

跨坐式单轨与地铁和轻轨工程造价对比分析

田方友^{1,2} 李云龙¹ 施江冲²

(1. 新疆大学建筑工程学院, 830047, 乌鲁木齐; 2. 中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司, 241060, 芜湖//第一作者, 硕士研究生)

摘要 城市轨道交通投资巨大,本着“量力而行,有序推进,因地制宜,经济适用”的原则,越来越多的城市选择了高架敷设的跨坐式单轨系统,故需要对其造价进行针对性研究以满足项目投资决策需求。结合国内工程实际应用,对地铁、轻轨及跨坐式单轨的工程造价进行剖析,对比其投资构成,总结出工程造价的主要影响因素。研究结果可为决策者选取合理方案、造价人员控制工程造价提供参考。

关键词 跨坐式单轨; 地铁; 轻轨; 工程造价; 对比分析

中图分类号 TU723.32

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.01.023

Comparative Analysis of Construction Costs of Straddle Monorail Transit, Metro and Light Rail Transit

TIAN Fangyou, LI Yunlong, SHI Jiangchong

Abstract Tremendous investment is involved in urban rail transit, considering the principle of “Adequate capability, Orderly advancement, Adaptable application, Economic feasibility”, more and more cities are choosing straddle monorail transit system, the construction cost of which requires targeted research to meet the demand of project decision-making of investment and construction. Combined with actual domestic projects, the construction costs of metro, light rail and straddle monorail is deconstructed and analyzed. After comparing investment composition, the main influencing factors of construction cost are summarized. The research results will provide reference for decision makers to select reasonable urban rail transit system and for engineering economist to control project cost.

Key words straddle monorail; metro; light rail; construction cost; comparative analysis

First-author's address Architecture and Civil Engineering College, Xinjiang University, 830047, Urumqi, China

我国的城市轨道交通建设总体保持有序发展,但部分城市存在规划过度超前、建设规模过于集中、资金落实不到位等问题^[1]。截至2018年底,共有35个城市开通城市轨道交通运营线路185条,7种制式同时在运营。其中,地铁总长4354.3 km,占比75.6%;轻轨总长255.4 km,占比4.4%;单轨总长98.5

km,占比1.7%^[2]。作为中运量的跨坐式单轨,也越来越多地出现在目前在建和未来规划的城市轨道交通线网中。但对国内大部分的城市轨道交通工程造价研究主要集中在传统钢轮钢轨制式的地铁和轻轨领域,且缺乏两种制式轨道交通工程造价的对比分析。

本文通过运用国内典型城市地铁、轻轨及跨坐式单轨工程的造价数据(数据来源于各自项目的可行性研究估算或初步设计概算),对工程造价的工程费用,从涉及到的多个专业出发,进行归纳与比较分析,为决策者在项目前期对城市轨道交通钢轮钢轨与跨坐式单轨制式的比选、决策,以及工程人员科学合理地控制工程造价提供参考。

1 地铁、轻轨工程造价

城市轨道交通工程投资分为工程费用、专项费用、其他费用和预备费^[3]。工程费用按照专业类别可细分为车站、区间、轨道、通信、信号、主变电站、供电、综合监控、防灾与报警、环境与设备监控、安防及门禁、自动售票、自动扶梯及电梯、站台门、运营控制中心、车辆段与综合基地、人防工程等16项。各城市轨道交通工程的工程建设其他费用、预备费和专项费用存在显著差异,本文工程造价只对其中的工程费用进行重点分析。

线路敷设方式和系统配置不同的城市轨道交通,其各部分的造价占总投资的比例是不同的^[4]。目前,我国传统的钢轮钢轨轨道交通线主要敷设方式有地下和高架2种,不同的敷设方式对造价的影响较大,各部分所占的比例也有所不同。表1和表2是对南通、北京、西安等城市6节编组的地铁(全地下线)线和以高架线为主的轻轨线的工程费用统计。

由表1可知,地铁项目工程费用为37320万元/km~42644万元/km。车站、区间、供电系统、通信信号和车辆基地的费用占总工程费用的比例分别为33.95%~37.93%、20.66%~22.34%、9.09%~14.47%、6.26%~7.68%、5.06%~7.52%,这5项费用之和占总

表1 3条地铁(全地下线)项目工程费用统计

| 编号 | 工程名称 | 项目1 (全长 28.843 km, 24 座车站) | | | 项目2 (全长 20.820 km, 28 座车站) | | | 项目3 (全长 33.837 km, 29 座车站) | | |
|----|-----------|-------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|----------------|------------------|
| | | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) |
| 1 | 车站土建 | 365 440 | 33.95 | 12 670 | 329 427 | 37.81 | 15 823 | 547 629 | 37.93 | 16 184 |
| 2 | 区间土建 | 240 459 | 22.34 | 8 337 | 179 951 | 20.66 | 8 643 | 311 900 | 21.61 | 9 218 |
| 3 | 轨道 | 33 653 | 3.13 | 1 167 | 36 314 | 4.17 | 1 744 | 57 381 | 3.97 | 1 696 |
| 4 | 通信信号 | 82 675 | 7.68 | 2 866 | 57 119 | 6.56 | 2 743 | 90 333 | 6.26 | 2 670 |
| 5 | 供电 | 155 803 | 14.47 | 5 402 | 79 196 | 9.09 | 3 804 | 189 539 | 13.13 | 5 602 |
| 6 | 综合监控 | 7 761 | 0.72 | 269 | 7 516 | 0.86 | 361 | 9 359 | 0.65 | 277 |
| 7 | 环控系统 | 25 129 | 2.33 | 871 | 20 960 | 2.41 | 1 007 | 32 137 | 2.23 | 950 |
| 8 | 给排水及消防 | 13 751 | 1.28 | 477 | 12 677 | 1.46 | 609 | 21 999 | 1.52 | 650 |
| 9 | 防灾报警与设备监控 | 9 138 | 0.85 | 317 | 10 890 | 1.25 | 523 | 16 891 | 1.17 | 499 |
| 10 | 车站设备 | 30 660 | 2.85 | 1 063 | 32 094 | 3.68 | 1 541 | 48 407 | 3.35 | 1 431 |
| 11 | 自动售检票 | 18 062 | 1.68 | 626 | 12 758 | 1.46 | 613 | 22 320 | 1.55 | 660 |
| 12 | 控制中心 | 5 474 | 0.51 | 190 | 14 175 | 1.63 | 681 | 4 450 | 0.31 | 132 |
| 13 | 车辆基地 | 75 729 | 7.04 | 2 626 | 65 506 | 7.52 | 3 146 | 72 985 | 5.06 | 2 157 |
| 14 | 人防工程 | 11 602 | 1.08 | 402 | 7 671 | 0.88 | 368 | 15 900 | 1.10 | 470 |
| 15 | 安防及门禁 | 1 091 | 0.10 | 38 | 4 949 | 0.57 | 238 | 2 390 | 0.17 | 71 |
| | 总计 | 1 076 427 | 100.00 | 37 320 | 871 204 | 100.00 | 41 845 | 1 443 620 | 100.00 | 42 664 |

表2 3条高架为主的轻轨项目工程费用统计

| 编号 | 工程名称 | 项目4 (全长 24.728 km, 11 座车站) | | | 项目5 (全长 21.350 km, 7 座车站) | | | 项目6 (全长 19.870 km, 13 座车站) | | |
|----|-----------|-------------------------------|----------------|------------------|------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|----------------|------------------|
| | | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) |
| 1 | 车站土建 | 59 856 | 11.34 | 2 421 | 63 610 | 12.94 | 2 979 | 83 478 | 17.30 | 4 201 |
| 2 | 区间土建 | 200 149 | 37.90 | 8 094 | 190 438 | 38.74 | 8 920 | 171 191 | 35.47 | 8 616 |
| 3 | 轨道 | 39 858 | 7.55 | 1 612 | 28 099 | 5.72 | 1 316 | 28 422 | 5.89 | 1 430 |
| 4 | 通信信号 | 55 460 | 10.50 | 2 243 | 47 106 | 9.58 | 2 206 | 47 548 | 9.85 | 2 393 |
| 5 | 供电 | 77 432 | 14.66 | 3 131 | 87 198 | 17.74 | 4 084 | 75 113 | 15.56 | 3 780 |
| 6 | 综合监控 | 6 264 | 1.19 | 253 | 4 650 | 0.95 | 218 | 3 740 | 0.77 | 188 |
| 7 | 环控系统 | 3 988 | 0.76 | 161 | 2 965 | 0.60 | 139 | 8 727 | 1.81 | 439 |
| 8 | 给排水及消防 | 4 122 | 0.78 | 167 | 2 332 | 0.47 | 109 | 7 335 | 1.52 | 369 |
| 9 | 防灾报警与设备监控 | 5 615 | 1.06 | 227 | 5 239 | 1.07 | 245 | 3 560 | 0.74 | 179 |
| 10 | 车站设备 | 12 576 | 2.38 | 509 | 12 899 | 2.62 | 604 | 17 446 | 3.61 | 878 |
| 11 | 自动售检票 | 10 028 | 1.90 | 406 | 8 997 | 1.83 | 421 | 9 090 | 1.88 | 457 |
| 12 | 控制中心 | 1 389 | 0.26 | 56 | 1 469 | 0.30 | 69 | | | |
| 13 | 车辆基地 | 44 395 | 8.41 | 1 795 | 32 328 | 6.58 | 1 514 | 22 903 | 4.75 | 1 153 |
| 14 | 人防工程 | 1 463 | 0.28 | 59 | 1 078 | 0.22 | 50 | 780 | 0.16 | 39 |
| 15 | 安防及门禁 | 5 457 | 1.03 | 221 | 3 126 | 0.64 | 146 | 3 280 | 0.68 | 165 |
| | 总计 | 528 052 | 100.00 | 21 354 | 491 534 | 100.00 | 23 023 | 482 613 | 100.00 | 24 289 |

工程费用的 81.63%~85.48%,为工程费用的主要组成部分。其中,车站和区间的土建工程费占总工程费的 56.29%~59.54%,作为“关键少数”,是地铁项目工程费用影响最大的因素。

由表 2 数据可知,高架为主的轻轨项目工程费为 21 354 万元/km~24 289 万元/km。区间、供电、车站、通信信号和车辆基地的工程费占总工程费的比例分别为 35.47%~38.78%、14.66%~17.74%、11.34%~17.3%、9.58%~10.5%、4.75%~8.41%,这 5

项费用之和占总工程费用的 82.81%~85.59%,为工程费的主要组成部分。其中,车站和区间的土建工程费占总工程费的 49.24%~52.77%,土建工程费同样是高架轻轨项目工程费用影响最大的因素。

结合表 1 和表 2 的数据可以看出,地铁工程造价是轻轨的 1.8 倍左右。车站、区间、供电系统、通信信号和车辆基地 5 项工程费用是这两种敷设方式工程造价的主要组成部分,占总工程费的 80%~85%,而土建工程费占总工程费的 50%~60%,是影响工

程费用的最大因素。

2 跨坐式单轨工程造价

为了更全面地分析国内跨坐式单轨的工程造价

价,选择重庆、中山等城市的跨坐式单轨的工程造价,并对数据进行修正,将列车统一为6节编组形式^[5]。表3是对上述城市跨坐式单轨的工程费用统计。

表3 3条跨坐式单轨项目工程费用统计

| 编号 | 工程名称 | 项目7 (全长 18.88 km, 11 座车站) | | | 项目8 (全长 12.40 km, 11 座车站) | | | 项目9 (全长 15.79 km, 11 座车站) | | |
|----|-----------|------------------------------|----------------|------------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------------------|----------------|------------------|
| | | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) | 投资/ 万元 | 占总工程费 的比例/% | 平均投资/ (万元/km) |
| 1 | 车站土建 | 34 954 | 12.08 | 1 851 | 42 750 | 15.06 | 3 448 | 33 749 | 12.44 | 2 137 |
| 2 | 区间土建 | 29 674 | 10.26 | 1 572 | 38 271 | 13.48 | 3 086 | 32 945 | 12.14 | 2 086 |
| 3 | 轨道 | 67 278 | 23.26 | 3 563 | 42 817 | 15.08 | 3 453 | 52 473 | 19.34 | 3 323 |
| 4 | 通信信号 | 34 020 | 11.76 | 1 802 | 25 765 | 9.08 | 2 078 | 31 444 | 11.59 | 1 991 |
| 5 | 供电 | 51 061 | 17.65 | 2 704 | 52 523 | 18.50 | 4 236 | 50 084 | 18.46 | 3 172 |
| 6 | 综合监控 | | | | | | | | | |
| 7 | 环控系统 | 2 938 | 1.02 | 156 | 3 321 | 1.17 | 268 | 1 182 | 0.44 | 75 |
| 8 | 给排水及消防 | 3 189 | 1.10 | 169 | 3 292 | 1.16 | 265 | 3 155 | 1.16 | 200 |
| 9 | 防灾报警与设备监控 | 2 864 | 0.99 | 152 | 3 321 | 1.17 | 268 | 3 023 | 1.11 | 191 |
| 10 | 车站设备 | 11 986 | 4.14 | 635 | 10 732 | 3.78 | 865 | 10 477 | 3.86 | 664 |
| 11 | 自动售检票 | 7 422 | 2.57 | 393 | 6 426 | 2.26 | 518 | 6 455 | 2.38 | 409 |
| 12 | 控制中心 | 939 | 0.32 | 50 | 892 | 0.31 | 72 | | | |
| 13 | 车辆基地 | 31 691 | 10.96 | 1 679 | 49 883 | 17.57 | 4 023 | 42 614 | 15.71 | 2 699 |
| 14 | 人防工程 | 704 | 0.24 | 37 | 400 | 0.14 | 32 | | | |
| 15 | 安防及门禁 | 10 562 | 3.65 | 559 | 3 462 | 1.22 | 279 | 3 669 | 1.35 | 232 |
| | 总计 | 289 283 | 100.00 | 15 322 | 283 854 | 100.00 | 22 891 | 271 270 | 100.00 | 17 180 |

由表3可以看出,跨坐式单轨项目工程费用为15 322万元/km~22 891万元/km。轨道、供电、车站、通信信号和车辆基地的费用占总工程费的比例分别为15.08%~23.25%、17.65%~18.50%、12.08%~15.06%、9.08%~11.59%、10.96%~17.57%,以上几项费用之和占总工程费用的75.30%~77.55%,为工程费用的主要组成部分。其中,轨道、车站和区间的土建工程费占总工程费的43.63%~45.60%,土建工程费是跨坐式单轨交通项目工程费用影响最大的因素。

3 跨坐式单轨与地铁、轻轨工程造价的对比与分析

尽管不同的城市轨道交通项目的情况千差万别,本文的数据样本空间也有限,而且不同制式或线路敷设方式的轨道交通工程的运能、车辆长度和土建规模等不同,但对地铁、轻轨和跨坐式单轨产生工程造价差别的原因进行剖析,有利于决策者的投资决策和工程人员控制造价,存在着积极的现实意义。通过对比国内中高运量6节编组的地铁、轻轨项目和跨坐式单轨项目工程造价案例数据可以发现:

1) 地铁、轻轨和跨坐式单轨工程造价的差别较大。地铁的造价是高架为主的轻轨的1.8倍左右,是

跨坐式单轨的2.3倍左右;高架为主的轻轨造价是跨坐式单轨的1.3倍左右。工程费从高到低依次为:地铁,轻轨和跨坐式单轨,如表4所示。由此说明,线路敷设方式和制式选型是影响工程造价的主要因素。

表4 各种制式轨道交通线工程费比较

| 地铁 | | 高架为主的轻轨 | | 跨坐式单轨 | |
|-----|-----------------|---------|-----------------|-------|-----------------|
| 项目号 | 工程费/ (万元/km) | 项目号 | 工程费/ (万元/km) | 项目号 | 工程费/ (万元/km) |
| 1 | 37 320 | 4 | 21 354 | 7 | 15 322 |
| 2 | 41 845 | 5 | 23 023 | 8 | 22 891 |
| 3 | 42 664 | 6 | 24 289 | 9 | 17 180 |
| 平均 | 40 610 | 平均 | 22 889 | 平均 | 18 465 |

2) 车站、区间、轨道、供电系统、通信信号和车辆基地,这5项费用占总工程费用的80%左右。不同的线路敷设方式导致车站规模、结构形式和施工方法的不同,从而影响车站的工程费用;线路敷设方式同时对供电系统和通信信号等系统也影响较大。除了线路敷设方式,线路走向、城市规划、道路布局、客流等因素也影响区间线路的造价;电源供电方式(集中供电、分散供电和混合供电)^[6]和轨道制式同样对供电费用影响较大。车辆段及综合基地,根据使用功能不同使占地面积、库房面积、配置的检修设备和数量差别很大,所以工程费用的差别也很大。

3) 在地铁、轻轨以及跨坐式单轨项目中,各项费用占总工程师费比例的排名有所不同,如表5所示(按比例从大到小排列)。地铁(全地下线)的车站费用、轻轨的区间线路费用、跨坐式单轨的轨道费用分别占其总工程师费的比例为最大。线路敷设方式对车站规模、结构形式、造价指标的影响主要体现在地下车站环境条件差,需设置风道、风井和设备进行排风,需配置机电系统设备和用房^[6]。与地铁和轻轨不同,跨坐式单轨由于全线轨道梁预制^[7],不需要过多的现场土建施工,因此,其轨道费用占比为最大,但区间土建费用占比很低,一定程度上节省了总工程师费。

表5 各项费用占总工程师费的比例排名

| 排名 | 地铁(全地下线) | 高架为主的轻轨 | 跨坐式单轨 |
|----|----------|---------|-------|
| 1 | 车站土建 | 区间土建 | 轨道 |
| 2 | 区间土建 | 供电 | 供电 |
| 3 | 供电 | 车站土建 | 车站土建 |
| 4 | 通信信号 | 通信信号 | 通信信号 |
| 5 | 车辆基地 | 车辆基地 | 车辆基地 |

4 结语

通过对国内不同制式及线路敷设方式的城市轨道交通工程造价分析可得出以下结论:车站、区间、轨道、供电系统、通信信号和车辆基地,这几项的费用占轨道交通工程项目总费用比例为80%左右,作为工程费用的“关键少数”,应在其项目全寿命周期中重点控制。但这几项的费用占总工程师费的比例排名,在地铁(全地下线)、高架为主的轻轨和跨坐式单轨上各有所不同,因此,在实际项目工程造价的控制上,应区分对待,以更加精准、科学合理地控制工

程造价。考虑到技术适用性,地铁制式具有运量大、技术成熟、节约土地的优势,但也具有施工难度大、建设周期长的不足;高架为主的轻轨具有运量相对较大、建设周期较长、技术成熟的特点,但也存在选线要求高和噪音大的问题;跨坐式单轨多为高架线路,其结构形式简约、较为节约土地、运量适中,并具有噪声小、爬坡能力强、曲线半径小、建设周期短等诸多特点,但其乘客逃生较为复杂、技术成熟度也相对较低。决策者在投资决策时,应根据不同项目的具体社会、经济情况,本着“量力而行,有序推进,因地制宜,经济适用”的原则,选择适宜的城市轨道交通制式和敷设方式。

参考文献

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见:国办发[2018]52号[Z].北京:国务院办公厅,2018.
- [2] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通2018年度统计分析报告[R].北京:中国城市轨道交通协会,2018.
- [3] 建设部标准定额司.城市轨道交通工程设计概算编制办法:建标[2017]89号[S].北京:中国计划出版社,2017.
- [4] 王国富.城市轨道交通工程投资分析与控制探讨[J].铁路工程造价管理,2013(1):13.
- [5] 李亦.跨坐式单轨工程造价指标体系构建与分析[J].城市轨道交通研究,2018(1):36.
- [6] 王芳英.地铁工程综合造价指标解析[J].铁路工程造价管理,2012(5):35.
- [7] 王向义.单轨交通工程总承包工期管理[J].城市轨道交通研究,2016(8):14.

(收稿日期:2019-06-04)

连镇高铁全线开通运营

2020年12月11日,连接江苏连云港和镇江的连镇高铁全线开通运营,标志着经济大省江苏实现高速铁路南北互通。连镇高铁全长约304 km,设计时速为250 km,于2015年9月全线开工建设,其中连云港至淮安段已于2019年12月开通运营。连镇高铁全线通车形成了纵贯江苏南北的铁路主通道,成为江苏铁路的脊梁骨,为促进苏南苏中苏北协调发展、推动长三角更高质量一体化、服务全国构建新发展格局提供有力的交通支撑。

(摘自2020年12月11日新华网,记者杨绍功报道)

盐通高铁正式开通运营

记者从中国铁路上海局集团有限公司获悉,盐城至南通高速铁路于2020年12月30日正式开通运营。盐通高铁位于江苏省东部沿海,北起盐城市,终至南通市,线路全长158 km,是苏北地区首条全线时速350 km的高铁。盐通高铁开通运营初期,铁路部门安排开行动车组列车6对,初期运营时速300 km。盐通高铁开通运营后,盐城到上海实现了高铁直达。

(摘自2020年12月30日新华网,记者杨丁森报道)