

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.03.011

引用格式: 张泽云, 韩卫兵, 盛甫新, 等. 公路多个回头曲线组合布设的应用探讨[J]. 公路与汽运, 2024, 40(3): 53-57+61.

Citation: ZHANG Zeyun, HAN Weibing, SHENG Fuxin, et al. Exploration of the application of switch-back curve combination layout on highways[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(3): 53-57+61.

公路多个回头曲线组合布设的应用探讨

张泽云¹, 韩卫兵², 盛甫新³, 张健¹, 王海翔¹

(1. 中远交科设计咨询有限公司, 四川 成都 610036; 2. 甘肃省建设监理有限责任公司, 甘肃 兰州 730070; 3. 中交第三航务工程局有限公司, 上海 200032)

摘要: 以国道 G219 云南省马关至西畴改扩建工程 K55+200—K59+600 段越岭线回头曲线布设为例, 根据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》和 JTG B01—2014《公路工程技术标准》对回头曲线布设指标的相关规定, 对山区公路设计中路线方案确定影响因素及回头曲线设置原因、设置方式、设置标准选用、设计过程进行分析。

关键词: 公路; 回头曲线; 路线设计; 建筑信息模型(BIM)

中图分类号: U412.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)03-0053-05

修建于 20 世纪六七十年代的沿边国防公路受修建时诸多条件制约, 采用的技术标准较低, 存在平纵指标不均衡等现象, 存在诸多安全隐患, 须进行改扩建。改扩建公路路线设计难度较大, 涉及的因素较多, 须综合考虑多方面因素。张永宾从多种曲线线形组合布设、平纵断面组合设计、线形与周围环境的协调设计等方面探讨了改扩建公路路线设计要点^[1]。本文就曲线组合线形布设中回头曲线设计进行探讨。

1 回头曲线的定义和要求

回头曲线是一种特殊组合曲线, 是由小半径、急转弯、低标准线形组合的道路曲线形式。公路设计中, 路线布设要跨越山岭, 地形起伏变化很大时, 在有限的条件下实现降坡很困难, 一般通过在局部区域降坡来减缓坡度, 达到规范要求。可通过设置回头曲线的方式来展线, 使平面线形有足够的长度, 从而实现降坡。

回头曲线可以简单理解为平曲线设置偏角接近或大于 180° 的情况, 通过来回折返形成之字形的路线走势。一般由 1 条或 2 条或 3 条曲线组合而成, 形成 C 形曲线或 S 形曲线, 2 条连续回头曲线间一般以直线连接。图 1 为回头曲线线形示意图, 分别称为马蹄形、发针形和平头形回头曲线。

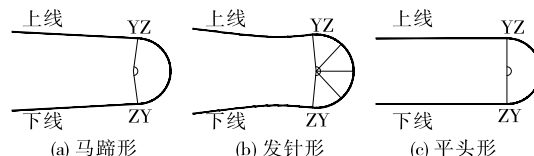


图 1 回头曲线线形示意图

1.1 规范对回头曲线设置的规定

根据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》, 2 条相邻回头曲线之间应有较长的距离, 设计速度为 40 km/h、30 km/h、20 km/h 时, 一条回头曲线终点至下一条回头曲线起点的距离应分别不小于 200 m、150 m、100 m。JTG D20—2017 关于回头曲线的设计技术指标见表 1^[2]。

表 1 回头曲线设置技术指标

主线设计速度/ (km · h ⁻¹)	回头曲线设计速度/ (km · h ⁻¹)	圆曲线最小 半径/m	回旋线最小 长度/m	超高横坡 度/%	双车道路面加 宽值/m	最大纵坡/ %
40	35	40	35	6	2.5	3.5
	30	30	30	6	2.5	3.5
30	25	20	25	6	2.5	4.0
20	20	15	20	6	3.0	4.5

1.2 回头曲线设置条件

(1) 越岭线应尽量利用自然地形进行自然展线,避免过多地设置回头曲线^[3]。

(2) 回头曲线前后线形应有连续性,回头曲线两头应布设过渡性缓和曲线,并合理设置相关交通标志,适当采取技术以外的清障措施保证良好的行车安全视线。

2 山区道路纵坡设置要求

(1) JTG D20—2017、JTG B01—2014《公路工程技术标准》对公路最大纵坡的规定见表 2^[2,4]。

表 2 规范对公路最大纵坡的规定

设计速度/ (km·h ⁻¹)	最大纵坡/ %	设计速度/ (km·h ⁻¹)	最大纵坡/ %
120	3	40	7
100	4	30	8
80	5	20	9
60	6		

(2) 对于越岭路线连续上坡(或下坡)路段,相对高差为 200~500 m 时,平均纵坡应不大于 5.5%;相对高差大于 500 m 时,平均纵坡应不大于 5%且任意连续 3 km 路段的平均纵坡应不大于 5.5%^[2]。

(3) JTG D20—2017、JTG B01—2014 对公路纵坡最小长度的规定见表 3,对不同纵坡最大长度的规定见表 4^[2,4]。

(4) 公路连续上坡或下坡时,应在不大于表 4 所示最大坡长和规定的纵坡长度之间设置缓和坡段。缓和坡段的纵坡应不大于 3%,其长度应符合

表 3 所示最小坡长的规定^[2,4]。

表 3 规范对最小坡长的规定

设计速度/ (km·h ⁻¹)	最小坡长/ m	设计速度/ (km·h ⁻¹)	最小坡长/ m
120	300	40	120
100	250	30	100
80	200	20	60
60	150		

3 应用实例

3.1 工程背景

G219 线云南省西畴至富宁段建于 20 世纪六七十年代,修建年代较久远,受修建时诸多条件的制约,技术标准较低,平纵指标不均衡,技术标准及施工工艺较落后,加之年久失修,排水设施不完善,出现水毁及路面沉陷等病害,严重影响交通出行。马关至西畴路段是文山壮族苗族自治州南部山区国境线上一条重要边防公路,也是沿线区域经济开发和物资交流的生命线。起于西畴县与马关县交界处的撑腰岩、盘龙江北岸(K0+000),止于西畴县与广西交界处的歪邓桥,路线全长 199.659 km。该路段改扩建工程是云南省公路网重点建设项目。

3.2 技术标准

该项目为集散二级公路,根据工程可行性研究报告,地形平坦的坝区和经过乡镇的路段,设计速度采用 60 km/h,路基宽度为 10.0 m;对于地形、地质等条件受限的路段,经技术论证,可降低设计指标,设计速度采用 40 km/h,路基宽度为 8.5 m。

表 4 不同纵坡下最大坡长

设计速度/ (km·h ⁻¹)	不同纵坡(%)下最大坡长/m							
	3	4	5	6	7	8	9	10
120	900	700	—	—	—	—	—	—
100	1 000	800	600	—	—	—	—	—
80	1 100	900	700	500	—	—	—	—
60	1 200	1 000	800	600	—	—	—	—
40	—	1 100	900	700	500	300	—	—
30	—	1 100	900	700	500	300	200	—
20	—	1 200	1 000	800	600	400	300	200

路基宽度为 10.0 m 时,路面宽度为 8.5 m;路基宽度为 8.5 m 时,路面宽度为 7.0 m。该地区雨水充

沛,设置路拱为 2% 的双向横坡,路肩横坡为 3%。路面为沥青混凝土路面。

3.3 K55+200—K59+600 段设置回头曲线的原因

国道 G219 改扩建工程全长 199.659 km,起点 K0+000 高程为 1 109.578 m,终点 K199+659 高程为 1 228.835 m,最高处 K123+795 高程为 1 779.037 m,最低处 K70+535 高程为 506.670 m,相对高差为 1 272.367 m。其中 K55+200 处高程为 920.823 m, K59+600 处高程为 716.638 m,相对高差 204.185 m。该路段老路由 6 处回头曲线组成,因道路设计等级较低、回头曲线半径较小、平面曲线组合复杂不利于行车安全、回头曲线范围内纵坡过大,已不能满足现行规范的要求。改扩建中须采用新的指标、新的规范要求重新布设路线线形,使其达到行车安全性和舒适性要求。图 2 为该路段平面曲线示意图。

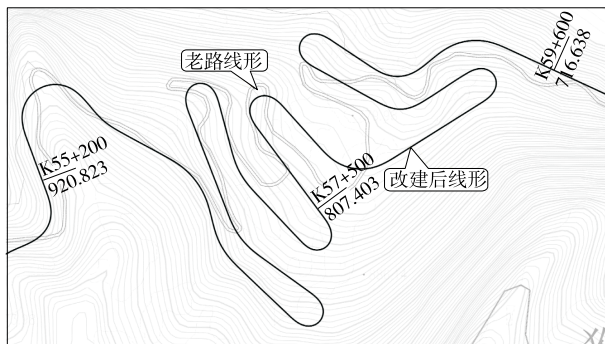


图 2 国道 G219 改扩建路段平面曲线示意图(单位:m)

3.4 回头曲线的选线规定和应用设计

3.4.1 规范对回头曲线选线的规定

选线包括确定路线基本走向、路线走廊带、路线方案及选定线位的全过程^[2]。选线中应遵循公路设计规范的相关规定,结合前期收集的相关资料数据,合理运用技术指标,设计安全、环保、经济可持续发展的道路。

3.4.2 回头曲线的应用设计

(1) 确定路线基本走向、路线走廊带。如图 2 所示,国道 G219 改扩建工程 K55+200—K59+600 段布设回头曲线,线形基本沿老路走向布设,并尽量利用老路,不能利用老路的地方利用有利自然地形曲面进行展线,尽量不出现频繁的曲线变化,保证路线平顺。若公路平面内曲线变化幅度较大,车辆在行驶时很难及时调整,极易发生撞车和翻车事故^[1]。

(2) 由面到带、由带到线反复比较。公路设计中,为克服高差,路线纵坡通常采用规范中较大纵坡值甚至最大纵坡值^[5]。国道 G219 改扩建工程 K55+200—K59+600 段起止点高差达 204.185 m,

设计时从整体到局部都充分考虑沿线自然环境影响因素,在保证线形指标的同时尽量不破坏自然环境。结合建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM),从三维可视的角度对路线平纵指标进行局部优化。从图 2 来看,设置回头曲线路段的高差一般控制在 20~25 m,相邻回头曲线之间的路线,每百米爬坡高差控制在 3 m 左右,方便纵断面拉坡设计时合理控制纵坡。综合考虑,该路段路线长度按设计纵坡 5.5%考虑。

(3) 路线纵断面试坡。纵断面试坡是路线设计中十分重要的环节。在平面线形基本确定的情况下,可以通过简单的试坡初步判定平面线形指标是否合理,如果初期的简单试坡指标都不能满足,则须进一步优化平面线形。国道 G219 改扩建工程回头曲线 K55+200—K59+600 段的纵断面设计见图 3。设计速度为 40 km/h 时,回头曲线处最大纵坡为 3.5%,由于区域内高差大,设计时采用最大纵坡值,拉坡时还要考虑不大于 3%的缓和坡段。

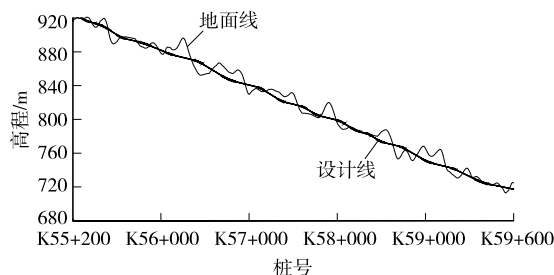


图 3 国道 G219 K55+200—K59+600 段纵断面设计示意图

该项目为二级公路,设计速度为 40 km/h。根据 JTG D20—2017,竖曲线的一般长度为 90 m,极限长度为 35 m,通常情况下采用一般值,在条件受限时不得已才采用极限值。因此,变坡点宜设置在回头曲线起止点 50 m 以外,条件受限时可酌情考虑极限值。实际操作中,综合考虑平纵指标、坡长限制等因素,变坡点位置远大于 50 m,可根据实际情况确定,合理即可。在拉坡过程中,如果发现平纵指标不能很好地契合,若其产生原因是平面问题就调整平面线形,若是纵断面设计思路问题就改变思路。最后结合 BIM 模型对路线进行局部优化,使路段土方数量基本保持填、挖平衡。该项目路线纵坡及竖曲线参数见表 5。

3.4.3 回头曲线设置的重点和难点

回头曲线设置的主要重点和难点是横向加速度

表 5 国道 G219 改扩建工程路线调整后的纵坡及竖曲线参数

桩号	标高/ m	竖曲线参数				起点桩号	终点桩号	纵坡坡 度/%	变坡点 间距/m	直坡段长 度/m
		凸曲线半 径/m	凹曲线半 径/m	切线长/ m	外距/ m					
K53+200.000	1 030.200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K53+480.000	1 010.080	—	4 000.000	43.179	0.233	K53+436.821	K53+523.179	—5.159	280.000	243.436
K53+600.000	1 006.480	2 200.000	—	33.000	0.247	K53+567.000	K53+633.000	—3.000	120.000	43.821
K53+740.000	998.080	—	3 300.000	49.500	0.371	K53+690.500	K53+789.500	—6.000	140.000	57.500
K53+870.000	994.180	1 800.000	—	31.500	0.276	K53+838.500	K53+901.500	—3.000	130.000	49.000
K54+120.000	977.930	—	3 500.000	40.250	0.231	K54+079.750	K54+160.250	—6.500	250.000	178.250
K54+280.000	971.210	—	9 000.000	54.000	0.162	K54+226.000	K54+334.000	—4.200	160.000	65.750
K54+420.000	967.010	4 000.000	—	50.250	0.316	K54+369.750	K54+470.250	—3.000	140.000	35.750
K54+660.000	953.780	—	10 700.000	43.469	0.088	K54+616.531	K54+703.469	—5.513	240.000	146.281
K54+870.000	943.910	—	8 500.000	72.250	0.307	K54+797.750	K54+942.250	—4.700	210.000	94.281
K55+050.000	938.510	2 300.000	—	56.350	0.690	K54+993.650	K55+106.350	—3.000	180.000	51.400
K55+330.000	916.390	—	1 800.000	45.000	0.563	K55+285.000	K55+375.000	—7.900	280.000	178.650
K55+490.000	911.750	3 300.000	—	82.500	1.031	K55+407.500	K55+572.500	—2.900	160.000	32.500
K55+680.000	896.740	—	1 700.000	43.017	0.544	K55+636.983	K55+723.017	—7.900	190.000	64.483
K55+910.000	890.210	6 400.000	—	69.148	0.374	K55+840.852	K55+979.148	—2.839	230.000	117.835
K56+170.000	877.210	—	3 800.000	38.000	0.190	K56+132.000	K56+208.000	—5.000	260.000	152.852
K56+450.000	868.810	1 900.000	—	40.850	0.439	K56+409.150	K56+490.850	—3.000	280.000	201.150
K56+750.000	846.910	—	3 100.000	66.650	0.716	K56+683.350	K56+816.650	—7.300	300.000	192.500
K57+070.000	837.310	1 400.000	—	31.500	0.354	K57+038.500	K57+101.500	—3.000	320.000	221.850
K57+280.000	821.560	—	1 600.000	36.000	0.405	K57+244.000	K57+316.000	—7.500	210.000	142.500
K57+500.000	814.960	1 300.000	—	29.250	0.329	K57+470.750	K57+529.250	—3.000	220.000	154.750
K57+630.000	805.210	—	1 500.000	33.750	0.380	K57+596.250	K57+663.750	—7.500	130.000	67.000
K57+870.000	798.010	1 800.000	—	40.500	0.456	K57+829.500	K57+910.500	—3.000	240.000	165.750
K58+020.000	786.760	—	2 400.000	54.000	0.608	K57+966.000	K58+074.000	—7.500	150.000	55.500
K58+150.000	782.860	1 100.000	—	25.713	0.301	K58+124.288	K58+175.713	—3.000	130.000	50.287
K58+270.000	773.650	—	1 500.000	35.063	0.410	K58+234.938	K58+305.063	—7.675	120.000	59.225
K58+490.000	767.050	1 300.000	—	26.000	0.260	K58+464.000	K58+516.000	—3.000	220.000	158.938
K58+740.000	749.550	—	2 500.000	50.000	0.500	K58+690.000	K58+790.000	—7.000	250.000	174.000
K59+000.000	741.750	1 800.000	—	26.100	0.189	K58+973.900	K59+026.100	—3.000	260.000	183.900
K59+280.000	725.230	—	3 900.000	66.300	0.564	K59+213.700	K59+346.300	—5.900	280.000	187.600
K59+600.000	714.230	—	—	—	—	—	—	—2.500	320.000	282.450

和视觉盲区。横向加速度是描述曲线路段侧向安全性与行车舒适性的主要指标,也是控制平曲线超高率与极限半径的主要参数。通过精确计算超高横坡

度、路面加宽值来保证侧向安全性与行车舒适性。陈钦等在含有回头曲线等复杂线形组合的山区公路开展实车试验,分析了车辆在山区公路回头曲线段

的横向加速度特性,为事故原因分析、道路设施设计、安全设施设计等提供理论依据^[6]。通常情况下超高横坡度根据 JTG D20—2017 的要求,对照相应的设计速度来取值,路面加宽值则根据车辆类别和公路等级来确定。

视觉盲区在回头曲线设计中不可避免,视觉盲区的存在会影响行车安全性和高效性,上下坡时可能导致驾驶员看不到对向来车或道路的变化情况,容易发生安全事故。在条件允许的情况下,可采取拆除转弯处建筑物、清除树木遮挡物等措施来减少视觉盲区,提高行车安全性和高效性。

4 三维可视化 BIM 建模论证

公路设计是一项系统工程,包含路线、路基、路面、桥涵、隧道、路线交叉、交通工程及沿线设施、环保、景观等专业设计^[7-8]。鉴于云贵高原复杂的地形、地貌特征,在工程设计前期对拟建项目进行三维可视化 BIM 建模,了解路线基本走向及构筑物的布设位置是否与自然景观相协调,为最终确定路线走向提供最直观的依据^[9]。由于山区地形复杂,往往能设计出很多不同方案,通过三维可视化建模可从不同方案中选择最优方案,并验证应用参数的可行性。

利用路易 BIM 将前期拟定的方案数据文件通过数据转化为三维 BIM 文件,识别路线后创建地形曲面,将道路纵断面、横断面等元素在同一界面进行设计调整,实现对工程方案的优化与检核,创建三维可视化的动态参数模型。采用路易 BIM 创建的该项目三维模型见图 4~7。

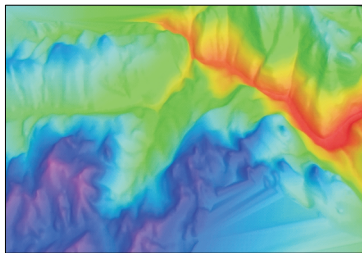


图 4 三维地面模型

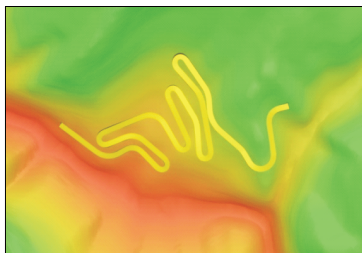


图 5 三维道路模型俯视图

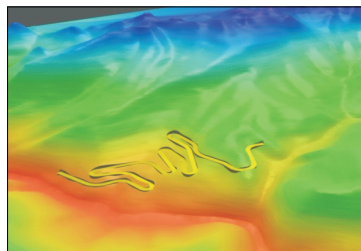


图 6 三维道路模型 60°仰角俯视图

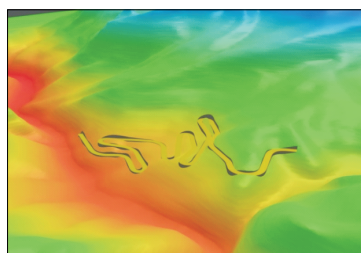


图 7 三维道路模型西北角 45°俯视图

5 结语

在西部高原地区 and 山岭地区老旧公路改扩建设计中,由于自然地理条件受限,无法满足通过自然展线来克服高差的长度需求,通常因为原道路纵坡超限而采用回头曲线进行爬坡。本文以国道 G219 改扩建工程 K55+200—K59+600 段回头曲线设置为例,探讨多个回头曲线组合布设问题。体会如下: 1) 路线设计中须查清改扩建项目沿线地理地质条件,分析特殊地质对工程的影响,并采取相应处置措施。2) 纸上定线,确定路线的基本走向,结合 BIM 模型进行验证,从路线整体布局角度考虑如何布设回头曲线。3) 结合实际情况,灵活选择线形形式,巧妙组合线形形式。

参考文献:

- [1] 张永宾.改扩建公路路线设计要点探讨[J].工程技术研究,2020,5(7):226-227.
- [2] 中交第一公路勘察设计院有限公司.公路路线设计规范:JTG D20—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [3] 武迪.高原地区道路连续回头曲线布设的应用实践[J].公路交通技术,2015,31(2):29-33.
- [4] 交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [5] 戴立平.越岭线公路路线设计要点控制[J].福建交通科技,2021(2):22-24.

(下转第 61 页)