

KUANGSHAN DAXING GUDING SHEBEI
CESHI JISHU

矿山

大型固定设备测试技术

KUANGSHAN DAXING GUDING SHEBEI CESHJ JISHU

陈维健 齐秀丽 肖林京 张永建 主编

China University of Mining and Technology Press

KUANGSHAN DAXING GUDING SHEBEI
CESHI JISHU



中国矿业大学出版社

矿山大型固定设备测试技术

主 编 著：陈维健 齐秀丽 肖林京 张永建

副主编著：王庆利 叶铁丽 陈 明 许 灵

鲍 伟 尹 华 赵 宽 王 伟

参 编 著：包继华 张 媛 韩牧军 陈春茂

李文松 刘传鑫 郭 峰 赵兴来

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以国家目前的安全生产方针、政策、法规为依据,全面系统地介绍了单绳缠绕式提升机、多绳摩擦式提升机、通风机、水泵、空气压缩机、锅炉、电动机的基本测试原理、测试要求、测试仪器仪表和测试方法、测试步骤、测试结果的分析、调整、处理等内容。

图书在版编目(CIP)数据

矿山大型固定设备测试技术/陈维健等主编. —2版.

徐州:中国矿业大学出版社, 2007.4

ISBN 978 - 7- 81040 - 353-4

I. 矿… II. 陈… III. 矿山机械—测试技术 IV. TD44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 040192 号

书 名 矿山大型固定设备测试技术

主 编 陈维健 齐秀丽 肖林京 张永建

责任编辑 钟 诚

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 16 字数 412 千字

版次印次 2007 年 4 月第 2 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

提升机、通风机、水泵、空气压缩机、锅炉,作为矿山生产建设中的主要大型固定设备,在矿山生产、建设、发展中占有特别重要的地位。

矿山大型固定设备投入生产运行后,其使用寿命的长短、有效利用率的高低,能否尽量减少或避免设备突发性故障,以保证其安全高效运行,提高矿山企业的经济效益,在很大程度上取决于能否对这些设备在合理使用、精心维护的基础上,运用先进的检测技术、信号分析技术、计算机技术等手段对其工作状态和性能定期及时地进行科学检查、诊断、调整、测试、检测、控制,做到防患于未然,以充分发挥设备的效能。

为适应迅速发展的现代煤炭生产建设的需要,解决矿山生产一线对矿山大型固定设备进行技术测试工作的急需和煤炭院校矿山机电以及机械化、电气化专业学生工程实践能力的培养之需要,我们特组织编写了这本书。

本书以国家目前的安全生产方针、政策、法规为依据,全面系统地介绍了单绳缠绕式提升机、多绳摩擦式提升机、通风机、水泵、空气压缩机、锅炉、电动机的基本测试原理、测试要求、测试仪器仪表和测试方法、测试步骤、测试结果的分析、调整、处理等内容。

本书以实用为宗旨,理论联系实际,内容丰富,系统完整,叙述简炼,通俗易懂,实用性、可操作性强,在介绍常规测试技术、测试手段的同时,也尽量反映了目前我国已成熟推广应用的最新测试技术和手段。

本书原由于修教授、陈维健教授、李功熹高工主编,在编著过程中,承蒙山东煤管局机电处杨永保处长(高工)、张希武高工等提

出了许多宝贵意见和建议,同时也参阅了许多专家、学者的著作和文献,在此一并谨致谢忱。

本书第一版于 1995 年出版发行,至今已有十多年时间,在我国矿业界及矿业院校得到广泛推广使用,对满足生产现场急需和推动科技进步,起到了十分积极的作用。今应部分矿山企业和有关高等院校与出版社之约,由陈维建教授、齐秀丽教授、肖林京教授、张永健教授主持进行了全面修编。

由于我们水平所限,书中难免有不尽人意之处,敬请读者批评指正。

编著者

2007 年 2 月



目 录

第一章 单绳缠绕式提升设备技术测试	1
第一节 提升钢丝绳安全系数的验算.....	1
第二节 提升系统总变位质量的计算与测试	10
第三节 提升机强度的验算	14
第四节 提升速度图的测试与验算	16
第五节 提升力图的测试与计算	27
第六节 交流拖动电动机功率验算与测试	32
第七节 启动电阻的计算、选配与测试.....	36
第八节 电控系统继电器与磁放大器的测试	49
第九节 提升机制动系统性能测试与验算	73
第十节 动力制动性能的测试.....	103
第十一节 提升电动机低频制动 及爬行性能测试与验算.....	113
第十二节 TKD—A 系列电控限速凸轮板的 绘制及调试.....	122
第十三节 提升机安全运行性能虚拟器.....	130
第二章 多绳摩擦式提升设备技术测试	156
第一节 提升钢丝绳安全系数的验算.....	156
第二节 多绳摩擦式提升机的测试.....	160
第三节 多绳摩擦式提升机的防滑测试.....	165
第四节 提升钢丝绳张力平衡状态的测试及调整.....	175



第三章 通风机设备技术测试	179
第一节 通风机的性能参数.....	180
第二节 通风机设备技术测试的原理.....	186
第三节 通风机设备技术测试的方案及其测量方法.....	189
第四节 通风机性能参数的换算.....	240
第五节 通风机设备技术测试数据的整理与计算.....	244
第四章 排水设备技术测试	257
第一节 离心式水泵技术测试的方法与内容.....	257
第二节 水泵流量的测试.....	261
第三节 离心式水泵扬程的测试.....	274
第四节 水泵轴功率、转速的测试及效率的计算	276
第五节 测试结果分析	280
第六节 排水装置经济运行和维护排水装置运行性能的途径和措施.....	283
第五章 空气压缩机设备技术测试	289
第一节 空气压缩机性能参数.....	289
第二节 空气压缩机设备技术测试.....	293
第三节 空气压缩机测试结果的分析及处理.....	315
第四节 保持空气压缩机经济运行的途径.....	318
第六章 工业锅炉热平衡测试及节能	322
第一节 概 述.....	322
第二节 热工基本术语及概念.....	324
第三节 锅炉的基本特性和指标.....	329
第四节 锅炉热平衡测试的基本原理.....	332
第五节 锅炉热平衡测试方案及其测试方法	336



第六节	锅炉热平衡测试数据的整理与计算·····	343
第七节	锅炉热效率及其影响因素·····	371
第七章	电动机的技术测试·····	421
第一节	旋转电机的基本技术要求·····	421
第二节	异步电动机的技术测试·····	436
第三节	交流同步电动机技术测试·····	464
第四节	直流电机技术测试·····	475
第五节	误差及试验数据处理·····	486
参考文献 ·····		498



第一章 单绳缠绕式提升设备技术测试

第一节 提升钢丝绳安全系数的验算

提升钢丝绳是提升设备的重要组成部分之一,其运行的安全可靠,对矿井安全提升有着极其重要的意义,在生产中应予以足够的重视。提升钢丝绳在正常工作中,除受到静张力外,其内部还受有弯曲、扭转、接触、挤压等应力的作用,在多种复合应力的作用下,钢丝绳的寿命将大大降低。另外,磨损、腐蚀也是降低钢丝绳寿命、影响安全运行的因素。

由于钢丝绳受力复杂及诸多因素的影响,钢丝绳的使用寿命,到目前为止尚不能精确计算。在我国,提升钢丝绳的选用、验算均采用安全系数法,即按提升钢丝绳承受的最大静张力并考虑一定的安全系数来选用或验算提升钢丝绳。

一、提升钢丝绳最大静张力 F_{jm} 的计算

提升钢丝绳的最大静张力可根据有关技术资料或实际测出的有关数据进行计算。

(一) 立井单绳缠绕式无尾绳提升系统



计算示意图如图 1-1 所示。

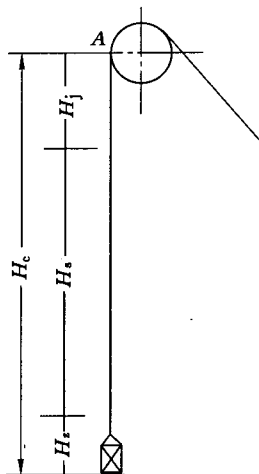


图 1-1 立井单绳缠绕式提升钢丝绳计算示意图

$$\text{最大静张力} \quad F_{jm} = Q + Q_z + p H_c \quad (1-1)$$

式中 Q ——一次提升有益载荷量, N;

Q_z ——容器自重, N;

p ——提升钢丝绳每米重力, N/m;

H_c ——钢丝绳最大悬垂长度, m。

(二) 多绳摩擦式提升系统

多绳摩擦式提升钢丝绳计算示意图如图 1-2 所示。

多绳摩擦式提升钢丝绳与单绳缠绕式提升钢丝绳的选择计算及验算相比较, 具有如下三个特点应特别引起注意:

(1) 有 n_1 根主提升钢丝绳, 每根主绳承受的终端载荷为 $\frac{1}{n_1}(Q + Q_z)$;

(2) 有 n_2 根尾绳, 每根尾绳每米重力为 q , N/m;

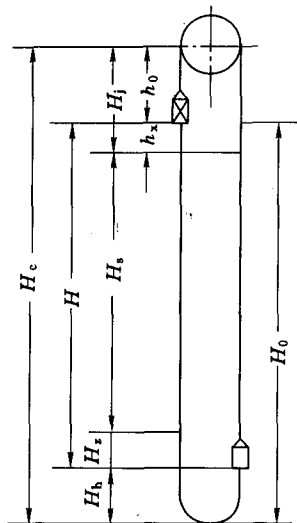


图 1-2 多绳摩擦式提升钢丝绳计算示意图

(3) 根据主绳和尾绳的每米重力的不同,有等重尾绳 $n_1 p = n_2 q$, 轻尾绳 $n_1 p > n_2 q$ 和重尾绳 $n_1 p < n_2 q$ 三种情况。一般多采用等重尾绳,重尾绳也有应用,轻尾绳使用很少。

① 等重尾绳提升系统($\Delta = n_1 p - n_2 q = 0$)

$$F_{jm} = \frac{Q + Q_z}{n_1} + p H_c \quad (1-2)$$

② 重尾绳提升系统($\Delta = n_1 p - n_2 q < 0$)

$$F_{jm} = \frac{1}{n_1} (Q + Q_z) + p H_0 + \frac{n_2}{n_1} q H_0 \quad (1-3)$$

③ 轻尾绳提升系统($\Delta = n_1 p - n_2 q > 0$)

$$F_{jm} = \frac{1}{n_1} (Q + Q_z) + \frac{n_2}{n_1} q H_h + p (H + h_0) \quad (1-4)$$

式(1-2)~式(1-4)及图 1-2 中



- Q —— 一次提升载荷量, N;
 Q_z —— 容器自重, N;
 n_1 —— 主提升钢丝绳根数;
 n_2 —— 尾绳根数;
 p —— 每根主绳每米重力, N/m;
 q —— 每根尾绳每米重力, N/m;
 H_c —— 钢丝绳最大悬垂长度, m;
 H_h —— 尾绳环高度, m;
 h_0 —— 容器卸载位置到天轮中心的距离, m;
 H —— 提升高度, m;
 H_s —— 井筒深度, m;
 h_x —— 卸载高度, m;
 H_z —— 装载高度, m;
 H_0 —— 尾绳最大悬垂长度, m。

(三) 斜井单绳缠绕式提升系统

图 1-3 为斜井单绳缠绕式提升钢丝绳计算示意图。对于斜井提升钢丝绳的最大静张力计算, 只要考虑到井筒的倾角 α 及容器在轨道上的运行阻力和钢丝绳运行时与托辊和底板间的阻力等斜井提升的特殊问题, 其他与立井提升钢丝绳的计算完全一样。

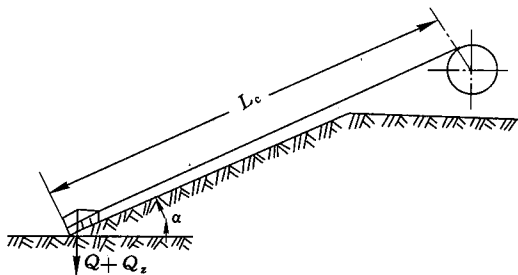


图 1-3 斜井单绳缠绕式提升钢丝绳计算示意图



$$F_{jm} = (Q + Q_z)(\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) + pL_c(\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) \quad (1-5)$$

式中 α ——井筒倾角, ($^{\circ}$);

L_c ——钢丝绳最大倾斜长度, m;

f_1 ——容器运行阻力系数:

滚动轴承取 $f_1 = 0.015$

滑动轴承取 $f_1 = 0.013 \sim 0.03$

f_2 ——钢丝绳运行时与托辊和地板之间的阻力系数, $f_2 = 0.15 \sim 0.2$ 。

二、提升钢丝绳安全系数的验算

根据安全系数法求得钢丝绳的实际安全系数应为

$$m = \frac{Q_d}{F_{jm}} \geq m_a \quad (1-6)$$

式中 Q_d ——钢丝绳中所有钢丝的破断拉力总和, N;

F_{jm} ——钢丝绳所受最大静张力, N;

m_a ——《煤矿安全规程》(以下简称《规程》)规定的钢丝绳安全系数, 查表 1-1。

表 1-1 提升用钢丝绳安全系数

用 途		钢丝绳安全系数的最低值 m_a		
		单绳缠绕式提升系统		多绳摩擦式提升系统
		新悬挂时	使用中	新悬挂时
专用于升降人员		9	7	$9.2 - 0.0005H_c$
升降人员 和物料	升降人员时 混合提升时			
	升降物料时	7.5	6	$8.2 - 0.0005H_c$
专用于升降物料		6.5	5	$7.2 - 0.0005H_c$



若按式(1-6)计算出的 $m < m_a$, 则应及时更换钢丝绳, 以确保提升安全。

钢丝绳的钢丝有变黑、锈皮、点蚀、麻坑等损伤时, 不得用做提升人员。钢丝绳锈蚀严重、点蚀麻坑形成沟纹、外层钢丝松动时必须立即更换。钢丝绳的使用、保管、维护、检查、试验等应严格按《规程》规定执行。

三、提升钢丝绳在线无损探伤

(一) 提升钢丝绳安全检测的必要性与可行性

由矿井提升钢丝绳在矿井提升中所担负的任务可知, 提升钢丝绳的安全使用关系着设备和人员的安全。因钢丝绳断裂而造成的惨重事故国内外不乏先例, 为此, 各国对钢丝绳的安全使用都作了严格规定。我国的《煤矿安全规程》对此也作出了严格的要求:

(1) 提升钢丝绳必须每天检查一次, 对易损坏和断丝或锈蚀较多的一段应停车详细检查。

(2) 对于升降人员或升降人员和物料用的钢丝绳, 在一个捻距内断丝断面积同钢丝绳总面积之比达 5% 时, 须更换新绳。

(3) 对于专为升降物料用的钢丝绳, 在一个捻距内断丝断面积同钢丝绳总面积之比达到 10% 时, 须更换新绳。

(4) 提升钢丝绳的直径比开始使用时减少量达到 10% 时, 须更换新绳。

(5) 提升钢丝绳在运行中遭受到卡罐、突然停车等猛烈拉力时, 必须立即停车检查, 如发现钢丝绳产生严重扭曲或变形、断丝及钢丝绳直径减小值达(2)、(3)、(4)的情况, 或发现遭受猛烈拉力的一段其长度伸长 0.5% 以上的情况, 都须更换新绳。

但是, 在执行中仍然存在不少困难, 例如:

(1) 钢丝绳的内部断丝在现场难以查找;

(2) 外层钢丝直径减小在现场难以测量;

(3) 钢丝绳伸长 0.5% 在现场也难以精确测量。



又如,直径缩小是钢丝绳受拉伸、磨损、腐蚀和其他因素综合作用的最终外在表现形式,实际上,不能不考虑到有机芯的可压缩性,因此,钢丝绳直径缩小的量值并非钢丝受拉伸和扭转作用以及磨损、腐蚀等损伤后钢丝总断面积减少的“真值”。

当钢丝绳直径缩小 10% 时,钢丝总断面积到底减少了多少呢?实践证明,断丝、磨损、腐蚀和其他损伤都能使钢丝绳中钢丝总断面积减少。在同一条钢丝绳同一个捻距内,断丝有多少?腐蚀有多少?其他损伤有多少?又如何将磨损、腐蚀和其他损伤综合到一个统一的等效量值——一个捻距内钢丝总断面积的减少上来,并用仪器进行在线定量检测及实现安全检查呢?过去由于检测仪器的缺乏和可靠性问题,使现行规程的实际操作尚难达到上述目的。

作为国家自然科学基金委员会资助项目,GXT—1 型钢丝绳在线无损探伤仪,已由洛阳涧西矿冶机电研究所研制成功,获得国家发明专利,在平水铜矿和义马煤矿、杨村煤矿经过了工业试验并在上述矿山和易门矿务局开始使用。目前的检测结果表明,该仪器不仅能定量测定钢丝绳内、外部断丝数,而且能测定钢丝的磨损、锈蚀、断面变形,甚至钢丝的焊接点等其他损伤,基本解决了钢丝绳在线无损探伤,实现了钢丝绳的安全检测。也就是说,具备了可将钢丝绳的断丝、磨损和腐蚀等各种损伤检测出来,并综合到一个统一的等效量值——一个捻距内钢丝绳总断面积的减少上来的技术手段。另外,由煤炭科学研究总院抚顺分院研制的 GT 型钢丝绳定量探伤仪,也已在矿山、工业企业等投入使用,为提升钢丝绳的安全检测提供了一种新的技术手段。

(二) GXT—1 型钢丝绳在线无损探伤仪基本工作原理及试验情况

1. 工作原理

GXT—1 型钢丝绳在线无损探伤仪(见图 1-4),是用高导磁

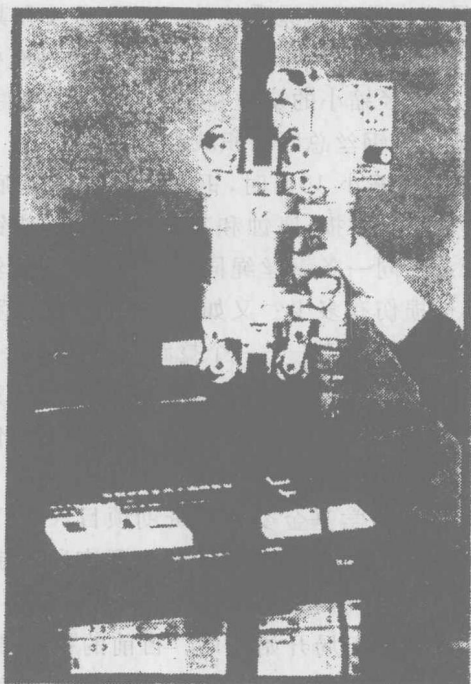


图 1-4 GXT—1 型钢丝绳在线无损探伤仪

材料研制的动态感应式传感器,并有钢丝绳磁化新工艺的配合,已通过工业性试验,探伤效果很好。

该仪器的工作原理是靠外部磁场的作用,将传感器的感应线圈推移到深饱和区,放大漏磁信号与电流的办法捕捉断丝信号。它解决了静态感应型探伤仪受钢丝绳运行速度影响大以及信号不稳定和两种信号不相容的问题。

2. 试验情况

(1) $d=26\text{ mm}$ 、长 6 m 钢丝绳段的检测

这是 GXT—1 型仪器试验的第一步,在用过的 $d=26\text{ mm}$ 钢



丝绳上截取 6 m 长一段作试样。

目的:揭示 GXT—1 型仪器探伤效果。

方法:将 $d=26$ mm、长 6 m 的钢丝绳段置于井口附近,方向基本上与现场运行钢丝绳一致,两端固定。将 ZCX—1 型直流充磁机紧贴钢丝绳,从一端到另一端进行充磁。而后,再将探头和行程发生器卡住钢丝绳,开启微机,沿钢丝绳推拉探头,观察指示灯的明暗程度,探头到终点为止,随即打印结果。

结果:此绳段事先不知道有几处断丝,检测后解体钢丝绳用肉眼查找发现有 4 处断丝,仪器打印结果也是 4 处,仪器检测与实际检查断丝情况完全一致。

(2) 在用提升钢丝绳的检测

检测钢丝绳绳样选定正在使用的副斜井单绳缠绕式两根钢丝绳,它们不设提升保护磁信号,因此,钢丝绳充磁可以简化,每个绳样一次性充磁后即可检测。

① 1# 绳样的检测。绳样的充磁和检测是利用提矸、下料钢丝绳移动进行的。由靠近滚筒 3 m 处开始检测,速度 $v=0\sim 4$ m/s,检测长度 68.9 m,断丝点 252 个,最大断丝根数为 3 根。用肉眼查找所取的钢丝绳段,结果与仪器打印结果一致。

② 2# 绳样的检测。该绳样取自副斜井提升钢丝绳靠近矿车挂钩处,其绳样检测与用肉眼查找的结果(断丝点为 4 点,每点断丝一根)完全一致。

3. 结论

(1) 经多次试验证明,GXT—1 型仪器检测与人工检查的结果基本一致,准确可靠,并能检测内部断丝,比人工效率高。

(2) 钢丝绳与传感器之间距离 7 mm 以上,并不影响探头的准确性,且易于通过翘丝。

(3) 探头用手持操作检测,方便易行,体积小、重量轻。钢丝绳摆动不大时,不受其运行速度影响。