

论电力牵引轨道交通的技术发展

刘友梅

(株洲电力机车厂, 湖南 株洲 412001)

[摘要] 交通是社会经济运行的大动脉, 轨道交通又一直是我国交通运输业的主体, 而电力牵引已经成为轨道交通牵引动力的发展方向。文章从电力牵引轨道交通的技术优势出发, 综述了国外电力牵引轨道交通的发展趋势和我国电力牵引轨道交通的发展历程, 展望了我国电力牵引轨道交通的发展前景。

[关键词] 电力牵引; 轨道交通; 发展; 展望

1 电力牵引轨道交通的技术优势

电力牵引作为轨道交通牵引动力的世界性趋势正在蓬勃发展。自从1879年德国诞生第一辆电力机车(功率10 kW)以来已登上了牵引动力的首席, 同以煤作为动力能源的蒸汽机车牵引和以柴油作为动力能源的内燃机车牵引相比, 电力机车具有突出的优越性。

1.1 庞大的电网能源容量

庞大的能源容量为发展大功率、重载、高速的牵引动力提供了技术基础。蒸汽机车锅炉装机容量最大为2 237 kW (3 000 HP), 轴功率约400 kW; 内燃机车柴油机装机容量最大为4 474 kW (6 000 HP), 轴功率最大为600 kW; 而电力机车的能源取自供电网, 尤其在进入工频交流制电力牵引输电以后, 可与工业电网联网, 供电网容量不受制约。因此, 电力机车设计容量可以视为不受能源装机容量的限制, 机车总功率仅取决于轴功率。我国电力机车单轴功率已达到800 kW、900 kW、1 000 kW、1 200 kW, 国外电力机车单轴功率最大已达1 600 kW^[1]。由此可知三种牵引动力的功率比将为: 电力牵引: 内燃牵引: 蒸汽牵引 = 2: 1: 0.7

1.2 多形式的能源渠道

世界能源危机, 尤其是石油危机, 迫使人们开

发多能源方式的运载工具。除了最常规的煤、石油被大量采用以外, 将开发使用核、太阳、水力、潮汐、风、天然气、地热、化学等新能源, 并将这些能源转化成电能方式使用。电力机车目前是唯一通过电能传输来接受多能源的牵引动力装置, 从而可以从能源危机的阴影中解救出来。

1.3 电力牵引效率高, 是节能型产品

在轨道交通的三种主要运载工具中, 蒸汽机车由于煤在锅炉中的不完全燃烧, 使得蒸汽机车总效率最好时仅有8%~9%, 难以在技术上有突破; 内燃机车由于提高柴油机效率在技术上存在难度, 其总效率最好水平为40%~45%; 电力机车是电能是直接转化, 故其总效率一般都在82%~86%。由此可见, 采用电力牵引具有明显的节能效应和经济效益。

1.4 有利于环境保护, 是环保型产品

蒸汽机车大量的煤烟排放, 内燃机车严重的废气排放, 都会对生态环境带来破坏。又因为都是运动体, 很难进行排污处理, 排放物只有在大气中散发, 尤其是在长大隧道中, 严重到司乘人员无法忍受的程度, 甚至造成人员伤亡。而电力机车完全没有燃烧物废气排放, 故深受世界发达国家的垂青, 成为轨道交通牵引方式的主流。

1.5 良好的劳动保护条件

[收稿日期] 2000-06-09; **修回日期** 2000-08-28

[作者简介] 刘友梅(1938-), 男, 江西上饶市人, 中国工程院院士, 株洲电力机车厂教授级高级工程师

噪声低——无强大噪声动力源；无排泄物——无有害烟、气排泄；工作污染小——工作场所无柴油、煤等污染物；操纵条件——电气间接集中控制，司机室环境良好；维护——电气维修为主，自诊断与模块化，维护简捷；思维与技术素质——工作人员技术素质高，逻辑思维敏捷。

1.6 有利于推动全国电气化

由于电力牵引采用工频 25 kV 输电制式，可与强大工业电网联网，因而铁路电力牵引输电网的建设会推动沿线农村、边缘地区的电气化建设。

1.7 运输效益高

电力牵引能源传输简单，效率高，成本低。电能输送靠输电线，而内燃机车用柴油要靠输油管或油罐车运送；蒸汽机车用煤要靠煤专运列车运送。电力牵引功率大，可以多拉快跑，运输能力（万吨公里值）比蒸汽机车牵引高 3 倍以上，比内燃机车牵引高 2 倍以上，而能耗成本仅为内燃机车的一半，或蒸汽机车的三分之一。

1.8 机电一体化，可带动相关产业发展

电力牵引系统包含电机、电器、电子、自动控制、网络技术、变流技术、变压技术、输配电技术、高压工程、绝缘工程、电线电缆、仪器仪表等多种电气工程产品，同时也包含机械制造、结构力学、运动力学、空气动力学、传动力学、焊接技术、热工技术以及弹簧、齿轮、轴承、塑料、玻璃、金属材料、复合材料等机械工程产品。机电一体化形成了电力牵引系统多学科产品的配套。随着重载、高速、信息化的进一步要求，从发展电力牵引入手，可以推动轨道交通牵引动力的现代化。

2 国外电力牵引轨道交通发展趋势

轨道交通一直是以铁路为主体，世界上第一条铁路自 1825 年在英国诞生以来^[2]，一直被视为工业革命的象征与先驱和国民经济发展的基础之一。进入 20 世纪以后，铁路、公路、水路、航空、管道五大运输方式既形成竞争态势，同时又相互支撑，相互衔接，形成全方位的综合运输体系，成为社会经济运行的大动脉。

铁路作为轨道交通的主体，具有集中、大宗、安全、舒适、价廉、全天候的优势，被称为大众交通。

世界铁路总里程达 128×10^4 km 以上，主要集中在欧洲与北美，共占 70 % 以上，亚洲居第三，

占 12 %。超过 5×10^4 km 铁路的国家有美国、俄国、加拿大、印度和中国，我国居第 5 位；按国土平均，我国居第 68 位；按人口平均，我国居 102 位。世界电力牵引铁路诞生于 1879 年，至今电气化铁路里程约占总里程的 20 %，却完成 45 % 的运量。电力牵引里程与运量排行前 10 位的国家为：

国家	电力牵引里程/%	完成运量/%
瑞士	100	100
瑞典	65	95
日本	57	90
意大利	51	90
德国	42	86
法国	32	82
波兰	37	65
俄国	33	60
英国	20	65
中国	19	30

世界铁路借助电力牵引等新技术，实现了客运高速和货运重载两大战略目标，完成了从传统产业向现代化产业发展的历史性转变。以 1964 年日本第一条电气化高速铁路（东海道新干线）开通营业为标志，法国、德国、意大利、西班牙、瑞典、英国相继建成电气化高速铁路，电力牵引列车最高运营速度从 210 km/h 跨越 300 km/h，最高试验速度达到 515 km/h^[3]。电气化高速铁路以其良好的环保性、节能、无污染、能源多样性、节省用地、安全、高效、准点、舒适、便捷等优点，在国际上已将电力牵引高速铁路运输视为现代化的象征。韩国、俄国、美国、加拿大以及我国台湾省已相继动工修建电气化高速铁路。高速技术在发达国家已几度更新，技术日臻成熟。全世界电气化高速铁路通车里程已有 5 000 km，其中日本新干线 1 952 km、法国 TGV 1 282 km、德国 ICE 427 km、西班牙 AVE 471 km、意大利 ETR 237 km，还有近 10 000 km 正在建设^[3]。21 世纪将是高速铁路时代，仅日本就要使高速铁路总里程增加到 7 000 km，形成以东京为中心的“全国一日交通圈”高速铁路网。法国高速铁路将以巴黎为中心，覆盖 70 % 的法国国土。即使在航空及高速公路十分发达的美国，也开始掀起修建高速铁路的高潮。纵观世界发展动向，高速铁路前景令人瞩目。

重载货运始于 20 世纪 60 年代，从北美铁路兴起，目前已有美国、加拿大、俄国、澳大利亚、巴西、南非、中国等近 10 个国家的铁路开行万吨以

上重载列车, 主要形式也是电力牵引。

发达国家城市化进程加快, 城市交通问题已成为严重制约城市发展的瓶颈。世界上许多大城市都建有发达的轨道交通系统, 例如, 1 000 多万人口的大巴黎, 轨道交通系统有 1 200 km 以上; 700 多万人口的伦敦, 有 1 000 km 以上; 1 300 多万人口的东京, 有 2 000 km 以上; 还有莫斯科、纽约、柏林、芝加哥等城市有几百上千千米的轨道交通系统。轨道交通系统是现代化百万以上人口大都市的干线交通。为了保护环境, 从 80 年代开始, 欧美一些中等城市也陆续修建“绿色”新型轨道交通系统。优先发展公共交通作为缓解城市交通的有效途径, 已成为全世界的共识, 一切以满足市民出行行为最高目的。大容量、无污染、高效率、环境好的轨道交通系统, 必然成为世界大城市交通发展的首选模式。

从技术发展看, 世界各主要发达国家还利用发展电力牵引这个机遇, 调整交通部署, 广泛吸纳有关科技成果, 如高速技术、重载技术、“交直交”变频调速传动技术、微机控制网络技术、结构轻量化技术、运动学和空气动力学技术、信息技术等, 继续挖掘轨道交通系统发展的潜力。与此同时, 发达国家在改善服务品质, 完善运输管理, 改革运营机制等举措下, 高速客运与重载货运产业发展正呈现方兴未艾之势。

3 国内电力牵引轨道交通发展历程

我国第一条铁路始建于 1881 年^[2]。新中国成立 50 年来, 铁路建设取得了举世瞩目的成就, 铁路营业里程从 2×10^4 km 增长到 6.7×10^4 km 以上。以 1961 年我国第一条电力牵引翻越秦岭的山区铁路(宝鸡—凤州, 长 92 km, 最高限速 70 km/h) 通车为起始, 电气化铁路从零已发展到 1.3×10^4 km。我国已成为继法国、德国、日本、俄罗斯等国家之后第八个拥有 1×10^4 km 以上电气化铁路的国家。1997 年启动的提速工程, 大区域电力牵引提速达 160 km/h, 1998 年出现了 200 km/h 运行的广深电气化铁路。“十五”期间将完成 2×10^4 km (占总里程 25%) 电气化铁路和承担总运量 50% 的发展目标。

我国电力牵引运载工具——电力机车, 自 1958 年第一台电力机车诞生, 实现了“零”的突破开始, 1985 年第一台相控电力机车诞生, 从而

逐步配套形成快速客运(4 轴)、客货两用(6 轴)、重载货运(8 轴)多机型、多用途的系列化第三代电力机车; 从第一代、第二代电力机车的单一机型转化为系列化产品, 电力机车“从少到多”; 1996 年我国第一台微机控制、全悬挂架承式轮对空心轴弹性传动的快速客运电力机车诞生, 创造了 240 km/h 中国铁路第一速; 1997 年我国第一台交流电传动电力机车研制成功, 标志着我国电力机车研制进入高科技领域, 实现了从普速到高速和从交直电传动到交流电传动的两个里程碑的跨越, 电力机车在技术上“从低到高”。

目前我国电力机车总拥有量达到 3 300 多台, 其中国产电力机车占 90% 以上^[4]。

我国电力机车的技术发展分成四个阶段, 形成四代产品^[4], 同国际上技术发展路径相类似, 由直流电传动到交直电传动再到交流电传动三个技术体系。我国干线电力牵引由于一开始决策正确, 采用 25 kV 工频交流供电制式, 所以没有经过直流电传动体系, 而直接进入交直电传动体系。其过程也是经过了从二极管全波整流和调压开关调幅式有级调压, 调压开关粗调和晶闸管相控微调相结合的级间平滑调压, 到多段桥晶闸管相控无级调压的交直电传动系统的三代产品。第一代产品为 SS1、SS2 型, SS1 为低压侧调压开关 33 级有级调压方式, 机车功率 3 780 kW, 6 轴客货两用, $C_0 - C_0$ 轴式, 630 kW 脉流牵引电机拖动, 最高速度 90 km/h; SS2 为高压侧调压开关 32 级有级调压方式, 机车功率 4 620 kW, 6 轴客货两用, $C_0 - C_0$ 轴式, 770 kW 脉流牵引电机拖动, 最高速度 100 km/h。第二代产品为 SS3 型, 其特征是低压侧调压开关实现 8 级大调, 在每一级内利用晶闸管相控无级调压, 达到类似 8 段桥相控调压特性, 机车功率 4 320 kW, 6 轴客货两用, $C_0 - C_0$ 轴式, 720 kW 脉流牵引电机拖动, 最高速度 100 km/h。第三代产品为多机型组成, 其共同的特征是采用多段桥(3 段或 4 段)相控无级调压方式, 构成 $B_0 - B_0$ 、 $C_0 - C_0$ 、 $B_0 - B_0 - B_0$ 、 $2(B_0 - B_0)$ 轴式, 货运机车单轴功率 800 kW, 客运机车单轴功率 900 kW。重载货运的 SS4、SS4B、SS4C 型 8 轴电力机车, $2(B_0 - B_0)$ 轴式, 机车功率 6 400 kW, 最高速度 100 km/h; 客货两用的 SS6、SS6B 型 6 轴电力机车, $C_0 - C_0$ 轴式和 SS7、SS7B、SS7C 型 6 轴电力机车, $B_0 - B_0 - B_0$ 轴式, 机车功率均为

4 800 kW, 最高速度 100 km/h; 快速客运的 SS5、SS8 型 4 轴电力机车, $B_0 - B_0$ 轴式, 机车功率 3 200/3 600 kW, 最高速度 140/160 km/h; SS9 型 6 轴电力机车, $C_0 - C_0$ 轴式, 机车功率 5 400 kW, 最高速度 160 km/h。最新研制成功的 200 km/h 电动旅客列车动力车 DDJ₁ 型, $B_0 - B_0$ 轴式, 机车功率 4 000 kW, 单轴功率 1 000 kW, 为我国交直机车之最。

第一至第三代产品为交传动方式, 仅以调压调速方式和单轴功率级来区分, 而第四代电力机车的基本特征则以电传动方式来确定^[4]。交流电传动方式定为第四代产品标志, 采用 VVVF 变频调速方式, 目前我国已完成轴式 $B_0 - B_0$ 、单轴功率 1 000 kW、机车总功率 4 000 kW、最高速度 120 km/h 的交流电传动原型机车的研制与试验工作。2000 年 6 月首批供商业运行的单轴功率 1 200 kW、机车总功率 4 800 kW、最高速度 220 km/h 的 DJ 新型电力机车诞生, 它集成采用十多项高新技术, 为我国单轴功率最大、技术最先进、达到国际先进水平的交流传动高速客运电力机车。第四代电力机车将是我国 21 世纪轨道交通的主型电力牵引动力, 它的先进性在于异步牵引电机拖动、变流器变频调速、微机控制和总线通讯、电机架悬式、轮对空心轴六连杆弹性传动、轮盘制动、低位斜牵引杆、人字橡胶簧柔性转向架、准流线型车体、顶盖夹层风道独立通风、辅助变流器供电等各项集成技术, 都达到与国际先进水平接轨, 体现了我国第四代电力机车的技术水平将在高起点上进步。

根据模块化、标准化设计原则, 继 DJ 型交流传动高速客运电力机车之后, 2000 年 9 月我国完成了动力集中型交流传动高速电动旅客列车组的研制, 列车基本编组为 $M + 5T + T_c$, 最高速度 230 km/h。其中动力车采用可适应 300 km/h 速度的流线型鼓形断面轻量化车体和可适应 280 km/h 速度的电机半体悬挂, 轮对两级空心轴六连杆弹性传动, 空心轴盘制动等结构的高速动力转向架。其他主要部件与 DJ 型机车实现了模块化与标准化, 为我国交流传动高速客运电动旅客列车组向更高速度、更高技术的发展奠定了技术基础。

4 我国电力牵引轨道交通技术展望

轨道交通的发展要以“速度”来拖动, “高速”是轨道交通现代化的象征, 是轨道交通科技的龙

头。高速交通是国家交通基础建设的主干, 是推动区域经济发展的动力。轨道交通“高速”技术非电力牵引莫属, 而高速电力牵引又要以交流电传动、微机控制、高速转向架、车体气动外形的研究为突破点。

目前我国 SS8 客运电力机车在郑州至武昌铁路区间创造了 240 km/h 的试验速度, 随后在 1999 年又完成了 200 km/h 级动力集中型交传动的电动旅客列车组的开发, 并在广深铁路投入高速客运。我国已成为世界上第九个有能力自行建造高速铁路机车车辆的国家^[2]。我国 SS4 型重载货运电力机车在大同至秦皇岛铁路牵引 150 辆 C63 专用煤车开行万吨重载列车正式投入运营多年。我国已成为世界上第七个开行万吨级重载列车的国家^[2]。我国 1997 年自行研制完成第一台交流电传动电力机车原型车, 2000 年 6 月完成供商业运营的新型交流电传动高速电力机车, 标志着在高新技术领域又迈上了一个新台阶。包括中国在内, 世界上已有七个国家能自行设计制造交流电传动电力机车^[2]。我国电力牵引技术正在积极追赶国际先进水平。

我国轨道交通“高速”可参照日本高速铁路的经验, 先以 210 km/h 级为起步, 配套完成 210 km/h 级机车、客车、电动车组(动力集中、动力分散型)开发, 并取得运营经验, 在 21 世纪初完成 250 km/h 级及以上速度级电动旅客列车组(包括动力集中型与动力分散型)的研制, 实现试验速度突破 300 km/h 新的第一速。按“十年工程”的目标, 完成电力机车从交直电传动向交流电传动的转换, 实现单轴功率 1 200 kW 交流电传动动力集中型动力车和单轴功率 300 kW 动力分散型动力车的模块化设计, 并达到产业化水平。

我国经济正处在起飞期, 城市化必然加快, 百万以上人口大城市建设轨道交通系统, 以促进城市发展, 既符合国际潮流, 又符合中国国情。目前已有北京、天津、上海、广州四个城市运营地铁里程计 122 km。之后有深圳、南京、武汉、重庆、青岛、大连、沈阳、长春、哈尔滨、成都、西安、昆明、鞍山等诸多城市兴建城市轨道交通系统, 实现具有自主知识产权的城市轨道交通技术体系迫在眉睫。当今轨道交通技术发展潮流是注重机电一体化, 轨道交通的现代化发展已经使技术含量的比重从早期以“机”为重, 向以“电”为重的方向转移。例如 VVVF 变流技术、微机自动控制技术、

总线网络技术、异步电机驱动技术、信息化技术等大量现代电力电子、电气工程技术的应用，已成为推动城市轨道交通体系的技术主流。

综上所述，“十五”期间轨道交通运输业的战略目标，可以作如下的技术展望*。

4.1 干线轨道交通

特大城市间开始实现客运专线高速化，客运列车最高速度 210 km/h 以上，建成京沈高速客运通道，开工建设京沪高速铁路，研制成功 210~300 km/h 电动车组，逐步形成以京沈、京沪、京广为主体的高速干线；

主要干线实现提速，形成网络化，干线网络客运列车最高速度达 160 km/h，一般线路达 120 km/h，在主要城市间，客运列车实现 500 km 左右范围内朝发夕归，1 500 km 左右范围内夕发朝至，2 000 km 左右范围内一日到达，形成 1×10^4 km 覆盖面的快速客运网；

主要繁忙干线的大宗货物运输采用长列和大轴重，实现重载化，积极发展 25 t 轴重大功率货运机车和低动力作用的 4 轴 25 t 轴重大型货车，实现主要干线单机牵引 5 000 t；

高附加值货物运输采用特种专列，实现快捷化，在三大干线地区建成快捷货物运输网络，使快捷货运列车最高速度达 120 km/h，一般货运列车最高速度 90 km/h；

运载装备按运输功能配置，实现系列化、型谱化，主要繁忙干线、高速专线、运煤专线、长大坡道和长大隧道线路以及城郊和城市轨道交通线路普遍采用电力牵引，完成单轴功率 1 200 kW 交流电传动系统的研制，并使之产业化；

安全保障技术装备按网络体系配套，实现系统化，实现对机车车辆与动车组运行品质和状态检测、轨道状态检测、轮轨作用力检测、通讯信号检测、弓网状态检测等装备的综合化；

客、货运组织和运营管理采用新技术，实现信息化，完成铁路信息结构体系；

路网建设及其相关技术装备实现现代化，建设“八纵八横”（京沪、京广、京哈、京九、大湛、包柳、兰昆、东部沿海；大陆桥、沪昆、煤运中、煤运南、京兰、沿长江、南部沿海、西南出海）路网骨架，扩大电气化铁路建设，实现大型筑路、养路机械化。

4.2 城市轨道交通

完成城市轨道交通运载装备国产化，实现交流电传动技术、车辆轻量化技术、模拟制动技术、减振降噪技术、列车安全检测及故障诊断技术的应用；

完成包括列车自动防护（ATP）、列车自动监控（ATS）和列车自动驾驶（ATO）子系统在内的列车自动控制系统（ATC）技术，高平顺、少维护无缝线路轨道技术，自动售票技术，运营管理信息技术，接触网供电自动控制技术等基础技术装备国产化；

城市轨道交通路网建在百万以上人口主要大城市，预计 2005 年可建成地铁、轻轨铁路总里程达到 400 km。

在我国加入 WTO 以后，发达国家在轨道交通系统具有雄厚实力的各大公司将加入竞争，它们主要在核心技术——电气工程技术领域对我国进行控制。我国必然要在重视掌握城轨交通车辆机械工程技术的基础上，不遗余力地提高电气工程技术国产化率与占有率，以尽早形成具有全面自主知识产权的城市轨道交通产业。

电力牵引将在城际高速轨道交通、区域重载轨道交通、城市快捷轨道交通等各个方面推动我国轨道交通技术的现代化。再通过旅客流和信息流的有机结合，货物流和信息流的有机结合，形成现代客运业和现代物流业两大支柱产业，最终形成我国综合交通运输体系。这是 21 世纪初我国交通运输领域高新技术应用的主要目标。

参考文献

- [1] 李中浩，周翔民．大力发展我国电力牵引动力，尽快赶上国际先进水平[A]．走向二十一世纪铁路论文集[C]．铁道部科技信息研究所，1995
- [2] 程庆国，周镜，钱立新，等．我国铁道科技发展与展望[A]．中国铁路科技进步与发展论文集[C]．中国铁道出版社，2000
- [3] 黄乃勇．借鉴国外铁路经验，建立我国快速旅客列车系统[A]．走向二十一世纪铁路论文集[C]．铁道部科技信息研究所，1995
- [4] 刘友梅．我国电力机车四十年技术发展综述[J]．机车电传动，1998，(5~6):14~18

（下转第 62 页）

* 铁路科技发展“十五”计划和 2015 年长期规划纲要．铁道部，2000

Opinions on Xinjiang in the Development of Western Region of China

Liu shouren

(Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences, Xinjiang Shihezi 832000, China)

[Abstract] Xinjiang Uygur Autonomous Region is the largest province of China. Xinjiang Production & Construction Groups is a very important part of Xinjiang as a special organization form. The region should be able to accomplish much in the development of western region of China in light of its special geography condition, cultural tradition and natural resources. Xinjiang's development must have its own characteristic. The region should tighten up environmental protection, make full use of light and heat energy, build water-control facilities and improve irrigation technology. It is important to change people's thinking and the function of government. It is badly in need of administrative personnel. The region should change the simple planting structure of grain and cotton, increase the proportion of animal husbandry, especially High-Quality Fine Wool Sheep in agriculture. Development of western region of China is of momentous practical significance and far-reaching historical significance. We should combine current benefit with long-term development, so as to realize the strategic target early.

[Key words] development of western region; Xinjiang; Production & Construction Groups

(Cont. from p.55)

Technology Development of Electric Traction Rail Traffic

Liu Youmei

(Zhuzhou Electric Locomotive Works, Zhuzhou 412001, China)

[Abstract] Traffic plays a pivotal role in the social economy operation. Rail traffic is always the principal part of traffic carrying trade in China. Electric traction has become the development orientation of rail traffic traction power. This paper, proceeding from the technology advantage of electric traction rail traffic, summarizes the development trend of electric traction rail traffic abroad and the development course of that at home, and puts forward the technology prospect of developing electric traction rail traffic in China.

[Key words] electric traction; rail traffic; development; prospect

* * *

《中国工程科学》2000 年第 11 期要目预告

人类遗传病的家系收集疾病基因定位克隆与疾病基因功能的研究..... 夏家辉	过程神经网络的若干理论问题..... 何新贵等
中国农业的发展与东方食品..... 卢良恕等	一种新型葡激酶分子的设计基因构建表达纯化及性质研究..... 宋钢等
21 世纪化生武器与防护技术发展趋势..... 陈冀胜	板壳分析与应用..... 刘人怀
从有缆遥控水下机器人到自治水下机器人..... 封锡盛	高密度爆炸与化学爆炸的物理特征及爆炸次生洪水波效应..... 周丰峻
静电防护工程的研究与进展..... 刘尚合等	膨化硝酸铵自敏化理论研究..... 吕春绪
天然气水合物——未来的新能源..... 金庆焕	流程工业综合自动化的探讨与思考..... 黄道等
半圆形防波堤的设计和进展..... 谢世楞	潜运沉管建闸方法..... 周君亮
高效加工技术及其应用研究..... 艾兴	非常泄洪设施对大坝防洪安全影响的研究..... 吴时强等
管理改革的成功实践——广州抽水蓄能电站建设经验探讨..... 罗绍基	中国气象预报业务工程体系建设和发展..... 颜宏等