



建设高铁的

JIAN SHE
GAOTIE DE

JUWUBA

巨无霸

张建超 编著



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

目 录

1 我国铁路及其建设装备的蓬勃发展	1
1.1 我国高铁成就令世人瞩目	2
1.2 我国铁路建设装备的发展历程	6
1.3 高速铁路建设装备群星璀璨	11
2 隧道钻爆法施工巨无霸群英荟萃	15
2.1 引 言	16
2.2 超前地质预报装备——探查敌情的“探子”	17
2.3 超前支护装备——开挖的“保护伞”	18
2.4 开挖装备——打眼放炮的“执行官”	19
2.5 初期支护装备——定隧“神针铁”	23
2.6 装岩与运输装备——只做岩石的“搬运工”	24
2.7 衬砌装备——打造隧道“金钟罩”	26
2.8 竖井开挖装备——增加工作面的利器	29
3 隧道巨无霸“穿山甲”TBM	31
3.1 引 言	32
3.2 TBM 发展历程——“穿山甲”的前世今生	32
3.3 组成与分类——“穿山甲”种群	33
3.4 盘形滚刀——破岩打洞之“利爪”	36
3.5 组装——“穿山甲”的复活	37
3.6 TBM 应用的典型案例——它钻过的几条山	39
4 桥梁桩基施工巨无霸下海入地	43
4.1 引 言	44
4.2 桩基的陆地施工装备——入地“杀手锏”	44
4.3 桩基的水上施工装备——打造“定海神针”	47
5 混凝土箱梁的“提运架”三结义	51
5.1 引 言	52
5.2 提梁机——制梁场中的“大力士”	53

5.3	运梁车——箱梁的“搬运工”	55
5.4	架桥机——桥桩上的“杂技演员”	58
6	造桥机——下“蛋”的巨无霸“公鸡”	65
6.1	引言	66
6.2	发展历程——巨无霸公鸡生长快	66
6.3	优缺点——“鸡窝”环境选择	67
6.4	分类——铁公鸡的欢乐家族	67
6.5	移动模架造桥机——自力更生的铁公鸡	68
6.6	移动支架造桥机——借壳生蛋的铁公鸡	70
7	有砟轨道铺设巨无霸谁与争锋	71
7.1	引言	72
7.2	道砟的生产装备——碎岩破石真“功夫”	72
7.3	轨道的铺设——钢铁巨龙的诞生	75
7.4	配砟整形车——钢铁“保健梳”	79
7.5	捣固车——三英战吕布	79
7.6	动力稳定车——列车的替身演员	80
7.7	全断面道砟清筛机——钢铁“清道夫”	80
7.8	高速综合检测列车——高铁“医生”	81
8	无砟轨道铺设巨无霸群雄逐鹿	83
8.1	引言	84
8.2	CRTS I 型板式无砟轨道——源自日本湛于中国	84
8.3	CRTS II 型板式无砟轨道——源于德国驰于中国	87
8.4	CRTS III 型板式无砟轨道——中国标准自主品牌	89
8.5	CRTS I 型双块式无砟轨道——源于德国新于中国	91
8.6	长钢轨运输铺设——降服五百米长龙	97
9	结语与展望	99
	参考文献	101

1

我国铁路及其建设装备的蓬勃发展

1.1 我国高铁成就令世人瞩目

我国高速铁路的发展有目共睹,高铁已经成为人们日常出行的重要交通工具,“千里江陵一日还”早已变成现实,高铁改变的不仅是不断刷新的“中国速度”,更为

区域与城市发展带来新的模式与机遇。截至2017年底,我国高速铁路的运营里程已达2.5万km,超过了全世界其他所有国家高铁运营里程的总和,占世界的66%以上。我国用短短10多年的时间,走出了一条具有中国特色的令世人瞩目的高铁发展之路。

中国高铁开始领先世界



1964年

10月1日,世界上第一条高速铁路—东海道新干线开通营业



2007年

4月18日,中国首趟动车组列车在上海站始发,动车时代来临



2.5万公里

截至2017年末,我国高铁运营里程2.5万公里,居世界首位, (占全球总里程66%)



603km/h

世界最高速度记录(日本磁悬浮列车组试验测试速度)

350km/h

中国京沪高铁“复兴号”动车组,实际运营线路的最高速度



高铁年客运量(人次)

全球 20亿



中国 12亿



日本 3.5亿



法国 1.3亿



“八纵八横”时代来临,主要城市群实现高铁全覆盖

政策规划频出

2016年修编《中长期铁路网规划》,2017年印发《铁路“十三五”发展规划》,“十三五”期末高铁里程将达3万公里,2030年末形成“八纵八横”高铁格局

连接主要城市群

至2030年,高速铁路网将连接主要城市群

基本连接省会城市和其他50万人口以上大中城市



1~4h交通圈

“八纵八横”建成将实现相邻大中城市间1~4h交通圈,城市群内0.5~2h交通圈



“八纵”

沿海通道、京沪通道
京港(台)通道、京哈-京港澳通道
呼南通道、京昆通道
包(银)海通道、兰(西)广通道

“八横”

绥满通道、京兰通道
青银通道、陆桥通道
沿江通道、沪昆通道
厦渝通道、广昆通道

↑ 我国高速铁路基本架构及规划

我国已开通的典型高铁线路主要有以下6条。

1.1.1 京沪高速铁路——串起京沪的“经济走廊”

京沪高铁作为京沪快速客运通道,是我国“八纵八横”客运专线网的其中“一纵”,也是中华人民共和国成立以来一次建设里程最长、投资最大、标准最高的高速铁路。京沪高铁于2008年4月18日正式开工,

2011年6月30日通车,时任国务院总理温家宝主持通车典礼。线路由北京南站至上海虹桥站,全长1318 km,纵贯北京、天津、上海三大直辖市和冀鲁皖苏四省,连接京津冀城市群和长江三角洲城市群两大城市群,是串起京沪的“经济走廊”。总投资约2209亿元,设23个车站。基础设施设计速度为380公里/小时,目前最高运营时速为350 km(由CR400系列“复兴号”列车担当),北京到上海的G7次最快只需4小时18分钟。



↑ 京沪高铁的“复兴号”列车

1.1.2 京广高铁——世界上运营里程最长的高铁

京广高铁自北京西站起,经过北京、河北、河南、湖北、湖南、广东等6省市,止于广州南站,它连接环渤海经济圈、中原经济区、武汉都市圈、长株潭城市群、珠三角经济区,全长2298 km,被誉为世界上运营里

程最长的高铁,也是我国南北铁路运输通道中最繁忙的线路。京广高铁历时七年半,分京石段、石武段、武广段三段建设,2012年12月全线正式通车,共设置36座车站,设计最高时速350 km,运营时速为300 km。京广高速铁路南端与广深港高铁相连,构成了中国“八纵八横”中北京至香港的客运专线。



↑ 京广高铁

1.1.3 哈大高铁——世界上首条穿越高寒的运营高铁

哈大高铁是国家“十一五”规划的重点工程,是原“八纵八横”客运专线网中京哈客运专线的重要组成部分,是我国在最北端的严寒地区设计建设标准最高的一条高

速铁路,哈大高铁于2012年12月1日正式开通运营。哈大高铁南起海滨城市大连,向北经营口、鞍山、辽阳,到达东北地区的经济和文化中心沈阳,再向北经铁岭、四平、长春,直抵我国最北部省会城市哈尔滨,全长921 km,设计时速350 km,营运时速300 km。



↑ 哈大高铁

1.1.4 兰新高速铁路——穿越高寒风沙区域的首条高铁

兰新高铁是世界上一次性建成通车里程最长的高速铁路,是《中长期铁路网规划》“八纵八横”陆桥通道的重要组成部分。兰新高铁全长1776 km,东起甘肃兰州与徐兰高速铁路相接,途经青海西宁,甘肃张

掖、酒泉、嘉峪关,新疆哈密、吐鲁番,西至新疆乌鲁木齐,旅客列车设计最高时速250 km,于2014年12月26日通车。

兰新高铁的建成,使新疆与内地间形成一条高质量、大能力的高速铁路通道,大幅缩短了行车时间,是中国西北高寒风沙区域修建的首条高速铁路,为该类区域发展高速铁路积累了宝贵的经验。



↑ 兰新高铁

1.1.5 沪昆高铁——我国东西向里程最长的高铁

沪昆高铁作为中国“八纵八横”客运专线网主通道之一,是中国东西向线路里程最长、经过省份最多的高速铁路,2009年2月开工建设,2016年12月全线正式通车。沪昆高铁分沪杭段、杭长段和长昆段先后

施工,途经上海、杭州、南昌、长沙、贵阳、昆明6座省会城市及直辖市,全长2 252 km,设计时速为250~350 km(上海至长沙段350 km,长沙至昆明段250 km)。沪昆高铁的运营通车,不仅缩短了我国西南地区与华南、华东和中南地区的时空距离,而且加快了我国与周边国家的互联互通,促进了“一带一路”建设。



↑ 沪昆高铁

1.1.6 海南环岛高铁——全球首条热带地区的高铁

海南环岛高铁由海南东环铁路和海南西环铁路组成,连接海口至三亚,东环308 km,西环345 km,主要运行动车组。2010年12月30日,海南东环铁路正式通车运营。2015年12月30日,海南西环铁路正式开通运营。2017年1月20日,海南

东环铁路恢复时速250 km运行,海口至三亚最快只需1小时23分钟。

海南环岛高铁独特的环形设计通过车站与岛内高速公路、国际机场、铁路轮渡等交通方式有效衔接,构建起立体交通体系,可满足人们多元化出行需求,更为中国进一步积累热带高铁建设、运营提供宝贵经验,对高铁“走出去”具有重要示范意义。



↑ 海南环岛高铁

1.2 我国铁路建设装备的发展历程

1875 年,英国在上海铺设了 14.5 km 长的吴淞铁路,成为我国第一条营运铁路。1905 年,第一条完全由我国自行设计施工的铁路——京张铁路开始建设,由铁路工程专家詹天佑主持设计建造。吴淞、京张铁路是在当时建设装备极为短缺和技术力

量极为薄弱的情况下建成的。



↑ 吴淞铁路



↑ 京张铁路

1950 年开始修建成渝铁路,此时仍然处于铁路建设的艰苦起步阶段。

成渝铁路是一条连接四川省成都市与重庆市的铁路,全长 505 km,于 1950 年 6 月 15 日动工,是中华人民共和国成立后修建的第一条铁路干线。当时的施工机械化水平相当落后,机械化水平之低是我们现在很难想象的。凭借 15 万的施工大军用灯笼火把照明,钢钎大锤等简单的工具,以及他们超强的毅力和吃苦耐劳的精神,最终于 1952 年 7 月 1 日全线通车。

此外,在当时施工装备水平低的情况下,还修建了黎湛铁路、鹰厦铁路。当时仅仅有 18 台汽车和推土机,大部分施工作业要靠人力完成的。终于在三线建设——成昆铁路建设中,出现了铺轨机的身影。



↑ 成渝铁路 1952 年通车典礼



↑ 黎湛铁路 1955 年建成通车



↑ 鹰厦铁路 1957 年建成通车



↑ 成渝铁路徒手安装铁轨



↑ 川黔铁路的扁担大军

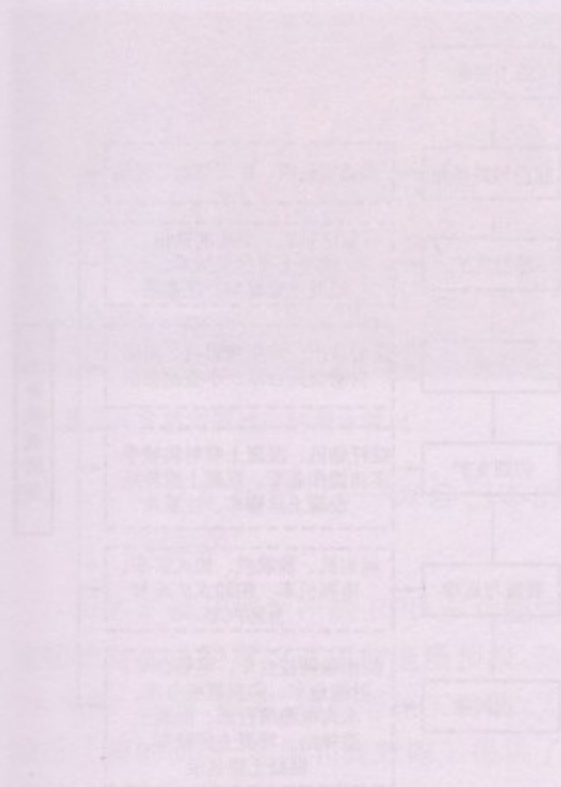


↑ 成昆铁路人力推车

2

隧道钻爆法施工巨无霸群英荟萃

图例说明：1. 钻爆法施工工艺流程图



图例说明：1. 钻爆法施工工艺流程图

图例说明：1. 钻爆法施工工艺流程图

图例说明：1. 钻爆法施工工艺流程图

图例说明：1. 钻爆法施工工艺流程图

2.1 引言

以前修建的普速铁路隧道，一般断面较小，长大隧道少，遇到不良地质时尽量绕避，修建技术相对简单。而高速铁路需要采用直线或大曲线半径，很难绕避不良地质或障碍物，需要采用隧道方案下穿通过，有时“明知山有虎，偏向虎山行”，这给隧道工程建设带来很大的挑战。



↑ 西成高铁天华山隧道——亚洲最长的单洞双线高铁隧道

尽管全断面隧道掘进技术在我国得到了充分发展，但是钻爆法由于对地质条件适应性强、开挖成本底等原因，依然是隧道掘进的主要手段。



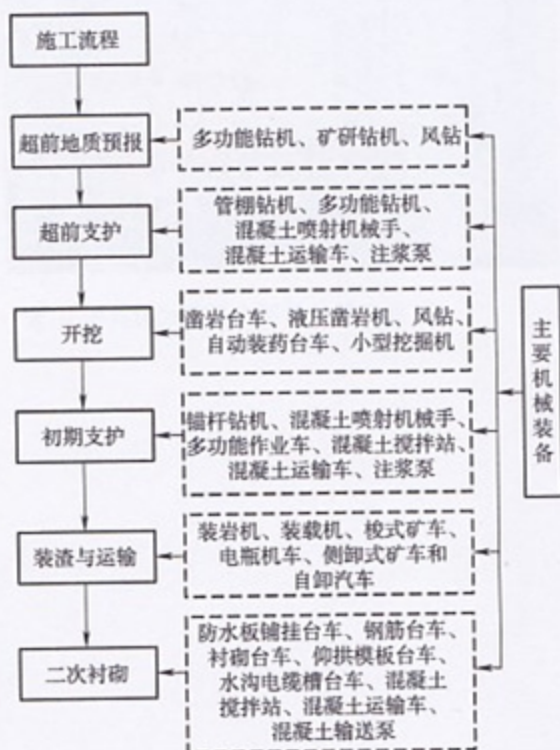
↑ 大秦岭隧道——贯穿南北两个地理环境

钻爆法是通过钻孔、装药、爆破开挖岩

石的方法。这一方法从早期由人工手把钎、锤击凿孔，用火雷管逐个引爆单个药包，发展到用凿岩台车或多臂钻车钻孔，应用毫秒爆破、预裂爆破及光面爆破等爆破技术。



↑ 西成高铁菜子坪二号隧道内景



↑ 钻爆法施工流程与主要建设装备

下面依据钻爆法施工基本流程——超前地质预报、超前支护、开挖、初期支护、装渣与运输、二次衬砌以及竖井开挖，逐一讲述施工用到的巨无霸级建设装备。

2.2

超前地质预报装备——探查敌情的“探子”

为了更加有效地掌握隧道施工期间掌子面前方的地质情况,实现减少或杜绝施工期地质灾害、保障生产安全的目的,从20世纪70年代开始人们注重隧道施工过程中超前地质探测理论、技术研究及工程实践工作。

对于预测涌水突泥、断层破碎带和高瓦斯的隧道应采用超前地质预报装备,包括多功能钻机、矿研钻机和风钻等,其中多功能钻机为关键装备,比较典型的有RPD矿研钻机和C6多功能钻机。



↑ 施工人员监测隧道内的涌水情况

2.2.1 RPD 矿研钻机——来自日本的“安全员”

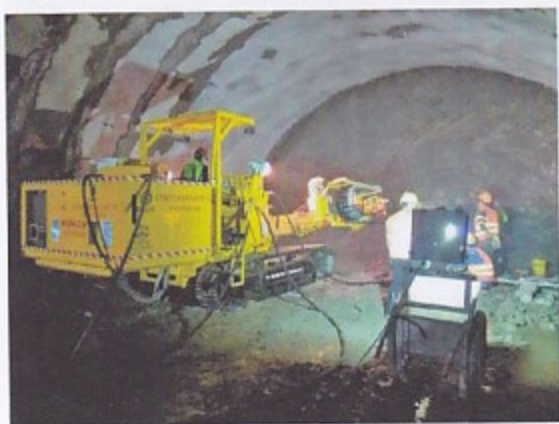
日本矿研公司生产的RPD多功能快速钻机具有长距离快速超前地质预报、防突、注浆、管棚、锚索、锚杆等施工功能,为隧道工程的安全、环保和高效施工提供了保障。

RPD矿研钻机主要由钻进系统、旋臂结构、动力系统以及走行系统等部分组成。采用旋转冲击式动力头,钻孔速度平均每小时可达15 m以上,同时配有钢丝绳能够快速取芯,钻到位后无需退钻杆,通过钢丝



↑ RPD 多功能快速钻机

绳快速把芯样取出;配有超前地质预报数据采集系统,及时分析和掌握前方地质情况提供依据;动力采用电动机和发动机双动力组合,在隧道内施工可使用电动机作业,噪声低,无尾气排放,更加环保。



↑ 工作中的RPD多功能快速钻机



↑ 沪昆高铁铜堡隧道岩层取芯

2.2.2 C6 多功能钻机——来自意大利的“预报员”

C6 多功能钻机由意大利 CASAGRANDE 公司生产,不仅适用于超前管棚支护等钻孔施工,还可用于深孔地质钻探,准确获取隧道前方围岩状况,不仅能够对砂砾层、孤石层等软硬交错地层等采用超前钻探工法和冲击式钢丝绳取芯工法进行地质钻探,而且能够在隧道开挖前调查掌子面前方是否存在高压滞留水或瓦斯,并对其进行排放等工作。



↑ C6 多功能钻机立体图



↑ 工作中的 C6 多功能钻机

2.3 超前支护装备——开挖的“保护伞”

隧道穿越软弱破碎围岩时,开挖会引起较大的围岩变形,严重时会引起掌子面失稳、隧道塌方,造成重大经济损失和安全事故。



↑ 大柱山隧道进口掌子面开挖后围岩失稳

超前支护指在隧道开挖前,向掌子面前方地层中注浆、冷冻,采用打入钢管、钢板、锚杆等技术措施,在隧道横断面上形成一个拱形连续体,使其加固开挖面前方地层,同时利用其支撑力保持前方土体的稳定,减少地表沉降量的技术总称。

隧道超前支护主要有管棚、小导管、水平旋喷桩等方式。



↑ 管棚法超前支护

管棚法超前支护是近年发展起来的一种在软弱围岩中进行隧道掘进的新技术,

在穿越破碎带、松散带、软弱地层、涌水涌砂层发挥了重要作用。

预埋超前管棚由于设置顶板与侧壁支撑,为后续的隧道开挖奠定了坚实的基础,且施工快、安全性高、工期短,被认为是隧道施工中解决冒顶的最有效、最合理的施工方法。超前支护装备包括管棚钻机、多功能钻机、混凝土运输车和注浆泵等。

目前用于管棚施工的钻机分为坑道钻机、定(导)向钻机、水平钻机、夯管锤及专用管棚钻机。长隧道最好选用专用管棚钻机。

管棚钻机是管棚法施工技术中最关键的装备,它的作用是沿着隧道断面外轮廓超前钻进并安设管棚。世界上最早推出管棚钻机的是意大利 RODIO 公司,随后一些著名的制造商也相继推出了专用的管棚钻机,如意大利的 CASAGRANDE 公司、SOILMEC 公司、PUNTEL 公司、美国 INGERSOLL RAND 公司等,国内也出现了四川钻神、重庆华天、建工机械等众多厂家。

管棚钻机一般由行走底盘、机架、液压臂、动力头、液压系统及电气系统等组成,是集机械、电气、液压、自动控制为一体的隧道施工机械,实现了多方位灵活钻孔、快速清孔排渣。



↑ 履带式管棚钻机

管棚施工的一般顺序为:钻孔并同步跟入无缝钢管→洗孔→在钢管内安放钢筋笼→压力注入水泥浆。



↑ 管棚钻机超前支护作业



↑ C6 多功能钻机进行管棚作业

2.4 开挖装备——打眼放炮的“执行官”

开挖装备包括凿岩台车、液压凿岩机、风钻、自动装药台车和小型挖掘机等,是打眼放炮的“执行官”凿岩台车是进行爆破钻孔作业的关键装备,自动装药台车可进行炮孔装药与炮眼堵塞作业,而对于隧道中软土、砂卵石等地层作业可采用暗挖台车直接开挖。

2.4.1 凿岩台车——破岩“金钢钻”

凿岩台车是从 20 世纪 70 年代发展起来的一种钻孔设备,也称钻孔台车。它是将一台或数台高效率的凿岩机及推进装置