

试论既有铁路双机牵引经济效果

铁道部电气化工程局 黄长缓

一、选用线路纵断面组合坡度

铁路单、双机牵引的经济效果, 主要与机车性能、线路长度和线路纵断面条件有关。其中线路纵断面坡度, 每条线路情况都不相同, 千变万化。不同的线路纵断面条件, 在相同的牵引动力条件下, 其燃料消耗和运营费支出是不相同的。为了寻找出单台、双台和三台机车牵引的经济效果和燃料消耗的一般规律, 这里选用几种限制坡度和几种组合坡度, 作为分析其经济价值。见表一(附后)。如表中限制坡度4‰, 断面类型Ⅱ, 其中4‰坡道占27%, 2‰坡道占8%, 平坡占36%, -2‰坡度占6%, -4‰坡道占23%。

二、既有铁路单机、双机、三机牵引的经济比较

根据表一的几种限制坡度和Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类线路纵断面组合坡度, 以及三种牵引种类的五种机型进行牵引计算, 得出单、双机牵引货运每万吨公里的燃料消耗和运营费(与走行有关的费用)的经济价值比较, 见表二(附后)。从表中看出, 前进型机车在线路限制坡度6‰和第Ⅰ类线路纵断面组合坡度上运行单机牵引列车重量2950吨, 完成货运每万吨公里消耗标准煤为127.26公斤, 运营费为9.42元。改用双机牵引列车重量4100吨, 完成货运每万吨公里消耗标准煤为128.59公斤, 运营费为9.87元。所以, 改用双机牵引后可提高输送能力39%而完成货运每万吨公里只多消耗标准煤1.33公斤, 多支出运营费0.45元(增加运营费4.8%)。如果这条线路300公里, 年货运量为1000万吨, 改为双机牵引后, 每年增加运营费为13.5万元。因此, 增加运营费很小, 而输送能力大大提高。

前进型蒸汽机车, 在线路限制坡度12‰和第Ⅱ类线路纵断面组合坡度上运行, 单行牵引列车重量1550吨和双机牵引列车重量2800吨进行对比, 则双机牵引提高输送能力80.6%, 完成货运每万吨公里只增加消耗标准煤0.31公斤, 运营费几乎相等。

韶山₁型和东风₄型机车, 单、双机牵引的经济效果比较, 如表三(附后)。从表中看出, 韶山₁型电力机车在线路限制坡度12‰和第Ⅱ类线路纵断面组合坡度上运行, 单机牵引列车重量2250吨和双机牵引列车重量3500吨进行比较, 则双机牵引提高输送能力55.6%, 完成货运每万吨公里只增加耗电量13.36度, 运营费增加1.14元。可见, 电力双机牵引, 从全局来看也是有利的。

因此, 尽管双机牵引欠轴运行, 但提高了列车运行速度, 缩短了运行时间, 加速机车车辆周转, 其经济效益仍很显著。根据表二和表三得出以下几点结论:

1. 单机牵引改用双机牵引后, 增加运营费很少。但可以提高线路输送能力, 推迟区段线路技术改造, 并且能使相邻线路不同限制坡度的牵引定数统一, 这对缓和枢纽能力和避免或减少枢纽编组站技术改造, 具有现实的意义。

2. 线路限制坡度愈大, 采用双机牵引提高输送能力愈好, 而运营费增加很少。

3. 蒸汽牵引线路限制坡度在 6~20%、韶山₁型电力机车和东风₄型内燃机车牵引, 线路限制坡度在 9%以上, 全区段线路采用双机车牵引经济效益均显著。

4. 采用双机牵引后, 要增加机车购置费, 扩建机务设施, 蒸汽牵引要扩建给水设备等, 但其费用是很少的。

根据蒸汽机车三种机型和表一的数据进行牵引计算, 得出 9%和12%坡度线路的双机和三机牵引货运每万吨公里的运营支出 (与行李车量有关费用), 如表四 (附后)。从表中看出, 建设机车在加力坡度 9%和第Ⅱ类型断面的线路上运车, 双机牵引列车重量3000吨, 每万吨公里运营费12.25元, 改用三机牵引列车重量为4050吨, 每万吨公里运营费12.55元。则采用三机牵引多拉货物1050吨, 每万吨公里仅增加运营费0.30元。从全局来看, 三机牵引经济效益也是显著的。

三机牵引一般应在局部加力坡度地段使用。但在双线和自动闭塞的线路上, 若双机牵引的列车重量大于列车起动重量, 当线路限制坡度利用率很大时, 有可能使闭塞分区不均等, 导致降低线路通过能力。例如有一条这样的铁路: 双线自动闭塞, 线路限制坡度 9%, 采用前进型机车牵引, 双机牵引重量3500吨, 线路限制坡度利用率很大, 经计算列车起动牵引重量3150吨, 见表五 (附后) 因此, 必须要造成闭塞分区不均匀, 降低线路通过能力。为了使复线和自动闭塞的铁路得到充分发挥作用, 得到提高输送能力应采用三机牵引。

经分析石太线电力机车单机牵引重量提高到4000吨, 将受起动条件的限制, 自动闭塞不能充分发挥作用。如果全线采用双机牵引, 上行牵引重量可考虑4000吨~5000吨, 下行双机牵引重量可考虑2500吨~2800吨。采用双机牵引后自动闭塞可以得到充分发挥, 又可以大幅度提高输送能力, 而每万吨公里增加的运营费很少。

目前我国部分双线和自动闭塞单机牵引的线路, 实际通过能力只有102~132对, 它与计算的平行通过能力对比, 几乎相差等于一条单线半自动闭塞的通过能力。这是相当可观的数字。其主要原因是受起动牵引重量限制造成自动闭塞分区不均等。从表五中可以看出, 列车牵引重量, 均要受到列车起动牵引重量的限制。在自动闭塞的线路上, 当列车牵引重量与列车起动牵引重量相差很大时, 必定要造成自动闭塞分区不均等。因此, 在我国目前的条件下采用双机牵引是一种行之有效的办法, 虽然增加少量运营费, 但可以大幅度提高输送能力。

三、双机和三机牵引的技术可能性

我国铁路蒸汽、内燃和电力双机牵引已经有很长的历史了, 但都是在地形困难地段作为加力牵引 (补机) 使用, 在长期运用中积累了许多经验。我国既有铁路双机坡度, 大部分是 9% (8.5%)、12%和20%等几种。蒸汽机车双机牵引每台机车有人驾驶, 前后司机的联络, 用原始的鸣笛信号或用无线列调电话, 在运行中列车制动能力和车钩强度等在技术上存在一定问题, 但这些设备经过不断革新改进, 基本上保证了列车安全运行, 可以满足运输的要求。

双机牵引重量在4000吨以上, 属于重载列车, 必须改善现有列车制动设备和加强车钩强

度,以及改用防冲击与振动性能好的缓冲器等。

三机牵引,我国也有一定经验,宝成线宝凤段1961年电气化之前,采用三台蒸汽解放型机车牵引,线路最大坡度30%,线路全长91公里,列车牵引重量960吨,前、后司机的联络,采用原始的鸣笛信号,由于无法做到各台机车同步运转,列车在长大陡坡道上运行速度低,在运行中出现了一些技术问题,但是采取了一些积极的措施,基本上保证和满足了繁重的运输任务。如果三台蒸汽机车在线路最大坡度20%及以下的线路运行,那么运转情况将会有明显好转。采用三机牵引,若能参照重载列车那样,解决好各台机车同步运转和采用一些先进的制动设备,则三机牵引在一些困难地段使用(做为双机牵引的补机使用),就可以普遍采用了。

双机牵引列车重量增大,原有车站到发线有效长度不够,这又是一个大问题。过去解决这一矛盾,主要采取增加到发线有效长,但土建工程投资大,特别是山区铁路这项改造工程很艰巨,有的几乎占区间线路土建改造总投资70~80%,很不经济。

目前,我国货车载重30吨和30吨以下约占货车总数10%左右,30吨~60吨约占货车总数48%,60吨及60吨以上占货车总数42%。目前我国的主型货车C62A型敞车,已经从每延长米5吨提高到6吨,若能增加60吨及60吨以上货车的车辆比,可以大幅度减少土建改造(延长到发线有效长)工程。为了满足重载列车的需要,我国研制了四轴C61型敞车,轴重仍为21吨,每延米载重7吨,总重84吨,在车站到发线有效长850米时,列车总重可达5400吨。这是我国铁路运输史上的一项重大改革,也给既有线采用双机牵引创造出良好的条件。

但是,从我国目前实际情况出发,既有线采用双机牵引,一方面应当积极设法提高60吨及60吨以上货车的车辆比,同时还要适当采取延长车站到发线有效长的办法来解决这一矛盾。平原和丘陵地带的铁路延长车站到发线有效长,工程投资小,施工周期短,上马快,见效快,应当有计划地安排投资。

四、几点看法

1. 蒸汽和内燃双机或三机牵引的列车重量,根据我国目前的条件,最大列车重量以不超过4000吨为宜。全国可划分为若干个区域采用双机牵引,各个区域统一列车牵引定数。

2. 我国现有铁路干线的各种限制坡度的比例情况:4%约占25%,6%约占50%,12%约占25%弱,个别干线为9%和10%。从这里看出,6%~12%的限制坡度约占现有铁路干线的75%,除了国家计划修建电气化之外,应先考虑。在这些限制坡度范围内,使用原有机型采用双机牵引,则铁路输送能力将会大幅度提高,这对改变目前铁路运输紧张局面,具有深远的意义。

3. 我国沿海主要干线(哈大、津浦、京沈、京广)总长度约占全路营业里程的11%左右,而承担的货物周转量占比重很大。这些铁路目前使用蒸汽或内燃单机牵引,输送能力已经饱和。这五条铁路的车站到发线有效长均在850米以上。如表六。除个别铁路国家计划采用电力机车牵引外,可以考虑保持原有机型,改用全段线路双机牵引,并适当改造信集、闭设备,扩建机务和给水设施,把到发线有效长增加到1050米或采用部分大型货物车辆,增加部分工程投资,将会产生显著的经济效益。

4. 双机牵引欠轴运行,可以提高货物列车运行速度,不仅缩短列车间隔时分,加快机车、车辆周转,更重要的是缩小客、货车的速度差,提高(货车速度/客车速度)的比值,从而减小客车扣除系数,可以提高区间线路通过能力。

我国沿海主要干线车站到发线有效长表

表六 (单位: 米)

线 别	京 广	津 浦	哈 大	京 沈	沪 宁
中 间 站	854	940	883	982	1023
技 术 站	989	880	822	896	1013
全 线 平 均	868	920	858	957	1020

5. 提高货、客速度比值后, 对处理曲线超高大好处, 曲线钢轨磨耗会显著好转, 曲线地段线路维修工作量会大大改善。

6. 双机牵引使牵引定数统一, 减少编组站扩建, 这笔费用很大。

7. 要满足输送能力发展的需要, 现阶段采用双机牵引较为适宜, 暂时代替大马力电力机车和内燃机车, 做为牵引动力改革的过渡措施; 采用双机牵引技术改造最经济。

8. 增加双机牵引投资不多, 收效大。

9. 为了满足双机牵引的需要, 还要计划安排前进型和建设型机车的生产。

线路纵断面坡度组合表

表一

断面类型			I		II				III			IV
限制坡度			4	6	4	6	9	12	6	9	12	12
各种坡度的比例数 (%)	上 坡	12						4			8	15
		11						3			2	7
		10						3			7	6
		9					7	2		9	2	3
		8					2	2		6	3	2
		7					2	1		3	3	2
		6		6		12	5	4	19	6	4	3
		5		2		7	5	3	7	3	3	3
		4	9	6	27	7	5	4	8	7	3	3
		2	8	14	8	8	12	13	11	11	12	8
	平坡	0	65	47	36	32	25	22	15	15	15	8
	下 坡	2	9	14	6	10	12	13	10	9	7	8
		4	9	5	23	6	5	4	9	4	3	2
		5		1		9	4	3	7	4	3	2
		6		5		9	5	4	14	6	3	3
		7					2	2		3	1	2
		8					2	2		6	3	5
	下 坡	9					7	3		8	3	4
		10						3			8	7
		11						2			2	3
		12						3			5	4

表二

蒸汽机车单、双机牵引经济效果比较表

限制坡度	断面类型	前进型机车牵引			建设机车牵引			解放型机车牵引				
		牵引重量(吨)	消耗标准煤(公斤/万吨公里)	运营费(元/万吨公里)	双机牵引增加运营费(元/万吨公里)	双机牵引增加耗煤量(公斤/万吨公里)	牵引重量(吨)	运营费(元/万吨公里)	双机牵引增加运营费(元/万吨公里)	牵引重量(吨)	运营费(元/万吨公里)	双机牵引增加运营费(元/万吨公里)
4	Ⅱ	—	—	—	—	—	3300/4100双	8.05/9.09	1.04	3550/4100双	7.72/9.32	2.61
	Ⅲ	—	—	—	—	—	3300/4100双	8.80/9.59	0.79	3550/4100双	9.04/9.77	0.73
	Ⅰ	2950/4100双	127.26/128.59	9.42/9.87	0.45	1.33	2400/4100双	9.45/9.68	0.23	2500/4100双	9.09/9.84	0.75
6	Ⅰ	2950/3500双	127.26/137.51	9.42/10.31	0.89	10.25	2400/3500双	9.45/10.04	0.59	2500/3500双	9.09/10.27	1.18
		2950/3300双	127.26/140.87	9.42/10.52	0.10	13.61	2400/3000双	10.45/10.06	1.15	2500/3000双	9.09/10.80	1.71
		2950/4100双	140.21/140.98	10.31/10.62	0.31	0.77	2400/4100双	10.31/10.37	0.06	2500/4100双	9.77/10.49	0.72
	Ⅱ	2950/3500双	140.21/147.71	10.31/10.99	0.68	7.50	2400/3500双	10.31/10.63	0.32	2500/3500双	9.77/10.61	0.84
		2950/3300双	140.21/150.68	10.31/11.02	0.71	10.47	2400/3000双	10.31/11.09	0.78	2500/3000双	9.77/11.04	1.27
		2950/4100双	155.63/154.59	10.75/11.38	0.63	1.96	2400/4100双	10.77/11.06	0.29	2500/4100双	10.78/11.11	0.33
9	Ⅲ	2950/3500双	155.63/162.08	10.75/11.70	0.95	6.45	2400/3500双	10.77/11.26	0.49	2500/3500双	10.78/11.41	0.63
		2950/3300双	155.63/164.90	10.75/11.87	1.12	9.27	2400/3000双	10.77/11.66	0.89	2500/3000双	10.78/11.32	1.03
		2050/3500双	159.45/166.09	11.87/12.13	0.26	6.64	1650/3000双	12.16/12.25	0.09	1700/3300双	12.28/12.29	0.01
12	Ⅱ	2050/2800双	159.45/172.64	11.87/12.70	0.83	13.19	—	—	—	1700/3000双	12.28/12.46	0.18
	Ⅲ	2050/3500双	182.13/187.67	13.22/13.39	0.17	5.54	1650/3000双	13.22/13.37	0.15	1700/3300双	13.50/13.52	0.02
		2050/2800双	182.13/192.39	13.22/13.92	0.70	10.26	—	—	—	1700/3000双	13.50/13.59	0.09
	Ⅱ	1550/2800双	192.39/192.72	13.83/14.06	0.23	0.33	1250/2400双	14.05/14.10	0.05	1300/2500双	14.26/14.33	0.07
12	Ⅲ	1550/2400双	192.39/197.68	13.83/14.31	0.48	5.29	1250/2200双	14.05/14.50	0.45	1300/2200双	14.26/14.81	0.55
		1550/2800双	233.39/233.70	16.24/16.40	0.16	0.31	1250/2400双	16.27/16.32	0.05	1300/2500双	16.60/16.62	0.02
	Ⅳ	1550/2400双	233.39/237.78	16.24/16.66	0.42	4.39	1250/2200双	16.27/16.63	0.36	1300/2200双	16.60/16.96	0.35
		1550/2800双	284.21/284.41	18.83/18.84	0.00	0.23	1250/2400双	18.81/18.85	0.04	1300/2500双	19.15/19.18	0.03
		1550/2400双	284.21/286.44	18.83/19.00	0.17	2.23	1250/2200双	18.81/18.89	0.08	1300/2200双	19.15/19.23	0.08

韶山、韶和东风、双机牵引经济效益比较表

限制坡度	断面类型	韶山型电力机车牵引					东风型内燃机车牵引		
		牵引重量 (吨)	耗电量 (度/万吨公里)	运营费 (元/万吨公里)	双机牵引增加耗 电量 (度/万吨公里)	双机牵引增加运 营费 (元/万吨公里)	牵引重量 (吨)	运营费 (元/万吨公里)	双机牵引增加 运营费 (元/万吨公里)
9	II	2900/3500双	172.78/192.25	18.32/20.46	19.47	2.14	2850/3500双	18.83/20.91	2.03
		2900/3200双	172.78/194.26	18.32/20.74	21.48	2.42	2850/3200双	18.83/21.45	2.62
	III	2900/3500双	194.97/216.07	20.46/22.75	21.10	2.29	2850/3500双	20.82/22.95	2.13
		2900/3200双	194.97/218.29	20.46/23.05	23.32	2.59	2850/3200双	20.82/23.49	2.67
12	II	2250/3500双	198.87/209.72	21.08/22.15	10.85	1.07	2150/3500双	21.80/22.74	0.94
		2250/3200双	198.87/212.88	21.08/22.58	14.01	1.50	2150/3200双	21.80/23.28	1.49
	III	2250/3500双	240.25/253.61	25.08/26.22	13.36	1.14	2150/3500双	25.67/26.62	0.93
		2250/3200双	240.25/257.42	25.08/26.78	17.17	1.70	2150/3200双	25.67/27.17	1.50
	IV	2250/3500双	286.26/302.23	28.95/30.37	15.97	1.42	2150/3500双	29.85/30.76	0.91
		2250/3200双	286.26/307.30	28.95/31.09	21.04	2.14	2150/3200双	29.85/31.20	1.43

表四

蒸汽机车双机和三机牵引经济效益比较表

加力坡度	断面类型	前进型机车			建设型机车			解放型机车		
		牵引重量(吨)	运营费(元/万吨公里)	多机牵引增加运营费(元/万吨公里)	牵引重量(吨)	运营费(元/万吨公里)	多机牵引增加运营费(元/万吨公里)	牵引重量(吨)	运营费(元/万吨公里)	多机牵引增加运营费(元/万吨公里)
9	II	—	—	—	3000双/4050(三)	12.25/12.55	0.30	3000双/4050(三)	12.46/12.72	0.26
	III	—	—	—	3000双/4050(三)	13.37/13.65	0.28	3000双/4050(三)	13.59/13.80	0.21
12	II	2800双/4050(三)	14.06/14.11	0.05	2400双/3450(三)	14.10/14.28	0.18	2500双/3900(三)	14.33/14.20	-0.11
	III	2800双/4050(三)	16.40/16.45	0.05	2400双/3450(三)	16.32/16.46	0.14	2500双/3900(三)	16.62/16.54	-0.08
	IV	2800双/4050(三)	18.84/18.81	-0.03	2400双/3450(三)	18.85/18.76	-0.09	2500双/3900(三)	19.18/19.17	-0.01

表五 (单位: 吨)

列车牵引重量与列车启动牵引重量对照表

机 限 坡	前进型机车			建设型机车			解放型机车			东风型机车			韶山型机车		
	单机牵引	双机牵引	三机牵引	单机牵引	双机牵引	三机牵引	单机牵引	双机牵引	三机牵引	单机牵引	双机牵引	三机牵引	单机牵引	双机牵引	三机牵引
4	2888 (4200)	5625 (8450)	8445	2251 (3400)	4452 (6550)	6579	2320 (3650)	4589	6782	4415 (5750)	—	—	5384	—	—
6	2245 (3000)	4441 (6000)	6562	1747 (2400)	3455 (4650)	5105	1803 (2600)	3567 (5150)	5270	3461 (4100)	—	—	4226 (4750)	—	—
9	1602 (2050)	3168 (4100)	4680 (6100)	1244 (1650)	2459 (3150)	3632 (4700)	1287 (1750)	2545 (3500)	3759 (5200)	2503 (2850)	5007 (5750)	—	3062 (3350)	6124	—
12	1232 (1550)	2435 (3100)	3596 (4600)	980 (1250)	1886 (2400)	2784 (3500)	990 (1300)	1956 (2650)	2899 (3900)	1952 (2150)	3904 (4350)	—	2391 (2550)	4783 (5150)	—

注: 括弧内的数字是指列车牵引重量。