



隧道及地下工程机械设备丛书

Technical Manual of Shotcrete Tunnelling Manipulator

# 隧道混凝土湿喷台车 操作技术手册

申志军 刘在政 编著



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.



隧道及地下工程机械设备丛书

# 隧道混凝土湿喷台车操作技术手册

申志军 刘在政 编著



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

为规范和指导一线混凝土湿喷台车操作人员,提高隧道施工机械化水平,在结合国内主要混凝土湿喷台车生产厂家和使用单位积累的宝贵经验,分类整理生产和使用过程中繁杂的统计数据和记录性文件的基础上,对混凝土湿喷台车原理、操作使用、维护保养和故障处理进行系统性阐述,对混凝土湿喷台车工程典型应用实例,以及国内外主要的混凝土湿喷台车进行介绍。附录中摘录了隧道湿喷施工相关的标准和规范。

全书图文、视频并茂,结构严密、叙述清晰,便于读者学习、查阅。本书可作为湿喷台车操作人员的培训教材,也可供从事隧道支护的科研、设计、施工人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

隧道混凝土湿喷台车操作技术手册 / 申志军,刘在政编著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016. 10

ISBN 978-7-114-13335-0

I. ①隧… II. ①申… ②刘… III. ①隧道施工—混凝土输送泵—工程施工—技术手册 IV. ①U455.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 222632 号

书 名: 隧道混凝土湿喷台车操作技术手册

著 作 者: 申志军 刘在政

责任编辑: 张江成

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ecpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11.75

字 数: 271 千

版 次: 2016 年 10 月 第 1 版

印 次: 2016 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13335-0

定 价: 58.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 本书编委会

主 编 申志军 刘在政

参 编 何二春 岳雪明 韩彦芳 麻成标  
赵前进 吴德志 杨贞柿 王 伟  
汪杰军 吴金山 李卫兵 陈 鸿  
刘金书 张海涛 郝蔚祺 刘仁杰

参编单位 中国铁建重工集团有限公司  
蒙西华中铁路股份有限公司  
中国中铁工程装备集团有限公司  
中联重科股份有限公司  
三一重工股份有限公司  
湖南五新隧道智能装备股份有限公司  
中铁隧道集团有限公司  
中国铁建十六局集团有限公司

## 序 Preface

21 世纪是中国大举利用地下空间、开发地下资源的时代。我国隧道及地下工程修建技术已达到世界先进水平,但施工机械化程度与国际先进水平还有较大的差距,主要表现在设备技术水平和设备操作水平两方面。为了紧跟“向地下要第二空间”的时代步伐,我国亟须对先进设备进行研发推广,重视对设备应用人才的挖掘培养。

20 世纪 20 年代,作为突破传统矿山法(以人力或小型机械开挖岩体,以木料作临时支撑,再以模筑混凝土替代木料)而提出的新奥法,随着实践应用的推广,日渐成熟,目前已成为国内隧道施工主要方法之一。随之而来的是系列配套施工设备的飞速发展,其中,混凝土湿喷机作为新奥法施工隧道喷射混凝土支护的主要工作设备,更是在近几十年里得到发展和应用。采用混凝土湿喷台车施工,相对于普通人工喷浆具有显著优势:安全系数高,由台车机械臂代替手持喷枪,操作人员只需在一旁安全区内遥控臂架和泵送系统,远离喷射面,便可进行喷浆支护作业;喷射质量好,精确的速凝剂配比保证喷射混凝土凝固后具有良好的混凝土喷射层及较低的混凝土回弹率;生产效率高,喷射量大,输送距离远、位置高,人员需求少;环保性好,低回弹率,能够大大降低机旁及喷嘴外的粉尘度,可有效降低粉尘对工作人员的身体危害。

我国混凝土湿喷台车设备走的是引进—吸收—再国产化的发展道路,随着国内外学者和有关厂家的大量研究与试验,目前,国内市场使用的混凝土湿喷台车产品已逐渐成熟,并趋于模块化、系列化。虽然,对于设备性能和应用效果已有大量的研究和论文资料,但系统介绍设备操作和管理的专著仍然较少。

实践是产生真知的源泉,往往工程现场才是孕育创造性灵感、核心性技术的摇篮,将工程现场积累的问题、经验以文字的形式记录传播,将是给后人的最宝贵财富。《隧道混凝土湿喷台车操作技术手册》一书,是多位混凝土湿喷台车产品专家和隧道参建单位的技术人员从事混凝土湿喷台车研究和应用的经验总

结。全书系统深入地介绍了混凝土湿喷台车的构造原理、操作使用、故障排除、维护保养和现场管理,并具有以下特点:

- 明确定位:主要用于现场操作和设备管理应用人员查阅参考。

- 注重实际、实用:围绕市场现有成熟设备和工程应用实例,着眼设备一般性操作的同时,强调实际特殊性;提供常见问题解决方案的同时,介绍系统分析方法,提倡理论联系实际。

- 坚持特色:结合设备厂家和施工单位共同积累的实际经验,针对特定的读者人群,浅理论、宽类型、精操作、严规范,把握全书特色,不盲目追求全面性。

- 以人为本:以现场操作人员和管理者实际需求为中心,强调自主学习和能力扩展,有利于可持续性学习。

这样的一本书,对混凝土湿喷台车操作管理水平的提升将会有积极的促进作用,并有利于隧道机械化施工的推广,我很高兴将本书推荐给各位同行。

中国工程院院士



2016年8月于北京

# 前言 Foreword

我国作为一个多山、多矿产和多水利建设的大国,在国民建设与军事建设中都需要大量使用混凝土喷射技术。2013年9月交通运输部发布的《关于进一步加强隧道工程质量和安全监管工作的若干意见》(交质监发[2013]549号)中明确指出要广泛应用隧道施工新型机械设备,同时在高速铁路隧道验收标准与施工技术指南中都已明确要求:喷射混凝土应采用湿喷工艺,积极采用混凝土喷射设备。另外,随着国家对工程质量、作业安全、职业健康等方面的要求不断提高,推广喷射混凝土机械化施工技术是保障施工安全和质量,贯彻以人为本理念的根本措施。

混凝土湿喷台车在工程使用中又称喷射混凝土台车、湿喷机械手、湿喷台车、车载湿喷台车、湿喷台车组等,现统一称为混凝土湿喷台车。

事实上,长期以来,混凝土湿喷台车在铁路隧道、公路隧道、城市地铁、国防和人防工事等各种形式的地下工程已得到了广泛地应用。在国内,混凝土湿喷台车已越来越多地取代人工喷射成为混凝土喷射作业的主要机具。近三十多年来,随着新技术、新材料、新工艺的不断使用,湿喷混凝土支护技术取得了令人瞩目的成就,混凝土湿喷台车产品的设计、制造技术也已经有了长足的进步。正确而全面地认识和理解混凝土湿喷台车,对于推进混凝土湿喷台车在隧道施工中的应用,实现隧道机械化施工具有重要意义。

编写本书的目的是为混凝土湿喷台车的操作使用、施工管理和维护保障提供便捷的解决方案,提供最新使用的台车产品数据资料以及典型的工程应用实例,展示混凝土湿喷台车的先进技术,从而适应隧道混凝土支护由湿喷取代干(潮)喷,湿喷台车机械喷射代替人工喷射的发展趋势,以满足广大施工操作和管理人员的需求,规范和指导一线湿喷人员进行隧道湿喷支护施工,推进隧道施工机械化,提升混凝土湿喷台车的应用和推广水平。

作者结合国内主要混凝土湿喷台车生产厂家和使用单位积累的宝贵经验,

通过分类整理湿喷台车生产和使用过程中繁杂的统计数据 and 记录性文件,对混凝土湿喷台车原理、操作使用、维护保养和故障处理进行系统性阐述,并对国内外主要的混凝土湿喷台车设备进行介绍。

本书共分为9章,第1章介绍喷射混凝土工艺和设备的发展概况及趋势;第2章介绍湿喷混凝土支护的基本原理及材料,重点从支护效果角度讲解湿喷混凝土的材料和工艺要求;第3章介绍主要的混凝土湿喷台车的基本构造、工作原理以及整机的关键技术参数;第4章介绍混凝土湿喷台车施工前准备工作、各执行系统操作要领和注意事项;第5章依次从各大执行系统出发,介绍了混凝土湿喷台车常见故障及其排除方法;第6章介绍了混凝土湿喷台车各部件的技术保养内容和周期,以实际台车为例,突出讲解了各部分的日常维护要点;第7章介绍采用混凝土湿喷台车作业时的现场管理,重点对人员管理、设备管理、安全管理和施工管理加以阐述;第8章列举了典型的混凝土湿喷台车工程应用实例,通过分析成功的应用案例,为类似工程施工中的湿喷台车设备配置方案提供参考依据;第9章介绍了国内外主要混凝土湿喷台车产品的性能特点。另外,附录中摘录了有关隧道湿喷混凝土施工的相关标准、规范,具体包括:《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086—2015)、《铁路隧道工程施工技术指南》(TZ 204—2008)、《公路隧道施工技术规范》(JTG F60—2009)、《公路隧道施工技术细则》(JTG/T F60—2009)。

另外,在第3、4、5、9章技术知识点的相应位置,设置二维码,读者扫描后,即可观看相关工程视频。

本书编写过程中,参考了多位专家、学者和科技工作者的相关文章,在此深表感谢。

本书内容翔实、数据可靠、图文视频并茂,可读性和工程实用性强,便于读者尤其是一线操作人员查阅。通过阅读本手册,可使读者快速掌握混凝土湿喷台车基本原理,以及使用、保养和维护要领。

限于作者学识水平和能力,书中难免存在一些不妥之处,望广大读者和各位专家同行不吝赐教。

作者

2016年7月



# 目录 Contents

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第1章 绪论 .....                      | 1  |
| 1.1 喷射混凝土工艺和设备的发展概况及趋势 .....      | 1  |
| 1.2 我国混凝土湿喷台车的应用现状 .....          | 10 |
| 第2章 湿喷混凝土支护的基本原理及喷射材料 .....       | 14 |
| 2.1 湿喷混凝土支护 .....                 | 14 |
| 2.2 湿喷混凝土材料及工艺要求 .....            | 15 |
| 2.3 湿喷混凝土配合比设计优化与检测 .....         | 25 |
| 第3章 混凝土湿喷台车基本构造、工作原理及主要技术参数 ..... | 29 |
| 3.1 行走系统 .....                    | 29 |
| 3.2 喷射系统 .....                    | 34 |
| 3.3 辅助系统 .....                    | 42 |
| 3.4 混凝土湿喷台车主要技术参数 .....           | 51 |
| 第4章 混凝土湿喷台车的操作使用 .....            | 54 |
| 4.1 操作前准备 .....                   | 54 |
| 4.2 行驶操作 .....                    | 57 |
| 4.3 臂架操作 .....                    | 58 |
| 4.4 泵送操作 .....                    | 60 |
| 4.5 压缩空气系统操作 .....                | 62 |
| 4.6 添加剂系统操作 .....                 | 64 |
| 4.7 喷头操作 .....                    | 65 |
| 4.8 操作盒与遥控器的操作 .....              | 65 |
| 4.9 施工收尾设备清洗及检查 .....             | 67 |
| 第5章 混凝土湿喷台车的常见故障分析及排除方法 .....     | 73 |
| 5.1 泵送机构 .....                    | 73 |
| 5.2 发动机部分 .....                   | 75 |
| 5.3 电控系统 .....                    | 77 |
| 5.4 液压系统 .....                    | 80 |
| 5.5 臂架系统 .....                    | 84 |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 5.6         | 润滑系统 .....                              | 85         |
| 5.7         | 清洗系统 .....                              | 86         |
| 5.8         | 添加剂系统 .....                             | 88         |
| 5.9         | 压缩空气系统 .....                            | 88         |
| <b>第6章</b>  | <b>混凝土湿喷台车的技术保养 .....</b>               | <b>91</b>  |
| 6.1         | 技术保养内容与周期 .....                         | 91         |
| 6.2         | 上装部分的保养 .....                           | 92         |
| 6.3         | 底盘部分的保养 .....                           | 93         |
| 6.4         | 液压系统的保养 .....                           | 93         |
| 6.5         | 整机外观的保养 .....                           | 94         |
| <b>第7章</b>  | <b>湿喷混凝土作业及现场管理 .....</b>               | <b>95</b>  |
| 7.1         | 湿喷混凝土作业 .....                           | 95         |
| 7.2         | 操作人员管理 .....                            | 99         |
| 7.3         | 设备管理 .....                              | 100        |
| 7.4         | 安全要求及应急处理 .....                         | 105        |
| 7.5         | 湿喷作业组管理制度及相关人员岗位职责 .....                | 106        |
| <b>第8章</b>  | <b>混凝土湿喷台车应用实例 .....</b>                | <b>110</b> |
| 8.1         | 京沈客专梨花顶隧道施工实例 .....                     | 110        |
| 8.2         | 蒙华铁路崞山隧道出口施工实例 .....                    | 111        |
| 8.3         | 拉林铁路卓木隧道进口施工实例 .....                    | 114        |
| 8.4         | 哈牡客运专线先行工程——威虎山隧道施工实例 .....             | 117        |
| 8.5         | 蒙华铁路张裕2号隧道出口施工实例 .....                  | 119        |
| 8.6         | 渝黔铁路天坪隧道平导隧洞施工实例 .....                  | 122        |
| 8.7         | 西成客运专线何家梁隧道施工实例 .....                   | 127        |
| 8.8         | 乌东德水电站施工实例 .....                        | 128        |
| 8.9         | 中条山隧道施工实例 .....                         | 129        |
| <b>第9章</b>  | <b>国内外主要混凝土湿喷台车 .....</b>               | <b>133</b> |
| 9.1         | 国内主要混凝土湿喷台车 .....                       | 133        |
| 9.2         | 国外主要混凝土湿喷台车 .....                       | 145        |
| <b>附录</b>   | <b>规范摘编 .....</b>                       | <b>155</b> |
| 附录一         | 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范(GB 50086—2015) ..... | 155        |
| 附录二         | 铁路隧道工程施工技术指南(TZ 204—2008) .....         | 168        |
| 附录三         | 公路隧道施工技术规范(JTG F60—2009) .....          | 174        |
| 附录四         | 公路隧道施工技术细则(JTG/T F60—2009) .....        | 175        |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>                            | <b>177</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 喷射混凝土工艺和设备的发展概况及趋势

### 1.1.1 国外发展概况及趋势

喷射混凝土技术在上世界上已有上百年的历史,1914 年美国在矿山和土木工程中首先使用了喷射水泥砂浆,1948—1953 年奥地利卡普隆水力发电站米尔隧洞最早使用了喷射混凝土支护。

喷射混凝土技术是新奥法施工的三大支柱之一,它以简便的工艺、及时的支护及较低的成本,而在地下工程中得到广泛应用。特别是在瑞士、德国、法国、瑞典、美国、英国、加拿大及日本等国的应用更为广泛。

根据含水率和输送方式的不同,喷射混凝土大致可分为干式喷射混凝土、潮湿喷射混凝土和湿式喷射混凝土。

在 1947 年,前联邦德国 BSM 公司最先研制出双罐式干式混凝土喷射机;1992 年,瑞士阿利瓦公司研制出干式转子混凝土喷射机,随后各个国家相继研制出各种各样的干式混凝土喷射机(以下简称干喷机)。干喷机采用干喷法,如图 1-1a)所示,是将干料拌和后送到喷头处与水混合,再到达受喷面上的一种方法。该方法的施工工艺较为简单方便,所需设备相

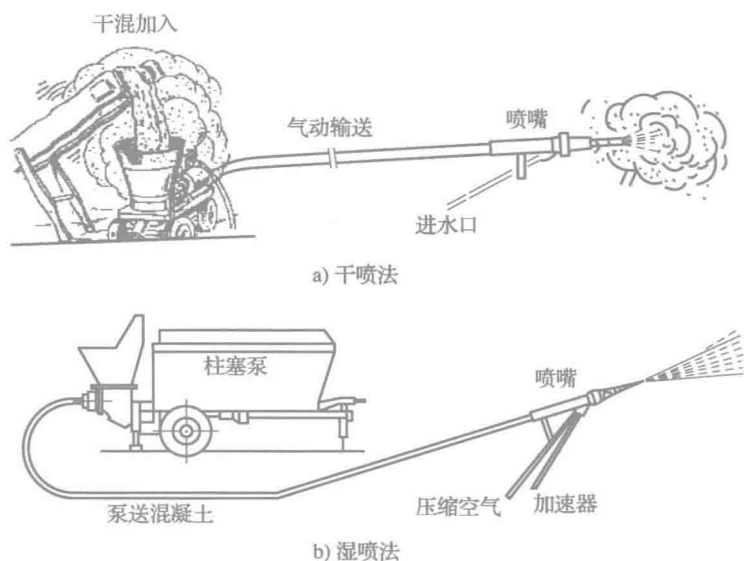


图 1-1 干喷法与湿喷法

对较少,仅仅需要干喷机与强制拌和机就能够操作,同时粉状速凝剂能够提前加入,且搅拌均匀;输送距离相对较长,可达 300m,垂直距离可达 180m。

随着技术的不断进步,从 20 世纪 60 年代起,西方发达国家研制出湿喷机,开始推行湿喷技术。湿喷工艺主要是将加水搅拌好的成品混凝土加入湿喷机,如图 1-1b) 所示,输送到喷嘴位置,添加液体速凝剂,最终形成料束喷到施工面处。混凝土湿喷机具有以下优点:生产效率高;回弹较低;湿喷时,容易控制水灰比,且混凝土水化程度较高,可有效改善喷射混凝土的质量,提高混凝土的均匀性;同时,能够大大降低机旁及喷嘴外的粉尘度,可有效消除对工作人员的身体危害。湿喷技术虽然起步较晚,但由于其较其他喷射方法具有明显的优点,故发展速度较快。

### 1) 传统湿喷方式

根据物料在喷浆机和输料管中的输送状态和输送方式的不同,将湿喷方式分为泵送稠流态湿式喷射混凝土和风送半稠流态湿式喷射混凝土。

#### (1) 泵送稠流态湿式喷射混凝土

按一定的配合比将水泥、粗细骨料和水在搅拌器中搅拌均匀(拌合料呈稠流态,水灰比一般为 0.65),然后用泵式湿喷机(柱塞泵或挤压泵)将拌合料经输料管送至喷嘴处,在喷嘴处与液体速凝剂会合,并借助压缩空气补充的能量将拌合料喷射到岩面上。用于稠流态湿式喷射混凝土的湿喷机一般都为泵式湿喷机。如美国查林杰湿喷机、英国 Compemass-208 型湿喷机和日本极东公司的 PC08-60M 型湿喷机,都属于挤压泵式;瑞士 MEY-NADIER 公司的 Robojet041 型、前西德先锋 US1139 型、芬兰 NORMET 公司的 Spraymec9150 型、瑞典斯塔雷托公司生产的 FSP400 型湿喷机,均属活塞泵式湿喷机。

#### (2) 风送半稠流态湿式喷射混凝土

拌合料的水灰比一般为 0.4 左右(通称贫配合),利用压缩空气将拌合料以“半稠流态”输送给湿喷机,经输料软管输送至喷嘴处,在喷嘴处与液体速凝剂会合并补加压力水和压缩空气后喷至岩面上。用于半稠流态湿式喷射混凝土的湿喷机一般都为风送型转子式湿喷机。如瑞士阿瓦公司生产的 280 型湿喷机、美国里德国际有限公司生产的 LOVA13-4 型湿喷机,都属于风送转子型湿喷机。

### 2) 钢纤维喷射混凝土

钢纤维喷射混凝土是 20 世纪 70 年代发展起来的新型喷射混凝土技术。近几年来,世界各国都十分重视钢纤维这一新型喷射材料的开发与应用,北欧国家已开始将其广泛应用于地下工程的支护。挪威是使用这种新型材料最多的国家,早在 1981 年,挪威钢纤维喷射混凝土就占全国喷射混凝土总量的 20%,1988 年已占 80% 以上。实践证明,将钢纤维喷射混凝土应用于边坡加固、巷道支护、隧道衬砌和大坝工程等方面,均取得了良好的支护效果。钢纤维喷射混凝土是一种新型复合材料,钢纤维在混凝土中的均匀分布,改变了混凝土的脆性弱点,使喷射混凝土的韧性、挠曲强度、冲击抗力、开裂抗力、耐用系数和疲劳极限性能得到了极大的改善。试验表明,与喷混凝土相比,钢纤维喷混凝土的抗断裂性能韧性系数增加 10~50 倍;抗压强度达到 100MPa 以上,提高了 35%~60%;黏结力可提高 50% 左右;冲击强度的初裂指标与碎裂指标可提高 2~4 倍。试验还表明,钢纤维喷射混凝土的性能不仅与钢纤维的掺量有关,而且与钢纤维的形状也有关。美国科学家对此进行了大量的试验。试

验证证明:钢纤维最适宜的直径为0.25~0.5mm、长度为20~30mm,掺入量一般为混凝土总体积的0.5%~2.0%,或者为混凝土总质量的2%~4%。

钢纤维喷射混凝土的问世,使喷射混凝土支护的发展上了一个新台阶。这种新型复合材料改变了素混凝土的脆性弱点,具有较高的强度,大变形破坏后存在较高残余强度的特点。挪威研究人员曾就钢纤维喷射混凝土与钢筋网喷射混凝土的承载能力和韧性进行了对比试验,试验结果表明,钢纤维喷射混凝土(掺入体积1%的钢纤维)加锚杆固定,承载能力和韧性大于钢筋网(钢筋直径为5mm,网格为150mm×150mm)喷射混凝土。由于钢纤维喷射混凝土有较高抗挠性和抗拉强度,可以部分代替钢筋网喷射混凝土,从而加快了支护速度,降低了支护成本。因而钢纤维喷射混凝土加锚杆支护在国外受到青睐,广为应用。例如:美国用于加固华盛顿州卡玛斯·波莱利铁路的岩石边坡,采用了钢纤维加锚杆支护,施工段长465m、高4.5~13.5m,总面积为5800m<sup>2</sup>,比用金属网喷射混凝土节省5万美元。挪威TUNNEL海底隧道全长3000m、断面面积50m<sup>2</sup>,原设计用钢筋网喷射混凝土加锚杆支护,后改用钢纤维喷射混凝土加锚杆支护,每米工程造价仅6000美元,经济效益十分显著。美国在煤矿地下硐室中广泛采用了钢纤维喷射混凝土支护,在隔墙、密封墙及钢架支护的采煤工作面,也开始使用这一支护方式,英国煤炭局已将钢纤维喷射混凝土支护用于矿井加固和采区封闭。

随着湿喷技术和高性能喷射混凝土技术的普遍应用,喷射混凝土性能已经完全达到浇注混凝土的同等性能。从20世纪90年代开始,国外大幅提高喷射混凝土技术相关指标,欧洲是C30~C60,挪威是C30~C55,特别是挪威等国家正广泛应用高性能喷射混凝土单层衬砌结构支护形式。

通过对瑞典和丹麦等国家隧道施工的现场考察和调研发现,其隧道施工从开挖、支护、注浆、锚杆、喷混凝土、出渣等各工序,都配置了全机械化作业生产线,机械化程度较高,且配套完整。混凝土湿喷台车的使用真正实现了混凝土喷射的自动化,既环保安全,又使生产效率、支护质量得到显著提高,同时降低了回弹率,进而有效降低施工成本。

目前,意大利、挪威、瑞典、日本、加拿大等国的湿喷应用已占隧道喷射混凝土的主导地位。

### 1.1.2 国内发展概况及趋势

我国是从20世纪60年代末在铁路隧道施工中推广新奥法施工时,开始采用喷射混凝土技术的。目前,喷射混凝土工艺主要有干(潮)喷和湿喷两种喷射方式。与干喷相比,湿喷的明显优势是生产效率高(机械化施工)、粉尘浓度小,混凝土品质可控制、可设计,已在公路、铁路、水电、市政等方面得到越来越多的应用,相关施工规范也明确要求采用湿喷工艺。如在武广、贵广、成兰、太中银、成贵等在建和已建铁路项目中,均普遍采用了湿喷工艺。

但是相对国外喷射混凝土技术水平而言,我国的喷射混凝土技术发展及应用仍然滞后,干(潮)喷射工艺占比仍然较大,喷射混凝土设计强度等级仍然较低(公路C20~C25,铁路C25~C30),高性能喷射混凝土应用较少。干(潮)喷工艺条件下,喷射混凝土强度仅达到C15水平,初期支护结构基本为透水结构,毫无耐久性可言。

喷射混凝土技术的发展在很大程度上取决于混凝土湿喷机的性能。

一段时期,干喷机曾是煤巷混凝土喷射中主要的喷射作业设备。由于干喷技术存在施工效率低、回弹率高、粉尘大、喷射强度得不到保证,喷浆只能作为岩层的防风化保护层,不能作为有效的支护手段。但是,随着人们环保意识的增强以及对喷射混凝土质量要求的提高,混凝土湿喷技术逐步替代了干喷技术。

国内使用的湿喷机主要是气送型转子式和转子活塞式。气送型湿喷机主要存在漏风、返风、产生黏结、不便清理等缺点;转子活塞式湿喷机具有生产效率高、回弹率低、粉尘低、喷射的混凝土匀质性好等优点,因此有较广的应用范围。

在国内,从20世纪60年代开始研制混凝土湿喷设备,先后也研制出几种不同于国外机型的湿喷机。TK-961型混凝土湿喷机是中铁西南科学研究院有限公司于1998年研制的一种转子活塞式湿喷机。该机利用一组活塞将湿拌料推送至机器顶部的混合室,经与空气混合后,通过软管输送到喷嘴,在喷嘴处掺加速凝剂后喷出。

叶轮式混凝土湿喷机是安庆恒特工程机械有限公司研制的一种湿喷机。该机采用了一种叶轮喂料装置,利用旋转的叶片将湿料推送至机器下部的混合室,经与空气混合、掺加速凝剂后,通过软管输送到喷嘴,在喷嘴处喷出。

PBT-20型混凝土泵送、湿喷两用机是山东科技大学机器人研究中心研制的一种小型拖式混凝土施工设备,它主要由输送系统、控制系统、液压系统、润滑系统等部分组成,采用电动机作为动力,由单片机进行控制,具有双缸液压驱动和S分配阀结构。早期国产部分混凝土喷射设备技术特征见表1-1。

早期国产部分混凝土喷射设备技术特征

表1-1

| 项 目                           | 干 式               |                   |                    | 湿 式               |                   |                   |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                               | 双罐式<br>WG-25g     | 转体式               |                    | HLF-5             | SP-77             | JP                |
|                               |                   | 转子-II             | PH30-74            |                   |                   |                   |
| 生产能力(m <sup>3</sup> /h)       | 4~5               | 5~7               | 2,4,6              | 5~6               | 3~4               | 5~6               |
| 骨料最大粒径(mm)                    | 25                | 25                | 30                 | 20                | 25                | 25                |
| 输料管内径(mm)                     | 50                | 50                | 50                 | —                 | —                 | —                 |
| 压气消耗量(m <sup>3</sup> /h)      | 6~8               | 5~8               | 10                 | —                 | —                 | 8~10              |
| 工作气压(MPa)                     | 0.1~0.6           | 0.15~0.4          | 0.1~0.6            | 0.3~0.6           | —                 | —                 |
| 行走方式                          | 轨轮                | 轨轮                | 轨轮                 | —                 | —                 | —                 |
| 电机容量(kW)                      | 3                 | 5.5               | 7.5                | 4                 | 7.5               | 7.5               |
| 水平输送距离(m)                     | 400~500           | 300               | 250                | 80                | 120               | 潮喷 100<br>干喷 200  |
| 垂直向上输送距离(m)                   | 40                | 60                | 100                | 40                | 30                | —                 |
| 外形尺寸<br>(长×宽×高)<br>(mm×mm×mm) | 1500×830×<br>1470 | 1500×755×<br>1120 | 1500×1000×<br>1600 | 1800×850×<br>1300 | 1872×820×<br>1538 | 1380×890×<br>1310 |
| 质量(kg)                        | 1000              | 960               | 800                | 600               | 1300              | 700               |

### 1) 早期小型混凝土湿喷机

针对干式湿喷机存在粉尘大、回弹率高,水灰比难以控制等缺点,我国早期研制了湿式湿喷机,如 HLF-5 型、SP-77 型、HPC-V 型等。

以 HLF-5 型为例,它为双罐并列式湿喷机,由两个结构相同的罐体、输料螺旋、球面阀、喂料盘、输料交换器、电动机、传动系统、配气系统和车架等组成。

HLF-5 型湿喷机工作时,罐体上方的喂料盘不停地旋转,拨动加入的混凝土。在配气阀由零位拨到一侧时,一个球阀打开,一个关闭,喂料盘向打开的罐体入料,装满后,将手柄拨到另一侧,重罐关闭,空罐打开,与此同时,重罐下的出料螺旋转动输料;其出料管与输料管相通,交换封闭空罐出料管,重罐风环进风,空罐排气,罐内混凝土借助压风进入输料管,到达喷头。如此往复,连续输料喷射。

这种湿喷机的主要优点在于螺旋输料,两罐交替入料,能连续喷射;水灰比容易控制,喷层的强度高;回弹率低,粉尘小。不足之处在于耗风量大,机械加工复杂,输料距离较短。

#### (1) 双罐式湿喷机

WG-25 型为典型的双罐式混凝土湿喷机。其结构构造,如图 1-2 所示,主要由装料斗、罐体、拨料机构、气控管路、车架和喷头组成。当下罐正在工作时,关闭下钟形阀门,开启上钟形阀门,已装入料斗的干料即可落入上罐。关闭上钟形阀门,同时将压气送入上罐,待上下罐气压达到平衡时,下钟形阀门在物料重力的作用下自动打开。上罐中拌合料落入下罐,此时下钟形阀门关闭。拌合料从下罐中经输料盘和吹料管压入输料管,拌合料在喷嘴处与水混合,喷射至受喷面。上下两罐循环落料,以供连续喷射。

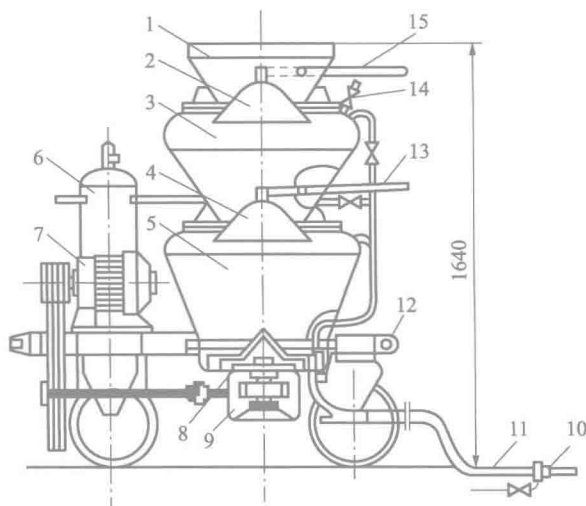


图 1-2 WG-25 型混凝土湿喷机(尺寸单位:mm)

1-装料斗;2-上钟形阀门;3-上罐;4-下钟形阀门;5-下罐;6-油水分离器;7-电动机;8-输料盘;9-减速机;10-喷头;  
11-输料管;12-车架;13-下钟形阀手柄;14-排气阀;15-上钟形阀手柄

这种湿喷机具有结构简单、工作可靠、输送距离远等特点。但其体积大、装料点高,作业时罐口阀门易卡,粉尘大。

## (2) 转体式湿喷机

这类湿喷机的型号较多,如转-II型、PH30-74型等。其中,转-II型混凝土湿喷机结构,如图1-3所示。它的主体是一个带若干料孔的给料旋转体,料斗和风压管。旋转体在电机的带动下不断旋转,与旋转体一起转动的搅拌器将料斗中的干料连续不断地拨入旋转体的料槽内。当装满料的料槽对准出料弯管时,内圈的气室也恰好对准进风管,于是拌合料被压气喷入输料弯头和输料管,在喷头处与水混合喷向岩面。

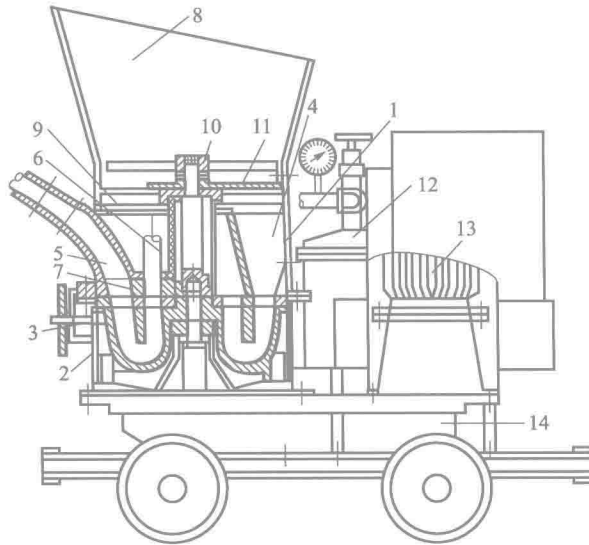


图 1-3 转-II 混凝土湿喷机

1-上壳体;2-下壳体;3-旋转体;4-入料口;5-出料弯管;6-进风管;7-密封胶板;8-料斗;9-拨料板;10-搅拌器;11-定量板;12-油水分离器;13-电动机;14-减速器

转体式湿喷台车具有以下特点:体积小,质量轻;连续供料,出料稳定;装料方便,生产能力大。

### 2) 近年大型混凝土湿喷台车的研制

近三十多年来,国内许多部委的一些单位及设备厂家也一直紧盯国外湿喷技术发展情况,对湿喷台车进行研发,主要采取了引进消化和自主研发的开发模式,成功研制了各种大型的湿喷台车。

2008年6月,中联重科股份有限公司(以下简称中联重科)整体并购意大利CIFA。CIFA是全球历史最悠久的混凝土机械设备制造商,成立于1928年。CIFA于1986年制造了世界第一台混凝土湿喷台车,是同时具有隧道设备和混凝土设备制造经验的供应商。自与中联重科融合以来,推出了全新的CSS-3型混凝土湿喷台车(图1-4),形成产品欧洲制造,中联重科营销网提供强大的技术支持的新格局。

2009年,长沙科达建设机械制造有限公司(以下简称长沙科达)研发了KC30型湿喷台车,2013年通过了国家质量技术检测中心检测鉴定;2014年经湖南省经济和信息化委员会审查认定为湖南省重大装备创新技术产品。湿喷台车集结构设计、机构运动、液压传动、电



气控制等先进技术于一体,实现了一机多能,适用于隧道、矿山、边坡等各种复杂工况的混凝土支护。KC30 型湿喷台车如图 1-5 所示。



图 1-4 CSS-3 型混凝土湿喷台车



图 1-5 KC30 型湿喷台车

2010 年,中国中铁工程装备集团有限公司(以下简称中铁装备)开始湿喷台车的研发;2012 年,SP30A 型湿喷台车完成工业试验,SP30A 型湿喷台车在技术上采取的是合作开发的路线:上装由 CIFA 公司开发,底盘由装备自主研发。2012 年底,在 SP30A 型湿喷台车的基础上,中铁装备开始 SP30B 型湿喷台车整机的自主研发;2015 年,SP30B 型湿喷台车开始量产(图 1-6)。

2011 年,中国铁建重工集团有限公司(以下简称铁建重工)第一台自主研发的大型 HPS3016 型混凝土湿喷台车下线(图 1-7),该台车集行走、泵送和喷射三大功能于一体,利用液压油和压缩空气为动力,通过臂架实现混凝土的输送和喷射作业,广泛应用于隧道、路基护坡等不同行业、不同场合的预搅拌混凝土、含钢纤维或聚合纤维的预搅拌湿混凝土喷射,也可根据用户需要进行干粉砂浆的喷射。该产品主要包括泵送机构、臂架结构、行走机构、压缩空气系统、液压系统、电气系统、添加剂系统等。

HPS3016 型混凝土湿喷台车的泵送系统,同时具有人工反泵和自动反泵两种功能。当发生堵管后,传感器信号传给计算机,进行自动反泵 3 个循环,消除堵管现象;当堵管现象严重时,根据情况进行人工反泵操作,消除堵管现象。臂架系统采用独特的二级回转台结构设计和可以前后移动的导轨结构,配合全液压驱动的三节折叠臂和一节伸缩臂的结构,臂架同