

复杂艰险条件下钢混组合桥梁设计应用

龚臻¹, 李翠平², 雷洛¹

(1. 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610041; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610031)

摘要:汶马高速公路是四川藏区连接西藏、青海的重要通道,路线全长 172 km,桥隧比 86.5%,项目具有“五个极其”的特点。狮子坪库区段是全线最为复杂艰险的路段,狮子坝大桥设置于库区左岸陡峭的斜坡上,前后与狮子坪 1、2 号超特长隧道相连,不良地质较为发育,“路、水、电”全部不通,库区也无法通航,综合考虑建设条件、可实施性、结构抗震、工期造价等因素后,采用钢混组合桥梁作为施工图设计方案。研究过程中,以便道的通行能力和现场拼装架设条件为导向,将钢梁设计为截面较小的工字形,采用“化整为零”方式在工厂进行匹配制造,然后分节段运输到工地“集零为整”组成钢格子梁体系。依据现场条件和施设方案,设计采用了开孔板+焊钉组合式剪力键,钢混组合桥面桥,变刚度支座等新技术,并对全桥进行了计算分析,编制了总体施工方案。该桥设计表明:钢混组合梁既具有自重轻、抗震性能好等优点,还可拆卸拼装,快速施工,适宜于山区复杂环境条件下的应用和推广。

关键词:桥梁工程;钢混组合桥梁;钢格子梁;组合桥面板;组合式剪力键;刚度调整

汶川至马尔康高速公路是《国家公路网规划》中“上海—成都”(G42)“成都—昌都”(G4 217)中的重要路段,是“5·12 汶川地震”灾后恢复重建通往重灾区的高质量生命线。路线起于汶川县城南凤坪坝,经理县、穿鹧鸪山,止于阿坝州首府马尔康市。采用双向四车道高速公路技术标准,路线全长 172 km,共设置桥梁 121 座/长 52 km,隧道 32 座/长 96 km,桥隧比 86.5%。

项目地处青藏高原东缘与四川盆地西北边缘交错接触带,沿线海拔从 1 320 m 上升至 3 225 m。具有“极其复杂的地形、极其复杂的地质、极其复杂的气候、极其复杂的生态条件、极其复杂艰巨的工程建设”特点。

1 概述

1.1 狮子坪库区段总体方案简介

汶马高速 C14~C16 合同段位于狮子坪库区影响范围内,路线长度约 14 km,为全线最为复杂的路段。该处位于杂谷脑河中游地段,相对高差一般为 1 000~1 500 m,以构造侵蚀深切割的高山地貌类型为主。杂谷脑河发源于鹧鸪山南麓,为岷江一级支流,河谷呈 V 字形,两岸基本对称。狮子坪电站座落于此,该电站是

杂谷脑河梯级开发的龙头水电站,库容 1.33 亿 m³,装机容量 195 MW。

既有 G317 国道位于电站库区右岸,沿山腰布线,由九架棚大桥、九架棚隧道和部分明线组成。高速公路布设于狮子坪电站库区左岸,由狮子坪 1 号隧道(长 6 657 m)、狮子坝大桥(长 406 m)和狮子坪 2 号隧道(长 6 958 m)组成,如图 1 所示。狮子坪水库横亘在 G317 和汶马高速之间,水面宽度 210~320 m,蓄水位 2 460~2 540 m,消落高差约 80 m,库区不能通航,现状 G317 和拟建高速公路间无道路连通,交通条件十分不便。

按现有条件,若狮子坪 1 号隧道从进口端,狮子坪 2 号隧道从出口端都向狮子坝大桥单向掘进,所需要时间分别是 85 个月和 74 个月,将导致汶马高速批复工期无法实现。经研究后决定从对岸的 G317 开始修建便道,设一座 353 m 长的索道桥跨越狮子坪水库,在水库左岸展线升坡至汶马高速狮子坝大桥桥位处,如图 2 所示。便道建成后,在修建狮子坝大桥的同时,可对狮子坪 1、2 号隧道实施双向掘进,工期分别缩短至 54 个月和 49 个月,工期目标可以实现。

1.2 狮子坝大桥简介

桥位处路线设计标高与地面高差普遍大于 20 m,

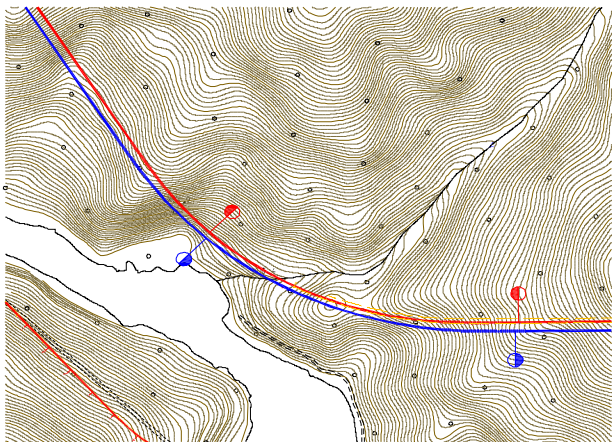


图 1 狮子坪库区段路线平面图



图 2 狮子坪库区便道和索道桥

最高达到 40 m, 地形起伏大, 横坡陡峻, 天然坡度 $55^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 路线在 1 号隧道出口处要跨越牌坊沟泥石流, 综合以上因素, 该段明线不能设置路基, 只能采用桥梁通过。狮子坝大桥左线桥长 406 m, 右线桥长 254 m。

桥位处地表覆盖层以崩坡积层、冲洪积层的碎角砾土和块碎石土为主, 厚度 20~40 m, 下伏变质砂岩、千枚岩。桥位区场地地震动峰值加速度为 $0.15g$, 地震反应谱特征周期为 0.40 s 。对 1 号隧道出口的牌坊沟泥石流进行了专项水文计算, 峰值流量 $Q_{1/100} = 116\text{ m}^3/\text{s}$, 沟床冲刷深度为 3.16 m 。

2 桥型构思及方案比选

桥位处于狮子坪库区左岸, 横坡陡, 地质条件较差, 属于典型的斜坡桥梁。狮子坪 1 号、2 号隧道的洞碴都需要通过便道运输到水库对岸 G317 一侧的弃土场, 而受地形限制, 施工便道修建极其困难, 在平面上和桥梁位置重叠, 只有利用桥下空间辗转布设, 如图 3 所示。

针对这些特点, 桥型方案选择主要从以下几个方面构思:

(1) 所选桥型尽量减小对运输通道的干扰, 避免



图 3 狮子坝大桥桥位地形地貌和施工现场图

通行受阻而延误工期。

(2) 尽量减小基础和下部施工对斜坡的影响, 不诱发次生灾害。

(3) 选择工艺简单, 施工快速的结构形式, 降低施工难度。

根据该桥复杂的建设条件和紧迫的工期要求, 初步设计阶段进行了多种桥型方案比选。斜拉桥方案, 桥位处于圆曲线, 若为了满足线形而按曲线设计, 将导致结构受力和施工都异常复杂, 若按直线包络曲线设计, 桥宽将增加 4.15 m , 造价增加较多; 悬浇连续刚构或连续梁适应路线线形较好, 但主墩承台侵占桥下便道, 对材料运输和隧道出碴干扰很大, 影响工期; 若采用搭架现浇中等跨度的连续梁, 支架同样也会占据桥下便道。在确保结构受力满足要求的前提下, 经比较, 选择跨径都为 40 m 的预应力混凝土 T 梁和钢板混凝土组合梁两个方案进行详细比选, 左线桥为 $(4 \times 40 + 3 \times 40 + 3 \times 40)\text{ m}$ 共 3 联, 右线桥为 $(3 \times 40 + 3 \times 40)\text{ m}$ 共 2 联。

2.1 与隧道施工的协调性

预制 T 梁需要一处预制场和存梁场, 钢板组合梁也需要一处钢结构拼装场, 受地形地质条件限制, 只有利用隧道洞内空间进行桥梁结构的预制和拼装。由于空间狭小(可利用建筑限界 $7.5\text{ m} \times 5.0\text{ m}$), 不论是 T 梁的预制和存放, 还是钢梁的拼装, 都与隧道施工发生干扰。经测算, 40 m T 梁高 2.5 m , 单片吊装重量约 115 t , 需要的洞内长度为 315 m , 钢板梁高 1.95 m , 单片吊装重量约 47 t , 需要的洞内长度 155 m , 另外, 预制 T 梁存在钢筋绑扎、混凝土浇筑、张拉钢束、养生等工序, 钢板梁只需要拼装一道工序, 综合来看, T 梁方案对隧道施工影响较大。

2.2 抗震和下部结构设计

桥位区地震动峰值加速度为 $0.15g$, 采用轻型化

的上部结构对抗震设计更为有利。通过抗震分析,单孔预制 T 梁加二期恒载的重量是 782 t,对最大墩高 40 m 的桥墩,需采用 5.0 m×2.2 m 的空心薄壁墩,7.2 m×6.5 m×2.5 m 承台+4 根直径 1.5 m 桩基,由于尺寸较大,桥墩和基础施工将开挖边坡和占用桥下便道,引发次生地质灾害。而单孔钢板组合梁加二期恒载的重量是 451 t,同样对 40 m 高的桥墩,可采用直径 2.0 m 柱+2.2 m 桩的双柱式圆墩,桥墩和基础几乎不与边坡和便道发生关系,一方面可加快施工进度,另一方面可节约造价(图 4)。

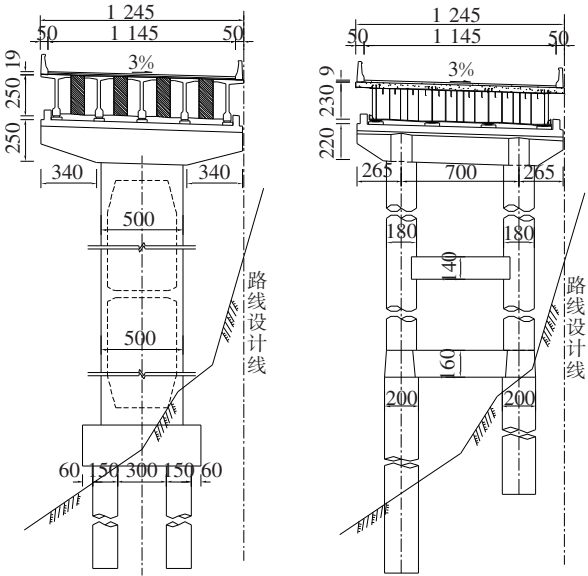


图 4 预应力混凝土 T 梁和钢混组合梁方案剖面图(单位:cm)

2.3 施工难度与工期

预制 T 梁属于常规工艺,具有受力明确、操作简单的优点,已大规模应用。T 梁的制作和存放只能在隧道洞内进行,龙门吊和架桥机都需要特殊制造,钢筋加工和混凝土拌和需要在水库对岸的 G317 一侧进行,制作一片 T 梁所花费的时间和人工都比常规条件下要多,工效较低。制梁的同时要保证隧道施工车辆正常通行,相互干扰多,施工组织难度大。T 梁方案只能按照索道桥→便道→主线隧道开挖→隧道内建梁场(约 315 m 长)→制梁→存梁→架梁的顺序流水作业,不能多个工序平行作业,从修建便道到架梁完成所需时间 26 个月,工期较长。

与 T 梁混凝土结构相比,钢结构的制造和拼装对加工工艺和精度要求较高,施工难度有所增加。按照便道的转弯半径和纵坡,将钢梁纵向分为 5 段,在工厂内分段匹配制造,运到现场后只需进行拼装,桥面板设计为钢混组合桥面板,桥面系施工时不需模板,简单易行,对环境的影响小。钢梁方案可以多个工序平行作业,施工索道桥和便道的时间可完成钢梁的厂内加工,从修建便道到架梁完成所需时间 17 个月,工期较短。

2.4 建设规模与经济性

预制 T 梁和钢混组合梁都采用 40 m 跨径,孔跨布设一致,区别在于上下部结构尺寸和材料用量不同,两种方案比较见表 1。

综合以上因素,预制 T 梁相比钢混组合梁造价要低,经济性较好,但在其余方面均不占优势,特别是与

表 1 主要工程数量及造价对比

桥型方案	单孔跨径/m	上部混凝土方量/m ³	上部钢束/t	上部钢筋/t	上部钢材/t	下部混凝土方量/m ³	下部钢筋/t	造价/万元
预制 T 梁	40	4 766	189	833	0	6 437	965	4 164
钢混组合梁	40	2 089	0	512	3 428	4 312	538	5 178

隧道施工和便道通行干扰大,工期较长,影响汶马高速通车计划。最后选定钢混组合梁作为施工图设计方案。

3 结构与构造设计

3.1 总体设计

考虑钢结构制作、运输、安装、工期等因素,钢混组合梁采用单孔跨径为 40 m 的简支桥面连续结构,主

要由钢板梁、抗剪连接件和钢混组合桥面板组成。钢板梁是由 4 道纵梁和 7 道横梁组成的格子梁体系,在格子梁顶板上焊接桥面底钢板和抗剪连接件,之后浇注桥面板混凝土,形成组合梁。桥面宽度 12.45 m,纵梁间距 3.35 m,挑臂长 1.2 m,梁高 2.3 m,混凝土桥面板厚 18 cm,组合梁剖面如图 5 所示。桥墩按照不同高度采用 1.8 m(柱)+2.0 m(桩)和 2.0 m(柱)+2.2 m(桩),桥台根据地形地质条件以及与隧道的衔接关系,采用重力式台和桩柱式台。

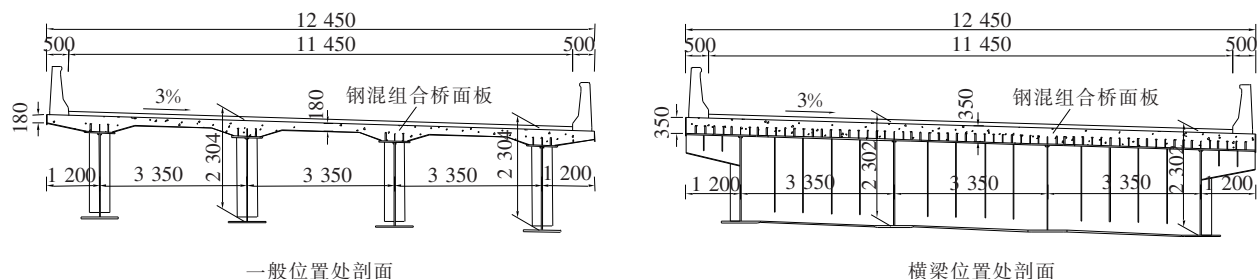


图 5 钢混组合梁剖面图(单位:mm)

3.2 曲线设计

桥位处于半径 $R=1\,110\text{ m}$ 的圆曲线上,横向弓形高 18.2 cm ,为包络平曲线,桥宽按 12.45 m 设计。按照以折代曲的方式处理,4片纵梁梁肋均为直线,但梁长各不相同,为长短梁。5道中横梁均与纵梁梁肋垂直,端横梁按曲线径向布置,与纵梁成一定夹角。采用此方式处理,无论是钢梁在工厂内的下料和制作,还是在工地现场的连接和安装难度都大大降低。

3.3 主梁构造

主梁横向布置为4片纵梁,纵梁由顶板、底板和腹板焊接组成的“工”字形截面,底板 $b=850\text{ mm}$, $t=36, 38, 40\text{ mm}$,顶板 $b=700\text{ mm}$, $t=30\text{ mm}$,腹板 $t=22\text{ mm}$ 。沿桥纵向每孔设置2道端横梁和5道中横梁,横梁也是由顶板、底板和腹板焊接组成的“工”字形截面,顶、底板 $b=700\text{ mm}$, $t=30\text{ mm}$,腹板 $t=16\text{ mm}$ 。横梁主要起增强结构整体性,将竖向荷载分配到各片纵梁,提高结构抗扭能力的作用,纵梁主要起抗弯作用。纵梁和横梁材质均为 Q345qD。

在边纵梁的外侧对应横梁处设置了梯形挑臂,挑臂顶板同横梁顶板 $b=700\text{ mm}$, $t=30\text{ mm}$,挑臂腹板和底板 $t=16\text{ mm}$ 。为保证纵梁和横梁的稳定性,在纵梁和横梁的腹板上都设置了竖向加劲肋,纵梁上竖

向加劲肋 $t=16\text{ mm}$,横梁上竖向加劲肋 $t=12\text{ mm}$ 。在纵梁梁端支承线附近设置了支承加劲肋 $t=20\text{ mm}$ 。端横梁的顶板较宽,特别是伸缩缝处的端横梁顶板受到的冲击效应较大,因此,在端横梁顶板下还设置了小加劲肋,增加顶板刚度和稳定性。

3.4 抗剪连接件

为保证钢板梁与桥面板混凝土的良好衔接,形成整体参与受力,防止桥面板和钢梁的相对滑移,采用了开孔板+焊钉的组合式剪力键构造。在4片纵梁的顶板中部设置了厚度为 8 mm 、高度为 170 mm 的开孔板 N2,在桥面底钢板上按照横向间距约 40 cm 设置厚度为 8 mm 、高度为 80 mm 的开孔板 N1,桥面板钢筋从开孔板中穿过。另外,还在边梁悬臂处设置了板厚为 8 mm 、高度为 80 mm 横向开孔板 N3,一端和悬臂端部侧封板及桥面底钢板焊接,一端与纵向开孔板 N2 及桥面钢底板焊接,增强了边梁悬臂外侧桥面钢底板的刚度和稳定性。开孔板 N1 和 N3,既起到抗剪和防止滑移的作用,也可对 8 mm 的桥面底钢板进行加劲,提高其混凝土浇筑过程中的稳定性。圆柱头焊钉主要布置在纵梁和横梁的顶板上,焊钉规格为 $\phi 22\text{ mm} \times 180\text{ mm}$,纵横向的标准间距都为 200 mm ,如图 6 所示。

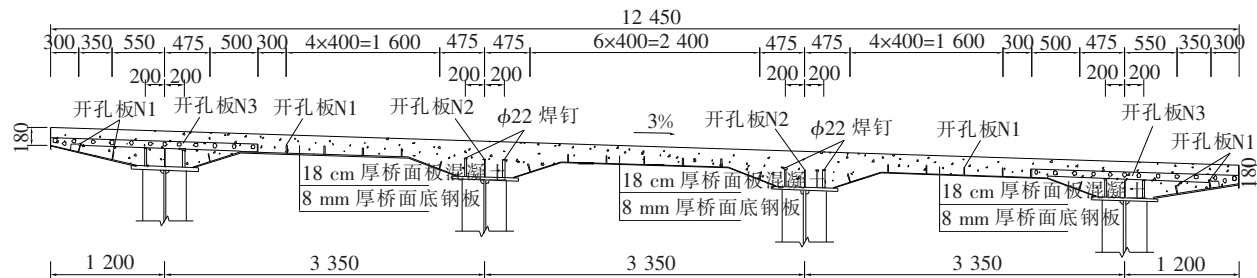


图 6 抗剪连接件及钢混组合桥面板剖面图(单位:mm)

3.5 钢混组合桥面板

该桥采用的钢混组合桥面板是一种将钢材和混凝土结合起来,发挥各自力学性能优势的组合结构。组合桥面板与常规混凝土桥面板相比,提高了桥面板的

抗弯能力,可减小混凝土板的厚度,同时也提高了路面沥青层与桥面板连接能力,延长其使用寿命。桥面板混凝土厚度为 18 cm ,底钢板厚度为 8 mm ,底钢板与格子梁焊接,既成为浇注桥面板混凝土的底模,也起到

支承桥面板的作用。组合桥面板材料采用 Q235C 底钢板和现浇 C40 混凝土,其中掺入多锚点、带压痕的钢纤维混凝土 45 kg/m^3 和聚丙烯腈纤维 0.8 kg/m^3 ,成为高抗裂低收缩混杂纤维混凝土,提高了耐久性(图 6)。桥面板的长短边之比大于 2,按照单向板的特点,横向钢筋布置在纵向钢筋之外,横向顶底缘钢筋直径均为 16 mm,底缘钢筋需从开孔板 N1 孔内穿过,纵向顶缘钢筋直径 16 mm、底缘钢筋直径 12 mm,为保证桥面连续的可靠性,墩顶处的纵向钢筋不截断,跨缝通长设置,并在该处对应桥面板纵向钢筋设置了同型号的加强钢筋。

3.6 桥墩组合刚度调整

受地形影响,狮子坝大桥桥墩纵横向高度差异较大,最矮的桥墩只有 6 m,最高的桥墩达到 40 m,虽然已采用了不同的桩柱尺寸,但桥墩刚度差异较大的情况依然存在,不利于下部结构抗震设计。为实现下部

结构刚度基本均衡、受力差异较小、变形协调统一的目的,根据不同联长、不同墩高和桥墩受力要求采用了抗震阻尼变刚度橡胶支座。该类支座的平面尺寸、厚度和竖向刚度与相同承载力的板式橡胶支座相同,纵向水平刚度的变化可通过材料阻尼比、钢板厚度和层数、铅芯数量等措施实现,纵向刚度从 $800\sim3\,800\text{ kN/m}$ 按 500 kN/m 的级差递增共 6 个级别。以左线桥为例,10 孔 40 m 钢板组合梁,按 5 孔分为两联,对设置板式橡胶支座和变刚度支座的桥墩组合刚度进行了对比,见表 2、图 7。通过在较矮的墩上布置刚度较小的支座,在较高的墩上布置刚度较大的支座,组合之后的桥墩刚度趋于平均,由图 7 可以看出:设置变刚度支座后,桥墩组合刚度的差异明显缩小,纵向制动力或地震力按刚度分配之后,在对应桥墩底部产生的弯矩也趋于一致,有利于下部结构受力。

表 2 桥墩组合刚度对比

桥墩 编号	桥墩 直径/ m	桥墩 高度/ m	单个板式橡胶支 座水平刚度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	采用板式橡胶支 座的桥墩组合 刚度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	单个变刚度支 座水平刚度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	采用变刚度支 座的桥墩组合刚 度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)
1	1.8	6.0	4 400	34 843	800	6 306
2	1.8	11.0	4 400	33 109	800	5 862
3	1.8	19.0	4 400	26 559	1 300	5 879
4	1.8	15.0	4 400	30 342	800	5 191
6	2.0	40.0	4 400	15 079	3 800	3 275
7	2.0	27.0	4 400	21 828	2 800	5 439
8	2.0	25.0	4 400	23 683	1 800	5 557
9	2.0	24.0	4 400	24 611	1 300	5 156

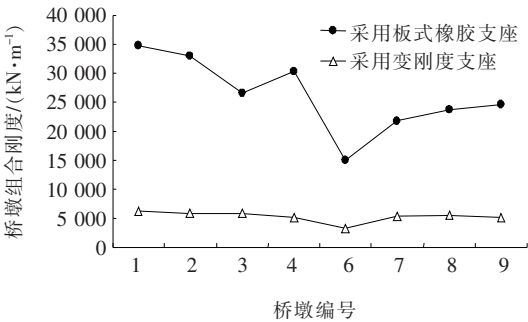


图 7 桥墩组合刚度对比

梁格法建模,包括纵梁、横梁、桥面联系梁,施工阶段按照先架纵梁、再连横梁、后浇混凝土形成组合梁的顺序共划分了 6 个,有限元模型如图 8 所示。

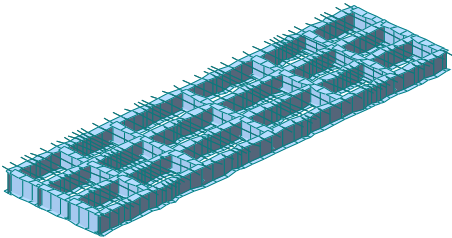


图 8 主梁施工阶段模型

4 结构计算分析

4.1 有限元模型

采用有限元软件 Midas/Civil 进行计算分析,按

4.2 主要计算结果

该桥为简支结构,取跨径的 1/8、2/8、3/8、4/8 共 4 个控制截面进行验算。验算结果如表 3、4 所示。

表 3 控制截面各施工阶段抗弯承载能力验算结果

控制 截面	截面位置	施工阶段应力/MPa					
		架设纵梁	联结横梁	浇注桥面板混凝土	组成叠合梁	二期恒载	收缩徐变
1/8	钢梁上缘/下缘	-15.0/11.7	-17.9/14.0	-52.9/47.3	-56.2/45.7	-65.2/57.2	-109/70.7
	混凝土板上缘/下缘	0/0	0/0	0/0	0.11/0.17	-0.34/-0.15	0.58/-0.98
2/8	钢梁上缘/下缘	-28.6/21.7	-34.1/25.9	-87.6/77.5	-89.8/73.3	-102/93.4	-146/107
	混凝土板上缘/下缘	0/0	0/0	0/0	0.24/0.28	-0.65/-0.39	0.46/0.88
3/8	钢梁上缘/下缘	-34.6/25.5	-41.0/30.2	-98.6/83.9	-100/78.9	-114/102	-159/116
	混凝土板上缘/下缘	0/0	0/0	0/0	0.27/0.31	-0.81/-0.51	0.38/0.81
4/8	钢梁上缘/下缘	-36.5/26.9	-43.6/32.0	-106/91.5	-108/85.9	-122/110	-166/124
	混凝土板上缘/下缘	0/0	0/0	0/0	0.32/0.36	-0.77/-0.46	0.41/0.85

表 4 控制截面使用阶段抗弯承载能力验算结果

控制 截面	截面位置	使用阶段应力/MPa	
		三车道偏载	三车道对称加载
1/8	钢梁上缘/下缘	-120.4/101.8	-119.9/98.8
	混凝土板上缘/下缘	-0.35/0.51	-0.16/0.64
2/8	钢梁上缘/下缘	-169.0/162.1	-168.4/159.5
	混凝土板上缘/下缘	-1.60/-0.40	-1.43/-0.27
3/8	钢梁上缘/下缘	-187.0/180.3	-186.3/177.2
	混凝土板上缘/下缘	-2.18/-0.84	-1.96/-0.68
4/8	钢梁上缘/下缘	-193.4/188.6	-193.0/186.6
	混凝土板上缘/下缘	-2.38/-0.99	-2.24/-0.88

(1) 施工阶段抗弯承载能力验算

按照钢混组合梁制作、架设、浇注等顺序分为 6 个施工阶段进行模拟,分别是架设纵梁→联结横梁→浇注桥面板混凝土→组成叠合梁→二期恒载→收缩徐变。由表 3 计算结果可得:施工阶段混凝土桥面板的最大压应力为 0.98 MPa;钢梁的最大拉应力为 124 MPa,最大压应力 166 MPa。

(2) 使用阶段抗弯承载能力验算

桥面净宽 11.45 m,可布置 3 个车道,分别按照三车道偏载和三车道对称加载布置进行验算。由表 4 计算结果可得:混凝土桥面板的最大压应力为 2.38 MPa;钢梁的最大拉应力为 188.6 MPa,最大压应力 193.4 MPa。

(3) 变形验算

考虑钢混组合梁滑移效应的折减刚度之后,计算出跨中最大挠度为 14.3 mm,小于规范规定的挠度限值 $L/500=79.9\text{ mm}$ 。

5 总体施工方案

依据该桥的实际特点,为节约工期、提高质量,狮子坝大桥采用上下部平行作业的方式,施工索道桥和便道的同时在工厂内进行钢梁的制造。下部基础和墩柱采用常规的钻孔法和圆形模板施工,上部钢梁在工厂制作完成运输到现场拼装后进行架设,再现浇桥面板混凝土形成组合结构。

由于桥位处可利用的场地非常狭小,施工便道半径小、纵坡大,跨水库的索道桥只能单车道通行,通过对运输线路的考察,确定将 40 m 长的钢梁在纵向分为 5 个节段,每段长约 8 m。钢梁按照不小于 2+1 的节段数进行连续匹配制作和预拼,节段钢梁运输到狮子坪 2 号隧道内,5 个节段纵向连接组成单片工字梁,将 1[#]、2[#] 工字梁横向连接为一个 π 形梁,3[#]、4[#] 工字梁横向连接为第二个 π 形梁,此时,在每个 π 形梁上焊接好剪力键和桥面底钢板,将带底钢板的两个 π 形梁安装就位,再通过横梁将两个 π 形连接组成钢格子梁,施工剩余的剪力键和底钢板,布置桥面普通钢筋,浇注混凝土后形成组合梁。施工顺序如图 9~12 所示。

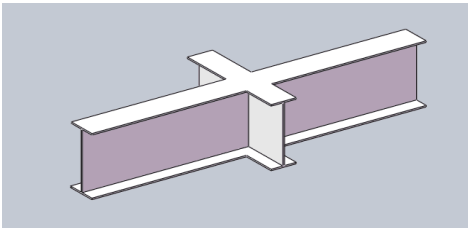


图 9 工厂制作钢梁节段

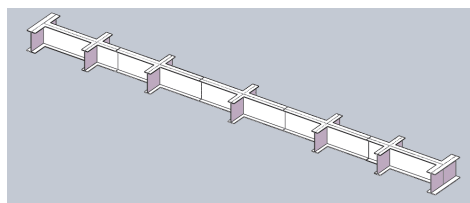
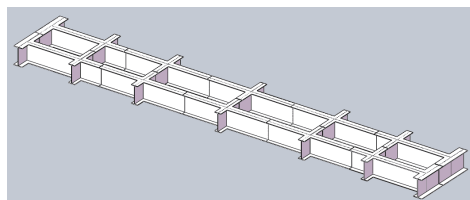
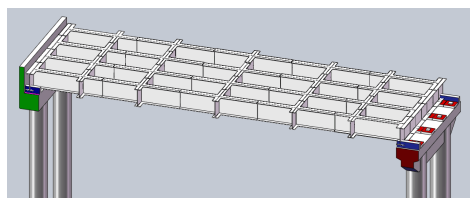


图10 分段运输到工地后连接为单片工字梁

图11 两片工字梁横向连接组成 π 形梁图12 两个 π 形横向连接组成格子梁

6 结语

狮子坝大桥位于狮子坪水库左岸,两端与狮子坪1、2号超特长隧道相接,因其陡峭的地形、复杂的地质、狭小的施工场地、较高的地震烈度、有限的工期等因素,经桥型比选,采用钢板混凝土组合桥梁作为实施方案。钢梁采用“化整为零”的方式在工厂进行小节段制作,通过汽车运输到狮子坪2号隧道内,再“集零为整”连接为单片纵梁,纵梁采用工字形截面,自重轻。纵梁通过横梁两两连接组成 π 形梁,安装后组成格子梁体系,横梁既起到连接纵梁和支承桥面板的作用,也起到横向分配和增加抗扭刚度的作用。桥面板采用了钢混组合的形式,并在混凝土中设置了组合式剪力键,

充分发挥钢材、混凝土、纤维的特点,节约了底模,减小了桥面板厚度。组合梁和盖梁之间采用了变刚度支座对桥墩的组合刚度予以调整,基本实现刚度均衡,受力一致。计算分析结果表明:该结构安全可靠,总体施工方案具有可实施性。随着高速公路向西部山区延伸,地形、地质和建设条件愈发复杂,桥梁建设面临场地狭小、工期紧张等难题,钢混组合桥梁具有自重轻,抗震性能好等优点,还可实现生产标准化、运输小型化、现场拼装化、施工快速化,适宜于山区复杂环境条件下应用和推广。

参考文献:

- [1] 邵长宇. 梁式组合结构桥梁[M]. 北京:中国建筑业出版社,2015.
- [2] 聂建国,刘明,叶列平. 钢—混凝土组合结构[M]. 北京:中国建筑业出版社,2005.
- [3] 陈智俊,胡胜刚,张晟斌. 简支I型钢—混凝土组合梁桥在山区高速公路上的应用[J]. 中外公路,2008,38(1):101—105.
- [4] DB51/T 1991—2015 钢—混凝土组合桥面板技术规程[S].
- [5] 占玉林,赵人达,毛学明,等. 钢—混凝土组合桥面板试验研究与理论分析[J]. 西南交通大学学报,2006,41(3):360—365.
- [6] 牟廷敏,范碧琨,梁健,等. 钢混凝土组合桥面板及施工方法. 中国,106638302A[P]. 2017-05-10.
- [7] 狄秉臻,赵人达,牟廷敏. 地震作用下山区高低墩长联梁桥支座刚度优化研究[J]. 世界桥梁,2018,46(6):56—60.
- [8] 陈洪伟,贺国栋,王甜. 多梁式工形截面钢混组合梁桥荷载横向分布的参数分析[J]. 中外公路,2021,41(3):161—165.
- [9] 邹正其,陈宏俊. 路泽太高架钢板梁桥现场连接方案比选研究[J]. 中外公路,2019,39(1):136—140.
- [10] 胡营. 钢—混组合梁在山区高速公路桥梁的应用及发展前景[J]. 公路交通科技(应用技术版),2017,13(8):259—261.