

矿山变电所與线路

# 礦山變電所與綫路

副教授、科學技術碩士 Л. В. 格拉季林著

中央重工業部翻譯室

趙 穎 蒙鴻俊 曹桂芝譯

成秉進 張蓋楚校

原書經蘇聯高等教育部審定為礦山高等學校用教科書

重工業出版社

Л. В. ГЛАДИЛИН  
РУДНИЧНЫЕ ПОДСТАНЦИИ И СЕТИ

Углетехиздат (Москва—1949)

\* \* \*  
**礦山變電所與綫路**

中央重工業部翻譯室 譯

重工業出版社（北京東交民巷 26 號）出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

\* \* \*  
北京市印刷一廠印

一九五四年七月第一版

一九五四年七月北京第一次印刷(0,001—5,000)

31"×43" 1/16 • 200,000字 • 印張9號 • 定價13,500元

\* \* \*  
發行者 新華書店

### 原出版者的話

本書簡要地敘述變電所與綫路在運行中的物理作用過程及各種主要電氣設備的安裝。此外，對選擇電氣設備的方法、變電所與綫路的結構及其運行特點亦作了指示。

本書係根據礦山高等學校礦山電機專業教學計劃中的礦山變電所與綫路課程的教學大綱編寫而成。

本書亦可供在礦山企業中工作的工程技術人員參考。

### 譯校者的話

本書係我們根據蘇聯煤礦出版社1949年版「Рудничные подстанции и сети」翻譯。原書經蘇聯高等教育部批准作為礦山高等學校用教科書，我們將其譯出，以供各礦冶學院礦山電機專業學生和從事實際工作的礦山電機技術人員參考。

在本書的譯校過程中，承寶洪榮、鄒鼎銘及王鴻才三同志給予我們幫助，在此謹致謝意。

譯校者

## 目 次

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 原作者的話.....                       | 1  |
| 引 言 .....                        | 2  |
| 第一篇 礦山變電所 .....                  | 6  |
| 第一章 分類及主要計算原則 .....              | 6  |
| 第二章 短路電流 .....                   | 7  |
| 2—1 總論 .....                     | 7  |
| 2—2 短路過程的分析 .....                | 7  |
| 2—3 用絕對單位計算短路電流 .....            | 12 |
| 2—4 用相對單位計算短路電流 .....            | 14 |
| 2—5 按衰減曲線計算短路電流 .....            | 17 |
| 2—6 降壓變電所的短路電流之計算 .....          | 20 |
| 2—7 地方發電廠與電力系統併列運行時短路電流的計算 ..... | 25 |
| 第三章 載流部分的溫昇及其間的電動應力的相互作用 .....   | 30 |
| 3—1 總論 .....                     | 30 |
| 3—2 在正常工作情況下載流部分的溫昇 .....        | 30 |
| 3—3 在故障情況下載流部分的溫昇 .....          | 33 |
| 3—4 故障情況下的電動力 .....              | 33 |
| 第四章 控制設備 .....                   | 33 |
| 4—1 總論 .....                     | 33 |
| 4—2 刀形開關及切換開關 .....              | 43 |
| 4—3 高壓斷路器 .....                  | 45 |
| 1. 具有簡單斷路觸點的油斷路器 .....           | 45 |
| 2. 具有特種消弧裝置的油斷路器 .....           | 48 |
| 3. 無油斷路器 .....                   | 52 |
| 4. 斷路器的操作裝置 .....                | 55 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 5.高壓斷路器的選擇            | 58  |
| 4—4 隔離開關              | 59  |
| 1.普通隔離開關              | 59  |
| 2.負荷隔離開關              | 62  |
| <b>第五章 短路電流的限制</b>    | 63  |
| 5—1 總論                | 63  |
| 5—2 電抗器               | 63  |
| 5—3 限流電阻器             | 66  |
| <b>第六章 表用互感器</b>      | 66  |
| 6—1 總論                | 66  |
| 6—2 電壓互感器             | 66  |
| 6—3 電流互感器             | 68  |
| <b>第七章 保護設備</b>       | 75  |
| 7—1 總論                | 75  |
| 7—2 可熔保險器             | 76  |
| 1.低壓可熔保險器             | 76  |
| 2.高壓可熔保險器             | 79  |
| 7—3 繼電保護裝置            | 81  |
| 1.對繼電保護裝置的主要要求及繼電器的分類 | 81  |
| 2.繼電器的主要型式            | 93  |
| 3.綫路的保護裝置             | 93  |
| 4.變壓器的保護裝置            | 98  |
| 5.發電機的保護裝置            | 101 |
| 6.保護裝置的試驗             | 103 |
| 7—4 空氣自動斷路器           | 105 |
| 7—5 過電壓保護裝置           | 108 |
| 1.過電壓的物理特性            | 108 |
| 2.避雷針                 | 109 |
| 3.避雷器                 | 110 |
| 4.輔助電感及電容             | 113 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 5. 過電壓保護裝置的選擇 .....                | 113        |
| <b>第八章 工作接地和保護接地 .....</b>         | <b>114</b> |
| 8—1 總論 .....                       | 114        |
| 8—2 防止觸電的措施 .....                  | 115        |
| 1. 接地及中性接地 .....                   | 115        |
| 2. 接地保護裝置 .....                    | 123        |
| 3. 絕緣台 .....                       | 124        |
| 8—3 接地及中性接地的計算根據及其裝置 .....         | 124        |
| 8—4 接地裝置的試驗及檢查 .....               | 129        |
| 8—5 電氣裝置的絕緣之檢查 .....               | 132        |
| <b>第九章 發電廠及變電所的供電系統 .....</b>      | <b>134</b> |
| 9—1 總論 .....                       | 134        |
| 9—2 負荷曲線。發電機和變壓器台數及容量的選擇 .....     | 135        |
| 9—3 地方發電廠及變電所接綫系統 .....            | 137        |
| 1. 匯流母綫系統的選擇 .....                 | 137        |
| 2. 變電所的供電系統 .....                  | 139        |
| 3. 地方發電廠及變電所的接綫系統 .....            | 140        |
| <b>第十章 配電裝置的結構 .....</b>           | <b>142</b> |
| 10—1 總論 .....                      | 142        |
| 10—2 配電盤 .....                     | 142        |
| 10—3 屋內配電裝置 .....                  | 143        |
| 10—4 露天配電裝置 .....                  | 147        |
| 10—5 成套配電裝置 .....                  | 147        |
| <b>第十一章 維護地方發電廠和變電所的主要原則 .....</b> | <b>150</b> |
| 11—1 總論 .....                      | 150        |
| 11—2 驗收試驗 .....                    | 150        |
| 11—3 操作切換 .....                    | 151        |
| 11—4 故障的消除 .....                   | 152        |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第二篇 礦山綫路</b>          | 153 |
| <b>第一章 分類及計算的主要原則</b>    | 153 |
| <b>第二章 綫路的敷設</b>         | 154 |
| 2—1 總論                   | 154 |
| 2—2 架空綫路                 | 157 |
| 1. 導綫的選擇                 | 157 |
| 2. 導綫機械強度的計算             | 158 |
| 3. 導綫的固定及配置              | 165 |
| 4. 電桿                    | 163 |
| 2—3 電纜綫路                 | 170 |
| 2—4 屋內綫路                 | 171 |
| <b>第三章 導綫及電纜溫昇的計算</b>    | 173 |
| 3—1 總論                   | 173 |
| 3—2 裸導綫的允許負荷標準           | 173 |
| 3—3 橡膠絕緣導綫及電纜的允許負荷標準     | 173 |
| 3—4 紙絕緣電纜的允許負荷標準         | 173 |
| 3—5 低壓綫路中的導綫及電纜截面的選擇     | 174 |
| 3—6 短時工作和反覆短時工作時導綫及電纜的溫昇 | 175 |
| <b>第四章 綫路電壓損失的計算</b>     | 176 |
| 4—1 總論                   | 176 |
| 4—2 開路綫路的計算              | 180 |
| 1. 計算開路綫路的電壓損失的主要公式      | 180 |
| 2. 導綫截面一定時無分支綫的綫路之計算     | 183 |
| 3. 金屬需要量最小時無分支綫的綫路之計算    | 184 |
| 4. 有分支綫的綫路之計算            | 190 |
| 4—3 閉路綫路的計算              | 193 |
| 1. 無結點的閉路綫路的計算           | 193 |
| 2. 有結點的最簡單閉路綫路的計算        | 198 |

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| 第五章 | 電流的經濟密度 .....        | 202 |
| 第六章 | 維護綫路的基本知識 .....      | 202 |
| 6—1 | 總論 .....             | 202 |
| 6—2 | 電纜的預防試驗 .....        | 203 |
| 6—3 | 電纜傷損處的確定 .....       | 203 |
|     | 1. 主要要求 .....        | 203 |
|     | 2. 按電壓降下法確定傷損處 ..... | 204 |
|     | 3. 用電橋法確定傷損處 .....   | 204 |
|     | 4. 用感應法確定傷損處 .....   | 207 |
|     | 5. 按比較電容法確定斷綫處 ..... | 208 |
|     | 附錄 .....             | 209 |
|     | 參考書 .....            | 220 |

## 原作者的話

爲了指導在歷屆斯大林五年計劃中所建立的現代機械化與電氣化礦山企業的複雜電機設備的維護工作，需要大批不僅具有實際經驗而且要有高深理論修養的專家。在培養高度熟練的礦山電機人員方面，使其很好地掌握變電所與綫路的理論是極爲重要的。

在高等礦山工業學校礦山電機專業的正規教學計劃中，規定「礦山變電所與綫路」爲一專門學科。根據作者的意見，在教學計劃中，這一學科應取材於「理論電工學」和「電機學」，並作爲今後學習專業課程的基礎，首先是作爲學習「井下和露天採礦工程電氣設備及其供電」課程的基礎。

「礦山變電所與綫路」教程的主要目的，在於使學生熟悉變電所與綫路的電氣設備在運行中的物理作用過程、安裝電氣設備的原理、選擇電氣設備的方法及合理維護的基本原則。此外，在本書中還研究地方發電廠的配電裝置以及與採礦不直接發生關係的礦山企業地上變電所與綫路。

根據上述的總方針和有限的篇幅（共計上課 68 小時），本書主要是研究控制開關設備和保護設備，以及計算短路電流的方法。由於安全問題對礦山工業企業有着特殊的意義，因此本書尚詳盡地討論了防止觸電的對策。但與採礦不直接發生關係的地上變電所系統、結構和維護原則僅作了概要的敘述。關於綫路的計算同樣也論述得極爲扼要，因爲在礦山工業中只有極簡單的綫路。

本書的缺點在所難免，讀者所提出的意見，作者將以感激的心情接受。

最後，作者對評閱和編輯原稿的 В. Н. 斯捷巴諾夫(Степанов)教授及在審閱原稿時提出許多寶貴意見的 Н. Н. 庫伏森斯基(Кувшинский)副教授表示衷心的謝意。

——作者——

## 引 言

與工業企業用電有着密切關係的送電及配電問題，久已引起先進科學技術工作者的注意。俄羅斯人在這一技術領域的研究工作中，如同在其他許多技術領域中的研究工作一樣，是走在最前面的。

早在1874—1875年，Ф. А. 比羅茨基(Пироцкий)就曾在彼得堡(即列寧格勒——譯註)進行過多次試驗，這些試驗證明用直流在1公里以下的距離內所輸送的電力，大大地超過了1873年在維也納舉行的全世界展覽會上所陳列的裝置的容量。

遠距離送電的可能性與合理性在理論上首先為 Д. А. 拉契諾夫(Лачинов)所證實。

礦山工業中最早的電氣裝置，出現於上一世紀的八十年代。當時的電氣裝置是由蒸汽機帶動的小型直流發電機所組成，且主要是用以作為照明及排水和運輸用的小型電動機的電源。

П. Н. 亞勃羅契闊夫(Яблочков)首先將交流電用在照明上，並在1876年發明了變壓器。1882年，Н. Ф. 烏沙金(Усигин)發明了工業用電力變壓器，並解決了用高壓交流進行遠距離送電的問題。

1889—1890年，М. О. 多利沃-多勃洛沃利斯基(Долivo-дoблoвoльcкий)奠定了三相交流的基礎，並在邁拿的拉烏芬——法蘭克福爾特舉行的電工展覽會上(1891年)展覽了自己發明的第一台三相同期發電機、非同期電動機及第一條三相交流送電綫用的變壓器。

上世紀末葉，在我國和外國的礦山工業中已有了最初的三相交流電氣裝置。在第一次全俄電工代表大會上(1899—1900年)，曾提到茲梁諾夫斯基(Зыряновский)鉛銀礦(阿爾泰)中的電氣化排水設備、基捷洛夫斯基(Кизеловский)煤礦(烏拉爾)的電氣化移動式水泵和電力捲揚機、以及布萊斯基股分公司(頓巴斯)煤礦中的電氣衝擊式鑽機。在基捷洛夫斯基煤礦中，為了發展電氣化而採用三相交流電。

隨着三相交流電的採用，蒸氣、水和壓縮空氣便逐漸被電能所代替。但是，在十月革命前，這一替換的過程進行得特別遲緩。因此，礦山企業所需的電能總是停留在很低水平上。與此同時，礦山工業發電廠的容量也很低。在十月革命前，最為典型的例子便是屬於一個礦主的數十瓩或數百瓩容量的發電廠僅對一個或數個礦坑供電。

只有在偉大的十月社會主義革命後，礦山工業的電氣化才有廣闊發展的可能。根據第八次全俄蘇維埃代表大會所批准的列寧俄羅斯全國電氣化計劃（ГОЭЛРО），提出了建立許多巨型地區發電廠，其中大部分是用以對主要礦山工業區，例如頓涅茨（Донецкий）、庫茲涅茨（Кузнецкий）以及莫斯科附近（Подмосковный）的煤田；烏拉爾區和阿爾泰區供電。

雖然我國在第一次世界大戰和國內戰爭中遭到了破壞，在實現這個宏偉的計劃時曾產生過許多困難，但是俄羅斯全國電氣化計劃較預定期間提前完成了。

在第十四次黨代表大會上所通過的蘇聯社會主義工業化的決議，是在歷屆斯大林五年計劃的年代中對礦山工業進行根本改造的起點。我國各工廠經過充分準備後，大約從一九三〇年起便大批生產礦山工業所需的設備。各工廠與科學研究機關的合作，促使不斷地改進了所生產的設備。十月革命後所創辦的蘇維埃高等工業學校，在礦山工業的電氣化方面亦起了巨大的作用。這些學校培養了許多具有高度文化水平和豐富技術知識的熟練礦山電機幹部。

第二次世界大戰的前夜，我國礦山工業幾乎完全達到了機械化和電氣化。

在歷屆斯大林五年計劃的年代中，與礦山工業電氣化的同時，在礦山工業區建立了許多新的發電廠。各發電廠採用併列運行的優點，在於使之構成巨大的電力系統，使數個發電廠在一個電力網中運行。

第二次世界大戰的前夜，蘇聯的主要礦山工業區都密佈着輸電網，各礦山企業通過變電所由這些輸電網進行供電。在戰爭時期，法西斯侵略者野蠻地破壞了蘇聯西部一些被暫時佔領區的電力設備，特別是頓涅茨、克里沃羅什克和莫斯科附近的煤田破壞得更為厲害。現在，曾經遭受破壞了的電力設備，幾乎已為我國勞動人民英勇的勞動將其完全恢復起來了。

目前，蘇聯電氣化是建立在利用當地動力資源的基礎上的。因此，僅在極少數情況下，礦山工業企業始由只担负一個礦山企業的負荷的地方發電廠供電。在絕大多數情況下，礦山企業均由電力系統供電，而電力系統由建在天然能量附近、並在輸電網中運行的巨型區域發電廠獲得電能（圖1）。

這種綫路的電壓通常為110千伏。距離較遠的個別巨型發電廠，可以將其電能用更高的電壓（目前為220千伏）輸至電力網中。

為了對各個地區供電，通常建築區域變電所，將電壓降低至35千伏。而對各個大企業（或幾個企業）供電的變電所則自區域變電所獲得電能，並將其電壓降低至3—10千伏。在某些情況下，靠近區域變電所的企業，可以直接由區域變電所獲得電壓為3—10千伏的電能，而不需經過35千伏的中間變壓。每個礦山企業，通常由位於其地上的自用變電所供電。各個巨型用電設備，例如：主要通風

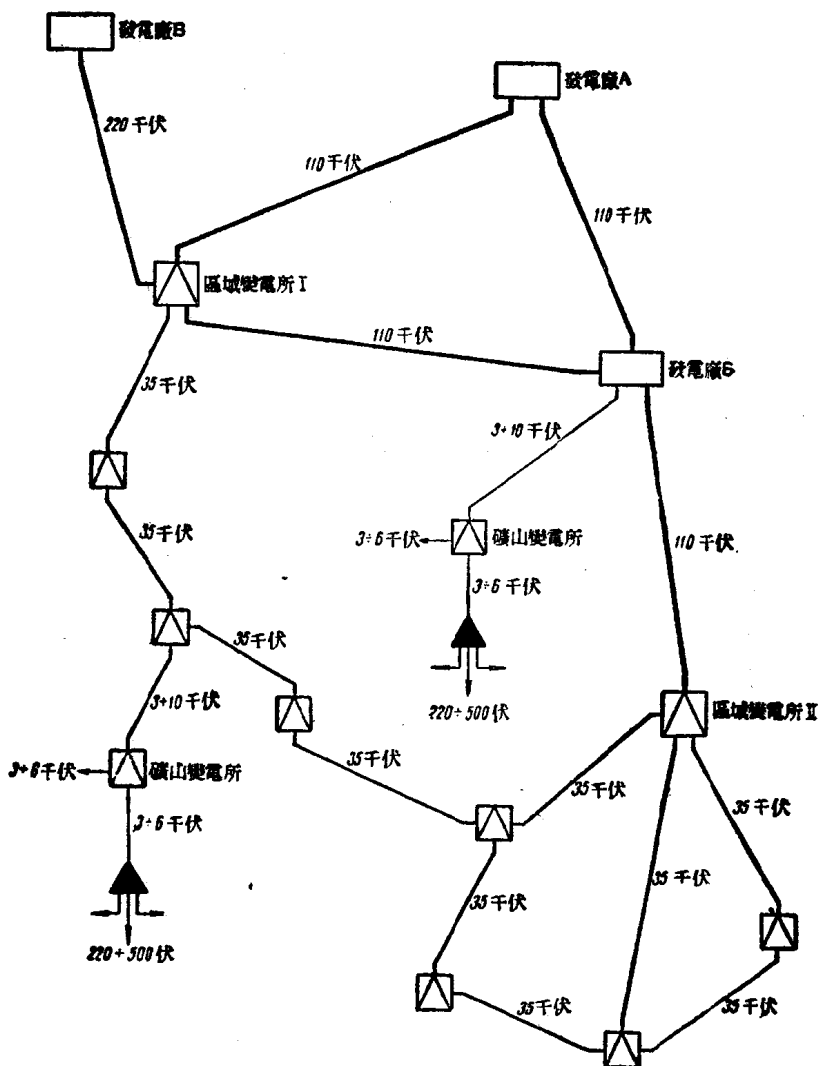


圖1 礦山工業區典型的供電系統圖。

機、起重裝置、壓縮機站和電鑪等，由變電所以3—6千伏的電壓供電。井下中央變電所和各採礦區的變電所或露天採礦用的移動式變電所亦由地上變電所供電。爲了對小型用電設備供電，電壓須降至220、380或500伏，而照明則爲127或220伏。

現代工業區的典型供電系統，由下面各部分組成：

- 1) 發電廠——利用各種能量生產電能的工業設施；
- 2) 綫路——將電能由發電機輸送至用戶所在地以及將電能分配給各個用電設備的導綫；
- 3) 變電所——由外部供電、用以改變電壓（或變更電流）、及控制輸入與輸出電能的綫路之配電裝置。

由於各區域發電廠、電力網和變電所均屬於電站部管轄，故在本書中不予以研究。〔礦山變電所與綫路〕主要是研究電壓為35千伏及以下的地方電力網和變電所，以及地方發電廠的配電裝置。

應滿足於所有電氣設備的主要要求是：對用電設備供電不中斷，保證電能具有良好的質量，維護人員安全和運行經濟。根據恢復和發展蘇聯國民經濟的斯大林五年計劃（1946—1950年）對礦山工業所提出的巨大任務，上述各項要求在完成這項巨大任務中起着極大的作用。1950年鐵礦的開採量應達到四千萬噸，煤的開採量應達到二億五千萬噸，有色金屬礦的開採量也應大量增加。因此，礦山工業中繁重的生產過程必須達到機械化和電氣化。

在恢復和發展蘇聯國民經濟的計劃中規定，在電力系統中保持經常的備用容量是保證對用電設備不間斷供電和使電能具有良好質量的極重要前提。

然而，僅由電力系統中供給良好質量的電能還是不足以保證礦山企業電力設備的正常工作。要達到不間斷供電尚要求合理地選擇電氣裝置的接綫系統，進行精密的計算，正確地選擇開關設備，使維護人員分工明確而又熟練地進行工作。

為了保證維護人員的安全，必須正確地選擇工作電壓，嚴格根據〔安全規程〕和〔高低壓強電設備安裝規程〕來安裝電氣設備並組織維護人員進行必要的學習。

只有精通電氣設備在運行中的物理作用過程、各種電氣設備的安裝方法、以及其聯合運行的條件和合理設計的主要原則以後，才能自覺地執行上述主要要求。本書的任務即在於介紹上述各問題的基本知識。

# 第一篇 礦山變電所

## 第一章 分類及主要計算原則

變電所按其變電過程，可分為：1) 變電所及2) 變流所。

變電所除用以配電外，尚可變更電壓。容量不大、設備又不複雜的變電所叫做：1) 變電亭——此種變電所配置在專用的房間內；2) 變電室——其變壓器裝在作為其他用途的房間內（修理所、通風機室等）；3) 柱上變電塔——其變壓器露天裝在電桿上。

變流所則用以配電和變更電流種類或頻率。

本書對電氣運輸機車用之礦山變流所不予討論，而僅研究變電所系統的一般結構和變電所的配置。

變電所的主要設備為直接控制受電和配電線路的控制開關設備。控制開關設備有：斷路器（譯註）和隔離開關。控制開關設備的主要用途為斷開及閉合受電和配電線路或控制用戶。

為了檢查線路的負荷、工作電壓的大小、用戶所消耗的電能以及變電所設備的各部分所處的狀態，在每一變電所中均應裝置量度儀表——電流表、電壓表、電度表等。而量度儀表與高壓電路之連接則利用表用互感器。

由於變電所在運行中可能產生非正常的工作情況和對維護人員及設備有危險的故障，故變電所應裝有保護設備。保護設備的用途為：在工作不正常時以信號通知維護人員；或者在較危險的情況下，自動切斷發生故障的區段。

非正常工作的主要情況為過負荷或電壓降低，而主要的故障則為相間短路或相綫接地。非正常工作的特殊情況為產生過電壓。

為了保證對用戶不間斷供電，在選擇變電所的設備時，必須考慮正常的連續工作情況及短路時的故障工作情況。

為了使電器在正常工作條件下能穩定的工作，必須正確地選擇其額定電壓及額定電流。額定電壓由製造工廠規定，因此這就可以確定電器的絕緣穩定度。額定電流同樣也是由製造工廠根據正常工作條件下載流部分無過熱現象而確定的。電器的額定電壓及額定電流，必須根據其所在線路中的工作電壓和工作電流選

譯註：斷路器原文為 Выключатель，亦有譯為開關或遮斷器者。

擇。

與區域電力網相連的變電所，其開關設備的主要運行特點為：由於在某一點會發生短路，可能產生極大的電流。為了保證設備完好無損，凡與綫路串聯、遭受短路電流作用的開關設備，應根據短路電流的條件進行選擇，因此必須知道產生短路電流的規律。

## 第二章 短電路流

### 2—1 總論

#### 產生短路的原因：

1) 絕緣損壞，係由於絕緣不完善或外部原因而產生。如：斷綫、雷擊、物體（鳥類、動物、樹枝等）落至高壓配電裝置而短路，絕緣子被覆有一層導電灰塵及絕緣自然老化等；

2) 閉合及斷開配電裝置時的誤操作。

雖然在設計和運行中，可以並且必須採取一切措施以消除可能產生短路的原因，但還應注意，在運行過程中，短路的可能性仍然是存在的。

十月革命後，在我國所建立的大型電力系統中，短路電流具有極大的數值。在正確地瞭解短路的特性和預期的短路電流值的基礎上正確地選擇開關設備，是防止可能遭受短路影響最有效的措施。

#### 短路分爲：

- 1) 三相或三極短路，所有三相同時短路；
- 2) 兩相或雙極短路，兩相同時短路；
- 3) 單相或單極短路，在中性點接地的發電機或變壓器系統中，相綫與大地產生短路。

### 2—2 短路過程的分析

上述三種短路，其過程可分爲兩種情況，即非穩定狀態（或瞬間狀態）和穩定狀態。

對短路產生影響的因素為：發電機的特性及其勵磁情況以及短路時回路中的電抗。

在非穩定狀態的初期，短路電流的變化曲綫（圖2）不與時間座標對稱。經過相當短的一段時間後，不對稱現象即行消失，短路電流的最大振幅值漸漸變

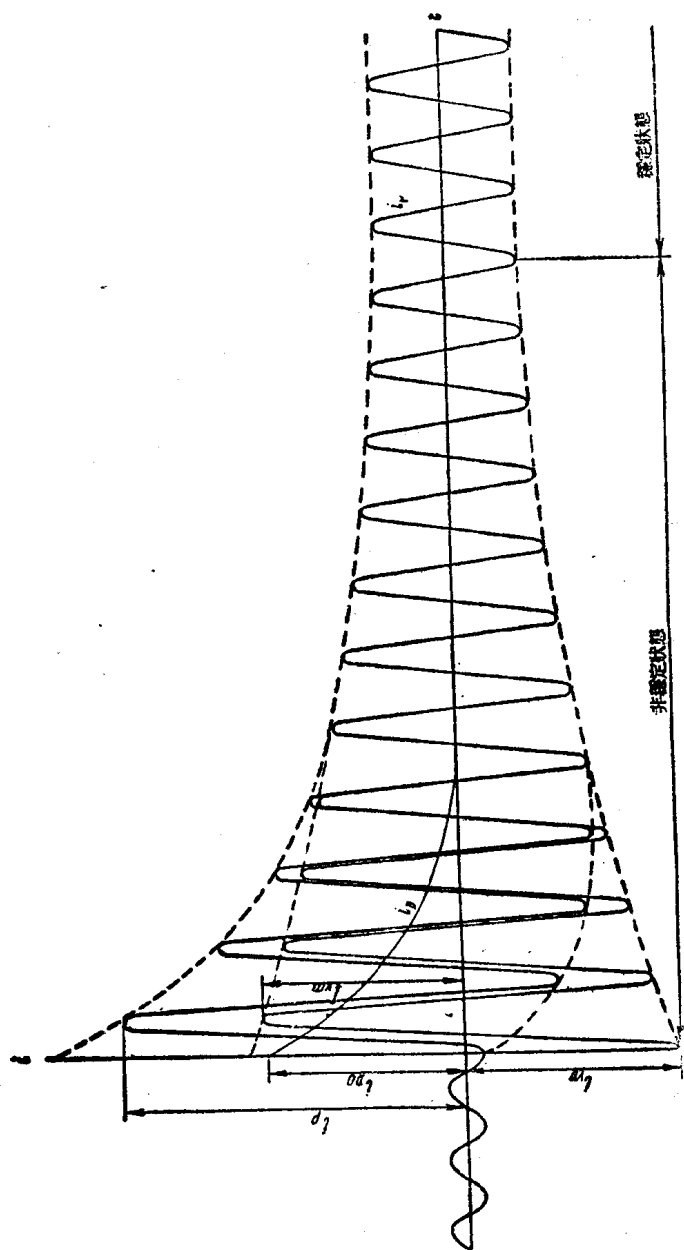


圖 2 短路電流的變化曲線