

程兆荣 编著

电动铲运机设计



22.4

成都科技大学出版社

TD422.4

2
3

BX09/11

电动铲运机设计

程兆荣

成都科技大学出版社

D

500629

电动铲运机设计

编 著 程兆荣
责任编辑 马济永

成都科技大学出版社出版

四川省新华书店 经销

新都县文教局印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7

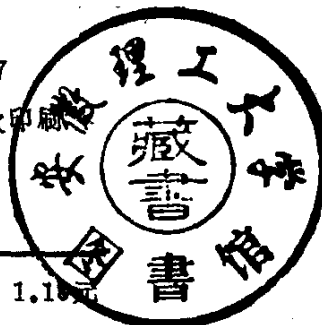
1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数：1—1500册 字数：15万字

ISBN7-5616-0118-3/TD·4

统一书号：15475·51

定价：1.10元



前 言

电缆供电的电动铲运机是70年代初西方石油危机后发展起来的用于地下矿山和地下工程的一种高效、多能的装、运、卸设备。它消除了柴油铲运机对地下环境的污染、热辐射以及噪声等问题，是近年来国内外发展起来的一种新的采掘设备。据国外资料统计，电动铲运机占地下铲运机总数的比例，已从1973年的3%上升到1983年的15%。在南非（存在深井通风问题）和瑞典（有关安全与健康条例限制了柴油设备在地下的使用）电动铲运机正得到较广泛的应用。

八十年代初，我国冶金工业部少量引进了美国Wagner（瓦格纳）公司的EHST—IA型电动铲运机，在金厂峪金矿作工业试验，取得了较好的效果。1984年7月15日至7月18日对我国第一代电动铲运机WJ—1.5D（江苏扬州冶金机械厂制造）和WJ—76（江西南昌通用机械厂制造）两种型号通过了中国有色金属工业总公司级的技术鉴定，并安排了批量生产。目前，我国有关院校、制造厂、设计研究等单位正在研制新型的电动铲运机，以适合我国地下矿山与地下工程的特点。可以预见，电动铲运机在我国将有新的发展。

本书较系统地介绍了电动铲运机的发展，国内外电动铲运机的类型、结构特点，电动铲运机总体参数的选择以及主要部件的设计要点，并结合介绍了现代设计法在电动铲运机设计中的应用。

本书可作为高等院校矿业机械、工程机械、采矿工程等

专业的学生学习电动铲运机设计时的教材，也可作为有关行业的工程技术人员参考书。

由于编者水平所限，对书中的错误与缺点，诚恳欢迎读者批评指正。

编者1987年4月

目 录

前 言	(1)
第一章 电动铲运机总论	
§ 1—1 由柴油铲运机到电动铲运机	(1)
§ 1—2 电动铲运机与柴油铲运机的比较	(3)
§ 1—2—1 电动铲运机有较高的设备能力和较大的生产率	(3)
§ 1—2—2 电动铲运机的综合采矿成本低	(4)
§ 1—2—3 电动铲运机的可靠性	(6)
§ 1—2—4 使用电动铲运机改善了地下作业环境	(7)
§ 1—2—5 机动性比较	(8)
§ 1—3 电动铲运机的主要结构、技术规格	(9)
§ 1—3—1 电动铲运机主要结构概述	(9)
§ 1—3—2 几种电动铲运机的结构特点	(10)
§ 1—3—3 电动铲运机的主要技术参数	(25)
第二章 电动铲运机的总体设计	
§ 2—1 概述	(33)
§ 2—2 用理论分析法确定电动铲运机的主要性能参数和尺寸参数	(35)
§ 2—2—1 电动铲运机生产率的计算	(35)
§ 2—2—2 电动铲运机的斗容	(36)
§ 2—2—3 电动铲运机的额定载重	(39)
§ 2—2—4 电动铲运机的重量G	(39)

§ 2—2—5	电动铲运机电机功率·····	(42)
§ 2—2—6	电动铲运机的主要尺寸·····	(44)
§ 2—3	用最小二乘拟合决定电动铲运机的主要 技术参数·····	(45)
§ 2—3—1	最小二乘拟合的基本方法·····	(45)
§ 2—3—2	电动铲运机额定载重量与各技术 性能参数间的关系式和线图·····	(48)
§ 2—3—3	线图的用法·····	(56)

第三章 电动铲运机工作装置的设计

§ 3—1	概述·····	(58)
§ 3—2	铲斗的设计·····	(59)
§ 3—2—1	对铲斗结构和外形的要求·····	(59)
§ 3—2—2	铲斗的断面形状和基本参数·····	(61)
§ 3—3	连杆机构的设计·····	(64)
§ 3—3—1	要求与方法·····	(64)
§ 3—3—2	电动铲运机连杆机构的优化设 计·····	(66)
§ 3—3—3	工作装置的强度计算·····	(76)
§ 3—3—4	工作装置动臂的断裂力学 计算·····	(78)

第四章 电动铲运机的传动系统

§ 4—1	主传动（行走系统）的传动链·····	(83)
§ 4—1—1	主传动链的形式·····	(83)
§ 4—1—2	各种传动方案的分析·····	(84)
§ 4—1—3	各种传动方案的比较·····	(87)
§ 4—2	鼠笼型电动机与液力变矩器的匹配·····	(91)

§ 4—2—1	直流电动机与交流电动机 比较·····	(91)
§ 4—2—2	电动铲运机电动机的配置·····	(93)
§ 4—2—3	鼠笼型电动机与液力变矩器匹 配·····	(94)
§ 4—3	电动铲运机的静压传动设计·····	(111)
§ 4—3—1	容积调速系统方案的选择·····	(112)
§ 4—3—2	静压传动基本参数的确定·····	(117)
§ 4—4	主传动系的机械传动设计·····	(121)
§ 4—4—1	速比分配及挡数确定·····	(121)
§ 4—4—2	计算载荷的确定·····	(125)
§ 4—5	电动铲运机的辅助传动装置·····	(126)
第五章 电动铲运机电缆缠绕装置的设计		
§ 5—1	电动铲运机电缆的结构及其选择·····	(129)
§ 5—1—1	对电动铲运机电缆的要求·····	(129)
§ 5—1—2	电缆的结构·····	(133)
§ 5—1—3	电缆截面的选择·····	(134)
§ 5—2	电缆缠绕装置的设计·····	(141)
§ 5—2—1	对缠绕装置的要求·····	(141)
§ 5—2—2	卷绕装置的构成与设计·····	(142)
§ 5—2—3	电缆缠绕装置的液压系统·····	(149)
§ 5—3	缠缆卷筒的液压传动计算·····	(156)
§ 5—3—1	油马达最大扭矩的计算·····	(156)
§ 5—3—2	油马达流量的计算·····	(157)
§ 5—3—3	系统工作压力的计算·····	(159)
第六章 电动铲运机的液压控制系统与电气系统		

§ 6—1	电动铲运机的液压控制系统·····	(160)
§ 6—1—1	电动铲运机主传动的液压控制系统·····	(160)
§ 6—1—2	电动铲运机工作装置的液压控制系统·····	(163)
§ 6—1—3	电动铲运机转向装置的液压控制系统·····	(171)
§ 6—1—4	制动装置的液压控制系统·····	(173)
§ 6—2	电动铲运机的电气系统·····	(184)
§ 6—2—1	电缆漏电的监控·····	(184)
§ 6—2—2	WJ—1.5D型电动铲运机的电气系统·····	(186)
§ 6—2—3	WJ—76型电动铲运机的电气系统·····	(189)
§ 6—2—4	DLK—1 电动铲运机的电气系统·····	(194)

第七章 电动铲运机的发展动向

§ 7—1	解决电源的供给问题·····	(197)
§ 7—1—1	用卧式卷筒的缠缆装置·····	(197)
§ 7—1—2	移动插销架空线供电的电动铲运机·····	(198)
§ 7—1—3	蓄电池供电的电动铲运机·····	(199)
§ 7—1—4	双动力源的铲运机·····	(200)
§ 7—2	扩大电动铲运机的使用范围·····	(201)
§ 7—3	其它技术发展动向·····	(204)
参考文献	·····	(210)

第一章 电动铲运机总论

电动铲运机以电能作为动力源，电能可来自电缆、架空导线(或导轨)以及蓄电池。目前国内外生产和广泛使用的是电缆供电的电动铲运机，本书全部内容都是围绕电缆电动铲运机进行介绍。

§ 1 — 1 由柴油铲运机到电动铲运机

六十年代初加拿大国际镍公司所属矿山首先使用了柴油铲运机。由于柴油铲运机具有高效、高速、一机多能、机动灵活以及生产费用低等突出优点，因此相继在世界各国地下矿山与地下工程中得到了广泛使用。以柴油铲运机为主体的无轨开采系统已引起了采矿工艺的极大变革，在国外无轨采矿比重已达 $2/3$ 。从我国冶金工业部1975年首批引进五台波兰LK—1型斗容 2 m^3 的柴油铲运机以来，已先后引进了200多台不同型号的柴油铲运机。但是设备使用率低（不足 $1/3$ ），设备完好率也差。

柴油铲运机采用铰接车架、液力传动（或全液压传动）轮胎行走、液压操作，很适合地下巷道或采场的作业条件。但是，柴油机所排出的废气却又污染了地下的作业环境（所产生的NO、CO等有害气体；热辐射使地下作业环境温度升高、使地下产生雾气，能见度差以及噪声等）。为了克服这

些缺点，可对柴油机废气进行净化、增设通风设施、加强对地下的通风量等办法解决。但这必然引起设备投资、采矿（或地下工程）作业成本的增加。

为了解决柴油铲运机所排废气污染地下作业环境的问题，以及对付七十年代初西方石油危机所带来的石油供应紧张的局面，在1972年，加拿大Jarvis—Clark（贾维斯—克拉克）公司研制成功了第一台斗容为1码³（0.76m³）的电缆供电的电动铲运机。此后，电动铲运机在世界各国有很大发展，加拿大、美国、英国、法国、芬兰、联邦德国，以及苏联、澳大利亚等国已生产了80多种不同型号规格的电动铲运机。几乎所有生产柴油铲运机的厂家都生产了电动铲运机，而且不少厂家还形成了自己的系列产品。例如瓦格纳公司的EST系列有8种型号；Eimco（艾姆科）公司的Eimco 900（E）系列有16种型号；联邦德国GHH（格哈哈）公司的LF（E）系列有9种型号；贾维斯—克拉克公司的JS（E）系列有5种型号；法国矿山设备公司的CT（E）系列有6种型号；芬兰ARA公司的TORO（托洛）（E）系列有3种型号等。生产不同型号与规格的电动铲运机，以适应地下采矿作业和地下工程的不同需要。我国除了少量引进作为工业试验外，并研制了WJ—1.5D和WJ—76两种型号的国产第一代电动铲运机。现已通过了技术鉴定，安排了批量生产。

随着在生产上所使用的电动铲运机数量的日益增多，使用经验的积累，以及新型电动铲运机的研制，电动铲运机比柴油铲运机的优点会更加明显。可以相信，电动铲运机的使用、生产和研制将会有更大的发展。

§ 1—2 电动铲运机与柴油铲运机的比较

电动铲运机保留了柴油铲运机的技术特征，却以电动机代替了柴油机作动力机，因此增加了电缆缠绕装置等设施，在一定程度上限制了电动铲运机的机动性。1980年以来瑞典的Boliden（波立顿）公司所属矿山对电动铲运机与柴油铲运机进行了生产对比试验，现综合分析如后。

§ 1—2—1 电动铲运机有较高的设备能力和较大的生产率

瑞典的一些金属矿山在房柱采矿法中用联邦德国生产的

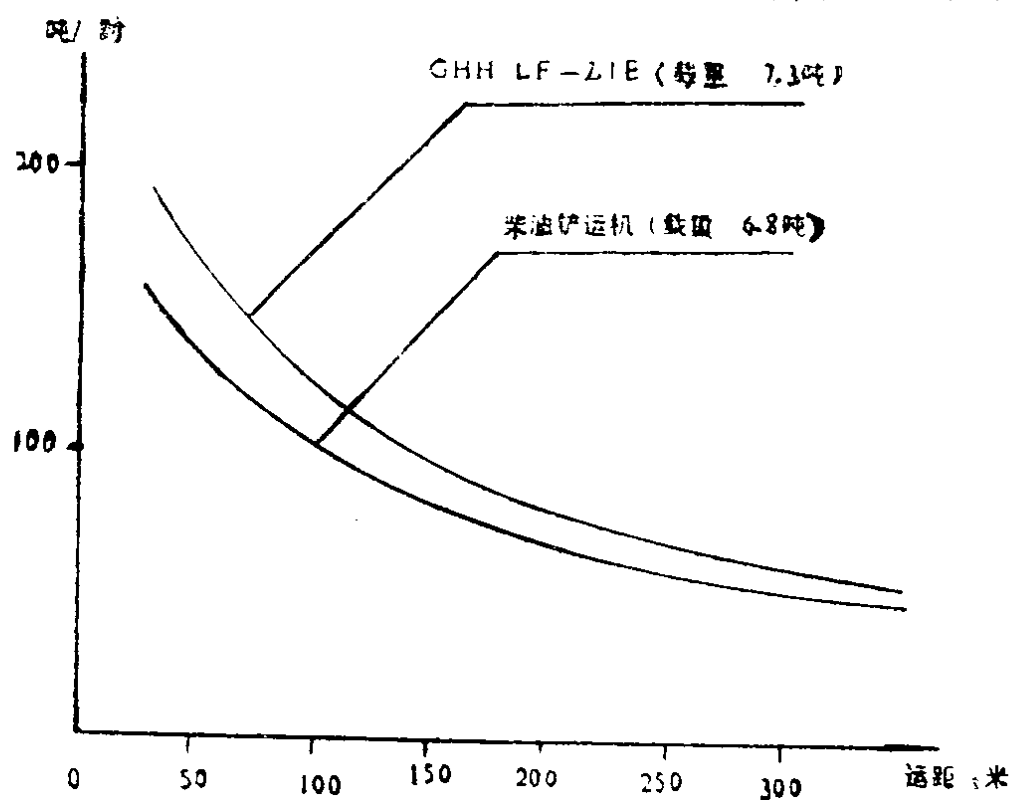


图1 电动铲运机与柴油铲运机生产率对比曲线

LF—7.1E型（装载量7.3t）电动铲运机与相近装载量（6.8t）的柴油铲运机进行了8个月的对比运转试验。由图1可知，电动铲运机比同级的柴油铲运机有稍高的生产率。

由于电动铲运机的电动机比柴油机有较高的过载能力（过载能力约为额定扭矩的二倍），使铲斗有较高的插入能力；便于铲斗在插入料堆的过程中更好地装满铲斗。因此，电动铲运机就有较高的设备能力和生产率。

§ 1—2—2 电动铲运机的综合采矿成本低

表1为对比试验期间每台机——时采矿作业成本比较表。

表1 电动铲运机与柴油铲运机作业成本比较

相对成本	电 动 铲 运 机	柴油铲运机
	105	100
作业成本组成部分：		
驾驶员工资	41	43
能 源	5	14
轮 胎	24	25
运行和维护		
铲 斗		
事故和修理		
电 缆	13	—
电缆卷筒	2	—
其它电气修理	3	—
其它修理	12	18
	100%	100%

由表 1 可知：

1. 电动铲运机的每台机一时采矿作业成本稍高于柴油铲运机。

2. 电缆、电缆缠绕装置及电气修理约占电动铲运机作业成本的18%。随着电动铲运机使用经验的积累，改善运行道路，特别是设计制造出更好的电缆缠绕装置，这部分作业成本还会进一步下降。因此，两种能源的铲运机的每台机一时作业成本将会逐渐接近。

3. 特别要强调的是综合采矿成本，电动铲运机要比柴油铲运机低。从设备的直接购置费比较，电动铲运机要比同级柴油铲运机高，图 2 为两种能源的铲运机整台设备的价格对比（以斗容 2 m^3 的LF—4.1型柴油铲运机为100），从图2可知，随着装载能力的提高电动铲运机比柴油铲运机的相对价格有所降低。如果考虑通风设施及通风费用等间接费，则使用电动铲运机的优点则更突出。波立顿公司在 Udden

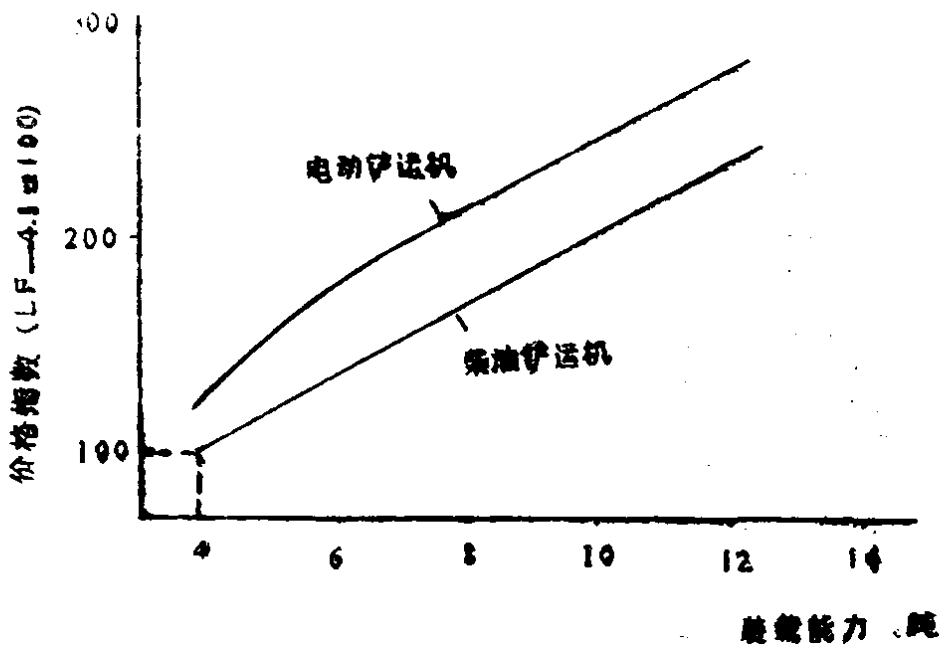


图 2 电动铲运机与柴油铲运机的价格对比

Mine (尤登矿) 的试验表明: 该矿年产矿石350,000t, 六十年代初使用柴油铲运机时, 通风系统的通风量为200,000 m³/h; 即每年要向井下输送1,000,000t空气, 通风机以及在冬天空气预热系统所消耗的电费每年约为 6×10^6 KW--h。计算表明, 如果所用的全部柴油铲运机用电动铲运机代替, 则通风设施及通风费用可减少一半。如果再考虑电动铲运机的装载能力高于柴油铲运机, 故电动铲运机的综合采矿成本较低。因此, 采用电动铲运机的矿山, 在经济上就有明显的效益。

§ 1—2—3 电动铲运机的可靠性

设备的可靠性是任何矿山设备在设计与制造时所要考虑的关键因素, 表2是在试验期间电动铲运机的故障形式及每1,000作业小时的事故数。

表2 试验期间电动铲运机的可靠性

故障形式	数 量	每1000作业小时的事故数
液压系统	18	10.9
电缆和电缆卷筒	4	2.4
其它机械故障	22	13.3
其它电气故障	2	1.2
总 数	46	27.8

波立顿公司指出: 每台机一时电动铲运机消耗于电气修理与机械修理的时数要稍低于柴油铲运机的平均数。应该指出: 目前生产使用的电动铲运机广泛采用三相鼠笼型电动机,

而鼠笼型电动机在服役期间几乎不需要任何维修，并且电动机的寿命要比电动铲运机本身的寿命还要长。但柴油机的维修量却比电动机大得多，而且可靠性也比电动机差。

§ 1—2—4 使用电动铲运机改善了地下作业环境

对地下作业环境的污染包括废气排放、热辐射与噪声扩散三个方面。从这几方面进行比较，则电动铲运机比柴油铲运机有较大的优越性。

经测定：采矿工业中常用的两段燃烧式12红柴油机，每台时排放的废气量约 $1,300\text{m}^3$ ，其中包括一氧化碳（每小时约排放0.25公斤）、氮氢化合物（每小时约排放0.60公斤）烟尘（每小时约排放0.02公斤）等对人体有害的污染物，而电动铲运机不排放废气，故改善了地下作业环境。

从热辐射比较，考虑电动机、柴油机的热效率、各液压系统与冷却装置所散发的热量，综合比较电动铲运机所产生的热量不到同级柴油铲运机的30%。以电动铲运机代替柴油铲运机时，测定地下环境温度可平均降低 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

从噪声扩散比较，在司机座的当量噪声电动铲运机为98分贝（A），柴油铲运机为101分贝（A）。距原动机1米测得的数据说明，柴油机的吸气噪声远远超过电动铲运机，而电动铲运机在任何频率下其测值不超过76分贝（A）。从高频范围噪声比较，柴油铲运机的噪声级要稍低一些；但电动机所产生的高频噪声容易被护耳器衰减，有利于电动铲运机驾驶员的健康。

地下作业环境的改善，可进一步提高劳动生产率。

§ 1—2—5 机动性比较

由于电动铲运机需要用电缆供电,以及电缆长度的限制,因此被认为限制了电动铲运机的机动性与活动范围。但是,当采用固定装载点的采矿方法或恰当的采矿设计与巷道布置,以及改进电缆缠绕装置,则电动铲运机的机动性仍与柴油铲运机相当。据资料介绍,在房柱采矿法中电动铲运机给自卸汽车装矿,在分层充填采矿法中电动铲运机往溜井卸矿,在房柱采矿法中电动铲运机往破碎站卸矿以及在巷道掘进中电动铲运机给矿车装载岩石等布置中,只要供电点、运行线路、作业程序有合理安排,则电动铲运机的机动性并未受到限制。

电动铲运机与柴油铲运机除了以上各点的比较外,亦可从功能分析进行比较,如表3所示。

表3 铲运机的功能分析比较

原动机 对比项目	柴油机	电动机		备 注
		电缆供电	蓄电池供电	
对环境的污染程度	1	4	4	4—优
噪 音	1	3	3	3—良
能量利用	3	4	3	2—中
储能的能力	4	4	1	1—劣
机 动 性	4	1	3	
动力费用	2	4	3	
维 修 量	2	4	2	
发展的成熟程度	4	3	1	
总 分	21	27	20	