

我国高速铁路的低碳比较优势分析

张汉斌 电话：(86) 13811464095

邮箱：zhanghanbin2009@sina.com

截至 2012 年底，我国运营高速铁路已达 9356 公里，远高于世界其他国家。现如今，我国在工程建造技术、高速列车技术、列车控制技术、客站建设技术、系统集成技术和运营维护技术方面已达到世界先进水平；我国已成为高速铁路系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运行速度最高、在建规模最大的国家。高速铁路的能耗究竟有多高，高速铁路建设和运营在生态文明建设和美丽中国建设方面有无优势和贡献？

一、高速铁路与其他运输方式能耗及碳排放直接效应比较

高速铁路采用电力机车牵引，但由于各国技术水平各异，运营速度存在差距，因此各国的数据并不一致。根据第一个建造高速铁路的日本的数据，普通铁路每人公里能耗为 403 焦；高速铁路为 571 焦；公交车为 584 焦；小汽车为 3310 焦；飞机为 2999 焦。

高速铁路相比普通铁路虽然更耗能，但比公路和飞机要节能许多。结合法国 TGV 和国内有关资料，可以得出能耗数据如表 1 所示。高铁机车由于追求速度快而相对普通电力机车更耗能一些。由于我国铁路的电气化率为 46%（2010 年底数据），所以我国普速铁路与高速铁路的单位运量能耗比大约为：1:1.12。

表 1 各种运输方式能耗比较

运输方式	内燃机车	电力机车	高铁机车	高速公路	飞机
单位能耗系数	2.86	1.93	2.73	22.05	44.1

资料来源：周新军. 高速铁路与能源可持续发展[J]. 中国能源, 2009(3):24-27.

二、我国高速铁路节能减排的间接效应

（一）节地效应

我国高速铁路是比普通铁路更节地的。为了追求高平顺性，同时为了避免对沿线城市的切割，我国高速铁路大量采用桥隧建设替代路基建设，如京津、武广、京沪客专的桥隧占比都是相当高的。据测算，桥隧建设比路基每公里节约 44 亩地。节约的土地即可部分用作耕地，还可边坡植树种草，既防水土流失、固化路基，又可创造碳汇林业。因为树木植草通过光合作用吸收二氧化碳，放出氧气，把大气中的二氧化碳以生物量的形式固定在植被和土壤中，这个过程和机制实际上就是清除已排放到大气中的二氧化碳。有关资料表明，森林是二氧化碳的吸收器、贮存库和缓冲器。一亩森林或 2.5 亩草地每年吸收 1.83 吨二氧化碳。

（二）货运增量替代效应

当前我国的高速铁路主要用于客专建设，为繁忙干线实现客货分运创造了条件，同时也缓解了铁路货运运能供给不足局面。由于客货混运，货运经常给客运让车而停运或迂回绕行，致使货运时间延长、成本增加。全国平均货运能力仅能满足货运需求的一部分。客货分线可以优化车流路径，有效减少货运的车流迂回运输，实现货运的大幅增长。如武广高铁开通前，受京广线运能制约，货运需求的 40% 得不到满足而改走公路运输；武广开通后，既有线年货物运输能力得到进一步释放，年货物运输能力增加 8760 万吨^[1]。据统计，京津、胶济、武广、郑西、沪宁五条高铁运营后每年释放的既有线货运能力已达 2.3 亿吨。因为铁路运输能力、能耗及碳排放都显著优于公路运输，因此就减少了二氧化碳等的排放量。

（三）客运增量替代效应

高速铁路由于速度快和高密度而比传统铁路运能更大。一条高铁年运量是目前既有普通铁路的 4 到 5 倍，可以更好地满足更多旅客的出行需求。据统计，2010 年旅客发送量比高铁开行前的 2006 年增长了 33.4%。特别是随着国民产出及财富的迅速增加，人们出行的需求增长迅猛。而且在未来以第三产业为主要产出份额的后工业化社会，人力资本成为最重要、最关键的生产要素。随着高速铁路网的贯通，省会及周边城市半到 1 小时生活圈、首都到省会城市间的半到 8 小时经济圈的形，大运量的高速铁路可以满足更多的出行需求。对于客运流量增量及客运市场份额的增加，则又形成对公路及民航的替代效应和节能减排效应。因为由表 1 可见，高铁的单位运量能耗只是高速公路的约八分之一，航空的十六分之一，减排二氧化碳效应明显。

（四）建筑成本上升所导致的碳排放增加

英国专家认为，每公里高速无砟轨道比传统铁路多消耗 3510t 水泥和 93t 钢筋^[2]。水泥和钢筋都是高耗能、高排放的产业，按我国现有平均生产技术水平，每生产 1 吨水泥和钢筋分别

排放 0.8 和 1.8 吨二氧化碳^[3]。因此 1 公里无砟轨道比传统铁路多排放 2975.4 吨二氧化碳。当然必须看到这种碳排放是一次性的，可以分摊到无砟轨道的生命周期中，目前我国无砟轨道设计寿命长达 100 年，则建造 1 公里无砟轨道相当于每年多排放 29.75 吨二氧化碳。而且无砟轨道由于减少了维护成本，又在一定程度上减少了碳排放。此外，随着生产工艺的改进，水泥及钢筋的碳排放量也会显著下降，如 1 吨电炉钢的碳排放只是转炉钢的三分之一水平。加大电炉钢的产量占比，就可降低碳排放。

三、高速铁路比普速铁路碳减排量算例：武广高铁

高速铁路与普速铁路相比虽然直接能耗稍高，但有节能减排的间接效应优势，下面以武广高铁为例，计算高速铁路相对普速铁路的碳减排效应。

（一）武广高铁比普速铁路直接多排放二氧化碳估算：直接效应

据中国日报网数据，武广高铁开通一年共计运送旅客 2060 余万人次，平均日开行高速动车组 94 列，上座率为 88.7%，按 0.056kwh/km. 座的动车组能耗水平计算，武广高铁一年运输耗电 13.9 亿 kwh，按我国普速铁路与高速铁路能耗比 1:1.12 计算，这意味着武广高铁一年运送 2060 万人次比普速铁路多耗能 1.5 亿千瓦时，折合 $1.5 \times 0.76 = 1.14$ 亿千克二氧化碳，即 11.4 万吨二氧化碳。

（二）武广高铁比普速铁路少排放二氧化碳估算：间接效应

1. 武广高铁的节地效应而导致的碳汇估算

武广的桥隧占比为 59.9%，按每公里桥隧节约 44 亩地计算，武广节约用地 28174.6 亩；假设这部分土地三分之二种人工林，三分之一种草：

$28174.6 \times 2/3 \times 1.83 = 34373.01$ 吨二氧化碳

$28174.6 \times 1/3 \times 1.83 / 2.5 = 6874.6$ 吨二氧化碳

共计 4.12 万吨二氧化碳。

2. 武广高铁货运增量替代效应碳减排量估算

武广开通后既有线年货物运输能力增加 8760 万吨，若通过公路运输，因为单位里程铁路和公路的二氧化碳排放量分别为 82.73 和 1409.03 千克/万吨公里^[4]，则公路运输需要排放 1319.48 万吨二氧化碳，而铁路运输需要 77.47 万吨二氧化碳，减排 1242.01 万吨二氧化碳。考虑到康重庆等给出的数据，公路是铁路单位里程碳排放量的 17 倍，与 UIC 给出的 3.5 倍或欧洲给出的 3.96 倍相差悬殊，故进行进一步估算如下：

既有线货运增量 8760 万吨需要 15 吨货车 584 万辆，15 吨货车百公里耗油 18-25 升，以均值 21.5 计算需消耗柴油 134223.64 万升，以每升柴油排放 2.71kg 二氧化碳^[5]计，共排放 363.75 万吨二氧化碳。以单机牵引 5000 吨的 7200 千瓦功率和谐机车来计算，估计武广运行速度为 80km/h，则需要耗电 168560 万 kwh，引用中国电力企业联合会给出的全国平均电力碳排放强度为 0.76kg/kwh，折合二氧化碳排放量 128.11 万吨，比公路运输少排 235.64 万吨二氧化碳。与安康重庆等给出的数据计算结果差约 1000 万吨。这里公路是铁路单位运量碳排放的 2.84 倍，比 UIC 及欧洲给出的数据要小一些。

3. 武广高铁客运增量替代效应碳减排量估算

据中国日报网，武广开通一年，已运送 2060 余万人次，平均每天 5.6 万人次，总体客流量比未开通前增加 55%，按此计算，即有 731 万人次是高铁替代公路和民航运输的。按 UIC 的统计数据^①，高铁、小汽车和飞机的二氧化碳排放量分别为 4、14、17kg/千人公里，假设 731 万人次有一半要乘坐飞机，一半是乘坐高速公路，则需要多排放二氧化碳：

$731 \times 10^4 \times 1/2 \times 14 / 1000 \times 1069 + 731 \times 10^4 \times 1/2 \times 17 / 1000 \times 1069 - 731 \times 10^4 \times 4 / 1000 \times 1069 / 10000 = 8.99$ 万吨二氧化碳。

4. 建设武广高铁比普速铁路年均多排二氧化碳估算

按 2.4 节，建造 1 公里无砟轨道比普速铁路每年多排放 29.75 吨二氧化碳，按武广高铁全程均采用无砟轨道计算，则多排放 $29.75 \times 1069 / 10000 = 3.18$ 万吨二氧化碳。

5. 武广高铁减排效果的初步结论

综合直接效应和间接效应，可得武广高铁开通后，每年比普速铁路少排放二氧化碳量为：
 $-11.4 + 4.12 + 235.64 + 8.99 - 3.18 = 234.17$ 万吨二氧化碳

由以上计算可见，可以初步得出以下结论：第一，在我国目前铁路运能缺口较大的环境下，每公里高铁比普铁每年间接少排 2190.55 吨二氧化碳；第二，高铁相对普铁的减排优势主要在于货运增量替代部分，客运增量替代部分相较货运增量替代部分要小很多；第三，经验公式中 1 度电折合 0.76kg 二氧化碳，是以我国现有火电、水电、风电占比结构计算，未考虑电能来源构成的变化趋势，预计随着未来核电、风电、水电及太阳能发电等更少排方式来提供或转化，高铁的节能减排优势还会进一步发挥出来；此外，武广的桥隧占比是已修建高铁中较少的，京津、郑西、京沪都显著高于武广，因此节地碳汇效果更大。

^①参见 www.uic.org/highspeed 上相关内容

四、我国高速铁路进一步节能减排的途径和措施

从表 2 可见，同国外高速列车比我国 CRH 系列的能耗是稍高的，改进方法有三：一是继续加大技术含量，特别是高效牵引机车研制，如 CRH380 就比 CRH350 要节能 6%；二是增加动车组的客容量，如新一代动车组 CRH380 定员 494 人，若增加客容量或进行 16 列车编组，则人均能耗还会下降；三是经济速度考量，因为阻力与速度有阶段性关系，而功率等于速度和牵引力的积，因此测得速度与阻力的定量关系，功率对速度求导便会得到最经济速度。国外有专家分析认为最经济速度为：英国为 230，法国 280-300，德国 270，国际铁路联盟 UIC 为 300km/h。即单纯从节能减排角度看，在目前技术水平下动车组速度宜保持在 300 公里/小时左右。此外，高铁或电气化机车是惟一电力牵引长途运输方式，可以缓解我国石油能源紧张，进口依存度过高的局面，实现能源安全战略。

表 2 各国高铁机车单位运量能耗

列车型号	英国 390 摆式列车	欧洲之星 -373	双层 TGV	西班牙 AVE-S103	新干线 700 列车	阿尔斯通 AGV	CRH380
运营速度(km/h)	200	300	300	300	270	300	380
能耗(kwh/人.km)	0.033	0.041	0.037	0.039	0.029	0.033	0.056

资料来源：崔力心. 国外高速铁路节能减排影响因素分析[J]. 铁道运输与经济, 2010. 4: 17-19. 最后一列笔者加.

（一）我国高速铁路节能减排的技术措施

一是继续利用好再生制动系统。再生制动系统可以将制动时产生的热量部分收集，后转化为运行时的动力势能，据统计，安装再生制动系统可以减少 8% 的能源消耗。二是安装应用智能耗电记录仪。三是推广主风机变频技术改进。四是研究新型复合材料以给车体减重。五是加大开发高效率牵引电机技术。六是继续优化车厢、车型设计，减少空气阻力。七是机车向客车供电，提高能源综合利用效率。

（二）我国高速铁路节能减排的管理途径

一是建立节能减排的统计、监测、考核和激励体系，向管理要效益、出成绩。二是建内部宣传与奖惩制度，形成员工及乘客节能减排的企业文化氛围。三是加强高速铁路客票营销力度，提高上座率。四是开展乘客出行调查，优化运输组织方案。

（三）我国高速铁路节能减排的结构方法

一是加强高铁建设，完善路网布局；实现客货分线，提高货运运输市场份额。前已述及，高速铁路比传统铁路节能减排的最显著效果在于货运替代部分，而路网效应的结果是，路网公里数增加 20%，客运量会增加 100%^①。因此当纵横全国的高速铁路网形成时，就可大面积实现客货分运，提高货运运量，增大替代效应减排力度。二是加快新型节能减排客站建设，实现各种交通运输方式的零距离换乘。高速铁路将拉动一大批新客站建设，从 2008 到 2012 年将共有 804 座新客站投入使用，已建成的北京南站、天津站、上海虹桥站等均采用了大量节能减排措施：如太阳能光伏发电；超大面积玻璃穹顶，各层地面透光处理，充分利用自然光照明；北京南站采用热电冷三联供、污水源热泵和冰蓄冷等最先进技术，实现了能源的梯级利用，该系统产生的年发电量能满足站房 49% 的用电需求；上海虹桥更是将地铁、公交、民航、出租、社会用车进行系统集成，实现零距离换乘，大大减少了能源消耗与碳排放。三是着重社会舆论宣传力度，营造全社会环保、节能、减排意识，积极开展国际节能减排合作，塑造高铁节能环保及履行社会责任的公众形象，形成全社会支持高铁建设、享受高铁服务、重视高铁发展的文化氛围。

（四）我国高速铁路节能减排的金融激励与辅助

我国高速铁路在未来碳交易中具有广阔前景，结合国外排污权市场建设过程及走势，我国高速铁路运营主体具有企业属性的一面，节能减排是高速铁路运营者不可推卸的社会责任，同时市场经济环境下又鼓励企业将节能减排绩效作为利益激励，以增加企业动力。高速铁路可以将结构节能、技术节能、管理节能效益在碳交易市场上进行交易，碳排放指标还可作为一种基础资产，也可以衍生出高级衍生资产。既丰富人们投资品种，又做大金融市场，还可促进企业节能减排，营造可持续发展的“两型”社会建设氛围。

参考文献：

[1] 苏顺虎. 高铁畅通成就铁路货运增长. 人民铁道 2010. 10. 25.

[2] New Line Program. Comparing environmental impact of conventional and high speed rail [R]. London: Network Rail, 2009.

[3] <http://www.worlduc.com/e/blog.aspx?bid=26607>

[4] 康重庆, 周天睿, 陈启鑫, 葛俊. 电网低碳效益评估模型及其应用[J]. 电网技术, 2009 (9).

^①参见 www.uic.org/highspeed 上相关内容

[5] 中华人民共和国国家统计局. 2004-2006 年中国能源统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社.

中国银河证券股份有限公司 博士后科研工作站

北京市西城区金融街 35 号国际企业大厦 C 座 100033

电话: (86) 13811464095

传真: 010-66568641

中国银河证券网址: www.chinastock.com.cn

中国银河证券博士后科研工作站网址: <http://www.chinastock.com.cn/yhwz/postdoc/index.shtml.chinastock.com.cn>