

# 地铁盾构隧道运营养护的质量安全评价体系

颜波<sup>1</sup> 杨春山<sup>2</sup> 陈丽娜<sup>1</sup>

(1 广东省建筑科学研究院 广东广州 510500 2 广东工业大学土木与交通学院 广东广州 510006)

**摘要:** 鉴于今后城市地铁盾构隧道管理养护问题的重要性, 本文充分借鉴现有铁路隧道和公路隧道的管养技术方法, 深入分析地铁盾构隧道的自身特点, 结合隧道检测工程经验, 对地铁盾构隧道结构的质量安全评价系统进行了分析, 试图为早日建立运营地铁隧道的相关技术标准提出一些有益的见解。

**关键词:** 地铁 盾构隧道 管养 评价体系

## 1 引言

随着我国经济发展和大规模城市群的建设, 以地铁、轻轨等为代表的公共轨道交通方式和城市地下空间的开发利用成为解决城市交通、人口、环境问题的重要途径。目前, 我国北京、上海、天津、广州、深圳等15个城市已开通了地铁, 总长度达800公里。而根据各大城市已公布的《城市快速轨道交通建设规划》, 到2015年, 我国地铁线路将达2100公里, 至2020年, 运营地铁总长度将达3000公里。

地铁作为现代都市的重要公共交通工具, 每天承担着巨大的运营负荷。广州地铁高峰期日客流量已超过200万人次, 高负荷的运营无疑给地铁隧道带来了一系列运营管养的问题, 其质量安全管理养护的重要性不言而喻。

虽然我国地铁的建设热潮如火如荼, 然而, 针对公路和铁路隧道的运营管养来讲, 都已有相对完善的管养技术标准, 而运营地铁隧道还未有相应的质量安全评价标准。

由此可见, 地铁作为我国城市未来重要的市政基础设施, 运营地铁隧道的管理养护问题, 无论是对于技术层面还是检测市场, 都将对广大检测工作者提出巨大的考验。

本文根据地铁隧道的自身特点, 充分借鉴现有铁路隧道和公路隧道的管养技术, 对地铁盾构隧道结构的质量安全评价系统进行分析, 试图为早日建立运营地铁隧道的相关技术标准提出一些有益的建议。

## 2 现有隧道的质量评价体系

### 2.1 铁路隧道结构的评价

1997年铁道部编制发布了《铁路桥隧建筑物劣化评定标准》TB/T2820.2, 该标准首次对铁路隧道衬砌结构裂损、衬砌结构漏水、衬砌冻害及衬砌材料劣化的类型、等级和评定方法做了标准化规定。该标准将衬砌各种劣化划分为AA(极严重)、A1(严重)、B(较重)、C(中等)和D(轻微)5个等级<sup>[1]</sup>。

2004年铁道部又发布了铁运函[2004]174号文《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》<sup>[2]</sup>, 专门针对铁路隧道衬砌病害, 包括衬砌厚度、衬砌混凝土强度、衬砌背后密实度等质量安全问题进行了量化评定, 其同样划分5个等级。

在《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》TB/10223的配套检测方法下, 在对铁路隧道衬砌准确检测的基础之上, 对隧道的安全等级做出更加合理、科学的判定, 对铁路隧道的养护与安全具有指导性贡献。

### 2.2 公路隧道结构的评价

我国于2003发布了《公路隧道养护技术规范》JTG H12, 该规范借鉴了国外公路隧道养护的经验和技木, 对隧道养护工作的计划安排、土建结构的清洁维护、破损检查、保养维修和病害处治、机电设施的养护维修以及环境保护等方面均作了明确规定。

该规范将公路隧道破损划分为3A(严重)、2A(较重)、1A(一般)、B(轻微)及S(正常)5个等级,在对隧道结构等级判定之后,提出了公路隧道日常检查、定期检查、特别检查和专项检查四种检查方法<sup>[3]</sup>。

就隧道结构质量而言,规范对隧道结构变形、裂缝、漏水、材质、衬砌及围岩状况及荷载状况等6个方面的质量问题提出了检查和评定方法,基本涵盖公路隧道结构的质量安全评定的所有指标。

### 3 地铁盾构隧道结构特点

根据工程地质环境条件及施工工法的不同,我国地铁隧道修建的方法和形式主要有矿山法、暗挖法和盾构法,由于盾构法具有效率高、对周边环境影响相对较小等特点,已成为我国城市地铁隧道的首选施工方法,因此,地铁隧道大多数为盾构隧道。对于矿山法和暗挖隧道,其形式与衬砌病害特征与铁路隧道有诸多相似的地方,因此,笔者认为其质量安全评定可以参考铁路隧道相关技术标准执行。

本文主要讨论地铁盾构隧道的质量安全评价系统的建立。

#### 3.1 盾构隧道结构组成

对于盾构隧道来讲,最常用的衬砌结构为装配式钢筋混凝土衬砌,它由管片和接头两部分组成,接头又包括螺栓和衬垫两部分。

一环装配式衬砌一般由标准块、邻接块和封顶块等多块预制管片在盾尾拼装而成。管片采用螺栓连接,根据连接螺栓的形状分为直螺栓和曲螺栓两种连接方式。管片拼装通常有通缝和错缝两种形式。通缝拼装时,管片衬砌结构的整体刚度较小,导致变形较大,但其内力较小;采用错缝拼装,管片衬砌结构的整体刚度较大,其变形较小,相反内力却较大,错缝拼装时,要求纵向螺栓的布置能够进行一定角度的错缝拼装,因此,对于管片的分块设计要求比通缝拼装条件下

要高一些。目前,两种拼装方式地铁隧道建设中均有应用。

为了使衬砌接头面接触密贴、受力均匀,有效控制管片接缝的张开变形,保证盾构法施工隧道管片衬砌防水的可靠性,除了使用高精度管片外,还需采用一定的接缝防水处理措施,如:在接头面设置弹性密封垫、灌注密封剂或嵌缝填料等。

由此,钢筋混凝土预制的管片在接头连接下,通过密封垫的充塞,就形成了地铁隧道衬砌结构。

#### 3.2 盾构隧道受力与变形分析

由于地铁盾构隧道通常是地下软土中的下埋结构,其受力及变形特征与通常的铁路隧道、公路隧道有很大的不同。同时,盾构法施工的装配式混凝土衬砌的力学行为与整体式衬砌相比具有一定的特殊性,主要特点有:1)接头对衬砌刚度的削弱;2)衬砌的最大承载力和破坏方式与整体式衬砌结构不同;3)管片接头造成应力集中,这样既减小了管片碎裂的数量和范围,同时降低了管片整体碎裂破坏的可能。

在盾构隧道运营过程中,由于隧道外部环境的变化,如临近基坑的开挖;隧道周围土体的固结沉降及隧道内列车的运营振动荷载等因素的作用会造成地铁隧道结构的变形,使得隧道结构内力发生变化,进而有可能造成衬砌裂损病害。

盾构隧道的变形形式主要有纵向变形、横向变形以及纵横结合的三维变形。纵向变形为隧道结构不均匀的沉降,横向变形为隧道轴线的水平位移。

纵向变形计算模型有两种<sup>[4]</sup>,一是村上博智及小泉淳等提出的梁-弹簧模型,另一种是由志波由纪夫及川岛-彦等提出的等效轴向刚度模型;横向变形计算模型有3中,包括:1)不带有

弹性衬垫的接头模型；2）带有弹性衬垫的接头模型；3）接触力学接头模型。

由此可见，装配式地铁盾构隧道其衬砌变形与衬砌结构内力具有密切的联系，衬砌结构病害与隧道整理变形的关系不容忽视。

## 4 盾构隧道结构质量安全评价体系

### 4.1 盾构隧道衬砌结构评价

参照已有铁路隧道、公路隧道常见病害及结合地铁盾构隧道检测工作经验，可将盾构隧道病害评价指标归纳以下3个方面<sup>[5-6]</sup>：

（1）隧道结构表观评价内容，包括有裂缝情况、破损情况、渗漏情况、接缝情况。

（2）隧道结构安全性评价内容，包括衬砌混凝土强度、衬砌钢筋强度、管片螺栓强度、接头部位强度等，还可包括钢筋和衬砌的弹性模量等参数。

（3）隧道结构的耐久性评价内容，包括渗水水质（包括硫酸根等有害离子含量，pH值等）、空气烟雾质量（包括空气中二氧化碳、二氧化硫的含量等）、混凝土碳化深度、混凝土保护层厚度、混凝土中氯离子/硫酸根离子含量、钢筋锈蚀、混凝土渗透及材料防水等。

### 4.2 盾构隧道变形评价

如上述3.2节分析，地铁隧道的变形是地铁盾构隧道不容忽视且与衬砌病害有密切关系的评价内容。地铁隧道变形简单可以划分为轴向变形和断面变形两大类。

1）轴向变形反映了隧道纵向的整体力学特性，可用以评价隧道结构纵向稳定性、纵向抗震性能等。

2）断面变形可用以判断隧道结构在该断面处的力学性能，为结构的安全评价提供基础。一般情况下需给出隧道薄弱部位和关键断面的断面变形。

### 4.3 盾构隧道评价体系

已有的铁路隧道和公路隧道的评价方法主要针对结构裂缝、结构渗漏水、结构纵横断面变形、材质老化等某一单方面进行研究，而地铁隧道深埋于土层之中，在运营过程中影响其设计使用年限内安全的因素错综复杂，尤其是盾构隧道整体变形、衬砌裂缝、螺栓锈蚀、接头裂损等病害之间具有密切联系。

因此，对地铁结构安全状态的判定不仅要考虑单个项目所反映的局部性态，还要考虑多个项目所反映的整体性态。地铁结构的安全评估问题是一个多项目、多层次的递阶分析问题。

在今后的工作中，应选取能够全面反映盾构隧道结构受力特点的、并综合考虑使用功能的评估指标，确定运营期地铁结构安全评估指标体系。

## 5 结论与建议

（1）地铁盾构隧道结构的耐久性、安全性与隧道的整体变形性有密切的联系，因此盾构隧道质量安全评价指标，应将隧道整体变形与衬砌病害相结合进行整体评价。

（2）鉴于地铁盾构隧道结构特点和变形的重要性，检查方法可以在监测隧道整体变形的基础上，借鉴公路隧道的检查方法进行。

（3）为保证各隧道评价体系的统一性，地铁盾构隧道的评价体系可以借鉴公路隧道和铁路隧道的方法，结构安全等级同样可采用四级划分法。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国铁道部. TB/T2820.2-1999 铁路桥隧建筑物劣化评定标准[S]. 北京:人民交通出版社, 1998.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁运函[2004]174号文. 铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定.
- [3] 中华人民共和国交通部. JTG H12-2003 公路隧道养护技术规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2005.
- [4] 刘建航, 侯学渊. 盾构法隧道[M]. 北京:中国铁道出版社, 1991.
- [5] 林楠, 黄宏伟. 地铁结构安全评估指标体系的初步研究[J]. 现代隧道技术, 2008,增刊:82~85.
- [6] 胥彝, 王华牢, 夏才初. 盾构隧道结构病害状态综合评价方法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010,(6):201~207.