

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.05.041

地铁车站基坑和区间隧道近接施工对 地面建筑物影响分析

巴放

(沈阳地铁集团有限公司, 辽宁 沈阳 110011)

摘要: 沈阳地铁十号线滂江街站和滂江街站—长安路站区间(后面简称滂长区间)近接某老旧居民楼施工,车站基坑深约25 m,与该楼水平距离10.5 m,区间下穿该楼,竖向距离16 m。车站与区间施工对该建筑物进行多次扰动,形成叠加影响,该建筑物沉降变形风险较大。采用大型有限元软件 ABAQUS 对车站和区间的施工过程进行模拟分析,对该楼沉降进行预测,为风险工程保护措施提供参考依据。计算结果表明,左线盾构下穿施工引起该楼的沉降占总沉降的大部分,应重点加强左线盾构掘进过程的施工参数控制,确保建筑物沉降控制在允许范围之内。

关键词: 地铁车站;深基坑;隧道;地面建筑;水平位移;沉降

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2017)05—0218—06

Influence of Metro Station Excavating and Tunnel Crossing on Ground Building

BA Fang

(Shenyang Metro Co., Ltd., Shenyang, Liaoning 110011, China)

Abstract: An old residential building is just 10.5 meters from the deep Pangjiang Street Station excavation of Shenyang Metro Line 10, and the section tunnel from Pangjiang Street Station to Changan Road station will cross though the ground building, their vertical distance is 16 meters. Under the cumulated influence of metro station excavating and tunnel crossing, the ground building has a great risk of subsidence and deformation. In order to predict the settlement of the building and provide the basis for taking effective protective measures, a large finite element software ABAQUS is adopted to simulate the construction process of the station and the tunnel. The calculation results show that the major settlement is caused by the left tunnel crossing, therefore we should focus on strengthening the shield tunneling process control of the left tunnel and ensure the building settlement in the allowed range.

Keywords: metro station; deep excavation; tunnel; ground building; horizontal displacement; settlement

随着经济的快速发展,城市建设特别是地铁工程建设得到了迅猛的发展,由于城市环境复杂、地面及地下建(构)筑物密布等因素,地铁近接建(构)筑物施工的案例越来越多,地铁建设导致的安全事故也时有发生,其中有的还造成了不良的社会影响和较为严重的生命、财产损失^[1-7]。对于地下工程,围岩一直存在材料各向异性、本构模型复杂、土体与结构相互作用复杂等问题,传统的解析法和经验法往

往把问题过于简化和公式化,比较难以反映岩土和结构的实际力学行为,不能准确预测地下工程施工的影响。数值分析作为一种新型的分析手段,对于复杂岩土问题具有很强的求解适应性和可靠性,已经成为地下工程分析最有效、最直观的方法^[8]。

本文结合沈阳地铁十号线滂江街站、滂江街站—长安路站区间近接地面建筑物施工案例,根据实际工程概况建立了大型三维有限元模型,对车站主

体基坑施工以及盾构区间下穿施工对地面建筑物的影响进行分析,得出了一些有意义的结论,为本项目风险控制措施的制定提供参考依据,对今后类似工程的实施也有一定的借鉴意义。

1 工程概况

滂江街站和滂长区间沿滂江街敷设,滂江街站为十号线和既有一号线换乘站,与控制中心合建,车站主体基坑深约 25 m,采用 $\Phi 1000@1200$ 钻孔灌注桩 + 5 道内支撑 + 1 道倒撑的支护形式;控制中心基坑深约 16 m,采用钻孔灌注桩 + 4 道锚索的支护形式。车站开挖前进行坑外降水,水位降至坑深以下 1 m。滂—长区间采用盾构法施工,在滂江街站始发,沿左线推至长安路站,在长安路站调头,沿右线推至滂江街站接收,区间为 6 m 直径单洞单线圆形断面,线间距 12 m ~ 17 m,区间覆土 12 m ~ 18 m。

瑞光北巷 3-1 号楼由 2 层商铺和 6、7 层老旧住宅楼组成,为钢筋混凝土结构,无地下室,采用条形基础,基础埋深 1.5 m。车站主体基坑及控制中心基坑与其水平距离 10.5 m,区间与其竖向距离 16 m。地铁工程与建筑物相对位置关系,如图 1、图 2 所示。



图 1 车站、区间与建筑物平面位置关系

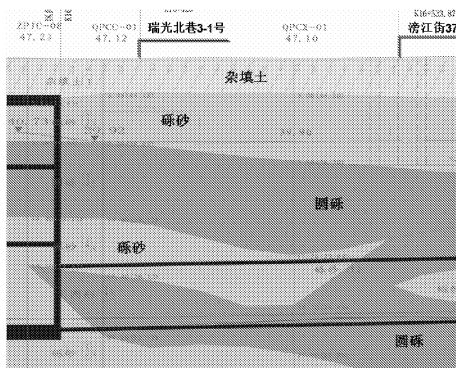


图 2 地质剖面

场地地基土主要由第四系全新统和更新统黏性土、砂类土及碎石类土组成。车站和区间主要位于砾砂及圆砾层中。地下水主要为孔隙潜水,水位随季节影响而有所变化,地下水位埋深 7.0 m 左右。

2 变形机理及变形控制标准

2.1 变形机理

基坑开挖的过程是基坑开挖面上卸荷的过程,由于卸荷而引起坑底土体产生以向上为主的位移,同时也引起围护墙在两侧压力差的作用下而产生水平向位移和因此而产生的墙外侧土体的位移^[9]。可以认为,基坑开挖引起周围地层移动的主要原因是坑底的土体隆起和围护墙的位移。而对于沈阳而言,地层以密实砂土为主,坑底土体隆起有限,可以认为周围地层移动的主要原因为围护墙的位移。有多道内支撑体系的基坑,一般则表现为墙顶位移不变或逐渐向基坑外移动,墙体腹部向基坑内突出,即抛物线型位移,相应的地表沉降也表现为凹槽形,围护桩最大水平位移往往位于靠近坑底的中下部,最大沉降点位于墙后一定距离处。围护桩变形及地表沉降模式如图 3 所示。

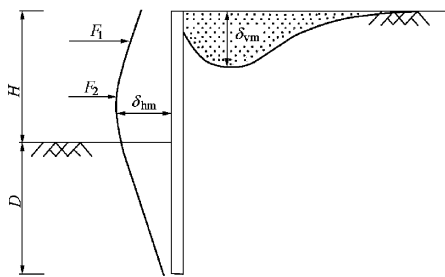


图 3 基坑变形示意图

盾构施工引起的地表变形分为以下五个阶段^[10]:

(1) 先行沉降:盾构开始向前掘进后,由于地下水位降低从而导致前方土体发生固结压缩沉降。此时的沉降与土体的软弱程度有关。

(2) 开挖面前方土体的隆起和沉降:如果开挖面支护力大于原始侧压力则地表隆起;如果支护压力小于土体原始侧压力则导致地面沉降。

(3) 通过沉降:由盾构施工扰动或盾构与周围土体摩擦力引起的扰动。

(4) 盾尾空隙沉降:由于建筑空隙的存在,注浆不及时、浆液填充不足、注浆压力不合理等因素均将

导致土体向盾尾空隙中移动。

(5) 后期沉降:由土体固结和蠕变变形引起。

盾构施工的五个沉降阶段的示意图如图 4 所示。

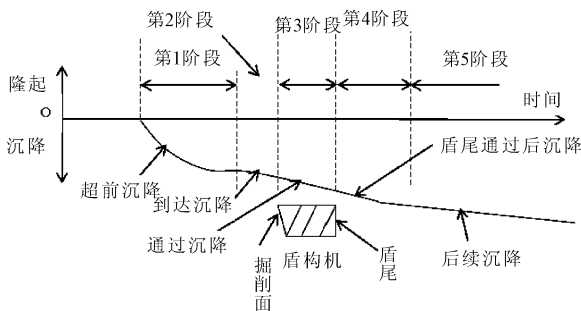


图 4 盾构施工地面沉降 - 历时曲线示意

2.2 变形控制标准

根据《建筑基坑工程检测技术规范》^[11](GB 50497—2009)、《城市轨道交通工程监测技术规范》^[12](GB 50911—2013)、《建筑地基基础设计规范》^[13](GB 50007—2011)等相关规范规定,并结合国内外及沈阳地铁类似工程经验,确定滂江街、滂长区间自身及建筑物变形控制标准如表 1 所示。

表 1 主要变形控制标准

周边地表沉降 /mm	围护桩水平位移/mm		管片沉降及收敛/mm	建筑物沉降 /mm	建筑物倾斜率 /‰
	主体基坑	控制中心基坑			
20	20	17	10	10	1

表 2 土层基本参数表

地层	厚度/m	重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	变形模量/MPa	泊松比 μ	静止侧压力系数 K_0
杂填土	1.7	19.3	10	10.0	5.00	0.34	0.45
中粗砂	4.0	19.8	2	29.5	16.00	0.29	0.41
砾砂	10.3	19.0	2	33.0	20.10	0.26	0.35
圆砾	14.0	19.8	3	34.5	25.54	0.29	0.41

表 3 结构力学参数表

结构名称	尺寸 /mm	重度 γ / (kN·m ⁻³)	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ
钻孔灌注桩、混凝土支撑 C30	$\Phi 1000 @ 1200$ 、 800 × 800	25.0	30.0	0.20
钢支撑 Q235	$\Phi 609 (t = 14)$	78.5	200.0	0.25
钢绞线	$\Phi 15.2$	78.5	195.0	0.25
盾壳 (steel)	70	78.5	200.0	0.25
管片 (C50)	300	26.0	25.9	0.20
始发加固圈、注浆层硬化	150	21.0	0.8	0.20
建筑物	—	25.0	15.0	0.25

3 数值分析模型

3.1 模型尺寸

数值分析模型见图 5。

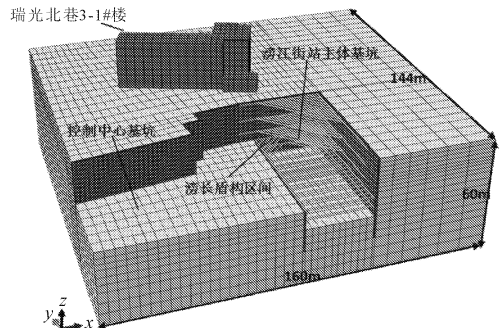


图 5 数值分析模型

为减小边界约束对计算结果的影响,各方向取值范围应不小于 $3H \sim 5H$ (或 B) (H 为基坑深度, B 为隧道跨度),本风险工程数值分析取值范围为:横向 160 m,纵向 144 m,竖向 60 m。钢支撑和锚索采用杆单元模拟,其它均采用实体单元模拟,桩、土间设置摩擦接触属性。建筑物楼层荷载按 15 kPa/层考虑。

3.2 模型参数

土层材料采用 Mohr - Coulomb 模型计算,考虑材料的大变形行为^[14-15],结构单元采用线弹性本构关系。考虑到管片接缝处强度的影响,对管片刚度进行折减,折减系数 0.75,岩土及结构参数见表 2 和表 3。

盾构掘进时,施工参数的控制对地层位移及邻近建筑物的影响比较显著,盾构前方推力和盾构同步注浆量和注浆压力引起的地层变形占主导地位,本次分析采用盾构正常掘进参数,下穿处盾构中心埋深约 22 m,则盾构中心处推力取静止侧向水、土压力 = $0.35 \times 20 \times 22 = 154$ kPa,同步注浆压力取拱顶处静止竖向水、土压力 = $20 \times 18 = 360$ kPa,注浆量控制在理论空隙值的 1.5 倍。

3.3 模拟工序

- (1) 地应力平衡。
- (2) 降水分析。

(3) 工况 1: 基坑开挖及结构回筑。分步开挖, 每次开挖至支撑位置下 0.5 m, 施作支撑, 再进行下一步开挖, 依此类推直至开挖至坑底。顺作主体结构后覆土回填。

(4) 工况 2: 拆除洞口围护结构。

(5) 工况 3: 左线盾构掘进。分段掘进, 每次开挖进尺 2 m, 开挖的同时激活盾构管片。

(6) 工况 4: 右线盾构掘进。分段掘进, 每次开挖进尺 2 m, 开挖的同时激活盾构管片。

4 计算结果

4.1 降水影响

降水引起地表沉降见图 6。

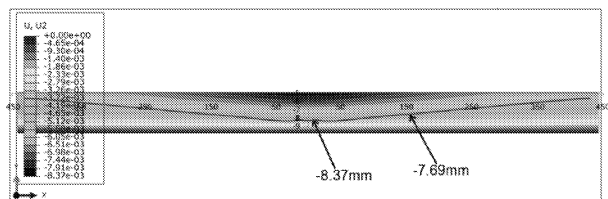


图 6 降水引起地表沉降

地层为低压缩性密实砂性土, 土层渗透性大, 降水影响半径大, 根据沈阳地铁一号线施工降水对地表和建(构)筑物的沉降专题研究, 结合沈阳基坑降水的实际工程经验, 降水引起地表及建筑物沉降主要表现为整体沉降, 差异沉降小。从图 6 中可以看出, 降水后, 地表沉降范围大, 不过主要表现为整体沉降, 150 m 距离差异沉降为 0.68 mm, 计算结果进一步验证了以往经验。

4.2 地表沉降

地表沉降结果见图 7。

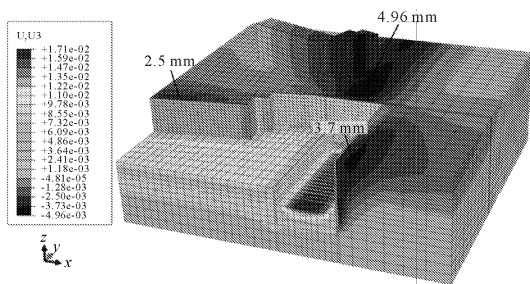


图 7 区间贯通后地表沉降

从图 7 中可以发现, 施工中在基坑周围附近地表及区间上方地表形成沉降槽, 车站主体基坑周边地表最大沉降为 3.7 mm, 控制中心基坑周边地表最大沉降为 2.5 mm, 区间上方地表最大沉降为 4.96 mm, 位于建筑物附近。均小于地表沉降控制值 20

mm。

4.3 围护结构水平位移

结构水平位移计算结果见图 8、图 9。

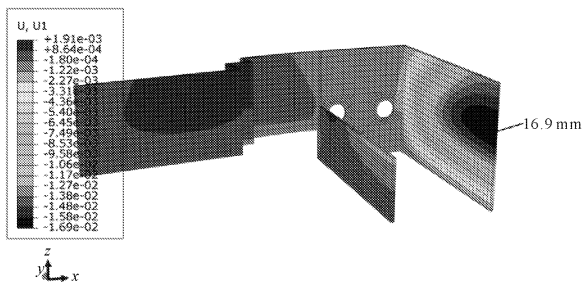


图 8 主体基坑围护桩水平位移

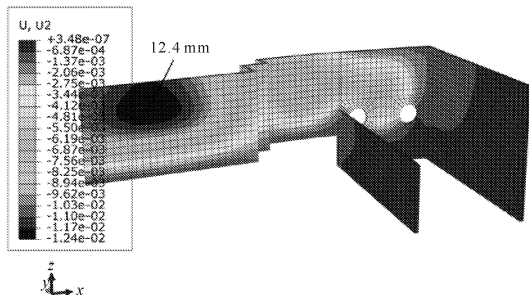


图 9 控制中心基坑围护桩水平位移

计算结果表明, 车站主体围护结构最大水平位移为 16.9 mm, 控制中心围护结构最大水平位移为 12.4 mm, 均位于坑底附近, 这与实际经验是相符的, 最大水平位移值均满足控制标准要求。同时, 从图中可以看出端头井由于空间作用明显, 水平位移明显小于长边跨中水平位移。

4.4 管片变形

管片变形结果见图 10、图 11。

管片最大净空收敛为 6.24 mm, 最大沉降值为 4.79 mm, 均位于建筑物下方管片上, 这是因为建筑物的存在, 地基附加应力较大, 导致区间开挖, 作用在管片上的土压力相对其它位置更大, 变形值满足管片变形控制标准。

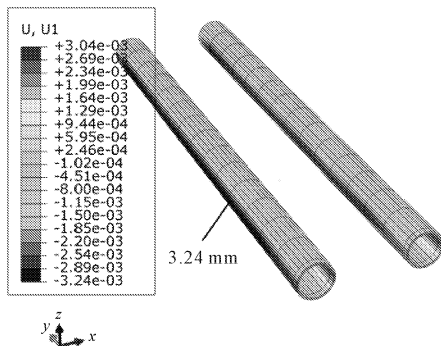


图 10 区间贯通后管片水平位移

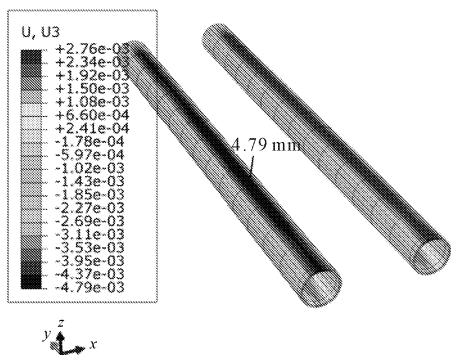


图 11 区间贯通后管片拱顶沉降

4.5 建筑物变形及倾斜

建筑物变形计算结果见图 12~图 14。

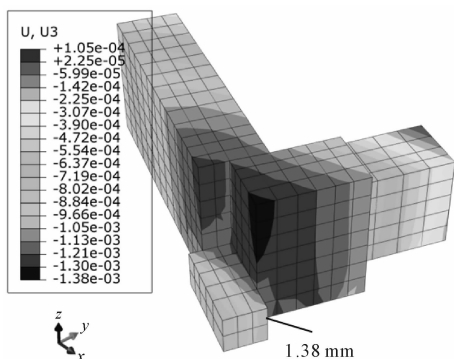


图 12 车站基坑开挖及结构回筑后建筑物累计沉降

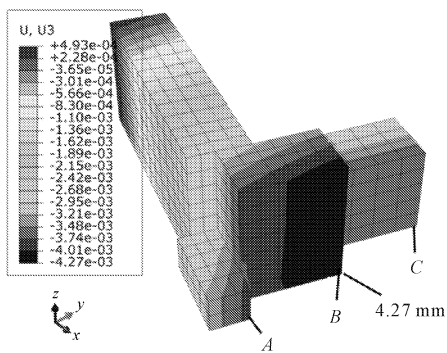


图 13 区间贯通后建筑物累计沉降

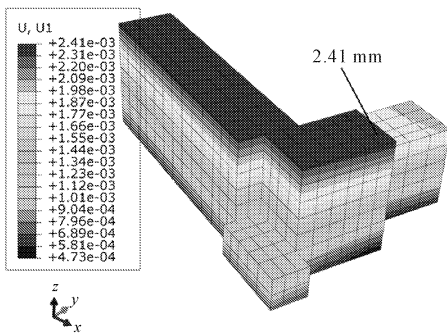


图 14 区间贯通后建筑物水平位移

建筑物最大沉降为 1.38 mm,位于七层建筑物靠近基坑侧墙角处。区间贯通后,建筑物最大沉降增至 4.27 mm,位置转移至七层建筑物靠近区间侧墙角处。

墙顶、底相对水平位移反映建筑物的倾斜情况,建筑物屋顶最大水平位移为 2.41 mm,基础水平位移可以忽略,经计算得到建筑物的最大倾斜率为 0.15‰,小于建筑物倾斜率控制值。

为了得到不同阶段的施工对建筑物变形的贡献,汇总建筑物沉降-历时曲线,如图 15 所示。

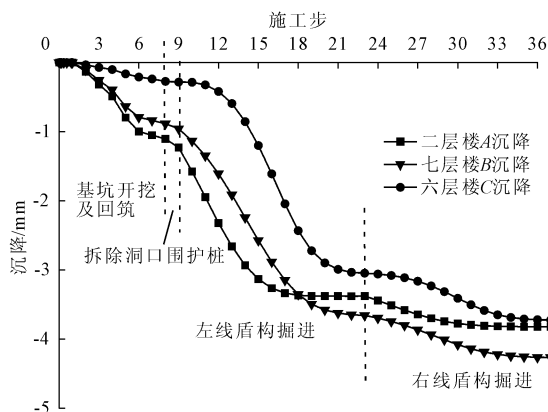


图 15 建筑物沉降-历时曲线

从图 15 中可以看出:

(1) 层数不同、距离不同,建筑物的沉降-历时曲线不同。层数越多,沉降越大,离基坑越近,沉降越大。离基坑更近的二层楼房与离基坑更远的六层楼房沉降相当,两者之间的七层楼房沉降最大。

(2) 由于端头井空间效应明显,且基坑采用大直径小间距(1000@1200)钻孔灌注桩,设置 5 道支撑+1 道倒撑,支护刚度较大,基坑开挖及结构回筑过程导致建筑物的沉降不是很大,仅占总沉降的 23%(以七层楼为例,余同)。

(3) 左线区间施工对建筑物的影响最大,引起沉降占总沉降的 63%,右线区间离建筑物稍远,引起的沉降仅占 14%。故应特别加强左线盾构施工控制,确保沉降不超标。

(4) 随着盾构接近,建筑物沉降开始增加,沉降速率也增加,盾尾脱离建筑物时沉降速率最大,随后随着盾构的远离,建筑物沉降虽然继续增加,不过速率降低,直至离开建筑物 20 m 后,沉降趋于稳定,可见本项目盾构施工的影响范围主要为前后 20 m,当盾构进入建筑物前后 20 m 范围内应该加强监控量测,及时反馈监测结果指导盾构施工,做到信息化施工。

滂江街站主体基坑和控制中心基坑开挖完后,

5 结论

本文以沈阳地铁十号线滂江街站及滂长区间近接地面建筑物施工工程为实例,采用三维数值分析模型,分析了施工降水、基坑开挖、盾构掘进对既有建筑物的影响。可以得到以下结论:

(1) 沈阳地区降水引起地表及建筑物沉降主要表现为整体沉降,差异沉降较小,验证了本地区采用大管井降水对周边环境影响较小的经验。

(2) 加强基坑围护、支撑刚度,可以有效的控制围护结构水平位移及周边建筑物的沉降。而且盾构端头井空间效应明显,围护水平位移和附近地面建筑沉降均相对较小。

(3) 多层建筑物导致地层产生附加应力,管片在该处产生更大的收敛变形和拱顶沉降,同时盾构掘进将在该处引起更大的沉降,应重点关注。

(4) 区间左线对建筑物影响明显,应加强左线盾构掘进参数控制,并加强建筑物前后 20 m 范围内监测,及时反馈监测结果指导施工,实现信息化施工。

参考文献:

- [1] 陈国庆,潘仪凯,肖亮.某深大基坑透水事故分析及处理[J].水利与建筑工程学报,2016,14(5):229-234.
- [2] 王晓锋.超大直径盾构下穿地下管线的变形及其安全控制研究[J].水利与建筑工程学报,2014,12(1):169-173.
- [3] 周红波,蔡来炳,高文杰.城市轨道交通车站基坑事故

统计分析[J].水文地质工程地质,2009,36(2):67-71.

- [4] 张旷成,李继民.杭州地铁湘湖站“08.11.15”基坑坍塌事故分析[J].岩土工程学报,2010(S1):338-342.
- [5] 陈云敏,胡琦,陈仁朋.杭州地铁湘湖车站基坑坍塌引起的基底土深层扰动与沉降分析[J].土木工程学报,2014(7):110-117.
- [6] 薛宏平.浅埋暗挖地铁车站垮塌事故分析与风险控制[J].地下空间与工程学报,2012,8(S2):1788-1790.
- [7] 杨书江.富水砂卵石地层盾构法施工地表坍塌原因及对策[J].都市轨道交通,2011,24(1):77-79.
- [8] 张运良,聂子云,李凤翔,等.数值分析在基坑变形预测中的应用[J].岩土工程学报,2012,34(S1):113-119.
- [9] 刘国彬,王卫东.基坑工程手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [10] 付昱凯,陆小龙,丁文其,等.盾构隧道施工动态扰动特点及控制分析[J].地下空间与工程学报,2010,6(4):810-814.
- [11] 山东省建设厅.建筑基坑工程检测技术规范:GB 50497—2009[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [13] 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.
- [14] 陈卫忠,伍国军,贾善坡.ABAQUS在隧道及地下工程中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [15] 费康,张建伟.ABAQUS在岩土工程中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

(上接第 217 页)

3 结语

本文通过对管流中宾汉体流变方程的转换代数最终得到了式(11)所示的宾汉体流变方程的代数解,该式列成实验数据表格,借助数值分析方法和少量的毛细管流变试验即可确定流变参数,可大幅度减少常规毛细管黏度计测定宾汉体流变参数的工作量,具有很强的使用价值。作为一种科学探索,本文所提方法需要从事宾汉流体工程问题研究的科技工作者在科研实践中检验应用,具体的使用方法有待

实践中总结。

参考文献:

- [1] Wasp E J.固体物料的浆体管道输送[M].黄河水利委员会科研所《固体物料的浆体管道输送》翻译组译.北京:水利出版社,1980.
- [2] 迟耀瑜,王在阳,杨延瑜.高含沙水流远距离输送[M].北京:水利水电出版社,1990.
- [3] 武汉水利水电学院.河流工程学:上册[M].北京:水利水电出版社,1980.
- [4] 余元希,田万海,毛宏德.初等代数研究:下册[M].北京:高等教育出版社,1992.