

# 连续刚构桥单薄壁桥墩与双薄壁桥墩比较分析

吕士军

天津城建设计院有限公司第六分公司

**摘要:** 连续刚构桥在竖向荷载作用下, 梁的弯矩通常比同等跨径连续梁或简支梁小, 其跨越能力大于普通梁桥。因此, 预应力混凝土刚构桥是目前大跨径桥梁的主要桥型。连续刚构桥桥墩常用型式有双薄壁墩与单薄壁墩两种型式。文中对西藏某三跨连续刚构桥的桥墩型式进行了比较分析。本桥的设计与建成为同类桥梁的建设提供一定经验和借鉴。

**关键词:** 刚构桥; 双薄壁墩; 单薄壁墩; 结构设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.051

## 引言

刚构桥包括T型刚构桥, V型刚构桥, 斜腿刚构桥等<sup>[1]</sup>。刚构桥的主要承重结构是梁与桥墩固结的刚架结构, 由于墩梁固结, 使得梁和桥墩整体受力, 桥墩不仅承受梁上荷载引起的竖向压力, 还承担弯矩和水平推力<sup>[2]</sup>。刚构桥在竖向荷载作用下, 梁的弯矩通常比同等跨径连续梁或简支梁小, 其跨越能力大于梁桥<sup>[3]</sup>。连续刚构桥桥墩常用型式有双薄壁墩与单薄壁墩两种型式, 两种型式桥墩的结构内力分布有各自的特点。

连续刚构桥是墩梁固结的一种结构, 为超静定结构。其墩身的截面形式、截面尺寸、墩高等对连续钢构的上、下部有较大的影响, 桥墩和梁体的相对抗弯刚度影响整体的内力分配。墩身的内力与桥墩顺桥向抗推刚度有关, 在温度变化、混凝土收缩徐变、汽车制动力等荷载的作用下, 墩顶将产生顺桥向水平位移和转角位移, 同时在梁体上产生不附加弯矩。选择合适的墩柱形式, 可使桥墩具有较大的抗弯刚度以改善梁体内力分布, 满足墩顶纵向位移的限值要求; 同时尽量减少桥墩的抗推刚度, 满足梁体纵向全桥的纵向变形, 减少纵向变位产生的次内力; 形成较大的抗扭刚度以平衡侧向风载等引起的扭转作用。常见的连续刚构桥一般采用单薄壁桥墩与双薄壁桥墩两种形式。

连续刚构桥单薄壁桥墩与双薄壁桥墩的区别主要在于结构形式和性能。单薄壁墩一般采用箱形截面, 具有较好的抗扭性能和抗推能力, 但柔性一般不如双薄壁墩, 单随着墩身高度的增加, 单薄壁墩的柔性逐渐增强, 允许的纵向变位增大。双薄壁墩则可以增加桥墩刚度, 同时其抗推刚度小使桥墩纵向允许的变位大, 减小主梁墩顶负弯矩, 使结构内力分配更趋合理, 也可以减小墩顶截面尺寸, 充分发挥材料的受力性能。

本文以西藏某三跨连续刚构桥的桥墩型式为例, 对单薄壁桥墩与双薄壁桥墩选型进行分析比较。

## 一、项目概况

桥梁桥型为三跨连续刚构桥, 跨径布置为45m+80m+45m, 桥梁总长173.5米, 总宽23m。桥梁上跨澜沧江, 道路设计中心线与河道中心线基本正交。该桥是连接生格村和农科所及达因卡片区的重要交通枢纽工程。

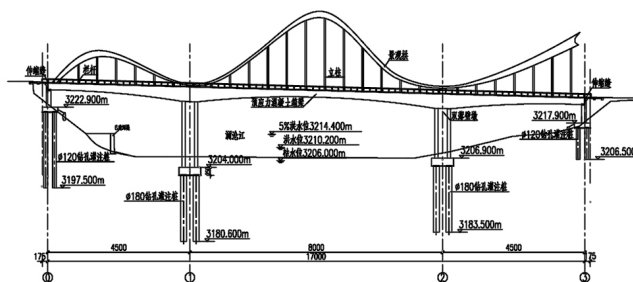


图1 桥型立面图

## 二、结构设计

### (一) 上部结构设计

桥梁上部结构主梁为变截面预应力混凝土箱梁, 上下行分幅设置, 每幅桥桥面宽10.75m, 梁底宽5.75m, 道路横坡利用箱梁顶板结构找坡, 箱梁底板水平。

每幅桥主梁共有两个0号块, 0号块与桥墩刚接。0号块浇筑完成后, 采用挂篮施工工艺对称悬浇其他梁端, 采用吊架施工方法施工主梁跨中合拢段和边跨合拢段, 采用落地支架法浇筑边跨现浇梁端。0号块梁长10m, 1~6号梁段长度均为3m, 7~10号梁段长度均为4m。边跨现浇梁段长3.92m, 中跨及边跨的合拢段长度均设计为2m。挂篮施工时, 悬臂浇筑梁段的最大设计重量为950kN。

主梁边跨梁端及主跨跨中梁高为2m, 墩梁固结处梁高为4.5m梁底以二次抛物线型式渐变梁高。箱梁顶板厚度通长设计为28cm。箱梁底板厚度以二次抛物线型式渐变, 在墩梁刚接处, 箱梁底板厚度为80cm, 在边跨跨中及主跨跨中处, 箱梁底板厚度为30cm。边跨10号梁段与现浇梁段、0~5号梁段腹板厚度为70cm, 边跨9号梁段、6号梁段腹板厚度为70~50cm渐变段, 中跨7~10号梁段、边跨7~8号梁段以及合拢段为50cm。

综合考虑箱梁受力及变形要求, 每幅桥墩顶及中跨跨中箱梁内设置了横隔板。在每道横隔板处及边跨现浇箱梁底板中央均设置了人孔以满足施工和管理的需求。为了降低箱室内外温差在每个梁段两侧腹板中间各设置一个直径8cm的通气孔。

(二) 下部结构设计

(1) 桥台

边墩桥台采用桩基接承台接一字立墙型式，宽1.5m，立墙顶横坡随桥面横向坡度进行设置；承台采用矩形承台，宽5m，厚1.5m，桩基采用双排直径1.2m的钻孔灌注桩，边桥台共18根，其中0号桥台桩长24m，3号桥台桩长10m。

(2) 中墩

经方案对比分析后，中墩采用桩基接承台接双薄壁实体墩的形式，单墩墩身厚度为1.0m，宽5.75m，墩身顺桥向净距3m。在墩柱的迎水侧，设置钢筋混凝土防撞设施。墩柱承台为6.9m×2.5m的矩形承台，承台下设置φ1.8m的钻孔灌注桩。

三、主墩型式比选

位于山区或者峡谷内的连续刚构桥通常墩柱都较高。高墩的设计不仅要考虑桥梁成桥状态下的内力，而且要考虑施工阶段各种工况下结构的内力以及结构稳定性。目前国内已经建立了大量大跨径高墩柱连续刚构桥，这些已建的连续刚构桥大多采用双薄壁墩或者单薄壁墩，双薄壁墩的应用比单薄壁墩更为广泛<sup>[4]</sup>。连续刚构桥高墩的设计需要考虑以下因素：

- (1) 为了适应桥梁上部结构由于温度、混凝土收缩徐变引起的变形，桥梁纵向设计需有一定的刚度。
- (2) 桥墩的抗弯刚度与抗扭刚度应设计的较为合适，以保证施工阶段各个工况下的稳定性与安全性。
- (3) 应尽量将墩柱的横向刚度设计的较大以抵抗横风荷载并减小车辆偏载引起的结构变形。
- (4) 为了降低风荷载对桥梁结构的影响，墩柱横向迎风面积及形状设计应合理。
- (5) 应综合考虑抗震要求及地质条件设计桥墩纵向刚度，对于场地条件较好的，应将桥墩纵向刚度设计的较柔一些。

因为双薄壁墩具有顺桥向刚度相对较小的特点，对桥梁顺桥向变形适应性较强，所以该型式桥墩较广泛的应用于墩高50m以内连续刚构桥。与单薄壁桥墩相比，双薄壁墩具有以下优点：

- (1) 在适应体系温度、混凝土收缩徐变能力相同，纵向抗推刚度相同的情况下，可以提供一定的抗弯刚度以抵抗悬臂施工阶段不平衡荷载。

(2) 既可以通过调整双薄壁墩的单肢截面尺寸、系梁间距、系梁截面等方法调整桥墩纵向抗推刚度，也可以通过在施工阶段设置临时系梁、调整桥墩的纵向抗推和抗弯刚度，从而使桥墩符合各个阶段的受力需求。

(3) 双肢墩有更小的横向迎风面积和风载体型系数，该特性使其更适用于抵抗山谷横向风荷载。

对于高度大于50m的单肢截面墩柱，其一般采用空心截面。该种截面类似于两个单薄壁空心墩，施工难度和造价都相对较高。如果采用双薄壁桥墩，也需增加单肢截面的尺寸。单肢箱形截面既有较大的抗弯、抗扭刚度，又有较大的纵向抗推刚度。该特性在施工阶段中比较有利，可以更好的抵抗施工阶段不平衡荷载。但在后期运营阶段，在温度以及混凝土收缩徐变作用下，结构会产生很大的内力。墩柱及基础均处于不利受力状态，需配置较大的截面尺寸以及钢筋量，从而造价提高，经济性下降。

(一) 施工阶段要求

滑模和爬模施工工艺是高墩施工时常用的两种工艺。为了适用滑模和爬模施工工艺，桥墩应采用较为简洁的造型。相比于双薄壁墩，单薄壁墩施工更方便。主梁挂篮悬浇施工过程中，在最远端梁体完成挂篮施工时是结构稳定性最低的工况。在此工况下，单薄壁墩的安全性一般要比双薄壁墩的安全性强。由于单薄壁墩的抗扭刚度比双薄壁墩的抗扭刚度大，施工阶段在横风作用下，单薄壁墩的抗风能力更强。对于双薄壁墩，可以通过设置临时连接构造以增强其抗扭刚度，从而增大抗风安全性。

(二) 施工阶段验算

施工中发生的荷载一般包括：

- (1) 主梁不均匀性：最大悬臂工况，一侧按理论重量的1.05倍考虑，另一侧按0.95倍计算；
  - (2) 不平衡施工荷载：机具、材料及施工人员，考虑为2kN/m<sup>2</sup>；
  - (3) 最大悬臂工况，不同步施工，一侧浇筑50%节段，一侧为100%节段；
  - (4) 一侧挂篮、现浇段坠落，冲击系数考虑为2.0；
- 荷载组合1： (1) + (2) + (3)  
荷载组合2： (1) + (2) + (4)

表1 施工阶段内力表

桥墩形式	部位	组合1				组合2			
		弯矩 (kN*m)	轴力 (kN)	弯矩 (kN*m)	轴力 (kN)	弯矩 (kN*m)	轴力 (kN)	弯矩 (kN*m)	轴力 (kN)
双薄壁墩	墩顶	489	-1624	215	21041	1078	-21021	843	40828
	墩底	299	1265	612	23277	896	-18786	964	43064
单薄壁墩	墩顶	46032	19417	/	/	125622	19806	/	/
	墩底	46055	23185	/	/	125643	23574	/	/

表2 施工阶段验算

桥墩形式	部位	组合1				组合2			
		承载能力	裂缝 (mm)	承载能力	裂缝 (mm)	承载能力	裂缝 (mm)	承载能力	裂缝 (mm)
双薄壁墩	墩顶	满足	0.018	满足	0.052	满足	0.142	满足	0.087
	墩底	满足	0.003	满足	0.046	满足	0.126	满足	0.09
单薄壁墩	墩顶	满足	0.137	/	/	不满足	0.515	/	/
	墩底	满足	0.122	/	/	不满足	0.499	/	/

(三) 成桥适用性

双薄壁墩是由两个平行的混凝土薄壁墩与主梁固结而成，其与主梁构成的刚接节点抗弯刚度大，但抗推能力较弱。因此，此种结构能够允许上部结构有较大的顺桥向位移，可以降低主梁墩顶负弯矩，使结构整体内力分布更均匀合理。对于单肢墩，主梁在墩顶处一般会出现较大的负弯矩峰值。对于双薄壁墩，每个墩位对主梁有两个支点，主梁在此处的负弯矩会被削峰，负弯矩最大值会比单肢墩小很多。因此采用双薄壁墩时，主梁在墩梁固结处的梁高可以做的更低，结构更轻盈优美<sup>[4]</sup>。

一般情况下，单薄壁墩比双薄壁墩抗推能力强、抗扭强度高，柔性不如双薄壁墩，允许桥梁顺桥向的变形量较小。但随着墩高增加，单薄壁墩的柔性也随之增

大。因此，当墩身高度很高时，采用单薄壁墩做为墩柱型式更合理。

连续梁采用墩梁固结，可以降低主梁在墩柱处的负弯矩峰值，因此上部结构内力分布更均匀。在工程体量相同的情况下，双薄壁墩由于在一个墩位存在两个支点，主梁各跨净间距减小，主梁内力也随之减小，上部结构更经济。

(四) 抗震性能验算

连续刚构桥桥墩与主梁刚接，地震发生时，桥墩会全部承受上部结构的地震力。因此，桥墩的型式及力学性能直接决定了全桥的抗震能力。

E2地震作用下，本桥采用双薄壁墩和单薄壁墩时，分别计算提取了墩顶及墩地的内力和位移，结果如下表所示。

表3 E2地震作用下桥梁内力及位移

桥墩形式	部位	内力				位移	
		弯矩 (kN*m)	轴力 (kN)	弯矩 (kN*m)	轴力 (kN)	顺桥向 (mm)	横桥向 (mm)
双薄壁墩	墩顶	11831	902	12723	19234	123	26
	墩底	11891	3016	12406	21293	/	/
单薄壁墩	墩顶	76159	24544	/	/	43	24
	墩底	82705	28041	/	/	/	/

由表中数据对比可见，双肢薄壁墩比单薄壁墩更柔，对变形的适应性更强。地震作用下，采用双薄壁墩时梁及墩顶位移均比采用单薄壁墩时大，主梁的轴力、面内弯矩、轴力均比采用单薄壁墩时小。

(五) 结论

由上文对比内容可见，本桥采用双薄壁墩时，主梁及桥墩内力分布更合理。双薄壁墩的顺桥向抗推刚度远小于单薄壁墩，能有效的减小温度、混凝土收缩徐变、顺桥向地震力等因素的影响。在横向抗扭能力方面，双薄壁桥墩远远大于单柱式桥墩，能够满足横向抗风要求，增加施工的安全性。

结语

连续刚构桥桥墩常用型式有双薄壁墩与单薄壁墩两种型式，本文以西藏某连续刚构桥为对象，对比分析了两种墩型下桥梁各项指标。总结出在高墩连续刚构桥设计中，双薄壁墩是一种相对较好的桥墩形式，其抗弯、抗推、抗扭刚度均有利于改善桥梁结构的整体受力。本

文分析了两种形式桥墩的施工阶段受力、成桥适用性及抗震性能，研究内容可为同类型桥梁的设计和建设提供一定经验和借鉴。

参考文献

[1] 伍祖涛. 连续刚构桥桥墩单、双肢构造形式的对比选择[J]. 科技与企业, 2014 (02): 197.  
 [2] 何飞宾, 白蓉蓉. 大跨度预应力混凝土连续刚构桥设计参数分析[J]. 山西建筑, 2014, 40 (35): 192-194.  
 [3] 杨应春, 肖洪宇. 连续刚构桥双薄壁墩与空心墩的内力比较[J]. 山西建筑, 2015, 41 (11): 170-171.  
 [4] 贾伟红, 张志平. T型刚构桥桥墩型式选择[J]. 公路, 2008 (07): 186-189.

作者简介: 吕士军 (1973.11-), 男, 安徽省阜阳市人, 研究生, 天津城建设计院有限公司第六分公司, 高级工程师, 研究方向: 道路桥梁工程。