

高等學校教學用書

鍋爐設備的自動調節

C. Γ. 蓋拉西莫夫
E. Γ. 杜特尼柯夫 著
C. Φ. 契斯賈柯夫



高等教育出版社

高等學校教學用書



鍋爐設備的自動調節

C. Γ. 蓋拉西莫夫
E. Γ. 杜特尼柯夫 著
C. Φ. 契斯賈柯夫
許 晉 源 譯

高等教育出版社



本書譯自蘇聯國立動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1950 年出版蓋拉西莫夫 (С. Г. Герасимов)、杜特尼柯夫 (Е. Г. Дудников) 與契斯賈柯夫 (С. Ф. Чистяков) 合著的“鍋爐設備的自動調節” (Автоматическое регулирование котельных установок)。原書經蘇聯高等教育部審定為高等動力工業學校與動力系諸熱工專業的教科書。

本書的內容計有關於發電站自動化的基本概念, 熱力過程調節理論的基礎知識, 主要是在發電站中廣泛應用的自動調節器構造系統的敘述, 調節過程的近似計算方法, 以及鍋爐與鍋爐間和透平間輔助裝備自動調節系統及線路構成原理的研究。

本書係由交通大學鍋爐教研室許晉源譯出。

鍋 爐 設 備 的 自 動 調 節

С. Г. 蓋拉西莫夫等著

許 晉 源 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 491(課 432) 開本 850×1168 1/32 印張 12 3/4 字數 322,000

一九五五年十二月上海第一版

一九五五年十二月上海第一次印刷

印數: 1-1,500

定價: (8) 洋 1.90

目 錄

序.....	5
第一章 緒論.....	7
1. 自動化,它的發展和意義	7
2. 自動化設備.....	15
第二章 自動調節的一般概念.....	29
3. 調節理論的引論.....	29
4. 調節對象的性質.....	42
5. 調節過程的基本方程式.....	56
6. 等速度調節.....	89
7. 調節理論的補充問題.....	109
第三章 熱工過程調節器的構造系統.....	132
8. 調節器的分類.....	132
9. 直接作用式調節器.....	134
10. 間接作用式液力調節器.....	148
11. 間接作用式氣力調節器.....	182
12. 間接作用式電氣調節器.....	201
13. 各種型式調節器特性的比較.....	238
第四章 調節過程的近似計算法.....	243
14. 調節區域諸參數的試驗測定法.....	244
15. 單容調節區域的飛升速度使用分析方法的決定.....	248
16. 單容調節區域的自平衡率使用分析方法的決定.....	254
17. 調節器諸參數的計算.....	261
18. 調節器諸參數的試驗測定法.....	272
第五章 鍋爐的調節.....	279
19. 鍋筒式鍋爐中燃燒過程調節的理論系統.....	279
20. 鍋筒式鍋爐中燃燒過程調節器的構造系統.....	296
21. 鍋筒式鍋爐的給水調節.....	330

22. 鍋筒式鍋爐的給水調節器構造系統.....	342
23. 單流鍋爐調節的理論系統.....	356
24. 單流鍋爐調節器的構造系統.....	371
第六章 熱力設備調節的補充問題.....	381
25. 輔助裝備的調節.....	381
26. 雙位置調節與圖形調節.....	393
附錄.....	402
中俄名詞對照表.....	403

序

由於發電站中所謂“熱力”自動控制的廣泛發展，高等動力工業學校，首先是榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院（МЭИ）的教學計劃中添設了熱力設備自動調節這一普通課程，並且在其中成立了有關的專業。

雖然熱力過程的自動調節是個現實的問題，並且這一類課程的學習也已比較長久，然而蘇聯的出版界中有關這些問題的書籍還是非常缺乏。

照著者的意思，本書係供各高等動力工業學校熱工系電站專業學生學習有關的普通課程時作參考書之用。雖然這些課程的名稱各不相同，但都可採用本書。

某些問題，特別是關於調節理論的問題，在本書中因迫於需要所以說明得比大綱所規定的更為完全。這一類問題大部分用小號字排印，非專門學習熱力自動控制的學生不一定要學習這些部分。

對於工業動力專業的學生，本書只是在課程中論述熱力調節理論和熱力過程調節器構造的那些部分方面可作為參考書。

本書各章節在各著者之間的分工如下：

С. Г. 蓋拉西莫夫所寫的是 3—6, 17, 19, 23 節；Е. Г. 杜特尼柯夫——11, 14, 15, 16, 18, 21, 22 節；С. Ф. 契斯賈柯夫——1, 2, 8—10, 12, 13, 20, 24—26 節；7 節是由 С. Г. 蓋拉西莫夫和 Е. Г. 杜特尼柯夫一起寫的。

著者認為本書不能採用莫斯科動力學院中普通課程的名稱“熱力設備的自動調節”。這樣的名稱沒有反映出歷來積累的課程內容。歷

來積累的課程內容幾乎沒有提到發動機調節的那些問題。發電站中所有熱工過程的調節實質上都包括了鍋爐及與它相連的設備的調節。

著 者

第一章 緒論

1. 自動化,它的發展和意義

在建立於生產過程機械化原則之上的現代工業生產中,自動化設備的應用一年一年地增加着。本書目的是要研究熱能動力設備自動化的問題,首先是它們的自動調節問題。我們先來給這些概念作一個定義。

機械化是指在各種生產過程中使用機器和機械設備來代替體力勞動。在完全機械化的生產中,管理人員所要做的只是生產過程的操作性操縱而已。

自動化是指生產過程操作性操縱的機械化,因此自動化是生產過程更完全的機械化,這時連生產過程的操縱也已經機械化了。

各個生產過程的自動化程度可能是不一樣的,在部分自動化的過程中,某一部分操縱動作係手工的。部分自動化可用於一部分過程尚未機械化的生產中,例如在手力加煤的鍋爐間內。

自動調節設備是自動化的部件之一。自動調節的目的是要把生產過程中的參量維持於完全一定的指定值。例如,自動調節在蒸汽鍋爐中即用以使蒸汽壓力不管負荷如何變動而始終維持不變,辦法是對燃料燃燒過程的操縱機關有相應的機械設備起作用。自動調節是自動化中最重要的部分。

主要的發展階段

雖然自動化設備的使用已經有了幾百年的歷史,但是生產過程自

動化只是在最近二三十年中才得到了廣泛的應用。

上古的人類已經有了自動化的觀念。亞歷山大城的海倫是二千年前的一位數學家、物理學家兼機械師。在他遺留到現在的著作中，敘述了各種非常聰明的自動作用的設備。這種設備可能在他之前千百年就已發明了。海倫·亞歷山大里斯基所敘述的設備與儀器未曾有工業上的應用，而根據下面所講的定義說來多半是屬於自動操縱與工藝信號的一類。海倫知道有著名的自動機戲院，並且詳細地加以敘述。這一戲院是上演多幕劇的。他還知道有一種自動機，投下相當的錢幣就能自動出水；有一種自動機能在接近祭壇時吹起火焰；有一自動號兵，當太陽升起而照熱自動機的感覺部分時能發出信號等等的設備。

類似的自動化設備在較晚近的年代還可找到。1767年伊凡·彼得洛維奇·庫立賓（Иван Петрович Кулибин）造了一種鐘錶，其中有一極小的自動機戲院。庫立賓的鐘錶是歷史上著名的最奇妙的自動機之一。中世紀的人們也迷戀於自己動作的鳥獸與昆蟲模型。如果不考慮鐘錶，那麼幾乎所有古代和中世紀的自動機都沒有實際價值，更談不上工業價值了。

關於把自動化的部件用於工業用途的問題，當時還沒有發生過。根本就沒有工業生產存在。消費資料的生產還依靠手工業工人的手工勞動。把自動化設備應用上去可以有任何實際意義的那種對象一個也沒有。

馬克思寫道，“鐘錶是爲了實用而創造的第一個自動機……”接下來又說“也絲毫不容懷疑，在十八世紀中，鐘錶啓發了人們將自動機（尤其是有發條的，有彈簧的）用於生產上……”^①。鐘錶從古代的水鐘——滴漏開始，然後是有輪子的彈簧鐘錶，以至發展成十八世紀的擺式鐘錶這一段歷史，乃是現代自動化的前史。十七世紀中用來調節水磨轉數的最簡圓錐擺的出現，顯然也是由於鐘錶所引起的。

① 卡·馬克思與菲·恩格斯全集（俄文本），卷23，第131頁，馬列學院，1930年版。

兩個作用：量出機器的轉數與隨着轉數的不同而撥動調節機關——進汽閥。

浮子或離心擺與調節閥之間連繫系統的正确選擇，必須認為是保爾祖諾夫與瓦特的主要功績。這個系統現在仍廣泛應用着。

幾乎在一百年內發動機的所有轉數調節器都按照保爾祖諾夫-瓦特的調節器系統而做成直接作用的調節器，其中所調節的量的測量機關同時也就撥動調節機關。

隨着機器功率的逐漸增加，爲了要能夠轉動更重的調節機關，就愈來愈需要增加離心擺的質量。但是隨着調節器質量的增加，調節的品質就開始惡化：機器自一個負荷過渡到另一個負荷時不是轉數發生了長久不減衰的大波動，就是轉數對其正常值發生了太大的偏差。

離心擺的質量一方面爲了撥動調節機關需要加大，另一方面爲了改善調節的品質又要減小，在離心擺質量的選擇中所產生的這種矛盾便引起了新的自動調節器型式——間接作用調節器的產生。在這種調節器中，調節機關的撥動是由外界的輔助能量例如在壓力下的液體的能量來實現的。此時離心擺只供撥動滑閥之用，滑閥是其輕無比且在力學上是平衡的，它引入輔助能量來撥動調節機關。

把調節器的指揮與撥動機能劃分開來的這種想法，在實用上長久以來都沒有能實現。因此就有了必要開始對調節過程作理論研究和它的詳盡分析。在調節理論問題方面最先的重要工作是俄國學者伊凡·亞列塞葉維奇·維許涅格拉斯基(Иван Алексеевич Вышнеградский)教授^①所完成的。他不但提出了這些問題並且解決了它們。他在1877與1878年發表了他的著作“論直接作用調節器”與“論間接作用調節器”。維許涅格拉斯基的工作第一次揭露了機器調節方面毛病的原因，並且無疑地促進了間接作用調節器的使用。

① И. А. 維許涅格拉斯基生於1831年。1862年起任教授，而自1875年起任彼得堡工藝學院院長。他死於1895年。

後來從事研究調節理論的有許多俄國學者:西道羅夫(А. И. Сидоров)(1895年),格列恰寧諾夫(А. В. Гречанинов)(1896—1899年),格爾奇娜(Я. И. Грдина)(1898—1900年),尼古拉·葉哥洛維奇·儒柯夫斯基(Николай Егорович Жуковский)等。儒柯夫斯基在1909年發表了他的著作“機器轉動的調節理論”。

在國外關於調節理論的工作中應該指出斯妥杜拉(Стодола, 1894年)與妥萊(Толле 1909—1921年)。妥萊曾把在他以前所創造的關於調節理論的許多作品加以系統化。

一百五十年中熱力設備生產過程的自動化一直只限於機器轉數的自動調節。在其他工業部門中自動化幾乎都不存在。

只是到了本世紀的三十年代才明白,假使沒有生產過程的自動化,就很難應用新技術,而有時甚至不可能應用。這是由於使用了與手工操縱不能相容的高壓、高溫和高速也由於它們的精確度要求很高,以及由於轉向連續生產的趨勢。

各種生產過程的自動化產生了技術方面和經濟方面的許多優點。自動化簡化了複雜的工藝過程,節減了管理人員的數目,提高了機器設備的產量,減少了材料和能量的消耗,減少了生產上的廢品和廢料,減少了事故,延長了設備修理之間的運行時間以及使生產得到了許多其他的改善。全面地說來,自動化生產的運行無可爭辯地要比非自動化的生產有利。

革命以前在俄國儀器製造工業事實上根本不存在,而儀器製造工業是掌握自動化設備製造的基礎。只有在展開為我國社會主義工業化而鬥爭的年份中(1926—1929年)才有了可能着手建立儀器製造工業。

我國儀器製造業的高度發展在這以後不久,在第一個五年計劃的年份中(1929—1933)就開始了。

第一座工業單流鍋爐的製造(1933—1938年)給了一般(尤其是熱力過程的)自動化設備的製造以一個很大的推動力,因為單流鍋爐的運

行如果沒有自動調節，起初就根本是不可能的。在這些年份中同時又開始了普通鍋筒筒式蒸汽鍋爐自動化方面的工作。從事於蒸汽鍋爐自動調節方面工作的機構計有：捷爾任斯基全蘇熱工研究所(ВТИ)，保爾祖諾夫中央鍋爐透平研究所(ЦКТИ)，列寧全蘇電工研究所(ВЭИ)以及許多儀器製造廠。在鍋爐與其他機組的綜合自動化問題方面進行工作的有單流鍋爐製造局(БПК)，國營“熱控制”托拉斯以及許多其他機構。

着手於自動化設備製造的蘇聯儀器製造工業繼續高度發展。1948年的生產總額相對於1940年增加到幾乎五倍。

電子技術近年來在我國的儀器製造業中得到了大量的應用。電子學大大地簡化了自動設備的運動鏈，並且使調節器作用的延遲現象大部分都能消滅掉，這種延遲現象對調節過程是有不良影響的。

有關自動化的工作，而尤其是有關各種熱力過程自動調節的工作的普遍發展表示出，過去爲了用於發動機轉數調節而詳細研究出的自動調節理論，還需要大大地加以補充和修改。調節理論之所以必須要修正和更進一步發展，首先是因爲，應當要自動化的熱能動力設備及其各區域的性質與發動機的性質大大不同。過去已有的調節理論即使在解決有幾級調節撤汽的複雜透平調節問題時也不能毫不修改地加以應用。所有這些都促使認真地把全部調節理論從頭至尾修改一下。

最近二十年中對熱力過程調節理論的改進作了巨大工作的人計有：已故的華士聶賽斯基教授(И. Н. Вознесенский)與保爾祖諾夫中央鍋爐透平研究所中他的學派，捷爾任斯基全蘇熱工研究所與許多其他機構的全體人員。

現在，自動調節廣泛地應用於各種技術部門的生產過程調節。在解決某些調節問題時發生了古典調節理論所不能解決的一些問題，這就引起了調節理論方面新觀念的產生。

蘇聯學者們的工作在調節理論的新發展中佔着重要的地位。蘇聯

科學院自動控制與遠距控制研究所的最新工作就是要創造出建築在新的原理和方法上並能解決任何調節問題的一種調節理論來。

我國有關生產過程自動化的一切工作已從局部的技術問題轉變為重大的國民經濟問題了。生產過程自動化的問題,而尤其是熱力設備自動化的問題,很久以前就受到黨和政府的關懷。還在1939年聯共(布)第十八次代表大會上莫洛托夫同志(В. М. Молотов)就提出了“廣泛地採用最新的動力技術、蒸汽的高壓和高度過熱、最新的供熱透平[⊖]以及電站主要生產過程和電網業務的自動化”。

戰爭不允許我們全部完成這個提案。在蘇聯國民經濟恢復和發展的五年計劃(1946—1950年)的規定中,決定了“廣泛地展開電站與電網生產過程自動化方面的工作”…。

蘇聯國民經濟恢復和發展的五年計劃(1946—1950年)的規定是在我們目睹下實現的。我們可以指望在最近幾年中勝利地完成諸主要工業企業和電站中熱力設備自動化方面的主要工作。

自動化在熱能動力中的意義

熱能動力設備的自動化有以下的主要優點:

- (1) 提高設備的經濟性;
- (2) 減少事故;
- (3) 減輕勞動條件和節減管理人員的數目。

如果比較一下非機械化、機械化和自動化的熱能動力設備(尤其是鍋爐設備)中管理人員的工作性質和工作條件,就可以明顯地想像體力勞動與腦力勞動間的界限如何逐漸消滅。

自動化的最重要優點——提高設備的經濟性——主要是由於鍋爐效率的提高而得,也由於本廠用電的減少而得。效率提高多少與運行

⊖ 譯者註:——供熱透平(Теплофикационная турбина)是兼供電能和熱能的蒸汽透平,從其中間級提出一部分蒸汽作為供暖或工業上之用。

情況和設備大小有很大關係，並且變動範圍也很大。當鍋爐間中只使用一種自動化設備（燃燒過程的自動調節設備）時，如果是現代的巨型鍋爐設備，所得到的燃料節省可以認為等於1至3%。在小型的鍋爐設備中燃料的節省程度還要來得大。在書籍中可以遇到由於應用燃燒過程自動調節而得到更大的節省數字的記載，這個數字有達到16%的。這個節省數字之所以很大，可能是不僅因為使用了自動化設備，而且也因為消滅了鍋爐設備的某些運行缺點的緣故。不消滅這些缺點，實際上就不能使用自動化設備。

減少事故損失所能得到的節省也不差。管理人員的減少由自動化設備的使用而抵償了，因為這些設備能客觀地且自動地調節和控制鍋爐設備的工作以及防止事故的發展。發生事故的時候管理人員可能有慌亂的現象，而此地與之相對照的却是自動機構準備在任何情況和任何最繁重的條件下工作。因此，管理人員的主觀錯誤本來是常常會使事故深入擴大的，當自動化的時候就能減到極少了。由於自動化設備的採用使事故減少而得到的經濟效果的大小，雖然從來沒有去計算過，但是它的大小無疑地是非常可觀的。

自動化，而首先是自動調節，減輕了管理人員的勞動並減輕了他們的職責，因此就產生了節減人員數目的自然前提。然而節減人員這件事不應變為一個自在的目的，因為在一般鍋爐中如要設法把操縱人員儘可能節減，目前還是要使用極端笨重而複雜的設備，這樣的使用是不合算的。

使用自動化後，一面管理人員數目可以節減，另一面留下人員的平均業務水準就要提高。

對於自動化的實現方式和方法，常常有人發生錯誤的了解。例如，應當指出曾經流行一時的說法的錯誤，這種說法認為自動調節設備應該把人的運動綜合用一連串機構的類似運動綜合來代替。決不可認為，自動調節設備一定要模仿人，也不可認為，這些設備可以做成人的

機械化模型——機械人。完全沒有必要這樣做，而且這已為整個工程史所證實。

例如，當第一輛有驅動輪的蒸汽自動車出現時，某些發明家曾懷疑用輪子來使車子運動是否可能，他們建議造一種槓桿機構，槓桿的運動模仿馬足。

自動化，而特別是自動調節，在本質上是新穎的事情。它曾使許多工藝規程得以根本修改，而建築在新的更完善的基礎上。

複雜熱力設備的自動調節，從而它們的完全自動化，一般只用於穩定工況。開動的操作（以及低負荷時的工作也常常）牽連到必須要額外地注視許多數量和指標，而這些東西難於用儀表來測量，所以它們一般用人工來執行。將來，如果預先就決定要使熱力設備的構造完全自動化，那末熱力設備操縱的自動化也可能在任何工況下都能做到。

2. 自動化設備

生產過程的自動化問題是在使用一套各種設備的組合這個基礎上解決的。它們之中最重要的是下列設備：

- (a) 自動調節；
- (б) 遠距操縱；
- (в) 熱保護；
- (г) 熱工控制[⊖]。

下列設備的重要性較差一些：

- (д) 自動操縱；
- (e) 連鎖；

⊖ 譯者註：我國過去所用的名詞“自動控制”相當於本書中的“自動調節”。“熱工控制”中的控制係直譯自俄文，其義為檢查監督，不能與我國過去的名詞“自動控制”中的“控制”相混淆。

(ж)工藝信號。

此外,與自動化設備很接近的有下列設備:

(з)指揮信號;

(и)通訊。

所有自動化設備中最先應用的是熱工控制。因此,廣泛應用遠距作用的熱工控制儀表的時期常視為向自動化發展的第一期。

完全自動化的熱力設備應在或大或小的範圍內包括所有上述各種自動化設備。在設備的個別區域中或者當不完全自動化時,這些設備中有某些可能是缺掉的。

(а)自動調節

在機器或其他調節對象中進行的生產過程(工藝過程),可用一個或幾個量來表示。為了實現生產過程,必須要使這些量中的幾個或維持不變,或按一定規律而變化。必須要維持不變或維持有規律變化的那些量稱為調節量^①。

調節量表示出在生產過程(工藝過程)的一定區域中進行着的過程。對象中過程用一定的一個或幾個調節量表示的這一部分稱為調節區域。使調節量(一個或幾個)以一定的準確度而維持不變數值的這種過程,或使調節量按照一定的規律而變化的這種過程一般就稱為調節。當自動調節時,這些過程不必有人參加而實現。

自動調節器就是保證能實現自動調節過程的一些部件、設備及彼此間的連繫的總稱。

圖3在原理上表示出調節對象的調節區域和調節器之間的互相連繫。此時調節區域一方面受調節機關所限制,而另一方面受那對工藝過程發生擾亂作用而引起調節量變化的機關所限制。調節器的所有附加設備都放在調節區域以外,且與後者之間至少有兩條連繫路線:一條

^① 常常也用“調節參數”這一名詞。