

高等學校教學用書

蒸汽機車動力學 與蒸汽分配

(上冊)

И. И. 尼柯拉葉夫 著

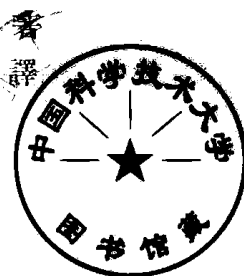
人民鐵道出版社

高等學校教學用書

蒸汽機車動力學 與蒸汽分配

(上 冊)

И·И·尼柯拉葉夫
張 定 賢 等



人 民 鐵 道 出 版 社

一九五四年·北京

本書原著計分兩篇：第一篇，「蒸汽機車動力學」；第二篇，「蒸汽機車的蒸汽分配」。經蘇聯文化部審定作為鐵路運輸學院教材之用。

今將其中第一篇作為上冊先行出版。第二篇將於以後作為下冊出版。

本書除供作鐵道學院教材以外，還可作為機車製造、運用和檢修部門工程師、技術員以及有關人員參考研究之用。

上冊為張定賢、夏建新和張耀芳三位同志合譯。

蒸汽機車動力學與蒸汽分配

(上 冊)

ДИНАМИКА И ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРОВОЗА

蘇聯 И. И. НИКОЛАЕВ 著

原出版者：蘇聯國家鐵路運輸出版社（一九五三年莫斯科俄文版）

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва 1953

張 定 賢 等 譯

人民鐵道出版社出版（北京市霞公府十七號）

北京市書刊出版營業許可證出字第零壹零號

新 華 書 店 發 行

人民鐵道出版社印刷廠印（北京市東郊區建國門外七聖廟）

一九五四年十二月初版 第一次印刷平裝印 1—2,000冊

書號：278 開本：787×1092 $\frac{1}{25}$ 印張13 $\frac{3}{25}$ 390千字 定價18,700元

作 者 的 話

「蒸汽機車動力學與蒸汽分配」一書，內容包括了鐵路運輸學院機械系對於該課程所用的教學大綱上所規定了一切問題。

第二版與第一版一樣，也是由「蒸汽機車動力學」與「蒸汽機車的蒸汽分配」兩個獨立篇幅組成。

第一篇研究蒸汽機車的運動和作用在蒸汽機車機構上的力。第二篇則敘述了蒸汽機車蒸汽分配的理論。

在第一篇內的幾章中，詳盡地討論了下列諸問題：1.運動機構慣性力的平衡；2.輪周牽引力；3.彎道運轉；4.涉及彈簧懸置的問題（彈簧的計算、載荷在軸上的分配、彈簧上部結構的振動等等）。

第二篇幾章的主要內容，是敘述用簡單滑閥作蒸汽分配時的特徵及蒸汽分配機構的工作。

書中所包含的材料，特別是在「蒸汽機車動力學」一篇中的材料，經過了極大的修改與補充，這項工作不僅從教學法着眼，而且還根據本書中所討論的（與保證鐵道運輸中運轉的安全有着重大意義的）一些問題本身之性質而完成了的。

鑑於現代列車重量及速度增大，以及動軸軸重的增加，要求減少蒸汽機車發生在軌道上的有害作用也日見迫切。第十九次黨代表大會在關於自一九五一年至一九五五年間發展蘇聯的第五個五年計劃的指示中所提出的重要任務之一就是：在設計新的機器時，必須在改進質量的同時，力求降低機器本身的重量。蒸汽機車動力性質的改善即與這一任務的解決有着直接的關係。在蒸汽機車製造領域中，解決這一問題的必要條件就是對蒸汽機車動力學的理論要有一完善的知識。

俄國學者們和工程師們 Н·П·彼得洛夫，Е·Е·諾利傑因，

A·C·拉也夫斯基，H·E·茹柯夫斯基，K·Ю·蔡格林斯基，B·B·列別傑夫等在以前就曾研究了蒸汽機車動力學的理论，這種理论即在目前說來還是沒有失掉它們的價值。

俄國學者開始從事研究蒸汽機車通過彎道的問題要比其他國家的學者早得多，從而在這方面作出了不少首創性的解答，其中有許多以後被外人抹煞出處地剽竊了。

沙皇俄國的當權人物，不相信俄國科學的力量，卑躬屈節於外人之前，對先進的俄國學者們之成就置若罔聞。

建立了新的生產關係的偉大十月社會主義革命，使創造性思想在我國獲得了廣泛發展的可能性。

為了科學的繁榮，黨和蘇維埃政府是從不吝惜力量和資金的。由於黨和政府的關懷，巨大的科學研究院組織網在我國已經建立起來，培養科學幹部的工作亦得到了大規模的進展。

蘇聯學者、工程師、以及生產工作者給展開蒸汽機車動力學方面一些重要問題的科學研究工作帶來了巨大的貢獻，從而創立了良好的條件以解決在蒸汽機車製造和運用的實際中所提出的問題。

在本書第二版中，作者力圖盡可能更完全地反映出蒸汽機車動力學範疇中的最新成就。例如在第三章中，即敘述了從幾何學觀點來分析蒸汽機車通過彎道的一個新方案（弦法）；在該章中還詳盡地闡明了用分析法求主車架和轉向架的偏倚與極距的問題，所導出的公式可適用於轉向架種類不同的一切型式的蒸汽機車。在第一章中，則列舉了作2—4—2式蒸汽機車動力特性曲線的方法。

在「蒸汽機車的蒸汽分配」一篇中，用最新的理論討論了蒸汽分配機構的計算問題。這裏對汽缸與滑閥尺寸間的有機聯系（它們直徑間的共軛性）、以及對滑閥各組成部分間的相互關係均給予了特別注意。在第二章內，講了僅根據一個停汽偏心的更簡單和更準確的滑環懸置方法。

作者將非常感謝地接受讀者對本書的一切指正和願望。

И·尼柯拉葉夫

目 錄

第一篇 蒸汽機車動力學

第一章 運動機構慣性力的平衡

1. 平衡的概念	1
2. 迴轉部分慣性力的平衡（主動輪對）	3
3. 鞣輪系統及搖桿慣性力的平衡	12
4. 確定搖桿的慣性矩	29
5. 求主動輪對上均衡重量的幾何尺寸	30
6. 他動輪對上均衡重量的計算。過量均衡重量的選擇	40
7. 均衡重量的圖解分析法——拉葉夫斯基法	43
8. 蒸汽機車的水平向平衡性質	53
9. 蒸汽機車極慣性矩的確定	70
10. 均衡重量的校核	71
11. 汽缸偏置時蒸汽機車汽機慣性力的平衡	74
12. 蒸汽機車的垂直向動力特性曲綫	84
13. 改進了平衡性質的蒸汽機車	98
14. 1-5-0 式蒸汽機車均衡重量的計算實例	99

第二章 輪周牽引力

1. 牽引力的形成	108
2. 黏着係數	122

第三章 彎道運轉

1. 彎道運轉的特徵及安全條件	127
2. 蒸汽機車的轉向架	132
3. 復原裝置	135
4. 求極距及轉向架偏倚的分析法	147

5. 蒸汽機車在彎道上的可能位置	148
6. 求轉向架偏倚的分析法	160
7. 蒸汽機車彎道通過的幾何法	166
8. 彎道運轉時作用在車底架上的力	202
9. 各軸均無橫動遊間的0—5—0式蒸汽機車當行駛於彎道時所發生的水平力	210
10. 未用復原裝置而有橫動遊間的軸對於機車行於彎道時所發生的水平力之影響	220
11. 有着單軸前轉向架和單軸後轉向架的蒸汽機車	223
12. 各種不同因素對於1—5—1式蒸汽機車水平力數值的影響	233
13. 求2—4—2式蒸汽機車的水平力	238
14. 蒸汽機車的動力特性曲綫	253
15. 各種不同機車動力性質的比較	256

第四章 蒸汽機車的彈簧懸置和重量分配

1. 疊板彈簧的計算	258
2. 疊板彈簧內的摩擦	261
3. 二重彈簧	263
4. 載荷在軸上的分配(蒸汽機車的重量分配)。靜定和靜不定懸置	270
5. 活節蒸汽機車的重量分配	284
6. 用衡量蒸汽機車的方法決定軸重	289
7. 靜不定懸置	293
8. 蒸汽機車重心高度的試驗求定法	299

第五章 彈簧上部結構的振動和運轉的容許速度

1. 振動的幾種形式	301
2. 起伏振動	302
3. 縱向搖擺振動	311
4. 橫向搖擺振動	323
5. 蒸汽機車慣性矩的確定	329
6. 減弱振動的一些措施	330

第六章 蒸汽機車在彎道上的穩定性

第一篇 蒸汽機車動力學

第一章 運動機構慣性力的平衡

1. 平衡的概念

如果在一以角速度 ω 而旋轉的車輪上（圖 1）有一個偏置着的質量 m 時，又設質量的迴轉半徑為 ρ ，則這一質量的離心力 $C = m\omega^2\rho$ 將使車輪在軌條上的垂直載荷發生變化。載荷變化的多少與垂直分力 $C_v = C\sin\varphi = m\omega^2\rho\sin\varphi$ 成正比。

從上式可見：角速度 ω 之值對 C_v 的影響特別大； m 和 ρ 對 C_v 的影響比較小。當質量 m 位於上半個車輪時，將使軌條上的載荷減小；當質量 m 位於下半個車輪時，則使軌條上的載荷增大。軌條上載荷的減小可以大得使車輪有發生脫綫之虞；這在彎道上時尤其可畏。載荷的增加則能使鋼軌折斷。在這兩種情況下，運轉都是不安全的。

離心力的水平分力 $C_h = C\cos\varphi = m\omega^2\rho\cos\varphi$ 將使蒸汽機車發生（前後）振動，因而引起附加力於聯結裝置上，並擾動着機車各種配件間的連結。這種振動稱為「伸縮振動」（подёргивание）。

此外，又因水平分力 C_h 乃是作用在與蒸汽機車縱向中心平面相距着某一力臂為 a 之處的，故而有方向交變的力矩 $M_h = C_h a$ 產生着，這一力矩使蒸汽機車在水平方向的平面內產生振動，即所謂「搖頭振動」（виляние）。

由此可知，當有着產生慣性力（在目前的情況下是離心力）的不平衡質量時，蒸汽機車就不能平穩地運行。在完全平衡了的機車上，伸縮振動、搖頭振動以及輪重的變化等均不應當發生。

在某些情況下，上述諸現象中之一種或兩種可以不發生。但我們還不能說它是完全平衡的機車。

事實上，設有一輪對，在它的左右兩輪上各有一個質量 m ，它們的安放如圖 2 所示。在此情況下，兩輪作用在軌條上動載荷的變化性質是完全一樣的。伸縮振動比在上面所討論過的情況大一倍。搖頭振動則因左右兩側的力矩大小相等而方向相反，故不再發生。若再將兩質量放得地位相反，如圖 3 所示時，則伸縮振動將不會發生，但搖頭振動却要增大一倍。

關於車輪加在軌條上的載荷，這裏還得強調指出，當車輪運動時，還可以因軌道不良（如枕墊不佳、鋼軌有接頭等等）而使它發生變化。但這對於蒸汽機車汽機慣性力的平衡說來當然是毫無關係的，因而不能把它作為蒸汽機車的動力性質來考慮。

蒸汽機車在運動時能產生慣性力的一些部分可以分為三類：1. 迴轉部分；2. 往復運動部分；3. 複雜運動部分。

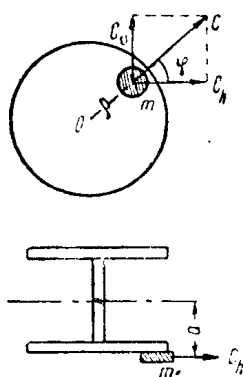


圖1. 放置在一隻車輪上的迴轉質量之離心力

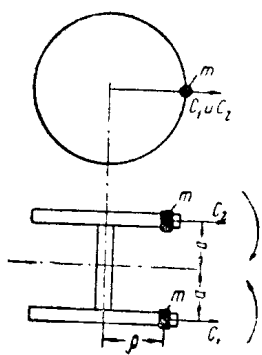


圖2. 引起伸縮振動的兩個質量的放置圖

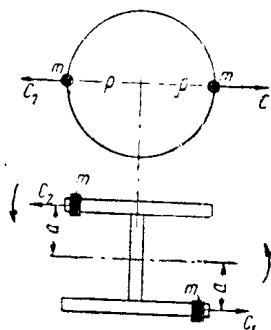


圖3. 引起搖頭振動的兩個質量的放置圖

某些用機械傳動裝置的機車，例如電氣機車和內燃機車，可以僅有迴轉部分。

作往復運動的部分是最難平衡的。

茲分別對每一類討論其慣性力的平衡。爲簡便起見，先假定調整閥是關閉着的，蒸汽機車依靠慣性而運動着。

2. 迴轉部分慣性力的平衡 (主動輪對)

在蒸汽機車的主動輪對上置有均衡重量，以平衡迴轉部分和作複雜運動的部分；有時還用以部分地平衡作往復運動的部分。

屬於迴轉部分的，有質量爲 m_1 的曲拐^①（圖4所示的，是各個質量離心力的位置和方向，而不是質量），主曲拐銷連桿頸 m_2 ，主曲拐銷搖桿頸 m_3 ，偏心曲拐 m_4 ，偏心曲拐銷連同偏心桿質量的一部分（約0.6左右） m_5 ，以及分配在主曲拐銷連桿頸上的連桿的質量 m'_2 。

在用機械傳動裝置的電氣機車和內燃機車上，則主連桿也屬於迴轉質量。

這些質量都是能够完全平衡的。這些質量可以有着不同的迴轉半徑 ϱ_x 。它們離心力的作用綫有時也還可以不在同一直綫上。如以曲拐（不平衡部分）重心的迴轉半徑 ϱ_1 而言，它可以比曲拐半徑 r 大，但也可以比曲拐半徑 r 小（圖5），視曲拐係如何構成而定。當曲拐按照圖5a的式樣製出者，此時在軸和曲拐銷的兩輪轂之間有一 Δ 之間隙，則 $\varrho_1 < r$ ；若按照圖5b的式樣者，則 $\varrho_1 > r$ 。

偏心曲拐連同其銷的離心力爲 C_4 ，方向與鉛垂綫成一 θ 的角度。偏心桿一部分的離心力爲 C_5 ，方向與水平綫成一 ψ 的角度（見圖4）。

把力 C_4 和 C_5 分解爲垂直分力及水平分力 C_4^v 、 C_4^h 、 C_5^v 與 C_5^h 。

於是在垂直方向的離心力就有 C_1 、 C_2 、 C_2' 、 C_3 、 C_4^v 和 C_5^v ；在水平方向的離心力就有 C_4^h 和 C_5^h 。令垂直力的合力爲 R_v （圖6），水平力

① 必須指出：所謂曲拐的質量，指的乃是其不平衡的部分。故應當從曲拐的總質量中，減去包含在曲拐內並被在他側的輻條所平衡了的那一部分輻條的質量。

的合力為 R_h 。力 R_v 位在與車輪垂直方向的直徑距離為 z_v 之處，力 R_h 位在與車輪水平方向的直徑距離為 z_h 之處。把力 R_v 和 R_h 向中心 O 簡化，即得 (R_h, R_h) 和 (R_v, R_v) 兩對力偶，以及通過中心 O 的兩力 R_h 與 R_v 。力偶矩彼此互相平衡（如圖 4 所示，力 C_4 和 C_5 相交於車輪中心 O ，對於 O 點的力矩都等於零，所以合力的力矩也等於零，因為大家都知道：合力的力矩等於各分力力矩之和），因此力 R_v 和 R_h 才正是需要去平衡的。這兩力位於不同的垂直平面內。由此可見，問

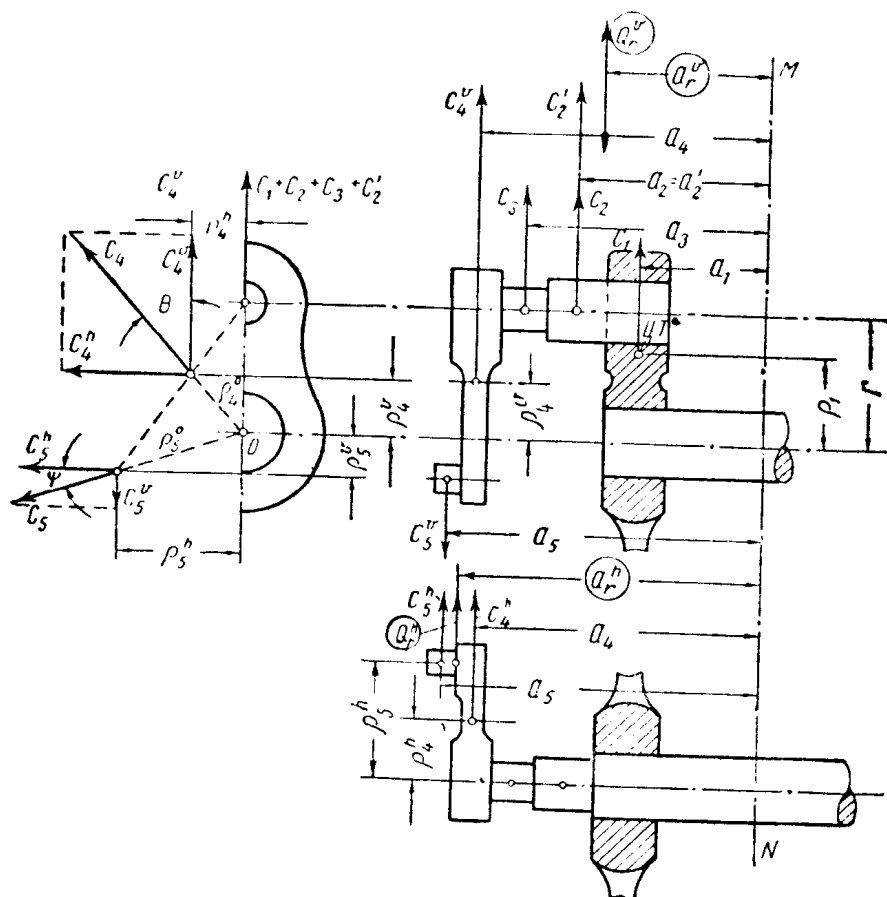


圖4. 確定主動輪上迴轉部分慣性力的合力

題就在於確定力 R_v 和 R_h 的大小，以及它們與機車縱向中心平面 MN 間的距離（力臂） a_r^v 和 a_r^h 了（參閱圖 4）。

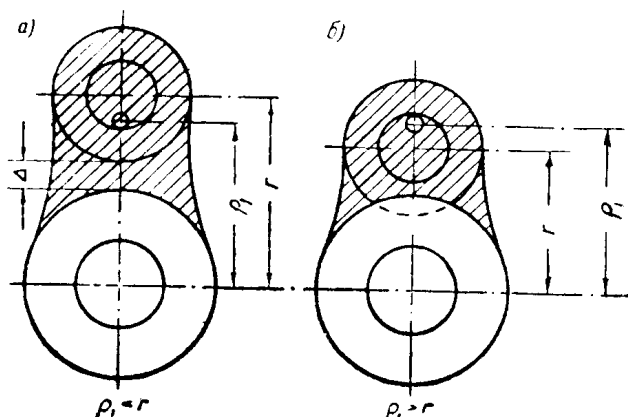


圖5. 確定曲拐的重心

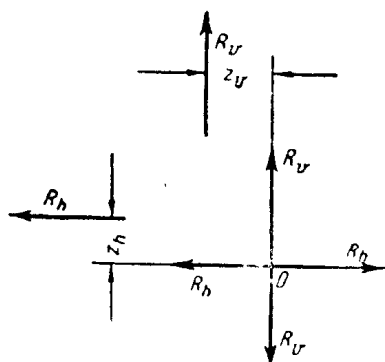


圖6. 確定力偶 (R_h 、 R_h) 和 (R_v 、 R_v)

這一個問題可以用圖解法或分析法解之。因為力 R_v 、 R_h 以及它們的合力都是離心力，故今後為了便於計算起見，宜於把一切分力及合力均通過同一個半徑表出之。這個半徑就是曲拐半徑 r 。換算可根據在兩種情況下離心力相等的條件出發而進行之。今以曲拐的離心力為例，可寫成

$$m_1 \omega^2 \rho_1 = m_1^r \omega^2 r, \quad (1)$$

式中 m_1^r 為換算至以曲拐半徑為迴轉半徑後的質量。

由此得

$$m_1^r = m_1 \frac{\rho_1}{r}。$$

質量 m_2 、 m_2' 、 m_3 (見圖 4) 等的迴轉半徑因為都等於 r ，故無需換算。質量 m_4 (偏心曲拐) 和 m_5 (偏心曲拐銷連同偏心桿的一部分) 當它們迴轉時，產生離心力：

$$C_4 = m_4 \omega^2 \rho_4^0; \quad (2)$$

$$C_5 = m_5 \omega^2 \rho_5^0, \quad (3)$$

式中 ρ_4^0 和 ρ_5^0 為質量 m_4 和 m_5 的迴轉半徑。

這些力的垂直投影為：

$$C_4^v = C_4 \cos \theta = m_4 \omega^2 \rho_4^0 \cos \theta; \quad (4)$$

$$C_5^v = C_5 \sin \psi = m_5 \omega^2 \rho_5^0 \sin \psi, \quad (5)$$

或令

$$\rho_4^0 \cos \theta = \rho_4^v \quad (6)$$

以及令

$$\rho_5^0 \sin \psi = \rho_5^v, \quad (7)$$

則得

$$C_4^v = m_4 \omega^2 \rho_4^v; \quad (8)$$

$$C_5^v = m_5 \omega^2 \rho_5^v, \quad (9)$$

式中 ρ_4^v 和 ρ_5^v 為迴轉半徑 ρ_4^0 和 ρ_5^0 的垂直投影。

對於水平力說來，則必然應取 q_4^0 和 q_5^0 的水平投影：

$$q_4^h = q_4^0 \sin \theta; \quad (10)$$

$$q_5^h = q_5^0 \cos \psi. \quad (11)$$

把垂直力換算至同一半徑：

$$m_4 \omega^2 q_4^v = m_4^{rv} \omega^2 r = C_4^v, \quad (12)$$

由此得

$$m_4^{rv} = m_4 \frac{q_4^v}{r}; \quad (13)$$

又

$$m_5 \omega^2 q_5^v = m_5^{rv} \omega^2 r = C_5^v, \quad (14)$$

故得

$$m_5^{rv} = m_5 \frac{q_5^v}{r}. \quad (15)$$

在水平方向上的換算質量可用類似的方法確定而為

$$m_4^{rh} = m_4 \frac{q_4^h}{r} \text{ 和 } m_5^{rh} = m_5 \frac{q_5^h}{r}. \quad (16)$$

我們還可以用換算重量代替質量：

垂直向換算重量為

$$q_1^{rv} = m_1 g; \quad q_2^{rv} = m_2 g;$$

$$q_3^{rv} = m_3 g; \quad q_4^{rv} = m_4^{rv} g; \quad q_5^{rv} = m_5^{rv} g$$

(關於 q_2^{rv} 的確定敘述於下)；

水平向換算重量爲

$$q_4^{rh} = m_4^{rh} g; \quad q_5^{rh} = m_5^{rh} g。$$

現在我們來確定連桿分配在主曲拐銷連桿頸上的那一部分重量 q_2^{rv} 。

且以圖 7 中所示的情況爲例。圖中有兩隻車輪，它們用連桿 AB 連結着。連桿上每一點均以曲拐半徑爲半徑描着圓，因此，質量 dm 的離心力可用 $dm\omega^2 r$ 表示，且方向係從其迴轉中心而指向外。就整個連桿而言，得

$$\omega^2 r \sum dm = \omega^2 r M = \omega^2 r \frac{G}{g},$$

式中 $M = \sum dm$ = 連桿質量； G 爲連桿重量。

令連桿重心與曲拐銷 A 間的距離爲 l_1 ，與曲拐銷 B 間爲 l_2 。根據槓桿定律得作用在曲拐銷 A 上的力爲

$$S_1 = \omega^2 r M \frac{l_2}{l_1 + l_2}; \quad (17)$$

作用在曲拐銷 B 上的力爲

$$S_2 = \omega^2 r M \frac{l_1}{l_1 + l_2}。 \quad (18)$$

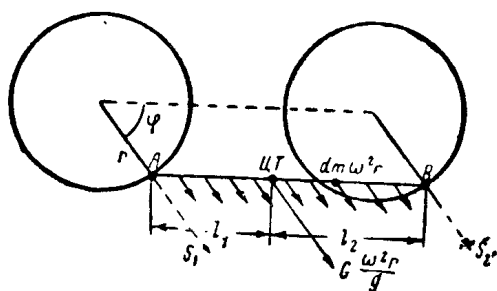


圖 7. 確定連桿傳於兩隻曲拐銷上的重量

至於機車爲多軸者，則只有當各連桿間的鉸鏈連結裝置使系統成爲靜定時，才能解決由離心力所產生的載荷其在各曲拐銷上的分配問題。1—5—1 式 $\Phi\Pi$ 型蒸汽機車的各根連桿間是這樣連結的（圖 8）：第二、第三兩位動軸被兩端有着肱梁 B 和

C 的（基本）連桿連結着；第四、第三兩位動軸間的連桿在前端有叉，後端有肱梁；在第一、第二位動軸以及在第四、第五位動軸間的連桿則分別用叉連於基本連桿及第三連桿。

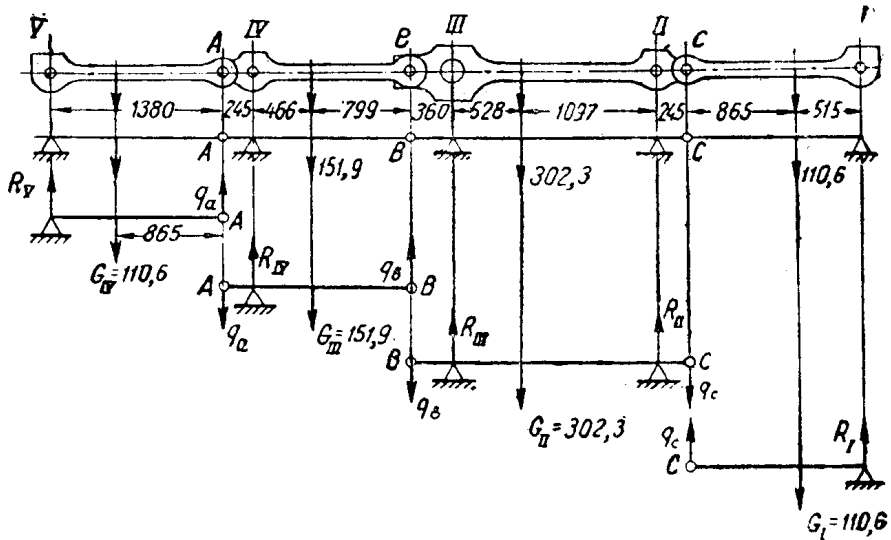


圖8. 確定在由五隻車輪所組成的系統中連桿重量的分配

由此可見整個系統是靜定的。現在先來確定連桿作用在第一、第五兩位動軸曲拐銷上的壓力，以及作用在鉸鏈 A 和 C 上的壓力。設 $G_I = 110.6$ 公斤。參閱圖 8 可得

$$q_a = q_c = G_I \frac{515}{1,380} = 41.3 \text{ 公斤} \text{①};$$

$$R_I = R_I' = 110.6 - 41.3 = 69.3 \text{ 公斤}.$$

再求作用在第四位動軸的曲拐銷以及鉸鏈 B 上的壓力。對點 IV 取力矩，得方程式②

$$G_{III} \times 466 - q_b (466 + 799) - q_a \times 245 = 0,$$

① 此處 515 公厘乃是 G_I 的作用綫與點 I 間的距離；1380 公厘乃是整個連桿的長度。

② G_{III} 是連桿 AB 的長度。

由此得

$$q_6 = 48.43 \text{ 公斤};$$

$$R_{IV} = G_{III} + q_a - q_6 = 144.77 \text{ 公斤}。$$

最後，再來求作用在曲拐銷II和III上的壓力。對曲拐銷II取力矩，得方程式

$$G_{II} \times 1,097 + q_6 (360 + 528 + 1,097) - q_c \times 245 - R_{III} (528 + 1,097) = 0,$$

由此得

$$R_{III} = 257 \text{ 公斤};$$

$$R_{II} = G_{II} + q_6 + q_c - R_{III} = 135.1 \text{ 公斤}。$$

至此，所有 q_x^{rv} 和 q_x^{rh} 形式的重量我們都知道了。

對蒸汽機車縱向中心平面 MN（參閱圖 4）取力矩。垂直力的力矩為

$$\sum_{x=1}^{x=5} \frac{q_x^{rv}}{g} \omega^2 r a_x^v = \frac{Q_r^v}{g} \omega^2 r a_r^v, \quad (19)$$

式中 $Q_r^v = \sum q_x^{rv}$ = 垂直力的合力，公斤；

a_r^v 是合力 Q_r^v 的力臂，公尺。

從方程式 (19) 求得

$$a_r^v = \frac{\sum_{x=1}^{x=5} q_x^{rv} a_x^v}{Q_r^v}。 \quad (20)$$

水平力的力矩相應地為

$$\sum_{x=4}^{x=5} \frac{q_x^{rh}}{g} \omega^2 r a_x^h = \frac{Q_r^h}{g} \omega^2 r a_r^h, \quad (21)$$