

哥伦比亚高等级公路路基路面设计理念分析

刘涛,胡关华,苑艺

(中交第一公路勘察设计研究院有限公司,陕西 西安 710065)

摘要:哥伦比亚公路设计基本按美国标准执行,设计理念也偏向于美国,同时有哥伦比亚自身工程设计的习惯、理念及特点。该文介绍了哥伦比亚北部MAR2公路项目中的防护工程、排水工程、路基填料、取弃土场和路面等方面的主要设计方案,对比分析了中哥设计理念的异同,并提出可互学互鉴的内容。

关键词:设计理念;路基防护;排水工程;填料;取弃土场;路面;对比分析

中图分类号:U416

文献标志码:A

Analysis on Design Concept of Subgrade and Pavement of Colombia High-Grade Highway

LIU Tao, HU Guanhua, YUAN Yi

(CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Colombian highway design predominantly adheres to American Standards, emphasizing design concepts reflective of the United States while encompassing Colombia's engineering design habits, concepts, and characteristics. This paper introduced the main design schemes of the Colombia MAR2 Highway Project in northern Colombia, including protection engineering, drainage engineering, subgrade filling, spoil ground, and pavement. It conducted a comparative analysis between Colombian and Chinese design concepts, highlighting similarities and disparities, and put forward the thinking of mutual learning.

Keywords: design concept; subgrade protection; drainage engineering; filling; spoil ground; pavement; comparative analysis

1 项目概况

哥伦比亚位于南美洲北部,靠近加勒比海,其基础设施较落后,公路勘察设计采用的规范以美国标准为主,部分专业工程也有中国规范。设计理念方面倾向于美国,但也有部分结合其实际国情的理念变化和特点。

MAR2公路项目的设计单位为美国的AECOM哥伦比亚分公司。

该项目属于哥伦比亚政府“4G路网项目”,位于哥伦比亚西北部的安提奥基亚省,项目起点靠近省会麦德林(Medellin)市,终点连接该省北部唯一出海口内科克利(Necocli)市。建设工程总长为

144.9 km,其中修复和完善路段127.2 km,新建路段17.7 km。

该项目全线采用开放式双向两车道高速公路设计标准,设计速度为80 km/h,新建路段路基宽度为10.9 m。

项目新建路段处于高山地貌,属于山岭重丘区。从起点开始,由南到北、由新建到改建路段,地形逐渐变缓,至项目终点,海拔降为134 m左右,基本进入冲积平原区。

项目所在地气候为湿润亚热带气候,年均温度21.5℃。年降水量1550~2600 mm,全年有5—6月和8—11月两个雨季,雨季较长,对项目施工影响较大。项目所在区域地震加速度为0.23g。

2 路基路面工程设计方案及中外理念对比

2.1 路基防护工程

由于项目所处区域降雨量较大,地震活动较频繁。岩质山体表层覆盖土较薄,自然坡面较陡;土质山体多为第四系新近堆积的坡积、残积和冲洪积土层,夹杂着不规则的各类风化基岩。另外,本项目路线基本沿 Sucio 河一级、二级阶地布设,两侧山体存在大量厚度不一的河流阶地卵砾石土层。

基于上述地质情况和岩土特点,该项目路基防护设计原则和形式如下。

2.1.1 挖方边坡

对于岩质边坡,采用 1:0.25~1:0.5 的坡率,基岩风化程度较弱、节理裂隙发育较少的坡面采取一坡到顶的方式,基岩风化程度较强、节理裂隙发育较多的较高坡面采取 1:0.5 坡率、15 m 高分级、分级处设平台的刷坡方式。

对于土质边坡,采用 1:0.75~1:2.0 的坡率,根据土体的力学性质、含水量和边坡高度采取 10 m 或 15 m 分级、分级处设平台的刷坡方式。

2.1.2 填方边坡

全线填方边坡较少,无 20 m 以上的高填路基。

一般填方边坡根据占地类型、地基土条件、与河流及其他建筑物距离及稳定性验算情况,采用 1:1.0、1:1.5、1:2.0 共 3 种坡率。

2.1.3 边坡防护

(1) 路堑边坡:当边坡顶部存在不稳定土体或边坡处于欠稳定状态时设置不同规格的主动锚索(全线采用了 20Tn、40Tn、60Tn、80Tn 4 类)或被动锚杆(全线采用了 $\phi 32$ mm 和 $\phi 25$ mm 两类)进行锚固;当坡面较破碎、易掉块时设置了焊接网+喷射混凝土或三捻钢丝网+液压喷播进行防护。

(2) 路堤钢筋混凝土挡土墙:当外侧自然坡面较陡或距离河流及其他建筑物较近时采用钢筋混凝土悬臂式挡墙支挡防护。挡墙墙高与基础类型根据土质条件和基底地质情况确定,高 6 m 以上的挡墙一般采用钢筋混凝土桩基础,6 m 以下的采用原地基或换填砂砾。如图 1 所示。

(3) 路堤加筋挡土墙:设置于填方较高、地形平缓、占地受限的路段或平坦的桥头路基段,通过分层

加铺土工格栅(间距一般为 0.4 m)、边部土工布逐层(每隔 1.6 m)包裹压实回填,外侧综合坡率为 1:0.3,以提高路基强度和整体稳定性。如图 2 所示。

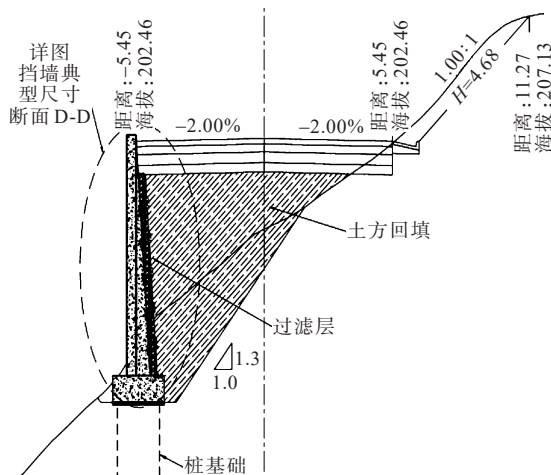


图1 路堤钢筋混凝土挡土墙(桩基础)(单位:m)

Figure 1 Reinforced concrete retaining wall (pile foundation) for embankment(unit:m)

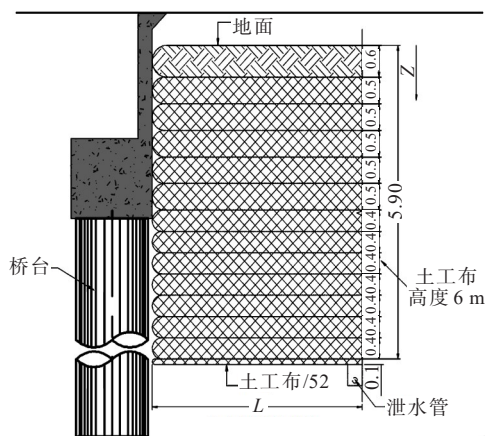


图2 路堤(桥头)加筋挡土墙(单位:m)

Figure 2 Reinforced retaining wall for embankment (bridge head)(unit:m)

当边坡整体稳定、坡面岩石处于微~中等风化状态时不予防护。

2.1.4 比较分析

路基防护工程中采用的坡率和防护形式,主要与边坡的地质情况、水文条件、地震因素、稳定性有关。这些基本原则与中国的岩土工程边坡设计理念一致。但具体理念仍有如下不同:

(1) 哥伦比亚在路堑边坡坡率设计方面更为灵活和冒险。岩质上边坡坡率采用 1:0.25、1:0.33 和 1:

0.5,单级边坡高度20~30 m的较常见,最高有超过70 m,而中国一般岩土状况较好的微风化岩质边坡时会采用1:0.5和1:0.75的坡率,且单级高度一般控制在15 m以内;哥伦比亚土质边坡采用10 m分级^[1],这在中国也较少见。

(2) 哥伦比亚在路堤边坡坡率方面也比中国宽松和开放。中国下边坡坡率一般采用第一级8 m分级、1:1.5的坡率,第二级12 m分级、1:1.75的坡率,第三级采用1:2.0。哥伦比亚在很多地势较平缓路段直接采用1:2.0坡率一坡到底。这可能主要受美国标准的影响(美国很多州采用1:3.0的坡率)。

(3) 边坡防护

路堑边坡:哥伦比亚本项目设计大量采用了喷射混凝土,且根据稳定性验算结果局部采用锚索和锚杆,但中国目前公路边坡出于景观环保的考虑较少使用喷射混凝土,锚索和锚杆也多与框架梁结合植草绿化使用。

路堤边坡:由于该项目区地震活动频繁,属于Ⅷ度区,挡墙均采用了抗剪能力较强、基底承载力要求较低的钢筋混凝土悬臂式挡墙。当地形较陡、墙高较高、基底承载力过低时采用了钢筋混凝土桩基础。而在中国,公路项目大多采用重力式挡墙,市政道路多采用轻型的钢筋混凝土结构。

2.2 路基排水工程

2.2.1 MAR2项目设计方案

本项目的排水设计灵活多样,通过设置路侧和坡面排水沟、仰斜式排水孔、盲沟、涵洞和急流槽等设施,形成了综合的排水系统,确保排水顺畅和路基稳定^[2]。

边沟:挖方路基主要采用了两种不同深度的三角形混凝土边沟(局部过村镇或地形受限路段为矩形);填方路基多以散排形式排水。

平台排水沟:对于挖方边坡坡面汇水,设计在分级平台处采用了土质梯形沟,收集至边侧后通过急流槽排往涵洞或桥下。

横向排水管:对挖方侧山体坡面基岩裂隙水发育的边坡坡脚处大量采用了仰斜式横向排水管。

盲沟:对于路侧富水路段,边沟底部设置了纵向碎石盲沟;对于地下水位较浅、易富水的山坡体以及地势较平坦易积水的弃土场内,设计采用了树枝状不同规格的碎石盲沟收集排除。如图3、4所示。

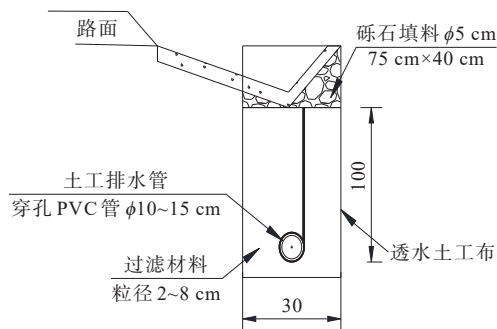


图3 三角形边沟及底部盲沟(单位:cm)

Figure 3 Triangular side ditch and bottom blind ditch(unit: cm)

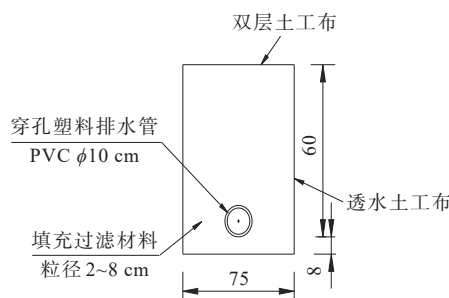


图4 弃土场及坡面盲沟(单位:cm)

Figure 4 Blind ditch of spoil ground and slope(unit:cm)

截水沟:对于部分挖方边坡顶部,为了避免上游坡面汇水冲刷边坡,在坡口线3~5 m外设土质梯形截水沟,沟底铺设防水土工布。

2.2.2 比较分析

MAR2公路项目的排水设计原则、方案、理念与中国基本相同,不同的方面主要有:

(1) 该项目填方路基全线散排处理,中国高等级公路大多对雨水进行集中收集并采用排水沟排除。分析原因为:① 本项目虽然为哥伦比亚的高等级公路,但其路基宽度只有10.9 m,中国的高等级公路路基宽度一般都在16 m以上,汇水面积较大;② 中国饮用水资源较缺乏,环保、水保要求较高。

(2) 哥伦比亚使用混凝土三角形边沟的较多,本项目及附近其他道路均有采用。优点是路面衔接平顺,边部易于施工;客观上横向加宽了行车侧向余宽,易于会车和停车;安全性更好,车辆驶入后可自行脱困;与矩形沟相比,过水断面相同时的汇水面积更大;可兼作边坡碎落台使用,且易清理养护。

(3) 盲沟的设计,由于本项目所属区域雨季较长,降雨频繁、汇水量大,地基土含水率高,除了设于

边沟底部排除地下水外,弃土场和不稳定斜坡体内均设置了纵横交错呈树枝状的很多不同规格的盲沟,即为了将地面汇水和表层渗水集中尽快排出坡体。而中国的大多盲沟仅设于边沟或路基地部,用于排除地下水或路基范围内的泉水;滑坡范围内有时也会采用支撑盲沟、暗洞、排水井等措施综合治理。

2.3 路基填料及其压实度要求

(1) MAR2项目的路基基底压实度不小于90%,路基压实度不小于95%,填料最小强度(R_{CBR} 值)不小于5%,压实度和强度要求不作区分。这与中国将路基分为上路床、下路床且各分区内压实度和 R_{CBR} 值要求均不同。

(2) MAR2项目桥涵台背路基压实度不小于97%。中国高等级公路该指标要求一般为96%。

2.4 弃土场设计

MAR2公路项目全线以挖方为主,故弃土量较大,弃土场设计较详细具体。

沿线地形狭窄,环评、征地困难,本项目多数弃土场均位于路线走廊带两侧的一、二级阶地区域,地形以两侧平缓的坡地为主。其设计理念与中国差异较大。主要体现在以下方面:

(1) 哥伦比亚弃土场选择多而分散,弃土规模均较小,有的仅2万~3万 m^3 ,且常设于斜坡地带,稳定性较差;中国弃土场选择少而集中,规模较大,山区几十万方的弃土场比较常见,且多设于沟形开阔、坡度较缓地带。

(2) 哥伦比亚弃土场因土地私有制,主要考虑征地代价与环评审批因素,选址也比较灵活,设在荒芜的坡地、洼地、河流阶地的较多,安全性较差;中国弃土场选择以安全可靠、经济合理为主要原则,(公路设计手册)《路基》^[3]建议设在就近洼地或路堑的下坡一侧,减少弃土场造成次生地质灾害的可能性;《水土保持工程设计规范》(GB 51018—2014)^[4]又对设于各种地形的弃土场防排水工程、稳定性等要求做了明确规定。

(3) 哥伦比亚弃土场设在平坦的区域时仍向两侧形成台阶状土堆并进行绿化;中国尽量在一侧靠山填平后单侧放坡分台阶绿化。

(4) 哥伦比亚弃土场多注重外在景观绿化效果;中国更注重其实用性,能利用的尽量填平后复垦,留

给附近居民使用。这与中国耕地较少和人口较多的国情有关。

2.5 路面工程

2.5.1 MAR2项目设计方案

MAR2项目路面总体有新建和修复两种类型。

除隧道采用水泥混凝土路面外,全线均采用柔性的沥青混凝土路面。新建沥青路面分析了7年和10年两种设计年限情况;修复沥青路面分析了4年和5年两种设计年限的情况;水泥混凝土路面设计年限为30年。

新建路面:对设计年限为7年和10年的多种不同结构类型和备选方案进行了比较分析。根据交通量预测、道路使用实际情况和地质条件,推荐采用设计年限为7年的方案,即6 cm密级配沥青混凝土MDC-19+10 cm密级配沥青混凝土MDC-25+20 cm A级级配砂砾基层+28 cm A级级配砂砾底基层。设计参数^[5]如表1所示。

表1 路面结构层设计参数

Table 1 Design parameters of pavement structure layer

结构层	厚度/cm	模量/MPa	泊松比
MDC-19	6	2 400	0.35
MDC-25	10	2 700	0.35
级配砂砾基层BTC	20	210	0.40
级配砂砾底基层BG	28	115	0.40

修复路面:根据旧路的损坏程度逐段进行评价,得出百米范围内的综合评价指数 I_{IS} (超临界退化指数)。对于损坏严重的 $I_{\text{IS}} \geq 4$ 的路段,采用铣刨5 cm沥青表面层后加铺4 cm MDC-19+5 cm MDC-25;对于轻微损坏且路面状况良好的路段($I_{\text{IS}} \leq 3$),采用直接加铺4 cm MDC-19。

隧道混凝土路面结构为25 cm钢筋混凝土面板+30 cm级配砂砾基层。其设计强度指标采用28 d龄期的弯拉强度,标准值不得小于4.5 MPa。

2.5.2 比较分析

(1) 类型选择。哥伦比亚公路一般选择沥青混凝土路面,持力基层和底基层也采用柔性结构为主;而中国目前高等级公路均采用沥青路面,基层和底基层大多采用半刚性的结构层。

(2) 设计指标。哥伦比亚公路沥青路面的结构设计理论和控制指标体系^[6]主要借鉴美国AASHTO

标准《路面结构设计指南》,以路基顶面弯沉值和交通荷载作为拟定路面结构方案的基础,并进行不同类型组合的验算。MAR2项目路面设计分析了不同设计年限的路面弹性模量、变形模型,从而获得结构有效影响系数,进而确定不同路面结构类型组合;中国规范以路表弯沉值、半刚性材料基层层底拉应力、沥青层剪应力作为控制性设计指标,《公路沥青路面设计规范》(JTGD50—2017)^[7]加入了疲劳开裂损坏、永久变形量、路基顶面竖向压应变和季节性冻土地地区的路面低温开裂等几项结构验算的路面使用性能过程指标,并根据交通量和道路等级分别计算各指标是否满足容许要求,进而选择不同的路面结构组合。

(3) 设计方法。哥伦比亚路面结构设计基本按照美国AASHTO标准进行,即以现有交通量为基础进行预测,计算设计年限内的等效轴载^[8],进而评价路面为其设计的交通等级服务的能力;以土基回弹模量和 R_{CBR} 试验值及现场评估为依据,分段、分年限设计,并进一步建立了数学模型,对其疲劳变形进行了模拟。中国目前的沥青路面设计从预测交通量和服务水平要求入手,进而对不同路面结构组合验算。

3 对比启示与结论

(1) 路基防护。哥伦比亚与中国的设计原则和理论基本相同,但理念方面有较大差别,即路堑边坡哥伦比亚更冒险、中国相对保守,路堤边坡哥伦比亚更开放、中国较节约。在挡墙的设计中,哥伦比亚惯用钢筋混凝土结构(悬臂式、桩基础),这点在中国高烈度地区可借鉴使用,以提高其安全性和使用寿命。

(2) 路基排水。哥伦比亚的设计原则、形式与中国基本相同,但理念方面有差别,即哥伦比亚路堤排水更多采用散排、路堑三角形边沟、盲沟。对于中国低等级公路,三角形边沟的设计理念可参考借鉴。

(3) 路基填料及其压实度。哥伦比亚路基工作区划分较粗,指标要求宽泛,在实际施工中检测比较易于操作。但中国的设计方法和指标要求更为科学合理、精细。

(4) 弃土场。哥伦比亚设计理念与中国差异较大,哥伦比亚弃土场设计位置多而分散、规模均较小,安全性较差。中国弃土场设计位置尽量集中、规模较大,在追求工程的社会经济效益的同时必须考

虑其安全稳定性,这样更为合理、可持续。

(5) 路面。哥伦比亚质量控制指标、设计方法和理论体系与中国基本相同,但哥伦比亚沥青路面持力基层和底基层多采用柔性结构,而中国高等级公路多为半刚性结构层,这主要与中国交通量大、设计使用年限高有关。

参考文献:

References:

- [1] National Highway Association INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras[S]. Colombia: National Highway Association INVIAS, 2008.
- [2] National Highway Association INVIAS. Manual de drenaje para carreteras[S]. Colombia: National Highway Association INVIAS, 2009.
- [3] 交通部第二公路勘察设计院.(公路设计手册)路基[M].2版.北京:人民交通出版社,1996.
Second Highway Survey and Design Institute of the Ministry of Transportation. (Highway Design Manual) Roadbed[M]. 2nd ed. Beijing: China Communications Press, 1996.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.水土保持工程设计规范:GB 51018—2014[S].北京:中国计划出版社,2015.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of soil and water conservation engineering: GB 51018—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [5] National Highway Association INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito [S]. Colombia: National Highway Association INVIAS, 2009.
- [6] National Highway Association INVIAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras [S]. Colombia: National Highway Association INVIAS, 2008.
- [7] 中交路桥技术有限公司.公路沥青路面设计规范:JTGD50—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
CCCC Road & Bridge Consultants Co., Ltd.. Specifications for design of highway asphalt pavement: JTGD50—2017 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2017.
- [8] American Transportation Association AASHTO. AASHTO guide for design of pavement structures [S]. USA: American Transportation Association AASHTO, 1993.