

非工程因素引发的高速铁路沉降问题及其对策探讨

尤昌龙

(中国铁路总公司工程管理中心,北京 100844)

[摘要] 结合当前非工程因素引发的高速铁路线路沉降问题相关案例,分析了线路沉降超标产生的原因及其危害,归纳了相关问题类型,提出了解决问题的相关建议和意见,希冀有助于类似问题的解决。

[关键词] 高速铁路;线路;非工程因素;非工程因素沉降

[中图分类号] U238 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)02-0106-07

1 前言

高速铁路对线下工程工后沉降变形要求较为严格,也较为敏感,我国《高速铁路设计规范(试行)》(TB 10621—2009)^[1]规定,高速铁路无碴轨道路基工后沉降变形量不大于15 mm,路基与桥涵等结构物间的工后差异沉降量不大于5 mm;高速铁路无碴轨道桥梁静定结构墩台基础工后沉降变形量对墩台均匀沉降要求不大于20 mm,相邻墩台沉降差不大于5 mm;涵洞工后沉降变形量限值与路基工程一致。

近年来,伴随着城市的建设发展,临近线路两侧深基坑开挖及其抽降水,增建建筑物或临时堆载,以及工业或农业深或浅层地下水开采造成的地面沉降已影响到高速铁路路基和桥梁工程的沉降,造成了新建线和运营线的不均匀沉降,有的已导致运营线路部分区段限速运营,上述导致线路沉降的原因可归纳为非工程因素范畴;由上述因素导致的线路工程产生的新的沉降归纳为非工程因素沉降。目前该类型问题对高速铁路的正常运营造成了一定影响,并且引发了社会不同阶层对此类问题的不同看法甚至误解。

基于上述内容,本文通过相关案例对此类问题

进行了探讨、分析,希冀有助于提高人们对此类问题的认识,加强高速铁路沿线安全防护工作,防止非工程因素引发线路产生影响列车安全运营的非工程因素沉降,确保运营线路安全。

2 市政建设深基坑开挖和抽降水引发高速铁路路基沉降

某车站高速铁路路基填筑压实质量标准符合《高速铁路设计规范(试行)》、《高速铁路路基工程施工技术指南》(铁建设[2010]241号)^[2]和《高速铁路路基工程施工质量验收标准》(TB 10751—2010)^[3]要求,经过10个月的预压后,依据《客运专线铁路无碴轨道铺设条件评估技术指南》(铁建设[2006]158号)^[4]对沉降变形观测数据进行了评估,评估后的工后沉降变形量满足无碴轨道铺设条件要求,无碴轨道铺设后对其进行了精调和持续观测,沉降变形稳定。但后期连续3个月的沉降变形观测数据表明,该路基近300 m的区段产生了下沉,局部观测点下沉量达40 mm,影响了列车高速运营的安全性、平顺性和舒适性。

2.1 工程概况

该工程位于黄河以南冲积平原,表面覆盖第四系全新统人工堆积层,以及第四系上更新统、中更

[收稿日期] 2012-11-29

[作者简介] 尤昌龙,1964年出生,男,山东泗水县人,博士,教授级高级工程师,主要从事高速铁路路基与岩土工程的研究工作;

E-mail:ycljd@263.net

新统冲洪积、坡洪积和残坡积层,地层主要为以粉质黏土和粉土为主的松软土地层,地下水埋深为3.5~7.5 m,最大渗透系数为 1.67×10^{-4} m/s。

铺设无碴轨道的路基正线地段地基采用桩长为35 m、 $\phi 40$ cm 预应力高强混凝土管桩(PHC)处理,桩间距为1.6 m;其他地段采用 $\phi 50$ cm 水泥粉煤灰碎石桩(CFG)处理,桩间距为1.6~1.8 m,处理深度为25 m,设计单桩承载力不小于800 kN;桩顶铺设15 cm厚碎石垫层,再铺设50 cm厚C₃₀钢筋混凝土筏板。路基填筑高度为5.5~7 m;路基填筑完成后进行堆载预压,预压土柱高度为3.5 m,预压时间为12个月。工后沉降观测评估结果表明,路基工后沉降变形量为3~5 mm,满足铺设无碴轨道条件要求。

2.2 原因分析

现场调查和研究分析表明,临近本区段正在施工的车站广场和地铁站深基坑施工过程中连续的抽降水导致该区段路基产生新的沉降。车站广场深基坑深达16 m,基坑降水水深为16~18 m;地铁深基坑深约为24 m,基坑降水水深达26~28 m,其影响车站路基范围近300 m,该范围内路基基底以下地基在路基填筑荷载和抽降水引发的附加应力的组合作用下产生新的固结压密变形,水位下降区域路基产生了沿线路纵向和横向的不均匀沉降变形,直接影响到无碴轨道的正常使用和行车舒适度等,造成该区段限速运营。

2.3 处理方法

建设单位、铁路局协调市政建设和地铁建设单位调整了施工方案,优化了降排水措施,周围地下水位逐渐恢复,地基沉降变形逐渐稳定,路基沉降变形得到控制。沉降变形稳定后,采用调坡方案和扣件调整措施对该区段进行了线路调整。

目前,重新精调后的线路恢复了常速,列车保持安全、高速、舒适运营。

2.4 问题类型

距离路基一定范围的市政工程基坑开挖和抽降水引发路基产生影响列车安全运营的额外工程沉降。

该类型问题通常产生于新建火车站附近,火车站周边地铁、地下管线、新增建筑物等的建设发展均会造成已处于平衡状态的线路沉降变形体系被破坏,产生新的沉降变形,影响列车安全运营。该类型问题需要引起铁路沿线市政建设和铁路建设运营部门的广泛关注和高度重视。类似工程的规

划、建设均应考虑工程建设可能对沉降变形敏感的高速铁路等建筑物的影响。

3 临近线路抽采地下水引发桥梁基础沉降

某高速铁路桥梁桩基础为8根 $\phi 100$ cm 摩擦桩,桩长为37 m,设计计算总沉降量为22 mm,施工过程中在桥墩设立了沉降变形观测点,并按“铁建设[2006]158号”^[4]文件要求进行了持续10个月的沉降变形观测,期间经历了架梁、运梁车通过、无碴轨道铺设等环节,2010年1月通过沉降变形观测评估,桥梁的工后沉降满足铺设无碴轨道条件要求,无碴轨道铺设后进行了全线精调,联调联试后开通运营。运营期间发现该地段线路出现不平顺和晃车等现象,为确保安全,采取了降速运营措施。

2010年10月30日沉降变形观测结果相对于2010年1月铺轨后的观测沉降量增加了2.58~47.72 mm,其相对于铺设无碴轨道时不同桥梁桩基的沉降变形量如图1所示。桥梁均匀沉降量和不均匀沉降量均分别超过20 mm和5 mm的工后沉降标准要求。

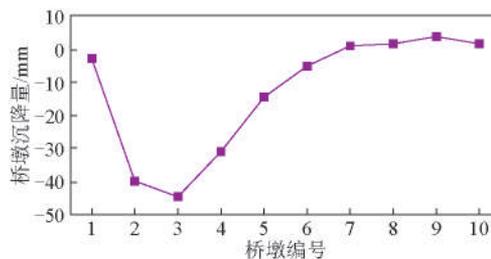


图1 因抽水引发的桥梁桩基工后沉降变形量示意图
Fig.1 The sketch map of the post-construction settlement amount of the bridge pile foundation by the pump water

3.1 工程地质概况

表层为杂填土或种植土,其下为粉质黏土、粉砂、粉土层,部分夹有软塑或流塑状淤泥质粉质黏土,基本承载力为120~160 kPa,桩端处为粉砂层,地下水位埋深为1~2 m。

3.2 工程质量复查、核查

该问题发生后,建设单位组织设计、施工、监理和第三方单位对该工程分别进行了复查、核查。复查以核对施工过程中的地质层状描述以及对设计、施工、监理过程的检查、确认为主;核查以现场补充地质勘探和第三方地质复核钻探对比分析和沉降计算分析为主。

复查、核查结果表明,其工程地质工况与设计提供基本一致,施工各过程施工工艺和质量符合设计要求;计算分析验证表明,设计单位提供的设计计算沉降量与第三方提供复核的设计计算沉降量基本一致。

3.3 原因分析

通过现场水位调查跟踪分析发现,沿线路一侧距线路约40 m处分布有一耗水量较大的化工厂,进一步调查发现,该化工厂非法开采地下水,井深50~60 m,取水深度为地面下50 m,位于桩基持力层以下。抽采地下水后导致水井周围形成地下水漏斗,造成桥梁桩基周围地基土附加应力增加,在桥梁桩基荷载和抽降水引起的新增附加应力的组合作用下,桩基产生额外的下沉,导致桥梁桩基变形增加,最终导致该区段线路产生影响列车正常运营的超标沉降变形。

3.4 处理措施

建设单位、铁路局、省市相关部门共同协作,对该化工厂采取了封井措施,桩基周围地下水位逐渐回升,因抽降水引发的附加应力逐渐减小消散,该区段沉降变形逐渐稳定。

建设单位、铁路局委托某测绘大队进行的连续6个多月的沉降变形观测表明,采取封井稳定地下水位后,该区段线路沉降变形量为1~3 mm,沉降变形基本稳定。在该基础上,对该线路进行了调整,目前该线路运行稳定,列车恢复常速运营。

3.5 问题类型

在临近线路一定范围内开采地下水引发的局部区域沉降造成线路产生不均匀沉降变形。此类问题多与线路两侧高耗水量的企业连续抽采地下水等相关。类似问题在台湾高速铁路建设和运营期间也有发生。

4 临近线路抽取地下水灌溉对线路沉降的影响

以往,临近线路抽取地下水灌溉农田引发的线路沉降因车速较低往往不太引起人们的重视^[5],随着近年无碴轨道高速铁路的建设和运营,抽取浅层地下水引发的线路沉降对高速铁路安全、高速运营的影响才逐渐被人们所认识。其中台湾高速铁路云林、彰化段由于当地农民抽采地下水引发的高速铁路沉降及伴生的影响高速列车安全运营的问题已引起世人瞩目;我国在高速铁路建设期间也遇到

了类似问题。

4.1 台湾高速铁路云林、彰化段^[6]

4.1.1 概况

台湾高铁沿线地层下陷严重区域由北到南分布在彰化溪州段、高铁云林站、158县道立交桥处等,目前测得的下沉速度都超过50 mm/年,其中云林段已达74 mm/年;根据高铁桥梁对折角、均匀沉降和不均匀沉降的要求,如果不采取有效措施解决该问题,悲观估计高铁使用寿命可能不到10年。

4.1.2 原因分析

为保证桥梁桩基不受抽取地下水的影响,设计采用了较长的桥梁桩基。但台湾高铁沿线周边尽是180 m以上的违法深井,约有2 400口非法水井抽采地下水进行农业灌溉和连续的工业用水;其中,云林区段原有的封井措施没有得到有效贯彻执行,高铁运营期间,用于补偿农民灌溉用水的湖山水库等并没有启用,沿线的农民依然抽采地下水灌溉农田(见图2)。



图2 抽水灌溉

Fig.2 Lift irrigation

注:图片来自《联合报》

因桩基础下多为粉土、粉质黏土、粉细砂和中砂等,在桩基荷载和桩基底因抽降水引发的附加应力的共同作用下,桥梁桩基产生持续的沉降变形。

根据最新调查,彰化溪州1处工厂配合不再抽取地下水后,该段的沉降量从2011年的48 mm缩小为24 mm,虎尾的沉降量从61 mm缩小为53 mm,158县道路段的沉降量从64 mm缩小为57 mm^[7]。

4.2 某在建高速铁路线路

国内某在建高速铁路也发生了类似台湾高速铁路的沉降变形过程。相对于台湾高铁而言,国内

高速铁路线路的沉降更具有季节性特点,突出表现在每年3—7月的小麦生长和收割后秋作物播种期间。该时间区段沿路两侧的抽水主要用于春灌和秋播等,水井深度多为50~80 m,地下水开采时造成的附加应力影响多数在路基地基处理层或桥梁桩基以下,其区域性特征和季节性特征相对明显,主要出现在华北干旱、半干旱地区。

4.2.1 概况

某高铁车站路基在铺设无碴轨道施工后发生了超过工后沉降规范值15 mm的沉降,且其沉降主要发生在线路两侧当地农民春播、春灌和小麦收获后秋播的3—7月,期间最大沉降变形量达42 mm。该区段位于华北地区,地质条件以粉土、粉质黏土、

粉砂和砂土等为主,地下水埋深20 m左右。该段路基沉降特点表现为每年的8—10月、12月至次年2月沉降稳定,3—7月则沉降变形较大,呈现为与农业灌溉用水密切相关的特点。

4.2.2 地基处理与路基填筑

地基处理方式为CFG桩筏板和CFG桩加筋褥垫层,CFG桩桩径为50 cm,桩长为27~30 m,桩间距为1.5~1.8 m,路基填筑高度为7 m左右。

4.2.3 沉降原因分析

路基坡脚外两侧沿线路纵向分布多口深约60~80 m的农用灌溉水井,井径为35 cm,其中距离线路最近的约30 m,其沿线路的农用灌溉井分布图如图3和图4所示。

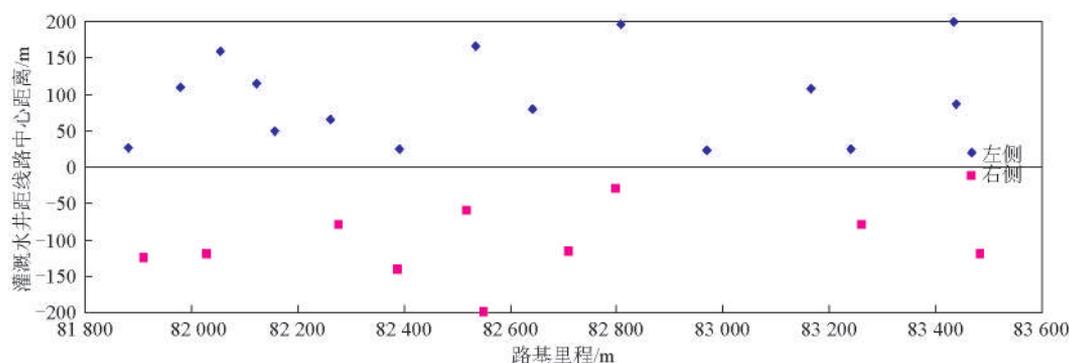


图3 沿线路两侧分布的农用灌溉井示意图

Fig.3 The sketch map of the irrigated farming well distributed among the two sides of the track



图4 线路两侧农业灌溉水井图

Fig.4 The irrigated farming well distributed among the two sides of the track

沿线路两侧地下水开采造成了路基处理层及其基底地下水的渗流运动,渗流运动导致路基基底附加应力增加,在新增附加应力和路基自身荷载作用下路基基底产生新的压缩变形。随着6—8月降

水季节的来临,地下水得到补充,地下水位逐渐恢复,路基沉降变形停止或趋于稳定。

4.2.4 处理方案

建设单位会同地方政府对线路两侧200 m范围

内的水井采取了补偿封井或异地设井的措施,对200 m以外的区域采取了限采措施。目前,随着降雨期间地下水位的恢复和禁采措施的实施,线路沉降趋于稳定。

4.3 问题类型

该问题属于临近高速铁路抽采地下水灌溉农田引发的线路沉降问题。多出现在华北干旱和半干旱地区,呈现明显的季节性。对于连续抽水灌溉的区域表现为沉降连续性。

5 临近线路堆载引发桥梁桩基下沉

临近线路堆载引发的高速铁路下沉问题是高速铁路建设中面临的又一新问题,该类型问题多发生于松软土地基区段。该类地区容易因线路两侧堆载造成线路局部下沉,使线路产生不均匀沉降,影响列车高速运营。

5.1 工程概况

某高速铁路在铺设无碴轨道期间发现3个桥墩出现下沉。连续的沉降变形观测表明,铺轨后3个桥墩连续出现下沉,中间墩的最大沉降变形量为28 mm,其沉降超过规范规定均匀沉降不大于20 mm、桥墩间差异沉降不大于5 mm的标准。

5.2 原因分析

现场发现,距离桥墩5 m处存在一新增弃土堤,堤高约10 m,垂直线路,宽度近25 m。

本区段为松软土地层,弃土产生的附加荷载约200 kPa,计算分析表明,该荷载会造成地基产生近470 mm的永久沉降,与桥梁桩基荷载叠加后会导致桥梁所在地面产生最大约600 mm的永久沉降。针对本桥进行的连续变形观测表明,该堆土在近5个月时间内产生的附加荷载导致相邻桥梁桩基产生的沉降达28 mm。

5.3 问题处理和效果

后与堆土建设单位协商,清除了距该桥50 m范围内的相应弃土,目前该变形稳定,后经过桥梁抬升、轨道调整等,调整了该变形对轨道结构和桥梁结构的影响,保证了行车安全。

5.4 问题类型

临近线路堆载引发线路产生不均匀沉降。

6 区域性地面沉降对轨道线路的影响

区域性地面沉降通常伴随深层地下水开采而生,虽然不像其他自然灾害或抽取浅层地下水那样

具有突发性、变形剧烈的特点,但抽采深层地下水对轨道线路产生的影响往往具有范围大、周期长、隐蔽性强、局部沉降变形不均匀等特点,对高速铁路的长期安全运营具有深刻的影响。

从目前高速铁路经过的区域性地面沉降区域来看,已发生区域性地面沉降且对高速铁路安全运营具有长期影响的区域主要以华北、华东地区为主;从线路经过的区域来看,对北京到上海高速铁路影响较大的区域集中于北京、天津、沧州、德州、常州、苏州、上海等地区;对于北京到天津的高速铁路、天津到秦皇岛的高速铁路而言,影响最大的区域主要为北京、天津地区,尤其以天津地区的武清、杨柳青、塘沽、滨海地区为甚;对于大同到西安的高速铁路而言,主要是太原、平遥、西安等地因区域性地面沉降及其伴生地裂缝等自然灾害的影响;干旱、半干旱地区的抽降水引发的局部区域性地面沉降也不容忽视。

从目前区域性地面沉降发展的趋势来看,部分老城区的区域性地面沉降伴随着城市供水的改善而逐渐趋稳,区域性地面沉降对线路沉降变形稳定的影响逐渐减小;而新建铁路两侧伴随着车站建设和新城区的建设发展,地下水开采量逐渐增加,地基土的附加应力增加;在地面新增建筑物产生的附加荷载和抽水引发的附加荷载共同作用下,地基土的变形量逐渐增加,往往引发局部区域性不均匀地面沉降,对变形敏感的高速铁路具有显著的影响。

7 相关对策和建议

为应对非工程因素导致的非工程沉降对高速铁路建设和安全运营的影响,铁路建设部门在设计阶段和建设阶段就针对区域内可能出现的沉降问题及其对铁路建设的影响进行了调查并采取了相应的措施,对相关客专等均采取了应对的工程措施,期望通过工程措施的实施,满足高速铁路工后沉降变形的要求。

7.1 工程对策

7.1.1 设计

各铁路设计院针对不同线路所处的区域性地面沉降发育情况、地裂缝发育情况、线路周围环境变化可能影响线路平顺性等情况进行了专题研究,采取了减小地面沉降影响的技术措施。对桥梁工程采取了设置可调式桥梁支座、适当加长桥梁桩基长度、改善差异沉降的影响等技术措施;对路基工

程采用了设置适应变形能力大的加筋土褥垫层等措施;对轨道工程则采用了无碴轨道改有碴轨道等措施。

7.1.2 建设

建设单位组织相关单位进行了沉降变形观测与评估,并在此基础上针对沉降变形重点区域开展了线桥结构物的检查和监测,根据区域性地面沉降变形发展的趋势及其对线路工程沉降的影响制定相应的技术预案。

但上述措施均为工程措施,主要目的是尽可能减小非工程因素对线路工程的影响。对非工程因素对线路工程的影响而言,还必须采取如下对策。

7.2 非工程对策

7.2.1 加强线路两侧主动保护

1)从控制地基的不均匀沉降变形方面考虑,从确保线路安全运营的角度出发,容易因抽降水、新增建筑物或堆载因素导致地面沉降的地区,线路两侧至少各200 m范围内的区域应为限采地下水保护区和增建建筑物保护区。

2)加强城市建设规划和建设管理,临近线路或穿越线路的市政工程、地铁工程尽可能与铁路建设同期规划、同步建设,尽可能减少不同工程间因沉降问题引发的相互干扰。

3)当地铁或可能引发线路沉降的工程穿越高速铁路以及线路两侧保护区范围需要新增建筑物时,相关单位应将有关方案报铁路部门审批,经相关专家对方案论证并经审批后实施。

4)尽快组织研究制定《高速铁路安全保护法》,涵盖上述安全保护等内容,报国家批准后,依法治理影响高速铁路运营安全的相关问题。依法禁止在软土、松软土路基坡脚取土、挖鱼塘、大面积堆载、修建工程等影响路基沉降变形的行为;依法严禁在岩溶地基地段大规模开采地下水,防止地下水的反复升降影响线路的沉降变形等。

7.2.2 加强地面地质灾害研究和预防、预报工作

联合各省市环境保护部门、地质灾害预防和研究部门,开展围绕高速铁路地面沉降防治方面的基础性研究,指导本线的地面沉降控制和预案实施研究。

7.2.3 制定确保铁路安全运营的预案

为确保区域性地面沉降区线路运营安全性,要求各设计院根据本区段的地面沉降观测、预测资料

和对周围其他可能地质灾害的预测分析,制定本线的预案,确保线路运营安全。

7.3 建议

1)联合环保、地矿、国土等相关部委成立高速铁路安全防护专门机构,建立定期沟通协调机制,快速、有序、高效地处理影响高速铁路安全的问题。

2)各铁路局联合地方政府加强铁路沿线安全防护教育,根据不同地域特点和区域性地面沉降对线路工程的影响程度划定安全保护区,最大限度地规避各种影响铁路运营安全的风险。

8 结语

非工程因素引发的高速铁路沉降问题是高铁建设中必须面对的新课题,该课题与市政建设、工农业开采地下水等因素密切相关,有的属于局部不均匀沉降问题,有的则属于区域性地面沉降的范畴,有的问题在未来的城市建设发展中不可规避;如何规避和解决该类型问题,确保高速铁路工程安全运营,除铁路部门加强自身工作外,还需要不同单位之间相互协作,共同解决;建议尽快制定并颁布相关法律文件,对高铁等类似对沉降变形敏感的建筑物加强安全防护。上述仅是笔者的管窥一见,希冀通过本文引起各方面对类似问题的重视,确保高铁安全运营、发展。

致谢:作者对提供本文参考材料的单位和个人深致谢意!

参考文献

- [1] 铁道第三勘察设计院集团有限公司,中铁第四勘察设计院集团有限公司,中国铁道科学研究院. TB 10621—2009 高速铁路设计规范(试行)[S]. 北京:中国铁道出版社,2010.
- [2] 中铁四局集团有限公司. 铁建设[2010]241号 高速铁路路基工程施工技术指南[S]. 北京:中国铁道出版社,2011.
- [3] 中铁十二局集团有限公司. TB 10751—2010 高速铁路路基工程施工质量验收标准[S]. 北京:中国铁道出版社,2011.
- [4] 铁道科学研究院. 铁建设[2006]158号 客运专线铁路无碴轨道铺设条件评估技术指南[S]. 北京:中国铁道出版社,2006.
- [5] 尤昌龙. 关于对京沪高速铁路路基有关问题的思考[J]. 铁道工程学报,2001,9(3):18-20,23.
- [6] 中国新闻网. 地层下陷超预期 台湾高铁提早9年加固桥梁[EB/OL]. [2011-04-11]. <http://www.chinanews.com/tw/2011/04-11/2962756.shtml>.
- [7] 中国新闻网. 台湾高铁沉降路段三处得到改善 一处继续恶化[EB/OL]. [2012-04-06]. <http://www.chinanews.com/tw/2012/04-06/3799742.shtml>.

The discussion on the settlement of the high speed railway track led by non-engineering factor and its countermeasure

You Changlong

(Engineering Management Center of China Railway Corporation, Beijing 100844, China)

[Abstract] Combined with the cases of the track settlement led by non-engineering factor, the paper analyzed the reason and its hazard to the high speed railway track which are over the design and code standard, then concluded the correlation question type and gave out the suggestion and opinion, hoping to help solve the similar questions.

[Key words] high speed railway; track; non-engineering factor; settlement led by non-engineering factor