

离心调速器的理論及計算

[苏联] Л. М. 楚凱尔尼克著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書介紹往復原机上直接作用的离心轉速調節器的原理，奠定了靜力及動力穩定條件，列舉了普通或錐形調速器以及平面調速器的計算方法。

本書是為了從事於离心調速器的計算、設計及試驗工作者以及製造者參考應用而編寫，但亦可供大專學校機械製造系科的高年級學生作為參考用書。

离心調速器的理論及計算

Теория и Расчет Центробежного Регулятора

著 者 [蘇聯] Л. М. Цукерник

原出版者 МАШИЗ • 1951 年版

譯 者 劉 菊

*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

新華書店上海發行所發行 各地新華書店經售

上海新華印刷廠印刷

*

開本 787×1092 1/32 印張 4 8/32 字數 76,000

(原中、科技版共印 5,200 冊 1954 年 9 月第 1 版)

1960 年 4 月初 1 版 1960 年 4 月第 1 次印刷

印數 1—1,500

統一書號：15119·474

定 價：(十四) 0.50 元

序

離心轉速調節器是很多固定式及移動式原機的重要輔助設備。原機運轉得是否可靠，和它的調速器工作得是否平穩，設計得是否恰當大有關係。顯然，要得到一個可靠的調速器，它的設計計算必須很正確。

研究離心調速器理論的著作很多。由於調速器應用很廣，所以它的理論研究工作需要彙集很多研究工作者的成績而成。

在離心調速器的理論研究工作中，俄國學者擔當了一個重要的角色，其中最著名的是依·阿·范世聶格拉斯基及尼·葉·儒可夫斯基。他們找到了用離心調速器的原機的穩定工作條件。

但古典調速理論是建立在一聯串將實際情形簡化了的假設上的。所以調速器設計工程師就忽略了相當重要的因素。這很明顯，就是為什麼有某些離心調速器具有不夠完善的品質的緣故。

古典調速理論的缺點，是它忽略了離心調速器靜力性能（表示角速與離心重量位置關係）的非線性對於原機穩定工作的影響；另一個缺點是將調速器的變化和原機功率變化的關係線性化了。

在古典調速理論中，也沒有對平面離心調速器的又對角速度

又對角加速度起作用的動力學問題加以足夠的說明。這些平面調速器是經常用以調節某些原機的。它們特別適用於蒸汽機，所以，它們一般地都用在機車原機上。

在本書，著者對直接作用離心調速器原理作了些補充及整理工作，以使它們比較更完善些。又提出了在原機各種工作情況下增加調節轉速的穩定性及可靠性的方法。

在此討論的是一般性的理論，將它們以同樣的程度演用到普通的、或稱錐形的調速器上以及平面調速器上。

著者就范世聶格拉斯基及儒可夫斯基所奠定的理論加以更進一步的研究，給予它合理的發展。

本書分成三章。前兩章討論離心調速器的理論，它的靜力學及動力學，演化調速過程中的靜力及動力穩定條件，以及研究摩擦阻力對於該過程的影響。第三章陳述了調速器的計算方法。這章的目的是使設計調速器的工程師可以不必具有如著者用以處理上述問題的複雜的數學基礎就能直接應用前兩章的結果。除掉演算所基的一般理論假設及公式外，在第三章還給予了用以計算及設計所必需的實際知識。

著者深深地感謝功勳科學家科學博士斯米爾諾夫教授在本書寫作時所給予的幫助及珍貴的指導。

目 錄

序.....	i-ii
序論.....	1-7
1. 離心調速器的功用.....	1
2. 離心調速器的類型.....	2
第一章 離心調速器的靜力學.....	3-33
3. 作用在離心調速器機構上的各種力.....	8
4. 調速器靜力性能.....	17
5. 調速器的調速差度.....	21
6. 調速器的不靈敏度及工作能力.....	30
第二章 調速器的動力學.....	34-73
7. 離心調速器輕微振盪公式.....	34
8. 動力穩定條件.....	50
9. 摩擦阻力對離心調速器工作的影響.....	62
第三章 離心調速器的計算.....	74-124
10. 調速器基本變值的選用.....	74
11. 離心重量慣性矩及慣性矩主軸的尋求.....	82
12. 在原機各種工作情況下調節穩定性的尋求.....	92
13. 彈簧的計算.....	100

14. 附屬質量的影響，平面調速器的慣性重量	111
參考資料	125-126
譯名對照	127-131

序 論

1. 離心調速器的功用

在工業上，經常需要將負荷變動的原機的轉速維持在一個定值上。如果原機所產生的有效扭力矩等於機器工作時具有的抗阻扭力矩，那末，原機就可以在某一特定值的轉速上工作。此時，原機所產生的功率完全等於機器工作時所必需消耗的功率。

但機器工作必需消耗的功率根本不是一個固定不變的數值。如以帶動發電機的原機為例，發電機電樞阻力變化就是機器工作消耗功率的變化，在消耗功率變動後如果原機功率仍然不變，那麼用以對消消耗功率後多餘的或不足的原機力矩將使整個機器的轉速增高或減低。減小負荷，原機轉速增加，甚至可能會“飛脫”——那就是當轉速增加到許可限度以外而可能招致事故時。增加負荷，原機轉速減低，有些時候就會“死掉”——也就是停止了轉動。這樣，爲了要得到原機均勻的轉速，在負荷變動的同時，必須變動原機功率，使它所生的扭力矩恰巧抵消抗阻力矩。這個任務就由自動作用的離心轉速調速器來擔負。

裝置在汽油機上的調速器都是節制化油器的噴口，控制它的開啓程度而調整進入汽缸中的工作液量，由之也調節了它的功率。

柴油機上的調速器節制噴油嘴的噴油量以控制轉速。

蒸汽機多半是調整它的閉汽程度。在這種情況下，調速器調節進汽瓣的偏心率。然而，在某些情況，也用調速器控制進汽閥來調整進汽量的。這種方法多半用在小型蒸汽輪上。在大中型蒸汽輪上，由於必須有一定的力量去推動調速機構，所以這種直接調速方法就不能被採用，而要用較複雜的不是直接調速的調速機構了⁽¹⁾。

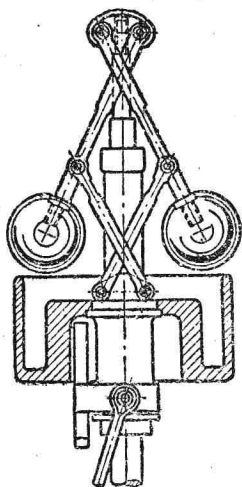


圖 1. 重力離心調速器

2. 離心調速器的類型

離心調速器的構造類型很多，但它們可以分成最基本的兩種類型。

第一類是普通或錐形調速器，有時也稱桿套調速器。它的離心重量的相對運動是順着調速器迴轉軸軸向進行的。

第二類是平面調速器，亦常稱為軸調速器，它的離心重量是在垂直於調速器轉軸方向運動的。

(1) 本書所述都是直接調速的調速器，就是原機調節機構的動作都是依靠離心調速器本身變化時所產生的力量直接引起的，在大中型蒸汽輪及水力渦輪上，主要由於所需帶動原機調節機構的力量較大，調速器本身產生的力量一定要經過領閘、生力器等一套機構使它放大，才可以調節原機，後者稱為非直接調節，可參閱譯者所著“自動控制原理”，中科。或參閱 М. А. Айзерман, Теория автоматического регулирования двигателей, гостехиздат, 1952. (譯者註)

某些作者，如葉·突·爾伏夫[7]⁽¹⁾，專門用“離心調速器”的名詞稱呼第一類調速器。

平面調速器的特點是它對角加速度也有反應，即對被調節變值(角速度)對時間的第一次導函數有反應。它的這種特性稱為慣性反應。

錐形調速器可以再分成兩類：重力錐形調速器及彈簧錐形調速器。在重力調速器中通常都用桿套上的重量來平衡離心作力。圖1是這類調速器的一般構造類型之一。由於它構造笨重，多半已被彈簧錐形調速器所替換了，在本書以後將不再提及⁽²⁾。

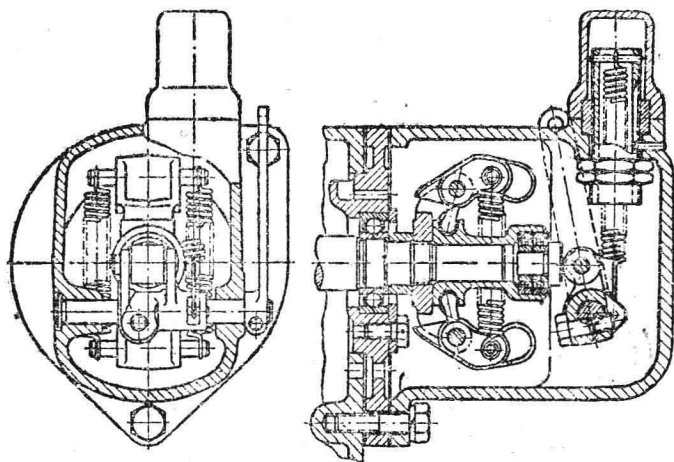


圖2. CX73-11ATH 拖拉機原機離心調速器

(1) 在方括號內的數字是指列於本書後面參考資料內的數序，參考資料的排列以著者名字字母次序為準。

(2) 重力錐形調速器的各種構造可參閱參考資料[5]及[13]。

從彈簧錐形調速器中選取計算方法略有差異的二種不同的構造來研究。

圖 2 是一個 CXT3-HATИ 拖拉機汽油機的調速器，它是一個裝置徑向彈簧的錐形調速器的標準類型（在圖中裝有兩個同樣的徑向彈簧）。從圖中可以很清楚的知道調速器的動作原理。除掉兩個聯結離心重量的主彈簧外，還有一個用以在低轉速時使調速器拉桿恢復原來位置的彈簧。只要改變它的拉力，這個彈簧也可以用以改變所調節轉數的數目。扭轉包圍此彈簧的圓套上的螺帽，將移動聯結彈簧一端的小管，改變了彈簧的拉力。彈簧拉力增加時，所調整的原機轉速就增高；放鬆彈簧，調整速

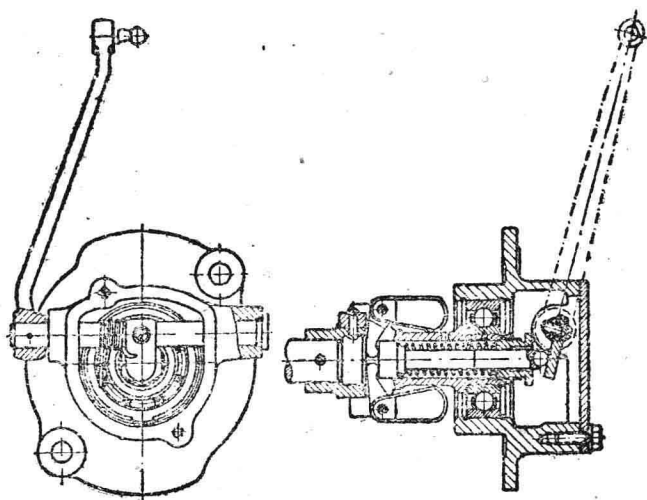


圖 3. Д-3 汽油機離心調速器

減低。調速器外部的拉桿經過聯桿直接聯着化油器噴口的調節門。當原機轉速增加時，離心重量就飛離調速器轉軸，使化油器噴口關小。

圖 3 是裝着直接作用在桿套上的軸向彈簧的錐形調速器的構造。這個調速器是裝置在 JI-3 型輕型固定式汽油機上的。桿套中間有一根軸桿，桿套下端聯有四個離心重量，離心重量有推桿、可推動軸桿。用以調整所調節轉速的方法和前述構造不同。只

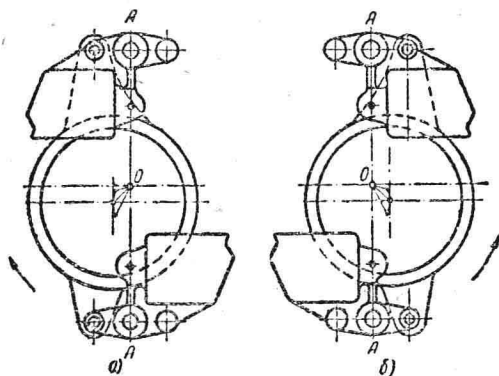


圖 4. II-25 機車平面調速器構圖

要旋轉壓在主彈簧上的螺帽就可以改變主彈簧的鬆緊程度，因此也調整了調節轉數。爲了將軸桿的運動傳送出來，在軸桿一端裝一個滑球，滑球可以在推桿端球座內自由滑動，這樣，軸桿就可直接使推桿行動了。

平面調速器不大用在內燃機上，它常應用在蒸汽機上。這是因爲它的構造最適合於聯結蒸汽機汽瓣偏心輪的動作。這種調

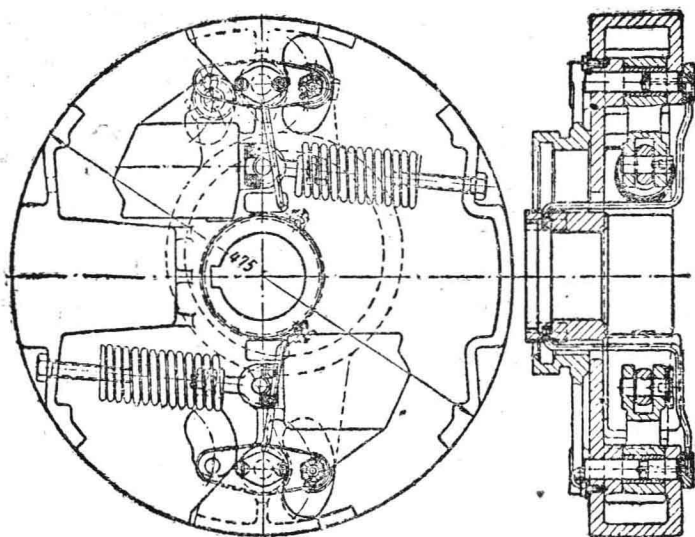


圖 5. II-25 型機車調速器

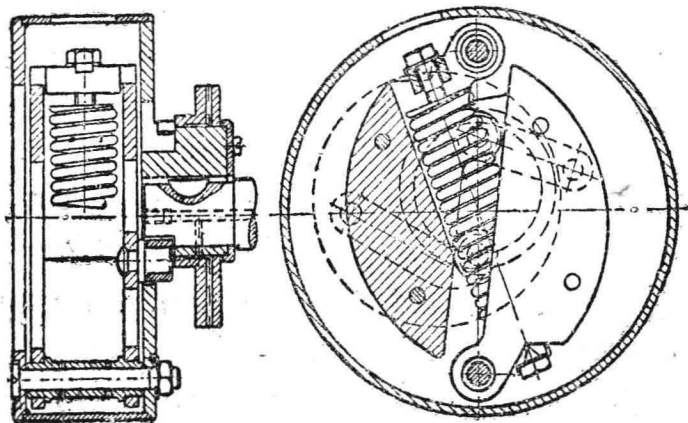


圖 6. ПКТМ 小型汽力裝置平面離心調速器

速器經常安裝在蒸汽機的飛輪上面。

圖 4 是安裝在 II-25 型機車上的平面調速器的主要圖形，而圖 5 是它的詳圖。同樣的調速器散見於各種機車蒸汽機上。離心重量能圍繞平行於調速器軸 O 的軸 A 而轉動。蒸汽機汽瓣偏心輪直接聯着離心重量，當它轉動後，就調整了它的位置，由之也調整了它的閉汽程度。在圖中調速器上，每個離心重量都有它自己的彈簧，調節這些彈簧的拉力就可以調整調節轉速的數目。

II-25 型機車調速器可以變更原機廻轉方向。這是因為它變動了偏心輪的位置，如圖 4a 及 4b。

圖 6 是另外一種平面調速器的構造圖形。它專用於輕型蒸汽原機，為中央鍋爐透平設計院 (ЦКТИ) 莫斯科分部所設計。它的一對離心重量是只用一根彈簧互相聯結起來的。離心重量的移動就帶動了可繞另一緊密聯結在軸上的偏心轉動的偏心輪。調速器彈簧可以用圖 7 中的調節螺栓 1 調整，亦可以擰轉彈簧螺帽 2，以改變彈簧的有效圈數。後者可以變動彈簧的工作性能，即改變它的彈性常數。

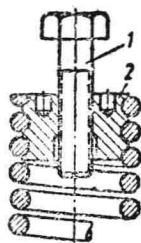


圖 7. ЦКТИ
調速器和彈簧的
聯結

第一章

離心調速器的靜力學

3. 作用在離心調速器機構上的各種力

我們在此研究作用在離心調速器離心重量上的各種力。取最普遍的情況——瞬間情況，即在原機負荷變動後產生的瞬間運動情況。

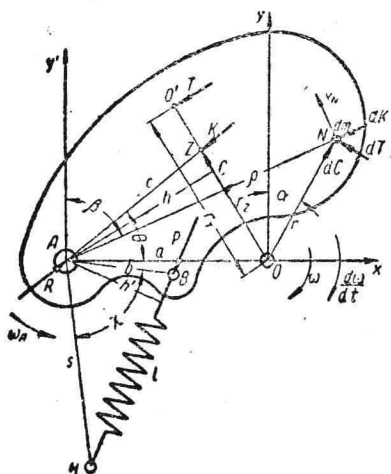


圖8. 作用在平面離心調速器離心重量上的各種作力構圖

先研究平面調速器，它和錐形調速器不同，對角加速度也會起作用。

具有質量 m 的離心重量，見圖8，在瞬間情況時，動作是很複雜的。但這個複雜的動作可以視為兩個運動的總和：繞調速器主軸 O 以 ω 速轉動（絕對運動）及繞離心重量轉軸 A 以角

速 $\omega_A = \frac{d\theta}{dt}$ 轉動 (相對運)

動)。

用達倫巴定理,我們可以將絕對運動平衡住,而將諸作用在離心重量上的作力(包括慣性力)當作平衡靜力系統來研究。

在離心重量上任一點 N , 具有質量 dm , 承受下列各作力:

1. 離心慣性力 dC , 垂直於 O 軸作用, 其值爲

$$dC = \overline{ON} \omega^2 dm = r \omega^2 dm$$

2. 由於角轉速 ω 是一個變值, 故有切線向慣性作力 dT , 此力對 O 軸所成的力矩和角加速 $\frac{d\omega}{dt}$ 反向, 其值爲

$$dT = r \frac{d\omega}{dt} dm$$

力的方向垂直於 ON 。

3. 由於絕對轉動運動產生郭利奧力斯加速度, 故在 dm 質量上作用有郭利奧力斯慣性力 dK 。郭利奧力斯加速度的方向是在相對速度矢量 v_N 順絕對角速 ω 轉動方向的 90° 處。慣性力 dK 是用以抵消郭利奧斯加速度的, 所以它的作用方向恰巧和加速度方向相反。 dK 之值如下

$$dK = 2v_N \omega dm = 2\overline{AN} \frac{d\theta}{dt} \omega dm = 2\rho \omega \frac{d\theta}{dt} dm.$$

計算作用在離心重量所有點上的作力 dC , dT 及 dK 的合力。選用如圖 8 所示座標 x 及 y , 將各合力依此座標計算如下:

$$C_x = \int r \omega^2 \sin \alpha dm = \omega^2 \int r \frac{x}{r} dm = \omega^2 \int x dm$$

$$C_y = \int r \omega^2 \cos \alpha \, dm = \omega^2 \int r \frac{y}{r} \, dm = \omega^2 \int y \, dm$$

但積分 $\int x \, dm$ 及 $\int y \, dm$ 是離心重量質量對於 x 及 y 軸的靜力矩，故上式可寫成

$$C_x = \omega^2 m x_z$$

$$C_y = \omega^2 m y_z$$

在此， x_z, y_z 是離心重量重心 Z 的重心距。

C_x, C_y 之合力順 OZ 方向作用，且有下列值

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = m \omega^2 \sqrt{x_z^2 + y_z^2} = m \omega^2 r_z \quad (1)$$

在此， r_z ——重心 Z 到軸 O 的距離。

以後需用 C 力對 A 軸的力矩來計算，此力矩以 M_c 表示。它在平面調速器中是 C 與力臂 h (圖 8) 的乘積：

$$M_c = Ch = m \omega^2 r_z h$$

但 $r_z h$ 是三角形 OAZ 面積的兩倍，此三角形又可以用 $OA = a$ ， $AZ = c$ 及正弦 θ 表示，即

$$r_z h = ac \sin \theta$$

因此，

$$M_c = m \omega^2 ac \sin \theta \quad (2)$$

在計算平面調速器離心力 C 及其力矩 M_c 時，可設離心重量的質量都集中在它的重心上。而在以後將要證明在錐形調速器中這個假設並不合適。

dT 的合力用和 C 相同的方法計算，它在 x, y 軸的分力是

$$T_z = \frac{d\omega}{dt} \int r \cos \alpha \, dm = \frac{d\omega}{dt} \int y \, dm = \frac{d\omega}{dt} m y_z$$

$$T_y = \frac{d\omega}{dt} \int r \sin \alpha \, dm = \frac{d\omega}{dt} \int x \, dm = \frac{d\omega}{dt} m x_z$$

合力 T 的方向垂直於 OZ ，因為從前兩式 T_z 及 T_y 有下列關係

$$\frac{T_x}{y_z} = \frac{T_y}{x_z}$$

合力值為

$$T = \sqrt{T_z^2 + T_y^2} = m \frac{d\omega}{dt} r_z \quad (3)$$

這裏，必須求得 T 的作力點，為此，列出 dT 對於調速器轉軸 O 的力矩公式為

$$dM_T = r \, dT = r^3 \frac{d\omega}{dt} \, dm$$

合力 T 對此軸的力矩是

$$M_T = T r_T = \frac{d\omega}{dt} \int r^3 \, dm$$

但 $\int r^2 \, dm$ 是質量 m 對於 O 軸的慣性矩，以 I_0 表示，故

$$M_T = T r_T = I_0 \frac{d\omega}{dt}$$

將上式中 T 以(3)式代入，則可得從 O 軸到 T 作力點的距離 r_T ，

$$m r_z r_T \frac{d\omega}{dt} = I_0 \frac{d\omega}{dt}$$