

城市群城际铁路速度目标值影响因素分析

饶雪平 郭也清

(中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘要 利用城际铁路快速、高效、便捷地连接城市群的中心城及其他城市已经成为了普遍的交通方式。合理的速度目标值是城市群城际铁路设计的一个重要标准。通过分析影响城市群城际铁路速度目标值的主要因素,从国际普遍采用的最高运营速度、城市群的交通可达性规划目标、主要技术标准与工程投资、动车性能能耗与运营成本、运营安全性及环境保护等多个方面进行分析,提出了城市群城际铁路合适的速度目标值的建议。

关键词 城市群; 城际铁路; 速度目标值

中图分类号 U 125

Influential Factors over Intercity Railway Speed Target Value in Urban Agglomeration

Rao Xueping, Guo Yeqing

Abstract With rapid economic development and urbanization in China, the development model of single city has been altered to urban agglomeration with economic interdependence and common development. Intercity railway, a rapid, efficient and convenient transportation has become a common means to connect the central city and other cities in the agglomeration. The target of a reasonable speed is an important indicator for intercity railway in the urban agglomeration. By analyzing the main factors of the intercity railway speed target from aspects of the maximum operating speed generally adopted in the world, the accessibility in city group planning, the main technical standards and engineering investment, the performance of energy consumption and operating costs of EMU, as well as the operational safety and environmental protection, a suitable speed target value of urban agglomeration intercity railway is proposed.

Key words urban agglomeration; intercity railway; speed target value

First-author's address China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

随着中国经济快速发展和城市化进程的推进,中国城市发展已由单一城市发展转变成由经济互相

依存的多个城市组成的城市群共同发展,便捷的交通条件是城市群经济发展壮大的纽带和基石。目前我国正在形成或即将形成长三角城市群、珠三角城市群、京津冀城市群等 23 个城市群。中国高速铁路网因此也形成了两大类型:一是跨区域、跨城市群的高速客运专线网络;二是区域内及城市群内城际铁路线。城际铁路线主要是为城市群和城市及其卫星城之间的以公务、商务、旅游、通勤、通学等客流对象服务。目前中国已建成了以京津城际、沪宁城际、广珠城际为代表的最高运营速度从 160~350 km/h 的多条城际铁路线,未来城市群内城际铁路将越来越多,城际铁路的速度越高就意味着城市之间的时空距离越短,城市的联系更紧密,但速度越高也意味着投资越高、工程越难、运营要求越高、环境保护要求越高的问题,因此选择合理的速度目标值是城际铁路设计的基础,本文主要对影响城际铁路速度目标值的主要因素进行理论探讨。

1 影响速度目标值的主要因素

1.1 国外城际高速铁路采用的最高运营速度

自 1964 年第一条高速铁路——新干线在日本投入运行,在此后的几十年内,城际高速铁路在全世界得以飞速的发展。其他著名的高速铁路还有法国的 TGV、德国的 ICE、西班牙的 AVE 及韩国的 KTX 等。尽管国外高速列车的最高速度能达到 550 km/h 以上,但在实际运营中,列车最高运营速度基本都控制在 350 km/h 以下。如:日本高速铁路实际运营的最高速度主要在 250 km/h 至 300 km/h 之间,法国高速铁路主要采用 300 km/h 的最高运营速度,德国高速铁路的最高运营速度控制在 250 km/h 至 350 km/h 之间,西班牙高速铁路的最高运营速度控制在 300 km/h 至 350 km/h 之间,韩国高速铁路的最高运营速度为 300 km/h 左右。

初步统计,国外高速铁路的最高运行速度主要控制在 250 km/h 至 300 km/h 之间。该速度区段

内的高速铁路线路长度占整个高速铁路线路长度 70% 以上。这些高速铁路主要为经济联系紧密的城市群、城市带服务,主要承担公务、商务和旅游客流。

1.2 影响列车最高运营速度的主要因素

影响列车最高运营速度的主要因素除了列车性能外,还取决于城市群可达性规划目标、线路条件、技术标准、工程投资、动车能耗、运营成本、安全性及环境保护等因素。

2 城市群城际铁路速度目标值影响因素分析

2.1 城市群可达性的规划目标对速度目标值的影响

中国城市群基本是围绕 1 到 2 个中心城市发展

的,其他城市距离中心城市的距离一般不超过 300 km,按城市群规划发展理论,城市群的城市之间一次出行时间一般不超过 2.5 h,如仅考虑两点直达的条件,理论上列车的平均旅行速度不应不低于 120 km/h,这个速度与高速公路设计的最高速度相当。

若考虑列车起停加减速的影响,两点直达条件下列车的最高运营速度不应低于 160 km/h,但为城市群服务的城际铁路设置的站点一般比较密集,沿线停站比较多,因此城际铁路的最高设计速度一般都不低于 200 km/h,以便能满足城市间的可达性,起到拉动周边城市与中心城市经济、商务沟通的作用(见表 1)。

表 1 部分城市间两种运输方式旅行时间表

城市	运输方式	线路长度/km	设计最高速度/(km/h)	旅行时间/h	铁路比公路节省的时间/h
北京—天津	京津塘高速公路	142	110	1.50	
	京津城际铁路	115	350	0.50	1.00
	沪宁高速公路	274	120	3.00	
上海—南京	沪宁城际铁路	301	200	2.00	1.00
			250	1.50	1.50
			300	1.40	1.60
			350	1.30	1.70
广州—深圳	广深高速公路	123	120	1.50	
	广深铁路	147	220	1.20	0.30
上海—杭州	沪杭高速公路	151	120	2.00	
	沪杭城际高铁	160	350	0.63	1.37

从表 1 中可见,城市群内城市间的直达距离一般不超过 300 km,高速公路的最高设计速度普遍可以达到 100~120 km/h,出行时间基本需要 2~3 h;高速城际铁路的最高设计速度普遍可以达到 200~350 km/h,出行时间基本可以控制在 1.5 h 内。相对于高速公路而言,高速城际铁路在具备容量大、安全性高、舒适度高等优点的同时,针对城市群内两个城市间的直达出行更具有时间上的明显优势,能够起到快捷、高效的运输效果。

另外,伴随着高速城际铁路速度的提升,城市间的旅行时间也在相应地减少。从表 1 中可见,若城际铁路的速度设定在 200 km/h 时,城际铁路相对于高速公路的出行时间大约可以节省 20%~30%;若城际铁路的速度提升至 250~300 km/h,节省时间比可以提高至 50%左右;若再提升至 350 km/h,节省时间比可以提高至 60%左右。单纯从旅客出行时间考虑,城际高速铁路速度越高,旅客出行时间

越短。同时,随着速度的提高,旅客出行节省时间的幅度在减少。当城际铁路速度提升至 250~300 km/h 时,相对于 200 km/h 节省时间比提高了约 20%~30%;而当速度提升至 350 km/h 时,相对于 250~300 km/h 节省时间比只提高了约 10%。由于采用了 350 km/h 的时速,虽然旅行时间更加节省,但是技术标准有大幅提升,从工程投资、安全控制、环境保护等其他方面均提出了更大的难度,需要付出更大的代价。

综合各方面因素考虑,城市群内高速城际铁路相对于高速公路有明显的时间优势,若将最高运营速度设置在 250~300 km/h 时,能以合理的工程代价换取合适的旅行时间节省比,起到快捷、高效的运输效果,效果较佳。

2.2 列车停站站间距对速度目标值的影响

城市群城际铁路主要是为沿线城市及中心城镇等客流服务的。因此需要在合适的地方设置旅客上

下的车站。车站的密集程度特别是列车运营停站站间距会影响列车最高运营速度的发挥。采用不同的

速度目标值,列车加减速度差异较大,列车一个加减速周期的走行距离的差异也较大(见表2)。

表2 不同速度目标值时动车组车辆一个加减速周期的走行距离

项目	120 km/h 时	160 km/h 时	200 km/h 时	250 km/h 时	300 km/h 时
平均加速度/(m/s ²)	0.500	0.300	0.215	0.174	0.165
平均减速度/(m/s ²)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
加速度走行距离/km	1.7	4.4	8.9	16.6	24.9

由表2可见,伴随着城际铁路速度的提升,列车一个加减速周期的走行距离也在增加,这个走行距离也是最低限度发挥列车性能的最小列车停站的站

间距,而合理的列车停站站间距离应保证线路的达速比在60%左右。各个速度目标值相对应的达速比为60%的列车停站距离见表3。

表3 不同速度目标值时达速比占60%的列车停站距离

项目	120 km/h 时	160 km/h 时	200 km/h 时	250 km/h 时	300 km/h 时
加速到最高速度运行距离/km	1.1	3.3	7.2	13.9	21.0
制动距离/km	0.6	1.1	1.7	2.7	3.9
加减速走行距离/km	1.7	4.4	8.9	16.6	24.9
达速比占60%的列车停站距离/km	4.3	11.0	22.3	41.5	62.3

以长春至吉林城际铁路为例分析,该线设计站间距最大43.32 km,最小10.13 km,平均站间距27 km。对于站站停列车,160 km/h速度目标值的达速比为85%;其次是200 km/h速度目标值的达速比为66%;250 km/h速度目标值的达速比为50%;300 km/h速度目标值的达速比最低,列车加速至280 km/h就开始实施制动。

该4个速度目标值方案均能满足时间目标值的要求。采用250 km/h的速度目标值与采用300 km/h速度目标值的全程旅行时间基本相同;采用250 km/h的速度目标值比采用200 km/h的速度目标值的全程旅行时间节省7.6 min,节省时间比例约21%;而与160 km/h的速度目标值相比,采用250 km/h的速度目标值的全程旅行时间节省12.5 min,节省时间比例约30%。因此,长春至吉林城际铁路选用250 km/h速度目标值能达到合理、高效的运输效率。

因此,列车停站站间距是影响列车速度目标值的重要因素,在选择速度目标值时一定要考虑列车运行中合理的达速比要求。

2.3 技术标准的选取与相应工程投资对速度目标值的影响

不同的速度目标值需要采用不同的技术标准,而采用不同的技术标准对线路方案及投资都会产生影响。选择的速度目标值不同,采用的最小曲线半

径、线间距、路基宽度、基床厚度、路基压实标准、路基基底处理、轨道设计标准、桥梁结构参数及结构形式、隧道内净空面积及隧道衬砌厚度、牵引变电所容量及接触网导线断面、信号设计标准等都有差异,表4主要以合蚌客专线为例采集数据。

由表4可见,伴随着城际铁路速度目标值的提升,相对应的线路技术标准及投资也会递增。从路基专业分析,当速度从160 km/h递增至250 km/h时,投资平均以800万/km的差额递增,250 km/h与300 km/h的差值约减小至500万元/km,300 km/h与350 km/h的差值缩小至120万元/km。从轨道专业分析,不同速度目标值采用相同形式的有碴轨道或无碴轨道投资并没有很大差异,而从有碴轨道形式转变为无碴轨道形式时投资会大幅度提高;当速度 ≤ 250 km/h时,轨道形式一般采用有碴轨道,当速度 ≥ 300 km/h时,需要采用无碴轨道,投资有明显提升。从桥梁形式分析,160 km/h采用的主要梁形为T梁,200 km/h及以上采用箱梁较多。从电气化专业分析,速度采用160 km/h、200 km/h时与采用250 km/h时投资相差65万元/km,当速度提升至300 km/h及以上时,较250 km/h时需增加185万元/km,增加幅度明显。从信号专业分析,当速度采用200 km/h至250 km/h时,投资约为145万元/km,当速度提升至300 km/h及以上时列控系统级别由CTCS-2提升至CTCS3,投资需增加55万元/km。

表 4 不同速度目标值相应技术标准及投资分析表

项目		160 km/h 时	200 km/h 时	250 km/h 时	300 km/h 时	350 km/h 时
线路	最小曲线半径/m	1 600	2 800	3 500	4 500	7 000
	线间距/m	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
路基	路基宽度/m	12.3	13.2	13.4	13.4	13.6
	基床厚度/m	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
	一般地段工后沉降/cm	20	15	10	5	5
	过渡段工后沉降/cm	10	8	5	3	3
	投资/(万元/km)	1 230	2 025	2 840	3 380	3 500
轨道	轨道类型	有碴轨道	有碴轨道	有碴轨道	无碴轨道	无碴轨道
	道碴等级	1 级	1 级	特级	特级	特级
	投资/(万元/km)	195	195	238	1 109	1 200
桥梁	桥梁结构类型	T 梁每片:139 t	箱梁每片:788 t	箱梁每片:788 t	箱梁每片:819 t	箱梁每片:819 t
	投资/(万元/km)	4 950	5 690	5 740	5 740	5 900
隧道	净空面积/m ²	80	80	90	100	100
	投资/(万元/km)	5 400	5 400	5 550	5 800	5 800
电气化	牵引供电	直供电	直供电	AT 供电	AT 供电	AT 供电
	接触网线材选型	铜合金接触线 (CTS120)	铜合金接触线 (CTS120)	铜镁合金接触线 (CTMH-150)	铜镁合金接触线 (CTMH-150)	铜镁合金接触线 (CTMH-150)
		铜合金绞线 (JTMH-95)	铜合金绞线 (JTMH-95)	铜合金绞线 (JTMH-120)	铜合金绞线 (JTMH-120)	铜合金绞线 (JTMH-120)
		投资/(万元/km)	160	160	225	410
信号	行车指挥系统	TDCS	CTC	CTC	CTC	CTC
	列车控制系统	CTCS-0	CTCS-2	CTCS-2	CTCS-3	CTCS-3
	投资/(万元/km)	120	145	145	200	200

当城际铁路速度目标值提升时,路基工后沉降标准逐步提高,投资逐步递增;当城际铁路速度目标值由 250 km/h 提升至 300 km/h 及以上时,轨道形式由有碴轨道转变成无碴轨道,工程投资加大。同时,伴随着城际铁路速度目标值提高,线路最小曲线半径也在增大,线路更趋于顺直,线路的可选性有所下降,这会引起更多的拆迁工程以及工程敷设方式的变化,相应的投资将会增加。

2.4 动车购置费、能耗及运营成本对速度目标值的影响

2.4.1 动车购置费

动车组有内燃动车组和电动车组。目前城市群城际轨道交通基本都采用电动车组。不同的速度由于功率不同,动车组的价格也有所不同。通常速度目标值在 160 km/h 以下的动车组购置价格差别并不明显,单辆动车价格差距约在 200 万元左右;但是当动车组速度提升至 200 km/h 及以上后,单辆动车价格差距明显增大,例如已经成功生产的时速 200 km/h~300 km/h 动车组。初步统计,时速 200

km/h 的动车组每列约(8 节编组)1.5 亿元,而时速 300 km/h 的动车组每列(8 节编组)大约需 2 亿元,单辆动车组价格差距约为 600 万元。当然,动车组速度提高后,车辆的周转时间减少,所需配置的动车组数量会有所下降。因此,应以动车车辆购置单价乘以购置数量以后得出的总价来判断动车价格对合理经济速度目标值的影响,以使动车车辆购置费用达到最为经济的效果。

2.4.2 能耗及运营费用

运营成本涉及动车组的运营模式、管理水平以及线路能耗等。其中,能耗是影响运营成本重要的影响因素,列车运营费用也因能耗的增加而增加。在不考虑坡道、曲线附加阻力,即在平直道条件下恒速运行时的列车能耗可分别按每列公里和万人公里能耗见表 5。200 km/h 速度目标值的列车能耗较 160 km/h 的列车能耗增加 40%;250 km/h 速度目标值的列车能耗较 160 km/h 的列车能耗增加 100%;300 km/h 速度目标值的列车能耗较 160 km/h 的列车能耗增加 185%。

表5 不同速度等级列车能耗比较

项目	120 km/h 时	160 km/h 时	200 km/h 时	250 km/h 时	300 km/h 时
动能/(kWh/列)	114.2	197.2	308.6	482.3	694.4
单位运行阻力/(N/kN)	4.31	6.25	8.83	12.86	17.79
每列公里阻力能耗/kWh	8.46	12.26	17.33	25.22	34.9
每万人公里阻力能耗/kWh	70.5	102.2	144.4	210.2	290.8
比值	0.69	1.00	1.41	2.06	2.85

2.4.3 维修费用

伴随着城际铁路速度目标值提高与高等级动车组的采用,动车组装备水平、维修设备相应提高。同时由于速度目标值的提高,动车组的利用效率相应提高,完成定检公里的时间相应缩短,检修的次数相应增加,维修的费用也会相应提高。

2.5 运营安全及环境保护对速度目标值的影响

城际铁路虽然是一种高效、节能、环保的交通工具,但由于速度高也会产生噪声等污染,而且速度越高,产生的噪声也越大,城际铁路沿线的环境保护也成为了一项不可忽略的因素。在正常无缝线路条件下,动车在距离线路中心 25 m,轨面以上 3.5 m 的噪声源强见表 6。

表6 不同速度下动车组噪声源强 dB

速度/ (km/h)	路堤线路噪声源强		桥梁线路噪声源强	
	无砟轨道	有砟轨道	无砟轨道	有砟轨道
120	80.5	77.5	74.5	71.5
160	82.5	79.5	76.5	73.5
200	85.5	82.5	79.5	76.5
250	89.5	86.5	83.5	80.5
300	92.5		86.5	
350	95.5		89.5	

由表 6 可见,随着城际铁路速度目标值的提升,动车组噪声源强相应增大,环境噪声措施亦相应提升。在环境影响控制点距线路中心距离确定的基础上,若采用越高的速度目标值,噪声源强越大,采用的噪声保护措施量越大;相对的,若采用较小的速度目标值,噪声源强较小,采用的噪声保护措施量较小。

以宁安城际为例,若速度目标值采用 350 km/h,声屏障的设置长度较 250 km/h 增加 24%;若速度目标值采用 300 km/h,声屏障的设置长度较 250

km/h 仅增加 5%。

由此可见,在城际铁路线路走向比较稳定的基础上,选取合适的速度目标值能使城际铁路的环境保护措施投资较为合理,一般情况下速度目标值可选取 250~300 km/h。

3 结语

随着中国城市化进程日益加快,城市群体系正在逐步形成并完善,利用城际铁路快速、高效、便捷地连接城市群中心城和其他城市已经成为了普遍的交通方式。针对不同的线路,应从其在路网中的功能定位、站点布设、技术标准、工程投资、运营能耗、安全环保等多方面综合比较分析,选择合适的速度目标值。从本文分析以及中国城市群的整体结构来看,目前城市群城际铁路的速度目标值以 250~300 km/h 为宜。采用 200 km/h 及以下速度目标值不能充分发挥城际铁路的综合优势。采用 300 km/h 以上的速度目标值可能会带来工程投资增加幅度较大、运营安全、环保等一些新问题。

参考文献

- [1] 中铁上海设计院集团有限公司. 新建铁路合肥至蚌埠客运专线初步设计[R]. 上海: 中铁上海设计院集团有限公司, 2008.
- [2] 苏梅, 李建新. 我国城市铁路最高设计速度值研究[J]. 交通运输工程与信息, 2004(11): 64.
- [3] 马大伟. 沪宁城际铁路动车组选型研究[J]. 现代城市轨道交通, 2005(3): 1.
- [4] 石万新. 长春至吉林城际铁路时间、速度目标值的选择[J]. 铁道工程学报, 2006(10): 10.
- [5] 丁大朋. 京张城际铁路速度目标值的选择[J]. 山西建筑, 2010(5): 276.
- [6] 池利兵, 关敬辉, 李凤军, 等. 区域城际轨道交通功能层次划分[J]. 城市轨道交通研究, 2011(5): 1.

(收稿日期: 2012-08-12)