

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2017.01.025

# 地铁运营资产的全寿命周期管理

潘建杰, 董鑫汇, 王凯华, 李俊明, 陈耿森

(北京京港地铁有限公司, 北京 100068)

**摘要:** 分析京港地铁运营资产全寿命周期管理体系, 该体系以资产全寿命周期为主线, 引入阶段重视需求管理, 维修替换阶段采用三级预防机制, 全流程信息和风险管理, 实现成本、表现及风险的最佳平衡。需求管理即是重视资产引入阶段的管控, 使其在满足功能需求的同时将运营需求灌输到资产设计环节, 使接收到的资产最大限度满足运营需求, 而无需再耗费资源进行变更; 预防机制体现“前瞻性”管理理念, 通过历史数据的分析和资产现状的评估, 采取措施提前应对资产未来的变化, 保证有效达成预期目标, 从而实现可持续发展。

**关键词:** 地铁运营; 资产管理; 资产引入; 资产替换; 全寿命周期

**中图分类号:** F530.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6073(2017)01-0119-06

## Life Cycle Management of Metro Operation Assets

PAN Jianjie, DONG Xinhui, WANG Kaihua, LI Junming, CHEN Gengsen

(Beijing MTR Co., Ltd., Beijing 100068)

**Abstract:** This paper analyzes the life cycle of assets management system in Beijing MTR Metro. In this system, asset life cycle is taken as the key, and the phase-attached demand management is also introduced. During the stage of maintenance and replacement, a three-level prevention mechanism is adopted. Full process information and risk management is employed to achieve the best balance among cost, performance and risk. Demand management emphasizes the control of asset introduction stage. Meeting the functional needs is the basic requirement. At the same time, the operational requirements should be instilled in the process of assets designing. In this way, the received assets can be fully used to meet operational needs without expending resources for modification. The prevention mechanism reflects the concept of "looking forward". Through the analysis of historical data, and assessment of the status quo of the assets, measures should be taken to deal with the future changes of assets in advance. Thereby, the company can achieve the expected goal and sustainable development in the future.

**Keywords:** metro operation; assets management; asset introduction; asset replacement; life cycle

地铁运营资产种类繁多, 系统复杂, 建设运营成本高。每千米造价近 10 亿元人民币的地铁运营资产, 如何在运营维护期, 保证其安全服务达标的同时, 提升运营资产的服务及商业价值, 优化运营成本, 实现可持续发展, 是所有运营单位面临的重大挑战。而地铁运营资产管理本身是一项复杂的工作, 是一门集成多种理论、技术和经验, 统筹技术、经济、管理的系统性综合学科, 是一门平衡成本、表现及风险的艺术。在这样的背景下, 第一部资产管理国际标准 ISO 55000 于 2014 年 1 月正式发布, 它是以英国 PAS 55 为基础制定的, 是

资产管理的最佳实践指导<sup>[1]</sup>。

京港地铁借鉴香港地铁成熟的管理经验<sup>[2]</sup>, 并以国际先进的管理理论<sup>[3-4]</sup>为基础, 结合企业自身发展战略, 创新性地开发了一套既能为顾客提供优质运营服务又能有效保证资产寿命, 提高资产使用效率和成本经营效益的地铁运营资产全寿命周期管理体系。笔者以京港地铁资产全寿命周期管理为例, 分析地铁运营资产全寿命管理的思路及实践, 以其为轨道交通运营企业提供借鉴。

## 1 资产全寿命周期管理核心

地铁运营资产的全寿命周期主要包括引入(规划、设计、采购、建设)、使用维护和替换阶段。

传统的资产管理方式通常集中在资产使用和维修

收稿日期: 2016-03-22      修回日期: 2016-12-12

第一作者: 潘建杰, 女, 硕士, 研究方向为城市轨道交通运营资产管理, panjianjie@sina.com

环节的现状管理,不能很好地将运营需求灌输在资产规划和设计环节,导致线路开通后,部分设备设施因不满足需求而进行改造,造成资源浪费。对资产管理常处于“事后”管理的现状,没有通过一些科学的方法对资产的状态进行深入研究和分析,将潜在的风险识别出来进行控制,将可能出现的隐患灭杀在萌芽阶段;没有充分利用信息时代的便利;没有“品尝到”大数据给运营企业带来的“美味”;并对资产的更新换代研究不够,不能做到利用合适的时机做合适的更新换代工作,无法达到成本低、表现好、风险可接受的最佳组合。

京港地铁将资产的全寿命周期作为一个系统工程进行全方位的整体管理,建立了核心模型,如图1所示。在引入阶段,将五大需求融入资产形成初期,即从资产诞生的最前端就深入参与,将运营服务需求体现在资产规划设计中;维修及替换阶段采用三级预防机制,即在运营过程中通过对资产状态表现的监控、分析,预测未来的变化趋势,保证资产能够按照预期进行发展,使资产可以灵活适应业务和公众需求的变化;重视安全,进行全流程的风险管理;全过程信息电子化,即充分利用大数据决策的优势。

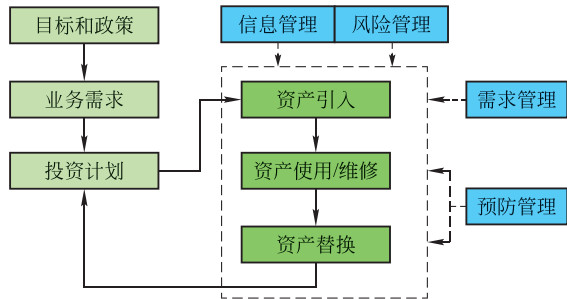


图1 资产全寿命周期管理核心模型

Fig.1 The core model of asset life cycle management

## 2 需求管理

京港地铁非常重视资产引入环节的管理,投入大量的人力和物力,并专设了部门投入人员进行资产形成前期的研究和对接,在考虑全寿命周期成本的前提下,将资产形成前的各种风险尽量降到最低。采用方法主要是结合既有经验教训,避免以前运营中曾经出现的各种隐患在新资产中再次出现;对于应用新技术的资产,采用系统保证的方法进行分析,将可能的风险通过设计进行规避;功能方面的需求主要结合前端顾客的反应和业内一些好的应用案例,将这些功能需求在资产形成阶段进行体现;另外,在设计阶段将京港地铁的管理特色融入在前期策划中,避免为适应管理需

要,在资产接收后进行资产改造,加大成本投入并影响服务水平。

### 2.1 满足安全需求

基于既有线运营期发生的或可能发生的各类安全隐患进行识别和登记,在新线规划和设计阶段,运用已登记的危害对资产设计进行辨识,并采取相应措施对其进行有效控制;对施工过程进行跟踪监控,避免由于施工工艺和质量问题导致资产在运营中出现安全隐患;对于安全关键系统,特别涉及新技术或新工艺的,采用系统保证的方法对系统设计进行分析,将可能的风险通过设计进行规避。

例如,为了保证当列车和安全门之间空隙夹人时,能够通过司机的观测及时发现,一般在车尾处增加LED灯柱,但北京地铁14号线的东风北桥下行站台为曲线设计,车尾处加装灯柱已不能满足需求。在资产引入阶段,将这一危害进行辨识,并提出通过增加激光探测等措施保证安全需求的合理建议。

目前,行业普遍采用的车门障碍物检测可识别尺寸为30 mm×60 mm的物体,在此检测尺寸下若车门在关闭过程中,遇到乘客手指、书包或儿童手臂等障碍物时仍然继续动作,直到车门关闭。此时可能造成乘客受伤,或财产损失。

而京港地铁在前期建设时就提出车门障碍物检测能力可识别直径10 mm的物体,如此可降低乘客在车门关闭时被夹伤或物品损坏的可能。

### 2.2 满足功能需求

为更好地把控相关工程技术和服务功能需求,京港地铁成立工程技术服务部门,基于对工程技术和资产全寿命周期成本的研究,在新线设计阶段,根据相关法规、标准及地铁服务功能及指标的要求,结合既有线运营管理经验及经验教训,对各系统提出功能/服务需求并形成记录文件,同时在新线项目全过程中不断跟踪回顾其实现效果。

例如,在新线建设期,京港地铁提出地面站AFC设备内应设有加热模块,以确保设备在北京寒冷天气下正常工作;地下站设备应采取措施确保设备在北京寒冷天气下正常工作,并预留加热模块的安装位置和接线位置。

### 2.3 满足维修需求

在资产的设计阶段,投入更多的人力,结合既有经验并通过系统分析,研究资产投入运营后是否具有可维修性、故障恢复能力是否满足运营需求及发生故障

时的报警信息是否及时准确等,及时提出不满足维修需求项,并尽可能在设计阶段对资产设计进行变更,以满足运营后的维修需求。

例如,在北京地铁 14 号线的设计中,京港地铁建议在高架桥增加支座检修平台的设计,通过检修平台,维修人员可以从桥面直接对桥梁支座进行检修。

行业常见设计是在全线固定的几个地方配置信号设备维护工作站(非设备室),在进行轨旁设备故障处理时,需特意安排人员常驻此处进行分析和定位故障点,并与现场人员保持联络、实时沟通,这样会造成人员分散和浪费,而京港地铁的要求是在全线所有设备集中站设备室配置维护工作站。在进行轨旁设备故障处理时,信号维修人员能够通过设备室维护工作站及时获取报警信息、设备状态信息及运营组织信息,极大地方便了现场故障分析、定位和处理,提高了故障处理的效率,减小了设备故障对运营的影响。

目前,京港地铁参与项目前期设计的 4 号线和正在建设中的 16 号线均在信号设备集中站设备室配置了维护工作站。

2.4 满足管理需求

除了建立传统的线路运行控制中心外,京港地铁结合自身运营、维修管理特点,在新线设计阶段提出了建立“4 个中心”的要求,即故障报警中心、车辆段控制中心、段务中心及安保中心,并根据其业务属性提出相应的系统功能需求,如表 1 所示。

表 1 “4 个中心”的功能需求  
Tab. 1 Functional requirements of the four centers

4 个中心	主要职能	配置系统设备
故障报警中心	承担正线、车辆段及停车场的设备、设施故障接报,对专业设备系统远程监视终端的故障报警巡查、维修支援的职能	信号监控、电力监控、环境监控、火灾报警监控、自动售检票监控、安全门监控、集中告警、闭路电视监控等
车辆段控制中心	承担场段内的接发车、调车作业、施工及工程领域管理、应急防灾等任务	信号监控、电力监控、闭路电视监控、乘客信息系统、门禁系统、公专电话系统等
段务中心	承担停车场设备设施的故障接报工作,对专业设备系统远程监视终端的故障报警巡查、非车务禁区的施工管理等	环境监控、闭路电视监控、时钟系统、公专电话系统等
安保中心	承担统一管理全线安保工作和消防设备、设施的使用等任务	火灾报警监控、闭路电视监控、时钟系统、传输系统等

2.5 满足质量需求

组建有经验的监造团队,常驻生产现场,对地铁车辆及轨道工程车等重要设备的质量、交货进度和款项支付进行全过程监造工作,及时发现设计中考虑不周或生产过程中出现的缺陷,协调供应商进行整改,最大限度地满足质量要求,如表 2 所示。

表 2 质量监造内容及范围  
Tab. 2 Content and scope of quality supervision

监造范围	监造内容
制造、安装工艺审查	主要部件工艺流程合理性及其装备的可靠性
质量保证体系审查	依据 ISO 9001 进行质量体系审查
原料、设备、零部件审查	重要单元的合格证明、检验/试验报告等
生产过程监造	主要部件生产过程、关键工序及隐蔽工程等过程的监造
现场试验监理	型式试验、例行试验审核
接口工作监理	系统与相关专业接口工作的协调和监理
供货管理	备品、备件供货验收、交接
安全监理	依据相关安全法规、标准对设备制造、试验等过程进行检查
生产进度监督	按合同监督投入、产出要求的时限,审查各工种工序、生产进度
合同款项支付控制	按合同规定的交货数量、质量对结算款项进行审查和确认

3 预防管理

3.1 一级预防

一级预防是无病防病。根据设备厂家建议、法律法规要求、故障或资产失效等相关风险,评估结果、资产预期寿命及历史数据和既往经验,制定合理的预防性维修周期和内容<sup>[5]</sup>,在资产故障发生前,采取一定的维修措施使资产始终保持良好的工作状态,保证运营安全。但对一些无法预测发生时点或发生前不具备明显征兆,且不会影响运营安全或服务而能够快速解决的故障,采用事后维修的方式<sup>[6]</sup>进行处理,以免不必要的资源投入。

京港地铁依据“预防为主,预防与整治相结合”的原则,采取预防性维修和修复性维修相结合的维修方式,并不断优化维修成本、风险及表现之间的关系。

3.2 二级预防

二级预防是早期发现早期治疗。通过历史维修数



据,并结合专项检查、测试、试验等方式,京港地铁采用每3年开展1次资产的状态评估工作,包括资产表现(故障率、可靠性等)、物理表现(变形、老化、磨损、腐蚀等)、运行环境(客流、温度、湿度、震动、粉尘、电磁环境等)、性能参数(绝缘值、转速等)、备品备件的合规性,及早发现资产不满足未来运营需求的隐患,及时采取相应改进措施,包括调整维修策略,实施升级改造或优化资源配置等,以免在资产出现不满足运营需求时,影响运营安全和服务表现,并耗费更多的资源进行补救。

### 3.3 三级预防

三级预防是治病防残、延长生命。资产寿命<sup>[7-8]</sup>包括设计寿命、实际使用寿命和目标寿命。设计寿命是指产品设计时预计不失去使用功能的有效使用时间,一般为1个时间范围。实际使用寿命是产品从投入使用到最后退役的实际有效使用时间,是1个时间点。目标寿命为根据设计寿命结合实际条件,为满足企业经营需要,设定的资产预期要达到的寿命。

对影响资产寿命因素进行研究分析,制定出影响资产寿命的主要设备、核心部件和关键因素的文件,定期评估资产寿命状况所处的阶段,共分为3个阶段。对于实际寿命状况处于目标寿命范围内的,不采取额外措施;对于实际寿命状况低于目标寿命范围的,需要结合历史数据分析,综合研究后制定相应措施,改善资产状况,提高寿命表现,尽量达到预期目标寿命;对于实际寿命状况高于目标寿命范围的,无需采取寿命保

证的措施,但可进行综合评定,决定是否调整目标寿命。

寿命保障措施实施的前提是保证运营安全和满足运营表现指标要求,同时要要进行成本核算,看是否符合经济性原则。

目前,京港地铁已经对各系统设备制定出预期目标寿命,并通过评估资产所处的寿命阶段,证明其基本在正常寿命范围,无需采取特殊措施。

## 4 风险管理

有效控制资产全寿命周期各阶段的风险是开展地铁运营资产管理的先决条件。基于风险的资产管理并不意味着承担更多的风险,而是辨识出风险,进行有效控制,保证资产管理模式始终是灵活、有前瞻性的,足以适应变化的需求<sup>[8]</sup>。

### 4.1 业务流程

京港地铁坚持风险为本的原则,根据国际标准化组织的《风险管理原则与实施指南》(ISO 31000:2009),建立了一套对运营安全、资本工程、运营环境、备品备件和业务协作等方面的风险管理机制。

主要业务流程为:① 辨识危害及评估其风险等级;② 登记危害资料及建议改善措施;③ 验证危害资料及其改善措施;④ 批准危害资料及其改善措施;⑤ 执行和监控危害改善措施;⑥ 更新危害资料和检讨风险概况。其中风险等级按照对已识别的危害,根据预期概率和后果的严重程度,划分为4个风险等级(R1~R4),如表3所示。

表3 风险等级划分  
Tab.3 Risk classification

			严重程度						
			7	6	5	4	3	2	1
			微不足道	极轻微	轻微	严重	危急	重大	特别重大 (灾难性的)
概 率	安全	死亡数目					少于3个	3~49个	50个或以上
		重伤数目				少于3个	3~49个	50个或以上	—
		轻伤数目			少于3个	3~49个	50个或以上	—	—
	服务	系统中断		延误大于20 min	少于30 min	几小时	1 d	1 星期	1 月
		线路中断	延误大于20 min	少于30 min	几小时	1 d	1 星期	1 月	几个月
		车站服务中断	少于30 min	几小时	1 d	1 星期	1 月	几个月	1 a
	A	每周发生数次或更多	100/a	R3	R1	R1	R1	R1	R1
	B	每月发生数次	10~<100/a	R4	R2	R1	R1	R1	R1
	C	每年发生数次	1~<10/a	R4	R2	R2	R1	R1	R1

续表

概率	D	10 年发生数次	$0.1 \sim < 1/a$	R4	R3	R2	R1	R1	R1	R1
	E	运营以来发生过一次	$1 \times 10^{-2} \sim < 1 \times 10^{-1}/a$	R4	R3	R3	R2	R1	R1	R1
	F	不大可能出现	$1 \times 10^{-3} \sim < 1 \times 10^{-2}/a$	R4	R4	R3	R3	R2	R1	R1
	G	非常不可能出现	$1 \times 10^{-4} \sim < 1 \times 10^{-3}/a$	R4	R4	R4	R3	R3	R2	R1
	H	发生可能性极少	$1 \times 10^{-5} \sim < 1 \times 10^{-4}/a$	R4	R4	R4	R4	R3	R3	R2
	I	不可能发生	$1 \times 10^{-6} \sim < 1 \times 10^{-5}/a$	R4	R4	R4	R4	R4	R3	R3
	J	难以置信的	$< 1 \times 10^{-6}/a$	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R3

## 4.2 管理准则

风险准则是组织用于评价风险重要程度的标准。因此,风险准则需体现组织的风险承受度,应反映组织的价值观、目标和资源<sup>[9]</sup>。京港地铁采用 ALARP( as low as reasonably practicable, 低至合理可行)的准则<sup>[10-11]</sup>。以承诺持续符合法律法规要求,致力维持具有安全意识的环境,将资产全寿命周期各个环节的风险控制在低至合理的水平,从而保证地铁运营安全。对不同级别风险的所需行动如表 4 所示。

表 4 风险等级对应的行动

Tab. 4 Actions corresponding to the levels of risks

风险等级	所需行动
R1	除特殊情况外必须降低该类风险
R2	在合理可行的情况下必须降低该类风险
R3	风险可以容忍,但在合乎成本效益的情况下应进一步采取措施降低该类风险
R4	风险可接受,不需要采取任何行动

## 4.3 实践案例

在运营过程中,通过危害辨识,发现“司机室侧门开启状态下,列车启动”这一危害,通过评估,其风险等级为 R1,并在风险管理系统中进行登记,如图 2 所示。

图 2 风险管理系统中登记的危害

Fig. 2 Hazard registered in the risk management system

通过研究讨论,从系统设计、设备维护及运营操作等方面采取必要减轻措施来控制此风险(见表 5)。

表 5 控制风险所采取的减轻措施

Tab. 5 Measures taken to control risk

编号	内容	验证方法、依据	类别
1	定期检查司机室侧门到位触点是否正常工作	参见司机室侧门使用维护说明书,电客车检修工作指引	维修
2	司机室侧门系统设计时,设置门到位触点,与列车牵引系统串联,列车在全部客室车门及司机室侧门关好后才可以启动	相关图纸,调试试验及试验报告	设计
3	发现此种情况发生,驾驶员应及时确认关闭司机室侧门	《乘务室日常作业标准》	运营

## 5 信息管理

实现标准化且高效的资产全寿命周期管理,需要对资产全寿命周期各个环节的信息进行有效管控,并记录资产管理各阶段相关活动的表现。源于此目的,京港地铁结合自身运营管理需求,基于对信息系统的开发及应用,建立了针对风险、项目、运营、维修、物资、人员、财务及图纸信息的电子化管理系统。

### 5.1 资产管理信息系统

为提高资产维修管理的有序性及管理效率,针对京港地铁管理需求,结合港铁运营管理理念,开发了一套专门用于轨道交通行业资产维修管理信息软件系统,用于实现对运营资产登记、维修计划编排、工作单派发、维修使用资源记录、维修预算编制及集各类数据统计分析于一体的全过程的科学化信息管理系统,管

理流程如图3所示。



图3 维修管理信息系统主要流程  
Fig.3 Main flow chart of maintenance management information system

## 5.2 资产设计变动管理系统

为管理既有运营资产在设计上的变动,建立了工程文件管理系统。通过该系统可实现线上的“准备、设计审查、复审、独立安全审查、安全检查、认可、授权和批准”八大环节,大大节省了一个文件的审批时间,提高了工作效率,特别是对于地铁线路人员办公分散的情况,通过该系统可对同一个管控节点,实现多人同时操作并同时看到不同人员的意见回复。

更重要的是,若干年以后再去查看某一资产的当前设计文件时,只需要把竣工文件和所有变动的文件放在一起,呈现出的就是当前资产的设计情况了,采取这种形式,不但能够记录资产的变动信息,还能够动态反应资产的当前状态,而且从成本角度考虑,节省了每一次变动需要重新准备全套资产设计文件的费用。

## 6 结语

北京京港地铁有限公司成立10年来,以国际通用管理标准为准绳,结合特许经营模式特点,积极探索适合自身的发展道路,从最初对港铁管理模式的参考学习,到结合北京市地铁运营环境的实践及总结,初步形成了具有京港特色的资产管理理念,并取得了经济效益、社会效益的双丰收。如,北京地铁4号线,通过运营资产全生命周期管理,实现前期的投资比传统形式节约资金约16亿元;初期运营成本比传统形式节约3~4元/车公里,并在轨道交通企业行业绩效评估中,各项指标评比均名列前茅。

### 参考文献

- [1] 范洲平. 新的 ISO 55000 资产管理系列标准解读[J]. 中国标准化, 2014(3): 87-91.  
FAN Zhouping. Interpretation of New asset management series standards ISO 55000 [J]. China standardization, 2014(3): 87-91.
- [2] MTR Corporation Limited of Hong Kong. Asset management manual[G]. Hong Kong, 2011.
- [3] Asset management-overview, principles and terminology: ISO 55000[S]. ISO, Switzerland, 2014.
- [4] Asset management-management systems-requirements: ISO 55001[S]. ISO, Switzerland, 2014.
- [5] 陈学楚. 现代维修理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.  
CHEN Xuechu. Modern maintenance theory[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.
- [6] 董锡明. 现代技术装备维修理论与实践[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2009.  
DONG Ximing. Theory and practice of modern technology equipment maintenance[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2009.
- [7] 肖正再, 黄亦农, 简立君. 关于固定资产经济寿命的确定方法[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2003, 9(6): 771-775.  
XIAO Zhengzai, HUANG Yinong, JIAN Lijun. The determination of economic life of fixed assets [J]. Journal of Central South University (social science edition), 2003, 9(6): 771-775.
- [8] 杨全, 杨化, 杨圣宏. 关于固定资产寿命定义的合理性[J]. 技术经济, 2000(10): 64-66.  
YANG Quang, YANG Hua, YANG Shenghong. Reasonable definition of fixed assets Life [J]. Technical economy, 2000(10): 64-66.
- [9] 风险管理原则与实施指南: GB/T 24353—2009[S]. 北京: 国家标准质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2009.  
Risk management principles and implementation guidelines: GB/T 24353—2009 [S]. Beijing: State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, China National Standardization Administration Committee, 2009.
- [10] 轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例: GB/T 21562—2008[S]. 北京: 国家标准质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008.  
Rail Reliability, availability, maintainability, and security specifications and examples: GB/T 21562—2008 [S]. Beijing: State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, China National Standardization Administration Committee, 2008.
- [11] 方鸣, 刘潍清, 陈建国. 对安全性评估中风险接受 ALARP 原则应用可行性探讨[J]. 世界轨道交通, 2010(2): 52-54.  
FANG Ming, LIU Weiqing, CHEN Jianguo. Discussion on feasibility of applying ALARP principle to risk acceptance in safety assessment [J]. World rail transit, 2010(2): 52-54.

(编辑: 曹雪明)