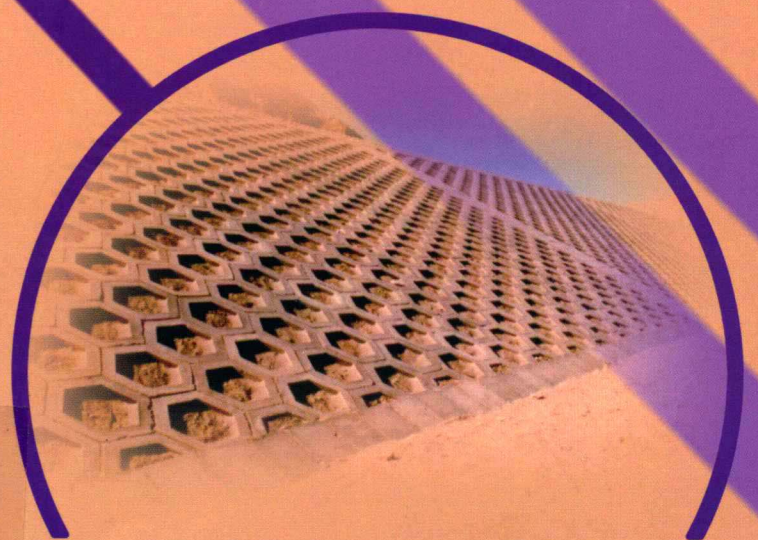


安全与案例
铁路工程施工
分析丛书



铁路路基工程 施工安全与案例分析

黄守刚 主编



TIELU LUJI GONGCHENG
SHIGONG ANQUAN YU ANLI FENXI

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路工程施工安全与案例分析丛书

铁路路基工程施工安全 与案例分析

黄守刚 主编



中国铁道出版社

2011年·北京

内 容 简 介

与隧道工程和桥涵工程相比,路基工程施工安全风险相对较低,但由于容易被施工人员忽视,其安全问题依然突出。本书以《铁路路基工程施工安全技术规程》为指导,通过大量典型案例系统分析了铁路路基工程施工中的安全技术知识。通过配备大量插图将内容化繁为简,使读者能快速直观掌握路基工程施工安全知识,增强安全意识,提高安全技术水平。

本书不仅适合于铁路工程管理与技术人员、安全专职人员参考阅读,也适合于广大铁路工人自学。

图书在版编目(CIP)数据

铁路路基工程施工安全与案例分析/黄守刚主编.

—北京:中国铁道出版社,2011.7

(铁路工程施工安全与案例分析丛书)

ISBN 978-7-113-13025-1

I. ①铁… II. ①黄… III. ①铁路路基—铁路工程—
工程施工—安全技术 IV. ①U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 105615 号

书 名: 铁路工程施工安全与案例分析丛书
铁路路基工程施工安全与案例分析
作 者: 黄守刚 主编

责任编辑:徐 艳 电 话:010-51873193
封面设计:崔丽芳
责任校对:张玉华
责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京市昌平开拓印刷厂

版 次:2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:7.25 字数:173 千

书 号:ISBN 978-7-113-13025-1

定 价:19.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

编写委员会

主 编:黄守刚(石家庄铁道大学)

副主编:秦 凯(中铁十三局集团)

张金柱(中铁十二局集团)

委 员:邓汉权(中铁二十五局集团)

高俊青(中铁二十一局集团)

徐宝域(中铁二十四局集团)

曹万玲(中铁二十局集团)

廖柳红(中铁二十五局柳州公司)

刘 斌(中铁十一局集团)

李占先(中铁十四局集团公司)

亢新华(中铁一局集团)

杨先权(中铁大桥局集团)

潘建华(中铁二十二局集团)

黄旭升(中铁十八局集团)

吴景龙(石家庄铁道大学)

李艳菊(河北省住房与城乡建设厅执业资格注册中心)

梁爱国(中铁十九局集团)

康拥政(石家庄铁道大学)

郭法生(中铁四局集团)

李培安(中铁二十局集团)

张云峰(中铁四局集团)

谢安荣(中铁二十五局集团)

夏润禾(中交第二公路工程局有限公司)

黄基富(中铁八局集团)

王四虎(中铁十五局六公司)

严少发(中交隧道工程局有限公司)

王维新(中铁十八局集团)

王立广(中交隧道工程局有限公司)

王善高(中交隧道工程局有限公司)

李永华(河北交通职业技术学院)

前 言

随着国家大规模铁路建设的展开,铁路建设投资大幅增加,施工任务重,工期紧,存在大量高处、野外、深水作业,流动性大,机械调动频繁,新工人比例高、安全意识相对较差,再加之新技术新标准的大量采用,因此铁路建设安全风险比以往更高,铁路建设安全管理任务艰巨。为适应当前的铁路建设安全形势,我们编写了铁路工程施工安全与案例分析丛书。

本丛书包括9个分册,涵盖桥涵、隧道、轨道、路基、营业线、地铁、施工机械作业、铁路工程建设安全生产管理及施工现场事故防范与处理。该系列丛书以现行铁路工程各专业施工安全技术规程为指导思想,结合铁路建设安全知识需求的实际情况,通过400余个安全案例,深入浅出地阐述了铁路工程(含地铁)各专业的施工安全管理、技术和措施的一些基本知识。各分册均配备了大量的插图,将安全知识化繁为简,书籍可读性强,使读者能快速直观掌握铁路工程施工安全基本知识,增强施工安全意识,提高安全施工技术水平。

本丛书在编写和审定过程中,奋斗在铁路建设一线的专业技术人员提出了很多宝贵意见,提供了大量的素材,在此一并表示感谢。由于作者水平有限,且时间仓促,书中难免有不足之处,敬请读者指正并提出宝贵意见。

编者
2011年6月

目 录

第一章 路基工程施工安全概述	1
第一节 路基的特点	1
第二节 路基施工技术简介	4
第三节 土石方施工机械的安全使用要求	23
第四节 高速铁路路基工期安排及工艺特点	26
第五节 路基冬雨季施工	27
第六节 施工准备阶段的作业安全要点	31
第二章 软土地基处理施工安全技术	35
第一节 概 述	35
第二节 排水固结法施工技术	37
第三节 置换法双层地基或复合地基	42
第四节 刚性桩基础	48
第五节 深层密实法	57
第六节 其他方法	60
第三章 路堑施工安全	62
第一节 概 述	62
第二节 土质及软岩路堑施工安全要点	63
第三节 路堑石方爆破安全技术	69
第四节 爆破器材的安全管理	79
第五节 岩石路堑爆破施工作业安全	80
第四章 路堤施工安全技术	82
第一节 概 述	82
第二节 填筑作业安全	83
第三节 特殊路基施工安全	85
第四节 过渡段施工安全技术	88
第五章 支挡防护及防排水工程施工安全	90
第一节 概 述	90
第二节 挡土墙安全施工技术	91
第三节 路基排水设备安全技术	102
第四节 路基加固结构施工安全	103
第五节 防护工程施工安全	105
参考文献	108

第一章 路基工程施工安全概述

第一节 路基的特点

一、普通铁路路基的特点

路基施工包括路堑、路堤土石方、防排水设施、挡土墙等防护加固构筑物以及为修建路基而作的改移河道、道路等。其中路基土石方工程是最主要的,它包括路堑工程的开挖、路堤工程的填筑、路基的平整工作,包括平整路基面、整修路堑(路堤)边坡、平整取土坑等。而有关防排水方面的工程,由于项目众多且较为零星,往往受到忽视。但是防排水是保证路基主体工程得以稳固的根本措施,因此必须妥当安排、保证质量。

【案例】两伊铁路伊敏索木车站修建过程中,存在路基排水不畅的情况(图 1-1),既影响路基质量,又影响安全。

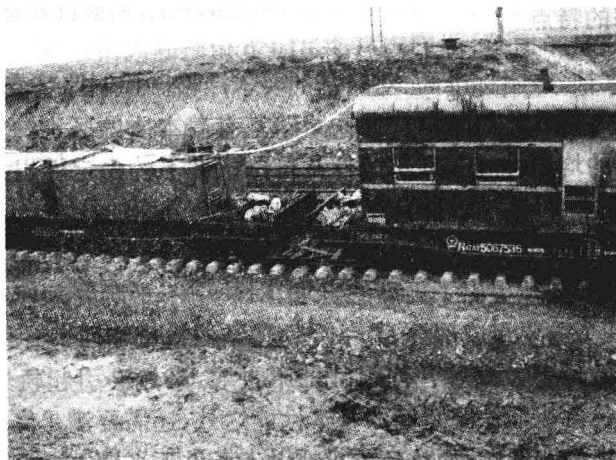


图 1-1 路基排水不畅

路基施工时的基本操作是挖、装、运、填、铺、压,虽然工序比较简单,但通常需要使用大量的劳动力及施工机械,并占用大量的土地,尤其是重点的土方工程往往会成为控制工期的关键工程。修筑路基时常会遇到各种复杂的地形、地质、水文与气象条件,给施工造成很大的困难。因此,路基施工决非一般人所想象的那样简单,对此不能有任何轻视之意。要得到满意的路基工程施工质量,必须严密组织,精心施工。

概括地说,路基施工具有如下特点。

1. 工程量大

俗话说,路基工程就是“土石方大搬家”。一条新建铁路的路基土石方工程量往往达到千万立方米。有关资料表明,每公里新建铁路的路基土石方数量:平原为 0.8 万~4.5 万 m^3 ,丘陵/山岳为 4.5 万~8.5 万 m^3 ,困难山区为 8.5 万~13.5 万 m^3 。路基工程占总投资的比例很

高,占用土地的土地量最多,使用劳动力的数量也较多。

当然,随着技术的发展及施工水平的不断提高,许多高填、深挖的路基工程将逐渐为桥、隧结构物所取代,这样既可提高线路质量,又可减少养护工作,有利于运营。另外,随着机械化施工水平的提高,劳动力需求的绝对数量也会下降。

2. 地形复杂多变

铁路线路绵延成百上千公里,因此路基工程必然会遇到众多复杂的自然环境。面对各种地形、地质所带来的各种施工困难,如果在施工中处理不当,就会给日后铁路运营遗留无穷隐患。

3. 施工质量难以控制

路基工程是以土、石松散体为建筑材料的,材料特性千差万别,较难准确掌握,因此施工质量的控制也更为复杂。

4. 施工条件差

路基施工是野外作业,特别是边远山区自然条件差,运输不便,物资设备的供应及施工队伍的调度极为困难,加上路基工地分散,工作面狭窄等,易使一般的技术问题变得复杂化。某些复杂的技术问题,更是难以用一般常规的方法和经验加以解决。此外,在路基施工中还存在场地布置难、临时排水难、用土处置难、土基压实难等不利因素。

二、高速铁路路基的特点

高速铁路行车速度快、技术标准高、对路基的要求严格。控制路基变形已成为高速铁路路基的最大特点。因此,高速铁路路基与普通铁路路基有着本质的区别。其不同之处表现在控制路基变形、路基刚度的均匀性和在列车运行及自然条件下的稳定性以及施工组织与控制难度大共四个方面。具体来讲,高速铁路路基具有如下几个方面的特点。

1. 路基变形控制

高速铁路对轨道的平顺性提出了更高的要求,对轨道不平顺管理标准要求非常严格。路基是铁路线路工程的一个重要组成部分,是承受轨道结构重量和列车荷载的基础,也是线路工程中最薄弱、最不稳定的环节。路基几何尺寸的不平顺,必然会引起轨道的几何不平顺。因此,高速铁路路基除应具备一般铁路路基的基本性能之外,还需要满足高速铁路轨道对基础提出的性能要求,不仅要求静态平顺,而且还要求在动态条件下平顺。

2. 路基刚度的均匀性

列车速度越高,要求路基的刚度越大,弹性变形越小。弹性变形过大,高速运行就得不到保证,就像车辆在松软的沙滩上无法快速行驶一样。当然,刚度也不能过大,过大了会使列车振动加大,也不能做到平稳运行。路基刚度的不平顺会给轨道造成动态不平顺。研究表明,由刚度变化引起的列车振动与速度的平方成正比。列车速度越高,刚度变化越剧烈,引起列车振动越强烈。路基刚度的均匀性差,轻则使旅客舒适度降低,重则影响列车运行安全。所以,要求路基在线路纵向做到刚度均匀、变化缓慢,不允许刚度突变。

3. 列车运行及自然条件下的稳定性

在列车运营时,路基不仅要承受轨道结构和附属构筑物的静荷载,还要承受列车荷载的长期反复作用。同时,由于路基直接暴露在自然条件下,需要抵抗气温变化、雨雪作用、地震破坏等不良因素的影响。路基工程必须在这些条件的长期作用下保持其强度不会降低、弹性不会改变、变形不会加大,真正做到长寿命、少维修。只有这样,才能高速行驶,减少维修费用,并增

加运行的安全性。

针对以上几点要求,目前的普通铁路是不能满足的。因此,高速铁路必须在路基结构、路基材料及施工工艺等方面采取一系列与普通路基不同的技术标准才能实现,集中体现在强度高、刚度大的路基基床,沉降小或没有沉降以及沿线路方向平缓变化的刚度等三方面。

4. 施工特点

与一般铁路工程的施工相比,客运专线路基施工具有如下特点:

(1)工程质量要求高,工后沉降控制严。客运专线的高平顺性决定了路基工程必须质量高,客运专线采用无砟轨道,对路基工程的工后沉降和沉降差控制更严。

(2)填土高度增加。为了减少横向交通干扰,必须在高速铁路下设置行人和车辆行走设施。对于山岭重丘区,可利用地形布置天桥式横穿道,对于平原区,则只能以提高路基填土高度来满足设置下穿式通道的要求,其填土高度一般都在4 m~5 m以上。由于填土高度增加,路基本体发生过大的和不均匀沉降变形的可能性增大,而客运专线对路基的变形控制非常严格,因此必须相应提高填料的性质、含水率、压实标准等指标要求。

(3)取土、弃土的矛盾较突出。当路线通过山区和丘陵区时,由于线形标准的提高,设计时很难准确考虑土方的填挖平衡,有可能增大借土或弃土的数量,或者带来铁路用地范围的扩大,给工程施工造成困难。

(4)客运专线跨越不同地区,工程地质极为复杂,很难实现在短时间内使路基变形趋于稳定,控制工后沉降,必须采取措施和预留6~18个月沉降期,预留沉降期越长越有利。由于高速铁路线形的重要性,路线通过特殊地质条件的机会较多,在山区,通常会遇到大的滑坡体、泥石流及稻田、水库等情况;在冲积平原和三角洲地区,会遇到大面积的深层软土地基。对于以上情况,在工程施工中就要求采取特殊的施工工艺。

(5)路线中的桥涵和通道等特殊工程多。高速铁路一般采取全封闭的方式,以保证列车的快速通行和安全行驶。为解决高速铁路与地方交通的关系,以及广大农村生活、耕作、灌溉等问题,就需要增设较多的桥涵及通道等特殊构造物,这就给施工增加了困难,如施工中需要修筑更多的施工便道;对路桥(涵)过渡段填土的压实标准要求也较严格。

(6)路基边坡的技术要求高。在高速铁路上,为了行车的舒适和安全,对路基边坡的稳定性和线形的美化程度均有较高的要求。路基边坡的防护和加固工程较多,其施工的技术要求和美学要求也较高。

(7)高速铁路建设项目繁多,工程投资巨大,任务艰巨,工期要求紧,质量要求高,这就使路基施工的组织与管理更加严格。路基工程自身有地基处理、路堤填筑、路堑开挖、支挡结构、边坡防护、路基排水及相关工程项目,是一个相互制约、相互影响的系统工程。要在施工过程中实现优化施组、科学管理存在一定的难度。由于路基施工系野外作业,受水文、气候、地质等自然条件的影响很大。特别是雨季和冬季,给一些地区的施工增加了许多困难,施工作业受到极大限制,甚至无法进行。另外,路基工程是线形建筑物,施工面狭长,流动性大,临时工程多,施工易受到其他工程和外界的干扰,施工管理工作量大。在施工过程中,路基工程直接影响桥梁架设和轨道工程的施工,故而路基工程工期相当紧。

(8)路基施工机械化程度高,各种新工艺、新材料、新技术得到广泛应用,对工程技术人员提出了巨大的挑战。

高速铁路路基的上述特点决定了它的施工规律,只有研究并遵循这些规律,科学地组织高速铁路施工,才能圆满地完成施工任务。

第二节 路基施工技术简介

一、路基施工准备

要保证工程项目能够如期高质量地完成,任何一项工程在正式开工前,都必须做好必要的施工准备工作。路基施工前,必须根据工程的实际情况做好组织准备、物资准备和技术准备工作,使各项施工活动能正常进行。在施工过程中,所有的施工活动都必须严格按照有关规定规范进行,以确保工程质量,最后得到质量优良的路基实体。

开工前的组织准备工作主要是建立健全工程管理机构 and 施工队伍,明确各自的施工任务,制定施工过程中必要的规章制度,确定工程应达到的目标等。组织准备是其他准备工作的开始。

路基施工要消耗大量的人工、材料和机具,因此开工前应进行所需材料的购进、采集、加工、调运和储备工作,同时要检修或购置施工机械,做好施工人员的生活、后勤保障准备。劳动力、机械设备和材料的准备工作是路基施工组织计划的重要组成部分。

路基施工前的技术准备工作包括施工调查、核对设计文件、线路复测、清理施工场地以及试验段施工等工作,同时应做好施工防排水工作。此外,路基土石方调配方案,也须在开工前做好。

二、土石方调配

为了有成效地组织路基施工,首先要解决的是土石方的调配问题。所谓土石方调配就是要解决从路堑里挖出来的土应该运到哪里去,路堤上需要的土应该从哪里运来的问题。

(一)路基横断面面积的核算

计算路基土石方数量必须先求出路基横断面的面积。对于地面比较平坦规则的断面,可将其分成矩形、梯形、三角形分别计算。对于不规则地面的断面,通常采用两脚规量算法,可以较快地求出面积。

利用两脚规量算路基横断面面积时,一般每个断面应量两次,取其平均值,并且两次数值的差不得超过断面面积的 2%,否则应重新量算。

(二)土石方工程量的核算

计算线路土石方工程量的方法通常有两种,即平均断面法和平均距离法。由于施工现场的地形千变万化,路基横断面积的数值也随之不断变化,因此在实际工作中常常采用平均距离法计算土石方工程量。

(三)土石方的调配原则

从路堑挖出的土壤,一般应尽量利用来填筑路堤,称为移挖作填,是路基工程的一个重要特点。在考虑经济效益时,应争取最大限度的移挖作填,最大限度地降低施工工程量。土石方调配就是解决这一问题的。

应该特别引起注意的是,路基土石方工程的施工工程数量并不取决于路基建筑几何体积的计算,而是取决于路基土石方调配方案。因此,在正式开工前做好最优的土石方调配工作,可以大大减少工程造价。

在进行土石方调配的规划时,以下原则是应该加以考虑的:

(1)节约用地。尽量利用荒地、劣地、空地作为取土、弃土的场地;少占耕地,并结合施工改

地造田。取土坑的深度与弃土的堆置地点,要考虑排水系统的全面规划,禁止弃土堵塞渠道;取土坑的深度应使坑底高程与桥涵沟底高程相适应,以利排水。

(2)好土应尽量用在回填质量要求较高的地段。

(3)挖方量与运距之和尽可能为最小,即总土方运输量或运输费用为最小。

(4)充分利用移挖作填,减少废方和借方,使挖方和填方基本达到平衡;同时选择恰当的调配方向、运输路线,使土方运输无对流现象。

如果挖方少于填方数量时,可以先横向取土填筑路堤底部,再纵向利用路堑的挖土填筑路堤的上部。如果路堤两侧取土有困难时,可采用放缓路堑边坡或扩大断面的方法取土。当挖方数量大于填方数量时,可先横向将多余土方丢弃,再纵向运输到路堤处填筑。

(5)在规划土源时也应考虑附近其他余土的利用问题。可充分利用改河、改沟、改移公路等附属工程的土方。隧道开挖出来的坚石、次坚石可充分利用来修建桥涵、挡土墙等建筑物,还可用作线路道砟。预留的复线位置或拟扩建站场的范围,都不应在其挖方上弃土,也不应在预留填方处取土,最好将挖方上的弃土弃于预留填方处。

(6)调配土方平衡土源时,还应考虑以下因素:

①土、石方经过挖掘、运输、填筑及压实后,其体积较原来有所变化。有的体积增加,有的减少,可以用松散率或压缩率表示,其数值的大小与土石成分、性质、夯实密度、含水量和施工方法等有关。在调配土石方的数量时,应根据其压缩率或松散率的经验数值进行调整。

②路堤基底的沉陷量(约路堤填土高度的1%~4%)。

③土石的挖、装、运、卸过程中的损耗。

④用机械填筑路堤时,为了保证路基边沿部分的填土压实,施工时须将路堤每侧填宽约0.2 m。

一般来说,可按填土的断面方数增加15%来规划取土土源,但计算完成的工程量时,只能按设计的断面方数计算。

(7)土石方调配与施工方法密切相关。施工方法不同,土石方调配的方数和经济运距也不同。

要做好土石方调配工作,不能单靠设计文件和图纸,必须进行现场调查。只有结合现场的实际情况进行调配,才能使调配的方案具有实际的意义。

(四)土石方调配的两种方法

区间的路基是线形土石方建筑物,大型站场的路基是广场型土石方建筑物,在对两者进行土石方调配时,所采用的调配方法是不同的。通常对区间的路基土石方调配采用线法调配,而对大型站场的路基土石方调配采用面法调配。

1. 线法调配

线法调配主要是借助于线路纵断面图和土积图来实现。所谓土积图是指在线路纵断面图下方,按照各桩号处的累计土石方数量(挖方为正、填方为负)所绘制的该段线路的土石方量累计曲线。通过线路纵断面图和土积图,可以确定区间路基土石方调配的最大经济运距,从而得出最合理的移挖作填方案。

采用线法调配通常有两个运土方向:纵向运土和横向运土。纵向运土是指从路堑运土到两端的路堤;横向运土是指从路堑运土到弃土堆或从取土坑运土到路堤。当从路堑挖一方土纵向运到路堤的费用,比将路堑挖一方土横向运到弃土堆,再从取土坑挖一方土横向运到路堤的总费用更低时,纵向运土是较为经济的。但随着纵向运土的距离增大,利用方的单价也随

之增大。当纵向运土增加到一定的距离,使得从路堑挖运一方土到路堤的费用,比将土运到弃土堆,再从取土坑挖一方土运到路堤的总费用大时,则纵向运土应改为横向运土。这一运距叫做最大经济运距,它可以由下式算出:

$$L_E \leq \frac{a + b(L_c + L_f) + d}{b}$$

式中 a ——挖装 1 m^3 土石方的费用,其值随施工方法和土的等级而不同;

b —— 1 m^3 土石方运送 1 m 距离的费用,其值随运输方法而不同;

d —— 1 m^3 弃土和 1 m^3 取土所占用土地的地亩费用;

L_c —— 1 m^3 土石方从路堑运送到弃土地点的运送距离;

L_f —— 1 m^3 土石方从取土坑运送到路堤的运送距离。

应当指出,移挖作填的合理运距不能单纯从经济上考虑。在线路穿经城镇、工矿、森林、农田、果园等地区时,必须尽可能压缩取、弃土用地宽度,适当加大移挖作填距离,这不仅在宏观上是合理的,而且随着运土机械的发展,也是可能的。而对于不可避免地必须占地的场合,则需要尽可能地不占好地,或通过施工改地造田,造地还田。

2. 面法调配

面法调配主要用于大型站场和重点高填深挖的大面积土石方调配,其运土方向无一定的规律性,只要能做到在站场范围内将土石方合理分配即可。

采用面法调配时必须同时考虑站场附近其他设施的施工对土石方调配的影响,如果对这些情况不了解,或者对其给土石方调配带来的影响程度估计不足,将使调配工作复杂化,造成不必要的浪费,增大工程成本。在考虑填挖方数时,要把同一站场内施工的建筑物基坑、地道及其他可以利用作填方的挖土数量计算进去。在大量修建作为疏干场地用的排水沟及渗沟时,须计算其土方数量,因为这些土方有时数量很大,会影响土方调配。大型编组站施工进度计划中所规定的线群铺设及开通次序对土方工程施工方法的选择及土方调配具有决定性影响。对于附近是否有可以利用的设备、利用的程度等均要全盘考虑。

站场土石方调配应在施工组织设计说明书内说明选定调配方案的主要理由,以及所采取的有关施工方法和重要措施的基本内容。

三、土质路堤施工

为保证路堤具有足够的强度、良好的稳定性及耐久性,应选用符合要求的填料,采用合理的方法来填筑路堤。在土质路堤的施工过程中,尤其要重视对填土的压实。

(一)路堤基底的施工处理

路堤填筑前,应先按基底的土壤性质、基底地面所处的自然环境状态,同时结合设计对基底的稳定性要求等,采取相应的方法和措施对基底予以处理。其作用是为了保证路堤的稳定,使之不致产生滑移和过度沉陷等现象。基底处理所涉及的因素很多,影响最大的是下面 4 个因素:基底土的土质、路堤高度、地下水、坡度。

(二)路堤填料的选择与鉴别

1. 土的可松性

天然土体或岩石在施工过程中的变化,一般可以概括为三种状态。即:开挖前的自然状态,挖掘、装运后的松散状态,压实后的密实状态。自然状态下的土,经过开挖以后,其体积因松散而增大,以后虽经回填压实,仍不能恢复成原来的体积,这种性质称为土的可松性。

由于土方工程量是以自然状态下土的体积计算的,所以在计算土方调配、土方施工机械及土方运输工具数量时,应考虑土的可松性。土的可松性程度可用松方系数、压缩系数和沉陷系数来表示,即

$$\text{松方系数: } K_1 = \frac{\text{土经开挖后的松散体积 } V_2}{\text{土在天然状态下的体积 } V_1}$$

$$\text{压缩系数: } K_2 = \frac{\text{土经回填压实后的体积 } V_3}{\text{土在天然状态下的体积 } V_1}$$

$$\text{沉陷系数: } K_3 = \frac{\text{土经回填压实后的体积 } V_3}{\text{土经开挖后的松散体积 } V_2}$$

土的可松性与土质有关,根据土的工程分类,松方系数和压缩系数可参考相关技术手册。

2. 填料的具体选择

填料选择的好坏是决定路堤能否坚固和稳定的重要因素。根据填料的颗粒组成、颗粒形状及塑性指标,可将填料分为岩块、粗粒土以及细粒土三大类。岩块类是指粒径大于 20 mm 的颗粒含量大于全重 50% 的填料,包括块石和碎石;粗粒土是指粒径大于 0.1 mm 的颗粒含量大于全重的 50% 的土,包括砾石和砂类土;细粒土是指粒径小于 0.1 mm 的颗粒含量大于全重 50% 的土,包括粉土和黏性土。

为便于工程施工时的选择应用与管理,增强填料适用性,根据填料本身的风化程度及级配的优劣,将其归纳为 5 个组,具体如下:

A 组为优质填料,包括硬块石、碎石土、粗砂、中砂、级配良好的漂石土等。

B 组为良好填料,包括软块石、碎石土、粗砂、中砂、级配不好的漂石土等。这两组填料在填筑路堤时可以任意使用。

C 组为可使用的填料,包括粉砂、粉土、滑石类土等。该组填料在使用时应限制其使用范围或对其作特殊处理。例如,白垩土及滑石类土,仅允许用于基底干燥且不受水浸的较低路堤,并在使用时进行个别设计,采取措施保持路基本体不致受水影响。又如,带有草皮的表层土,不得填于高度在 1.2 m 以内的路堤。当路堤高于 1.2 m,且地面横向坡度小于 1:5 时,可将其打碎用于路堤下层。

D 组为不应使用的填料,包括黏粉土、风化严重的软块石等。原则上在路基工程中不应采用这一组别的填料,在不得不使用 D 组填料时,应按设计要求采取改良土质、加强压实以及做好防排水工程、加固坡面护坡等措施。

E 组为严禁使用的填料,主要是指有机土,例如淤泥及淤泥质土、含石膏及其他易溶盐类含量超过容许限度的土。该组填料绝对不得用于路堤填筑。

(三) 填料的鉴别

填料的鉴别主要有两种方式:一种是野外鉴别,另一种是试验室分类。野外鉴别主要适用于工地的现场作业。对于岩块和粗粒土,一般用手触感觉(手感)、目视观察(目测)等简易方法鉴别。对于细粒土的鉴别要相对复杂得多,它分为四个步骤,即:摇晃反应、韧性试验,干强度试验和光泽反应。通过以上简易试验,可以对细粒土进行野外鉴别定名。

建筑材料在使用以前必须经过严格的试验,得到符合规范要求的指标以后方可使用,填料也不例外。填料的试验室分类是按照下列各项试验进行的:筛分法、液限及塑限试验、对特殊土辅以专门的鉴别试验、计算 C_u (不均匀系数) 和 C_c (曲率系数) 值,据此判别填料级别的好坏。

四、土质路堤的填筑方法

路堤本体各部分以及填筑的护道均应分层填筑并压实到规定的密度。“分层填筑”和“压实达到标准”是对路堤填筑的基本要求,至于在不同条件下保证其实现的作法要求,则应根据不同的情况分别考虑。同时,压实层的铺填厚度和压实的遍数应通过试验合理确定。

(一)填筑方法

铁路列车运行对线路平顺性的要求很高,路堤填筑质量的好坏直接关系到列车运行的舒适度和安全度。要保障路堤的填筑质量,应严格按照横断面、全宽度、逐层、水平铺填并夯实路基。

分层填筑时,原则上最好采用同一种类的填料,从下而上逐层填筑、碾压密实,如原地面不平,则由最低处分层填起。如果必须使用不同类土填筑路堤,不得将两种及两种以上填料混杂填筑,因为采用混杂填筑不能保证填料种类的特征以及压实的均匀性,且易于在路堤内形成水囊,降低路基施工质量。一般采用下列填筑方式:

(1)将渗水性较大的土,填于渗水性较小的土层上时,应把渗水性小的土层面做成向两侧1%~4%的横坡,以利排水。

(2)将渗水性较小的土,填于渗水性较大的土层上时,应在渗水性大的土层面,保持水平坡面,或者做成凸形。如果两类填料的颗粒大小相差悬殊,则应在层间设置相应的垫层,以防止上层细粒土落入下层内。

(3)当分层填筑不适宜时,一般将渗水性较小的土层填在堤心部分,顶部及两侧填筑渗水性较大的土,通常称这种路堤为“包心路堤”。当下层堤心部分为含水量较大的土,而以渗水性较弱的一般黏性土包在外层时,应在坡脚设置滤水趾,以促进堤心土体的固结。

(4)填筑涵管两侧路堤缺口,应从涵管的两侧不少于涵管孔径两倍的宽度内对称水平分层填筑,以免涵管两侧因受力不均而产生位移、开裂等现象。

(5)为了避免桥台背后的填土因水浸或受冻对桥台产生附加推力,在台后下方不小于2.0 m、上方不小于2.0 m加桥台高的范围内,应以渗水土填筑;确有困难时,除严寒地区外,亦可采用一般黏性土填筑。对于各类土的填筑,均应严格夯实。采用一般黏性土作填料时,其密度要求达最佳密度的90%。

(二)施工注意事项

在填筑路堤时,应注意以下几点:

(1)施工前,必须对地基进行复查核对及处理,并随即填筑。发现地基范围内有泉眼、坑穴或局部松软等,应慎重处理,不得随意填塞。

(2)路堤填料的选择应满足“路堤填料选择”的要求。填料的挖、装、运、铺及压实应连续进行,以防止填料的物理、化学特征(如级配、塑性、液限、风化程度、含盐量等)随时间或在作业过程中丧失或转变,应使路堤上的实际填料尽可能与选定的相符。在作业过程中,对细粒土和粉砂、黏砂填料,应避免其含水量的不利变化;对粗粒土和软块石,应防止产生颗粒的分解、沉积和离析。

(3)对分层填土的厚度和要求夯压的次数应严格控制。填土厚度应均匀,以保证每一填层各深度的压实密度均匀一致。压实层面应碾压或夯压大致平整,以保持上一层填土厚度均匀,局部凸凹差不大于30 mm。压实密度及其均匀性应经检验符合要求后方可在其上继续填筑。逐层检验控制填筑是为了确保整个路堤的密实度符合要求。为适应机械化施工的发展,须采用并不断研究快速检测技术。一般层厚以30 cm为宜。

(4)当土质不良时,可以采取向土中加入掺合料的办法,以改善和提高填料的稳定性、防水或排水性、压实性和强度。当采用掺料土改良土质时,应先摊平土料,再散布掺合料,用犁、耙或其他方法充分拌和,经检查无明显的不均匀现象方可使用。应特别注意的是,掺料土所含成分的均匀性是改良土质能否达到预期效果的关键。检查均匀性一般以观察其色泽为主,或采取其他野外鉴别方法;当设计对掺料土均匀性有指标要求时,还须按其指定的试验方法检测控制。

(三)填土压实

天然结构的土,经过挖、运、填等工序后变为松散状态,必须将路基填土碾压密实,以保证路堤获得必须的强度和稳定性。如果路基压实不好,基础不稳,就会影响轨道的平顺性。因此,压实工作对路基施工是至关重要的。

1. 压实方法

填土的压实方法有碾压、夯实和振动。平整场地等大面积填土工程多采用碾压法,对较小面积的填土工程则宜采用夯实法和振动压实法。相应的压实机械也可以分为碾压式、夯击式和振动式三大类型。此外,运土工具中的推土机、铲运机以及汽车也可用于路基压实。

碾压法是利用机械滚轮的压力压实土壤,使之达到所需的密实度。碾压机械有平碾、羊足碾和气胎碾等几种。平碾又称光碾压路机,是一种以内燃机为动力的自行式压路机。按重量等级分为轻型(30~50 kN)、中型(60~90 kN)和重型(100~140 kN)三种,适于压实砂类土和黏性土。羊足碾一般无动力,靠拖拉机牵引,有单筒、双筒两种。根据碾压要求,又可分为空筒及装砂、注水三种。羊足碾虽然与土接触面积小,但对单位面积的压力比较大,土壤压实的效果好。羊足碾适于对黏性土的压实。

夯实法是利用夯锤自由下落的冲击力来夯实土壤。夯实法分人工夯实和机械夯实两种。人工夯实所用的工具有木夯、石夯等;常用的夯实机械有夯锤、内燃夯土机和蛙式打夯机。夯实机械具有体积小、重量轻、对土质适应性强等特点,在工程量小或作业面受限制的条件下尤为适用。

振动压实法是将振动压实机放在土层表面,借助振动机构使压实机振动,使土的颗粒发生相对位移而达到紧密状态。用这种方法振实非黏性土效果较好。振动碾是一种振动和碾压同时作用的高效能压实机械,比一般平碾提高工效1~2倍,适用于对爆破石渣、碎石类土、杂填土或轻亚黏土的压实。

2. 压实作业原则

路基的压实作业,在操作时应遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则。

所谓先轻后重,是指开始时先使用轻型压路机进行初压,随着被压实层密度的增加,逐渐改用中型或重型压路机复压。

所谓先慢后快,是指压路机碾压速度随着碾压遍数的增加可以逐渐加快。这是因为在初压作业时,土壤较松散,以较低的速度进行碾压,可以使碾压的作业时间长一些,作用深度大一些,土壤的变形也就充分一些,以利于发挥压路机的压实功能,避免因碾压过快造成推拥土壤或陷车;随着碾压遍数的增加加快碾压速度,有利于提高压路机的作业效率和表层的平整度。

所谓先边后中,是指碾压作业始终坚持从路基两侧开始,逐次向线路中心碾压,以保证路基的设计拱形和防止路基两侧的坍塌。

另外,在碾压过程中,应始终保持压路机行驶方向的直线性。到达一碾压地段的尽头时应迅速而平稳地换向,并使左右相邻两压实带有1/3的重叠量,以保证碾压质量。对于压不到的边角,应辅以人力或小型机具夯实。

3. 影响填土压实质量的因素

影响填土压实质量的因素有很多,其中最主要的有:土的含水量、分层厚度、压实机械以及压实遍数。

(1)土的含水量。路堤施工前,对筑路用的土应由试验人员进行试验和测定,以决定最佳含水量和密度。在施工中还必须经常测量实际填土密实度(一般是用土壤湿度密度仪或核子湿度密度仪进行测定),以便及时发现问题进行纠正。

填筑路堤用土的含水量须严格控制,应等于或接近最佳含水量。这是因为细粒土和粉砂、黏砂填层的压实密度,是以压实系数 K 值,即达到按规定试验方法测定的填料最大密度的百分比值为标准,而最大密度是在最佳含水量时进行压实试验所得到的密度。当含水量小于或大于最佳值时,即使其他压实条件相同,密度也将小于其最大值,甚至达不到要求值。因此,在施工时填层的实际含水量应尽量接近其填料的最佳含水量。当填料含水量大于限值时,应采取排水疏干、松土晾干等措施;当含水量过低时,应洒水湿润,也可先挖弃表层土,取用含水量适当的底层土。

(2)分层厚度。压实机械的压实作用,随土层的深度增加而逐渐减小。在压实过程中,土的密实度也是表层大,并随深度加深逐渐减小,超过一定深度后,虽经反复碾压,土的密实度仍与未压实前一样。各种压实机械的压实影响深度与土的性质、含水量有关。所以,每层铺土厚度应根据土质、压实的密度要求和压实机械性能确定。

(3)压实机械。不同压实机械,适用于不同土质、土质厚度等条件,这是选择压实机械的主要依据。正常条件下,对于砂性土的压实效果,振动式较好,夯击式次之,碾压式较差;对于黏性土,则宜选用碾压式或夯击式,振动式较差甚至无效。不同压实机械,在最佳含水量条件下,适应于一定的最佳压实厚度以及通常的压实遍数。

(4)压实遍数。填土压实后的密实度与压实遍数有关。在一定的含水量条件下,开始压实时土的密实度急剧增加,经过一定的压实遍数后,接近土的最大干密度,在此之后虽经反复压实,其密度再无变化。所以,对不同的土,以及压实后的密实度要求不同,各类压实机械的压实遍数也不同。

(四)预留沉降量

预留沉降量也称为沉落量,是在填筑路堤时,考虑到施工时和竣工后路堤本体的压缩与固结,根据堤高、填料种类及压实条件,并结合地基情况、施工季节及延续时间,以及施工观测等具体情况而采取的适当抬高路堤的措施。由于影响预留沉降量的因素很复杂,不宜机械地规定。因此,必须在施工过程中从维修和使用的角度出发,按照工程实际需要与可能适当取值。

【案例】某公路路基坍塌事故

(1)工程背景及事故经过

某高速公路分四个阶段施工,其中软基段长达 14 km,该段软基处理采用的方法是:先清除鱼塘淤泥及田地杂物,回填河砂至地表,再铺设 60 cm 厚的砂砾垫层,打塑料板(间距 1.2 m,长度为 11 m),其上铺两层土工布,土工布之间是 50 cm 砂,第二层土工布上仍是填砂。

施工单位自××××年3月底开始施工,到××××年10月底填砂已达到设计标高。路基填筑高度为4 m左右,后因邻近的季华路立交桥高程提高,线路纵坡重新调整,12月底,路基填筑高度增加2.32~2.85 m,施工单位接到变更设计图纸后继续施工,到××××年12月底,路基填筑高度高达5.8 m。次年元旦,该段路基产生了滑坍,路基平均下沉2 m,工人L、H正在此段路填筑土,L及时跳离逃生,H则随路基滑下,后被救起,经医院抢救1 h后死亡。

(2) 事故原因

① 技术方面

该段路基由于变更设计,路基高程平均提高 2.5 m 左右,使填土高达 7 m 多,设计单位对此段路基,仍按打塑料板加铺土工布的排水固结方法处理,而未增设反压护道,这在设计上是不安全的。

施工单位在施工中,未能严格按照××高速公路技术规范关于软基段路基填筑时,路基竖向沉降每日不能超过 1.5 cm,坡角水平位移每日不能超过 0.5 cm 的要求控制填土速率和进行沉降监测。

② 管理方面

(a) 设计单位对设计方案考虑欠周全;

(b) 施工方案未经严格审核,更没有按规范编制专项的工程安全施工组织设计;

(c) 缺乏专门的管理人员进行现场指挥和监管。

路堤交付铺轨时,预留沉降加高的路基面应保持平顺。

在不适宜预留沉降高度的地段,如站场、应考虑加强压实以提高填层密度,或采取预压加速沉降等措施。

交付铺轨时,预留沉降加高的路基面应保持平顺,必要时,预留沉降高度应作适当调整。路基面的抬高,应向邻接的填挖交界或桥台以及预留沉降量较小的地段顺坡递减,递减的纵坡不宜大于线路的最大限制坡度,困难条件下不得超过最大限制坡度的 2‰。

【案例】石太高速客运专线路基下沉

(1) 事故概况

2009 年 7 月 7 日至 8 日,我国开工最早的高速铁路客运专线——“石太客运专线”发生了路基下沉事故,由于连日普降暴雨,事故发生时,列车晃车严重,其中 K178+910、K158+300、K106+300 三处路基下沉严重,最大下沉分别达到 64.2 cm、16 cm、9.7 cm。这起事故导致多趟北京至太原的动车组限速运行晚点,严重影响了铁路正常运输秩序,危及列车运行安全。铁道部认定 K178+910 质量事故为铁路建设工程质量重大事故,K158+300、K106+300 质量事故为铁路建设工程质量一般事故。图 1-2 为路基下沉后的整治。



图 1-2 路基下沉后的整治

(2) 事故原因

① 路基填筑不规范。填料控制不严,粒径超标,级配不良,甚至有的填料类别与设计不符;