

中等技術學校教學專門用書

礦山電工學

上 冊

В. Д. 契加諾夫著

中央重工業部工業教育司 譯校

重工業出版社

中等專業學校教學用書

礦 山 電 工 學

上 冊

В. Д. ЧЕКАНОВ 著

中央人民政府重工業部工業教育司譯校

重工業出版社

本書係根據蘇聯國立黑色與有色冶金科技書籍出版社 (Государственное Научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии) 出版的契卡諾夫 (В. Д. Чеканов) 所著「礦山電工學」(Горная Электротехника) 1951年版 (第三版) 譯出。原書經蘇聯有色冶金工業部教育司審定為礦冶中等技術學校「礦山電工學」課程的教科書。

本書分二冊出版。上冊內容包括電力驅動原理、礦山電氣設備、地下金屬採礦機電設備的選擇、井下配電、礦山照明和架線電機車運輸；下冊內容包括排水的機電設備、地面的固定機電設備、井上主變電所和礦井供電、礦井信號和電話通訊、露天採礦的電氣設備和礦山電氣設備的使用。

В. Д. ЧЕКАНОВ

ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Металлургиздат (Москва—1951)

• • •
礦山電工學 (上冊)

中央重工業部工業教育司 譯校

重工業出版社 (北京西直門內大街三官廟11號) 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

• • •
重工業出版社印刷廠印

一九五四年九月北京第一版

一九五四年九月北京第一次印刷 (1—3,650)

787×1092• $\frac{1}{16}$ •240,000字•印張13•定價19,000元

• • •
發行者 新華書店

目 次

三版原序.....	1
緒 論.....	3
第一章 電力驅動原理.....	6
§ 1. 概 論.....	6
§ 2. 直流電動機概論.....	14
§ 3. 分激電動機的特性.....	20
§ 4. 串激電動機的特性.....	28
§ 5. 複激電動機的特性.....	34
§ 6. 感應電動機的特性.....	35
§ 7. 同步電動機的特性.....	52
§ 8. 發電機——電動機制的特性.....	58
§ 9. 電動機的發熱和冷卻.....	62
§10. 電機額定運轉狀態的分類.....	68
§11. 電動機容量的選擇.....	71
第一章複習問題.....	77
第二章 礦用電氣設備.....	79
§12. 對礦井電氣設備提出的基本要求.....	79
§13. 用於礦井內的電動機的类型和構造.....	82
§14. 礦井高低壓開動和配電器械的类型、構造和接線.....	93
§15. 礦井電力變壓器及其選擇.....	144
第二章複習問題.....	149
第三章 地下金屬採礦機械化所用機電設備的選擇.....	151
§16. 銅礦、鐵礦的採掘和準備工作所用的機電設備.....	151
§17. 礦井採區的配電系統.....	179
§18. 礦山接地.....	186

第三章複習問題	194
第四章 礦井配電。礦井線路的裝設和計算	196
§19. 礦井供電系統	196
§20. 地下中央變電所 (ЦПП)	199
§21. 電纜線路的裝設和計算	209
第四章複習問題	232
第五章 礦山照明	234
§22. 照明工程概論	234
§23. 礦井地下照明	238
§24. 礦井地面建築物的照明	252
第五章複習問題	271
第六章 架線電機車運輸	272
§25. 電機車的牽引力和列車的計算	273
§26. 架線電機車的型式和構造	278
§27. 架線電機車的電氣部分	283
§28. 電機車的控制	286
§29. 1-TJI 型礦用小型架線電機車	291
§30. 牽引變電所的設備	292
§31. 電車接觸線路	299
§32. 電機車運輸的運用	306
第六章複習問題	308

三版原序

採礦工作機械化程度以電氣化為基礎而不斷增長，遂使電力驅動及其自動化在生產上的應用愈來愈廣。

現代的自動化驅動是一套複雜的系統，其中包含許多自動作用的控制器械和檢視器械。

許多大型的礦井設備，如礦井提升設備、電鏟、空氣壓縮機、排水設備等，現在大都採用自動化驅動。

綜合機械化程度的增長引起了遙遠控制、電氣閉鎖和選擇性遙控技術（Телемеханика）的進一步發展。

現代大型電氣化礦山的設備容量往往達到 5000 到 10000 千伏安，而露天礦則甚至達到 25000 到 35000 千伏安。傳輸和分配這樣大量電功率，必須在礦區內建立大量的建築物：配電設備、高壓和低壓線路，以及所配備的複雜的、現代化的控制、保護和閉鎖裝置。

機械化、電氣化和電氣自動化在提高勞動生產率方面的意義正在日益增大。採礦事業是否經濟完全決定於採礦工作機械化和電氣化的程度。採礦業全部生產技術與礦山電工學有着密切的聯系。

採礦機電工程師在礦山電工方面的工作，在目前日益重要。

電力和礦業實際工作密切結合，就保證了採礦工業的進一步發展。

在新的版本中，根據礦山電工學的當前任務，對本書進行了仔細的審查和重大的修改，其中一個任務是要適合於教學大綱的要求，另一個任務是發展現代礦業。

在新版中更多地闡明了電力驅動的理論問題、它的自動化和運用問題、以及負載功率的確定、線路計算、繼電保護、接地、在選擇改善全礦井功率因數用的綜合設備時的經濟問題；並較詳細地敘述了露天採礦電氣設備的部分，這一部分是作者和 С. А. 舍夫切爾工

程師一起執筆的。

工學碩士 A. T. 布拉什金、H. M. 莫查羅夫工程師、A. Я. 舍夫欽哥工程師曾在審查本書原稿時提出了寶貴的指示，C. A. 舍夫切爾工程師在出版前對本書的修改工作給了很大的幫助，作者認為應該向他們表示深刻感謝。

作者

緒 論

採礦工業對於蘇聯國民經濟的意義是非常重大的。它在實現列寧和斯大林工業化和集體化政策的過程中，在鞏固我們祖國的國防和獨立地位方面，都起着重大的作用。

各種有用礦物採掘量年年增長，保證了蘇聯主要工業部門的強大發展。

沙皇俄國的採礦工業是以手工勞動為基礎的。地下的機器、水泵和通風機等主要用蒸汽驅動。電力驅動則無足輕重。

當時有用礦物直接用手工方式開採，手鑽和鶴嘴鎬是礦工的主要工具，小橇是採煤工作場子上唯一的運輸工具，而馬拉礦車是運輸巷道中唯一的運輸工具。

在蘇維埃政權建成後的最初幾年中，弗·依·列寧就提出了擬定電氣化的國家計劃的任務，及製訂以 10 到 20 年為期的偉大工作綱領的任務。

按照弗·依·列寧的提議並在他的指導下擬定的全俄電氣化計劃，是蘇聯整個國民經濟發展的基礎。在這個計劃中第一次定下了發展國家動力工業的綜合性的全國總計劃。

在全俄電氣化計劃中，除了使整個國民經濟電氣化的總任務外，還規定了使採礦工業電氣化和機械化的目標。

為恢復採礦工業而作的鬥爭是以下列原則為基礎的：

1) 從以人力勞動和蒸汽為主要動力來開採有用礦物，有計劃地過渡到以電氣化為基礎的生產操作綜合機械化；

2) 使礦山機電設備標準化並統一規格；

3) 在機械化的基礎上，和在礦工中廣泛開展社會主義競賽的正確生產組織的基礎上，提高勞動生產率。

在幾個斯大林五年計劃的年代中，一切工業部門中的電工學都獲得了廣泛的發展。為生產一切類型的電機、電器、電工材料等的

本國機械製造業創造了強大的發展基礎。蘇聯發電站的容量、電力線路的長度、動力工業一切部門中技術裝備的程度，都無比地增長了。

在應用自動化電力驅動的基礎上，各工業部門的電氣化達到了很高的水平。

在幾個斯大林五年計劃的年代中，採礦工業機械化的基礎大大擴展並日益鞏固了。

礦井和露天礦中裝置了扒斗、裝載機、強力的鑿岩機、電機車。露天礦更用強大的電鏟裝備起來以供剝離和採掘工作之用。

地下的人力和畜力運輸，以及手鑽工作，都完全消除了。

蘇聯社會主義的採礦工業，在幾個斯大林五年計劃的年代中，已成為世界上最高度機械化和最先進的工業了。

僅僅在我們的時代，礦井中才開始採用電氣照明。

大規模地實行了露天採礦的電氣化。

露天採礦目前是採礦方面最高度機械化的部門，它裝備着世界上最優良的設備。

蘇聯首先採用了1.5千伏的直流電壓以供露天採礦的電氣牽引之用。

烏拉爾重型機器製造廠出品的CЭ-3型新式單斗式挖掘機，是露天採礦工作的主要機械，根據它的各項指標，它比外國第一流的類型還好。

我國的科學家和工程師在電工學的發展上有着偉大的功勞。М. Б. 洛蒙諾索夫、В. В. 彼得羅夫、В. С. 雅庫比、Э. X. 楞次、Д. А. 拉金諾夫、А. Н. 洛得根、М. О. 多利沃-多勃羅沃利斯基、А. С. 波波夫和其他著名的俄國科學家和發明家們在這一科學技術領域中所作的貢獻是巨大而無可估量的。

他們在許多關於電磁現象的極重要的研究和發現方面，在奠定交流電流和遠距離輸電的技術基礎方面，在創立電氣照明、電鍍、無線電工程方面，以及在電工學各不同部門的發展方面，都走在最

前面。

特別顯著的是蘇聯電工學在電力驅動及其在工業和國民經濟其他部門中的應用方面所獲得的成就。

電力驅動課程只是在偉大的十月革命以後才開始建立起來。

在電力驅動方面的最早著作中，有一些就是關於礦山電氣設備及改善其指標的著作。

在礦井提升的工作方面，起主導作用的有 M. M. 費多羅夫院士、B. B. 烏曼斯基、B. C. 杜林，其中費多羅夫院士是礦井提升理論的創始人。他們創造了新型的礦井提升機和其他礦山電氣設備，並使它們獲得實際應用。

在礦山電氣設備的科學研究工作方面，Ф. H. 施克良爾斯基、A. C. 馬克西莫夫、M. B. 馬爾蒂諾夫、Д. П. 莫羅佐夫、B. K. 波波夫、C. A. 阿拉托爾切夫等作了很大的貢獻。

生產革新者和斯達哈諾夫工作者在發展我國採礦工業上的作用也是偉大的。

在 1946—1950 年的恢復和發展蘇聯國民經濟的五年計劃中，規定了進一步改進採礦工業的電力驅動所應遵循的方向。

[要保證在工業中廣泛應用自動化的個別電力驅動裝置，並逐步過渡到使用與工作機各執行機構有機連繫着的電力驅動裝置]。

第一章 電力驅動原理

§ 1. 概論

爲了驅動礦山工業上的機械，可以採用蒸汽能、電能或壓縮空氣能。

因爲蒸汽驅動價錢太貴且不方便，現在礦井中蒸汽能幾乎都不採用。

壓縮空氣能直到現在還廣泛採用，以供應鑽孔機、風鎬和裝載機之動力。

由於電能具有很多突出的優點，所以在礦井中應用最廣，因而電動機在礦井中也獲得了最廣泛的應用。

電動機、傳動裝置和控制器械合在一起叫做電力驅動裝置。傳動裝置的作用是把運動傳給工作機。

電力驅動分爲：分組驅動，單電動機驅動和多電動機驅動。

最近幾年來，在礦山工業上電力驅動幾乎已完全代替了蒸汽驅動，同時正愈來愈多地代替着壓縮空氣驅動。

電力驅動的主要優點有：

- 1) 在礦井中電能較壓縮空氣能便宜；
- 2) 控制電力驅動較簡單，較方便；
- 3) 實現電力驅動的遙遠控制和自動化有了可能；
- 4) 驅動停止時電力驅動裝置不消耗能量；
- 5) 電力驅動效率高，開動力矩很大，並且容易適應生產技術過程所提出的各種不同的要求；
- 6) 對於任何機器，和幾乎在任一個有電能的地方，都很容易實現獨立的單電動機驅動。

將電能輸入礦井中以及用電纜線路分配它們，較之沿管道輸送和分配壓縮空氣或蒸汽經濟和方便，這也是電力驅動的一大優點。

在礦井中採用電力驅動的缺點是：當周圍介質中的瓦斯因出現電火花而燃着時，可能發生爆炸事故。

可是在現在，由於防爆式電氣設備生產的發展，這個缺點也被消除了。由此可見，電力驅動具有顯著的優點，所以它已獲得了廣泛應用。

1. 設計電力驅動的任務

在任何設備中，要使工作機正常工作，首先必須正確解決選擇電力驅動的問題。每一礦井設備，例如礦用提升設備、電機車運輸設備、排水設備等，都對電動機提出了一定的要求，例如要求電動機具有足夠大的開動力矩，能夠調整轉數，具有足夠大的過載能力等等。

選擇電力驅動裝置時，必須使電動機的機械性能滿足於所提出的要求。此外還須考慮到電動機使用時的經濟性和可靠性以及供電系統的容量，須選擇適宜的電壓、供電線路、控制方法及保護裝置。

選擇電力驅動裝置時，驅動裝置在礦井條件下運轉的可靠性具有決定性的作用。

2. 電力驅動的動力學

從力學上知道，平移運動諸阻力和克服它們諸力之間的關係可用下面方程式表出：

$$F = F_c + F_a, \quad (1)$$

式中 F ——運動力，千克；

F_c ——靜阻力，千克；

F_a ——動阻力，千克。

對於旋轉運動，則方程式為：

$$M = M_c + M_a, \quad (2)$$

式中 M ——旋轉力矩，千克-米；

M_c ——靜力矩，千克-米；

M_∂ ——動力矩，千克-米。

靜力矩是由運動系統的阻力建立起來的，並在整個運動時期中作用着。動力矩是由運動物質的慣性力建立起來的，並且只出現在轉速變化的時期中，加速時其作用方向和旋轉力矩相反，減速時則和旋轉力矩的方向相同。

按旋轉力矩 M 和靜力矩 M_c 之間的關係，運動可以是加速的、減速的和等速的。

開動運動系統時，電動機的旋轉力矩 M_{nyck} 應該克服靜力矩和動力矩，即

$$M_{nyck} = M_c + M_\partial. \quad (2a)$$

爲了確定電動機需要的開動力矩，必須知道上述靜力矩和動力矩的數值。求靜力矩非常簡單，例如在提升設備中，捲筒上的靜力矩就等於等速運動時作用在捲筒周邊上的力 $F_{c.6}$ 乘以捲筒的半徑 $\frac{D_6}{2}$ ，即

$$M_{c.6} = F_{c.6} \times \frac{D_6}{2} \text{ 千克-米}. \quad (3)$$

捲筒靜力矩 $M_{c.6}$ 按下面公式換算到電動機的軸上去：

$$M_c = \frac{M_{c.6}}{i\eta} \text{ 千克-米}, \quad (3a)$$

式中 i ——傳動比，等於 $\frac{n_\partial}{n_6}$ ；

n_6 ——提升機捲筒每分鐘的轉數；

n_∂ ——電動機每分鐘的轉數；

η ——傳動效率。

運動系統的動力矩可按下面公式確定：

$$M_\partial = \frac{GD^2}{4g} \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt}, \quad (4)$$

如爲等加速運動，

$$M_a = \frac{GD^2 n}{375 t_a}, \quad (4a)$$

式中 n ——每分鐘的轉數；

g ——重力加速度（9.81 米/秒²）；

t_a ——加速到 n 轉/分所需的時間（通常由設備的已知運轉狀態來決定），秒。

公式(4)中引用的 GD^2 叫做飛輪力矩，其單位爲千克·米²；旋轉部份的飛輪力矩值通常列在出品目錄中（電動機轉子、齒輪、捲筒、皮帶等）。

計算運動系統的飛輪力矩時，通常按下面公式把各個旋轉部份的飛輪力矩換算到電動機軸上去：

$$GD_{npuc}^2 = GD_d^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_n^2}, \quad (5)$$

式中 GD_{npuc}^2 ——換算到電動機軸上的總飛輪力矩；

GD_d^2 ——電動機轉子的飛輪力矩；

GD_1^2, GD_2^2 和 GD_n^2 ——運動系統各個旋轉部份的飛輪力矩；

i_1, i_2 和 i_n ——傳動比。

對於由旋轉運動部份和直線運動部份組成的運動系統，換算的飛輪力矩確定如下：

$$GD_{npuc}^2 = GD_d^2 + \sum \frac{GD^2}{i^2} + 364 \frac{Gv^2}{n^2}, \quad (5a)$$

式中 G ——直線運動部份的重量，千克；

v ——直線運動部份的速度，米/秒；

n ——電動機每分鐘的轉數。

當電動機開動時，將動力矩代入方程式(2a)，即得：

$$M_{nycn} = M_c + \frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt},$$

如爲等加速運動，

$$M_{\text{нчк}} = M_c + \frac{GD^2 n}{375 t_a}.$$

如開動力矩已知，靜力矩已定，則在等加速度下的加速時間可按下面公式確定：

$$t_a = \frac{GD^2_{\text{нпвс}} n}{375 (M_{\text{нчк}} - M_c)} \text{秒}. \quad (6)$$

由此公式可以看出：加速時間決定於運動物質的飛輪力矩、電動機加速所達到的轉數及力矩差數 ($M_{\text{нчк}} - M_c$)。

當電動機從線路切出而機組停止時，動力矩 M_0 變成了電動機力矩，而靜力矩 M_c 和制動力矩 M_T 變成了反抗力矩。此時由力學知道，力矩方程式可以寫成下面形式：

$$M_0 = M_c + M_T,$$

式中 M_T 是塊狀制動器建立起來的制動力矩，或者是電力制動力矩建立起來的制動力矩（在某些情況下，制動力矩是由它們二者共同建立起來的）。

如果認爲靜反抗力矩 M_c 是一常數且與速度無關，同時空轉力矩 $M_{\text{хол}}$ 和制動力矩 M_T 也均爲常數（等於平均值），則電動機停止時間即可確定如下：

空載惰力運轉（切斷機組而不加制動）時，

$$t_1 = \frac{GD^2_{\text{нпвс}} n}{375 M_{\text{хол}}} \text{秒};$$

在荷載而不加制動的停止時，

$$t_2 = \frac{GD^2_{\text{нпвс}} n}{375 M_c} \text{秒};$$

在荷載並加有制動的停止時，

$$t_3 = \frac{GD^2_{\text{нпвс}} n}{375 (M_c + M_T)} \text{秒}.$$

設計礦山設備例如設計礦用提升設備時，就可碰到求設備惰力

運轉時間的問題。

3. 電力驅動的功率和功

如運動系統作平移運動，電動機軸上的功率可按下面公式確定：

$$P = Fv \text{ 千克-米/秒} = \frac{Fv}{75} \text{ 馬力} = \frac{Fv}{102} \text{ 瓩}, \quad (7)$$

式中 F ——運動力(按公式(1)確定)，千克；

v ——運動系統的線速度，米/秒。

如運動系統作旋轉運動，則電動機軸上的功率可求出如下：

$$P = M\omega \text{ 千克-米/秒} = \frac{Mn}{716} \text{ 馬力} = \frac{Mn}{975} \text{ 瓩}, \quad (7a)$$

式中 M ——電動機軸上的旋轉力矩(千克-米)；

ω ——角速度，1/秒；

n ——電動機每分鐘的轉數。

從線路輸入電動機的功率按下面公式確定：

$$P_c = \frac{P_{ном} k_s}{\eta} \text{ 瓩}, \quad (8)$$

式中 $P_{ном}$ ——電動機額定功率，瓩；

η ——電動機效率；

k_s ——電動機負載係數，等於 $\frac{P_{\theta}}{P_{ном}}$ ；

P_{θ} ——電動機負載功率(平均值)，瓩。

同時也可按下面公式來決定：

a) 直流時

$$P_c = \frac{IU}{1000} \text{ 瓩}; \quad (8a)$$

б) 三相交流時

$$P_c = \frac{\sqrt{3}IU \cos \varphi}{1000} \text{ 瓩}. \quad (8б)$$

式中 I ——從線路輸入的電流，安；

U ——線路電壓，伏；

$\cos\varphi$ ——功率因數。

不同功率單位之間的換算關係表示如下：

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 千克-米/秒} = 0.736 \text{ 瓩。}$$

$$1 \text{ 瓩} = 102 \text{ 千克-米/秒} = 1.36 \text{ 馬力。}$$

電動機運轉時所消耗的電能，等於從線路輸入的平均功率 P 。
(以瓩計) 乘上運轉時間 (以小時計)

$$A = P_e t \text{ 瓩小時。} \quad (9)$$

運動系統加速到每分鐘 n 轉時，它所儲藏的能量等於：

$$A = \frac{GD^2 n^2}{7200} \text{ 千克-米。}$$

當轉數由 n_2 增到 n_1 時，飛輪額外得到的能量按下面公式確定：

$$\Delta A = GD_{max}^2 \times \frac{n_1^2 - n_2^2}{7200} \text{ 千克-米。}$$

因為有了飛輪，所以當運動系統速度降低時，可使輸入電動機的功率減少下面的數值：

$$\Delta P = \frac{\Delta A}{t} = \frac{GD_{max}^2}{7200 \times 102} \times \frac{n_1^2 - n_2^2}{t} \text{ 瓩。}$$

式中 t ——速度從 n_1 降至 n_2 所經歷的時間，秒 (這就使得在某些情況下可以採用飛輪來減少電動機的設備功率)。

4. 機械傳動裝置

把電動機和機器的軸聯接起來，最普遍是用：1) 齒輪傳動裝置；2) 皮帶傳動裝置或三角皮帶傳動裝置；3) 蝸輪傳動裝置；4) 直接聯接。

齒輪傳動用於固定聯接的單電動機驅動裝置中。要在一個平面上傳遞運動時，採用直齒圓柱齒輪或斜齒圓柱齒輪；要在某一角度