

文章编号: 1006—2106(2009)02—0025—05

# 客运专线铁路路基沉降控制的若干问题\*

韩志霞 崔俊杰\*\*

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300142)

摘要: 研究目的: 客运专线路基工后沉降控制标准高, 目前的地基处理理论与设计方法主要是针对传统的软土地基, 并不完全适合客运专线路基工后沉降的设计计算与地基加固处理, 本文对遇到的若干问题进行分析探讨, 提出可采用的方法。

研究结论: 通过对确定压缩层厚度各种方法优缺点的分析, 给出了压缩层厚度计算方法; 在分析轨道、列车以及运架梁车等荷载特点的基础上, 通过对路基稳定、沉降变形的控制因素分析, 对轨道、列车与运架梁车荷载在稳定、沉降计算中的考虑方式与简化形式提出了建议; 通过对各种基础形式的荷载传递特性、复合地基的形成条件等内容研究, 提出客运专线路基沉降控制分析应根据路堤基底垫层形式、加固桩的类型, 采用复合地基或复合桩基理论进行。

关键词: 客运专线; 压缩层; 轨道与列车荷载; 运架梁车; 沉降控制

中图分类号: U213.1 文献标识码: A

## Solution to the Control of Subgrade Settlement for Passenger Dedicated Line

HAN Zhi-xia CUI Jun-jie

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: Research purposes: The commonly used design and treatment theory and method for the traditional soft soil foundations can not meet the needs of the foundation consolidation treatment and design calculation of the post-construction settlement of passenger dedicated line because the passenger dedicated line requires less post-construction settlement for its subgrade. This paper offers the solution to control of subgrade settlement of passenger dedicated line. Research conclusions: The method for determining the thickness of compressed layer is put forward through making the analyses of advantages and disadvantages of the all methods in details. Based on the analysis of the load characteristics of track, train and transporting girder vehicle and subgrade control factor of stabilization and settlement, the proposals are made to simplifying the load forms of track, train and transporting girder vehicle. Through the research on the different load transfer characteristics of foundation forms and formation conditions of composite foundation, it is pointed out the subgrade settlement control on passenger dedicated railway line should be conducted according to the cushion form of the embankment base and strengthening pile types with the composite foundation theory.

Key words: passenger dedicated line; compressed layer; track / train load; transporting girder vehicle; settlement control

客运专线路基沉降控制的主要目的是控制路基的工后沉降, 以确保高速列车的行车安全, 尽量满足旅客对舒适度的要求, 并减少日常维修工作。所谓路基的工后沉降, 是指轨道工程铺设后在路基荷载和列车荷

载作用下, 路基发生的剩余沉降, 即最终形成的总沉降量与路基竣工铺轨开始时的沉降量之差。路基的沉降控制设计包括总沉降计算、固结度计算或工前沉降估算等内容。

\* 收稿日期: 2008-11-06

\*\* 作者简介: 韩志霞, 1970年出生, 女, 高级工程师; 崔俊杰, 1970年出生, 男, 高级工程师, 铁道第三勘察设计院集团有限公司地路处副总工程师。

客运专线路基工后沉降控制标准的确定,既要考虑列车对路基的要求及线路维修能力,也要考虑前期建设投资与后期养护费用的经济比较,在保证客运专线列车高速、安全与平稳运行的前提下,应取得经济上

的合理平衡。

目前,我国客运专线建设实践中采用的工后沉降控制标准如表 1 所示。

表 1 路基工后沉降控制标准

设计速度 / (km·h <sup>-1</sup> )	轨道结构类型	一般地段工后沉降量 /mm	过渡段工后沉降量 /mm	沉降速率 (mm/a)
250	有砟轨道	100	50	30
300/350	有砟轨道	50	30	20
250/300/350	无砟轨道	工后沉降 $\nabla 15$ mm 长度大于 20 m 沉降比较均匀路基,工后沉降量 $\nabla 30$ mm 且 $R_{\text{竖}} \geq 0.4 V_{\text{sj}}$ 路桥、路隧间差异沉降 $\nabla 5$ mm 折角 $\nabla 1/1000$		

注:  $R_{\text{竖}}$ ——轨面圆顺的竖曲线半径 (m);  $V_{\text{sj}}$ ——设计最高速度 (km/h)。

从表 1 可以看出,同普通铁路、高速公路相比较,客运专线路基工后沉降控制标准要严格得多。因此,在路基工后沉降控制设计中,除传统的软土、松软土地基外,还需对可能发生较大沉降变形或不均匀沉降的其它土质地基进行必要的分析计算和加固处理。目前地基处理的理论与设计方法主要是针对传统的软弱土地基而言的,并不完全适合客运专线路基工后沉降的设计计算与地基加固处理,本文将结合笔者的工作实践,对其中遇到的若干问题进行分析探讨。

## 1 压缩层厚度

### 1.1 压缩层厚度确定的常用方法

压缩层厚度的确定常采用 3 种方法。

(1) 利用建筑物附加应力与地基自重应力之比作为判断压缩层厚度的标准,一般称为应力比法;

(2) 通过一定厚度的土层的变形和地基计算深度范围内的总变形的比值作为判断压缩层厚度的标准,可以称为变形比法;

(3) 采用观测数据回归形成经验公式法。

应力比法主要源于前苏联规范,国内各个行业在使用过程中,根据各自的结构物特点和沉降控制标准的不同,在具体使用标准上是有差异的。公路部门,针对软土地基,把地基附加应力与自重应力之比等于 0.15 作为压缩层厚度的计算标准;铁路部门,主要也是针对软土地基,把地基附加应力与自重应力之比等于 0.1 作为压缩层厚度的计算标准。对于非软土的土质地基,地基的沉降变形一般都不大,所以无论是现行的公路规范还是铁路规范,对此目前都没有明确的规定。秦沈客运专线设计时,提出了松软土的概念,并规定采用地基附加应力与自重应力之比等于 0.2 作为压缩层厚度的计算标准,并进行了观测试验。

建筑行业早先也是采用应力比法来确定压缩层厚度,随着其沉降观测资料的积累,现行规范已开始采用

变形比法或经验公式法来确定其压缩层厚度。

变形比法的具体内容是压缩层底深度应符合式 (1) 的要求:

$$\Delta \dot{S}_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta \dot{S}_i \quad (1)$$

式中  $\Delta \dot{S}_i$ ——在计算深度范围内,第  $i$  层土的计算变形值;

$\Delta \dot{S}_n$ ——在由计算深度向上取厚度为  $\Delta$  的土层计算变形值。

其中:  $\Delta \approx 0.3(1 + \ln b)$ ;  $b$  为基底宽度 (m)。

同时,现行《建筑地基基础设计规范》在对沉降实测资料进行回归分析的基础上,提出当无相邻荷载影响时,基础宽度在 1~30 m 范围内时,基础中点的地基变形计算深度也可按式 (2) 计算:

$$z_0 = b(2.5 - 0.4 \ln b) \quad (2)$$

式中  $z_0$ ——压缩层厚度 (m)。

### 1.2 常用方法的比较与分析

应力比法的提出,主要是基于软土地基。在计算自重应力时,地下水位以上的土层,取其天然容重;地下水位以下的土层,取其浮容重。对于软土地基,地下水位一般都很浅,除表层土外,基本都取浮容重,从深层分层沉降测试的结果看,计算的压缩层厚度也基本合理。但是对于非饱和土地基,地下水位差异很大,致使地下水位越深时,自重应力越大,计算的压缩层厚度越深,从理论上讲就不合理,从目前不多的测试数据来看,也确实不合理。

变形比法的问题是,当  $\Delta$  范围的土层属于相对软或硬夹层时,可能造成压缩层计算厚度的不准确;目前《建筑地基基础设计规范》推荐的经验公式法则是基于有限的建筑物沉降观测资料进行数据拟合而来的,而且工业与民用建筑多用刚性基础,与路基有所区别,并不完全适用于客运专线铁路。

客运专线的路基沉降控制标准,特别是无砟轨道

客运专线, 比其他行业要严格得多, 不仅是软土、松软土地基, 对于可能发生较大沉降变形或不均匀沉降的其它土质地基也需要进行沉降分析。理论上讲, 路堤填筑或列车运行必然引起地基内附加应力产生, 从而使地基土层压缩变形引起路基下沉, 地基内有附加应力就有变形产生, 因而地基压缩层的厚度应该很大, 甚至无限深, 但无论是科学研究还是工程应用, 都是在一定的精度内进行的, 对于工程勘察设计尤其如此, 合理的压缩层厚度的确定至关重要。

综合考虑各种方法的优缺点, 沉降控制精度与勘探深度等因素有关, 对于软土地基, 可以采用地基附加应力与自重应力之比等于 0.1 来计算压缩层厚度; 对于非软土地基, 目前建议采用变形比法或经验公式法来计算压缩层厚度, 随着客运专线的大规模建设和更多深层沉降观测资料的积累, 有待逐步完善。

## 2 轨道与列车荷载

对行驶列车的荷载, 在稳定验算与沉降计算方面是应该区别对待的。对稳定验算来说, 失稳是在外部荷载超过地基抗剪强度的某个位置某个时刻发生的, 所以要选择不利的荷载组合, 对于客运专线, 应考虑双线有车, 也就是应考虑 2 个荷载换算土柱。

从沉降变形的角度来看对列车荷载的影响, 应考虑荷载作用的连续性, 因为沉降变形的发生不是在某一荷载瞬间作用下完成的。公路部门在做路面设计时, 对于行驶的汽车荷载, 采用当量标准轴载的方式进行考虑, 有一定的合理性。考虑到路基上轨道与列车荷载的特点, 在进行客运专线的路基沉降计算时, 并不宜直接套用公路部门的做法, 合理的做法应该是考虑双线的轨道荷载, 对于列车荷载则可以考虑单个荷载。

## 3 运架梁车荷载

客运专线的桥梁, 梁式结构以简支箱梁为主, 多采用现场预制, 运架车运输、架桥机架设或采用运架一体机进行运架; 梁体自重普遍增加, 以秦沈客运专线为例, 其 24 m 双线箱梁自重约 570 t, 运架梁车加载后轮胎对地的最大压强达 529 kPa, 目前在建客运专线的 32 m 双线箱梁自重更是高达约 900 t。因而, 需要就运架梁车对路基的影响加以分析研究, 以确保车辆和路基的安全与稳定。

以秦沈客运专线 DCY450 轮胎式运架车为例, 其荷载总重约 550 t, 载重运行速度 6.8 km/h, 接地压强 443 kPa, 其荷载分布如图 1 所示。

运架梁车荷载大、接地压强高, 基于与列车荷载同

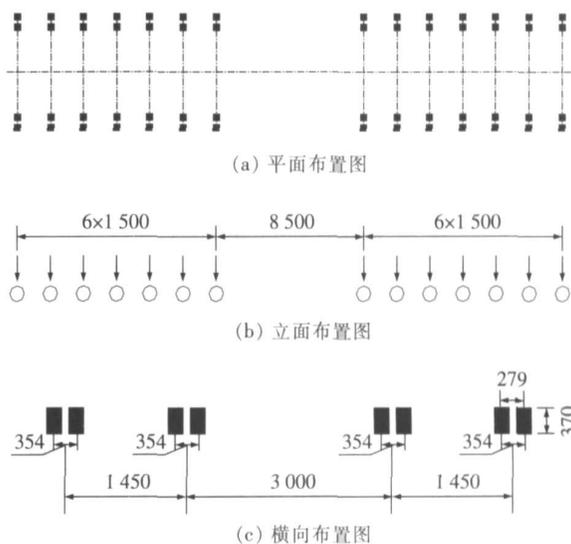


图 1 DCY450 轮胎式运架车分布图 (单位: mm)

样的考虑, 应检算其对路基稳定的影响, 检算方法可以采用常规的瑞典圆弧法; 考虑到运架梁车运行速度慢, 运架梁周期不长, 可按临时荷载考虑, 其稳定安全系数可适当降低, 采用 1.05。

客运专线路基一般都堆载预压, 并进行沉降观测, 卸载后开始箱梁运架工作, 考虑到其荷载作用周期不长, 并且路基已经经过预压, 在进行路基沉降计算时可以不考虑运架梁车荷载的影响, 但在运架梁期间, 应安排沉降监测并将有关数据与先前的监测数据一并进行分析与评估。

在稳定性计算时, 需先将运架梁车荷载换算为土柱高  $h_0$ , 考虑到运架梁车不同于普通机动车辆, 其轮距大, 为安全起见, 可将运架梁车荷载换算为双土柱 (图 2)。换算方法可以采用《公路路基设计手册》的荷载当量高度换算公式:

$$H_0 = \frac{NG}{\gamma B_0 L} \quad (3)$$

式中  $N$ ——路基上横向分布的车辆数, 取 1;

$H_0$ ——荷载换算高度 (m);

$B_0$ ——荷载换算宽度, 取运架梁车横向一侧最外轮中心之间的宽度加轮胎着地宽度 (m);

$G$ ——1 辆汽车的重量, 取运架梁车自重和梁体自重之和的 0.5 倍或 0.25 倍 (kN);

$L$ ——运架梁车前后轴距加轮胎着地长度 (m);

$\gamma$ ——土的重度。

图 2 中  $l_0$  为两换算土柱净间距, 取运架梁车左右两轮组的净间距 (m)。DCY450 轮胎式运架车荷载换算结果如表 2 所示。

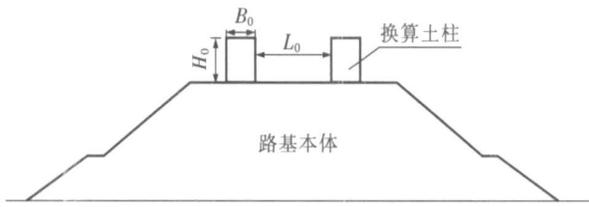


图 2 运架梁车荷载换算示意图

表 2 运架梁车荷载换算土柱高度和分布宽度 ( $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ )

车 型	换算土柱 /m		
	$L_0$	$H_0$	$B_0$
DCY450运梁车	2.37	3.45	2.08

### 4 沉降计算

客运专线铁路路基沉降控制标准高,地基处理多采用 CFG桩、管桩、灌注桩等半刚性或刚性桩进行加固,其沉降计算方法在某些方面尚有分歧,下面从复合地基的定义、各种地基基础的荷载作用等方面进行一些探讨。

#### 4.1 复合地基的定义与本质

复合地基是指天然地基在地基处理工程中部分土体得到增强或置换,或在天然地基中设置加筋材料,加固区是由天然地基土体和增强体两部分组成的人工地基。

下面通过分析浅基础、桩基础和复合地基在荷载作用下的荷载传递特性来认识复合地基的本质,并讨论浅基础、桩基础和复合地基三者之间的关系。

对浅基础,荷载通过基础直接传递给地基土体,如图 3所示。桩基础可分为摩擦桩基础和端承桩基础 2 大类。对摩擦桩基础,荷载通过基础传递给桩基础,桩体主要通过桩侧摩阻力将荷载传递给地基土体;对端承桩基础,荷载通过基础传递给桩体,桩体主要通过桩端端承力将荷载传递给地基土体。因此可以说,对桩基础,荷载通过基础先传递给桩体,再通过桩体传递给地基土体,如图 4所示。对复合地基,荷载通过基础

将一部分荷载直接传递给地基土体,另一部分通过桩体传递给地基土体,如图 5所示。因此,浅基础、桩基础和复合地基三者的荷载传递特性是不同的,复合地基的本质是桩和桩间土共同直接承担荷载。

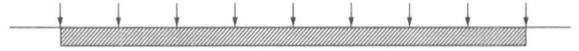


图 3 浅基础

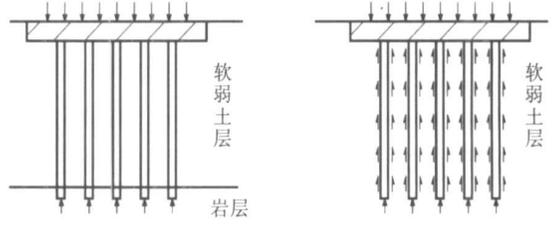


图 4 桩基础

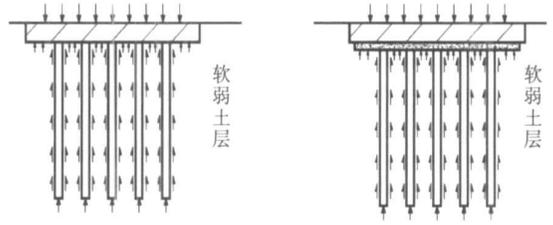


图 5 复合地基

浅基础、复合地基和桩基础三者之间其实并没有严格的界限。如采用土挤密桩加固地基,当桩土应力比等于 1 时,也可视为浅基础;又如考虑桩土共同作用的摩擦桩基,则可以认为是桩基础,也可以看作刚性桩复合地基。

#### 4.2 客运专线路基地基加固常用形式与分析

在荷载作用下,增强体与天然地基土体通过变形协调共同直接承担荷载作用是形成复合地基的基本条件。图 6反映的是目前客运专线路基沉降控制中常采用的的几种地基加固形式,下面进行简要分析。

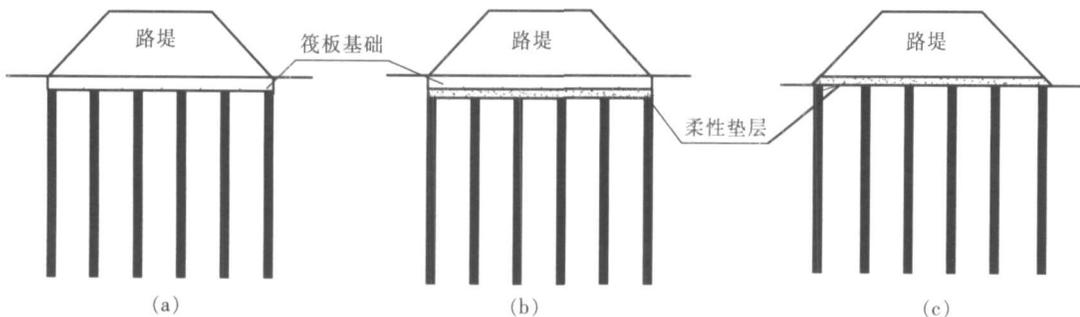


图 6 客运专线路基地基加固常用形式

在图 6(a)中, 在路堤荷载作用下, 刚性筏板基础的存在基本可以保证桩和土共同直接承担荷载, 加固桩采用 CFG 桩或低强度素混凝土桩时, 可以按复合地基进行设计计算; 加固桩采用预制管桩或钢筋混凝土灌注桩时, 一般按复合桩基进行设计计算。

在图 6(b)中, 在刚性筏板基础下设置一定厚度的柔性垫层, 通过柔性垫层的协调, 可以保证桩和桩间土共同承担荷载, 柔性垫层的存在可以减少桩土荷载分担比, 充分发挥桩间土的承载潜能。因而, 一般按复合地基进行设计计算。

在图 6(c)中, 路堤下直接设置碎石加筋垫层, 其作用与刚性筏板基础的柔性垫层的作用正好相反, 碎石加筋垫层的刚度比路基本体要大, 它的存在可以提高桩土荷载分担比, 充分发挥桩的承载潜能, 可按复合地基进行设计计算。

根据复合地基、复合桩基理论进行客运专线路基沉降控制分析可以参照《建筑地基基础设计规范》和《建筑桩基技术规范》进行, 本文不再赘述。

## 5 结论

客运专线路基沉降控制标准高, 目前地基处理的理论与设计方法主要是针对传统的软弱土地基, 并不完全适合客运专线路基工后沉降的设计计算与地基加固处理, 随着工程实践的日益增多, 特别是工程试验和

沉降观测成果的积累, 客运专线路基沉降控制理论与设计方法将不断得以完善, 目前在沉降控制分析工作中, 可以按以下建议进行设计。

(1) 对于软土地基, 可采用地基附加应力与自重应力之比等于 0.1 来计算压缩层厚度; 对于非软土地基, 可采用变形比法或经验公式法来计算压缩层厚度。

(2) 对于轨道与列车荷载, 在稳定检算时, 采用双线有载; 在沉降分析时, 考虑双线轨道荷载和单个列车荷载。

(3) 在稳定检算时, 运架梁车荷载按双土柱法换算; 沉降分析时, 不考虑运架梁车荷载的影响。

(4) 客运专线路基沉降控制分析, 应根据路堤基底垫层形式、加固桩的类型, 采用复合地基或复合桩基理论进行。

## 参考文献:

- [1] 屈晓辉, 崔俊杰. 客运专线铁路路基设计技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008
- [2] 地基处理手册编委会. 地基处理手册 [K]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008
- [3] JGJ 79—2002/J 220—2002 建筑地基处理技术规范 [S].
- [4] JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范 [S].

(编辑 张 滨)

(上接第 12 页)

工建设实施, 改建后地区客货运作业顺畅, 分工明确, 并且为远期的铁路和城市发展创造了条件。本文通过对整个研究过程的总结得出如下结论:

(1) 通过对现状存在的问题和城市规划、运营单位意见等主要因素的分析研究, 形成了两大系列的主要方案, 通过经济技术比较, 地区内采用津秦客专经北戴河站, 引入既有秦皇岛站后, 与秦沈客运专线贯通方案, 并修建津山货车外绕线。

(2) 在客运专线引入地区方案研究过程中, 尽量构建客内货外的布置格局, 并且对既有线路和场段进行整合, 贯彻以人为本的设计理念。

(3) 通过对影响引入枢纽方案主要因素的分析, 并在此基础上形成方案, 再分类、分层次进行研究, 这

种方法不但可保证不遗漏有价值的方案, 且使推荐方案满足铁路和地方的要求。

## 参考文献:

- [1] 铁道第三勘察设计院集团有限公司. 天津至秦皇岛客运专线可行性研究报告 [R]. 天津: 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 2005
- [2] 铁道第三勘察设计院集团有限公司. 秦山地区铁路总图规划修编 [Z]. 天津: 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 2005
- [3] GB 50091—2006 铁路车站及枢纽设计规范 [S].

(编辑 张 滨)