

中煤科工集团西安研究院有限公司资助出版

煤矿区煤层气开发 对接井钻进技术与装备

石智军 田宏亮 赵永哲 等 著



科学出版社

中煤科工集团西安研究院有限公司资助出版

煤矿区煤层气开发 对接井钻进技术与装备

石智军 田宏亮 赵永哲 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书内容共分7章。第1章介绍了我国煤矿区煤层气开发技术现状、水平对接井煤层气开发技术、井身结构与井眼轨道设计；第2章在介绍进口、国产全液压车载钻机性能及应用现状的基础上，详细介绍了ZMK系列全液压车载钻机的研制及车载钻机钻进性能检测试验台的建设、应用；第3章介绍了煤矿区水平对接井配套钻杆、钻铤、稳定器等专用钻具研制与选型，配套钻头研制与选型，配套泥浆泵组、固控系统附属装备的选型情况；第4章介绍了水平对接井相关随钻测量技术、精确对接技术及仪器选型；第5章介绍了水平对接井钻进工艺技术；第6章介绍了水平对接井完井工艺技术；第7章介绍了水平对接井典型应用实例。

本书可作为煤层气地面开发井设计人员、施工技术人员及其他钻探领域从事对接井钻进施工人员的参考用书，也可作为钻探技术人员培训的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿区煤层气开发对接井钻进技术与装备 / 石智军等著. —北京: 科学出版社, 2018. 4

ISBN 978-7-03-057065-9

I. ①煤… II. ①石… III. ①煤层-地下气化煤气-钻进-研究
IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 062881 号

责任编辑: 焦 健 韩 鹏 姜德君 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年4月第一次印刷 印张: 17 3/4

字数: 400 000

定价: 228.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

我国煤层气资源十分丰富，2006 年全国油气资源评价结果显示：埋深 2000m 以浅的煤层气地质资源储量为 $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，约占世界煤层气总资源量的 13%，是继俄罗斯和加拿大之后的第三大煤层气资源国。开发利用煤层气能够增加高效清洁能源供给，降低煤炭消耗，对缓解我国常规油气供应紧张状况、优化我国能源结构具有重要的意义。

煤矿区煤层气开发是煤层气开发的重要形式，具有节能、环保、安全、社会效益显著等特点。在国家政策和技术发展的推动下，我国煤矿区煤层气开发利用已初见成效。然而，我国煤层气开发地质条件具有特殊性：①板块构造复杂，决定了我国绝大多数含煤盆地的构造稳定性较差，构造形态复杂多样，煤及共生煤层气资源地质条件十分复杂；②煤体结构破坏严重，形成大量构造煤，且渗透率普遍偏低，以 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主，勘探开发难度大；③储层非均质性强，我国地壳运动具有多回旋性和复杂性，造成煤层及煤层气在区域、地质时代上的不均一性，成煤构造背景不同，后期构造破坏的强度和范围不同，区域的热史影响不同，使煤层气储存条件产生了区域地质和微观结构组成上强烈的非均质性。复杂的煤层地质条件决定我国必须走一条适合自身煤层特点的煤层气开发道路。

在煤矿区，地面钻井抽采是开发煤层气的重要方式之一，是 20 世纪 80 年代在美国开始成功应用的地面煤层气开采方法。我国引进地面煤层气开发技术装备并在多个地区进行勘探开发试验，然而效果不甚理想，有关其原因的研究与评论诸多，主要包括：我国煤层气地质条件复杂，对煤层气藏地质多样性特征和复杂性等认识不够深入，钻井类型、成井方法单一，适应性差，设备配套不合理等。

“十一五”以来，依托国家科技重大专项课题的支持，针对我国煤矿区地面钻井开发煤层气面临的井型、成井方法单一，设备配套性差等问题，中煤科工集团西安研究院有限公司（以下简称西安研究院）从钻进成井工艺方法和配套钻进装备两方面对煤层气开发对接井开展了全面研究工作，结合现场工程实践总结形成了煤矿区煤层气地面开发对接井钻完井技术——包括井身结构设计、井眼轨道设计、钻具组合设计、井眼轨迹控制、钻进工艺参数、钻井液工艺及完井工艺等；研制、集成了煤矿区煤层气地面开发对接井施工用配套装备系统——包括全液压车载钻机、换杆装置、钻杆、钻头、随钻测量仪器等。

上述研究成果丰富了我国煤矿区煤层气地面开发井的类型，其对接井钻进技术与装备为煤矿区煤层气开发提供了新的技术手段和抽采模式。为了总结我国煤矿区煤层气开发对接井钻完井技术与装备方面所取得的技术成果和工程实践经验，促进对接井在煤矿区煤层气开发中的应用，作者编写了《煤矿区煤层气开发对接井钻进技术与装备》一书。

该书作者在煤矿区煤层气开发对接井钻进技术与装备方面积累了丰富的设计和实践经

验，全书以国家科技重大专项课题研究成果为基础，借鉴国内外相关学者的工作成果，结合大量翔实的第一手资料总结并介绍了西安研究院和相关煤层气开发企业、施工单位在对接井钻进技术与装备方面的新进展，介绍了煤矿区煤层气开发对接井分类、特点及设计方法，配套全液压车载钻机，钻具，随钻测量仪器、钻进工艺、完井工艺等，同时，详细介绍了6个典型工程实例，使该书更具有可读性和实用性，是一本系统介绍煤矿区煤层气开发对接井钻进技术与装备的专著。

该书内容丰富，论述科学，是从事煤矿区煤层气地面钻井开发专业领域科技人员和管理人员的有益参考用书。该书的出版可为煤矿区煤层气开发工程井型优选提供借鉴和启示，也可为企业、科研机构、高等院校等相关学者提供参考。愿该书的出版能为广大专业技术人员提供有益帮助，在推动我国煤矿区煤层气规模化开发进程方面发挥积极作用。

中国工程院院士 苏义脑
2017年8月28日

前 言

煤矿区煤层气作为清洁优质能源,具有广阔的发展前景。“十一五”以来,国家高度重视煤层气开发利用的科技创新工作,通过“大型油气田及煤层气开发”国家科技重大专项支持有关煤矿区煤层气抽采利用技术装备研究和示范工程建设,以期促进我国煤矿区煤层气的合理开发和高效利用,为煤矿区煤层气产业发展提供资源保障和科技支撑。

“十一五”期间,中煤科工集团西安研究院有限公司依托国家科技重大专项课题对煤矿区煤层气开发对接井钻进技术与装备开展了全面研究工作:提出了利用带分支的对接井开发煤层气的新模式,对井身结构设计、井眼轨道设计、钻具组合设计、井眼轨迹控制、钻进工艺参数、钻井液工艺等进行了研究,研制了配套用全液压车载钻机、换杆装置、部分钻杆、钻头等。本书研究成果首先在山西晋城矿区寺河井田内进行了现场工业性试验,成功建成了一个平面对接距离 557.88m、带分支的远端对接井,排采投产后最大日产气量超过了 2万 m^3 ,是我国煤矿区第一个高产的远端对接井。随后,对接井钻进技术与装备被推广应用于多个煤层气勘探开发工程中,先后建成了近 20 个不同类型(“U”形、“V”形、多井连通型等)对接井组,最大平面对接距离达到了 1148.70m,取得了良好的工程效果。在推广应用过程中,针对不同类型目标煤储层特殊的物理力学性质,在中硬完整煤储层裸眼完井工艺基础上,集成创新了对接井筛管(包括 PE 筛管、玻璃钢筛管等)完井工艺和水力分段压裂完井工艺,解决了易坍塌、碎软及低渗等复杂煤储层完井难题,形成了对接井系列完井工艺技术体系,拓展了对接井适应范围。然而,介绍对接井相关科研成果和成功应用实例的文献比较分散,有些还只是科研报告,没有公开发表,在一定程度上影响了对接井钻进技术与装备的进一步推广应用,为此,作者组织国家科技重大专项课题主要科研人员及技术装备推广应用人员分别编写有关章节集成此书,希望通过对接井钻进技术与装备及工程实例较为全面系统的介绍,为煤矿区煤层气开发工程井型优选提供借鉴和启示,在推动我国煤矿区煤层气规模化开发进程方面发挥积极作用。

全书共 7 章,按统一的思路和提纲,由有关人员分工负责编写。各章编写人员分工如下:第 1 章由石智军、赵永哲、刘建林、祁宏军、胡振阳、黄巍、张晶负责;第 2 章由田宏亮、凡东、常江华、党林、吴璋、邹祖杰负责;第 3 章由孙荣军、董萌萌、王传留、杨哲负责;第 4 章由胡振阳、栗子剑、史海岐负责;第 5 章由石智军、刘建林、张晶、彭旭负责;第 6 章由黄巍、杨哲、赵永哲、莫海涛负责;第 7 章由刘建林、祁宏军、胡振阳、彭旭、黄巍、张晶负责。各成员所编著内容由石智军、刘建林汇总、修改,最后由石智军、田宏亮、赵永哲统一定稿。

本书在编写过程中,得到中煤科工集团西安研究院有限公司相关部门和同行的支持,

特别是苏义脑院士在百忙之中给予关怀和支持,并为本书作序。刘飞、何玢洁、王桦、褚志伟、姜磊等同志在资料整理、插图绘制处理、公式验证及排版等方面做了大量工作。在此一并表示衷心的感谢!

由于作者的技术水平和掌握的资料有限,书中难免有不足之处,望读者批评指正。

作 者

2017 年 10 月 30 日

目 录

序

前言

第1章 煤矿区煤层气开发与对接井技术	1
1.1 煤矿区煤层气开发技术现状	1
1.1.1 煤矿区煤层气开发的意义	1
1.1.2 煤矿区煤层气地面开发井的类型	2
1.1.3 煤层气开发钻完井技术	6
1.2 煤矿区煤层气水平对接井开发技术	7
1.2.1 水平对接井的井型特点与技术优势	7
1.2.2 水平对接井的分类	7
1.3 煤层气开发对接井井身结构与井眼轨道设计	10
1.3.1 井身结构设计	10
1.3.2 井眼轨道设计	13
1.3.3 对接点两侧带分支的精确对接井设计	19
第2章 对接井钻进用全液压车载钻机	24
2.1 进口全液压车载钻机性能及应用现状	24
2.1.1 雪姆车载钻机	25
2.1.2 阿特拉斯车载钻机	31
2.1.3 宝峨车载钻机	35
2.1.4 钻科车载钻机	38
2.1.5 进口车载钻机特点分析	39
2.2 国产全液压车载钻机性能及应用现状	39
2.2.1 北京天和众邦车载钻机及拖车钻机	39
2.2.2 石家庄煤机车载钻机	43
2.2.3 江苏天明车载钻机	43
2.2.4 连云港黄海车载钻机	45
2.3 ZMK 系列全液压车载钻机	45
2.3.1 钻机整体方案制定	45
2.3.2 动力系统设计	47
2.3.3 底盘设计	47
2.3.4 钻机主机设计	49
2.3.5 液压系统设计	55
2.3.6 电控系统	56

2.3.7 给进装置的加工	59
2.3.8 配套装置	60
2.4 车载钻机钻进性能检测试验台的建设与应用	62
2.4.1 车载钻机钻进性能检测试验台的建设	62
2.4.2 车载钻机钻进性能检测试验台的应用	64
第3章 对接井钻进配套装备研制与选型研究	66
3.1 配套专用钻具研制与选型	66
3.1.1 高强度斜坡钻杆研制	66
3.1.2 高强度加重钻杆研制	70
3.1.3 钻铤选型	71
3.1.4 稳定器选型	72
3.1.5 螺杆钻具选型	74
3.2 配套钻头研制与选型	77
3.2.1 专用PDC钻头研制	78
3.2.2 牙轮钻头选型	87
3.3 配套附属装备选型	92
3.3.1 柴油发电机选型	93
3.3.2 泥浆泵选型	94
3.3.3 固控系统选型	95
3.3.4 空压机选型	97
第4章 随钻测量仪器研制与选型	99
4.1 随钻测量技术	99
4.1.1 垂直井段测量技术	99
4.1.2 造斜井段、水平井段随钻测量技术	99
4.1.3 对接段随钻测量技术	100
4.2 有线随钻测量系统研制	101
4.2.1 有线随钻测量系统技术指标	101
4.2.2 有线随钻测量系统结构组成	102
4.2.3 系统操作要点	110
4.3 无线随钻测量系统选型研究	111
4.3.1 无线随钻测量系统信号传输方式	112
4.3.2 典型无线随钻测量系统	114
4.4 精确对接仪器系统	127
4.4.1 精确对接仪器系统的类型	127
4.4.2 旋转磁测距仪器系统	128
4.5 地质导向钻进技术研究	131
第5章 对接井钻进工艺技术	134
5.1 对接井常规钻进工艺	134

5.1.1 煤矿区含煤岩系的特点	134
5.1.2 常用钻进工艺	136
5.2 对接井定向钻进工艺	138
5.2.1 钻具组合设计	138
5.2.2 钻进工艺参数	139
5.2.3 对接井定向钻进轨迹控制	139
5.3 对接井欠平衡钻进工艺技术	143
5.3.1 欠平衡钻进工艺特点与类型	143
5.3.2 充气欠平衡钻进适应性分析	146
5.3.3 对接井欠平衡钻进设计	148
5.3.4 欠平衡钻进专用设备	152
5.3.5 欠平衡钻进工艺	155
5.3.6 欠平衡钻进井内复杂情况的预防	158
5.4 对接井钻井液工艺技术	159
5.4.1 对接井钻井液工艺特点	159
5.4.2 煤储层伤害类型	160
5.4.3 钻井液与完井液体系	165
5.4.4 煤岩储层伤害室内评价研究	168
5.5 井内复杂情况预防措施及处理方法	171
5.5.1 钻进复杂情况预防	172
5.5.2 常见钻井事故分析与处理方法	174
5.6 目标直井造穴技术	178
5.6.1 水力造穴技术	178
5.6.2 机械造穴技术	179
5.6.3 水力-机械复合造穴技术	180
5.7 精确对接连通技术	181
5.7.1 远端对接技术	182
5.7.2 轨迹计算与控制技术	184
5.8 侧钻开分支技术	186
5.8.1 侧钻方式	186
5.8.2 选择侧钻点的原则	187
5.8.3 侧钻划槽作业要点	187
5.8.4 控时钻进注意事项	187
第6章 对接井完井工艺技术	189
6.1 裸眼完井	189
6.1.1 裸眼完井的钻完井液体系	189
6.1.2 裸眼充砂完井工艺	190
6.2 筛管完井	191

6.2.1 筛管完井的特点	191
6.2.2 金属筛管完井工艺	192
6.2.3 PE 筛管完井工艺	194
6.2.4 玻璃钢筛管完井工艺	197
6.3 滑套分段压裂完井	199
6.3.1 滑套分段压裂工艺	200
6.3.2 裸眼滑套分段压裂配套机具	201
6.3.3 滑套分段压裂完井工艺过程	203
6.3.4 应用效果	207
6.4 水力喷射加砂分段压裂完井	207
6.4.1 水力喷砂射孔	207
6.4.2 水力喷射压裂	208
6.5 压裂完井设备选择	210
第7章 对接井定向钻进技术装备典型工程应用实例	212
7.1 山西晋城潘庄“U”形对接井组	212
7.1.1 井组基本信息	212
7.1.2 井身结构与轨道设计	214
7.1.3 钻进装备、机具及测量仪器系统	217
7.1.4 井组实钻简况	218
7.1.5 井组排采情况	223
7.2 山西晋城天地王坡“V”形对接井组	224
7.2.1 井组基本信息	224
7.2.2 井身结构与轨道设计	225
7.2.3 钻进装备、机具及测量仪器系统	227
7.2.4 井组实钻简况	227
7.2.5 井组完井情况	229
7.3 山西晋城郭南“U”形对接井组	229
7.3.1 井组基本信息	229
7.3.2 井身结构与轨道设计	230
7.3.3 钻进装备、机具及测量仪器系统	234
7.3.4 井组实钻简况	234
7.3.5 井组排采情况	238
7.4 山西晋城赵庄“U”形对接井组	238
7.4.1 井组基本信息	239
7.4.2 井身结构与轨道设计	240
7.4.3 钻进装备、机具及测量仪器系统	242
7.4.4 井组实钻简况	242
7.4.5 井组排采情况	246

7.5 陕西彬县大佛寺“V”形对接井组	247
7.5.1 井组基本信息	247
7.5.2 井身结构与轨道设计	249
7.5.3 钻进装备、机具及测量仪器系统	252
7.5.4 井组实钻简况	252
7.5.5 井组排采情况	255
7.6 陕西彬县大佛寺多分支对接井组	256
7.6.1 井组基本信息	256
7.6.2 井身结构与轨道设计	256
7.6.3 钻进装备、机具及测量仪器系统	259
7.6.4 井组实钻简况	260
7.6.5 井组生产情况	265
参考文献	266

第1章 煤矿区煤层气开发与对接井技术

煤矿区煤层气开发是煤层气开发的重要形式。长期以来,在煤炭井工开采过程中煤矿瓦斯(煤层气)被视为有害气体,大多进行井下抽放,利用很少,并未从资源的角度加以认识。直至20世纪80年代美国解决了从地面开发煤层气的技术后,煤层气作为一种非常规天然气资源日益受到关注。我国自20世纪80年代以来,将煤层气作为一种资源进行勘探评价研究,同时积极引进美国现代煤层气开发技术进行煤层气勘探开发试验,并对我国煤层气开发的基本地质条件有了系统认识,基本掌握了可供开发的煤层气资源和技术条件,使我国煤层气开发步入了自主研发的良性循环阶段,引进的勘探及地面开发主体技术与装备经过消化和改进,支撑了我国煤层气地面钻井开发的发展。

1.1 煤矿区煤层气开发技术现状

1.1.1 煤矿区煤层气开发的意义

煤层气是主要以吸附状态赋存于煤层之中的一种自生自储式非常规天然气,是一种新型的洁净能源和优质化工原料。在煤矿区,煤层气开发具有资源、安全和环境等多重效益。

1. 资源效益

我国煤层气资源十分丰富,2006年全国油气资源评价结果显示:埋深2000m以浅的煤层气地质资源储量为 $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$,约占世界煤层气总资源量的13%,与我国陆上天然气资源量相当,是继俄罗斯和加拿大之后的第三大煤层气资源国。开发利用煤层气能够增加高效清洁能源供给,降低煤炭消耗,对缓解我国常规油气供应紧张状况、优化我国能源结构具有重要的意义。

2. 安全效益

煤炭是我国的主体能源,几十年来在能源消费构成中一直占70%左右的比例。进入21世纪以来,随着我国经济的快速增长,煤炭需求量也快速增长,2001~2008年,我国煤炭年产量由11.06亿t增至27.2亿t,平均每年增长了18.24%。2009年,我国累计原煤产量突破30亿t。我国煤炭工业在保障经济快速增长的同时,煤炭的开采条件也不断恶化,随着煤矿开采向深部延伸,地质构造条件更加复杂,煤层瓦斯压力和含量增大,对煤矿安全生产构成严重威胁——瓦斯灾害,特别是煤与瓦斯突出灾害日趋严重。在采煤前先将煤矿瓦斯(煤层气)开采出来,就可从根本上消除煤矿瓦斯灾害的隐患,提高煤矿安

全生产的保障程度，安全效益显著。

3. 环境效益

长期以来，在我国煤矿生产中，井下瓦斯抽采/抽放是防治煤矿瓦斯事故的重要措施。经过几十年的探索，国有重点煤矿初步建立了以钻孔和巷道抽采为主的抽采体系，成为煤矿瓦斯治理的主要方式之一，同时奠定了煤矿瓦斯（煤层气）井下抽采利用的基础。然而，我国煤矿区井下瓦斯抽采规模相对较小，抽出的瓦斯/煤层气浓度波动范围大、平均浓度低、综合利用率低，导致每年采煤使大量甲烷气体（瓦斯的主要成分）排入大气，是构成大气温室气体的主要来源。开发利用煤层气可直接减少煤矿瓦斯排放量，有效缓解温室效应，环境效益显著。

1.1.2 煤矿区煤层气地面开发井的类型

地面钻井开发煤层气是在常规天然气开发技术的基础上，根据煤层的岩石力学特性、煤层气的赋存特点及产出规律发展起来的，因此，它与常规天然气开发技术既有共性又有特殊性。在井型方面，我国煤矿区煤层气地面开发井可分为垂直井和定向井两大类。

1. 地面垂直井

垂直井是目前国内外地面煤层气开发工程中应用最广泛的井型。在我国煤矿区煤层气开发中，地面垂直井占主导地位。根据地面煤层气开发与井下采煤活动之间的关系，地面垂直井可细分为采前预抽垂直井和采动抽采垂直井两类。

1) 采前预抽垂直井

采前预抽垂直井是在国内煤矿区煤层气开发中应用最广泛的一类井，是在生产矿井采煤作业前实施的预抽采井，按其目的的不同可进一步细分为三类：参数井、生产井和参数+生产试验井，其中参数井是以取得目标煤层渗透率、储层压力、表皮系数和储层温度等参数为目的的垂直井，生产井是以开发目标煤层煤层气为目的的垂直井，参数+生产试验井兼具参数井和生产井的功能。

采前预抽垂直井普遍采用二开井身结构，如图 1.1 所示：一开井眼直径 $\phi 311.15\text{mm}$ ，钻至基岩或稳定岩层以下 10m 左右，下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 表层套管；二开井眼直径 $\phi 215.9\text{mm}$ ，钻至目标煤层以下 30~60m，下入 $\phi 139.7\text{mm}$ 生产套管。

为获得商业开发产量，采前预抽垂直井几乎都需对目标煤储层实施有效的强化改造措施，尤其是在低压低渗煤储层地区，常用的完井方式有洞穴完井和射孔压裂完井，在我国煤矿区煤层气开发工程中应用最广泛的储层强化措施是水力压裂。煤层压裂改造的实际意义在于通过实施压裂有效地将井筒与煤储层天然裂隙沟通，提高煤储层至井筒的导流能力，扩大排水降压范围，从而提高煤层气的产量和采收率，压裂完井排采示意图如图 1.2 所示。采前预抽垂直井一般具有 3~10 年甚至更长的煤层气有效开发时间。

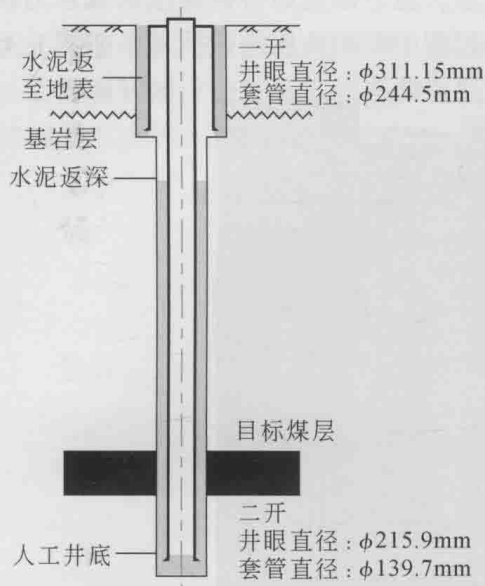


图 1.1 垂直井井身结构示意图

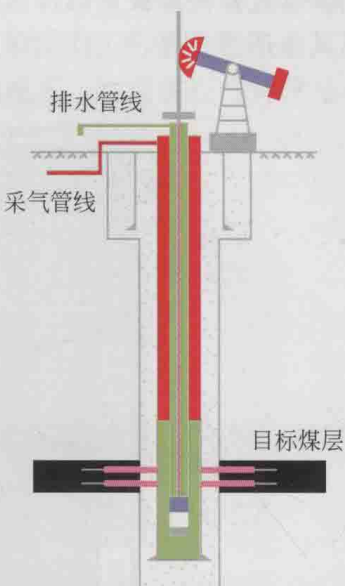


图 1.2 采前预抽井排采示意图

2) 采动抽采垂直井

采动抽采垂直井主要用于抽采采动卸压煤层气，通常是在煤矿井下采煤工作面回采前，先从地面向工作面内回风巷一侧施工垂直井，在回采过程中，利用负压通过井筒从具有大量裂隙的煤层顶板垮落带、裂隙带内抽采煤层气。地面采动抽采利用的是煤层开采“卸压增透效应”，即煤层开采引起上覆岩层活动，产生离层、裂隙，使开采影响范围内的卸压煤层气能够在其中汇集、流动。

采动抽采垂直井普遍采用三开井身结构，因涉及采动影响区内岩层剪切、离层作用对地面井井身结构造成破坏问题，具体井身结构设计及钻完井方案需包含井筒抗破坏防护结构及固井等有效防护措施。一般情况下，三开筛管下至煤层回采裂隙带下方即可，并不需要下得更深，采动抽采垂直井典型的井身结构如图 1.3 所示。

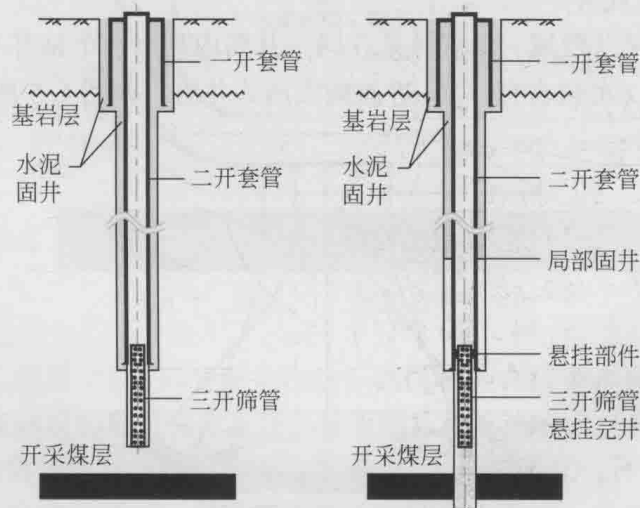


图 1.3 采动抽采垂直井结构示意图

采动抽采垂直井不需要进行排水降压作业，也不需要目标煤层采取水力压裂等强化增产措施，其生产方式是在工作面煤层回采过程中利用负压进行抽采，如图 1.4 所示。

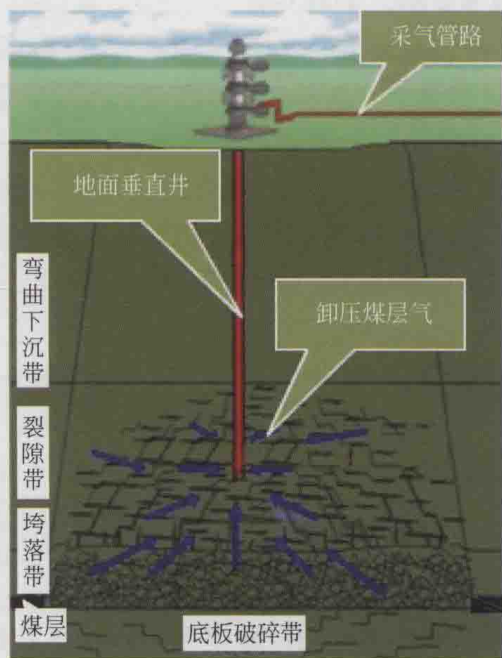


图 1.4 采动煤层气抽采示意图

利用地面采动抽采垂直井进行煤层气开发，既可利用采动区煤层瓦斯/煤层气卸压的高效抽采条件，又可在采前选择适宜时间施工地面抽采井，与井下采掘作业无相互影响和依赖关系，是一项煤层气开发及瓦斯治理新技术。我国煤矿采动区地面钻井开发煤层气经过多年的发展取得了一些成绩，但目前尚未全面实现工业化及规模化应用（胡千庭等，2010）。

2. 地面定向井

1) 煤层气开发丛式井

在油气勘探开发钻井领域，丛式井是在同一井场内利用一个钻井平台有计划地布置两口或两口以上定向井（可包含直井），进而构成丛式井组，如图 1.5 所示。

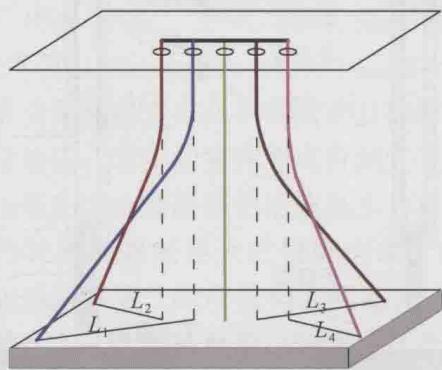


图 1.5 丛式井示意图

地面煤层气开发丛式井一般应用于地表施工条件差，布设多个井场困难的地区。丛式井施工工艺相对简单，可节约土地资源、保护环境，方便钻井和压裂作业，利于集中排采、维护，能够有效减少钻井施工成本和煤层气集输成本。地面煤层气开发丛式井集中排采现场照片如图 1.6 所示。



图 1.6 地面煤层气开发丛式井排采现场

2) 煤层气开发“L”形水平井

地面煤层气开发“L”形水平井是一种垂深浅、曲率半径小、设计水平段长（通常达 800m 以上）的特殊水平井。依据水平段所处目标层及抽采煤层气来源等特征，“L”形水平井可进一步细分为顶板“L”形采动井和煤层“L”形开发井。图 1.7 所示为晋城矿区顶板“L”形采动井示意图，其水平段布设在煤层顶板内，平行于矿井采煤工作面走向，在采煤过程中抽采采动卸压煤层气。顶板“L”形采动井是针对采动垂直井自身固有的抽采范围小、服务时间短、分布零散集输不便等局限性而提出的一种采动区煤层气地面开发新方法，具有抽采范围大、有效抽采时间长、抽采效率高等诸多技术优势。



图 1.7 顶板“L”形采动井示意图

与垂直井相比，煤层“L”形开发井在目标储层中的有效距离长，增大了与储层的接触面积，有利于沟通储层的割理裂隙系统，排水降压波及范围广，有利于增加产气量。煤层“L”形开发井的典型的井身结构如图 1.8 所示。

煤层“L”形开发井对地形、交通等条件适应性强，同时，由于单井控制面积大，其维护管理成本和集输投入相对较低。但煤层“L”形开发井对地质条件要求高，适合构造