

# 盾构电力隧道施工监测目的和方法分析

胡欣欣, 李迪, 黄嘉明, 叶宇婷, 刘淡冰  
(广东电网有限责任公司珠海供电局, 珠海 519000)

**摘要:** [目的]以盾构电力隧道为例, 根据其施工特点, 系统分析盾构电力隧道施工监测的目的和方法。[方法]首先, 结合我国隧道施工监测布置、方法和电力隧道特点, 分析指出其监测的目的和范围, 并得出盾构电力隧道施工队周边建(构)筑物变形控制标准和自身结构要求控制标准; 然后, 分析提出盾构电力隧道施工监测的方法、应对管理措施、数据处理方法、成果提交方法和信息反馈策略。[结果]结合某盾构电力隧道施工监测实践, 分析和论证了其监测目的和方法。[结论]研究结果对保障盾构电力隧道安全和顺利施工有重要意义, 也可为其他类似工程提供参考。

**关键词:** 监测; 地层变形; 盾构, 电力隧道施工; 收敛变形

中图分类号: TM757.3; U455.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)S1-0097-06

## Objective and Method Analysis of Shield Tunnel Construction Monitoring

HU Xinxin, LI Di, HUANG Jiaming, YE Yuting, LIU Danbing

(Zhuhai Electric Power Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** [Introduction] Taking shield power tunnel as an example, according to its construction characteristics, the purpose and method of shield power tunnel construction monitoring are systematically analyzed. [Method] Firstly, the monitoring layout method of tunnel construction in China and the characteristics of power tunnel were combined with, the purpose and scope of monitoring were analyzed, the deformation control standards of surrounding structures and their own structure requirements were obtained; Then, the monitoring method of shield power tunnel construction, the data processing method of management measures, the result submission method and the information feedback strategy were analyzed and put forward in the paper. Combining with the monitoring practice of a shield power tunnel construction, the paper analyzes and demonstrates the monitoring purpose and method. [Result] Combined with the construction monitoring practice of a shield tunnel, the purpose and method of the monitoring are analyzed and demonstrated. [Conclusion] The research results provide great significance for the safety and smooth construction of shield power tunnel, and can also provide a reference for other similar projects.

**Key words:** monitoring; formation deformation; shield construction, power tunnel construction; convergence deformation

随着城市化脚步的进程, 城市电力隧道将呈现越来越普及的态势。我国电力隧道的建设起步相对较晚, 电力隧道的设计、施工、运营养护等均主要借鉴地铁、公路隧道等的经验。但由于电力隧道用于电力传输的特殊功能要求, 使电力隧道结构有其相应的特点, 电缆隧道与市政隧道, 公路, 铁路, 地铁隧道在使用功能上完全不同; 由于大城市供配电设施是战时空袭和恐怖分子袭击的主要目标之

一, 为提高电力设施抵抗外部影响(如人防)的能力, 给浅层地下交通路网规划预留了足够的空间(如地铁隧道通常考虑方便客流及换乘等因素, 一般埋深尽可能浅; 避让河道及既有市政管线, 如水管、通信、燃气管道等), 因此, 电力隧道设计呈现深埋趋势; 电力电缆及其他电力设施对水非常敏感, 应针对性地调整提高电力隧道的防水设防等级, 在设计及施工中做好防水、排水措施; 电缆敷设应符合电缆、电缆绝缘及其构造特性对于敷设曲率半径的要求, 因此应先控制电力隧道环境的曲率半径; 高压电缆通常采用内部充油的方式来保证电

缆绝缘,若隧道高差过大,会导致油压过大,电缆保护层爆裂,因此要求控制电力隧道的高差;电力隧道的建设环境一般位于城市的主干道及中心区,因此周边开发强度大。为此,减少和控制周边环境变化有利于电力隧道安全施工,加强电力隧道施工监测具有重要意义。电力隧道按结构形式分为明挖法、顶管法、盾构法隧道三种,从电力隧道的监测项目来看,施工监测方案的内容主要有工作井基坑的施工安全监测和隧道沿线的施工安全监测<sup>[1]</sup>。本文将电力隧道的典型盾构法施工为例,根据电力隧道特点对其隧道沿线施工监测目的和方法进行分析研究。

## 1 监测的目的和范围

### 1.1 监测目的分析

通过对电力隧道施工的监测可以达到如下目的:

1)对隧道施工期间地下水位及其影响范围内的环境变形、被保护对象的变形以及其它与施工有关的项目进行监测,及时和全面地反映其变化情况,判断隧道安全和环境安全,保证隧道开挖安全顺利地进行。

2)通过对监测得到的数据进行反分析及预测,结合警戒值,判断当前隧道及周边建(构)筑物的安全度,预测和评价下一步施工的隧道安全度,通过修正施工参数,对已有施工方案进行优化,达到信息化施工的目的。

3)为设计理论验证提供对比数据,优化设计方案。通过现场监测结果和设计时采用值的比较,验证支护结构的设计,必要时对设计方案或施工过程和方法进行优化。

4)积累工程经验,为提高隧道工程的设计和施工的整体水平提供依据。

### 1.2 监测范围分析

监控量测范围应包括盾构隧道自身和沿线施工环境,对于突发的变形异常情况必须启动应急监测方案。根据电力隧道的特点,电力隧道施工不仅对周边环境有影响,而且施工过程中自身结构也有要求,因此,监测的范围应从周边环境和自身结构要求出发,确定合理的监测项目和范围。对于周边环境而言,主要关注的是邻近建(构)筑物的变形、隧道周边地层变形和地下管线变形方面的监

测;对于电力隧道自身结构要求,主要监测项目有隧道收敛变形(含椭圆度)监测、隧道环纵缝变化监测、衬砌表面应变以及内力监测等,其中第一项为必测项目,其他项可根据工程情况选择测量<sup>[2]</sup>。

## 2 盾构电力隧道施工监测控制标准

### 2.1 对周边环境影响控制标准分析

在盾构电力隧道施工过程中,由于难以避免的超挖、渗水、土层扰动、顶推力的挤压作用等因素,都将引起周围地层和管线变形,并影响地层的稳定性。当变形超过一定数值时,可引起地面坍塌和地层失稳,危及周围管线和建筑物的安全<sup>[3]</sup>。在隧道沿线进行地表变形、管线变形、建筑物及其地基变形或倾斜测量,辅以施工措施和辅助手段将变形控制在变形控制标准范围内,可保证隧道施工的安全。关于隧道施工对周边环境的影响和控制标准,国内有许多学者进行了研究,根据我国以往的工程施工经验、相关规范以及其他学者的研究成果,盾构电力隧道施工对周边环境影响控制标准可总结见表1和表2<sup>[3-6]</sup>,监测中同时采用时态曲线中的变化速率作为允许值的辅助。

表1 盾构电力隧道施工对周边建(构)筑物变形控制标准

Tab. 1 Standard for deformation control of surrounding structures in shield tunnel construction

监测项目	变形特征	最大变形允许值	
建(构)筑物 沉降控制标准	桩基础建(构) 筑物沉降值	10 mm	
	天然地基(构)建(构) 筑物沉降值	30 mm	
管线倾斜、 沉降控制 标准	承插式接头之间的 局部倾斜值	0.0025	
	焊接接头的水管接头 之间的局部倾斜值	0.006	
	焊接接头的煤气管 接头之间的局部倾斜值	0.002, 绝对沉降 不应大于10 mm	
	上述三种管线的 绝对沉降值	30 mm	
地面(道路)沉降 值控制标准	盾构施工掘进引起 的地表沉降值	30 mm	
	盾构施工掘进引起 的地表隆起值	30 mm	
建筑物沉降 差控制标准 (地基变形)	砌体承重结构基础 的局部倾斜	0.002L <sup>①</sup>	
	工民建柱 结构	框架	0.002L <sup>①</sup>
		结构	0.003L <sup>②</sup>
	间沉降差	砖石墙填充 的边排柱	0.007L <sup>①</sup> 0.001L <sup>②</sup>

表 1(续) 盾构电力隧道施工对周边建(构)筑物变形控制标准

Tab. 1(Cont.) Standard for deformation control of surrounding structures in shield tunnel construction

监测项目	变形特征	最大变形允许值
多层和高层 建筑物的基 础倾斜控制 标准	$H \leq 24$ m	0.004
	$24 \text{ m} < H \leq 60$ m	0.003
	$60 \text{ m} < H \leq 100$ m	0.002
	$H > 100$ m	0.0015

注: ①为中低压缩性土; ②为高压压缩性土;  $H$  为建筑物高度(m);  $L$  为柱中心距(m)。

表 2 盾构电力隧道施工对周边地层变形控制标准

Tab. 2 Standard for surrounding stratum deformation control in shield tunnel construction

允许位移控制值 $U_0/\text{mm}$	位移平均速率控制值/ $(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$	位移最大速率控制值/ $(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$
地表沉降	30	1
拱顶沉降	20	1
地表隆起	10	1

## 2.2 盾构电力隧道自身结构要求控制标准分析

对隧道自身结构变形监测的项目比较多, 根据盾构电力隧道工程而言, 可优化选择收敛变形监测、拱顶拱底的沉降变形监测项目。实践证明这样做不但能充分反映出隧道的变形体的变形状态信息而且具有较高的效益<sup>[7]</sup>。隧道管片收敛变形、拱顶拱底的沉降变形控制标准的确定比较复杂, 我国很多学者通过隧道管径、管片内力、管片裂缝控制宽度、监测数据等, 采用理论推导、神经网络、数学分析方法进行了研究<sup>[8-12]</sup>。对于盾构电力隧道, 无相关规范对其控制标准进行说明, 但对于工程施工而言, 因电力隧道大多与地铁隧道类似同处城市密集区, 因此可参考文献[2]中关于地铁隧道衬砌环直径椭圆度允许偏差 $\pm 0.6\% D$ (其中 $D$ 为隧道外径)的标准, 当发现隧道防水效果达不到设计要求必须采取注浆、堵漏等可行的技术措施进行处理, 遵循盾构隧道“以防为主, 以堵为辅, 多道防线, 综合治理的原则”。

## 3 盾构电力隧道施工关键点监测方法和应对措施

### 3.1 对周边环境的影响监测

#### 3.1.1 地表变形和地面建筑物监测

地表沉降可布置多个断面, 位于隧道掌子面上

方及前方, 每个断面拱顶处地表布置一个沉降点, 左右侧间隔 1~5 m 分别布置多个沉降观测点。

邻近隧道的建筑物设置观测点, 采用精密水准仪观测建筑物对于隧道开挖的反应。需要布置的监测点的位置和数量, 应根据建筑物的大小、基础形式、结构特征和地质条件综合确定。一般可先根据以下几个方面考虑:

1) 监测点应布置在建筑物沉降变化比较显著的地方, 并要考虑在隧道施工期间和竣工后, 能顺利进行监测的地方。

2) 在建筑物四周角点、中点及内部承重墙(柱)上均需埋设监测点, 并应沿房屋四周每隔 10~12 m 设置一个监测点。

3) 由于相邻影响的关系, 在高层和低层建筑物、新老建筑物连接处, 以及在相接处的两边都应布设监测点。

4) 在人工加固地基与天然地基交接和基础切深相差悬殊以及在相接处的两边都应该布设监测点。

5) 当基础形式不同时需在情况变化处理设监测点。当地基土质不均匀时, 可压缩性土层的厚度变化不一时需要适当埋设监测点。

6) 当宽度大于 15 m 的建筑物在设置内墙体时, 应设在承重墙上, 并且要尽可能布置在建筑物的纵横轴线上, 监测标志上方应有一定的空间, 以保证测尺直立。

#### 3.1.2 土体深层水平位移(测斜孔)监测点布置

采用测斜仪测试, 选取典型断面测试地层水平位移。地层水平位移的量测包括隧道开挖周围的垂直隧道轴向和平行隧道轴向水平位移。测斜仪宜在隧道开挖前 1 周埋设, 测斜仪的系统精度要求不宜低于 0.25 mm/m, 分辨率不宜低于 0.02 mm/500 mm。

#### 3.1.3 地下水监测点布置

在施工过程中, 通过现场埋设的水位管对隧道掘进过程中测试断面的水位线变化情况进行观测, 目的是分析隧道开挖地层失水固结沉降的机理。水位孔埋设位置在测斜孔附近, 埋设深度与测斜孔一致。水位管宜在隧道开挖前 1 周埋设, 且宜逐日连续观测并取得稳定初始值, 地下水位量测精度不宜低于 10 mm。

各监测断面的纵向距离根据各段隧道的周围地下管线分布情况、水文地质条件等确定; 当隧道沿

线分布有大量重要管线时,为避免钻孔时被人破坏,则可考虑不埋设测斜管和地下水位监测点,全部设置为地面沉降监测点,监测断面纵向距离可适当缩小,对周边环境影响监测可采取表3的施工管理措施,应对施工现场不同的状况。

### 3.2 盾构电力隧道自身结构要求监测

#### 3.2.1 隧道拱顶沉降监测

(1)主要监测盾构拱顶沉降。监测方法用精密水准仪直接量测。测点布置在拱底,沿隧道方向间隔布置;(2)施工管理应对措施:当衬砌管片拱底下沉过大,需要加大监测频率,必要时停工检查原因,采取加设支撑、处理地层等方式保证施工安全。

#### 3.2.2 隧道收敛变形(含椭圆度)监测

(1)主要监测盾构隧道的成型环片的收敛情况,监测方法是用收敛仪直接量测。在量测断面拱顶、拱底和两侧拱腰处理设金属钩,将收敛仪两头固定在断面平面内直径对应的小钩上,读出收敛仪上的读数。管片椭圆度监测是在管片拼装完未出盾尾前进行,仅测垂直、水平两方向;(2)施工管理应对措施:当衬砌管片收敛变形过大,需要加大监测频率,必要时停工检查原因,采取加设支撑、处理地层等方式保证施工安全。

#### 3.2.3 隧道环纵缝变化监测

(1)主要监测盾构隧道的成型环片的纵缝变化情况,监测方法是缝宽用插片量测,错动量用游标卡尺直接量测;(2)施工管理应对措施:当衬砌管

片环缝变化过大,需要加大监测频率,必要时停工检查原因,采取加设支撑、处理地层等方式保证施工安全。

#### 3.2.4 地下水渗漏监测

(1)主要监测盾构隧道的内侧地下水渗漏情况,监测方法是肉眼观测;(2)施工管理应对措施:当地下水渗漏量过大,需要加大监测频率,必要时停工检查原因。

#### 3.2.5 衬砌表面应变以及内力监测

(1)主要监测盾构隧道的成型环片的表面应变和内力,表面应变采用内贴应变片来量测,衬砌结构内力采用预埋钢弦式钢筋应力计来量测。钢筋应力计的埋设,是在管片钢筋笼制作时将钢筋焊接在内外缘的主钢筋上;(2)施工管理应对措施:当衬砌管片表面应变较大或内力较大时,需要加大监测频率,必要时停工检查原因,采取加设支撑、处理地层等方式保证施工安全。

## 4 监测资料的处理和信息反馈

### 4.1 监测数据处理方法

对隧道自身结构和周边环境观测,记录各项作业、时间,记录填写日变化量和累计量的日报表,绘制累计变化量与时间、累计变化量与位置关系散点图。

### 4.2 监测的成果资料及提交

观测数据当天填入规定的记录表格,并及时将相关情况报告给业主、设计、监理及施工单位。挖

表3 对周边环境影响监测管理等级及应对策略

Tab. 3 Management level of environmental impact monitoring and countermeasures

预警等级	状态描述	监测管理	施工状态
黄色预警	实测位移(或沉降)的绝对值和速率值双控指标均达到极限值的70%~80%之间时;或双控指标之一达到极限值的80%~100%之间而另一个指标未达到该值时。	一般的监测管理,监测和施工单位应加密监测频率,加强对地面和建(构)筑物沉降动态的观察,尤其应加强对预警点附近的雨污水管和有压管线的检查和处理。	可正常施工
橙色预警	实测位移(或沉降)的绝对值和速率值双控指标均达到极限值的80%~100%之间时;或双控指标之一达到极限值而另一个指标未达到时;或者双控指标均达到极限值而整体工程尚未出现不稳定迹象时。	重视管理,加强观测、分析原因、增加量测频度、检查量测设备,应继续加强上述监测、观察、检查和处理外,施工单位应根据预警状态的特点进一步完善针对该状态的预警方案。	应加强支护
红色预警	实测位移(或沉降)的绝对值和速率值双控指标均达到极限值;与此同时,还出现下列情况之一时:实测位移(或沉降)速率急剧增长;隧道或基坑支护混凝土表面已出现裂缝,同时裂缝处已开始出现渗流水。	重要管理,加强现状检查、观察、增加量测频度,增加测点,立即向有关单位报警外还应立即采取补强措施。施工单位应采取特殊措施,并经设计、监理、BT指挥部和建设单位分析和认定后,改变施工程序或设计参数,必要时应立即停止开挖,进行施工处理。	应采取特殊措施

土施工开始后, 每周提供掘进一周监测阶段报告, 具体内容包括一周时间内所有监测项目的发展情况, 内力或变形最大值以及最大值位置。监测过程中如测量值大于控制值时, 应及时通知建设、监理、设计及施工等单位以便采取应急补救措施, 主要包括以下内容: 该监测期相应的工程、气象及周边环境概况; 该监测期的监测项目及测点的布置图; 各项监测数据的整理、统计及监测成果的过程曲线; 各监测项目监测值的变化分析、评价及发展预测; 相关的设计和施工建议。监测结束后提交监测报告, 其内容包括工程概况、工程地质条件、遵循的标准文件及技术要求、测试目的与内容、测试仪器及测试方法、资料整理及成果分析、结论及建议等。

### 4.3 危险报警和信息反馈

当出现下列情况之一时, 必须立即报警; 若情况比较严重, 应立即停止施工, 并对结构和周边的保护对象采取应急措施。监测数据达到监测报警值的累计值; 周边土体的位移值突然明显增大或周边出现陷落或较严重的渗漏等; 周边建(构)筑物的结构部分、周边地面出现较为严重的突发裂缝或危害结构的变形裂缝; 周边管线变形突然明显增大或出现裂缝、泄露等。根据当地工程经验判断, 出现其他必须进行危险报警的情况。

## 5 某盾构电力隧道施工监测案例分析

以某盾构电力隧道施工监测施工为例, 进一步分析盾构电力隧道监测目的和方法, 该盾构电力隧道工程穿越一条城市道路, 隧道内径为 3 m, 隧道长度 1 020 m, 监测的目的主要是为满足隧道自身结构控制和道路沉降控制的要求, 测点布置情况见图 1 和图 2 所示。

### 5.1 监测布置和方法

1) 地表沉降共布置 3 个断面, 其中两个断面位于道路两侧, 一个断面位于道路中心线, 每个断面拱顶处地表布置一个沉降点, 左右侧间隔 1~5 m 分别布置 7 个沉降观测点。

2) 采用测斜仪测试, 选取道路中心线处断面测试地层水平位移。地层水平位移的量测包括隧道开挖周围的垂直隧道轴向和平行隧道轴向水平位移。

3) 水位孔埋设位置在测斜孔附近, 埋设深度与测斜孔一致。

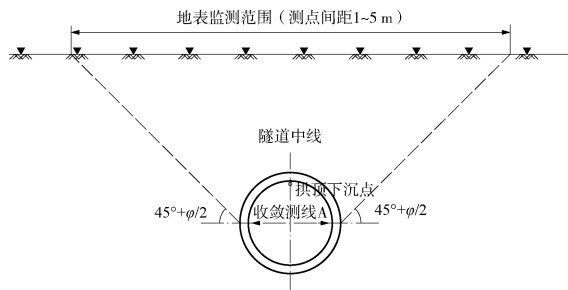


图 1 地表沉降和洞内收敛变形监测剖面布置图

Fig. 1 Monitoring profile layout of surface subsidence and in-hole convergent deformation

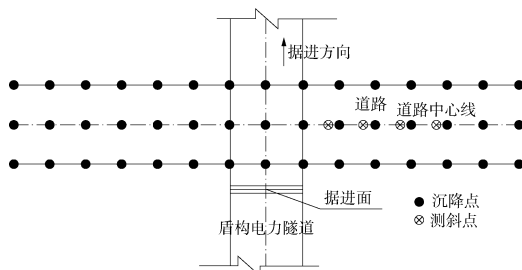


图 2 地表沉降监测平面布置图

Fig. 2 Surface subsidence monitoring plan

4) 拱顶沉降测点布置在拱底, 沿隧道方向 1 断面/10 m (即 5 环) 布置, 可采用精密水准仪、铟钢尺, 钢卷尺观测, 当掘进面至该断面距离小于 20 m 时 2 次/天, 当掘进面至该断面距离小于 50 m 时 1 次/天, 当掘进面至该断面距离大于 50 m 时 1 次/周, 量测精度为  $\pm 0.5$  mm。

5) 采用收敛仪或钢卷尺进行观测, 沿隧道方向 1 断面/30 m (即 15 环) 布置, 当掘进面至该断面距离小于 20 m 时 1~2 次/天, 当掘进面至该断面距离小于 50 m 时 1 次/天, 当掘进面至该断面距离大于 50 m 时 1 次/周, 量测精度为  $\pm 0.5$  mm。

### 5.2 监测数据的处理和反馈

根据隧道各项数值监测结果, 以前述监测资料处理的方法和流程, 并与相对应的控制标准和预警管理对策或措施对比, 及时反馈各给各相关单位, 以便制订相应的应对对策, 调整组织措施, 通过科学的监测实施过程, 该工程得以安全顺利实施。

## 6 结论

1) 根据电力隧道的特点, 分析指出盾构电力隧道监测范围主要在于邻近建筑物的变形、隧道周边地层变形和地下管线变形方面的监测; 隧道收敛变

形(含椭圆度)监测、隧道环纵缝变化监测、衬砌表面应变以及内力监测。

2)根据以往的工程施工经验、相关规范以及其他学者的研究成果,分析得出盾构电力隧道施工队周边建(构)筑物变形控制标准和自身结构要求控制标准。

3)从电力隧道施工特点出发,分析得出盾构电力隧道施工关键点监测方法和应对管理措施。

4)盾构电力隧道监测需注重监测资料的处理和信息反馈,分析指出了监测资料的数据处理方法、成果提交过程和信息反馈策略。

5)以某盾构电力隧道施工监测为例,系统分析和论证了盾构电力隧道施工监测的目的和方法,对其他类似工程有借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 伍振志,杨林德,时蓓玲,等. 裂缝对隧道管片结构耐久性影响及其模糊评价[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(2): 225-228.  
WU Z Z, YANG L D, SHI B L, et al. Study on the influence of crack on the durability of tunnel segments using fuzzy evaluation [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2007, 3(2): 225-228.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 盾构法隧道施工与验收规范: GB 50446—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 梁健伟,房营光,骆桂海,等. 广州麒麟至天河电力隧道顶管施工安全监测[J]. 施工技术, 2008, 37(9): 69-72.  
LIANG J W, FANG Y G, LUO G H, et al. Monitoring of pipe jacking electric power tunnel from Qilin to Tianhe in Guangzhou [J]. Construction Technology, 2008, 37(9): 69-72.
- [4] 段先猛,王勇,孙艳. 浅谈甘家口110 kV电力隧道施工监测[J]. 动力与电气工程, 2011(16): 132-134.  
DUAN X M, WANG Y, SUN Y. Brief discussion on construction monitoring of 110 kV power tunnel in Ganjiakou [J]. Science & Technology Information, 2011(16): 132-134.
- [5] 中华人民共和国建设部. 建筑变形测量规范: JGJ 8—2016 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基基础设计规范: GB 50007—2011 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [7] 潘国荣. 地铁盾构施工中若干测量手段及方法[J]. 测绘通报, 2001(1): 23-25.  
PAN G R. Research on surveying methods in subway construction [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2001(1): 23-25.
- [8] 张良辉,鞠世键. 隧道管片极限变形的确定[J]. 城市轨道交通研究, 1999(3): 38-41.  
ZHANG L H, JU S J. The limit deformation of the R. C. Segment [J]. Urban Mass Transit, 1999(3): 38-41.
- [9] 李玉宝,沈志敏,苏明,等. 地铁盾构隧道收敛和沉降监测数据处理与分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2013, 43(增刊2): 296-301.  
LI Y B, SHEN Z M, SU M, et al. Data processing and analysis for convergent and settlement monitoring in subway shield tunnel [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2013, 43(Supp. 2): 296-301.
- [10] 王文建. 地铁区间盾构管片收敛位移控制标准研究[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(2): 82-86.  
WANG W J. Study of the control standard for shield segment convergence displacement in metro tunnel [J]. Railway Stand and Design, 2015, 59(2): 82-86.
- [11] 姚超凡,晏启祥,何川,等. 盾构隧道内力分析方法的对比研究[J]. 铁道标准设计, 2013(12): 95-99.  
YAO C F, YAN Q X, HE C, et al. Comparative study on internal force analysis methods of shield tunnel [J]. Railway Stand and Design, 2013(12): 95-99.
- [12] 钟小春,朱伟. 盾构衬砌管片土压力反分析研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(10): 1744-1748.  
ZHONG X C, ZHU W. Back analysis of soil pressure acting on shield lining segment [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(10): 1744-1748.

#### 作者简介:



HU X X

胡欣欣(通信作者)

1991-, 男, 广东珠海人, 助理工程师, 广东电网有限责任公司珠海供电局电力电缆工技师, 学士, 主要从事电缆运行管理工作(e-mail)819499653@qq.com。

#### 李迪

1989-, 男, 广东珠海人, 工程师, 广东电网有限责任公司珠海供电局电力电缆技师, 学士, 主要从事电缆运行管理工作(e-mail)195244299@qq.com。

#### 黄嘉明

1990-, 男, 广东珠海人, 助理工程师, 广东电网有限责任公司珠海供电局电力电缆工技师, 学士, 主要从事电缆运行管理工作(e-mail)312583863@qq.com。

#### 叶宇婷

1991-, 女, 广东珠海人, 助理工程师, 广东电网有限责任公司珠海供电局电力电缆高级工, 学士, 主要从事电缆运行管理工作(e-mail)13702324313@163.com。

#### 刘淡冰

1991-, 女, 广东珠海人, 助理工程师, 广东电网有限责任公司珠海供电局电力电缆工技师, 学士, 主要从事电缆运行管理工作(e-mail)877843605@qq.com。

(责任编辑 李辉)