

中等专业学校教学用书

石油加工过程的 自动控制

苏联 B·P·恩吉尔斯 B·B·巴塔耶夫著

石油工业出版社

原 序

1951年所出版的本書的第一版，乃是以適合於技術學校學生用的形式敘述石油加工過程自動控制主要問題的初次嘗試。在本書第二版的編寫中，著者考慮了1952年4月由ВНИТО儀表自動化組所召集的會議上的參加者以及讀者們的意見及希望，並進行了一系列的補充與修改。

本書中沒有敘述石油加工過程，因為學生們在研究自動控制問題之前既已熟習了石油及氣體的加工過程，並已熟習了這些過程中所應用的主要測量儀表的裝置及作用。

本書介紹了自動控制理論的基本原理，包括控制對象，控制器及控制過程。本書所引用的例題都是實際應用在石油及氣體加工工藝過程中的。從培養學生的目的出發，關於自動控制理論的敘述盡量使學生不用複雜的數學演導即能明瞭其物理實質。

在石油工業上大部分應用氣動式控制器，所以本書的材料主要是介紹這種類型的控制器。其他類型的控制器——液壓式及電動式——的敘述較為簡略，僅是一般的介紹一下。

本書中關於控制器的闡述，其目的是使學生能夠對於各種類型的控制器獨立分析，找出表徵各種作用的主要部分及元件，並可以獨立正確地決定各種控制器所屬的類型。針對着這個目的，在本書中詳細敘述了各種不同類型控制器中都要應用的各種構造不同的單獨部分及元件的作用。

在本書中僅研討了閉式控制系統的自動控制器。屬於開式系統的控制裝置及自動機，例如催化裂化裝置的循環週期控制器，在本書中並未研討，因為在教學大綱中不包括這一項。

研究本書時一定要伴隨着實驗，以使學生詳細地熟習各種類

型及形狀的儀表之具體特點及裝置，也要根據工廠說明書熟習各種機構的控制。

本書的第二版補充了補償控制器的材料，同時對於超越控制器的闡述也大大地增加。也介紹了最新類型的控制器：電子電位計式控制器，低流速控制器，比例流量關係控制器及其他。

目 錄

原序

緒論	7
開式控制網及閉式控制網的自動控制系統	7
自動控制的任務	8
自動控制的發展	9
第一章 控制對象的性質	18
§ 1. 控制對象的負荷	18
§ 2. 控制對象的容量及容量係數	19
§ 3. 單容量及多容量控制對象。需要側及供給側的容量	22
§ 4. 自動平衡	24
§ 5. 控制對象中的延遲性	31
§ 6. 對於最簡單控制對象的反應曲線的繪製及公式的導演	34
§ 7. 石油加工過程中的主要控制對象	36
第二章 自動控制器，自動控制器的分類和作用特性	40
§ 1. 關於控制器的概念	40
§ 2. 控制器的分類	43
§ 3. 位式控制器	45
§ 4. 氣動二位式控制器	47
§ 5. 無定位式控制器	51
§ 6. 比例式控制器	55
氣動比例式控制器	60
手動反向調整器	64
比例式控制器的方程式	65
沒有反饋機構的比例式控制器	67
§ 7. 重定式控制器	68

气動重定式控制器	69
重定速度及重定時間	74
重定式控制器的方程式	77
当参数連續变化時，重定式控制器的作用	78
§ 8. 超越比例式及重定式控制器	80
§ 9. 補償型气動控制器	85
§ 10. 机械式自動控制器	91
第三章 控制过程	92
§ 1. 控制过程的本質	92
§ 2. 控制过程的形式	94
§ 3. 控制过程的研究	96
§ 4. 控制过程的方程式及对它們的分析	107
§ 5. 負荷，自動平衡，容量，延遲性及控制	
机件的時間對於控制过程的影响	112
§ 6. 控制器類型的選擇	116
第四章 自動控制器的構造元件	118
§ 1. 控制器元件按其用途的分類	118
§ 2. 測量系統及它們的特性	120
溫度測量系統	121
压力測量系統	125
流量測量系統	127
液面測量系統	127
§ 3. 具有远距离气動傳送指标的測量系統	129
§ 4. 管制元件	130
§ 5. 反饋機構	136
§ 6. 重定機構	141
§ 7. 超越機構	142
§ 8. 放大器	144
§ 9. 調節器的機構	147
§ 10. 切换器	148

第五章 执行机构	153
§ 1. 用途, 分類及叙述	153
§ 2. 气動式执行机构的控制閥	159
§ 3. 控制擋板	179
§ 4. 气動执行机构的位置繼動器	181
第六章 工業过程的控制器	186
§ 1. 压力控制器	187
§ 2. 流量控制器及两个流体流量比的控制器	191
§ 3. 溫度控制器	202
§ 4. 液面控制器	211
§ 5. 計劃控制器	216
§ 6. 由另一个控制器自動調節控制指标的气動式控制器	217
§ 7. 蒸汽鍋爐操作的控制器	219
第七章 工藝过程的控制流程图	223
§ 1. 往復泵, 离心泵及气体壓縮机的控制流程	224
§ 2. 管子爐的控制流程	226
§ 3. 精餾塔的控制流程	229
§ 4. 气体分配管綫中的压力控制流程图	233
§ 5. 蒸汽鍋爐操作的控制流程	237
§ 6. 选择控制器的補充指示	241
第八章 气動式控制器的試驗与調整	243
§ 1. 控制器的試驗	243
§ 2. 控制器比例特性的繪製	245
§ 3. 重定特性的繪製	251
§ 4. 超越控制器的試驗	255
§ 5. 根据过程對於控制器的調整	259
§ 6. 根据控制对象的特性對於控制器的調整	260
§ 7. 利用比例界限值的方法來調整控制器	261
第九章 气動式控制器的輔助裝置	262
§ 1. 空气的壓縮	263

§ 2. 水分的除去.....	265
§ 3. 除油.....	267
§ 4. 固体粒子的除去.....	268
§ 5. 空气压力减压閥.....	269
中俄名詞对照表	271
参考文献	272

緒 論

開式控制網及閉式控制網的自動控制系統

各種機構，器械及生產過程的自動化，是保證這種機構或器械在預先規定的一定狀況下操作，或使操作過程中的一個或數個參數保持在一定界限內的一套辦法。

完成各種操作自動化(不要人工操縱)及生產過程進行的系統，可以分為兩組：

第一組的系統是依一定的次序自動完成一個或幾個操作，每一個操作都經過一定的時間。屬於這一組者，如售票和出售各種製品的自動機，車床上的自動裝置，車床上的自動系統及其他的定時衝擊自動管理機構——由時針機構或同期馬達來管理。

第一組的系統稱為開式控制網系統。這種系統的特性是當完成指揮衝擊時，機構的動作對於引起指揮衝擊的因素沒有任何影響。

藉助於電動閥的打開和關閉方法，自動管理催化裂化間斷過程的循環週控制器，可以作為這個系統的例子。同期馬達所帶動的可動部分中電接點的連接，是引起指揮衝擊的因素。在閥打開或關閉上所顯示出來的指揮衝擊的完成，對於循環週控制器的可動部分沒有任何的作用。這個系統動作的方向只有一個，即由可動部分向閥。

根據開式控制網原理操作的機構，稱為自動機械。

屬於較為複雜的第二組為閉式控制網的自動控制系統。在此系統中，自動控制器的動作與操作參數有關，而操作參數也與控制器的動作有關。

可以利用精餾塔頂溫度的自動控制系統作為例子。

当塔頂溫度對於規定值發生偏差時，測量溫度的儀表即發生反應，這種反應經過控制裝置，使裝置在塔頂迴流管綫上的控制機件向需要的方向移動。變更迴流量即可使塔頂溫度發生變化。塔頂溫度的變化，使自動控制器動作。這個系統的動作根據閉式控制網而進行。在閉式控制網系統中，在測量被控制參數的基礎上，進行了自動控制過程。

自動控制的任務

自動控制的任務是把任一個工藝過程或工作機械的一個參數或數個參數保持在規定值上。利用所謂自動控制器的特殊儀表來進行自動控制。正確操作的自動控制器代替了人類的勞動，並且

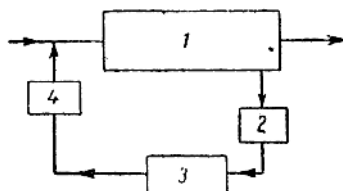


圖 1 自動控制器的作用流程圖

照例是控制比人工操縱（即不利用控制器）要進行的好的多。

在近代的石油煉製工廠中，最主要的器械及工藝過程中的主要參數，例如溫度，壓力，流量及液面等，都利用自動控制器來保持。某些複雜而動力很大的機器，例如電站上帶動發電機的渦輪機，主要管綫上的氣體壓縮機及許多其他機器完全用自動控制器來管制。人對這些機器的作用只是檢查及保持控制器的正常操作。

圖 1 所示為保持任一參數的自動控制器的作用流程圖。長方形 1 代表控制對象，也就是被進行自動控制的器械或機器；2——控制器的測量系統，此系統測量被控制參數並作用於控制器的控制系統 3。控制系統 3 藉助於某一形式的能量或槓桿結構使控制機件 4 移動，同時變更進入控制對象的某種物質或能量，這種物質或能量的進入量將決定被控制參數的數值。

由圖 1 看到，控制沿着閉式控制網進行：控制對象→測量系

統一控制系统→控制机件→控制对象。被控制参数的变化最终将引起进入控制对象的某种物质或能量的数量的变化，此数量的变化也将引起被控制参数的变化。

在近代较复杂的工艺过程中，有时候进行较复杂的自动控制。例如一个参数的控制器被另一个参数控制器产生的指挥冲击所作用，或者数个控制器互相联系着操作。在本书中仅研究一个主要参数的各种自动控制器所应用的最简单条件。

自动控制的发展

随着机器的出现，即产生了自动控制。第一个应用自动控制器的国家是俄国。第一个液面自动控制器是在 1765 年由著名的俄国机械及热工学者 И. И. 波尔儒纳夫发明及建立起来的。他应

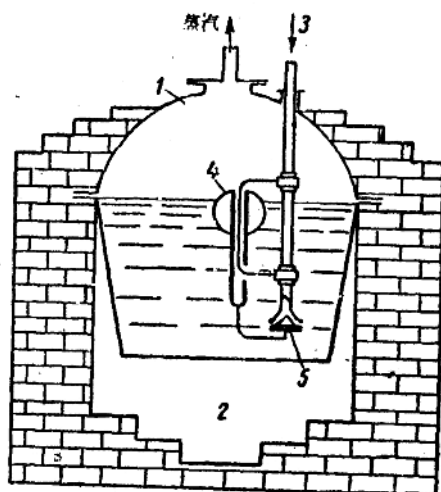


圖 2 И. И. 波尔儒纳夫 1765 年发明的蒸汽鍋
爐內水面的控制
1—鍋爐；2—爐灶；3—水的進口；4—浮球；5—閥。

用他的浮球式控制器，來保持他自己發明的火力機械上蒸汽鍋爐中的液面固定不變。此機械在 1766 年被巴爾拿烏利工廠所採用。波爾儒納夫控制器的裝置如圖 2 所示。鍋爐內裝置一個中空浮球，使它浮在水的表面上。浮球有一個方向裝置，以保持它與供水閥相關的位置。水由管進入，管一直伸到鍋爐底部，供水閥裝置在管的末端。利用槓桿使閥與浮球相聯。當鍋爐內的水面上升時，浮球隨之上升，閥即關閉。當水面下降時，閥即啓開。

在此控制器中，液面的每一值都由浮球的一定位置來代表（在浮球可能移動的界限內）。因此，隨着液面的不同，閥有一定程度的開啓，在單位時間內有一定量的水進入鍋爐內。這種控制器為自力比例式控制器。

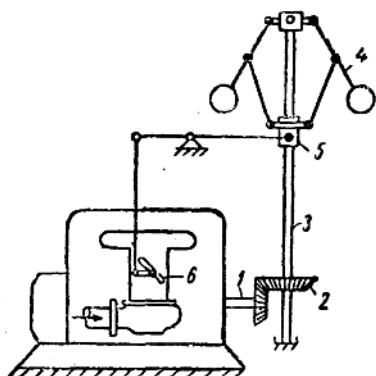


圖 3 控制發動機轉數的離心控制器(自力式)

應用的控制器為機器及渦輪機轉速控制器及液面控制器，而其他參數的控制器則很少應用。

一直到十九世紀中葉，在工業上主要應用的控制器為自力式控制器，這種控制器乃利用被控制對象中的能量來操作。圖 3 所示為自力離心控制器的示意圖，用這種控制器保持內燃機軸的轉數不變。內燃機軸 1 的旋轉經過錐形齒輪傳給桿 3，在桿 3 上聯

1784 年英國機械師瓦特發明了離心控制器，用來控制雙程蒸汽機的轉數，在此控制器中也應用了 И. И. 波爾儒納夫所發明的比例式控制器的原理。

機械製造及工業生產過程進一步的發展，引起了自動控制技術的發展。

在二十世紀以前，被廣泛

結着球4。当球旋轉時，使滑動筒5向上升，而滑動筒則通过槓桿傳動与燃料進入內燃机的閥6相联结。当軸的轉數一定時，由於球的离心力作用使閥位於一定的位置。当軸的轉數增加時，球將向外散開，使滑動筒上升並使閥關閉。当軸的轉數降低時，球即會合並使閥打開。在这种控制器中，利用內燃机本身的能量使閥移動。

在1854年著名的俄國机械師及电机師K. И. 康斯坦吉納夫發明了旋轉速度电磁控制器，这种控制器代替了离心控制器。

1856年在莫斯科曾經裝置了六个帶有自動控制器（控制炭棒的進入）的巨大电弧灯，这是由俄國發明家A. И. 塞帕考夫斯基發明的。这是保證了長期操作的第一部電動机械式控制器。1866年A. И. 塞帕考夫斯基又發明了控制蒸汽鍋爐的蒸汽压力的控制器，这种控制器为了保持压力不变，自動變更了燃料進入爐膛的量。

在1869年到1893年中間，俄國發明家B. H. 契考列夫曾研究了一系列的電動机械式控制器，其中包括电弧灯控制器，这种控制器在控制技術的歷史上曾起了很重要的作用。B. H. 契考列夫的控制器在当时比外國同類的控制器要好的多，它保證了电弧的电流与炭極的移動中間所具的比例關係。

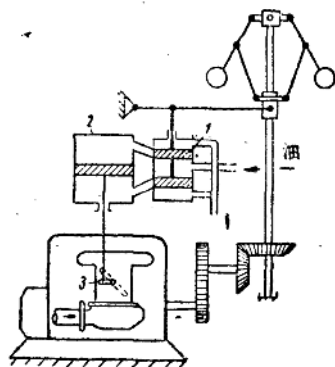


圖4 控制轉數的非自力式离心控制器

1871年在著名的俄國發明家П. H. 葉帕洛契考夫的領導下，B. H. 契考列夫研究出一种對於电弧灯的新式控制器，在这种控制器中在技術史上初次应用了電動伺服馬達（执行機構）。

到十九世紀末葉，由於机器及渦輪机的進一步發展，則需要

大能量的控制器以便管制尺寸較大的閥。為此，应用自力式控制器已經顯的不够了，於是非自力式控制器開始廣泛地被应用。在非自力式控制器中，利用外部的能源來管制控制机件的操作。

圖 4 所示为应用液压能量的非自力式离心控制器的示意圖（液压式控制器）。在此控制器中，旋轉着的球使閥心 1 上下移動，油則經過閥心進入伺服馬達 2 的油缸中（伺服馬達 2 与控制器机件 3 相联結）。控制器操作所用的油由一个特殊泵裝置來供給，油沿着管子進入。由於兩側油的壓力，使伺服馬達的活塞保持在一定的位置，保證了控制机件上的閥的一定的開度，並同時把發動机的轉數保持在規定值上。当發動机的轉數增加時，閥心則上升，於是油進入活塞上部的油缸中。活塞向下移動並使閥關閉。当轉數降低時，使閥心下降，油進入活塞下部的油缸中，於是活塞上升並且使閥打開。

在十九世紀的後半紀發明了具有硬反饋的非自力式控制器，这在自動控制技術上是向前邁進了一大步。硬反饋的应用大大的增加了控制器操作的穩定性，並且当被控制參數對於規定值發生

偏差後，便於阻減被控制參數的变化。具有硬反饋的轉數控制器的示意圖如圖 5 所示。此圖与沒有反饋的控制器的圖（圖 4）的不同點僅是：在這裏控制机件上的閥的移動通过桿 1 傳給閥心 2 並使閥心移動的方向与球（控制器上的球）所產生（對於閥心）的移動方向相反。当發動机的轉數高於規定值時，球的离心力增加，球即向外分散並使滑筒 3 向上升。因此閥心 2 即向上升，油開

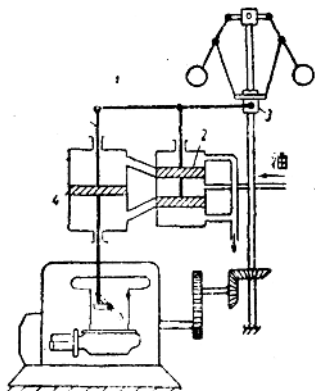


圖 5 控制轉數的非自力式离心控制器（具有硬反饋）

始進入活塞 4 上部的油缸中，同時閥即關閉進入發動機的燃料。但是当活塞 4 剛開始下降時，由於它与閥心聯結，於是閥心也開始下降並把進入油缸的油關閉。結果閥停止了移動，而佔據了一個新的較關閉的位置。為了使閥關閉的更多一點，必須使發動機的轉數進一步增加。

具有硬反饋的控制器就是比例式控制器，在這種控制器中間的每個一定的位置嚴格地代表着每一個轉數值（在一定的界限以內），同時閥的移動在數值上及速度上都與發動機軸的轉數變化成比例。

雖然具有硬反饋的控制器能够起一定的作用，但是在許多情況下不能滿足技術發展的需要。當負荷發生變化時，這種控制器不能把被控制參數保持在規定值上。例如當負荷增加時，若要保持一定的轉數，通過閥的燃料就要比負荷小時為多。但是由於控制器本身的性質，也可以使通過閥的燃料只在轉數增加時（即轉數超過規定值）才增加。具有硬反饋的控制器當負荷發生變化時形成參數的殘餘偏差，並且不能保證把參數保持在規定值上。

控制器製造的進一步發展，出現了彈性反饋的發明。這種控制器開始被稱為重定式控制器。這種控制器即使在負荷變化時也保證把發

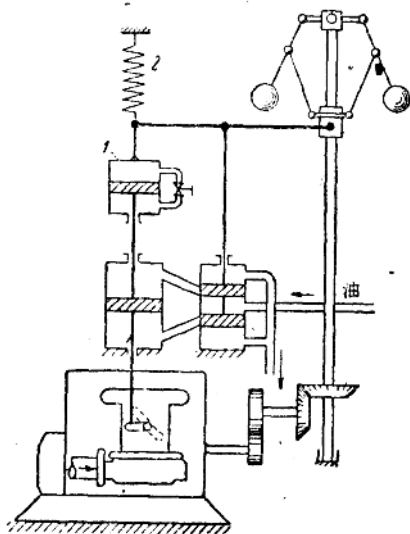


圖 6 控制轉數的重定式非自力离心控制器

動機軸的轉數保持在規定值上。在現代來說，重定式控制器也還是工業控制器的主要類型。非自力重定式控制器的示意圖如圖 6 所示。這種控制器與具有硬反饋的比例式控制器不同的地方是加了一個具有活塞的油缸 1 (內充滿油) 及彈簧 2。當參數對於規定值發生偏差時，這種控制器的閥開始移動的方向永遠是使參數返回到規定值上。由於重定作用，在各種不同的負荷下閥可以佔據不同的位置，以便保持參數在同一規定值上。

控制技術進一步的發展，使我們找到了更完善的控制器——超越式或一次微分式控制器，用這種控制器進行控制時把參數變化的速度也考慮在內。當控制對象的延遲性很大並且當負荷變化很大時，這種最新類型的控制器保證把被控制參數保持在規定值上。

近代各種控制器是複雜的儀表及機構。在許多情況下，比例式控制器、重定式控制器及超越式控制器的性質都結合在一起。這些控制器上都裝有調整裝置，在很寬的界限內能夠根據控制對象的性質來變化控制器的動作，以便把被控制參數保持在規定值上。

若不同時發展自動控制的理論，自動控制的技術就不可能發展。在許多情況下，只有根據理論才能解釋控制器的各種操作，也才能預先料到控制器如何在各種控制對象中操作。在自動控制發展過程中，理論是巨大的方向推動力。

在自動控制理論的發展中，俄國學者起了巨大的、公認的及領導的作用。1876 年曾經出版了當時卓越的俄國機械師 И. А. 范世涅格拉德斯基的著作。在此著作中曾經敘述了他對於控制機器速度的研究成果，他在全世界的科學界第一個指出什麼參數決定控制系統的動理，並且導出系統的穩定條件來。И. А. 范世涅格拉德斯基的貢獻當時具有很大的實際意義，並且成為當時製造控制器的根據。在 И. А. 范世涅格拉德斯基的著作發表以前，外國

學者們所發表的為數不多的理論著作都與實際脫節，對於自動控制的發展不能夠成為推動力。

И. А. 范世涅格拉德斯基完全不愧作為一個近代控制理論的奠基者。

著名的俄國學者及數學家 П. Л. 威貝謝夫在自動控制理論上具有很大的貢獻。1871 年所發表的他的著作闡述了离心不定式控制器的理論，這本著作直到現在仍具有現實意義。

俄國學者 Н. Е. 儒考夫斯基在航空方面用他自己的著作以及在機器的自動控制方面(1909 年)根據他自己的研究曾經證明：由 И. А. 范世涅格拉德斯基所公開的离心控制器的控制理論已被擴展到另一些機器的控制過程上去。這曾經推動了控制理論，使其由一系列的，其他科學中分離出來而自成一門獨立的課程。

在蘇聯偉大的十月社會主義革命以後，我們在控制理論方面獲得了極大的發展。蘇聯學者創立了自動控制的理論。由這些學者們所奠定的關於自動控制的物理及數學基礎變為實踐的一個巨大武器。蘇聯科學院士 И. Н. 沃茲涅新斯基在 1934 年曾經提出來自動控制的原理，並且在他的科學文集上給出了這一重要部分的理論^①。科學院士 В. С. 庫列巴肯在 1932 年提出了振盪控制器的理論基礎。А. В. 米哈依洛夫在 1938—1939 年曾經對於控制理論的發展有過巨大的貢獻。他首次應用了振幅-相的特性的方法來研究控制器的穩定度。他的著作對於自動控制理論的發展方面不僅在蘇聯而且在國外給出了一個新的方向。1939 年 В. В. 索洛道夫尼考夫在他自己的研究中對於控制質量方面首次應用了控制系統的电模型，這樣大大地擴展了研究的可能性並對於過程的自動化方面的科學進一步發展給予了新的推動力。

蘇聯學者 В. Л. 洛西耶夫斯基、С. Г. 蓋拉西莫夫、Ю. Г. 康

^① 機器控制理論曾經由 И. Н. 沃茲涅新斯基擴展到各種不同的工藝過程上去。

尔尼洛夫及B. Д. 皮文等出版了许多有关阐述工艺生产过程自动控制理论问题的科学著作。

许多学者及工程师，由于他们在自动控制方面所进行的科学工作，以及设计和发明新型自动控制器而被授与斯大林奖金获得者的崇高称号。

在近20—30年来，工艺过程的自动化获得了很大的发展，同时在各种近代化的工业中起了巨大的作用。在苏联的社会主义经济条件下，工业过程的自动化有其特殊的意义。

在资本主义的国家里，自动控制器的应用如同所有的合理化措施一样，都无非是为了增加工人的劳动强度，增加利润和减少工人，其结果仅是增加了失业人数，使整个工人阶级的生活境遇降低。

在社会主义的经济里，正与此相反，工业过程的自动化将减低人类的劳动，改善了劳动环境。工业过程的自动化，可以消除了体力劳动和脑力劳动的界限，它关联着生产技术及文化水平的提高。没有自动化就不可能达到高度的劳动生产力。

1939年的十八次联共(布)党代表大会的决议中指出，必须在苏联整个国民经济部门中普遍地发展自动化。

在苏联共产党第十九次代表大会关于1951—1955年苏联发展第五个五年计划的指示中指出，必须进一步发展各个工业部门的生产过程的自动化并必须发展仪表制造工业。在指示中指出：「生产必要数量的水力透平、蒸气透平、发电机、高压电装备和巨型水力发电站、火力发电站、冶炼工厂、炼油厂及其他工厂所使用的各种操纵仪器，以及巨型工作母机、铸造压形设备」^①，并「显著地增大制造大型工作母机、铸造压形机以及精密测量仪器和自动操纵技术操作过程的仪器的现有生产能力，并使

^①苏联共产党第十九次代表大会关于1951—1955年苏联发展第五个五年计划的指示，人民出版社1952年版，第7页第10—12行。