

城市轨道交通线路运营移交关键因素分析*

田 茂¹ 王怀相²

(1. 中国铁道科学研究院研究生部, 100081, 北京; 2. 中国铁道科学研究院运输及经济研究所, 100081, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 归纳了城市轨道交通线路运营与筹备的主要工作, 提出运营三权转移的关键因素、关键线路及工作时序。采用多目标决策模型, 计算运营移交过程中各要素目标实现率最大的同时相应成本偏差最小的有效解, 并通过城市轨道交通线路算例分析, 进一步评估线路间运营移交的实际效果。

关键词 城市轨道交通; 运营移交; 三权转移; 关键线路
中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.03.009

Analysis on Key Factors about Urban Rail Transit Operation Transfer

TIAN Mao, WANG Huaixiang

Abstract The main works of urban rail transit operation and preparation are summarized. On this basis, the key factors, corresponding key routes and working schedules in the three rights transfer are put forward. By using the multi-objective decision-making model, the effective solution of the maximum realization rate for each objective and the minimum cost deviation in the process of operation handover are calculated. Through example analysis of urban rail transit routes, the actual effect of operation handover between lines is further evaluated.

Key words urban rail transit; operation transfer; transfer of three rights; key route

First-author's address Postgraduate Department of China Academy of Railway Sciences, 100081, Beijing, China

城市轨道交通线路的运营筹备越来越受到线路建设单位和运营单位的重视。运营筹备除了常规筹备工作外, 还包括保障各专业的调试验收以及尾工处理, 对提高线路运营管理的质量和安、减少后期维护成本等起着至关重要的作用。

目前仅有为数不多的学者对运营筹备与组织中的运营移交环节进行分析和研究。文献[1]对城

市轨道交通线路运营筹备的前期管理、人员组织等进行分析, 从运营筹备整体角度研究了运营移交的内容和方法。文献[2]对运营移交存在的管理类问题进行了梳理和统计, 有一定的宏观性。文献[3]从运营的绩效评价角度提出研究方法, 对运营移交的理论分析有一定的借鉴意义。但是, 既有文献对运营移交的主要工作有很强的主观性和经验性, 缺少对移交工作的详细分类和实施指导, 缺乏建设与运营移交重叠期的工作计划时序分析, 也没有对运营移交这个节点开展深入的效果评价研究。因此, 开展运营移交的理论研究是及时和必要的, 该研究在建设和运营的过渡中将发挥重要的支撑作用。

1 运营移交的组织与管理

城市轨道交通线路的运营筹备和组织分为3个阶段, 每个阶段的划分和主要工作如图1所示。

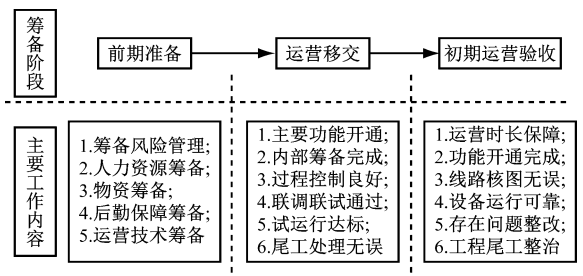


图1 城市轨道交通线路运营筹备与组织的工作时序

运营移交是城市轨道交通线路全生命周期管理的重要环节, 它标志着线路从以安装和验收等为中心的环节转移到了以综合联调、运营演练、试运行管理为中心的运营环节。运营移交重要的标志事件是属地管理权、设备使用权和调度指挥权的三权转移。其中: 属地管理权转移意味着车站、运营控制中心和车辆段的地盘管理不再由建设单位承担, 而转由运营单位全面管理, 工程尾工、验收

* 中国铁道科学研究院基金项目(2017YJ145)

等工作也随之转为运营单位的组织计划;设备使用权的转移意味着设备的使用、维护、检修等管理和责任移交至运营单位,此节点时间起设备开始投入正常使用,设备进入质保期;调度指挥权转移意味着线路区间的行车指挥和车站设备的综合运用开始由运营单位负责。

2 运营移交关键因素的建立

运营移交是建设单位向运营单位移交线路和车站各种权利和责任的工作。移交前,运营单位应做好运营人、机、物等的筹备工作;移交过程中,运营单位逐步接管属地管理权、设备使用权和运营指挥权;移交后,运营单位应组织好联调联试、运营演练、满图跑车、试运行和初期运营等工作。运营移交的关键因素包括以下6个方面:

1) 设备各系统功能实现。设备系统主要包括车辆、供电、通信、信号、弱电、机电等系统,每个系统的功能均可分成主控功能和一般功能两部分。一般情况下,每个系统的主控功能应在运营移交前调试完成。

2) 运营内部筹备情况。主要包括人员、组织、物资和文件资料筹备。其中:人员筹备主要包括各层级技术和管理骨干按计划到位、人员素质和能力满足岗位需要、特种人员取得上岗证书等;组织筹备主要包括机构合理设置、组织有效运作、业务流程清晰等;物资筹备主要包括电客车和工程车交付使用、关键设备备品备件及时到位、仓储运行良好、运输大件物品交通道路条件具备等;文件资料筹备主要包括合同和设计图纸等文件资料齐全、运营方案客观可靠、规章制度科学完善等。

3) 运营移交的过程控制。主要包括运营单位提前介入建设管理、车站陆续进驻、车站及区间管理、三权移交等环节,其重点控制工作包括单位工程验收、限界检查、车辆冷热滑、车站和区间的临时接管、三权转移等。

4) 联调联试和运营演练顺利实施。联调联试主要包括车站内以综合监控和机电设备(包括风水电、电扶梯、安全门、售检票、防灾报警等系统)为核心的设备系统联调,以及区间内以车辆、信号和通信为核心的轨行区系统联调^[4];运营演练主要包括正常和非正常模式下的运营演练,以及突发事件的应急演练^[5]。

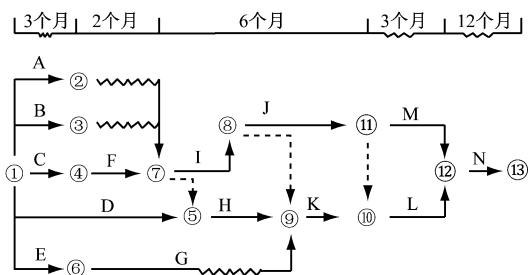
5) 试运行考核及缺陷整改。主要包括各系统

可靠性测试、满图跑车、既有线换乘、联调联试、运营控制中心系统接入和测试、票务系统测试等。

6) 建设尾工处理。运营移交后直到线路开通前,都会有因各种原因未完成的建设遗留尾工,这就需要运营单位为尾工预留天窗时间;对于影响车站运营开通的尾工需制定应对措施,对确实无法开通的车站应制定甩站运营及施工防护方案。

3 运营移交工作时序及关键线路分析

运营移交分为移交前、移交中和移交后3个阶段。其中:移交前的主要工作包括建设工程介入管理、运营内外部筹备、各专业单系统调试及验收;移交中的主要工作包括运营进驻、运营临管、三权移交等;移交后的主要工作包括联调联试、运营演练、初期运营及尾工处理等^[6]。具体工作计划的时序如图2所示,其中:实箭线表示相邻工作有实际搭接关系;虚箭线表示相邻工作有逻辑关系;波浪线表示等待时间。



注:A为供电系统调试;B为通信、信号系统调试;C为车辆系统调试;D为机电系统调试;E为运营前期准备;F为冷热滑;G为运营介入;H为联调联试;I为三权移交;J为可靠性测试;K为满图跑车;L为试运行;M为运营前安全评估;N为初期运营及尾工处理。

图2 运营移交关键工作计划时序图

根据网络节点图的特性可知,图2中运营交接的关键线路有两条:分别为关键线路1(①④⑦⑧⑪⑫⑬)和关键线路2(①⑤⑨⑩⑫⑬)。对应关键线路1上的关键工作是车辆系统调试、冷热滑、三权移交、可靠性测试、安全评估、初期运营及尾工处理;关键线路2上的关键工作是机电系统调试、联调联试、满图跑车、试运行、初期运营及尾工处理。根据网络节点图的属性可知,关键线路上的关键工作是必须按时完成的,应据此制定运营移交的计划并组织实施。含波浪线的路径为非关键线路,路径上的工作可根据实际情况动态调整。

4 多目标决策模型在运营移交中的应用

解决2个以上目标决策问题的模型称为多目标

决策模型。运营移交涉及的专业复杂、设备先进、单位众多,多个决策目标相互关联,属于典型的多目标决策问题。

4.1 多目标决策问题的最主要特点

多目标决策问题的最主要特点是各目标间存在矛盾性和不可公度性。其中:矛盾性是指改进 1 个目标值,可能会使另 1 个目标值变劣;不可公度性是指各目标间因度量单位不同而不能直接比较。运营移交需要在不可公度的多目标间建立起一套可以度量的指标体系,用以判定运营移交的管理效果。

4.2 多目标决策问题的基本要素

多目标决策问题一般包括 5 个基本要素^[7]:决策单元、属性集、目标集、决策情况和决策规则。这 5 个要素在城市轨道交通线路运营移交中的对应方式如表 1 所示。

表 1 城市轨道交通线路运营移交的多目标要素

序号	要素分类	多目标要素
1	决策单元	建设单位和运营单位
2	属性集	设备各系统功能实现情况(x_1);运营内部筹备情况(x_2);运管交接过程控制(x_3);联调联试和运营演练顺利实施(x_4);试运行考核及缺陷整改(x_5);建设施工尾工处理情况(x_6)
3	目标集	属性集各要素目标实现率的期望值;属性集各要素成本费用的偏差值
4	决策情况	属性集各要素目标实现率期望值最大的同时对应的成本偏差值最小
5	决策规则	多目标决策法、层次分析法等

4.3 多目标决策的数学表达

从表 1 可知,运营移交的决策情况是属性集中各要素目标实现率期望值最大的同时成本偏差最小。这个决策问题可以用 1 个多目标决策的数学模型进行分析。设 x_n 为运营交接中的要素, x_m 为运营交接中有约束条件的要素($m \in n$),则各要素目标实现率期望值可分别记为 $f_1(x_1)$ 、 $f_2(x_2)$ 、 \cdots 、 $f_n(x_n)$,各要素成本费用与计划费用的偏差分别记为 $g_1(x_1)$ 、 $g_2(x_2)$ 、 \cdots 、 $g_m(x_m)$ 。决策情况是各要素目标期望值 $f_n(x_n)$ 最大的同时成本偏差 $g_m(x_m)$ 最小。采用多目标转化成单目标模型求解^[8],则描述模型为:

$$n \text{ 个目标函数} \begin{cases} \max f_1(x_1) \\ \max f_2(x_2) \\ \vdots \\ \max f_n(x_n) \end{cases} \quad (1)$$

$$m \text{ 个约束条件} \begin{cases} \min g_1(x_1) \rightarrow 0 \\ \min g_2(x_2) \rightarrow 0 \\ \vdots \\ \min g_m(x_m) \rightarrow 0 \end{cases} \quad (2)$$

4.4 目标实现率和成本偏差算例分析

运营移交存在追求施工质量高、进度计划准、成本偏差小、安全保障高等多目标统一实现的问题,目标间存在矛盾性和不可公度性。这样的多目标求解一般不存在通常意义下的最优解,即所有属性不能同时达到各自的最优值,但是在一定的条件和范围内可求得能接受的有效解或非劣解。根据表 1 的数据,通过式(1)、(2)建立算例,可求出运营移交各要素目标实现率期望值最大的同时所对应成本偏差值最小的有效解,过程如下:

设 p_i 为每个要素目标实现率的分布函数, r_i 为实现要素目标费用偏差率的分布函数。设每个要素目标的实现率都是相互独立的随机变量,记为 R_i ($i = 1, 2, \cdots, n$);每个要素目标实现率 R_i 的数学期望为 $E(R_i)$,计划成本和实际成本的费用偏差用方差为 $D(R_i)$ 。则:

$$E(R_i) = p_i \quad (i = 1, 2, \cdots, m, \cdots, n) \quad (3)$$

$$D(R_i) = r_i \quad (i = 1, 2, \cdots, m, \cdots, n) \quad (4)$$

设第 i 个要素目标的实现率占总目标实现率的比例为 λ_i ,则移交总实现率 R 、总的数学期望 $E(R)$ 、总的成本费用偏差 $D(R)$ 的计算公式如下:

$$R = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i \quad (5)$$

$$E(R) = \sum_{i=1}^n \lambda_i E(R_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i p_i \quad (6)$$

$$D(R) = \sum_{i=1}^n \lambda_i D(R_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \quad (7)$$

取 $n = 6$,得到多目标决策算例模型如下:

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^6 \lambda_i p_i = p_0 \\ \min \sum_{i=1}^6 \lambda_i r_i = r_0 \\ \sum_{i=1}^6 \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (8)$$

式中:

- p_0 ——移交各要素目标最大实现率之和;

r_0 ——移交各要素成本费用偏差最小值之和。

设每个目标值的 λ_i 相同,均取值 0.167。采用专家打分法,选取城市轨道交通领域的 10 名专家,

为5条城市轨道交通线路运营移交中的6个要素($x_1 \sim x_6$)目标值的 p_i 和 r_i 打分,计算出平均值,其

结果如表2所示。

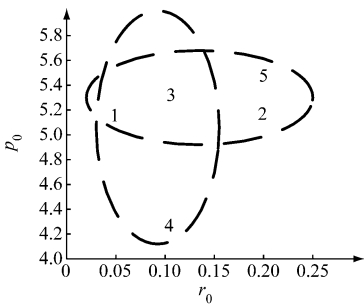
表2 p_i 和 r_i 的专家打分平均值

线路号	p_i						r_i					
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
线路1	0.88	0.78	0.90	0.83	0.92	0.81	0.05	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
线路2	0.92	0.80	0.85	0.90	0.80	0.85	0.02	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02
线路3	0.95	0.90	0.90	0.85	0.92	0.85	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
线路4	0.85	0.87	0.85	0.89	0.89	0.80	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
线路5	0.90	0.90	0.92	0.90	0.92	0.88	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05

将表2中 p_i 、 r_i 代入式(8),得到 p_0 和 r_0 的计算结果如表3所示。根据(r_0, p_0)做分布统计图,如图3所示。

表3 p_0 和 r_0 计算值

线号	r_0	p_0
线路1	0.04	5.12
线路2	0.21	5.12
线路3	0.12	5.37
线路4	0.12	4.26
线路5	0.21	5.42



注:1表示线路1,余类同。

图3 p_0 和 r_0 分布统计图

图3中,线路1、2、3、5的 p_0 值比较接近,但线路1的 r_0 明显优于线路2、3、5,可认为线路1为运营移交的一个有效解,这说明了线路1的运营移交工作在保证目标实现的情况下所采取的费用偏差保障措施是有效的;对线路1、3、4而言,线路4的 p_0 和 r_0 明显劣于线路1和3,说明线路4在运营移交中还有较多有待提升的环节;线路5的 p_0 和 r_0 取值表明该线为实现最大化的运营移交目标付出了比较大的成本。线路1、4、5为判断新开线路的运营移交效果评估提供了参考经验。

5 结语

城市轨道交通线路的运营移交处于建设尾工和运营接管的重叠期,运营单位应根据自身经验、人员能力、前期筹备等情况组织完成移交工作。应重点制定移交的工作计划时序图,派驻有经验的管理人员,跟踪联调联试、竣工验收等环节,同时记录试运行时发现的问题和施工尾工情况。

运营移交计划时序图编制要完整、准确,符合尾工的实际情况,重点把握关键线路上的关键工作。关键工作不可以滞后,应一次验收通过;合理安排工序,减少非关键工作的等待时间。

在本文采用多目标决策法的基础上叠加使用层次分析法和熵权法,可进一步提高运营移交的评估效果,得到更准确的要素目标实现率和成本偏差最小值。

参考文献

[1] 何霖.城市轨道交通运营筹备与组织[M].北京:中国劳动保障出版社,2015:91.
[2] 陈梅玲.城市轨道交通运营管理的问题及对策剖析[J].管理创新,2016(27):287.
[3] 黄文成,帅斌.基于修正熵权的未成网城市轨道交通绩效评价[J].交通运输系统信息与工程,2016(6):115.
[4] 肖彦君,田茂.城市轨道交通联调联试效果评价方法[J].中国铁道科学,2014(4):124.
[5] 于福权.城市轨道交通运营安全与应急处理[M].北京:北京理工大学出版社,2015:80.
[6] 中华人民共和国建设部.城市轨道交通技术规范:GB 50490—2009[S].北京:中国建筑工业出版社,2009:5.
[7] 韩中庚.数学建模方法及其应用[M].北京:高等教育出版社,2009:92.
[8] 施光燕,钱伟懿,庞丽萍.最优化方法[M].北京:高等教育出版社,2015:105.

(收稿日期:2019-04-20)