

論詳故障電器與電機

—徵象·原因·後果·處理·預防—

丁士鈞 編著



大東書局出版

電機與電器故障詳論

— 徵象·原因·後果·處理·預防 —

丁士鈞 編著

大東書局出版

本書專門敘述電機和電器所經常產生的故障的徵象、原因、後果、處理與預防，提供有用於現場的數據，並摘錄燃料工業部所頒佈的法規，以資參考。本書適合於各種工業企業——如機械製造廠、鋼鐵廠、發電廠、電機修理廠、化工廠、紡織廠等中從事電器事業的工程師和技工作為參考書及手冊；亦可作為工科大學和技術學校電機系和動力系的補充讀物。

丁士鈞編著

*

1955年3月發排(大東排)•1955年7月上海第一版

1955年7月上海第一版第一次印刷(0001—2500冊)

書號:5197•31''×43''•1/25•267千字•14¹⁴/25印張•定價貳元四角(進口紙)

*

大東書局(上海山東中路201號)出版

上海市書刊出版業營業許可證出〇四三號

上海圖書發行公司(上海山東中路128號)總經售

導文印刷所印刷

序 言

電力機械是一切工廠的原動機械，是現代化工業的一個重要環節。研究電力機械運行原理的學問，稱為“電機學”，是從事電力工業人員的必讀課目之一，它已變成了應有的重視。惟關於電力機械的另一方面——它在實地運行中所時常發生的種種反常徵象——則往往被人忽畧。但在事實上，研究電機正常運行的“電機學”與研究電機反常徵象的“故障學”確係同等重要。而自從事實際工作的技術人員來看，“故障學”結合了具體情況，企圖解決現場的困難，更比“電機學”切合實用。再者，“電機學”與“故障學”在性質上是一門連貫的學問，“電機學”是“故障學”的理論基礎，“故障學”是“電機學”的推廣和實際應用。若以人體的“生理學”來比擬“電機學”，則“故障學”便相當於“病理學”。二者的不可偏廢，於此可見。

本書寫作的宗旨便是企圖將電機與電器的“故障學”作一較為詳盡的介紹。全書的理論根據當然是“電機學”；惟在取材方面則以實用為目標，把重點放置在電機與電器在實地運行中所經常產生的反常徵象、起因、後果、處理、預防和運行規程上面，儘可能避免高深的理論。但在一定條件下，若某一理論課目對於實際工作很有幫助而又為一般“電機學”論著所存而不述、述而不詳者，本文也有意地引入了相當深度的理論。在這一前提下，書內對於感應電動機定子與轉子的單相運行和變壓器的並聯運行諸問題，作了較為詳細的闡述。

編寫“故障學”是一件不很容易的工作。首先，因為它的範圍遼

闊，頭緒紛繁，資料零碎，不易編成系統，而倘若信手拉雜寫去，勢難使讀者獲得明確的概念。如何去蕪存菁，分門別類劃清章節，俾使全書在編制上井然不紊，讀之醒目——這是編寫“故障學”者的第一個要求。針對着這一點，本文將全書區分為三編，編下設章，章下設綱，綱下設節，節下設目，目為最小單位，敘述單個獨立的問題。

除去編制方法之外，寫作“故障學”還有一項困難。電機與電器的類別甚多，每一類所犯的故障各不相同，而每個人的見聞有限，勢不能熟諳一切電機與電器的一切故障。編者才疏識陋，經歷既感不足，學力更為欠缺，尤難周知一切。故在編寫之際，除了將個人的所見所聞擇要編入之外，更廣泛地參考了俄、德、英、美諸國的有關述作（尤其為蘇聯作品）儘量補充，以匡救個人之不足。且為了使本書的更為實用起見，又將燃料工業部所頒佈的法規的有關條款摘要插入，以備參考，並喚起讀者對於各該條款的注意。但本書的編寫工作雖經個人的主觀努力，而格於經驗學力，錯失之處仍所難免，甚望海內讀者隨時匡正是荷。

本書全文曾蒙葉慶桐工程師悉心校閱，糾正不少錯誤，並提供很多啓示；又第五章的機械性故障，承張仲方工程師惠予訂正，謹此致謝。

一九五五年六月丁士鈞識於上海

參 考 文 獻

- Гемке: Неисправности Электрических Машин, ГЭИ, 1950
- Spieser: Krankheiten Elektrischer Maschinen, Transformatoren, und Apparate, Julius Springer, 1932
- Richardson: The Commissioning of Electrical Plant, 1945
- Stafford: Troubles of Electrical Equipment, McGraw Hill, 1947
- Stigant & Lacey: The J. and P. Transformer Book, Johnson & Phillips, 1935
- Gandy & Schacht: Direct Current Motor and Generator Troubles, 1920
- Vinal: Storage Batteries, Wiley, 1940
- Бурбянов: Эксплоатация Трансформаторного Масла, ГЭИ, 1951
- Богородицкий и др: Электротехнические Материалы, ГЭИ, 1950
- Голован и др: Электротехнический Справочник, ГЭИ, 1952
- Справочник Электромонтера Монтаж Силового Электрооборудования, Госэнергоиздат, 1950
- Пиотровский: Электрические Машины, ГЭИ, 1949
- Richter: Elektrische Maschinen, Bde. I—V, Julius Springer, 1924—1949
- 燃料工業部: 電力工業技術管理暫行法規, 燃工, 1954
- 燃料工業部: 電業規程彙編, 電氣部分, 燃工, 1954

目 錄

第一編 旋轉電機

第一章 過熱現象.....	1
(1.1)容許溫昇.....	1
(1.2)容許過載.....	4
(1.3)溫度測定法.....	4
(1)溫度計法 (2)電阻法	
(1.4)過熱之一般原因.....	6
(1)負載不正常 (2)過載時間過長 (3)通風不足 (4)進風溫度太 高 (5)接線錯誤 (6)線捲不良 (7)其他原因	
第二章 線捲故障.....	13
(2.1)潮濕的線捲.....	13
(1)線捲潮濕之原因 (2)絕緣電阻之測定 (3)最小容許絕緣電阻	
(2.2)潮濕線捲乾燥法.....	17
(2.3)碰鐵現象.....	22
(1)碰鐵現象之成因 (2)碰鐵之後果	
(2.4)碰鐵地點之探索.....	26
(1)電阻測定法 (2)電流定向法 (3)電壓測定法 (4)冒烟法 (5) 碰鐵故障之處理	
(2.5)線匝短路.....	31
(1)線匝短路之成因 (2)線匝短路之後果	
(2.6)短路地點之探索.....	32
(1)外部摸索法 (2)感應法 (3)電阻法 (4)線匝短路之處理	
(2.7)線捲折斷.....	37
(1)線捲折斷原因 (2)線捲折斷後果	

(2·8)線捲錯接.....	38
(1)線圈反接 (2)極相組反接 (3)相的反接 (4)分組錯誤 (5) 電壓不符	
(2·9)電動力.....	43
第三章 鐵心故障.....	44
(3·1)衝片短路.....	44
(1)衝片短路之原因與後果 (2)衝片短路之確定與修理	
(3·2)噪音.....	47
(3·3)偏心.....	48
第四章 集流設備故障.....	49
(一)滑環與電刷之故障.....	49
(4·1)滑環用料.....	49
(4·2)電刷性能.....	50
(4·3)刷火.....	51
(4·4)電流分配不均.....	55
(4·5)條紋之生成.....	59
(4·6)污斑之生成.....	60
(4·7)電刷磨損率過高.....	61
(4·8)滑環之養護與整修.....	62
(4·9)電刷之放置與打磨.....	62
(二)整流子與電刷之故障.....	64
(4·10)良好整流之標準.....	64
(4·11)刷握.....	65
(4·12)電刷使用範圍概況.....	67
(4·13)刷火之起因.....	68
(1)刷火之外觀 (2)電刷震動 (3)整流極強度錯誤 (4)整流極線 捲反接 (5)電刷位置不準 (6)電刷品質不合 (7)電刷分佈不均 (8)刷壓不當 (9)空氣隙不均 (10)匯流環與電刷之電阻不等 (11) 線捲有故障 (12)整流片短路	
(4·14)電流分配不均.....	80
(4·15)條紋之生成.....	82
(4·16)電刷磨損率.....	83

(4·17) 整流子發熱	84
(4·18) 油濡的雲母	85
(4·19) 短路與環火	86
(4·20) 整流子養護	86
(4·21) 交流整流子電動機之整流問題	89
第五章 機械性故障	91
(一) 震動現象	91
(5·1) 震動總說	91
(5·2) 機械不平衡之種類	92
(5·3) 不平衡起因	95
(1) 平衡工作不準確 (2) 機軸翹曲 (3) 轉子零件鬆弛	
(5·4) 不平衡故障之處理	97
(5·5) 磁性不對稱	104
(5·6) 機軸顫動	104
(5·7) 底座震動	106
(5·8) 傳動機構之故障	106
(1) 耦合器 (2) 皮帶、繩索及鐵鏈 (3) 齒輪	
(二) 軸承故障	108
(5·9) 過熱現象	108
(5·10) 軸流	112
(5·11) 潤滑油之損失與置換	113
第六章 直流電機運行故障	116
(一) 直流發電機運行故障	116
(6·1) 直流發電機不能激發	116
(1) 激磁電路折斷或電阻過高 (2) 激磁線捲反接或錯接 (3) 場阻器反接 (4) 整流子接觸電阻過高 (5) 整流片短路 (6) 電刷位置不準 (7) 發電機逆轉 (8) 剩磁喪失 (9) 電樞線捲斷路短路錯接 (10) 激磁線捲碰鐵與碰其他線捲 (11) 量計線路故障	
(6·2) 直流發電機空載電壓不足	122
(1) 轉速過低 (2) 激磁電路內電阻過高 (3) 激磁線捲錯接 (4) 激磁線捲線匝短路 (5) 電刷位置不準 (6) 空氣隙太寬	
(6·3) 電壓調變率太大	126

(1) 原動機轉速的降落率太大 (2) 電刷位置不準 (3) 串激線捲接 (4) 整流極線捲錯接 (5) 電機內部接線安置失宜 (6) 接觸電阻過高	
(6-4) 負載電流波動不定	131
(6-5) 負載分配不均	131
(6-6) 直流發電機運行常識摘要	132
(1) 發電機反向旋轉 (2) 並激發電機並聯運行之穩定性 (3) 複激發電機並聯運行之穩定性 (4) 原動機調節器之效用	
(二) 直流電動機運行故障	139
(6-7) 啓動故障	139
(1) 機械性故障 (2) 進綽或主要路綽折斷 (3) 並激線捲折斷或錯接 (4) 並激線捲線匝短路或碰鐵 (5) 並激線捲引綽端錯接 (6) 電樞線捲線匝短路或斷路 (7) 串激線捲反接 (8) 整流極線捲錯接 (9) 電刷位置不當	
(6-8) 運行不穩定	142
(6-9) 轉速調變不足	145
(6-10) 電流動盪	146
(6-11) 追逐現象	147
(6-12) 直流電動機運行常識摘要	147
(1) 電動機反向旋轉 (2) 並聯運行	
第七章 同步電機運行故障	150
(一) 同步發電機運行故障	150
(7-1) 同步發電機不能激發	150
(1) 激磁機故障 (2) 激磁電路折斷 (3) 磁極錯接 (4) 磁極電路碰鐵與短路 (5) 定子線捲斷折或錯接	
(7-2) 同步發電機空載電壓不足	151
(1) 激磁機故障 (2) 轉速太低 (3) 激磁線捲錯接或短路 (4) 激磁線捲線匝短路 (5) 定子線捲錯接	
(7-3) 負載電流波動不定	153
(7-4) 激磁超出額定	153
(1) 轉速太低 (2) 負載的功率因數太低 (3) 電樞反應效應太大	
(7-5) 激磁機磁性之變換與喪失	156
(7-6) 並聯運行中負載分配不均	158
(7-7) 並聯運行中之追逐現象	159

(7·8) 同步發電機運行常識摘要·····	160
(1) 相序 (2) 發電機運行規程	
(二) 同步電動機運行故障·····	166
(7·9) 同步電動機啓動故障·····	166
(1) 啓動電壓太低 (2) 鼠籠繞捲斷路 (3) 磁極線捲短路	
(7·10) 同步電動機同步困難·····	169
(1) 負載轉矩太大 (2) 啓動電壓太低 (3) 鼠籠線捲電阻太高 (4) 磁極極性錯誤 (5) 施上全壓時之衝擊 (6) 啓動變壓器短路 (7) 啓動機故障	
(7·11) 追逐現象與拖出同步現象·····	176
(7·12) 激磁程度與負載容量·····	177
(7·13) 並聯運行中之負載分配·····	179
第八章 單樞換流機運行故障·····	180
(8·1) 啓動故障·····	180
(1) 啓動電壓太低 (2) 激磁線捲內存在過壓 (3) 整流子燒壞 (4) 其他原因	
(8·2) 同步困難·····	182
(1) 啓動電壓太低 (2) 激磁電路折斷 (3) 鼠籠線捲電阻太高 (4) 激磁線捲鉗接 (5) 直流匯流條極性錯誤 (6) 施上全壓時之電流衝擊	
(8·3) 運行故障·····	184
(1) 電壓調變太大 (2) 並聯運用中負載分配不均 (3) 並聯運行中的環流 (4) 追逐與牽出同步 (5) 飛逸	
第九章 感應電動機運行故障·····	187
(9·1) 啓動故障·····	187
(1) 負載上的故障 (2) 電動機的機械故障 (3) 進線中斷 (4) 電壓過低 (5) 轉子電阻進線中斷 (6) 轉子電阻選擇不當 (7) 轉子線捲或定子線捲斷路 (8) 轉子線捲或定子線捲短路 (9) 轉子線捲或定子線捲鉗接 (10) 滑環絕緣閃絡	
(9·2) 功率因數太低·····	192
(9·3) 電流波動·····	195
(9·4) 羈留與膠着·····	196
(9·5) 定子單相運行·····	197
(9·6) 轉子單相運行·····	199

(9·7)並聯運行中負載不均·····	202
(9·8)過熱·····	203
(1)電壓太低太高 (2)電源不平衡 (3)轉子電阻不平衡	
(9·9)電動機運行規程·····	204

第二編 靜止電器

第十章 變壓器機件故障····· 205

(一)過熱現象·····	205
(10·1)健全變壓器之容許溫昇·····	205
(1)油浸變壓器 (2)空氣冷却變壓器	
(10·2)健全變壓器之反常溫昇·····	207
(二)機件故障·····	209
(10·3)線捲故障·····	209
(10·4)線捲外部絕緣之故障·····	214
(10·5)引線故障·····	215
(10·6)套管故障·····	217
(10·7)鐵心故障·····	219
(10·8)支撐物故障·····	222
(10·9)油箱故障·····	223
(10·10)冷却管·····	225
(10·11)氣體繼電器·····	226

第十一章 變壓器運行故障····· 230

(11·1)合閘電流衝擊·····	230
(11·2)電壓調變率太大·····	233
(11·3)三相變壓器不能並聯運行·····	234
(1)三相變壓器並聯運行之必要條件 (2)極性 (3)相序 (4)主副 圈線電壓之相位差 (5)三相變壓器之定相試驗 (6)三相變壓器接線 組別之探索	
(11·4)並聯運行中負載分配不均·····	255
(1)變壓比不等 (2)百分阻抗不等 (3)電阻與電抗之比值不等	
(11·5)變壓器之烘烤·····	260

(1)變壓器必需烘烤的條件	(2)外殼漏流烘烤法	
(11·6)變壓器運行規程		263
第十二章 電器之機件故障		268
(12·1)激磁線圈之過熱		268
(12·2)觸點過熱		269
(12·3)觸點過度磨蝕		271
(12·4)絕緣不足		273
(12·5)機械故障		275
第十三章 啓動及控制設備之運用故障		278
(一)開關設備運用故障		278
(13·1)空氣開關故障		278
(1)熄弧線圈	(2)直流電弧之長度	(3)過壓
(13·2)油開關及斷路器故障		280
(1)油壓爆炸	(2)氣體爆炸	(3)事後爆炸
(4)噴油	(5)接觸桿分離	
(13·3)閘刀開關故障		282
(1)載流斷路	(2)閘刀脫離	
(13·4)開關設備運行規程		284
(二)啓動設備運用故障		285
(13·5)控制器故障		285
(13·6)啓動電阻故障		286
(13·7)液體啓動器故障		287
(三)控制設備運用故障		289
(13·8)吸磁作用故障		289
(1)磁鐵吸放不靈活	(2)磁性聲浪	(3)觸點發生火花
(13·9)電阻式電壓調節器故障		293
(1)調節原理	(2)機件之追逐	
(13·10)顫動式電壓調節器故障		297
第十四章 蓄電池故障		300
(14·1)鉛酸蓄電池之放電與充電		300
(1)放電現象	(2)恆定電流法充電	(3)恆定電壓法充電

(14·2)鉛酸蓄電池故障·····	303
(1)充電過度 (2)充電不足 (3)極柱腐蝕 (4)玻璃瓶裂開 (5)短路 (6)極板磨損 (7)溶液面太低 (8)冰凍 (9)溶液中之雜質 (10)有效材料剝落 (11)硫化現象 (12)柵片腐蝕 (13)反向 (14)極板變形 (15)爆炸	
(14·3)鉛酸蓄電池之養護·····	310
(14·4)鎳鐵蓄電池之放電與充電·····	311
(14·5)鎳鐵蓄電池之養護·····	314
(14·6)蓄電池運行規程·····	314

第三編 電工材料

第十五章 建築材料故障·····	316
------------------	-----

(15·1)機械應力故障·····	316
(1)冷却管之裂痕 (2)鋁基脆化 (3)再度結晶	
(15·2)潛伏折斷·····	320
(15·3)冷却管的腐蝕作用·····	321
(15·4)冷却管的結石現象·····	322

第十六章 絕緣材料故障·····	324
------------------	-----

(16·1)纖維材料故障·····	324
(16·2)絕緣清漆故障·····	327
(16·3)絕緣油故障·····	330
(1)化學變化 (2)物理特性 (3)絕緣強度 (4)吸水劑與吸氧劑 (5)變壓器油之試驗 (6)變壓器油之過濾 (7)開關油之維護 (8)絕緣油運行規程	
(16·4)絕緣之擊穿·····	345
(1)固體絕緣 (2)液體絕緣 (3)空氣	
(16·5)絕緣之閃絡·····	348

參考文獻

第一編 旋轉電機

第一章 過熱現象

(1.1)容許溫昇

電機損壞的原因甚多，而最易發生的原因，便是由於電機發熱過度。考電機的製造原料，不外紫銅、矽鋼、絕緣料三種，這三種原料之中紫銅和矽鋼都能承受高溫；從耐熱方面來看，最脆弱的一環便是絕緣料；按耐熱程度來分，電機用絕緣料可以區別為甲乙兩級：甲級絕緣料包括曾用絕緣清漆浸漬過的紗帶、棉布、絲帶、絲綢、紙張、紙板、纖維板、木材以及磁漆等有機材料；乙級絕緣料包括採用有機材料作為黏合劑或基礎物質的雲母、石棉、玻璃絲等無機材料，如人造雲母片、雲母板、石棉布等等成品。依據各國的研究，甲級絕緣料最高可以承受至 105°C 的溫度、乙級絕緣料最高可以承受至 130°C 的溫度，在十年之內不致產生發脆、喪失機械強力、減低絕緣能力等等弊病。用這種絕緣料包紮的線捲的最高運用溫度必須低於上述限度。

至於電機的其他部分則運用溫度不妨略高。例如直流電機和交流整流子電機上所用的整流子可以熱至 150°C ，其絕緣料還不會損壞，雖然整流子的色澤可能有些改變，式樣有些變形，而總不能成為大害。電機的軸承，只要潤滑油能耐高熱，儘可在 90°C 的溫度下運用。

但是可以肯定地說，電機的每一部分都有其最高的安全運用溫度，

超過了這限度，電機便有遭受損傷的危險。各國對於這一限度都有規定。不過要量得一座電機某一部分上最熱一點的溫度是不可能的，因為最熱點究竟在何處，很難斷定，就是斷定了也不一定能夠去量；所以一般都只測量平均溫度（如用電阻法），或能夠以人力量到的最熱點的溫度（如用溫度計法）；但是這種點上的最高溫度不能容許有 105°C 或 130°C ，因為這兩個數字是真正的最熱點所能容許達到的最高限度。同時，為便於和環境溫度相比較，我們往往使用溫昇——電機的實際溫度與環境溫度之差——而不用絕對的溫度。容許溫昇的數字見第 1·1 表。由表上所列可見按蘇聯國家標準使用物料最為節省，一切可能節約而不妨礙電機的性能與運用的處所，都已考慮到了。

有人認為規定的溫昇既以擬定的最高環境溫度為準，在寒冷天氣，電機的溫昇即使略為超出規定，絕緣料也不致越出安全的最高運用溫度。這樣，電機的溫度經常可接近於最高運用溫度，對於電機的使用最為經濟。不過這見解並不好，因為在制定最高容許溫昇的時間，已經把電機在寒冷氣候下絕緣料的耐熱應力可以較為減少的現象估計在內，所以倘若使電機在全年中經常接近最高容許溫昇，該電機的使用壽命便將縮短（約至十年左右）。相反來說，也有人認為電機的溫昇過高十分危險，為了確保電機的安全，於是喜於採用容量過大的電機，使電機的溫昇降至極低；這見解也是錯誤的，電機經常輕載的缺點在於減低效率、減低功率因數（在感應電動機）；況且該機的初次成本和全年折舊費都較大，不是經濟之道。

運用電機的最合理的方式，是要使它全年中的最高溫昇低於而接近於容許溫昇（暫時性過載不在此例），在隆冬氣候下溫昇可聽其略低，使電機的壽命超過十年。

又設計電機時環境溫度都以 35°C 計算，若最高溫度超過該值，電

第1·1表 電機最高容許溫昇表

標準種類	測定風型式	蘇聯國家標準		德國電機標準		英國標準	
		溫度計	電阻	溫度計	電阻	溫度	計
		一切型式	一切型式	一切型式	一切型式	非全封閉	全封閉
1. 交流電機之線捲；交直流電機之多層式激磁線捲		60/75	65/85	60/80	60/80	40/50	50/65
2. 汽輪發電機之一切激磁線捲；其他電機之單層式激磁線捲		70/95	70/95	70/90	70/90	50/65	50/85
3. 短路線捲		65/85	—	65/85	—	—	—
4. 與線捲相接觸之鐵心等金屬部分		65/85	—	同線捲	—	同線捲	同線捲
5. 滑環		70/90	—	60	—	45/55(散露) 55/55(封閉)	55/55(散露) 55/60(封閉)
6. 整流子		65/85	—	60	—	45	55
7. 套筒軸承		45	—	45	—	—	—
8. 滾珠與滾柱軸承		60	—	45	—	—	—
9. 變壓器線捲		—	70/—	—	70/80	60/—, 自然通風 70/—, 強力通風	同線捲
10. 變壓器鐵心表面		75	—	70	—	—	—
11. 變壓器油表面層		60	—	60	—	50	—
擬定最高環境溫度		35	35	35	35	35	35

註：分子數字指甲級絕緣電機；分母數字指乙級絕緣電機。溫昇均以攝氏度數為單位