

中国铁路与世界主要国家铁路能源消耗对比分析

吴小萍^{1,2}, 李雨思¹, 刘江伟¹

1. 中南大学土木工程学院, 长沙 410004
2. 伦敦大学学院交通研究中心, 伦敦 WC1E 6BT

摘要 铁路能源消耗在世界各国的能源消耗中占有较大比例, 而因各国的铁路发展水平不同、国情各异等, 每个国家的铁路能源消耗特征也呈现不同态势。通过对世界主要国家铁路能源消耗多年统计数据进行分析, 并结合对比中国铁路能耗的具体实际情况可以得出: 能源消耗总量和客货运输生产量直接关系到铁路的能源消耗强度, 利用有限的能源去运输更多的乘客和货物是铁路运输生产的重要课题。提高铁路的技术装备水平和电力机车的牵引比重, 改善运输组织水平, 改革运输组织形式是降低铁路能源消耗的必然选择。

关键词 铁路运输; 铁路能耗; 能源消耗强度

随着世界经济的不断发展, 交通运输业在经济社会中的地位也愈发重要, 尤其是在交通运输业中起着主导作用的铁路运输。根据相关测算, 在等量运输下铁路、公路和航空的能耗(油耗)比为 1:9.3:18.6^[1]。从总体运输成本看, 铁路运输具有明显的成本优势。铁路、公路、水运、航空的客运成本之比为 1:1.59:6:5.54; 铁路、公路、水运、航空的货运成本之比为 1:6.23:0.64:17.2^[2]。在环保方面, 铁路运输是最低碳环保的运输方式, 最符合当下节能减排的全球趋势。在欧盟 27 国, 公路运输排放的温室气体约占全部交通方式的 72%; 而铁路以 1.7% 的排放量, 完成 10% 的运输量, 其低碳运输方式的功能得到充分的展现^[3]。

在节能低碳环保的新形势下, 世界各国日益重视铁路的建设与发展, 进一步凸显了铁路的低碳环保节能优势。而铁路运输在为世界各国经济发展提供强有力保障的同时, 其能源消耗问题也是世界各国关注的焦点和研究的重点。

1 中国铁路能源消耗分析

1.1 中国铁路能源消耗量与能源消耗强度

铁路是国民经济的大动脉, 承担了中国主要中长途客货运输任务。随着中国客货运输量的逐年增长, 铁路运输业的能源消耗逐年上升。2013 年全国铁路总换算周转量完成 39769.51 亿吨·公里, 比 2005 年增加了 12981.52 亿吨·公里, 增长 48.4%, 平均年增幅为 6.05%。2013 年, 国家铁路能源消耗折算标准煤 1743 万 t, 比 2005 年增加 99.2 万 t, 增长 6.0%,

平均增幅为 0.75%。2005—2013 年中国铁路换算周转量与能源消耗如图 1 所示。

铁路能源消耗强度是指完成单位运输生产量所消耗的能源量, 通常称为单耗。2006—2013 年中国国家铁路综合单耗与主营单耗如图 2 所示。

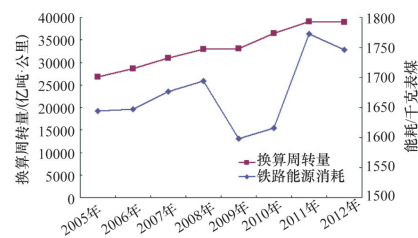


图1 国家铁路换算周转量和能耗变化曲线

Fig. 1 Total converted traffic turnover and energy consumption of China national railway

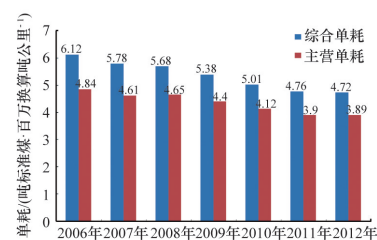


图2 国家铁路运输工作量综合单耗和主营单耗

Fig. 2 Comprehensive and the main unit energy consumption of China national railway

收稿日期: 2015-03-10; 修回日期: 2016-01-10

基金项目: 中国铁路总公司科技项目(2013Z004-C)

作者简介: 吴小萍, 教授, 研究方向为绿色选线和交通规划设计, 电子信箱: xpwu@csu.edu.cn; 李雨思(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为绿色选线和交通规划设计, 电子信箱: liyusi17@163.com

引用格式: 吴小萍, 李雨思, 刘江伟. 中国铁路与世界主要国家铁路能源消耗对比分析[J]. 科技导报, 2016, 34(2): 313-317; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.2.053

根据国家铁路统计数据,从2006年到2013年,国家铁路运输量综合单耗在以平均每年3.22%的速度下降,但全国铁路旅客周转量从2006年的6622.1亿人·公里上升到2013年的10595.62亿人·公里,平均年增幅周转量从2006年的28576.1亿吨·公里上升到2013年的39769.51亿吨·公里,平均年增幅达4.90%。相比之下可以看到,在铁路客货运输生产量不断上升的背景下,中国铁路实现了综合能耗和主营单耗的不断下降,一升一降之间,突出显示了中国铁路运输在节能上实现的新突破。

1.2 中国铁路机车能源强度

在铁路运输中,能源消耗主要由机车执行牵引任务而引

起,不同类型的机车能源消耗强度有很大差别。根据测算,蒸汽机车的终端能源利用效率一般在6%~9%,内燃机车的终端能源利用效率达到25%~26%,而电力机车的终端能源利用效率可以达到30%~32%,加大电力机车的使用比重能有效地达到节约能源的目的^[5]。

随着中国铁路运输的发展,蒸汽机车逐步退出舞台,因此在机车能源消耗统计时不再统计蒸汽机车能源消耗水平,内燃机车和电力机车完成单位运输工作量所需要消耗的能源情况见表1,数据来自文献[6]。

2000—2012年国家铁路机车单位运输生产量能耗变化曲线见图3。根据图3可以看出,内燃机车的消耗强度(以下

表1 内燃机车、电力机车单位运输量能源消耗

Table 1 Energy consumption of diesel locomotive and electric locomotive per unit traffic volume

中国机车	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
内燃机车①	25.8	25.7	25.9	25.4	25.0	24.6	24.3	24.6	24.9	25.2	26.4	26.5	26.8
内燃机车②	37.6	37.4	37.7	37.0	36.4	35.8	35.4	35.8	36.3	36.7	38.5	38.6	39.1
电力机车③	113.2	113.1	110.8	110.0	111.2	111.8	110.0	109.5	110.6	107.9	102.4	100.6	102.1
电力机车②	13.9	13.9	13.6	13.5	13.7	13.7	13.5	13.5	13.6	13.3	12.6	12.4	12.5

注:①的单位为kg煤油/(万吨·公里),②的单位为kg标准煤/(万吨·公里),③的单位为kW·h/(万吨·公里)。

简称单耗)在2006年之前有较大幅度的下降,2006年之后又呈现上扬态势,这与内燃机车的比重上升有关,但总体基本维持相对稳定。而电力机车的单耗虽然个别年份出现增长,但总体上单耗一直呈现递减状态。同时也可以看到,电力机车的单耗远远低于内燃机车的单耗,2000—2012年内燃机车单耗均值为37.1 kg标准煤/(万吨·公里),电力机车单耗均值为13.4 kg标准煤/(万吨·公里),内燃机车单耗均值是电力机车单耗均值的2.77倍。

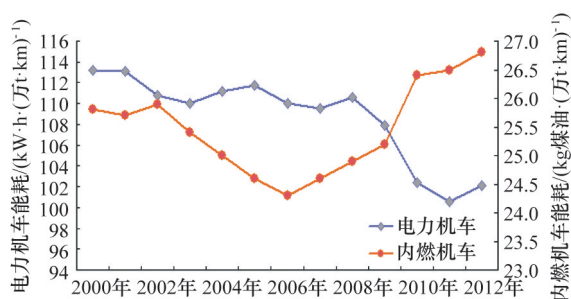


图3 国家铁路机车单位工作量能耗变化曲线

Fig. 3 Locomotive energy consumption per unit traffic volume of China national railway

机车能源消耗强度降低对于大幅度降低机车能源总耗有巨大的作用,虽然能源强度波动幅度很小,但联系到铁路上的所有机车数量以及它们所完成的工作量就是很大的一个数字。以2010年和2011年为例,2011年电力机车耗电100.6 kW·h/(万吨·公里),比2010年的102.4 kW·h/(万吨·

公里)降低了1.8 kW·h/(万吨·公里),该年电力机车完成的运输工作量为181322291.2万吨·公里,可节省耗电32638012.2 kW·h。

2 国内外铁路能源消耗对比分析

2.1 世界各国铁路能源消耗量

在不同国家的交通运输体系中,不同的运输结构,造成铁路运输能源消耗的巨大差异。中国作为世界上最大的发展中国家,其铁路运输创造了世界铁路运输业的多项奇迹,无论是运输密度,还是运输效率,中国都处在世界领先地位。但在运输奇迹的背后,却是能源的巨大消耗。统计数据表明,中国铁路2000—2010年能源消耗均值高达1704.4万吨标准煤,远超出英国、加拿大和日本等国,但低于美国(表2)^[7-9]。交通运输业能源消耗总量所占中国能源消耗的比例由2000年的18.75%下降到2010年的6.20%,依然高于欧美和日本等国家,这与中国的交通运输结构是紧密相关的。在中国,由于道路机动化程度比日本和欧美国家要低,而且考虑到成本等因素,在中长途运输中,铁路运输占据比较大的市场份额。

2.2 主要发达国家铁路能源消耗分析

中国的铁路运输结构是客货并重,而在欧美国家中,客运占据铁路运输的绝大部分,加拿大和美国最具有代表性。加拿大货运在整个国家铁路运输中只占有很少的一部分。铁路运输结构决定了铁路能源消耗结构。加拿大和美国铁路客货运能源强度如表3^[8,10]所示。

表2 各国铁路能源消耗量

Table 2 Railway energy consumptions in various countries

年份	能耗/万吨标准煤					比例/%				
	美国	英国	日本	加拿大	中国	美国	英国	日本	加拿大	中国
2000	2202.4	201.1	296.4	288.1	1859.5	2.30	2.49	2.29	3.73	18.75
2001	2177.6	207.3	295.0	285.4	1916.9	2.30	2.58	2.27	3.71	17.29
2002	2219.0	202.4	291.0	259.9	1992.2	2.30	2.49	2.23	3.34	15.64
2003	2235.5	200.1	296.7	262.4	1544.4	2.30	2.43	2.29	3.26	12.05
2004	2410.5	152.6	293.9	269.9	1582.5	2.40	1.82	2.24	3.24	10.48
2005	2453.7	142.8	295.1	287.6	1643.8	2.40	1.67	2.28	3.39	9.88
2006	2488.2	143.4	293.7	301.0	1646.7	2.40	1.65	2.29	3.59	8.86
2007	2409.4	145.0	294.8	322.4	1676.3	2.30	1.66	2.25	3.70	8.12
2008	2261.3	147.0	296.4	341.7	1693.9	2.20	1.78	2.26	3.94	7.39
2009	1973.3	148.0	295.5	221.0	1597.6	2.00	1.85	2.23	2.59	6.74
2010	2042.9	148.9	294.7	285.3	1615.7	2.10	1.89	2.26	3.22	6.20

表3 加拿大和美国铁路客货运能源消耗强度

Table 3 Energy consumption intensity of passenger and freight transportation in Canada and America

项目	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
加拿大客运	65.19	58.70	62.12	61.09	61.78	63.48	65.87	68.60	54.95	67.24
同期降低值	0.52	9.95	-5.81	1.65	-1.12	-2.76	-3.76	-4.15	19.90	-22.36
加拿大货运	8.53	7.85	7.85	7.85	7.85	8.19	8.87	9.90	7.17	8.19
同期降低值	0	8.04	0	0	0	-4.35	-8.33	-11.54	27.59	-14.30
美国客运	84.12	82.95	72.31	71.28	69.96	68.44	64.98	61.93	62.89	58.65
同期降低值	1.40	1.40	12.80	1.40	1.90	2.20	5.10	4.70	1.60	6.70
美国货运	8.94	8.91	8.86	8.81	8.70	8.52	8.26	7.88	7.52	7.46
同期降低值	1.70	0.28	0.28	0.72	1.20	2.10	3.00	4.70	4.60	0.69

注:客运能源强度单位为吨标准煤/(百万人·公里);货运能源强度单位为吨标准煤/(百万吨·公里);同期降低值是本年相比于上一年减低的百分值。

2001—2010年,加拿大铁路客运能源强度均值为62.9吨标准煤/(百万人·公里),货运能源强度均值为8.23吨标准煤/(百万吨·公里)。在旅客周转量和货运周转量等值换算的前提下,客运能源强度是货运的7.64倍。美国是世界上最发达的国家,2001—2010年客运能源强度均值为69.75吨标准煤/(百万人·公里),货运能源强度均值为8.30吨标准煤/(百万吨·公里)。美国和加拿大铁路无论是在客运还是货运能源强度,都非常接近。数据显示,美国和加拿大铁路客运能源强度明显偏高,这与两国的交通运输结构有很大关系。由于两国发达的工业化程度和高度的私人汽车拥有量以及便捷的高速公路网,其居民出行更多地依靠高速公路,其铁路客运列车上座率远远低于中国,引起庞大的虚糜运输,单位旅客运输生产量能源消耗居高不下。

英国作为世界铁路运输业的发源地,以客运为主,客货共线运输。在英国铁路发展的历史最好时期,货运市场份额曾达到52%,客运市场份额曾达到30%。但从20世纪50年

代开始,随着公路、航空运输的兴起,铁路运输受到严重挑战,逐渐走向衰落。之后,通过实行网运分离、民营化等一系列改革措施,英国铁路重新确立了在交通运输业中的位置,客货运量逐年增长,市场份额保持在一个相对稳定的水平^[11]。作为铁路发展的先行者,英国向来都重视铁路运输节能降耗工作。为统筹分析英国和中国铁路能源消耗强度,在英国铁路客货能源消耗数据的基础上,采用和中国相同的换算系数,计算出英国铁路客货能源强度,以便与中国铁路客货能源强度比较。中国和英国铁路运输能源强度如图4^[12]所示。

由图4可见,从2001年到2008年,英国的铁路运输能源消耗强度呈现下降态势,下降幅度在2004年达到最大值,单位能源消耗量比同期降低了24.7%。在随后的2009年,虽然能源消耗强度出现了小量的增长,但总体看,英国铁路运输能源消耗强度在近些年一直在下降。同时,可以看到中国铁路能源消耗强度远低于英国,其铁路运输能源消耗强度也在以年均3.22%的速度缓慢下降,并逐步趋向稳定。

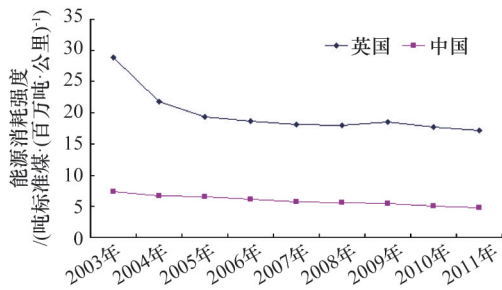


图4 中国和英国铁路能源消耗强度走势

Fig. 4 Railway energy consumption intensity in China and UK

2.3 印度铁路能源消耗分析

印度是金砖五国的重要组成部分,也是世界上发展速度最快的国家之一。经济社会的快速发展,带来的是交通运输的巨大需求和能源的庞大消耗。根据《金砖国家联合统计手册》(2014)^[13],按照机车耗能的计算方法,将各类机车能耗数量折算为标准煤数量,柴油和电力的折算系数分别为1.4571

kg标准煤/kg和0.1229 kg标准煤/(kW·h)^[14],得到中国和印度铁路运输生产量和能源消耗数据如表4^[15]所示。

通过表4的数据可以看出,中国铁路能源消耗强度在近些年持续下降,能源消耗强度均值为5.14吨标准煤/百万换算吨公里,印度铁路能源消耗平均水平为2.94吨标准煤/百万换算吨公里,印度铁路的能源消耗强度明显低于中国。印度铁路能源消耗强度低是由该国特殊的运输组织模式决定的。由于印度公路发展较慢,至今没有高速公路;大城市间的高等级公路路况较差,堵塞严重,铁路以其相对经济便利等特点,成为印度百姓出行的主要工具。但是由于列车运量与人口数量的增长相距甚远,许多乘客不得不采用“挂”在爆满的车厢外面的方式乘坐火车,旅客列车人均占有空间远远低于中国。

印度铁路货物运输大规模组织整车运输业务,开行点到点区间列车,跨越多个编组站不进行改编作业,甚至不解体列车进行循环周转使用,大幅度压缩货车周转时间^[15]。独特的铁路运输组织模式,在消耗等量能源的情况下,印度铁路运送了更多的旅客和货物。

表4 中国与印度铁路能源消耗

Table 4 Railway energy consumption intensity in China and India

项目	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
中国	客运周转量	7216	7779	7879	8762	9612	10596
	货运周转量	23797	25106	25239	27644	29466	29187
	换算周转量	31013	32885	33118	36406	39078	38999
	能耗	1676.3	1693.9	1597.6	1615.7	1772.5	1745.7
	能源强度	5.78	5.68	5.38	5.01	4.76	4.72
印度	客运周转量	7700	8380	9035	9785	10465	—
	货运周转量	5232	5520	6013	6265	6686	—
	换算周转量	12932	13900	15048	16050	17151	—
	能耗	187.42	460.58	521.35	556.72	529.82	—
	能源强度	1.45	3.31	3.46	3.47	3.09	—

注:客运周转量的单位为亿人·公里,货运周转量单位为亿吨·公里,能耗单位为万吨标准煤,能源强度单位为吨标准煤/百万换算吨公里。“—”表示没有查到这个年份的相关数据。

3 结论

铁路能源消耗在世界各国能源消耗中占有较大比例,而因各国的铁路发展水平不同,国情各异等,每个国家的铁路能源消耗特征也呈现不同态势。对中国和世界主要国家铁路能源消耗多年统计数据进行分析表明:

1) 铁路能源消耗强度间接反映能源利用效率的高低,能源消耗强度越低,表明该国铁路能源利用效率越高。在2003—2013年,中国铁路平均年能源消耗强度为5.69吨标准煤/百万换算吨公里,平均年降幅为3.30%。印度铁路平均年能源消耗强度为2.96吨标准煤/百万换算吨公里,能源消耗强度有所波动,但基本维持在低位。在发达国家中,英国的铁路近些年能源消耗强度均值为20.19吨标准煤/百万换算吨公里,平均年降幅为3.88%。在加拿大和美国的能源消耗强度中,客运和货运是分开统计,两国的货运能源消耗强

度均在低位运行。由于中国、印度、英国等国尚未分别统计客运和货运的能源消耗情况,因此无法具体探讨其客运和货运能源消耗强度,但中国铁路能源数据表明,中国铁路能源消耗强度已经处在低位,能源利用效率相对比较高,而且在节能上有进一步发展的空间。

2) 能源消耗总量和客货运输生产量直接影响铁路的能源消耗强度,如何利用更少的能源去运输更多的乘客和货物是铁路运输生产的重要课题。通过上述数据可以看出,铁路能源消耗强度同国家的铁路技术装备水平、现代化程度没有必然的联系。中国铁路在技术装备水平上领先于印度,但能源消耗强度却高于印度。中国是世界上最大的发展中国家,现代化水平远低于英国,但铁路能源消耗强度低于英国。虽然中国铁路每年消耗的能源总量高于日本、加拿大、英国等国家,但中国铁路完成了巨大的客货运输生产量,单位客货

运输生产量消耗能量处于低位。

3) 降低单位运输生产量能源消耗是世界各国铁路所追求的目标,也是世界铁路未来的发展方向。提高铁路的技术装备水平和电力机车的牵引比重,提升铁路的电气化率是降低能源消耗强度的必然选择,目前中国在这一方向取得了巨大的成绩,大量的新型电气化机车、动车组,机身、轨道等新型材料投入应用,但仅仅是这些还远远不够,还必须注重运输组织模式的改革与创新,国家铁道市场化的改革也正是基于这一因素并取得了一定经济成效及社会成效。随着中国经济与科技的腾飞,更多的节能型能源动力及新型材料将会在中国铁路领域得到更广泛长足的应用,更多的新技术新工艺新材料的出现,更加科学合理化的管理服务及列车调度,必将不断降低中国铁路能源消耗,促进铁路的节能减排,把中国铁路发展事业推向一个新的世界高度。

参考文献(References)

- [1] 艾穗. 铁路板块 当黄金五年邂逅低碳革命[J]. 证券导刊, 2010(7): 64-65.
Ai Sui. Railway plate when gold five years meet low-carbon revolution [J]. Securities Guide, 2010(7): 64-65.
- [2] 《机械工程导报》编辑部. 我国高速铁路机车车辆装备制造业发展现状[J]. 机械工程导报, 2010(5): 3-5.
The Editorial Office of "Mechanical Engineering Trends". The development status of engine and vehicle manufacture of Chinese high-speed railway[J]. Mechanical Engineering Trends, 2010(5): 3-5.
- [3] 兰华. 低碳经济下物流业大调整[J]. 物流与供应链, 2010(4): 12-13.
Lan Hua. A major adjustment of logistics industry in low-carbon economy[J]. Logistics & Supply Chain, 2010(4): 12-13.
- [4] 铁道部统计中心. 2013年铁路统计公报[R]. 北京: 铁道部统计中心; 2014.
Statistics Center of MOR. Bulletin statistics for the Chinese railway in 2013[R]. Beijing: Statistics Center of MOR, 2014.
- [5] 谢汉生, 黄茵, 马龙. 我国铁路能源利用效率和节能减排分析研究[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2010, 37(3): 118-122.
Xie Hansheng, Huang Yin, Ma Long. Study on energy efficiency and energy saving of Chinese railway[J]. Railway Occupational Safety Health & Environmental Protection, 2010, 37(3): 118-122.
- [6] 国家统计局. 2012 年统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
National Bureau of Statistics of China. 2012 China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.
- [7] Davis S C, Diegel S W, Boundy R G. Transportation energy data book: Edition 30. US department of energy[M]. Oak Ridge, Tennessee: US Department of Energy, 2011.
- [8] Energy Use Analysis, Office of energy efficiency[R]. Canada: Natural Resources Canada, 2012.
- [9] 马超云, 梁肖, 毛保华, 等. 铁路运输能源消耗现状分析[J]. 中国铁路, 2010(11): 51-55.
Ma Chaoyun, Liang Xiao, Mao Baohua, et al. Status analysis of the railway energy consumptions[J]. Chinese Railways, 2010(11): 51-55.
- [10] Energy Information Administration. Transportation energy data book 2012[R]. Washington DC: Department of Energy, 2012.
- [11] 中国铁路代表团. 印度, 英国铁路考察报告[J]. 中国铁路, 2001(11): 39-44.
Chinese Railway Delegation. Investigation report on Indian and England railway[J]. Chinese Railways, 2001(11): 39-44.
- [12] Department of Energy & Climate Change. Energy consumption in the United Kingdom 2012[R]. London: UK's Department of Energy and Climate Change, 2012.
- [13] 国家统计局. 金砖国家联合统计手册 2014[M]. 北京: 中华人民共和国国家统计局, 2014.
National Bureau of Statistics of China. BRIC countries combined statistical manual 2014[M]. Beijing: National Bureau of Statistics of China, 2014.
- [14] 何吉成, 吴文化, 徐雨晴. 1975—2007 年中国铁路机车耗能变化分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(5): 22-27.
He Jichen, Wu Wenhua, Xu Yuqing. Energy consumption of locomotives in China railways during 1975-2007[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(5): 22-27.
- [15] 李红昌. 印度铁路考察报告[J]. 铁道经济研究, 2009, 88(2): 1-6.
Li Hongchang. Investigation report on Indian railway[J]. Economics Research, 2009, 88(2): 1-6.

Comparative analysis of railway energy consumption between China and other countries

WU Xiaoping^{1,2}, LI Yusi¹, LIU Jiangwei¹

1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410004, China
2. Centre for Transport Studies, University of London, London WC1E 6BT, UK

Abstract The railway energy consumption accounts for a major portion of the total energy consumption in the world. Because of the difference of the railway development level and national conditions, the characteristics of the railway energy consumption are different in different countries. According to the analysis of the railway consumption in representative countries and associated railway energy situations, a conclusion is drawn that, the railway energy consumption and the passenger/freight traffic volume are directly related to the energy consumption intensity. It is important in the railway transportation to use the limited energy to transport more passengers and freight. In order to reduce the railway energy consumption, it is necessary to improve the railway technical equipment and the traction proportion of electric locomotives, the transport organization and the transport organization forms.

Keywords railway transportation; railway energy consumption; energy consumption intensity

(责任编辑 王媛媛)