

工程机械维修速查丛书

# 叉车维修速查

王苏光 王凤喜 主编  
蒋世忠 审稿

■ CHACHE WEIXIU SUCHA



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



工程机械维修速查丛书

# 叉车维修速查

主编 王苏光 王凤喜  
参编 徐 游 宁国平 耿 雷 王忠超  
审稿 蒋世忠



机械工业出版社

本书介绍国内外叉车现状与发展,叉车维修必备的基础知识;重点介绍叉车的操纵装置、工作装置、液压系统、电气系统,蓄电池叉车,发动机和传动系统的维修。为了使叉车选用者便于了解各类叉车的基本情况,本书还列表介绍了常见叉车型号及技术参数。附录中列出国内外润滑油、脂品种的对照,叉车主要生产厂的联系方式。

本书取材广泛,浅显易懂,针对性强。可供叉车行业的设备管理人员、维修人员、操作人员、设计人员使用,也可供从事物流工作的广大工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

叉车维修速查/王苏光,王凤喜主编;徐游等编写.  
—北京:机械工业出版社,2011.12  
(工程机械维修速查丛书)  
ISBN 978-7-111-36435-1

I. ①叉… II. ①王…②王…③徐… III. ①叉车-  
维修-技术手册 IV. ①TH242.07-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第231287号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:沈红 责任编辑:沈红 蒋有彩  
版式设计:霍永明 责任校对:吴美英 张莉娟  
封面设计:陈沛 责任印制:杨曦  
北京京丰印刷厂印刷  
2012年3月第1版·第1次印刷  
184mm×260mm·32印张·796千字  
0 001—3 000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-36435-1  
定价:82.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着经济全球化、生产柔性化、消费多样化、流通高速化时代的到来，企业生产资料的获得和产品销售范围的日益扩大，生产、物资流通、商品交换及其管理方式都发生了深刻的变化，由此带来全球范围内现代物流产业的迅猛发展。

在原材料、在制品、成品从供应地向需要地有效转移的全过程中，用来完成运输、装卸搬运、储存、分拣、包装、流通加工、配送等方面工作的设备，称为物流机械设备。物流机械设备中的装卸、搬运机械的种类很多，主要有叉车、搬运车、牵引车、单斗车、(集装箱)跨运车、挂车等。

为了满足交通、港口、码头、机场、货场、仓库、车站，以及工矿、企业等建筑工地的从业人员的需求，使他们能够便捷地熟悉和掌握现有叉车的使用和维修，并做到合理选用，更快速查到叉车的主要技术参数，为叉车维修、改进，以及叉车产品设计、订货、造型等提供数据，机械工业出版社组织编写了《叉车维修速查》。该书适合于叉车行业的广大工程技术人员和设备管理、维修人员、叉车操作人员使用，也可作为专业培训教材。

本书编写分工情况如下：第1章宁国平；第2章徐游；第3、4章耿雷；第5章王忠超；第6、7章王凤喜；第8、9、10章王苏光。全书由王凤喜整理，蒋世忠审稿。本书在编写过程中得到了中国第二重型机械集团公司总经理石柯、副总经理曾祥东、装备部长郭国英，万信公司总经理王权、党委书记梁健等的热情帮助和支持，在此表示感谢！

编 者

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 前言                        |     |
| 第1章 概述                    | 1   |
| 1.1 叉车与有关设备的发展            | 1   |
| 1.2 现代叉车的发展趋势             | 5   |
| 1.3 叉车尾气排放标准及国产叉车<br>达标现状 | 7   |
| 1.4 电动叉车的交流动力控制技术         | 11  |
| 1.5 新型搬运设备随行叉车的研制         | 13  |
| 1.6 伸缩臂叉车国内外发展趋势          | 18  |
| 第2章 叉车维修必备的基础知识           | 23  |
| 2.1 叉车的使用特点及叉车属具          | 23  |
| 2.2 国内外叉车的组成              | 30  |
| 2.3 国内外叉车的型号              | 32  |
| 2.4 叉车的分类                 | 33  |
| 2.5 叉车的技术参数               | 34  |
| 2.6 搬运车辆的特点及选用            | 35  |
| 2.7 叉车安全操作注意事项            | 37  |
| 2.8 叉车司机安全操作规则            | 41  |
| 2.9 工程机械防锈涂装技术            | 45  |
| 2.10 叉车维修概论               | 48  |
| 2.11 叉车修理后的试车检验           | 65  |
| 第3章 操纵装置                  | 67  |
| 3.1 行驶系统                  | 67  |
| 3.2 制动装置                  | 71  |
| 3.3 叉车转向系统                | 77  |
| 第4章 工作装置                  | 86  |
| 4.1 门架                    | 86  |
| 4.2 叉架和滚轮                 | 88  |
| 4.3 工作装置的组装、调试及故障<br>排除   | 95  |
| 第5章 液压系统                  | 97  |
| 5.1 齿轮泵                   | 97  |
| 5.2 多路换向阀                 | 100 |
| 5.3 起升液压缸                 | 102 |
| 5.4 倾斜液压缸                 | 103 |
| 5.5 液压系统其他部件的检验与修理        | 105 |
| 5.6 液压系统的故障及排除方法          | 106 |
| 第6章 电气系统                  | 108 |
| 6.1 电源部分                  | 108 |
| 6.2 用电部分                  | 117 |
| 第7章 发动机的维修                | 121 |
| 7.1 发动机的拆下和解体             | 121 |
| 7.2 机体和曲轴连杆机构             | 122 |
| 7.3 配气机构                  | 130 |
| 7.4 润滑系统                  | 134 |
| 7.5 冷却系统                  | 136 |
| 7.6 燃料系统                  | 138 |
| 7.7 点火系统                  | 151 |
| 7.8 试车与常见故障的排除            | 153 |
| 第8章 传动系统的维修               | 156 |
| 8.1 离合器                   | 156 |
| 8.2 变速器                   | 161 |
| 8.3 液力传动装置                | 164 |
| 8.4 联轴器                   | 170 |
| 8.5 驱动桥                   | 170 |
| 8.6 差速器                   | 172 |
| 8.7 半轴和半轴套管               | 173 |
| 第9章 蓄电池叉车                 | 174 |
| 9.1 蓄电池叉车结构               | 174 |
| 9.2 蓄电池叉车技术参数             | 175 |
| 9.3 蓄电池叉车修理规范             | 176 |
| 9.4 蓄电池叉车的充电设备            | 194 |
| 第10章 常见叉车的型号及技术<br>参数     | 197 |
| 10.1 内燃叉车                 | 197 |
| 10.2 平衡重式电动叉车             | 264 |
| 10.3 仓储叉车                 | 297 |
| 10.4 其他                   | 434 |
| 附录                        | 461 |
| 附录A 国内外润滑油、脂品种对照          | 461 |
| 附录B 叉车主要生产厂(或代理商)<br>联系方式 | 495 |
| 参考文献                      | 508 |

# 第 1 章 概 述

## 1.1 叉车与有关设备的发展

物料搬运机械主要是企业的车间、车站、码头、机场、货场、建筑工地、矿山、商业及军用物资等，内外进行物料装卸、升降、堆垛、运输及储存的机械设备。一般包括起重机械、输送机、装卸机械、搬运车辆及仓储设备等。

物料搬运机械的应用在生产中有着重要的意义，这主要因为物料搬运量十分巨大。例如：有些钢铁联合企业，每生产 1t 钢材，需要搬运的原材料、燃料、半成品、成品和废料等的总量常达 50t 以上；另外，物料搬运所需的费用高，工业国家用于物料搬运的费用常占产品成本的 25% 左右；物料搬运占用劳动力多，在机械化程度不高的企业里，搬运工人常占工人总数的 15% 以上；在人力搬运不能承担的重物，和高温或有放射性物质的区域作业时，必须利用机械进行搬运。因此在生产中，应对物料搬运系统给予足够的重视，并尽量采用先进适用的物料搬运机械，以减轻劳动强度，减少产品损伤，保护工人健康，提高劳动生产率 and 产品质量，降低生产成本。

现代的物料搬运机械开始于 19 世纪。19 世纪 30 年代前后，出现了蒸汽机驱动的起重机械和输送机。19 世纪末期，由于内燃机的应用，物料搬运机械获得迅速发展。在 1910 年，出现了既能起升又能搬运的叉车。1932 年，世界上第一台正式叉车是由美国克拉克公司投放市场的。1935 年后出现内燃叉车。在第二次世界大战期间，广泛使用叉车搬运、储存军用物资，叉车也因此得到了迅速发展。到了 20 世纪 70 年代，出现了计算机控制物料搬运机械系统，使物料搬运进入高度自动化作业阶段。

叉车在各行各业都有广泛使用。在军事方面使用日益增加，例如，美军在海湾战争时，一次就订购了 400 台伸缩臂叉车。另外，在军用方面还有越野叉车、随行叉车等车型都得到发展。

### 1. 物料搬运机械的分类

物料搬运机械按功能，大致可分为起重机械、输送机械、装卸机械、搬运车辆及仓储设备五类。各类搬运机械又有很多分类方法，没有统一规定，一般仅认可起重机械的分类方法。现列举如下：图 1-1 为起重机械分类；图 1-2 为输送机械分类；图 1-3 为装卸机械分类；图 1-4 为搬运车辆分类；图 1-5 为仓储设备分类。

图 1-3 中叉车的分类是按叉车的结构形式分类的。通常是按动力源分类，分为内燃叉车、电动叉车、手动叉车；也可以分为内燃叉车、电动叉车、仓储叉车。

内燃叉车又分为普通内燃叉车、重型叉车、集装箱叉车及侧面叉车。

在我国，工程机械主要包括 10 大类设备，其中就有叉车见图 1-6。在其他国家，工程机械的分类大同小异，只是“工程机械”的名称有所不同。例如：美国、日本称工程机械为建筑机械；俄罗斯称为建筑与筑路机械。具体常见的工程机械有：液压挖掘机、履带推土

机、轮式装载机、压路机、平地机、摊铺机、叉车及汽车起重机等。

叉车是 ISO/TC 110/SC2 工业车辆技术委员会机动工业车辆管理范围。我国由北京起重运输机械研究所代表参加国际会议汇报制订标准等事宜。

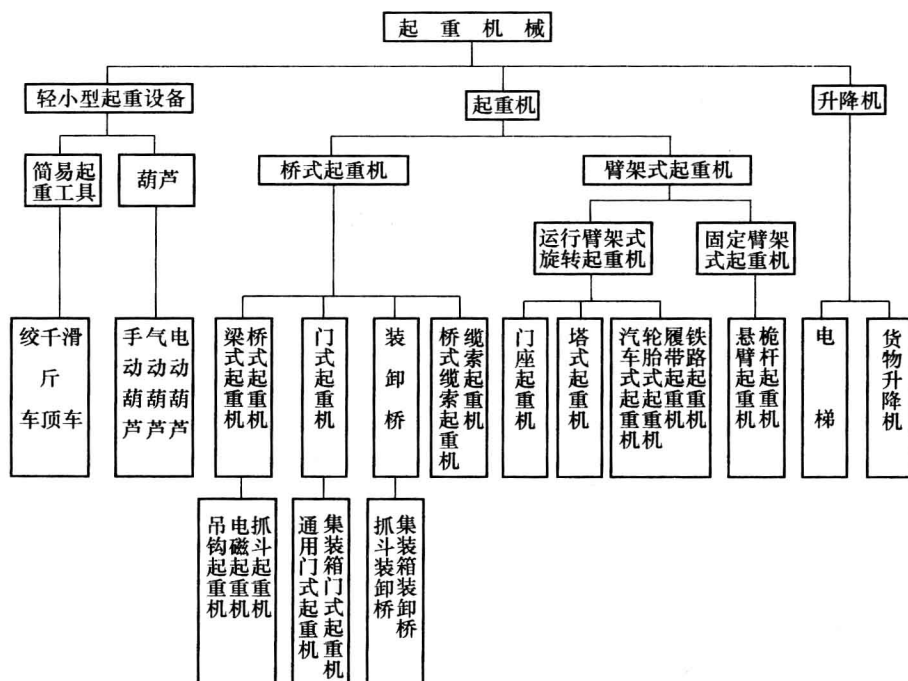


图 1-1 起重机械分类

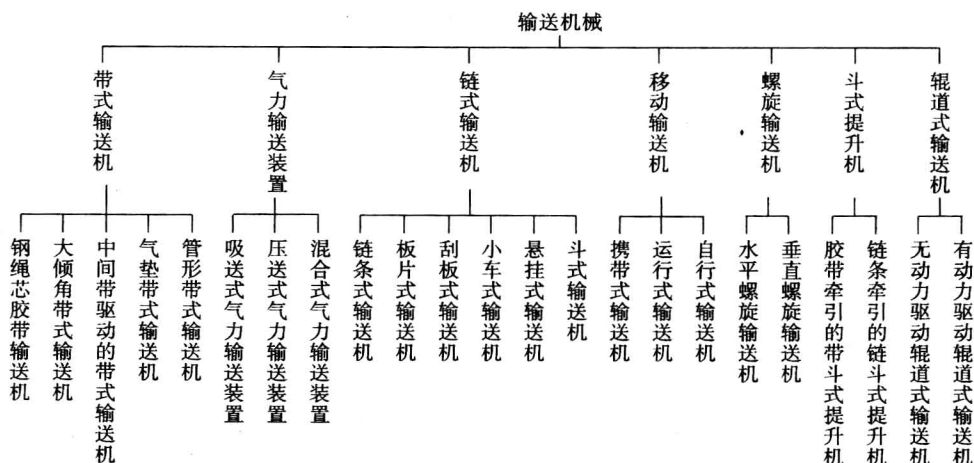


图 1-2 输送机械分类

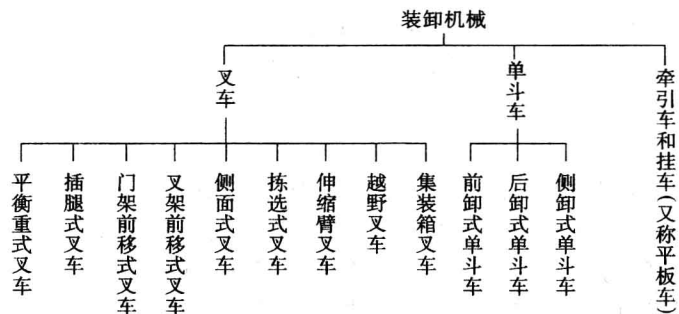


图 1-3 装卸机械分类

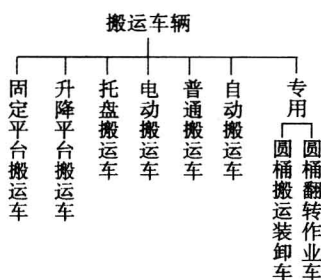


图 1-4 搬运车辆分类

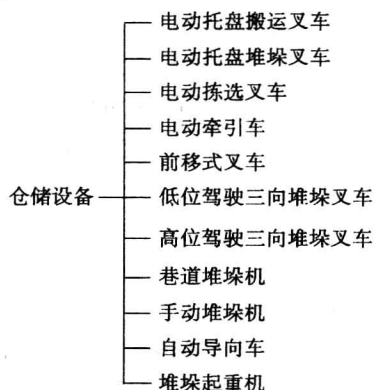


图 1-5 仓储设备分类

## 2. 自动导向车（AGV）简介

自动导向车（Automatic Guided Vehicle，简称 AGV）用于自动导向车系统中，按照设定的路线自动行驶，或牵引着载货台车将物料搬运到指定的地点。它具有导向行驶、认址和移交载荷的基本功能。

世界上第一台自动导向车（AGV）是在 1958 年研制成功的。当时由于受到通信技术和电子技术的限制，其控制器采用的是真空管。20 世纪六七十年代，AGV 的技术与应用达到了一个高峰，主要用于汽车制造业和柔性加工线。欧洲成为最先使用的地区。随后美国和日本开始发展。到 20 世纪 90 年代初，全世界拥有 AGV 台数超过 20000 台。

我国 AGV 的研究从 20 世纪 70 年代开始。北京起重与运输机械研究所、沈阳自动化所、清华大学等 10 余个单位，都进行了相关研究。目前我国应用 AGV 的单位约有 100 多家、AGV 数量超过 500 台。

AGV 的应用非常广泛，主要有以下几个方面：

（1）AGV 在制造业中的应用 制造业中主要应用于物料分发、装配和加工制造三个方

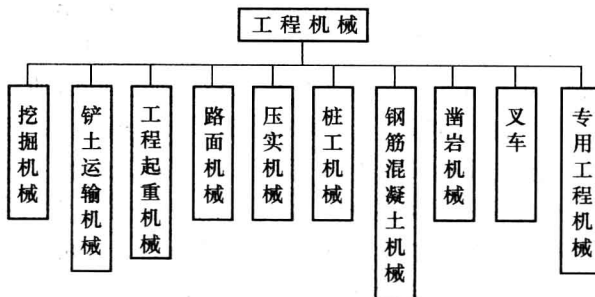


图 1-6 工程机械分类



面。物料分发包括生产工序间的物料移送；仓储作业中的物料移送。统计资料表明，物料分发并不是 AGV 的主要用处。制造加工单元之间的物料搬运，是加工制造中 AGV 应用的重要方式，例如在 FMS 中的应用。由于每个 FMS 中 AGV 的数量不多，总的来说，该领域 AGV 的应用是十分有限的。

就 AGV 的数量和重要性来说，装配作业是 AGV 的最为主要的應用。汽车工业是 AGV 的重要应用领域。美国通用汽车公司 90% 的 AGV 用于汽车装配线，仅 10% 用于物料搬运。西欧各国用于汽车装配的 AGV 占整个 AGV 数量的 57%；德国尤为突出，竟高达 64%。电子工业是 AGV 的新兴用户。由于传统的传送带运输方式很难完成多品种、中（小）批量元器件的送发，而 AGV 能提供柔性最好的输送，可以很方便地通过对 AGV 的输送工艺路线进行编程，使其按所要求的路径和方式到达装配线的指定位置。在净化室中，AGV 更可大显身手，它可满足净化要求极高的操作。

(2) AGV 在重型机械中的应用 在重型机械行业中，AGV 主要用来运送模具和原材料（如成卷带钢等）。因而要求 AGV 承载量大，通常为 2.2~4.5t，最大者可达 6.3t。配备了功率较大的移载装置也是这类 AGV 的特点。在 AGV 上配备大型机器人用的对大型金属构件进行喷漆（如飞机骨架的喷漆），是 AGV 在重型行业中的应用之一。

(3) AGV 系统在烟草行业中的应用 在烟草行业中，AGV 的应用比较广泛，主要用于辅料从立体仓库到生产工位的输送。

烟草行业由于其经济效益较好，已成为 AGV 试点应用的最好行业。在中国、云南玉溪烟草集团公司，1996 年实施物流自动化时，共引进 52 台 AGV，构成了庞大的 AGV 系统。此后，中国众多的烟草公司纷纷实施物流系统，并把 AGV 作为必需的项目加以应用。

(4) AGV 在非制造业中的应用 在非制造业中，AGV 的应用也越来越普遍。在码头应用的集装箱 AGV 系统，其承载能力可以达到 14t，并应用 GPS 技术进行导航，这是目前最先进的系统。在现代化的医院中安装的 AGV 系统，可把取样从门诊部自动运送到中央化验室；把药物、医疗用品、食品、衣着用品，从中央物料管理中心输送到医院的各个部门。邮政部门也采用 AGV，将邮件进区台的邮件输送到处理处，将处理区的邮件输送到邮件出区台。为了加大运输量，邮政部门使用的是牵引式 AGV 系统，一次可以牵引多台邮件车。大型办公楼也开始安装 AGV 系统，用以运送邮件、电文和包裹到各个分区部门。宾馆业采用 AGV 把食品从厨房运送到客房。AGV 也可作为机器人的“脚”，使机器人可在更大范围内自动完成作业。如果在 AGV 上配备机器人，可用于光整水泥地面。在具有核辐射危险的地方，常将 AGV 机器人用于核材料的搬运。

AGV 具有独特的功能，其优势表现在以下几个方面：

1) 可以十分方便地与其他物流系统实现自动连接，完成物流及信息流的自动连接。例如：从立体仓库到生产线的连接，立体仓库到立体仓库的连接，均可以通过无线通信完成信息的自动传递，从而实现自动化物流。

2) AGV 的最大优势是由于采用埋设地下通信电缆，或采用激光制导技术，能够保持地面的平整和不受损坏。在许多需要其他交通、运输工具交叉运行的场合，如生产线等，应用十分广泛。

3) AGV 输送对于减少货物在运输过程中的损坏、降低工人的劳动强度等均具有积极意义。

4) AGV 系统本身具有较高的可靠性，能耗较低。这些特点均使得近年来 AGV 得到了广

泛的应用。

### 3. 物料搬运机械的应用

一般起重机械用于升降和搬运,但搬运距离较短,它的机构作间歇式运动。输送机械可连续输送物料,搬运路线一般固定不变,大多用来输送散状物料。装卸机械能自行取物并装卸物料。搬运车辆可灵活安排搬运路线,经济运输距离较长,可在室内或室外作业,具有行驶车轮。仓储设备是在仓库中完成堆、取、储存物料的装置,包括料仓装置、高架仓库和给料机等。随着工业的发展,许多机械具有多种功能和用途,例如叉车既是装卸机械又是搬运车辆,可用以装卸,也可起升重物,所以叉车又称万能装卸机。

物料搬运机械是为生产服务的,它的设计和选型应当服从生产过程的需要;但是新型的物料搬运机械的创制,也常导致生产工艺的变革和改进。例如:斗轮堆取料机的出现,形成了以斗轮堆取料机为心脏,带式输送机为血管,电子计算机为神经中枢的自动化大型散料场的搬运系统,从而改变了港口、矿山和火电厂等的散料场的布置;用叉车代替桥式起重机、单梁起重机进行搬运作业的车间,能简化厂房结构,降低基建费用。

20 世纪后半期,单元化运输得到很大发展。集装箱的标准化和联运的推广,使水、陆运输的装卸工作简化,并引起车站、港口的布局和铁路车辆、轮船结构的改变。

物料搬运机械可将上道工序的半成品直接、自动地转送到下道工序,将上下许多道工序联成一个系统,形成有节奏的生产;还可以在搬运过程中同时对物料进行清洗、烘干、涂漆、分拣、储存、检验及计量等,从而能减少装卸次数、缩短生产周期和节约设备投资。

在许多生产和作业流程中,物料搬运机械已经不是单独作业的机械,而是整个流程不可分割的一环。还有物料搬运机械,根据生产发展的需要,增加技术功能和扩大作业范围。促进了设备的改进。例如伸缩臂叉车加长后,可以跨越小沟、台阶、门窗进行装卸作业。又如叉车起重量已达到 80t,还在研究增加起重量,有的叉车配备 30 余种各种附属器具后,扩大了使用范围,提高了工作能力。

总之,在研究和选用物料搬运机械时,不仅应了解物料的特性,搬运的目的和要求,以及作业时环境是否受干扰和污染;还必须结合整个生产和作业流程来考虑,使搬运机械与其前、后的各种机械密切联系,成为一个系统,以减少装卸环节,提高工作效率,增加经济效益,降低成本。

## 1.2 现代叉车的发展趋势

叉车最早出现在 1910 年。1928 年美国制造出电动叉车。1932 年美国克拉克公司将世界上第一台叉车投放市场,随后得到了迅速的发展,特别是第二次世界大战期间广泛使用叉车搬运、储存军用物资,叉车也因此得到了更加迅速发展。第二次世界大战后,欧美各国的叉车品种和产量急剧上升。目前叉车产量较大的国家是美国、日本、德国、英国和保加利亚。我国这几年也是叉车产量较大的国家之一。

我国的蓄电池叉车生产于 1954 年,内燃叉车生产于 1958 年,从 20 世纪 80 年代中期开始,我国引进国外先进技术。例如:大连叉车总厂引进日本三菱公司 10~40t 内燃平衡重叉车的集装箱叉车技术;合肥叉车总厂、宝鸡叉车公司引进日本 TCM 株式会社 1~10t 叉车技术;北京叉车总厂引进日本三菱公司 1~5t 内燃平衡重叉车技术;天津叉车总厂引进保加利

亚巴尔干车辆公司 1.25 ~ 6.3t 内燃叉车技术；杭州叉车总厂引进德国 O&K 公司静压传动叉车、越野叉车和电动叉车技术；湖南叉车公司引进英国普勒班机械公司内燃防爆装置技术。

自从引进国外先进叉车技术以后，各企业在认真消化吸收引进技术的基础上，积极对产品进行更新和系列化，很快就设计制造出国产叉车，并受到用户好评。当时整体水平与世界先进水平还有差距，通过不断研制，有些产品已赶上世界先进水平，而且差距越来越小。

### 1. 驱动电动机及电控由直流向交流方向发展

采用交流电控可以提高生产率、加速快，可提高车辆行驶速度和门架起升速度，且高速行驶时输出转矩大，在同样工况下能耗小，可以延长蓄电池单班使用时间。另外，交流电动机无电刷和换向器，不必定期维护，使整个交流控制系统运行费用降低。Linde（林德）、Jungheinrich（永恒力）、Toyota（丰田）、Hyster 等知名叉车公司，均已推出了交流蓄电池叉车产品。

### 2. 操纵系统向集成化方向发展

随着操作人员对操作舒适性的要求越来越高，集成化操纵成为发展趋势。所谓集成化操纵，就是用一个操纵手柄完成蓄电池叉车的所有控制动作：叉车前进/后退、门架前移/后退、门架上升/下降、货叉前倾/后倾、货叉左侧移/右侧移。这样可降低操作人员的劳动强度，提高劳动效率。

目前，Jungheinrich（永恒力）的产品已采用这种舒适、方便的集成操纵系统。

### 3. 发展环保型叉车

随着人们对环境污染危害的深刻认识，环保已成为世界共同关注的焦点。因此，环保型叉车将成为市场发展的主流，所以环保型叉车必须加强研制，提高技术水平，这种产品是今后发展方向。

### 4. 节能和机电液一体化高新技术的应用

微电子技术、传感技术、信息处理技术的发展和运用，对提高叉车整体水平，实现复合功能，以及保证整机和系统的安全性、控制性及自动化水平的作用将更加明显，使电子与机械、电子与液压的结合更加密切。未来叉车的发展在于其电子技术的应用水平。

### 5. 重视叉车的安全可靠性与可维护性

保证驾驶员的安全一直是叉车设计人员重点考虑的问题。除停车、行车制动、前倾自锁、下降限速等基本安全措施外，通过配备功能齐全的监控系统、动力制动系统、防侧翻系统，以及采用电控、液压、机械三套独立制动系统，大大提高了整车的安全可靠性。同时电子技术的发展与运用，使对叉车安全性研究向智能化方向发展。在提高可维护性方面，侧重拆装简单化、部件组合化、加油集中化、检查监控化，改善部件的易接近性，以及尽可能减少需维修的项目。

### 6. 制动系统向电子化方向发展

为了减少制动冲击，增强适用性，要求传动系统的制动力矩可调。从而促进了可调力矩电磁制动器的发展。可调力矩制动器由 1 个弹簧加压制动器和电子控制装置——力矩控制器组成。这种机电一体化的控制系统，在实现制动力矩可调功能的同时，还可以通过力矩控制器对制动器的磨损进行监测，使系统的可靠性提高，降低运行维护成本。此外，这种可调力矩制动器还可以设置 CAN 总线接口，以实现制动器的远程诊断和控制，以及对制动控制的网络化操作。

电动叉车具有能量转换效率高、无废气排放、噪声小等突出优点,是室内物料搬运的首选工具;但其受蓄电池容量限制,功率小、作业时间短。目前国内外均在不断改进铅酸蓄电池技术,通过提高材料纯度等,使其在复充电次数、容量和电效率方面有了很大提高。由于技术的进步、电动叉车现已突破只能用于小吨位作业的局限性。目前国际上电动叉车的产量,已占叉车总量的40%。在德国、意大利等一些西欧国家,电动叉车比例高达65%。我国电动叉车占10%~15%,国内使用内燃叉车的地方还很多,而且还不断增加产量。但是,电动叉车越来越多。

用户需求推动了蓄电池叉车的发展。节约能量、提高可靠性、降低使用和维护成本、提高操纵舒适性成为蓄电池叉车的发展方向。

### 1.3 叉车尾气排放标准及国产叉车达标现状

叉车按动力型式,分为内燃叉车和电动叉车。内燃叉车以发动机为动力,功率大,对路面的要求低,使用范围广;但发动机是通过燃烧柴油、汽油、石油液化气等燃料产生动力,燃烧排放的尾气中会存在一氧化碳、碳氢化合物、氧化氮、颗粒物等有害物质。在世界环境污染问题日趋严重的今天,环境恶化已成为制约经济发展、危害人民健康的重要因素。为了保护大气环境,各国纷纷制订了相关排放法规,以限制尾气的排放,内燃叉车的生产和销售也受限制。尤其是发达国家,对其环保要求更高。

#### 1. 相关排放标准状况

叉车属于非道路车辆,其排放的好坏主要取决于发动机排放控制情况的优劣。在非道路用发动机排放控制方面,国际上美国开始得最早,欧盟、日本紧跟其后。中国的非道路车辆排放标准目前也进入了实施阶段。

(1) 国际非道路车辆排放标准状况 1994年,美国环保署(Environmental Protection Agency,简称EPA)针对除机车、船舶和地下矿用设备以外,超过37kW的非道路柴油发动机发布了第一套排放标准第I阶段。1996~2000年,根据发动机规格不同,分阶段执行第I阶段标准, $\text{NO}_x$ 和颗粒物的排放量,比未采用排放标准前分别降低了31%和60%。经过第II阶段(2000~2006年)以后,2006~2008年间,分阶段执行37~560kW发动机的第III阶段, $\text{NO}_x$ 和颗粒物的排放量,比第I阶段分别再降低60%和40%,并计划在2011~2014年,执行第IV阶段(暂时阶段和最终阶段), $\text{NO}_x$ 和颗粒物的排放量均比未采用排放标准前降低96%。

欧盟(Europe,简称EU)第一个非道路移动机械排放控制标准指令97/68/EC,发布于1998年2月27日,其第I阶段于1999年执行,第II阶段根据发动机的功率不同,分别于2001~2004年逐步执行。目前执行的第III阶段分两步:第一步(阶段III A)仅包括气态排放物,从2005年12月31日到2007年12月31日,与第II阶段限值相比, $\text{NO}_x$ 排放量降低了30%;第二步(阶段III B)涵盖颗粒物排放,将于2010年12月31日至2011年12月31日之间执行,与第II阶段相比,颗粒物排放下降约90%。第IV阶段将从2014年开始执行。

目前柴油叉车涉及的最具代表性的国际尾气排放标准,有美国环保署(EPA)和欧盟(EU)非道路车辆用柴油机尾气排放标准;汽油叉车涉及的尾气排放标准,是美国环保署(EPA)非道路车辆用大型(大于19kW)点火式发动机排放标准。具体内容见表1-1和表1-2。

表 1-1 欧美非道路车辆用柴油机尾气排放标准

[单位: g/(kW·h)]

| 美国环保署 (EPA) |  |                 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
|-------------|--|-----------------|------|------|------|-------------------|-----------------|-------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|------|--------------------|------|------|--------------------|--|
| 年份<br>功率/kW |  | 1996            | 1997 | 1998 | 1999 | 2000              | 2001            | 2002              | 2003 | 2004            | 2005            | 2006            | 2007            | 2008            | 2009            | 2010              | 2011               | 2012              | 2013 | 2014               | 2015 | 2016 | 2017               |  |
| 0 ~ 7       |  | (10.0) /8.0/1.0 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 | (7.5) /8.0/0.80 |                 | (7.5) /6.6/0.40 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 8 ~ 18      |  | (9.5) /6.6/0.80 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 | (7.5) /6.6/0.80 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 19 ~ 36     |  |                 |      |      |      | (9.5) /5.5/0.80   |                 |                   |      | (7.5) /5.5/0.60 |                 |                 |                 | (7.5) /5.5/0.30 |                 |                   |                    | (4.7) /5.0/0.03   |      |                    |      |      |                    |  |
| 37 ~ 55     |  |                 |      |      |      | 9.2/—/—/—         |                 |                   |      | (7.5) /5.0/0.40 |                 |                 |                 | (4.7) /5.0/0.30 |                 |                   |                    | (4.7) /5.0/0.03   |      |                    |      |      |                    |  |
| 56 ~ 74     |  |                 |      |      |      |                   |                 |                   |      | (4.7) /5.0/0.40 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 75 ~ 129    |  |                 |      |      |      | 9.2/—/—/—         |                 |                   |      | (6.6) /5.0/0.30 |                 |                 |                 | (4.0) /5.0/0.30 |                 |                   |                    | 3.4/0.19/5.0/0.02 |      | 0.4/0.19/5.0/0.02  |      |      |                    |  |
| 130 ~ 224   |  |                 |      |      |      | 9.2/1.3/11.4/0.54 |                 |                   |      | (6.4) /3.5/0.20 |                 | (4.0) /3.5/0.20 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 225 ~ 449   |  |                 |      |      |      | 9.2/1.3/11.4/0.54 |                 | (6.4) /3.5/0.20   |      |                 |                 | (4.0) /3.5/0.20 |                 |                 |                 | 2.0/0.19/3.5/0.02 |                    | 0.4/0.19/3.5/0.02 |      |                    |      |      |                    |  |
| 450 ~ 560   |  |                 |      |      |      | 9.2/1.3/11.4/0.54 |                 | (6.4) /3.5/0.20   |      |                 |                 | (4.0) /3.5/0.20 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 560 以上      |  |                 |      |      |      |                   |                 | 9.2/1.3/11.4/0.54 |      |                 |                 | (6.4) /3.5/0.20 |                 |                 |                 | 3.5/0.40/3.5/0.10 |                    | 3.5/0.19/3.5/0.04 |      |                    |      |      |                    |  |
| 欧盟 (EU)     |  |                 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 年份<br>功率/kW |  | 1996            | 1997 | 1998 | 1999 | 2000              | 2001            | 2002              | 2003 | 2004            | 2005            | 2006            | 2007            | 2008            | 2009            | 2010              | 2011               | 2012              | 2013 | 2014               | 2015 | 2016 | 2017               |  |
| 19 ~ 36     |  |                 |      |      |      |                   | 8.0/1.5/5.5/0.8 |                   |      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   | (7.5) /5.5/0.6     |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| 37 ~ 55     |  |                 |      |      |      |                   |                 | 9.2/1.3/6.5/0.85  |      |                 | 7.0/1.3/5.0/0.4 |                 |                 |                 |                 |                   | (4.7) /5.0/0.4     |                   |      | (4.7) /5.0/0.025   |      |      |                    |  |
| 56 ~ 74     |  |                 |      |      |      |                   |                 | 9.2/1.3/5.0/0.70  |      |                 | 6.0/1.0/5.0/0.3 |                 |                 |                 |                 |                   | (4.7) /5.0/0.4     |                   |      | 3.3/0.19/5.0/0.025 |      |      | 0.4/0.19/5.0/0.025 |  |
| 75 ~ 129    |  |                 |      |      |      |                   |                 | 9.2/1.3/5.0/0.70  |      |                 | 6.0/1.0/5.0/0.3 |                 |                 |                 |                 |                   | (4.0) /5.0/0.3     |                   |      | 3.3/0.19/5.0/0.025 |      |      |                    |  |
| 130 ~ 560   |  |                 |      |      |      |                   |                 | 9.2/1.3/5.0/0.54  |      |                 | 6.0/1.0/3.5/0.2 |                 |                 | (4.0) /3.5/0.2  |                 |                   | 2.0/0.19/3.5/0.025 |                   |      | 0.4/0.19/3.5/0.025 |      |      | IV阶段               |  |
| III A 阶段    |  |                 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| III B 阶段    |  |                 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |
| IV阶段 最终的    |  |                 |      |      |      |                   |                 |                   |      |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                    |                   |      |                    |      |      |                    |  |

注: 表中不同功率段的柴油机对应年份的尾气中 NO<sub>x</sub>、HC、CO、PM [排放] 有两种排列形式: 美国为 (NO<sub>x</sub> + HC) / CO/PM; 欧盟为 NO<sub>x</sub>/HC/CO/PM

表 1-2 大于 19kW 的非道路车辆用汽油机 EPA 标准 (EPA420-F-02-037)

[单位: g/(kW·h)]

| 阶段/年份        | HC + NO <sub>x</sub> | CO  |
|--------------|----------------------|-----|
| I 阶段/2004 年  | 4.0                  | 5.0 |
| II 阶段/2007 年 | 2.7                  | 4.4 |

(2) 我国非道路车辆排放标准状况 我国最早用于非道路发动机排放控制的排放标准, 是 2003 年 4 月 1 日发布的两个北京地方标准: DB11/184—2003《非道路柴油机排气可见污染物限值及测量方法》和 DB11/18—2003《非道路柴油机排气污染物限值及测量方法》标准等同采用了欧洲第 I 和第 II 阶段的排放限值, 执行时间分别为 2003 年 1 月和 2005 年 1 月。

目前我国正在实施的 GB 20891—2007《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(I、II 阶段), 参考了欧盟标准。在欧盟 (指令 97/68/EC) 基础上, 增加了对农、渔业机械的要求。在第 I 阶段增加了对小于 37kW 柴油机的排放控制; 在第 II 阶段增加了对小于 18kW 的柴油机的排放控制等。

GB 20891—2007 中规定的非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值, 第 I 阶段和第 II 阶段见表 1-3 和表 1-4。GB 20891—2007 中规定的核准执行日期: 第 I 阶段为 2007 年 10 月 1 日; 第 II 阶段为 2009 年 10 月 1 日。GB 20891—2007 中还规定: 自核准执行日期后一年起, 所有制造和销售的非道路移动机械用柴油机排气污染物排放, 必须符合该标准要求。目前我国还没有非道路车辆用大型 (大于 19kW) 点火式发动机排放标准。

表 1-3 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值<sup>①</sup> (第 I 阶段)

| 额定净功率 $P_{\max}$<br>/kW      | 排放限值/ [g/(kW·h)] |     |                 |                      |      |
|------------------------------|------------------|-----|-----------------|----------------------|------|
|                              | CO               | HC  | NO <sub>x</sub> | HC + NO <sub>x</sub> | PM   |
| $130 \leq P_{\max} \leq 560$ | 5.0              | 1.3 | 9.2             | —                    | 0.54 |
| $75 \leq P_{\max} < 130$     | 5.0              | 1.3 | 9.2             | —                    | 0.7  |
| $37 \leq P_{\max} < 75$      | 6.5              | 1.3 | 9.2             | —                    | 0.85 |
| $18 \leq P_{\max} < 37$      | 8.4              | 2.1 | 10.8            | —                    | 1.0  |
| $8 \leq P_{\max} < 18$       | 8.4              | —   | —               | 12.9                 | —    |
| $0 < P_{\max} < 8$           | 12.3             | —   | —               | 18.4                 | —    |

① 排气污染物限值是在排气后处理 (若安装) 之前, 柴油机排气口处应达到的限值。

表 1-4 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值 (第 II 阶段)

| 额定净功率 $P_{\max}$<br>/kW      | 排放限值/ [g/(kW·h)] |     |                 |                      |     |
|------------------------------|------------------|-----|-----------------|----------------------|-----|
|                              | CO               | HC  | NO <sub>x</sub> | HC + NO <sub>x</sub> | PM  |
| $130 \leq P_{\max} \leq 560$ | 3.5              | 1.0 | 6.0             | —                    | 0.2 |
| $75 \leq P_{\max} < 130$     | 5.0              | 1.0 | 6.0             | —                    | 0.3 |
| $37 \leq P_{\max} < 75$      | 5.0              | 1.3 | 7.0             | —                    | 0.4 |
| $18 \leq P_{\max} < 37$      | 5.5              | 1.5 | 8.0             | —                    | 0.8 |
| $8 \leq P_{\max} < 18$       | 6.6              | —   | —               | 9.5                  | 0.8 |
| $0 < P_{\max} < 8$           | 8.0              | —   | —               | 10.5                 | 1.0 |



与安装在其他非道路移动机械上要求一样,安装在叉车上的发动机,也应满足发动机型式核标的下列特征:①进气压力降不应超过已经型式核准的发动机规定的压力降;②排气背压不应超过已经型式核准的发动机规定的背压。

## 2. 我国叉车尾气排放达标现状

近年来,我国叉车市场销量以每年 30% 以上的平均速度快速增长。2007 年,中国年产销叉车约 14 万台。国内生产量较大的叉车生产厂主要有合力叉车、杭州叉车及大连叉车等厂家。安徽叉车集团公司是“HELI”品牌的叉车制造商,已经成为世界叉车 10 强。浙江杭州叉车工程机械股份有限公司、大连叉车有限责任公司均已进入世界叉车 20 强。其中,杭州叉车以 2~3t 为主,柴油机采用新昌 490、五十铃 C240 等,汽油机有日产 K 系列等;合力叉车在 1~3.5t 中占有主导地位,同时生产 3t 以上叉车,柴油机采用久保田 V2403、康明斯 QSB4.5、朝柴 6102 等,汽油机有日产 K 系列、美国 CM3.0 等;大连叉车以 5t 以上为主,也生产 3t 以下的小吨位叉车,柴油机采用玉柴 6105、朝柴 6102 及进口五十铃和三菱发动机。目前国产部分用进口柴油机和进口汽油机的排放状况见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 部分叉车用进口柴油机状况一览表 (1~10t 叉车)

| 发动机型号          | 排量/L  | 功率<br>/kW[转速<br>/(r/min)] | 适用叉车吨位<br>/t | 2008 年需要满足的<br>欧美标准 | 符合排放标准情况 |
|----------------|-------|---------------------------|--------------|---------------------|----------|
| 五十铃 C240       | 2.369 | 34.5 [2500]               | 1~3.5        | 欧Ⅲ、美Ⅳ               | 欧Ⅲ       |
| 久保田 V2403      | 2.434 | 36.5 [2600]               | 1~3.5        | 欧Ⅲ、美Ⅳ               | 欧Ⅲ、美Ⅳ    |
| 久保田 V3600      | 3.62  | 46.9 [2400]               | 2~3.5        | 欧Ⅲ、美Ⅲ               | 欧Ⅲ、美Ⅲ    |
| 洋马 4TNE92      | 2.659 | 33 [2450]                 | 2~3.5        | 欧Ⅲ、美Ⅳ               | 欧Ⅲ、美Ⅳ    |
| 洋马 4TNE98      | 3.319 | 44.3 [2300]               | 2~3.5        | 欧Ⅲ、美Ⅲ               | 欧Ⅲ、美Ⅲ    |
| 康明斯 A2300      | 2.29  | 35 [2600]                 | 1~3          | 欧Ⅲ、美Ⅳ               | 欧Ⅲ、美Ⅳ    |
| 康明斯 B3.3-C65   | 3.26  | 47 [2400]                 | 2~3.5        | 欧Ⅲ、美Ⅲ               | 欧Ⅲ、美Ⅲ    |
| 康明斯 QSB4.5     | 4.5   | 82 [2200]                 | 5~10         | 欧Ⅲ、美Ⅲ               | 欧Ⅲ、美Ⅲ    |
| 珀金斯 1104D-44TA | 4.4   | 83 [2200]                 | 5~10         | 欧Ⅲ、美Ⅲ               | 欧Ⅲ、美Ⅲ    |

表 1-6 部分叉车进口汽油机状况一览表 [1~3.5t 叉车]

| 发动机型号    | 排量/L  | 功率<br>/kW[转速<br>/(r/min)] | 适用叉车吨位<br>/t | 2008 年需要满足的<br>欧美标准 | 符合排放标准情况 |
|----------|-------|---------------------------|--------------|---------------------|----------|
| 通用 GM3.0 | 2.967 | 46 [2800]                 | 2~3.5        | 美Ⅱ                  | 美Ⅱ       |
| 马自达 F2   | 2.184 | 36.5 [2700]               | 1~3          | 美Ⅱ                  | 美Ⅱ       |

虽然近年来我国叉车需求旺盛,但尾气排放水平参差不齐。目前国产大、小吨位的叉车,均有符合现行国际先进排放标准(如欧美)的品种,但这些叉车的主机大都采用的是进口发动机。由于进口发动机价格较高,使得整车成本增加。为了满足不同的市场需求,价格较低的国产发动机也大量用在叉车上。目前叉车常用的国产发动机对燃料等系统稍作调整,一般能够达到 GB 20891—2007 第 I 阶段的要求,但与欧美现行标准要求还有相当大的差距。这并不是说国内发动机公司没有能力做到,而是受到成本等因素的限制。目前国内大多为叉车配套的发动机公司正在积极改进发动机,以通过 GB 20891—2007 的认证,并着眼国际市场的最新标准,研究电喷、后处理等排放改进措施,以期走向国际市场。从汽车发动

机的排放发展来看,我们有理由相信非道路车辆用国产发动机的排放水平,也会和汽车发动机一样,逐步与世界接轨。

## 1.4 电动叉车的交流动力控制技术

叉车作为物流产业的一种重要工具,在物流领域发挥着巨大作用,越来越受到人们的关注。

### 1. 电动叉车正在逐步替代内燃叉车

按照动力方式来分类,叉车可以分为内燃叉车和电动叉车。电动叉车利用蓄电池作为动力源,使用时无尾气排放,低噪声,操作方便而灵巧,运行平稳。正是由于电动叉车具有上述特点,国内外用户对电动叉车的需求量不断增加,电动叉车在整个叉车销量中所占比例稳步上升。

电动叉车是利用蓄电池向叉车提供电源,由电动机将电能转换为机械能。电动叉车一般有三个电动机;行走电动机、起升电动机及转向电动机。行走电动机驱动传动系统最终向车轮提供驱动力矩;起升电动机直接带动起升系统液压泵,驱动起升液压系统;转向电动机则在全液压转向的电动叉车中,用来驱动转向泵。随着液压系统的改进,在高配置的电动叉车中,常常采用单泵分流起升调速的液压系统、将起升电动机与转向电动机合二为一,采用带优先阀的负荷传感全液压转向器,优先供给转向用液压油,其余液压油供给起升系统。

电动叉车由于具有无污染、低噪声等显著优点,随着近年来全社会环保意识的增强,电动叉车技术得到了飞快的发展,产销量呈逐年上升的趋势。

### 2. 交流动力控制是新世纪电动叉车的革命性技术

直流驱动作为一种比较便宜的驱动方式,很早以前就已在电动设备上广泛应用。然而,直流系统本身在性能、维修等方面存在一些固有的缺陷。20世纪90年代前,电动车辆几乎全是直流电动机驱动的。直流电动机本身效率低,体积和质量大,换向器和电刷限制了转速的提高,最高转速为6000~8000r/min。直流电动机的工作原理是:直流电流经电刷输送至换向器,并传到转子。这种方式有下列明显缺陷:

1) 所有的电枢电流必须经过电刷来输送,电动机的性能取决于电刷的物理尺寸及磨损情况,而且这也会限制电动机制动性能的发挥。

2) 电刷容易损坏,必须定期(半年至一年)更换,否则会极大地影响电动机寿命。考虑到这一点,直流电动机上往往配置侦测电刷磨损并发出警告的装置。

3) 直流电动机热量主要产生在电动机的内部,因此大多数直流电动机都会同时配备一个风机,用于散热。以上装置无疑增加了电动机的成本。

选购电动叉车时,选购直流驱动方式的电动叉车,主要是考虑了叉车的价格因素,考虑了直流驱动是一种比较便宜的驱动方式,同时直流驱动应用较早,技术也比较成熟。但如上所述,直流电动机具有很多缺点,这是在采购电动叉车时必须考虑的技术因素。

以交流电动机为核心的交流驱动系统,因其生产效率高、维护成本低,被业内专家誉为21世纪电动叉车的革命性技术。

感应电动机交流驱动系统的原理是:将三相交流电输送给固定的定子绕组,产生旋转的磁场感应,转子绕组产生电流,转子在电磁力的作用下,顺着旋转磁场的转动方向旋转。电



动机控制器采用矢量控制的变频调速方式。交流电动机最突出的优势是没有电刷，也没有直流电动机通常对最大电流方面的限制，这意味着电动机在实际使用中，可以得到更多的能量及更大的制动力矩，于是可以更快地运转。其次，交流电动机的热量主要发生在电动机外壳部分的定子线圈，便于冷却与散热。因此，交流电动机比直流电动机所需元件数量大大减少，没有需要定期更换的易损件，几乎不用维护，更高效、更坚固耐用。近年来，随着交流感应电动机变频技术的进步，以及大功率半导体器件和微处理器速度的大幅度提高，感应电动机交流驱动系统与直流电动机驱动系统相比，具有效率高、体积小、质量小、结构简单、免维护、易于冷却及寿命长等优点。交流驱动系统调速范围宽，而且能实现低速恒转矩，高速恒功率运转，很好地满足了电动车辆实际行驶所需的转速特性。

### 3. 交流驱动系统是叉车行业在激烈市场竞争中的制胜利器

从1996年起，国外叉车企业就开始研发、生产交流驱动叉车，现在已经批量生产，处于平稳发展阶段。全球顶尖的叉车企业，几乎都采用了交流驱动系统的电动叉车。如今越来越多的叉车企业，不断推出新车型并向用户大力推荐。

直到2003年，国内交流驱动系统叉车才开始销售。迄今在这一技术领域，我国尚处于起步阶段。国内已有几家主要的叉车企业，使用丹纳赫传动公司提供的交流驱动系统生产电动叉车，其系列化产品正在开发试制中。例如，安徽合力股份有限公司采用丹纳赫传动（Danaher Motion）交流驱动系统的四轮1.5t全交流驱动叉车样车，已经完成测试，正在开始批量生产。

### 4. 交流驱动系统叉车将给用户带来显著的效益

一台叉车的总成本并不等于其组成部件的总和，还涉及到其他诸多因素。对用户来说，叉车的总拥有成本包括购买成本、运行成本及维护成本。因此选择质量高、性能可靠的产品就显得相当重要。采用交流驱动系统的叉车，整体性能显著提高，故障及元件更换率明显降低，可靠性大大增强，叉车单位时间的生产率更高，操作及维护成本更低，将给用户带来显著的效益。

（1）运行稳定可靠、不需维护 交流电动机无需换向接触器（前进、后退换向），无电刷和换向器，节省了部件；体积更加轻便小巧，运转速度提高了；而且彻底摆脱了定期检测、更换电刷的麻烦。由此带来的最大好处是：交流电动机没有电刷、换向器，因此没有接触器等易损件，叉车可靠性大为提高。

（2）制动强烈、效率高、可实现能量再生 电动叉车制动主要有两种方式：传动的接触式摩擦制动和非接触式再生制动。再生制动是一种非接触性制动，比传统的制动系统大大简化。不论驾驶者通过踩制动踏板制动，还是转换行驶方向制动，电动机均会处于发电机状态，其电磁转矩将成为制动性质的转矩。这就意味着制动片的磨损降至最低，使机械磨损大大下降，减少了叉车维护费用，使运行成本更低。同时，再生制动使得交流电动机在行驶与制动上的效率更高。制动或换向时，会有再生能量产生。制动越强烈，再生的能量越多。能量再生是电动机作为发电机向蓄电池充电的过程。交流驱动系统在叉车滑行（此时加速踏板松开）、制动和改变行驶方向时，都可以实现能量的再生。此时叉车所产生的惯性能量被回充于蓄电池中，延长了蓄电池单班使用时间。

（3）动力更强劲，生产效率显著提高 交流电动机最高转速比直流电动机高出很多，动力更强劲。而且交流电动机可以将获得的再生能量回馈给蓄电池，既延长了电池的使用时