

矿用电动机工作可靠性分析 及绕组故障处理工艺

许广银 著



煤炭工业出版社

TD614

X-267

矿用电动机工作可靠性分析 及绕组故障处理工艺

许广银 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿用电动机工作可靠性分析及绕组故障处理工艺/许广银
著. —北京: 煤炭工业出版社, 1998

ISBN 7-5020-1613-9

I. 矿… II. 许… III. ①矿山-电机-可靠-分析②矿山-电机-检修 IV. TD614

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 15580 号

**矿用电动机工作可靠性分析
及绕组故障处理工艺**

许广银 著

责任编辑: 姜庆乐

*

煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₃₂ 印张 5

字数 105 千字 印数 1—800

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

书号 4382 定价 8.50 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

7/5
02-4382
-393

序

多年来，矿用电动机的工作可靠性问题一直是电动机设计和使用者最关心的问题。特别是运行在煤矿井下的矿用防爆电动机，由于工作环境十分恶劣，工作状况十分复杂，使电动机的使用寿命远低于设计寿命。有时刚下井的电动机仅工作几天甚至几小时，就可能由于过负荷等原因被烧毁而影响矿井生产。而在电动机事故中，绕组故障又占了70%以上，严重地影响了煤矿井下的安全生产。多年来，虽然广大科技工作者在电动机的设计、制造和绝缘材料等方面做了大量的改进工作，而且这些工作对提高电动机的性能也有所推动，但是，都没能使电动机的工作可靠性有很大的提高。

许广银同志在与俄罗斯库兹巴斯工学院合作研究的基础上，与其同事们经过多年的不懈努力，并经过反复试验，探索出了一种提高电动机工作可靠性的新技术，并编写成书。

本书较深入地分析了煤矿井下的特殊环境对电动机工作的影响，从电动机运行的特点分析入手，揭示出在电动机不断重复的“加热—冷却”过程中，电动机不断吸进含高湿度水蒸气的空气混合物，排出干燥空气分子，进而得出了电动机在热交换过程中的排代空气量与电动机定子的空闲容积成正比的重要结论。这就为本书中提出的处理电动机定子绕组故障的工艺提供了理论依据。

本书在分析了矿用防爆电动机的工作环境后，又根据电动机的工作原理，分析了电磁力对电动机工作可靠性的影响。

1 1 1 2

电磁力对电动机定子乃至绕组不断施一交变的椭圆形力场，这不仅会使已受到冷凝水和油脂破坏的绝缘加速破损，而且也因电磁力引起的定子变形，使定子铁芯硅钢片间的绝缘漆产生摩擦而破损。这也是电动机为什么随着维修次数的增加而降低初始使用寿命的主要原因之一。

作者在理论分析的基础上，提出了用具有高导热性能的绝缘复合胶来灌封电动机定子铁芯及绕组的新工艺。

这种方法既克服了环氧树脂散热性能差的缺点，又解决了因环氧树脂灌封而不可复修的根本问题。作者的研究和实践，填补了我国在这一领域内的空白，开创了一条电动机工作可靠性研究和电动机故障处理工艺的新路。该技术的推广应用，必将为煤炭工业和其它作业环境恶劣的工业部门的安全生产起到积极的推动作用。

张书田

1998年5月

前 言

矿用电动机工作在非常恶劣的环境中，在煤矿井下，除了有易燃易爆的瓦斯、煤尘外，还有大量的淋水和高含水量的空气混合物。另外，采运设备的工作状况也非常复杂，如冲击负载大、供电电压波动大、电动机的散热条件差等。因此，矿用电动机的事故率在煤矿中占有很高的比例。而在电动机事故中，绕组故障又占了 70% 以上。这既影响了煤矿的安全生产，又降低了煤炭企业的经济效益。因此，提高矿用电动机的工作可靠性，是减少事故，保证安全生产，提高煤矿生产效益的关键性技术措施。

作者从 1992 年开始与俄罗斯库兹巴斯工学院合作，对矿用电动机的工作可靠性进行了深入研究，认为影响电动机工作可靠性的主要原因是：恶劣的工作环境，如淋水、粉尘、流入电动机定子内的润滑油脂等使电动机的绝缘迅速老化，而冲击载荷、散热条件恶化、电磁力的振动、电动机在热交换过程中的“吸湿吐干”特性等，更加快了绝缘的损坏。因此，要提高电动机的工作可靠性，就必须从提高绝缘的可靠性入手。

本书以矿用电动机的绝缘结构和可靠性指标为基础，详细、全面地分析了电动机在工作过程中，由于不断重复“加热—冷却”过程，而形成破坏绝缘的内部环境的机理；分析了电动机工作时的振动过程及对电动机工作可靠性的影响；进而介绍了采用绝缘复合胶灌封电动机定子和绕组的方法，

对电动机绝缘故障进行有效处理的工艺。

本书所提供的绝缘故障处理方法，打破了电动机绕组不能用复合胶灌封的传统。该技术的应用，不仅能使电动机的使用寿命提高一倍以上，而且使矿用防爆电动机的故障处理象传统工艺一样容易。

本书可供煤炭行业中从事电动机制造和维修工作的工程技术人员使用。

在本书的编写过程中，山东矿业学院张书田教授给予了悉心指导和大力帮助，并在审阅书稿后提出了宝贵意见；兖州矿业集团公司、北宿煤矿、济宁崔庄煤矿等单位的领导和工程技术人员也给予了大力的协助；葛圣松、鲁成伟、付凯等同志在实验、绘图和制表工作中付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心的感谢！

由于时间仓促，书中错误和不足在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

1998 年 5 月

内 容 提 要

本书详细地分析了矿用电动机在工作过程中，引起绝缘迅速老化的内部环境形成的机理以及影响电动机工作可靠性的主要原因；也从理论上讨论了电磁力产生的原因及对电动机定子和绕组绝缘的影响，介绍了利用灌封复合胶方法处理电动机定子铁芯和绕组故障的新工艺。

本书可供煤炭行业中从事电机制造和维修工作的工程技术人员使用，也可作为大专院校机电专业师生的专业参考书。

目 录

第一章 矿用电动机的工作环境及主要技术特征	1
第一节 矿用电动机的工作环境	1
第二节 矿用电动机的主要技术特征	3
一、型号及表示法	3
二、矿用电动机的工作制度	6
三、结构和安装形式及其代号	12
四、冷却方法及其代号	15
五、铭牌数据和额定值	16
六、绝缘等级及温升	17
七、采煤机电动机有关参数的容差	17
第二章 采煤机和输送机用隔爆型三相异步电动机	20
第一节 矿井采掘工作面机械对驱动电动机的要求	20
第二节 采煤机用隔爆型三相异步电动机	22
一、采煤机用电机的性能特点	23
二、采煤机用电机的结构特征	24
第三节 刮板输送机用隔爆型三相异步电动机	31
一、刮板输送机用电机的性能特点	31
二、刮板输送机用电机的结构特征	32
第四节 刮板输送机用隔爆型双速三相异步电动机	40
一、刮板输送机用双速电动机的性能特点	40
二、刮板输送机用双速电动机的结构特征	41
第三章 绝缘结构及绝缘材料	48
第一节 匝间绝缘	49
第二节 槽绝缘结构	56

一、散嵌绕组槽部的绝缘结构	56
二、框形绕组绝缘结构	56
第三节 定子绕组的端部绝缘结构	60
一、散嵌绕组的端部绝缘结构	60
二、分片嵌绕组与框式线圈的端部绝缘结构	61
第四节 电动机绝缘处理工艺	62
一、电动机绝缘处理工艺的有关问题	62
二、沉浸	67
三、滴浸	71
四、真空压力浸渍 (VPI)	73
第五节 矿用低压电动机绝缘结构选择中应注意的问题	76
一、有针对性地加强绕组易发生故障环节的绝缘	76
二、注意绝缘材料组合的相容性	76
三、绝缘结构的降级使用	77
第四章 矿用电动机的选择和可靠性指标	80
第一节 使用要素及特性	80
第二节 电动机的选择	83
第三节 使用前的准备	86
第四节 矿用电动机的可靠性指标	91
第五章 电动机内部环境的形成机理	98
第一节 热交换的基本概念	98
第二节 电动机的热交换过程	100
一、第一阶段	100
二、第二阶段	101
三、第三阶段	102
四、第四阶段	103
第六章 矿用电动机的内部振动过程及对工作	
可靠性的影响	107
第一节 主磁场 (基波) 产生的力波	107

第二节 高次谐波磁场产生的力波	108
第三节 基波产生的径向力	109
第四节 电磁力对电动机定子的影响	110
第七章 矿用电动机绕组故障的处理工艺	117
第一节 绕组故障的部位确定及一般处理方法	117
一、定子绕组故障部位的确定	117
二、定子绕组故障的局部处理工艺	120
三、定子绕组故障的全部处理工艺	123
四、转子导流条故障部位的确定	126
第二节 绝缘复合胶的结构	126
一、使用绝缘复合胶的优点	127
二、对绝缘复合胶的基本要求	129
第三节 以环氧树脂和不饱和聚酯树脂为底料的 绝缘复合胶	134
一、以环氧树脂为底料的绝缘复合胶	134
二、以不饱和聚酯树脂为底料的绝缘复合胶	137
第四节 矿用电动机灌封复合胶工艺	139
一、局部灌封复合胶工艺	139
二、全部灌封复合胶工艺	142
参考文献	149

第一章 矿用电动机的工作环境 及主要技术特征

第一节 矿用电动机的工作环境

矿用电动机是煤矿井下主要生产设备的动力装置。没有电动机的高可靠性工作，就没有煤矿的安全生产。但是，矿用电动机的工作环境，却时时威胁着矿用电动机的安全。所以，应了解矿用电动机的工作环境特点，且根据这些环境特点，在矿用电动机的运输、安装、使用、维护和维修等过程中，采取有力措施，以保证电动机的安全操作和可靠运转，确保煤矿的安全生产。

在矿用电动机的工作环境中，影响电动机工作可靠性的主要因素有以下几种：

(1) 在煤矿井下，煤炭生产过程中会伴生有气体，这些气体中的大部分是甲烷，另外还有极少量的乙烷、乙烯、氧、氢、一氧化碳、硫化氢和二氧化硫等，通常被人们称为瓦斯——即甲烷—空气混合物。当瓦斯的含量达到一定的浓度范围时，遇火源就会燃烧或爆炸。而矿用电动机由于自身或环境造成的温度升高、漏电或产生火花，也可能成为引起瓦斯燃烧或爆炸的点火源。如由某种原因造成的漏电引起的火花，或截煤机在切割煤层过程中遇到黄铁矿，由于切割摩擦时产生的高温而引起黄铁矿尘的自燃，会点燃甲烷—空气混合物等。

另外，在这些气体成份中，有的则对矿用电动机的内部机件和绝缘材料等具有腐蚀作用，同样影响电动机的工作寿命。

(2) 除了瓦斯对矿用电动机的威胁外，矿井下的淋水和水蒸气是威胁矿用电动机可靠工作的主要原因。我们知道，井下淋水是很大的，特别是在采掘工作面，除了天然淋水外，为了消除灰尘，要不停地对落煤处洒水。这些水就不可避免地溅落在电动机上一部分，这样就会缩短原有的漏电距离，特别是长期粘在电动机外壳表面上的灰尘，这时候会起到短路桥的作用，提高了事故发生率。

另外，在电动机的“起动—运转—停转”过程中，由于电动机内部的温度在不断重复“升温—恒温—降温”的过程，温度变化又产生等压过程，从而使电动机不断地“吸湿吐干”，在电动机内部积累了大量的水蒸气和游离水；由于电动机在工作过程中，受到电磁力和机械力的作用而引起的振动，使电动机绝缘系统不断产生裂纹，且裂纹的密度会越来越大，裂纹的长度和深度也会越来越大。这样水分子就会浸入裂纹中，软化绝缘材料，从而加速裂纹的开裂速度，加快了电动机绝缘系统的老化过程。

(3) 散热条件差。采运工作过程是非常复杂的，井下的温差随季节的不同变化也较大；地质条件随着工作面的不断推进也变化很大，有时遇到软煤层或因振动大块的煤落下，会造成截煤机被埋，落煤的不断积累也经常埋住输送机的机头。这些情况都将严重影响电动机的散热，使本来散热条件就差的防爆电动机的散热条件更加恶化。

(4) 负载情况复杂。对于截煤机，煤层有硬有软，有时夹杂硬度不同的矸石或其它矿物；对于输送机，大块落煤或

矸石，都会使负载突然增加。这些对电动机造成的冲击负载或过载，将对电动机的使用寿命产生非常不利的影响。

(5) 工作空间窄狭，电动机在运输和安装过程中容易遭受撞击而受到损坏。由于受到工作空间的限制，电动机所在工作机械中的位置拥挤，使电动机的散热条件恶化。

(6) 润滑油脂对电动机绝缘系统的破坏。电动机轴承中的润滑油脂和直接与电动机连接的工作机械中的润滑油脂，由于环境温度或工作温度的提高，会流入电动机内部，加快电动机绝缘系统的老化。

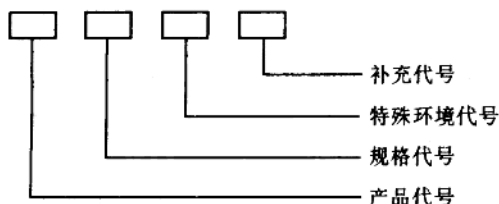
(7) 煤尘和岩尘对电动机的损害。由于煤矿井下粉尘含量很高，在等压过程中，被吸进电动机内部的粉尘会增加转动部件之间的摩擦，加快机件的磨损，从而使电动机工作失效。

第二节 矿用电动机的主要技术特征

一、型号及表示法

1. 产品型号的组成及排列顺序

电动机的产品型号组成及排列顺序如下：



如：YB132S1—4WF

YB—产品代号，Y 表示异步电机，B 表示隔爆型；

132S1—4—规格代号，表示中心高 132mm，短机座，短铁芯，

4 级；

WF—特殊环境代号，W 表示户外，F 表示化工防腐用。

2. 代号

1) 电动机类型代号

电动机的类型代号采用汉语拼音字母表示，见表 1-1。

表 1-1 电动机类型代号

电动机类型	代号	电动机类型	代号
异步电动机	Y	直流发电机	ZF
同步电动机	T	测功机	C
同步发电机（汽轮和 水轮发电机除外）	TF	交流换向器电动机	H
直流电动机	Z	潜水泵	Q
		纺织用电动机	F

表 1-2 中小型电动机主要系列规格代号

系列产品	规格代号
中小型异步电动机	中心高—机座长—铁芯长—极数
中小型同步电动机	中心高—机座长—铁芯长—极数
中小型水轮发电机	功率—极数/字子铁芯外径
小型直流电机	中心高—机座长
中型直流电机	中心高或机座长—铁芯长—电流等级
测功机	功率—转速
分马力电动机	中心高或机壳外径—（或/）机座长—铁芯长、 电压、转速
交流换向器电机	中心高或机壳外径—铁芯长—转速

注：1. 中心高、定子铁芯外径、机壳外径均以 mm 为单位表示。

2. 机座长用国际通用符号表示：S—短机座；M—中机座；L—长机座。

3. 铁芯长、电流等级依次用数字代号 1、2、……表示。

4. 功率用 kW 表示；转速用数字代号表示（如 9 表示 9000r/min）。

2) 电动机规格代号

中小型电机主要系列的规格代号见表 1-2。

3) 特殊环境代号

中小型电机的特殊环境代号见表 1-3。

4) 产品代号

矿用防爆型电动机的主要产品代号见表 1-4。

表 1-3 特殊环境代号

序号	特殊环境	代号	序号	特殊环境	代号
1	“高”原用	G	5	“热”带用	T
2	“船”(海)用	H	6	“湿热”带用	TH
3	户“外”用	W	7	“干热”带用	TA
4	化工防“腐”用	F			

表 1-4 矿用防爆型电动机的主要产品代号

序号	产品名称	产品代号	代号汉字意义	老产品代号
1	隔爆型绕线转子三相异步电动机	YBR	异爆绕	JBR、JBRO
2	隔爆型高起动转矩三相异步电动机	YBQ	异爆起	JBQ (BJQ)
3	隔爆型高转差率(滑率)三相异步电动机	YBH	异爆(滑)	
4	隔爆型多速三相异步电动机	YBD	异爆多	
5	装岩机用隔爆型三相异步电动机	YBI	异爆(岩)	JBI
6	耙斗式装岩机用隔爆型三相异步电动机	YBB	异爆(耙)	YBB

续表

序号	产品名称	产品代号	代号汉字意义	老产品代号
7	隔爆型轴流式局部扇风机（通风机）	YBT	异爆通	JBT
8	链板运输机用隔爆型三相异步电动机	YBY	异爆运	JBY
9	绞车用隔爆型三相异步电动机	YBJ	异爆绞	JBJ
10	回柱绞车用隔爆型三相异步电动机	YBHJ	异爆回绞	JBZ
11	采煤机用隔爆型三相异步电动机	YBC	异爆采	
12	采煤机用隔爆型水冷三相异步电动机	YBCS	异爆采水	
13	矿用隔爆型三相异步电动机	YBK	异爆矿	
14	掘进机用隔爆型三相异步电动机	YBU	异爆（掘）	
15	掘进机用隔爆型水冷三相异步电动机	YBUS	异爆（掘）水	
16	输送机用隔爆型三相异步电动机	YBS	异爆输	JDSB DSB

二、矿用电动机的工作制度

矿用电动机有以下几类工作制度：

1. 连续工作制 (S_1)

在恒定负载下连续运行至热稳定状态，如图 1-1 所示。

2. 短时工作制 (S_2)

在恒定负载下按给定的时间运行，未达到热稳定状态时