基于模糊综合评价法的城市轨道交通自动售检票系统更新项目后评价

白云海
（深圳市地铁集团有限公司，518026，深圳//工程师）

摘　要　作为城市轨道交通设备系统中终端数量最多、与乘客关系最为密切的自动售检票系统，更新改造尤为频繁。通过研究项目后评价方法，运用模糊综合评价法对售检票设备更新改造项目进行评价，提出了适合自动售检票系统特点的评价要素和方法，为确保正常运营期间的设备更新改造安全可控提供了对策。

关键词　城市轨道交通；自动售检票系统；项目后评价；模糊综合评价

中图分类号　U293.22

DOI：10.16037/j.1007-869x.2021.01.047

Post-evaluation of Urban Rail Transit Automatic Fare Collection System Renovation Project Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

BAI Yunhai

Abstract　As the urban rail transit equipment system that has the largest number of terminals and closest relationship with passengers,Automatic Fare Collection (AFC) system is renovated frequently in particular. Through the study of project post-evaluation method, fuzzy comprehensive evaluation method is used for evaluating the project of AFC system renovation. The evaluation elements and methods that are suitable for AFC system considering its characteristics are put forward,and countermeasures for ensuring the safety and controllability of equipment renovation during operation are proposed.

Key words　urban rail transit；AFC system；project post-evaluation；fuzzy comprehensive evaluation

Author′s address　Shenzhen Metro Company Co.,Ltd.,518026,Shenzhen,China

伴随着城市轨道交通承载的客流越来越多，各运营单位安全保障的压力也越来越大，因此，进行设备大修或更新改造是必然选择。以城市轨道交通的自动售检票系统为例，截至2017年底，国内投入正式运营时间超过10年的线路已达到20条。由于前期设计标准较低、设备老化严重、客流增长过快、技术更新换代等原因，设备系统更新改造逐渐成为所有运营单位必须面对的难题。由于地铁运营的不可中断性，设备更新改造项目的决策、项目过程管控一直是运营单位关注的重点，对于更新改造后的效果却缺少评价。考虑到设备更新改造的长期性和艰巨性，建立项目后评价机制对于总结经验教训和提高项目决策水平具有至关重要的作用。本文通过项目后评价机制，提出了适合城市轨道交通自动售检票系统特点的评价要素和方法，为确保该系统安全可控提供了对策。

1　售检票系统更新改造的特点

自动售检票系统作为城市轨道交通运营最基本、最重要的系统之一，是进行检票扣费、客流统计、票务收入汇总等业务的重要支撑系统，也是车站站厅中数量最多、与乘客关系最为密切的设备系统。因此，该系统的更新改造工作具有一定的特殊性。

1.1　分期建设，标准及制式不统一

在2000年之前，我国运营的自动售检票系统几乎全部依靠进口。深圳地铁罗宝线作为国内第一个装备全面国产化依托项目，开创了自动售检票系统自主设计开发的新局面。但随着地铁建设热潮的兴起，不同城市受项目投资、建设工期和技术条件限制等因素，在票卡制式、票务规则和运营模式的选择上往往“各具特色”，有的甚至“标新立异”，使得不同线路，甚至同一条线路都存在技术标准不统一的问题。

1.2　更新改造施工与正常运营并存

自动售检票系统的更新改造都是在既有运营线路施工，不可避免的需要边运营、边改造。施工过程会给车站安全运营带来冲击和影响，而车站早晚高峰的客流压力反过来也增加了实施难度。按照目前深圳地铁车站站均40台的基本配置标准，如此大规模的改造难度可想而知。而且，地铁运营的人员配置

和岗位设定往往以满足日常运营需要为前提，在项目管理人员培养方面的投入明显不足。因此，如何面对并妥善处理改造施工与正常运营并存的情况，就显得特别重要。

1.3 作业时间窗口短，项目安全风险高

自动售检票设备更新项目，首先面对的是空间上的安全问题，设备改造的过程中不可能一夜之间完成所有设备的更新。这样一来，将长期存在新旧设备同时使用，既要保证旧设备正常运营，又要完成新设备安装调试作业。而且作为车站站厅层设备，线路管槽与其它专业存在交叉，有潜在的安全隐患。其次，在施工时间上为了不对车站运营造成影响，线缆敷设、切割、焊接等动火作业必须在运营结束后进行，这样一般夜间有效施工时间只有 4 h 左右。最后，改造完成后，新旧设备共存阶段的管理，车站人员需同时熟悉两套业务流程，存在较大的操作风险。

1.4 技术革新等不确定因素多

自动售检票系统分期建设，而且由于建设招标的原因，同期不同线路由不同的承包商负责项目集成，无形中增加了数据接口和改造难度。当设备进入更新周期时，建设、维保、更新改造承包商已经更替多次，一旦技术资料移交不充分、不完整或过程把控不严格，原有系统体系可能就不具备进行改造升级的可行性，或者需投入非常高的改造成本。

而且，作为直接面向乘客的设备，随着微信、支付宝等业务的兴起，乘客支付手段的改变对自动售检票系统具有天然的冲击力。因此，软件开发、硬件改造和车站业务升级等不同人员之间的配合，业务之间的交叉也增加了项目的不确定性和实施难度。

2 模糊综合评价方法

由于自动售检票系统更新改造的复杂性，特别是项目实施效果的影响因素多种多样，必须从全面的整体角度进行考虑，因此采用综合评价方法。目前常用的综合评价方法有专家打分法、层次分析法、DEA（数据包络分析）法、模糊综合评价法、人工神经网络评价法、灰色关联度分析法等。

本文首先考虑评价方法必须能正确反映评价对象和评价目的；其次，评价方法必须有坚实的理论基础，数学模型和评价过程严谨可信；最后，评价步骤应简洁明了，尽量降低算法的复杂性。因此，本文选择模糊综合评价法对项目实施效果进行分析研究。

2.1 评价对象及评价等级的确定

2.1.1 确定评价对象及评价等级

根据售检票设备更新项目特点、施工经验和评价要求，本项目改造对象可划分为独立的 5 个对象，分别是四大类终端设备和车站业务设备。各独立单元的项目评价等级分为优秀、良好、合格和不合格 4 个层次。经过分析确定影响地铁售检票设备更新项目的关键对象和评价等级，具体见表 1 所示。

表 1 评价对象及等级

序号	评价对象	评价等级/分			
		优秀	良好	合格	不合格
1	AGM	>9	8～9	6～7	<6
2	TVM	>9	8～9	6～7	<6
3	AVM	>9	8～9	6～7	<6
4	BOM	>9	8～9	6～7	<6
5	SC	>9	8～9	6～7	<6

注：AGM为自动检票机；TVM 为自动售票机；AVM 为自动增值机；BOM 为半自动售票机；SC 为车站计算机。

2.1.2 确定各评价对象的分值

售检票设备更新项目评价对象确定后，对不同评价对象进行分值确定是进行模糊综合评价的关键，也是构建评语集的基础。在实际操作过程中，为了尽可能保证评价过程的客观性，减少主观原因对结果的影响，评价对象确认过程分为三个阶段。

1）确定各评价对象的关键模块。根据自动售检票系统的管理维护经验，售检票设备的关键模块和车站计算机系统的核心业务直接影响整体项目效果。通过分析比较，以自动检票机和自动售票机为

表 2 自动检票机主要模块单元

序号	模块单元	是否关键模块	数量
1	主控单元	是	1 个
2	乘客显示器	是	2 个
3	扇门机构	是	1 套
4	方向指示器、优惠灯	否	1 套
5	读写器	是	1 套
6	单程票回收机构	是	1 套
7	电源	是	1 个
8	维护面板	否	1 套

表 3 自动售票机主要模块单元

序号	模块单元	是否关键模块	数量
1	主控单元	是	1 个
2	乘客显示器	是	2 个
3	触摸屏	是	1 套
4	单程票处理模块	是	1 套
5	硬币处理模块	是	1 套
6	纸币找零模块	否	1 套
7	运营状态显示器	否	1 套
8	电源	是	1 个
9	维护面板	否	1 套

例，设备主要模块梳理如表2、表3所示。

2）算各设备性能指标。不同的售检票设备完成不同的业务功能，共同构成了自动售检票系统。从业务角度很难有统一的评价指标，如闸机的通行速度、售票机的售卡速度、充值机的充值不写卡发生比率等。为了客观评价更新后的设备表现，对于终端设备选取设备千票次故障率作为主要性能指标，以其他未改造线路设备同时段的平均故障率表现作为参考标准，与随机抽取的设备进行比较，从而进行评价打分。设备千票次故障率是指该设备在一段时间内每交易1 000笔发生1次故障的比率，可以较好地反应设备质量。对于车站计算机设备，以一段时间内的故障率，即统计时间段内的故障次数的倒数作为评价指标。设备评价对象的具体评分标准如表4所示。

表4　评价对象的性能指标评分标准

序号	评价对象	评分标准
1	AGM	各模块功能正常验收合格计6分，关键模块功能自检不通过一项扣1分，非关键模块自检不通过一项扣0.5分；实测数据比参考指标每低10%加1分；实测数据比参考指标每高10%扣1分
2	TVM	
3	AVM	
4	BOM	
5	SC	各业务功能正常验收合格计6分，关键业务功能自检不通过一项扣1分，非关键模块自检不通过一项扣0.5分；实测数据比参考指标每低10%加1分；实测数据比参考指标每高10%扣1分

3）计算各评价对象评分值。根据以上分析，从实施改造后的A线路13个车站随机选取10个评价车站，统计近3个月的千票次故障率，与同时段B线路设备进行比较。按照表4评分标准进行逐个评分，最终将各模块功能自检情况得分与该性能指标分求和，统计其得分分布，具体结果如表5所示。

表5　评价对象评分结果汇总

序号	评价对象	评价对象评分结果分布/个			
		优秀	良好	合格	不合格
1	AGM	8	2		
2	TVM	7	2	1	
3	AVM	5	4	1	
4	BOM	6	2	2	
5	SC	7	1	2	

2.2　评价对象指标权重的确定

权重通常是指在一个综合评价体系中，各评价对象的重要程度。运用层次分析法确定权重系数，就是将对象视作一个整体系统，处理传统的优化方法不能解决的问题。因此，在本项目的综合评价过程中，运用层次分析法对售检票设备更新项目的质量构成要素进行层次分解。根据层次分析法，将售检票设备更新项目质量管理分为5个部分，通过各对象两两成对比较，构造出相应的判断矩阵，再根据判断矩阵即可算出各评价对象的权重。将售检票设备更新项目评价对象两两比较，参照层次分析法1-9标度评价法，其评价结果如表6所示。当然，层次分析法在方案的选择和定性到定量的转化过程中，也有一定的局限性，而且不可避免的引入主观因素，其结果只能做大致的参考，并不能精确评价。

表6　评价对象两两比较结果

评价对象	AGM	TVM	AVM	BOM	SC
AGM	1	5	7	3	4
TVM	1/5	1	5	1/3	2
AVM	1/7	1/5	1	1/6	1/3
BOM	1/3	3	6	1	4
SC	1/4	1/2	3	1/4	1

由表6中各个评价对象之间比较后的结果，可以得出判断矩阵为：

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 3 & 4 \\ 1/5 & 1 & 5 & 1/3 & 2 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1/6 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 6 & 1 & 4 \\ 1/4 & 1/2 & 3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

按照判断矩阵求解特征向量的和积法，首先计算判断矩阵各列的和（见表7），然后按列归一化处理后，再计算判断矩阵各行的和（见表8），最后可近似求得各评价对象的权重向量（见表9）和最大特征根值。计算可得判断矩阵的最大特征根为：

$$\lambda_{\max}=\sum_{i=1}^{n}\frac{(\boldsymbol{A}W)_i}{nW_i}=5.37$$

式中：

表7　评价对象两两比较结果按列求和

评价对象	AGM	TVM	AVM	BOM	SC
AGM	1	5	7	3	4
TVM	1/5	1	5	1/3	2
AVM	1/7	1/5	1	1/6	1/3
BOM	1/3	3	6	1	4
SC	1/4	1/2	3	1/4	1
按列求和	1.93	9.70	22.00	4.75	11.33

表8　评价对象两两比较结果按行求和

评价对象	AGM	TVM	AVM	BOM	SC	按行求和
AGM	0.519	0.515	0.318	0.632	0.353	2.337
TVM	0.104	0.103	0.227	0.070	0.177	0.681
AVM	0.074	0.021	0.045	0.035	0.029	0.205
BOM	0.173	0.309	0.272	0.211	0.353	1.319
SC	0.130	0.052	0.136	0.053	0.088	0.459

表9 评价对象的权重

评价对象	AGM	TVM	AVM	BOM	SC
权重	0.467 486	0.136 179	0.040 949	0.263 726	0.091 719

W_i——评价对象的权重，见表9所示；

n——评价对象的数量。

由一致性指标 $I_C=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=(5.37-5)/(5-1)=0.092\,5$，查表得判断矩阵的平均随机一致性指标 $I_R=1.12$。故可得该判断矩阵的随机一致性比例 $R_C=I_C/I_R=0.092\,5/1.12=0.082\,6<0.1$，因此，该判断矩阵具有满意的一致性，所以各评价对象的权重系数分配为：

$$\boldsymbol{A}_1=[a_1,a_2,a_3,a_4,a_5]=[0.47,0.14,0.04,0.26,0.09]$$

由各评价对象权重系数可以看出，AGM作为与乘客交互最为频繁的终端设备，其权重系数高达47%，而AVM由于业务类型单一，且随着当前各类充值技术的发展，其业务量少，权重占比也最低。从结果来看，售检票设备的主要功能就是将乘客的行为以交易的形式记录下来，并传送至系统后台进行结算和收入清分。因此，设备表现的优劣与乘客交互体验密切相关，交易笔数从整体上反应了设备与乘客的交互程度。通过交易笔数的多少可以大致确定设备对于乘客的重要程度，因此本项目中交易笔数占比与专业人员权重评价结果相一致。

2.3 模糊综合评价及结果分析

根据设备模块自检评分及性能指标评分表现结果，计算不同车站设备评分并按照评价集合进行划分汇总，可得到各评价对象AGM、TVM、AVM、BOM、SC的评判结果分别为 $r_{11}=(0.8,0.2,0,0)$、$r_{12}=(0.7,0.2,0.1,0)$、$r_{13}=(0.5,0.4,0.1,0)$、$r_{14}=(0.6,0.2,0.2,0)$、$r_{15}=(0.7,0.1,0.2,0)$。

因此，可以得到售检票设备更新项目评价对象的评判矩阵为：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

根据评价对象权重和评价对象指标评判矩阵，计算评价结果为：

$$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}_1\cdot\boldsymbol{R}=[a_1,a_2,a_3,a_4,a_5]\cdot\boldsymbol{R}$$

$$=[0.47,0.14,0.04,0.26,0.09]\cdot\begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$=(0.713\,0\quad 0.199\,0\quad 0.088\,0\quad 0)$$

从计算结果可以看出，售检票设备更新项目的施工质量优秀、良好和合格的比率分别为71.3%、19.9%和8.8%，因此计算可得本项目的优良率达91.2%。也就是说，本项目改造后的设备满足设计要求，施工质量符合更新改造项目要求，也满足设备技术规格及服务规范。同时，也在一定程度上说明本项目的管理工作比较有效，控制措施切实可行，具有一定的推广价值。

3 结语

随着移动支付的快速发展，以乘车码为代表的扫码过闸方式又掀起了自动售检票系统新一轮更新热潮。而城市轨道交通的运量大、安全性高、媒体和政府关注度高等特点，让设备更新改造的同时确保运营安全和服务质量成为各运营单位的头等大事。

模糊综合评价方法作为一种项目后评价的方法，运用在售检票设备更新项目效果评价方面，能够把一些边界不清晰、归属不明确、不易定量的管理因素定量化，以确定项目管理目标、目的、效果、效益的实现程度，对于总结项目管理的经验教训，提高项目决策的科学化水平起着至关重要的作用。

参考文献

[1] 陈文晖.工程项目后评价[M].北京：中国经济出版社，2009.

[2] 张璐晶.北京地铁调价引发行业反思：全国地铁面临三大难题[J].中国经济周刊，2015(9)：25.

[3] COSTIN A，PRADHANANGA N，TEIZER J. Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project[J]. Automation in Construction，2012，l24(2)：15.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通自动售检票系统工程质量验收规范：GB 50381—2010[S].北京：中国计划出版社，2010.

[5] 刘江祎. 平乐35 kV变电站增容改造项目质量管理评价[D].北京：华北电力大学，2014.

（收稿日期：2019-04-01）