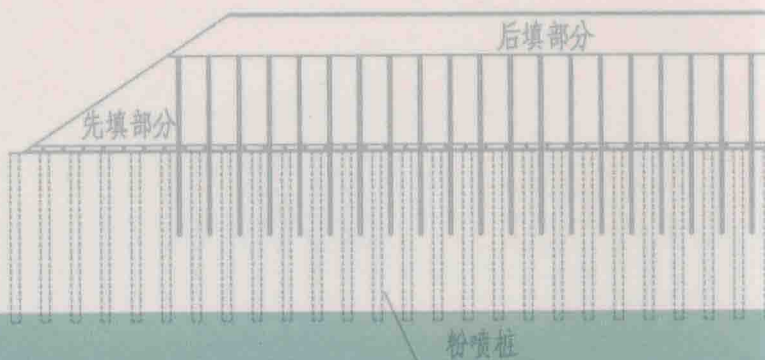


GONGLU QIAOTOU TIAOCHE CHULI FANGFA YANJIU

# 公路桥头跳车处理方法研究

刘海涛 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 公路桥头跳车处理方法研究

刘海涛 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

## 内 容 提 要

公路桥头跳车现象是一个普遍性的工程问题。利用无砂混凝土小桩复合地基新技术处理桥头跳车问题,使地基的工后压缩变形有效减小。根据路基处理的具体特点,提出根据理想弹塑性理论采用桩体压缩量法对复合地基加固区进行变形计算,对下卧层按分层总和法进行变形计算。以工后沉降变形值为指导思路的复合地基设计方法可以有效地减小路基、桥梁沉降差,缓解普遍存在的桥头跳车现象,提高路基通过舒适度。全书主要分为3个部分:第一部分主要介绍复合地基技术的发展;第二部分论述了小桩后处理技术;第三部分研究了小桩后处理技术在公路中的应用问题。

本书可以作为土木工程设计、施工技术人员及高年级本科生和研究生的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

公路桥头跳车处理方法研究 / 刘海涛著. — 北京 :  
中国水利水电出版社, 2017. 12  
ISBN 978-7-5170-6171-7

I. ①公… II. ①刘… III. ①道路工程—路基工程  
IV. ①U416

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第320633号

|      |                                                                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 公路桥头跳车处理方法研究                                                                                                                   |
| 作 者  | GONGLU QIAOTOU TIAOCHE CHULI FANGFA YANJIU<br>刘海涛 著                                                                            |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                   |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                |
| 印 刷  | 虎彩印艺股份有限公司                                                                                                                     |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 8.5印张 202千字                                                                                                   |
| 版 次  | 2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷                                                                                                      |
| 印 数  | 001—500册                                                                                                                       |
| 定 价  | 36.00元                                                                                                                         |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



## 前言

公路以其覆盖面广而使其路基条件较为复杂，特别是我国目前正飞速发展的高等级公路建设工程，公路线型的设计常使路基工程遭遇高填方软土、膨胀性土、湿陷性黄土等不良路基，路基处理成为了制约交通线投资和施工工期的重要工程。

从已建公路的使用情况来看，路基处理还存在着一些问题。其中一个较普遍的问题就是桥梁墩台后普遍存在着搭板断裂及不均匀沉降的现象，最终导致桥头跳车现象的产生。所谓桥头跳车，即桥（涵）两端一定范围内路基顶面与桥面不平顺，从而在车辆行驶过程中引起车辆振动迫使司乘人员不适应或必须减速行驶。

桥头跳车现象主要是由桥台与台后填土路堤的不均匀沉降所引起的。桥面板、桥台及其基础和台背路基及其基础的设计与施工都是引发问题的因素。桥台沉降主要由路基沉降引起，在设计时一般都考虑了桥跨结构对沉降的限制，因而在正常情况下其工后沉降量都很小。填土路堤沉降包括路基沉降和填土沉降，路堤沉降的原因是多方面的，一般来说与地质水文条件（地下水位、软土路基的深度、厚度及性质）、路堤设计（高度、自重、材质及结构）和路堤的成形方式及成形时间有关。桥头路堤沉降在横断面和纵断面上都是不均匀的，纵断面上沉降的不均匀性是影响行车条件的主要原因。

目前，桥头跳车处理的方法很多，很多方法尚在不断发展之中。桥头跳车处理方法的分类多种多样，如按时间可分为临时处理和永久处理；按处理深度可分为浅层处理和深层处理；按处理土性对象可分为砂性土处理和黏性土处理，饱和土处理和非饱和土处理；也可按照桥头跳车处理的作用机理进行分类。很多桥头跳车处理的方法具有多种处理效果，而且每一种处理方法都有它自身的适用范围和局限性。

投石压浆混凝土小桩复合路基技术，是在压力灌浆和小桩技术基础上研究开发的一种路基处理技术。通过在被加固场地成孔、填石，进行置换，然后通过桩孔中的钢质注浆管，对碎石桩体及桩周土体进行压力注浆，使桩周土体受到压密灌浆处理，形成投石压浆混凝土小桩复合路基。

根据路基处理的施工顺序、变形机理及变形发展过程不同，将路基处理方法分为先处理法、过程处理法和后处理法。小桩后处理技术具有堆载预压、快速排水、固结、胶结、竖向增强等综合作用机理，特别适用于软土路基的加固处理。在加宽工程中的应用表明，小桩后处理技术不仅能够增强新老路基之间的结合，而且能够协调新老路基之间的变形，大大减小工后沉降变形。

结合黄土湿陷起始压力的特点，采用小桩后处理技术处理湿陷性黄土。通过对路基变形指标的研究，提出利用变形控制理论处理黄土地区桥头变形不均匀问题，最后根据后处理法的工程特点提出了无砂混凝土小桩后处理黄土地区桥头跳车的设计理论思想。

本书的出版得到华北水利水电大学高层次人才启动基金资助，特此致谢！  
由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

**刘海涛**

于华北水利水电大学花园校区

2017年11月



# 目 录

## 前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第1章 概述                       | 1  |
| 1.1 高速公路路基处理方法发展概况           | 1  |
| 1.2 桥头跳车处理技术和方法综述            | 5  |
| 1.3 本书主要内容介绍                 | 10 |
| 第2章 路基处理方法                   | 12 |
| 2.1 复合地基处理方法简介               | 12 |
| 2.2 复合地基的发展                  | 13 |
| 2.3 复合地基的分类                  | 15 |
| 2.4 复合路基处理设计方法               | 20 |
| 第3章 无砂混凝土小桩复合路基新技术研究         | 23 |
| 3.1 无砂混凝土小桩加固路基的作用机理         | 23 |
| 3.2 无砂混凝土小桩复合路基技术特点          | 23 |
| 3.3 投石压浆无砂混凝土小桩复合路基承载力的影响因素  | 25 |
| 3.4 无砂混凝土小桩复合路基的试验研究         | 27 |
| 3.5 试验结果与分析                  | 29 |
| 3.6 关于刚性桩复合路基垫层作用的分析         | 32 |
| 3.7 无砂混凝土小桩复合路基的设计与施工        | 33 |
| 3.8 小桩新技术适用性分析               | 38 |
| 第4章 无砂混凝土小桩处理高填方路基的变形计算理论    | 40 |
| 4.1 概述                       | 40 |
| 4.2 高填方路基变形分析                | 45 |
| 4.3 路基填土高度数值模拟对比分析           | 47 |
| 4.4 高填方路基处理的新思路              | 50 |
| 4.5 无砂混凝土小桩复合路基后处理高填方路基的变形计算 | 53 |
| 4.6 小桩后处理高填方路基数值模拟           | 60 |
| 4.7 本章小节                     | 83 |
| 第5章 软土路基桥头跳车处理机理分析           | 84 |
| 5.1 软土工程特性                   | 84 |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 5.2        | 软土路基评价·····                   | 86         |
| 5.3        | 软土路基处理技术要求·····               | 87         |
| 5.4        | 小桩复合地基处理软土路基分析·····           | 88         |
| 5.5        | 高填方软土路基变形分析·····              | 89         |
| 5.6        | 基于变形控制的桥头跳车处理技术研究·····        | 91         |
| 5.7        | 小桩后处理技术在高填方软土路基中的应用·····      | 92         |
| 5.8        | 本章小结·····                     | 110        |
| <b>第6章</b> | <b>湿陷性黄土路基桥头跳车处理机理分析·····</b> | <b>112</b> |
| 6.1        | 黄土湿陷性机理与影响因素·····             | 112        |
| 6.2        | 处理黄土湿陷性的技术要求·····             | 114        |
| 6.3        | 复合路基处理黄土湿陷性的机理研究·····         | 116        |
| 6.4        | 黄土高填方路基变形特征·····              | 117        |
| 6.5        | 基于变形控制的桥头跳车处理技术研究·····        | 118        |
| 6.6        | 小桩后处理湿陷性黄土高填方路基·····          | 119        |
| 6.7        | 湿陷性黄土高填方路基沉降监测·····           | 122        |
| 6.8        | 本章小结·····                     | 126        |
| <b>第7章</b> | <b>结论与展望·····</b>             | <b>127</b> |
| 7.1        | 结论·····                       | 127        |
| 7.2        | 发展展望·····                     | 127        |
|            | 参考文献·····                     | 129        |

# 第 1 章 概 述

## 1.1 高速公路路基处理方法发展概况

### 1.1.1 我国高速公路发展概况

我国国土辽阔，地质条件复杂，膨胀土、湿陷性黄土、冻土、盐渍土、地震区液化土分布较广，严重限制了交通基础建设的发展。改革开放以前，交通基础建设发展缓慢，我国大陆基本没有高速公路。改革开放 30 多年来是我国历史上公路发展速度最快、规模最大的 30 年。我国高速公路的发展大致分为以下 3 个阶段：

(1) 20 世纪 50—70 年代：大陆基本没有高速公路，公路交通的主要特点为：里程少、等级低、通行能力差，长途交通以国道为主。随着经济的发展，公路交通能力越来越体现出其对经济发展的瓶颈作用。

(2) 20 世纪 80 年代至 20 世纪末：从 1984 年我国大陆开始兴建高速公路。1988 年 10 月，沪嘉高速公路的建成通车，标志着我国大陆高速公路建设实现零的突破。公路建设进入了发展高等级公路的新时代。此后，京津塘、济青、成渝、沪宁、沪杭甬、太旧、吐乌大、开洛、安新等一大批高速公路相继建成，城市间交通“瓶颈”问题得到大大缓解。

但是，这段时间我国高速公路的建设带有明显的地域性特点：主要集中在经济较为发达的京津唐和东南沿海地区。这些地区除个别地段外，大部分为淤泥质海岸，软土路基问题是影响高速公路建设的关键问题之一。近年来，我国对高速公路软土路基问题进行了较多的研究，并积累了很多成功的工程实例。

(3) 新世纪高速公路的发展趋势：近十几年来，我国开始有重点地进行中西部地区的高速公路建设，特别是经过西部大开发的胜利推进，广袤的中、西部地区迎来了基础设施建设（尤其是高速公路建设）的高潮。特别是京疆高速公路全线贯通和京沪高速公路扩建建成通车后，我国的高速公路交通网基本形成，高速公路的规模效益日渐发挥出来，人们出行方便快捷，长短途货物运输及时有效。

### 1.1.2 高速公路路基处理基本原则

#### 1.1.2.1 公路工程路基处理的特点

由于自然地理环境不同，土质各异、地质条件区域性较强，因而使地基基础这门学科特别复杂。随着当前经济建设的蓬勃发展，不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事建设，而且有时也不得不在地质条件不好的场地进行建设，为此必须对工程进行路基处理。

公路的路基所面临的问题有以下 4 个方面。

#### 1. 路基承载力及稳定性

路基承载力及稳定性是指路基在建（构）筑物荷载（包括静、动荷载的各种组合）作



用下能否保持稳定,若路基承载力不能满足要求,在建(构)筑物荷载作用下路基将会产生局部或整体剪切破坏,影响建(构)筑物的安全与正常使用,严重的甚至会引起建(构)筑物的破坏。天然路基承载力主要与土的抗剪强度有关,也与基础形式和埋深有关。天然路基承载力不能满足要求时,需要进行路基处理,形成人工路基,以满足建(构)筑物对路基承载力的要求。

## 2. 沉降、水平位移及不均匀沉降

在建(构)筑物的荷载(包括静、动荷载的各种组合)作用下,路基沉降、水平位移、不均匀沉降会超过相应的允许值。若路基变形超过允许值,将会影响建(构)筑物的安全与正常使用,严重的会引起建(构)筑物的破坏。天然路基变形主要与荷载大小和土的变形特性有关,也与基础形式有关。若天然路基变形不能满足要求,则需要进行路基处理,形成人工路基,以满足建(构)筑物对路基变形的要求。

## 3. 渗漏

路基中水力比降超过其允许值时,路基土会潜蚀和管涌产生破坏,从而导致建(构)筑物破坏,造成工程事故。天然路基渗漏问题主要与土的渗透性有关。若天然路基不能满足要求,则需对路基进行改良,减小土的渗透性,或在路基中设置止水帷幕,阻截渗流。

## 4. 液化

在动荷载(地震、机器以及车辆振动、波浪和爆破等)的作用下,饱和松散粉细砂(包括部分粉土)会产生液化,它是使土失去抗剪强度,并会造成路基失稳和震陷。

在土木工程建设中,当天然地基不能满足建(构)筑物对地基的要求时,需要对天然地基进行地基处理,形成人工地基,以满足建(构)筑物对地基的要求,保证其安全与正常使用。地基加固的目的是提高软弱地基的强度,保证地基的强度,保证地基的稳定性,降低地基的压缩性,减少基础的沉降尤其是不均匀沉降;提高土质的抗剪强度,防止地基受到震动作用时产生液化现象,消除湿陷性黄土的湿陷性和胀缩性土的胀缩性等。

高速公路为大型线性工程,路基处理长度往往达几十公里,工程量大、工期长、造价高,所以,路基处理的基本原则是:在荷载(包括静、动荷载的各种组合)作用下,路基沉降、水平位移、不均匀沉降不超过相应的允许值,不影响公路正常发挥其交通功能。

### 1.1.2.2 公路工程桥头跳车处理的特点

随着我国高速公路的建设与发展,从已建公路的使用情况来看,还存在着一些问题。其中一个较为普遍的问题就是桥梁墩台后存在着搭板断裂及不均匀沉降,最终导致桥头跳车现象的产生。所谓桥头跳车,即桥(涵)两端一定范围内路基顶面与桥面不平顺,从而在车辆行驶过程中引起车辆振动迫使司乘人员不适应或必须减速行驶。

目前,桥头跳车处理的方法很多,很多方法尚在不断发展之中,而且每一种处理方法都有它自身的适用范围和局限性。与一般的建筑工程相比,公路工程桥头跳车处理有以下4个显著特点:

(1) 高速公路为大型线性工程,路基处理长度往往达几十公里,工程量大,桥头跳车处理设计参数的每一点变化都会引起较大的经济影响。在建筑工程地基处理中,常用的大面积处理方法,如强夯法中的动力置换、复合地基等,由于经济因素往往并不适用。因此,必须对桥头跳车处理方法进行优化,综合对比分析,选择适宜的方法。

(2) 高速公路沿线基础类型较多,如扩大基础、桩基础。一般路段堤高变化较大(2~7m,或者更高),对桥头跳车处理要求不一样,特别是一般路段和一般构筑物常以变形作为设计控制指标,因此处理原则与方法应有针对性。

(3) 高速公路往往穿越多种地貌单元,土层条件复杂多变,同一种桥头跳车处理方法也要根据土层变化进行调整。同时,沿线施工环境变化大,特别是对路堤、路堑的综合处理,在施工顺序和施工方法上应重视对临近已建和在建构筑物及复杂地质条件的影响。

(4) 高速公路路基加固处理质量检验方法。因高速公路路基面广量大的特点,常规的载荷试验、标准贯入试验等受到一定的限制,应采用快速、经济、有效的方法,结合一定的统计知识,以得出较满意的结果。

### 1.1.2.3 高速公路桥头跳车处理基本原则

桥头跳车处理工程设计应遵循以下基本原则开展工作。

#### 1. 调查研究

(1) 设计要求:主要包括道路等级,桥梁及构造物结构、受力及使用要求,稳定安全系数和变形允许值等。

(2) 工程地质条件:地形及地质成因、路基成层状况;软弱土层厚度、不均匀性和分布范围;持力层深度及状况;地下水情况及路基土的物理和力学性质。

(3) 环境影响:在桥头跳车处理施工中应考虑对场地环境的影响。如采用强夯法和砂桩挤密法等施工时,振动和噪声对邻近构筑物和居民产生的影响和干扰;采用堆载预压法时,将会有大量土方运进运出,既要有堆放场地,又不能妨碍交通;采用真空预压法或降水预压法时,往往会使邻近公路周围路基产生附加下沉;采用石灰桩或灌浆法时,有时会污染环境。总之,施工对场地的环境影响也不是绝对的,应慎重对待,妥善处理。

#### (4) 施工条件:

1) 用地条件。如施工时占场地较大,对施工虽较方便,但有时却会影响经济造价。

2) 工期。工期不宜太紧,这样可以有条件选择缓慢加荷的堆载预压法等方案,且施工期间的路基稳定性增大,经济效益明显。

3) 工程用料。尽可能就地取材。

4) 其他。施工机械化程度、施工难易程度、施工管理水平、质量控制和工程造价等因素也是决定采用何种桥头跳车处理方案的关键因素。

#### 2. 确定桥头跳车处理方案

(1) 搜集详细的工程地质、水文地质及路基基础的设计资料。

(2) 根据结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、周围和相邻公路等因素,初步选定几种可供考虑的桥头跳车处理方案。

(3) 对初步选定的各种桥头跳车处理方案,分别从处理效果、材料来源及消耗、机具条件、施工进度、环境影响等方面进行认真的技术经济分析和对比。值得注意的是,每一种处理方法都有一定的适用范围、局限性和优缺点,没有一种桥头跳车处理方法是万能的,必要时可选择两种或多种桥头跳车处理方法组成综合处理方案。

(4) 对已选定的桥头跳车处理方法,可在有代表性的场地上进行相应的现场试验和试

验性施工, 并进行必要的测试以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时, 应查找原因、采取措施或修改设计。

路基处理的设计程序参见图 1.1。

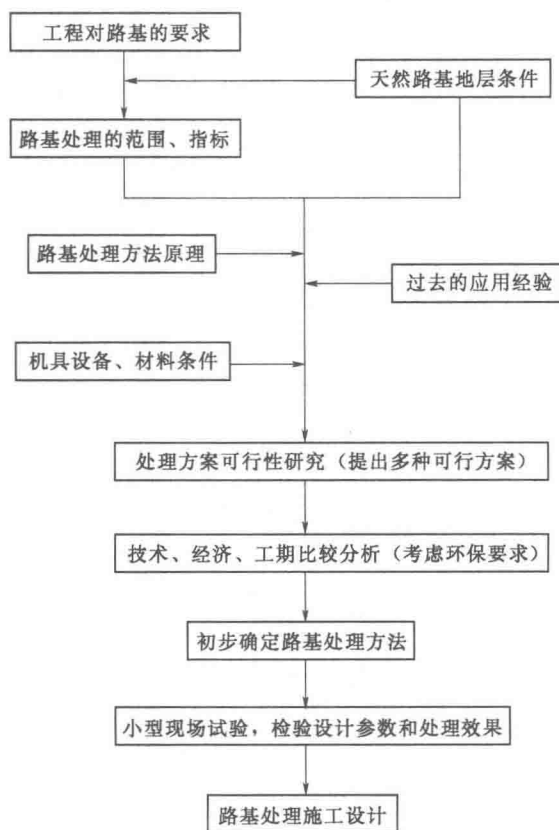


图 1.1 路基处理设计框图

### 3. 桥头跳车处理工程的施工管理

对于已采用的桥头跳车处理方案, 必须严格施工管理, 否则会丧失良好处理方案的优越性。在施工中对各个环节的质量标准要严格掌握, 安排合理施工工期及工序。因为路基加固后复合路基的强度提高往往需要一定时间, 随着时间的延长, 路基强度还会增长, 变形模量也会提高。所以可通过调整施工速度, 确保路基的稳定性和安全度。

一般在桥头跳车处理施工前、施工过程中和施工后, 都要对被加固的路基进行现场测试, 以便及时了解路基土加固效果, 修正加固设计, 调整施工进度。有时为了获得某些施工参数, 须于施工前在现场进行桥头跳车处理的原位试验。有时为了保证邻近公路的安全, 还要在路基加固前对邻近公路或地下设施进行沉降和裂缝等监测等。

#### 1.1.3 高速公路路基处理方法及其适用性

对桥头跳车处理方法的分类多种多样, 如按时间可分为临时处理和永久处理; 按处理深度可分为浅层处理和深层处理; 按处理土性对象可分为砂性土处理和黏性土处理, 饱和

土处理和非饱和土处理；也可按照桥头跳车处理的作用机理进行分类。实际上严格地按照桥头跳车处理的作用机理进行分类也是很困难的，很多桥头跳车处理的方法具有多种处理的效果，如碎石桩具有置换、挤密、排水和加筋等多重作用；石灰桩又挤密又吸水，吸水后又进一步挤密等反复作用；在各种挤密方法中，同时都有置换作用。可见，每一种处理方法可能具有多种处理的效果。对每种桥头跳车处理方法，在使用时必须注意其加固机理、适用范围、优点和局限性。

#### 1.1.4 公路工程的桥头路基问题

公路工程的桥头路基问题概括起来有下列4个方面：

(1) 路基强度及稳定性问题。当桥头路基的抗剪强度不足以承受路堤及路面外荷载时，路基可能会产生局部或整体剪切破坏，造成路堤塌方、失稳，桥台破坏。

(2) 沉降变形问题。当路基在上部荷载及外载作用下产生过大的沉降时，会影响道路的正常行驶。特别是产生过大的不均匀沉降时，会导致路面开裂，构造物与路堤衔接处差异沉降，引起桥头跳车；涵身、通道凹陷、沉降缝拉宽而漏水；路面横坡变缓、积水等。

(3) 地震、车辆振动等动力荷载可能引起路基土特别是饱和无黏性土的液化、失稳及震陷等，导致路面破坏或无法使用。

(4) 雨水侵蚀、温度变化及地下水位上升等引起管涌、冻融（冻胀）、湿陷等也会引起路基强度和变形的显著变化，从而影响道路的正常行驶。

当高等级公路工程中遇到上述问题之一时，必须在桥梁起点采取路基处理措施，否则会引起质量问题，严重的会导致工程无法使用，造成极大的经济损失。桥头路基处理就是利用夯实、置换、加筋和热力学等方法对路基土进行加固，以改善路基土的剪切性、压缩性、振动性和特殊路基的特性，使之满足道路工程的使用功能。从另一方面来讲，对于交通量大、养护困难的高等级公路，桥头跳车处理的恰当与否直接关系到工程质量、投资和进度。因此，桥头跳车处理对节约基本建设投资、保证高等级公路正常运营具有重要意义。

## 1.2 桥头跳车处理技术和方法综述

### 1.2.1 桥头跳车原因分析

根据各地关于桥头跳车病害的调查资料，引起桥头路堤非均匀沉降的原因主要有以下5个方面。

#### 1. 路基土质不良，引起沉降

桥涵通常位于沟壑地段，路基地形起伏变化较大，地下水位一般也较高，且多属软土，在其上填筑路基，极易产生沉陷。同时，桥头路基填筑高度较一般地段大，产生基底附加应力相对较大，更易引起路基沉陷。

#### 2. 结构差异引起不均匀沉降

桥梁一般为钢筋混凝土结构，为保证其可靠度和耐久性，须采用桩基础进行设计。桥头路堤为高填方土体加上路面结构，是完全柔性的基础形式。结构形式不同，对路基产生

的附加应力形式也就不同,引起的变形随时间不同也有较大差异:道路通车后,桥梁墩台的沉降几乎不再增加,台背土体的固结沉降则有一个缓慢的发展过程,必然引起桥头差异沉降,形成桥头跳车。

### 3. 台背填料引起路基压缩沉降

台背填料因含有水分,存在孔隙,施工中的任何措施都不能将填料颗粒间的孔隙完全消除,在其自重及车辆荷载作用下,孔隙率逐渐降低,填料逐渐压缩,在一定期限内产生压缩沉降。因此,压缩沉降主要决定于填料性质、施工条件及台前、台背防护工程的设置情况。一般透水性好的土、级配较好的砂石料,其压缩沉降小;施工符合工序、压实符合要求,压缩变形小;台前、台背设置有挡土墙、护面墙等防护构造物时,其压缩沉降也较小。

### 4. 设计不周、措施不当产生路基沉降

桥梁工程建设在高等级公路建设造价中往往占很大比重,受工程造价限制,设计师往往压缩桥梁孔径尺寸,在大河面、大沟壑采用小跨径,使桥涵构造物尺寸偏小(有时甚至不到河面宽度的1/2),这就造成桥头路堤过长、过高,且大多处于排水不良、土质软弱的路基上,对桥梁采用桩基础,而对桥头软土路基未做处理,或处理不当,留下隐患;台前、台背防护工程的设计不合理,受路堤填料的压力或推挤作用产生水平位移,使桥台背离桥头路堤,引起桥头路基沉陷和衔接裂缝;为节省投资,就地取材,填料未处理,使其质量欠佳;桥台结构与路面结构的衔接考虑不周,设计不良,在其连接部位尽管设计接缝,或设计连续铺装,有的还设置搭板以调节不均匀沉降,但由于桥台与路堤相邻处结构差异引起沉降差,仍造成桥头路面裂缝,纵坡不顺,或在结构突变点形成错台,导致跳车;桥台路段水泥混凝土路面的膨胀缝设计不良,或与沥青路面接缝处理不当,导致混凝土板块挤压桥台帽及桥面,形成跳车;对桥头路面排水处理不良,使得雨水沿接缝或裂缝下渗路基,产生病害。

### 5. 施工质量控制不严留下隐患

施工不符合规范要求,台背填土速度过快,压实不够,则沉降大,对台背挡土墙等构造物的压力大,若台前护土墙、挡土墙等结构物砌筑不及时,则有可能引起土体滑移,影响压实效果,甚至危害桥基;台背及翼墙内侧填土,因受施工作业面限制,工期紧及不宜使用压实机具等原因,难以达到规定要求;桥头混凝土路面设计不周是导致施工质量问题的又一隐患;对桥头沉陷病害缺乏足够认识,没有严格把好填料质量关,按分层填筑、分层碾压、分层检测三分工法施工,没有选择合适的气候条件进行施工等,从而产生沉降。

## 1.2.2 处理桥头跳车的必要性和重要性

### 1.2.2.1 桥头跳车现象的普遍性

在高等级公路的规划建设中,既要考虑高等级公路使用功能的满足情况,又要充分考虑道路通过地区原有的交通情况。有资料显示,在我国的沿海地区,大约每隔300~500m就要修筑一座桥(涵)以满足地方交通的需要。这些桥(涵)一般都会引起桥头跳车现象,从而影响高等级公路的使用功能。在美国,大约有25%的桥梁(约有15000座构筑物)受到桥头跳车的影响,每年的维修费用高达一亿美元以上。

### 1.2.2.2 桥头跳车的危害

多数资料显示,桥头跳车的危害主要在以下两个方面:

(1) 车速降低、耗油增加。桥头跳车使行车不平稳,乘员感觉不舒适,运行效率降低。车辆需减速行驶,车速降低的幅度根据桥面类型、车辆类型、原行驶速度、不均匀沉降高差的大小不同而存在差异。一般情况下,重车对桥头跳车的敏感性小一些,车速高的车对跳车的敏感性较大。错台高差越大,跳车越明显。同时,车辆速度的变化不仅增加油耗,加快车辆的机械磨损,而且加大了交通事故发生的概率。

(2) 诱发、加重桥梁病害。车辆荷载是动荷载,对桥梁结构会产生冲击作用,由于桥头跳车的存在,对桥梁结构来说是一个相对更大的加载作用。这种反复的冲击会使桥头铺装层遭到破坏,缩短桥头支座和伸缩缝的寿命,增加桥梁的养护费用,缩短桥梁的正常使用年限。

所以,桥头跳车不仅严重影响行车的安全、速度、舒适度和人们对高速公路的总体评价,同时也影响了车辆的使用寿命,甚至导致交通事故(特别是车辆机械事故)的发生,而且会加速桥台背、桥头伸缩缝以及接缝路面的破坏,不及时养护还会在桥台与台背部分出现更为严重的问题,养护期间在此部分破坏的修复费用支出也是比较大的。因此,桥头跳车问题已成为高速公路营运中应该重视并亟待解决的问题。

### 1.2.3 桥头跳车处理技术路线

实际工程中,要使桥涵构筑物和桥涵台背填土路堤之间没有任何差异沉降是不可能的,桥头路基处理和采取其他加固处理措施的目的是尽量减小这种差异沉降,或使桥台和路堤同步沉降,以减轻桥头跳车的危害。

现在,处理桥头跳车的技术路线主要从以下4个方面入手。

#### 1.2.3.1 减小路基沉降

- (1) 路基加固。
- (2) 土工格栅。
- (3) 轻质填料。
- (4) 路基架空。
- (5) 膨胀填料。
- (6) 接缝处理。

#### 1.2.3.2 使路基预沉降

- (1) 预压(结合砂井路基或塑料排水板)。
- (2) 刚性桩后处理路基。

#### 1.2.3.3 加大桥台沉降

- (1) 柔性桥台。
- (2) 桥台后加载。

#### 1.2.3.4 技术措施

- (1) 根据经验将路堤抬高。
- (2) 设置桥头搭板。
- (3) 设计和施工技术。

## 1.2.4 桥头跳车处理方法综述

### 1.2.4.1 台背路基填土非均匀沉降处治方法

为解决桥台台背路堤的非均匀沉降问题,常采用设桥头搭板、路基土换填、填筑碎石土、轻质填料、动力压实、挤密桩等处治措施。这些措施对加速路堤沉降稳定、减少路堤工后沉降、减缓桥台与其后路堤的沉降差起到了一定的作用。

#### 1. 设置桥头搭板

桥头搭板使桥面与路面之间过渡更加平顺。搭板通常采用钢筋混凝土板,一端搭在桥台台背,另一端直接搁在路基上或枕梁上,枕梁是埋置在搭板下面的路面与搭板的过渡结构,它可以防止搭板端部路基的非均匀沉降。为了防止搭板底部的掏空,搭板下常填筑压缩性较小的填料(如二灰碎石、砂砾填料、碎石土等)。搭板可与桥台连成整体,但大多数情况下是在桥台与搭板之间设胀缝。搭板的宽度与桥面板相同,厚度可采用等厚式,也可采用变厚式。大部分搭板长度在6~12m之间,一般采用8m。搭板钢筋的数量与形式取决于搭板的设计荷载与板长,一般在搭板顶部和底部均布设钢筋。搭板末端接缝的设计往往会影响到搭板的使用性能,既要考虑交通荷载,又要承受路面系统的温度胀缩,还要防止水和杂物从接缝处渗入,因此接缝内应用弹性材料填充。此外,台背的排水也是一个非常重要而又容易忽视的问题,为了保证台背排水的通畅,可设置透水性基石、纵向或横向排水设施,也可采用某些土工合成材料排水措施。

一般认为,桥头搭板设置得当可平顺桥台与其后路堤的沉降差台阶,但在实际使用中却经常出现搭板底部掏空而引起断板或使沉降差台阶从桥台处转移到路基与搭板之间而引起所谓的“二次跳车”现象。

#### 2. 填筑碎石土

填筑碎石土是目前国内应用最广泛的一种台背填筑方法。它主要是利用碎石的低压缩性能和优良的排水性能,碎石土经过压路机严格压实后的工后沉降比较小。但是,靠近台背部分填料的压实仍是摆在施工单位面前的一道难题。此外,碎石土是一种松散材料,因而只能用于有侧限的桥台(如U形桥台)。对于无侧限的桥台(如桩柱式桥台、肋板式桥台),则因为填料沿锥坡或路堤边坡的水平位移而导致路堤产生竖向沉降,由此反而有可能加大路堤表面的沉降。

#### 3. 轻质填料

在软弱路基上的路堤,可采用轻质填料来减轻路堤对路基的荷载,从而减小路堤沉降量并且使路堤的稳定性得到增强。要求填料要有较高的强度、硬度、耐久性以及低压缩性,否则路基会随路基的变形而偏移。

以下是对轻质填料材料的技术要求:①松密度小于 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ;②高弹性模量,大摩擦角;③稳定性好,抗化学腐蚀能力;④无冰冻;⑤不腐蚀金属;⑥对环境无害。

采用轻质填料应同时考虑经济性与可行性。国外应用轻质填料比较有效的是轻质混凝土、聚苯乙烯等。目前在我国采用轻质填料的工程实例不多,今后是一个值得努力的方向。

#### 4. 动力压实

动力压实是利用反复的落锤对一定深度的土体进行压实的方法,也称强夯法。落锤的



高度通常在 9~23m 之间,重量在 5400~27000kg,也有用重量 90000kg、高度 30m 的例子,落锤落于事先定好的位置之中。它主要是利用落锤的冲击波和动应力对路基和填土进行加固。动力压实的作用效果一般在 12m 左右,其作用的深度由能量、填土性质和状态决定。

但动力压实目前尚未有成熟完善的理论及设计方法,特别是锤重和高度、强夯遍数以及加固效果预估和冲击波对桥台的影响等,还有待进一步的研究。因而动力压实处理台背填土应用还不是很普遍。

### 5. 挤密法

用挤密的办法来处理路基填土,是利用在填土中成孔,通过“挤”压作用,使路基土得到加“密”,然后在孔中填入某种颗粒材料并振动压实成桩。随着路基向桥台的靠近,桩长逐渐变长,由此而形成一个刚度渐变的过渡结构。成桩后,由于桩的横向挤压作用,可使路基填土在挤密后达到规定的压实度要求,从而减少路堤本身的沉降并使沉降均匀化。从材料上来说,常用的挤密桩材料有砂桩、土或灰土、二灰土,不管用哪一种材料的桩,从路基压实度的角度来说,其设计方法大同小异,由于土桩的材料一般是素土、灰土或粉煤灰石灰等,故均属就地取材的廉价材料。

#### 1.2.4.2 台背路基填土加筋

随着加筋土技术的不断完善和土工合成材料的日益广泛应用,人们已提出采用土工合成材料加筋解决桥台台背路堤不均匀沉降的方法。

在实际工程实践中难以避免台背填料压实度不足而引起沉降,有时这往往是引起沉降的主要原因,而且,为了解决填料沉降的问题,用透水性好、易压实的砂砾材料做填料,这在缺石地区往往难以实现;用轻质填料又面临成本过高等诸如此类的问题。人们就提出采用土工合成材料对桥台台背路堤填土进行加筋的方法来解决其沉降的不均匀性,处治方案如图 1.2 所示。土工合成材料分层水平铺设,纵断面成倒梯形,靠台背端锚固定在桥台背上(桩柱式桥台可采用 U 形钢板夹锚方式)。

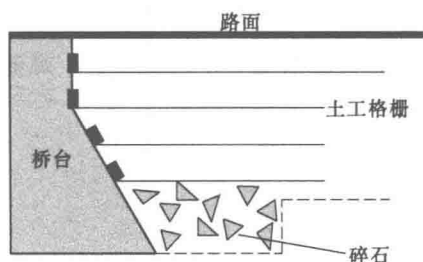


图 1.2 土工格栅处理桥头跳车示意图

采用这样的处理措施可以达到双重目的。一方面,利用锚固的加筋材料一端的张拉作用,在台背局部范围,分层阻止填料顺台背的沉降;另一方面,由于加筋材料是按层以一定间距水平铺设,加筋材料的拉力是由其接触的土颗粒传递给没有直接接触的土颗粒,一般认为按土拱作用考虑,使土颗粒受到约束,土体本身颗粒间以及土颗粒与加筋材料接触面间的摩擦咬合作用增强。



### 1.2.4.3 柔性桥台加固

前述所有桥台台背路堤非均匀沉降处治方法中,不管是桥头搭板、挤密桩还是台背加筋等,对于桥台与台背路堤之间支承刚度差异大的问题并没有从根本上予以解决,因为支承刚度的急剧变化会使行驶的车辆在此处于一种振动状态。如果将圬工砌筑的刚性桥台设计成加筋土结构的柔性桥台,就能在施工过程中保证加筋土结构所选用的填料及其压实度与台背路堤填料基本相同,从而也使得桥台与台背路堤支承刚度基本相同,在使用过程中所产生的沉降也保持一致,因此就能在根本上避免错台的出现和桥头跳车的产生。

柔性桥台主要由填土中水平布置的土工加筋材料(钢带、土工格网、土工格栅等)以及墙面板3部分组成(图1.3)。它实质上是一种加筋土结构,其加固原理是视加筋体为均质的各向异性的复合材料,在外力和自重的作用下由于土中埋设了水平方向的筋材,在沿筋材方向膨胀变形时,筋材犹如一个“约束应力”,阻止了土体的伸延变形,“约束应力”相当于与筋材之间的摩擦阻力,最大值取决于加筋材料的抗拉强度和筋材锚固力,这就使得柔性桥台能支承桥跨结构传来的荷载。

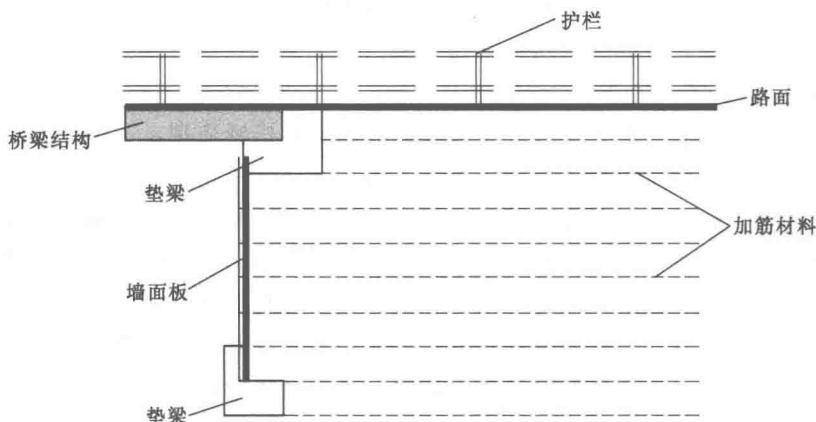


图 1.3 柔性桥台结构示意图

柔性桥台和刚性桥台相比,大量地减少了圬工数量,降低了对路基承载力的要求,使桥台和路堤同步施工,在经济上有其突出的优越性。

## 1.3 本书主要内容介绍

对公路工程桥头与路基相接处由于结构不同等原因而产生的不均匀沉降及处理方法进行了深入的研究,并介绍了克服或减缓桥头跳车的工程方法和相应的地基处理技术。本书的主要内容如下:

(1) 介绍了目前对公路路基进行加固处理的主要复合地基方法,包括换填法、强夯法、碎石桩法、注浆法、高压喷射注浆法、深层搅拌桩法、加筋土法、土工合成材料法等,这些方法均各有其优缺点,有其相应的工程实用范围。

(2) 投石压浆小桩复合路基技术是一项新的地基处理技术,通过对高等级公路高填方土体桥头跳车的原因分析,根据刚性桩的工作机理和特点,提出利用刚性桩后处理高等级