

DEVELOPMENT OF SPECIAL EQUIPMENT FOR
PILE SINKING AND EXTRACTING BY NONDESTRUCTIVE JET

无损射流插拔桩专用设备研制

吴林峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

无损射流插拔桩专用设备研制

吴林峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以无损射流插拔桩专用设备研制为主题,介绍了无损射流插拔桩专用设备的设计过程。本书内容主要包括:绪论、无损插桩机具设计、无损插桩快速定位装置设备设计、水上插拔桩施工专用平台设计、无损射流拔桩专用设备设计。

本书适合水利、交通、土木、港航等专业工程技术人员阅读参考,也可作为大专院校相关专业的辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

无损射流插拔桩专用设备研制 / 吴林峰著. -- 北京:
中国水利水电出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-5170-3764-4

I. ①无… II. ①吴… III. ①射流—打桩—桩工机械—专用设备—研制②射流—拔桩—桩工机械—专用设备—研制 IV. ①TV53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第253400号

书 名	无损射流插拔桩专用设备研制
作 者	吴林峰 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	140mm×203mm 32开本 7.375印张 198千字
版 次	2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	46.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

黄河是一条堆积性河道，黄河下游游荡性河道宽浅散乱，历史上具有善淤、善决、善徙的特点，对其治理由前期的“上拦下排，两岸分滞”“背着石头撵河”，逐渐过渡到后期的主动布点、有计划、因势利导地修建河道整治工程——稳定主槽，为缩小黄河主流游荡范围起到了重要作用。随之而来的河道治理桩基工程越来越多，深基坑深度更大、周围环境更加复杂，由此带来施工难度增加和废弃建筑物增多，潜在的投资或污染也在增多。比如由于桩基深度增加，现有振动或静压沉桩方法对桩基造成的潜在破坏、桥梁拆除遗留的桩基、建筑物拆除遗留的桩基等。特别是残留的桩基工程，对社会造成长期性的影响，受到科研工作者和工程技术人员的关注和重视，为我们提出了一系列需要深入研究的课题。该研究课题以黄河下游治理——修建导流桩坝为研究背景，结合土木工程中的桩基与支挡结构在公路、水利、港湾、矿山、民用与工业建筑实际应用，提出了新的桩基与支挡修建与移除的新方法。

本书在综合分析已取得的研究成果的基础上，针对近年来黄河治理方法研究现状及工程建设的实际需要，

以无损插拔桩设计为主题，详细介绍了无损射流插拔桩专用设备的设计过程。在每种专用设备进行传统理论设计基础上，作者又深入研究了各种专用设备设计的难点和关键结构，展开了数值仿真模拟；最后把研究成果投入到实际生产单位进行加工制作，为下一步的施工做好准备。

本书得到水利部公益性行业专项项目“黄河下游移动式不抢险潜坝应用研究”（项目号：200701047）和“重复组装式导流桩坝应急抢险技术与示范”（项目号：201201074），以及教育部卓越工程师教育“机械设计制造及其自动化专业培养计划”（项目号：教高厅函〔2013〕38号-238）、国家工程实践教育中心“华北水利水电大学—郑州新大方重工科技有限公司—机械工程实践教育中心”（项目号：教高司函〔2013〕48号-303）、河南省重点科技攻关项目“水上无损插桩设备关键技术研究”（项目号：152102210110）“华北水利水电大学高层次人才科研启动项目”的资助。本书的作者长期从事机械结构强度设计及振动、数值仿真方面的教学、科研、设计与施工等工作，本书研究内容是作者及其科研团队多年来在长期工程实践积累的基础上对水利施工机械持续研究的一项工作。

在本书撰写的过程中，得到耿明全教授级高工、于孝志高工、侯艳君副教授等的大力支持与指正，得到华北水利水电大学机械学院同事的关心与帮助，部分研究

成果是三门峡江海工程技术有限公司单位提供的资料，此外，本书的撰写还基于书后大量的参考文献，其作者的贡献是显而易见的，在此一并致谢！

由于专业领域、知识范围等的限制，作者深知自己在水力学、数学等方面的知识还有欠缺，本书在一些方面还存在疏漏、不当或错误之处，敬请同行学者批评指正。

作者

2015 年 5 月

目 录

前言

0 绪论	1
0.1 研究的背景及意义	1
0.2 当前国内外沉拔桩设备现状	4
0.3 总体研究思路及内容	5
1 无损插桩机具设计	7
1.1 总体设计	7
1.2 射流装置研究	9
1.3 压盘装置研究	20
1.4 供水系统设计与选型	53
1.5 设备制造与组装、调试	63
2 无损插桩快速定位装置设备设计	71
2.1 总体设计	71
2.2 浅水区快速定位装置设计	73
2.3 深水区快速定位装置设计	94
2.4 快速定位装置制造、组装与调试	130
3 水上插拔桩施工专用平台设计	133
3.1 总体设计	133
3.2 拼装式平台分体设计	139
3.3 平台加工制作及运输与拆装	162
4 无损射流拔桩专用设备设计	168
4.1 总体设计	168

4.2	射流拔桩器设计	170
4.3	拔桩器三维数值仿真分析	189
4.4	悬挂结构设计	205
4.5	配套设备的设计与选型	211
4.6	拔桩器设备制造与组装、调试	219

参考文献	224
-------------------	-----

0 绪 论

0.1 研究的背景及意义

黄河是我国第二长河，世界第五长河，她对于中华民族的意义是包括长江在内的其他河流无法比拟的，她流经中国腹地，诞生了中华民族，炎黄子孙既得益于黄河与黄土的哺育而生息繁荣，又受害于黄河与黄土相伴造成的黄河下游河道“善淤、善决、善徙”而治水不止。因此，人们根据黄河不同部分的治理方法把黄河分为上、中、下游。

近年来，黄河下游出现 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 以上洪水的几率很小，下游河道出现的大都是 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 左右的洪水，且持续时间较长，该级洪水在 2.5km 宽的排洪河槽内游荡不定，特别是一些河段畸形河势发育，如图 0.1~图 0.3 所示河段，不仅造成小水险情增多，已有工程利用效能和河道输沙能力降低，给将来大洪水行洪输移提供非常坏的基础条件，不利于大洪水向好的方向演变发展，增加了大洪水演变、游荡的不确定性，而且长期小水作用下洪水漫滩几率减小，泥沙主要淤在主河槽内，使主河槽萎缩，断面减小，排洪能力减小，使“槽高、滩低、堤根洼”的二级悬河不利局面发育并日趋严峻。河槽淤积，泄流不畅，一旦发生大洪水，水位表现高，滞留时间长，横河、斜河、滚河的机遇加大，小水出大险，常年出险，防洪压力加大。而且随着滩区横比降的加大，洪水漫滩后水流直冲堤防，造成平工段出大险，甚至可能冲决堤防，造成巨大灾难。加之小浪底至花园口区间 2.7万 km^2 无工程控制区 100 年一遇设计洪水洪峰流量为 $12900\text{m}^3/\text{s}$ ，且预见期短，对堤防仍有很大威胁，必须加以防范。因此，从黄河下游游荡性河道治理与开发的需求出发，需要在不影响滩槽水沙交

换和保证大中洪水安全排泄条件下将河槽宽度进一步减小，合理增设河道整治工程，而解决这一矛盾的有效方法之一就是重复组装式导流桩坝工程。

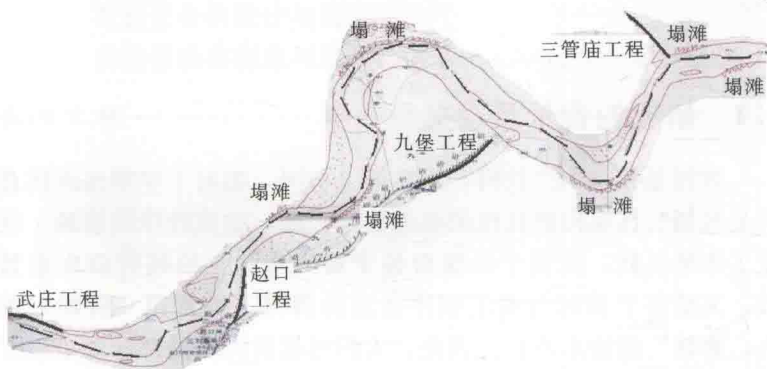


图 0.1 2007 年 5 月郑州中牟段河势

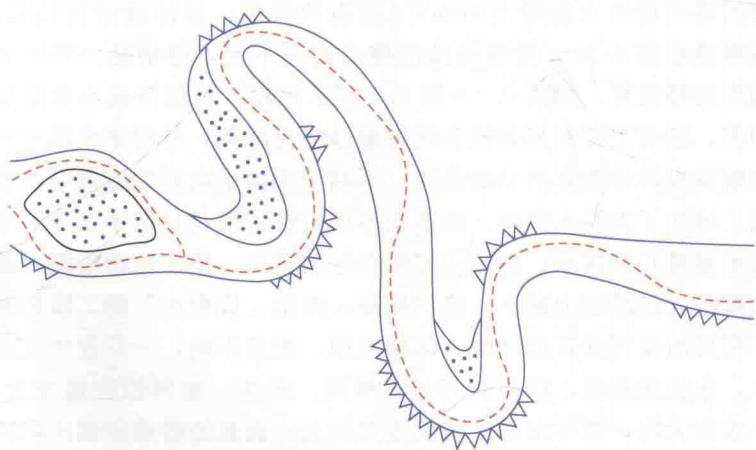


图 0.2 2005 年 5 月开封欧坦至夹河滩段畸形河势

目前进一步控制小水河势、增大现有河槽输沙能力面临难得的大好机遇，小浪底水库运用使黄河下游小水持续时间大幅度增长，且出现几率更加趋于稳定，大洪水在水库调节的情况下，洪

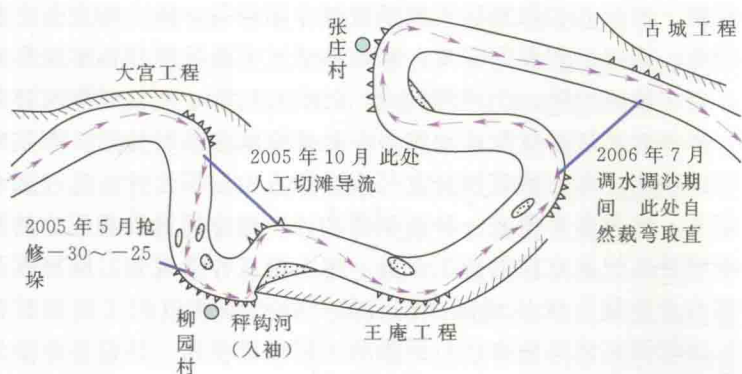


图 0.3 2005 年 10 月大宫至古城河势

峰减小、历时延长，且出现几率降低。因此，利用长时间的小水、清水和已有工程控制条件，形成较为稳定的小水河槽，具备较初始整治中水河槽还要好的条件和基础，加之目前小浪底水库处在拦沙运用初期的优势，利用修建可移动的不抢险潜坝工程来塑造和稳定河槽，可以使黄河大、中、小洪水均能溜走主槽，具有难得的大好机遇和条件。

综上所述，找到与现有河道整治工程配套使用，可有效约束大、中、小洪水均能溜走主槽，且不影响安全排洪和滩槽水沙交换的导流桩坝及其相应的施工机械。

因此以黄河水利委员会河南黄河河务局水利部公益性行业项目“黄河下游移动式不抢险潜坝应用研究”（项目号：200701047）、“重复组装式导流桩坝应急抢险技术与示范”（项目号：201201074）、教育部卓越工程师教育“机械设计制造及其自动化专业培养计划”（项目号：教高厅函〔2013〕38号-238）、国家工程实践教育中心“华北水利水电大学—郑州新大方重工科技有限公司—机械工程实践教育中心”（项目号：教高司函〔2013〕48号-303）、河南省重点科技攻关项目“水上无损插桩设备关键技术研究”（项目号：152102210110），以及“华北水利水电大学高层次人才科研启动项目”项目为依托，研究一套适

合黄河下游及其相似地层无损插拔桩专用设备。该专用设备主要作用是：根据治理黄河需要，修建移动式不抢险潜坝调整畸形河势、解决临时抢险，当桩坝完成一处临时抢险、调整畸形河势之后，需要对其进行拆除移动到另一处继续承担临时抢险、调整畸形河势作用。考虑到该坝桩直径大、埋入地层深度大，且在深水中施工，这就需要研发一种新型的和该工程专用设备相配套的水上插桩及其快速定位的施工设备、水上施工作业设备，使桩在孔中靠自身重量下沉达到建坝的目的，且不破坏桩的结构及其强度。当桩坝完成其使命进行拆除后可以继续使用。该设备主要是利用水射流破土机理对桩底部土层进行射流冲击，形成井孔，减小或去除地层对桩的摩阻力，以方便快捷将桩沉入地层。

本书提出的无损射流插拔桩方法，实现导流桩坝的“导流免冲”工程抢险方法，黄河下游游荡性河段小水畸形河势快速控制与调整技术，研制的无损射流插桩专用机具、快速定位装置、专用施工平台、无损射流拔桩专用机具，都是针对黄河下游游荡性河段河道整治工程建设、工程抢险实际而提出的实用型创新性成果，对国内外水利水电工程建设和防洪抢险、桥梁工程建设、土木工程建设中的桩基工程都有很强的适应性和推广应用价值。拼装式水上插桩、拔桩作业施工平台、插拔桩专用机具、定位装置等拥有自主知识产权和核心技术，该成果在河道整治、河岸防护、基坑支护、水上施工等水利、民用建筑行业等行业都有十分广阔的推广应用前景，基于重复利用材料、降低工程投资目标下的插桩、拔桩施工技术和拼装式水上平台，很容易在河道整治、河岸防护、基坑支护、水上施工等水利、民用建筑等行业形成优势技术，有效推动相关行业，尤其是黄河下游治理的科技进步，在提升产业核心竞争力和经济社会效益等方面具有突出作用和贡献。

0.2 当前国内外沉拔桩设备现状

当前，传统的拔桩设备是利用振动、静力或锤击作用将桩拔

出地层的桩工机械。拔桩作业常采用相应的振动沉桩机、静力压桩机或双动汽锤，再配以桩架和索具，故又称振动沉拔桩机、静力压拔桩机。也有采用机械方法拔桩的，即由电动机驱动卷扬机，利用钢丝绳滑轮组的拉力将桩强制拉出地面，使用方便，成本低，但拔桩力不大、设备笨重、拔桩效率低，只适用于软土地层施工。振动沉拔桩机可在各种土层中拔混凝土桩及其他桩；静压拔桩机适于适用在黏土、砂土或含少量砾石的土层中拔工字钢或型钢桩。以上拔桩设备对于移动式不抢险潜坝这种大型混凝土预制管桩也可以进行拔桩施工作业。但是考虑到该工程的地质状况和实际施工中用于临时抢险和调整河势，需要有一种能够同时完成沉拔桩作业的施工机械。因此，研制一种适合这种地层和大型管桩的沉拔桩施工设备，成为急需解决的问题。

0.3 总体研究思路及内容

根据黄河下游黄河地层、河水流量和流速特点，研究一套适合黄河下游修建导流桩坝（钢筋混凝土管桩桩坝）的施工专用机械设备。该施工机械利用高压水射流破土形成一定技术要求的井孔，并将桩利用自重下沉沉入井孔，在桩顶部再由联系梁通过混凝土柱塞将桩顶部连成一体，形成导流桩坝。当该导流桩坝完成一处的畸形河势的修正和归顺以后，需要进行移除。研究一套适合该桩坝移除的拔桩专用施工设备。因此，具体设计思路及内容如下：

（1）利用无损水射流破土成孔原理和利用管桩自重下沉原理，设计管桩沉入地层的关键设备——无损射流插桩专用设备设计。

（2）利用六点定位原理，设计滩地/浅水区和深水区快速插桩定位装置关键装备——快速定位专用装备设计（此时即可以浅水区使用也可以不在水中施工使用）。

（3）利用浮力性质，设计水上沉拔桩专用施工装备——拼装式施工平台设计。

(4) 利用减小桩-土摩阻力以减小管桩抗拔力，设计将管桩无损拔出地层的关键设备——无损射流拔桩专用设备设计。

该施工设备，以黄河下游修建导流桩坝，用以归顺或调整河势走向为研究背景和研究依托，施工时滩地或水中都有可能。为了设备的通用性，本设计以水中施工修建和移除导流桩坝为例进行研究。

导流桩坝布置如图 0.4 所示，该导流桩坝在黄河南岸由岸边向河心插桩修建，水中插桩修建时，需要水上施工平台及其固定装备（滩地施工时不需要该项设备）、管桩、大型吊车、无损插桩设备、快速定位装置。导流桩坝移除时，需要水上施工平台及其固定装备（滩地施工时不需要该项设备）、无损拔桩设备。

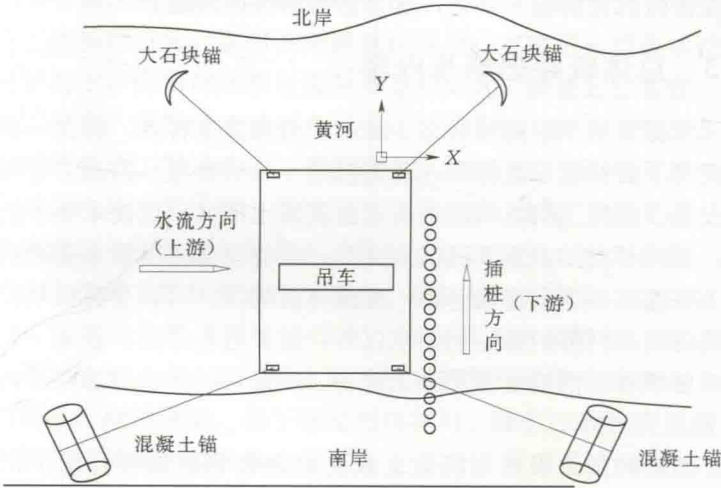


图 0.4 重复导流桩坝布置图

1 无损插桩机具设计

1.1 总体设计

1.1.1 对水上无损插桩设备的设计要求

针对黄河治理及一般的土木工程施工、水利水电工程、农业工程,该无损插桩机具要求具有以下功能:

(1) 该插桩设备要求在黄河下游滩地/水中施工,该地层属于粉性砂土,层间伴有黏土层、杂草或石块等杂物。

(2) 利用水射流冲击砂土、黏土及其所含枯枝杂草时,能对桩底部地层进行造孔减小或消除地层对桩的摩阻力,使桩依靠自身的重量沉入地层中。

(3) 该插桩设备是针对外径不大于 500mm,内径不小于 300mm,长度不超过 24m 的钢筋混凝土预制管桩施工。

(4) 对桩底部造孔深度不小于 24m。

(5) 定位装置适合水深不大于 5m,以保证沉桩过程中,克服风力、波浪冲击力,保持桩处于铅垂状态。

1.1.2 总体设计

1.1.2.1 实现插桩原理

该水上插桩施工及其快速定位设备实施插桩工作时,首先利用机械进行钻孔插桩法或无损射流插桩法在黄河岸边滩地插入管桩(称为定位桩,记为桩 1 号、2 号、3 号、...,至少沉入 2 根定位桩),进入水中插桩时,利用岸边已有定位桩 1 号、2 号或边桩 3 号的直立、稳定作用,将边桩 1 号、2 号或 3 号的顶部 0.5m 以上高度开挖,桩顶露出 0.5m,用以固定定位装置,营造需要安插的管桩在没有水平流速水域处沉放至河床射水管桩环

境,进而实现需安插 1' 管桩在自重的作用垂直下沉插桩。然后再依此桩 1' 为定位桩继续射水插桩 2'、3'、4'、..., 以此类推实现整个桩坝管桩的插入。然后在桩顶部安放事先预制好的混凝土联系盖梁, 通过连接销柱将管桩和联系盖梁连接起来, 形成整个桩坝的建立 (桩坝结构布置如图 1.1.1 所示)。

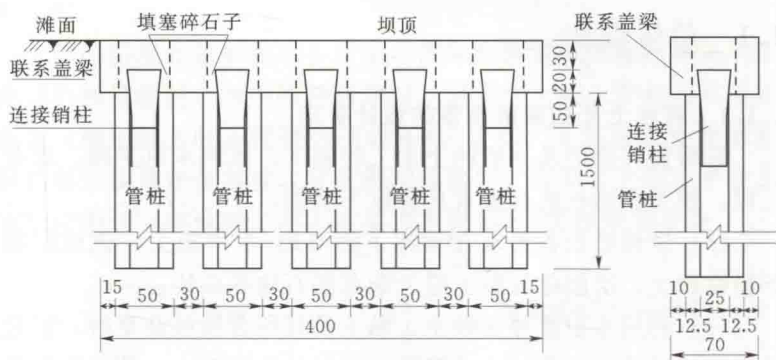


图 1.1.1 桩坝结构布置图 (单位: cm)

1.1.2.2 总体方案设计

从前面的分析可知, 用水射流法对桩底部周围土层实施破坏, 再依托定位桩利用快速定位装置使桩处于悬浮状态或自然下垂状态, 插入地层, 从而实现整个桩坝的建立。因此对该插桩设备和定位装置整体结构初步设计如图 1.1.2 和图 1.1.3 所示。由起吊机械、供水系统和定位装置, 以及用来连接起吊机械与供水系统和桩的钢丝绳几部分组成。

各部分的作用分别是: 起吊机械通过钢丝绳用来起吊定位装置、供水系统和管桩, 使供水系统在桩的底部连续垂直向地层造孔, 并将桩沉入地层。定位装置的主要作用是依靠前桩定位, 将水对桩的侧向冲击作用减弱或消除, 保证管桩下沉的过程不受水流的作用, 而保持铅垂状态沉入地层。供水系统是供给水高压射流冲击桩底部地层, 形成井孔, 并通过正循环将产生的泥浆带动溢出, 在管桩的底部形成井孔, 保证管桩靠自身的重力沉入地

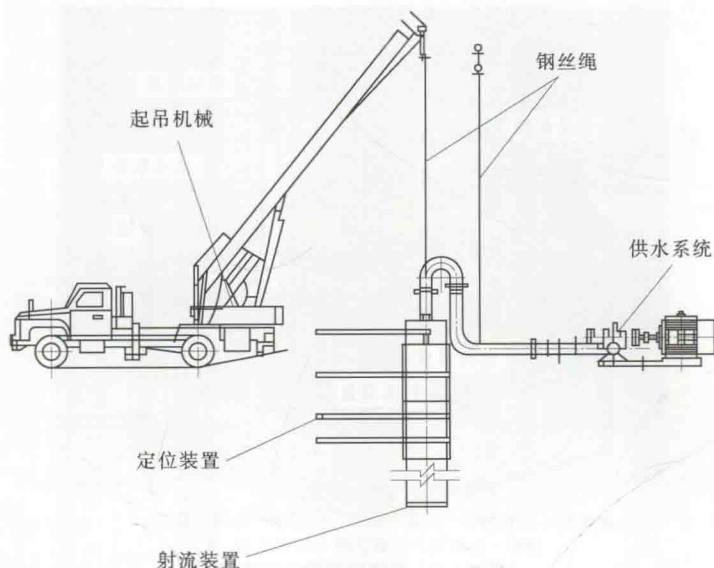


图 1.1.2 总体方案设计结构图

层。起吊机械主钩的钢丝绳通过桩顶部压盘上，副钩的钢丝绳和供水系统中的吊装带连接，起吊时主要起连接和承重作用。

1.1.2.3 具体设计内容

依据当前国内外插桩施工机械状况，并将研究重点放在寻求更经济、更高效、更安全的水上插桩方式上。具体内容如下：

- (1) 无损射流插桩设备总体方案设计。
- (2) 射流装置设计研究。
- (3) 压盘装置设计研究。
- (4) 供水系统设计与选型。
- (5) 设备制造与组装、调试。

1.2 射流装置研究

目前水射流技术在实际应用中多是通过专用成孔机具来实现的，如煤层成孔、射水法造墙等。基于以上应用，并考虑到土层