

铁道工程

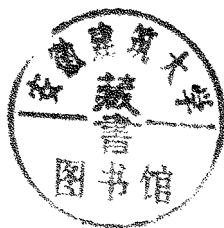
设计、施工及养护新技术

陈峰 高亮 白雁 沈宇鹏 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁道工程设计、施工及养护新技术

陈 峰 高 亮 白 雁 沈宇鹏 主编



中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 1 年 · 北 京

图书在版编目(CIP)数据

铁道工程设计、施工及养护新技术/陈峰等主编.
—北京:中国铁道出版社,2011.1
ISBN 978-7-113-12267-6

I. ①铁… II. ①陈…②高…③白…④沈… III. ①铁路工程—工程设计 ②铁路线路—工程施工 ③铁路养护
IV. ①U2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 238397 号

书 名: 铁道工程设计、施工及养护新技术
作 者: 陈 峰 高 亮 白 雁 沈宇鹏 主编

责任编辑: 张 婕 电话: (010) 51873141 电子信箱: crph_zj@163.com
封面设计: 冯龙彬
责任校对: 龚长江
责任印制: 郭向伟

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: 中国铁道出版社印刷厂
版 次: 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
开 本: 700 mm × 1 000 mm 1/16 印张: 21.75 字数: 400 千
书 号: ISBN 978-7-113-12267-6

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

第一届铁道工程关键技术国际 学术会议(ICRE 2010)

学术委员会

名誉主席：

施仲衡 中国工程院院士,北京交通大学

王梦恕 中国工程院院士,北京交通大学

主 席：

陈 峰 北京交通大学,副校长,教授

副主席：

赵国堂 京沪高速铁路股份有限公司,研究员

高 亮 北京交通大学,教授

成 员(以姓氏笔划为序)：

Bohua SUN, Cape Peninsula University of Technology, South Africa

Christopher P. L. Barkan, University of Illinois, U. S. A.

Evgeniy S. Ashpiz, Moscow State University of Railway Engineering, Russia

Freuenstein, The Technische Universitaet Muenchen, German

H. Y. Tam, The Hong Kong Polytechnic University, Hongkong, China

Hamid Yaghoubi, High-Speed Trains Dept., Railway Research Center, Iran

Huaguo ZHOU, Southern Illinois University, U. S. A.

Li ZHANG, Mississippi State University, U. S. A.

Ping-kong Alexander WAI, The Hong Kong Polytechnic University, Hongkong, China

T. C. KAO, Taiwan University, Taiwan, China

Xiu LOU, Railway Technical Research Institute of Japan, Japan

Yujiang ZHANG, ENSCO, Inc. U. S. A.

习仲伟 中铁十五局集团有限公司,教授级高工

王 平 西南交通大学,教授

王 旭 兰州交通大学,教授

王 澜 中国铁道科学研究院,研究员

- 王玉泽 中铁第四勘察设计院集团有限公司,教授级高工
王明生 石家庄铁道大学,教授
叶阳升 中国铁道科学研究院,研究员
朱 颖 中铁二院工程集团有限责任公司,教授级高工
刘学毅 西南交通大学,教授
江 成 中国铁道科学研究院,研究员
李成辉 西南交通大学,教授
许兆义 北京交通大学,教授
孙树礼 铁道第三勘察设计院集团有限公司,教授级高工
杨秀仁 北京城建设计研究总院有限责任公司,教授级高工
吴小萍 中南大学,教授
吴彩兰 铁道第三勘察设计院集团有限公司,教授级高工
沈建文 北京市政工程设计研究总院,教授级高工
岳祖润 石家庄铁道大学,教授
周诗广 铁道部经济规划研究院,研究员
练松良 同济大学,教授
茹继平 国家自然科学基金委员会,教授
段东明 中铁十七局集团有限公司,教授级高工
夏 禾 北京交通大学,教授
韩利民 中铁十八局集团有限公司,教授级高工
雷晓燕 华东交通大学,教授
翟婉明 西南交通大学,教授
魏庆朝 北京交通大学,教授

组织委员会

主 席:

陈 峰 北京交通大学,副校长,教授

副主席:

魏庆朝 北京交通大学土木建筑工程学院,院长,教授

成 员(以姓氏笔划为序):

马 跃 北京交通大学,高级工程师
王连俊 北京交通大学,教授
井国庆 北京交通大学,讲师
邓 洪 广东俊富集团,研究员

邓新华 北京交通大学,副教授
 白明洲 北京交通大学,教授
 白 雁 北京交通大学,副教授
 刘建坤 北京交通大学,教授
 杨庆山 北京交通大学,教授
 杨松林 北京交通大学,教授
 肖 宏 北京交通大学,讲师
 吴 萱 北京交通大学,教授
 时 瑾 北京交通大学,讲师
 余祖俊 北京交通大学,教授
 沈宇鹏 北京交通大学,讲师
 张顶立 北京交通大学,教授
 张鸿儒 北京交通大学,教授
 陈保利 北京交通大学,高级工程师
 陈 祥 北京交通大学,讲师
 赵世瑛 北京交通大学,高级工程师
 姚谦峰 北京交通大学,教授
 徐宇工 北京交通大学,教授
 高 亮 北京交通大学,教授
 郭薇薇 北京交通大学,副教授
 梁青槐 北京交通大学,教授
 董利剑 北京交通大学,高级工程师
 蔡小培 北京交通大学,讲师

主办单位:

北京交通大学

协办单位:

国家自然科学基金委员会
 京沪高速铁路股份有限公司
 西南交通大学
 中南大学
 华东交通大学
 石家庄铁道大学
 香港理工大学
 Cape Peninsula University of Technology

Moscow State University of Railway Engineering

Siberian Transport University

北京城建设计研究总院有限责任公司

中国中铁二院工程集团有限责任公司

铁道第三勘察设计院集团有限公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

中铁十五局集团有限公司

中铁十七局集团有限公司

中铁十八局集团有限公司

广东俊富集团

鸣 谢:

王宽诚教育基金会资助

前 言

铁路和城市轨道交通是分别完成大区域、大运量运输任务和解决城市交通问题两大领域。当前,国家在交通运输领域的发展重点集中在高速、重载铁路和城市轨道交通建设三个方面。

铁路运输是国民经济的基础产业,其基础设施工程是支持铁路运输产业持续、稳定发展的基础。我国《中长期铁路网规划》将铁路网的建设列为首要发展对象,规划到 2020 年,全国营业里程达到 12 万 km。铁路建设需要强大的技术支持,主要涉及客运专线修建技术、提速和重载铁路成套技术、铁路信息化及节能环保等关键技术。

城市轨道交通是时效高、运量大、便捷可靠的交通方式,早已成为城市公共交通的骨干。它作为解决城市客运行之有效的运输方式,目前在中国大城市中得到普遍关注,先后已有几十个城市分别展开了轨道交通的规划研究和建设准备。未来 10 年,我国将以每年 200 ~ 400 km 的速度开工建设城市轨道,密集成网的轨道交通线是我国轨道交通建设的最终目标。

第一届“铁道工程关键技术国际学术会议”(ICRE 2010)由北京交通大学举办,该校是教育部直属的全国重点大学,是全国首批博士、硕士学位授予高校,是首批进入国家“211 工程”建设高校和“985 工程”“优势学科创新平台”项目重点建设高校,是全国具有研究生院的 56 所高校之一。多年来,数代交大人励精图治、艰苦奋斗,北京交通大学已成为培养铁路和城市轨道交通现代化建设高水平、高层次人才,解决国家铁路现代化建设和改革重大技术问题的重要基地。

举办本次会议旨在为国内外从事高速、重载铁路,以及城市轨道交通

通工程领域的专家学者提供一个高水平的学术交流平台,加强国内外铁道工程领域的专家、学者的学术交流,促进国内铁道工程学科的发展,更好的为我国高速、重载及城市轨道交通工程建设提供有力的技术支持和保障。

本次会议共收到 621 篇文章,其中英文 447 篇,中文 174 篇。经过专家评审,其中的优秀论文分别收录在《Key Technologies of Railway Engineering》(英文)和《铁道工程设计、施工及养护新技术》(中文)中。在此,感谢所有作者的来稿,感谢来自中国、美国、俄罗斯、日本、伊朗、法国、荷兰、南非、澳大利亚、中国香港和中国台湾的学术委员会委员们对论文审阅付出的辛苦劳动,感谢国家自然科学基金委员会、京沪高速铁路股份有限公司等协办单位对会议的支持。本次会议由王宽诚基金资助。最后,也感谢北京交通大学土木建筑工程学院道路与铁道工程系所有教师为本次会议论文集统稿工作所作出的贡献。

作 者

2010 年 11 月

目 录

PCC 桩复合地基技术加固高速铁路软土地基试验研究

.....	刘汉龙	孙宏林	陈育民	顾湘生/1
CRTS II 型板式无砟轨道施工布板软件的研发	汪梨园	许 非/10		
SC325 型可动心道岔晃车原因分析及病害整治方法	付卫霖	王立敏/19		
北京地铁新线线路设备接收实践	时光明/25			
采用新工艺整治弧形支座上摆锚固螺栓折断病害	丁国富	赵俊英/30		
冲击荷载作用下自由场地振动试验研究	黄绚晔	张 楠	夏 禾/37	
大吨位铁路预制箱梁场内横移运输方案优化研究				
.....	周亚宇	袁丹诚	焦 苍/47	
地铁隧道工程桩基托换施工技术	黄 欣/56			
地质雷达在南广线高速铁路勘察中的应用	唐昌华	郑伟锋/64		
对建设工程营业线施工现状的思考	郭庆炎	彭 华/72		
多年冻土湿地斜坡路基稳定性的影响因素分析	段东明	沈宇鹏/77		
高墩翻模施工垂直度控制	王宏宇	郭廷泰	董 博/82	
高速列车底部流场数值模拟分析	张劲柏	季 军/88		
高速铁路钢轨焊接接头外观质量控制方法探讨	范 颖	张宪良	金家骥/95	
高速铁路路基与边坡结构安全光纤传感监测试验研究				
.....	刘胜春	张顶立	张成平/102	
隔段更换山区线路Ⅲ型桥枕施工方法的探讨	董 敬	高 亮/110		
关于大型养路机械换砟清筛施工的几点思考	金家骥	范 颖	张宪良/117	
关于双洞错距隧道洞口段的地震动力响应浅析	孙铁成	岳祖润	王 伟/123	
韩国高速铁路天安车站的噪声与振动控制				
.....	尹学军	HaeSung Park	王建立	张宝才
焊接工艺对钢轨焊缝硬度的影响研究	张宪良	范 颖	高星亮/132	金家骥/139
合武铁路跨 318 国道连续梁改异形箱梁施工方案优化研究				
.....	喻天金	方 凯	焦 苍/143	
合武铁路箱梁预制场选址与总体布局方案优化研究				
.....	金海震	王吉连	焦 苍/149	
货车提速对轮对检修的影响及预防	金 晶	沈宇鹏/158		
既有线路基状态检测及评价技术的研究	咎月稳/165			

京沪高速铁路临近既有线涵洞基础开挖支护方案的研究	邱永添	175
京津城际铁路 CFG 桩 + 碎石桩联合加固路基地基的应用研究	晋永贵	白明洲/182
聚氨酯泡沫道床固化道床施工技术探讨	杨世坤	188
客运专线路基填料改良试验研究	危凤海	冯瑞玲/194
跨区间无缝线路养护与维修的技术探讨	蔡鹏飞	许兆义/201
利用大机改造既有曲线,提高列车运行舒适度	王曙光	王立敏/206
连续刚构桥及薄壁高墩施工技术	王宏宇	郭廷泰 董 博/212
客运专线路基 A、B 组填料填筑工艺研究	王 伟	陈建春/219
浅谈线路晃车成因与整治思路	张 钦	彭 华/224
在施工过程中加强成本控制工作的研究	陈 朝	231
深基坑桩锚支护结构中预应力锚索工作性能测试及施工质量控制研究	孙玉岭 魏 静	蔡淑娟/238
石家庄隧道深基坑支护施工技术	李国栋	白明洲 沈宇鹏/246
客车栓改造工程施工技术研究	王文才	谭衢霖/253
唐古拉山中高山区多年冻土低路堤工程稳定性研究	韩利民	沈宇鹏/258
提高客运专线路基沉降观测精度的措施	岳祖润	孙铁成 冯怀平/265
铁路交通测量新设备——高精度无差分 GPS 轨道检测系统	韩云飞	任 慧/274
铁路接触网作业车现状及发展方向的研究	李云红	285
先注浆后冻结综合方法加固粉细砂地层的试验研究	于学敏	刘建坤 彭丽云/290
新型高速铁路高性能纤维复合筋无砟轨道板设计与分析	张继文	禹 雷 赵国堂/297
运用自动地面位置检测装置 ALD 原理实现对道岔病害的精确定位	王立敏	王曙光/307
渣土桩在铁路路基处理中的应用效果研究	范玥辉	沈宇鹏/313
非埋式桩板结构路基动力特性分析	白 皓 苏 谦	张文超,等/321
重载铁路断轨原因分析及预防措施	李瑞俊	328

PCC 桩复合地基技术加固高速铁路 软土地基试验研究

刘汉龙¹ 孙宏林² 陈育民¹ 顾湘生²

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,

河海大学 土木与交通学院,江苏 南京 210098;

2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司 地路处,湖北 武汉 430063)

【摘 要】 现浇混凝土大直径管桩复合地基技术首次在京沪高速铁路南京仙西联络线工程中应用。开展了 PCC 桩复合地基加固高速铁路软土地基的现场试验研究,对单桩复合地基承载力、PCC 桩检测方法、沉降规律、荷载传递、桩土应力比、侧向位移、孔隙水压力等性状进行了研究。现场试验结果表明:PCC 桩复合地基可以有效地减少沉降量,土工格栅能有效调节桩土荷载分担比,桩土应力比达到 13.4,属于典型的刚性桩。PCC 桩直径大,抗水平能力强,路堤水平位移控制在 13 mm,路基稳定性高。PCC 桩复合地基孔压消散迅速,沉降在 2~3 月内快速达到稳定。研究表明,PCC 桩复合地基是一种处理高速铁路软土路基的有效方法,其施工简便、检测方便、承载力高、成桩质量可靠、加固效果好、沉降控制效果明显、满足设计需求。研究成果为 PCC 桩复合地基技术处理高速铁路路基的设计和应用提供了依据。

【关键词】 PCC 桩;高速铁路;软基处理;复合地基;现场试验

引 言

随着对软土路基沉降对铁路运行影响的逐步认识和列车速度的提高,对软土路基的工后沉降要求越来越严格。软土地基的路基工后沉降由路基填土压密下沉、行车引起的基床累计下沉和软土地基引起的路基工后沉降三部分组成。研究发现,前两项路堤工后沉降占《新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50778063);江苏省自然科学基金创新学者攀登项目(No. BK2008040)

Email: hliuhhu@163.com

定》工后沉降要求比例很小,软土地基引起的路基工后沉降是控制部分,其大小决定了软土路基工后沉降能否满足要求。在软基上修建高速铁路需要解决工后沉降控制和提高施工速度两大技术难题,桩—网复合地基的推出为解决提高施工速度和工后沉降这两个大技术难题提供了新的途径。

现浇混凝土大直径管桩^[1-2] (Large diameter pipe pile using cast-in-place concrete,以下简称 PCC 桩)是由河海大学刘汉龙等开发的一种新的地基处理技术,获得了 6 项国家专利,并获得中华人民共和国住房和城乡建设部发布的国家级行业标准^[3]。PCC 桩桩径大,混凝土用量省,可处理深层软土,该技术具有施工实用性强、施工质量控制方便、桩基检测方便且加固效果好等优点,特别是其单位加固面积综合单价仅与水泥土搅拌桩费用相仿,经济性优越非常突出。因此,采用 PCC 桩桩—网复合地基进行软基加固具有显著的沉降控制效果。该桩具有刚性桩加固效果,却仅有柔性桩加固费用,因此具有很大的推广应用价值。该技术目前已经在江苏、浙江和上海等地高速公路工程推广应用^[4-6],此次在京沪高速铁路上是首次应用,因此,有必要对 PCC 桩加固高速铁路地基的承载特性、检测方法、地基沉降特性、沉降控制效果等内容展开试验研究,为 PCC 桩在高速铁路路基加固处理的设计和应用提供依据。

1 PCC 桩工作原理

PCC 桩技术采取振动沉模,自动排土,现场灌注混凝土而成管桩,具体步骤是依靠沉腔上部锤头的振动力,将内外双层套管所形成的环形腔体,在活瓣桩靴的保护下,打入预定的设计深度,形成地基内空的环形域,在腔体内现场浇筑混凝土,之后振动拔管,在环形域中的土体与外部的土体之间便形成混凝土大直径管桩。在形成复合地基时,为保证桩与土共同承担荷载,调整桩与桩间土之间竖向荷载及水平荷载分担比例以及减少基础底面的应力集中问题,在桩顶设置褥垫层,从而形成 PCC 桩复合地基,发挥了桩土共同承担荷载的作用。图 1 为 PCC 桩工作原理,图 2 为 PCC 施工流程示意图。

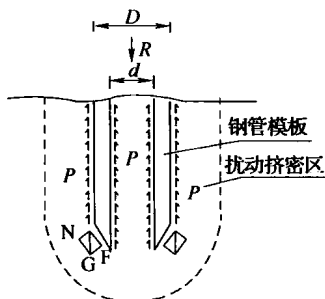


图 1 PCC 桩工作原理

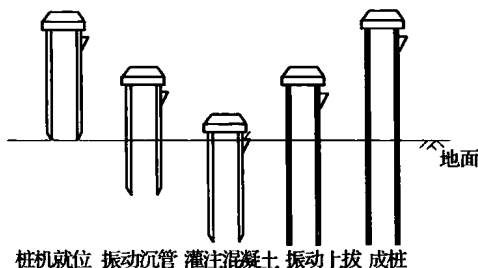


图 2 PCC 桩施工流程示意图

PCC 桩加固软土地基的机理可以概括为：

(1)模板作用。振动力作用下环形腔体模板沉入土中后,开始浇筑混凝土,当振动模板提拔时,混凝土从环形腔体模板下端注入环形孔槽内,空腔模板起到护壁的作用,很大程度避免了缩壁和塌陷等现象,保证了一次性直接成桩和混凝土在孔槽内良好的稳定性和充盈性。

(2)振捣作用。环形腔体模板在振动提拔时,对模板内及注入孔槽内的混凝土有连续的振捣作用,使桩体充分振动密实。同时,混凝土向两侧不断挤压,能增加管壁厚度。

(3)挤密作用。整个成桩的施工过程中,由于振动、挤压和排土等原因,对桩间土起到了一定程度的密实作用。挤压、振密范围与腔体模板的厚度、原位土体的性质等有关。

2 PCC 桩加固高速铁路路基工程概况

京沪高铁南京仙西联络线工程位于南京孝陵卫,其中 L1XDK10 + 260 ~ L1XDK10 + 610 段长 350 m 处理方式 PCC 桩。PCC 段加固区域中心段原是一个鱼塘,打桩前先将鱼塘水抽干,并开挖表层淤泥换填工程垃圾土 1 m。经沉降估算分析,工后沉降不满足控制标准,地基需加固处理。设计复合地基承载力为 180 kPa。试验段地基土的物理力学指标见表 1 所示。

表 1 地基土物理力学指标

	土层深度 (m)	弹性模量 (MPa)	孔隙比 <i>e</i>	黏聚力 (kPa)	摩擦角 (°)	重度 (kN/m ³)	饱和重度 (kN/m ³)
换填土	0 ~ -1	5.0	0.9	2	30	19.5	21
淤泥质粉质黏土	-2 ~ -13	2.19	1.35	7.54	4.29	18	20
粉质黏土	-13 ~ -15	3.6	0.83	43.67	14.4	19	20.5
粉质黏土	-15 ~ -18	8.6	0.71	23	25	21	22
泥质砂岩	-18 ~ -30	38.9	0.72	20	26	20	24
泥质砂岩	-18 ~ -30	38.9	0.72	20	26	20	24

试验段采用 PCC 桩复合地基加固,梅花形布置,桩间距 2.5 m。PCC 桩桩径 1 m,壁厚 15 cm,桩长 8 ~ 15 m,打入持力层 1.5 ~ 2 m,桩顶设置圆形桩帽,直径为 1.2 m。桩顶设 0.6 m 厚碎石垫层,内铺设一层土工格室,厚 10 cm,土工格室片屈服强度大于等于 180 MPa,断裂延伸率小于 15%,网格尺寸为 25 cm × 25 cm。

3 PCC 桩质量检测

现浇混凝土大直径管桩作为一种新桩型,桩径较大、桩的间距也较大,单方混

凝土提供的承载力较其他桩型有了较大的提高,但由于管桩的壁厚相对较薄,因此质量要求比较严格。除了要严格执行管桩施工要求外,成桩以后的质量检测也非常重要。适当的检测方法可及早发现软基处理隐蔽工程的施工质量,以便及早采取补救措施。参照其他类型沉管桩的检测方法并考虑到管桩的一些特点,其成桩质量检测可采用以下方法进行。

3.1 低应变检测

本次试验采用的仪器为 PDI 动测仪,信号采集传感器为加速度计,为了使检测更具有代表性,每根桩均进行了多次测试并采用不同的击发装置和不同的击发与接受距离,通过多次试验,选择了正确的击发、接受措施。从检测结果来看本次小应变试验效果较好,测试的典型波形如图 3 所示测试波速正常,桩底反射明显。测试结果表明基于合适的击发和接收装置,采用小应变动测技术测试现浇大直径管桩的施工质量是可行的,检测结果能较好地反映现浇大直径管桩的施工质量。

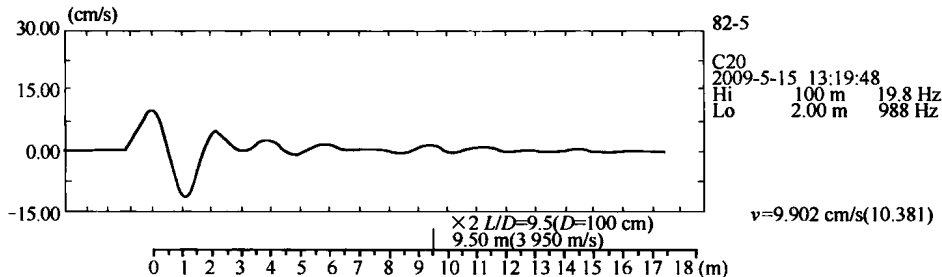


图 3 PCC 桩低应变检测曲线

3.2 静载检测

对于复合地基进行了现场检测,荷载板尺寸为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$,静载检测所加荷载为 $1\,440\text{ kN}$,加载分级进行,采用逐级等量加载;分级荷载为最大加载量的 $1/10$,其中第一级取分级荷载的 2 倍。最大加载量不少于特征值的 2 倍,每加一级荷载前后均各读数。复合地基静载试验 $P-S$ 特征曲线如图 4。由典型荷载沉降曲线可以看出,在达到预定荷载 $1\,440\text{ kN}$ 时,荷载沉降曲线呈缓变形,由此可见试验荷载桩未达到极限荷载,充分保证了桩的承载力达到设计要求。由于 PCC 桩直径大,桩土接触面积大,侧摩阻力比同截面的实心桩大,故该桩承载力大且经济。

3.3 开挖检测

由于 PCC 桩直径较大且内部呈中空状,因此可采用人工将桩芯土挖除的方法对管桩的施工质量进行检测,现场开挖是检测大直径管桩质量最直观、最有效的方法。在人工将桩芯土挖除后可自上而下直接观察混凝土的桩身完整性,该项工作应在桩基施工完工 14 d 后进行,因开挖检测费时、费力同时还带有一定的风险,因此应适当控制开挖检测的数量,一般单个工程可开挖 $2 \sim 3$ 根,现场开挖检测如图

5 所示。由图可见,本次施工的 PCC 桩内外壁光滑,没有断桩、离析、缩径等不良现象,施工质量完好。

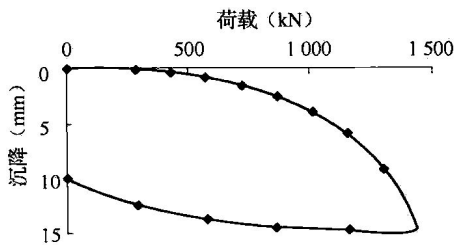


图 4 PCC 桩复合地基静载试验



图 5 PCC 桩的开挖检测

4 PCC 桩加固高速铁路路基现场试验研究

为了研究 PCC 桩处理高速铁路地基的加固效果,本次现场试验对 L1XDK10 + 388 断面(以下简称 K388 断面)进行了全断面观测。断面路基中心设了 2 个分层沉降孔,路中桩顶设置了 1 个沉降板,路肩两边桩间土设置了 2 个沉降板。路中心埋设孔隙水压力,桩顶及桩周围埋设土压力盒,路堤旁 0.5 m 处埋设了侧斜管。仪器布置示意如图 6 所示。

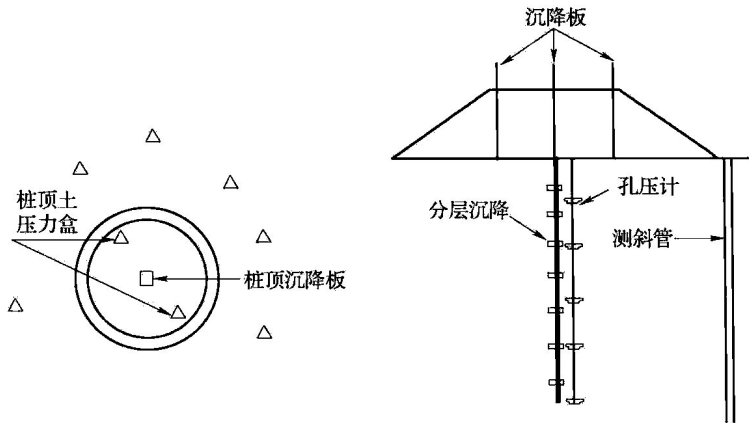


图 6 断面测试原件埋设示意图

4.1 桩土应力分析

通过对桩顶与桩间土表面应力的测试,可以了解 PCC 桩复合地基的受力特征,并可以得出桩土应力比及其变化规律。本次土压力总共埋设 9 个,其中桩顶对称布置 2 个,桩间土布置 7 个。测得的桩顶和桩间土应力随填土荷载的变化过程线如图 7 所示,从图中可以看出最开始土体应力和桩顶应力大致相等,随着路堤荷

载的增加桩顶及桩间土的应力均相应提高。60 cm 的碎石垫层铺设完之前桩土应力一直大致相等,当碎石垫层上开始填土,填土高度达 1 m 时,二者应力逐渐变大,由此可知在填土荷载作用下,碎石垫层起着调节荷载的作用,随着填土荷载的继续增加,桩土应力比迅速变大,此时土拱效应和拉膜效应已经开始发挥作用,土工格栅上的荷载有一部分转移到桩上。当填筑结束后,由于地基软土的固结,路基上部工程车辆行驶逐步使得路基振动密实,从而是桩土应力比进一步扩大,之后逐渐趋于稳定。截至 2009 年 12 月 24 日 K388 断面桩分担荷载 55%,土分担荷载 45%,最终桩土应力比为 13.4,属于典型的刚性桩荷载比。

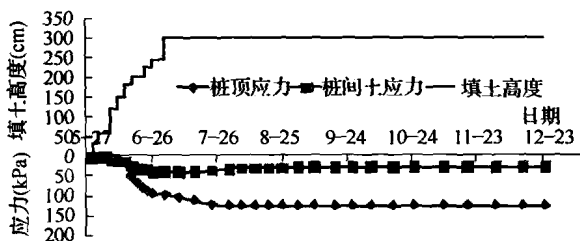


图7 桩土应力—荷载—时间变化曲线

4.2 桩顶和桩间土的沉降分析

该测试桩位于路基中心,沉降板放在桩头,紧邻该桩的桩间土放另外一沉降板测量桩间土沉降。沉降随时间的关系曲线如图8所示。由图可知,路堤填筑初期桩顶和桩间土的沉降均较小,沉降发生的速率较慢,尤其是桩顶几乎不发生沉降,说明此时荷载主要由桩间土承担;当随着路堤的填筑,桩间土沉降速率有增大的趋势,由于桩间土是淤泥,其压缩量大,桩弹性模量大,压缩量小,致使桩间土的沉降速率要大于桩顶的沉降速率,二者产生差异沉降,路堤荷载在桩顶和桩间土上进行着调整。路基填筑完毕后,桩顶和桩间土都刚开始速率都有所加快,但随之有慢慢稳定。最终 K388 断面桩顶沉降稳定在 41 mm,桩间土平均沉降稳定在 127 mm。在填筑 2 个半月时,沉降基本稳定。

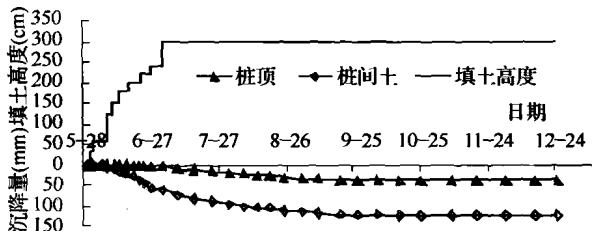


图8 桩顶和桩间土的沉降

4.3 分层沉降分析

此次实验中在 K388 断面路基中心埋设了分层沉降,其磁环每 2 m 一个。路