

文章编号: 1674—8247(2019)01—0006—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.01.002

椅式桩板结构变形破坏特征模型试验研究分析

姚裕春 魏永幸 李安洪

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:山区地形艰险、地质复杂,修建铁路遇到了大量的陡坡路基,出现边坡直立的高填方车站路基越来越多,传统的单一支挡结构在此类边坡上应用无法满足多种需求,因此提出了一种兼有承重、阻滑及支挡功能的高悬臂陡坡椅式桩板结构。由于陡坡高悬臂椅式桩板结构是一种新型超静定结构,有必要揭示并掌握其变形和破坏特征,以利于该结构的设计和推广应用。通过模型试验研究分析,得出以下结论:(1)变形极值出现于主桩桩顶;(2)悬臂段变形为主控因素;(3)裂纹多出现于桩梁交界处的桩体上和横梁中部;(4)椅式桩破坏模式一般为某构件形成塑性铰使结构丧失正常使用功能;(5)坡体破坏缓于结构破坏,软质岩边坡主要发生主桩外侧的浅层坡体挤压破坏和高荷载条件下主副桩间的岩体挤压破坏。

关键词:陡坡路基;椅式桩板结构;变形破坏特征;模型试验

中图分类号:U216.41⁺7

文献标志码:A

Model Test Study on Deformation and Failure Characteristics of Chair-shaped Pile-sheet Structure

YAO Yuchun WEI Yongxing LI Anhong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: In mountainous areas, especially in Southwest China, the terrain is very difficult and the geology is complicated. Under the difficult and complicated conditions, many steep slopes have been encountered in the railway construction, and more and more high filling stations with upright slopes have appeared. The traditional single retaining structure cannot meet the different demands on such type of slope. Therefore, a high cantilever steep-slope chair-shaped sheet-pile structure with load bearing, sliding resistance and retaining function is proposed. Because chair-shaped pile-sheet structure with high cantilever constructed on rock slope is a new type of statically indeterminate structure, it is necessary to reveal and master its deformation and failure characteristics so as to facilitate the design, popularization and application of the structure. Through the model test analysis, the following conclusions are drawn: (1) The extreme deformation occurs at the top of the main pile; (2) The cantilever's deformation is the main controlling factor; (3) The cracks occur mostly on the pile body and the middle of the crossbeam at the junction of the pile and beam; (4) The failure mode of the chair-shaped pile is that a component forms a plastic hinge, which makes the structure lose its normal function; (5) The failure of the slope is lower than that of the structure, and the extrusion failure of the shallow slope body outside the main pile and the extrusion failure of the rock mass between the main and auxiliary piles under high load conditions occur mainly on the soft rock slope.

收稿日期:2018-10-27

作者简介:姚裕春(1974-),男,教授级高级工程师。

引文格式:姚裕春,魏永幸,李安洪.椅式桩板结构变形破坏特征模型试验研究分析[J].高速铁路技术,2019,10(1):6-10.

YAO Yuchun, WEI Yongxing, LI Anhong. Model Test Study on Deformation and Failure Characteristics of Chair-shaped Pile-sheet Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 6-10.

Key words: steep slope subgrade; chair-shaped pile-sheet structure; deformation and failure characteristics; model test

我国西南山区,地形艰险、地质复杂,修建铁路要完全避免陡坡地形是困难的。特别是高速铁路对线路平面上曲线半径要求更大及纵坡要求更缓,遇到的复杂工程更多,如果采用大量的长隧道通过,会造成工程投资巨大;如果采用桥梁替代陡坡路基工程,桥梁工程投资明显大于路基工程,会出现大量陡边坡上的基础开挖,施工难度大,桥墩受偏压大,地形越陡,设计和施工出现的技术问题越明显。可见在山区修建铁路无论线路平纵断面如何进行调整及优化,也难以避免出现陡坡路基,随着山区高速铁路建设的不断发展,陡坡路基数量越来越多,经统计,仅西南山区修建的贵广、沪昆、云桂、成贵等六条高速铁路就有近 700 多处陡坡路基工程,其中有数量不少的高填方直立边坡车站。

随着直立高边坡路基越来越多,传统的应用于陡坡路基效果较好的支挡收坡加固结构变得不适用或者工程投资巨大^[1-2]。例如:桩基托梁结构,随着悬臂的增大,托梁上的挡土墙设置高度是受限的,并且施工困难;桩板墙结构,悬臂增大后加固桩所受水平推力增大,造成加固桩桩长及截面增大很多,结构水平位移较难控制,加固桩施工风险大,工程投资高;此外,随着陡坡路基悬臂的增大,加固结构内侧的填筑土施工困难、填筑土差异沉降增大,对于高速铁路来说难以满足对变形的要求。

针对上述存在的技术问题,本文作者首次提出了一种兼有承重、阻滑及支挡功能的高悬臂陡坡椅式桩板结构^[3-7],有效解决了陡坡高填路基存在的填筑体过大差异沉降、高悬臂支挡结构水平变形控制困难、加固桩施工困难及风险大等技术难题。由于陡坡高悬臂椅式桩板结构是一种新型超静定结构,有必要揭示并掌握其变形和破坏特征,以利于该结构的设计和推广应用。

1 椅式桩板结构模型试验设计

1.1 试验方案

开展了 2 组软质岩边坡室内大比例模型试验,试验相似比为 1:10。实验目的是揭示椅式桩板结构的变形和破坏特征。模型试验设计分为静力弹性模型(椅式桩采用矩形钢管模拟)和破坏模型(椅式桩采用钢筋混凝土模拟),如表 1 所示。模型试验中主桩桩长为 150 cm,副桩桩长为 75 cm,横梁厚度 6 cm,试验坡体 50°倾角,沿线路纵向布置 3 跨椅式桩板结构,桩间距 6 m,如图 1 所示。

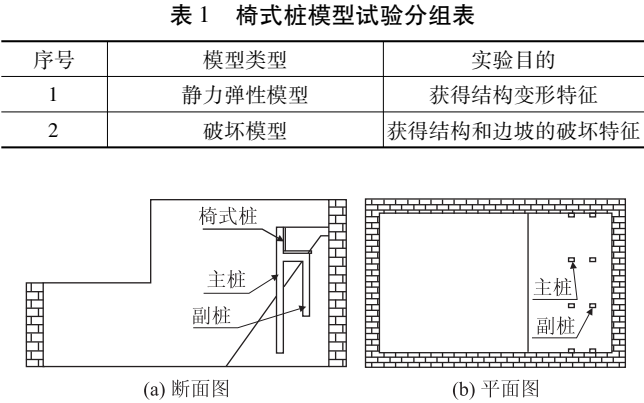


图 1 模型试验结构布置设计示意图

1.2 试验材料

本模型试验涉及到椅式桩板结构、岩土陡坡地基和路基填方。椅式桩板结构模型材料分别选择矩形钢管和微骨料钢筋混凝土进行模型制作;承载板和挡土板遵守等效抗弯刚度理论和挠曲相似原则,选择制作简易、装拆方便、应力应变容易测量的木板模拟;软岩边坡模型选用砂、土、石膏和水泥组成的混合料加水拌合而成进行模拟;路基填料选用级配不良的中粗砂模拟。

1.3 测试元件的布置

椅式桩板结构的横梁底部未设置挡土板和填筑土,在横梁上设置了承载板,测试元件布置,如图 2 所示。

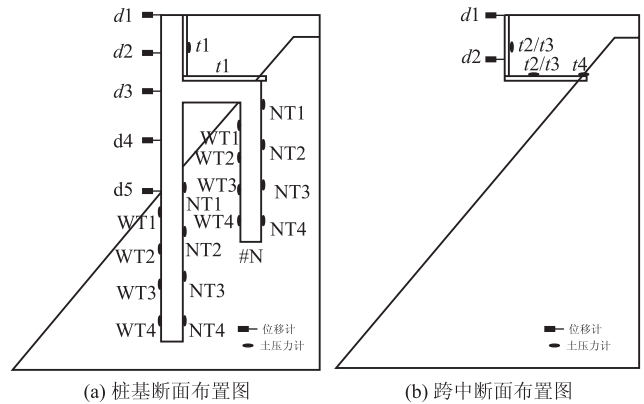


图 2 结构测试元件位置布示意图

2 椅式桩板结构模型试验变形特征

软岩边坡椅式桩板结构的水平位移随填料荷载和路面竖向荷载变化的曲线,如图 3~图 5 所示。软岩边坡椅式桩板结构分层填筑测试结果表明,椅式桩的变形规律可以划分为 2 个阶段:填筑初期,主桩的水

平位移主要为作用于横梁上部荷载间接引起的变形,填筑荷载主要由椅式桩承担;随着填筑高度的增加,主桩及挡土板的水平位移均逐渐增加,椅式桩逐渐与边坡岩体一起共同承担荷载的作用,主桩水平位移增长速率逐渐地降低可以证明这一点。在填筑体路基面荷载的作用下,主桩和挡土板的水平位移随着竖向加载

应力的增加表现出线性增长的关系。从水平位移绝对值来看,填筑荷载所引起的椅式桩变形量仅为竖向荷载(120 kPa)引起最大值的 10%,主桩桩顶总的水平位移量小于 5 mm;主桩嵌入坡面处的水平位移约占桩顶总位移量的 40%,所以边坡坡体岩性对岩质边坡上的椅式桩变形影响极大。

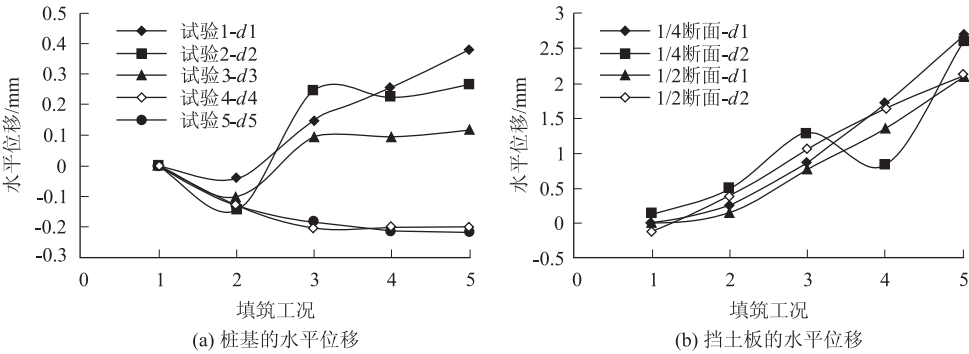


图 3 水平位移与填筑工况的关系曲线

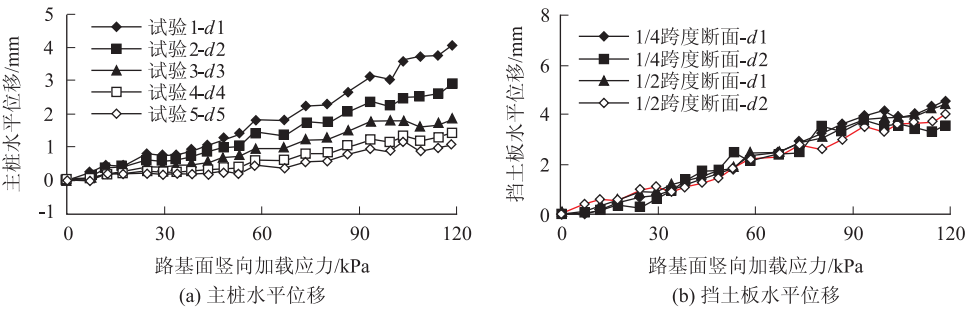


图 4 主桩与挡土板水平位移与竖向加载应力的关系曲线

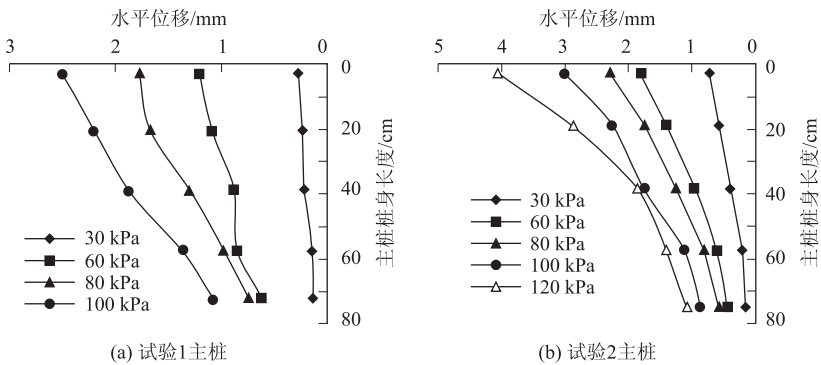


图 5 主桩水平位移分布曲线

椅式桩板结构主桩在路基面的竖向荷载作用下产生水平位移、转动变形以及沉降变形,由于椅式桩基属于嵌岩基桩,所以其沉降变形基本上可以忽略不计,挡土板的变形除上述因素外还需考虑其自身产生的变形。椅式桩主桩桩顶位移受上部悬臂段的转动变形和下部门型双排桩的水平变形以及桩侧岩体的压缩变形量控制,当填筑体路基面的荷载不大时,椅式桩是支撑

承载的主体,该结构表现出绕锚固点的整体转动变形趋势;当填筑体路基面荷载较大时,前期发生的变形使得椅式桩和岩质边坡体的联合承载能力增强,后期发生的变形以主桩悬臂段绕桩-梁交接点的转动变形为主,表现为较明显的挠曲变形。如图 6 和图 7 所示,在填筑体路基面的竖向荷载作用下,椅式桩板结构发生整体的前倾变形,挡土板前期加载的变形形态表现为

梯形突出,随荷载的施加逐渐转变为弧形突出,这是因荷载传递路径调整而引起的。

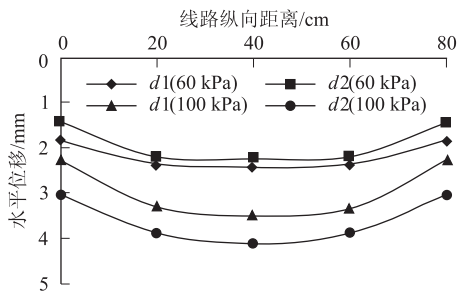


图6 水平位移纵向分布曲线

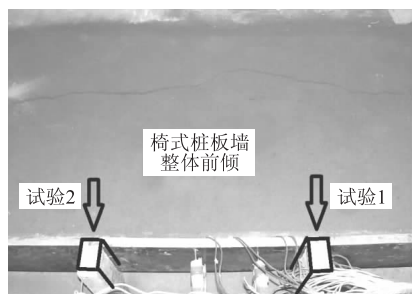


图7 结构水平位移俯视图

3 椅式桩板结构模型试验破坏特征

3.1 椅式桩破坏特征

椅式桩板结构的破坏类型主要为局部破坏(包括桩的破坏、板的破坏、梁的破坏以及桩体锚固段岩体的破坏)、桩梁连接破坏和沿下卧层滑动的整体破坏。

为了揭示椅式桩的破坏特征,增大了路基面的模拟荷载,路基面的荷载为120 kPa时,横梁的主筋已进入屈服阶段,早于主副桩基的屈服,桩梁的交接点形成塑性铰,如图8所示。



图8 椅式桩板结构裂缝发展图

椅式桩板结构的工作阶段根据路基面的模拟荷载可划分为4个阶段:①开裂前阶段(0~110 kPa),组合结构处于弹性工作状态。②带裂缝工作阶段前期(110~150 kPa),应变超过混凝土的极限拉应变时,桩梁的受拉区开始出现细小裂缝,以横向裂缝为主。

③带裂缝工作阶段中后期(150~210 kPa),钢筋应变呈现为非线性增长,但没有发生屈服。随后,裂缝的数量有所增加,并且裂缝宽度变长和变大。④钢筋的屈服阶段(>210 kPa),桩身受拉钢筋的应力达到并超过其屈服强度,椅式桩板结构的承载力急剧下降,丧失其工作性能。

椅式桩典型代表的裂缝有:横梁斜裂缝、横向裂纹和横梁混凝土局部压碎破坏,桩身产生横向裂缝,如图9所示。

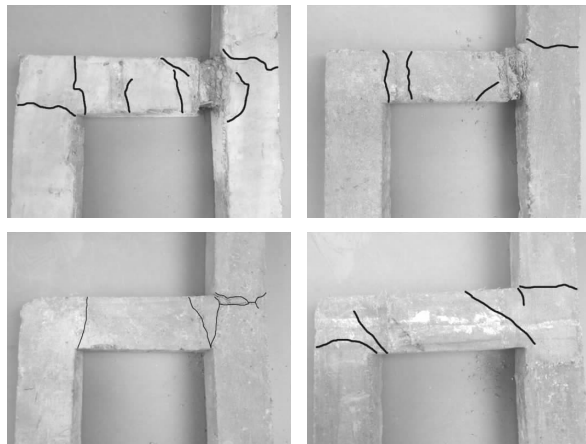


图9 椅式桩裂缝分布图

主副桩桩基的裂缝主要分布在桩与横梁的交接处,横梁的裂缝主要分布在桩梁的交接处和横梁的中部;在剪力、轴向拉力和弯矩的联合作用下,横梁与主桩的交接点处还产生了局部压碎破坏。椅式桩板结构具有较强的荷载作用自我调节功能,过大的荷载作用也通常不会出现结构的整体倾倒破坏。

3.2 软岩边坡破坏特征

填筑体路基面在竖向荷载的作用下,软质岩石边坡坡体的破坏形态,如图10所示。在副桩的外侧表现为浅层岩体破坏,随着荷载的增大破坏的范围逐渐沿伸到主桩的内侧,这表明在主桩和副桩之间存在临空面的岩体容易发生破坏,设计时可以不考虑该部分岩体对副桩的抗力作用。椅式桩对外侧岩体会产生挤推作用,同时承载板会产生挤压浅层岩体,从而导致主桩外侧浅层岩体出现较为明显的剥离破坏现象,并且在相邻两排椅式桩之间纵向贯通,坡体具有整体破坏的趋势。椅式桩板结构具有较强的抗变形能力,只有过大荷载结构出现塑性铰时才会产生较为明显的侧向变形,再持续施加荷载将会导致岩质边坡的局部破坏,但是结构破坏远远超前于坡体破坏,有利于设计者进行控制。

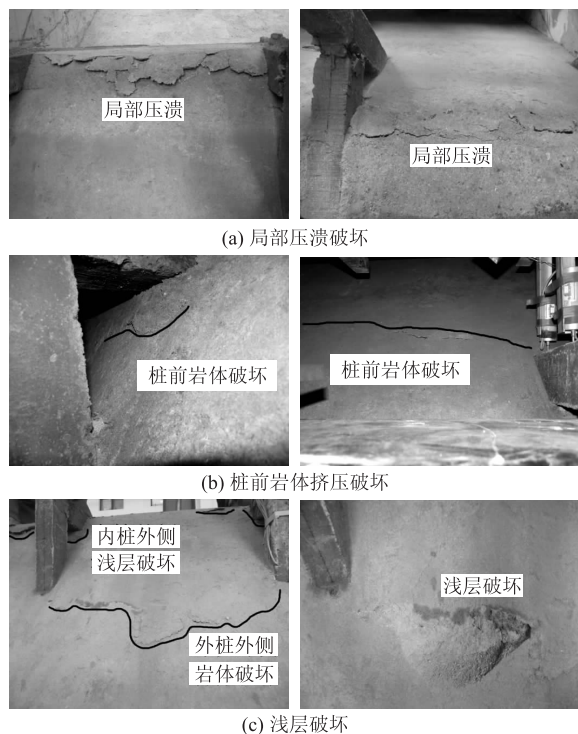


图10 软岩边坡破坏图

4 结论

针对软质岩陡坡地基高悬臂椅式桩板结构开展了模型试验研究分析,揭示了椅式桩板结构的变形特征,以及椅式桩和软质岩陡坡地基的破坏模式,得出以下主要结论:

(1)椅式桩变形极值出现于主桩桩顶,其中包括悬臂段挠曲或旋转变形、受荷段平动变形和锚固段挠曲变形;悬臂段变形为主控因素,坡体变形较小,椅式桩具有较好的变形协调作用。

(2)椅式桩裂纹发展一般分为开裂前、带裂缝工作前期、带裂缝工作中后期和钢筋屈服4个阶段,裂纹多出现于桩梁交界处的桩体上和横梁中部,裂纹多为刀口形和斜裂纹、少数为拉伸裂纹;椅式桩破坏模式一般为某构件形成塑性铰使结构丧失正常使用功能,过大荷载作用下组合结构通常不会发生倾倒破坏。

(3)软质岩边坡主要发生主桩外侧的浅层坡体挤压破坏和高荷载条件下主副桩间的岩体挤压压溃破坏。地基的破坏缓于结构的破坏。

参考文献:

- [1] TB 10025-2006 铁路路基支挡结构设计规范[S].
TB 10025-2006 Code for Design on Retaining Structures of Railway Subgrade [S].
- [2] GB 50330-2002 建筑边坡工程技术规范[S].
GB 50330-2002 Technical Code for Building Slope Engineering [S].
- [3] 姚裕春,袁碧玉.无砟轨道铁路陡坡路基加固结构创新方法分析[J].高速铁路技术,2015,6(4):31-35.
YAO Yuchun, YUAN Biyu. Analysis on Innovative Methods for Reinforcing Structure of Steep Slope Subgrade of Ballastless Track Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(4): 31-35.
- [4] 姚裕春,李安洪,苏谦,等.斜坡路基椅式桩板墙结构:中国.201220577616.1[P].2013-10-09.
YAO Yuchun, LI Anhong, SU Qian, et al. Slope Subgrade with Chair-shaped Pile-sheet Structure: China. 201220577616.1 [P]. 2013-10-09.
- [5] 白皓.椅式桩板墙受力机制与设计计算方法研究[D].成都:西南交通大学,2013.
BAI Hao. Research on Stress Mechanism and Calculation Method of Chair-Shaped Sheet-Pile Wall [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [6] 姚裕春,李安洪,苏谦.陡坡椅式桩板结构受力模式及计算方法分析[J].铁道工程学报,2016,33(8):71-76.
YAO Yuchun, LI Anhong, SU Qian. Analysis of Force Model and Calculation Method of Chair-shaped Sheet-pile Structure Constructed on Steep Slope [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(8): 71-76.
- [7] 姚裕春,魏永幸,袁碧玉.高速铁路斜坡路堤变形控制探讨[J].铁道工程学报,2014,31(5):16-21.
YAO Yuchun, WEI Yongxing, YUAN Biyu. Exploration on the Deformation and Control of Embankment Constructed on Slope Foundation for High-speed Railways [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(5): 16-21.

(编辑:赵立红 张红英)