

煤 水 浆 内 燃 机 车

程永陆 编

刘景宝 审

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 6 年 · 北 京

保留了原文中所使用的某些非法定计量单位和常用单位,在书末列出了这些单位与法定计量单位和常用单位的换算关系。

由于笔者水平有限,本书中定有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

1994 年 8 月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书介绍了美国自 80 年代初以来开展煤水浆内燃机车研究的概况及所取得的技术进展,详细叙述了柴油机燃用煤水浆的开发过程和成果。全书共分五章,其中第三章较详细地介绍了煤水浆喷射、发火与燃烧以及为使煤水浆取代柴油而对柴油机结构所作的改变。其它各章的内容包括煤水浆内燃机车的开发背景,技术、经济可行性分析,耐久性研究与开发,排放控制等。

本书可供能源、科技、计划等决策部门的领导和从事铁路机车研究、设计、制造、教学工作的各级领导及专业技术人员参考。此外,亦可供相关专业,尤其是船用、电站用等大型中低速柴油机设计、制造和科研部门的有关人员参考。

煤水浆内燃机车

程永陆 编

刘景宝 审

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 吴和俊 封面设计 翟 达

北京市顺义县燕华印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:10.5 字数:263 千

1996 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—1000 册

ISBN7-113-02135-2/TK·18 定价:12.50 元

前 言

柴油机改用煤燃料是人们近百年来的梦想,而今这一梦想已经成为现实。

早在19世纪末,柴油机的发明者狄塞尔就对柴油机烧煤粉燃料进行了最初的尝试。尽管当时由于技术水平的限制而未获得成功,但却给后人以启迪。20世纪初,以德国鲁道夫·鲍利可夫斯基为首的研究者们继续开展了柴油机烧煤粉燃料的试验研究,并取得了突破性的进展。他们曾先后研制了19台不同缸径和转速的试验机,至1940年,这些试验机累计运行达数千小时。遗憾的是,这一课题研究随着第二次世界大战的结束而中止了。在这以后的几十年间,柴油机应用煤燃料的试验研究只是零零星星,其主要原因是石油燃料价格比较低且能充足供应。

70年代初,世界石油供应短缺,价格暴涨,这重新激发了人们开发燃煤柴油机的兴趣。为了摆脱受石油价格和可获得性的制约,开发利用本国丰富的煤资源,美国能源部于70年代末开始着手制定一项以煤为燃料的柴油机开发研究计划,并由下属的摩根敦能源技术中心组织实施。

美国铁路过去和现在一直是美国的柴油消费大户。80年代初,美国铁路内燃机车总保有量达28000台,年消耗柴油约40亿美制加仑。近年来,虽然主要由于机车性能的改善和功率的提高,机车数量逐渐减少,但总保有量仍在20000台以上,年消耗柴油30多亿美制加仑,约占美国柴油总消耗量的10%。因此,美国能源部的燃煤柴油机开发研究计划首先得到了铁路运输部门和机车制造厂家的积极响应。美国两大机车厂商之一的GE公司于1982年率先开始致力于煤水浆内燃机车的开发研究,接着另一家内燃机车厂商——GM公司的EMD也加入了煤水浆内燃机车开发研究

者的行列。此外,在美国能源部的组织协调下,美国国内许多著名的高等院校、专业研究机构以及一些相关的厂家、公司,甚至还包括国外的研究机构(如英国里卡多咨询有限公司),也纷纷加入这一行列,协助GE和GM公司进行煤水浆内燃机车开发研究。经过约10年的努力,煤水浆内燃机车的开发研究取得了巨大进展。1991年末,首台燃用煤水浆燃料的GE Dash 8型电传动内燃机车在GE公司伊利机车工厂厂属线路上成功地进行了运行试验,这是煤水浆内燃机车开发研究中的一个重要里程碑。

我国石油资源短缺,原油年开采量在突破1亿吨后增长已经非常缓慢(例如1991年全国原油产量为14099万吨,1992年达14210万吨,增长率仅为0.8%);而全国原油及成品燃油的消费量却大幅度增长(例如1991年全国原油及成品燃油消费量为18115万吨,1992年达22948万吨,增长率高达26.7%)。但是我国的煤资源却非常丰富,是我国的第一大能源,目前的年产量已超过11亿吨,居世界前列。与美国的情况相近,我国铁路亦是柴油消费大户,全路内燃机车保有量已达7000多台,年消耗柴油超过300万吨,占我国柴油总消耗量的10%以上。因此,开展内燃机车烧煤燃料的开发研究对解决我国煤多油少和柴油供不应求的矛盾将具有十分重要的经济意义和战略意义。

鉴于我国在这一研究领域尚处于空白,笔者广泛地搜集了自80年代中期以来美国公开发表的有关煤水浆内燃机车的专题文献及相关资料,在经过认真筛选、归纳、整理之基础上编译成《煤水浆内燃机车》一书。书中详细地介绍了美国进行煤水浆内燃机车开发研究的始末和迄今所取得的技术进展。本书对我国今后开展这方面的课题研究将具有启迪和借鉴作用。

在本书的编译过程中,曾得到西南交通大学孙翔教授、铁道部科学研究院陆士强研究员、铁道部大连内燃机车研究所高级工程师陈朝贵、李敦康等专家的指导和帮助。在此谨向他们表示衷心的感谢。

为使广大读者更准确地了解有关参数和数据,在编译过程中,

目 录

第一章 概 述	1
第一节 煤水浆内燃机车的开发背景及可行性分析	1
第二节 GE 公司煤水浆内燃机车开发研究进展	12
第二章 经济性分析	25
第一节 煤水浆内燃机车的经济性评估	25
第二节 煤水浆内燃机车的商品化分析	39
第三章 燃料喷射和燃烧试验	49
第一节 煤水浆在模拟的中速柴油机环境中的 燃烧特性	49
第二节 煤水浆在柴油机气缸内的发火试验	64
第三节 初步的全负荷试验	84
第四节 蓄压式煤水浆喷射系统的性能评价	103
第五节 第三阶段的单缸机燃烧研究	117
第六节 带柴油引燃的煤水浆柴油机燃烧模型	136
第七节 煤水浆柴油机燃料雾化的数值计算	154
第八节 煤水浆特性对发动机性能的影响	169
第九节 第一阶段的四冲程 12 缸燃煤柴油机的设计和 运行试验	186
第十节 第二阶段的四冲程 12 缸燃煤柴油机的设计和 运行试验	196
第十一节 煤水浆在二冲程柴油机中的燃烧 ——早期的双缸机试验	206
第十二节 煤水浆在二冲程柴油机中的燃烧	

——试验系统设计.....	220
第十三节 煤水浆在二冲程柴油机中的燃烧	
——燃料喷射量及喷射定时的影响.....	237
第四章 耐久性研究与开发.....	258
第一节 煤水浆柴油机零部件的磨耗及其控制.....	258
第二节 煤水浆柴油机中机油污染引起的磨耗.....	278
第三节 煤水浆柴油机耐久零部件的开发.....	294
第五章 排放控制.....	303
第一节 煤水浆内燃机车的排放控制.....	303
第二节 燃煤发动机氮氧化物排放值计算结果.....	313
附 录 书中涉及的非法定计量单位的换算.....	322
参考文献.....	327

第一章 概 述

第一节 煤水浆内燃机车的开发 背景及可行性分析

一、背 景

自 1973 年爆发了第一次世界石油危机之后,石油价格看涨,在短短几年时间内,连续翻了 5~6 番。美国是石油消费大国,同时也是石油进口大国。在 70 年代末,美国每年的石油总消费量在 70 亿桶左右,其中半数靠进口。美国的石油资源并不丰富,70 年代末探明的石油估计储量仅在 36 亿吨左右,占世界总石油储量的 4.1%。若按美国当时的石油年开采量和年进口量估算,这一储量仅够用 30 年左右。再从整个世界石油资源来看,前景亦不乐观。据 1980 年 9 月召开的第十一届世界能源会议估计,世界石油的可靠储量只有 1270 亿吨,按 70 年代末的年开采量水平计,仅能满足人类 30~35 年的需要。

世界石油资源短缺和石油价格暴涨对整个世界经济产生了巨大的冲击,而给美国、日本和西欧这类石油主要靠进口的工业化国家所带来的冲击和影响尤甚。然而,事物总是具有两面性,这场危机使人们更加深刻地认识到了石油依赖进口的致命弱点,因而开始考虑重新调整其能源生产和消费结构,同时大力开展节能运动和积极寻求代用能源。

人们在寻求石油的替代能源时,首先想到的就是煤炭。这其中的主要原因有三条:一是煤的储量丰富;二是相对石油和天然气来说煤的价格较便宜;三是在当时煤的开采、洗选、加工、转化等技术已经发展到相当高的水平。

美国的煤资源十分丰富,其储量超过世界上任何一个国家。据

1977 年美国能源部提交给国会的年度报告,美国煤炭总的证实储量为 4390 亿美吨,其中 2970 亿美吨可用井下方法开采,其余的可直接用露天方法开采。扣除掉开采过程中的煤炭损失后,可开采的经济储量约为 2700 亿美吨,按 1979 年美国煤产量计,可开采 350 年。另据美国铁路专业核心期刊《Progressive Railroading》1994 年第 7 期载文报道:美国煤储量达 3000 亿美吨,占世界煤炭总储量的 32%;按换算能量值计,超过世界石油和天然气总储量之和;按美国目前煤炭年产量计,可供再开采和供应 240 年。

70 年代中后期,美国政府对对本国乃至整个世界的石油、煤炭、天然气等主要能源的储量、消费量、可获得性及供应价格等因素的现状及未来的发展趋势进行了广泛的研究分析之后,决定大幅度提高煤炭产量以满足本国市场和增加出口的需要(据美国《Progressive Railroading》杂志 1994 年第 7 期载文报道:目前美国的煤炭年产量已超过 10 亿吨,其中 90% 供本国使用,10% 供出口,主要出口到欧共体、日本、加拿大等国,年创汇近 50 亿美元);另一方面决定从政府财政中拨出数十亿美元的巨额资金用于煤炭的开发利用研究。所以在 70 年代末、80 年代初由美国能源部主持实施的燃煤柴油机综合性开发研究计划,实际上只是整个美国新能源开发利用研究计划中的一个组成部分。

美国能源部主持的燃煤柴油机开发研究计划的总目标是:对燃用价格昂贵的优质柴油的柴油机,尤其是铁路机车、船舶推进、工业发电和公用事业发电用大型中低速柴油机应用煤燃料的经济性和技术可行性进行分析;在此基础上进行燃煤柴油机系统及零部件的开发,然后制造出样机并进行广泛的认证试验,最终争取在 90 年代中期使之达到商品化水平。

能源部的燃煤柴油机开发研究计划为美国铁路运输业力图摆脱受燃油价格和燃油的可获得性的制约带来了希望。美国是世界上铁路运输业最发达的国家之一,在 70 年代末、80 年代初,铁路营业里程达 27 万多公里,比居世界第二位的原苏联国家铁路多近一倍。铁路私营化和铁路牵引动力几乎全部内燃化(电力机车不到

100 台)是美国铁路的基本特点。1980 年,美国内燃机车总保有量达 28000 多台。在美国,通常一台大功率干线内燃机车年消耗柴油约 30 万美制加仑。由此推算,美国铁路全年的柴油总消耗量在 40 亿美制加仑左右,占美国柴油总消耗量的 10% 以上。1970 年,铁路燃油价格平均为 10.73 美分/美制加仑,1981 年上涨至 1.04 美元/美制加仑,上涨了 8~9 倍。1986 年燃油价格有所回落,跌至 41 美分/美制加仑,1987 年又开始回升。截至 1993 年,美国铁路机车的燃油价格基本稳定在 1 美元/美制加仑左右(包括联邦税和州税)。在这期间,尽管柴油价格一涨再涨,而煤的价格却相对稳定。例如 1970 年,每含 100 万 Btu(英热单位)的柴油价格平均比含相等热值的煤的价格高 51 美分;而到了 1974 年,这个差价跃升到 1.21 美元;到 1981 年,已猛升到 4.46 美元。正因为两种燃料之间存在着巨额差价,且柴油的供应尚得不到保障,所以,在 70 年代末、80 年代初美国能源部开始组织实施燃煤柴油机开发研究计划时,首先得到了铁路运用部门和机车工业部门的积极响应。作为美国一级铁路公司的伯灵顿北方铁路(Burlington Northern Railroad)及诺福克南方铁路(Norfolk Southern Railroad)和作为美国两大机车制造厂商之一的通用电气公司运输部(General Electric-Transportation Systems,以下简称 GE 公司),率先参与了该项开发研究计划。随后,作为另一大机车制造厂商的通用汽车公司电气动力部(General Motors-Electro-Motive Division,以下简称 GM 公司)也积极参与了该项开发研究计划。两大机车制造厂家作为主承包商针对各自内燃机车产品的特点分别与能源部签订了煤水浆内燃机车开发研究课题承包合同。在能源部的组织协调下,国内很多著名的高等院校(如麻省理工学院、宾夕法尼亚州立大学、得克萨斯州 A & M 大学、北达科他州立大学、阿德尔菲大学)的专业研究机构、内燃机研究所(如西南研究所)以及相关的厂家、公司等,也积极参与和协助了这两大机车制造厂家的煤水浆机车开发研究。

二、GE 与 GM 两家公司在煤水浆内燃机车开发研究中的竞争

GE 公司和 GM 公司是美国的两大内燃机车制造厂家,其产品不但供应本国市场,而且还大量出口,因而在国内、国际机车市场上占有举足轻重的地位。在 80 年代初之前,从 GE 公司和 GM 公司在本国机车市场上的占有率来看,GM 公司占绝对优势(约占 75%)。自进入 80 年代中期以来,GE 公司加强了与 GM 公司的竞争,加大了生产投入,特别注重新技术和新产品的开发,从而使得自己在本国及国际机车市场上逐渐形成了与 GM 公司分庭抗礼的局面,甚至有时还略占上风。两家的内燃机车产品各有特色。从两家生产的内燃机车所采用的动力装置来看,GE 公司自 60 年代以来一直采用 7FDL 系列四冲程中速柴油机。最近几十年来,虽然机车产品不断更新换代,但柴油机的基本结构并没有变,只是在原来基础上不断进行强化和改进以适应新型机车的要求。GE 公司在煤水浆柴油机的开发研究中始终是以该机型作为基础的。GM 公司生产的内燃机车一直是采用二冲程中速柴油机。60 年代中期之前,大都装用 567 系列柴油机(567 表示气缸排量为 567 立方英寸)。60 年代中期至 80 年代中期生产的机车装用了在 567 系列基础上改进设计的 645 系列柴油机,气缸排量相应增加到 645 立方英寸。80 年代中期至目前所生产的机车主要装用了在 645 系列基础上改进设计的新一代 710 系列柴油机,气缸排量相应增大到 710 立方英寸。GM 公司在煤水浆内燃机车开发研究中最初是在一台 567B 型双缸机上进行的,后来改在 645 型双缸机上进行。

从两家着手进行煤水浆内燃机车开发研究的时间看,GE 公司起步稍早一些,大约是在 1982 年;而 GM 公司则是在 1985 年初。1985 年初,美国能源部分别与两家公司签订了为期 3 年的燃煤机车开发研究课题承包合同。合同涉及的具体项目包括:经济性评估,煤燃料特性分析,燃料供送/喷射装置的开发,了解燃烧过程的试验,排放测量,零部件的开发以及先进的制作材料的评估分析

等。两大公司在初期阶段经过广泛的调研和论证后,得出了一致的结论,即煤水浆内燃机车不但技术上可行,而且在经济上很有吸引力。在随后的研究开发中,两家公司所采取的方法和步骤大致相同,即先利用实验室里的试验装置和小型发动机进行试验研究,然后利用实际尺寸的单缸机(实际是双缸机,仅其中一个缸烧煤水浆)以及多缸机(仅 GE 公司)进行试验研究。

GE 公司在整个开发研究活动中,主要是依靠本公司内部的力量,以所属的运输部为主,公司所属的研究开发中心和环保处进行协助。

GM 公司在煤水浆柴油机开发研究中,除了依靠自身的力量外,还积极与西南研究所(Southwest Research Institute)、阿迪埃帕蒂克斯公司(Adiabatics Inc.)等单位合作,并与其签订了课题研究转包合同。

GE 公司在初期的单缸机试验中燃用煤水浆获得了巨大的成功,且在煤水浆柴油机系统及零部件的开发方面取得了很大的进展,从而得到能源部的认可而被选定继续进行煤水浆内燃机车的开发研究。1988 年 3 月,能源部与 GE 公司续签了为期 5 年的课题研究合同,并相应地把第二期煤水浆内燃机车的开发基金 2200 万美元全部拨给了 GE 公司(政府拨给的第一期煤水浆内燃机车的开发基金为 300 万美元,由 GE 和 GM 两家公司分享)。

关于开发基金,要附带说明一点的是,美国能源部在组织实施燃煤柴油机开发研究计划过程中采取的基本做法是,积极鼓励和支持柴油机生产厂家参与其计划,甚至将同一类型产品的生产厂家都吸收进来以鼓励竞争。对参与其开发研究计划的生产厂家采取分阶段签订课题研究承包合同的方式,以明确责任和利于监督。所需的研究经费则根据课题的范围和期限而定。考虑到一旦新产品开发出来并投入商品化之后,首先获利的将是该产品的生产厂家,所以凡是参与能源部燃煤柴油机开发研究计划的生产厂家(不包括其它协作单位)亦需承担部分研究费用,但承担的份额最多不超过 20%。

1988年3月能源部与GE公司续签的5年期研究课题承包合同的主要内容是:GE公司将在5年内研制出用于机车的四冲程、标定转速为1050r/min、功率为2900kW的燃煤柴油机并进行装车试验。为了达到合同中规定的目标,GE公司首先在实验室里对其中有一个缸烧煤水浆运行的7FDL双缸机和一台其中有两个缸烧煤水浆运行的8缸机进行长期的开发试验和耐久性试验,然后对一台经过初步改进设计的12缸7FDL柴油机在实验室里进行全部气缸烧煤水浆运行试验,最后将该机装到一台经过改装的Dash8型电传动内燃机车上并在GE公司厂属线路上进行运行试验。1991年10~11月,该台机车成功地在GE公司伊利机车厂的厂属试验线上累计运行了10多个小时。这是燃煤内燃机车开发研究中的一个重要里程碑。几乎在第一阶段的12缸燃煤柴油机试验的同时,GE公司又开始了第二阶段的12缸燃煤柴油机和机车的研制。第二阶段的12缸机实际是一台集GE公司自开展燃煤柴油机开发研究以来所取得成果之大成的机车用煤水浆柴油机,它包括采用了先进的电子控制的蓄压式燃料喷射系统、废气排放控制系统、耐久的零部件等基本特点。该机于1992年末研制成功并开始进行试验。

正如上面所提到的,GM公司在燃煤机车的开发研究中起步稍晚于GE公司。虽然两家公司都是在1985年初同时与能源部签订为期3年的第一阶段开发研究合同的,但在此之前,GE公司已经在伯灵顿北方铁路公司和诺福克南方铁路公司的推动和支持下进行了两三年的初步的燃煤机车的经济性和技术可行性分析、评估和研究试验。正因为如此,GM公司在后来的开发研究中虽然也做了大量工作,付出了很大的努力,但与GE公司相比,无论是从研究的深度、广度看,还是从取得的研究进展看,仍有不小的差距。所以在1988年能源部与柴油机生产厂家续签第二阶段为期5年的研究承包合同时只选择了GE公司和另一家主要生产大型固定式柴油机的库珀·贝西默公司(Cooper-Bessemer),且将第二期煤水浆内燃机车的开发基金2200万美元全拨给了GE公司。没有政

府的资助,等于失去了课题研究的依托。因此,GM 公司的煤水浆内燃机车的开发研究活动至 1989 年底便基本停止了。显而易见,在这场燃煤机车的开发研究竞争中,GM 公司落后于 GE 公司。

最后需补充说明的是:就在 GE 公司的煤水浆内燃机车开发研究计划不断取得突破性进展的情况下,GE 公司于 1993 年年中毅然中止了该计划的继续进行。据 GE 公司披露,他们之所以暂时中止这一计划,主要是基于两方面的原因:一是政府财政紧张,削减了对煤水浆内燃机车开发项目的投资;二是近来石油价格偏低,且预计这种势头还将会持续下去。据国内有关人士分析,GE 公司暂时中止煤水浆内燃机车开发计划似乎与美国近来机车市场的巨大变化也有着直接的关系。正如上文中已经提及的,GE 公司和 GM 公司是美国的两大机车制造厂商,其不但主宰和控制着整个美国国内机车市场,而且在国际机车市场上亦具有举足轻重的地位。长期以来,特别是进入 80 年代以来,两家公司为了争夺市场,一直进行着激烈的竞争,不断推出自己的新型机车以满足铁路用户的需要。1993 年 3 月 16 日,美国伯灵顿北方铁路正式宣布向 GM 公司订购 350 台 SD70MAC 型大功率三相交流传动内燃机车(机车的交流传动装置由德国西门子公司提供),总价值达 6.75 亿美元。这一大宗机车订货对美国机车市场产生了巨大影响,它扫除了人们对起源于欧洲的交流传动机车技术能否在北美铁路条件下应用的疑虑,因而众多的铁路公司纷纷表示了愿意购置交流传动内燃机车的意向。GE 公司在这种市场形势下,再加上有前面所述的两个主要原因,断然决策暂时停止煤水浆内燃机车开发计划而把主要精力转向交流传动内燃机车的开发和研制,的确不失为明智之举。1993 年末和 1994 年初 GE 公司先后获得 CSX 铁路 250 台和联合太平洋铁路 140 台大功率交流传动内燃机车的订货也恰恰证明了这一点。

大量研究结果表明,GE 公司的煤水浆内燃机车技术已接近实用阶段。尽管目前由于形势的变化使这一技术暂被储备起来,但正如 GE 公司的研究人员所指出的,一旦石油燃料的供应得不到

保障或其价格变得不可接受,他们将很快推出新一代以煤为燃料的内燃机车以满足铁路市场需要。

三、燃煤机车的演变

事实上,燃煤机车并不是个新概念。煤曾推动了铁路事业的发展,它充当机车的主燃料源历经100多年。19世纪初诞生于英国的机车正是出于寻求一种更简单、更有效的把煤从煤矿运送出去的方法之目的而被创造的。“铁路”和“蒸汽机”这两项早期发明的结合诞生了机车。尽管在当时机车发动机常有各种各样的机械故障,但是机车运输成本仍比各种兽力车运输成本低,因为它们燃用的是来自煤矿的廉价煤燃料,而不是消耗昂贵的饲料。

如同所有新生事物一样,用机车替代兽力车,在刚开始时也曾受到人们的怀疑,甚至非难。然而,蒸汽机车无可比拟的优越性使得它不断发展壮大,且随着铁路的扩展而得到越来越广泛的应用。在19世纪初乃至一直持续到20世纪的相当长一段时间里,以煤为燃料的蒸汽机车一直是运输行业中的主力军。

直到19世纪末电动机技术开始成熟,才有了除蒸汽机车之外的其它选择。即便在那时,电力机车仍不是蒸汽机车的强有力竞争对手。正如今天的情形一样,电力机车只是应用在人口较密集的地区。蒸汽机车的第一个真正的对手是以柴油机为动力的内燃机车。

柴油机发明于19世纪末,并在20世纪初得到进一步完善。在本世纪20年代,柴油机开始进入铁路市场,充当调车机车的动力装置。铁路部门发现,内燃机车的运营比蒸汽机车简单、便宜,进而又确认了内燃机车是第一合理的动力源。正是这种选择引发了一场机车发动机的革命。

柴油机占领铁路市场的阶段恰恰是机车动力系统技术大发展的阶段。在当时,铁路对机车动力装置的类型(包括蒸汽机、柴油机和燃气轮机)、机车传动系统(包括机械传动或电传动)以及燃料型式(包括煤、油和气体燃料)都面临着几种选择。

在欧洲和北美,曾制造了不少燃气轮机车,并投入了实际运

用。当时拥有燃气轮机车数量最多的是美国的联合太平洋铁路公司(在1951~1954年间投入运用的燃气轮机车有51台)。其中有一台燃气轮机车被改造成烧煤燃料,因受当时的技术水平限制,在实际运用中未能获得成功。

随着机车技术的不断发展,人们发现石油燃料不但价廉且可满足供应。截至1950年,廉价的石油燃料供应成为铁路的理想选择。虽然煤价也同样低廉,但当时的燃煤机车却无力与不断发展的以柴油机为基础的新型机车所表现的许多优势抗衡。新型柴油机的主要优势是效率高、灵活性好及维修成本低。正因为如此,烧煤的蒸汽机车最终难逃遭淘汰的厄运。在美国,烧石油燃料的电传动内燃机车成为铁路的唯一选择。截至50年代末,蒸汽机车已从美国干线货运中完全消失。

今天,铁路运输部门和机车制造部门再次面临着经济危机问题,解决这些问题的办法也许会再次引发一场机车革命。人们普遍认为,尽管眼下石油燃料供应看来不成问题,且价格也不象原先预计的那么高,但铁路最终将受到更高的燃油价格和可获得性的制约。所以,研究和开发一种在技术上可行、在经济上有吸引力的、以煤为燃料的新一代内燃机车是十分必要的。一旦这种机车开发成功并进入商品化,其经济意义和战略意义将是不言而喻的。

四、煤水浆内燃机车在技术上的可行性

以煤为燃料的内燃机车的技术关键在于柴油机。事实上,柴油机烧煤燃料并不是一个新的研究课题。早在19世纪末,柴油机的发明者狄塞尔在其发明专利中就提出了柴油机烧煤的设想,并在随后进行了大胆的尝试。狄塞尔在经过了几年的试验研究之后,被迫放弃了这一研究课题。导致研究失败的原因是当时所用的煤粉燃料的运送、柴油机喷嘴、活塞环等零部件过快磨耗等技术问题无法克服。20世纪初,狄塞尔的一些同事,尤其是一位叫鲁道夫·鲍利可夫斯基(Rudolf Pawlikowski)的研究者继续开展了柴油机烧煤粉燃料的开发研究,并且取得了巨大的进展。他们成功地进行了

柴油机从烧粉煤到硬煤的示范性运行。在这一阶段,在德国曾先后制造了 19 台气缸工作容积从 1 升到 154 升、转速从 160r/min 到 1600r/min 的烧煤粉运行的试验型发动机。截至 1940 年,这些试验机累计运行达数千小时。第二次世界大战的结束亦宣告了当时德国人积极进行的燃煤柴油机研究工作的结束。这一方面是由于战争的影响,另一方面是由于当时石油燃料价格便宜且供应不成问题,人们对柴油机烧煤燃料已不感兴趣。自那以后一直到 1980 年,在全世界范围内对燃煤柴油机的研究只是零零星星地进行着。

自 80 年代初起,在美国开展了一场较大规模的燃煤柴油机开发研究活动。人们总结和吸取了前人的经验,在对煤粉、气化煤、液化煤、煤/甲醇浆、煤/柴油浆及煤/水浆等各种燃料形式方案进行了对比分析和试验之后,最后选择了煤水浆这一燃料形式。由于时代的进步,技术的发展,当年狄塞尔、鲍利可夫斯基等人在燃煤柴油机研究试验中所遇到的各种无法逾越的障碍或技术难题在今天有些已经不再成为问题,有些则得到了有效控制或解决。

柴油机应用煤燃料的技术关键在于燃料制备、燃料喷射和发火燃烧、耐久性 & 排放控制等方面。目前在这些关键领域都已经取得了突破性的进展。各种研究结果证实,煤水浆柴油机在技术上是可行的。尽管现阶段在某些局部方面还不够完善,例如燃料喷射系统的柴油引燃装置的工作可靠性还没有完全解决,但开发者们相信,通过进一步的努力,不用多久,煤水浆柴油机将会达到商业应用水平。

煤水浆内燃机车的技术关键在于柴油机,只要解决了柴油机方面的问题,整个机车系统的其它问题并不难解决。例如,与燃用柴油的普通内燃机车相比,煤水浆内燃机车的一个主要问题是燃料的储存和携带。由于煤水浆的热值一般只有柴油的二分之一,所以为了保持煤水浆内燃机车具有与柴油内燃机车相等的走行里程,就需要携带两倍于柴油的煤水浆。在开发煤水浆内燃机车的当时,美国干线内燃机车的燃油箱最大容积为 4000 美制加仑,在此基础上再增加 4000 美制加仑的容积和重量,因受机车有效空间限