

重载铁路运行条件下 路基快速加固技术指南

朔黄铁路发展有限责任公司
中南大学
铁道第三勘察设计院集团有限公司

ZHONGZAI TIELU YUNXING TIAOJIANXIA

LUJI KUAISU JIAGU JISHU ZHINAN

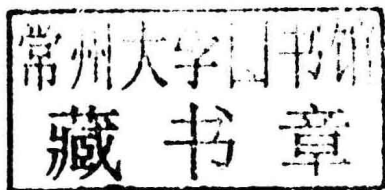
中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

重载铁路运行条件下 路基快速加固技术指南

朔黄铁路发展有限责任公司

中 南 大 学

铁道第三勘察设计院集团有限公司



中国铁道出版社

2015年·北京

图书在版编目(CIP)数据

重载铁路运行条件下路基快速加固技术指南/朔黄铁路发展有限责任公司,中南大学,铁道第三勘察设计院集团有限公司编著. —北京:中国铁道出版社,2015.5
ISBN 978-7-113-18874-0

I. ①重… II. ①朔…②中…③铁… III. ①重载铁路—路基加固—指南 IV. ①U213.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 134938 号

书 名:重载铁路运行条件下路基快速加固技术指南

作 者: 朔黄铁路发展有限责任公司
中 南 大 学
铁道第三勘察设计院集团有限公司

责任编辑:张 婕 编辑部电话:(010)51873141 电子信箱:crph_zj@163.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:焦桂荣

责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京市昌平开拓印刷厂

版 次:2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷

开 本:880 mm×1230 mm 1/32 印张:2.125 字数:46千

书 号:ISBN 978-7-113-18874-0

定 价:13.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

本指南是根据国家高技术研究发展计划(863)《重载铁路桥梁和路基检测与强化技术》技术合同(编号:2009AA11Z101)的要求进行编制的。基于本项目研究成果,并借鉴国内外路基加固的成功经验和相关资料,编制本指南,以便统一既有重载铁路路基加固设计和施工技术要求,保障加固设计和施工水平与质量,实现重载铁路运行条件下路基的快速加固。本指南突出了既有重载铁路路基加固强化的技术特点,对既有铁路路基加固原则、标准、设计和施工方法、检测要求等方面做了规定和说明,建立了一套较完整的既有重载铁路路基快速加固方法,是重载铁路运行条件下路基快速加固的指导性文件。

本指南共分 10 章,主要内容包括:总则,术语和符号,基本规定,加固原则和标准,斜向水泥土桩法,侧向灌浆加固法,挤密桩法,基床换填法,土工格室垫层法,基床封闭法。

本指南由中南大学负责解释。

本指南编制单位:朔黄铁路发展有限责任公司、中南大学、铁道第三勘察设计院集团有限公司。

本指南主要起草人:薛继连、宋绪国、冷伍明、王 铸、余志武、屈晓辉、贾晋中、孟宪洪、聂如松、董 捷、李晓健、张凤维、赵春彦、冷景岩、杨 奇。

目 录

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 基本规定	4
4 加固原则和标准	6
5 斜向水泥土桩法	11
5.1 一般规定	11
5.2 斜向水泥土桩设计	11
5.3 斜向水泥土桩施工	20
5.4 斜向水泥土桩质量检验和工程验收	27
6 侧向灌浆加固法	30
6.1 一般规定	30
6.2 灌浆法设计	31
6.3 灌浆法施工	33
6.4 灌浆效果和质量检验	35
7 挤密桩法	37
7.1 挤密桩的设计	37
7.2 灰土挤密桩的施工	41
7.3 挤密桩的检测	45
8 基床换填法	46

8.1	一般规定	46
8.2	基床换填法设计	46
8.3	换填层法施工	50
9	土工格室垫层法	54
9.1	一般规定	54
9.2	土工格室垫层的设计	54
9.3	土工格室垫层的施工	54
10	基床封闭法	56
10.1	一般规定	56
10.2	基床封闭法的设计	56
10.3	基床封闭法的施工	59
10.4	基床封闭法的检测	61

1 总 则

1.0.1 为了使重载铁路路基的加固设计与施工做到技术先进、经济合理、快速有效、安全适用,对既有线运营影响小,确保加固质量,制定本指南。

1.0.2 本指南适用于既有线重载扩能、既有重载铁路以及既有线提速改造路基加固和病害整治的设计、施工与质量检验。

1.0.3 路基加固方法的选择除应满足运输安全的要求外,尚应做到与铁路运输组织有机结合,并注意保护环境、节约资源等。

1.0.4 路基加固质量和状态检测按《既有重载铁路路基快速检测指南》执行。

1.0.5 重载铁路运行条件下路基加固设计和施工除应执行本指南外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 重载铁路 heavy haul railway

重载铁路指行驶列车总重大、行驶大轴重货车或行车密度和运量特大的铁路。2005 年国际重载协会修订的重载铁路新标准,要求至少须满足下列 3 条中的 2 条:

1)经常、定期开行或准备开行总重至少为 8 000 t 的单元列车或组合列车;

2)经常、正常开行或准备开行轴重 27 t 以上(含 27 t)的列车;

3)在长度至少为 150 km 的线路区段,年计费货运量至少达 4 000 万 t。

2.1.2 斜向水泥土桩法 oblique cement-soil pile method

垂直于线路方向,在路基的侧面(路基边坡)上,向路基体内按一定的倾斜角度高压旋喷注浆,形成一系列一定间距、一定直径的斜向柱状水泥土固结体的路基加固方法。

2.1.3 侧向灌浆加固法 lateral grouting method

亦称注浆法,利用液压、气压或电化学原理,通过注浆管在路基侧面将浆液均匀地注入路基土中,浆液以填充、渗透和挤密等方式,将原来松散的土颗粒或裂隙岩土体胶结成一个整体,以提高路基岩土体强度、防水等性能的加固方法。

2.1.4 挤密桩法 compaction pile method

在路基顶面,通过人工洛阳铲等成孔方法在路基内垂直成孔,选用水泥土或石灰土分层向孔内回填并强力夯实,制成均匀的挤密桩体。

2.1.5 基床换填法 foundation bed exchanged method

将路基中一定范围内的软弱土层或已产生病害的路基体挖除,换填强度高、性能稳定的材料,并分层压实至设计要求的压实度。

2.1.6 土工格室垫层法 geotechnical cancellus cushion method

在路基顶面铺设土工格室,并填充强度高、性能稳定的材料,利用格室侧壁和填料的摩擦作用及相邻网格反作用力的约束,限制土体的侧向变形,从而增加垫层的稳定性和承载能力。

2.1.7 基床封闭法 foundation bed closed method

在路基面铺设一层不透水的土工合成材料或灰土封闭层,隔离地表水,使之不能渗入路基面以下,并通过不透水的土工合成材料或灰土封闭层将道床积水沿路基横向排水坡排至基床外,减小水对基床土质的影响。

2.1.8 复合土工膜 composite geo-membrane

用土工织物或其他材料与土工膜结合而成的不透水材料。

2.2 符 号

P_s ——静轮载,kN;

P_d ——动轮载,kN;

V ——列车运行速度,km/h;

Q ——浆液用量, m^3 ;

L ——过渡段长度,m;

$\bar{q}_s$ ——桩间土的平均摩擦力,kPa;

U_p ——桩周长,m;

q_p ——桩端路基土的承载力标准值,kPa。

3 基本规定

3.1.1 对既有路基加固设计和施工前,应完成下列工作:

(1)收集既有线基础资料,包括线路的设计、施工资料及线路区域的气候、水文、工程地质、地下管线资料等。

(2)收集运营的机车、车辆型号以及运行情况等资料。

(3)收集既有线路基病害、病害整治措施及整治前后检测等资料,病害整治施工与运行调度的协调计划。

(4)既有线路基加固勘察应用铁路行业相关规范和《既有重载铁路路基快速检测指南》的有关办法,并结合历年轨检资料综合分析。

(5)加固工点的环境情况。

3.1.2 在选择加固方案时,应考虑工点所处的位置(区间、过渡段、车站)、路基填料种类以及路基病害类型等,结合既有线运营情况,并经技术经济比较进行综合选择。

3.1.3 路基加固方法的确定宜按下列步骤进行:

(1)根据机车和车辆型号及路基病害类型,结合路基填料种类及对行车和周围环境的影响等因素进行综合分析,初步选出几种可供考虑的加固方案,包括选择两种或多种加固措施组成的综合处理方案。

(2)对初步选出的各种加固方案分别从加固原理、适用范围、预期处理效果、施工难易程度、耗用材料、施工机械、工期要求及对行车和环境的影响等方面进行技术经济分析和对比,选择最佳的加固方法。

(3)对已选定的加固方法,宜在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,以检验设计参数和加固效果。如达不到设计要求时应查明原因修改设计参数或

调整加固方法。

3.1.4 施工技术人员应明确加固目的、加固原理、技术要求和质量标准等。施工中应有专人负责质量控制和监测,并做好施工记录。当出现异常情况时,须及时会同有关部门妥善解决。施工过程中应进行质量监理。施工结束后须按有关规定进行工程质量检验和验收。

3.1.5 为保障施工时不影响行车和确保施工人员的安全,必须制定好施工方案及其安全实施细则,并与相关铁路运输管理部门和工点养护维修部门充分沟通,施工时的安全看护应交有关铁路运输管理部门指定的专门人员承担。

4 加固原则和标准

4.1.1 既有重载铁路路基加固应保证既有线运营安全,减少对既有线运营影响,一次根治不留后患且经济合理。

4.1.2 既有重载铁路路基的加固适宜采用斜向水泥土桩法、侧向灌浆法、灰土挤密桩法、基床换填法及土工格室垫层法基床封闭法、。

4.1.3 既有重载铁路路基的加固宜采用强度控制。

4.1.4 设计计算时,假定列车轮载在轨枕上的分担如图 4.1.4 所示,轮载由 5 根轨枕一端承担,其分担比分别为 0.05、0.25、0.40、0.25、0.05,均匀地作用在 5 个长为 e' 、宽为 b 的矩形面上。

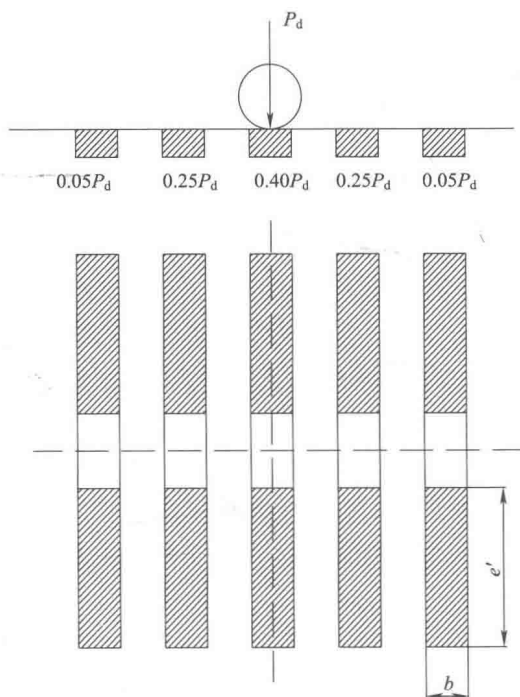


图 4.1.4 列车轮载在轨枕上的分布图式

图 4.1.4 中动轮载 P_d 按下式计算:

$$P_d = P_s(1 + \alpha V) \quad (4.1.4)$$

式中 P_d ——动轮载(kN);

P_s ——静轮载(kN);

α ——速度系数,普通线路取 0.005,无缝线路取 0.004;

V ——列车运行速度(km/h)。

4.1.5 重载铁路路基动应力计算方法:

(1)为了采用 Boussinesq 公式近似计算路基中的动应力,需将道床和路基结构层“匀质化”。宜用 Odemark 当量法换算出等效层厚。

(2)路基中某点动应力计算宜采用矩形均布荷载角点下竖向应力按式(4.1.5)计算。根据叠加原理计算 5 根轨枕 10 个矩形荷载作用下此点的竖向应力之和。

$$\sigma = \frac{P}{2\pi} \left[\frac{B \cdot L \cdot Z(B^2 + L^2 + 2Z^2)}{(B^2 + Z^2)(L^2 + Z^2)\sqrt{B^2 + L^2 + Z^2}} + \arctan \frac{B \cdot L}{Z \sqrt{(B^2 + L^2 + Z^2)}} \right] \quad (4.1.5)$$

式中 L ——矩形荷载的长边;

B ——矩形荷载的短边;

Z ——均布荷载角点下的深度;

P ——动轮载在长为 e' 、宽为 b 的矩形面积上产生的平均

荷载强度, $P = \frac{(0.05 \sim 0.4)P_d}{b \times e'}$;

e' ——一股钢轨下的轨枕有效支承长度(图 4.1.4),木枕

$e' = 110$ cm;混凝土枕中间部分道砟掏空时, $e' =$

95 cm(适用于 I 型枕),中间道砟不掏空时, $e' =$

117.5 cm(适用于 II 或 III 型枕);

b ——轨枕底面宽度(图 4.1.4),木枕 $b = 22$ cm,混凝土枕

取平均宽度 $b = 27.5$ cm。

(3)表 4.1.5—1 为轨枕的平均有效支承 $e'=110\text{ cm}$,轨枕平均宽度 28 cm ,轨枕个数 $1\,840\text{ 根/km}$,不同轴重和道床厚度,且道床变形模量是基床变形模量的 2 倍时路基顶面动应力计算值。

表 4.1.5—1 路基面动应力计算值(kPa)

轴重	速度 (km/h)	道床厚度(m)									
		0.3	0.35	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2
25t	50	93.4	84.7	77.8	67.1	59.0	52.5	47.1	42.6	38.7	32.4
	60	96.5	87.5	80.4	69.4	61.0	54.3	48.7	44.0	40.0	33.5
	70	99.6	90.4	83.0	71.6	63.0	56.0	50.3	45.4	41.3	34.5
	80	102.7	93.2	85.6	73.9	64.9	57.8	51.8	46.9	42.6	35.6
	90	105.8	96.0	88.2	76.1	66.9	59.5	53.4	48.3	43.9	36.7
	100	109.0	98.8	90.8	78.3	68.9	61.3	55.0	49.7	45.2	37.8
28t	50	104.6	94.9	87.1	75.2	66.1	58.8	52.8	47.7	43.3	36.3
	60	108.1	98.0	90.0	77.7	68.3	60.8	54.6	49.3	44.8	37.5
	70	111.6	101.2	92.9	80.2	70.5	62.7	56.3	50.9	46.2	38.7
	80	115.1	104.4	95.8	82.7	72.7	64.7	58.1	52.5	47.7	39.9
	90	118.5	107.5	98.7	85.2	74.9	66.7	59.8	54.1	49.1	41.1
	100	122.0	110.7	101.7	87.7	77.1	68.6	61.6	55.7	50.6	42.3
30t	50	112.1	101.7	93.4	80.6	70.8	63.0	56.6	51.1	46.4	38.9
	60	115.8	105.1	96.5	83.3	73.2	65.1	58.4	52.8	48.0	40.2
	70	119.5	108.4	99.6	85.9	75.6	67.2	60.3	54.5	49.5	41.4
	80	123.3	111.8	102.7	88.6	77.9	69.3	62.2	56.2	51.1	42.7
	90	127.0	115.2	105.8	91.3	80.3	71.4	64.1	57.9	52.6	44.0
	100	130.7	118.6	108.9	94.0	82.6	73.5	66.0	59.6	54.2	45.3
33t	50	123.3	111.8	102.7	88.6	77.9	69.3	62.2	56.2	51.1	42.7
	60	127.4	115.6	106.1	91.6	80.5	71.6	64.3	58.1	52.8	44.2
	70	131.5	119.3	109.5	94.5	83.1	74.0	66.4	60.0	54.5	45.6
	80	135.6	123.0	113.0	97.5	85.7	76.3	68.4	61.8	56.2	47.0
	90	139.7	126.7	116.4	100.4	88.3	78.6	70.5	63.7	57.9	48.4
	100	143.8	130.5	119.8	103.4	90.9	80.9	72.6	65.6	59.6	49.9

道床厚度为 0.35m,道床与基床表层模量比为 2,基床表层与基床底层模量比为 2,基床表层厚度为 0.6 m 时,路基面及其以下不同深度处动应力计算值见表 4.1.5—2。

表 4.1.5—2 路基动应力沿深度的分布(kPa)

速度 (km/h)	距轨枕底 深度/折算 计算深度 (m)	动应力衰 减系数	动应力(kPa)			
			轴重(t)			
			25	28	30	33
80	0.35/0.556	1.00	81.2	90.9	97.4	107.2
100			86.1	96.4	103.3	113.6
80	0.6/0.871	0.72	58.3	65.3	70.0	77.0
100			61.9	69.3	74.3	81.7
80	0.8/1.123	0.58	47.3	52.9	56.7	62.4
100			50.1	56.1	60.1	66.2
80	1.0/1.362	0.49	39.5	44.3	47.4	52.2
100			41.9	47.0	50.3	55.3
80	1.2/1.562	0.42	34.4	38.6	41.3	45.5
100			36.5	40.9	43.8	48.2
80	1.4/1.762	0.37	30.2	33.9	36.3	39.9
100			32.1	35.9	38.5	42.3
80	1.6/1.962	0.33	26.7	29.9	32.1	35.3
100			28.3	31.7	34.0	37.4
80	1.8/2.162	0.29	23.7	26.6	28.5	31.3
100			25.2	28.2	30.2	33.2
80	2.0/2.362	0.26	21.2	23.7	25.4	28.0
100			22.5	25.2	27.0	29.7
80	2.2/2.562	0.23	19.0	21.3	22.8	25.1
100			20.2	22.6	24.2	26.6
80	2.4/2.762	0.21	17.1	19.2	20.5	22.6
100			18.2	20.3	21.8	24.0

续上表

速度 (km/h)	距轨枕底 深度/折算 计算深度 (m)	动应力衰 减系数	动应力(kPa)			
			轴重(t)			
			25	28	30	33
80	2.6/2.962	0.19	15.5	17.3	18.6	20.4
100			16.4	18.4	19.7	21.7
80	2.8/3.162	0.17	14.0	15.7	16.8	18.5
100			14.9	16.7	17.9	19.6
80	3.0/3.362	0.16	12.8	14.3	15.3	16.9
100			13.6	15.2	16.3	17.9

4.1.6 路基面容许静应力见表 4.1.6。

表 4.1.6 不同轴重在不同道床厚度时路基面容许静应力

速度 (km/h)	道床厚度 (m)	路基面容许静应力(kPa)			
		轴重(t)			
		25	28	30	33
80/100	0.35	172.6/183.0	193.3/205.0	207.0/219.6	227.8/241.7
80/100	0.4	158.5/168.1	177.4/188.3	190.2/201.7	209.3/221.9
80/100	0.6	120.2/127.6	134.6/142.8	144.3/153.0	158.7/168.3
80/100	0.8	95.9/101.9	107.6/114.1	115.2/122.2	126.7/134.4
80/100	1.0	78.9/83.7	88.3/93.7	94.6/100.4	104.1/110.4
80/100	1.2	65.9/70.0	73.9/78.3	79.1/83.9	87.0/92.4

5 斜向水泥土桩法

5.1 一般规定

5.1.1 斜向水泥土桩法是在路基边坡处,利用单管旋喷设备将注浆管水平或斜向插入路基土中,其浆液以 20 MPa 左右的压力从喷嘴中喷射出来,冲击破坏土体,同时借助注浆管的旋转和提升运动,使浆液与土体搅拌混合,经过一定时间的凝固,在土中形成圆柱状水平或斜向的固结体以达到加固路基的目的。斜向水泥土桩法属于半置换法,即高压浆液携带一部分孔内的土颗粒流出,一部分土和浆液搅拌混合凝固。

5.1.2 斜向水泥土桩法适用于加固承载力和变形不满足要求的基床和路基本体,可以提高路基强度和变形模量,控制沉降变形,保障路基的功能要求。对既有线地基承载力不足的地段也可采用斜向水泥土桩法加固。

5.1.3 当路基土中含有较多的大粒径块石时,应根据现场试验结果确定采用斜向水泥土桩法是否适应。

5.1.4 斜向水泥土桩法加固分为两个阶段,第一阶段为成孔阶段,第二阶段为喷射浆液搅拌混合阶段。

5.1.5 设计阶段或正式施工前,应结合工程情况进行现场试验,并由此确定施工参数及工艺。

5.2 斜向水泥土桩设计

5.2.1 斜向水泥土桩形成的固结体强度和直径,应通过现场试验确定。当无现场试验资料时,亦可参照相似土质条件的经验参数。