

文章编号: 1003-1995(2015)10-0013-06

# 高速铁路沉降与变形分析及对策

魏 强

(中国铁路总公司 工程管理中心, 北京 100844)

**摘要:**引起高速铁路沉降与变形的原因主要有地质条件、复杂桥梁结构、线路外侧施工或加载以及施工质量问题。高速铁路建设期间以及后期运营期间的沉降观测是区域地面沉降规律分析的关键,应重点关注漏斗边缘或不均匀沉降地段;冻胀—时间曲线对线路运营管理极为重要,冻胀快速上扬和波动融沉两个阶段是线路运营的不稳定期,应加强冻胀观测,目前采取的设计措施还需要进一步深化研究;桥梁结构变形主要包括相邻桥墩大高差引起的变形和大跨度钢结构桥梁变形,受地形条件限制这种变形难以避免,因此在轨道调整及养护方面应采取合理措施;目前线侧施工和施工质量问题引起线路沉降和变形问题十分普遍,在设计和施工阶段应进行控制。提出了加强地质勘察、系统性设计、施工质量控制和养护措施四个方面的对策与建议。

**关键词:**沉降变形 区域地面沉降 冻胀 桥梁结构变形 线侧施工

**中图分类号:** U238; U213.1; U441<sup>+</sup>.7 **文献标识码:** A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1995.2015.10.03

在铁路建设中经常出现线路沉降、变形等病害,须对基础进行整治。轻则需调整轨道几何尺寸,严重的要拆除轨道结构重新施工,从而造成工期延误和成本增加。沉降与变形问题也是制约高速铁路正常运行的重要因素,对运营安全影响巨大。线路限速的原因约有 40%~50%是由于线路沉降、拱起、变形等引起的。我国目前正处在高速铁路高速发展时期,目前已经建成投入运营的高速铁路约 16 000 km,在建 10 000 km 左右。深入分析高速铁路沉降与变形产生的原因并研究预防措施十分必要。

## 1 高速铁路沉降与变形产生的原因

据已有资料统计分析,线路发生沉降与变形主要有以下原因:①特殊的地质构造或环境。区域地面沉降、岩溶地基等会引起线路的沉降,地裂缝会引起线路变形,严寒地区路基冻胀会引起线路上拱。②软弱地基。含丰富地下水的隧道基底岩层破碎、深厚软土地基、膨胀性岩土地基等会引起线路沉降、上拱或变形。③复杂桥梁结构。我国高速铁路建造水平日益提高,设计了一些跨越大江大河、深沟陡谷的新型大跨桥梁结构。其设计时须与轨道结构精确耦合计算,才能满足平顺性和动态指标控制要求。④外部因素。线路外侧倾倒垃圾、施工桩基础、填筑路基、施工涵洞及桥梁

等都会引起线路变形或沉降。⑤施工质量不良。隧道仰拱底部虚砟清理不干净导致混凝土与基岩面结合不紧密,路基过渡段填料质量不合格或者死角部位压实不到位均会引起线路沉降。施工中还出现了路基采用了具有膨胀性碎石的填料和路基掺加未完全消解的生石灰,在后期遇水后产生膨胀引起路基上拱导致无砟轨道结构变形的质量问题。

具体线路产生沉降与变形的原因,有的是多方面的因素交织在一起,有的还不能准确地地判明原因,要从地质、设计、施工、地理环境等多方面进行分析,查明原因后,才能制定针对性的处理措施。

## 2 区域地面沉降分析

区域地面沉降是世界性的难题,成因复杂,治理难度大。世界上多个国家如美国、日本等都有区域性地面沉降问题<sup>[1-2]</sup>。我国区域地面沉降主要分布在长三角平原区(上海、苏锡常)、河北平原(沧州)、环渤海(天津)、东南沿海平原(宁波、嘉兴)、河谷平原及山间盆地(西安、太原)等地区。可以看出,地面沉降一般都分布在有深厚软土地层的平原地区,其形成原因有地质因素,如构造活动、软弱土层固结沉降、地震等;也有人为因素,如开采地下水、煤、油气、地热水等。一般认为,目前产生区域地面沉降的主要因素是过量开采地下水<sup>[3]</sup>。一些地区通过采取限量开采地下水的措施,已经出现地面沉降速率明显降低的趋势。

## 2.1 沉降观测分析

建设期间以及后期运营期间的沉降观测至关重要,《客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南》<sup>[4]</sup>和相关文件<sup>[5-6]</sup>对沉降观测作出了具体要求。图1是某高速铁路所经过区域地面沉降区段在建设期间和运营阶段的沉降观测曲线。该铁路开工之前进行了初值测量,并结合调查资料,对沉降趋势进行了研判。K56—K63段存在漏斗区,预测10年后沉降产生的附加坡度为0.2‰,对工程影响较小,预测100年后沉降产生的附加坡度为4‰,调整后坡度满足使用调高支座的要求。2年后进行了第1次测量,建设期间进行了7次测量,测量周期基本上在半年左右,图1是部分测次的沉降观测曲线,可以看出该沉降区有发展趋势。根据测量成果,分别在架梁时对垫石标高,在无砟轨道底座施工前对底座顶面标高,在无砟轨道铺设前对轨面标高,在正式运营前对轨面标高进行了修正,以消除此期间的沉降量。运营后1年(初值测量后第5年)内进行了第8次测量,并根据测量结果对线路进行安全评估,重点关注漏斗边缘或不均匀沉降地段,通过调整轨面平顺性来保持运营安全和舒适度。

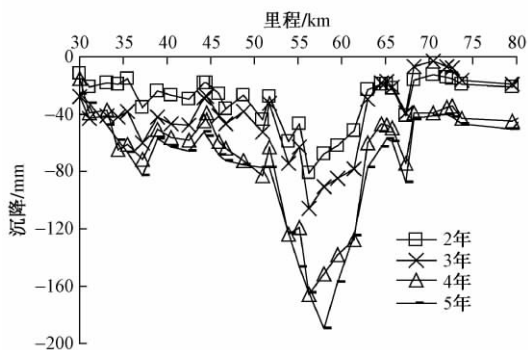


图1 某高速铁路经过区域地面沉降观测曲线

为了验证桥梁结构与地面沉降的关系,依据最近一次测量结果分析了桥梁线下基准点至离其最近的桥墩监测点之间的高差变化情况,并与以前测量结果比较,发现桥墩沉降相对于地面基准点沉降有滞后现象,并且差值在逐年提高,最大达到30.6 mm。对桥梁结构沉降与地面沉降差异化机理有必要深入研究,这对高速铁路通过地面沉降区域路桥方案选择以及桥梁桩长设计意义重大。

## 2.2 处理措施

铁路工程经过区域沉降地区时,需要认真分析沉降历史、沉降幅度及沉降速率,才能确定线路走向及各结构设计的具体措施。一般情况下,区域地面沉降是过量开采地下水引起的,存在较大范围的漏斗区,地表沉降趋于均匀、缓慢的下沉,对高速铁路工程不会产生

太大的影响。但是,漏斗区内不均匀沉降和漏斗边缘段的沉降高差变化较大,对高速铁路轨道结构会产生一定的影响。一般桥梁地段,当相邻墩台间发生15~35 mm的差异变形时,纵连底座板裂纹宽度可能超限,影响结构耐久性,进而影响结构安全。另外一些线路实测数据表明,在漏斗边缘区CPⅢ点沿线路方向的高差变化及CPⅢ点间的高差变化比较明显。

在处理措施上,首先考虑轨道系统调整措施,结合扣件调整量,依拟合曲线进行调整。按照规范规定的沉降区曲率半径 $r_a \geq 0.4v_c^2$  ( $v_c$ 为线路运营速度),将沉降曲线圆顺为一定半径的竖曲线(图2),推算出沉降量限值 $\Delta S \leq 2r_a - \sqrt{4r_a^2 - (L/2)^2}$ 。当沉降量超出允许范围,需要采取特殊措施:对于桥梁结构,可采用可调高支座进行高程调整的措施,但需要考虑不均匀沉降引起的桥梁结构破坏和可调高支座的设计坡度限制<sup>[7]</sup>;更严重时,需要采取顶梁抬升的措施。对于路基地段,可通过压注浆液抬升轨道,国内已经有在无砟轨道底座板与路基基床面之间通过压注一种化学材料抬升轨道的工程实例<sup>[8-9]</sup>,最大抬升量达到了100 mm,但是需要考虑抬升量与轨道刚度匹配问题。

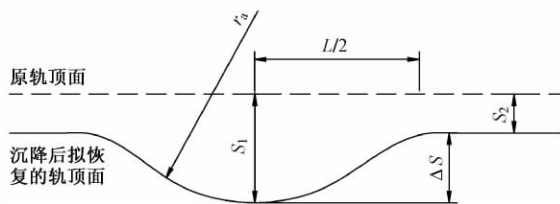


图2 不均匀沉降竖曲线拟合示意图

## 3 路基冻胀分析

目前国内外对路基冻胀机理、冻土性质及变化规律已经掌握得比较清楚。不同行业深入研究了冻害对工程的影响以及预防措施。我国铁路对东北、西北等严寒地区冻胀问题进行了针对性的研究,采取了一些措施来预防或解决冻害问题。青藏铁路在修建过程中,专题研究了冻害防治问题,取得了良好的效果<sup>[10]</sup>。高速铁路高平顺性对路基沉降和变形要求十分严格,冻胀问题对高速铁路特别是无砟轨道的影响随着严寒地区高速铁路的修建和运营而显现出来。

### 3.1 冻胀规律分析<sup>[11-12]</sup>

根据对东北地区客运专线建设及运营期间冻胀季节路基观测数据的分析,冻胀变形随时间发展变化过程可划分为冻胀初始波动、冻胀快速发展、低速稳定持续发展、波动融沉、变形稳定五个阶段。如图3所示,冻胀一时间曲线的特点有:①冻胀上扬期冻胀量急速增长,达到最大值仅用了10 d左右;冻胀融化期经历

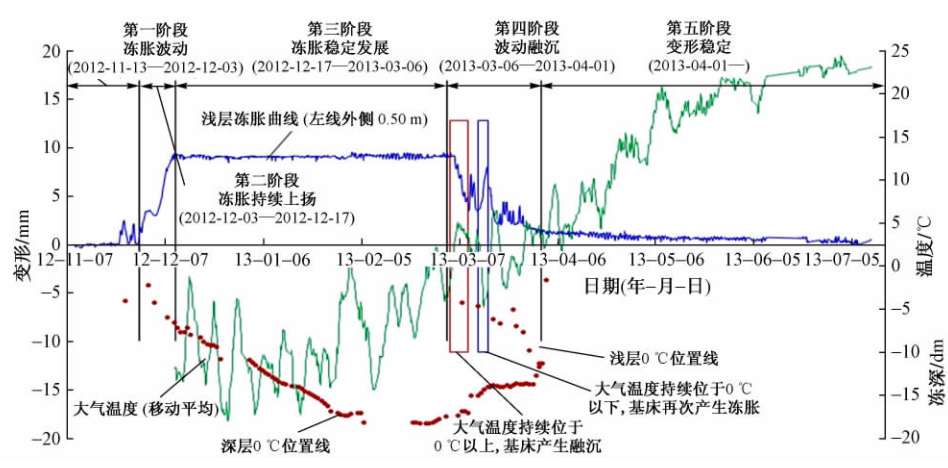


图 3 冻胀—时间曲线

了 25 d 左右,时间较短。②冻胀稳定期冻胀量基本稳定。③冻胀变形包括上涨及回落两个阶段,与温度变化相比存在一定的滞后现象;④经过冻融循环后,回落幅度与冻胀高度产生了冻胀残余变形,其值不大。因此,建设期间路基施工应根据当地气候条件,按照“尽量提前施作、适当缩短施工单元、当年全部完成主体和附属”的原则进行施工组织设计安排。冻胀一时间曲线对线路运营管理十分重要,冻胀快速上扬和波动融沉两个阶段是线路运营的不稳定期,应加强冻胀观测,加强轨检车动态检测和轨检小车对轨道结构静态几何尺寸的检查。检测资料显示,轨道发生短波不平顺性的概率明显小于长波不平顺性,可以通过调整扣件系统来及时调整线路的平顺性。变形稳定阶段持续时间较长,经过水分反复迁移,路基稳定状态会产生轻微变化,应加强对路基特别是防水层的检查,及时对产生的缺陷进行修复。

根据冻胀观测资料建立不同阶段的冻胀分布曲线并进行长期观测分析,能够找出冻胀变化较大的区段,以重点维护。

3.2 设计措施

冻胀产生的主要因素包括土质(填料)矿物成分及颗粒组成、负温总量、土(填料)中水的含量以及水的补给、外部施加荷载等,针对这些因素,设计采取了强化路基结构、优化路基填料和“上封下排”防排水措施。目前建成的沈丹、吉晖等线路通过采取这些措施,冻胀基本得到了控制。

对设计措施还需要进一步深化研究,分述如下。

1) 防排水措施。冻胀的核心是水,一个冻融期实际上是地下(路基面下)水的一次循环过程。理论上,不断的循环将导致路基本体或地基内细粒土被带走,路基强度会降低甚至产生变形。路基在最优含水率条件下被压实后,应保持路基以及地基含水率在一定范

围之内。涉及到的问题为:①路基层的封闭问题。表层各种结构缝的防水措施,混凝土底座板间的沉降缝、纤维混凝土间的伸缩缝、纤维混凝土与底座板间的接缝均会在冬季收缩开裂,而目前采用的纤维混凝土防水层也存在开裂问题,需研究在路基表面铺一种新型的复合防水层,如高速公路的沥青混凝土+封层的方案。②应重新确定盲沟的功能。高速公路在黄土地基地段在路基两侧设置了盲沟,但在盲沟内路基侧设置了一层防水板,目的是在一定深度范围内隔断地基与外部水的相互渗透,同时将外界补给的水及时通过盲沟排走。铁路盲沟设置目的与原理应与此相同。③为了避免路基内部由于上部冻结而对水的吸附,可在基床底面设置保温层。

2) 路基填料的冻胀性问题。以往研究表明,路基冻胀与路基填料的级配和土体含水率密切相关<sup>[13-15]</sup>,同时与线路通过地区的冻深关系也十分密切,所以路基勘察设计中,选取冻结深度应细致考虑工程现场实际的地理位置(包括城市还是郊外、阴阳坡),选择合适的冻结系数来确定冻结深度。要认真调查填料来源,考虑级配、天然含水率等因素,模拟当地条件进行冻胀条件下的土工试验。当填料生产困难或经济性较差时,可考虑桥梁方案。结构物之间的短小路基应考虑采用桥梁方案。

3) 路基本层厚度与冻结深度的关系。设计采取了基表层采用级配碎石加 5% 水泥的措施。级配碎石加水泥具有混凝土干燥收缩和温度收缩的性质<sup>[16]</sup>,在温度变化以及反复荷载作用下容易开裂,一旦破坏具有不可复原性,因此对于该层结构的耐久性要持续观察。

4 桥梁结构变形分析

随着山区高铁的修建,桥梁结构变形比较突出甚

至影响轨道平顺性,主要有两种情况:①相邻桥墩高差较大引起轨道高低不平顺;②大跨度新型钢结构(钢混结构)桥梁变形引起轨道高低或水平不平顺。这两种类型的变形都是温度变化造成的。

#### 4.1 相邻桥墩大高差变形观测及分析

高速铁路桥梁在跨越深谷等地形起伏比较大的地段时,容易出现相邻桥墩大高差的情况。对某铁路多座桥梁基础和桥面高程进行了竖向变形观测,发现基础沉降已经稳定,但桥面高程随着温度的变化而发生了变化。除去前期混凝土徐变和测量误差的影响,理论计算与实测值基本吻合。某 1-72 m+72 m T 形刚构+1-24 m 桥梁,1 号墩墩高 48.5 m,与 0 号桥台最大高差 47 m。对实测工后 2 个月基础沉降与桥面升温 20℃ 理论计算变形曲线进行比较,两者变化较大,如图 4 所示。在环境温度 28℃ 和 10℃ 两次实测桥面高差为 8.8 mm,理论计算值为 8.7 mm,结果吻合较好。这证明了温度变化使得不同墩高的伸长量不同,从而引起桥面或者轨面高差变化。

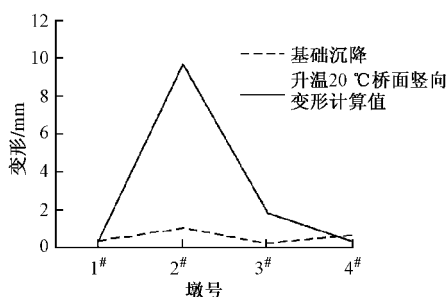


图4 大高差桥墩温度变形曲线

测量结果分析表明,竖向较大变形多发生在简支梁处。为了方便分析,将桥墩简化成顶端受力( $F$ )、底部固结的拉压杆件(长度为 $l$ )。根据力—变形公式 $\Delta l = Fl/EA$ 和温度变形公式 $\Delta l = \alpha l \Delta t$ ( $\alpha$ 为温度线膨胀系数, $\Delta t$ 为温差),可以得出:当温度升高时,温度力 $T = \alpha EA \Delta t$ ,桥墩绝对位移量 $\Delta l = \alpha l \Delta t$ 。若 50 m 墩高温升 20℃ 时,温度力约为 $(1.4 \sim 2.1) \times 10^5$  kN,是墩顶竖向荷载(约 $1.7 \times 10^4$  kN)的 10 倍左右。此时桥墩向上发生位移,位移量为 10 mm。相邻墩在温差变化 20℃ 时竖向变形量差约 0.2 mm/m,对 32 m 简支梁梁端转角贡献 0.12/1 000,对 24 m 简支梁梁端转角贡献 0.17/1 000。所以设计时应针对相邻墩高差较大情况进行仿真计算,计算结果要满足:①轨面高程变化允许值;②轨道平顺性特别是长波不平顺限值要求;③桥梁梁端转角限值要求。

#### 4.2 大跨度钢结构桥梁变形

大跨度钢结构桥梁受温度变化的影响变形较大,

其中日温差引起的变形影响最大,在轨道精调阶段调整轨道困难,难以达到要求。下面以某桥为例进行分析。

##### 1) 桥梁概况

该桥全长 618.3 m,桥跨布置为(41.2+486.0+49.1) m+1-32 m,主桥采用中承式钢箱提篮拱桥,计算跨径 450 m,拱肋为钢箱结构,桥面采用钢纵横梁与钢筋混凝土桥面板的组合结构。大桥范围内采用有砟轨道结构,桥梁两侧分别设置两组钢轨温度调节器,距离梁缝分别为 82,57 m。在轨道精调及联调联试期间,线路高程变化较为频繁,存在三角坑、短波高低、长波高低、垂向加速度、脱轨系数、平稳性等指标超标现象。采用电子水准仪对轨面相对高程进行观测,发现最大高程差位于桥梁跨中,最大高差达到了 17 mm(图 5)。由于 CPⅢ网设置在桥面上,随桥面同步变化,难以利用精测网得到轨道病害的准确数据。

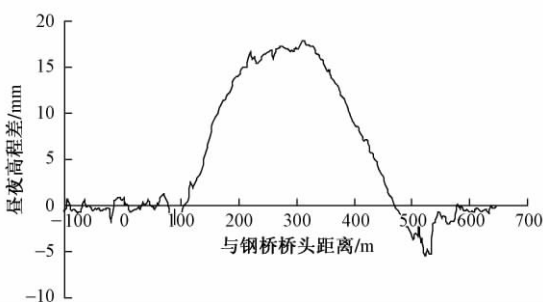


图5 日温度差引起的昼夜高程差变化曲线

##### 2) 轨道调整及养护措施

对桥梁和轨道结构建立模型进行了仿真计算,结果表明结构本身符合规范要求。据此提出了轨道调整和养护方面的应对措施。

轨道调整方面。轨道调整以相对测量为主、绝对测量为辅、满足平顺性指标为原则。根据桥梁温度变形计算结果,给出中幅温度下轨道高程为基准高程,按照单位温度(1℃)变化的轨面高程变化量推算出精调作业温度时的轨面高程从而进行控制。每次轨道测量前,根据桥梁两侧稳定的 CPⅢ点对桥上 CPⅢ网进行复测并更新,然后(第 2 d)根据更新的 CPⅢ网成果,在相同的气象条件下(温度、湿度)采用轨检小车进行轨道测量、调整。测量作业时间段一般选在温度变化范围不大的夜间。

轨道维护方面。对钢轨位移和钢轨温度调节器进行观测,发现钢轨爬行量超出限值,推测锁定轨温超标或者伸缩调节器轨道状态出现异常,对此,及时对无缝线路进行了应力放散。位移观测桩宜与健康检测桩合设或设在拱肋固定的位置,在温度交替变化季节应加强观测。当钢轨平顺性等指标出现超出扣件调整量的

情况时,可分季节分别确定中幅温度并拟合轨面竖曲线进行轨道调整,必要时分季节调整运行速度。

## 5 线侧施工及施工质量引起的线路变形分析

### 5.1 线侧施工

线侧施工引起的线路沉降和变形问题十分普遍。一般线路地质条件较差,多为厚层软土并且地下水位较高。引起路基变形的情况主要有:①线侧施工增加了地基荷载,如帮填路基、线侧一定范围内堆垃圾等,容易对线路地基产生挤压导致其产生横向或者竖向变形。②线侧开挖基坑抽排地下水引起线路沉降或变形。另外在实际工程建设中还发生过在桥墩一侧进行旋喷注浆施工导致桥墩偏移的情况。

一般采取措施为:①设计阶段对线侧施工可能遇到的情况进行仿真检算,预测地基沉降量及其对线路运营安全的影响;②采取有效的设计措施。在既有路基受影响范围内采取隔离防护加固措施,一般采用1~3排双向水泥搅拌桩。其目的是保护路基基础内的水量,避免流失,抵抗线侧开挖或加载产生的土压力。线侧地基处理以少扰动为原则,一般采用水泥搅拌桩或静压管桩。尽量减少地面上的荷载,如采取轻质填料,或者采用混凝土结构代替路基。如某一运营站对侧计划修建一新站房,需要填筑5~6 m高的地基,为此,进行了落地站和高架站不同结构方案的比较分析。③施工阶段要制订周密的沉降观测计划,对既有路基工程进行沉降及水平变形监测,出现异常时应立即停工分析原因;严格控制施工质量,特别是隔离防护加固桩的质量,桩径、咬合搭接宽度、桩间距、龄期强度须符合设计要求;控制填土速率。

### 5.2 施工质量问题

各种施工质量问题最终都反映在轨道结构变形或者轨道几何尺寸超标。比较典型的情况主要有:①地基处理不符合要求。包括:软土路基桩长或者数量不足引起路基沉降;膨胀性岩土地基处理措施不到位,遇水后膨胀使路基上拱。②路基填料控制不严。掺加膨胀性岩石填料,遇水后膨胀使路基上拱;掺加石灰改良土填筑的路基,生石灰消解不彻底或者填料搅拌不均匀,会引起路基上拱变形。③无砟轨道施工质量控制不严。如板式无砟轨道充填层质量差引起轨道板离缝变形;CRTS II型板式无砟轨道锁定温度控制不严或者张拉锁件失效引起轨道拱起;连续无砟轨道结构出现裂纹,低温封堵可能引起轨道结构胀拱。④测量出现偏差。测量周期过长、控制网基准点坐标或高程出现变化没有及时调整,引起轨道几何尺寸施工错误;不同施工标段之间测量搭接出现偏差,也导致一定搭接范

围内轨道几何尺寸超标。

## 6 对策与建议

### 1) 加强地质勘察

地质勘察对项目运营期使用安全以及养护维修成本起到关键作用。目前铁路建设中实行地质勘察监理和项目管理制。勘察的深度、精细化管理水平和监理的作用发挥得还不够。在高速铁路后期运营阶段出现较大的沉降变形问题多数与地质因素有关系,因此,有效控制高速铁路沉降变形问题,首先要解决勘察质量管理和勘察技术问题,强化监理作用,切实避免出现勘察深度不够、质量粗劣的情况。对于区域沉降、冻胀、膨胀岩土等地段,应细化地质勘察的内容、技术手段,增加勘察的广度和深度,特别是要加强室内试验分析,为设计方案提供详细的地质资料。

### 2) 提高设计的系统性

施工图设计中存在专业条块分割、缺乏系统性的问题。高速铁路车辆系统对轨道平顺性的要求高,进而引起不同轨道结构对选线、基础工程沉降变形等提出更高的要求,因此在设计中应突出不同专业系统设计的原则。根据线路经过的特殊地质条件,仔细分析不同线路走向与轨道结构选型的关系。对设计中不可避免出现的特殊结构桥梁、特殊地基处理等,应进行线(桥)一轨一车的耦合计算分析,统一计算的边界条件,分析可能发生的实际工况下运营速度和安全值的对应关系,确定轨道适中的平顺曲线,用于指导轨道调整和线路维护。

### 3) 施工质量控制

如前文所述,高速铁路建设中因施工质量引起沉降与变形问题造成工程补救、拆除重做等,既延误工期,也会造成较大的经济损失。施工中,应强化施工工艺流程的控制,以过程控制保证质量;加强有技术管理经验的工程师队伍的建设,能够预判可能出现的技术质量问题,从而采取措施予以避免;加强监理工程师的监督作用,对关键工序、关键部位进行全过程旁站监理。

### 4) 基于建设项目全生命周期的养护措施

突出“客户需求导向”的建设理念。对特殊不良地质、特殊结构工程等地段,设计阶段进行运营安全保障性分析,提出施工(轨道调整)指导意见和特殊的维护措施;使用阶段制定精细化的维护细则,保证轨道结构的平顺性,必要时适当调整运输组织;测量观测对制定合理的维护措施十分关键,对大跨度桥梁结构、冻胀区段以及区域沉降地段,采取自动化监测手段,做到实时监测、连续监测。

## 参 考 文 献

- [1] 崔振东,唐益群. 国内外地面沉降现状与研究[J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 275-278.
- [2] 刘毅. 地面沉降研究的新进展与面临的新问题[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 273-275.
- [3] 唐立刚. 天津市地面沉降的 GPS 监测研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [4] 中华人民共和国铁道部. 铁建设[2006]158号 客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [5] 中国铁路总公司. TG/G 260—2015 运营高速铁路基础变形监测管理办法[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.
- [6] 铁道部工程管理中心. 客运专线铁路变形观测评估技术手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [7] 中华人民共和国铁道部. TB 10621—2009 高速铁路设计规范(试行)[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [8] 李杰, 郑新国, 刘竞. 沉降区无砟轨道结构注浆抬升原理与工艺[J]. 施工技术, 2014(21): 102-104.
- [9] 边学成, 程翀, 王复明, 等. 高速铁路路基沉降高聚物注浆修复后动力性能及长期耐久性的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(3): 562-568.
- [10] 曾红权. 青藏铁路冻害成因分析及整治[J]. 路基工程, 2002(2): 71-73.
- [11] 石刚强, 赵世运, 李先明, 等. 严寒地区高速铁路路基冻胀变形监测分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 360-368.
- [12] 张先军. 哈大高速铁路路基冻胀规律及影响因素分析[J]. 铁道标准设计, 2013(7): 8-12.
- [13] 石刚强, 王珣. 哈大客运专线路基填料冻胀性试验研究[J]. 铁道建筑, 2011(10): 61-63.
- [14] 刘焕强, 张敏, 冯瑞玲. 客运专线路基 A、B 组填料冻胀性浅析[J]. 铁道工程学报, 2010(11): 23-26.
- [15] 吴镇. 深季节冻土区高速铁路路基填料冻胀特性试验研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2013.
- [16] 魏强, 赵国堂, 刘俊飞. 线桥过渡段用水泥碎石收缩特性及其影响分析[J]. 铁道建筑, 2010(10): 66-69.

## Analysis of subsidence and deformation of high speed railway and its countermeasures

WEI Qiang

( Engineering Management Center of China Railway Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** The factors affecting subsidence in high speed railway include geological conditions, complex bridge structure, adjacent construction or loading, and construction quality. Subsidence observation during railway construction and operation is very important. The edge of subsidence funnels and the uneven settlement shall be paid more attention to. The heaving-time curves show that there are two unstable stages. One is the fast development of frost heaving, and the other is the fluctuation change of thawing subsidence. Observation and further investigation of frost heaving during these two stages are required. Two structural deformation in bridge are significant: One is related to the height difference between adjacent piers, and the other is the deformation in large span steel bridge. Such deformation is inevitable due to topographical limit. Thus, it is necessary to take special measures of track adjustment and maintenance. In addition, in order to control the deformations caused by adjacent construction and the unfavorable construction quality, quality control measures shall be taken in design and construction from four aspects: geological survey, systematic design, construction quality control and maintenance.

**Key words:** Subsidence and deformation; Regional land subsidence; Frost heaving; Bridge structural deformation; Adjacent construction

( 责任审编 李付军)