

弘深·科技文库

超近接敏感建筑物地铁区间 与软岩地铁车站初支拱盖法 暗挖施工风险识别与控制

谭芝文 靳晓光 戴亦军 著
李 凯 陈灯强 尚 斌

RISK IDENTIFICATION AND CONTROL OF UNDERGROUND
EXCAVATION CONSTRUCTION WITH PRIMARY SUPPORT ARCH
COVER METHOD IN EXTRA-CLOSE TO SENSITIVE BUILDINGS
SUBWAY SECTION AND SUBWAY STATION IN SOFT ROCK



重庆大学出版社

内容提要

本书内容分为两篇,第一篇为超近接敏感建筑物地铁区间暗挖施工风险识别与控制研究,主要包括依托工程地铁区间隧道超近接敏感建筑物施工风险识别、超近接建筑物变形控制原理、暗挖施工对建筑物影响的室内模型试验、爆破施工对建筑物影响的动力分析和超近接暗挖施工关键技术参数优化等内容;第二篇为软岩地层地铁车站初支拱盖法暗挖施工风险识别与控制研究,主要包括依托工程软岩地层地铁车站初支拱盖法暗挖施工风险分析、初支拱盖法围岩稳定及破坏特征研究、初支拱盖法施工工序优化与拆撑时机研究和软岩地层深埋地铁车站初支拱盖法施工变形基准控制研究等内容。

本书理论联系实际,适用性强,既可作为土木工程专业及相关专业的研究生的学习用书,也可作为土木工程领域的专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

超近接敏感建筑物地铁区间与软岩地铁车站初支拱盖法暗挖施工风险识别与控制 / 谭芝文等著. -- 重庆: 重庆大学出版社, 2022.7

(山地城市建造丛书)

ISBN 978-7-5689-3158-8

I. ①超… II. ①谭… III. ①地下铁道—暗挖法—风险管理 IV. ①U231.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 068529 号

超近接敏感建筑物地铁区间与软岩地铁 车站初支拱盖法暗挖施工风险识别与控制

CHAOJINJIE MINGAN JIANZHUYU DITIE QUJIAN YU RUANYAN DITIE
CHEZHAN CHUZHIFONGGAIFA ANWA SHIGONG FENGXIAN SHIBIE YU KONGZHI

谭芝文 靳晓光 戴亦军 著
李凯 陈灯强 尚斌

策划编辑:王婷

责任编辑:陈力 版式设计:王婷
责任校对:刘志刚 责任印制:赵晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:720mm×1020mm 1/16 印张:11.75 字数:163 千

2022 年 7 月第 1 版 2022 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5689-3158-8 定价:98.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

在山地城市地铁工程的建设过程中,地铁车站或区间隧道超近接既有建筑物施工是一个普遍问题,国内外学者研究也较多,但超近接敏感建筑物爆破施工的研究较少。目前,岩石地层大跨度地铁车站的施工主要采用双侧壁导坑法和传统的拱盖法,虽然有学者对硬岩地层大跨度地铁车站初支拱盖法施工有所研究,但对软岩地层大跨度地铁车站初支拱盖法暗挖施工的研究还较少。

本书在广泛查阅国内外相关领域研究成果的基础上,结合具体工程实例,采用理论分析、物理模型试验、现场试验和数值模拟相结合的方法,对山地城市地铁区间隧道超近接既有敏感建筑物爆破施工与软岩地层大跨度地铁车站初支拱盖法暗挖施工风险识别与控制进行了系统、深入的研究。

本书是在总结提炼作者主持的科研项目研究成果的基础上完成的,同时吸收了其他相关论文、著作中的研究成果,在此表示最诚挚的感谢。在成书过程中,重庆大学杨海清教授、张照秉硕士、张晨阳硕士,中建隧道建设有限公司杜永强、张艳涛、刘灿、邱琼、尹辉、王安民、梁军及中国建筑第五工程局有限公司郑邦友、卢智强、雷军也做了大量的工作,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

著 者
2022 年 4 月

目 录

第 1 篇 超近接敏感建筑物地铁区间暗挖施工风险识别与控制研究	001
第 1 章 超近接敏感建筑物地铁区间暗挖施工风险识别	002
1.1 研究背景及意义	002
1.2 国内外研究现状	004
1.3 研究内容、方法及技术路线	008
1.4 依托工程概况	009
1.5 依托工程风险识别	010
1.6 本章小结	014
第 2 章 超近接建筑物变形控制原理	015
2.1 隧道开挖诱发建筑物损伤模型	016
2.2 基于等效平板法的地表建筑物损伤模型	021
2.3 地表建筑物的安全风险评估体系	023
2.4 本章小结	026
第 3 章 暗挖施工对建筑物影响的室内模型试验研究	027
3.1 试验原理和设备	028
3.2 试验图像处理及结果分析	029

3.3 本章小结 038

第4章 爆破施工对建筑物影响的动力分析 039

4.1 爆破施工对建筑物影响的动力预测模型 040

4.2 预测结果 044

4.3 本章小结 047

第5章 超近接暗挖施工关键技术参数优化 048

5.1 周边眼偏心不耦合装药计算模型 049

5.2 算例分析 052

5.3 本章小结 063

第2篇 软岩地层地铁车站初支拱盖法暗挖施工风险识别与控制研究 065

第6章 研究背景、现状及内容 066

6.1 研究背景及意义 066

6.2 国内外研究现状 068

6.3 研究内容、方法及技术路线 077

6.4 本章小结 079

第7章 依托地铁工程施工风险分析 080

7.1 风险分析理论 080

7.2 红岩村车站工程概况 088

7.3 依托工程风险识别 095

7.4 依托工程风险评估 099

7.5 本章小结	104
第 8 章 初支拱盖法围岩稳定及破坏特征研究	105
8.1 二维分析模型	105
8.2 围岩稳定性分析	108
8.3 围岩破坏模式	113
8.4 本章小结	120
第 9 章 初支拱盖法施工工序优化与拆撑时机研究	121
9.1 三维数值模型	121
9.2 拱部左、右导坑开挖工序优化	123
9.3 临时支撑拆除时机	134
9.4 落底开挖工序优化	137
9.5 本章小结	146
第 10 章 软岩地层深埋地铁车站初支拱盖法施工变形基准控制 研究	147
10.1 位移控制基准	148
10.2 位移基准的确定方法	150
10.3 数值分析有效性验证	157
10.4 位移控制基准确定	160
10.5 本章小结	169
参考文献	171

第 1 篇

**超近接敏感建筑物地铁区间
暗挖施工风险识别与控制研究**

第 1 章 超近接敏感建筑物 地铁区间暗挖施工风险识别

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

我国国土面积辽阔,地势整体呈西高东低,地形多样,其中山区面积占国土总面积的2/3,且主要集中在中西部地区。自 20 世纪 80 年代西部大开发战略实施以来,我国西部地区进行了大量的工程建设,在早期城市建设、公路建设、机场建设中,广泛采用堆填的方法进行场地平整或处理固体废料,从而形成了大面积土石混合体区域。近年来,随着国民经济飞速发展,城市化进程不断加快,城市轨道交通不再仅以满足通勤客流、物资运输为目的,而已经成为城市功能结构与土地利用优化的有力引擎。截至 2021 年底,我国拥有轨道交通的城市已达 50 个,运营总里程约 8 939 km;2021 年新增 9 个城市开通轨道交通,新

增开通线路45条(段),新增运营里程约1363 km。

与此同时,地下公路、地铁、综合管廊等建设项目的广泛兴建也不可避免地带来了一些负面影响。城市地下工程的施工过程必然对周围岩土层产生扰动,导致地表沉降和建筑物的变形。对处于近接的城市隧道而言,施工区域周围的环境较为复杂,建筑物林立、车流量较大,且隧道埋深一般较浅,这对于既有建筑结构和地下工程项目本身造成了安全隐患。

1.1.2 研究意义

地下交通的发展能有效缓解地面交通的压力,但在地下隧道施工过程中,由于城市建筑物较为密集,不可避免会出现隧道下穿近接等重要建筑物的情况。这引起了开挖区域地层的移动,地层位移的影响传递给周围的岩土层,导致发生沉降等地表变形情况,地表的变形传递给建筑物的基础,将给既有邻近建筑物带来安全隐患。

因此在隧道施工前,有必要对施工区域的既有建筑物开展风险辨识与评估,并采取有针对性的风险控制措施。本书以新桥站—高滩岩站区间隧道下穿陆军军医大学等超近接隧道施工为项目依托,针对既有建筑物附近的浅埋暗挖隧道施工问题,分析超近接建筑物变形控制原理,并对邻近建筑物的风险辨识及控制技术进行系统研究,使工程技术人员更容易识别、分析、评估和控制城市暗挖隧道项目的风险因素;并根据暗挖施工对地表建筑物的影响进行室内模型试验研究,以期优化地铁隧道施工爆破参数和施工方案,减小爆破施工对地层以及地表既有结构扰动的影响,保证在地铁隧道建设中的人员安全及结构物的稳定,并且实现经济效益最大化,为类似工程提供借鉴。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 隧道施工的安全风险管理研究

城市化起步较早的发达国家较早便开始了地下交通基础设施建设,积累了丰富的工程经验,并在此基础上较早开始研究隧道施工的安全风险管理。自20世纪70年代以来,风险管理学科发展迅速,层次分析法、敏感性分析法、模糊综合评价法等方法在建筑工程领域得到了广泛应用,在工程项目风险的评价上发挥了积极作用,日益成为工程管理领域不可或缺的一部分。

Sousa 和 Einstein 基于贝叶斯网络,提出了一种系统评估和管理隧道施工相关风险的方法,建立了综合地质预测—施工决策模型,并将其应用到葡萄牙地铁工程的施工中。

Einstein 等将风险分析和决策应用于斜坡设计和隧道掘进等岩土工程应用领域,并针对阿德勒铁路隧道提出了隧道风险分析的方法。

Hyun 等讨论了盾构隧道掘进方法在施工期间发生不良事件的潜在风险,采用故障树分析和层次分析法进行风险分析,同时考虑风险的概率和影响,系统地评估整体风险水平。

陈亮等建立了盾构隧道施工风险数据库,系统归类总结了盾构施工中常见的风险事故、风险源及相应的控制措施,开发风险管理软件,让数据库服务于风险识别、风险评估和决策的各个环节。

侯艳娟等在隧道开挖对建筑物影响研究的基础上,对影响区域范围内的建筑物进行分类整理,并引入了模糊数学综合评判法,用模糊语言评价建筑物的

风险程度。

安永林建立了考虑人员、设备和环境的隧道风险评价模型,以结构物等变形监测为基础,建立风险监测与预警体系。

赵冬安应用模糊故障树分析法,对盾构施工过程中的管片错台、开裂等问题开展分析,并采用基于贝叶斯网络的故障树分析法,分析了地铁车站基坑工程的风险。

黄洪伟系统总结了地铁项目的风险识别与评价方法,构建了项目评价的一级、二级指标,采用网络分析法构建了地铁项目的风险评价模型。

1.2.2 暗挖施工对地表建筑物影响的研究

目前,有关隧道施工影响地表建筑物的研究主要分为两种。第一种是两阶段分析法,第一阶段分析隧道开挖引起地表的沉降与水平变形;第二阶段分析建筑物受地表变形的影响。这种方法计算较为简便,但忽略了建筑物与地表沉降之间的相互关系,即建筑物的存在对地表沉降本身也会造成影响。第二种是整体分析法,将隧道、土层和建筑物视作一个整体进行分析。这种分析方法更加接近实际,但计算较为复杂,适合利用有限元软件进行求解。

Mrouch 等建立了隧道施工的三维有限元模型,分析考虑了隧道施工过程中既有地表建筑物的影响,认为建筑物的自重和刚度对隧道开挖的影响不可忽视。

Cording 等将隧道施工对建筑物的损害分为结构性损害和表观性损害,分析隧道施工对建筑的不同损害程度。

Hergarde 等采用离心模型试验方法研究了隧道施工对端承桩的影响,隧道与既有桩基础水平间距的大小将影响桩基础沉降及其承载力。

Jacobsz 等通过离心模型试验研究了隧道施工引起的桩基(单桩、群桩)作用机理,给出了桩基可能受到影响的区域划分,以及在既有邻近桩基存在下的隧道施工建议。

Chiang 等基于一系列饱和砂土中的离心试验,对隧道与钻孔灌注桩在沙地

中的相互作用进行了深入分析,研究了不同桩长和不同隧道埋深下隧道施工与桩基的相互作用,确定了长桩和中长桩的荷载传递机理。

Morton 等通过室内模型试验研究了软弱土地层中隧道开挖对邻近桩基沉降和承载力的影响,得出了有关土壤膨胀破坏和潜在桩基破坏区(取决于隧道体积损失情况)的结论。

韩雪峰等针对地铁浅埋暗挖隧道施工问题,对地表建筑物的沉降开展分析,并提出了相应的控制措施。

王晖等在分析地表不均匀沉降对建筑物地基和上部结构影响的基础上,分析了不均匀沉降种类及数值对上部结构内力与变形的影响。

上述专家学者针对既有桩基条件下隧道施工引起的地层变形做了大量研究工作,取得了相应的研究成果。以往的模型试验大多是采用预埋监测仪器的方法来对隧道开挖过程中地层的变形沉降进行监测,这在试验过程中就不可避免地会对试验结果造成了一定的干扰。本书通过室内缩尺模型试验模拟,研究城市暗挖隧道分步施工条件下,不同桩基长度对地层变形的影响,将 PIV 技术、激光散斑技术、图像互相关处理技术相结合,实现了模型试验的全场无接触式测量,分析了不同桩基长度下,隧道开挖过程中周围土体内部的移动规律趋势。

1.2.3 爆破施工对邻近建筑物影响的研究

隧道工程中最常采用的掘进工法就是钻爆法,它具有应用成熟、快捷、经济的优点。但是,爆破会产生震动效应,将对爆破点邻近环境造成一定的安全影响。尤其是遇到地表建筑分布密集、结构类型复杂的城区隧道工程,会严重影响施工进度。据此,分析爆破施工作业下建筑物振动响应规律具有重要的实际意义。从 20 世纪 20 年代起,海内外学者就开展了相关研究,具体如下所述。

ZHOU 认为评价结构破坏的最好标准是选用质点的振动加速度值,其深入研究了质点振速与动态拉应力的关系后,利用衬砌材料的动态拉应力破坏准则提出了动态拉应力判据。

祝文化针对爆区附近存有厂房结构建筑物的实际工况,对厂房进行了非线性时程分析。研究表明:建筑物上质点建筑物的高度对质点振动强度和质点振动位移有显著的放大效应,并且质点振动强度的放大效应要比质点振动位移的放大效应强,同时给出了由高度差产生的高程放大系数。

田运生运用反应谱理论,给出了邻近爆区民房的房屋剪力和爆破水平地震力的计算公式。

高富强对四层建筑物进行了不同震动强度、主频的动力响应特性分析,得到了爆破地震波的主频和结构的固有频率相差越小,结构的振动幅值就会越大的结构。

吴德伦归纳总结了海内外爆破振动强度和安全振动速度的研究结果,建议性地给出了相关的爆破振动安全速度控制值。

陈士海等从爆破地震波三要素的角度,对一个典型的二层两跨砌体结构进行损伤和动力响应的研究,证明了结构在高阶振动模态对应的频率中存在一个危险的频率段。

罗忆归纳总结了爆破振动破坏机理的进展与研究现状,并与国外相关的控制标准进行了对比分析,列出了以前爆破振动破坏理论中的不足之处和当前爆破振动控制标准中存在的一些问题。

陈顺禄采用有限元的方法分析了爆破地震波作用下一个七层七跨带门窗结构的钢筋混凝土建筑物模型的动态响应和损坏效应问题。

刘耀民采用测定井巷爆破掘进后围岩应力重新分布形成松弛圈的松弛范围的方法来判断围岩稳定性,评价爆破效果,为支护设计提供依据。

李岚总结了隧道的普遍危害,采用数据融合的理论进行了隧道检测技术的选择方案研究,提出了数据融合模型,增强了发现和处理病害的能力。

李晓杰采用检测声波的方法测量了爆破前后岩石中声波参数的改变,不仅可由检测结果来间接地分析岩体内部结构变化程度,而且能够对爆破前后岩体的变化状态做出定量判断。

林从谋依据浅埋隧道爆破施工作业的实测数据分析了爆破地震波的振动频谱及能量分布特征,拟合出了振动强度在花岗岩中的传播衰减规律。

孙正华等在评估南京地铁二号线爆破施工作业下地表文物的振动响应时,引用南京地铁实际工程,介绍了振动监测技术、测点布置等有关问题。

1.3 研究内容、方法及技术路线

1.3.1 研究内容

①依据新桥站—高滩岩站(以下简称“新一高”)区间隧道下穿陆军军医大学等超近接地铁区间隧道为项目依托对暗挖施工风险区进行识别,对各关键风险点进行风险等级评定划分。

②对超近接建筑物变形控制原理进行研究,从微观向宏观递进的角度去研究城市地下隧道开挖对邻近地表建筑物产生的影响。

③通过室内缩尺模型试验模拟,研究城市暗挖隧道分步施工条件下,不同桩基长度对地层变形的影响,将 PIV 技术、激光散斑技术、图像互相关处理技术相结合,实现了模型试验的全场无接触式测量,分析了不同桩基长度下,隧道开挖过程中周围土体内部的移动规律。

④根据 GA、PSO、ICA、ABC 和 FA 优化技术中最有影响的参数,建立了多种基于混合神经网络的预测模型,并提出了 5 种基于混合神经网络的预测模型,针对爆破施工对建筑物影响进行动力分析。

⑤建立周边眼偏心不耦合装药计算模型并对其进行分析,完成暗挖施工关键技术参数的优化。

1.3.2 技术路线

本书以重庆市轨道交通新一高区间隧道超近接下穿陆军军医大学为项目依托,针对既有建筑物附近的浅埋暗挖隧道施工问题,分析超近接建筑物变形控制原理,并对邻近建筑物的风险辨识及控制技术进行了系统研究,使工程技术人员更容易识别、分析、评估和控制城市暗挖隧道项目的风险因素;根据暗挖施工对地表建筑物的影响,进行了室内模型试验研究,建立了多种基于混合神经网络的预测模型,并提出了5种基于混合神经网络的预测模型,对爆破施工对建筑物影响进行了动力分析,进而对暗挖施工关键技术参数进行优化。

1.4 依托工程概况

重庆轨道交通九号线一期(高滩岩—兴科大道)工程新桥站—高滩岩站区间位于重庆市沙坪坝区,线路从新桥站引出,往东北方向先后穿越内环快速路、高滩岩河沟、西南医院家属区后,到达高滩岩车站。区间右线起讫里程 YDK0+233.217~YDK1+910.014,右线全长1 676.797 m,区间左线起讫里程 ZDK0+233.217~ZDK1+910.014,左线全长1 663.111 m。区间采用钻爆法施工(部分范围非爆),小里程端车站为新桥站,大里程端车站为高滩岩站,均采用暗挖法施工。受线路纵坡和地形起伏影响,本区间埋深变化较大。

本区间地面建(构)筑物较多,区间先后有沙坪坝区福利院、第三军医大学警勤汽车队、西南医院家属区等建(构)筑物。

1.5 依托工程风险识别

重庆轨道交通九号线一期工程高滩岩一天梨路站区间(高一天区间)、新桥站—高滩岩站区间(新一高区间)穿越很多建构筑物,埋深较浅,采用钻爆法施工。

①下穿陆军军医大学是本工程的难点。高一天区间上覆建筑物有陆军军医大学学生食堂、学生公寓、门诊部及军械库等重要设施,涉及军方设施,对接协调难度大,沉降控制及施工影响控制要求高,具体见表 1.1。

表 1.1 沿线下穿陆军军医大学重要建筑简况一览表

建筑名称	位置	层数	地下室层数	室内(地下室)地坪标高/m	基底标高/m	基础形式	基底至顶中风化岩石厚度/m(最小垂距)
双拥大道人防工程	YDK0+687~YDK0+700	—	-1	272.75	270	独立柱基	22.9
陆军军医大学安居工程70栋	YDK0+721~YDK0+735	9	—	283.40	277~280	桩基	29.9
陆军军医大学安居工程71栋	YDK0+749~YDK0+762	8	—	287.80	286	扩展基础	30.7
陆军军医大学安居工程73栋	YDK0+784~YDK0+795	8	—	288.60	284~285	条基	32.5
名京雅苑	YDK0+810~YDK0+845	19	-1	277.78	274~275	独基	28.6

续表

建筑名称	位置	层数	地下室 层数	室内 (地下室) 地坪标高/m	基底 标高/m	基础 形式	基底至 顶中风化 岩石厚度/m (最小垂距)
职工干休所 附属新建 工程	YDK0+839~ YDK0+894	3	—	292.43	285~286	独基	40.5
陆军军医大 学118宿舍	YDK0+906~ YDK0+916	6	—	289.37	284~286	桩基	37.2
陆军军医大 学117宿舍	YDK0+934~ YDK0+941	6	—	289.37	277~283	桩基	36.9
陆军军医大 学112宿舍	YDK0+956~ YDK0+980	10	—	280.52	275~277	条基	29.9
陆军军医大 学99宿舍	YDK0+985~ YDK1+007	12	—	293.60	284~288	桩基	42.6
陆军军医大 学102宿舍	YDK1+045~ YDK1+059	18	1	287.70	274~279	桩基	35.1
陆军军医大 学101宿舍	ZDK1+042~ ZDK1+055	18	1	287.70	275~279	桩基	36.1

②新一高区间隧道上方为高滩岩正街,人、车流量大,老旧建筑物密集,因此控制地表沉降,做好地面建筑物的保护及噪声控制工作为本工程施工的重点。

③新一高区间下穿重庆斯凯加气站、襄渝铁路小梨线路基、内环快速路路基和高滩岩加油站等建(构)筑物,埋深20~38.7m。

④新一高区间下穿高滩岩河沟,该段地质为砂岩与砂质泥岩互层,围岩等级为Ⅳ级,距离沟心最小距离为9.5m,中风化岩层厚度最小为2.7m,为浅埋隧道。