

提高客运专线沉降观测精度的措施

岳祖润, 孙铁成, 冯怀平

(石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:结合目前客运专线沉降观测实践,分析了几种常用测试手段的优缺点,提出了能够满足无碴轨道沉降高精度要求的观测方法和测试元件保护方法。

关键词:客运专线;沉降;观测精度

中图分类号:U238 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2010)02-0027-05

严格控制工后沉降是高速铁路(客运专线)区别于普通铁路的一个重要特征。经过近几年的实际工程的摸索,各种规格的客运专线工后沉降控制标准越来越严格,尤其是时速300~350 km的无碴轨道,考虑到列车高速运行的安全性和舒适性,要求一般路基工后沉降15 mm;过渡段沉降差不大于5 mm;不均匀沉降造成的折角不大于1/1 000^[1]。如此严格的控制标准,对于桥梁和隧道来说,基础直接作用到基岩上,相对较容易实现,而对于土质路基,控制起来有相当的难度,一旦控制不到位,进行后期补救,容易造成安全隐患和经济损失。因此,规范^[1]明确规定建设方和施工单位必须制定详细的方案,组织专业人员实施沉降观测和信息化施工控制。

对于这种高精度的沉降观测与控制,一些低精度传统的方法不再适用,必须研究观测手段的可靠性。工程界自秦沈客运专线建设开始重视沉降观测与控制研究。曹新文等^[2]在参考国外资料的基础上,提出了基床的累积下沉、基床的弹性变形和路基填土的压密下沉的控制值的建议值;王炳龙等^[3]通过对厚层软土地基现场试验观测,分析了塑料排水板、堆载预压处理软土地基对工后沉降的影响;赵洪勇等^[4]分析了路基沉降监测常用的几种方法的优缺点,但当时的测试精度要求尚不高,有些精度低的手段现在已经不再适用。根据笔者在石(家庄)武(汉)客运专线进行沉降观测的实践,针对现场沉降观测工作的现状,提出提高沉降观测与控制精度的几项具体技术措施。

1 沉降观测与控制的关键点

路基的沉降按时间分为施工期沉降和工后沉降。顾名思义,在填土压实施工过程中产生的沉降即为施工期沉降,而在铺轨工程完成以后基础设施产生的沉降量即为工后沉降^[1]。施工期沉降只是增加了少量的填方,对高速铁路工程质量没有影响,而工后沉降直接关系到线路的平顺性和养护维修工作量,是沉降控制的重点。

路基的沉降变形按空间分为路基面的弹性变形、路基面累积变形和整个路基的压缩沉降变形,见图1。弹性变形主要是由列车动荷载引起的,由基床表层的刚度控制。只要按照现行规范^[1]设计要求填筑基床,弹性变形能够控制在1 mm以内^[5],而弹性变形只有超过3 mm以后才会对线路的平顺性和行车的舒适度产生影响^[2]。路基面的累积塑性变形由列车动荷载长期重复作用引起,是造成翻浆冒泥等路基病害的罪魁祸首,必须尽量消除或减小。累积塑性变形靠提高基床表层的强度来控制,采用级配碎石基床表层和沥青混凝土强化层,能够很好地减小路基的累积变形。整个路基的压缩沉降由填土压缩变形和地基沉降组成。由于压实标准的提高,填土压缩变形只占路堤高度的0.1%~0.3%,而且在铺轨前基本完成,所以不予考虑;地基沉降是路基压缩沉降变形的主体,也是路基工后沉降的主要来源,因而也是工后

收稿日期:2010-06-25

作者简介:岳祖润,男,1962年出生,博士,教授。研究领域为地基变形与加固处理技术,高速铁路与公路施工关键技术。

沉降控制的重点。

此外,路基沉降控制受时间的制约较大。如果工期足够长,路基有充分的预压时间,根据观测数据预测工后沉降满足要求后,卸掉超载预压荷载,然后铺轨。由于轨道荷载加列车荷载小于超载预压荷载,路基工后沉降达到“零沉降”是可以实现的。遗憾的是,客运专线建设工期都比较紧张,工后沉降控制的困难就增加了。为了在较短的工期内达到控制工后沉降的目的,需要对地基进行加固处理,需要通过沉降观测和预测评估,结合信息化施工技术(对预测工后沉降不合格者采取延长预压时间等措施)控制路基的工后沉降满足铺轨条件。

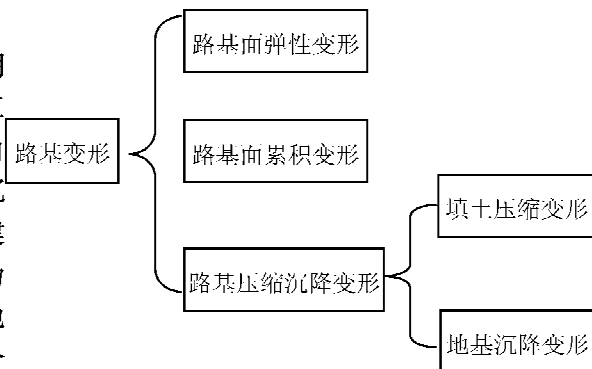


图1 路基变形组成

2 沉降观测仪器比选

目前沉降观测所用的仪器主要有观测桩、沉降杯、沉降板、水压式的剖面沉降仪、测斜式的剖面沉降仪等。每种仪器都有其精度水平和适应性,只有全面了解,才能因地制宜地运用。

(1)观测桩。用木桩和钢钎钉入土中,用水准仪抄平,即可测量地表面的沉降量。此方法最简便,但只能测定建筑物表面的沉降值,无法测试土体内部某位置的沉降,填土高度不断增加时无法使用。

(2)沉降杯。将盛水密闭容器置于土中,容器上接出进水管、排水管和排气管至填土以外。容器内部的水位与外部观测水杯的水位一致,则可通过观测量杯中的水位得到容器的沉降。其优点是构造简单,造价低廉,缺点是容易形成气泡阻塞水管,使测试失效。目前此方法已经很少使用。

(3)沉降板。沉降板由底板和测杆、护管组成。底板为边长约 50 cm 的正方形钢筋混凝土板或钢板。测杆为直径 40 mm 左右的钢管,第一段垂直固定于钢筋混凝土板的中央,随着填土高度的增加,分段以丝扣接长测杆。测杆外套接 PVC 管保护,以免测杆受外来扰动变形。沉降板是目前沉降观测的最常用的方法。其优点是造价低廉,易于测试,精度高。但其弱点是影响填土压实施工,形成压实死角,沉降杆经常被施工机械损坏。一个断面上多放几个沉降板影响压实施工的矛盾更突出。另外一个缺点是容易人为丢失,且损坏后的补救非常困难。

(4)水压式剖面沉降仪。由沉降管和二次测试仪器组成。沉降管为一般的 PVC 管,二次测试仪器由探头、注水管、注水架组成。其工作原理见图 2。

探头内的主要元件是静水压力传感器。根据静水压力的变化,可得到不同位置探头高程的变化,从而得到该点的沉降值。观测方法是拉着探头沿沉降管移动,在需要测试的点停下,测读孔隙水压力计的读数,即可计算沉降值。优点:①能够测定剖面上任意一点的沉降值。②测试成本低,沉降管使用廉价的 PVC 管即可。③对填土施工无干扰。缺点:①适应沉降量较大的场合。而对无碴轨道毫米级的沉降测试,误差较大,不适应。由于孔隙水压力计对微小的水位差很敏感,使得该仪器在测试小变形时不稳定,容易受到风、气温、机械引起的环境振动等因素影响。②系统笨重,不能方便携带,测试时需注纯净水。

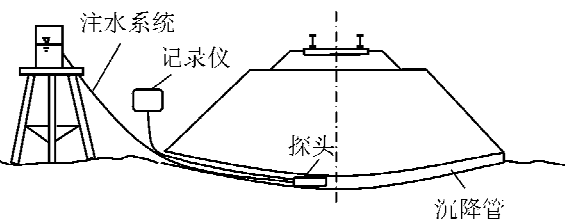


图2 水压式剖面沉降仪

图3给出了水压式剖面沉降仪的一组标定曲线。在没有加载、沉降基本稳定的一天里的不同时刻,对同一根沉降管进行了多次拉测。理论上这些曲线应该是重合的,但是,由于各种误差使得各条曲线并不重合。从图中可以明显看出沉降值受温度变化的影响。早晨 8:40 气温低,测得的沉降值最小。其它曲线随着气温的升高,沉降值不断增大。下午 16:00 是一天中气温很高、照射最充足的时段,这时测得的沉降值也最大。这是由于仪器水管中的水热胀冷缩引起的误差,有的点达到了 5 mm。

现场拉测的时候,一般不会像标定时那样仔细,对于 30 m 左右的拉测长度,水压式剖面沉降仪的测试精度很容易超过 5~10 mm。这个误差对于无碴轨道 15 mm 工后沉降控制标准来说,显得偏大了。

(5)测斜式剖面沉降仪。与水压式剖面沉降仪相似,测斜式剖面沉降仪也由沉降管和二次测试仪器组成。不同的是测斜式剖面沉降仪无需注水系统,其沉降管是特制的 PVC 管。工作原理见图 4。

探头内的主要元件是用于测倾角的伺服加速度传感器。通过重力加速度在敏感水平轴上的投影,可精确测量探头的倾角,再根据探头长度得到探头两端的高程差,从而得到沉降值。优点:①精度高,不受气候和环境的影响。每次读数迅速稳定,36 m 长的剖面测试的累计误差小于 0.5 mm。②对填土施工无干扰。③移动方便。整个测试系统可由一个人携带。缺点:沉降管使用特制的 PVC 管,造价约为普通 PVC 管的 3~4 倍。

图 5 给出了测斜式剖面沉降仪的一组标定曲线。在没有加载、沉降基本稳定的一天里,对同一根沉降管进行了两次不同时刻的拉测。理论上这两条曲线应该是重合的,但是,由于各种误差使得各条曲线并不重合。从图中可以明显看出沉降几乎不受温度和系统误差的影响。在一天内气温最热的时刻和凉爽的时刻测得的两条沉降曲线基本重合,最大差值小于 0.5 mm。可见,测斜式剖面沉降仪的测试精度要明显高于水压式的,满足无碴轨道工后沉降控制要求。

综上所述,重点推荐改进的新型沉降板和测斜式剖面沉降仪,并对其工作机理进行详细介绍。

3 改进的新型沉降板工作机理及应用

沉降板具有价格低廉,易于测试等突出优点,但影响碾压施工,容易受损和丢失,难以修复是其致命的弱点。据石(家庄)武(汉)客运专线某标段统计,沉降板损坏和丢失率超过 60%。为了克服沉降板上述缺点,研制一种改进的新型沉降板势在必行。图 6 所示的即为经过反复试验研制的新型沉降板。与普通沉降板不同之处:①每段测杆长度较短,等于碾压后的填土层厚度。②增加一个带柔性泡沫的保护罩。

埋设和测试方法。①首先在碾压整平的待测土层上放置沉降板和护管(比测管略低),上扣保护罩。然后填土、摊铺,刮平,碾压第一层至要求密实度;②利用活动把手和撬杠,取出保护罩,测量标高初始值。③接测杆和护管并测量标高。盖上保护罩,填第二层土,摊铺,刮平,碾压至要求密实度。④利用活动把手和撬杠,取出保护罩,测试第二层土压实后沉降板标高⑤依次重复③和④,随逐层填筑施工进行测试即可。每一层在刮平和初次碾压后,根据填高,可利用活动把手和撬杠,适当调整保护罩高度。

这种方法保留了普通沉降板价格低廉、测试简单的优点。由于其测杆未露出地面,对碾压施工无干扰,既避免了遭受施工机械的损坏,又避免了人为丢失。在(北)京(至)石(家庄)客运专线路基填筑工程中进行了现场试用,效果很好。其精度就是水准测量的精度。采用电子水准仪,执行国家二等水准测量,其沉降观测精度能够控制在 1 mm 以内。现场使用证明这是一种简易、可靠、精度高、值得推广的技术。

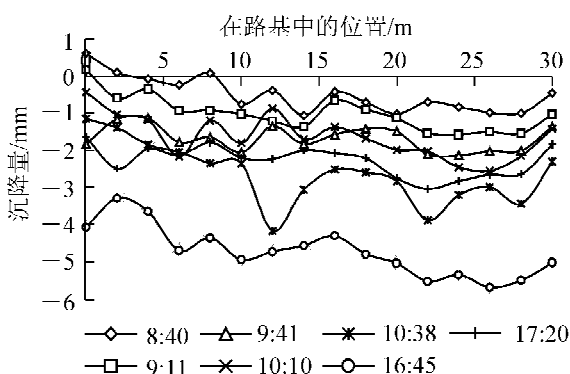


图3 水压式剖面沉降仪标定曲线

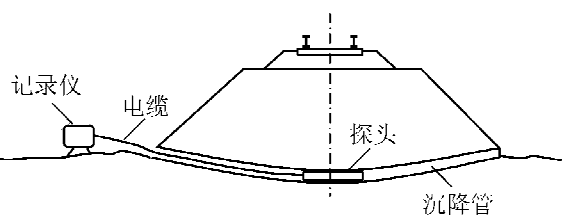


图4 测斜式剖面沉降仪

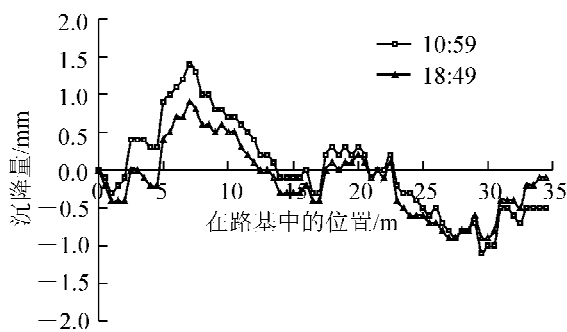


图5 测斜式剖面沉降仪标定曲线

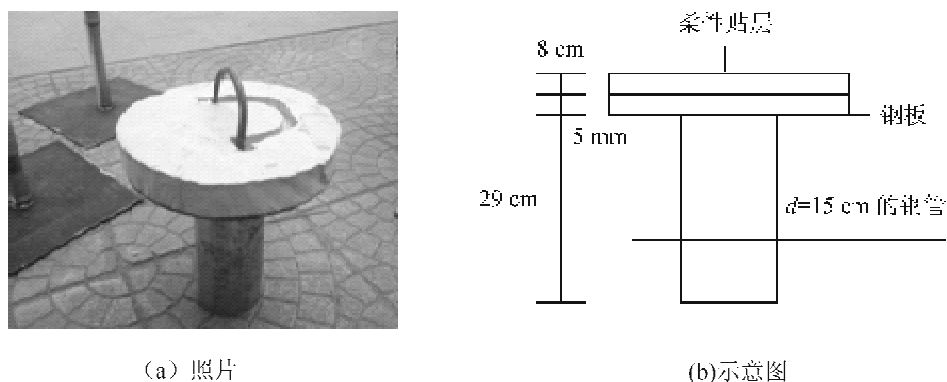


图 6 新型沉降板保护罩

4 测斜式剖面沉降仪的工作机理及应用

(1) 测试原理与误差处理。在待测土体中水平向预埋带槽沉降管,此管可随土体一起变形;测斜探头一般为 0.5 m,两端装有导轮,探头中心安装了精密硅晶体加速度计,当导轮沿沉降管的导槽移动到某个位置时,探头中的加速度计的重力矢量在水平轴上的分量被测定,从而确定了探头与水平轴的倾角。倾角与探头的长度之积即为探头两端的高程差。观测时探头位置首尾相接,连续测试,即可推算出各点的高差。

如图 7 所示^[6]:当加速度计敏感轴在水平方向时,矢量 g 在敏感轴上的投影为零,加速度计的输出为零。当加速度计敏感轴与水平方向存在一夹角 θ 时,加速度计的输出电压信号为

$$U_{out1} = K_0 + K_1 g \sin \theta \quad (1)$$

式中, K_0 为加速度计初始偏值; K_1 为加速度计电压因数,仪器出厂时给定,也可由标定得到; g 为重力加速度。

为了消除 K_0 的影响,可将探头水平旋转 180° ,调头进行第二次测量得

$$U_{out2} = K_0 - K_1 g \sin \theta \quad (2)$$

(1) - (2) 得

$$U_{out1} - U_{out2} = 2K_1 g \sin \theta \quad (3)$$

由图 7 可知 $\sin \theta = \Delta i / L$ 。其中, Δi 为探头在某个位置时,两端的高程差值, L 为探头长度(m)。则 $\Delta i = L(U_{out1} - U_{out2}) / 2K_1 g$ 。

用导线拖拉探头前进,每隔 0.5 m(探头长度)记录一个高程差 Δi ,则任意位置相对于测试起始点位置的高程差即为此距离内所有读数的代数和 $\delta = \sum \Delta i$ 。

由式(1)~式(3)可知:正反向拉测各一次,然后相减,即可消除 k_0 影响。实际上,这种方法可以消除绝大部分由各种原因产生的误差,使测试达到毫米级精度。与管端的水准测量精度相匹配。

(2) 埋设工艺。当被测标高以上填筑一层并压实以后,开挖宽 20 cm,深 30 cm 的沟槽。将特制 PVC 管埋设在沟槽内,管上和管下都铺砂垫层保护。导槽方向对准铅垂方向,整个断面上的沉降管连接后,尽量保持平直,以便使探头容易牵引。

(3) 沉降管的保护装置。沉降管出露端头用带盖的长 1.5 m,直径约 200 mm 的钢管制成的保护筒保护,沉降管应尽量位于保护筒的中心,管与筒之间充填混凝土固定沉降管位置。筒顶可作为管头标高临时高程点。保护筒平日用内置螺栓将盖封死,测量时用专用扳手将盖打开即可测量,这样可避免人为损坏。该保护筒与现行的方形混凝土保护箱相比,有很多优点。便于制作,便于测试操作,便于保护,对边坡处理影响小,不易破坏。

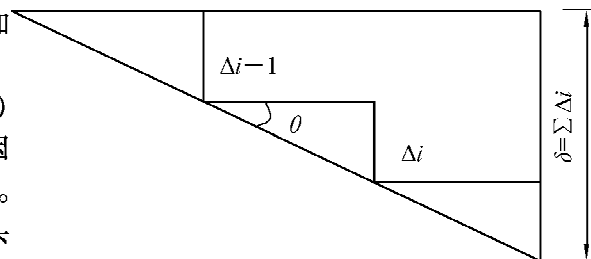


图 7 测斜式剖面沉降原理

(4)需要特别重视的测试要点。①PVC 管埋设时4个导槽一定要对准铅垂和水平方向。②使用两端对称的探头,拉测一遍到终点后,将探头水平调转 180° ,从终点向始点再反向拉测一次。

5 工后沉降预测评估注意事项

尽管工后沉降评估是由建设单位指定的第三方负责,施工单位也应该根据观测资料进行工后沉降的预测,只有这样才能做到心中有数,使管段的沉降评估工作顺利通过。

利用观测数据处理推算工后沉降的方法有多种,如双曲线法、三点法、抛物线法、指数曲线法、修正指数曲线法和沉降速率法、星野法、泊松曲线法等等。目前比较常用的有双曲线法和三点法。

根据现场测试数据预测工后沉降的具体方法不再赘述,其实质是对实测沉降点进行曲线拟合,并求出沉降拟合曲线趋于稳定的渐近线,作为最终沉降值,该沉降值减去施工期沉降即为工后沉降。因此,为了保证预测的准确性,应该做到:①要有足够多的观测数据,必须在施工加载结束后再观测几个月,使沉降数据有明显的稳定趋势才可行;②数据观测精度要足够高,如果数据摆动幅度较大,或不符合选定的拟合曲线形式,线性回归的相关性就不理想。③沉降观测曲线的趋势比较直观,当各种误差导致预测结果不合理时,凭经验的直观判断进行校核是必不可少的。

6 结论

(1)高速铁路对沉降观测、评估和控制提出了严格的要求,必须高度重视,严密组织,精心测试,才能精确控制工后沉降。

(2)已有的一些精度较低的观测手段已经不再适应。通过多次标定和现场试验,本文推荐改进的新型沉降板和测斜式剖面沉降仪。这两种仪器能够满足高精度的沉降观测要求。其中沉降板的观测精度就是水准观测精度;测斜式剖面沉降仪的观测精度也不受环境因素的影响,对于30 m左右的双线路堤,累积误差能够控制在1 mm以内。

(3)沉降测试设施必须采取有效的措施进行保护。新型沉降板以其自身特点可以在很大程度上避免机械和人为破坏;测斜式剖面沉降仪,保护的重点是沉降管的两端出露部分,现场应用证明采用本文提出的钢管保护效果很好。

(4)工后沉降的评估如果机械地套用公式,容易出现偏差。直观判断必不可少。

参 考 文 献

- [1]铁道部. TB10621—2009 高速铁路设计规范(试行)[S]. 北京:中国铁道出版社,2010.
- [2]曹新文. 高速铁路路基变形控制值的研究[J]. 路基工程,1998(2):38-41.
- [3]王炳龙. 高速铁路软土路基工后沉降试验研究[J]. 同济大学学报,2003,31(10):1163-1167.
- [4]赵洪勇. 高速铁路路基沉降监测方法的认识与评价[J]. 路基工程,2001(6):15-17.
- [5]岳祖润. 二布一膜改良路基试验研究[J]. 岩土工程学报,2006,28(7):853-856.
- [6]冯怀平,岳祖润,赵玉成. 水平测斜仪在路基沉降测量中的误差处理[J]. 石家庄铁道学院学报,2001,14(4):52-53.

Measures of Improving Precision of Settlement Observation in Passenger Dedicated Line

Yue Zurun, Sun Tiecheng, Feng Huaiping

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Based on practices of the settlement observation in passenger dedicated lines, the advantages and disadvantages of several measuring means are analyzed. Then the observation method and protecting method of testing sensors are proposed, by which high precision of settlement observation for ballastless track can be reached.

Key words: passenger dedicated line; subgrade; post construction settlement; settlement observation