

· 施 工 ·



急流滩钻孔爆破施工解决方案*

梁 进¹, 陆少锋¹, 刁 约², 张 政¹, 马本泰¹, 范怀斌¹

(1. 广西新港湾工程有限公司, 广西南宁 530200; 2. 广西大学 资源与环境学院, 广西南宁 530004)

摘要: 针对 J 级航段急流滩施工中出现的船舶定位、抛锚移锚、破坏炮线、钻机套管垂直度控制等施工难题, 传统施工方案无法开展施工作业。通过实践总结研发一套急流滩钻机船钻孔爆破施工关键技术。综合应用模块化组合船体、七锚缆船舶定位、套管垂直导向系统、平行双滚筒锚机、起爆网路等炸礁施工关键技术, 使施工船在任意航区调遣施工。在澜沧江 244 界碑—临沧港 IV 级航道整治建设工程中, 航区内滩上流速为 3.5~6.5 m/s, 险滩类型众多, 采用本方案取得了良好的施工效果。在涡流、深急流等复杂条件下使用此方案, 可以有效避免采用裸露爆破工艺炸药单耗高、不易控制的弊端, 为急流滩施工提供了一种有效可行的施工方案。

关键词: 急流; 钻孔爆破; 组合船; 船舶定位; 套管导向

中图分类号: U 615.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0192-06

Solution for borehole blasting construction of rapids shoals

LIANG Jin¹, LU Shao-feng¹, DIAO Yue², ZHANG Zheng¹, MA Ben-tai¹, FAN Huai-bin¹

(1. Guangxi New Harbor Engineering Co. Ltd., Nanning 530200, China; 2. College of Resources and Environment, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Due to construction difficulties, such as ship positioning, anchoring and anchor removal, destruction of blasting line, and verticality control of drilling rig casing, in the construction of rapids shoals in class J sections, the traditional construction scheme is no longer applicable for construction operation. This study summarizes and develops a set of key technologies for borehole blasting construction of rapids shoals with the drilling rig ship through practice. The comprehensive utilization of the modular combination hull, ship positioning system with seven anchor cables, vertical casing guidance system, parallel double-drum windlass, initiation network, and other key reef blasting construction technologies enables the construction ship to be dispatched for construction in any navigation area. In the class IV channel regulation and construction project on Lancang River from Boundary Marker 244 to Lincang Port, the navigation area has many types of dangerous shoals, and the flow velocity on the shoals in this area is 3.5 m/s to 6.5 m/s. The proposed scheme achieves a favorable construction effect. This scheme can effectively avoid such disadvantages as high unit explosive consumption and difficult control of exposed blasting technology under vortex flow, deep rapids, and other complex conditions, and it can thus serve as a feasible and effective construction scheme for rapids shoal construction.

Keywords: rapids; borehole blasting; combination ship; ship positioning; casing guidance

随着经济的发展, 航道建设向纵深推进, 山区河流不断开发, 其中急流滩航道整治是此类工程的难点, 主要有卡口急流滩和陡坡急流滩, 其

特点为: 急流、水面比降陡, 常伴随剪刀水、回流、泡水、漩涡、横流、扫弯水、跌水、激浪等, 流态恶劣。由于航区的不同, 现有 A 级航区的施

收稿日期: 2022-01-05

*基金项目: 广西科技基地和人才专项(桂科 AD20238084); 广西重点研发计划项目(桂科 AB20297050)

作者简介: 梁进(1972—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程研究。

工船舶无法进入 J 级航区(急流航区), 传统施工工艺在急流段(滩)施工困难, 无法开展施工作业。如澜沧江 244 界碑至临沧港 IV 级航道整治建设工程, 该项目自澜沧江秀山码头上 2 km 至中缅 243 界碑, 全长约 387 km, 其中景洪大坝以下至 243 界碑为天然河段, J 级航段, 航区内滩上流速为 3.5~6.5 m/s。滩险类型众多, 主要是急、浅、弯、窄、险碍航。

针对 J 级航段船舶无法拖航调遣、急流滩船舶上滩困难、抛锚移锚困难、船舶定位困难、钻机套管垂直度控制困难、流急容易破坏炮线、水陆交界岩石边坡陡峭钻孔困难、受电站影响水位变幅大、陡涨陡落等问题, 本文通过实践研发了急流钻机船钻孔爆破施工关键技术, 通过该技术的应用解决了急流条件下滩险施工困难、效率低、安全风险高的问题, 为山区河流急流滩施工提供一种新的解决方案。

1 急流滩钻孔爆破施工

1.1 模块化分体钻机船技术

急流滩钻孔爆破施工工法的原理是对急流滩进行水文分析, 应用流体力学、流体动力学原理, 寻找出对施工船最不利的条件和有关因素, 分析、计算钻机船在这些因素作用下的受力情况, 寻找解决施工船定位难、钻孔困难的解决方案。

内陆河流、湖泊受地理环境影响, 船舶调遣常受限制, 现有船舶不能调遣到施工区域, 因此必须采用模块化分体船设计, 船舶设计图纸经船检机关审验合格, 在有条件的船厂生产出各个箱体组装而成, 再经船检机关检验合格, 拆分后通过公路运输将各箱体运送到 J 级河段或封闭湖泊, 拼装成船舶再经船检机关检验合格颁发船检证书, 才能投入使用。为便于船舶运输, 设计时船舶各箱体参考 20 ft (1 ft = 0.305 m) 普通标准集装箱、挂车尺寸, 船舶箱体外形尺寸为 12 m×2.4 m×2.35 m(长×宽×高)和 9 m×2.4 m×2.35 m(长×宽×高), 箱体间采用“工”形连接结构, 其中 1 号箱是船舶中央箱体, 配置发电机、液压等, 为动力

舱; 5 号箱为空压机舱; 6 号箱和 6'号箱是推进器舱, 互为对称结构; 4 号箱和 4'号箱互为对称, 2、4、4'箱组成船首, 3、6、6'箱组成船尾, 组装时以 1 号箱为中心进行组装, 拼装顺序为 1→2→3→5→5'→4→4'→6→6', 箱体组成的船体结构见图 1。

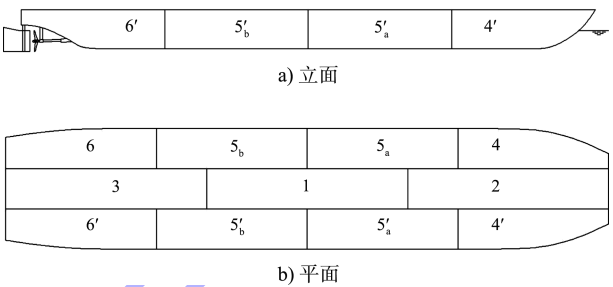


图 1 箱体组成的船体结构

1.2 急流滩钻孔爆破定位技术

在急流滩船舶受到季风、流速等自然环境的影响, 施工船舶一般采用四锚缆、五锚缆或者六锚缆定位系统, 此类定位系统存在的问题: 钻机船在剪刀水、泡水、漩涡、回流、横流、风等外界因素作用下, 平面位置不稳定, 四锚缆定位系统发生前、后、左、右移位较大; 五锚缆定位系统发生前、后移位较大, 左、右移位困难; 六锚缆定位系统在回流、泡水区会发生前、后位移且变幅大, 钻机孔位精度无法满足爆破要求^[1]。虽然六锚缆定位系统船舶平面位置稳定, 但船舶偏离前、后两主缆中心线后, 受两主缆的横向力及水流力影响, 船舶横向移动困难, 故其可作业的区域狭长, 会增加抛锚次数、降低施工效率^[2]。在澜沧江 244 界碑至临沧港 IV 级航道整治建设工程中提出七锚缆定位系统思路并进行设计、研制, 解决船舶定位困难问题, 使急流状态下爆破作业得以正常开展。七锚缆定位系统见图 2。

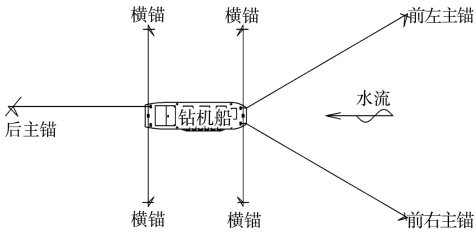


图 2 七锚缆定位系统

1.3 平行双滚筒锚机

采用七锚缆船舶定位系统，按原来的锚机结构就需要布置 7 台锚机，锚机所占甲板面积较大，不利于船舶甲板总体布置^[3]，故设计出合二为一的锚机，减少锚机占位，便于集中控制，仅一人就能完成船舶定位操作，经使用验证该锚机操作简单、安全、效率高、便于集控，锚机结构见图 3。

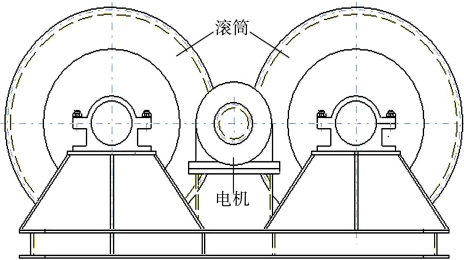


图 3 平行双滚筒锚机

1.4 钻机套管导正钻孔技术

在缓流水面钻孔施工，流速在 3.5 m/s 以下，钻孔时靠套管的自身重力下落就能保证套管垂直，无需其他辅助装置即可进行钻孔作业。但在急流滩，流速达到 5 m/s 时，套管进入水面以下 2~3 m 处就不能仅靠自身重力下落至岩层表面，而且套管倾斜严重、晃动大，无法进行钻孔作业，通过套管受力分析、计算，研制出套管垂直导向系统，解决了收放套管及保持垂直度的难题，使钻孔工作得以顺利开展^[4]。

套管垂直导向系统是在原钻机卡盘的行程之外增加导向盘，由上部、下部导向盘组成，上部导向盘由左右摆臂组成，摆臂与钻架连接，右摆臂上安装弹性导轮、液压装置，左摆臂上安装固定导轮，上部导向盘可以牢固锁紧套管；下部导向盘由 U 形槽、弹性导轮组成，下部导向盘对套管进行纵向支撑。套管入水后受水压作用，压力会传导到下部 and 上部导向盘的弹性导轮。根据作用在套管上的最大主流方向上的垂线平均流速，计算套管所受动水压力的 大小及作用点，通过力矩平衡计算，求出下部和上部导向盘的弹性导轮压力，再计算弹性导轮与套管之间的摩擦力大小，确定卡盘推进和 提升套管需要的推力，确定卡盘动力以及上部、下部导向盘之间的间距^[5]。套管垂直导向系统结构见图 4。

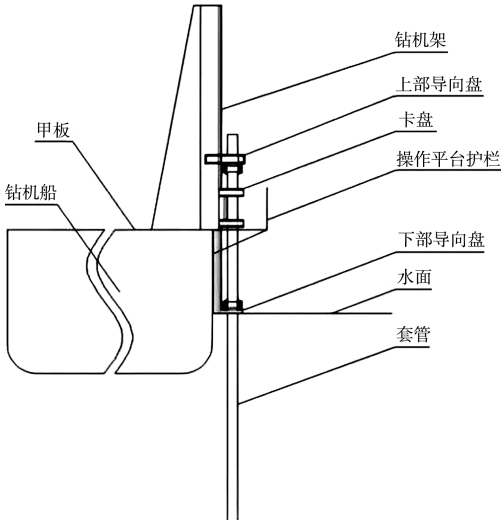


图 4 套管垂直导向结构

1.5 轨道式平行钻机机架系统

传统的钻机船为固定式钻架，钻机不能移动，钻孔孔距固定不变，钻孔施工过程中遇到水陆交界的岩石、孤石、斜坡、散石夹层时不能灵活移动，难以应对复杂岩层的钻孔要求，影响施工效率和施工质量。轨道式平行钻机机架的研发解决了施工过程中遇到的这些难题，将钻机安装到轨道式平移钻架上，不仅使船舶钻架结构拆装方便、安全系数高，同时因钻架可以任意调节位置，水下钻孔爆破针对不同环境和不同地质条件都能进行灵活调整，并且移动钻架减少船舶整体移动，显著提高了施工效率。

轨道式平行钻机机架包括钻架板、滑轮组、固定卡扣、轨道底座。钻架板分别与滑轮组及固定卡扣固定连接，轨道底座固定在船上，通过滑动上方的滑轮组操控固定卡扣，钻架板上安装钻机，从而实现钻机随钻架板在轨道底座的移动，具有安装简便、移动灵活、结构简单、操作方便、拆装简易、运输轻便等优点。

1.6 安防起爆网路系统

安防起爆网路由起爆网路和安防线路构成，起爆网路由爆破激发器、起爆电缆、击发针、导爆管、传爆雷管、导爆管和起爆雷管组成，其中：导爆管和传爆雷管是传爆层，根据网路的复杂性设置一层或多层；安防线路主要由防护绳组成受力线路，起爆电缆缠绕在主防护尼龙绳上，起爆

电缆不受力, 形成安全主起爆线; 孔内导爆管、支防护绳穿过胶管后引出到孔外, 并拉到船上系炮线桩绑好, 导爆管缠绕在支防护尼龙绳上, 支防护绳受力而导爆管不受力, 形成安全支爆破线。当总药量接近最大起爆药量时, 进行主起爆线与支爆破线安全连接, 先将主防护绳与支防护绳连接形成受力线路, 然后传爆层连接支爆破线, 最后主起爆线连接传爆层, 形成起爆线路并松弛地缠绕在受力线路上, 当主起爆线连接传爆层时, 传爆层的导爆管、主起爆线一端的击发针分别从

安防装置两端端盖中心穿入，用防水胶布将击发针和导爆管连接后放入击发针安防装置内，将端盖拧紧，用防水胶布缠紧缝隙，将击发针安防装置绑扎到受力线路上。

在施工过程中, 钻机船处于钻孔工作位置和起爆位置^[6]。钻孔位置要防止药柱从炮孔中浮出, 支防护绳长度为 3 倍水深; 在起爆位置时主防护绳长度约 1.5 倍钻机船与最远炮孔间距。按最大垂线流速处计算防护绳受力, 并选择相应直径的防护绳。起爆网路见图 5。

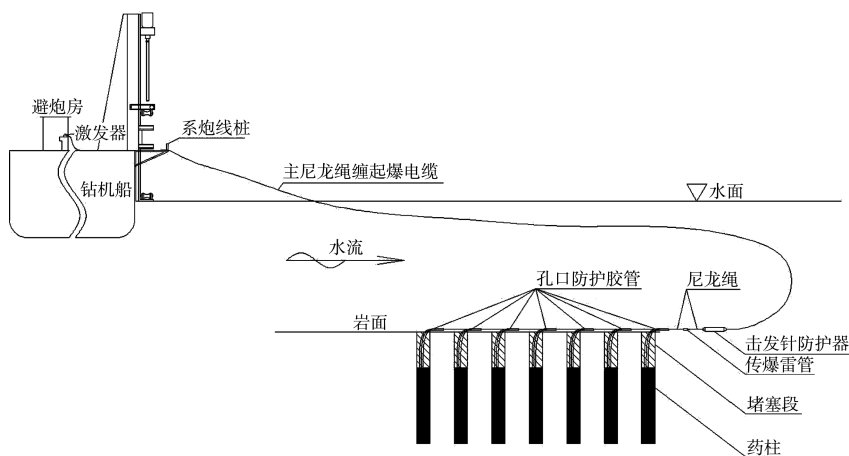


图 5 起爆网路

2 施工工艺流程

2.1 工艺流程

急流滩钻孔爆破施工工艺流程见图 6。

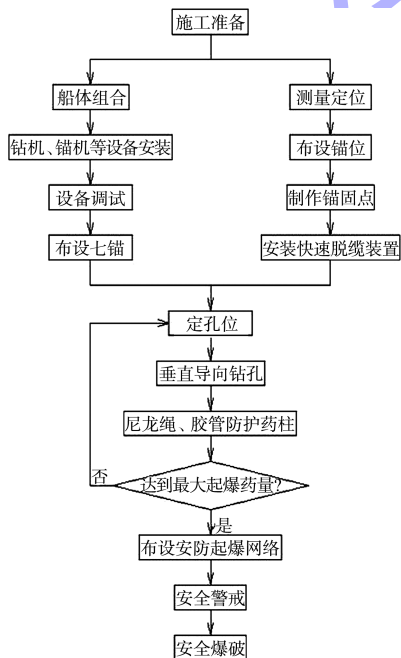


图 6 施工工艺流程

2.2 船体组合

船体组合选择在施工河段的船厂或沙场、平缓沙滩进行。准备好相应吨位的吊车、空压机、卷扬机、滑轮组、钢丝绳、气囊、千斤顶、葫芦、沙袋、木桩、垫木、垫墩、垫板等工具，为 1~6' 箱体吊装。在箱体拼接缝位置两边布置垫木，垫木基础部位夯实，垫木上面放置沙袋找平，标示出各个箱体的对应位置，形成一个箱体拼装的组合平台。垫木离地高度以能放入气囊、千斤顶等其他工具方便操作为准。吊装顺序为 1→2→3→5→5'→4→4'→6→6'，先吊 1 号箱放到组合平台上的 1 号位置，再吊 2 号箱到组合平台上的 2 号位置，用葫芦、垫板等配合，使 1、2 号箱对接准确，安装连接部件，使两个箱体连接牢固，按顺序将其他箱体连接牢固完成船体组合。检查连接部位情况，并进行维护后，用卷扬机、滑轮组、钢丝绳固定船舶，将多个气囊均匀分布穿过船底，逐个充气，使所有气囊都顶到船底，随时观察各

个气囊气压情况，保持各气囊气压基本一致，检查各气囊气压、卷扬机、滑轮组、钢丝绳以及船舶稳定情况，确认安全后，启动卷扬机，缓慢放松钢丝绳，使船舶沿斜坡慢慢移动，将船舶送入水中，绑好锚缆，锚泊船舶。

2.3 测量定位

根据施工图，设计炸礁区钻机船锚位、钻孔孔位、疏浚区开挖斗位等电子放样图，将电子放样图导入卫星定位系统(GPS)中，即可实时监控施工质量。

钻机船锚位根据地形、作业区域、施工水位涨落变化的情况，将两前主锚设置为水中锚位和岸上锚位，四横锚设置为岸锚，艉主锚设置为水中锚位。其中水中锚位一般设在施工区域上、下游边界 100 m 以外，前主锚一般在作业点 10 倍船长以外抛设水锚，锚位选在锚艇容易到达且能够进行抛锚操作的水域，测量船预先在锚位点航行，根据流态、流速、水深确认其可行性，确定锚位点坐标并录入电子放样图中；岸锚分高、中、低水位锚位，用 GPS 实地勘察选择适合的岸锚点并将坐标记录，为后续制作锚固点做准备。

2.4 钻机锚机安装调试

船体组装完成后，连接动力线路、照明线路、安装钻机、锚机设备等。其中钻机由钻架模块、动力接入模块、钻进模块、导向模块、操作平台模块组成。锚机由卷扬机、导缆器、锚缆、锚组成。

调试钻机船上 GPS 测量定位系统导入调试区的电子放样图，测量钻机的钻孔中心位置坐标，使用另外一套 GPS 校核船上 GPS 测量定位系统数据，确保定位数据准确。根据电子放样图上预设的锚位坐标，指挥锚艇依次将主锚及锚缆、横锚及锚缆抛设到预定的锚位，待七锚全部抛好后，缓慢收紧锚缆使船舶固定，观察电子放样图上船舶位移幅度大小，继续收紧锚缆，直至船舶位移幅度小于 20 cm。指挥船舶移动使钻机的钻位与电子放样图的设计孔位重合，观察钻位与孔位位移变幅小于 20 cm 后，开启导向模块下套管，启动

钻进模块钻孔，钻孔过程中监控钻位与孔位位移变化情况，直至钻机船调试完成。

2.5 制作锚固点及安装系缆装置

锚固点有混凝土、岩石、钢桩等^[7]，混凝土锚固点是将带钢丝绳、系缆环的混凝土块埋入土中^[8]，钢丝绳另一端系快速脱缆钩，钻机船出缆时将缆绳系到快速脱缆钩上，即可进行移船定位；石头锚固点是将缆绳直接绕在牢固的石头上，引出钢丝绳系上快速脱缆钩，供船舶挂缆；钢桩锚固点是用风炮在岩石上钻孔，将钢桩埋入孔内浇筑混凝土，钢桩头部安装系缆环和快速脱缆钩，供船舶挂缆。快速挂缆脱缆装置见图 7。



图 7 快速挂缆脱缆装置

2.6 确定孔位

钻机船驶入作业区域，在上游按预设的锚位将两前主锚抛好，固定船舶，然后用锚艇将横缆挂到预设的锚固点上。通过电子放样图控制锚缆使船舶移动到需要钻孔的位置附近，停下船舶抛设后主锚。七锚缆布置好后，指挥船舶移动使钻机的钻位与设计孔位重合。

2.7 垂直导向钻孔

开启套管垂直导向系统，其上、下部导向盘分别卡紧套管，控制上、下部导向盘预应力，使套管缓慢入水，当套管入水一定深度后，受水流量作用，套管与导向轮摩擦力逐步增大，套管靠自身重力不能下沉，将卡盘上升至上部导向盘，然后卡紧套管，推动卡盘至下部导向盘，松开套管，上、下部导向盘抱紧套管，卡盘上升至上部导向盘，卡紧套管，同时上、下部导向盘松开，向下推进卡盘至下部导向盘，如此反复推进，直至将套管压至岩面，套管安装完成，接着下钻杆，钻杆上连接着钻头、冲击器，钻头接触到岩面后，

给冲击器提供动力, 使冲击器工作, 钻头冲击岩石。采用吊打的方法打出一个可以放套管的凹槽, 套管嵌入凹槽并在卡盘持续向下的推进力作用下, 套管能够很好地护住炮孔口。

2.8 安装防护药柱

在钻孔同时, 计算并提取装药参数, 炮孔装药量, 装药段长度、堵塞段长度, 胶管长度, 加工防护药柱, 药柱由胶管、尼龙绳、竹片、绑扎绳、雷管、导爆管、炸药卷绑扎而成, 见图 8。



图 8 起爆线路安全防护装置

2.9 布设安防起爆网路及起爆

各炮孔装药完成, 总药量接近一次控制的起爆药量后布设起爆网路, 采用导爆管激发器、起爆电缆、击发针、尼龙绳、胶管、击发针防护装置、防水胶布、塑料导爆管等器材。启动导爆管激发器发出起爆信号, 起爆信号通过起爆电缆传给击发针, 击发针将起爆信号传给塑料导爆管→传爆雷管→起爆雷管。其中各个炮孔内安装不同段别的塑料导爆管雷管作为起爆雷管; 炮孔外用不同类型的塑料导爆管雷管作为传爆雷管。将各个炮孔中的起爆雷管的脚线捋顺成簇, 脚线(即导爆管)用防水胶布缠绕在尼龙绳上, 将传爆雷管的脚线从一端穿进击发针保护装置, 击发针与起爆电缆连接好从另一端穿进击发针保护装置, 拧紧保护盖, 用防水胶布缠绕击发针保护装置两端防止漏水。根据设计的线路长度配合船舶移动, 慢慢放松尼龙绳, 直至船舶移动到指定位置, 将尼龙绳绑在系炮线桩上, 起爆线路松弛地挂在另外

一个系炮线桩上。警戒、清场无安全隐患后, 将起爆电缆连接激发器, 按照起爆信号指示启动按钮起爆。

3 结论

1) 模块化组合工程船机动性强, 拼装后进行施工可减少工程船储备量, 减少了船舶管理成本、造船成本, 缩短施工工期, 更能适应施工项目分散的特点。

2) 七锚缆布置方法使工程船在急流环境下保持稳定, 急流环境施工过程不易发生移位、稳定时效长、可移船范围大、有效工作面广, 减少了抛锚次数, 解决工程船在急流环境下易移位、施工困难的问题, 使急流状态下爆破作业得以正常开展。

参考文献:

[1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.

[2] 高伟, 王立强. 绞吸挖泥船新型施工定位方式的探讨及优化[J]. 水运工程, 2009(6): 133-136.

[3] 徐灏. 机械设计手册[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[4] 李博凌, 蒋中明. 大连港鲇鱼湾港区水下炸礁浅点控制技术[J]. 吉林水利, 2017(10): 13-16, 19.

[5] 王忠康, 杨仕教, 王富林, 等. 港口航道水下炸礁工程实践[J]. 爆破, 2016, 33(2): 123-127.

[6] 汪竹平, 张道振, 徐榘杨, 等. 复杂环境内河航道疏浚水下控制爆破[J]. 工程爆破, 2013, 19(6): 50-52, 56.

[7] 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.

[8] 祝玉学. 边坡可靠性分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.

(本文编辑 王璁)

(上接第 178 页)

[3] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

[4] 朱佩宁, 何忠意, 齐昌广, 等. 注浆微型钢管桩原体试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2019, 45(6): 43-48.

[5] 刘小丽, 李白. 微型钢管桩用于岩石基坑支护的作用机制分析[J]. 岩土力学, 2012, 33(S1): 217-222.

[6] 何忠意, 朱佩宁, 周亚东, 等. 应力反射波在注浆微型钢

管桩中的波速研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2020, 40(1): 9-17.

[7] 中国建筑科学研究院. 建筑基坑支护技术规程: JGJ 120—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[8] 中交天津港湾工程设计院有限公司. 水运工程地基设计规范: JTS 147—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.

(本文编辑 武亚庆)