

山区高速公路路基设计

林上顺¹, 刘碧容², 史嵩松²

(1. 福建省土木工程新技术与信息化重点实验室 福建 福州 350118;

2. 福建省交通规划设计院, 福建 福州 350002)

摘要: 由于山区高速公路地形、地貌、地质、水文条件的复杂性,其路基工程的设计较为复杂且难度较大。以松建高速公路建设为例,对山区高速公路路基设计方案和全过程动态设计理念进行介绍。本项目在工程设计阶段重视现场地形、地质等资料的收集,结合以往的工程经验,有针对性地开展精心细致的设计;在施工过程中,及时根据现场实际情况的变化,对原设计方案进行合理调整,为工程施工的顺利进行创造条件,同时进一步提升了设计成果的质量。实践表明,本项目的设计方案和设计理念具有明显的优越性,对今后类似工程的设计具有参考意义。

关键词: 山区; 高速公路; 动态设计; 路基工程; 不良地基; 排水设计

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2015)03-0216-07

Roadbed design for expressways in mountainous areas

Lin Shangshun¹, Liu Birong², Shi Songsong²

(1. Fujian Provincial Key Laboratory of Advanced Technology and Informationization in Civil Engineering

(Fujian University of Technology), Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Communications Planning and Design Institute, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Due to the complexity of terrains, morphological, geological and hydrological conditions of expressways in mountainous areas, the design of expressway roadbed is extremely complex and difficult. Taking Songxi-Jianyang expressway built in northern Fujian mountainous area as an example, roadbed design schemes of the expressways in mountainous areas and dynamic design concept in the whole process of engineering construction were described. The site topology and geological information of Songxi-Jianyang expressway were collected in the engineering design process to conduct detailed and scientific roadbed design combined with the past experiences. The original design scheme was adjusted in a rational manner in accordance with the changes of the actual conditions, which created favourable conditions for the smooth construction and uplifted the design quality. The results indicate that the design scheme and the design concept of the expressway roadbed is advantageous and is further applicable.

Keywords: mountainous area; expressway; dynamic design; roadbed engineering; bad foundation; drainage design

我国已完成大量的高速公路建设,在路基设计和不良地基处治方面,已经积累了丰富的经验,

如文献[1-2]对路基的稳定性问题开展研究;文献[3]研究了全风化花岗岩用作高速铁路基床底

层及路堤本体填料的适宜性;文献[4-14]提供了大量软土地基的处理方案和边坡滑移等病害的处治案例。

山区高速公路的工程规模一般较大,里程长且占地较大,其地形复杂,高填深挖特殊路基已屡见不鲜;其地质情况多变,在山谷、水田、鱼塘地带,经常遇见大面积且具有较大深度的淤泥或淤泥质土等高压缩性软弱路基土层,以及含水量较高的高液限土等不良地基。由于地质钻孔的数量毕竟有限,难以全面把握建设项目的实际地质情况。另一方面,从工程设计到施工期间历时较长,由于现场情况(如气候、水文、地形等)的变化,在工程设计前期所提出的合理性方案,可能由于现场地形、地质参数的变化,不再适用于实际工程的施工。

在这种情况下,若未能及时对原设计方案进行调整,则可能导致严重的工程事故,对工程的质量、安全、经济性均会产生不良的影响。因此,在工程设计阶段,对现场资料进行全面细致的收集整理,据此进行精心设计是确保工程设计质量的前提;在施工过程中,对设计成果进行跟踪服务,根据现场情况的变化,及时调整设计方案,使之与现场实际更为吻合,可为工程施工的顺利开展创造条件,有助于设计成果的进一步提升。

本文以福建松溪—建阳(松建)高速公路为例,对山区高速公路路基设计方案和全过程动态设计理念进行介绍。该项目位于闽北山区,常年雨量充沛,地形复杂且地质多变,其路基工程设计具有一定的难度。在设计过程中,结合以往的工程经验以及既有的相关研究成果,充分重视外业资料收集、地质勘探工作;在路基横断面设计、高填深挖路基、不良地基处理、路基排水系统方面进行详尽合理的设计;在施工工程中,紧密跟踪现场施工动态,及时对原设计方案进一步进行优化。本项目所倡导的全过程动态设计理念已成功地应用于实际工程,相关设计经验可供今后类似的工程借鉴。

1 工程概况

松建高速公路起点位于闽北松溪县旧县乡木城村(福建(闽)浙江省分界处)终点位于闽北建瓯市建安街道东安村,与浦南高速公路弓鱼枢纽互通连接,线路全长 106.66 km,是国家高速公路

网第三纵长春至深圳线在福建省境内的重要路段,是海西高速公路网第三纵松溪至武平线的重要组成部分。本项目路基宽度为 26 m,采用双向 4 车道,设计行车速度为 100 km/h。

项目所在区最高气温为 41.3℃;极端最低气温为 -8.7℃,雨季主要集中在 4~6 月,10 月至次年 3 月为旱季。主要灾害性气候有季节性洪水、霜冻和台风等。路线位于福建省北部,沿线穿越的地貌单元有构造侵蚀剥蚀丘陵地貌、山间凹地,地形起伏大。山间凹地为周围的山谷洪流洪积作用和山坡面流坡积作用形成,多分布于侵蚀剥蚀残丘间的低洼地带。沿线多被开垦为果园、稻田。沿线地质情况复杂多样,主要不良地基类别如下:(1)软土:当高速公路的线路位于剥蚀残丘、丘陵间沟谷及冲洪积堆积地貌时,沿线表层偶有软弱土发育,富含腐植土质,呈饱和、软塑状态,具有含水量大、高压缩性、低抗剪强度等特性,填筑时将产生过量沉降甚至滑移。(2)小崩塌:高速公路沿线多处见浅层土质崩塌,对路基及边坡有一定影响。(3)高液限土:路基挖方部分路段坡地表层的残坡积粘性土层为高液限土。

2 路基设计

在路线布设阶段,对建设场地进行地震安全性评价、地质灾害评价、边坡稳定性评价等专题研究工作,避免将路线布设在地质断裂带、古滑坡、泥石流等危险段落。在现场踏勘阶段,对沿线的水文情况开展系统深入的调查工作;对沿线的鱼塘、滩涂、水田等的不良地基的位置和区域进行测绘,为路基设计的断面设计、排水设计以及不良地基处理提供基础资料;根据公路工程地质勘探相关规程,对沿线的建设场地范围布设地质钻孔,在不良地基或陡坡地段,宜适当增加钻孔的数量。将路基设计初步成果与路线全线的地形地貌进行核对,若发现问题及时进行调整。

2.1 路基横断面设计

2.1.1 路基标准断面设计

根据建设单位的项目任务书及国家相关技术标准^[15-16],本项目采用四车道高速公路,路基宽度为 26.0 m,根据现场实际地形,路基横断面形式分为两种:其一为整体式路基(详见图 1);其二为分离式路基(详见图 2)。整体式路基中间带宽度 3.5 m(中央分隔带 2.0 m+路缘带 2×0.75 m),

行车道 $2 \times 2 \times 7.5$ m, 外侧路缘带及硬路肩宽度 2×3.0 m, 土路肩宽度 2×0.75 m; 分离式路基单幅宽度为 13.00 m, 其中行车道宽 2×3.75 m; 行车道左侧硬路肩宽度 1.00 m, 右侧硬路肩宽 3.00 m, 土路肩宽 2×0.75 m。

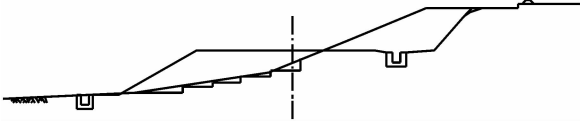


图 1 整体式路基示意图

Fig. 1 Schematic of integral roadbed



图 2 分离式路基示意图

Fig. 2 Schematic of separated roadbed

2.1.2 一般路基设计

路基设计坚持“以人为本”、贯彻“不破坏就是最大的保护”及“灵活设计、宽容设计、创作设计”的理念,最大限度地保护生态环境、使公路与沿线自然及社会环境协调相融,最终实现“安全、环保、舒适、和谐”的目标。

路基设计严格遵照规范^[15-16],在设计前对沿线工程地质、水文等自然条件进行较为深入的调查,在充分收集第一手资料的基础上提出路基稳定系数、路基压实度等设计要求,并根据填挖、水文、地质等情况,对路基排水及防护工程等进行综合设计。

路基设计根据自然分区的气象、水文特征、地形、地貌、地物及工程地质、水文地质、试验资料等,合理确定路基设计参数,根据不同的条件设计不同的路基方案。路堤边坡护坡道及挖方边坡碎落台均为圆弧流线型式,以满足美观要求。

1) 路堤设计

填土路基边坡采用台阶式,每 8 m 为一阶,边坡从上至下第一台阶坡率 1:1.5、第二台阶及以下坡率 1:1.75 ~ 1:2。每阶之间设置不小于 2.0 m 宽的护坡道,护坡道向外倾斜 4.0%,同时路基宽度在两侧各加宽填筑 30 cm,使其压实大于路堤设计宽度,以保证路堤边缘的压实度,削坡后有效的断面尺寸应符合路基设计宽度,如图 1、2 所示。当边坡原地面较陡或者路线旁边有重要构造物干

扰,需要减小占地时,采用挡土墙、护肩或护脚处理(图 3)。

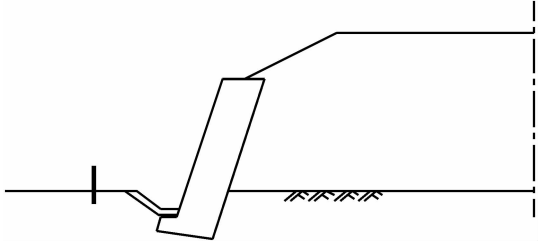


图 3 设挡墙的路基断面

Fig. 3 Crosssection of roadbed with retaining wall

填石路基边坡亦采用台阶式,每 8 ~ 10 m 一阶,边坡率从 1:1.1 ~ 1:1.75。每阶之间设置不小于 2.0 m 宽的护坡道,护坡道向外倾斜 4.0%,同时边坡还要进行码砌,码砌厚度 1.5 ~ 2.0 m。

对于沿河路段或处于鱼塘的路段,为避免受到侵蚀,在迎水的坡面采用厚度为 30 cm 的片石混凝土铺砌进行防护,在设计水位以上 50 cm 至地面之间的路基采用石料进行填筑(图 4)。

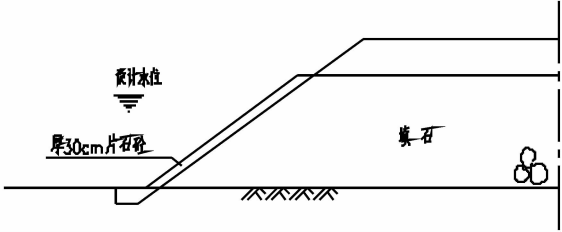


图 4 沿河路段路基断面

Fig. 4 Crosssection of roadbed along the river

2) 路堑设计

路堑边坡形式及坡率根据工程地质与水文地质条件、边坡高度、排水措施、施工方法,并结合自然稳定山坡和人工边坡的调查及水力学分析综合确定。

挖方路基设计根据外业调查及勘探资料合理确定路堑边坡坡率和防护类型,边坡坡率的选择结合地层岩性、结构面、水文等,在满足安全稳定的前提下,灵活自然、因地制宜、顺势而为。路堑边坡尽量避免刀削式的单一坡,一般下陡上缓、逐渐过渡形成抛物线形以很好地融入周围自然,同时,边坡坡度的陡缓在确保安全的前提下还酌情兼顾植物防护的需要(图 5)。

对于碎裂结构及存在控制性结构面的岩质挖方边坡,通过边坡稳定分析计算确定边坡坡度及

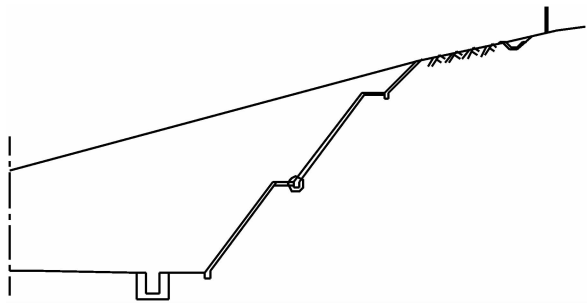


图5 土质挖方路基断面

Fig. 5 Crosssection of soil excavated roadbed

支挡防护形式,通过挖穿岩土界面的二元结构地层,对其上部覆土可能出现的溜坍、滑坡采取相应的支挡工程措施(图6)。

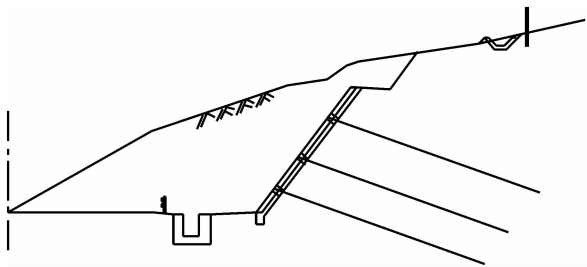


图6 破碎岩石挖方路基断面

Fig. 6 Crosssection of fragmentized rock excavated roadbed

2.1.3 低填浅挖路基

在低填、浅挖段尽量将边坡放缓,形成舒缓自然的曲面与原地貌融为一体,既美化环境,又提高行车安全性。为确保路基强度和变形要求,并利于路基路面排水通畅,对于填挖 $h < 1.5\text{ m}$ 的低填浅挖路基段落,对路床范围(即路面底面以下 $0 \sim 80\text{ cm}$)的填料或表土认真处理,当土层最小强度(CBR)值满足规范要求且含水量适度时,采取翻挖后压实处理,当土层含水量较大或土层最小强度(CBR)不能满足要求时,一般采取换填透水性材料进行处理,处理后上、下路床的压实度大于96%(图7、8)。

2.1.4 高填深挖路基

对于填方边坡 $h > 15\text{ m}$ 以上的路堤;土质挖方边坡 $h > 20\text{ m}$ 的路堑,石质挖方边坡 $h > 30\text{ m}$ 的路堑,以及受河流冲刷影响、不良地质、不良岩层结构层等路段均根据边坡稳定性验算结果进行特殊设计。

1)高填路基特殊设计及位移监测

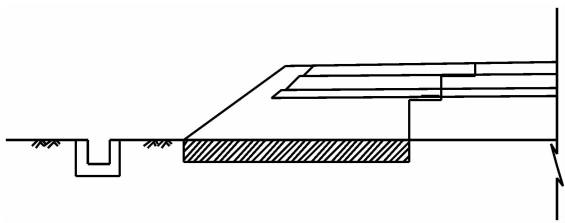


图7 低填路堤设计图

Fig. 7 Design of low filled embankment

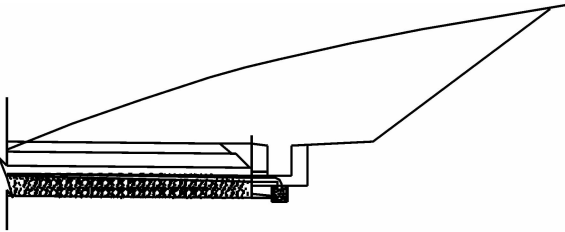


图8 浅挖路堑设计图

Fig. 8 Design of shallow cutting

设计中将填方边坡 $h > 15\text{ m}$ 的路段作为高填路基(图9)。陡坡路基需在原地表挖台阶并在原状土与新填土之间设置土工格栅等措施,加强二者之间的粘结,以便形成整体,防止二者在交界面处发生相对滑移。施工过程中,采用冲击碾压、强夯等措施进行增强补压。当路基连续填筑 $L > 80\text{ m}$ 时可采用冲击碾压、 $L < 80\text{ m}$ 应采用强夯进行增强补压。

高路堤填料优先采用工程力学性质良好的土质填筑;路床顶面以下 2 m 采用工程力学性质良好的土质填筑;对于填方边坡 $h > 15\text{ m}$ 的路段,采用冲击碾压、强夯等措施进行增强补压。当路基连续填筑 $L > 80\text{ m}$ 时采用冲击碾压、 $L < 80\text{ m}$ 采用强夯进行增强补压。

对于陡坡路堤,需要在路基范围内设置测斜管、沉降盘等,进行路基的沉降和侧移的观测,对路基施工的全过程进行监控量测。

2)深挖路堑动态设计

在深挖路堑边坡的设计中,由于地质条件的隐蔽性、复杂性以及勘探测试条件的局限性,致使地质勘探和测试资料不可能全面揭示边坡的本来面貌。另外本项目深挖路堑部分大多为岩质,需爆破施工,爆破后开挖有可能造成稳定边坡的失稳,因此需要对该类边坡进行适时监控和动态设计。

根据施工过程中的测量资料及位移监测资

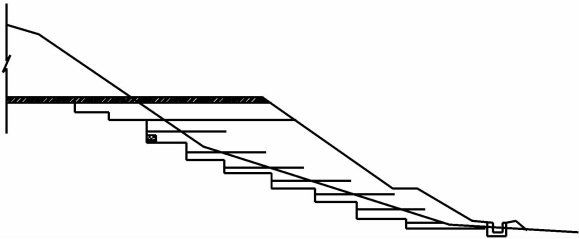


图 9 高填陡坡路堤设计图

Fig. 9 Design of high filled embankment with steep slope

料,进行深挖路堑的高边坡动态设计,根据设计阶段已有的地形、地质、水文等资料,采用工程地质类比法,并进行稳定性计算,对于稳定系数满足要求的边坡,则采用普通防护;对于稳定系数达不到要求的边坡,则采取放缓坡率和加宽平台或锚杆(锚索)框架等措施,以使其稳定系数满足要求。

在施工过程中,结合现场开挖暴露的实际地质情况,必要时动态调整设计方案并适时变更支护参数及支护方式。

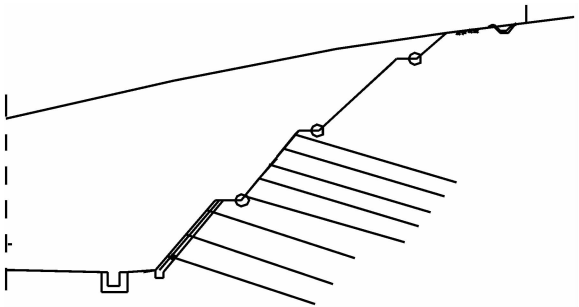


图 10 深挖路堑设计图

Fig. 10 Design of deep roadbed cutting

2.2 路基填料

填方路基优先选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料,路床填料最大粒径为 100 mm,路基填方最大粒径为 150 mm。其中上路床 30 cm 要求填砂类土,其填料的颗粒组成要求如下: >0.075 mm 的颗粒含量应大于 75%, <0.002 mm 的粘粒含量应小于 10%。

高液限土不宜直接作为路堤填料,高液限土路段的挖方在弃方较多的路段,首先将挖的高液限土废弃或用于反压护道的填筑;欠方路段,通过化学或物理改良措施对高液限土进行路基填筑利用。

2.3 路基排水设计

路基地表排水采用涵洞、边沟、截水沟、排水沟、跌水与急流槽;路基地下排水应设置盲沟、渗沟、检查井等地下排水设施,采用地下排水设施类型,位置尺寸根据工程地质和水文地质条件决定。根据地下水位情况,个别路段路堑边坡还设置了坡体排水孔。本工程边沟设置于路堑段,排水沟设置于路堤段,截水沟设置于挖方边坡坡顶以外约 5 m 处,急流槽设于陡坡地段将截水沟水引入边沟或涵洞或将边沟、排水沟水引入自然流水系统。渗沟和盲沟用于降低地下水位或排除路基范围内地下水或渗水,施工时应根据现场地下水情况酌情设置。

3 特殊地基处理

3.1 陡坡路堤和填挖交界处地基处理

对于陡、斜坡路堤及半填半挖之填方区路堤,当路堤不稳定或其坡脚为软弱土基时,或在填挖交界处结合部的路基,由于土质的密实度不同、填方部分沉降以及地下水的影响,如处理不当将使路基沉降不均,路面变形开裂,甚至还会造成路基失稳,因此需要引起重视。在这种情况下,总结已有经验,采取换填、砂桩、冲击碾压、强夯等措施强化处理,并对填挖交界处的设计,提出如下处理原则。

(1)填方和挖方结合部:在横向加强结合部之间的整体性,主要措施是在挖方的边坡上挖成宽度不大于 2.5 m 或不大于 3.0 m 的台阶,阶面呈 4% 向内横坡,以加强挖填面之间连接;在填挖方的交界处视地下水或地面水情况,酌情设置纵、横向盲沟,或在路基填挖交界面填筑一层透水性材料,以利路基内的水排出。

(2)对于横向半填半挖的路段和填挖交界处的路段,在水泥稳定碎石底基层中间高度处布设 $\phi 8$ mm 的钢筋网,间距 20×20 cm。

(3)当填挖交界处填方区边坡 $h > 8$ m 的,为了减小路基填挖间的差异变形,采用冲击碾压、强夯等措施进行增强补压。当路基连续填筑 $L > 80$ m 时可采用冲击碾压、 $L < 80$ m 应采用强夯进行增强补压。

3.2 不良地基处理

3.2.1 地基换填处理

从本项目的地形地貌和工程地质的特点出

发,根据不良地基所处的位置,进行分类并采取相应的处治方案。

(1)山坳水田处不良路基处理:山坳水田路段、地表土质湿软,在填筑前,应先进行开沟、拦截、引排地表水,疏干和晾晒后进行填前压实及路堤填筑。因引排有困难路段而增设积水坑的,应定期将积水坑内水抽取,使之有良好的地基施工场地。在路堤两侧坡脚外 1.0 m 范围内清淤,最后进行填筑前压实或换填。另外,视现场地质情况及材料供应情况,采取如下处理措施:对有泉眼或地下水比较丰富的路段,采用碎石盲沟或渗沟排水,同时结合地形、水文地质情况,调整碎石盲沟或渗沟的布置位置;对于地势较为平坦、排水有困难的在施工期间采取强制排水措施,必要时增设线外排水设施。采用换填透水性材料或设砂砾垫层 40 ~ 50 cm;采用砂砾垫层同时结合盲沟的设置进行地基处理。

(2)水塘地段:路基经过水塘地段,采用围堰、抽水、清淤、换填或抛填石,并铺砌或码砌边坡至常水位以上 0.5 m。

(3)废弃杂填土地段:先挖除杂填土,然后回填适合路基填筑土方。

(4)地基表层处理:对于石方地段,当地面横坡为 1:5 ~ 1:2.5 且基岩面上的覆盖层较薄时,先清除覆盖层后再挖台阶,填筑前,先清除表层土。当为一般土质地段,先清除表层土后,再挖台阶,并视地下水情况设置纵、横向盲沟等。填筑路堤前,将地基表层碾压密实。

在一般土质地段,公路基底的压实度(重型)不应 < 90%。路基填土高度小于路面和路床总厚度时,将地基表层土进行超挖并分层回填压实,或依据设计需要进行换填土处理,其处理深度不应小于重型汽车荷载作用的工作区深度(图 11)。

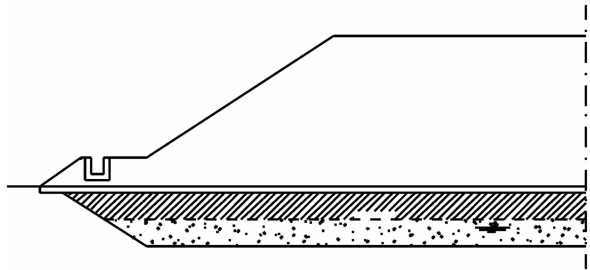


图 11 换填处理设计图

Fig. 11 Design of fill changing treatment

清表土、非适应性材料等结合附近地形进行集中堆放,以便今后绿化、复垦利用。

3.2.2 砂沟

在一些路段,其软土 $d > 2$ m,若采用换填处理,不仅换填土方的数量过大,造价昂贵,且弃土的处理较为困难,对环境生态均有一定的影响。因此对于软土 $d \leq 4$ m 的路段,采用填砂垫层结合砂沟排水固结的方法进行地基处理。砂垫层、砂沟采用中粗砂,含泥量不大于 5%,砂垫层伸出坡脚外 1.5 m。砂沟采用 200 × 100 cm 矩形断面,每间隔 5 m 设置一道(图 12)。砂沟开挖过程中,需考虑基坑支护。采用砂沟处理,不仅可显著减少软土的换填数量,还可实现软基地基的快速固结,从而达到改良地基的目的。

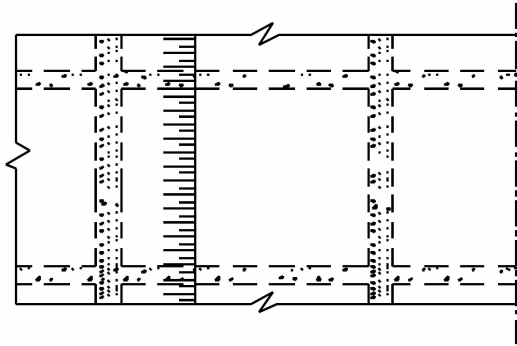


图 12 不良地基砂沟处理设计图

Fig. 12 Design of bad foundation treated by sand ditch

3.2.3 砂桩

对于软土 $d > 4$ m 的路段,可采用砂桩结合土工格栅的方法进行地基处理。砂桩直径为 50 cm,平面呈等边三角形布设,边长为 1.3 ~ 1.5 m。砂桩采用渗水率较高的中、粗砂,大于 0.5 mm 的砂的含量应占总重的 50%,含以上泥量 $\leq 3\%$ 。软基段要求预压期不小于 6 个月。填土速率应按相关标准进行控制。

4 现场设计跟踪服务

从踏勘到施工阶段,一般需历时几年,在此期间由于自然条件的变化以及当地群众所开展的生产活动、场地建设等,拟建项目的现场情况将发生一些变化。由于设计阶段的地质钻孔数量毕竟有限,仍难以全面把握现场的地质情况。一些问题可能在施工过程中才能被发现。因此,进行设计

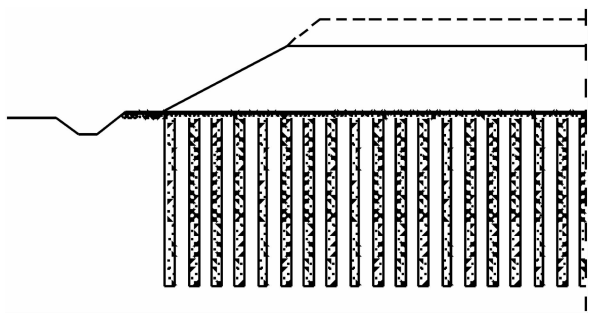


图 13 不良地基砂桩处理设计图

Fig. 13 Design of bad foundation treated by sand pile

成果的跟踪服务,对于顺利开展工程施工非常必要。

为确保现场设计服务的质量,在工地成立设计代表组。在施工过程中,设计组经常到现场查看,积极与施工单位沟通,及时发现施工过程中出现的难点和问题,同时与参建各方及时协商,在充分讨论的基础上,形成设计优化方案,并交付施工单位实施。

参考文献:

- [1] 邓卫东,陈永红,李聪. 典型工况下填方路基稳定安全系数取值探讨[J]. 中国公路学报,2014,27(4):16-23.
- [2] 郑明新,左威,涂文靖,等. 填土控制对施工中软土路基稳定的影响分析[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版,2011,26(1):48-51.
- [3] 周援衡,王永和,卿启湘,等. 全风化花岗岩改良土高速铁路路基填料的适宜性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(3):626-634.
- [4] 樊明洁,裴军英. 福建某高速公路软土地基分析与治理[J]. 道路工程,2013(3):90-92.
- [5] 曹云,孟云梅. 粉喷桩-土工格栅复合地基联合加固高速公路软基机理研究[J]. 公路工程,2012,37(6):122-125.
- [6] 蒋鑫,耿建宇,邱延峻. 高地下水位软土地基高速公路路基拓宽方式力学行为比较[J]. 中外公路,2013,33(1):18-23.
- [7] 郭力群,马时冬. 土工格栅加筋垫层用于处理特殊地基[J]. 岩土工程技术,2005,19(3):109-112.
- [8] 闫强,刘保健,支喜兰. 高速公路路堤地基处治标准研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2012,37(4):723-730.
- [9] 史启超,曹卫平. 高速公路软土地基处理方法比较分析[J]. 路基工程,2012(1):111-114.
- [10] 董庆阳. 高速公路路基拓宽中的软土地基处理技术[J]. 兰州工业学院学报,2014,21(3):50-53.
- [11] 顿志元,龙万学. 某高速公路湿软地基填方路基滑坡机理分析与治理措施[J]. 路基工程,2013(5):53-57.
- [12] 阮红兵,沈才华,徐科,等. 越南高速公路砂井地基处理方法优化研究[J]. 公路工程,2014,39(3):56-59.
- [13] 徐霄,程国义. 浅谈高速公路软土地基的处治措施[J]. 公路交通科技:应用技术版,2013(7):26-29.
- [14] 王小平. 特殊地基处理技术在国道 G318 邛崃至名山高速公路中的应用[J]. 公路交通技术,2014(1):15-19.
- [15] 中华人民共和国交通部. JTG B01-2003 公路工程技术标准[S]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [16] 中华人民共和国交通部. JTG D30-2004 公路路基设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.

5 结语

在已建成的高速公路中,路基工程出现病害的现象较为普遍,如路基边坡滑坡、开裂、下沉等,不仅造成巨大的经济损失,也存在很大的安全隐患,必须引起高度的重视。根据以往的工程经验,出现这些病害的原因有设计细节的纰漏,也有施工或管理不当等因素。

本项目位于闽北山区,所处的地理位置地形多变,地质情况复杂,且常年雨量丰富,是公路路基工程出现病害的多发地区。从工程设计角度,应特别重视外业资料收集、地质详勘等关键环节,这是进行合理设计的前提;在此基础上,应针对复杂条件下的路基工程进行详细区分,结合以往的工程经验,进行详尽合理的设计。此外,从项目的设计阶段到施工阶段历时较长,在此期间现场的地形地貌、地物等均可能发生变化,因此进行全过程的设计跟踪,及时对原设计方案进行调整、优化是非常必要的。本项目于 2012 年年底建成通车,至今未发现明显病害,相关设计经验可为今后的类似工程借鉴。