

城市快速地铁精确定轨放样及其质量控制^①

刘 苏

(长沙交通学院路桥系, 长沙 410076)

摘 要 对城市快速地铁铺轨工程中的精确定轨放样技术进行了有益的探讨。结合在国外的工程实践, 总结和论述了一种新的行之有效的精确定轨放样及质量控制方法。

关键词 轨道中线 定轨放样 质量控制 曲线 直线

快速地铁交通系统以其平稳、快捷、安全畅通等诸多优点, 得到世界各现代大都市的普遍采用, 在我国现代大城市的交通建设中也日益受到重视。地铁具有的平稳、快速等性能的实现, 除设计因素外, 在很大程度上取决于轨道按照平、纵、横设计参数在三维坐标上的控制精度及圆滑程度, 因此在铺轨施工中的测量工作就显得至关重要。由于测量放样是在铺轨施工各工序中穿插进行的, 且铺轨施工工序多、速度快, 这就要求每道测量工序都具有质量保证, 以避免因测量失误造成返工, 况且大部分铺轨工序的返工都是非常困难的。本文根据作者参加新加坡第三期快速地铁建设的铺轨施工测量实践^[1]结合有关知识, 对地铁精确定轨放样及其质量控制进行探讨。

1 轨道中线的三维数学模型

快速地铁中线线型设计要考虑到城市现有建筑、道路、地下管线、地基、水文及工程地质状况等诸多因素, 使平面线型比较复杂, 其中除直线、圆曲线及带对称缓和曲线的圆曲线等常规线型外, 还有带不对称缓和曲线的圆曲线以及带过渡缓和曲线的复曲线。常规曲线数学模型见文献[2]、[3], 这里仅讨论带不对称缓和曲线的圆曲线以及带过渡缓和曲线的复曲线

线的数学模型的确定。

1.1 带不对称缓和曲线的圆曲线

如图1, 设第一缓和曲线长 $\widehat{AB} = L_1$, 第二缓和曲线长为 $\widehat{CD} = L_2$, 圆曲线半径为 R 。有关参数的计算按照带对称缓和曲线 $\widehat{AB}$ 的圆曲线以及带对称缓和曲线 $\widehat{CD}$ 的圆曲线的常规算法分别进行, 则第一、第二切线长 T_1 、 T_2 及曲线 $\widehat{AD}$ 长 L 为:

$$T_1 = (R + P_1) \operatorname{tg}(\alpha/2) + Q_1 -$$

$$(P_1 - P_2)/\operatorname{Sin}\alpha$$

$$T_2 = (R + P_2) \operatorname{tg}(\alpha/2) + Q_2 +$$

$$(P_1 - P_2)/\operatorname{Sin}\alpha$$

$$L = (A - \beta_1 - \beta_2)\pi/180 + L_1 + L_2$$

式中 P_1 、 P_2 —分别为第一、第二缓和曲线段的轨道内移值。

为计算和放样的方便, 取交点圆心连线与圆曲线的交点作为曲线中点。这样就完全确定了带不对称缓和曲线的圆曲线的数学模型。

1.2 带过渡缓和曲线的复曲线

如图2, 设第一缓和曲线 $\widehat{AB}$ 长为 L_1 , 第二缓和曲线 $\widehat{CD}$ 长为 L_2 , 第一圆曲线半径为 R_1 , 第二圆曲线半径为 R_2 , 第一圆曲线至第二圆曲线的过渡缓和曲线 $\widehat{EF}$ 长为 L_3 , 则它们的内移值分别为:

① 收稿日期: 1995-03-10; 修回日期: 1995-05-20

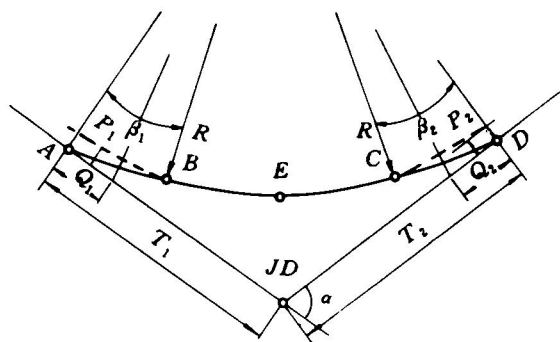


图1 带不对称缓和曲线的
圆曲线计算参数

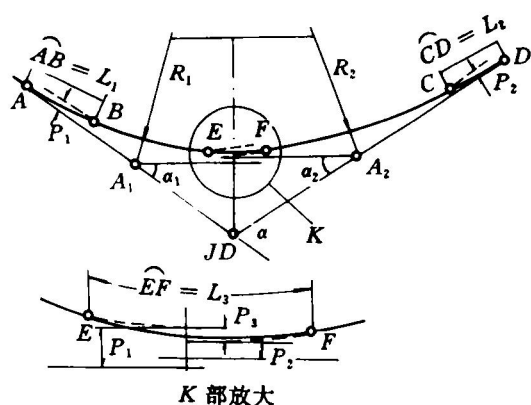


图2 带过渡缓和曲线的复曲线计算参数

$$P_1 = L_1^2 / (24R_1)$$

$$P_2 = L_2^2 / (24R_2)$$

$$P_3 = L_3^2 (R_2 - R_1) / (24R_1 R_2)$$

这三个内移值与相应确定的两个交点就构成了带过渡缓和曲线的复曲线的数学模型。

1.3 轨道中线纵横断面数学模型的确定

轨道中线纵断面反映了路轨中心线的高低起伏及设计坡度，它的数学模型为坡度线和竖曲线两种。通常采用二次抛物线作为竖曲线的数学模型。设竖曲线半径为 R ，则有：

$$y = x^2 / (2R)$$

式中 x 为竖曲线上任意点距起点或终点的水平距离， y 为竖曲线上任意点距切线的纵距

平、纵数模确定了轨道中线的空间位置。然而，就单线来说，固定在枕木上的铁轨与路

基及道碴形成了具有一定宽度的带状结构物，体现这种带状结构物的断面称为路轨横断面，其中最重要的参数为外轨面超高。轨面超高决定了同线同桩号不同铁轨的不同高程。由上，轨道中线三维数模得到了确定。在此基础上，建立轨道中线桩号与其三维坐标一一对应的函数关系，就能通过桩号求得其放样数据以进行精确定轨放样。放样数据由计算机在室内计算后，打印成数表供现场测设用。

2 精确定轨放样

精确定轨放样的流程为：建立定轨放样平面控制导线以及高程控制水准路线→放样路轨中线 50m 点及曲线主点→以 50m 点做控制点加密 10m 点→沿中线过放样中线点的法线方向在隧道壁上安装此中线点的测量金属标志、测量中线点与对应标志之间的水平距离并将其与桩号一同写在金属标志上→用水准测量方法测量中线点及对应的测量标志的高程并确定道碴填铺高度→铺轨时通过隧道壁上的测量金属标志及其上所记的水平距离，采用专用放样工具确定轨道中线的平面位置→配合调轨机车对路轨的平面、高程位置进行反复调整直至满足精度限差要求→工程竣工验收测量。

以上工作中，制定精度限差标准及前三项工作最为重要，对此将作较深入的讨论。

2.1 定轨放样的精度限差

定轨放样的精度限差由设计者依设计要求给出。发达国家，为了实现地铁机车快速平稳运行，往往对放样精度限差提出很高的要求，如新加坡地铁第三期工程的限差为：

中线点平面精度限差：横向 ± 3 mm，纵向 ± 5 mm；轨面高程精度限差： ± 5 mm。

控制导线的平面相对精度限差：1/50 000；水准点高程精度限差： ± 3 mm。

2.2 平面控制导线及水准点的建立

当今地铁已不完全铺设于隧道内，而是隧道与高架桥、堑沟或地面共用，这就决定了平面控制导线、水准高程控制须分两级布设。

第一级平面控制为1"精密导线,平均边长为1000m,在沿线地面从起点至终点一次布设完成。坐标计算采用严密平差的数据处理方法。一级水准高程控制采用精密水准测量方法,相邻水准点间的水平距离在1000m左右。

第二级平面控制导线沿隧道、堑沟及高架桥的路基布设,二级水准点的布设也不例外。由于路基窄、弯道多、放样精度高、且(或)有防护构件等的影响,二级导线的边长应控制在80~200m之内,相邻边长也不能变化太大;二级水准点布设在沿线隧道壁或1/2高架桥挡墙上,相邻水准点间距控制在1000m左右。导线点、水准点采用射钉枪往路基混凝土结构物上打钉形成的永久稳固标志。土建承包商与铺轨承包商之间的工程交接是分段分期进行的,这使得二级平面及高程控制点也只能分段分期逐步建立,每段的导线及水准路线必须分别与地面相近的一级导线、一级水准路线闭合,并采取严格平差方法计算二级导线点的平面坐标及二级水准点的高程,它们的精度必须满足前述1/50000的平面精度限差以及 ± 3 mm的高程精度限差要求。二级导线已能保证定轨放样的需要,但二级水准点需要采用精密水准测量方法对其进行加密。

2.3 路轨中线 50m 点及曲线主点

放样路轨中线50m点、曲线主点是以二级导线点作为测站点及后视点,采用全站仪极坐标法而成。由于50m点、曲线主点为路轨中线的控制点,放样精度要求极高。测站点、后视点、放样点必须严格对中,放样距离控制在100m以内,测站归零差不能超出 $\pm 5''$ 。由于路基铺装业已完成,放样点的标记比较方便。极坐标法中的距离放样可先用钢尺、铅笔及钢角尺沿放样点的水平方向定出大概点位,在点位上精确对中整平反光镜脚架,再用全站仪按测设数据对点位进行反复微调直至点严格位于应有的水平方向上且测距误差不超出 ± 3 mm。然后通过反光镜的光学对点器将放样点准确投到地面并做好标记、写上桩号。当测站放样完成时,应按测站归零限差检查归零方

向。

对于长直线放样,采用正倒镜分中、在第一曲线终点与第二曲线起点之间设转点、将长直线化为几段短直线的方法是非常有效的。

有关50m点、曲线主点的放样数据以及测站点后视点的选择,均由计算机完成并打印成数表供用,以利节省现场测设时间。

2.4 加密路轨中线 10m 点

放样路轨中线10m点是以50m点为控制点,采用极坐标法运作的。放样距离控制在30m以内。测站、前视、后视及测设数据均由计算机安排并计算。所用的主要仪器及工具是6"级光学经纬仪、30m钢尺、角钢尺、3H铅笔及前后视点的测量标志牌等。钢尺必须检定且具有尺长方程式。具体放样方法如图3所示:在50m测站严格对中整平经纬仪,以相邻两个50m点为前、后视点并精确安置测量标志牌。将经纬仪瞄准后视点,将水平度盘配至这一方向的方位角,瞄准前视点并读取水平度盘

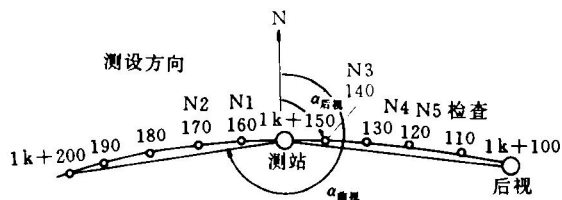


图3 路轨中线10m放样示意

读数,其读数与这一方向的应有方位角的较差应在 $\pm 15''$ 范围内,否则应对有关50m点重新放样。图中测站为1k+150,前视点为1k+200,后视点为1k+100,本测站共放样4个10m点,按放样先后顺序分别为:N1 1k+160, N2 1k+170, N3 1k+140, N4 1k+130。放样完成后,检查前一测站放样的10m点1k+120。如放样较差超出 ± 3 mm,则应查明原因,并予重测。如放样距离始终为钢尺长度,放第一个10m点时,尺的零端位于测站点,以零端为圆心沿放样点水平方向左右的地面上划

弧, 铅笔尖沿弧左右移动以至精确位于经纬仪所确定的放样点水平方向上。第二个 10 m 点的距离放样则以第一个 10 m 点为起点进行, 如此类推。放样完毕, 需作好标记、写上桩号, 接着进行下一测站的 10 m 点放样工作。当放样中线为直线时, 经纬仪瞄准后视点后倒转望远镜正视前视点, 看前视点是否与望远镜竖丝重合。如果偏差在 ± 3 mm 以内, 则可微移经纬仪基座以至前视点与竖丝重合; 否则重新放样有关 50 m 点。经纬仪的严格检校非常重要, 否则会对误差产生较大的影响。

2.5 定轨放样的其它工作

当二级水准点布设完成后, 将其作为高程控制点采用 DS3 级水准仪对所有放样中线点进行水准测量, 求得中线点高程。再根据中线点高程推算此点横断面上道碴填铺高度并将其标记在两壁或挡墙上, 依据道碴填铺高度宁低勿高的原则, 标记位置应比应有位置降低 0.1 m, 以免道碴填铺过高使轨面高程偏高和增加调整的困难。

铁轨平面位置的调整是按隧道壁或挡墙上测量标志所记的桩号及其与中线点的水平距离采用专用放样工具配合调轨机车进行的。曲线铁轨的圆滑是通过检测铁轨桩号点至某弦的水平距离与应有水平距离之差是否符合限差 (± 2 mm), 配合调轨机车反复进行的。用于曲线铁轨圆滑的桩距为 5 m。

铁轨高程位置的调整, 也是通过水准监测所获得的对应桩号的轨面瞬时高程与应有高程之差是否符合限差 (± 3 mm), 配合调轨机车反复进行的。

3 精确定轨放样的质量控制

精确定轨放样是在整个施工过程中穿插进行的, 任一放样过程的问题都有可能对施工造成重大损失, 因此必须按照质量标准认真完成、及时检查。

3.1 中线点平面位置的检查

当控制导线的检查结果符合限差要求时,

即可以导线点为控制点放样 50 m 点和曲线主点。50 m 点的检查同 2.3 节所述, 中线点平面位置的检查采用弦距法进行, 具体做法如图 4 所示: 以 30 m 桩号差定一根弦, 如图中的弦 1、弦 2、弦 3 等。拉紧尼龙线与弦位重合, 用不锈钢尺测量中线点的弦距 f_1 、 f_2 、 f_3 ……, 看其与应有弦距之差是否超出限差 ± 3 mm。如超出, 则对有关中线点重新放样。对于直线上的中线点的检查方法是同样的, 只不过弦距应有值为零。检查是紧接一测站上 10 m 点加密完成后进行的, 以便及时发现问题, 及时返工。中线点与弦长之间的应有弦距值由计算机计算并打印成表供现场检查用。

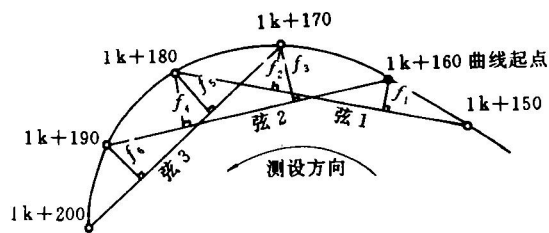


图 4 中线点平面位置检查法

3.2 平面控制导线及水准点的检查

平面控制导线坐标及水准点高程一般由建设单位提供。施工单位宜在使用前采用放样 50 m 中线点的测量仪器对平面控制导线的水平角及导线边长分段进行检测。边长相对误差为 $1/50\,000$; 水平角观测为四测回, 其最终观测值与相应的水平角值允差为 $\pm 5''$ 。水准点的检测则可结合水准点的加密进行。

参考文献

- 1 Singapore Mass Rapid Transit Corporation. Transmittal Advice To BalfourBeatty-Gammon JV. 1994.
- 2 西南交通大学. 铁路工程测量学. 北京: 人民铁道出版社, 1983.
- 3 西安公路学院公路系. 公路测量. 北京: 人民交通出版社, 1979.

(编辑 赖海辉)