

# 路桥过渡段楔形柔性搭板处治技术

俞永华<sup>1,2</sup>, 谢永利<sup>2</sup>, 杨晓华<sup>2</sup>, 张宏光<sup>2</sup>, 李新伟<sup>2</sup>

(1. 中国公路工程咨询监理总公司 北京市 100101; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064)

**摘要:** 介绍了一种新型的桥头跳车处治方法——楔形柔性搭板处治技术, 系统阐述了该种方法的加固机理、技术特点、结构型式和施工工艺, 并将其应用于靖王高速公路砂性黄土填料的台背跳车处理中。工程实践表明, 楔形柔性搭板能明显提高砂性黄土填料的整体性和强度, 增强路基的刚度; 同时, 能较好地协调桥台和路堤的沉降差, 防治桥头跳车病害的发生。且大大减小工程造价, 经济效益明显。

**关键词:** 路桥过渡段; 楔形柔性搭板; 土工格室; 砂性黄土; 桥头跳车

土工格室是一种新型的三维土工合成材料, 目前广泛应用于软基处理、坡面防冲、城市大型管道支撑和沙漠路基修筑等工程, 效果良好。但应用土工格室组成楔形柔性搭板处治桥头跳车在国内尚属首次, 并已在国道312线柳忠高速公路, 厦门五显一桥, 平遥惠济河桥等桥台跳车处理中得到成功应用, 取得了明显的经济效益和社会效益。

楔形柔性搭板是利用土工格室加固层新颖的立体结构和独特的加固机理, 形成整体性好、刚度较大的柔性结构层, 采用模量渐变原理, 同时考虑地基和路基两部分沉降因素, 在路桥过渡段设置楔形加固区, 柔性结构层一端固定于桥台, 另一端与路基相连, 实现刚性桥台与柔性路基模量的平稳过渡, 消除过大的差异性沉降, 形成平缓的沉降过渡段, 达到防治桥头跳车之目的。

## 1 楔形柔性搭板的技术要点

(1) 根据台背填土高度, 采用焊距为40 cm、高度为10 cm或15 cm规格的土工格室作为加筋材料, 格室中充填满足路基填筑要求的填料, 经机械压实后, 在楔形区形成一定间距的多层柔性搭板结构层, 提高该区的路基模量, 实现路桥过渡段模量的刚柔平稳过渡;

(2) 柔性搭板采用上密下疏, 上长下短的楔形布置形式, 布置间距在1~2 m之间, 由下而上的斜率缓于1:1;

(3) 在桥台混凝土圬工体上, 按一定间距布置“门”型连接件, 采用 $\phi 10 \sim \phi 12$ 的防腐锚钉与桥台锚固;

(4) 在顶层柔性搭板与桥台连接部位, 紧靠柔性搭板层, 设置柔性支撑(亦称“牛腿”支撑)结构层;

(5) 采用专用连接件使柔性搭板结构层与桥台固定连接, 以严格控制刚性桥台与柔性搭板结构层之间的差异性沉降, 如图1所示。

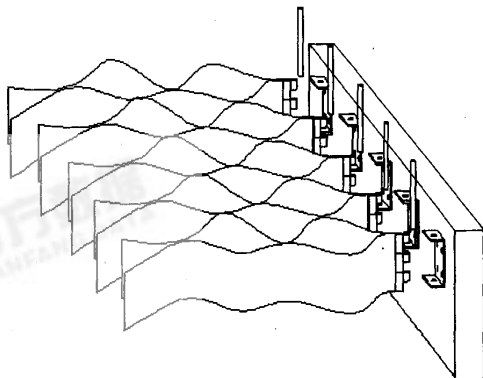


图1 柔性搭板锚固方式

## 2 楔形柔性搭板的结构型式

柔性搭板布置按桥台类型(重力式、桩柱式、肋板式)的不同而分为3种基本型式, 如图2所示。重力式桥台中各层土工格室均固定于台背上, 肋板式和桩柱式桥台无法固定于台背的土工格室层伸入锥坡

中一定长度,台背布置层数的确定视路堤填高和地基状况而定。

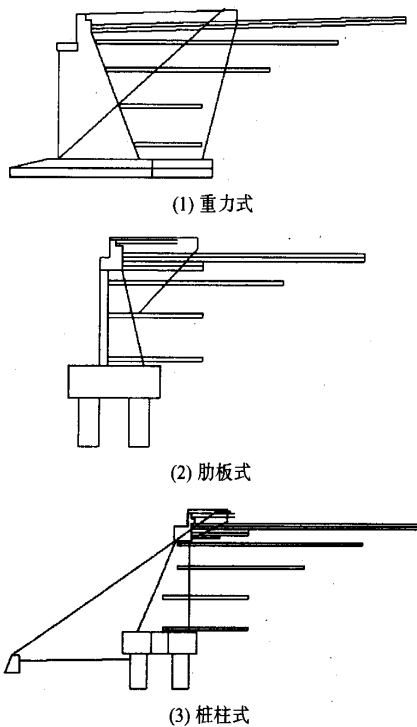


图2 楔形柔性搭板结构型式

### 3 施工工艺

要保证柔性搭板处治方法的成功,施工保障是必不可少的。同时柔性搭板作为一种新方法,现行规范中没有相应的施工要求,国内外也没有类似施工经验可以参考。本文在多个实体工程实践的基础上,总结了一套行之有效的施工工艺。

#### 3.1 柔性搭板施工流程

柔性搭板施工工艺流程为:

土工格室材料检查验收→整平地面并振压→安装土工格室与台背固定件→张拉铺设土工格室→装载机或汽车填料→推土机初平填料→人工挂线整平填料→压路机碾压→检查验收。

#### 3.2 柔性搭板施工要求

##### 3.2.1 施工设备要求

为了保证台背填料的充分压实,施工单位除准备一般路堤填筑所必需的压实机械外,还应准备足量和性能适宜的小型振动压实设备和打夯设备,以保证边角的压实度达到设计和规范要求。柔性搭板处治台背回填所需工具见表1。

表1 柔性搭板施工所需工具

机具	射钉枪	汽车	墨斗	墨汁	钢卷尺	打夯机	φ6 钢纤	射钉	扳手	钳子
	把	辆	只	瓶	把	台	根	个	把	把
数量	2	1	2	2	2	1	若干	若干	2	2

##### 3.2.2 填料要求

台后填料可与路基填料一致,有条件时可优先换填模量大、透水性强、透水性强的填料。填料中最大粒径不得大于5 cm,并符合路基设计规范的要求。

##### 3.2.3 土工格室材料检查验收

施工前必须对购进的土工格室材料进行检查验收,材料必须有出厂合格证和测试报告,每5 000 m<sup>2</sup>应随机抽样并测试,结果必须达到材料规格和性能要求。

土工格室规格:土工格室片材厚1.25 mm,格室高度15 cm,格室焊距40 cm,相邻格室方阵采用合页式专用构件整体连接;

土工格室强度指标:拉伸强度≥25 MPa,拉伸模量≥650 MPa,焊缝常温剥离强度≥100 N/cm,低温脆化温度≤-50℃。

##### 3.2.4 施工方法

###### (1) 整平地面并振压。

铺设土工格室前,台背的地基应进行整平振压,其压实度要达到施工规范的要求。桥台附近的路基填土稍高于设计标高,防止土工格室固定于桥台后,当发现设计标高不够而加填土,或土工格室被浮于土基之上而在土工格室之下形成一层没有压实的虚土,而影响土工格室压实效果。

###### (2) 固定件安装。

土工格室与桥台连接的质量直接影响着土工格室柔性搭板的使用性能。安装固定件前必须精确定位,施工时先用墨汁线按设计标高要求在桥台上弹出一条水平线,然后用钢卷尺以20 cm间距在水平线上划出十字标志点,然后用射钉枪(或电转机)把φ10~φ12 锚钉或同样尺寸的膨胀螺栓打入桥台中,再安装固定件。全部安装完以后,检查安装质量。

###### (3) 张拉并铺设土工格室。

铺设土工格室前,应根据布置区域的大小对土工格室的不同规格尺寸进行合理配置。首先,采用φ6 的钢纤(须采取一定的防腐措施)或合页式插销将土工格室连接在固定件上,把土工格室一侧拉到指定尺寸,用钢钎或填料固定,再用力张开整块土工格室,相邻土工格室板块采用合页式插销整体连接。完

全张拉开土工格室后,在四周用钢钎或填料固定,否则,严禁进行下一工序施工。

#### (4) 格室填料。

土工格室柔性搭板按现有路基施工规范施工。首先检查填料,铺料采用人工和机械相结合的方式,用推土机把含水量均匀的填料逐渐填充格室,机械虚填厚度到达25 cm左右时,用人工填充桥台附近死角,然后整平。格室未填料前,严禁机械设备在其上行驶。

#### (5) 压实。

台背路基压实与现行规范要求基本一致。施工中采用振动压路机压实。台背附近,采用小型振动压实机和打夯设备压实,格室层机械压实次数应高于其他层1~2遍。

#### (6) 检查验收。

①桥台柔性搭板以压实度标准进行检查验收,其结构压实度与该部位路基压实度相同;

②桥台固定锚钉按锚钉总数的2%进行检查,要求锚钉锚固力 $\geq 1$  kN;

③配合施工进度,对各桥台进行沉降、回弹模量、变形模量等项目的现场测试,获取必要参数。

## 4 工程实例

### 4.1 工程概况

工程实例位于国道主干线青银(青岛—银川)高速公路陕西省境内的靖王高速公路。全线位于陕北黄土高原北部、毛乌素沙漠南缘的古长城沿线风积沙区,地形以波状沙丘和高差几十米的黄土丘陵覆盖沙为主,绿化较好,植被丰富。

公路沿线地区最丰富的材料是砂状黄土,由于砂状黄土土质松散、塑性指数很小、无粘聚力、不易形成整体,在外力作用下,容易产生位移,完成压实后路基不能稳定通车,从而导致该地区筑路材料较为匮乏,长期以来一直困扰着公路工程建设和施工单位。尤其在桥头台背回填中,因台背填土高度较大,如采用砂状黄土作填料,由于路基压实效果不佳,将导致台背产生较大的压缩变形,而引起台背路基与桥台的差异沉降。原设计中将台背附近全部换填灰土,但由于当地缺少粘性土和石灰,如换填灰土,原材料需大量外运,导致台背换填造价明显增加,同时,回填灰土也无法有效消除桥头跳车。经过方案的经济技术比选,采用土工格室楔形柔性搭板+刚性搭板的综合处治方法。

试验工程位于靖王高速公路第四标段韩窖子和吕曲坑两座分离式跨线桥,路面宽6.5 m,台背填土高度约7 m,桥台类型为肋板式,地面以下4 m左右为风积沙覆盖层。

楔形柔性搭板设计方案如图3所示,台背共布设楔形柔性搭板4层(其中顶层为双层结构),布置间距由密至疏,顶层两层柔性搭板通过膨胀螺栓固定于台帽上,底部两层伸入桥台70 cm,楔形柔性搭板所用土工格室规格为15 cm $\times$ 40 cm,填料全部采用当地砂状黄土,压实度要求达95%以上。钢筋混凝土搭板铺设于柔性搭板顶层上面,长度为5 m,厚度为35 cm,其一端支承于牛腿上,另一端支承于路堤上。

靖王高速公路于2003年初开工,同年10月通车。柔性搭板施工期间,课题人员为保证施工质量,实时跟踪土工格室加固效果,开展了土工格室结构层的承载板试验,并于通车后1年即2004年9月对试验段进行路面沉降观测,基于对比分析需要,选择了相邻的砖井立交、通达跨线桥进行比较。其中砖井立交台背采用灰土换填+刚性搭板处治方法,但目前尚未开放交通;通达跨线桥填高约2 m,台背仅铺设钢筋混凝土搭板,填料采用当地砂状黄土。

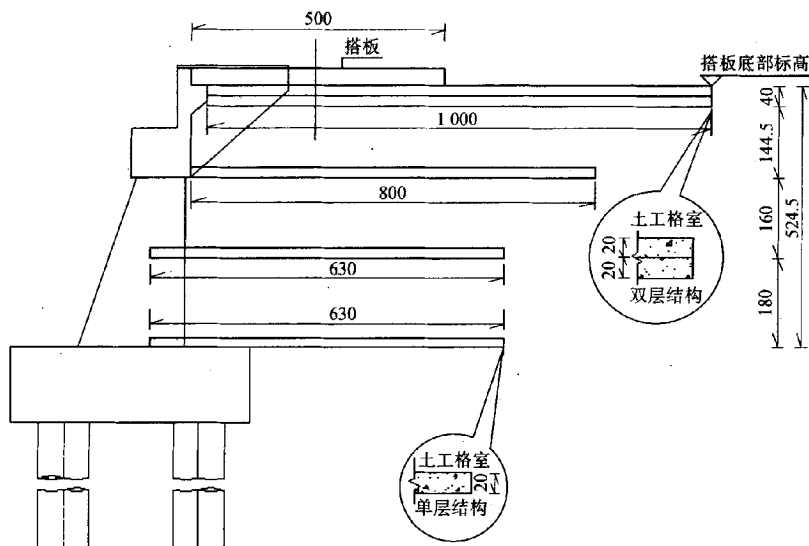
### 4.2 处治效果

路基顶面回弹模量测试值见表2。从表2中可以看出,楔形柔性搭板加固区的回填模量值相对于加固区外提高了45%以上。吕圈坑楔形柔性搭板布置区外(约11 m处),路面出现约5 cm深的车辙,主要原因可能是施工时路基压实未达到要求,而相邻台背楔形柔性搭板区路面完好。测试结果和现场反馈均表明由于土工格室具有较强的侧向限制作用,其侧壁提供了向上的摩擦力,当其加固无粘聚力的砂状黄土时,类似于给砂状黄土填料施加了一个等效视粘聚力,从而提高了砂状黄土填料的整体性和强度,相应增强了路基的强度和刚度。

表2 回弹模量测试值 MPa

位 置	格室布置区内(4 m)	格室布置区外(12 m)	提高百分比
吕圈坑(南)	79.8	45.3	76.2 %
吕圈坑(北)	81.2	50.6	60.5 %
韩窖子(南)	88.3	61.2	44.3 %
韩窖子(北)	85.4	58.8	45.2 %

桥台与路堤之间的差异沉降是引起桥头跳车的主要原因。因此,桥台与路堤之间的相对高差能较好地反映台背跳车处治效果。图4为4座分离式立交南



单位:cm

图3 柔性搭板设计方案

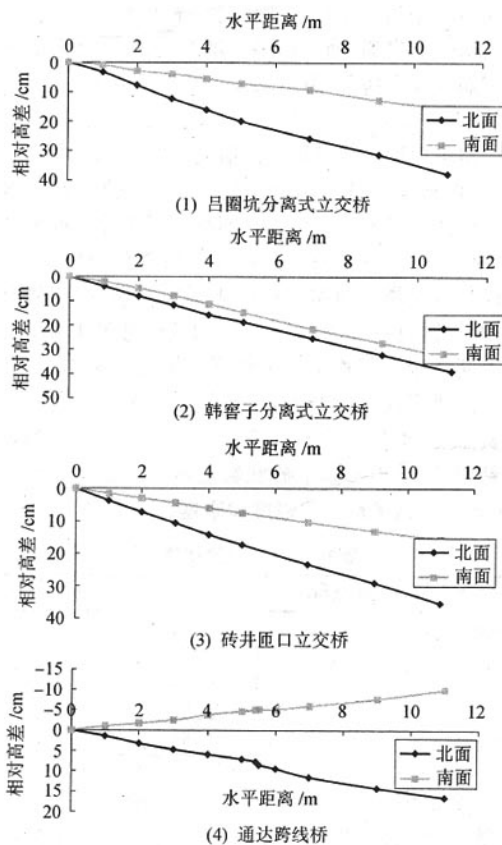


图4 路面中心相对高差曲线

北面路面中心相对高差曲线。从图4中可以看出,通达跨线桥虽然路基填土高度较小,但北面桥台台背刚性搭板路基搭接处两端差异沉降达0.8 cm,南面两端沉降为0.1 cm,南北面刚性搭板与路基连接处路面均已出现贯穿横向的裂缝,表明单纯采用刚性搭板进行沉降过渡的方法,无法避免桥头差异沉降病害的产生。而吕圈坑、韩窖子、砖井匣道南北面桥台与台背路面之间的相对高差曲线基本呈线性关系,桥台连接处无台阶差,路面无明显纵坡变化,台背楔形柔性搭板布置区路面完整,无车辙和裂缝出现,表明台背采用楔形柔性搭板处治方法,能较好地协调桥台和路堤的沉降差,防治桥头跳车病害的发生。

#### 4.3 经济效益对比

楔形柔性搭板处治技术与原方案的工程造价对比见表3。从表3可以看出,采用土工格室柔性搭板处治台背跳车,每个台背节省造价6.16万元,约60%,4个台背共节省费用约24.5万元,经济效益明显。此工程实例表明,采用楔形柔性搭板加固砂状黄土地区路桥过渡段,不仅可以充分利用砂状黄土作为台背回填料,在降低工程造价的同时,也能很好地解决了桥头跳车问题,减少了运营期后的养护维修费用,有较好的经济效益和社会效益。

#### 5 结语

楔形柔性搭板技术利用土工格室独特的加固机

表 3 工程造价对比

处治方法	灰土换填	土工格室柔性搭板		
		填料(砂性黄土)	土工格室	合计
单价	110 元/m <sup>3</sup>	22 元/m <sup>3</sup>	36 元/m <sup>2</sup>	
换填量/m <sup>3</sup>	906	906	500(m <sup>2</sup> )	
造价/万元	9.96	1.99	1.8	3.8
与灰土换填相比节省费用				6.16 万元

理,采用模量渐变的原理,在路桥过渡段设置楔形加固区,实现刚性桥台与柔性路基模量的平稳过渡,消除了过大的差异性沉降,形成平缓的沉降过渡段,达到防治桥台跳车之目的。

楔形柔性搭板在靖王高速公路的工程实践表明,它能明显提高砂性黄土填料的整体性和强度,增强路基的刚度;同时,能较好地协调桥台和路堤的沉降差,防治桥头跳车病害的发生。且填料可以就地取材,从而大大减少工程造价,是一种经济有效的桥头

跳车处治方法。

楔形柔性搭板设计参数的选取,应综合考虑台背填土高和地基等因素,必要时应结合刚性搭板方法综合处治。

#### 参考文献:

- [1] 秦禄生. 高等级公路桥头跳车成因及处治对策[J]. 国外公路, 1999, 19(1).
- [2] 俞永华, 谢永利, 杨晓华. 桥头楔形柔性搭板作用性状的仿真[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(6).
- [3] 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册(第二版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [4] 周志刚, 郑健龙. 公路土工合成材料设计原理及工程应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [5] 谢永利. 公路建设中的岩土工程问题[A]. 岩石力学新进展与西部开发中的岩土工程问题[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2002.

## Wedge Flexible Slab Treating Method at Bridge Approach

YU Yong-hua<sup>1,2</sup>, XIE Yong-li<sup>2</sup>, YANG Xiao-hua<sup>2</sup>, ZHANG Hong-guang<sup>2</sup>, LI Xin-wei<sup>2</sup>

(1. China Highway Engineering Consultant and Supervision General Co., Beijing 100101, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** A new treating method for the bump at bridge-head is introduced, named wedge flexbile slab. The reinforcement mechanic, technical characteristic, structural type and construction technology are illustrated in detail. A engineering practice is showed that the wedge flexbile slab is used to treat the bump at retailing backwall of the sand loess in the Jin-Wang Expressway. The engineering practices show that the wedge flexible slab can improve remarkably the integrity and strength of sand loess filling, cooperate the settlement difference between the abutment and embankment and prevent the bump diseases. In addition, the engineering price is decreased greatly and the economic benefit is prominent.

**Key words:** bridge approach; wedge flexible slab; geocell; sand loess; bump at bridge-head

### 泸州至自贡便捷通道通车

2006年3月20日,四川省泸州至自贡的便捷通道——泸自路正式通过。今后,驾车走这条路,从自贡到泸州仅需1 h。

泸自路始建于20世纪50年代,是连接泸州至自贡的主通道。由于道路年久失修,破损严重,许多路基开裂、起缝。为此,自贡市从2002年5月开始改建该路。

该路通车后,使自贡至泸州的距离得以缩短。今后,驾车走这条路仅需1 h,比走高速公路缩短了20 km。