

文章编号: 1002-0268(2006)04-0074-03

# 体外预应力加固法加固双曲拱桥的应用

魏洪昌

(交通部公路科学研究院, 北京 100089)

摘要: 某净跨径 34 m 的双曲线, 运营近 20 年检查发现拱顶下沉达 12 cm, 拱顶和拱脚开裂严重, 裂缝最大宽度最大达 8~10 mm, 必须进行加固处理。根据对该桥的检测评价情况, 结合病害和承受繁重交通的限制条件, 采用体外预应力进行加固。加固后的荷载试验表明承受能力得到恢复, 取得了较好的效果, 为双曲拱桥拱顶下沉、拱脚开裂病害的自治提供了一种新的思路。

关键词: 主拱圈; 裂缝; 体外预应力

中图分类号: U448.22\*1

文献标识码: A

## Application of External Pre-stress to Reinforce The two-way Curved Arch Bridge

WEI Hong-chang

(Research Institute of Highway, the Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: After operating 20 years, when a double curved arch with 34 m clear span was checked, it was found that arch apex settles 12 cm and arch apex and arch springer cracks. The biggest width of crack reach 8~9 mm. They must be strengthened. According to the detection evaluation, damage and limited condition of heavy traffic, the method of external prestress is used to strengthen the bridge. After consolidation the load test shows that the bearing capacity resumed obviously. It gets better effect and provides a new method to damage disposal of double curved arch.

Key words: the two-way curved arch bridge; the main arch ring; crack; external pre-stress

### 0 概述

该桥为 2 孔 34 m 双曲拱桥, 下部为钻孔灌注桩基础 (衡阳台为扩大基础), 混凝土桥墩, 浆砌块片石组合式桥台, 始建于 1969 年。修建不久, 即发现拱顶下沉, 尤其祁东岸一孔, 拱顶下沉较大, 1988 年检测时下沉量为 12 cm, 拱顶下缘拱肋 (从左 L/4 至右 L/4 开裂, 5 条肋分别有 20~26 道裂缝, 总宽度达 40 mm, 其中以中间 3 条肋裂缝较宽, 达 8~9 mm, 主拱脚背面有 1 条几毫米宽的裂缝。

为了对该桥技术状况进行了解, 加固前进行了静载检测, 包括实际拱轴形状丈量、沉降观测、裂

缝观测和混凝土强度检测等。检测完后再根据实测的拱轴形状, 以汽-15、挂-80 进行了内力验算。按原设计容许应力法验算表明, 拱顶下缘拉应力达 25.5 kg/cm<sup>2</sup>, 拱脚下缘压应力达 143.6 kg/cm<sup>2</sup>, 均超出容许值。另外实测数据说明, 墩台基础沉降已基本趋于稳定。

### 1 加固方案的选定

拱桥加固因桥而异, 不可能有统一格式, 主要有以下几种方法:

(1) 用增大结构受力截面或补强, 即在主梁或拱肋外加筋, 再包裹混凝土, 或增加新的梁或拱肋,

收稿日期: 2005-11-09

作者简介: 魏洪昌 (1964-), 男, 河北沧州人, 副研究员, 从事桥梁加固方面的研究。(hc.wei@rioh.cn)

共同受力;

(2) 用外部预应力加强上部结构或下部结构,施加推力或拉力;

(3) 改变桥梁结构体系,由拱式改为梁式或拱梁结合;

(4) 用箍套或灌浆法加固墩台,在开裂的墩身上加钢筋混凝土箍套,或对墩台空隙压灌水泥砂浆;

(5) 用喷锚或压注环氧树脂等修补裂缝或补强截面;

(6) 用抛石压浆或加桩法加固桥梁基础;

(7) 用环氧树脂粘贴钢板或钢筋补强。

双曲拱桥施工时是“化整为零”,承受荷载是“集零为整”,当上部结构产生多种裂缝后,即破坏了其整体性,又变成了松散结构。以往对双曲拱桥的加固工作,无论是增强板向联系,还是修补裂缝、补强截面,都是为了恢复其整体性,提高承载能力。

主拱圈属于偏心压力结构,虽然设计时尽量使拱轴线与压力线重合,但由于荷载等因素影响,仍然会产生偏心压力,所以一般情况下,主拱圈拱顶下缘、拱脚上缘受拉,容易产生裂缝。据由预应力钢筋混凝土桥梁设计原理,可以在双曲拱主拱圈受拉边相应施加预压力。对需要加固的双曲拱桥而言,即相应于后张法施工的双曲拱主拱圈构件。

由于大多数双曲拱主拱圈形状是悬链线或抛物线,而钢筋要布置成圆滑的曲线,并且张拉受力十分困难。为了解决这一困难,可以在主拱计算控制截面受拉边,即拱顶截面下缘和拱脚截面上缘。按折线布置预应力筋,转折点可设于空腹式拱的腹孔内,两端借助于桥台和拱脚进行锚固。

对于交通繁忙,目前仍在通车的双曲拱桥,上述方法可以显示出优越性,因为桥面下打眼、穿索或喷射混凝土时,桥面仍可维持通车。只在必要时中断交通,可将行车干扰减少到最低限度。

双曲拱主拱圈径向裂缝是最普遍的疾病,这些裂缝的发展对承载能力的影响极大,上述方法正是针对径向裂缝的治疗。初步设计预算表明,本法比补强拱肋等要节省经费10%~20%,且使用劳力较少。

根据对双曲线拱桥设计计算的特点可知,拱顶下缘拉应力和拱脚下缘的压应力较大,属于2个控制截面。如何能同时使拱顶截面下缘应力改善和拱脚截面中性轴上移,这是改变结构受力的需要。近年来,我国桥梁结构采用预应力已经较为广泛,体外预应力用来加固梁桥也有所见,但将体外预应力应用于双曲拱桥加固,则属首次。因为,拱式结构

不像梁式受力简单,需要十分细致和大胆尝试,然后才能总结推广。在考虑施工方案和受力计算中,合理确定拱的应力作用位置、大小、锚固方式、施工操作可能性及拱脚截面、拱上横梁新老混凝土连接等一系列问题,是设计计算的关键。经反复计算论证比较,提出体外预应力加固双曲拱桥上部构造,该工艺结构形式新颖,工程造价节省,稳定性好,耐久性好,属国内首创。主要设计构思见图1。

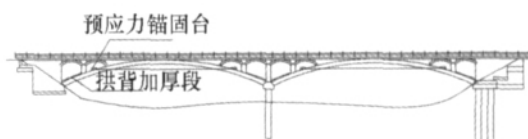


图1 体外预应力加固示意图

Fig.1 Sketch map of reinforcement using external pre-stress

## 2 方案的优点

(1) 用体外预应力加固双曲线拱桥,免去了桥面开挖,不需要肋下灌注混凝土而必须搭设满堂支架,大大节省了投资和工作量。本桥用体外预应力方案与增加拱肋截面方案相比较,前者费用仅是后者的40%左右;若按新修一座桥梁计算,体外预应力加固只需其费用的15%~10%。国外一般认为,旧桥加固若只需新修桥梁费用的50%,即是合算的,可见体外预应力加固费用十分低廉,若能获得推广,其社会经济效益将是十分可观的。

(2) 由于桥面只作少量填补工作,避免了重新修渡口或临时便道,没有给行车运营带来干扰,大大地减少了临时工作量。这不仅节省了大量费用,而且不妨碍交通,也带来了十分明显的社会效益。

(3) 施工操作条件比其他加固方式优越,不需要大量的模板制作安装,混凝土灌注作业从上往下,质量好控制。没有大量的混凝土凿除,只需电锤和风枪打眼,并都在空腹拱内操作,安全感好。由于采用了单索钢绞线张拉,施工机具少,作业场地小,能节省大量机具费、人工费。

(4) 采用PE热挤钢绞线,可以有效地防止钢绞线锈蚀,延长其使用寿命。由于是单股钢绞线张拉,又是体外索,换索操作很方便,不存在使用年限的制约。在施工中如果多预留孔道还可增减预应力索来调整结构受力,完全可以人为控制应力,对设计施工带来方便。此方法不仅对双曲线拱桥可以采用,对其他形式的拱桥也可以采用,应用十分广泛。

(5) 本方法通过理论计算,在具有充分的理论根据基础上,构思巧妙,形式新颖,所加预应力和

普通钢筋位置，恰到好处，适应了不同材料的性能要求，仅用较少的材料，即获较大的受力效应，因而大大节省了用钢量。

( 9 ) 用体外预应力加固双曲拱桥上部结构，挖掘了非控制截面的潜力，补强了控制截面的承载能力，因而最大限度地使用了材料受力性能。而且此方法不需开挖桥面，在施工加固期间不必中断交通，对于交通繁忙的干线公路，意义十分重大。由于预应力张拉及混凝土浇筑均在空腹拱内进行，能节省大量支架及模板，且工作安全可靠。

3 施工工艺要点和要求

体外预应力采用高强钢丝和 Ⅱ 级螺纹钢，预应力加力方法可以采用多种形式，视加固桥梁实际情况予以确定。为了防止钢筋生锈，水平高强钢丝可参照斜拉索的形式，用注塑机注塑外裹；拱脚 Ⅱ 级钢筋则可用混凝土保护层保护，与原主拱圈拱板连成整体。对加强主拱圈强度十分有利。

在施工加固过程中，必须注意腹孔预应力筋转向接头部位台下的压力，防止主拱圈失稳；同时必须验算此截面处主拱圈的抗剪强度。

4 加固效果评价

通过加固前后的静载检测和裂缝观测，其加固效果十分明显。

( 1 ) 加固前后均采用同种车型 ( 2 辆黄河牌货车 )、相同重量 ( 40 t 加固后实际超重 3%，达 41 t 多 )、同一位置 ( 在拱顶正中 2 车相对而行 ) 加载。加固后实测拱顶挠度比加固前平均减少 52.7%，四分点减少 65.3%，效果很好。从计算挠度值对比看，加固后的实测挠度仅为计算值的 1/3 左右，见表 1。在加固检测中还发现，卸载后拱顶产生较大回弹 ( 拱顶上升 )。因为，预应力索使拱顶下缘承受压应力，并达到了预期效果。

表 1 加固后静载实测挠度与设计计算挠度值

Tab.1 Deflection of static load and calculation after reinforcing

加载重量/t	量测部位	实测平均值/cm	计算值/cm
40	拱顶	1.84	5.43
	1/4 (祁东)	0.51	1.87
	1/4 (衡阳)	0.35	1.18

( 2 ) 从拱顶应变变化可以看出，加固前拱顶下缘为拉应力 ( 由于应变片只能粘贴于裂缝之间，裂

缝之间较大的拉应变无法测出 ) 加固后，应变片粘贴于同一位置，拱顶下缘出现了压应力 ( 个别出现拉应力，其值很小 )，而且卸载后，拱顶下缘压应力继续增大，与挠度变化相对，证明预应力已完全起作用，见表 2。

表 2 加固前后拱顶下缘实测应变

Tab.1 Limbus strain of the arch crown before and after reinforcing

荷载/t	肋号	加固前	加固后
30		7	- 18
		9	- 9
		14.5	0
40		10	- 7
		12	- 4
		20	8

注：正号为拉，负号为压。

( 3 ) 通过预应力张拉，原有裂缝宽度有所收缩。在张拉前，专门对任选裂缝和 1 条肋的全部裂缝进行了标记和观测；张拉后对同一位置再次观测发现，所有裂缝宽度均有所回缩，其中 9 号肋的全部裂缝被观测，经计算，该肋总裂缝宽度从 9.49 mm 减为 6.61 mm，回缩量为 30.3%。估计在运营中，由于预压应力的作用裂缝还有可能回缩。

( 4 ) 张拉前后，从水准基点引出高程对拱顶有标记部位进行了水平测量，经比较，预应力张拉后，拱顶平均上升达 2.35 cm，估计运营一段时间后，拱顶还有可能少量上升。在设计中，为避免拱顶上挠太大，不能施加过大的预应力，其详细数据见表 3。

表 3 预应力钢索张拉前后拱顶高程

Tab.3 Elevation of the arch crown before and after reinforcing prestressed cable

测点	张拉前标高	张拉后标高	高差 (上升为正)
A	98.269	98.302	0.033
B	98.286	98.310	0.024
C	98.230	98.250	0.020
D	98.215	98.232	0.017

参考文献：

[1] 顾懋清，石绍甫，陈祥宝．公路桥涵设计手册 (上册) [M]．北京：人民交通出版社．