

北京地区电力隧道运行及结构灾害研究

首先对北京地区电力隧道的建设年代、结构分类、分布区域和运行现状进行了梳理和分析,对现有的隧道结构灾害情况进行了计算研究,并对隧道结构灾害情况进行了综合评估。

赵洋 李光 刘青 谭军/国网北京检修公司

0 引言

城市地下电力隧道是城市地下管线的重要组成部分,是解决架空线入地问题,容纳保护电力和通信缆线,保障城市运行的重要基础设施和“生命线”之一,其运行情况至关重要。目前北京市地下电力隧道数量较大,约718 km,且由于长期置于地下,埋深较浅,外界扰动多且复杂,工作环境相对恶劣,系统性管理修缮工作显著滞后。因此,对电力隧道的运行状况、灾害评估以及灾害防治的调查与研究是非常必要的。

1 北京地区电力隧道的发展

北京地区电力隧道始建于1978年,其中东城区、西城区和海淀区最先开始修建多条电力隧道,朝阳区、丰台区随后相继开始。20世纪90年代电力隧道增速建设,1994年、1995年、1996年和1997年竣工的电力隧道总长度分别比上

年增加4 km、13 km、9 km和7 km。2008年奥运会举办前夕,北京电力隧道建设速度快速增长,2005年、2008年竣工的电力隧道总长度分别比上年增加13 km、19 km。2005年底,北京电力隧道总长超过500 km,110 kV及以上主网电力电缆绝大多数敷设在隧道内,10 kV以及35 kV电缆线路约50%敷设在电力隧道内。初步形成了以沿二环、三环、四环和几条市区主要道路的“三环、三经和六纬”的电力隧道为基础的网格环形加放射性分布的格局^[1]。2006年中关村西区建成了我国大陆地区第二条现代化的综合管廊,主线长2 km,支线长1 km,包括水、电、冷、热、燃气和通信等市政管线。到2015年1月,北京地区高压电力隧道总长度约718 km,但由于隧道建设历史原因和北京各地区电力负荷发展的不均衡,北京不同地区电力隧现状情况存在着较大的差别。

2 北京市电力隧道的运行现状

2.1 电力隧道建设年代分布情况

北京市电力隧道根据发展历程按照建设年代统计如图1所示。目前北京地区高压电力隧道总长度约为718 km,按建



赵洋/高级工程师

关键词/Keywords

电力隧道 ·
运行状况 ·
灾害评估 ·
灾害防治 ·

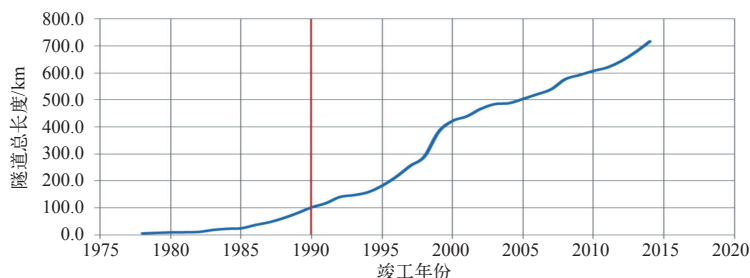


图1 电力隧道按竣工年份累计长度

设年代大致划分为3个阶段，如表1、表2所示。第一阶段隧道约有80.9 km，由于这些隧道建设时采用的标准与当今的标准有一定差距，且运行后环境干扰因素多，经历了30多年的运行，部分电力隧道已经出现了墙体开裂、受力钢筋锈蚀抗拉强度降低、混凝土保护层脱落和结构材料强度降低等问题，存在塌陷与断裂的隐患；第二阶段隧道约有300.2 km，由于电力隧道本身结构问题，造成隧道渗漏较为严重，结构背后土体可能存在空

洞，这些对运行带来了安全隐患；第三阶段隧道约有335.9 km，多为暗挖电力隧道和部分盾构隧道。这两类隧道质量相对较好，但早期修建的暗挖电力隧道，因结构面层强度低，在外部水压作用下多发生结构面层开裂及脱落缺陷。近年来随着地铁、热力和燃气等地下工程的大规模建设，电力隧道周边土体产生了扰动，局部地段电力隧道在地下穿越管线后出现了结构开裂、变形和沉降等现象。

表1 电力隧道不同年代阶段的发展情况

建设年代	隧道总长度/km	结构形式	截面类型	截面积尺寸/m	长度占比(%)
20世纪70~80年代	81	暗挖单衬	矩形	2×2.5	79.5
		暗挖双衬	直墙拱形	2×2.3	0.4
		顶管	圆形	φ2.15	5.9
		明挖砖混	矩形	2×2.5	14.1
20世纪90年代	300	暗挖单衬	矩形	2.6×2.9	75.7
		暗挖双衬	直墙拱形	2×2.3	0.5
		顶管	圆形	φ1.95	5.2
		明挖砖混	矩形	2×2.35	18.7
2000年以后	336	暗挖单衬	矩形、平行直墙拱形	2.6×5.3	68.7
		暗挖双衬	直墙拱形、平行直墙拱形和叠落双矩形	2.6×2.9	12.4
		顶管	矩形	2.6×2.9/φ2.15	2.3
		盾构	圆形	φ3	6.7
		明挖砖混	矩形	2.6×2.4	8.3
		明挖浇筑	矩形	2.6×2.4	1.6

表2 北京电力隧道现状

建设年代	建设规模/km	主要质量问题	主要原因
20世纪 70~80年代	80.9	墙体开裂、钢筋锈蚀、保护层脱落和结构材料强度降低	设计标准低、环境干扰和接近使用寿命
20世纪90年代	300.2	隧道渗漏、结构背后存在空洞	暗挖衬砌结构本身结构问题
2000年至今	335.9	结构开裂、变形和产生沉降	城市地下工程增多，对土体干扰现象严重

2.2 电力隧道区域分布情况

上述电力隧道分布在东城、西城、朝阳、海淀、丰台、石景山、通州、亦庄、大兴、昌平、门头沟和顺义12个区域。各区域分布情况也有各自特点。电力隧道按地域空间分布情况如表3所示。

上述分析可以看出，东城区、西城区、朝阳区、海淀区和丰台区电力隧道开始修建年代最早，其中北京老城区（东城区、西城区）由于地理位置原因，早年修建规模较大，发展较快，近年来修建规模增长不大，接近饱和。因此，其电

力隧道的结构形式也相对较陈旧，为暗挖单衬隧道、明挖砖混隧道和顶管隧道；近郊区域（朝阳区、海淀区和丰台区）是目前电力隧道分布最多的三大区，其建设发展迅速，近年来建设规模仍有较大发展，隧道结构类型多样，且随着近年来施工技术的进步，存在明挖浇筑隧道和盾构隧道。

其他远郊区域（通州区、昌平区、石景山区、大兴区、亦庄区、门头沟区和顺义区）电力隧道开始建设年代较晚，部分为近5年内才开始修建的隧道，除部分20世纪90年代竣工的隧道仍采

表3 北京市各区域电力隧道分布情况

	长度/km	占比(%)	明挖砖混	暗挖单衬	顶管	暗挖双衬	明挖浇筑	盾构	起始建设年代
朝阳	245.85	34.24	△	△	△	△	△	△	1978年
海淀	185.94	25.90	△	△	△	△	△	△	1978年
丰台	111.42	15.52	△	△	△	△	△		1978年
西城	83.21	11.59	△	△	△				1978年
东城	64.51	8.98	△	△	△	△			1978年
通州	11.97	1.67	△	△			△		2010年
昌平	4.90	0.68		△		△			1998年
石景山	3.83	0.53		△					1997年
大兴	3.28	0.46		△			△		2011年
亦庄	1.82	0.25		△			△		1993年
门头沟	1.20	0.17		△			△		2013年
顺义	0.13	0.02				△	△		2014年
合计	718.1								

用暗挖单衬结构形式，大部分隧道已采用暗挖双衬结构或明挖浇筑结构形式。

2.3 电力隧道结构形式分类

北京市电力隧道结构形式按照建设的先后顺序依次为暗挖单衬隧道、顶管隧道、明挖砖混隧道、暗挖双衬隧道、明挖浇筑隧道和盾构隧道，6种结构形式，其现状特点如表4、图2所示。

顶管结构隧道、明挖砖混结构隧道开始建设

时间最早，建设于20世纪70~80年代，20世纪90年代进入建设高峰，但由于其结构形式自身的缺陷和近年来隧道施工技术的发展，此种结构形式逐渐退出建设，目前已经不再采用。暗挖单衬隧道由于早期建设规模较大，且结构形式和施工技术较成熟，目前仍是电力隧道的主要存在结构形式和建设形式。暗挖双衬隧道、明挖浇筑隧道和盾构隧道开始建设时间较晚，近10年内开始修

表4 不同结构形式电力隧道现状特点

结构形式	总长度/km	长度占比(%)	截面类型	最大截面尺寸	开始建设时间	停止建设时间
暗挖单衬	523.6	72.9	矩形	2.6×2.4	1978年	至今
暗挖双衬	43.3	6.0	直墙拱形、平行直墙拱形和叠落双矩形	2.6×2.9	1989年	至今
顶管	28.1	3.9	圆形、矩形	φ2.15、2.6×2.9	1978年	2012年
盾构	22.4	3.1	圆形	φ3	2014年	至今
明挖浇筑	5.5	0.8	矩形	2.6×2.4	2013年	至今
明挖砖混	95.2	13.3	矩形	2×2.5	1978年	2013年
合计	718.1					

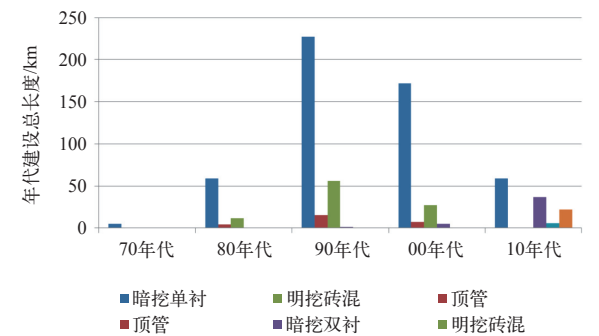


图2 不同结构形式电力隧道随建设年代发展趋势

建，目前存在数量不多。

3 电力隧道结构灾害研究

2013~2015年，对北京市内老旧砖混隧道（32 km），重点位置的电力隧道（28 km），由于周边施工、意外事故导致受损的隧道，共计120条电力隧道，进行了大量的系统性的结构检测、安全性评价。此次检测是北京市电力隧道最大规模的一次集中检测，检测内容包括：①材料强度

检测（砖、砂浆和混凝土）；②混凝土配筋情况检测；③混凝土钢筋保护层厚度检测；④隧道结构损伤情况检查；⑤结构振动检测；⑥隧道周围土体情况探查及分析。

由于目前电力隧道结构没有相应的结构评价标准，通过此次大量现场检测数据，提出以下判定隧道损伤等级的方法。

（1）找出隧道损伤的控制因素

通过现场检测与数值分析，可以得出隧道损伤的控制因素，如温度、湿度、结构裂缝和钢筋锈蚀情况等。

（2）建立损伤评估方法

将结构损伤划分a、b、c和d4个损伤等级：a级为结构无损伤；b级为伸缩缝抹灰开裂，结构裂缝较少，裂缝处无渗漏现象；c级为结构裂缝较多，裂缝处存在渗漏，混凝土破损，钢筋裸露锈蚀；d级为伸缩缝开裂、两侧结构错位，结构裂缝严重、混凝土破损严重，钢筋大面积裸露、严重锈蚀。根据具体隧道的结构损伤情况，进行分级。

（3）建立结构灾害评估方法

基于隧道的结构损伤等级、衬砌后土体状况将隧道按整体安全性等级分为四级：A（安全），无结构性损伤、土体完好及无渗漏积水；B（有缺陷），结构性损伤较少且土体完好、渗漏积水较轻；C（局部危险），结构性损伤较多，衬砌背后土体异常点较少、局部存在较多的渗漏积水；D（整体危险），结构性损伤严重、衬砌背后土体异常点较多或范围大、渗漏积水情况严重。

按照以上评估方法，此次检测120条隧道，对应隧道的建设年代、区域分布和结构形式，其结构整体安全性等级评估结果与目前运行实际情况是一致的。

4 电力隧道运行隐患

目前电力隧道运行灾害主要有隧道结构损伤、隧道渗漏水与长期积水、隧道结构锈蚀、隧道火灾隐患、隧道上部路径占压及隧道邻近加油站或燃气和热力等市政管线，前四种属于隧道内部隐患，后两种属于隧道外部隐患，这些隐患是

诱发隧道塌陷、沉降和火灾等灾害的危险源。

4.1 隧道结构损伤

目前电力隧道的结构损伤是较为严重隐患，这从上述分析中已经得到验证。同时，隧道结构损伤是隧道渗漏水、长期积水和结构锈蚀等隐患产生的源头。

砖混结构隧道破损主要为墙体顶板等存在结构裂缝，保护层厚度减小，渗漏造成的钢筋锈蚀，材料强度降低。衬砌结构隧道破损主要表现为衬砌的变形、开裂和错台。

4.2 隧道渗漏水与长期积水

隧道渗漏水不仅本身对隧道结构产生危害，降低衬砌结构的可靠性，导致衬砌失稳破坏，而且还会引发其他病害，对隧道整体结构的稳定影响很大。隧道渗、漏水和积水，将会造成衬砌开裂或使原有裂缝发展变大，加重衬砌裂损；当地下水有侵蚀性时，会使衬砌混凝土产生侵蚀，并随着渗漏水的不断发展，混凝土侵蚀日益严重。

4.3 隧道结构锈蚀

一般混凝土具有良好的耐久性、耐腐蚀性和较高的强度，但由于电力隧道内出现渗漏水情况，导致隧道衬砌外的腐蚀物质（如氯离子、硫酸盐），容易从渗漏水位置流入，导致隧道衬砌受到侵蚀，就会出现起毛、酥松、蜂窝麻面、起鼓剥落、孔洞露石和骨料分离等材质破坏，导致材料强度降低，衬砌厚度变薄，渗、漏水严重，钢构件锈蚀，钢筋锈蚀。

4.4 隧道火灾隐患

电力隧道是一个密闭环境，发生火灾时人员难以进入，了解着火情况难，灭火措施少，抢修难度大，恢复时间长。另外，火灾会对隧道内电缆、光缆、附属设施及隧道本体造成毁灭性伤害。

4.5 隧道上部路径占压

隧道上部路径被占压，一方面导致隧道上部荷载增大；另一方面一旦发生事故，路径占压会妨碍事故抢修，影响电缆事故查找和修复时间。

4.6 隧道邻近加油站或燃气、热力等市政管线

加油站、燃气管线和热力管线等一旦发生泄漏、爆炸等灾害,邻近的电力隧道必将受到影响,易诱发电力隧道发生次生灾害。

5 电力隧道灾害防治

5.1 加强结构检测与加固

建立系统的结构检测机制，包括：一般性常规巡检，主要以观察为主；定期进行有针对性的特殊性结构检测，借助专业检测机构对重点老旧隧道开展结构稳定性检测，进行承载能力、结构强度、周边土体结构和功能性评估。根据评价结果，结合电网规划和电力隧道规划，通过新建、改造等措施对老旧砖混隧道进行有序改造，逐步解决老旧隧道结构隐患问题。

5.2 针对火灾隐患采取适当措施

针对火灾隐患采取的措施有:

- 1) 对电缆采取涂、包和隔等措施, 以及采用防火隔板、防火槽盒和阻燃材料等方式, 使隧道内的火灾不易延燃。
- 2) 采用先进火灾监控手段, 通过视频传输、烟雾报警和机器人智能巡视及灭火等手段, 快速发现着火点, 及早灭火。
- 3) 加大隧道网监控系统的覆盖面, 重点扩大监控井盖及防入侵风亭的覆盖范围, 提升隧道防止非法入侵能力。

5.3 加强监控技术应用

在隧道中增加多种监控传感器,实时监测隧道内温度、湿度、隧道结构变形、重点裂缝宽度和积水情况等,建立隧道灾害隐患预警系统,

使监测数据自动导入数据库,也可补充人工采集读取的其他数据,将数据分析处理后,将其进行三维交互式可视化表达,同时开发隧道虚拟行走技术,使中心监控平台能够直观地观察三维状态下任意监测元件的信息,实现实时的三维交互功能。利用网络实现远程数据访问,通过设置数据服务器,工作人员可以利用员工账号登陆互联网实时查看隧道监测数据及隧道安全等级。当结构安全风险上升达到一定程度时进行预警。

此系统可作为模块直接增加到现有内网系统,使其具备中央计算机系统、通信系统、火灾报警系统、通风系统、照明系统、排水系统、仪表监测系统和安保系统。

6 结束语

本文对北京地区范围内高压电力隧道的区域分布、结构特点和建设年代进行了全面深入的总结和分析,并结合大量实际检测数据提出了符合运行现状的结构灾害评估方法与结论。同时,针对现状可能造成隧道灾害的风险源进行了全面的梳理和分析,并针对不同类别隧道灾害给出了有针对性的防治建议,为下一步隧道灾害防治技术的实施给出了全面、详实的数据基础以及合理的技术依据。

参考文献

- [1] 张一凡. 北京电力隧道现状与发展 [J]. 岩土锚固工程, 2007 (3): 46-50.
- [2] 张瑛, 张屹, 王承. 电力隧道结构特点及常见病害分析 [J]. 供用电, 2011, 28 (2): 67-69.

(收稿日期: 2016-04-01) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告