

绿色施工技术指导与工程应用

宋义仲 主编

四川大学出版社



编 委 会

顾 问：殷 涛

主 编：宋义仲

副 主 编：卜发东 程海涛 崔洪涛 朱 锋

编委委员：张化峰 苗孔杰 汪俊波 陈德刚 刘 治 葛振刚
肖华锋 丁金涛 伊永成 王俊增 朱子聪 丁建勇
孙 杰 董先锐 刘海宁 张广银 赵延军 陈 文
朱延军 谢洪栋 毕于波 王春慧 李文洲 匡艳超
姚 强 赵夫国 王玉山 张 磊

参编人员：（按姓氏笔画顺序）

马 凯 马桂宁 王 志 王建平 王霄鹏 尹子山
白俊胜 任宗福 米春荣 孙冠军 杜 伟 李 涛
李庆荣 杨宏飞 肖 衡 张 波 张吉峰 苗 林
孟 磊 徐京安 黄长林 商圣月 韩宝龙 谭 磊

主编单位：山东省建筑科学研究院有限公司

山东土木建筑学会

参编单位：中铁十四局集团有限公司

烟建集团有限公司

青建集团股份公司

天元建设集团有限公司

济南城建集团有限公司

中建八局第一建设有限公司

中建八局第二建设有限公司

山东三箭建设工程管理有限公司

威海建设集团股份有限公司
山东天齐置业集团股份有限公司
山东省建设建工（集团）有限责任公司
中建三局第一建设工程有限责任公司
山东省建设监理咨询有限公司
济南黄河路桥建设集团有限公司
山东荷建建筑集团有限公司
山东滨州城建集团公司
山东瑞森建筑工程有限公司
临沂市政集团有限公司
青岛市政空间开发集团有限责任公司
山东道远建筑工程有限公司
中铁十一局集团有限公司
青岛博海建设集团有限公司
山东建科特种建筑工程技术中心
山东滕建建设集团有限公司
德州振华建安集团有限公司

前 言

施工阶段是实现建筑全生命期绿色发展的重要环节，绿色施工技术创新是实现施工阶段绿色发展目标的基础支撑，是实现建设行业转型升级的重要保障。为了持续推动建设领域绿色发展、助力新旧动能转换，山东省建筑科学研究院有限公司、山东土木建筑学会会同有关单位共同编写了本书。

本书共分13章，主要内容有基坑与隧道工程技术、地基与基础工程技术、钢筋工程技术、混凝土工程技术、钢结构工程技术、模板与脚手架技术、信息技术、施工设备应用技术、永临结合技术、临时设施装配化和标准化技术、施工现场环境保护技术、其他技术、工程应用等，内容翔实，数据可靠，具有很强的可操作性、系统性和较高的参考价值，对推动绿色施工具有重要的指导性意义。

全书由宋义仲主编。第1章基坑与隧道工程技术由苗孔杰负责编写，第2章地基与基础工程技术由程海涛负责编写，第3章钢筋工程技术、第4章混凝土工程技术由汪俊波负责编写，第5章钢结构工程技术由丁金涛负责编写，第6章模板与脚手架技术由伊永成负责编写，第7章信息技术由孙杰负责编写，第8章施工设备应用技术由王俊增负责编写，第9章永临结合技术由陈德刚负责编写，第10章临时设施装配化和标准化技术由肖华锋负责编写，第11章施工现场环境保护技术由董先锐负责编写，第12章其他技术由崔洪涛负责编写，第13章工程应用由葛振刚、肖华锋、朱子聪、陈德刚、丁金涛负责编写，全书由朱锋、卜发东、米春荣、李文洲、张化峰、程海涛统稿并整理。

在本书的编写过程中，我们参考了大量文献资料及工程案例，特向提供资料及工程案例的个人、单位表示由衷的感谢！特别向给予指导和支持的山东省住房和城乡建设厅节能科技处、参编各单位表示衷心感谢！

如书中出现谬误之处，欢迎读者指正，并愿与读者共同探讨。

目 录

1	基坑与隧道工程技术	(1)
1.1	基坑截水帷幕技术	(1)
1.2	复合土钉墙支护技术	(2)
1.3	套管跟进锚杆施工技术	(4)
1.4	两墙合一地下连续墙技术	(5)
1.5	工具式钢结构组合内支撑施工技术	(7)
1.6	面层混凝土湿喷技术	(8)
1.7	基坑降水回灌技术	(11)
1.8	泥浆处理技术	(13)
1.9	混凝土内支撑切割技术	(15)
1.10	逆作法施工技术	(16)
1.11	水压爆破技术	(18)
1.12	超浅埋暗挖施工技术	(20)
1.13	硬岩顶管施工技术	(22)
1.14	隧道洞渣无公害处理技术	(26)
1.15	全预制轨下结构拼装技术	(28)
1.16	装配式管廊施工技术	(30)
2	地基与基础工程技术	(35)
2.1	水泥土桩高喷搅拌法施工技术	(35)
2.2	水力吹填技术	(38)
2.3	旋挖钻干作业成孔施工技术	(40)
2.4	全套管钻孔桩施工技术	(41)
2.5	水泥土复合管桩应用技术	(43)
2.6	塔吊与车库基础共用技术	(46)
2.7	基础底板、外墙后浇带超前止水技术	(48)
3	钢筋工程技术	(51)
3.1	高强钢筋应用技术	(51)
3.2	全自动数控钢筋加工技术	(52)
3.3	钢筋焊接网片技术	(54)
3.4	钢筋集中加工配送技术	(56)
3.5	型钢混凝土柱梁节点钢筋连接技术	(58)
4	混凝土工程技术	(63)
4.1	清水混凝土施工技术	(63)
4.2	自密实混凝土施工技术	(65)
4.3	大体积混凝土自动喷淋养护技术	(68)
4.4	混凝土养护剂养护技术	(70)
5	钢结构工程技术	(72)

5.1	钢结构整体提升技术	(72)
5.2	钢结构高空滑移安装技术	(74)
5.3	箱形钢板剪力墙体技术	(76)
6	模板与脚手架技术	(79)
6.1	铝合金模板施工技术	(79)
6.2	塑料模板施工技术	(81)
6.3	覆塑模板应用技术	(82)
6.4	定型模壳施工技术	(84)
6.5	预制混凝土薄板胎模施工技术	(86)
6.6	早拆模板施工技术	(88)
6.7	集成式爬升模板技术	(89)
6.8	布料机与爬模(或钢平台)一体化技术	(92)
6.9	定型化楼梯钢模板施工技术	(95)
6.10	工具式方钢吊模施工技术.....	(97)
6.11	压型钢板、钢筋桁架楼承板免支模施工技术	(98)
6.12	箱涵组合钢模整体浇筑技术.....	(100)
6.13	五段式对拉螺栓应用技术.....	(104)
6.14	自爬式卸料平台施工技术.....	(108)
6.15	整体提升电梯井操作平台技术.....	(110)
6.16	钢网片脚手板技术.....	(112)
6.17	附着式升降脚手架技术.....	(113)
6.18	装配式剪力墙结构悬挑脚手架技术.....	(114)
6.19	承插型盘扣式钢管脚手架技术.....	(116)
6.20	高大共享空间贝雷梁施工技术.....	(119)
6.21	钢木龙骨技术.....	(121)
6.22	内隔墙与内墙面免抹灰技术.....	(122)
7	信息技术	(124)
7.1	绿色施工在线监控技术	(124)
7.2	远程监控管理技术	(128)
7.3	建筑信息模型技术	(131)
8	施工设备应用技术	(142)
8.1	变频施工设备应用技术	(142)
8.2	电力叉车应用技术	(144)
8.3	混凝土泵管水气联洗技术	(145)
9	永临结合技术	(148)
9.1	施工道路永临结合技术	(148)
9.2	利用消防水池兼做雨水收集永临结合技术	(149)
9.3	消防管线永临结合技术	(151)

9.4	地下室排污泵永临结合技术	(153)
9.5	用电永临结合技术	(154)
10	临时设施装配化和标准化技术	(156)
10.1	预制混凝土板临时路面技术	(156)
10.2	拼装式钢板临时路面技术	(158)
10.3	施工车辆出场自动清洗技术	(159)
10.4	渣仓自动喷淋降尘技术	(161)
10.5	木工机械双桶布袋除尘技术	(162)
10.6	油烟净化技术	(163)
10.7	密闭空间临时通风及空气监测技术	(165)
10.8	成品隔油池、化粪池、泥浆池、沉淀池应用技术	(168)
10.9	插销式可拆卸钢筋堆场底座技术	(169)
10.10	全自动标准养护室用水循环利用技术	(171)
10.11	定型化可调高度通道楼梯技术	(172)
10.12	封闭管道建筑垃圾垂直运输及分类收集技术	(174)
10.13	临时设施定型标准化技术	(177)
10.14	安全防护定型标准化技术	(180)
10.15	高墩翻模施工安全防护通道技术	(181)
10.16	现场临时变压器安装功率补偿技术	(184)
11	施工现场环境保护技术	(186)
11.1	现场绿化综合技术	(186)
11.2	现场降尘综合技术	(187)
11.3	砂石料场防扬尘电动覆盖技术	(188)
11.4	垃圾密闭运输车应用技术	(189)
11.5	焊接烟尘收集过滤技术	(190)
11.6	沥青搅拌站出料口除尘技术	(192)
11.7	降噪隔音棚应用技术	(193)
11.8	充气式隔音墙应用技术	(194)
11.9	炮眼钻杆消音罩应用技术	(197)
11.10	焊渣收集箱应用技术	(199)
12	其他技术	(203)
12.1	建筑垃圾减量化与资源化利用技术	(203)
12.2	非传统水源回收与利用技术	(206)
12.3	可再生能源综合利用技术	(208)
12.4	LED灯应用技术	(210)
12.5	临时照明声光控技术	(212)
12.6	生活办公区智能限电技术	(214)
13	工程应用	(217)

13.1	汉峪金融商务中心 A5-3#楼及附属设施工程	(217)
13.2	济南市吴家堡片区城中村改造安置房一期项目	(228)
13.3	东方星城·塾香园	(238)
13.4	济南市轨道交通 R1 号线试验段土建工程	(248)
13.5	中国·红岛国际会议展览中心	(260)
13.6	威海市文登中心医院病房大楼扩建主楼、附楼	(270)

1 基坑与隧道工程技术

1.1 基坑截水帷幕技术

1.1.1 适用条件和范围

该技术适用于基坑工程中地下水位高于基底标高且需要进行地下水控制的场地。

1.1.2 技术要点

基坑施工过程中，通过在基坑周边设置竖向截水帷幕或在基坑底部设置水平截水帷幕，可有效阻止或减少基坑侧壁及坑底地下水的流入，坑内采用降水抽排方式保证基础施工正常进行。截水帷幕可采用水泥土桩（墙）、混凝土桩（墙）、钢板桩等，一般包括高压喷射水泥土截水帷幕、搅拌水泥土截水帷幕、地下连续墙截水帷幕、混凝土咬合桩截水帷幕、钢板桩截水帷幕等不同类型。

截水帷幕可根据帷幕底端是否进入相对不透水层而选择落底式或悬挂式，帷幕厚度应根据基坑深度、地层与地下水情况、周边环境条件等综合确定。基坑底部有较厚透水层或坑底有承压水层，坑底可能出现流土、管涌、突涌等现象时，可在基坑底设置水平截水帷幕，与竖向截水帷幕紧密搭接，保持基坑内干作业和基础施工安全。

1.1.3 施工要求

(1) 部分支护桩（墙）可兼做截水帷幕，共同组成既挡土又挡水的基坑支护体系，如地下连续墙、拉森钢板桩、搅拌桩，见图 1-1。



(a) 拉森钢板桩



(b) 搅拌桩

图 1-1 截水帷幕

(2) 为减少坑外水土压力、确保支护结构安全，必要时可在截水帷幕上预留泄水孔，采用明排方式疏干渗入坑内的地下水。

技术应用依据：《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《建筑与市政工程地下水控制技术规程》JGJ 111。

1.1.4 实施效果

基坑截水帷幕技术将基坑外及底部的水隔离在帷幕外，能有效减少地下水抽排、保护地下水资源、防止周边场地及建（构）筑物沉降。

1.1.5 工程案例

(1) 万华化学上海厂房建设工程位于上海市浦东新区康桥工业园 G01-04 地块，包括 1#~5# 楼及附属楼等多个单体工程。烟建集团有限公司在 2015 年 6 月—2016 年 5 月的施工过程中，通过使用双轴水泥土搅拌桩作为截水帷幕，隔绝了基坑外地下水的渗入，减少了基坑内降排水的施工投入。

(2) 烟台市某改造综合管廊工程（南起港湾大道与海港工人大道交叉口，北至海港工人大道北端）采用四舱矩形断面，长度约为 1400 m，管廊净高 2.6 m、宽度 10.85 m，覆土厚度 2.5~4.5 m。烟建集团有限公司采用截水帷幕，成功解决了该地质条件下基坑受海水潮汐影响大、易透水等问题。

1.2 复合土钉墙支护技术

1.2.1 适用条件和范围

该技术适用于开挖深度不超过 15 m、基坑侧壁安全等级为二或三级的基坑。

该技术适用地层条件为黏土、粉质黏土、粉土、砂土、碎石土、全风化及强风化岩，夹有局部淤泥质土的地层中也可采用。

1.2.2 技术要点

复合土钉墙是由土钉墙与预应力锚杆、微型桩、截水帷幕中的一种或几种组合成的复合支护体系，主要有截水帷幕复合土钉墙、预应力锚杆复合土钉墙、微型桩复合土钉墙、截水帷幕—预应力锚杆复合土钉墙、截水帷幕—微型桩复合土钉墙、微型桩—预应力锚杆复合土钉墙、截水帷幕—微型桩—预应力锚杆复合土钉墙等多种形式，见图 1—2、图 1—3。



图 1—2 截水帷幕复合土钉墙



图 1—3 预应力锚杆复合土钉墙

复合土钉墙选型应综合考虑工程地质、地下水、周边环境、现场作业条件等因素，通过工程类比和技术经济比较后确定。地下水位高于基坑底时，应采取降排水措施或选用具有截水帷幕的复合土钉墙支护；坑底存在软弱地层时，应经地基加固或采取其他加强措施后再采用。

1.2.3 施工要求

复合土钉墙施工必须符合“超前支护，分层分段，逐层施作，限时封闭，严禁超挖”的要求，土方开挖应与土钉、锚杆施工密切结合，开挖顺序、方法应与设计工况相一致，按以下流程进行施工：

- (1) 施作截水帷幕、微型桩。
- (2) 截水帷幕、微型桩强度满足后，开挖工作面、修整土壁。
- (3) 施作土钉、预应力锚杆并养护。
- (4) 铺设、固定钢筋网。
- (5) 喷射混凝土面层并养护。
- (6) 施作围檩，张拉和锁定预应力锚杆。
- (7) 进入下一层施工，重复前述步骤。

技术应用依据：《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB 50739、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120。

1.2.4 实施效果

复合土钉墙支护技术比大放坡方案节约用地，比排桩、地下连续墙方案节省混凝土和钢筋，施工不用泥浆，减少了大开挖的渣土消纳。

1.2.5 工程案例

青岛市地铁一号线控制中心工程位于山东省青岛市黄岛区长江西路和峨眉山路交汇处，总建筑面积 119588.6 m²，地下 3 层，地上工艺楼 10 层、运营楼 24 层。工艺楼为框架剪力墙结构，运营楼为框架核心筒结构。基坑工程周长约 509 m，基坑开挖深度约 15.9~16.9 m，采用微型钢管桩—预应力锚杆复合土钉墙形式，降低造价 18.15 万元，节约工期 15 天，取得了良好的经济效益和社会效益。

1.3 套管跟进锚杆施工技术

1.3.1 适用条件和范围

该技术适用于地下水丰富、流沙、砂卵石等难以成孔地层的锚杆施工。当采用双套管法时，可用于岩溶地层锚杆施工。

1.3.2 技术要点

套管与钻杆同时钻进，避免塌孔，保证成孔效率；先注浆后拔管，确保注浆质量，保证锚杆锚固力。

1.3.3 施工要求

套管跟进锚杆施工采用锚杆钻机成孔，将外套管先打进，然后利用接有高压水泵的内钻杆将套管内土体通过钻进压力和水压力切削搅拌并稀释成泥浆后排出孔外，见图 1-4。成孔完成后拔出内钻杆，进行常压注浆；随后在套管内下放钢绞线，并进行一次高压注浆；接着拔出外套管，进行二次高压劈裂注浆；待强度达到设计及相关规范要求后，进行张拉锁定等后续工序。



图 1-4 套管跟进锚杆施工

技术应用依据：《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《岩土锚杆（索）技术规程》CECS 22、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120。

1.3.4 实施效果

套管跟进锚杆施工技术受地质条件变化影响较小，具有操作简便、成孔质量好、工效高等优点。套管护壁可避免塌孔后二次钻孔产生更多泥浆；先注浆后拔管，在保证注浆质量的同时可节省材料。

1.3.5 工程案例

(1) 北京新机场停车楼及综合服务楼工程位于北京市大兴区，由停车楼、综合服务楼、轨道交通（北段）组成，基坑面积约 100000 m²，基坑深度为 18.45 m。深坑区采用桩锚支护体系，锚杆采用套管跟进施工工艺。

(2) 河南省肿瘤医院门诊医技楼工程基坑开挖深度分别为 11.75 m、9.75 m，基坑周长约 400 m，基坑面积约 10000 m²，基坑支护中锚杆施工采用套管跟进成孔施工工艺。

1.4 两墙合一地下连续墙技术

1.4.1 适用条件和范围

该技术适用于基坑周边环境条件复杂的深基坑施工。

1.4.2 技术要点

地下连续墙在基坑施工阶段作为围护结构，起挡土和止水作用；在永久使用阶段作为地下室主体结构外墙，起竖向承载和水平承载作用。通过与地下结构内部水平梁板构件的有效连接，不再另外设置地下结构外墙。两墙合一集挡土、止水、防渗和地下室结构外墙于一体，具有显著的技术和经济效果。

1.4.3 施工要求

地下连续墙施工工艺主要有挖导墙、吊放接头管、吊放钢筋笼、浇筑混凝土、拔出接头管成墙，具体施工顺序见图 1-5。

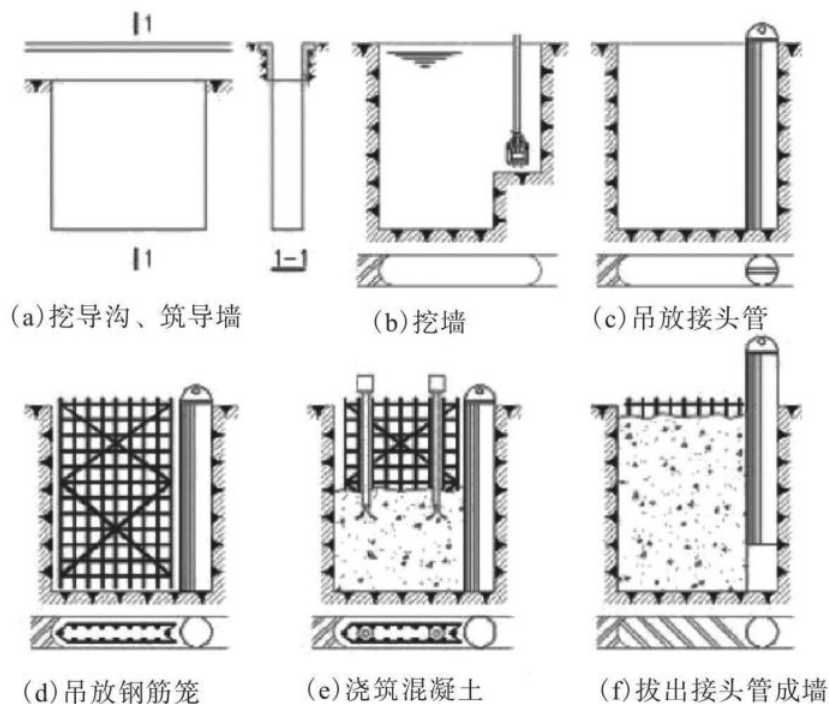


图 1-5 地下连续墙施工顺序

技术应用依据：《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120。

1.4.4 实施效果

两墙合一地下连续墙技术将基坑临时围护墙与永久地下室外墙合二为一，节省地下室外墙混凝土量；地下室外墙利用地连墙，节省建造空间；减少土方开挖与回填，控制变形能力强，保护周边建筑和管线；加快施工进度，降低造价，经济、环保效果明显。

1.4.5 工程案例

(1) 上海市黄浦区上海轨道交通 9 号线西藏南路与 M8 线的十字换乘车站位于陆家浜路下，东接中华路站，西至马当路站，骑跨西藏南路。车站外包总长 162.2 m，标准段外包宽度为 22.9 m，为地下 3 层结构。地下一层为站厅层，地下二层为设备层，地下三层为站台层，站台宽度为 12.5 m，有车站结构高度约为 19.6 m，基坑开挖深度为 22.8 m，顶板覆土厚度为 2.9 m，车站两端各设一座端头层井，端头井平面内净尺寸为 12.2 m×23.9 m，基坑对开挖深度约为 24.5 m。本工程基坑支护总体上采用两墙合一地下连续墙。

(2) 武汉市亢龙太子花园酒店二期（B 区）项目位于武汉市汉口中心城区，武汉市建设大道与新一华下路的交通路口处。总建筑面积 13865 m²，其主楼地面以上 48 层，裙楼地面以上 6 层，主楼及裙楼下满铺三层地下车库。基坑周长约 250 m，基坑开挖面积约 3600 m²，基坑开挖深度 13.1~14.7 m，本工程基坑支护总体上采用两墙合一地下连续墙与三道环形混凝土内支撑的支护方式。

1.5 工具式钢结构组合内支撑施工技术

1.5.1 适用条件和范围

该技术适用于采用内支撑的基坑支护工程。

1.5.2 技术要点

该技术利用组合式钢结构构件截面灵活可变、加工方便、施工速度快、支撑形式多样、计算理论成熟、施工安全、适用性广的特点，可在各种地质情况和复杂周边环境下使用。工具式钢结构组合内支撑可拆卸重复利用，周转次数多。

1.5.3 施工要求

工具式钢结构组合内支撑见图 1-6，标准组合件跨度为 8 m、9 m、12 m 等；竖向构件高度为 3 m、4 m、5 m 等；受压杆件的长细比不应大于 150，受拉杆件的长细比不应大于 200。



图 1-6 工具式钢结构组合内支撑

技术应用依据：《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205。

1.5.4 实施效果

材料可多次循环利用，减少垃圾产生、减少噪音，工效高。

1.5.5 工程案例

(1) 广州地铁运营指挥中心基坑工程位于广州市海珠区万胜围地铁站西南侧，其中 B 区基坑宽度约 75 m，长度约 136 m，开挖深度 15.45 m，采用三轴搅拌截水帷幕+旋挖灌注桩+预应力鱼腹梁钢支撑支护系统。

(2) 天津市海河隧道工程全长 4.2 km，其中穿越海河采用沉管施工工艺。该工程基坑最深为沉管隧道岸边连接段基坑，基坑宽度为 40.6~46.6 m，开挖深度 27.5 m，距离海河约 13 m，共设 7 层支撑，除第一、第四层为混凝土支撑外，其余为钢支撑。岸边连接段基坑施工与干坞开挖同期进行，采取分层开挖支护，采用提前降水、先撑后挖的方法施工。该组合体系由 500 mm×14 mm 工具柱和 609 mm×16 mm 钢支撑、混凝土支撑、系梁组成。

1.6 面层混凝土湿喷技术

1.6.1 适用条件和范围

该技术适用于隧道、地铁、矿井、深基坑等地下工程及高边坡支护面层喷射混凝土

施工工程。

1.6.2 技术要点

混凝土湿喷工艺原理是通过建立调节混凝土初凝作用的双体系实现的。第一步由缓凝剂完成。将缓凝剂以一定的掺量加入搅拌机里的新拌混凝土，使水泥颗粒发生疏水作用并保持混凝土新鲜。第二步由速凝剂完成。在湿喷机喷嘴处用气流将速凝剂加入黏流状态的混凝土，用于引发混凝土黏度突然下降，这称作“黏度衰减效应”。同时，速凝剂能够使混凝土在黏度突然下降前保持有可塑性和触变性，所以混凝土表面湿软，能与以后喷射的混凝土料较好地黏合，回弹率降低。

喷射混凝土附着力较好、密实度较高、回弹率低。该技术操作人员较少，机械化程度高，劳动强度显著降低。施工过程中产生的粉尘少，作业环境得到极大改善，有利于劳动人员的身体健康。混凝土湿喷示例见图 1-7。

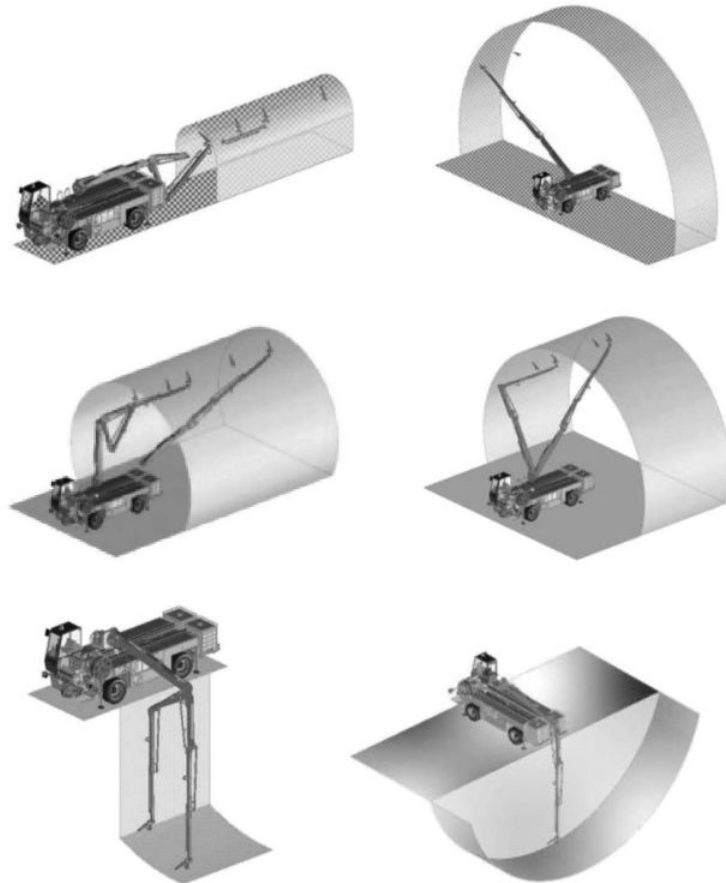


图 1-7 混凝土湿喷示例

1.6.3 施工要求

- (1) 施工配料严格按配合比进行操作，尤其要注意控制碎石参量，碎石多易堵管，