



三一科技丛书

旋挖钻机与施工技术

Rotary Drilling Rig and the Construction Technology

黎中银 焦生杰 吴方晓 编著
易小刚 主审



人民交通出版社
China Communications Press

三一科技丛书

旋挖钻机与施工技术

黎中银 焦生杰 吴方晓 编著
易小刚 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了旋挖钻机及其施工技术,主要包括:旋挖钻机的发展历史、现状、发展趋势,旋挖钻机的设计理论与方法,旋挖钻机的构造,旋挖钻机新技术研究,旋挖钻机试验技术及评估方法,旋挖钻机的使用与维护,旋挖钻机施工技术,国内外旋挖钻机相关专利等。书中旋挖钻机稳定性的分析计算、钻机及工作装置动力学模型、实用的计算方法与施工技术作者多年来工作经验的积累。

本书可作为从事旋挖钻机工程设计人员、桩基工程施工技术人员、钻机维修技术人员与管理人员的参考书,也可供岩土钻掘工程专业院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

旋挖钻机与施工技术/黎中银等编著. —北京:人民交通出版社,2010.2

ISBN 978 - 7 - 114 - 08209 - 2

I. 旋… II. 黎… III. 钻机 - 工程施工 - 施工技术
IV. P634.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 011718 号

书 名:三一科技丛书
旋挖钻机与施工技术

著 作 者:黎中银 焦生杰 吴方晓

责任编辑:郑蕉林 任雪莲 张一梅

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:25

彩 插:4

字 数:632 千

版 次:2010年2月 第1版

印 次:2010年2月 第1次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 114 - 08209 - 2

印 数:0001—5000 册

定 价:66.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



青藏铁路

被视为桩基础施工禁区的青藏铁路，
中国人用智慧和坚毅的精神创造了一个神话，
而这一传奇中不乏三一人的身影。
三一SR220C旋挖钻机于2003年8月进驻青藏线，
成为首台进入高原施工的国产旋挖钻机，
在克服了高原低温的恶劣施工环境下，
仅半年时间创收600多万元，
成为青藏铁路桩基础施工的佼佼者。
青藏铁路桩基础工程的成功，
奠定了三一在中国桩工机械第一品牌的地位。

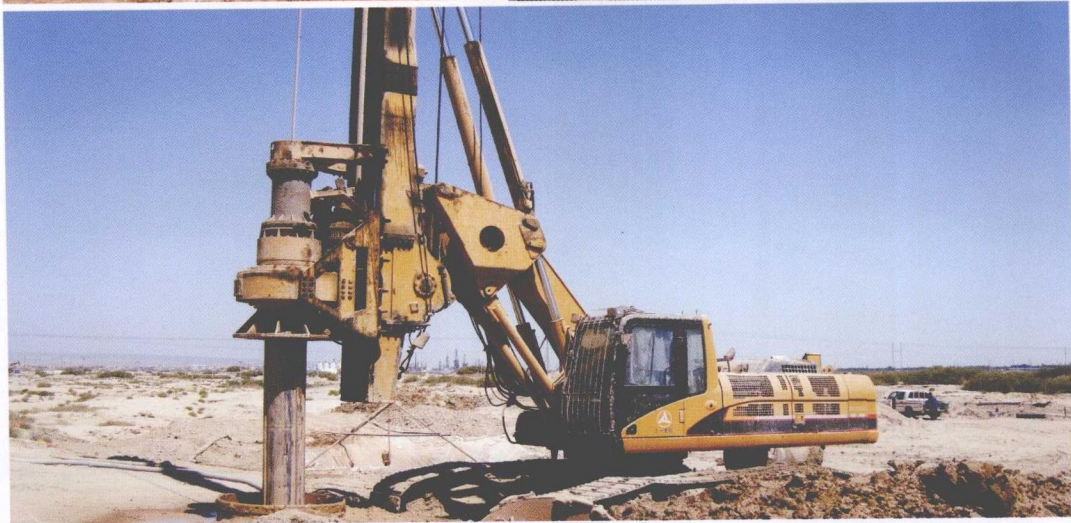
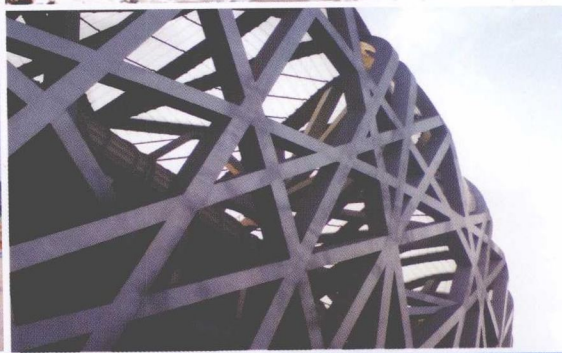




国家体育场“鸟巢”

2003年在国家体育场工地施工的6台三一SR220C旋挖钻机，见证了“鸟巢”这座21世纪独特的、历史性的标志建筑，创造了国内旋挖钻机施工史的里程碑。

国家体育场基础工程为筏板-桩基组合式基础，共需基础桩1800余根，深基础桩的难点在于解决空钻长度大的前提下，确保桩垂直度偏差及定位偏差。三一SR系列旋挖钻机在工期紧，施工难度大，地况复杂的情况下高标准、高质量地完成任务。





郑州西安高速铁路

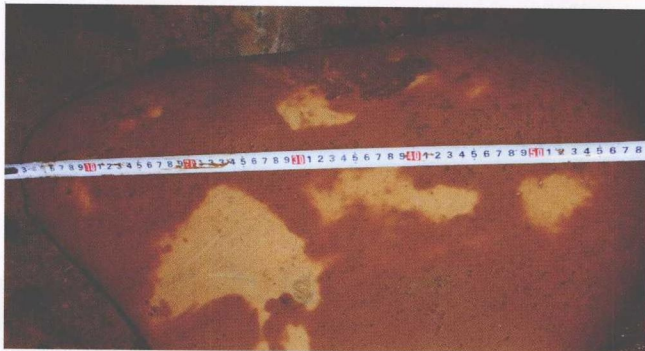
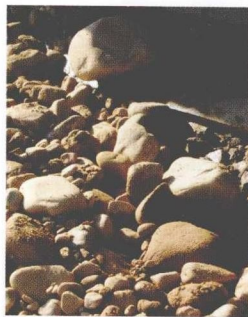
郑西客运专线是我国中长期铁路规划中10条客运专线徐兰客运专线（徐州-郑州-西安-宝鸡-兰州）最先开工的一段，穿越豫西山地和渭河冲积平原，南倚秦岭，北临黄河。北京市三一重机有限公司是国内最先进驻郑西高铁施工的桩基础设备生产企业之一，在施工过程中解决了湿陷性黄土地区施工的技术难题，创下了36台SR系列产品在此专线上同时施工的恢弘场面，气势蔚为壮观，为郑西客运专线基础工程的顺利竣工立下了不可磨灭的业绩。

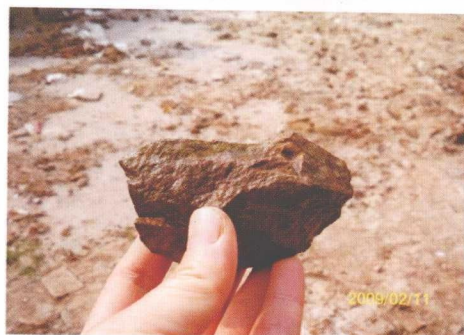




郑石高速双沐河大桥漂石、卵石施工工法

郑石高速是河南省高速公路“686”建设规划网的一条重要联络线，也是新规划“两桥三路”中的“中央辐射线”，全长182.247km，北起郑州、经新郑、长葛、平顶山等9个县(区)，连接郑州西南绕城高速等多条公路。在郑石高速双沐河大桥施工过程中，旋挖设备遇到丰富的地下水、大颗粒鹅卵石（卵石平均直径40cm，最大达到60cm×52cm×40cm）复杂的地质情况，北京市三一重机有限公司发挥自身优势，运用高稳定性的SR系列旋挖钻机和成熟的施工工法，通过控制孔内压力、设备钻进速度等工艺，成功解决卵石层易塌孔、大颗粒卵石钻取两大技术性难题，成为施工现场唯一高效成桩的设备，使客户经济效益最大化。





三一旋挖钻机 解除广东地区无法使用旋挖钻机施工的魔咒



广东省某工程的一个基坑工地中，许多旋挖设备在做完周边的支护桩后，因无法完成基坑中风化岩石层钻进10米的桩孔，使甲方在短时间也无法找到合适的机器进行施工，正在施工陷入踌躇之际，北京市三一重机有限公司旋挖钻机工法所的专家经过现场勘查后，信心十足的表示：“此岩石层完全可以钻进！因为岩石层虽然是中风化，但是裂隙发育比较完全，纹理比较好，三一旋挖钻机的入岩能力完全能担当此工地施工的重任。”经过详细的地质研究，研究院的专家就康王路工地连夜赶制出一套完整的施工方案，对客户的钻具进行特殊改进、对客户的机手进行了专项培训指导后，工程不到两个月完成，顺利完工，为客户创造了巨大效益。



百余台三一旋挖钻机奋战 京沪高速客运铁路

京沪高速铁路客运专线是我国“十一五”期间的国家重点铁路项目，是国家长期“四纵四横”铁路网规划中较早开工的一条，是世界一次建成线路最长、标准最高的高速铁路，全长1320km，其中桥梁长1020km，占全长的77.3%。工程的预算资金2200亿元。总体来看，京沪高铁具有投资大、标准高、工期紧、桥梁多等特点。

在高速铁路客运专线施工中，三一集团全系列工程机械产品服务于京沪高铁，尤其是以三一SR系列旋挖钻机为代表的桩工机械产品，满足京沪高铁零沉降的桩基础要求，已经完全具备与国际品牌同台竞技的能力，成就了中国桩工机械的第一品牌。

截至2008年9月，百余台三一SR系列旋挖钻机奋战在京沪高铁一线，分布在七个省市地区，配备多个配件仓储中心，十余支售后服务团队24小时随时待命，保障设备正常运转，为客户提供施工整体解决方案。





铜川赵氏河特大桥

SR360旋挖钻机首次与国内外同类型知名产品同场竞技，在西（安）铜（川）高速公路赵氏河特大桥工程中，由泥岩和砂岩组成、岩石单轴抗压强度50~80MPa的7号承台是公认的极难打的一个承台，三一SR360旋挖钻机成功打下20根直径2m，深度70m的桩孔。价值800多万的三一SR360旋挖钻机与价值1700多万国际知名品牌产品同场施工竞技，验证了“中国创造”的SR360旋挖钻机彻底打破了国际品牌在我国大口径、深基础桩工设备领域的垄断，是中国产品实现自主创新的有效见证，造就了中国桩工机械赶超世界的一次跨越。





1. 荷兰阿姆斯特丹梵高博物馆外围扩建工程施工



2. 三一旋挖钻机SR250吉隆坡顺利完成第一根试桩施工



3. 印度钦耐港口斜桩施工



4. 新加坡某工地施工



5. 美国小岩城某工地施工



6. SR220C旋挖钻机白俄罗斯配搓管机施工



7. SR220C旋挖钻机安哥拉配搓管机施工

序 一

从北京三一重机开始研发桩工机械至今已经6年了,这短短的6年不仅铸就了全球产量第一的旋挖钻机生产企业,更重要的是,北京三一重机的发展历程为我国本土企业进入高端工程机械领域开辟了一种宝贵的路径模式。曾几何时,我国的地基基础施工是由许多传统而落后的施工机械和施工工艺占主导地位,随着青藏铁路、奥运鸟巢体育场等重大工程的建设,整个社会更加关注基础施工中的环境因素。我们欣喜地看到,进入21世纪以来,对节能、环保、效率、成本意识的加强,促进了新技术、新工艺在各个行业的应用。正是在如此背景下,以旋挖钻机为代表的新型施工机械登上我国桩基施工的舞台。旋挖钻机及施工工艺正以其集成了节能、环保、高效、成桩质量可靠、成本低廉等众多优点,而成为我国桩基工程施工的主流机械。

本书作为国内第一部系统介绍旋挖钻机设计理论与施工技术方面的专著,其不仅从侧面反映出一个企业成功的背景,更体现了一种技术创新的模式。本书三位主要作者的辛勤工作无疑是这种模式的生动体现,即一个成功产品的问世一定是理论、创新与实践相结合的产物,在实践中验证和优化理论,彼此相互促进的过程。

北京市三一重机有限公司,作为三一重工的重要组成部分,秉承“品质改变世界”的企业发展理念,打破国外企业对我国大型旋挖设备的垄断,以高新技术装备基础施工行业,通过科学的工法和实用的设备引发了一场基础施工技术的革命,研制开发出多功能、系列化小、中、大各类机型的深基础桩工设备,引领了国内整个旋挖钻机行业的发展方向。三一旋挖钻机创造了吨位最大(SR360、SR420)、钻进最深两项中国之最,连续6年保持市场占有率第一,产品远销至美国、比利时、东南亚、中东、南美、非洲等几十个国家和地区。

本书是作者奉献给桩工机械行业的一份礼物。希望本书的出版,能够加深我国桩工行业对施工工法这一钻掘工程灵魂的理解,以先进、高效、环保、安全的工法研究为手段,来指导旋挖钻机的设计与开发,提高桩工机械的品质和桩基础施工的技术水平,成就更高质量的基础工程。

值本书出版之际,我谨代表三一重工向三一系列科技丛书的全体编写人员以及支持本书出版的人民交通出版社表示衷心的感谢!并借此机会向我们的客户致以诚挚的谢意,感谢您们长期以来对三一产品的厚爱和始终如一的支持!

易小刚
2009年12月

序 二

旋挖钻机按其功能可分为单一方式旋挖钻斗钻机和多功能旋挖钻机,前者是利用短螺旋钻头或钻斗钻头进行干作业钻进或无循环稳定液钻进技术成孔制桩的设备,后者则是配备不同工作装置还可进行其他成孔作业,例如配备抓斗可进行地下连续墙成槽作业,配备双动力头可进行咬合桩作业,配备长螺旋钻杆与钻头可进行 CFA 工法桩作业,配备全套管设备可进行全套管钻进,一机多用。目前,在我国钻斗钻成孔施工法是旋挖钻机的主要功能。

旋挖钻机及其成孔成桩技术自从进入我国以来的十多年间,取得了长足的进展,这种集高效、环保、成桩质量高、施工成本低等众多优点于一身的施工机械及其工法,对我国基础施工行业产生了深远的影响。旋挖钻斗钻成孔灌注桩已在我国铁路、公路及建筑基础设施中得到广泛应用。

本书的作者是从事旋挖钻机研发、制造和应用研究的众多工程师,他们深入调研旋挖钻机及其工艺在国外发展的历程,并结合我国国情研发出系列的旋挖钻机。作为资深的专业人员,本书的作者阐述了旋挖钻机的发展趋势,为旋挖钻机今后的发展指明了方向,最值得称赞的是他们毫无吝啬地将多年积累的旋挖钻机设计理论与方法贡献给广大读者。

本书以北京三一重机有限公司的研发成果为蓝本,全面地介绍了旋挖钻机的技术特点、设计理论与方法,总结了旋挖钻机的安装与调试、保养与维护,以及常见故障诊断与排除等方法;此外,还介绍了旋挖钻进成孔工艺、施工工艺流程、钻机的操作与注意事项、成孔过程与终孔检验,以及成孔常见故障及处理等内容。总之,本书既阐明了相关理论,又介绍了一些新的研究成果,还传授了丰富的实践经验。

本书对旋挖钻机的设计、工程施工与科学管理以及新一代旋挖钻机的研发均具有指导意义。本书的出版发行是对旋挖钻机技术的一大贡献,必将促进我国旋挖钻机技术的进一步发展。

旋挖钻机与施工技术是互相影响、互相补充的系统工程,缺一不可。本书偏重于介绍旋挖钻机技术,但我相信,随着其在工程中的大量应用,旋挖钻斗钻成孔灌注桩施工技术也会得到系统总结,并更加完善。两者紧密结合,将使旋挖钻机和施工技术更上一层楼,进而推动我国桩基础施工技术水平大幅度提高,从而保证安全、优质地为我国建筑事业服务。

沈保汉
2009 年 12 月

前言

旋挖钻机是一种取土成孔灌注桩施工机械,靠钻杆带动回转斗旋转切削岩土,然后提升至孔外卸土的周期性循环作业装备。与传统的冲击或回转钻进、泥浆循环护壁成孔技术相比,旋挖钻进无论从技术、设备上还是成孔工艺上都具有很多优点,具有一机多用,可实现多种钻进方式,设备性能先进,自动化程度高,钻进效率高,准确性高,环境污染小和成桩质量好等特点。该机械广泛应用于中、大口径灌注桩工程和工民建领域。

本书共八章:第一章简述了旋挖钻机的用途、种类、国内外研究现状及发展趋势;第二章重点阐述了旋挖钻机总体结构、液压传动、电气控制系统的设计方法,对旋挖钻机重点部件钻杆和钻具提出了设计准则和强度校核方法,结合理论分析和试验,给出了旋挖钻机安全稳定性判据,将黄金分割律应用于钻杆设计和钻机安全稳定性判别,并应用于产品的设计与校核;利用陀螺稳定理论揭示了钻杆设计时必须考虑钻头高速旋转产生的陀螺力矩影响,避免钻孔倾斜和钻杆断裂等事故发生,提出了一种依据动态稳定性变量 $\Delta\alpha$ 的量值大小来主动控制钻进过程的实用控制技术;第三章系统详细地介绍了 SANY 系列旋挖钻机的技术优势与特点、钻机主机机械、动力、液压和电气控制系统、钻杆和钻具的结构,分析了全新的多功能旋挖钻机——CFA 钻机和搓管机;第四章探讨了旋挖钻机新技术,具体包括新型电液桩机、液压系统动力匹配节能技术、旋挖钻机仿真培训系统与虚拟样机设计技术,以及提高施工精度与安全性的具体措施,基于信息化技术介绍了旋挖钻机 GPRS 远程监控系统及全新的油电混合驱动技术;第五、六章对旋挖钻机的试验技术与评价指标体系、日常使用维护及常见故障的诊断与排除方法进行了归纳和总结;第七章将大量的施工经验数据建立成数据库,对岩土和桩基础知识进行了阐述,重点对常见不同地质工况的施工工艺、流程及旋挖钻机操作注意事项,成孔过程、终孔检验以及施工过程中的常见故障进行了归纳总结,并在附录中针对施工中常用的静浆护壁钻孔工法进行了补充说明;第八章介绍国内外旋挖钻机的相关专利,以供读者参考。

由多年的施工经验可知:工法和设备是钻掘工程中既相互促进又相互制约的矛盾体的两个方面,钻掘工程的质量不仅取决于设备的性能,更重要的是恰当的施工工法,甚至可以说施工工法在钻掘工程中占有更重要的地位。本书所反映的大部分技术和成果来自于作者近 6 年来旋挖钻机的开发和施工实践,部分内容已纳入有关行业技术规范、规程和国家标准。

本书内容庞杂,涉及多个学科,书中难免有谬误之处,敬请广大读者批评指正。

6 年多来,作者在开发制造旋挖钻机过程中得到三一集团及同仁和有关学会、协会、科

研院所、基础施工企业等单位及部门的大力支持,长安大学的叶敏博士、三一集团的水俊峰、马庆松等几位工程师为本书的编写也付出了辛勤的工作,人民交通出版社为该书的出版也倾注了极大的热情和关心,在此一并表示衷心的感谢。

最后,作者要特别感谢三一集团易小刚博士、北京建筑工程研究院沈保汉教授在百忙之中参与本书的编审,并为本书作序。

黎中银

2009 年 12 月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 旋挖钻机简介及发展历史	1
1.1.1 旋挖钻掘工程的历史及工法优势	1
1.1.2 旋挖钻机用途	3
1.1.3 旋挖钻机分类	3
1.1.4 旋挖钻机的结构及技术特点	3
1.1.5 旋挖钻机在基础工程机械中的地位分析	4
1.1.6 旋挖钻机的迅猛发展	6
1.1.7 旋挖钻机在国内的应用	7
1.2 旋挖钻机在钻孔灌注桩中的应用和发展	8
1.2.1 灌注桩的发展和应用	8
1.2.2 大口径灌注桩在我国的发展和应用	8
1.2.3 大口径灌注桩施工中的主要工法及设备	9
1.2.4 提高灌注桩承载力的技术方法	10
1.2.5 工程实践对灌注桩成孔技术的要求	11
1.3 旋挖钻机在工民建领域中的应用和发展	11
1.3.1 工民建钻孔灌注桩特点	11
1.3.2 钻孔灌注桩常用成孔机械	12
1.3.3 旋挖钻机在工民建领域的优势	13
1.3.4 旋挖钻机在工民建领域应用的整改要点	14
1.3.5 旋挖钻机在工民建领域的应用前景	16
1.4 旋挖钻机的发展趋势	17
1.4.1 旋挖钻机主机发展趋势	17
1.4.2 旋挖钻机工作装置发展趋势	17
1.4.3 旋挖钻机市场发展趋势	18
1.4.4 旋挖钻机施工工法发展趋势	19
第 2 章 旋挖钻机设计	20
2.1 旋挖钻机总体设计	20
2.1.1 工作原理	20
2.1.2 总体设计	22
2.2 旋挖钻机结构件设计	25
2.2.1 动力头设计计算	25
2.2.2 桅杆设计计算	33

2.2.3 变幅机构设计计算·····	37
2.2.4 底盘设计计算·····	42
2.3 旋挖钻机运动学和动力学·····	48
2.3.1 旋挖钻机运动学分析·····	48
2.3.2 旋挖钻机动力学分析·····	53
2.4 旋挖钻机功率计算·····	55
2.4.1 旋挖钻机行驶系统功率计算·····	55
2.4.2 旋挖钻机工作装置功率计算·····	56
2.5 旋挖钻机液压系统设计计算·····	57
2.5.1 液压油泵选型设计·····	58
2.5.2 液压阀组选型设计·····	58
2.5.3 液压马达选型设计·····	58
2.5.4 液压油缸选型设计·····	59
2.6 旋挖钻机安全稳定性设计·····	61
2.6.1 整机重心计算·····	62
2.6.2 钻掘加压工况安全稳定性计算·····	63
2.6.3 钻机提升工况安全稳定性计算·····	65
2.6.4 整机回转制动工况安全稳定性计算·····	66
2.6.5 安全裕度的评价·····	68
2.6.6 基于黄金分割律的旋挖钻机稳定性评价·····	69
2.7 旋挖钻机电控系统设计·····	72
2.7.1 旋挖钻机电气元件·····	72
2.7.2 电气控制系统设计·····	74
2.7.3 电控系统控制过程·····	76
2.7.4 电气控制系统与施工·····	77
2.8 钻杆设计计算·····	78
2.8.1 钻杆受力分析·····	78
2.8.2 通用钻杆强度计算方法·····	79
2.8.3 旋挖钻机摩擦钻杆强度校核·····	83
2.8.4 旋挖钻机机锁钻杆强度校核·····	83
2.8.5 基于陀螺理论的旋挖钻机工作装置动力学分析·····	85
2.9 钻具设计计算·····	88
2.9.1 钻具的类别和用途·····	88
2.9.2 钻具的结构功能·····	93
2.9.3 钻具设计及结构计算·····	94
第3章 SANY 旋挖钻机 ·····	111
3.1 SANY 旋挖钻机的主要分类与特点·····	111
3.1.1 SANY 旋挖钻机的分类·····	111
3.1.2 SANY 旋挖钻机特点·····	112
3.2 机械系统的基本构造·····	115