

城市轨道交通工程通风空调投资数据统计特征分析*

刘 焱^{1,2} 王奕然³ 李晓锋^{4**} 史柯峰⁵

(1. 中国交建轨道交通技术研发中心, 101399, 北京; 2. 中交铁道设计研究总院有限公司, 101399, 北京;
3. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京; 4. 清华大学建筑学院, 100084, 北京;
5. 中铁投资集团有限公司, 100160, 北京 // 第一作者, 高级工程师)

摘要 目的: 目前, 城市轨道交通工程中的通风空调投资整体情况、变化趋势、统计特征等研究尚不全面, 需对城市轨道交通工程中通风空调设备的投资现状与变化情况进行统计分析, 以获得合理的通风空调投资金额参照指标。方法: 根据通风空调系统的构成与特征构建样本数据库; 根据样本类型、建设时期进行划分, 对城市轨道交通工程中的通风空调投资数据的绝对值指标(单线投资、单站投资)和相对值指标(在总投资费用中的占比、在工程费用中的占比、在机电系统投资费用中的占比)的分布情况与变化趋势进行统计分析, 并对影响城市轨道交通工程通风空调投资的部分关联因素进行了分析。结果及结论: 城市轨道交通工程的通风空调投资费用在 10 项机电系统投资费用中排在第 5 位, 单线投资指标为 0.48 亿~2.39 亿元/线, 呈回落趋势; 单站投资指标为 445 万~1 377 万元/站, 呈上升趋势; 通风空调投资费用在总投资费用中的占比为 0.44%~1.23%, 在工程费用中的占比为 0.72%~2.13%, 在机电系统投资费用中的占比为 2.45%~8.50%, 这 3 项占比相对值指标均呈现“十二五”时期小幅增加、“十三五”时期明显降低、“十四五”时期显著回升的特征; 上述投资数据绝对值与相对值的统计特征分析结果均与样本类型密切相关。

关键词 城市轨道交通; 通风空调; 投资数据; 统计特征分析

中图分类号 F530.31:U270.38⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.006

Statistical Characteristics Analysis of Urban Rail Transit Project Air-conditioning Investment Data

LIU Yao, WANG Yiran, LI Xiaofeng, SHI Kefeng

Abstract Objective: At present, comprehensive researches are still incomplete in terms of the overall situation, changing trends and statistical characteristics of investments in VAC (ventilation and air-conditioning) systems of URT (urban rail

transit) project. It is essential to conduct a statistical analysis of the investment status and changing situation of URT project VAC equipment to obtain appropriate reference indicators for VAC investments. Method: A sample database is constructed based on the composition and characteristics of VAC systems, which is categorized according to sample types and construction periods. Absolute indicators (investment per single line and investment per single station) and relative indicators (percentage in the total investment, percentage in engineering cost, and percentage in electromechanical system investment) of VAC investment in URT projects are statistically analyzed for their distribution and changing trends. Additionally, some associated factors influencing the investment in URT project VAC systems are explored. Result & Conclusion: VAC investment in URT projects ranks fifth among the 10 electromechanical system investments. The indicator of investment per single line ranges from 48 million to 239 million yuan per line, showing a declining trend. The indicator of investment per single station ranges from 4.45 million to 13.77 million yuan per station, indicating an increasing trend. The percentage of VAC investment in the total investment ranges from 0.44% to 1.23%, in engineering cost from 0.72% to 2.13%, and in electromechanical system investment from 2.45% to 8.50%. These three relative indicators exhibit a pattern of slight increase during the '12th Five-Year Plan' period, significant decrease during the '13th Five-Year Plan' period, and notable rebound during the '14th Five-Year Plan' period. The results of statistical characteristics analysis on both above absolute and relative investment data are closely related to sample types.

Key words urban rail transit; ventilation and air-conditioning; investment data; statistical characteristics analysis

First-author's address CCCC Rail Transit Technology R & D Center, 101399, Beijing, China

* “十三五”国家重点研发计划课题(2018YFC0705000)

** 通信作者

城市轨道交通工程具有投资金额高、占用资金量大等特点^[1]。根据中国城市轨道交通协会对 2017 年—2020 年上半年各类设备系统采购金额统计口径可知,调研样本中,通风空调设备的采购总额达到了 62.46 亿元,在设备系统采购总额中占比达到了 2.69%^[2]。除设备采购费用外,通风空调投资费用中还包括了施工安装费用,这使得该项投资金额进一步增加。由此可以看出,城市轨道交通工程中的通风空调设备也具有投资金额高的特点。目前,行业内对近年来我国城市轨道交通工程通风空调投资的整体情况、变化趋势、统计特征等方面的研究尚不全面。本文通过收集工程样本与数据,对城市轨道交通工程通风空调投资现状与变化情况进行统计分析,所获得的投资指标研究结果可应用于城市轨道交通的投资估算、方案比选、概算编制、限额设计、资金控制及工程审计等工作中。本文研究可为制定合理的城市轨道交通工程通风空调投资金额提供重要的数据参考。

1 研究方法现状

1.1 研究方法

对于城市轨道交通工程通风空调投资的研究,需要有适宜的、能够不断扩展的样本库^[3],同时结合已有的研究成果^[4-5],从样本类型分类指标、建设时期分类指标和投资指标占比变化趋势等方面对样本库中若干条典型线路的通风空调投资数据统

计特征进行分析与研究,并对影响城市轨道交通工程通风空调投资的其他关联因素进行分析讨论,形成最终的研究结论。

1.2 样本库基本情况

根据城市轨道交通工程通风空调系统的构成与特征划分,可初步构建样本类型丰富、投资规模适宜的基础数据库,其主要特征参数如表 1 所示。其中:通风空调投资总额是工程初步设计批复的概算数据,主要包含设备费与安装费;高架线样本均为 6B 编组列车(6 节编组、B 型列车);6A 编组样本(6 节编组、A 型列车)和 6B 编组样本为该车型对应的全部地下线及地下车站样本、或以地下线为主的线路样本。这样分类的主要原因是地面线、高架线及非地下车站在通风空调系统构成方面与地下线及地下车站之间有显著区别,导致其通风空调投资金额具有较大的差异。

需要指出的是,市域(郊)铁路样本(以下简称“市域线”)是作为一个整体类别进行统计并汇总的。在当前阶段,市域线工程特征与地铁相比仍存在显著的差异性与特殊性,主要是由于市域线工程的系统制式及线路走向,对通风空调系统的具体构成与配置规模影响较大,因此单独将市域线作为独立类别进行整体考虑。此外,由于 8 节编组样本收集到的样本数量较少,因此本文不区分 A 型列车和 B 型列车,且仅在列表中汇总相应数据,暂不纳入分类样本统计特征分析与对比研究中。

表 1 样本库主要特征参数

Tab.1 Main characteristic parameters of sample database

线路属性	样本类型	样本数量/ 个	线路长度/ km	车站数量/ 座	通风空调投资总额/ 亿元	单线平均投资/ (亿元/线)	单站平均投资/ (万元/站)
市域(郊)铁路	市域线	18	739.567	213	16.81	0.93	789.2
	高架线	9	195.863	88	4.29	0.48	487.7
地铁	6A 编组	26	614.973	450	62.06	2.39	1 379.1
	6B 编组	88	2 074.069	1 519	177.08	2.01	1 165.7
	8 节编组	1	23.650	21	3.56	3.56	1 693.7
合计		142	3 648.122	2 291	263.80		

2 投资数据绝对值统计特征分析

2.1 按线路统计

对样本库中 142 条线路的单线通风空调投资总额进行统计,其统计结果如图 1 所示。

由图 1 a)可知:市域线样本与 6B 编组样本的

通风空调单线投资数据整体变化不大,6A 编组样本数据指标呈下降趋势,高架线样本数据指标呈增长趋势。导致上述现象的原因主要为这 4 类样本的通风空调单线投资数据受到工程项目线路长度及车站数量等规模数据变化的影响。

由图 1 b)可知:城市轨道交通工程通风空调投

资总额与样本类型密切相关;高架线与市域线的通风空调单线投资情况较为近似,统计均值分别为4 769 万元/线和9 339 万元/线,且均显著低于6 节编组的地铁样本;6A 编组样本与6B 编组样本的通风空调单线投资情况较为接近,前者为23 870 万元/线,略高于后者的20 122 万元/线。

由图1 c)可知:单线的通风空调投资整体呈回落趋势,其主要原因是随着近年来多数城市轨道交通网建设的逐步完善,新线建设多以延伸线、联络线为主,因此单线工程建设规模有所缩减,致使单线的通风空调投资规模也随之缩减,单项投资强度也有所降低;该项指标的统计均值由“十一五”期

间的1.51 亿元/线,变为“十二五”期间的2.20 亿元/线和“十三五”期间的1.78 亿元/线;在“十四五”开年阶段,单线的通风空调投资下降趋势更为明显,减少为1.48 亿元/线。

2.2 按车站统计

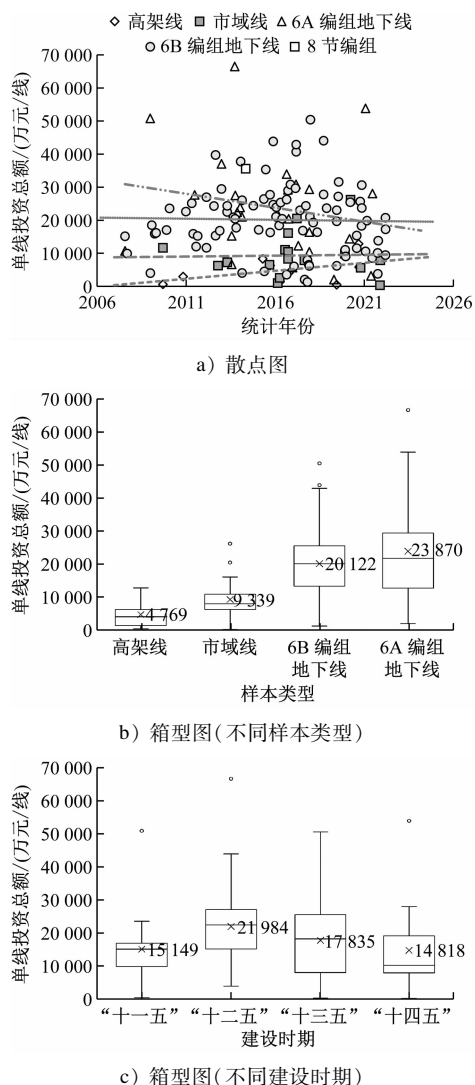
对样本库中142 条线路的单站通风空调投资均值进行统计,其统计结果如图2 所示。

由图2 a)可知:各类型样本的通风空调单站均值投资数据均呈逐年增长趋势;从相对增速来看,市域线样本与6A 编组样本数据相近,高架线样本与6B 编组样本数据相近,后两者的相对增速略高于前两者。

由图2 b)可知:高架线样本的通风空调单站投资均值约为445 万元/站,显著低于6 节编组地铁样本;6A 编组样本与6B 编组样本的单站投资均值较为接近,前者约为1 377 万元/站,后者约为1 207 万元/站,前者略高于后者;市域线的样本数据指标介于高架线样本以及6B 编组样本之间,约为765 万元/站。上述统计特征表明,市域线样本在该项数据上体现出一定的特殊性,即当市域线中的高架车站较多时,其统计特征接近高架线样本;当市域线中的地下车站较多时,其统计特征接近地铁线样本。此外,随着近年来市域线向“8 节编组、市域动车、城际化运营、城站结合”等方向的发展,其地下车站建筑规模将会进一步增大,可能会出现部分市域线样本的通风空调投资数据高于地铁样本数据的情况。

由图2 c)可知:通风空调单站投资均值整体上呈明显的上升趋势。相较于“十二五”和“十三五”时期,“十四五”开年阶段的通风空调单站投资均值有较大幅度的提高,由之前阶段的约1 100 万~1 200 万元/站,增加至当前阶段的约1 450 万~1 550 万元/站,均值数据增幅达到了26.8%,应引起行业层面的关注。

综上所述,城市轨道交通工程通风空调单站投资指标是进行本专业投资估算、方案比选、概算编制、限额设计、资金控制及工程审计等工作所需参照的重要指标。当前阶段及未来一段时期内,在开展本专业相关研究工作时,一方面应遵循相关投资指标逐年增长的客观规律与现状,另一方面也应注意对行业层面整体统计数据间存在明显偏差(主要为偏高)的投资数据进行及时修正,避免出现城市轨道交通工程通风空调投资数据过高的问题,以促进本专业的良性发展。



注:“十四五”时期数据为截至2022年6月30日的样本数据,余类同;箱型图中标注的数据均为统计均值,余类同。

图1 单线通风空调投资数据统计特征分析

Fig.1 Statistical characteristics analysis of VAC investment data per single line

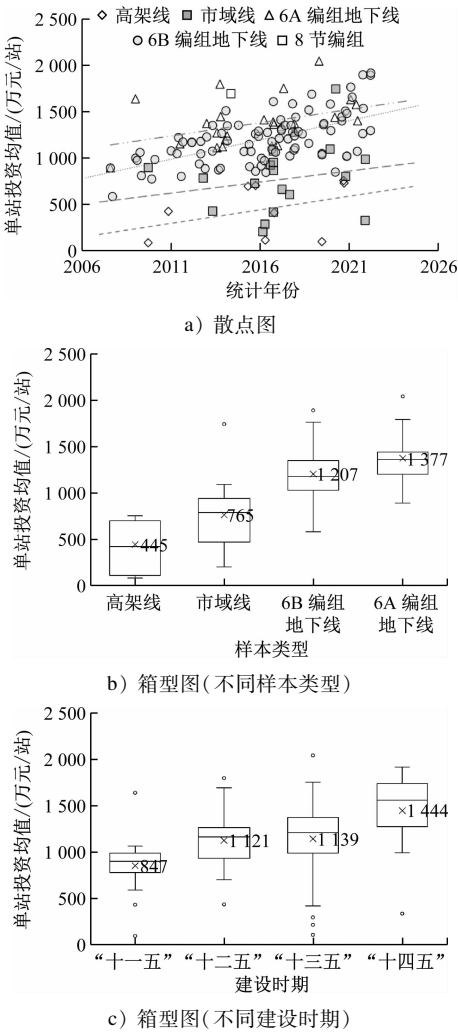


图2 单站通风空调投资数据统计特征分析

Fig.2 Statistical characteristics analysis of VAC investment data per single station

3 投资数据相对值统计特征分析

3.1 占比统计范围

除城市轨道交通工程通风空调投资金额按照单线、单站进行统计的绝对值结果外,其在城市轨道交通工程总投资费用、工程费用、机电系统投资费用中占比的相对值,也是重要的行业投资指标研究对象。各科目投资数据的构成内容为:① 总投资费用为工程费用、工程建设其他费用、预备费用及专项费用之和;② 工程费用为车站建筑、区间隧道、轨道、控制中心、车辆基地、人防、机电系统等主要类别的建设工程及设备安装费用之和;③ 机电系统投资费用为通信、信号、供电、综合监控、FAS(火灾自动报警)与 BAS(环境设备监控)、安防与门禁、通风空调、给排水与消防、自动售检票、车站辅助设备

(站台门、电扶梯)等 10 项主要机电设备系统的工程建设费用之和。

将样本库中 142 条线路的通风空调投资数据按照总投资费用、工程费用、机电系统投资费用中的占比进行统计,并进行一定范围的整体横向对比,以获取相应的城市轨道交通工程通风空调投资数据相对值统计特征分析结果。

3.2 总投资费用中的占比

城市轨道交通工程中,通风空调投资数据在总投资费用中的占比统计特征分析如图 3 所示。

由图 3 a)可知:市域线样本的通风空调投资费用在总投资费用中占比的整体变化趋势不显著;6A 编组地下线样本与 6B 编组地下线样本数据呈下降趋势,且前者降速略高于后者;高架线样本数据呈

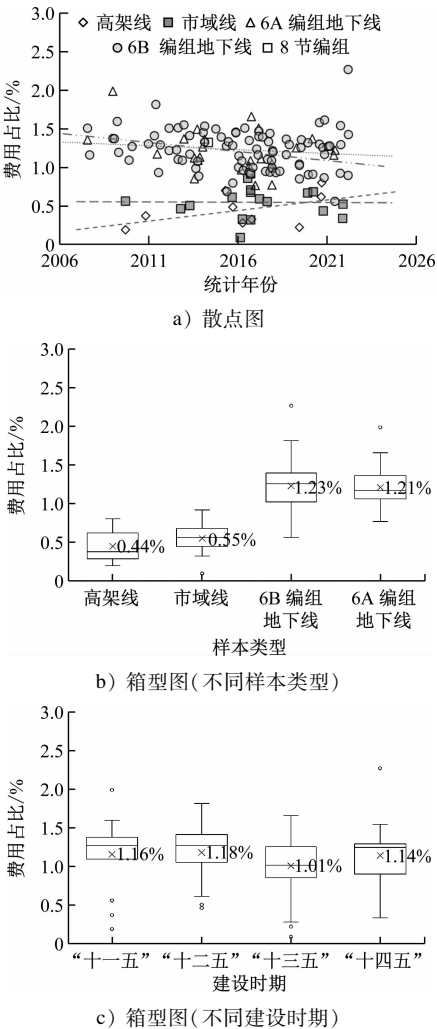


图3 通风空调投资数据在总投资费用中的占比统计特征分析

Fig.3 Statistical characteristics of VAC investment data in the total investment by percentage

增长趋势。上述统计特征表明,虽然不同类型样本的通风空调投资费用绝对值是逐年增加的,但其相对增速与总投资费用增速之间有一定的差距,尤以6节编组地铁样本更为明显,其通风空调投资费用增速低于总投资费用增速,从而令该项占比指标有所下降。

由图3 b)可知:高架线样本与市域线样本的通风空调投资费用在总投资费用中的占比数据较为接近,占比约为0.4%~0.5%,且均显著低于6节编组地铁样本;6A编组样本与6B编组样本数据基本相同,占比约为1.2%。

由图3 c)可知:通风空调投资费用在总投资费用中的占比数据基本维持稳定,“十三五”期间有一定的下降(占比减少约0.20%),“十四五”开年阶段有一定的回升,但与“十一五”及“十二五”时期仍有微小差距(占比相差约0.05%~0.10%)。从城市轨道交通工程整体统计情况来看,通风空调投资费用在总投资费用中的占比基本保持在1.1%~1.2%。

3.3 工程费用中的占比

城市轨道交通工程中,通风空调投资数据在工程费用中的占比统计特征分析如图4所示。

由图4 a)可知:市域线样本的通风空调投资费用在工程费用中占比的整体变化趋势不显著;6A编组样本与6B编组样本数据呈下降趋势,且前者降速略高于后者;高架线样本数据呈增长趋势。上述4类样本数据在工程费用中的占比变化趋势与其在总投资费用中的占比变化趋势分析结果相同,从侧面反映出地铁样本工程费用近年来的增长幅度高于通风空调专业自身的投资费用增速。

由图4 b)可知:高架线样本与市域线样本的通风空调投资费用在工程费用中的占比数据较为接近,高架线样本占比约为0.7%,市域线样本略高,占比约为0.9%,且两者均显著低于6节编组地铁样本占比;6A编组样本与6B编组样本数据基本相同,占比约为2.1%。

由图4 c)可知:除“十三五”期间通风空调投资费用在工程费用中的占比数据有一定下降外(占比减少约0.3%),其余时期的通风空调投资费用在工程费用中的占比基本维持在1.9%~2.0%。

3.4 机电系统投资费用中的占比

城市轨道交通工程中,通风空调投资数据在机电系统投资费用中的占比统计特征分析如图5

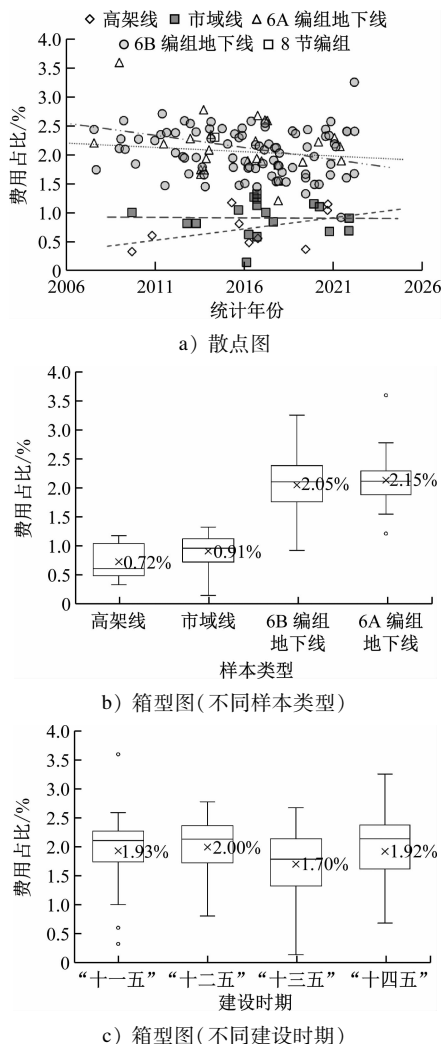


图4 通风空调投资数据在工程费用中的占比统计特征分析

Fig. 4 Statistical characteristics analysis of VAC investment data in engineering cost by percentage

所示。

由图5 a)可知:6A编组样本的通风空调投资费用在机电系统投资费用中占比的整体变化趋势不显著;6B编组样本占比呈略有上升的趋势;高架线样本与市域线样本占比呈较为明显的增长趋势,且前者增速高于后者。上述变化趋势特征表明,地铁样本的通风空调投资费用在机电系统投资费用中的占比较为稳定。随着对地上车站通风空调、防排烟、绿建节能等相关要求的提升,高架线样本与市域线样本的通风空调投资费用占比及相对增速有明显的增加。

由图5 b)可知:高架线样本与市域线样本的通风空调投资费用在机电系统投资费用中的占比数据较为接近,高架线样本占比约为2.5%,市域线样

本略高,占比约为 3.8%,且两者均显著低于 6 节编组地铁样本占比;6A 编组样本占比约为 8.5%,6B 编组样本占比约为 7.5%,两者相差 1.0%。

由图 5 c)可知:通风空调投资费用在机电系统投资费用中的占比有一定的波动,但基本保持在 6.4%~7.8%;“十四五”开年阶段,通风空调投资费用在机电系统投资费用中的占比数据提升较为明显,其统计均值有明显的提升,达到了 7.83%。上述统计特征表明,在当前阶段,城市轨道交通工程的通风空调投资费用整体呈显著增长态势,同时其在机电系统投资费用中的占比也处于相对稳定、稳中有升的状态,有利于进一步提升通风空调系统性能,并开展节能减排、绿色低碳等相关工作。

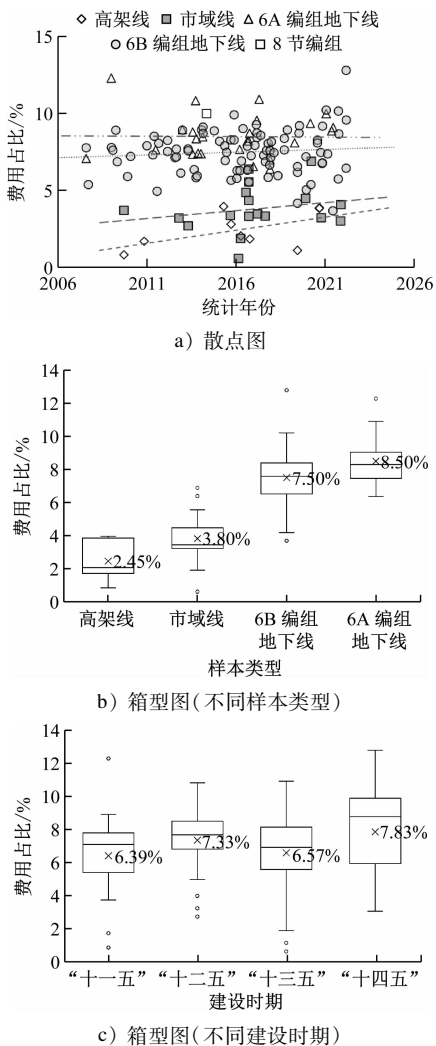


图 5 通风空调投资数据在机电系统投资费用中的占比统计特征分析

Fig. 5 Statistical characteristics analysis of VAC investment data in electromechanical system investment by percentage

3.5 横向对比与综合分析

将城市轨道交通工程中的通风空调投资数据与其他系统或专业进行横向对比。“十一五”至“十四五”期间,城市轨道交通机电系统投资费用构成及工程费用构成的统计情况对比示意图如图 6 所示。

由图 6 a)可知:与其他 9 项机电系统专业相比,通风空调投资费用在机电系统投资费用构成中的占比并非最高,在全部 10 项机电系统中排在第 5 位。根据相关统计结果,全样本累计的通风空调投资费用在机电系统投资费用中的占比约为 7.14%,分别低于供电系统投资费用占比(40.58%)、信号系统投资费用占比(12.90%)、通信系统投资费用占比(11.90%)和车站辅助设备投资费用占比(9.77%)。上述统计情况表明,当进行城市轨道交通工程机电系统投资费用控制与优化时,不应单一地核减通风空调投资数据,应关注与其他机电系统投资费用的横向对比情况,梳理重点投资控制专业,并制定合理的投资优化目标。

由图 6 b)可知:全部 10 项机电系统的投资数据之和,在城市轨道交通项目工程费用构成中的占比(26.34%)排在车站建筑费用占比(32.01%)与

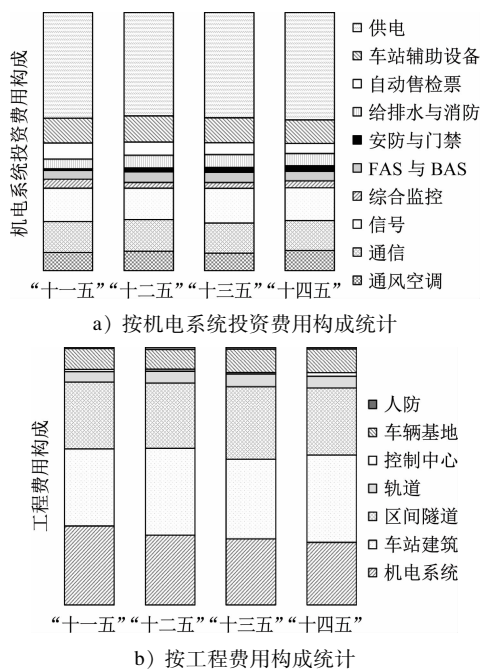


图 6 不同建设时期下城市轨道交通机电系统投资费用及工程费用构成的统计情况对比示意图

Fig. 6 Diagram of statistical comparison results of URT electromechanical system investment and engineering cost by composition in different construction stages

区间隧道费用占比(26.86%)之后,位列第3位。同时,这3项主要建设类别的投资数据之和,在工程费用中的占比已超过85.2%,说明这3项主要专业类别是进行城市轨道交通工程投资费用控制与优化的重要对象。

在“十一五”至“十四五”期间,包括通风空调在内的10项机电系统,其自身投资数据在不同建设时期的机电系统投资构成中占比的整体变化趋势均较为平缓,说明城市轨道交通工程在机电系统投资构成方面的合理性与稳定发展性。但需要指出的是,机电系统投资总额在工程费用构成中的占比呈逐步下降趋势。根据相关统计结果,该项数据由“十一五”期间的占比30.62%减少到了“十四五”期间的占比24.33%,累计降幅超过20.5%,应引起行业层面的关注。

4 结论

1)城市轨道交通工程通风空调投资数据绝对值及其在总投资费用、工程费用和机电系统投资费用中的占比数据相对值的统计特征分析结果均与样本类型密切相关,并在不同建设时期展现出具有一定规律性的分布特征与对应的经济指标水平。

2)按照样本类型统计,高架线样本的通风空调单线投资指标均值为0.48亿元/线,单站投资指标均值为445万元/站,在总投资费用中占比均值为0.44%,在工程费用中占比均值为0.72%,在机电系统投资费用中占比均值为2.45%。市域线样本对应的上述5项投资统计指标均值依次为0.93亿元/线、765万元/站、0.55%、0.91%、3.80%;6B编组样本对应的上述5项投资统计指标均值依次为2.01亿元/线、1207万元/站、1.23%、2.05%、7.50%;6A编组样本对应的上述5项投资统计指标均值依次为2.39亿元/线、1377万元/站、1.21%、2.13%、8.50%。高架线样本与市域线样本的相关投资指标较为接近,且均显著低于6节编组地铁样本;而6B编组样本与6A编组样本的各项投资指标较为接近,前者略低于后者。

3)根据“十一五”至“十四五”不同建设时期进行统计,城市轨道交通工程通风空调单线投资数据呈明显回落趋势,平均指标水平依次为1.51亿

元/线、2.20亿元/线、1.78亿元/线、1.48亿元/线。单站投资数据呈单调上升趋势,平均指标水平依次为847万元/站、1121万元/站、1139万元/站、1444万元/站。“十一五”至“十四五”期间,通风空调投资费用在工程总投资费用中的占比均值依次为1.16%、1.18%、1.04%、1.14%;通风空调投资费用在工程费用中的占比均值依次为1.93%、2.00%、1.70%、1.92%;通风空调投资费用在机电系统投资费用中的占比均值依次为6.39%、7.33%、6.57%、7.83%,在10项机电系统投资费用中排在第5位。上述3项投资占比数据的变化趋势均呈现“十二五”时期小幅增加、“十三五”时期明显降低、“十四五”时期显著回升的特征。

参考文献

- [1] 刘垚,王奕然,史柯峰,等.对我国城市轨道交通工程投资的分析与思考[J].建筑经济,2022,43(增刊1):63.
LIU Yao, WANG Yiran, SHI Kefeng, et al. Analysis and reflection on project investment of urban rail transit in China[J]. Construction Economy, 2022, 43(S1): 63.
- [2] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通车辆和机电设备采购情况调研报告[J].城市轨道交通,2022(7):16.
China Association of Metros. Investigation report on the procurement of urban rail transit vehicles and electromechanical equipment[J]. China Metros, 2022(7): 16.
- [3] 刘畅,张京燕,刘垚,等.轨道交通工程多样本投资数据库的建立[J].智能城市,2020,6(8):17.
LIU Chang, ZHANG Jingyan, LIU Yao, et al. Establishment of multi-sample investment database for rail transit engineering[J]. Intelligent City, 2020, 6(8): 17.
- [4] 刘垚,史柯峰,李晓锋,等.地铁通风空调造价指标特性分析[J].暖通空调,2020,50(5):56.
LIU Yao, SHI Kefeng, LI Xiaofeng, et al. Characteristic analysis of cost index for ventilation and air conditioning in underground railway projects[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2020, 50(5): 56.
- [5] 刘垚,王奕然,史柯峰,等.基于样本统计的地铁通风空调初投资趋势研究[J].暖通空调,2022,52(2):30.
LIU Yao, WANG Yiran, SHI Kefeng, et al. Trends of initial investment for ventilation and air conditioning in underground railway projects based on sample statistics[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2022, 52(2): 30.

(收稿日期:2022-11-01)