

燃气轮機車

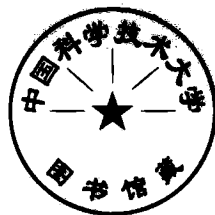
苏联科学院通信院士 И·И·尼古拉耶夫著

人民铁道出版社

燃 气 輪 机 車

苏联科学院通信院士И·И·尼古拉耶夫著

王 皎 譯 潘 世 寧 校



人 民 鐵 道 出 版 社

一九五七年·北京

本小冊子敘述了燃气机的工作原理、热力循环以及各种型式燃气輪機車的構造和运用特点。

本小冊子供有关燃气輪機車設計、制造、修理和运用部門之工程師、技術員以及鐵道学院和中等專業学校师生研究參考之用。

燃 气 輪 机 車

ГАЗОТУРБОВОЗЫ

苏联科学院通信院士 И.И.НИКОЛАЕВ 著

苏联國家鐵路運輸出版社 (1955年莫斯科俄文版)

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1955

王 皎 譯

潘 世 寧 校

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

人民鐵道出版社印刷厂印 新華書店發行

書号705 开本787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張2 $\frac{1}{2}$ 字数54千

1957年2月第1版第1次印刷

印数2,685册 定价(10)0.38元

目 錄

緒言	2
1. 燃气輪机的工作原理	10
2. 燃料在等压下燃燒, 燃气輪机的热力循环	11
3. 开放式循环燃气輪机的工作分析	15
4. 在机車上採用燃气輪机	25
5. 各种型式燃气輪机車的裝置	26
6. 用煤粉作燃料的燃气輪机車	59
7. 燃气輪机車的运用特性	63
結論	66

緒 言

現代蘇聯鐵路運輸中的運輸任務，是由蒸汽機車、內燃機車和電力機車擔任的。

蒸汽機車的效率非常低（一般不超過6~7%），在運行時特別是在高速運行時，對綫路產生強烈的動力作用。

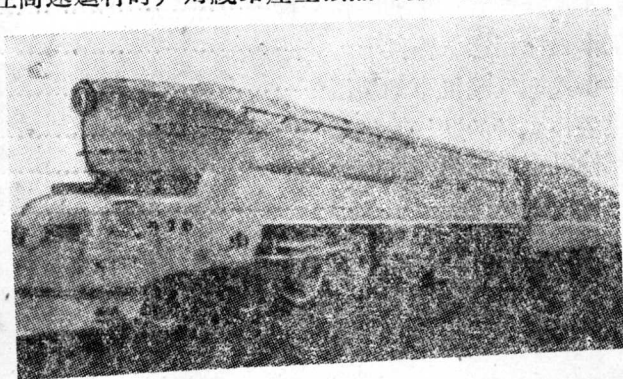


圖1. 具有四個汽缸、一個整體車架的2-2-2-2型快速蒸汽機車

內燃機車和電力機車的效率比蒸汽機車高得多，而且對綫路的動力作用也最小。

為了提高蒸汽機車的經濟效果，在它的結構中採用了各種熱力技術的改進措施，如對空氣和水的預熱、提高蒸汽的壓力和過熱溫度。經驗證明，如使蒸汽機車在熱力技術上完全現代化，也不可能使它的效率提高到9~10%以上。

減低蒸汽機車對綫路的動力作用，主要是靠減輕汽機往復運動機件的重量。解決這個問題，就要用合金鋼製造往復運動機構的零件，以及使蒸汽機車具有四個汽缸——2-2-2-2（圖1）和3-2-2-3（一個車架）型客運機車和1-4+4-2（具有兩個車架）

型活節貨運機車。有可能來減小這几种型式的蒸汽機車汽缸的直徑。減小汽缸的直徑也就是減輕了往復運動機件的重量。因為，與具有同樣功率的二汽缸蒸汽機車相比，它們所傳導的力較小。

必須指出，第一台0-3+3-0型活節蒸汽貨運機車是在1899年由俄國的工程師們在科洛綿工廠製造的。當熟悉了這種機車的工作以後，在1906年美國的工程師也製造了活節蒸汽機車。最近，在美國曾製造了四個汽缸2-2-2-2(圖1)和3-2-2-3型試驗的客運機車。在試驗這些機車時曾得到了良好的結果(機車的簡要特性

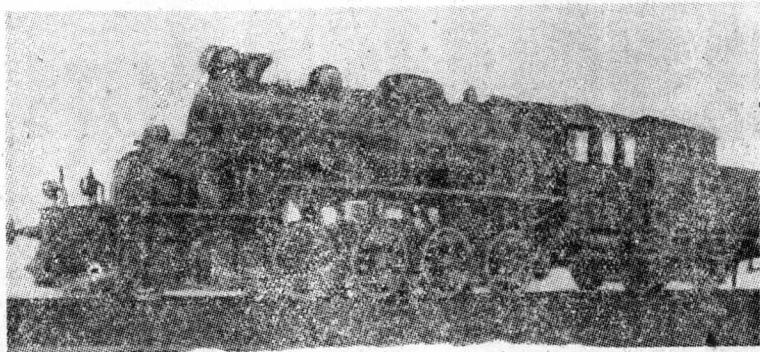


圖2. 楊格斯特列木(瑞士)的蒸汽輪機車
列在表1中)。但是，他們也沒有能夠解決提高經濟效果的問題。

表 1

主 要 指 標	蒸 汽 機 車 型 式	
	2-2-2-2	3-2-2-3
蒸汽機車的重量(包括煤水車在內)(噸)...	422	475
蒸汽機車的重量(不包括煤水車在內)(噸)...	227	272
黏着重量(噸).....	120	127
汽缸數、汽缸直徑與嚮衝程(公厘).....	4 × 500 × 600	4 × 500 × 660
鍋爐蒸汽壓力(指示大氣壓).....	21	21
動輪直徑(公厘).....	2030	2134
配汽方式	閘式	——
最大牽引力(公斤).....	30000	32600
爐床面積(公尺 ²).....	8.55	12.25
受熱面積(公尺).....	400	525
過熱器面積(公尺).....	150	193
貯水量(噸).....	72	90
燃料貯存量(噸).....	36	24

所以，在各个國家都會製造了全新的機車。在這種機車上用蒸汽輪機代替了蒸汽機。這種機車稱為蒸汽輪機車。

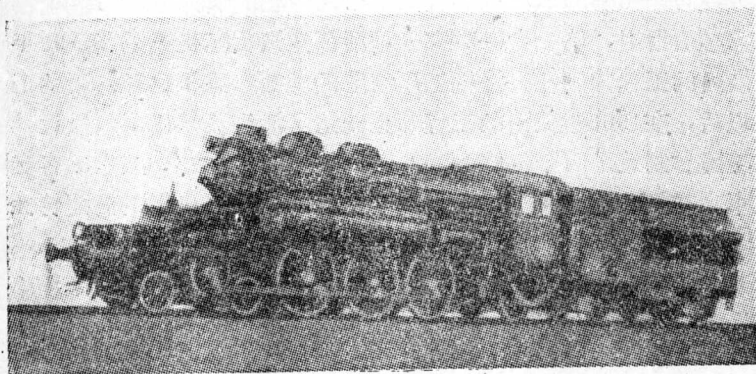


圖3. 德國克虜伯工廠的蒸汽輪機車

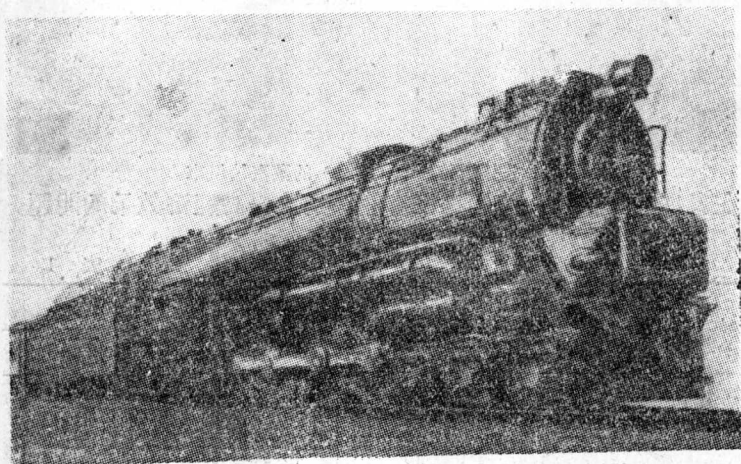


圖4. 美國包爾溫工廠1944年製造的蒸汽輪機車

在瑞士楊格斯特列木製造的1-4-0型蒸汽輪機車（圖2），在德國的切利、克虜伯和馬非亞等工廠製造的2-3-1型（圖3）以及美國包爾溫工廠製造的3-4-3型蒸汽輪機車（圖4）的特性都列在表2中。

表 2

主 要 数 据	蒸 汽 輪 机 車 型 式		
	3-4-3(美國)	2-3-1(德國)	1-4-0(瑞士)
蒸汽輪機車的重量(包括煤水車在內) (噸)	418	172	117.5
蒸汽輪機車的重量(不包括煤水車在內) (噸)	267	104	83
黏着重量(噸)	117	—	72
鍋爐蒸汽压力(指示大气压)	21.8	22	13
动輪直徑(公厘)	1727	1750	1350
爐床面積(公尺 ²)	11.15	3.5	3.0
鍋爐受熱面積(公尺 ²)	464	160	150
过热器傳熱面積(公尺 ²)	186	51	100
貯水量(公尺 ³)	73	4.3	15
燃料貯存量(噸)	38.5	6	5
輪周牽引力(公斤)	29500	11000	18000
蒸汽輪机功率(馬力)	6900	2600	—
每分鐘轉數	9000	—	10000
傳動方式	机械式傳動(減速器)		
蒸汽輪机工作循环	沒有冷凝器	有冷凝器	沒有冷凝器

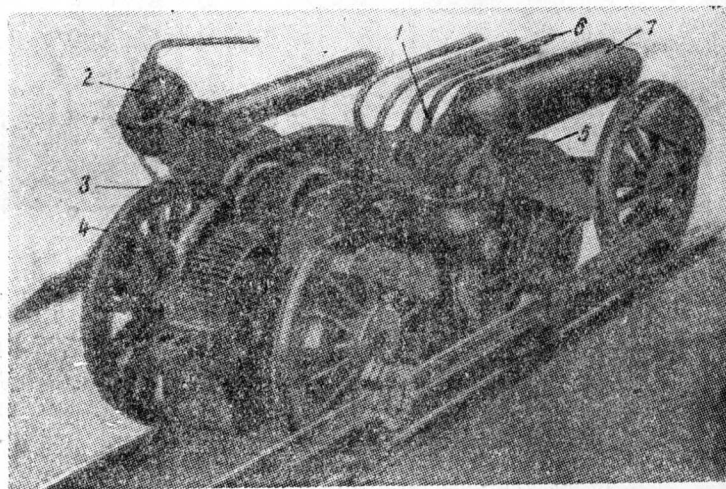


圖5. 包尔温工厂的蒸汽輪機車帶有減速器的蒸汽輪机裝置:

1——正向运行用的蒸汽輪机; 2——逆向运行用的蒸汽輪机; 3——傳动齒輪; 4——主动齒輪; 5——蒸汽輪机軸; 6——蒸汽導入管; 7——蒸汽排出管。

上述的蒸汽輪機車是借助於齒輪減速器把作用力从蒸汽輪機1或2（圖5）傳給動軸。這種減速器依據機車在各种綫路断面上运行的情况，要求有多数的变速級（齒輪對）。為了能使機車更便於操縱，从蒸汽輪機到動軸採用了電力傳動。这就形成了新型的機車——電力傳動的蒸汽輪機車（圖6）。

這種具有八个動軸2-4+2-4-2式機車的重量很大，設備複雜（圖7），它可以走行1000公里左右不加燃料。

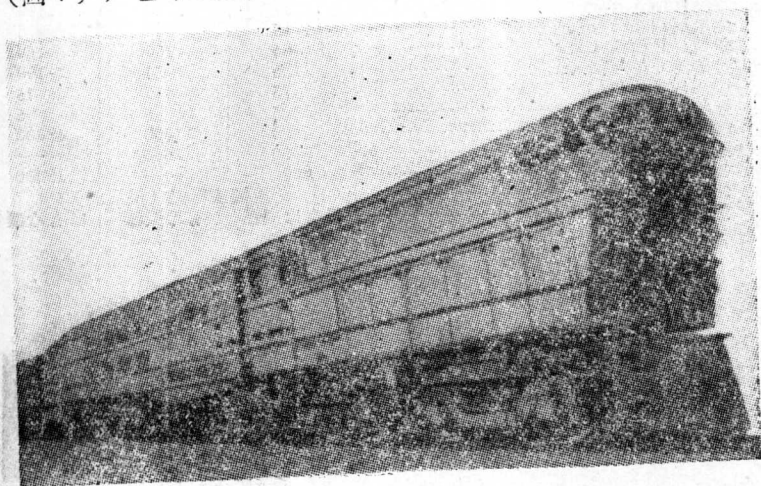


圖6. 電力傳動的蒸汽輪機車

蒸汽輪機車動力裝置的外形表示在圖8中。

煤槽在機車的前面，而水櫃（煤水車）在機車的後面，鍋爐火箱直接在煤槽的後面（機車行駛時煙囪在後面）。

這種機車的几种結構尺寸和特性列在下面：

起動時牽引力	44450公斤
長時間牽引力	21770公斤
在長時間牽引力時的速度	64公里/小時
最大速度	160公里/小時
蒸汽輪機功率	6000馬力

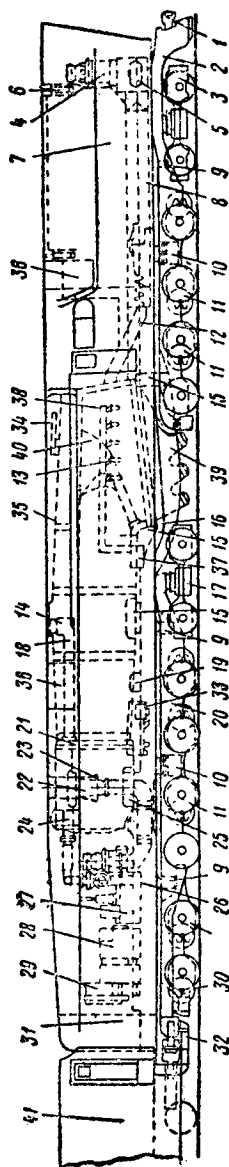


圖7. 電力傳動的蒸汽輪機車的設備佈置圖:

- 1—自動車鉤； 2—主車架（前邊的）； 3—轉向架； 4—拖動通風機的電動機； 5—輪成機； 6—煤槽
 開關工作的風缸； 7—煤槽； 8—輪煤螺旋； 9—旁承； 10—心盤（車架上的）； 11—牽引電動機；
 12—輪煤機輪煤管； 13—鍋爐； 14—鍋爐調整閥； 15—鍋爐托板（活動的）； 16—司機室底架；
 17—中間轉向架； 18—蒸汽干燥器； 19—給油器； 20—主車架（后邊的）； 21—過熱器； 22—煙
 管； 23—噴嘴； 24—給水預熱器； 25—鍋爐墊板（固定的）； 26—主蒸汽輪機； 27—減速器；
 28—發電機； 29—鼓風機； 30—動力轉向架； 31—司機室； 32—緩沖器； 33—熱水泵； 34—
 蒸汽柱； 35—保安閥； 36—沙包； 37—排煙調輪； 38—掛磚； 39—灰箱； 40—熱虹吸管；
 41—煤水平。

蒸汽輪机轉数	6000轉/分鐘
發電机轉数	1000轉/分鐘
当速度为160公里/小时时牵引电动机的轉数	720轉/分鐘
蒸汽輪機車的重量(煤水車不在內)(工作时)	373.300噸
黏着重量	230.420噸
蒸汽輪發電机重量	37.648噸
蒸汽輪機車的重量(煤水車在內)(工作时)	563.36噸
車輪直徑	1.016公尺
蒸汽輪機車軸距	27.6公尺
蒸汽輪機車与煤水車总軸距	43公尺
蒸汽輪机到發電机的傳动比	6:1

这种機車存在的缺点之一是單位功率的重量(公斤/馬力)太大。的确,若以功率相同(6000馬力)的內燃機車、机械傳动的蒸汽輪機車和电力傳动的蒸汽輪機車等三种機車來比較时(表3),就可以看出电力傳动的蒸汽輪機車的『單位功率重量』最

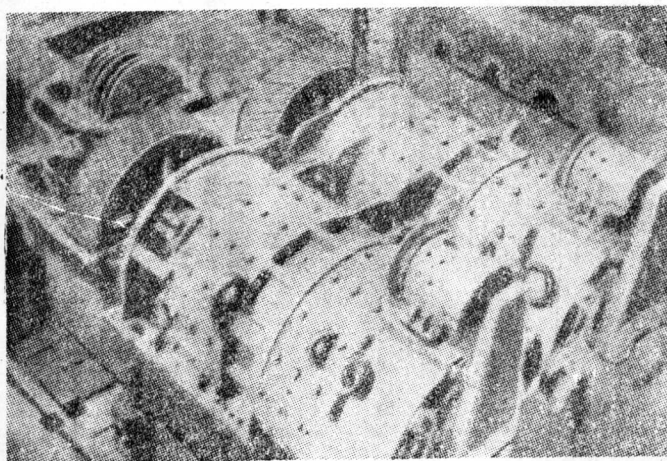


圖3. 蒸汽輪機車內部动力裝置圖

大,內燃機車①較小。但是像上述这种蒸汽輪機車可以使用煤來工作,这点就优越於內燃機車。在操縱的灵活上也优越於机械傳

① 在內燃機車上具有每組功率为2000馬力的柴油機,重量指标顯著降低。

動的蒸汽輪機車。

尽管電力傳動的蒸汽輪機車具有優良的牽引性能，但是，由於它的造價高、效率低和修理複雜，因而未能得到推廣。所以技術發展的方向應是創造新型的燃氣輪機車。

表 3

主 要 指 標	功率為6000 馬力具有電 氣傳動的蒸 汽輪機車	功率為6000 馬力具有機 械傳動的蒸 汽輪機車	功率為6000 馬力*的內 燃機車
運行時機車總重量(噸)	563.36	450.370	445.86
黏着重量(噸)	230.42	118.0	315.7
全部動軸軸距(公尺)	43.00	32.92	55.5
動軸數	8	4	12
起動時牽引力(公斤)	44450	32000	49120
長時間牽引力(公斤)	21770	——	35925
原動機(發動機)功率(馬力)	6000	6000	6000
動輪輪周上最大功率(馬力)	5100	6550	5100
單位功率機車的重量(公斤/馬力)	110	68.5	87.5

* 共三組，每組為2000馬力，而每組里有兩個1000馬力的柴油機。

* * *

在創造新型的機車上，最初的企圖是用內燃機來代替蒸汽機。

很多國家的熱力技術人員在這方面作了工作。但是根本解決這些問題的意見還是由俄國學者 В.И. 葛里聶夫斯基和 А.Н. 謝列斯特教授提出來的。他們在1912年提出了首創的內燃機車，這種內燃機車稱之為『將來的機車』。

這種內燃機車未能得到製造，僅是它的個別機組曾被試制了。

只有在偉大的十月社會主義革命之後，В.И. 葛里聶夫斯基和 А.Н. 謝列斯特的理想才能夠實現。這樣早在1924年，制成了第一台電力傳動的內燃機車。

近年來，莫斯科高等技術學院(МВТУ)在 А.Н. 謝列斯特教授的領導下擬定了電力傳動的和機械傳動的燃氣輪機車的設計簡圖(『機械製造通報』1954年№8)。在這種燃氣輪機車上，燃氣輪機的工質是由機械發生器(無軸的，兩個活塞的柴油機-壓縮機)來供應。

必須指出，在1923年蘇聯工程師 Е.Е. 隆特凱維奇也是第一次擬定這種發動機的參加者之一，他稱這種發動機為『自由活塞壓縮及預熱燃氣發生器』。

1. 燃气輪机的工作原理

現代燃气輪机的工作原理是非常簡單的。在压力作用下由燃燒室 2 排出來的燃料和空气（或者僅是某种气体）燃燒產生的混合气，作用到燃气輪机的叶輪 1 上（圖 9）。

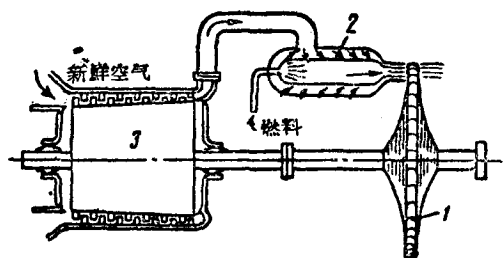


圖9. 燃气輪机裝置的簡圖（基本原理）

燃料經過噴油嘴送入燃燒室並在由壓縮机 3 送入的壓縮空气中燃燒。

工作混合气的溫度为 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，它的压力比由壓縮机送出來的壓縮空气的压力稍低一些（因为有流体阻力）。工作

混合气流進燃气輪机的導向器內，並在導向器中發生了很大的膨脹，同时流速增大了。燃气在燃气輪机內流动过程中还發生很大的膨脹。把一部分动能傳給了燃气輪机叶輪的叶片，叶輪發生旋轉並且帶動和叶輪安裝在同一根軸上的壓縮机的轉子。

在燃气輪机軸上所產生的一大部分功率都消耗在壓縮机的工作上，其余的功率經過傳動裝置以供消費。裝有这种發動机的機車，一般称为燃气輪機車。

2. 燃料在等压下 燃烧，燃气轮机的热力循环 开放式循环

燃气轮机可以按开放式或按封闭式循环来工作。

在现代的燃气轮机装置中最流行的是采用开放式循环。在这种装置中燃气轮机所排除的废气是排到外界去，被压缩机吸入的是新鲜空气。

按开放式循环工作（燃料在等压下燃烧）燃气轮机装置的简图表示在图10中。外界空气在大气压力下被吸进压缩机，在压缩机内空气被压缩到3~5绝对大气压。当压缩终了时，在压缩机内（轴流式或离心式）空气的温度升高到 $120\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。压缩空气被送进敞开的燃烧室里，燃料也被送入燃烧室，并在等压下燃烧。

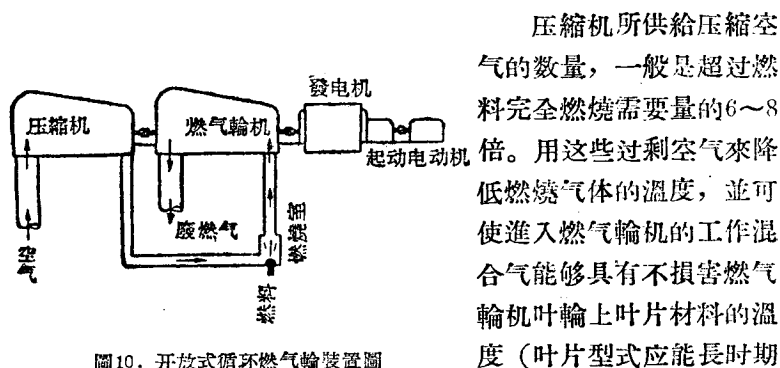


图10. 开放式循环燃气轮机装置图

压缩机的数量，一般是超过燃料完全燃烧需要量的6~8倍。用这些过剩空气来降低燃烧气体的温度，并可使进入燃气轮机的工作混合气能够具有不损害燃气轮机叶轮上叶片材料的温度（叶片型式应能长时期稳定的工作，不产生大的变形）。现代材料能够承受 650°C 以及更高的温度。

不计算损失和热交换时，以 pV 座标表示燃气轮机的热力循环，如图11所示。

0点是在大气状态下进入压缩机的空气。空气的压缩按0-1曲线进行。燃料的等压燃烧过程按1-2直线进行。当燃烧时，工

作混合气的含热量增高。燃气在燃气轮机里按 2-3 曲线进行膨胀（在导向器和流动过程中）一直到大气压力（点 3）。在这个膨胀过程中做功。直线 3-4 是废混合气的排出过程，而压缩机的吸气过程按直线 4-0 进行。

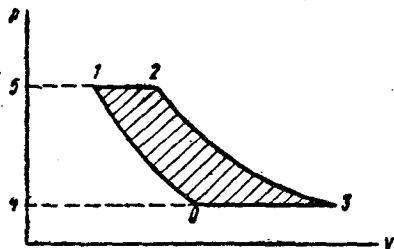


圖 11. 燃气轮机热力循环的 $p-v$ 圖

面積 5-1-0-4-5 表示每公斤大气压力下的空气，在压缩机中压缩到点 1 所指的压力时所消耗的功（不计损失）。每公斤燃气膨胀时所做的功用面積 2-3-4-5-2 来表示。上述面積之差，也就是面積 1-2-3-0-1 是表示燃气完全膨胀时，燃气轮机循环所产生的功。这个功就是燃气在燃气轮机叶片上不计算损失和热交换时所做的功。

在循环中作出功的热量与供给工作混合的热量之比，称为热循环的热效率。工作循环的效率（计算损失和热交换）是要更低一些。

圖 12 表示燃气轮机循环的 $t-s$ 座标圖。在圖上直线 0-1'——空气在压缩机中进行绝热的压缩；1'-2——加热；2-3'——工作混合气绝热膨胀；3'-0——排气。

消耗在压缩上的热量 Δq_1 等于焓 i_1 和 i_0 之差（在圖中的点 1' 和点 0'）

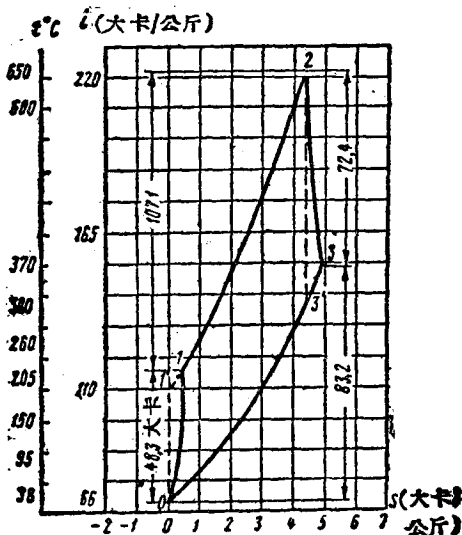


圖 12. 燃气轮机热力循环的 $t-s$ 座标圖

$$\Delta q_1 = i_1' - i_0.$$

(1)

給工作混合气的热量 (燃料按 1'-2 綫等压燃燒) Δq_2 等於焓 i_2 和 i_1' 之差 (圖上点 2 和点 1')

$$\Delta q_2 = i_2 - i_1' \quad (2)$$

当絕热循环工作时, 有用的热量 Δq_3 等於焓 i_2 和 i_3' 之差 (在圖上的点 2 和点 3')

$$\Delta q_3 = i_2 - i_3' \quad (3)$$

实际利用的热量 为有用热量減去压缩机工作所消耗的热量

$$\Delta Q' = \Delta q_3 - \Delta q_1 = (i_2 - i_3') - (i_1' - i_0) \text{ 大卡/公斤} \quad (4)$$

假若举一个例, 以 1 公斤空气在大气压力下, 温度为 $+16^\circ\text{C}$ 时, 它的焓 $i_0 = 68.75$ 大卡/公斤, 和当把空气压缩到五倍时, 它的焓增高到 $i_1' = 110$ 大卡/公斤。

假若当燃料燃燒时工作混合气的温度升高到 650°C , 那么 $i_2 = 222.75$ 大卡/公斤。

混合气体在膨胀終了时 (点 3') 的焓等於 $i_3' = 140$ 大卡/公斤。

像这样, 有用的热量等於

$$\Delta Q' = (i_2 - i_3') - (i_1' - i_0) = (222.75 - 140) - (110 - 68.75) = 41.5 \text{ 大卡/公斤}。$$

在燃气轮机中絕热循环的热效率为

$$\eta_i' = \frac{\Delta Q'}{i_2 - i_1'} 100 = \frac{41.5}{222.75 - 110} 100 \approx 36\% \quad (5)$$

实际上由於有热交换, 压缩是按曲綫 0-1 進行。膨胀按曲綫 2-3 進行。燃气在点 1 和点 3 的焓相应地等於

$$i_1 = 116.6 \text{ 大卡/公斤和 } i_3 = 151.2 \text{ 大卡/公斤;}$$

$$\Delta Q = (i_2 - i_3) - (i_1 - i_0)。$$

在空气压缩时以及燃气膨胀时, 考慮到热交换, 則在燃气轮机叶片上的热效率为

$$\eta_i' = \frac{\Delta Q}{i_2 - i_1} = \frac{(222.75 - 151.2) - (116.6 - 68.75)}{222.75 - 116.6} \times 100 = 22.3\% \quad (6)$$

若是進一步考慮到在燃气轮机工作叶輪上的内部(热能)和机

械損失時，所得出的效率是換算到燃氣輪機機軸上的效率（更準確些說，就是換算到消費者，例如發電機軸联接凸緣上的效率）。

封閉式循環

上面所研究的開放式循環，需要採用液體或是氣體燃料。若使用固體燃料，即使是粉末狀態也是不適合的。因為在燃燒了的燃氣中含有極其細微的煤屑，會損害燃氣輪機的葉片。而所提出來清除末屑的裝置是很複雜、成本又昂貴。若是燃氣輪機改用封閉循環時，在燃氣輪機里工作的气体（氫，氫，弗列安）與火焰不直接接觸而是被隔離開，也就是經過金屬壁來傳熱，這樣就有可能採用固體燃料。

採用封閉式循環時，可以選擇任何種氣體，但最好是採用使裝置最簡單、經濟而又可靠的那種氣體。像這樣氣體可以是，例如氫，它的密度比空氣的密度小13倍，比熱比空氣大13倍，傳熱性比空氣大5.8倍。

因為同樣重量气体的體積和壓力成反比，如果在封閉式循環中採用高壓時，若與開放式循環相比，則在具有相等的功率時，就可以顯著的減小燃氣輪機和壓縮機的尺寸。

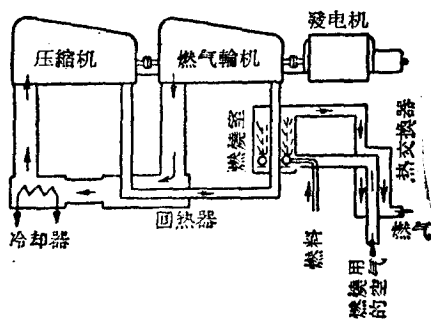


圖13. 封閉式循環的燃氣輪裝置簡圖

封閉式循環燃氣輪裝置的簡圖表示在圖13中。工作氣體在某種壓力 p_0 和溫度 T_0 的情況下，進入壓縮機被壓縮到壓力為 p_1 ，並且溫度升高到 T_1 ；以後這些氣體在回熱器內預熱，再進入燃燒室，並在燃燒室內加熱。燃燒的燃氣和被加熱的氣體不相混合到一起，因而這種循環可以使用任何類型的燃料，也包括煤炭。

但是必須注意到在煤粉里含有能夠使金屬腐蝕的有害雜質，