

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2014.05.022

轨道交通工程周边 地下管线位移控制指标

曹伍富¹ 马 磊^{2,3} 金 淮^{2,3} 吴锋波^{2,4} 刘永勤²

(1. 北京市轨道交通建设管理有限公司 北京 100037; 2. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司 北京 100101; 3. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院 北京 100083; 4. 北京科技大学土木与环境工程学院 北京 100083)

摘 要 系统分析地表位移、管线自身位移等地下管线控制指标的相关研究成果。对北京地区 26 条管线直接监测点的管体变形结果以及 137 条管线地表间接监测点的实测结果进行分析,研究地下管线的变形规律。实测结果表明,地下管线的差异沉降是控制其安全的重要指标,评价地下管线的安全状态应同时考虑管线的总体沉降和差异沉降。根据工程监测情况分析总结地下管线总体沉降量较大的原因,并给出不同类别地下管线控制指标的建议数值。严格控制施工过程、合理调整施工参数与控制盾构姿态,避免不正常事故的发生,是保障地下管线安全的关键。

关键词 轨道交通;地下管线;沉降;控制指标

中图分类号 U452 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2014)05-0086-07

随着城市轨道交通工程的飞速发展,在地铁工程施工过程中对临近管线合理监测以保护工程沿线地下管线的安全,成为城市轨道交通工程中亟待解决的一项重要课题。地下管线控制指标的确定主要受工作压力情况、功能、性质、材质、类型、铺设方法、埋置深度、土层压力、管节长度、管径、接头形式、铺设年代等诸多因素的影响,在实际工程中很难针对每一条管线给出合理的控制值。在工程建设过程中,应注重已有监测资料的积累,同时进行工程经验总结,深入分析地下管线安全性的影响因素,以提出较为适宜的控制指标建议数值。

收稿日期: 2013-12-10 修回日期: 2014-02-10

作者简介: 曹伍富,男,博士,高工,从事轨道交通建设管理工作, 28940976@qq.com

1 地下管线控制指标

城市地下管线埋深较浅,工程建设造成的管线不均匀沉降易引起其内部出现纵向弯曲应力或接头开裂应力^[1],应力过大时可使其出现开裂、甚至断裂。

地下管线接口为焊接、法兰等形式,材质较为坚硬的刚性管线具有一定的抵抗变形能力,在工程施工可使其出现附加弯矩;承插式连接的管道可在接口处出现转角,通讯电缆、光缆等材质较柔的地下管线,则可能出现与地层整体位移较为一致的变形。

根据地下管线自身和变形特点,刚性管线的安全性可由管道允许曲率半径(竖向位移)、接口抗拔力或管道受弯应力进行判断,管道中的纵向弯曲应力小于容许值时,管道可安全使用,反之管道可能会产生断裂或泄漏;柔性管线的安全性一般由管道的允许曲率半径(竖向位移)和接头张角(转角)进行判断。

1.1 地表位移控制指标

O'Rourke 等^[2]提出以管线可能损害处的地层移动坡角值 $S_{\max}/i$ 评估管线的损害,其中 $S_{\max}$ 为隧道开挖引起的最大地表沉降, i 为隧道中线到地表沉降槽反弯点的距离。在砂层中,浅埋隧道上方直径大于 200 mm 的相对刚性管线允许坡角为 0.012,直径小于 200 mm 的相对柔性管线允许坡角为 0.012 ~ 0.040。该方法没有考虑地层条件、管线种类等,不适用于脆性材质管线,如灰色铸铁管。

Attewell 等^[3]提出了初步评价地下管线安全性的最大地表沉降值(见表 1)。管线损坏是指突发事件导致的管道渗漏或者其他需立即维修的情况。脆性材料管道轴线到隧道顶部的距离必须大于 2 倍隧道跨度,

隧道上覆硬黏土时,管道轴线到隧道顶部的最小距离为1倍隧道跨度。

表1 地下管线最大地表沉降值

地表最大沉降值 $S_{\max}$ /mm	脆性材料、灰口铁、石棉水泥、黏土制品	延性材料(刚、延性铁、非受火压力容器、聚乙烯)
≤10	与其他原因(如安装、交通荷载、季节变化等)相比管线应力的增加并不显著	
>10	地层变形对管线的影响应详细评价	—
>25	管线应力肯定会有显著增加,小直径管线有可能损坏	—
>50	大直径管线有可能损坏	管线应力可能会有显著增加,地层变形对管线的影响应详细评价

原国家煤炭工业局制定的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[4]规定了暖卫工程管网的地表(地基)允许和极限变形值,其中接头与管体等强度的钢质煤气管,允许伸长1.0~3.5 mm/m,供热管道允许伸长3.0~6.0 mm/m,倾斜4.0~6.0 mm/m,极限伸长5.0~10.0 mm/m,倾斜7.0~12.0 mm/m;自来水管地下钢管允许伸长4.0~5.0 mm/m,极限伸长6.0~8.0 mm/m;接头和管道等强度的钢质压力排水管,允许伸长3.0~4.0 mm/m,极限伸长5.0~6.0 mm/m。

刘招伟等^[5]指出地铁上方电缆隧道可视为受垂直荷载的梁,结构在正常使用时受到的应力应小于其允许应变的设计应力,允许拉应力有

$$[\varepsilon] = [\sigma] / E \tag{1}$$

式中:[ε]为允许拉应变;[σ]为允许拉应力,MPa; E 为材料弹性模量,MPa。

管线在地层沉降时产生的变形应小于(或等于)其允许应力的相应变形范围,由此可计算差异沉降允许值

$$\Delta S = \sqrt{([\varepsilon]m + m)^2 - m^2} \tag{2}$$

式中: m 为计算长度,m。

根据式(1)(2),从考虑地下管线的安全角度出发可以计算确定最大允许地表沉降值。

赵文等^[6]选取施工现场改移的煤气铸铁管线进行试验,该管线运行了20年,为承插接口,内径150 mm,弹性模量100 GPa,长度2 m,壁厚9 mm,端头间距0.8 m,抗拉强度110 MPa。试验结果表明:管线变形曲率应≤0.007 8或差异沉降≤1/128,管线最大拉应力应≤71 MPa,安全系数通常为1.5,最大压应力应≤127.4 MPa。

研究认为:地面沉降50~80 mm时地下管线处于安全状态。

北京、重庆等轨道交通施工总结的技术标准规定:管线上方的地表最大斜率为2.55 mm/m。

1.2 管线自身位移控制指标

一般承插接口铸铁管道和柔性接缝管道,每节许可差异沉降≤ $L/1\,000$ (L 为管节长度)。上海市政部门规定煤气管线的允许水平位移为10~15 mm。德国建筑标准规定管线允许水平变形为0.6 mm/m,允许倾斜变形为1~2 mm/m^[7]。日本浅埋隧道管道控制值变形为(1~2)×10⁻³ rad,沉降控制值为-40~-20 mm,隆起控制值为+20mm,污水管沉降控制值为-20 mm^[5]。

国内相关技术规范、工程标准等给出了一些地下管线沉降、差异沉降(倾斜率)和变化速率的控制值,具体内容见表2。

表2 地下管线位移控制值^[8-14]

来源	变形控制值
GB 50497—2009 建筑基坑工程监 测技术规范	刚性管道:压力,累计值为10~30 mm,变化速率为1~3 mm/d;非压力,累计值为10~40 mm,变化速率为3~5 mm/d;柔性管线:累计值为10~40 mm,变化速率为3~5 mm/d
基坑工程手册 (2009)	煤气管线:沉降或水平位移均不得超过10 mm,每天发展不得超过2 mm;上水管线:沉降或水平位移均不得超过30 mm,每天发展不得超过5 mm
北京市轨道交通 工程建设安全风 险技术管理体系 (2008)	有压管线允许位移不超过10 mm,倾斜率不超过0.002;无压雨水、污水管线允许位移不超过20 mm,倾斜率不超过0.005;无压其他管线允许位移不超过30 mm,倾斜率不超过0.004
DG/T J08— 2001—2006 基坑工程施工监 测规程(上海)	煤气、供水管线(刚性管道)位移累计值为10 mm,变化速率为2 mm/d;电缆、通讯管线位移(柔性管道)位移累计值为10 mm,变化速率5 mm/d
广州地区建筑基 坑支护技术规定 (98-02)	采用承插式接头的铸铁水管、钢筋混凝土水管两个接头之间的局部倾斜值不应大于0.002 5;采用焊接接头的水管两个接头之间的局部倾斜值不应大于0.006;采用焊接接头的煤气管两个接头之间的局部倾斜值不应大于0.002
天津地铁二期工 程施工监测技术 规定	煤气管线允许沉降10 mm,其他管线允许沉降20 mm
DB 42/159—2004 基坑工程技术规 程(湖北)	煤气管道变形沉降或水平位移不超过10 mm,连续3 d不超过2 mm/d;供水管道变形沉降或水平位移不超过30 mm,连续3 d不超过5 mm/d

GB 50332—2002^[15]《给水排水工程管道结构设计规范》规定柔性管道采用水泥砂浆等刚性材料作为防

腐内衬的金属管道,在组合作用下的最大竖向变形不应超过 $0.02 \sim 0.03D_0$ (D_0 为圆形管道的计算内径);采用延性良好的防腐涂料作为内衬的金属管道,在组合作用下的最大竖向变形不应超过 $0.03 \sim 0.04D_0$;化学建材管道,在组合作用下的最大竖向变形不应超过 $0.05D_0$ 。

对于刚性管道,其钢筋混凝土结构构件在组合作用下,计算截面的受力状态处于受弯、大偏心受压或受拉时,截面允许出现的最大裂缝宽度不应大于 0.2 mm ;计算截面的受力状态处于轴心受拉或小偏心受拉时,截面设计应按不允许出现裂缝控制。

2 实测资料分析

收集北京地区城市轨道交通工程周边地下管线实测资料进行研究,包含雨水管线、污水管线、上水管线、热力管线、燃气管线、电力管线共 163 条。其中,26 条管线为直接监测点的管体变形结果,137 条管线为地表间接监测点的实测结果。所用资料均为第三方监测结果,具有较好的真实性。

2.1 管线直接监测结果

图 1 所示,3 条 $\phi 1\,000 \sim 1\,800\text{ mm}$ 的大直径雨水管线(沟),均为砼结构,其中 $\phi 1\,000$ 雨水管最大沉降量达到 -29.5 mm (控制值为 -20 mm),但平均沉降量为 -7.6 mm ,在控制范围内。导致沉降值较大的原因为该管线距离基坑最近段仅为 1.7 m ,且在施工时基坑降水、前期土方开挖过程,对钢支撑架设有不及时的现象。

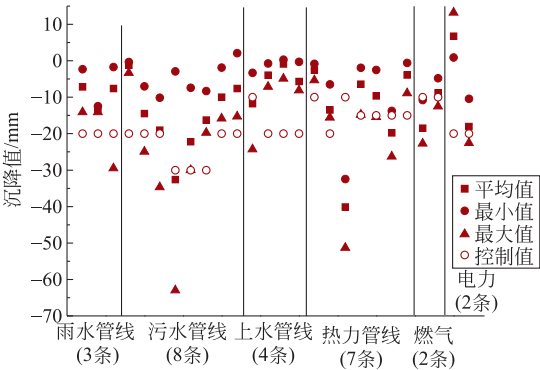


图 1 地下管线直接监测结果

8 条 $\phi 500 \sim 1\,050\text{ mm}$ 砼结构污水管线, $\phi 550$ 及 $\phi 600\text{ mm}$ 两条管线最大沉降量分别为 32.65 、 62.97 mm ,其倾斜率为 $0.03\text{‰} \sim 0.41\text{‰}$ 和 $0.40\text{‰} \sim 1.30\text{‰}$,均小于 2.0‰ 的控制要求。

4 条 $\phi 300 \sim 1\,000\text{ mm}$ 铸铁结构上水管线,平均沉降量较小,多未超过控制值。其中 $\phi 1\,000$ 上水管最大

沉降量为 -24.28 mm ,超出设计控制值 (-10 mm),但其差异沉降(倾斜率)较低,为 $0.02\text{‰} \sim 0.53\text{‰}$ 。

热力管沟共 8 条,为钢筋混凝土结构且直径较大,尺寸为 $4\,400\text{ mm} \times 1\,800\text{ mm}$ 、 $2\,100\text{ mm} \times 4\,000\text{ mm}$ 、 $1\,900\text{ mm} \times 2\,050\text{ mm}$ 等。整体沉降量较小,其中车站暗挖主体结构平行下穿一条管沟(128 m),发生了较大沉降,最大沉降量达到 -51.28 mm ,平均沉降值为 -40.12 mm ,均远超设计控制值 (-15 mm)。主要受车站主体施工影响发生整体沉降,倾斜率为 $0.15\text{‰} \sim 1.05\text{‰}$ 。

$\phi 300\text{ mm}$ 和 $\phi 500\text{ mm}$ 两条燃气管线,均为钢管,其中 $\phi 300$ 燃气管线整体沉降超过设计控制值 (-10 mm),最大沉降量 -22.69 mm ,最大倾斜率为 0.54‰ ,为均匀整体沉降。在两条电力管线中,其中一条 $\phi 195$ 电力管受工程施工综合影响,由于地层水量较大,注浆引起抬升隆起,隆起值未超过 10 mm ;另一管线沉降控制较好,在控制范围之内。

地下管线变形控制指标受多种因素影响,实测结果表明,地层较为软弱的地区其燃气、雨污水、供水和电力管线均有较大沉降出现,但倾斜率多小于控制要求,地下管线未发现渗漏、开裂等现象。

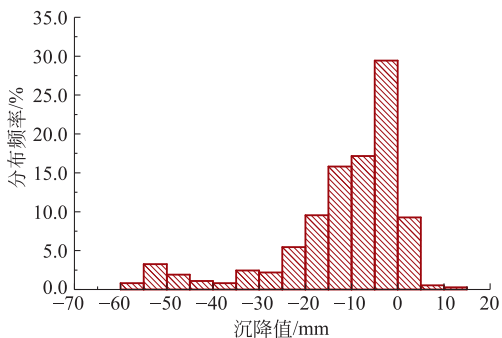
2.2 地表间接监测结果

北京地区工程周边地下管线监测点多为地表间接监测点,本文收集统计了 135 条地下管线的地表间接监测资料,根据地下管线功能分为供水管线、雨水管线、污水管线、燃气管线、热力管线和电力管线等,分别进行统计分析。

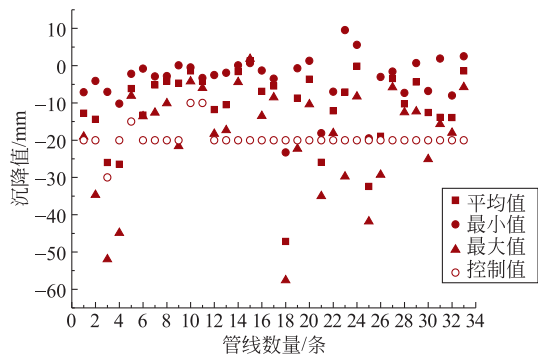
1) 雨水管线。雨水管线材质多为混凝土,直径小于 0.5 m 时采用混凝土管,直径大于 1.5 m 时一般为钢筋混凝土箱涵,埋深一般大于 1 m 且小于 10 m ,这在北京地区地铁工程施工中较为常见。共收集 33 条地下雨水管线的地表间接监测资料,实测结果见图 2。

33 条管线共 365 个监测点的最终地表沉降分布频率分析如图 2(a) 所示,其中 330 个测点发生沉降,平均值为 -13.46 mm ,沉降值标准差为 14.48 ,建议控制值为 -25 mm ,可包含 86.1% 的统计监测点;35 个测点发生隆起,数值均小于 10 mm 。由图 2(b) 可知,大部分雨水管线工点整体沉降量较小,得到了良好控制,个别地表监测点出现隆起,隆起值小于 10 mm 。

个别管线变形范围较大,一条 $2\,200\text{ mm} \times 1\,650\text{ mm}$ 雨水管沟最大沉降量为 44.89 mm ,平均沉降量为 26.45 mm ,最大变化速率为 1.66 mm/d ;另一条 $3\,000\text{ mm} \times 1\,750\text{ mm}$ 雨水管沟最大沉降量为 35.00 mm ,平均沉降量为

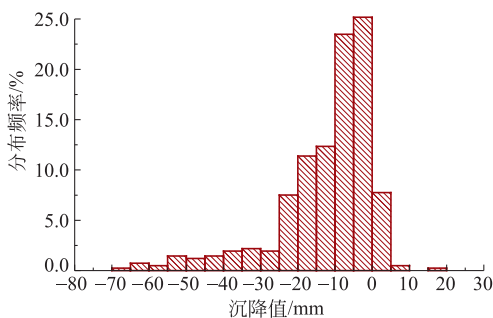


(a) 管线监测结果分布频率

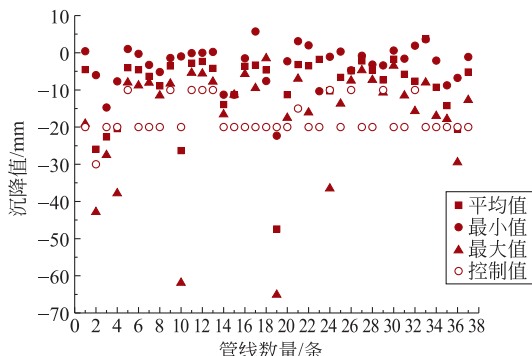


(b) 管线实测值分布

图2 雨水管线地表间接监测结果



(a) 管线监测结果分布频率



(b) 管线实测值分布

图3 污水管线地表间接监测结果

25.94 mm,最大变化速率为1.90 mm/d。两条管线均位于盾构正上方,受地质条件改良不好、背后注浆不及时等原因扰动。 $\phi 300$ 雨水管线受车站基坑施工影响,最大沉降量为57.60 mm,平均沉降量为47.17 mm,最大变化速率为1.65 mm/d。 $\phi 700$ 雨水管线最大沉降量为41.80 mm,最大变化速率为3.40 mm/d,此条管线受车站侧穿、暗挖施工过程初支封闭成环时间过长,同时又被一条盾构隧道下穿的综合影响。

2) 污水管线。37条 $\phi 400 \sim 2\,700$ 的污水管线,多为混凝土管,少量为钢筋混凝土管、水泥管,为承插接口,埋深范围一般为2~10 m,这在北京地区地铁工程施工中较为常见。除个别管线有超过控制值现象,大部分在控制值范围内,变化速率大部分在2 mm/d以内。污水管线实测结果如图3所示。

37条污水管线共413个监测点的最终地表沉降分布频率分析如图3(a)所示,其中378个测点发生沉降,平均值为-13.58 mm,沉降值标准差为12.85,建议控制值为-25 mm,可包含87.3%的统计监测点;35个测点发生隆起,均小于10 mm。在图3(b)中,两条 $\phi 600$ 污水管线最大沉降量分别为-61.90 mm和-65.11 mm,远超控制值20 mm,经调查均为受到车站不同结构施工与线路施工的多重影响导致,最大沉降速率分别为

1.00 mm/d和1.10 mm/d。

3) 给水管线。给水管线材质多为铸铁材质,少量为钢管或混凝土结构,埋深相对较浅,一般为2~5 m,同样是在地铁工程施工中较为常见的一种管线。共收集27条地下雨水管线的地表间接监测资料,实测结果见图4。

图4(a)为27条给水管线共265个监测点的最终地表沉降分布频率分析,其中243个测点发生沉降,平均值为-8.90 mm,沉降值标准差为6.93,整体得到了较好控制,建议控制值为-15 mm,可包含81.9%的统计监测点;22个测点发生隆起,平均值为2.17 mm。由图4(b)所示,上水管线整体沉降情况较好,绝大多数工点的沉降量得到较好控制,变化速率也多在2 mm/d以内。

部分管线出现了上浮,但隆起值一般小于10 mm。其中,一条 $\phi 400$ 上水管线最大上浮值为11.60 mm,因施工期为冬季冰冻时期,监测值受土体冻胀影响;另一条 $\phi 1\,400$ 上水管最大沉降量为43.45 mm,平均沉降量为28.81 mm,最大变化速率为1.87 mm/d。

4) 电力管线。10条电力管沟,直径均在2 000 mm左右,为混凝土结构,埋深多在5 m左右,实测结果见图5。

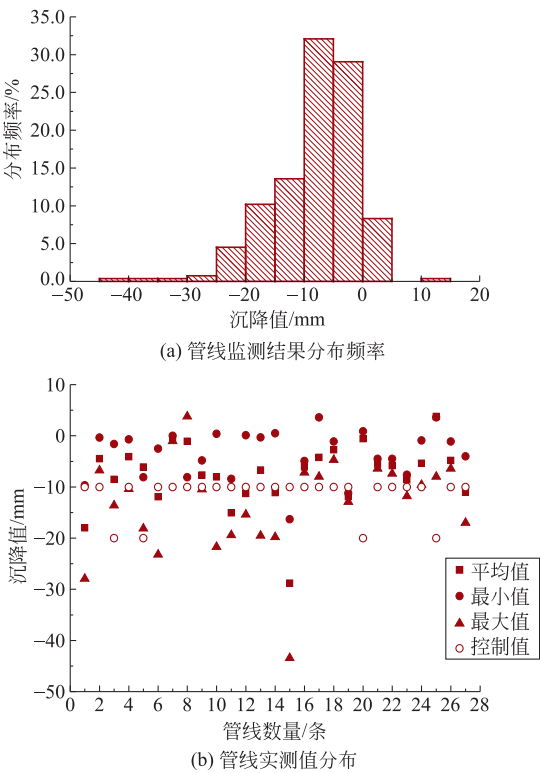


图4 上水管线地表间接监测结果

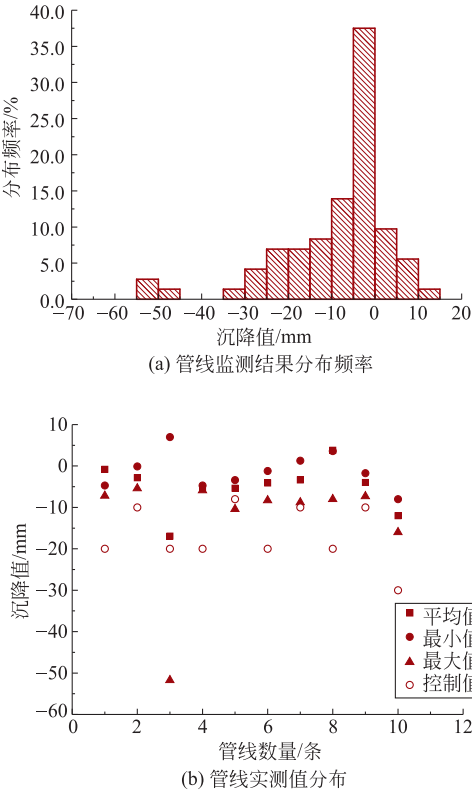


图5 电力管线地表间接监测结果

10条电力管沟共72个监测点的最终地表沉降分布频率分析如图5(a)所示,其中60个测点发生沉降,

平均值为-11.38 mm,沉降值标准差为12.01,建议控制标准为-25 mm,可包含88.3%的统计监测点;12个测点发生隆起,隆起值均小于10 mm。由图5(b)所示,仅其中一条2 000 mm×2 000 mm电力管沟的沉降范围较大,最大沉降达到-51.71 mm,其他电力管线变形均在控制值范围内,整体变形较小,管线变化速率多在2 mm/d以内。

5) 热力管线。13条热力管沟,直径较大,多为混凝土结构,少量为钢砼结构,实测结果见图6。

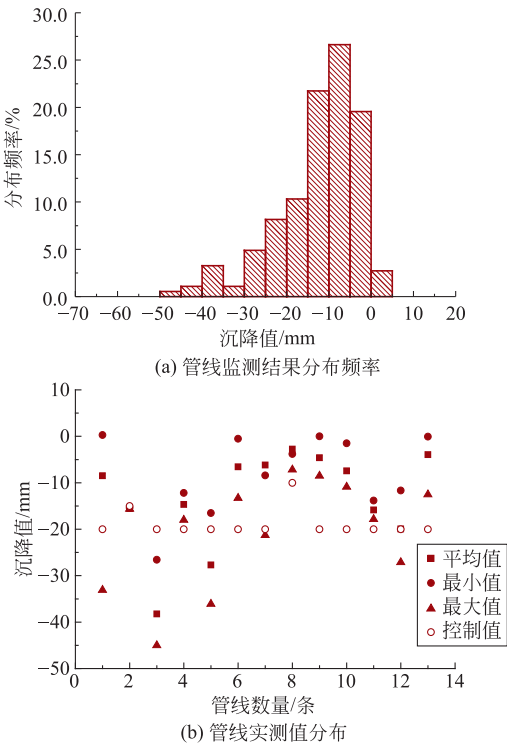


图6 热力管线地表间接监测结果

13条热力管沟共184个监测点最终地表沉降分布频率分析如图6(a)所示,其中179个测点发生沉降,平均值为-12.65 mm,沉降值标准差为9.57,符合现行广泛控制标准-20 mm,可包含80.4%的统计监测点;5个测点发生隆起,隆起值均小于10 mm。

一条3 400 mm×1 600 mm热力沟的最大沉降为-45.01 mm,其他大部分管线变形均在控制值范围内,整体变形较小,见图6(b),管线变化速率多在2 mm/d以内。

6) 燃气管线。燃气管线的材质多为钢管(主要是无缝钢管和焊接钢管),少量为聚氯乙烯(PVC)塑料管。燃气管线为承压管线,工程安全重要性等级高,对燃气管线沉降量控制要求较为严格。收集17条地下燃气管线地表检测数据,实测结果见图7。

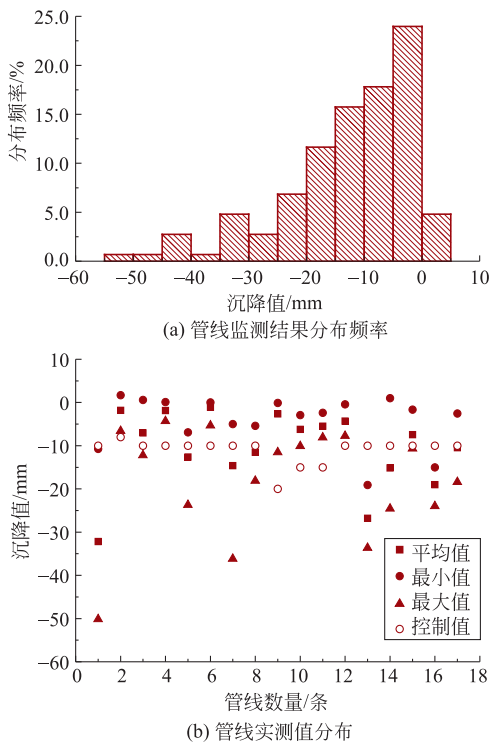


图7 燃气管线地表间接监测结果

17条燃气管线共136个监测点最终地表沉降分布频率分析如图7(a)所示,其中129个测点发生沉降,平均值为 -13.20 mm ,沉降值标准差为 11.24 ,对于燃气管线仍需进一步研究其变形、受力及破坏机理,综合考虑北京地区燃气管线的埋设年代、材质、构造、接头形式等诸多因素,定量掌握地铁施工对其影响程度。7个测点发生隆起,隆起值均小于 10 mm 。

由于目前规范对于燃气管线控制要求严格(-10 mm),部分工程施工对燃气管线影响超出控制范围且数值范围变化较大,见图7(b)。其中一条DN500钢管燃气管最大沉降值达到 -50.12 mm ,但管线变化速率均在 2 mm/d 以内。

3 结论与建议

1) 地下管线位移可由地表位移或管线自身位移进行控制,控制指标类型主要包括地下管线的沉降、差异沉降(倾斜率)和变化速率。

2) 实测结果表明:地下管线出现较大整体沉降时,其差异沉降(倾斜率)可能未超过控制值,管线正常使用,安全未受影响,工程实际应注重管线差异沉降(倾斜率)的控制。

3) 根据统计结果,北京地区管线平均沉降在 -15 mm 左右,最大沉降可达到 -60 mm 左右。对于雨水、污水、

电力管线建议沉降控制值为 -25 mm ;给水管线和热力管线建议沉降控制值分别为 -15 mm 和 -20 mm ;燃气管线的控制沉降值仍需进一步研究,建议遵循现有规范 -10 mm 。

4) 北京地区地下管线沉降较大的地方一般发生在地铁不同结构的隧道临近共同多重作用的区域内,这与区域隧道断面较大、施工工序转换多次、重复扰动地层、结构受力复杂等原因有关。基坑开挖与盾构掘进过程中的不正常施工也会造成地下管线的较大沉降。

5) 管线沉降除受地层条件、土体性质、地下水位、气候等客观因素影响外,暗挖法施工与盾构掘进过程中的不正常施工也会造成地下管线的较大沉降。所以,严格控制施工过程、合理调整施工参数与控制盾构姿态,避免不正常事故的发生,是保障地下管线安全的关键。

参考文献

- [1] 裴超. 隧道施工对邻近地下管线的影响研究[J]. 山西建筑. 2008,34(12):325-327.
- [2] O'Rourke T D, Trautman C H. Buried pipeline response to tunnelling ground movements [C] //Switzerland: Proc. Europipe'82 Conf., Basel, 1982;5-12.
- [3] Attewell P B et al. Soil movements induced by tunneling and the effects on pipelines and structures [M]. Blackie, London, 1986.
- [4] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
- [5] 刘招伟,赵运臣. 城市地下工程施工监测与信息反馈技术 [M]. 北京:科学出版社,2006.
- [6] 赵文,孙海霞,刘立健,等. 地下管线变形与破坏的实验与监测研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(10):1485-1489.
- [7] 骆建军,张顶立,王梦恕,等. 北京地铁暗挖车站施工对管线的影响分析[J]. 铁道学报,2007,29(5):127-132.
- [8] 中华人民共和国建设部. GB 50497—2009 建筑基坑工程监测技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009.
- [9] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [10] 北京市轨道交通建设管理有限公司. 北京市轨道交通工程建设安全风险技术管理体系(试行)[S]. 北京,2008.
- [11] 上海市建设委员会. DG/TJ08—2001—2006 基坑工程施工监测规程[S]. 上海,2006.
- [12] 广州市建设委员会. GJB 02—98 广州地区建筑基坑支护技术规定[S]. 广州,1999.
- [13] 天津市地下铁道总公司建设公司. 天津地铁二期工程施

工监测技术规定(试行)[A]. 天津,2005.

[14] 湖北省建设厅. DB 42/159—2004 基坑工程技术规程[S]. 湖北,2004.

[15] 中华人民共和国建设部. GB 50332—2002 给水排水工程管道结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

(编辑:郝京红)

Underground Pipelines Displacement Controlled Indexes of Urban Rail Transit Engineering

Cao Wufu¹ Ma Biao^{2,3} Jin Huai^{2,3} Wu Fengbo^{2,4} Liu Yongqin²

(1. Beijing Track Transportation Construction Management Co., Ltd., Beijing 100037; 2. Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Research Institute Co., Ltd., Beijing 100101; 3. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing, Beijing 100083; 4. Civil and Environmental Engineering Institute, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract: The research achievements of underground pipelines controlled indexes including the surface ground displacement and pipeline displacement, etc., are analyzed systematically. The direct monitoring results of deformation of 26 pipelines and indirect monitoring results of 137 pipelines' ground surface are analyzed. The deformation law of the underground pipeline is then given. The monitoring results indicate that the pipeline differential settlement is very important and it is necessary to control the overall settlement and the differential settlement at the same time. According to the monitoring results, the reason for pipeline large overall settlement is studied, and controlled indexes value of different kinds of underground pipeline are proposed. Strictly controlling the construction process, adjusting the construction parameters and control of shield posture, and avoiding accidents, are very essential to ensure the security of underground pipeline.

Key words: urban rail transit; underground pipeline; settlement; controlled indexes

(上接第 79 页)

参考文献

[1] 张晓丽. 浅埋暗挖下穿既有地铁构筑物关键技术研究与实践[D]. 北京:北京交通大学,2007.

[2] 孔保德. 北京地铁5号线下穿既有铁路的隧道施工[J]. 现代城市轨道交通,2006(3):41-44.

[3] 黄合理. 地铁隧道穿越既有车站的沉降预测及加固措施[J]. 现代隧道技术, 2013(2):114-118.

[4] 王梦恕. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 北京:人民交通出版社,2010.

[5] 张鹏飞, 璩继立. 北京地铁暗挖隧道全断面注浆加固技术

[J]. 山西建筑,2011,37(4):163-164.

[6] 赵文虎. 暗挖地铁隧道深孔注浆施工控制技术[J]. 中国水运:下半月,2013(5):223-224.

[7] 郭健,王起才,唐述林,等. 浅埋暗挖黄土隧道施工过程数值模拟分析[J]. 铁道建筑,2010(8):81-83.

[8] 孙春光,欧阳院平. 北京地铁十号线某近接区间隧道的施工数值模拟[J]. 四川建筑, 2008(1):204-205.

[9] 刘毅,漆泰岳,骆驰,等. 广州地铁6号线区间隧道施工的数值模拟[J]. 铁道标准设计, 2009(3):96-97.

(编辑:郝京红)

Deep Hole Grouting and Protective Measures of Underground Tunnel Beneath Existing Station

Li Yuan

(China Railway 16th Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100023)

Abstract: The east location of Chongwensanlihe station-Ciqikou station of Beijing subway line 7 crosses beneath Ciqikou station of line 5. In order to ensure the normal operation of Ciqikou station, deep hole grouting technology underground tunnel beneath existing station was adopted in the construction of the new tunnel to reinforce soil mass and strengthen the formation stable ability. In order to ensure the safety of the construction of a new line, protective measures were taken according to the risk source and existing line 5. Results show that the protection measures for peripheral risk source and existing lines are the key for ensuring the safety of the whole construction process in actual construction process.

Key words: urban rail transit; underground tunnel; beneath station; deep hole grouting; protective measures