

# 山区高速公路中小跨径桥梁设计原则及要点分析

吴浣杭 熊博文

浙江数智交院科技股份有限公司

**摘要：**论文结合云南（曲靖）至广西（百色）高速公路罗平至八大河段（简称“罗八高速”）桥梁工程设计实例，对山区高速公路中小跨径桥梁设计原则展开分析，随后详细论述了山区高速公路中小跨径桥梁设计要点。通过论文的研究可知，为保障山区高速公路中小跨径桥梁设计质量，相关人员应根据桥梁荷载要求，对桥梁上部、下部结构进行选型设计，同时综合考虑周边环境、施工条件，经济性等因素对标准跨径进行合理的选择，明确山区高速公路中小跨径桥梁设计要点。

**关键词：**山区；中小跨径；桥梁设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.093

## 一、项目概述

罗八高速项目，位于云南省东部，云南、广西、贵州三省交界处，属于喀斯特地貌山区。公路等级为高速公路，设计车速80km/h，桥梁设计荷载为公路—I级，整体式路基桥梁宽度为25.5m，分离式路基桥梁宽度为12.5m。该项目桥梁工程属于中小跨径桥梁，分为主线桥梁和枢纽互通区桥梁，桥梁跨径分别为13m、30m、40m，高墩较多，最高达70余米。桥梁上部、下部结构分别为预应力混凝土结构、钢筋混凝土结构。由于该中小跨径桥梁位于植被茂盛的山区，所以在设计环节结合了山区地质，自然景观以及其他影响桥梁设计质量的各类因素，全方位的优化桥梁结构设计，夯实桥梁工程建设基础。

## 二、山区高速公路中小跨径桥梁设计原则

### （一）安全性原则

设计山区高速公路中小跨径桥梁时，设计人员应全面分析山区地形条件，例如罗八高速所处的地形起伏大、不良地质处理难度大，项目区域高压电塔较多，应提前通过桥梁跨径、净空、结构的安全设计，预防后期运营阶段的交通安全风险。具体来说，设计过程中，设计人员还应考虑山区桥梁建设区域的水文条件、地貌特征、地形信息，排查中小跨径桥梁设计中的安全隐患，保证桥梁结构设计方案满足山区桥梁荷载、抗震要求<sup>[1]</sup>。此外，需系统分析桥梁设计方案的可行性，综合研究风险管控，降低建设风险，控制施工风险，提高运行安全保障。

### （二）合理性原则

对于山区高速公路桥梁工程，桥梁设计的合理性影响着桥梁设计质量。例如罗八高速中小跨径桥梁在初步设计阶段首先考虑降低造价、施工便捷、标准化、预制装配化，并结合山区地质勘察报告选择技术成熟、经济实用的常规结构型式，其次考虑高速公路的运营舒适性的要求，以及为避免桥面裂缝，除小半径平曲线、变宽桥，岩溶发育或地质破碎带等路段之外，对3孔以上的上部结构均采用先简支后连续结构体系，然后当桥梁

跨越斜交角度较大主要道路、河流、地下管线时，首选错孔配跨或门架墩，采用标准跨径跨越。对于互通区桥梁，桥梁配跨及选型除了需考虑视距要求、地形条件、平纵曲线等因素外，还要考虑施工方便，提高模板利用率，以及考虑到对既有道路的影响。最后，对于跨越相交河道的，尽量采用标准跨径一跨跨越，河道内不设墩。不能一次跨越且路线与河流斜交的，当河道可以改移时尽可能将改河改到从桥下正交通过，减少建桥对河流行洪的影响。

### （三）耐久性原则

山区环境较为复杂，桥梁建设期间的坍塌问题，使用过程中的路面塌陷、不均匀沉降等病害的抢修、维修较为困难，并且会直接影响公路的正常运营，造成严重的经济、安全损失。所以在设计山区高速公路中小跨径桥梁时，还应坚持“耐久性”原则，例如罗八高速桥梁结构耐久性设计主要考虑混凝土耐久性设计、支座和伸缩缝耐久性设计，从而保证桥梁设计质量。混凝土耐久性设计措施具体为严格控制混凝土中钢筋的保护层厚度、控制裂缝宽度、控制氯离子含量、提高桥梁防水功能；对于橡胶支座和伸缩缝构件，需要经常维护、更换，结构设计时应做到可修性、可换性、可控性及可持续性，确保结构在设计寿命期内的服务功能。

## 三、山区高速公路中小跨径桥梁设计要点

### （一）上部结构选型设计

按照公路桥梁相关设计规范可知，20~40m是山区桥梁的较为常用的标准跨径。基于桥梁设计标准跨径，以及山区桥梁荷载情况，桥梁上部常规结构中空心板结构、小箱梁结构、T型梁结构随着相关建设技术的成熟，在山区高速公路中小跨度桥梁工程中应用较为广泛，但不同结构，其适用范围、经济性会存在一定差异性。

空心板结构具有梁高低、施工方便、吊装重量轻等优点，但空心板横向连接铰缝过多，铰缝连接是结构受力薄弱点，限制了其向更大跨径发展，根据近年来高速公路建设经验，设计上部结构一般不采用空心板结构。只有在桥下净空要求较高的情况下局部使用，例如罗八高速K38+809以折村1号桥桥下有两条被交地方道路，净空要求4.5m，为了满足净空要求，减小梁高，设计采用4×13m预应力砼空心板结构跨越地方道路。

小箱梁自身封闭，结构稳定性较好，建筑高度适中，整体性较好，外观线条简洁、流畅。常用跨径20~30m。采用预制安装，纵、横向通过现浇湿接缝连成整体，具备一定的变宽能力。根据组合箱梁通用图，罗八高速设计对各种跨径的组合箱梁主要上部结构数量，按桥面面积平均列出指标表，其每平方米桥面主要材料指标如表1所示。

表1 组合箱梁每平方米桥面材料指标表

跨径 (m)	梁高 (m)	吊重 (t)	边、中跨单位面积平均指标		
			混凝土 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	钢绞线 (kg/m <sup>2</sup> )	普通钢筋 (kg/m <sup>2</sup> )
20	1.2	59	0.36	10.97	73.08
25	1.4	77	0.38	12.68	72.44
30	1.6	103	0.41	14.92	75.28

T型梁建筑高度高，同等桥面宽度下梁片数较多，横隔板道数多，结构整体受力好，外观简洁，景观效果一般。常用跨径为20~40m，采用预制安装，纵、横向通过现浇湿接缝连成整体，具备一定的变宽能力。根据T型梁通用图，罗八高速设计对各种跨径的T型梁主要上部结构数量，按桥面面积平均列出指标表，其每平方米

桥面主要材料指标如表2所示。

根据上述各类梁型的介绍及相应跨径的材料指标，除空心板因较缝质量控制困难不适合大规模采用外，其余两种梁型均适用于山区高速公路，两种梁型方案的综合比选见表3。

从以上表可以看出，20m~40m跨径小箱梁与T型梁

表2 组合T梁每平方米桥面材料指标表

跨径 (m)	梁高 (m)	吊重 (t)	边、中跨单位面积平均指标		
			混凝土 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	钢绞线 (kg/m <sup>2</sup> )	普通钢筋 (kg/m <sup>2</sup> )
20	1.4	46	0.40	13.91	105.44
25	1.7	68	0.46	15.51	107.30
30	2.0	90	0.52	17.31	109.20
35	2.3	117	0.58	19.02	111.05
40	2.5	153	0.66	21.10	115.24

表3 上部结构梁型综合比选表

桥型方案	小箱梁	T型梁
结构受力性能	先简支后连续，结构受力性能较好，桥面行车舒适，35、40 m梁高相对较低，但病害较多	先简支后连续，结构整体受力性能好，桥面行车舒适，35、40 m梁高相对较高
施工方案	主梁采用现场预制，模板相对复杂，施工质量控制稍难。架桥机架设施工，吊装重量相对较大，运输及吊装设备要求相对较高。	主梁采用现场预制，模板较简单，施工质量较易控制。架桥机架设施工，吊装重量相对轻，运输及吊装设备要求相对低。
使用效果	部分预应力混凝土构件，小箱室结构，单箱稳定性好	正弯矩区为全预应力混凝土构件，耐久性好
综合评价	经济指标略好，建筑高度低，造型较美观，但施工难度相对大。	经济指标略高，建筑高度略高，但造型简单，工艺较成熟，使用效果好，较适合山区。

比较，两者上部结构经济指标T梁相对较高，T梁建筑高度略高，但造型简单，工艺较成熟，吊装重量相对轻，运输及吊装设备要求相对低，使用效果好。小箱梁建筑高度略低，造型较美观，但后期病害较多，吊装重量相对较大，运输及吊装设备要求相对较高。

罗八高速位于云南低山丘陵区，山峦起伏，沟谷狭窄，考虑地形、现场运输条件及有无景观要求，斜交角度均在0~30度区间，所以主线桥梁跨径>20m板梁结构首选推荐采用预制T梁，见图1。

### (二) 桥梁配跨设计

桥梁配跨关系到桥梁的造价。跨径和孔数不同，上部结构和墩台基础的总造价也不同。在桥梁长度确定后，跨径越大，孔数愈少，上部结构的造价就增大，而墩台的造价就减小，跨径愈小，孔数愈多，上部结构的

造价减小，而墩台的造价就增大。最经济的跨径就是要使上部结构和墩台基础的总造价最低，因此当桥墩较高或地质不良，基础工程较复杂而造价较高时，桥梁跨径就选得大一些；反之，当桥墩较矮或地基较好时，跨径就可选得小一些。桥梁跨径选择原则：(1) 桥梁的配跨应对结构受力有利；(2) 桥梁的配跨应避免基础施工费用无谓增加；(3) 桥梁的配跨应尽可能根据地形条件选用标准跨径。

桥梁配跨是个非常复杂的问题，各种各样的条件和要求往往相互矛盾。山区桥梁往往因桥墩高而增大跨度，从经济和美观的角度看都是合理的，但例如罗八高速K64+510二道箐1号桥首尾直接与隧道相接，并且附近地形没有预制40m T梁的场地空间，仅够30m T梁。考虑施工的可操作性，在地质条件允许的情况下，把此桥桥

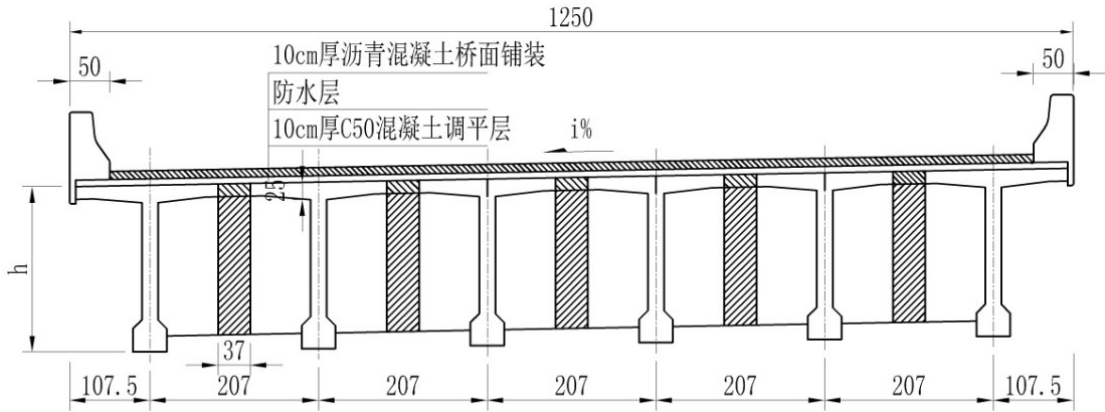


图1 组合T梁标准横断面图

孔全部调整为30m跨径更为合适，避免到施工阶段引起较大设计变更。所以设计人员应结合周边环境，地质条件，全方位考虑桥梁配跨。

桥墩增加与跨度增大的经济效果不同，在一定的高度范围内，桥墩增加后相应的单位混凝土造价有所降低，而跨度的增大会引起上部结构形式的改变、断面尺寸的增大、施工方法的改变和技术难度的增大。通常情况下，在没有通航要求，基础施工难度不大的情况下，从经济角度考虑，小跨度桥梁较大跨度桥梁有利。

(三) 下部结构选型设计

地形平坦地区桥梁基础高度主要受能否满足通行功能控制，山地丘陵区、河谷地区地形条件各异，总体高差较大，同一座桥梁桥墩相差也很悬殊。不同标准跨径下部结构型式比选的关键因素主要取决于桥墩型式的选择。根据桥梁高跨比的要求，桥墩型式主要采用有柱式墩（双柱、多柱）、Y形墩、矩形空心墩、矩形实体墩等，见图2。

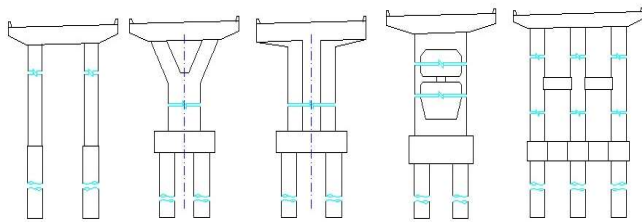


图2 下部结构标准横断面示意图

罗八高速桥位大多位于山区，且位移横向高差较大

的山坡上，通过对以往类似工程的桥型统计分析表明，当墩高小于40m时，柱式墩是最实用、最经济的桥墩型式，柱式墩工艺成熟，提升滑模施工快，与桩基础衔接性好；Y形墩虽外观俊美，但施工相对复杂，施工支架较多，工期长，需要设大体积承台，基坑开挖对自然环境破坏较大。因此，无景观要求时，墩高40m以下推荐采用柱式墩。墩高大于40m时，可采用空心薄壁墩、矩形实体墩增大墩身截面刚度，并且对墩身稳定性进行计算，确定桩柱式桥墩方案是否适合。经计算，罗八高速桥梁下部结构墩高 $h < 40\text{m}$ 时采用双柱式墩和桩基础，墩高 $h > 40\text{m}$ 时采用双矩形实体墩和群桩基础，桩柱直径见表4、表5。

各高墩及跨河桥梁，为提高基础的整体性，墩高 $h > 15\text{m}$ ，均设置有中系梁；水中墩当冲刷线距墩顶高度 $h > 6\text{m}$ 时设有底系梁，旱桥当墩高 $h > 7\text{m}$ 时设有底系梁。为保证单桥设计原则统一，中系梁要求现场实测地形后动态设计。

除此之外，为保证山区中小跨径桥梁的安全性，还应将抗震设计融入墩台结构设计中。(1)设计人员可在桥墩顶端结构中增设“减震阻尼装置”，控制桥墩结构的位移风险，使其抗震性能符合预期要求<sup>[3]</sup>。(2)若桥墩高度值较大，还应在桥梁结构上布设“限位装置”，预防桥梁结构位移所造成的落梁风险，例如罗八高速墩台盖梁设计里除了设置边挡块，每片梁的梁端两侧还设置了中挡块加弹性衬垫，限制上部结构纵向位移。

(四) 桥梁标准跨径选择

表4 双柱式墩桩柱直径选用表

墩高h (m)	跨 径 (m)											
	13、16		20		25		30		35		40	
	柱径 (m)	桩径 (m)	柱径 (m)	桩径 (m)	柱径 (m)	桩径 (m)	柱径 (m)	桩径 (m)	柱径 (m)	桩径 (m)	柱径 (m)	桩径 (m)
<10	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.5	1.4	1.5			1.5	1.6
10~15	1.3	1.5	1.3	1.5	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.8	1.6	1.8
15~20			1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8	2.0	1.8	2.0
20~25			1.6	1.8	1.6	1.8	1.8	2.0	2.0	2.2	2.0	2.2
25~40			1.8	2.0	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.0	2.2

表5 双矩形实体墩桩柱直径选用表

墩高h (m)	跨径(m)							
	30				40			
	墩顶横宽 (m)	墩顶纵宽 (m)	纵向变厚比例	群桩桩径(m)	墩顶横宽 (m)	墩顶纵宽 (m)	纵向变厚比例	群桩 桩径(m)
40~50	1.8	1.8	1: 80	1.8	1.8	2.0	1: 80	1.8
50~60	1.8	1.8	1: 80	1.8	1.8	2.0	1: 80	1.8
60~70	1.8	2.0	1: 80	2.0	1.8	2.2	1: 80	2.0
70~80	1.8	2.0	1: 80	2.0	1.8	2.2	1: 80	2.0
80~90	1.8	2.0	1: 80	2.0	1.8	2.2	1: 80	2.0

桥梁标准跨径比选取决于桥梁跨高比、地形地质条件、设计施工经验、地区的习惯做法、施工条件、桥梁景观要求等。例如，针对罗八高速项目特点，在跨越要求满足的前提下，影响标准跨径选择的主要影响因素为桥梁墩高。

跨径越大，孔数愈少，上部结构的造价就增大，而墩台的造价就减小，跨径愈小，孔数愈多，上部结构的造价减小，而墩台的造价就增大。最经济的跨径就是要

使上部结构和墩台基础的总造价最低，因此当桥墩较高或地质不良，基础工程较复杂而造价较高时，桥梁跨径就选得大一些；反之，当桥墩较矮或地基较好时，跨径就可选得小一些。

例如罗八高速位于山区或低山丘陵区，山峦起伏，沟谷狭窄，墩高变化幅度较大，初步设计阶段根据不同墩高对25m、30m、40m、50m跨径T梁进行经济指标比选，具体比选数据见表6。

表6 各跨径经济指标比选表

某一段桥长150 m，宽12.5 m		6×25 m (T梁)，平均墩高15 m	5×30 m (T梁)，平均墩高15 m
建安费	元/平方米桥梁面积	4119.5元/m <sup>2</sup>	4134.8元/m <sup>2</sup>
比例		1.000	1.004
某一段桥长120 m，宽12.5 m		4×30 m (T梁)，平均墩高35 m	3×40 m (T梁)，平均墩高35 m
建安费	元/平方米桥梁面积	5307.4元/m <sup>2</sup>	5678.5元/m <sup>2</sup>
比例		1.000	1.070
某一段桥长120 m，宽12.5 m		4×30 m (T梁)，平均墩高40 m	3×40 m (T梁)，平均墩高40 m
建安费	元/平方米桥梁面积	8028.1元/m <sup>2</sup>	7570.5元/m <sup>2</sup>
比例		1.060	1.000
某一段桥长200 m，宽12.5 m		5×40 m (T梁)，平均墩高50 m	4×50 m (T梁)，平均墩高50 m
建安费	元/平方米桥梁面积	8152.5元/m <sup>2</sup>	8939.6元/m <sup>2</sup>
比例		1.000	1.097

比选综述：(1)跨径选择需考虑各种典型墩高情况下综合经济性；(2)需考虑景观通透性，桥梁跨径/墩高比例应合适、均衡；(3)山丘陵区，桥位大多在山坡上，跨径过小会导致下部结构墩台增多，对山体周围环境破坏增加，且增加施工工期；(4)考虑到施工架设、运输的实际条件，桥梁经济指标相差不大的情况下，桥梁跨径不宜超过40米。

综合考虑：无特殊跨越要求情况下，墩高小于30m，推荐30mT梁，墩高大于30m，推荐40mT梁，对于互通区平曲线半径较小时，考虑大跨径T梁布梁受限，采用20m。

#### 四、结语

综上所述，为建设高质量山区高速公路桥梁工程，相关人员在设计山区高速公路中小跨径桥梁时，应坚持以“桥梁安全性、合理性、耐久性”为基础的设计原

则。同时在桥梁上部结构选型设计、桥梁配跨设计、下部结构选型设计、标准跨径选择中综合考虑山区环境因素、施工便捷性，明确桥梁结构设计要点，使其荷载值、抗震性能符合山区高速公路桥梁建设要求。从而在复杂山区环境中，增强中小跨径桥梁安全性能，提升桥梁工程整体建设质量，为我国山区高速公路交通系统的进一步健全奠定基础。

#### 参考文献

- [1]刘亚平.高速公路中小跨径桥梁加宽设计核心分析[J].人民交通,2020(09):12-16.
- [2]苏斌.山区城市立交桥梁设计分析[J].交通科技与管理,2020(09):72-78.

作者简介：吴浣杭(1981-)，男，江苏昆山人，工程师，从事桥梁设计研究。