



蒋树屏 王福敏 唐树名 罗 斌◎主编

岩土锚固技术

研究与工程应用

Yantu Maogu Jishu
Yanjiu Yu Gongcheng Yingyong



人民交通出版社
China Communications Press

Yantu Maogu Jishu Yanjiu Yu Gongcheng Yingyong
岩土锚固技术研究与工程应用

蒋树屏 王福敏 唐树名 罗 斌 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为中国岩土锚固工程协会第十九次全国岩土锚固工程学术研讨会论文集,共编录论文 84 篇。内容包括岩土锚固技术专题综述、理论与工程测试、工程设计与施工技术、边坡加固与滑坡治理、深基坑支护与基础工程、隧道与地下工程、施工机具与工程材料等。本书既反映了近年来我国科技人员就岩土锚固技术在工程应用中提出的一些热点难点问题,开展科学研究和技术攻关所取得的新成果,又吸纳了一批大型岩土锚固工程实例及其成功的新经验,内容丰富,实用性强。

本书可供水利、水电、公路、铁路、市政、城建、地矿、军工等部门从事岩土锚固工程科研、教学、工程设计与施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土锚固技术研究与工程应用/蒋树屏等主编.——
北京:人民交通出版社,2010.9
ISBN 978-7-114-08652-6

I. ①岩… II. ①蒋… III. ① 岩土工程—锚固 IV.
① TU753.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第173089号

书 名: 岩土锚固技术研究与工程应用

著 作 者: 蒋树屏 王福敏 唐树名 罗 斌

责任编辑: 吴有铭 田克运

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969、59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市凯鑫彩色印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 32.5

字 数: 811千

版 次: 2010年9月 第1版

印 次: 2010年9月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08652-6

印 数: 0001—2000册

定 价: 98.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《岩土锚固技术研究与工程应用》

编审委员会

主任委员:徐桢祥

委 员:(按姓氏笔画排列)

刘玉堂	刘成洲	朱本珍	闫莫明
何 伟	陈 谦	李成江	李志谦
李 虹	李鸿芳	李象范	苏自约
杨 松	杨俊志	张 雁	胡时友
贺长俊	陶 义	韩学广	萧 岩
梅志荣			

主 编:蒋树屏 王福敏 唐树名 罗 斌

序 言

第十九次全国岩土锚固工程学术研讨会 2010 年 10 月在重庆召开。

本次研讨会共收到应征论文 89 篇,经编审委员会的审阅,共有 84 篇论文被选入本论文集。本次入选论文的特点是:以实际工程为背景,并在掌握近年研发的岩土锚固技术或新机具设备的基础上,通过现场监控或理论分析,对工法、工程安全以及设计理念进行了比较深入的研究和论述。通过对每一篇论文的细细品读,我们获得了不少的新技术信息和有益的启迪,并引发我们思考以下若干问题:其一是,自中国岩土锚固工程协会第十七次、第十八次研讨会到今天的第十九次研讨会,大家围绕地震对于高边坡稳定性的影响和锚固抗震效果,进行了较深入的讨论。这种讨论,今后一个时期对于我国广大山区中的工程建设以及面临地震活动期的高边坡安全问题是十分必要的。其二是,针对我国目前 26 座大中城市已经建成或正在建设的地铁工程、另有 17 座城市正在进行规划申报的形势,本次有 10 余篇论文论述了地铁施工中的关键技术和安全控制问题的研究现状。这类研究对于日趋严重的城市交通拥挤问题,以及由于地铁工程蜂拥而上而又面临着各种复杂的地层地质风险和施工安全风险问题,都能提供一些借鉴和经验。其三是,我国在经历了 30~40 年岩土锚固工程的实践,对于各种不同类型和特性的锚杆、锚索以及岩土锚固的机理有了比较深刻的了解,其中也必然存在不同的认识 and 理念。这些不同认识和看法在历次研讨会上都有过学术性的讨论,本次的若干论文中也有所反映。学术讨论,乃至争论都是正常的,它对于某种学术水平的提高是有积极意义的。今后,协会应该坚持在每次学术研讨会上进行积极的学术讨论,从而达到提高岩土工程技术和锚固技术水平的目的。其四是,为每次研讨会撰写论文的作者,无不是在百忙的工作中挤出时间来亲自写就的,这一点特别令我感动!比如论文集中有不少关于大型水电站高边坡稳定问题的论述、有关于我国目前最长的输水隧洞施工及喷锚技术的论述、有关于城市地铁穿越工程和矿山支护工程中的关键技术及安全系统问题的论述、有关于岩锚设计理论及自动化监测和地质超前预报问题的论述、有的论文传递了许多施工工法的创新应用和新型钻锚机具研制方面的信息,等等。我们要感谢每一位论文作者的辛勤劳动,大家所提供的所有选题到位、内容丰富、简明实用的论文是每次学术研讨会成功的基础!

祝愿第十九次全国岩土锚固工程学术研讨会圆满成功!

中国岩土锚固工程协会 理事长

徐祯祥

2010 年 10 月

目录

一 专题综述

地铁穿越工程中位移监测与安全分析·····	徐祯祥	钟巧荣(3)			
震区复杂地层锚索支护技术的研究与探索·····	杨俊志	冯杨文	陈修星(12)		
锚杆锚固工程质量检测技术现状与展望·····	高文新	刘永勤	成国文(18)		
屈服锚索的抗震作用·····			刘玉堂(22)		
全长粘结预应力锚索长期运行效果研究·····	任爱武	陈祖煜	汪小刚	汪彦枢	姜昭群(27)
锚杆锚固段设计的新理念及合理锚固长度的研究·····	冯申铎	付文光	姜晓光(36)		
我国煤巷锚杆支护产品的应用及发展趋势·····			王继勇(44)		
树脂锚杆标准(MT 146)述评·····			丁全录(49)		
岩土锚固技术新发展·····	程良奎	胡建林	张培文(54)		

二 理论研究与工程测试

预应力锚索地梁弯矩的变形梁法及现场测试分析					刘涌江(61)
预应力锚索支护参数优化研究及在金川二矿区的应用	高 谦	杨志强			王正辉(68)
锦屏一级水电站地下厂房系统锚索监测分析	王启睿	邓建辉			张福明(75)
非腐蚀地层中用作永久支护的全长粘结预应力锚索					刘玉堂(82)
关于拉力型锚杆剪应力分布规律的讨论	林雪辉	夏柏如			赵 体(86)
磁致伸缩导波在锚杆检测中的初步研究 ...	林俊明	周昌智	李 松	沈建中	王 弼(91)
锚索预应力实时遥测系统在地质灾害中的应用	姜昭群	郭启锋	胡时友		房 勇(98)
内支撑结构深基坑监测与分析			杨雪林		周颖军(104)
一种测量井壁二维变形方法的研究					刘亮平(111)
自动化监测及信息管理系统的设计与开发	高爱林	吴 昊			赵 敏(115)
地下结构应力检测误差的产生和消除		萧 岩			刘 勇(121)
巴贡水电站预应力锚杆现场试验	王泰恒	宋怀德	李 毅		黄志雄(126)
地震作用下拉力型集中型锚索索体轴力动力响应的数值模拟分析	孟 芹	孙祺华	罗 斌		谭万波(131)
某地铁基坑工程土层锚杆拉拔试验分析	刘继尧	张建锋	丁振明		赵智涛(138)
基于孔底预埋反射装置的锚索质量检测与安全监测技术	唐树名	罗 斌			饶袅宇(143)
预应力锚索锚下预应力检测技术	罗 斌	黄庆龙	唐树名		饶袅宇(147)
单束中置校验法在现场张拉机具配套标定试验中的应用	尹 衡	陈雁鸿			赵海兵(151)

锚索测力计安装技术及测量误差的预防..... 谭 斌 侯新华(156)

Flac 3D 的 Cable 单元模拟锚杆拉拔试验中锚杆的位移变化初探
..... 杨三资 刘 军 邹 彪 张建峰 刘继尧(162)

AS-10 预应力张拉监控系统及其应用 廖 强 罗 斌(169)

三 工程设计与施工技术

锚固设计的关键机理路径分析法及实例分析..... 高 谦 余伟健 姚维信(177)

预应力锚索主要参数设计方法..... 闫莫明(183)

新建混凝土坝采用基础锚固的设计原则简介..... 吴 浩 朱 玲(187)

边坡支护结构形式选择及其多因素分析..... 林金福 张 杰 徐国民(192)

糯扎渡电站地下厂房系统工程钢锚墩的优化设计及应用..... 李伟泉(202)

浅谈压力分散型锚索的设计与施工..... 戴立涛 曾力娟(207)

金川Ⅲ矿区主井工程返修加固设计与稳定性分析
..... 高 谦 杨志强 翟淑花 靳学奇(211)

某水库库区人行悬索桥锚碇设计研究与实践..... 李小榜 徐祥昆 汤永福 万 军(219)

锚索施工中破碎岩层的灌浆问题..... 王启睿 张福明 邓建辉 曾宪明(224)

三重管法高压旋喷技术在某水库坝肩
渗漏处理工程中的应用..... 刘文勇 周 永 杨智荣(230)

填充型环氧涂层钢绞线张拉工艺探讨..... 金 平(235)

复杂地层预应力锚索施工关键技术探讨
..... 杜甫志 吴旭君 骆永生 郑 平 赵 伟(241)

预应力锚索张拉伸长值偏差原因分析与处理方法..... 张晓军 唐 海(247)

浅谈锚固工程中预应力损失影响因素及处治方法
..... 孙祺华 孟 芹 罗 斌 韩志永(252)

控制锚索孔口段稳定改善外锚墩基础承载能力优化方案介绍
..... 尹 衡 赵海兵 黄邹涛(257)

四 边坡加固与滑坡治理

锚固边坡稳定性计算及设计方法综述..... 严秋荣 唐树名(263)

岩土锚固在边坡加固设计中的应用研究..... 韩春云 张宝成(266)

地震力作用下锚固边坡可靠度风险分析..... 夏 雄 周德培(270)

黄河拉西瓦水电站泄洪消能及雾化影响区两岸高边坡防护处理设计
..... 侯延华 安永奇 张友科 杜生宗 王亚娥(274)

长河坝水电站高边坡锚索造孔工艺研究与实践..... 赵海兵 黄邹涛 尹 衡(283)

特殊加固技术在边坡病害挡土构筑物治理工程中的应用..... 蔡 立 何 伟(286)

锚固技术在芒里水电站右岸高边坡治理中的应用
..... 贺东平 汤永福 余胜兵 李小榜(290)

高填方区水平向预应力管式锚索初探..... 林金福 张 杰 徐国民(294)

自由式单孔多锚头预应力锚索在水电站厂房高边坡的应用

.....	刘六艺	陈东升	胡传安	万应录(299)
系统锚杆与预应力锚杆结合进行边坡治理的工程实践.....				陈克刚(305)
预应力对穿锚索在电塔边坡加固工程中的应用.....			林明博	王贤能(310)

五 深基坑支护与基础

紧邻高层建筑条件下深基坑桩锚支护设计与施工.....	张启军	杨 岗	赵春亭(317)
明盖挖结合法修建地铁车站支撑体系研究.....	黄明利	李 化	王文正
深基坑中可回收式锚索施工应用技术.....	陈学君	王保贵	李文涛
失稳边坡的险情原因分析与治理.....			张胜民
压力型预应力抗浮锚杆逆作施工技术及其在承压水地层中的应用.....		杨宝森	柳建国(344)
基坑施工中渗漏事故的分析与处理.....			刘烈波(353)
城区岩石基坑的支护设计与施工.....	张启军	李 斌	蒋成军(355)
运用 ANSYS 对悬臂式支护结构基坑位移的多因素影响性分析.....		杨泰华	俞 晓(364)
预应力锚杆与土钉联合支护应用研究.....	郑知斌	邹 阳	刘继尧
后弹开回转型可回收扩大头锚杆的研究与应用			赵智涛
.....	王立明	顾敏琦	张 雷
多因素多变量灰色系统模型在深基坑围护结构变形预测中的应用研究			王亦斌
.....		苏本领	周建明(373)
.....		武 恒	李兆平(379)
佛山市顺德区软弱土层的基坑监测分析.....	路 啸	黄明利	宁文光(387)
深基坑中刚性和柔性支护的综合运用.....		熊 柯	白玉成(392)

六 隧道与地下工程

特长输水隧洞开敞式 TBM 施工与锚喷支护技术应用.....	梅志荣	张军伟(401)
预应力锚索框架及小导管注浆在隧道病害处治中的应用.....	柴柏龙	雷爱新(411)
高速铁路隧道穿越断层破碎带加固方法的数值模拟		
.....	马伟斌	蔡德钧
.....	张千里	史存林
.....	王仲锦	洛文海(416)
影响隧道地质超前预报准确的因素探讨.....		崔玉萍(423)
地铁浅埋暗挖隧道近距离下穿燃气管线施工技术研究.....	崔晓青	高西洋
城市近接隧道施工的风险分析与监测		尹鹏涛(428)
.....	李东海	丁振明
.....	崔晓青	牛晓凯
.....	郑知斌	李冬冬(434)
巷道工程全耦合支护设计理论与应用研究.....	余伟健	高 谦(440)
阳泉三矿 K8103 工作面回风巷破坏的原因与防治.....		刘福军(447)
砂卵石地层盾构过河沉降控制技术研究.....	万小飞	李汉青(452)
水平旋喷注浆法在深圳地铁 5 号线的应用.....	张宏伟	黄明利(459)
采用洞桩法施工地铁车站的导洞开挖方案研究.....	丁文娟	李兆平(464)
静压灌浆工法在第三系泥灰岩膨胀软质岩石地区防渗止水的探讨.....		朱永平(473)
地铁施工中不同施工工艺对地表及构筑物沉降的影响分析		
.....	曾新霞	吴宝玲
.....	李晓元(478)	
盾构始发与到达端头加固范围研究.....	江玉生	江 华
.....	杨志勇	栾文伟(485)

七 施工机具与工程材料

GY 型一次注浆后张拉预应力锚杆的研制	吴德兴 王 勇 周 彪(495)
YGL-100 多功能全液压履带工程钻机在高压喷射扩大头锚杆工程中的应用	罗 强 曾庆义 杨昌亚(500)



专题综述

地铁穿越工程中位移监测与安全分析

徐祯祥¹ 钟巧荣^{2,3}

(1. 中国铁道科学研究院 2. 北京城建设计研究总院 3. 北京安捷工程咨询有限公司)

摘 要 城市地铁在暗挖施工中通常会造成地层的沉降变形；当地铁上穿或下穿地下既有结构物或其他构筑物时在地层中造成上浮或下沉变形从而对既有建（构）筑物的稳定性造成威胁；当地铁采用明挖法施工时，又会造成邻近建筑物的变形，在失控的情况下可能酿成最终失稳等等。本文在研究和统计了某城市地铁施工中地表沉降数据的基础上，针对上述现象进行了测试力学分析，并提出了目前在北京地铁施工中常用的控制标准和必要的施工对策。

关键词 地层变形 位移监测 测试力学分析 控制标准

1 前言

目前在城市地铁施工中经常采用浅埋暗挖法（矿山法之一种）、盾构法、明挖法和盖挖法等。不论用哪一种工法进行施工，均会造成地层的变形和位移，特别是当地铁施工必须穿越各类建（构）筑物的工况下，其变形和位移值有可能很大。上述变形的状况及变形速率取决于不同的地层岩土力学特性、不同的工法、不同的环境条件以及不同的施工水平等因素。例如在浅埋暗挖法施工中，地表会产生沉降变形，其沉降形状通常为一个锅底形的沉降槽；又如盾构法的正常施工中也会产生类似沉降槽，当盾构推进过快或顶推力过大时，则其正前方的地表会产生隆起；而在明挖基坑中，如果支护不及时或支撑力不够，基坑侧墙由于剪切作用会造成失稳破坏。上述变形现象对于大城市中地铁周边环境（包括邻近建筑物和地下管线等）的安全是一大威胁，目前已有不少工程事故的实例证明了这一问题的严重性。用测试力学方法结合现场量测的方法对地层变形进行分析研究并有针对性地提出参考性控制标准和施工对策，是解决这一问题的重要途径之一。

2 地铁穿越工程中地层变形的力学特征及其测试

2.1 地铁隧道下穿既有隧道结构物时的力学状态

当隧道施工从既有隧道下方通过（垂直通过或斜交通过）时，由于新建隧道对其上方土体的扰动，并随着新建隧道的下沉，上方土体也随之下沉，这种下沉传递给既有结构使之产生弯沉，如图 1 所示。如果既有结构是运营的地铁隧道，在变形的影响下隧道往往会产生结构环形裂缝、变形缝开裂、道床和轨道不均匀沉降等病害。这类病害将直接影响地铁列车的运行安全。

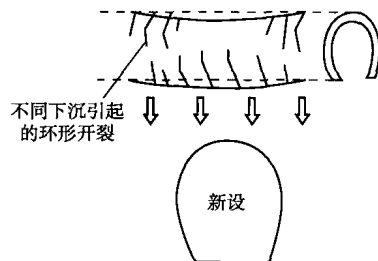


图 1 地铁隧道从既有隧道下方穿越

北京地铁某线区间隧道下穿既有地下车站南端的盾构区间隧道共约 35m，二者竖向净距约 2.0m。其位置关系和监测点布置如图 2 所示。

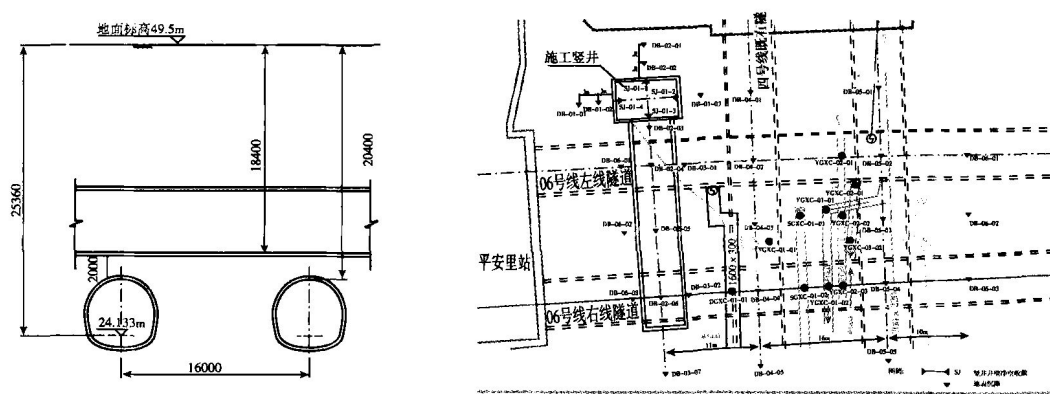


图 2 下穿既有线的位置关系图和监测点布置图（尺寸单位：mm）

1) 既有结构上方地表沉降分析（“-”值地表下沉、“+”值地表隆起）

从既有线结构上方地表沉降断面的沉降曲线图分析（图 3）：

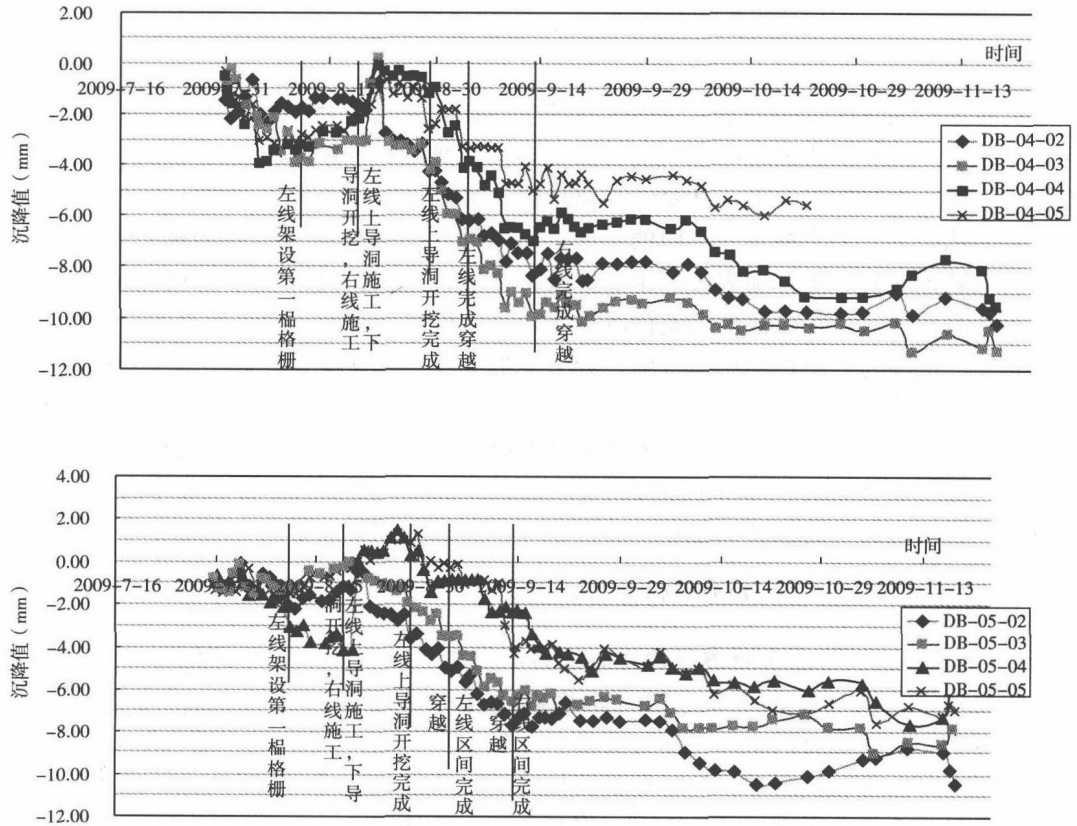


图 3 既有线上方地表沉降点时程曲线图

(1) 下穿施工中，既有线上方地表产生沉降，最大值为 11mm 左右。没有超过控制值，

说明沉降控制合格。

(2) 当左线上导洞施工完成时采取背后注浆对地面有一定的抬升作用。

(3) 左线下导洞开挖对地面沉降影响显著。右线施工引起大的地表变形，开挖完成后趋于稳定。

(4) 在左线的中心位置和左右隧道中间的地表沉降大 (DB-04-02 和 DB-04-03 及 DB-05-02 和 DB-05-03)，说明左线隧道先施工的影响范围，及双线隧道施工对变形的累加影响。

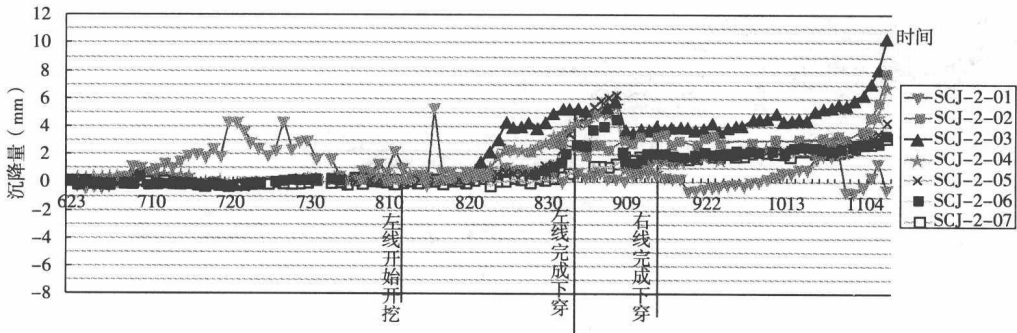
2) 既有线隧道结构变形分析 (“-” 值边墙隆起、“+” 值边墙沉降)

从既有结构沉降时程曲线图看出：

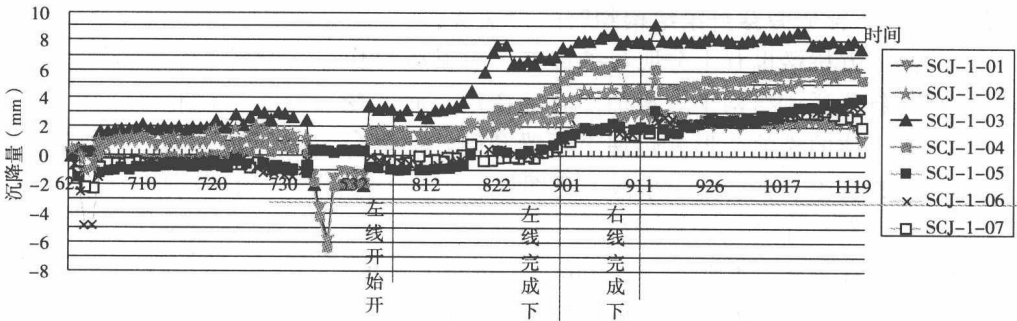
(1) 边墙沉降量小于 8mm，不超过控制值 10mm，说明沉降控制合格。

(2) 右线导洞开始开挖后边墙沉降明显，下行线在后期边墙沉降有扩大趋势，所以应采取控制措施控制工后结构沉降。

3) 既有线道床结构下沉及道床纵向变化分析 (“-” 值道床隆起、“+” 值道床沉降) (见图 4)



a) 上行线边墙沉降



b) 下行线边墙沉降

图 4 既有线隧道结构 (边墙) 变形时程曲线图

从道床结构变形曲线图看出：

(1) 道床沉降量小于 8mm，不超过控制值 10mm，说明沉降控制合格。

(2) 左线开始下穿后道床沉降明显，右线完成下穿后道床沉降明显趋于平缓。

(3) 道床差异沉降在 0.5mm 内，道床纵向变化率为 1/5000~1/8000，在控制值 1/2500 范围内。

从穿越既线的地表沉降和结构及道床沉降知，在采用有效的超前支护措施后，地表沉降很小，上方土体随着开挖而下沉，这种下沉传递给既有结构使之产生弯沉（图 5）。

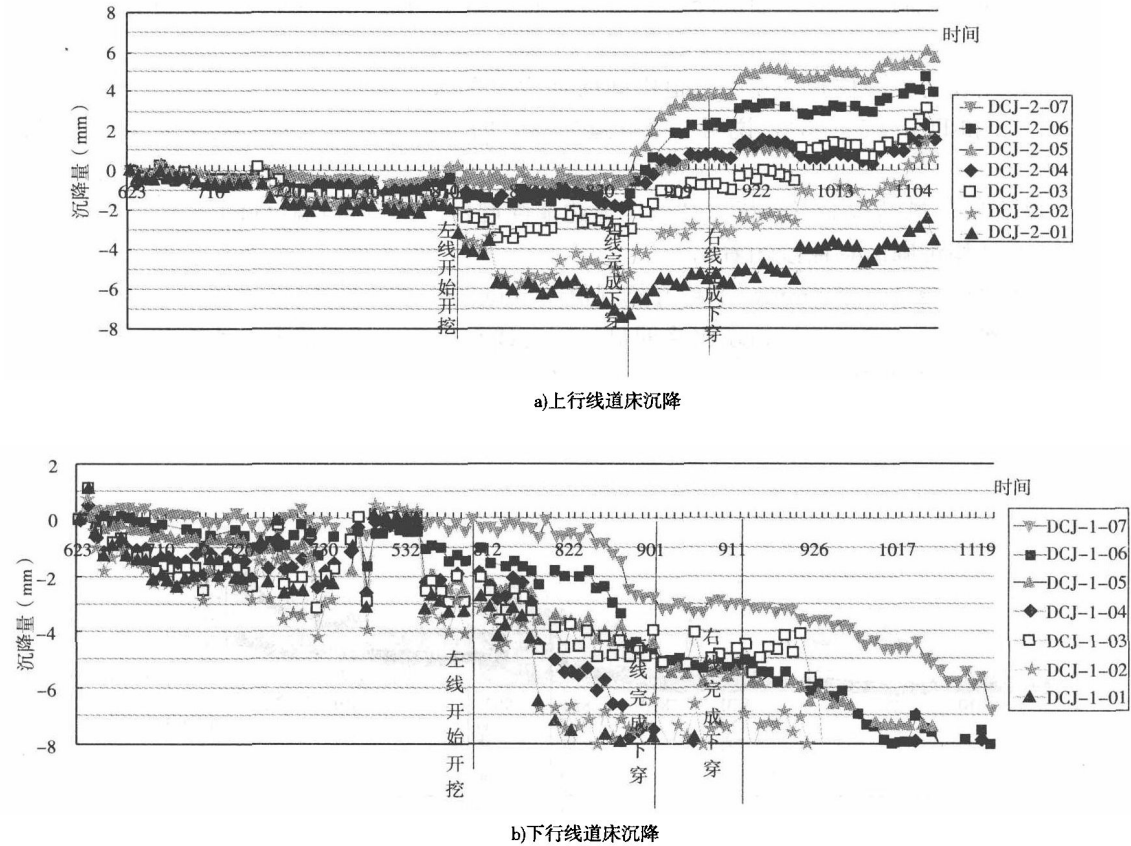


图 5 既有线道床结构变形曲线图

2.2 地铁隧道下穿或旁穿桥梁结构物时的力学状态

隧道开挖对其上方桥梁也有十分明显的影响。桥梁墩台作为附加荷载作用在新建隧道结构上，增加了它的变形，而其变形又必然造成上方土体的松弛变形并传递至桥梁基础，使墩台沉降，严重时会让其发生裂损和安全事故，见图 6。

某盾构区间自西向东穿越一人行天桥，天桥建于 2003 年，天桥上部结构为钢箱连续梁，基础为 2500mm×1700mm 承台，下有 $\phi 1200\text{mm}$ 桩基础。隧道从天桥南端桥桩中间穿过。左线结构外皮距天桥桥桩 0.90～2.29m。桥桩底低于隧道底 0.44m。区间与桥桩的位置关系及监测点布置如图 7。

1) 地表沉降分析（“—”值地表下沉、“+”值地表隆起）

从桥桩 QCJ-01-08 旁边的地表点 DB-01-05 和 QCJ-01-01 旁边的地表点 DB-02-10 沉降图中可以看出：

(1) 右线盾构穿过时地表隆起，其后逐渐下沉。后续左线盾构通过时，先隆起后急剧下沉。

(2) 盾构区间左线盾构进入人行天桥正下方，上方地表及人行天桥沉降速率变化较大，

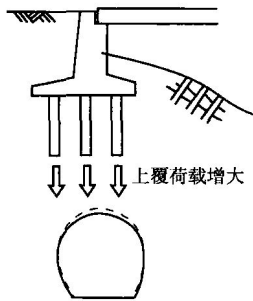


图 6 开挖对上方桥梁的变形影响

地表多个测点日变形速率连续 3d 均在 5~8mm。主要原因是右线开挖后，上方地层受到扰动，还未稳定，左线继续开挖后引起地层的再次扰动，导致沉降速率增大。

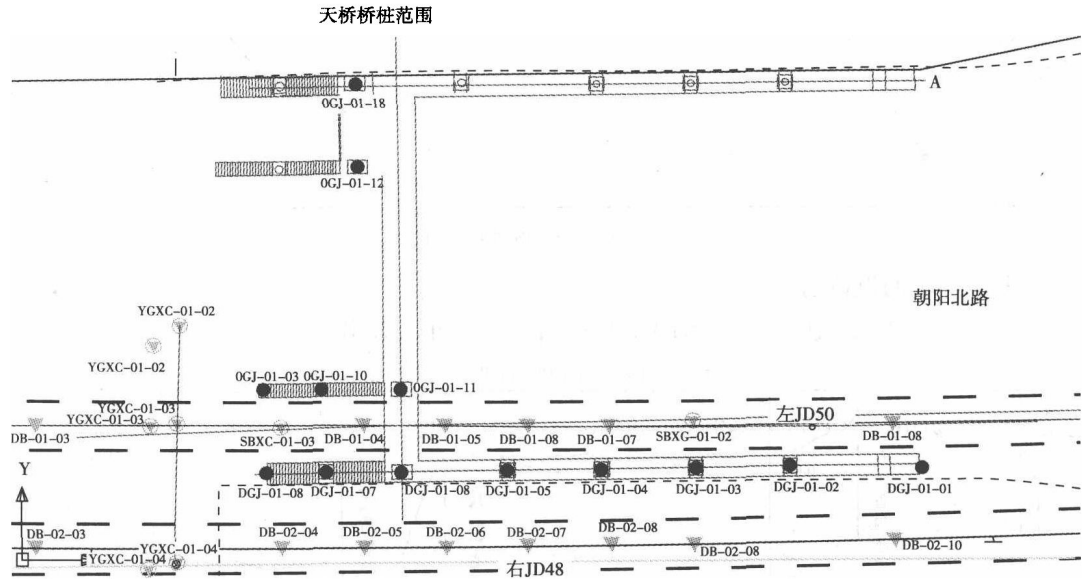


图 7 区间与桥桩的位置关系及监测点布置图

(3) DB-01-05 点在 5 月 5 日~5 月 9 日沉降速率很大，DB-02-10 点在 5 月 13 日~5 月 19 日沉降速率很大，左线通过该点时，同步注浆量偏少，不足 2m³，且采用单液浆，凝固时间长，最大沉降速率达 9.25mm/d，根据测试数据，及时采取施工措施，目前变形已基本稳定。

(4) DB-02-10 点和 DB-01-05 点的沉降规律相同，盾构通过时沉降明显。

(5) DB-02-10 点比 DB-01-05 值大，施工时通过 DB-01-05 点及时采取了加大注浆量控制注浆效果措施，截至目前通过 DB-02-10 未采取特殊措施。地表沉降曲线见图 8。

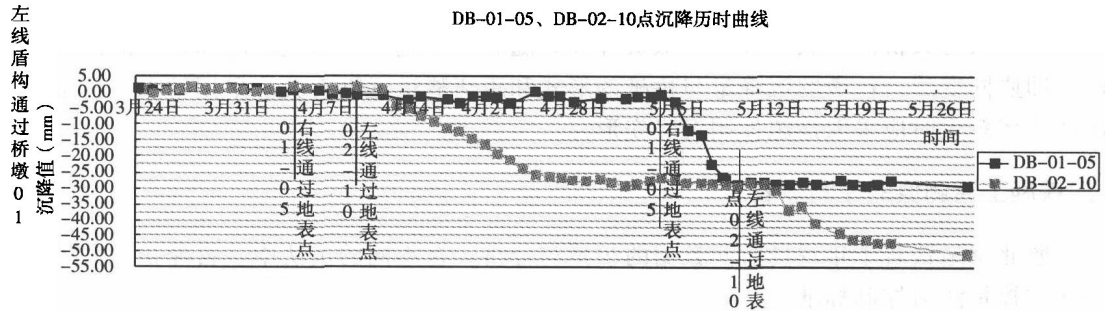


图 8 地表点沉降图

2) 各桥墩的沉降分析 (“-”值桥墩下沉、“+”值桥墩隆起)

从各桥墩沉降图(图 9)中可以看出:

- (1) QCJ-01-06 为主桥桥墩测点，设计为桩基础，沉降量较小。
- (2) 两侧梯道为浅埋基础，受盾构施工扰动较大。
- (3) QCJ-01-08 和 QCJ-01-01 沉降较大。

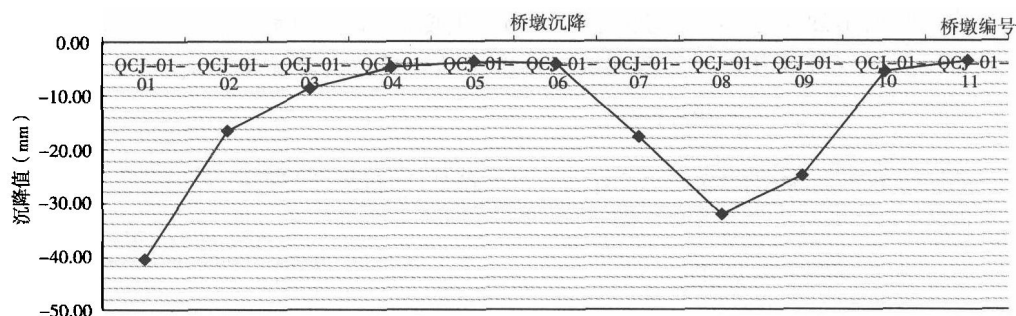


图 9 人行天桥桥墩沉降断面图

3) 典型桥墩的沉降分析

从 QCJ-01-08、QCJ-01-01 沉降图 (图 10) 可以看出:

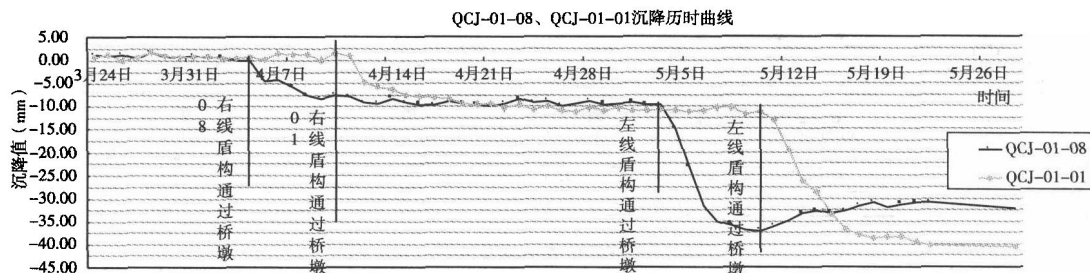


图 10 QCJ-01-08、QCJ-01-01 桥墩沉降时程曲线图

(1) 开始监测时由于盾构的推力作用使前方土体产生隆起变形, 桥墩有隆起趋势, 随着开挖的进行进入沉降阶段。

(2) 盾构通过时沉降明显增大。

(3) QCJ-01-08、QCJ-01-01 沉降规律相同, 在左线通过时监测速率急剧增大。

(4) 左线通过 QCJ-01-08 点后 5 月 5 日至 5 月 7 日该点沉降速率很大, 施工单位立即采取有效措施, 采取措施后桥墩沉降减少。

(5) QCJ-01-01 沉降值较大, 施工应采取有效措施, 截至目前未采取特殊措施。差异沉降为 8mm, 斜率为万分之一。

从穿越人行天桥的地表沉降和桥墩沉降知, 随着工程施工, 地表沉降和桥墩的沉降规律相同, 即协同变形。桥墩的沉降量与桥桩的形式和距离隧道远近有关。采用动态分析沉降值和沉降速率较大时应采取措施控制沉降变形。

3 地铁施工监测值的控制标准

按照北京地铁若干年现场监测数据的积累与分析, 在不同的工法中, 目前初步采用以下的一些监控量测值控制标准。

3.1 浅埋暗挖法施工监控量测值控制标准 (见表 1)

浅埋暗挖法施工监控量测值控制标准

表 1

序号	监测项目 及范围	允许位移控制值 U_0 (mm)	位移平均速率 控制值 (mm/d)	位移最大速率 控制值 (mm/d)
1	地表沉降	区间	2	5
	车站	60		