

M. Fedorov

费德洛夫选集

矿井提升理论

中国工业出版社

矿井提升理论

任錦堂 胡宗武譯 陈肇庆校

中国工业出版社

原书根据苏联乌克兰科学院編輯出版委员会決議出版

編輯委員

苏联科学院通信院士 **A.C.伊里伊切夫** 技术科学副博士 К.И.霍米則維契(第一卷編者)

苏联乌克兰科学院通信院士 П.С.庫契洛夫 技术科学副博士 З.М.費德洛娃
技术科学博士 А.И.庫赫金柯 技术科学副博士 О.М.克雷桑諾夫斯基

責任編輯: 苏联乌克兰科学院院士 Г.Н.薩文

目 录

«費德洛夫选集»第一卷所闡述的

矿井提升科学思想及其意义	1
矿井提升机动力学理論发展簡史的評論	6

論提升运动学和动力学

矿井提升梯形速度图的动力学基础及其研究

引言	16
§1. 矿井提升速度图的概述	18
§2. 允許的平均提升速度	20
§3. 最簡單的提升速度图	21
§4. 最大提升速度的确定	24
§5. 起動加速度及停止加速度数值的选择	30
§6. 可能的最大提升速度	33

矿井諧和提升的理論和計算

序言	35
第一章 等直徑矿井提升机的动力平衡	
普遍方程式及其簡化	37
§1.	37
第二章 諧和提升的动力学	46
§2. 所得到的簡化动力平衡方程式在重尾繩、等直徑提升机 中的应用	46
§3. 对所获得的一般性公式的研究	47
§4. 对于 $F=kQ$ 的情况以另一形式表示的运动基本方程式	53
§5. 罐籠諧和运动規律的图解法	55
§6. 換算到絞筒圓周上的驅动力 F	57

§7. 提升机軸上的功率	59
§8. 原动机的轉矩	61
§9. $F_1 < k_1 Q$ 的情况	61
§10. $F > kQ$ 的情况	68

在有效載荷为各种不同数值时的諧和提升

§11. $Q_c - Q_v = Q$ 的情况或正常提升的情况	70
§12. $Q_c - Q_v > Q$ 的情况	70
§13. $Q_c - Q_v < Q$ 的情况	72
§14. $Q_c - Q_v = 0$ 的情况, 也就是罐籠載重相同的情况	77
§15. $Q_c - Q_v < 0$ 的情况	78

驅动力連續变化时的諧和提升

§16. 驅动力的一般方程式, 它的研究及数字例题	79
§17. 原动机发出的与時間成函数的力图	83
§18. 在力为变值的諧和提升时原动机所发出功率图	84
§19. 用阶梯式变化的和連續式变化的驅动力提升时, 最大功率的比較	92
§20. 所研究的两种諧和提升方法的总比較	94
§21. 計算4的公式	95

第三章 諧和提升的应用范围

§22. 概述及近代矿井典型提升条件的确定	97
§23. 对应于主绳极限直徑的諧和提升的极限深度	99
§24. 变化的空气阻力的相对值	102
§25. V 与 H 之間的关系	102
§26. w 与 Q 之間的关系	103
§27. 罐籠停歇時間与其型式的关系	105
§28. 空气阻力系数 f	106
§29. 空气阻力变化的真实規律的图解概念	110
§30. 罐籠的比阻面	112
§31. f 、 α 及 $f\alpha$ 的数值表	112
§32. 在 $w > V$ 的条件下諧和提升应用范围的界限	113

§33. 在 $w < V$ 的条件下諧和提升应用范围的界限	114
第四章 比較計算	120
§34. 概述及用于比較的提升設備的選擇	120
§35. 按梯形速度图工作的矿井等直徑提升設備的基本理論 方程式	123
§36. 当 $\Delta > 0$ 时重尾绳的情况	125
§37. 計算結果的比較	131
第五章 文献的評論	135
結論	139
字母符号	141
学位论文《矿井諧和提升的理論和計算》的提綱	148
A. 学位论文內容的提綱	148
B. 学位论文不包括但与它有关的内容的提綱	149

双曲线函数矿井提升的理論

序言	151
第一章	151
§1. 所研究的矿井提升設備运动部分的示意图	151
§2. 所研究的那类提升設備的所有运动部分的动力平衡 方程式	152
§3. 作为所研究类型的提升設備的一个例子的諸常数	156
§4. 当驅动力矩恒定时即当 $F = \text{常数}$ 时罐籠的运动規律	157
§5. 对于提升第一阶段的公式	160
§6. 提升最后阶段也就是减速阶段的公式	160
第二章	163
§7. 二阶段提升情况: 每一阶段中力为常数, 但数值不同, 各为 F_1 及 F_k	163
在 $F_1 = \text{常数}$ 及 $F_k = \text{常数}$ 时, 提升基本計算公式的研究 及推导	165
F_k 公式(55)的研究	169
提升时的功率	171

§8. 其他計算公式	173
§9. 提升設備工作方式的選擇	174
第三章	180
§10. 三阶段提升情况, 每一阶段中力为常数, 但数值不同, 各为 F_1 、 F_2 和 F_3	180
§11. 驅动力图	187
提升計算的概述	189
計算方法的選擇	189
双曲綫函数圓筒形絞筒提升系統与尾繩“戈培”系統之比較	189
附录 I 在已知 T 的情况下, 自动減速时的提升計算	191
附录 II 按最大速度的最小值的計算	202
附录 III 双曲綫提升第二阶段公式的推导	210
按新方法悬挂尾繩的矿井提升設備的动力理論和实际 意义	220
§1. 概述	220
§2. 提升設備运动部分动力平衡方程式的推导	222
§3. I 型及 II 型提升設備动力方式的比較	226
§4. 按其他特点比較 I 型及 II 型提升設備	228
§5. 关于 II 型提升設備用于几个水平提升的問題	230
結論	235

某些类型矿井提升設備的最有利动力方式

序言	236
§1. 概述	236
§2. 字母符号	238
第一章 按梯形速度图运轉的具有等重尾繩的提升設備	241
§3. 新的經濟方式的确定	241
§4. 罐籠运行時間乘数 m_t	246
§5. 与速度乘数有关的电动机設置功率的极小值。动力系数 的最小值	247
§6. 可能实现所研究的动力方式的条件及減速方法	248
§7. u_{min} 及相应 α_m 值的确定	250

§8. 飞輪减速及其最有利的梯形动力方式的可能条件	252
§9. 最有利的梯形动力方式时的电动机减速	253
§10. 最有利梯形动力方式时的发电减速	254
§11. 最有利梯形动力方式时的各种减速方法的結論	255
§12. 等重尾绳($q=p$)的提升設備按梯形速度图的最有利动力方式的系統計算	257
§13. 等重尾绳的戈培系統的最有利动力方式	259
第二章 一般数值的研究	261
§14. 罐籠行程的延續時間 T 对提升机电机功率的影响	261
§15. 等重尾绳提升設備中的某些最有利梯形动力方式的比較	264
§16. 最有利的动力方式的选择	267
摘要	269

矿井提升有害阻力

序言	271
I 矿井提升的空气有害阻力	273
§1. 罐籠运动时的空气阻力	273
§2. 矿井提升空气阻力系数的确定	276
§3. 井筒提升間中的空气速度	282
§4. 变化的空气阻力的相对值	283
§5. 空气阻力真实变化規律的图解概念	286
§6. 提升設備轉动部分运动时的有害阻力	287
II 罐耳与罐道之間的摩擦	290
§7. 由于地球旋轉而产生的罐耳与罐道間的摩擦	290
§8. 由尾绳悬挂綫而引起的罐耳与罐道間的摩擦	293
§9. 由罐道中心綫对垂直綫偏斜而引起的罐耳与罐道間的摩擦	295
結論	304
§10. 矿井提升摩擦乘数 f_0 的确定	307
§11. 矿井提升阻力系数	310
短文	311
1. 提升設備的动力方程式	311
2. 无尖峯的提升功率图及其动力方式	314

3. 无尖峯的提升.....	319
附录 矿井提升机理論发展簡述.....	326
§1. 在应用力学基础上提升理論的发展阶段.....	326
§2. 在电力驱动观点的基础上提升理論的发展.....	331
§3. 自动化提升机的动作理論.....	335

《費德洛夫選集》第一卷所闡述的 矿井提升科学思想及其意义

乌克兰科学院院士費德洛夫選集第一卷包括闡述矿井提升机动力学和工作方式的主要論文。

費德洛夫最全面而深刻地解决了矿井提升机动力学問題。

这可以从費德洛夫的論文《等直徑矿井提升机动力学理論发展簡史》(1923)中看出。在1899年以前出版的文献中,提升設備只按靜載荷进行計算(基迈、豪埃尔)。

从1899年到1913年已可看到,在解决矿井提升动力学問題上有某些进步,即注意到提升时的慣性力和有害阻力。这一进展是由于电动提升机出現而引起的。

費德洛夫在1914年发表的、作为考取学位的論文《矿井諧和提升的理論和計算》中,第一次全面地解决了等直徑矿井提升动力学問題。

費德洛夫推导出完整形式的等直徑矿井提升設備的普遍动力方程式,然后又把它化成簡單而且准确的形式:

$$F = KQ_p - A(H - 2x) + M \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

提升設備用經過專門計算的尾繩(其每米重量比提升主繩的重量大)而达到完全动力平衡問題的成功解决,使提升动力学的各种不同問題(無論从所采用的运动規律求提升設備的負荷,还是从提升設備的負荷求运动規律)初次获得解决。

費德洛夫是以旋轉力矩恆定为基础研究矿井提升动力学的先驅者。在費德洛夫的論文《矿井諧和提升的理論和計算》出版后四年,史列瓦尔德才发表了他的著作^①。在他的著作中,蒸汽提

① M. Schellewald, Dynamik, Regelung und Dampfverbrauch der Dampfördermaschine, 1918.

升机的工作方式，在提升第一阶段和最后阶段采用恒定旋轉力矩，在中間阶段采用不变最大提升速度。史列瓦尔德研究了当旋轉力矩为常数时与平衡程度有关的运动規律。就其精确和完整而論，史列瓦尔德的研究是远比費德洛夫逊色的。

費德洛夫提出的諧和提升，在他在世时沒有获得广泛应用，因为这种提升型式需要应用大量异步电动机不很經濟，在操纵变阻器时电能損失也很大。

在恢复希特勒侵占时期破坏的頓巴斯“阿尔乔木”矿井的提升设备时，烏曼斯基教授提出应用諧和提升以便充分利用保存下来的半部列欧納德系統成对交流机組，而且已經实现。

費德洛夫把提升阻力作为运动速度主要函数来考虑。費德洛夫在其一系列論文中，对有害阻力問題予以很大注意。在准备諧和提升的論文时，他用当时可行的方法，非常全面地、透彻地研究了有害阻力問題。

費德洛夫在收入本卷的論文《矿井提升有害阻力》(1913)中，詳尽地研究了：

- 1) 罐籠沿井筒运动时，在进风或回风风流中的空气阻力；
- 2) 提升设备旋轉部分运动时的有害阻力；
- 3) 沿罐道运动时的摩擦；与此同时，以費德洛夫素有的准确性和实事求是态度研究了以下問題：由于地球旋轉以及尾绳位置綫而引起的罐耳(导向爪)与罐道的摩擦。

这些研究使費德洛夫能够确定在不同提升条件下有害阻力的影响范围，并且給出完整的提升动力方程式和近似的提升动力方程式。这些方程式后来成为解决矿井提升动力学实际問題的基本的和通用的方程式。

当开采更深部有用矿层和提升设备在頻繁的工作状况下工作时，产生了需要考虑有害阻力問題和有必要使容器具有适合形状以便大大减小这些阻力的問題。这要求认真地研究这些阻力的規律和以这种或那种图表来計算它。在这样情况下，必須在矿井提升方程式中的第一項引入不破坏方程式一般結構的新函数。

費德洛夫的研究，現在应当以高速运动的空气动力阻力新概念来繼續研究。

提升設備动力方程式，在設計提升設備工作方式、解决有关提升設備的合理选型以及运动质量平衡程度等問題时起着重大作用。

在以分析方法研究提升設備的工作方式时，动力方程式是通用的。

費德洛夫創立的等直徑提升設備动力完全平衡(諧和提升)思想，后来馬卡洛夫教授曾用来解决变直徑提升設備的动力完全平衡問題(用經過專門計算的絞筒断面，亦即用按一定規律改变纏繞直徑的方法)。

关于把提升各个阶段利用恆定旋轉力矩的思想推广到其它提升設備中的問題，費德洛夫在他給莫斯科矿业学院学生編的讲稿中，曾不止一次談到。最后他完成了自己的研究，写成非常詳尽的論文《双曲綫函数提升的一般理論》(1928)。

在許多年中，这些問題曾由斯克雅尔斯基教授研究用于提升电动机的不同工作方式。

費德洛夫在論文中研究了无平衡尾绳的等直徑提升設備的工作方式，从而导致有双曲綫函数的一般动力方程式的解决。

費德洛夫提出了解决提升各个阶段工作方式与設備給定的計算参数(提升高度、总的运动延續時間及有效提升載荷)相符合以及这些工作方式綜合協調問題的分析方法。

在提升設備自动操纵发展到今天的情况下，已有可能根据电动机的特性設計提升設備工作方式。提升动力学課題的解决导致提升电动机在各个提升阶段以不变轉矩運轉时的合理操纵(見斯克雅尔斯基教授的著作)。

这証明了費德洛夫提升动力学論文具有很大現實性，而且也証明了利用論文中所拟定的方法来直接解决与驅動裝置特性及操纵規律有关的动力学問題是可能的。

在技术科学副博士庫赫金柯的論文《矿井提升机理論发展簡

述》(見附录)中指出了費德洛夫的一般动力方程式按照提升設備电力驅動装置的特性及其操纵过程发展的途徑。这丰富了矿井提升理論,并奠定了解决自动操纵提升設備技术問題的理論基础。

在提升机自动操纵課題範圍內,有关提升設備合理工作方式的問題(提升电动机的充分利用和設備的高效率使用)具有很大现实性。

提升設備最合理的工作方式問題首先由費德洛夫提出,并且很成功地加以解决,同时以他所具有的深刻預見,又将这些研究成果进一步应用到《某些类型矿井提升設備的最有利动力方式》(1926)的論文中。

費德洛夫首先在提升設備的計算中引用新的綜合参数。这种参数估計到提升設備动力方式的质量。属于这种綜合参数的有:

1)提升設備动力系数 ρ ,它表示电动机有效(等值)功率(不考虑齿輪傳动装置中的損失)与矿井功率之間的比值;

2)动力常数 c ,它是提升設備运动部分的換算质量及提升時間的函数。这一綜合参数在确定提升設備实现規定工作方式的困难程度方面是十分成功的和完善的;

3)速度乘数 α ,它表示最大提升速度对平均提升速度的比值。

作为范例,費德洛夫研究了提升設備的最有利的工作方式(有异步提升电动机,以及平衡尾绳与提升主绳每米重量相同)。

費德洛夫解决提升設備最有利工作方式的問題是为了得到电动机的有效功率、确定合理提升時間及規定它的最大速度的相应数值。

同时,在費德洛夫給矿井設計院提的意見书中,介紹了他根据提升設備运轉电能最小年消耗而制定的确定最有利的有效提升載荷的方法。

費德洛夫的确定提升設備最有利方式的論文曾引起技术界和科学界的注意,而且为烏曼斯基教授和叶瀾契克教授在研究提升設備的靜力不平衡性、提升時間与电动机过载能力对提升电动机

的有效功率和设备总效率的影响时，予以发展。

用費德洛夫所拟定并由其学生继承的提升设备最有利工作方式的研究原则及方法，可以设计出具有合理工作方式的提升设备，这在提升机采用自动控制下将显示很大效果。

因此，《費德洛夫选集》第一卷所阐述的关于矿井提升动力学的科学思想，决定了这一领域内工作的多年发展，使有可能在科学及实际方面解决一系列重要的问题，就是在广泛发展新的矿建工程、开采更深部有用矿床、矿井生产能力不断增长，因而对提升设备的工作方式提出新的，更高要求的今天，仍有其现实性。

苏联科学院通讯院士 A.C. 伊里伊切夫

1948年3月28日

矿井提升机动力学理論 发展簡史的評論

(由乌克兰文譯成俄文)

如果在地球表面將很大的物体从低的地方移动到較高的地方,这个移动的垂直高度 H 一般以米来量度,而运动速度 v 以米/分来量度。在这种情况下,显然,提升鋼絲繩(或鏈条)的重量及慣性力均相当小,因此可不計算它們。

但在矿山条件下必須將物体从地下用近代矿井提升設備提升到地面上时,情形就不同了。这里,高度 H 就要用几百米来量度,而速度 v 則要以米/秒,甚至每秒几十米来量度。此时,提升鋼絲繩的重量及慣性力可能超出所提升的有效載荷重量好几倍。

根据上述情况可以看出,矿井提升設備不仅值得采矿工程师注意,而且值得机械师注意。了解矿井提升設備动力学領域內的科学成就對他們都不是无益的。

在本文中,我們仅限于叙述等直徑絞筒提升机的动力学理論。

可以預料到本文的讀者中将有一些人不知道矿井設備的結構,但他們有兴趣將它作为一个系統的动力学的运用对象,因此我认为以示意图 1 首先簡單地向他們介紹一下这方面的問題是必要的。

图 1 为垂直井筒 ss 的纵剖面图,井筒中用隔板 AA 隔为两个提升間,两只罐籠 k 及 k_1 即沿着提升間运动:重罐籠——向上,而空罐籠(沒有負荷的)——向下,用垂直罐道导向(图中未示出)。罐籠連接于鋼絲繩 $abcd$ 及 $a_1b_1c_1d_1$ 的端点 d 及 d_1 上,而鋼絲繩固定在絞筒上并繞过天輪 v 及 v_1 进入井筒提升間。尾繩 i_0i_1 連接于罐籠的底板上,它的繩环总是位于井下車場水平 nm 之下。

在一根軸 w 上可以安两个(图 2)或一个(图 3)絞筒。

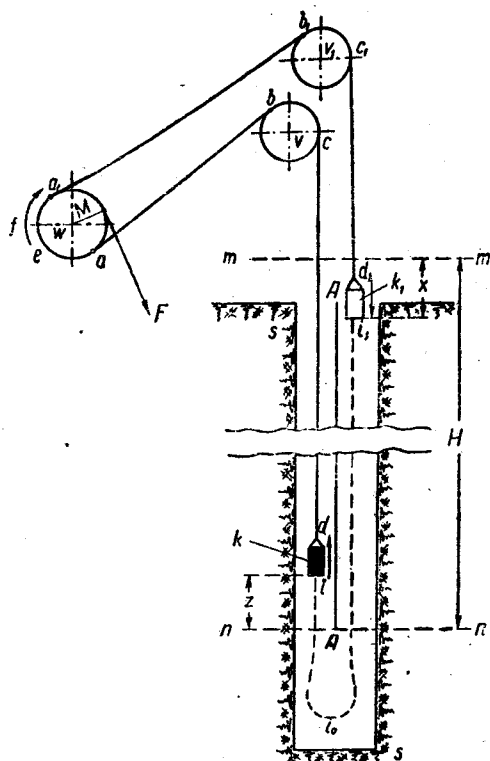


图 1

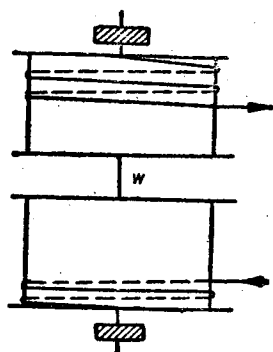


图 2

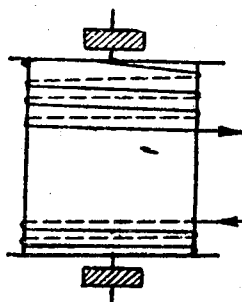


图 3

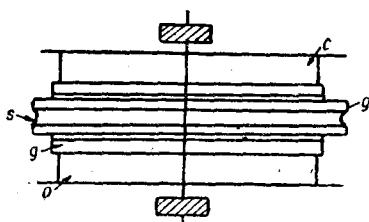


图 4

常常在軸 w (图 1) 上安装如图 4 所示的所謂摩擦輪或戈培輪代替絞筒。

在由鍋爐鋼板鉚成的窄絞筒 cc 上的槽 gg 中鋪設着扇狀弧形的木塊，這些木塊構成在外表面上具有繩槽 s 的環。在這種情形下，全部鋼

絲繩 $dcbaea, b, c, d$ 中的部分 aea 位於繩槽 s 中，這一部分鋼絲繩在繩槽產生摩擦力。這種具有摩擦輪的設備稱做戈培式提升系統。在具有絞筒的設備中，每一罐籠有一單獨的鋼絲繩，其上端固定於絞筒 M 上 (图 1)。由於加在絞筒表面上的切綫力 F 的作用，而使絞筒繞其本身的軸綫以箭頭 f 的方向作旋轉運動，因此，將重罐籠 k 提上來，而將空罐籠 k_1 下放，如罐籠右面的箭頭所示。

當罐籠 k 的底板與井口車場水平 mm 相平，而空罐籠 k_1 的底板與井底車場水平 nm 相平時，經特殊的調動以後將一個或兩個罐籠放在所謂罐座上。然後，由罐籠卸出提上來的荷載並重新裝載，以便罐籠作同樣的新的運動，但此時該罐籠的作用改變。

在進行了上面的關於提升設備的敘述以後，就可轉到本文的主題上來。

應當指出，西歐關於礦井提升設備的文獻一般是不少的，在定期的刊物中，這些文章特別多。戰前^①，在德國甚至还出版了專門雜誌《運輸工程》(Fördertechnik)，其中就有不少專門講述關於礦井提升設備的文章。但是不能說提升機動力學的著作已經很多了。當然，其中比較好的文章被用來作為編寫專門論述書籍的材料，這些書籍中特別受到歡迎的是下列一些（按年月次序排列）：

① 指的是第一次帝國主義世界大戰。