

国道 213 线嵩明至易隆段高速公路 工程地质条件评价

云南省公路规划勘察设计院 方向池 曾云川 环文荣

摘要 主要阐述了高速公路沿线的工程地质条件和水文地质条件,重点对深路堑、高路堤、高边坡路段和特殊地质与不良地质路段进行了评价。

关键词 工程地质条件 评价 云南

高速公路

1 绪言

国道 213 线昆明至曲靖高等级公路是云南省为充分发挥滇中腹地的经济优势,加快其经济发展速度的重点配套工程之一,为云南省“八五”期间的重点工程路段,嵩明至易隆段高速公路是昆明至曲靖高等级公路中的一段。

嵩明至易隆段西起嵩明县城南 K44+110,东至嵩明县与寻甸县交界处 K67+300,全长 21.847km,路线总体走向由西向东,属云贵高原的一部分,地形基本上是东高西低。路线水系属金沙江水系。

西段(K44+110~K53+080)属嵩明断陷盆地,与主干断裂延伸方向基本一致,呈南北向延伸。盆地底部平坦,微向南倾。盆地东侧为构造侵蚀中低山,西侧为构造侵蚀溶蚀中山。嵩明盆地内第四系沉积厚度>400m,以砂土、砾石土、灰色粘土、亚粘土为主,为湖相及冲积相地层。

东段(K53+080~K67+300)属构造侵蚀中低山区,山脉多呈南北走向,总体延伸方向与构造线方向一致,其地势北高南低,近期以接受侵蚀作用为主。

勘察区属亚热带季风气候,年平均降水量 1 000 毫米,年平均蒸发量达 2 086 毫米,雨季集中在 6~10 月,占全年降水量的 80%以上。年平均气温 14℃,年平均相对湿度 73.7%。

2 工程地质条件与水文地质条件

2.1 地层岩性与地质构造

路线所经过的地区,由西向东依次主要跨越了第四系、侏罗系、三迭系、二迭系、泥盆系和寒武系地层。第四系在嵩明盆地内为冲积物,主要为砂土、砾卵石土、粘土、亚粘土及炭质粘土等。在坡地主要为残坡冲积物,以亚粘土为主,夹碎块石。侏罗系及三迭系主要为紫红色的砂岩、粉砂岩、泥岩等。泥盆系及二迭系(P_{1m})主要为灰白色的灰岩、白云岩及泥灰岩。二迭系上统玄武岩组(P_{2b})为褐黄色强风化玄武岩。寒武系为灰绿、紫红色粉砂质页岩、粉砂岩、砂岩等。

勘察区内由于强烈构造运动,各种构造十分发育。路线正好穿越著名的小江断裂东西两支构造带。西部断层被嵩明盆地第四系覆盖;东部中低山区路线由西向东穿越了小江断裂东

支寻甸—功山大断层南部的山东向压性分支断裂破碎带及主断裂带。

2.2 地震及新构造运动

该段路线正好跨越我国著名的川滇南北强震区。该段路线所经地区自有历史地震记录以来,至少发生过 5 次破坏性的地震。小江断裂带不但控制了区内沉积环境构造的发育,而且对地震震中起了一定的控制作用。区内新构造运动的基本特点是隆起和断陷(拗)。第四系以来,新构造运动较为活跃,表现在地貌上,盆地与南北向控制性断裂延伸方向一致,呈有规律的平行镶嵌排列;构造上,小江断裂带是明显的继承性活动断裂,沿断裂带西侧盆谷地中的新生界地层均经历不同程度的形变,第四系地层已见多处陡立带。

总之,区内新构造运动强烈,近年来地震活动频繁。根据最新中国地震区划图,所有的人工构筑物,西段按Ⅷ度设防,东段按Ⅸ度设防。

2.3 水文地质条件

地层岩相和构造对地下水类型、贮存条件起着决定性的控制作用。路线所经区域地下水主要有孔隙水和裂隙水两种类型。孔隙水主要分布于嵩明盆地(K44+110~K53+080),以及沿线的一些小型洼地和坡地的松散堆积层中。裂隙水分布在东段(K53+080~K67+300)岩体中。

3 工程地质条件与水文地质条件评价

路线经过不同的地貌单元和地质构造单元,不同段落的工程地质条件和水文地质条件也不一样。

3.1 路基工程

3.1.1 盆地段(K44+110~K53+080)

该段属嵩明盆地,主要为第四系的冲湖积物,灰色、灰褐色、褐黄色的硬塑状或软塑状粘土、亚粘土、砾石土、砂土等。其中 K47+600~K48+535 和 K50+360~K50+940 两段为上第三系的沉积物,主要为硬塑状的粘土和亚粘土,地下水为孔隙水,地下水位 0.3~0.6m。总体看,该段工程地质条件较差,以软基路段为主。对软土地段应进行深层处治,以提高地基的容许承载力。

3.1.2 山谷段(K53+080~K65+580 及 K66+600~K67+300)

这两段沿线为连绵起伏、山谷相间的丘陵地带。表层间段性分布 0.5~5m 厚的第四系残坡冲积物,主要为黄褐色硬塑状亚粘土等,夹少量碎石和块石。其下为侏罗系、三迭系、二迭系、泥盆系、寒武系的砂岩、粉砂岩、泥岩、白云岩、灰岩、泥灰岩和玄武岩。路线基本与岩层走向平行,同时路线与断层邻近而平行,或是横穿小江断裂带的主分支断层,岩体节理裂隙发育,岩体破碎,挖方地段易发生大中小型滑坡,特别是顺层滑坡、崩塌和小型泥石流等不良地质现象,岩体边坡应适当放缓,有的顺层岩体应清理掉,特别应加强支挡工程和排水工程。

3.1.3 牛栏江河谷段(K65+580~K66+600)

该段为著名南北向小江断裂带的东支断层带的主断裂,宽达 1 020m。地层为二迭纪和泥盆纪,岩性为灰色、灰白色的灰岩和泥灰岩。在该构造带中,全为构造角砾岩。地下水主要为构造裂隙水。该地段地震烈度 \geq Ⅸ度。在该段不宜修大跨度的高架桥。

3.2 桥涵工程

沿线的桥涵较多,一般地质条件都能满足中小桥和涵洞对地基承载力的要求。这一节中重点论述嵩明盆地软基地段的桥涵和牛栏江大桥的工程地质条件和水文地质条件及评价。

3.2.1 软基地段桥涵

嵩明盆地 (K44+110~K53+080),人口密集,桥涵特多,而且该段软土段落长。软土段,一般 0~2.5m 为硬塑状粘土,2.5~12.0 为软塑状粘土,该层地基的容许承载力一般 60~120kPa。12.0m 以下为硬塑状粘土或砾石土及砂土。因而,对软土段的桥涵地基必须进行深层处治,或是把桥的桩基下到第三层作为持力层。因处于盆地中,地下孔隙水发育,地下水位 0.3~0.6m。

3.2.2 牛栏江大桥

牛栏江为金沙江下游右岸支流,全长 512km,总流域面积 13 082km²。牛栏江大桥位于路线 K65+685~K66+100 之间,为 8 孔 30 米和 2 孔 30 米的高墩弯桥。在桥位处,河流走向近于南北,大桥近于正跨河流。河谷宽 180m,新河道宽 30m,老河道与新河道之间为河心滩。两岸边坡坡度昆明岸为 60°,稳定性尚好;曲靖岸 90°,岩层直立,有滑动的迹象,施工中应密切注意,清除滑动体部分。

牛栏江流域总体以下蚀作用为主,但桥位所处段落,因河谷宽阔,河床内堆积约 1 米厚的不均匀砾石土层。

根据牛栏江地区的地质资料综合分析和地质调查,K65+600~K66+200 之间共布的 16 个钻孔证实,桥位正处于著名的小江东支断裂带的主断裂之中,0~0.5~5.5m 为残坡冲积物,主要为硬塑状亚粘土和砾石土层,0.5~5.5m~>30m 都为灰色、灰白色构造角砾岩,石质为灰岩和泥灰岩,粒径 0.2~2cm,有的呈中粗砂状。其中河谷地段自 5m 到 18m 为全风化~强风化的硬塑状粘土,含灰岩质角砾。

根据桥位的地质情况,桥基的持力层应放在构造角砾岩层位之中,该层的容许承载力建议值为 $[\sigma_c] \geq 350 \sim 600 \text{ kPa}$ 。所有 16 个钻孔所取岩芯的 RQD 值都为 0。

3.3 深路堑和高边坡工程

路堑和边坡开挖后,破坏了原土体和岩体的天然平衡状态,其稳定性主要取决于地质与水文条件,以及路堑深度和边坡坡度。因本段位于著名的小江断裂带,故在报告中大于 10m 的路堑,高于 10m 的边坡都列为论述对象。

该段主要的深路堑有:K48+200~K48+400,K59+940~K60+100,K62+460~K62+660,K66+320~K66+700,路堑最大深度都大于 20m,在 K53+500~K67+300 还有大量深度大于 10m 的路堑,高度大于 10m 的边坡。K48+200~K48+400 段,为上第三系半胶结的亚粘土和砾石土层,建议其边坡坡度为 1:1.25~1:2.00。K53+500~K67+300 段,主要为砂岩、粉砂质泥岩、灰岩、全风化~强风化的玄武岩、构造角砾岩。该段属小江断裂带,节理裂隙非常发育,断层众多,岩体非常破碎,特别是 K63+000~K67+300 段,岩石都呈碎裂状。鉴于上述工程地质条件,深路堑和高边坡段,在各种因素作用下,隐伏着边坡严重失稳的可能性,建议边坡坡度放缓,边坡坡度 1:1.00~1:1.50,顺层岩体尽量清除掉。同时,必须修筑支挡和护坡工程,采取排水措施,减小水流的冲刷。

3.4 高路堤工程

高路堤地段以及陡坡地段的路堤边坡,不仅工程量大,施工难度高,而且是路基稳定性的关键所在,如果工程地质条件和水文地质条件差,往往病害严重,沉降持续年限长。一般

规定填方高度 $> 18\text{m}$ 为高路堤。本段填方高度 $> 18\text{m}$ 的路堤段为 K56+323~K56+430, K62+950~K62+990; 填土高度大于 10m 段落有 K59+500~K59+700, K60+500~K60+900, K64+100~K64+900, K66+900~K67+100。软土地基段的填方高度超过 6m , 可视为高填方地段。有 K50+100~K50+400, K50+800~K53+000 两段。对软土段的高路堤, 应对地基进行特殊处理, 才能进行路基施工。对非软基地段的高路堤地基, 首先应清除沟谷中的淤泥或软弱土体, 挡墙基础一般要求应置于基岩之上。对路基应逐层加强压实, 铺砌护坡、护墙, 加强排水设施。由于沿线岩体中的节理裂隙发育, 岩体破碎, 地基主要设计参数: 砂岩, 天然容重 $\rho_s = 2.5 \sim 2.72\text{g/cm}^3$, 粘聚力 $C = 2.85 \sim 4.06\text{MPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 15^\circ \sim 30^\circ$, 容许承载力建议值 $[\sigma_c] = 200 \sim 1000\text{kPa}$, 泥岩, 天然容重 $\rho_s = 2.32 \sim 2.49\text{g/cm}^3$, 粘聚力 $C = 0.8 \sim 1.12\text{MPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 18^\circ \sim 24^\circ$, 容许承载力建议值 $[\sigma_c] = 200 \sim 400\text{kPa}$, 粉砂岩, 天然容重 $\rho_s = 2.246 \sim 2.59\text{g/cm}^3$, 粘聚力 $C = 2.85\text{MPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 15^\circ$, 容许承载力建议值 $[\sigma_c] = 200 \sim 400\text{kPa}$, 构造角砾岩(包括灰岩质和玄武岩质), 容许承载力建议值 $[\sigma_c] \geq 350 \sim 600\text{kPa}$ 。

4 特殊地质与不良地质路段及评价

公路是一种线形构筑物, 路线必将遇到各种特殊地质与不良地质问题, 主要有软土、强地震活动带、滑坡、崩塌等问题。

4.1 软土

嵩明至易隆段, 软土分布于嵩明盆地中。该段软土属湖泊型软土。

4.1.1 K46+240~K47+520 段

地层为第四系湖积物, 地下水位 $0.3 \sim 0.6\text{m}$ 。上层为硬壳层, 厚度 $1.2 \sim 2.2\text{m}$, 主要为浅黄色、褐黄色硬塑状粘土, 其容许承载力建议值 $[\sigma_c] = 160 \sim 250\text{kPa}$ 。第二层为软弱层, 厚度 $5.0 \sim 9.57\text{m}$, 主要为灰黑色软塑状粘土, 根据土工试验, 天然含水量 $60.2\% \sim 64.5\%$, 容重 $1.63 \sim 1.64\text{g/cm}^3$, 干容重 $0.99 \sim 1.02\text{g/cm}^3$, 比重 $2.65 \sim 2.75$, 孔隙比 $1.589 \sim 1.765$, 液限 $76\% \sim 78\%$, 塑限 $42\% \sim 43\%$, 液性指数 $0.51 \sim 0.65$, 压缩系数 $a_{1-2} = 0.85 \sim 1.04\text{MPa}$, 固结系数 $C_{v1-2} = 2.576 \sim 8.039 \times 10^{-4}\text{cm}^2/\text{s}$, 内摩擦角 $3.2^\circ \sim 1.9^\circ$, 内聚力 $17.5 \sim 18.6\text{kPa}$, 根据计算, 基本承载力 $[\sigma_c] = 90 \sim 100\text{kPa}$ 。静力触探结果, 基本承载力 $[\sigma_c] = 62 \sim 72\text{kPa}$ 。根据室内试验与原位测试结果, 以及实地观察判断, 地基容许承载力建议值 $[\sigma_c] = 90\text{kPa}$ 。第三层为第四系灰色中密饱和砾石土层, 控制厚度 $2 \sim 7.5\text{m}$, 地基容许承载力 $[\sigma_c] = 350\text{kPa}$ 。

4.1.2 K48+600~K50+360 段

K48+600~K50+360 段软土是根据土工试验结果确定的, 地下水位 $0.3 \sim 0.6\text{m}$ 。该段基本分为四层, 第一层为褐、褐黄色硬塑亚粘土, 其容许承载力建议值 160kPa 。第二层为褐、灰、深灰色软塑粘土, 局部硬塑, 层偶夹砾石, 层厚 $1.94 \sim 5.8\text{m}$, 其容许承载力建议值 100kPa 。局部硬塑状, 含水量 $w = 33.8\%$, 孔隙比 $e = 1.033$, 液性指数 $I_L = 0.2$, 承载力建议值 160kPa 。第三层为灰、灰褐、局部浅黑灰色硬塑粘土。层间夹粉、细砂、亚砂土透镜体。含水量 $w = 42.1\% \sim 50\%$, 孔隙比 $e = 1.113 \sim 1.388$, 液性指数 $0.3 \sim 0.5$, 压缩系数 $a_{1-2} = 0.47 \sim 0.54\text{MPa}^{-1}$, 固结系数 $C_{v1} = 1.515 \times 10^{-4} \sim 4.969 \times 10^{-4}\text{cm}^2/\text{s}$, 内摩擦角 $\varphi = 1.9^\circ \sim 2.9^\circ$, 内聚力 $C = 13.5 \sim 27.0\text{kPa}$, 容许承载力建议值 $110 \sim 120\text{kPa}$ 。第四层为

深灰色中密饱和状粉砂土和细砂土,具粘性,控制厚度 1.39~9.9m。地基容许承载力 200kPa。

4.1.3 K51+300~K53+080 段

该段软土全长 1.78km,是第四系的湖相沉积物,垂向可分为 3~4 层。第一层为灰褐色、褐黄色硬塑状亚粘土,厚度 1.94~2.70m,其中 K51+300~K52+700 段,底部有一层 0.3~0.5m 黑色硬塑状有机质土。根据地质调查和静力触探结果,地基容许承载力 $[\sigma_c]=130\sim 180\text{kPa}$ 。地下水位 0.3~0.6m。第二层为灰色、灰白色、灰黑色软塑状粘土,局部地段呈流塑状。软土厚度 3~9.0m。根据土工试验,天然含水量 28%~50%,容重 $1.75\sim 1.95\text{g/cm}^3$,孔隙比 0.71~1.39,普遍大于 1.0,液限 31%~52%,塑限 21%~28%,液性指数 0.75~1.17,塑性指数 12~24,压缩系数 $a_{1-2}=0.27\sim 0.96\text{MPa}$ 。静力触探结果,基本承载力 $[\sigma_c]=20\sim 77\text{kPa}$ 。根据地质调查,钻孔揭露和静力触探综合判断,地基的容许承载力 $[\sigma_c]=50\sim 80\text{kPa}$ 。其中软土顶部厚 2m 左右的软土呈流塑状,根据地勘队静力触探试验,承载力仅 20kPa。第三层,分布于 K51+300~K51+950,为浅灰黑、暗红色中密饱和状砾石土层,厚度 2~5m,石质为玄武岩。其容许承载力建议值 $[\sigma_c]=300\text{kPa}$ 。第四层为灰白、灰黑、暗紫色硬塑状粘土,控制厚度 3.87~9.44m。根据地质调查和钻孔揭露,地基容许承载力 $[\sigma_c]=160\sim 200\text{kPa}$ 。

4.1.4 软土段的处治技术建议

根据前述三段软土的工程地质和水文地质特征,必须对地基进行处治,地基承载力才能达到设计要求,建议 K64+240~K47+520、K51+300~K53+080 两段必须进行深层处治。路基部分,第一,应尽量降低填土的高度,第二,建议采用预压排水固结法(袋装砂井法、塑料板排水法)和减轻自重法,部分地段也可采取应力转移法(如垫层法、土工织物法)。桥涵基础部分,采取复合地基方法处治,以达到桥涵基础所必须的承载力。K48+600~K50+360 软土段,根据实际情况,建议采取浅层处治,如垫层法和土工织物法两种相结合,部分地段据填土高度可考虑深层处治的方法。最后需要说明一点,嵩明盆地的湖冲积相粘土、亚粘土相当一部分硬塑状土的孔隙比都大于 1.0,液限大于天然含水量,说明盆地中土的压缩性高,渗透性大,故设计时应充分考虑到该地的这一特征。

4.2 地震活动带

昆明至曲靖公路嵩易段基本向正东方向延伸,正好穿越了中国著名强地震活动带——小江断裂带。根据国家地震局 1990 年度区划图,本地区的地震烈度处于 8 度及 9 度区。

该段路线, K44+100~K53+000 段穿小江西支隐伏断裂带, K53+000~K63+000 段顺牛足村断裂延伸, K63+000~K67+300 段穿过小江东支断裂带。沿线岩体破碎,特别是 K65+580~K66+600,岩石都呈构造角砾状,未胶结或胶结很差,这些地方正是地质结构薄弱区。因而,该段公路的人工构筑物必须按Ⅱ设防。K44+110~K53+080 软土段应按《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ83-91)进行设防。K63+000~K67+300 段的人工构筑物,特别是牛栏江大桥和跨贵昆铁路桥,桥基基础,设防时应考虑在强大构造应力作用下,构造角砾的应变效应,角砾之间的运动所造成的破坏性。小江断裂带内有许多典型不良地质现象,如崩塌、滑坡、泥石流等。嵩明清水湖隧道引水工程全长 2 836 米,施工中严重垮塌 90 多次。在该地区其它工程中,曾发生过许多不良工程地质问题。K53+080~K67+300 段应严格按《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89)进行设计和施工。

4.3 软质岩体地区的不良地质问题

本段路线区域内所出现的软质岩体段为 K53+500~K59+800。沿线地形波状起伏,高填深挖地段多。该段为侏罗系的紫红色粉砂岩、砂岩和泥岩互层,呈风化状,岩体破碎。岩层产状 $183^{\circ} \angle 40^{\circ} \sim 45^{\circ}$, 整段路线坡向与岩层倾向一致。软质岩体或软硬互层段的泥岩遇水时易膨胀,易软化,节理裂隙发育。本段开始施工后,极易出现滑坡,特别是顺层滑坡(图 1)、崩塌等不良地质问题。设计中,应放缓边坡,合理确定边坡的稳定坡度,或清除路线左侧易滑动的顺层岩体,加强支挡工程和排水工程。根据有关资料统计,贵昆铁路马过河一曲靖段共发生大中型顺层滑坡 11 处,此次设计一定要重视边坡、路堑、路堤的设计工作,以免留下隐患工程。

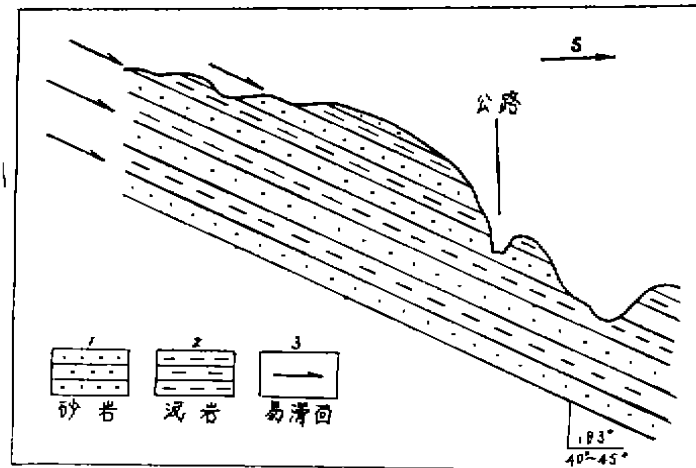


图 1 嵩易公路 K53+500~K59+580 段软质岩体地区可能出现的滑坡模式图

4.4 砂土液化问题

K48+500~K50+300 段地处地震强震区。上覆土层为不液化的粘性土,平均厚度 13.4m,下覆为砂土。

针对砂土进行了液化势初判,根据《工程地质手册》(第三版) P636-3 所提供的公式初判为不考虑液化影响。公式为 $du+dw > 1.5do+2db-4.5$ 。式中 dw —地下水深度 (m),测时正值雨季,故为最高水位,本段测得水位 7 个,平均 1.54m,计算中采用平均水位; du —上覆非液化土层厚度 (m),计算时采用平均厚度 13.4m; db —基础埋置深度 (m),因本路基无深基础构造物,计算中以基础深 3m 代入计算; do —液化土特征深度 (m),按《工程地质手册》表 6-6-15 查得,当地震烈度为 8 度时,砂土特征深度为 8m。

计算结果为: $14.94m > 13.5m$, 满足公式 $du+dw > 1.5do+2db-4.5$, 如果考虑填土,上覆土层厚度还要增大,公式左边之和也增大。

本路段下覆砂土由于初判为不考虑液化影响,故在工程地质勘察中未作进一步的微观判定。

5 结束语

这段高速公路的工程地质勘察,我们以地面调查、勘探、室内外测试相结合的勘察手段,基本查明了沿线的工程地质条件和水文地质条件。

嵩明至易隆高速公路因处于小江断裂带,整段公路在高强度地震区内。K44+110~K53+080 段在嵩明盆地内,主要为软土段;K53+080~K59+580 段为松软岩体段,岩体破碎,稳定性差,易出现滑坡、崩塌体等;K59+580~K67+300 段属小江东支主断裂带及相邻地带,岩体极为破碎,是强震发生地带。

本文是根据嵩明至易隆段高速公路的地质勘察工作写成的,任何地质勘察都不可能完全揭露地下条件,文中难免有遗漏和不正之处,望指正。在地质勘察工作中,得到了我院倪亦元高工和宋盛飞高工的指导,在此表示诚挚的感谢!

6 参考文献

- 1 云南省地质局水文地质工程地质队, 1978.1/20 万曲靖幅区域水文地质普查报告。
- 2 云南省地质局, 1978.1/20 万曲靖幅区域地质调查报告。
- 3 张剑锋等编译, 1992.岩土工程勘测设计手册, 水利电力出版社。
- 4 孙玉科等著, 1988.边坡岩体稳定性分析, 科学出版社。
- 5 方左英, 1987.路基工程, 交通出版社。
- 6 张倬元等, 工程地质分析原理, 地质出版社。
- 7 云南省公路规划勘察设计院, 1991.高等级公路软土地基处治的研究。
- 8 国家地震局西南烈度队, 1979.川滇强震区地震地质调查汇编。

部份预应力技术推广试验研究成功

“部分预应力技术推广试验研究”课题于 1994 年 1 月 15 日在省公路局职工大学通过鉴定。与会专家认为该试验研究是成功的,可在我省推广应用。

该课题由省交通厅下达,省公路局职工大学和省路桥二公司承担。昆玉二级公路玉溪州大河桥原设计为 3 孔 13 米全预应力混凝土简支梁桥,由于州大河改河渠化,如按原设计施工则不能按期竣工,将影响昆玉公路的正常通车,现设计为 1 孔 21 米部分预应力空心板简支梁桥,与州大河 45° 斜交,荷载汽车—超 20 级,拖车—120,按部分预应力 B 类构件进行。1993 年 9 月通车一年后交验检查,板梁无任何变化,桥梁完好,结构安全可靠,结构性能有所改善,证明采用部分预应力规范设计成功,与全预应力混凝土相比,具有上拱度明显减小,施工操作方便,减少预应力工作量,缩短工期,节约钢绞线,降低工时材料费等优点。

为保证安楚线、昆河线按期竣工通车,课题组又设计了 13、16、18、20 米部分预应力空心板,经交通部公路设计院用计算机进行离散分析,计算结果证明设计正确,并已在安楚线、昆河线部分中小桥上推广使用,效果显著,仅钢绞线一项就节约 116 吨,折合人民币近百万元。部分预应力空心板在我省公路桥梁建设上应用前景广阔。

云南省公路局职工大学 解顺良