

矿井安全提升

张希武 杨毅兴 王斌耕 欧阳迎 编译

煤炭工业出版社

TD53

11

3

矿 井 安 全 提 升

张希武 杨毅兴 王斌耕 欧阳迎 编译

尤家炽 王赞平 校审

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是根据英国马卡汉姆煤矿所发生的一起提升过卷伤亡事故的调查分析技术报告进行编译的。内容包括矿井提升机的制动、试验和控制、提升系统的井筒设施、通讯信号以及安全监测等安全问题的分析和设计原则,并提出了多方面的建议。在分析过程中,以数理、逻辑等基本学科为基础,同时把断裂力学和系统可靠性工程学也引入进来,为矿井提升安全实践提供了更加科学化的理论依据。

本书既可作为矿井提升专业人员在设计、维护工作中的常用手册,也可作为执行《煤矿安全规程》有关内容的参考资料,同时它能开阔读者视野,起到引导读者查询有关技术资料的作用。

责任编辑:李 淑 琴

SAFE MANRIDING IN MINES

First and Second Report of the National Committee for Safety
of Manriding in Shafts and Unwalkable Outlets

矿 井 安 全 提 升

张希武 杨毅兴 王斌耕 欧阳迎
尤家炽 王赞平 校审

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行



开本850×1168mm $1/32$ 印张8 $7/16$ 插页1

字数 212 千字 印数1—2050

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

ISBN 7-5020-0249-9/TD·238

书号 3089

定价4.30元

编 译 前 言

英国北德贝夏地区马卡汉姆煤矿 (Markham Colliery) , 1973年7月发生了一起重大提升过卷墩罐伤亡事故。同年10月, 英国政府组织了各方面专家 158 人参加的事故调查委员会, 进行事故调查。《矿井安全提升人员》(Safe Manriding in Mines) 一书即是事故调查委员会向英国政府提交的该次事故调查技术报告。报告分为两部分, 即上、下两册。当时因急于处理在调查过程中发现的一些亟待解决的问题, 上册于1976年出版, 但对某些问题的分析还须进一步加深, 于是在1980年出版了下册。上、下册各又分成 A、B 两部分。每册的 A 部分主要介绍矿井安全提升人员的原则要求以及对某些问题的结论和建议, B 部分侧重于专业性较强的技术问题的探讨。本书内容广泛, 围绕矿井提升人员安全这一中心议题, 在许多领域展开了广泛的、多样化的讨论、分析和实验。它既包括了以数理、逻辑、冶金、制造这些基本学科为基础的理论推导, 同时又与人身卫生健康学科相结合, 对若干问题作出了原则规定。如果说, 代表世界技术革命方向之一的微电子技术的应用在当今世界已为公众逐步认识和接受, 那么断裂力学和系统可靠性工程学被系统地引入到矿井提升这一专业学科中来, 将会给广大读者带来极大的兴趣。

我们深信, 矿井提升机的“制动”这一普通概念已为大家所熟悉。然而“单线 (Single Line) ”控制理论改为双线或多线控制理论; 机械制动与电力制动的复合控制理论; 机械制动构件强度富余系数的概念等将进一步丰富为使矿井提升机制动系统的设计完善化和安全化的理论宝库。

缠绕式提升机立井提升系统的井底缓冲器首先在英国应用。可以说它是为接受马卡汉姆矿墩罐事故教训而提出的一条安全措

施。可贵的是，井底缓冲器的大量试验在本书中作了介绍。它包括试验程序、试验数据和试验曲线，这将成为井底缓冲器在我国应用的宝贵参考资料。

英国矿井提升机的安全保护回路，不但有严格的分类和具有完善的接地保护，而且引入了“双线”控制概念，安全接触器是双线的，电磁铁控制回路也是双线的，这大大提高了安全保护回路的可靠性。

缠绕式提升机和摩擦式提升机的试验规则在本书中均作了介绍。矿井提升机的试验步骤和试验方法以及大量的试验数据，无论在技术管理还是在实际应用上，都是值得借鉴的经验和资料。

自动监测技术为电子技术在提升学上的应用，开辟了广阔前景。机械制动力矩的监测与传感，提升容器位置的监测与传感将成为完善提升机自动控制手段的新转折，为实现矿井提升机控制的高度现代化打下了良好基础。

另外，对矿井提升钢丝绳的管理与维护、井筒井架设施的布置原则和井筒信号与通讯设施的设计原则等，在介绍了大量实践经验的同时，提出了若干新的结论性建议，这些都是宝贵的。

由于原书的结构采用了“报告”体裁，不便于我国读者阅读，同时为了有针对性地解决问题，根据“洋为中用”的原则，对原书内容作了必要取舍，并按问题的类属重新编排了章、节，加了相应的标题。

原书名虽然是《矿井安全提升人员》，但就整个内容来说，并非限于此。因此将编译书名改为《矿井安全提升》。

本书的编译工作是在原煤炭工业部生产司王守义总工程师、王朝晖工程师等直接关怀下完成的。参加本书编译的有山东煤管局张希武工程师、兴隆庄煤矿杨毅兴副总工程师、枣庄矿务局王斌耕工程师和坊子煤矿欧阳迎副总工程师。山东煤管局尤家炽总工程师和沈阳矿务局王赞平副总工程师对全书做了总校审。山东煤管局杨永保工程师对全书的文字和内容又进行了审阅。在编译过

程中还得到阜新矿务局副总工程师李纪同志的大力支持，在此一并表示深切的感谢。

我们编译本书的目的，希望有助于国内煤矿和矿山提升系统的技术改造，进一步促进矿井提升的安全。

由于编译水平所限，书中误译之处在所难免，敬请广大读者给以指正。

编 译 者

一九八八年五月十六日

目 录

第一章 矿井提升机的制动	1
第一节 概述	1
第二节 制动系统的设计准则	5
第三节 “设计指南”介绍	7
第四节 机械制动器的设计原则	11
第五节 制动器的构件设计	18
第六节 机械制动的控制系统	28
第七节 电力制动的方案研究及实践	29
第二章 井筒、井架装备及信号	47
第一节 井底缓冲器	47
第二节 罐道及其它井筒(架)装备	77
第三节 井架过卷和井底过放保护装置	83
第四节 井筒信号与通讯	86
第三章 提升系统钢丝绳	94
第一节 提升钢丝绳概况	94
第二节 钢丝绳的维护	96
第三节 平衡绳的绳环	112
第四节 提升绳的松绳保护	115
第五节 摩擦提升钢丝绳与绳轮间的摩擦	116
第四章 矿井提升机的试验	119
第一节 缠绕式提升机的试验规则	119
第二节 摩擦式提升机的试验规则	135
第三节 提升机自动化适应性试验	144
第四节 提升容器减速度的测量	154
第五章 矿井提升机的安全监测	157
第一节 监测的目的及应用	157
第二节 机械制动器构件的应力测试	163

第三节	机械制动力矩的监测·····	171
第四节	提升机机械元件的无损检验·····	180
第六章	矿井提升机的其他安全问题 ·····	198
第一节	提升机滚筒和传动装置·····	198
第二节	提升容器及其位置监测·····	199
第三节	电气安全回路·····	204
第四节	控制系统的非正常状态分析·····	220
第五节	自动控制装置及其监视·····	223
第六节	矿井提升机的按钮操作·····	227
第七章	断裂力学和系统可靠性工程学在提升设备上的 应用·····	231
第一节	断裂力学的应用·····	231
第二节	系统可靠性工程学的应用·····	239

第一章 矿井提升机的制动

第一节 概 述

马卡汉姆矿是英国一个大型煤矿，位于北德贝夏地区，属国家煤炭局（National Coal Board）领导。1973年7月30日，该矿三号风井发生一次严重过卷事故，载有29人的下行双层罐笼撞在井底木梁上，致使18人死亡，11人重伤。上行空罐笼在井架过卷分离钩*（detaching hook）的作用下和钢丝绳脱离，直至碰撞井架顶梁后又下落时，被过卷捕捉器*捕捉在井架上。钢丝绳的连接绳环被拽进提升机房。下行钢丝绳在滚筒上的最后三圈余绳放完后，将固定在滚筒上的绳头抽出，滚筒轮缘的碎块连同卡绳装置一起坠入井筒。

这台提升机是由一台440马力（330千瓦）直流电动机拖动，事故前运转正常，直至罐笼通过井筒中点后开始施加电力制动减速的时候，司机突然听到机械制动闸附近发出一声巨响，他即把控制手柄进一步推进以便减速，同时还试用工作闸制动，但工作闸手柄失灵。于是，司机按了紧急停车按钮，切断了全部电源。此时，应自动投入的紧急制动闸也失效。由于此时已切断电源，电力制动也不能维持，使得司机无能为力，事故已无法避免。

提升机的机械制动闸是托架式的，由两块镶衬的闸瓦组成。压缩弹簧组通过制动杆使闸瓦作用于制动轮。司机可通过工作制动手柄和紧急制动按钮实现施闸。弹簧组的力是通过一条长8英尺 $11\frac{7}{8}$ 英寸（2.74米）、直径为2英寸（51毫米）的垂直钢制拉杆传递到主操作杆的。钢制拉杆装于弹簧组中央，并由弹簧组顶部的钢

* 有关分离钩和捕捉器的作用见第二章第二节。

板限位，底部通过调整块及十字头颈与主操作杆连接(见图1-1)。马卡汉姆矿事故后，1973年10月，国家成立了专门的事故调查委员会对这一事故公开调查，通过调查发现，由于机械制动系统的主操作杆和十字头颈之间转动不灵活，致使直径为2英寸(51毫米)的弹簧杆经常受弯曲，图1-1中的弹簧组表示了钢制拉杆在正常情况和故障情况下的制动、松闸状态，由于钢制拉杆的弯曲，使之动作受限，结果经长达21年使用后，终于在调整螺母内的螺纹

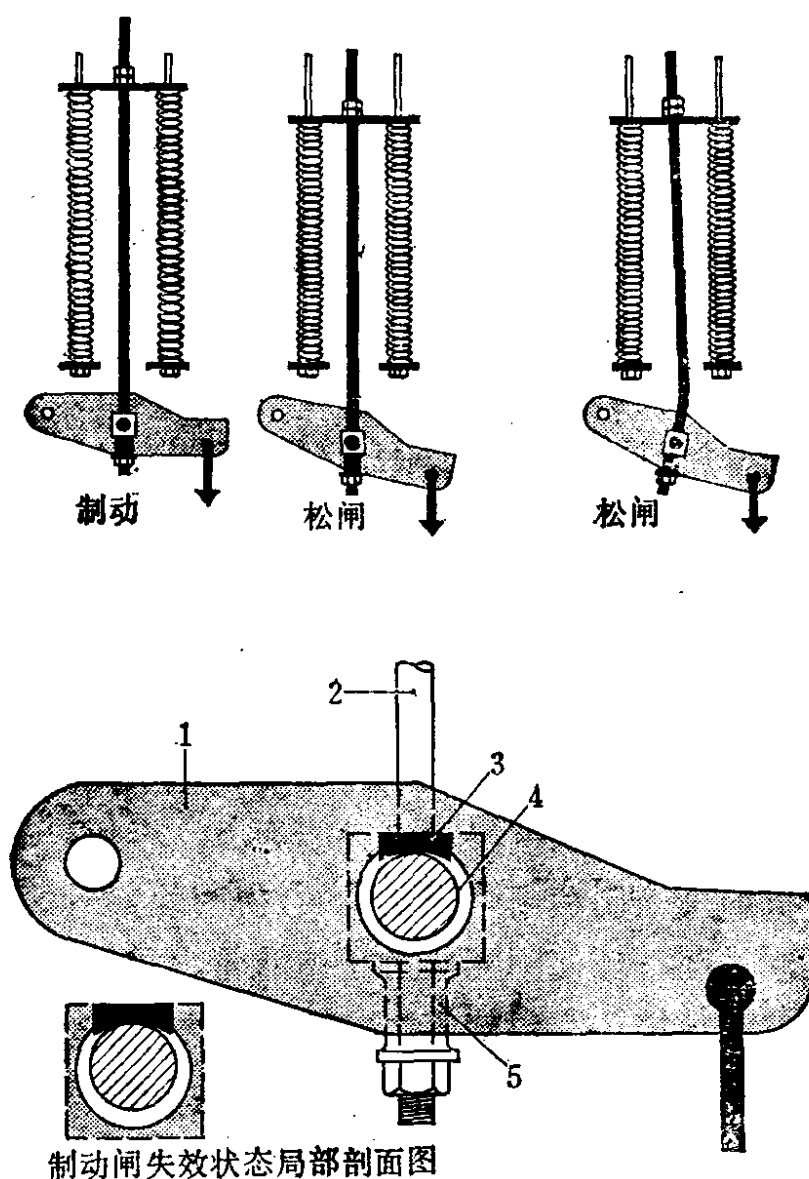


图 1-1 马卡汉姆煤矿三号井提升机制动系统主操作杆结构及工作、故障状态图

1—主操作杆；2—钢制拉杆；3—轴承；4—十字头颈；5—调整螺母

部分发生了疲劳断裂。这场灾祸之所以难于避免，主要是由于弹簧的拉杆是“单线元件”（Single line component），它的断裂使得提升机机械制动完全失效。

马卡汉姆矿过卷事故的严重性，超过了英国1932年毕卡苏煤矿过卷事故以后的任何一次事故。当年，毕卡苏煤矿的过卷事故使19人沉入充满水的井底水窝中淹死。此后由一个局级委员会调查并研究了预防提升过卷的措施并提出了若干建议。建议的主要部分已为法规所采用。诸如规定了制动闸的制动力标准和装设自动装置以限制提升容器通过井口时的速度等。随着提升机制动装置和保护设施的不断发展，该法规又逐步作了修改。因而使得由于过卷而死亡和致伤的人数呈现逐年下降的趋势。尽管如此，如图1-2所示，1958年布鲁克赫斯煤矿又发生了一次有36人致重伤的过卷事故。相继又发生了马卡汉姆矿事故。

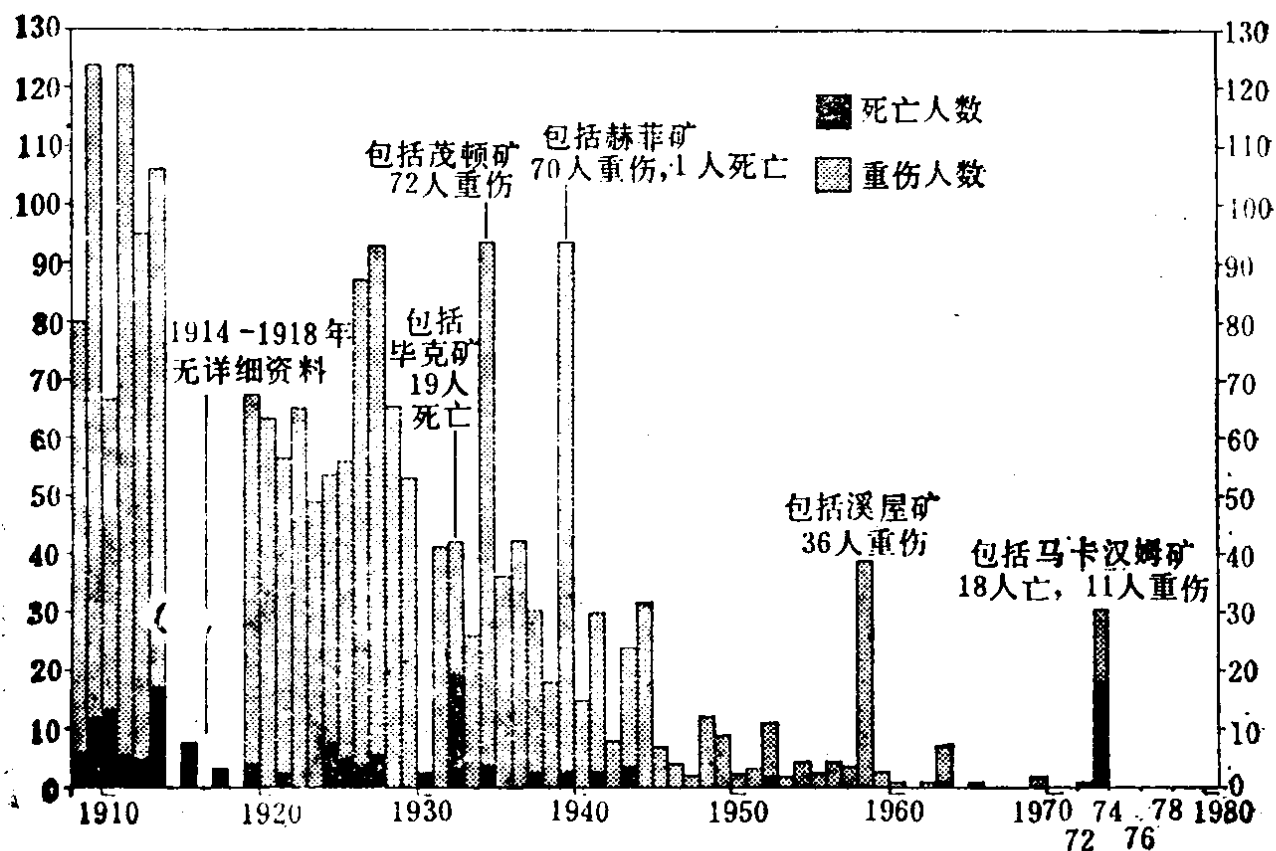


图 1-2 由于提升过卷造成的伤亡人数统计图

为了接受事故教训，全面考虑竖井和斜井运送人员的安全问题，英国国家事故调查委员会又下设四个专业委员会，分别从机械工程、电气工程、设备维修以及冶金和材料四个方面进行了全面的调查，从理论上和实践上全面地分析了事故的原因，制定了若干法规，提出了今后的改进建议。

在马卡汉姆矿事故调查报告中，得出如下结论：

1) 这次事故是由于“单线元件”的弹簧拉杆断裂造成提升机机械制动闸完全失效所引起。拉杆十字头颈的设计，没有考虑到来自弹簧组的高压力，而且无法润滑，因而主操作杆在十字头颈处不能灵活转动，造成在制动时产生弯曲力，同时在弹簧拉杆上产生了超限的脉动应力，这些力致使拉杆出现了裂纹，久而久之，裂纹扩展，直至断裂。

2) 弹簧拉杆中的裂纹在其断裂之前，是可以无损检测的方法，例如磁粉探伤法探出的。

3) 司机操作是无可非议的，为了停机，他最后不得不按下紧急制动按钮。

4) 虽然最后的停车，需用机械闸制动。但是在按下紧急制动按钮之后，如果电力制动还能发生作用的话，可以肯定，到提升终点处，罐笼的速度可大大地降低。

5) 造成人员死亡和重伤的原因是罐笼直接冲撞井底托罐木梁。如果在井底能安装一种缓冲装置以取代木梁，则这次事故后果可能不会如此严重。

报告提出了如下的建议：

1) 对所有的提升机进行一次全面检查和改进，以确保机械制动器经常处于安全可靠的状态。

2) 提升机制动系统尽可能不采用“单线元件”，否则，必须在设计、使用及维护方面对这些“单线元件”进行改进。

3) 制动系统所有的关键元件都必须作定期无损探伤检验。

4) 对所有提升机制动系统的关键安全元件进行一次设计上

的分析和改进，以保证能经受住工作时的各种应力，并且要规定使用年限 (definitive life)。无论采用的静力安全系数多么大，设计时都必须考虑到交变应力的影响，并尽可能避免使用带螺纹的元件。

5) 电力提升机的控制系统应进行一次全面检查，务使做到紧急制动发生或自动跳闸后，在机械制动确实发生作用之前电力制动要继续有效。

6) 井底硬性的停罐装置，应尽可能快地用合适的缓冲装置代替。

7) 对每台提升机都要备有一套操作手册。对司机的培训和考试要进行检查。

8) 提升机速度达到每秒 7 英尺 (2.3 米) 以上时，必须设有绳速指示器。

第二节 制动系统的设计准则

机械制动是使提升系统减速并停下来的最后手段，这是任何提升机必须遵守的原则，即使是在制动系统某一元件损坏的情况下，也必须遵守这一原则。固然，电动提升机或是蒸气提升机，其动力源亦可用作制动源，但动力源很可能在没有任何预兆的情况下突然中断，因此这种制动不能可靠地作为提升容器安全停止的最后手段。

一、机械制动

设计和制造新的机械制动器时必须避免有“单线元件”，因其一旦损坏将直接妨碍提升机的制动。这种元件损坏引起制动力矩减小的情况是不可避免的，为此设计必须确保在这种情况下仍须有足够的制动力矩使提升机系统安全停止下来，而且其制动力矩不应小于正常值的 50%。制动力矩的严重减少还可能发生在闸轮或闸衬被油、潮湿的气体或其他物质沾染的情况下，但可以预计，在多数情况下，沾染的影响不会比闸的某一元件的损坏更严

重。因此，由于沾染所造成的制动力矩损失，也将小于由于某一元件损坏使制动力矩减少50%的允许限度。在这里，所谓提升机安全停止下来的含意是指，上行的容器在接近终点时应在某一规定的速度下停止，而下行容器通过井底出车场时的速度不能超过井底缓冲装置所能接受的速度。与此同时，还应保证上行容器不碰撞井架，钢丝绳终端连接卡子不会被拽进提升机房。

应当对现有“单线元件”机械制动器进行鉴定，根据条件和可能，将这种制动器淘汰掉或是对“单线元件”进行改造。如果一时难以做到，而且这些元件是按有限疲劳寿命设计制造的，则应该按照其疲劳寿命限期更换，并且用按无限疲劳寿命设计制造的元件取而代之。即使某些“单线元件”是按无限疲劳寿命设计的，仍须给以限定的寿命。所以“单线元件”的操作和维护，必须按设计参数进行，并且按一定间隔期作无损检测。

为了减少人员伤害，在紧急脱扣施闸制动时，提升容器的减速度不应超过 $1g$ ；而滚筒上钢丝绳的减速度，不得超过16英尺/秒²（4.9米/秒²），最好小于12英尺/秒²（3.7米/秒²）。

应进一步改进设计标准并建立适当的检查、试验及维修标准，以减少元件损坏以及闸面、闸衬沾染的可能性。目前正在选择和改进闸衬材料以减少对沾染的敏感性。

二、电力制动

电力制动一般用于工作制动，但也可以设计成能作为在机械制动闸损坏、工作闸衬及制动系统沾染等特殊情况下的后备制动。即在脱扣以后电力制动须至少维持到已证实机械制动能将提升系统充分有效地减速为止，但又得避免电力制动力矩和机械制动力矩合成后而使得减速度过大或不足。

1. 直流提升机

大多数直流拖动的提升机，在紧急脱扣后切断电源并施以机械制动。电力制动与提升机的驱动力来自同一个动力源。因此，电路的设计必须使得在紧急脱扣后，除提升机司机操作外，电力

制动还能够自动投入。其设计原则是，使直流拖动提升机在紧急脱扣后，电力制动要维持到经过测量证实机械制动已产生了足够大的制动力矩为止。一种适于这一用途的传感器正在研制中。

2. 交流提升机

装有动力制动的交流拖动提升机，在紧急脱扣后，虽然主电动机电源已切断，但电力制动在司机控制下却可容易地维持下来。提升机司机可以用电动机进行制动而不作驱动之用。这是交流拖动较直流拖动的优越之处。对没有安装动力制动的交流提升机，原则上应当考虑安装动力制动。目前已经过研究证实，如同直流提升机自动控制减速那样，自动地实现交流提升机的动力制动在技术上是可行的。这一试验正有待进一步完善以便拿出更可靠的资料。

第三节 “设计指南”介绍

由国家煤炭局（NCB）及矿山安全研究院（SMRE）制定的“设计指南”草案，已发给“保健安全部”和提升机及其制动闸元件制造厂商。

建议编制“设计指南”的目的是促使在提升机元件的设计程序中采用统一的计算方法。

对于承受稳定载荷的元件，采用应变测量技术测得的结果一般与力学分析法计算的结果大体上是一致的，当然，现在用的计算方法并非一种。由于采用的技术条件不同，某些部件有效载荷也会略有变化。“设计指南”包括对有关力的分析，提供给大家共同采用，同时便于读者和制造厂家直接计算比较。在“设计指南”中，还提出了设计应考虑的基本问题，讨论了有关疲劳等问题的重要意义及“备用系数”的概念。下面简要介绍“设计指南”所包括的主要内容。

一、目 录 提 纲

1. 基础理论部分

疲劳设计；

疲劳设计中弯曲及动力系数；

连接销轴的理论疲劳强度；

焊接件的疲劳；

交界及叠加处的应力集中；

卡钳式制动器受力的分解；

结构分析中的弯矩分配法；

哈迪·克劳斯法 (Hardy-cross) 。

2. 工作部件分析部分

带螺纹的杆件；

轴类的疲劳分析；

焊接件的设计；

抗压构件设计；

闸瓦应力的确定；

焊接型闸瓦的应力分析；

在支承套内销子的疲劳强度；

杆件衬套。

3. 参考资料部分

机加工及焊接元件典型设计实例；

机械制动器的一般要求；

制造机械制动器应采用的材料；

应力集中参数。

二、计 算 程 序

(Proformal for calculations)

“设计指南”在现有元件使用经验的基础上不断地进行充

实，经研究讨论，进行了适当的补充修改。对机械制动器设计中一些共同性问题的探讨又取得了较大的进展。已经完成的计算机程序，将有助于此项设计和计算任务的完成。典型程序有以下几种：

- 卡钳型制动器力的分解；
- 带螺纹杆件的应力分析；
- 闸瓦应力的确定；
- 制动器杆件的疲劳分析；
- 销轴的疲劳分析；
- 承压构件的设计；
- 驱动杆件的设计；
- 制动器驱动弹簧的设计。

三、设计条件

1. 疲劳

应变片测量技术证实，在某些元件中确实承受有交变载荷。对提升机元件的无损探伤也证明了在一些元件中，特别是在带螺纹的元件中，确实存在着裂纹。因此，有必要建立一种以疲劳条件为基础的应力分析方法。围绕这一主题，“设计指南”花费了大量的篇幅，对许多问题作出解释，下了定义，并以古特曼（Goodman）图为基础作了说明。同时介绍了几个工作实例。

2. 应力集中

通过对某些元件的检验进一步证明，就应力集中而论，有些提升机元件的设计是有问题的。这在“设计指南”中提出了一些好的和不好的设计例子。优良的设计可以减少甚至避免应力集中的作用。“设计指南”提供了相当多的应力集中系数图表，可供设计各种提升机元件时选用。

3. 附加设计条件

“设计指南”还在以下几个方面提醒设计者注意：