

文章编号: 1003-8035 (2001) 01-0001-06

同三国道 (上海段) 地质灾害危险性评价与防治对策

龚士良, 严学新, 王寒梅

(上海市地质调查研究院, 上海 200072)

摘要: 同三国道上海段按高速公路标准建设, 全长 75.5 km, 占地近 450 万 m^2 , 工程投资约 70 亿元。本文对该工程遭受区域地质灾害的危害影响、工程建设诱发加剧地质灾害的可能性作了分析, 提出了相应的防治对策建议。地质灾害危险性评价将线状工程的差异沉降问题作为重点, 并对工程设计中的沉降控制措施作了评述。

关键词: 同三国道上海段; 地质灾害; 危险性评价; 差异沉降; 灾害防治

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

1 引言

同三国道起始于我国最北端的黑龙江省同江市, 终止于海南省三亚市, 全长约 5700 km。它是交通部规划的国道主干线系统“五纵七横”中的一条纵向国道主干线。同三国道在上海境内全长 75.522 km。

同三国道上海段按高速公路标准建设, 规划红线宽度 60 m, 建设用地面积近 450 万 m^2 , 工程设计投资额约 70 亿元, 计划于 2002 年底前建成通车。同三国道经沪宁高速公路安亭立交, 进入上海市青浦区。途经青浦区、松江区和金山区, 在金山区的戚家墩码头过杭州湾至浙江宁波。

根据国土资源部有关规定, 工程建设的用地申请必须先进行地质灾害评估。我院受上海市公路管理处委托, 进行同三国道上海段工程建设的地质灾害危险性评估。评估范围根据地质环境条件及地质灾害种类特征, 适度扩展至工程所在的上海市青浦、松江、金山 3 个行政区, 面积 1860 km^2 。

2 建设项目工程分析

同三国道上海段按高速公路标准建设, 设计行车速度为 100 km/h, 主线道路为双向 6 车道, 路基宽度 34.5 m。

道路横断面布置为: 行车道宽 2 m + 3 m + 3 m + 3 m + 3 m, 中间带宽 4.5 m (其中两侧路缘带宽 2 m + 0.75 m, 中央分隔带 3 m)、硬路肩宽 2 m + 3 m、土路肩宽 2 m + 0.75 m。路基总宽 34.5 m, 用地宽 60 m (除立交外)。行车道路拱横坡取 2%, 土路肩横坡取 4%。设计路基平均高度为 3 m, 土石方工程总量

约 700 万 m^3 。

本工程设互通式立交 10 座, 分离式立交 18 座。

全线跨越河道众多, 须设置桥梁共 58 座。涵洞布设 46 处, 沿线另有 43 处须设置天桥、地道、下穿等形式的横向道路穿越。

本工程线路内长度小于 100 m 的中小桥梁按地震基本烈度 6 度设计, 提高 1 度采取抗震措施; 长度大于 100 m 的大型桥梁和立交按地震基本烈度 7 度设计。

本工程既是国道干线, 又是上海高速公路交通网郊区环线的组成部分^[1], 具有双重功能。其不仅在国家主干道路网中起节点作用, 同时也在上海高速公路网中起主骨架和主动脉作用。随着上海经济的进一步加快, 外向型经济的不断发展以及长江三角洲地区产业带和互补型经济发展格局的逐步形成, 工程所在地区干线公路和主要公路的交通出行将会进一步增加。同三国道上海段至 2020 年的远景设计交通流量为 78000 pcu/d, 工程建设的社会效益与经济效益极为显著。

3 地质环境基本特征分析

3.1 地质概况

同三国道上海段高速公路所经地区地势低洼, 除剥蚀残丘外一般为湖沼平原区。地势呈北高南低, 地面高程 (吴淞高程) 一般在 2.5~4.0 m。

收稿日期: 2000-08-21; 修回日期: 2000-09-05

作者简介: 龚士良 (1965), 男, 高级工程师, 主要从事地面沉降控制研究工作。

本区基底起伏变化较大, 部分地区基岩隆起并出露地表形成基岩剥蚀残丘。北部由于构造作用而形成凹陷。在剥蚀残丘和基岩凸起处第四纪松散盖层较薄, 沉积物厚度小于 100 m; 而在凹陷地段, 沉积物厚度较大, 一般为 350~400 m。第四系上部 70 m 以软弱粘性土为主; 70 m 以下深度以砂性土间隔杂色硬土层为主。

本区内的构造断裂在近、现代无活动迹象。

3.2 水文地质条件

工程沿线地表水系十分发育, 大多是太湖流域泄洪通道。

本区松散层中赋存的地下水主要为松散岩类孔隙水。按地质时代、水动力条件和成因类型, 划分为 3 大岩组, 共 6 个含水层, 即:

全新统潜水含水岩组: 包括潜水和微承压含水层;

上、中更新统承压含水岩组: 包括第一、二、三承压含水层;

下更新统承压含水岩组: 包括第四、五承压含水层。

3.3 工程地质特征

3.3.1 地基土构成与特性

拟建场地 70 m 以浅土层主要由灰色软土、褐黄色、暗绿色硬土及灰色粉土、砂层组成。地基土由 10 个工程地质层构成。

第 1 层: 填土层, 普遍分布, 结构松散, 土质不均。

第 2 层: 属 Q_4^{3-2} 滨海-河口或湖沼相沉积, 为褐黄色粉质粘土, 普遍分布, 局部相变为褐黄色砂质粉土、粘质粉土。潜水位以下土质变软, 局部为淤泥质。属中-高压压缩性土层。

第 3 层: 为黑灰色粘土、粉质粘土, 分布于湖沼平原区, 属 Q_4^{3-2} 湖沼相沉积。内含大量有机质, 局部有机质含量大于 30% (属泥炭层)。属高压压缩性土层。该层遇水, 强度骤降。是拟建场地不良工程地质层。地面加载不当, 易形成软弱滑动面。

第 4 层: 为灰色砂质粉土、粘质粉土, 普遍分布, 属 Q_4^{3-2} 滨海-河口相沉积。土质不均, 常夹薄层或不规则状粘性土, 易产生砂土液化, 属中压缩性土层。此层也是赋存潜水的主要含水层次。

第 5 层: 为灰色淤泥质粉质粘土, 广泛分布,

属 Q_4^{3-2} 滨海-浅海相沉积。该层为上海地区典型软土层, 是建(构)筑物产生沉降的主要压缩层次, 属高压压缩性土层。

第 6 层: 为灰色淤泥质粘土、粉质粘土, 广泛分布, 属 Q_4^2 滨海-浅海相沉积。该层为上海地区典型软土层, 是建(构)筑物产生沉降的主要压缩层次, 属高压压缩性土层。

第 7 层: 为暗绿-黄色粉质粘土, 分布于湖沼平原区, 属 Q_4^2 湖沼相沉积, 可塑偏硬, 属中压缩性土层。

第 8 层: 黄-灰黄-灰色粉砂、砂质粉土, 分布于湖沼平原区, 属 Q_4^2 河口-滨海-浅海相沉积, 易产生砂土液化, 属中压缩性土层。

第 9 层: 为灰色粉质粘土, 广泛分布, 属 Q_4^1 滨海-沼泽相沉积, 是上海地区典型软土层, 但土性较第 1、2 层为好, 属中-高压压缩性土层。

第 10 层: 为灰色粉砂、砂质粉土, 呈透镜体状零星分布, 属 Q_4^1 滨海-沼泽相沉积, 属中压缩性土层。

第 11 层: 为灰色粉质粘土、粘土, 分布较广, 属 Q_4^1 溺谷相沉积, 分布于暗绿色硬土层(第 10 层)缺失区, 是上海地区典型软土层。土性较第 1、2 层为好, 属中-高压压缩性土层。

第 12 层: 为暗绿-褐黄色粉质粘土、粘土, 分布较广, 局部地区受后期河流切割而缺失, 属 Q_3^2 湖沼相沉积, 属中压缩性土层。

第 13 层: 为灰黄-灰色粘质粉土、砂质粉土、粉砂, 普遍分布, 属 Q_3^2 河口-滨海相沉积, 属中偏低-低压缩性土层。此层也即第一承压含水层。

第 14 层: 为灰色粉质粘土、粘土, 普遍分布, 属 Q_3^2 滨海-浅海相沉积。是上海地区典型软土层, 属中压缩性土层。

第 15 层: 为灰色砂质粉土、粉砂, 普遍分布, 属 Q_3^1 滨海-浅海相沉积, 属中偏低-低压缩性土层。此层也即第二承压含水层。

第 16 层: 黄灰、灰、蓝灰、杂色粉质粘土、粘土, 普遍分布, 属 Q_2^2 河口-湖沼相沉积, 可塑-硬塑, 属中压缩性土层。

上述工程地质层中, 第 12 层含大量有机质, 局部构成泥炭层, 是场地内的不良工程地质层。地

面加载或基坑开挖不当,易形成软弱滑动面。第3、3层为砂质粉土、粉砂,易产生震动液化,基坑开挖时易产生流砂。第、1层为上海地区第一软土层,第1、2层为第二软土层,第层为第三软土层,3层软土均具低强度、高压缩等不良工程地质特性。

3.3.2 结构类型分区

工程沿线土体依照第2及第层硬土的分布缺失,分成3种结构类型:

第一种结构类型为缺失第2层、第层硬土层,地基土以软土为主,工程地质条件差。

第二种结构类型为存在第2层或第层硬土层中的一层,地基土普遍分布含厚度不等的第、1层软土,局部有第2层的黑灰色有机质粘性土,工程地质条件中等。

第三种结构类型为第2层或第层硬土,分布稳定,软土厚度较薄,局部分布有第2层的黑灰色有机质粘性土,工程地质条件较好。

4 地质灾害危险性评价

4.1 工程遭受地质灾害的危险性分析

同三国道上海段工程沿线饱和的软弱粘性土层广泛分布,岩土体工程性质不良,结构复杂且多变,处于地面沉降地质灾害易发地区。因而容易遭受区域地面沉降的影响,并有可能导致差异沉降,一定程度上将威胁工程质量及正常运行。

根据土体空间展布特征,区域沉降在具体部位将随土层结构特点而呈现不同的表现形式。即面上沉降趋势在工程沿线将产生沉降差异。另一方面,不同深度土层的力学性质有所不同。对于采用天然地基、人工复合地基或桩基础等不同基础施工形式,由于荷载持力层不同,相同条件下的沉降效应也将产生差异,并由此强化差异沉降的表现。

除土体自身特性使工程容易遭受地面沉降影响与危害之外,地下水的动态变化及人为活动也会使地质作用得到强化。同三国道上海段所在区域是上海各区县中地下水开发利用程度相对较低的。由于基岩埋藏深度差别较大,地下水赋存的主要含水层在区内发育不均一。区内地下水开采主要集中于下更新统承压含水岩组(第四、五承压含水层),年均900万 m^3 左右,不足全市年开采总量的9%;区内

地下水回灌集中于第二承压含水层,年均13万 m^3 左右,为全市年回灌总量的0.8%。由于地下水开采强度较低,而且城市化进程相对略显迟缓,故该区域内地面沉降的发生、发展较为微弱和稳定。

工程用地范围内1973~1995年累积地面沉降量,凹陷区一般在20~60mm,凸起区不大于20mm。预测工程沿线目前至2020年累积地面沉降量平均约60mm,年均沉降3mm左右。在基岩凸起区地面沉降量较小,在凹陷区较大。

由于地下水的流动具有系统性,因而缘于抽汲地下水引发的地面沉降现象不局限于开采井周围,而随地下水位的降落漏斗向外波及。所以工程会受到地面沉降影响,并有遭受沉降危害的潜在威胁。同时,由于同三国道上海段所处的区位优势,今后该区域内城市化进程及其相应的经济与工程活动将得到加强,地面沉降有加速可能。尤其是近年来青浦、松江、金山等地区随着农村饮用水改造工程实施及周边江、浙省区经济发展,含水层系统的地下水开采有所增加。由此沉降将有一定幅度增长是可以预期的。而地面沉降的不可恢复性和累进性,其造成的危害将长期存在,且随时间的增长危害越重。

另外,作为太湖流域重要的泄洪通道之一,其又处淀泖低地,因而对地面沉降引起的洪涝灾情加重,也应保持足够的警觉。

国道遭受差异沉降的危险性是存在的。沉降的差异性在桥头部位表现突出,即所谓的桥头跳车现象^[2]。一般情况下,桥梁墩台采用桩基础,沉降量比路堤小得多,因而桥头差异沉降可认为主要由路堤沉降引起。路堤沉降包括两部分:路堤填筑土沉降与路堤下面的地基沉降。前者的沉降可通过严格路基施工规程予以控制,而后的沉降则较难控制。其受到设计、施工、投资、工期等多方面因素的制约,故易使路堤的最终总沉降量超过预期值。这种情况在一些赶工期的公路工程中尤为突出。随着时间推移与通车流量的静动荷载,桥台与路堤的沉降差也会增加。

综上所述,工程建成运营期间具有遭受地面沉降危害的危险性,尤其是差异沉降的表现较为明显。对于线状工程,特别是高速公路,应对这种危险性予以足够重视,并采取相应的对策措施。

4.2 工程建设诱发加剧地质灾害的可能性分析

按本工程的设计方案, 高速公路以高填土道路为主, 辅以高架道路、多个大型立交、桥涵, 结构复杂。而拟建场地地质条件复杂多变, 浅部土层以欠固结的软土为主。在工程建设时, 如路基填筑、高架道路或立交桩基础施工、桥涵基坑开挖等易引起地基土的变形, 导致地面沉降, 且由于路线地质条件、工程建设基础类型、施工工艺的不同易产生不均匀沉降。工程建设竣工后, 由于附加应力和路面车流的作用, 将在一定时间内, 在路基及其周围可能产生附加沉降。

4 2 1 施工过程中诱发加剧地面沉降的可能性分析

工程项目本身以高填土路基为主, 填土高度在 3 m 左右, 地面荷载高且范围大。按软土地基性质及上海地区高速公路施工经验, 路基过高, 就将产生较大的沉降量, 并波及路堤外一定范围。

高架道路、立交工程桩基础施工, 如采用预制桩, 在沉桩过程中产生挤土效应, 引起超孔隙水压力, 导致周围地面隆起。在超孔隙水压力消散过程中, 引起周围一定范围内地面沉降。涵洞基坑开挖过程中同样可能引起周围地面沉降。特别是基坑维护处理不当或采用井点降水时, 引起地面沉降不仅范围广, 而且沉降量也大。

软土地基处理, 目前采用的方法如堆载预压法、砂井排水法、强夯法、挤密桩法、换土垫层法、水泥(钢渣)土桩法等。主要是通过地基土层的预排水、预压或将地基土挤密, 达到提高地基土强度的目的。然而欠固结土的固结压密在土体强度提高的同时也会导致地面沉降。工程在结构连接处及涵洞地基拟采用水泥粉喷桩、钢渣桩或塑料芯板排水超载预压。上述方法是采用物理手段对地基土加速排水, 缩短地基固结时间或挤密土层。施工时将可能诱发或加剧拟建场地及邻近周围的地面沉降。

本工程沿线工程地质条件复杂, 区内分布的软土层是建(构)筑物产生较大沉降的主要因素之一。沉降量的大小与软土厚度通常成正比^[3]。且软土层固结压缩引起的沉降量大部分是不可恢复的。故本工程沿线软土层厚度的较大变化将直接影响路堤最终沉降量的变化, 可能产生较大差异沉降量。就场地工程地质条件而言, 高速公路的建设有诱发、加剧地面不均匀沉降的可能性。

4 2 2 工程运营期间诱发加剧地面沉降的可能性分析

由于高速公路沿线浅层土以软土为主, 在加荷后产生的沉降量不仅量大而且延续时间长。既有排水固结产生的主固结沉降, 更有土骨架蠕变而产生的次固结沉降。其过程均历时长远。软粘土加载作用下的变形特征, 与排水固结的机理相一致。即土骨架与土中孔隙水共同承担外部荷载。当荷载使孔隙水压力升高产生的超孔隙水压力随时间逐渐消散时, 原由孔隙水承担的荷载便转由土骨架承担, 并最终使土体固结压缩。因而, 荷载作用具有诱发或加剧地面沉降的可能性。

另一方面, 高速公路正常运营后的动荷载作用, 既可使地基土孔隙水压力产生波动, 使土体承受不规则、周期性加、卸荷作用的影响, 加剧土层固结压缩; 而且, 交通流量的动荷载振动作用, 也容易使土体产生振动压密, 并加速孔隙水的流动。因而, 动荷载作用也将产生附加沉降。

同三国道上海段高速公路穿越基岩凸起及凹陷两大地质类型区。公路沿线浅层分布有 3 种不同的结构类型区, 软土层的厚度变化较大, 动、静荷载作用对地面不均匀沉降有加剧可能。

高速公路建设时由于采用了不同的施工工艺和基础形式, 不同的施工工艺和基础形式形成的地面沉降量及沉降时间有较大的差异, 加之工程运营后动荷载的作用, 工程运营期间有加剧地面不均匀沉降的可能性。

综上所述, 该高速公路的建设有诱发、加剧地面沉降及地面不均匀沉降的可能。有形成沿高速公路展布的附加地面沉降带的可能。一般而言, 高速公路建设施工及运营过程中产生的不均匀沉降不会引起严重地裂缝的产生。地面沉降量的大小、影响范围与工程建设的施工工艺、方法有直接关系。高速公路的建设应尽量从环境保护角度考虑, 根据线路不同的工程地质条件和工程结构类型, 采用不同的施工工艺和方法, 以降低该工程建设加剧地面沉降的影响程度, 特别是减少高速公路沿线的不均匀地面沉降。

高速公路跨越众多等级河道, 拟建设多座桥梁。在地表水长期浸泡、冲刷及岸坡加载等人为因素影响下, 未采用人工护坡的河流易产生滑坡、坍塌等地质灾害。高速公路跨河流桥梁两岸桥墩采用钢筋砼预制桩基础方案, 工程桩基础沉桩施工时的挤土效应产生超孔隙水压力, 加之拟建场地浅层分布有

低强度、弱渗透性的软土, 易形成软弱滑动面, 将使河岸边坡增加不稳定因素, 有诱发或加剧河流边坡坍塌、滑坡的可能性。

5 地质灾害防治对策措施建议

5.1 地面沉降防治

为控制工程建设及其竣工运行后的地面沉降, 应对工程沿线软土地基进行加固处理。为减少路基沉降, 应对路基填料进行压密处理。在地质条件较差, 土体结构单元复杂或相变地区, 应根据沿线工程地质勘察结果, 采取对应措施减少差异沉降, 保证工程质量和行车安全。

对于差异沉降的控制, 应选用技术与施工工艺成熟和有效的工程措施。由于道路施工期仅3年时间, 故采用粉喷桩、钢渣桩作复合地基, 较之排水固结法、超载预压法处理软弱地基, 其沉降量、施工质量和工效更能得到充分保证。

应在沿线设置沉降监测点, 及时监控施工过程及竣工运行后的沉降影响。尤其是在基础施工阶段更应强化沉降监控, 建立信息互馈制度, 根据具体实际及时采取相应措施。在工程重要节点处建议设置埋设于基岩内的高程控制测量基准, 沉降监测点应定期与之联测。工程沿线的沉降监控应纳入全市地面沉降监控网络体系之中。

5.2 路基防护

对高路基应加强边坡防护。可采用水泥混凝土预制块与植草皮相结合的方法防护。

为有效增加路基稳定性, 应将浅层存在的工程地质性质很差的第2层替换。

5.3 桥涵处加强边坡支撑

工程沿线跨越河流众多, 大部分河流为汛期重要泄洪通道, 在某一时间段内工程桥涵边坡可能要经受高水位的冲刷与浸泡, 故应加强工程跨河边坡的支撑与维护。

处于浜塘地段的桥台, 应尽可能增加桥梁结构长度, 降低路堤高度, 并采用EPS或其它轻质材料, 减轻路基重量。

涵洞施工时应尽可能采用先进的施工工艺和方法。如刚性维护方案预防失稳, 提高稳定性。

5.4 桥台端部差异沉降处治与监控

差异沉降在工程跨越河道的桥梁结构的桥台端部与路堤衔接处表现最为突出。由此产生跳车

现象, 直接影响行车安全和道路工程的正常使用。为减缓或削弱桥台地基与填土下沉引起的跳车带来的危害性, 可采用如下对策措施。

5.4.1 采用桥头踏板跨越台后土方不密实地段。

5.4.2 在刚性桥台与柔性路面之间的桥头接坡设置强度渐变段。

5.4.3 选用轻质桥头路堤填料。

5.4.4 采用加筋土桥台。桥台和桥头加筋土路堤成为一个整体。桥台搁在路堤上, 桥台和路堤共同沉降。荷载通过桥台(综合地梁)较均匀地传到加筋土体中, 减小桥台跳车幅度。

5.4.5 采用复合地基减少桥头沉降。桥头接坡地段地基用粉喷桩、碎石桩竖向排水塑料芯板、超载预压等方法加固地基和加速地基固结, 提高地基承载力; 路堤用石灰土、粉煤灰、间隔土填筑, 并结合采用桥头踏板。工程造价虽较高, 但效果明显, 综合效益仍然是显著的。

5.4.6 以桥跨代替路堤, 以减少接坡路堤高度, 使路堤工后残余变形减少。

5.4.7 提高桥头填土压密度。

除上述的技术措施以外, 在桥台部位应设置分层沉降监测仪, 提高监控力度, 及时掌握沉降动态和差异沉降的发展, 以进行必要的维护与处治。

5.5 限制地下水开采

为控制地下水开采对沿国道产生的地面沉降, 工程建设的附属配套设施场地, 如停车场、收费站、餐饮部、加油站等的供水应以自来水为主, 严禁开凿新井, 限制开采地下水。同时, 严禁在该国道附近地带开凿深井取用地下水。

6 结论

根据同三国道上海段所处区域地质环境基本特征及其地质灾害危险性评估, 结合建设项目的工程设计, 可得出如下结论。

6.1 工程处于地面沉降易发地区, 区内第四纪地层广布, 尤其是浅部饱和软弱粘性土层较厚; 工程穿越不同岩土体结构单元, 采用的基础施工形式复杂, 因而工程建设有诱发或加剧地面沉降地质灾害的可能性。工程设计已对地面沉降效应, 特别是差异沉降采取了相应的防范控制措施, 具针对性、可行性和有效性, 可减弱或消除工程建设可能诱发的沉降影响。

6 2 工程沿线河流大多为太湖流域汛期泄洪通道。岸坡有经受汛期高水位冲刷、浸泡的可能, 存在桥涵边坡潜在的不稳定因素。高路基也有在强降水作用下的边坡失稳可能。工程设计中对边坡防护采取了有效措施, 可防止失稳危险。

6 3 工程所在区域目前地面沉降现象微弱。随着地区经济的进步与发展, 今后该区域的地面沉降有加速可能。因而工程有遭受区域地面沉降影响的可能性, 但危险性很低。工程不会遭受水土污染、地裂缝、砂土液化等地质灾害的危害。

6 4 工程设计对差异沉降、边坡支护、工程抗震、水土污染等可能存在的潜在危险与隐患均予以了足够重视, 并采取了相应的工程对策, 措施有效可行。

6 5 建议工程建设中应布设沉降监测点, 随时掌握沉降动态, 并纳入全市地面沉降监控网络体系之中。工程附属配套服务设施场区内应以自来水供水为主。严格限制工程沿线开凿新井抽汲地下水。

参考文献:

- [1] 朱建忠. 上海市高速公路网规划简介 [J]. 上海公路, 1999 (3): 11-12.
- [2] 徐家生. 浅议桥头跳车 [J]. 上海公路, 1999 (3): 41-43.
- [3] 张诚厚, 等. 高速公路软基处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 18.

Risk assessment and prevention countermeasure of geological hazard on Shanghai sector of the Tong San national highway

GONG Shi-liang, YAN Xue-xin, WANG Han-mei
(Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072, China)

Abstract: Shanghai sector of the Tong-San (Tongjiang-Sanya) national highway is built as expressway. Its length is 75.5 km, covering an area of $4.5 \times 10^6 \text{ m}^2$. It costs nearly 0.7×10^9 yuan (RMB). This paper analyses the possible influences by regional geological hazard, suitable prevention countermeasure has also been proposed. The geological hazard risk assessment is made with differential subsidence of line engineering as a major operation, and the subsidence control measure in the engineering design is discussed.

Key words: Shanghai sector of the Tong-San national highway; geological hazard; risk assessment; differential subsidence; prevention and control of geological hazard