氣輪機車。

因為燃氣輪機車已經在這條鐵路上正常運用了好幾年，所以

就有可能把某些關於它的工作的数据与在同一条鉄路上用其他类型機車而得的数据作一对比。

在联合太平洋鉄路上，運輸工作（全年貨运量）在蒸汽機車、內燃機車和燃气輪機車之間的分配可用表3的数据來說明。

表3

牽引方式	1945年	1947年	1949年	1952年	1953年	1954年
蒸汽機車牽引.....	100	98.5	66.5	62.0	56.0	42.0
內燃機車牽引.....	—	1.5	33.5	35.5	40.0	52.0
燃气輪機車牽引.....	—	—	—	2.5	4.0	6.0

在这条鉄路上，已經注意到用內燃機車和燃气輪機車来代替所有的蒸汽機車；並且还訂制了15台、每台8500馬力的燃气輪機車。

在美国，近十年来第一級鉄路網上的蒸汽牽引与內燃機車牽引相比，在下列指标方面一般都落在后面，例如在每列車小时的总吨公里运输功方面就是这样（圖1上的实綫）。在联合太平洋鉄路上，这个趋势从1953年起特别显著。当用燃气輪機車牽引时，运输功要比其他方式的牽引大得多（大出40~60%）。

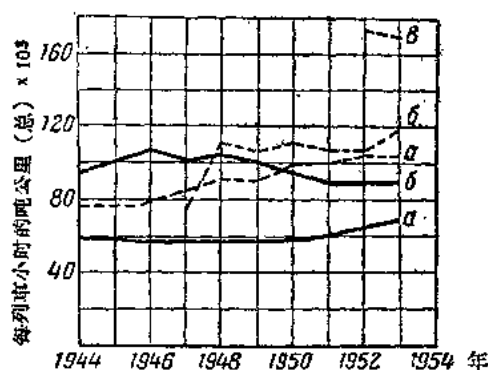


圖1. 各种機車的每列車小时运输功
(吨公里)：

a——蒸汽機車；b——內燃機車；c——燃气輪機車。

——美国鉄路網平均值；……联合太平洋鉄路。

燃气輪發动机在許多国家中也被用于水路运输上，首先是用在要求高速的船舶上（例如不大的海軍战艦）。在这些船上需要

功率大、不太重、整個裝置尺寸小和可靠性高的發動機。商船發動機的基本要求是：最大的可靠性，效率高，重量和尺寸都不大。

目前總共約有10台燃氣輪發動機用在船上，並且還有12種左右試驗型結構。

在商船上燃氣輪發動機的經濟性尚未達到活塞式內燃機的水平，但它們却是船舶發動機的發展方向，因為船上的主機必須具有很大的功率。

例如，當功率達到10000馬力時，燃氣輪發動機動力裝置的單位重量要比蒸汽輪機的小80%。另外，由於沒有蒸汽鍋爐和凝汽設備，整個裝置就大大簡化，起動條件也改善了。

提高燃氣輪裝置經濟性以及使它的燃料消耗量接近柴油機裝置的意圖，導致在機車上以及在船舶上採用所謂組合式發動機，它是由燃氣輪機和活塞式機組——工作介質（燃氣）發生器——組成的。

這類裝置的優點是：

- （1）活塞式燃氣發生器的循環效率高，達到40~45%；
- （2）組合式發動機的經濟性高，達到柴油機的水平；
- （3）溫度較低，這樣可以建造可靠性高和對高溫材料需求不多的燃氣輪機；
- （4）重量和成本均比普通活塞式內燃機小；
- （5）有可能在限定尺寸的船舶機器房內得到比柴油機大一倍的功率；
- （6）起動扭矩大。

組合式發動機比同功率的活塞式內燃機約輕一倍。例如，當船舶機器房的尺寸相等時，用組合式發動機的船舶的功率可以是內燃船舶的一倍半，即運行速度可比後者大20~30%。採用標準的活塞式燃氣發生器，就能很容易地建造功率達20000馬力、且使用期限很長（大修前可用20000發動機小時）的動力裝置。

二、運輸業所用的燃气輪机（历史簡述）

1791年約翰·巴勃第一个获得以發生炉煤气作为燃料的燃气輪發动机的專利权。1875年許托耳茲提出了一种燃气輪發动机，它拥有現代燃气輪發动机的一切主要元件：燃气輪机，軸流式压气机，燃燒室和廢气回热器。这种燃气輪發动机只在1900年造过，並且在1904年以前法国对它进行了研究。

1886~1892年工程师 П.Д. 庫席明斯基也独立地提出了一种燃气-蒸汽輪机，后来它被造出和局部試驗过。它的試驗由於庫席明斯基之死而沒有結束。庫席明斯基的渦輪机是世界上第一台用金屬做成的燃气-蒸汽輪机結構，它是在苏联造出的。

1900年 C.A. 馬斯提出了一种執行摩托車用的燃气輪發动机；按照这个建議做出的發动机从1902年起开始在美国工作。

与此同时，英国的 C. 巴尔孙也致力於建立燃气輪發动机的工作。他試驗了几种軸流式压气机的結構，但由於气体动力学和航空动力学領域內的知識不足，因而不能掌握这些結構。

1875~1900年这整段时期可以称为燃气輪發动机的史前时期。人們所建議的結構和簡圖，因为缺乏必要的理論研究，大部份都沒有实现或不能成为能够工作的試驗性結構。只有在1901年以后才开始积累起在此時間以前造出的第一台試驗型結構的試驗資料。

1901~1903年 III·拉馬耳和 P·阿尔孟柯創立了燃气輪發动机的試驗型結構。1905年阿尔孟柯兄弟造出了工業用的發动机，但它是不完善的，它的效率不超过3%。

1905~1906年 A.Φ. 波叔也夫造出了等容燃燒的燃气輪机。

1905~1908年霍耳茲伐脫提出了同样的結構。这台功率为50馬力的燃气輪机在3000轉/分鐘之下进行試驗时給出良好的結果。在以后的年代中直到1927年制造出許多台燃气輪机，並且在

A. 斯托杜拉教授的参加下对当时工作着的一台机组进行了全面的试验（1927年，在德国密耳海依姆）。

1909年工程师盖拉西莫夫提出了喷气式燃气轮机简图，而在1913年M. 尼柯耳斯基拟制了航空型涡轮螺旋桨式发动机简图，并利用从燃气轮机中排出的气体以得到附加的反作用推进力。1923年工程师B. И. 巴札罗夫也提出了一种航空型涡轮螺旋桨式发动机简图。

因此，从1900年到1926年日益频繁地制造试验型燃气轮机，试验资料也积累起来了，并开始展开理论研究。在这段时期的前半期研究了具有等容过程的发动机，而在后半期则创立和研究了具有等压过程的发动机。到目前为止后一种发动机用得最广。这段时期可以认为是燃气轮机历史中的第一阶段。

1926年起开始第二阶段；从这个时候起，不仅对燃烧问题和气体动力学问题进行研究，而且也在创立耐热材料的领域中进行着工作，因为耐热材料的缺乏是阻碍研究和创制燃气轮机的原因之一。

B. M. 馬哥夫斯基教授和苏哈契夫工程师的工作，在选择正确的方向以进行燃气轮机的研究以及在选择工作循环这二方面，起着巨大的作用。他们于1934年所提出的燃气轮机的结构，体现出在现代结构中所实现的各种思想。

在这时候特别紧张地致力于建立航空型燃气轮发动机的工作。第一台带有这种发动机的飞机于1939年8月起飞——这就是海因克尔的飞机，它上面装着П. 奥亨型涡轮喷气式发动机。1936年在英国造出了飞机用的二级涡轮喷气式发动机的试验结构。它曾被详细地研究过，而在1942年5月具有这种发动机的飞机作了飞行。

1934年，苏哈契夫提出了用于固定装置的具有单燃烧室和废气回热器的燃气轮机。这台涡轮机于1943年造出，拥有3500马力的功率。

第一台工業用燃气輪机的功率为900瓩，它是布朗-波伐利公司於1936年造出的，第二台的功率是4000瓩，於1939年造出。这些發動机的效率在16~18%的范围内。

第一台用燃气輪机作为主發動机的船舶，是1930年用哥德孚根公司的組合式發動机装备起来的碇泊場拖船。1930年第二只船上也裝着这样的發動机。这二台發動机直到現在还都很好地工作着。哥德孚根型組合式裝置与一般的燃气輪發動机有所不同，它是由兩冲程內燃机和燃气輪机組合而成的，內燃机作为燃气發生器，它所产生的燃气供給燃气輪机。

按照这个方案於1933年造出了第一台功率为500馬力的、机械傳动的燃气輪機車。在1934~1937年作貨运試驗时，燃气輪機車的燃料消耗是每万吨公里56.3公斤。

1939年布朗-波伐利公司开始生产以燃气輪發動机作为主要动力裝置的機車。1941年帶有标准型2200馬力燃气輪發動机的燃气輪機車开始在瑞士的鉄路上工作。

1946年英国向布朗-波伐利公司訂制了功率为2500馬力的燃气輪機車，后者在試驗之后，於1949年送交給定戶，一直工作到現在。

1948~1949年威司汀好斯公司制造出美国的第一台燃气輪機車，它的功率是4000馬力。同时通用电气公司生产出功率为4500馬力的燃气輪機車。

1952年麦脱罗柏立頓-維克司公司为英国的鉄路制造了新型燃气輪機車，同时在美国通用电气公司制造出第二台改善了燃气輪機車。

1947年燃气輪發動机被用在船舶上——这是一艘排水量为100吨的魚雷艇；1947年7月它被进行航行試驗。功率为2500馬力的燃气輪机被用作輔助裝置（輔助裝置）以获得最大的速度。

於1951年，在採用燃气輪發動机的領域中已有很大的發展，当时新型裝置不仅裝在战艦上，而且也裝在載重12250吨的商

船——油船上。

1954年日本把燃气輪發動機裝在教練船上。在上述這些年份里，主要在法國，開始應用帶有組合式發動機的船舶。第一台帶有自由活塞式燃氣發生器的這樣的船舶（載重量850噸）在1950年造出，並開始航行。

三、燃氣輪發動機在機車上的應用

1. 布朗-波伐利燃氣輪機車№1101

1941年布朗-波伐利公司造出一台具有2200馬力的燃氣輪發動機的機車。

發動機——單軸式，具有廢氣回熱；當載荷稍高於77%時（ $N_e=1700$ 馬力），發動機的有效功率（折算到發電機端鈕上）是18.4%。

1946年以前，布朗-波伐利的燃氣輪機車被用作巴塞耳（瑞士）——舒蒙（法國）綫上的旅客運輸。所用的燃料是重油。

在這段時期內，燃氣輪發動機工作了3200小時以上，而機車走行了110000公里。1950年機車在謬亨——孚爾茲堡（西德）綫上工作了五個月；到1951年秋天，它又走行了318000公里，工作了7300小時。

1947年發現渦輪機的個別葉片折斷和葉輪損壞，這是由於燃料在燃燒室內燃燒不完全而在渦輪機內燃盡，因而導致葉片強烈過熱的緣故。

相應的結構改變保證了渦輪機繼續工作。

用廉價液體燃料而工作的燃氣輪機車，比燃燒重油的蒸汽機車有好得多的經濟指標。

在160公里長的區間上牽引430噸重的列車時，渦輪機車保證平均技術速度為74公里/小時，此時它的平均效率為0.11。當列

車重量較小時（313噸），平均技術速度曾達到80公里/小時，但效率則降低到0.084。

燃氣輪機車的完全令人滿意的運用結果，証明了採用這型機車是適宜的。

2. 布朗-波伐利燃氣輪機車№ 18000

根據英國鐵路的定貨，布朗-波伐利公司於1949年製造了第二台改善了的燃氣輪機車，它在同年年底開始運用，名稱為№ 18000。

這台燃氣輪機車的动力裝置簡圖與第一台燃氣輪機車相似，但具有更大的功率。在圖2上表示出機車各機構的佈置簡圖。

燃氣輪機1轉動時，驅使軸流式壓氣機2以及減速器3（它的出力軸與發電機4相連）轉動。從壓氣機2中出來的空氣通過回熱器5而進入燃燒室6。

試驗指出，從燃料供給量急遽增加的時刻起，經過30秒鐘後，機車方才發揮全功率。

在1949~1951年的期間內機車走行了7400公里。1951年9月在運轉條件下用測功車對它進行了試驗。綜合性的試驗數據被引列在表4中。數據表明燃氣輪機車的平均燃料消耗量達到每萬噸公里（總）206公斤；換算到標準燃料時它是288公斤〔每萬噸公里（總）〕。

這樣高的燃料消耗是由於一系列的原因而引起的，其中主要的是：平均運行速度高（86.4公里/小時），列車重量不大（旅客列車），機車在小載荷工況下效率急遽降低。假如在全載荷時效率達到16~18%的話，則在計算燃料消耗量的區段上，平均效率不超過7.6%。

3. 燃氣輪機車№ 13100

1952年麥脫羅柏立頓·維克斯公司在英國造出了一台3000馬

力的燃气輪機車，它的名字为 №18100。它是类似於在英国鉄路上工作着的型式的第二台燃气輪機車。

燃气輪機車全部六个动軸都要有牵引电动机；在圖3和4上表示出它的全貌和各機構的佈置。

司机室位在機車的兩端。直接临近司机室的是輔助機構——第一个(从圖4的左面算起)用来为暖汽鍋炉1、蓄電池組2、电动压气机3和牵引电动机的冷却風扇4而服务，第二个为制動系統的儲气筒和油冷却器5等而服务。冷却器所用的空气由通風机6供給。

機車的中部，即機車的大部份地方放置着燃气輪發动机，它是由排气設備7、燃气輪机8、燃燒室9、軸流式压气机

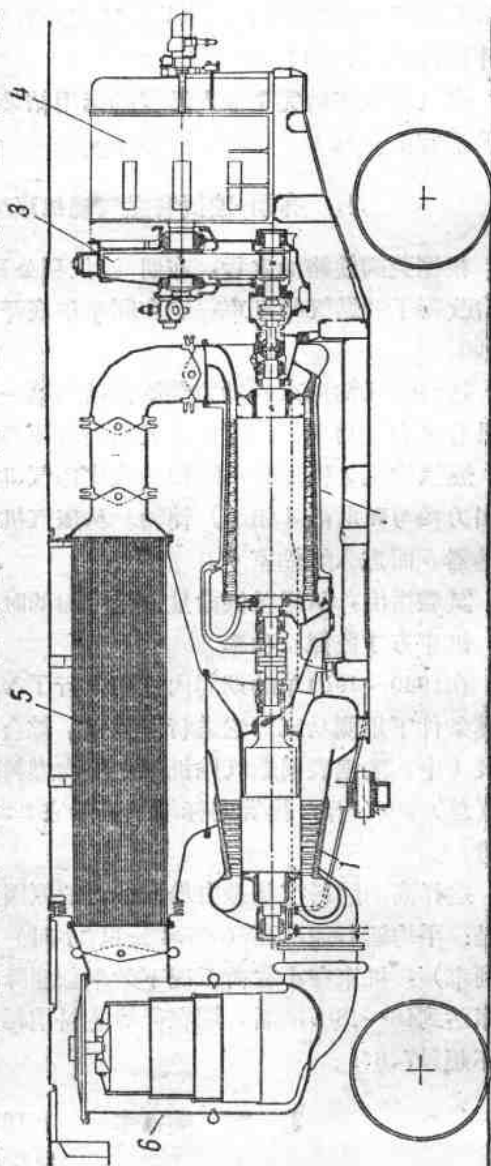


圖2. 布爾-波伐利燃气輪機車 №18100的機構總佈置簡圖

表 4

指 标	試驗日期 (1951年)		
	11/IX	13/IX	14/IX
機車重量(吨)	119.2	119.2	119.2
走行距离(公里)	362	362	346.5
有載荷时的走行距离(公里)	293	305	193.5
所做的功[吨公里(总)]	114000	114000	78000
运行时表上的時間(分鐘)	259.0	259.0	—
实际运行時間(分鐘)	252.3	251.4	186.1
区段走行時間(分鐘)	265.5	264.4	220.0
發动机工作时的走行時間(分鐘)	209.9	204.0	175.6
平均技术速度(公里/小时)	86.4	86.5	79.5
在区間上的平均功率(馬力)	721	831	729
平均牽引力(公斤)	2230	2620	2500
單位軸鉤功率的燃料消耗量(克/馬力·小时)	930	875	960
每小时燃料消耗量(有載荷时):			
重燃料(公斤/小时)	582	612	614
輕燃料(公斤/小时)	23	23	23
总 共	605	635	637
平均每小时燃料消耗量(公斤/小时)	532	573	559
1公里燃料消耗量(公斤)	6.5	6.54	7.95

10、減速器11和發电机12所組成的。發动机所用的空气通过裝在機車壁上的濾清器13而进入。

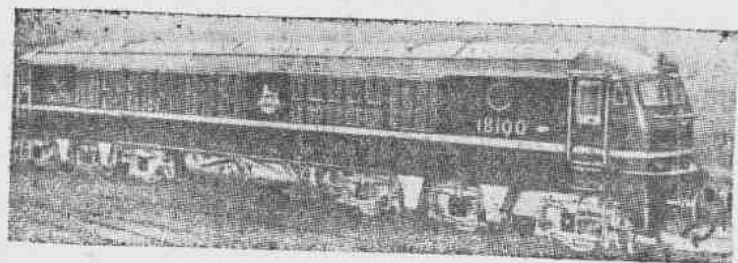


圖3. 燃气輪機車 №18100 的全貌

主發电机共有三台，每台供給兩台並联着的电动机。实际上