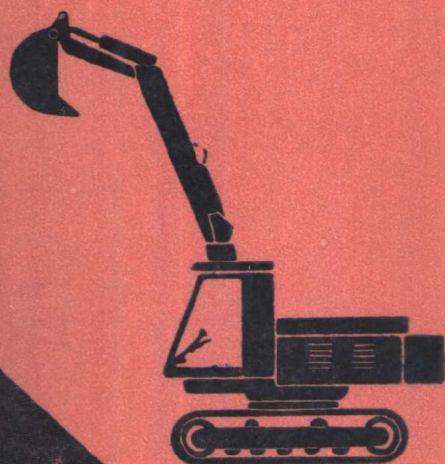


挖掘机电气传动 及故障诊断

杜迪生 张永惠 编著



冶金工业出版社

挖掘机电气传动 及故障诊断

杜迪生 编著
张永惠

冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 简 介

《挖掘机电气传动及故障诊断》是作者多年从事国内外挖掘机电气传动研究的经验总结。其内容包括：挖掘机电气传动的基本原理、国内外最新技术的发展概况、日常维护及电气故障诊断。

本书可供从事矿用挖掘机研制、设计、使用的工程技术人员和现场运行、维护、检修的技术工人使用，也可供大专院校有关专业的师生参考。

挖掘机电气传动及故障诊断

杜迪生 张永惠 编著

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 5.5 字数 117 千字

1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷

印数1~1200册

ISBN 7-5024-1460-6

TD·224 定价6.00元

前 言

矿山是冶金工业的原料基地，矿用挖掘机是当前露天采矿工业中最主要的挖掘装载设备。先进的矿用挖掘机是实现强化开采的主要手段，对于矿山生产现代化具有重要的意义。

近年来我国露天采矿挖掘设备发展和更新非常迅速，相继从美国B&E公司和P&H公司及前苏联乌拉尔重型机器厂引进多种先进挖掘机，在引进的基础上又开发了国产大型挖掘机新品种。为了适应我国冶金工业建设的需要，加快消化、吸收和赶超国外先进技术的步伐，编著了《挖掘机电气传动及故障诊断》一书，供我国从事矿用挖掘机研制、设计的工程技术人员和现场运行、维护、检修的技术工人参考。

本书简要地介绍了国内外大中型矿用挖掘机电气传动技术的发展概况，重点分析了国内广泛使用的美国B&E公司制造的195-B、280-B和P&H公司制造的PH-2100BL挖掘机的基本结构、电气传动原理及现场故障诊断，并对PH-2300 XP型、PH-2800 XP型、295-BⅡ、395-B及国产WK-10型等五种典型挖掘机的电气传动系统进行了深入的解剖。为了便于设计、研制新型挖掘机，本书还对280-B型挖掘机的静动态特性及系统模拟试验独立成章作深入讨论。

本书在编著过程中，承蒙鞍山钢铁公司眼前山矿、本溪钢铁公司南芬露天铁矿、抚顺挖掘机厂、鞍山钢铁公司矿山研究所、沈阳电气传动研究所及长沙矿山研究院等单位的大

力支持；初稿完成后承蒙东北大学自动控制系侯军教授、耿毅教授，长沙矿山研究院自动化研究室王自强教授、祝绪盛高级工程师亲自审阅并提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于本人水平所限，书中有不妥之处恳请广大读者批评指正。

编著者

1993年4月

目 录

第一章 概 论	1
第一节 国内矿用挖掘机生产的现状及其在大型露天 矿的应用.....	1
第二节 国外挖掘机生产概况及技术现状.....	2
一、美国挖掘机生产概况.....	2
二、前苏联挖掘机生产概况.....	4
三、日本挖掘机生产概况.....	5
第三节 国外挖掘机电气传动技术现状及发展.....	5
第二章 195—B、280—B型挖掘机电气控制系统 及其现场故障诊断	9
第一节 195—B、280—B型挖掘机电气控制系 统特点.....	9
一、195—B、280—B型挖掘机的高压动力系统.....	10
二、195—B、280—B型挖掘机的低压动力回路.....	12
三、195—B、280—B型挖掘机的直流操作回路.....	15
第二节 195—B、280—B型挖掘机提升系统的电 气传动及发电机冒火原因分析.....	19
一、现场故障现象.....	20
二、事故形成的原因分析.....	20
三、防止事故所采取的措施.....	25
第三节 195—B、280—B型挖掘机回转系统电气 传动及发电机冒火原因分析.....	27

一、因回转系统两台电动机主接线方式引起的换向火花	28
二、因截压负反馈环节有关整定值引起的换向火花	31
第四节 195—B、280—B型挖掘机推压系统电气传动及电动机刷下冒火原因分析	33
一、因电流截止负反馈环节开路引起的刷下冒火	34
二、因电流微分负反馈环节故障引起的刷下冒火	36
第三章 195—B、280—B型挖掘机控制系统静动特性分析及其模拟	39
第一节 195—B、280—B型挖掘机控制系统的静特性分析	39
一、280—B型挖掘机提升系统的静态结构图	39
二、280—B型挖掘机提升系统的静特性分析	47
第二节 195—B、280—B型挖掘机电气控制系统的动特性分析	52
一、系统的动态特性与动态数学模型	52
二、280—B型挖掘机提升系统的动态结构图	53
三、280—B型挖掘机的动态校正和动态示波图分析	60
第三节 280—B型挖掘机动态特性的系统模拟	67
一、控制系统模拟和传统设计方法的比较	68
二、系统动态结构图的模拟	68
三、系统校正后励磁环的动态结构图的模拟和响应	74

四、280—B型挖掘机提升系统现场动态示波图与 模拟系统阶跃响应的比较.....	76
第四章 PH—2100BL型挖掘机电气控制系统.....	79
第一节 PH—2100BL型挖掘机电气控制系统的 特点.....	79
第二节 PH—2100BL型挖掘机提升系统电气传动 性能.....	80
一、提升系统拖动电机的比较.....	80
二、提升系统传动方框图和电气接线图的比较.....	84
第三节 PH—2100BL型挖掘机回转系统电气传动 性能.....	89
一、回转系统的结构特点及工作原理.....	89
二、回转系统的传动方框图和回转特性.....	93
三、PH—2100BL型挖掘机回转系统机械特性 分析.....	94
第四节 PH—2100BL型挖掘机行走系统电气传动 性能.....	97
一、行走系统的结构特点.....	97
二、行走/推压机构的机械特性及其控制.....	99
三、行走电动机功率校验与容量的合理选择.....	102
第五章 WK—10型挖掘机电气控制系统.....	106
第一节 WK—10型挖掘机电气控制系统特点.....	106
第二节 WK—10型挖掘机提升系统电气传动性 能.....	108
一、提升系统的结构特点.....	109
二、提升系统的工作原理及特点.....	110
三、提升系统的电动机功率选择.....	114

第三节 WK—10型挖掘机回转系统电气传动性能	115
一、回转系统的运行要求与结构特点	115
二、回转系统的工作原理及特点	117
三、回转与行走状态的切换	119
第四节 WK—10型挖掘机推压系统	120
一、推压系统的机械特性及其实现	121
二、气囊力矩限制器的缓冲作用	121
三、提升机构与推压机构的特性匹配	123
第五节 WK—10型挖掘机行走系统	125
一、行走系统的机组安排与传动方式	125
二、行走与回转的状态切换	126
第六章 PH—2300XP、PH—2800XP型挖掘机电	
气控制系统	128
第一节 PH—2300XP、PH—2800XP型挖掘机电	
气控制系统的特点	128
第二节 PH—2300XP型挖掘机提升系统电气传动性能	131
一、提升系统的机组安排与接线方式	131
二、电枢回路的逻辑无环流切换	132
三、提升系统的功率因数补偿	136
四、提升系统的磁场可控硅不可逆控制	140
第三节 PH—2300XP型挖掘机回转系统电气传动性能	143
一、回转系统的两台电动机受电方式及其影响	143
二、回转电动机的调节特性	145

第七章	395—B型挖掘机电气控制系统	146
第一节	395—B型挖掘机电气控制系统的特点	146
第二节	Acutrol系统速度转矩特性的分析与比较	147
一、	395—B型挖掘机Acutrol系统的速度转矩特性分析	148
二、	Acutrol系统与静态直流拖动系统的速度转矩特性比较	154
第三节	Acutrol系统PWM型闭环控制框图研究	156
一、	395—B型挖掘机Acutrol系统框图剖析	156
二、	Acutrol系统的三闭环调节过程	161
主要参考文献		165

第一章 概 论

第一节 国内矿用挖掘机生产的

现状及其在大型露天矿的应用

矿用挖掘机是一种历史悠久的装载设备，自1877年开始应用于露天采矿工业，经过一百多年的研究改进，在动力能源方式、各部机械结构及控制操纵方面都有重大的改进。但就基本结构与工作特性来看，仍不失其原来的基本形态。由于矿用挖掘机具有较大的挖掘铲装力以及作业上的稳定、可靠和显著的生产效益，到目前为止仍然是露天采矿中最主要的挖掘装载设备。

50年代中期以来，为了适应大规模、高强度、高效率地开采露天矿的需要，国外挖掘机制造工业有了迅速的发展。美国、前苏联、日本等国的挖掘机产量每隔5~10年增加一倍。我国在发展国产挖掘机工业的同时也先后从美国、日本、俄罗斯等国陆续引进各类大型挖掘机，应用于国内各大型露天矿的挖掘铲装作业上。仅据冶金工业部和中国有色金属工业总公司直属企业的不完全统计，进口大型挖掘机已分别在鞍山钢铁公司、本溪钢铁公司、首都钢铁公司、包头钢铁公司、武汉钢铁公司、马鞍山钢铁公司、海南铁矿、德兴铜矿、内蒙准噶尔煤矿等十多家大型露天矿投产。我国生产挖掘机的主要厂家有分属国家机械工业部和冶金工业部及中国有色金属工业总公司的太原重型机器厂、第一重型机器

厂、抚顺挖掘机厂、长江挖掘机厂、杭州重型机械厂、上海建筑机械厂、合肥矿山机器厂、韶关挖掘机厂、天津工程机械厂、贵阳矿山机器厂、北京建筑机械厂、济南重型机器厂、衡阳有色冶金机械厂等十多家，青海矿山机械厂和江西矿山机械厂也正在生产或准备生产挖掘机。最近太原重型机器厂和第一重型机器厂从美国P&H公司引进斗容为 23m^3 的P&H—2300XP与斗容为 19.6m^3 的P&H—2800XP型挖掘机技术后，87年分别试制成功斗容为 20.6m^3 与 25.2m^3 的新型挖掘机，衡阳有色冶金机械厂也从美国B&E公司引进斗容为 12.23m^3 的195—B I型挖掘机技术，抚顺挖掘机厂仿造美国B&E公司的斗容为 11.5m^3 的280—B试制成功WD—1200型挖掘机。

在目前国内大中型露天矿的铲装设备中，进口和国产的大中型挖掘机已经成为铲装的骨干力量，虽然国外挖掘机日趋大型化，但从国内矿山采掘、铲装、运输的综合配套考虑，还以生产斗容 10m^3 左右的挖掘机为宜。

第二节 国外挖掘机生产概况 及技术现状

由于挖掘机在露天采矿和土建工程中的广泛应用，许多工业发达的国家都比较重视挖掘机生产。目前国外制造大型挖掘机的国家主要是美国、俄罗斯、日本和德国，法国、英国、意大利、捷克、瑞典等国也有一定的生产规模。现将几个主要发达国家的挖掘机生产概况分析阐述如下。

一、美国挖掘机生产概况

美国是单斗挖掘机发展较早的国家。1833年美国机械工程师取得了单斗挖掘机的发明权，1836年制造出世界上第一

台机械传动挖掘机，其挖掘机生产技术一直处于领先地位，尤其是大斗容的矿用挖掘机几乎垄断了资本主义世界市场，并在机械性能、结构、电气传动技术和运行可靠性方面遥遥领先。美国是出口挖掘机主要国家，每年出口量一般占1/4以上。美国也进口少量挖掘机，一般约占国产挖掘机机械消耗的2.3%左右，进口的目的仅仅是为了与国内产品和出口产品做比较。美国挖掘机关键零部件寿命较长并且设备重量较轻。

美国生产挖掘机的主要公司有Bucyrus & Eris公司(简称B&E公司)、Harnischfigier公司(简称P&H公司)、马里恩公司等三十多家。其中：B&E公司的主要产品有395—B、295—B、295—B I、295—B II、290—B、280—B、195—B、195—B I等型；P&H公司的主要产品有P&H—2300、P&H—2800、P&H—1900AL、P&H—2100BL、P&H—1600等型；马里恩公司的主要产品有204—M、201—M、191—M、185—M等型。

P&H公司生产的挖掘机基本采用由该公司自制的电控电气设备，近年产品的P&H—2300、P&H—2800两种由瑞典ASFA电气公司配套。马里恩公司和B&E公司采用的大部分电控电气设备由美国General Electric公司或Wisten Horse公司提供，但B&E公司的近年产品395—B型挖掘机由德国西门子公司配套。

挖掘机生产的专业化和充足的备件是美国挖掘机工业的特点，铲斗、斗齿、履带板、离合器、制动器、液压件、司机室等都有专业厂生产，各公司在生产挖掘机的同时将提供大量备件，从产品总额中提供给用户的备件达40~50%之多。

美国挖掘机行业的科研分三个方面进行：

1) 以拉巴马大学、阿拉斯加大学、亚利桑那大学和科罗拉多采矿学校等20余所院校为主，进行挖掘机研究，出版刊物有《矿物工业报导》、《科罗拉多学校季刊》和《采矿协会刊物》等。

2) 工程师学会负责组织科研并出版刊物。

3) 由政府机构负责开展科研工作，公布研究成果及试验报告，批准新型挖掘机等。

二、前苏联挖掘机生产概况

俄国十月革命前的矿山工业技术水平很低，几乎全是手工劳动。

20世纪初，乌基洛夫斯基工厂曾制成俄国第一批挖掘机，十多年后用美国B&E公司的图纸制成 2.3m^3 的蒸汽驱动、铁道行速的单斗挖掘机。1931年开始建立挖掘机制造工业。二次世界大战后，为适应钢铁工业发展，挖掘机制造业迅速扩大，其年产量，目前已超过美国，居世界首位。

前苏联中央下属40个矿山机器制造厂，其中有8个比较大的专业化生产厂。前苏联因气候条件限制，多半以发展单斗挖掘机为主。生产挖掘机主要厂家是乌拉尔重型机械制造厂、克拉马托斯克重型机械厂和沃罗涅什重机厂，其主要产品有 $\Theta K \Gamma - 8$ 、 $\Theta K \Gamma - 12.5$ 、 $\Theta K \Gamma - 20$ 等型号。前苏联挖掘机生产的特点是数量发展快、技术发展慢。主要表现在旧型号多、新产品少、单位斗容重量大、使用寿命短、大修期短，虽然制造量大，现场使用比例却不高。近20年来靠引进西方技术，矿山设备有了较大改进，也向大型化和高效率发展。

前苏联挖掘机制造工业比较重视科研和设计工作，对备件生产和检修也不放松，在各大中型矿山设有备件集中供应点

以及派驻矿山的设备检修员。

三、日本挖掘机生产概况

日本挖掘机生产发展较晚，1930年才制造第一台挖掘机，战后挖掘机生产随着钢铁需求量的增加得到极为迅速的发展。日本通过及时引进先进技术，不惜花费高昂的代价，广泛收集国外经济技术情报，购买国外专利及图纸，引进样机、仿造国外先进产品等手段推动挖掘机技术的进步。近年来几家主要挖掘机生产公司与国外挖掘机公司进行技术协作，更为挖掘机的更新换代创造了条件。

日本有15个公司生产单斗挖掘机，其中生产机械传动式挖掘机的公司有7家，斗容从 $0.3\sim 11.5\text{m}^3$ ，功率从 $44\sim 574\text{kW}$ ；生产液压式挖掘机的公司有14家，斗容量从 $0.19\sim 2.6\text{m}^3$ ，功率从 $35.5\sim 190\text{kW}$ 。由于日本特殊的国情（矿产资源贫乏），日本挖掘机的输出在1966年后急剧增加，其输出比例基本都在50%以上。

其中主要生产挖掘机的公司有神户钢铁公司、小松制作所、住友金属工业公司等。

上述公司与国外技术协作的关系如下：

神户钢铁公司——P&H公司（美国）；

小松制作所——B&E公司（美国）；

住友金属工业公司——马里恩公司（美国）。

它们分别买得专利，生产挖掘机的型号与上述美国三大公司型号相同。

第三节 国外挖掘机电气传动 技术现状及发展

近20年来国外挖掘机生产技术发展迅速，其中电气传动

技术走过了一条三绕组的G—M机组—可控硅励磁的G—M机组—电磁滑差离合器配合可控硅励磁的G—M机组—可控硅供电的直流电动机驱动—微型计算机（集成块）控制的交流变频调速的曲折道路。目前挖掘机的供电方式产生了根本性改变，笨重的G—M机组将首当其冲被淘汰，P&H公司早在1975年就在P&H—2800挖掘机上实现了可控硅供电，B&E公司于1981年也在395—B型挖掘机上实现了交流变频调速技术，Marion公司也进行了仿制。

B&E公司的交流变频调速系统由德国西门子公司和美国通用电气公司经数年研制取得成功。自1984年以来，B&E公司已有16台挖掘机装备了这种系统，其中西门子公司研制的PWM系统，高压由集电环输入挖掘机变压器，变成570V或380V的低压，经整流、逆变后送往各工作机构的交流电动机，电压和电流由整流器控制，频率由逆变器控制，各种动作产生的电能可以回输到供电网络。由通用电气公司研制的CCI系统，高压从高压集电环输入至各变压器后降至低压，再通过移相控制整流器变换成可变直流电压，经中继电抗器至逆变器变换成频率可变的交流送往各工作机构的交流电动机。

P&H公司的可控硅供电系统，高压交流电源输入挖掘机后分别送变电枢变压器、磁场变压器和辅助变压器，电枢变压器将电压降至600V后分送提升、推压整流器和回转整流器，经整流为直流去控制挖掘机各工作机构。辅助变压器降压后作为控制电源和辅助电动机电源。

目前世界上各国生产的大中型挖掘机主要性能参数如表1-1所示。

表 1-1 大型挖掘机主要性能表

型 号	斗容, m ³		供电方式	掘压方式	提升电动机		回压电动机		行走电动机		工作时 总重 (t)	制造厂家
	标准	范围			机马力 (直流)	机马力 (交流)	机马力 (直流)	机马力 (交流)	机马力 (直流)	机马力 (交流)		
5700	45.9	31.3~57.3	可控硅整流	齿条	725×4	725	400×4	405×2	405×2	405×2	1667	PH
395-B	26	19.1~45.9	变频调速	钢绳	1500 (交流)	390 (交流)	300×2 (交流)	1070 (交流)			876	B-E
2800XP	25.2	25.2~45.9	可控硅整流	齿条	725×2	400	225×4	405×2	405×2	405×2	920	PH
ЭКГ20	20		可控硅整流	齿条	670×2	200×2	220×4	200×2	200×2	200×2	870	Y3T14
204-M	20	15.3~30.6	发电机组	油缸	1045	500	255×2	500	500	500	708	Marion
2300XP	20.6	16.8~34.4	可控硅整流	齿条	670×2	400	255×2	400×2	400×2	400×2	708	PH
295B-II	20.6	16.8~35.2	变频调速	钢绳	1250 (交流)	225 (交流)	225×2 (交流)	675 (交流)	675 (交流)	675 (交流)	68	B-E
295BII	20.6	16.8~34.5	发电机组	钢绳	1045	255	255×2	500	500	500	693	B-E
290BII	15.3	11.4~26	变频调速	钢绳	1000 (交流)	225 (交流)	225×2 (交流)	500 (交流)	500 (交流)	500 (交流)	510	B-E
290BII	15.3	1.14~26	发电机组	钢绳	800	195	195×2	375	375	375	506	B-E