

路桥过渡段路基路面设计与施工技术研究

方 舟

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]桥隧连接段是道路与桥梁相接处的重要部分, 由于路基、桥台之间的结构强度不同而产生的差异下沉是造成桥头跳车的原因之一。文章详细介绍了桥隧连接段病害特征及成因机制, 以路基设计、路面结构设计、施工技术三个方面来展开探讨。关于路基设计, 主要介绍了连接段结构型式、长度确定方式、填土材料与级配选择、基础构造与差异下沉治理办法; 从路面结构设计角度出发, 阐述路基结构组合与柔性、刚性过渡策略、材料特性需求及防变能力设计、防水措施等; 针对施工技术层面, 则涉及分层摊铺、夯实管理, 台后侧墙充填、衔接工艺, 特别场合下的施工注意事项。研究发现使用泡沫轻质混凝土等轻质填料以及进行加固处理, 可以大大减小差异沉降幅度达到 30%~50%, 刚柔性连续渐变搭板结构可以做到桥梁过渡段和路基之间刚度平稳过渡。本论文对桥隧过渡段的设计、施工具有借鉴意义。

[关键词]路桥过渡段; 差异沉降; 路基路面施工

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19534

中图分类号: U41

文献标识码: A

Research on Design and Construction Technology of Roadbed and Pavement in Road Bridge Transition Section

FANG Zhou

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: The bridge tunnel connection section is an important part of the junction between the road and the bridge. The differential settlement caused by the different structural strengths between the roadbed and the bridge abutment is one of the reasons for bridge head jumping. The article provides a detailed introduction to the characteristics and causes of diseases in bridge tunnel connection sections, and explores them from three aspects: roadbed design, pavement structure design, and construction technology. Regarding roadbed design, it mainly introduces the structural types of connecting sections, length determination methods, selection of fill materials and gradation, foundation structure and differential settlement treatment methods; Starting from the perspective of pavement structure design, this article elaborates on the combination of roadbed structure, flexible and rigid transition strategies, material characteristic requirements and anti deformation capacity design, waterproof measures, etc; In terms of construction technology, it involves layered paving, compaction management, backfilling and connection technology behind the platform, and construction precautions in special occasions. It is found that the use of lightweight fillers such as foam lightweight concrete and reinforcement treatment can greatly reduce the differential settlement by 30% -50%. The rigid flexible continuous transition approach slab structure can achieve a smooth transition between the bridge transition section and the subgrade. This paper has reference significance for the design and construction of bridge tunnel transition sections.

Keywords: road and bridge transition section; differential settlement; construction of roadbed and pavement

引言

桥梁与路基衔接区即为路桥过渡段, 在公路工程建设时往往容易出现由于刚度不一造成的桥头跳车问题, 这会对车辆行驶过程中的舒适性和安全性造成巨大隐患。随着公路建设规模的增大及车辆行驶速度的加快, 如何对路桥过渡段进行设计及施工便成为道路工程方面的重点研究

课题。路桥过渡段路基与桥梁结构刚度差别很大, 在载荷的作用下连接部位会产生不同的沉降, 从而导致路面的弯曲, 进而影响行车平稳性, 甚至威胁到行车的安全性。过渡段的设计理念主要是在路基上增强结构的整体竖向刚度并在一定程度上降低差异之间的变形, 在实际施工过程中可以采用加宽路堤结构、提高填料压实标准或降低路堤

自身重量等方法,还可以设置钢筋混凝土搭板等。近几年来,国内外对路桥过渡段进行了一些研究工作,结果表明利用级配良好的粗粒料进行摊铺是最常见的做法之一。通过设置在深处的混凝土垫块可以使刚性的桥墩与变形的路堤之间刚度由大变小过渡起来,很好地解决了路桥过渡区差异沉降的问题,泡沫轻质混凝土等新材料也可用于过渡区填料的选择当中。

1 路桥过渡段病害特征与机理分析

1.1 常见病害类型及表现形式

桥梁过渡段常见的病害主要有桥头跳车、沉降差以及裂缝还有搭板脱空等几种类型。其中桥头跳车是最严重的病害现象,行车经过桥头后会产生剧烈的震动。沉降差指的是桥台到相邻路基之间的高低落差,最严重的能够达到5厘米以上的差别。路面裂缝主要出现在搭板尾部与路基交界的地方,裂缝方向是横向的。搭板脱空是因为路基下沉使得板底失去了支承,在行车加载作用下容易发生损坏的情况。高铁桥梁过渡段有雨水和地下水下渗的隐患,将会降低路基的整体稳定性。过渡段路基有施工接缝,如果下雨就会有雨水通过这些间隙流入路基内部,过渡段路基回填材料具有一定膨胀性,在水分渗透的情况下路基就会因为膨胀而变得不稳定。水分入渗引发的填料膨胀问题在公路过渡段同样存在。

1.2 病害形成机理与影响因素

差异沉降是路桥过渡段病害的根本原因。桥台具有刚性特性,沉降微乎其微;路堤具有柔性特征,在自身重力和车行荷载的作用下发生压缩沉降及固结沉降。刚度突变造成沉降曲线在接头处有较大的折弯变化,形成了台阶式的高低落差。过渡段处治技术研究适应性和工作原理表明地基沉降模拟体系以及动力加载模拟体系大规模足尺模型试验是对病害机理的研究方法。填筑材料性质、压实程度、地基状态、排水情况等都会对沉降的发展产生不同程度的影响。雨水浸透过渡段填筑物后,导致路堤膨胀失稳,此现象在多年冻土带和膨胀土区域表现更为显著。

1.3 病害对行车安全与舒适性的影响

桥梁伸缩缝处跳车直接关系到行车的质量好坏,车速越大跳车越明显,严重的跳车会造成汽车失控,特别是对于摩托车和自行车来说更是巨大的威胁;另外重复的冲击荷载会造成过渡段路面破坏严重,增加后期路面修复费用,有的研究者认为通过加深搭板及设计一、二级枕梁并将枕梁和搭板同时浇筑的方式,形成刚柔连续过渡结构的形式来解决桥头路基应力集中以及变形过大问题。

2 路桥过渡段路基设计关键技术

2.1 过渡段结构形式与长度设计

过渡段结构形式主要有台阶式过渡、渐变式过渡、搭板式过渡和组合式过渡几种。台阶式过渡是在路基一侧挖台阶与桥台相连,施工简单,但是沉降不易控制;渐变式过渡通过改变填筑材料或者压实程度实现由硬到软的逐渐过渡;搭板式过渡采用钢筋混凝土搭板跨越不均匀沉降区,是目前使用最多的一种形式;过渡段长度大小取决于填土高度、地基情况以及填料特性等。通常情况下过渡段长度为15~30m,软土地基时需要适当增加过渡段长度;刚柔连续过渡搭板结构能够使得桥台与路基之间达到刚性柔性良好过渡的效果,适用于各种地质条件的桥梁与道路的交接处,能够很好地解决桥头跳车的问题。深式钢筋混凝土搭板能够做到刚性逐步过渡,合理解决不均匀沉降问题,在进行台阶形过渡时,台阶宽度选取在1~2m之间,台阶的高度设定为0.6~1m,由下至上依次开挖新旧路基,使二者紧密结合在一起,在搭板过渡方式中,搭板的长度常在8~12m之间,厚度在20~30cm之间,搭板一端支撑在桥台的牛腿上,另一端放置在路基上,搭板下面设有枕梁或者铺设垫层来分散车辆荷载的作用力;组合式过渡是将多种过渡方法的优点综合起来,首先通过设置深度搭板来控制整体的沉降量,然后用渐变填料来进行刚性的平滑过渡,再进行过渡段长度的设计时也要达到工后沉降差小于5cm的标准,对于高填方路段来说,可以适当加长到40m左右,这样就可以使沉降的曲线变得较为柔和。

2.2 填料选择与级配优化设计

填料的选择是过渡层的重要步骤,理想的填料应有良好的压实度、较低的压缩性、较好的水温特性。常用的填料有:级配碎石、砂砾、石灰改良土、水泥稳定碎石等。首选的填料为级配碎石,级配碎石透水性好、压缩模量高,适用于各种路基条件,砂砾适用水下路堤或含水量较大的路段;石灰改良土能有效解决细粒土填料缺乏的地区材料问题,但是它的水稳性较差;泡沫轻质混凝土是一种新型的轻质填料,其密度只有普通填料密度的1/3~1/2左右,在软土地质中使用可以有效的降低对地基的压力,适用于窄作业面和软土区域。

级配选择需要满足最大粒径小于等于层面厚度的2/3,并能形成较好骨架结构,粗颗粒含量应为5%~10%,既要满足密实性又要防止离析。对铁路营业线顶进框架桥过渡段回填筑料研究指出,在过渡段回填使用泡沫轻质混凝土

土差异沉降最小,效果最佳,现场实测结果验证了数值模拟准确性。

表1 常用过渡段填料性能对比

填料类型	最大粒径 (mm)	压实度要 求 (%)	压缩模 量(MPa)	渗透系数 (cm/s)	适用条件
级配碎石	≤50	≥96	≥80	$\geq 1 \times 10^{-2}$	一般路基
砂砾石	≤75	≥95	≥70	$\geq 5 \times 10^{-2}$	排水要求高
石灰改良 土	≤100	≥95	≥40	$\leq 1 \times 10^{-4}$	填料缺乏区
泡沫轻质 混凝土	—	—	≥200	低	软土区、狭窄空 间

2.3 地基处理与差异沉降控制设计

地基处理是最有效的防止差异沉降的方法。对软弱地基可以采用置换法、排水固结法以及复合地基法。置换法适用于表层软弱土层,挖除软弱土层然后回填砂砾或者碎石,在置换的范围内应该超过基础边线 0.5~1.0m;排水固结法通过设置塑料排水板或者砂井来加快地基的固结速度,塑料排水板之间的距离在 1.0~1.5m 之间,成正三角形或者正方形排列,这样可以减少排水的距离,从而加快沉降的稳定性。复合地基可以使用水泥粉煤灰碎石桩、水泥搅拌桩等,增加地基的承重能力,水泥搅拌桩直径约为 0.5~0.6m,长度根据软土层的厚度来决定,至少要穿过软土层到达持力层以下至少 1.0m。CFG 桩适合深厚软弱地基,桩体模量大,桩与桩间土共同承压,桩距 1.5~2.0m,能够较好把控工后沉降,过渡段与桥台相接位置为差异沉降重点控制区域,依据“刚度渐变”原理,从桥台逐渐过渡到路基降低基础加固强度,做到柔和的沉降过渡曲线。对高填路段可选择桩板结构或者桩网结构,把路堤荷载传递给较深持力层,减轻了路基压缩变形;有些专家运用数值计算的方法对桥梁在各种不同车辆荷载以及自然条件下的沉降情况进行仿真模拟分析,得出准确的基底沉降大小和变化规律,考虑到桥梁沉降与过渡段结构变形之间的相互联系,得到竖向变形数量,保证平缓过渡。土工格栅加固法可以同地基处理相结合,在填方路基底部以及中部处铺设一层到三层土工格栅,提高路基的整体刚性,约束横向位移,从而减少不均匀沉降的程度。不均匀沉降允许值是:工后沉降差 $\leq 5\text{cm}$;纵坡变动量 $\leq 0.4\%$ 。

3 路桥过渡段路面结构设计方法

3.1 路面结构组合与刚柔过渡设计

路面结构组合要匹配过渡段沉降特点。一般组合方式有沥青面层、半刚性基层、底基层等结构,而过渡段应增设加强层或用土工格栅。刚柔衔接设计是在桥梁两端设置

一个逐渐变化的结构,使桥台的刚性支承逐渐转化为路基的柔性支承。为了防止传统的搭板结构路桥过渡段沉降差异导致的桥头跳车以及次生跳车现象,在刚柔连接过渡设计中采用深埋式搭板与多个排架同时浇筑的方法来优化桥头路基受力状况及形变情况,这样的设计使得沉降曲线较为平缓,不再产生二次跳车的现象。

3.2 材料性能要求与抗变形设计

过度段面层材料要有较好的抗弯拉破坏能力及疲劳强度。沥青混合料应使用改性沥青,使沥青路面具有更好的高温稳定性及低温抗裂性^[1]。半刚性基层要严格控制水泥用量,防止出现干缩裂缝。抗变形措施在于掌握好各结构层之间模量比,防止出现较大模量差异造成的应力集中现象。富油型高黏高弹桥面铺装过渡层材料研究发现使用 60℃时黏度为 70 万 Pa.s 的高粘高弹改性沥青对于增强过渡层服务功能非常有效果。不同的油石比、不同的级配、不同的厚度都显著影响组合结构的服务能力。

3.3 结构耐久性与排水防护设计

耐久性设计包括材料耐久和结构耐久两部分。材料耐久要求填料、路面材料具有防水侵蚀、防冻融性能^[2]。结构耐久靠合理的结构厚度及构造来保证。排水设计对保证过渡段长久稳定有着至关重要的作用,在地表水拦截的同时还要疏导地下水流走。桥背设置碎石排水层或者排水管,以防止由于地下水造成的积水。针对路桥过渡段雨水渗透问题需要进行全方位的排涝措施,在桥体结构热效应引起的不同性质地基沉降差异也是造成差异性沉降的原因之一,而桥台背后的填土也会随季节发生冻融变化从而给结构带来不良的影响。一体化处理方式在一个年度里完成了对地基状况改变以及其抗变形能力加强的目的。

4 路桥过渡段施工关键技术

4.1 分层填筑与压实控制技术

分层填筑为保证过渡段压实效果的基本措施。每一层的松铺厚度为 20~30cm,压实厚度约为 15~20cm。压实度不得低于 96%,重型击实标准控制。压实机械设备有振动压路机、冲击夯等,在靠近桥台的地方使用小型机械设备。压实检验方法用的是灌砂法或者核子密度仪,每层检测频次达到《公路工程质量检验评定标准》的要求^[3]。过渡段填筑工艺性试验对合理的施工参数的选择非常重要,根据试验段来选择松铺系数以及压实遍数等工艺指标。松铺系数一般为 1.25~1.35 之间,具体数值需要现场试验。碾压遍数一般为静压 1 遍加上振动碾压 4~6 遍,最后静压一遍收面。临近桥台两侧各 2m 处使用小冲击夯分层夯

实,每层虚铺厚度不大于 15cm,夯打次数不低于 6 遍,保证压实密度达到设计标准。

4.2 台背回填与衔接施工工艺

台背回填是工程质量管控的重点、难点所在。回填必须是在该段桥台混凝土强度满足设计要求之后才可以实施,要与路基一同填筑或者略为提前。台背回填长度一般为桥台高 2~3 倍左右,底部宽度不得小于 2m,回填时要注意桥台和台背之间连接处的防水保护措施,一般可采用铺设土工布或者涂抹一层薄的沥青等,台背回填的主要注意问题是:基面平整无积水,填料含水率控制在最佳含水量 $\pm 2\%$,分层均匀摊铺,台背填筑高度两侧相差不得大于 50 公分;泡沫混凝土加筋路堤可以有效减轻路堤重量 30%~50%,加筋方式优化之后道路使用寿命可达 50 年以上,每层回填厚度一般控制在 15~20cm 之间,压实密度要大于等于 96%。台背填筑及路堤连接处必须进行台阶处理,台阶宽度不低于 1m,向内倾斜的角度在 2%~4%之间,加强新旧路基的结合紧密度。泡沫混凝土浇筑需进行分段分块浇筑,单层浇筑厚度为 30~50cm,在下一层初凝之后再浇筑上一层,防止出现收缩裂缝。

4.3 特殊环境施工技术要点

软土地基过渡段施工要严格掌握铺设速度,路堤填筑与地基沉降同步处理,在需要情况下可增设沉降观测桩以观察沉降情况。使用泡沫轻质土等轻型材料可以大大降低工后沉降量。湿陷性黄土地段要做好排水工作,路基范围内设置防水层避免雨水渗透造成路基湿陷,借助智能感知设备与 BIM 系统对泡沫混凝土密度、强度以及均匀分布

情况进行实时监控并能够发现并发出报警信号。多年冻土区段的过渡带施工尽可能选择在寒冬季节施工,减轻冻土层热量交换的影响程度。桥梁结构热源效应导致不均匀冻融破坏引起差异下沉的原因,桥梁结构变形是由冻土地基承载力降低以及桥台后回填土层季节性冻胀共同造成的。

5 结语

桥路过渡段差异沉降是产生桥头跳车的主要因素,防止差异沉降是设计施工的重点工作。采取适当长度的过渡段、选择良好的填料及地基处理、采用合理的路面结构形式,可以减小跳车病害的发生。采用泡沫轻质混凝土等新材料为过渡段的设计提供更多的可能性,柔性连续结构是技术发展的趋势。在施工中控制分层夯实工艺、台背回填情况以及特殊的气候条件适应性对于保证过渡段的实际效果至关重要。今后的研究可以加强对智能化检测手段在路桥过渡段施工阶段及使用阶段的应用探索,促进路桥过渡段工程项目达到更高的水平。

[参考文献]

- [1]吴杰,郑红,吴繁,等.富油型高黏高弹桥面铺装过渡层材料服役性能研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2024,48(2):320-325.
- [2]周国锋,谭生永.铁路营业线顶进框架桥两侧过渡段回填筑料的选取[J].交通科技,2022(4):20-24.
- [3]赵冠华,朱俊波,常浩,等.路桥过渡段刚柔连续过渡结构研究[J].公路,2024,69(1):16-23.

作者简介:方舟(1996.04—),男,湖北省孝感市汉川人,工程师,2020年毕业于武汉理工大学交通运输工程(硕士研究生),现在设计院从事路桥设计岗。