

山区复杂地质下桥型比选与设计分析

范磊^{1,2}, 姚伟³

(1.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074; 2.贵州苏交科工程勘察设计有限公司, 贵州 贵阳 550003;
3.昭通市交通建设工程质量安全监督局, 云南 昭通 657000)

摘要: 山区地形地质条件复杂, 不良地质往往决定山区桥梁桥型选择及跨径布置。文中以贵州某山区高速公路跨越甲茶河的桥梁为例, 从地质地貌、工程造价、施工工艺等方面对山区桥梁进行桥型比选, 确定桥梁方案; 对所确定的高墩大跨径连续刚构桥方案进行设计分析, 确保桥型方案的技术可行性。

关键词: 桥梁; 桥型比选; 连续刚构; 桥梁设计; 山区复杂地质

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)04-0130-05

山区桥梁地质复杂、施工困难、投资规模大, 通常是路线控制性工程, 确定科学合理的桥型方案及精细的桥梁设计是关键。周剑萍针对山区跨越沟谷桥梁桥型选择进行分析, 认为常规桥梁可采用同一跨径不同板(梁)形式进行比较, 而大桥、特大桥需进行多方案综合比选。刘明文等对贵州某山区桥梁提出 3 种桥型方案, 通过比较推荐采用连续刚构桥方案。姚正中等分析了山区连续刚构桥的选型特点, 认为选择较大跨径方案跨越复杂地质地形可为桥梁施工及运营安全带来极大保障。谢全敏等提出了基于 AHP(层次分析)法和 GC-TOPSIS(灰色关联分析和逼近理想解法)的山区桥型方案定量比选方法。石贵军对贵州山区流架 I 号大桥进行了设计。对于山区复杂地质条件下桥梁, 桥型比选需更多关注地质条件因素, 同时注重桥梁设计、施工方面的技术可行性。该文研究贵州山区复杂地质条件下甲茶河特大桥的桥型比选及设计, 为同类复杂地质条件下大跨径桥梁设计提供思路。

1 桥型比选

1.1 地质条件

贵州某山区高速公路需建桥梁跨越甲茶河, 桥址区属于溶蚀河谷构造地貌, 桥梁横跨山体及河流, 上覆地层主要为崩坡积黏土、碎石土、块石, 下伏地层为石炭系中统黄龙群(C_2hn)灰岩。

小里程桥台处山体属于岩质边坡, 山体坡度较缓, 附近无陡崖, 无高坎。上部覆盖层厚 0.5~4 m, 下伏基岩为石炭系中统黄龙群(C_2hn)灰岩, 节理裂隙不甚发育, 桥台较稳定。小里程桥台附近产状为

$24^\circ \angle 29^\circ$, 桥位纵面方向为 85° , 层面与线位大角度相交, 无顺层问题。小里程左线主墩位于陡崖下方, 距陡崖约 3 m, 陡崖高 10~30 m, 裂隙发育, 前方为坡度 55° 的斜坡, 地势较陡峭, 需对陡崖进行开挖放坡、锚杆支护处理, 保证主墩安全性。

大里程桥台处山体坡度为 $25^\circ \sim 40^\circ$, 较陡。上覆第四系黏土、碎石土, 厚 1 m, 下伏石炭系中统黄龙群(C_2hn)灰岩, 稳定性较好。山体顶部有少量危岩体, 4 级, 每级高 3~5 m, 厚 8~10 m, 宽 50~80 m, 通过清方防护处理后对桥位影响较小。大里程右线主墩位于崩塌堆积体中上部, 钻孔揭露有约 23.4 m 崩塌积层, 崩塌堆积体以块石为主, 块径 0.1~3 m, 对主墩有一定影响, 要采取相应措施。

1.2 桥型比选

根据甲茶河特大桥地形地质情况, 综合路线及施工条件, 桥型主要以大跨径预应力砼连续刚构桥、钢桁架拱桥和砼斜拉桥为主, 采用以下 3 种方案进行比选: 1) 1×40 m 预应力砼简支连续 T 梁 + (94 + 180 + 94) m 预应力砼连续刚构桥 + 4×40 m 预应力砼先简支后连续 T 梁(见图 1); 2) 2×40 m 预应力砼先简支后连续 T 梁 + 300 m 钢桁架拱桥 + (3 × 40 + 2 × 30) m 预应力砼先简支后连续 T 梁(见图 2); 3) (140 + 322 + 140) m 预应力砼斜拉桥 + 2×40 m 预应力砼先简支后连续 T 梁(见图 3)。3 种方案的比较见表 1。

主跨 322 m 斜拉桥方案、主跨 300 m 钢桁架拱桥可完全避开崩塌堆积体, 但山区交通不便, 施工难度大, 成本高, 后期养护工作量大, 不推荐采用; 主跨 180 m 连续刚构方案的桥型简单结构, 施工工艺成

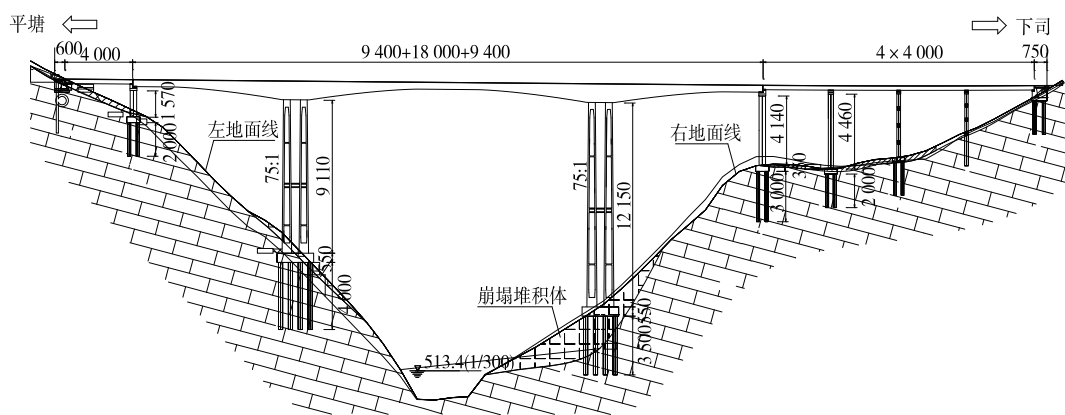


图 1 主跨 180 m 连续刚构桥方案(右幅;单位:标高为 m,其他为 cm)

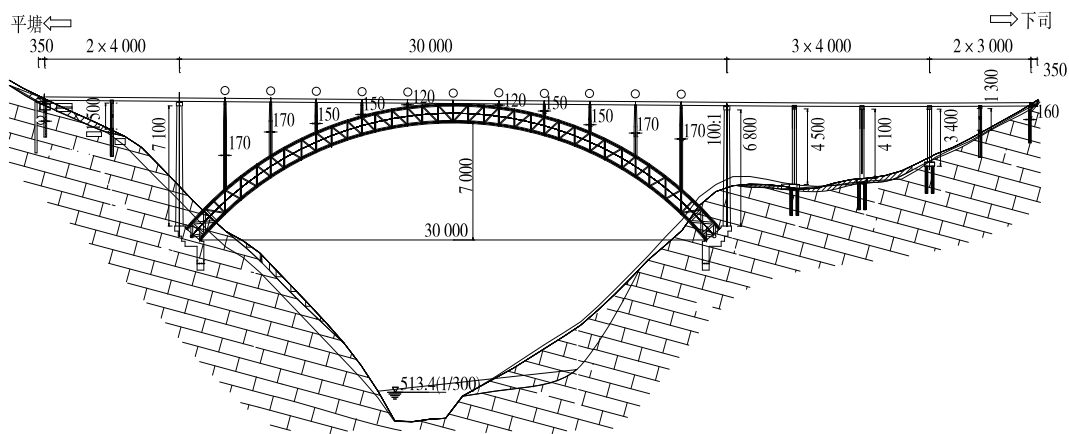


图 2 主跨 300 m 钢桁架拱桥(右幅;单位:标高为 m,其他为 cm)

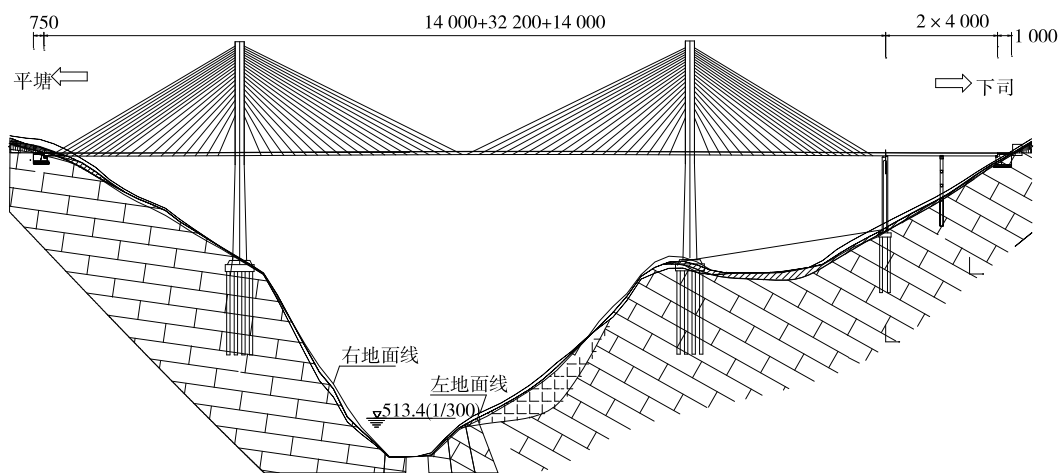


图3 主跨 322 m 斜拉桥方案(整幅;单位:标高为 m,其他为 cm)

熟,成本低,推荐采用。

1.3 桥型优化

甲茶河特大桥主要地质问题为小里程主墩位于陡崖下部,需作清方锚固处理;大里程主墩位于崩塌堆积体中上部,钻孔揭露厚度约 23.4 m,对桥墩有较大影响,需采用大跨径桥梁避开崩塌堆积体。

主跨 180 m 连续刚构方案主墩位于崩塌堆积体中上部,针对该方案的不足,在保持方案无重大调整的情况下,对桥跨进行局部优化,优化后设计方案为 $1 \times 40 \text{ m T 梁} + (104 + 200 + 104) \text{ m 预应力砼连续刚构} + 3 \times 40 \text{ m 预应力砼先简支后连续 T 梁}$,原 1[#]、2[#]桥墩位置基本不变,主跨跨径增大 20 m,3[#]

表 1 桥型方案比较

项目	主跨 180 m 连续刚构桥	主跨 300 m 钢桁架拱桥	主跨 322 m 斜拉桥
桥梁全长/m	左幅:585.5;右幅:585.5	左幅:591.0;右幅:591.0	整幅 699.5(线位抬高 20)
上部结构	单箱单室直腹板变截面箱梁	主拱采用钢桁结构,上下弦杆为等截面钢箱	等截面 π 形预应力砼梁
下部结构	双肢箱形薄壁墩,基础采用 2.5 m 钻孔灌注桩	拱座采用整体式钢筋砼	塔柱采用空心五边形断面
建设条件适应性	小里程左线主墩处陡崖及两岸桥台处危岩体需作清方锚固处理;大里程主墩位于崩塌堆积体中上部,对桥墩有一定影响	两岸拱座均位于陡崖上,避开了崩塌堆积体等不良地质;两桥台处小型危岩体需作清方防护	两岸主墩均位于陡崖上,避开了崩塌堆积体等不良地质;两桥台处小型危岩体需作清方防护
施工难易程度	桥墩采用爬模施工,主梁采用挂篮悬浇,施工工艺成熟;主墩位于崩塌堆积体中,不可控因素多	主桥上部结构采用缆索吊装,施工难度较大;钢结构存在焊接安装风险	采用缆索吊装,施工难度较大;桥墩截面复杂,施工困难
养护难易程度	全桥均为预应力砼结构,养护工作量少,成本低	养护工作量大,费用高	斜拉索防腐要求高,后期换索难度大、成本高、影响交通
工期/月	18	24	32
建安费/万元	17 335.6	28 052.9(不含左右幅并线隧道增加费用)	36 830.9(不含左右幅并线隧道增加费用)
综合评价	桥型简单,跨径适中;大里程主墩位于崩塌堆积体中,主墩稳定存在一定风险;工期较短,投资较省。推荐方案	桥型与周围环境协调较好;300 m 钢桁架拱桥设计、施工均有一定难度;工期较长,工艺较复杂,投资较高。比较方案	景观效果好;主墩均位于陡崖上,避开了不良地质;主跨 322 m 施工工艺复杂,工期长,投资高。比较方案

桥墩往大里程方向移动,主墩跨过大里程崩塌堆积体,最大桥墩高度由 121.5 m 减至 105.5 m,桥长变

化不大(见图 4)。优化后桥型方案与优化前方案的比较见表 2。

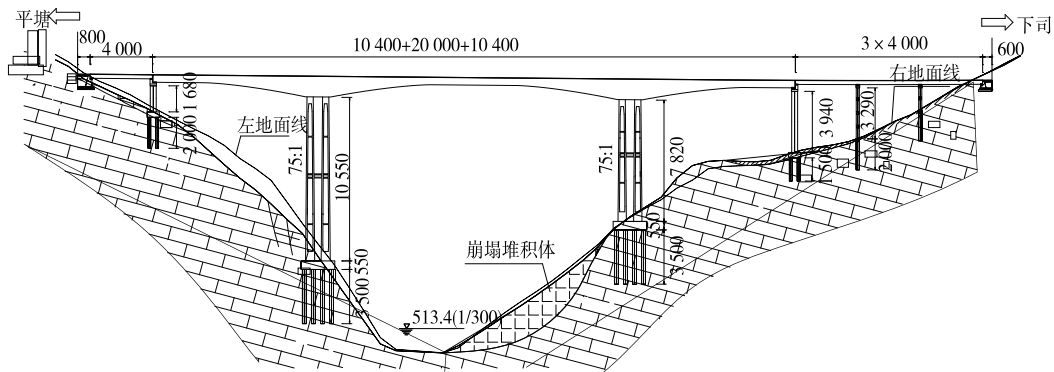


图 4 主跨 200 m 连续刚构方案(左幅;单位:标高为 m,其他为 cm)

表 2 桥型方案优化前后对比

项目	原设计方案	优化设计方案
桥型方案	1×40 m T 梁+(94+180+94) m 连续刚构 +4×40 m T 梁	1×40 m T 梁+(104+200+104) m 连续刚构 +3×40 m T 梁
主墩方案	2 [#] 、3 [#] 主墩采用双肢箱形薄壁墩,最大墩高 121.5 m; 桥墩采用爬模施工,施工工艺成熟;3 [#] 主墩位于崩塌 堆积体中,不可控因素多	2 [#] 、3 [#] 主墩采用双肢箱形薄壁墩,最大墩高 105.5 m; 桥墩采用爬模施工,施工工艺成熟;3 [#] 主墩避开崩塌 堆积体

续表 2

项目	原设计方案	优化设计方案
主梁方案	采用单箱单室直腹板变截面箱梁、挂篮悬浇,施工工艺成熟;主梁跨径一般,设计、施工难度较低,施工精度易控制;施工周期较短	采用单箱单室直腹板变截面箱梁、挂篮悬浇,施工工艺成熟;主梁跨径较大,主梁施工质量控制难度加大,控制精度要求更高;施工周期较长
地质影响	小里程左线主墩处陡崖及两岸桥台处危岩体需作清方锚固处理;大里程主墩位于崩塌堆积体中上部,钻孔揭露厚度约 23.4 m,对桥墩有较大影响	小里程左线主墩处陡崖及两岸桥台处危岩体需作清方锚固处理;大里程主墩位于崩塌堆积体上方,对桥墩影响较小
工期/月	18	20
建安费/万元	17 335.6	18 863.3
综合评价	桥型简单,跨径适中;大里程主墩位于崩塌堆积体中,主墩稳定存在一定风险;工期短,投资省	桥型简单,跨径较大;大里程主墩避开了崩塌堆积体,桥墩风险较低;工期稍长,投资稍高

2 桥梁设计与分析

根据常规设计经验,为减小连续刚构桥后期开裂、下挠等病害,桥梁跨径不宜过大。为跨越崩塌堆积体,降低不良地质对桥梁的影响,甲茶河特大桥主跨采用(104+200+104) m 预应力砼连续刚构,最大墩高 105.5 m,桥梁方案选择时,应考虑其技术可行性,分析箱梁裂缝、下挠病害的控制措施,同时对桥墩稳定性进行验算。

2.1 桥梁设计

主桥上部结构为(104+200+104) m 预应力砼连续刚构。采用单箱单室直腹板箱形截面,根部梁高 13.2 m,跨中梁高 4.7 m,顶板厚度 0.48 m,跨中底板厚度 0.32 m,箱梁根部底板厚度 1.5 m,箱梁高度及箱梁底板厚度均按 1.8 次抛物线变化。边、中跨合龙段长 2.0 m,边跨现浇段长 5.0 m。箱梁采用三向预应力体系。

主桥下部结构主墩为双肢箱形薄壁墩,单肢墩顶顺桥向宽 4 m,顺桥向按 75 : 1 放坡。桥墩竖向等距布置 3 个横隔板,中间横隔板处设系梁。主墩承台厚 5.5 m,基础采用 12× ϕ 2.5 m 钻孔灌注桩。

2.2 上部箱梁分析

采用有限元软件桥梁博士 V3.6 和 MIDAS/Civil8.3.2,按最不利组合对桥梁各施工阶段进行截面内力、应力和位移进行验算,验算结果表明结构满足规范要求。

根据文献[5],贵州山区大跨径连续刚构桥主要病害为箱梁裂缝,底板裂缝主要分布如下:边跨裂缝主要集中在靠合龙段的 1/3 跨范围,中跨裂缝主要集中在 1/3~2/3 跨范围,裂缝长度 0.1~0.5 m,裂

缝宽度 0.05~0.15 mm;箱梁腹板存在少量斜裂缝及纵向裂缝,长度不超过 1.5 m,宽度不超过 0.15 mm。同时连续刚构后期下挠问题在设计阶段需严格控制。为降低连续刚构箱梁底板裂缝的产生,在跨中设置一道完整的横隔板、在跨中附近设置一道矮肋横隔板,同时根据情况在主跨 1/4、1/8 处设置一道完整的横隔板。底板、顶板宽度比值控制在 0.45~0.55,主跨大于 150 m 时底板厚度为 30~35 cm。预应力管道净距控制在管道直径 1.4 倍左右,且管道直径不超过底板最小毛截面厚度的 40%。

连续刚构箱梁腹板斜裂缝的主要成因为砼主拉应力超标,腹板厚度对箱梁正应力、挠度等影响不大,对箱梁抗剪、主拉应力有较大影响。设计中应适当增加腹板厚度,减少腹板斜裂缝的发生。同时增大箱梁跨中梁高、根部梁高,减小跨中下挠。

2.3 高墩稳定性分析

高墩大跨径连续刚构桥桥墩高度超过 80 m 时,采用双肢实心墩很难满足稳定性要求,在不受结构内力、变形影响的前提下,空心墩具有明显的稳定优势。桥墩稳定系数随着墩高增加逐渐减小,连续刚构最大悬臂施工阶段是稳定性最不利阶段,设置系梁能提高桥墩纵向抗弯刚度,提高结构稳定性。

甲茶河特大桥主墩最大高度 105.5 m,主墩为双肢箱形薄壁墩,箱梁断面中间挖空,同时设置一处系梁以提高桥墩的稳定性。桥墩屈曲分析结果显示:桥墩不设系梁,一阶失稳方向为纵向,稳定系数为 18.4;增加系梁后,桥墩稳定系数为 21.57,一阶失稳方向为横向,桥墩稳定性满足规范要求(见表 3、图 5)。设置系梁,增加了桥墩纵向刚度,桥墩横向刚度起控制作用。后续设计可通过调整桥墩横向刚

表3 桥墩稳定性分析结果

阶次	无系梁时分析结果			有系梁时分析结果		
	特征值	容许误差	失稳方向	特征值	容许误差	失稳方向
1	18.40	0.00	纵向	21.57	0.00	横向
2	21.60	0.00	横向	24.51	0.00	纵向
3	73.45	1.31×10^{-27}	纵向	75.75	0.00	纵向
4	85.55	1.04×10^{-23}	纵向	121.97	3.84×10^{-48}	横向
5	122.33	6.24×10^{-17}	横向	180.22	2.61×10^{-31}	纵向

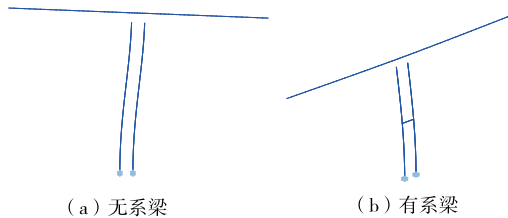


图5 桥墩一阶失稳模态

度来提高桥墩屈曲稳定性。

3 结论

(1) 山区地形地质条件复杂,地面高差大、两岸陡峭,且有岩溶、陡崖、崩塌堆积体等不良地质,桥型选择需优先考虑避开不利地质条件,同时考虑经济性和技术可行性。

(2) 根据甲茶河特大桥的地形地貌,结合地质情况、路线情况,采用大跨径桥梁,桥型主要为大跨径连续刚构、拱桥及斜拉桥,通过比选及优化,最终确定(104+200+104) m连续刚构桥方案。

(3) 大跨径高墩连续刚构桥设计中需采取措施控制箱梁裂缝、跨中下挠问题,同时对桥墩稳定性进行分析。

参考文献:

[1] 周剑萍.高原山区高速公路跨越沟谷地形时的桥型比

选[J].公路,2013(5):87-90.

[2] 刘明文,丁作常.基于多方案的桥型方案比选研究[J].公路交通技术,2017,33(3):43-46.

[3] 姚正中,邓晓红,李银斌,等.山区连续刚构桥选型及设计[J].中外公路,2014,34(4):166-169.

[4] 何飞,周礼平,范磊.贵州山区在役连续刚构桥发展现状调查与分析[J].中外公路,2015,35(3):120-123.

[5] 谢全敏,殷建强,杨文东.基于 AHP 和 GC-TOPSIS 的山区桥型方案比选[J].公路交通科技,2019,36(3):102-108.

[6] 石贵军.流架 I 号大桥设计[J].中外公路,2010,30(5):173-175.

[7] 冯祁.大跨径 PC 箱梁桥底板崩裂机理研究[D].西安:长安大学,2018.

[8] 徐超.大跨高墩连续刚构桥桥墩结构型式研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.

[9] 薛兴伟.大跨 PC 梁桥跨中下挠及裂缝控制研究[D].广州:暨南大学,2013.

[10] 胡铁山,王勇,夏俊波.全寿命周期成本分析在不同材料桥梁方案比选中的应用[J].公路与汽运,2020(1):147-150.

[11] 郭红雨.南村黄河特大桥主桥总体设计[J].公路与汽运,2020(2):103-107.

[12] 徐桂英.山区高速公路桥梁方案比选[J].交通世界(建养·机械),2010(12):175-177.

收稿日期:2020-09-23

(上接第 129 页)

University,2019,26(11):3140-3155.

[5] 韩洪举,郭吉平.沙坨特大桥施工控制参数敏感性分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019(3):168-171.

[6] 鞠玉财,田仲初,刘春山.贵州木蓬特大桥参数敏感性分析[J].公路与汽运,2013(3):166-170.

[7] 刘来君,倪富陶,张筱雨,等.预应力混凝土矮塔斜拉桥参数敏感性分析[J].中外公路,2015,35(4):142-144.

[8] 唐启.泉州湾跨海大桥钢混组合梁施工控制参数敏感性分析[J].世界桥梁,2016,44(5):57-61.

[9] 张铎,何畏,蒋长江,等.攀枝花新密地大桥拱圈悬臂浇筑施工监控[J].桥梁建设,2012,42(4):87-92.

[10] 吴欣,王祺顺,张祖军.大跨径 RC 拱桥悬臂浇筑过程中临时预应力效应分析[J].公路工程,2019,44(3):11-16.

[11] 伍新民,田仲初.考虑预应力的大跨径 RC 拱桥悬浇阶段关键参数影响效应分析[J].公路工程,2019,44(6):15-20+103.

收稿日期:2020-08-15