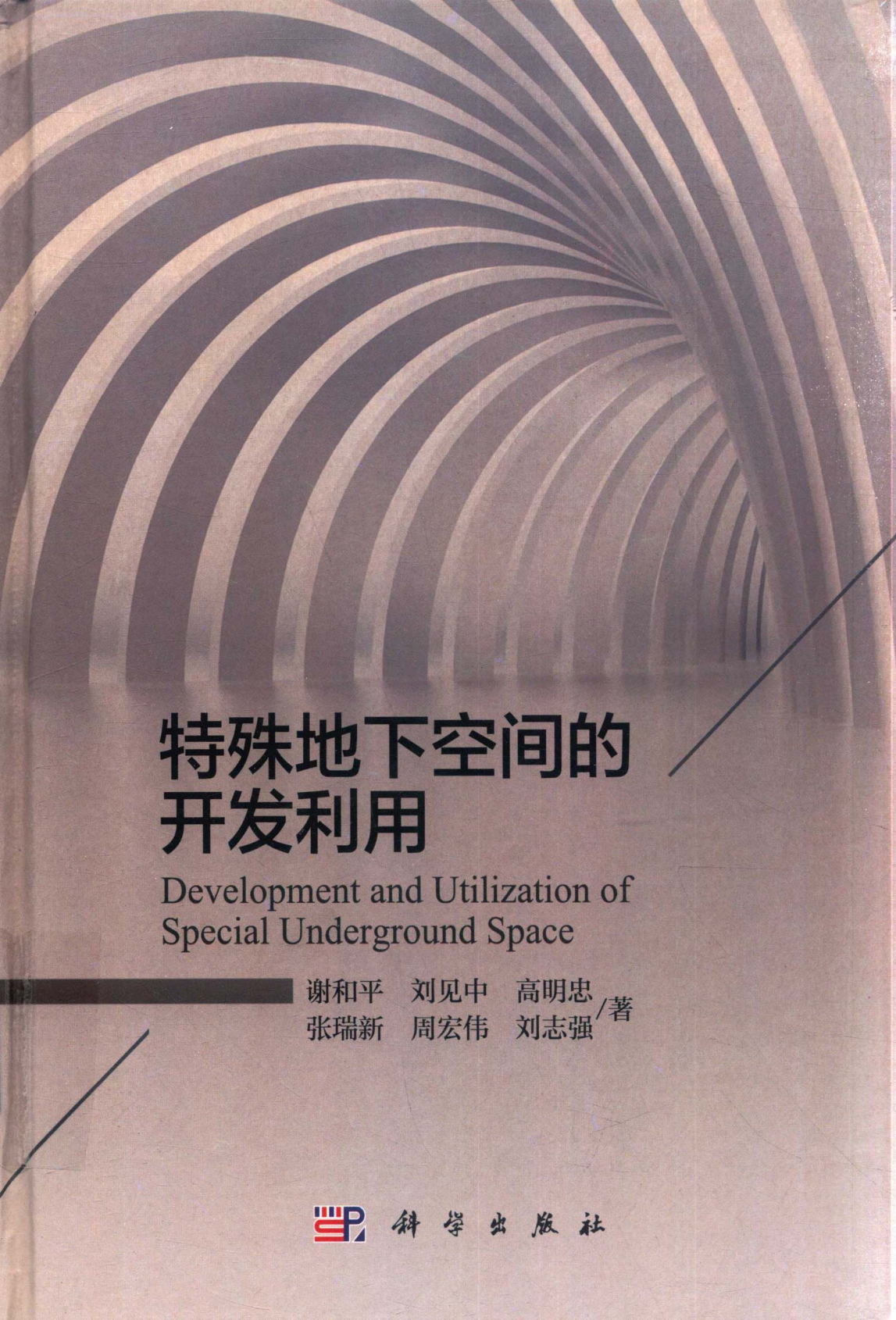




特殊地下空间的 开发利用

Development and Utilization of
Special Underground Space

谢和平 刘见中 高明忠 / 著
张瑞新 周宏伟 刘志强



科学出版社

特殊地下空间的开发利用

Development and Utilization of Special Underground Space

谢和平 刘见中 高明忠

张瑞新 周宏伟 刘志强

著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

21 世纪是开发利用地下空间的世纪,向地下要空间已经成为全球可持续发展的普遍共识。本书依托中国工程院和中国科学院咨询研究项目,由谢和平院士领衔的行业协会、科研机构、大学、企业等核心研究团队,对我国地下空间,特别是我国特殊地下空间的开发利用进行了 5 年的研究探索,形成了我国特殊地下空间综合利用的原创成果。

本书的特殊地下空间特指资源和矿物开采后形成的地下空间,尤指煤矿、金属矿等固体矿物开采后形成的地下空间,以及水溶法开采盐岩后形成的地下空间。全书以特殊地下空间开发利用为主线,以提升特殊地下空间综合利用为目标,首次提出了特殊地下空间综合利用的功能定位。在广泛调研我国特殊地下空间容量的基础上,形成了特殊地下空间判识与估算方法,首次绘制了全国生产煤矿井下可利用地下空间分布图、距地级市 50km 以内煤矿井巷可有效利用的地下空间分布图、全国煤矿有序退出井巷可利用地下空间分布图;系统提出了特殊地下空间综合利用的六大基本原则及特殊地下空间开发利用的四大设计理念,创新提出了特殊地下空间开发利用的方向、方式及科学利用的战略构想;首次提出了特殊地下空间多元协同开发理念,阐述了特殊地下空间综合利用关键技术。并结合京西关停矿井实践情况,给出了京西关停矿井特殊地下空间开发利用的典型案例构想。

本书可为行政管理人员、国内外研究机构及行业转型升级决策提供参考。也可作为从事地下空间、岩石力学、采矿工程、安全工程及其相关专业的本科生、研究生、现场工程技术人员参考与使用。

审图号: GS(2018) 1975 号

图书在版编目(CIP)数据

特殊地下空间的开发利用=Development and Utilization of Special Underground Space / 谢和平等著. —北京: 科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-057312-4

I. ①特… II. ①谢… III. ①城市空间-地下建筑物-开发-研究
②城市空间-地下建筑物-综合利用-研究 IV. ①TU984.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第083004号

责任编辑: 李 雪 / 责任校对: 彭 涛
责任印制: 张克忠 / 封面设计: 无极书装

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>

三河市春园印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 5 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018 年 5 月第一次印刷 印张: 18 1/2

字数: 318 000

定价: 160.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介



谢和平，1956年1月出生，湖南双峰人，能源与力学专家，2001年当选为中国工程院院士。深圳大学特聘教授，深圳大学深地科学与绿色能源研究院院长，四川大学原校长、教授、博士生导师。国务院学位委员会委员，中国科学技术协会常委。国家重点研发计划“深部岩体力学与开采理论”项目负责人。

谢和平院士长期致力于采矿工程、矿山工程力学、绿色能源开发利用及深地科学领域的基础研究与工程实践，特别是在破断煤岩体力学研究方面具有突出成果。在我国最早建立矿山裂隙岩体宏观损伤力学模型，开拓了矿山裂隙岩体损伤力学研究新领域。1985年起，创造性地将分形方法引入对裂隙岩体的非连续变形、强度和断裂破坏研究，并与损伤力学结合，在国际上开创了岩石力学分形研究新领域。近年来，在深地科学探索领域，包括深地固体资源流态化开采、中低温地热发电、地下空间开发利用、海水能源化及深地医学等领域提出了创新性理念与构想，并在绿色能源、低碳技术与CO₂矿化及综合利用技术领域进行了深入探索，取得了重要进展。

谢和平院士两次作为首席科学家主持国家重点基础研究发展计划(973计划)项目，担任国家自然科学基金委员会创新研究群体首席科学家。荣获首届中国青年科学家奖(技术科学)、何梁何利科学与技术进步奖(技术科学奖)。作为第一获奖人获国家自然科学奖二等奖、三等奖，国家科学技术进步奖二等奖、三等奖。被英国诺丁汉大学、德国克劳斯塔工业大学、香港理工大学授予“荣誉博士”学位，获牛津大学授予的“牛津大学圣艾德蒙 Fellow”学术称号。

长(可绕赤道 43 圈), 体积达 258.6 亿 m^3 。破解目前矿区传统式、低水平、不可持续的关停并转升级难题, 做到特殊地下空间的科学规划、整体设计和有序利用, 需要创新引领、高端起步, 因此, 我们提出了资源型城市矿区土地资源全新开发理念, 即矿区地面空间主动规划打造绿水青山和集高新科技产业区、“双创”科技城等于一体的高端产业经济带; 矿区地下空间打造地下实验室、地下工厂、地下仓库、地下电站、地下种植、地下停车场、地下清洁能源储能及水电系统等新型经济业态。

目前我国有资源型城市九十多座, 这些城市应主动将矿区的地面土地资源纳入城市整体功能规划, 主动将矿区作为近期、远期的新城区进行规划、建设, 将矿区打造成高新开发区、科技创新中心、“双创”科技城等, 形成新的高端产业经济带。这样, 既充分利用了矿区地面土地(事实上节约了“良田”), 又带动了矿区的高端转型升级。利用矿区得天独厚的地下空间优势, 在矿区地下打造新型地下房地产业, 特别是地下经济适用房、地下图书馆、地下博物馆、地下会议展览中心、地下音乐厅、地下养老院等, 以及深地地热转换与空气循环系统、地下清洁能源(矿井)抽水储能及水电系统、地下水库、立体地下空间的交通网络和通信网络系统等, 形成地下新型经济业态。这样, 既可以避免煤矿采空区被充填造成极大的地下空间浪费, 又可以缓解地面城市发展面临的人口增加、土地紧缺、住房紧张等突出问题。

特别是首都北京, 土地资源寸土寸金, 京西矿区紧邻首都中心城区, 具有得天独厚的地理位置和交通优势, 不仅煤矿开采可追溯到辽代, 承载了 800 年北京工业文明发展史, 而且位于燕山运动地质构造遗产核心区、北京生态涵养区, 其地下空间的开发利用无论是对北京的历史还是现今都具有重要的意义。因此, 我们提出利用京西矿区关停煤矿宝贵的空间资源建立应急管理、安全监管监察、地下生态圈、国家地质公园、矿业遗址主题公园及深地科学研究等高新技术研发和教育培训基地, 结合京西文化、旅游和生态建设, 统筹规划、分步实施、持续建设, 形成高科技和高端人才创新示范区, 形成深地科技创新研发基地, 并为疏解

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

北京城市人口和交通拥堵及市民休闲度假提供新途径。

2012 年 7 月我们发表的《煤炭开采新理念——科学开采与科学产能》一文中提出煤炭的科学开采,对部分煤矿实施关停并转,以淘汰落后产能;2015 年提出地下空间探索构想,特别是特殊地下空间的开发利用研究;2016 年 4 月在中国煤炭工业协会“煤炭转型升级的思考与煤炭革命战略”报告中进一步提出了矿井转型的措施及对策,为国内关停矿井的转型明确了思路;在 2017 年 2 月召开的煤矿废弃矿井转型升级与地下空间综合利用专家咨询会上,系统阐述了地下空间的利用现状与趋势,未来地下城市的规划与建设研究,以及京西废弃矿井地下空间综合利用的构想;在 2017 年 4 月于成都召开的“京西关停矿井空间开发利用总体方案”专家论证会上,为国内其他矿井的转型提供了示范案例;2017 年 7 月发表了题为《关停矿井转型升级战略构想与关键技术》的科技论文,系统阐述了关停矿井资源化转型升级所涉及的关键技术,有望为未来关停矿井的资源化利用、立体式开发和全面转型升级提供解决思路。经过将近 5 年的系统研究,形成了我国特殊地下空间综合利用的原创成果。为了更好地推进关停矿井的转型升级,推动我国特殊地下空间综合利用,进一步推动建立我国特殊地下空间综合利用标准,乃至实现经济转型、引领产业革命,形成我国经济发展新的增长点,全面提升特殊地下空间综合利用的经济、社会、生态综合效益,课题组决定将这些成果以专著的形式进行呈现。

本书以特殊地下空间综合科学利用为主线,以提升特殊地下空间综合利用率为目标,首次提出了特殊地下空间综合利用的功能定位。在广泛调研我国特殊地下空间容量的基础上,提出了特殊地下空间的判识和估算方法,创新提出了特殊地下空间开发利用的战略构想,尤其是特殊地下空间用于前沿科学探索的战略构想。系统提出了特殊地下空间综合利用的六大基本原则及特殊地下空间开发利用的四大设计理念,首次提出了特殊地下空间多元协调开发理念,阐述了特殊地下空间综合利用的关键技术。并结合京西关停矿井的实践情况,给出了京西关停矿井特殊

地下空间开发利用的典型案例构想。

本书共 8 章,第 1 章从煤矿、金属非金属矿、盐矿盐腔三个方面分别总结了资源开采后特殊地下空间综合利用现状,并阐述了特殊地下空间的功能定位和综合利用发展趋势;第 2 章对不同地下资源开采后形成的特殊地下空间特征和可利用判识进行了分析,并估算了我国煤矿、金属非金属矿和盐矿特殊地下空间容量;第 3 章提出了特殊地下空间开发利用构想,从人与特殊地下空间围岩相互作用的视角,分析了围岩对地下空间综合利用适建性的影响规律,论述了工业博物馆、地下疗养院、战略能源与资源储备、地下水库蓄能发电等开发利用方向的围岩适建性;第 4 章介绍了以工业遗产保护和经济、文化、环境等方面共同协调发展为目标的特殊地下空间利用的六大原则,以及安全、和谐、资源开发与特殊地下空间利用协同规划等四大设计理念;第 5 章围绕地下空间开发建设、安全保障、系统运行三个方面论述了特殊地下空间开发利用关键技术;第 6 章提出了特殊地下空间综合利用前沿科学构想,主要从人体行为心理健康、深地科学实验、地下医学与地下农业研究、地下生态城市建设等方面,论述了特殊地下空间构建前沿科学基地的科学探索构想;第 7 章论述了如何将地面资源与地下空间进行一体化联动、渗透与融合,实现对特殊地下空间立体多元协同开发利用;第 8 章给出了一个典型案例,以京西关停矿井为例介绍了特殊地下空间基本情况、内外部优势条件,并结合矿井关停顺序和建设条件提出了合理的开发利用规划目标。

本书各章编写人员具体如下,前言:谢和平、高明忠、周宏伟、刘见中;第 1 章:谢和平、周宏伟、任世华、杨小聪、黄丹、李银平、刘伟;第 2 章:陈佩佩、杨小聪、周宏伟、姜明、崔锋、范志忠;第 3 章:谢和平、高明忠、邓建辉、刘志强、张茹、赵玉栋、刘吉峰、薛东杰、郑璐、赵家巍、李存宝;第 4 章:张安林、刘志强、刘见中、王勇威;第 5 章:刘见中、李玉瑾、刘志强、赵玉栋、范志忠;第 6 章:刘志强、鞠杨、朱建波、徐恒、宋朝阳、赵云、高峰、邓建辉、高明忠、张泽天;

第7章：刘见中、赵路正；第8章：张瑞新、阚兴、周建裕、韩小乾、马汉鹏、丁立明、崔永国、赵玉栋、李学彬、翟盛锐。全书由谢和平、杨小聪、周宏伟、鞠杨、张安林、刘志强、朱建波、崔永国、李学彬、陈佩佩、高明忠、赵路正统稿，谢和平审定。

本项目在研究过程中得到了中国科学院学部咨询评议项目“城市地下空间的开发利用”（编号：B-DX-2017-02）、中国工程院重点咨询研究项目“煤炭绿色开发利用与煤基多元协同清洁能源技术革命”（编号：2016-XZ-036）的资助；本书的出版得到了中国工程院、中国科学院、国家能源局、应急管理部、教育部科学技术委员会地学与资源环境学部、北京市人民政府、中国煤炭科工集团有限公司、深圳大学、四川大学、中国矿业大学（北京）、中国矿业大学、华北科技学院、北京矿冶科技集团有限公司、重庆大学、中国国际能源集团有限公司等单位的大力支持；在资料收集和现场考察过程中，得到了中国煤炭工业协会、中国煤炭学会、中国煤炭地质总局、北京京煤集团有限责任公司、北京昊华能源股份有限公司等单位的支持；王成善院士、钱鸣高院士、谢克昌院士、洪伯潜院士、周世宁院士、宋振骐院士、王国法院士、武强院士、康红普院士、凌文院士、顾大钊院士、董树文教授、赵坚教授等专家在本书研究过程中给予了无私的指导，在此一并表示衷心的感谢。

谢和平

2018年1月

目 录

前言

第 1 章 特殊地下空间开发利用现状分析	1
1.1 国外特殊地下空间开发利用现状	1
1.1.1 煤矿地下空间开发利用现状	1
1.1.2 金属非金属矿地下空间开发利用现状	3
1.1.3 盐矿地下空间开发利用现状	7
1.2 我国特殊地下空间开发利用现状	9
1.2.1 煤矿地下空间开发利用现状	9
1.2.2 金属非金属矿地下空间开发利用现状	15
1.2.3 盐矿地下空间开发利用现状	18
1.3 特殊地下空间开发利用趋势分析	19
1.3.1 利用规模分析	19
1.3.2 利用方式及功能定位分析	19
参考文献	21
第 2 章 特殊地下空间可利用判识分析与估算	23
2.1 特殊地下空间可利用判识分析	23
2.1.1 特殊地下空间类型及特征	23
2.1.2 特殊地下空间可利用判识分析	36
2.2 煤矿可利用地下空间估算	40
2.2.1 煤矿井巷可利用地下空间估算	40
2.2.2 煤矿采空区可利用地下空间估算	67
2.3 其他矿山可利用地下空间估算	76
2.3.1 金属非金属矿可利用地下空间估算	76
2.3.2 盐矿可利用地下空间估算	79
参考文献	81

第3章 特殊地下空间开发利用构想	82
3.1 特殊地下空间岩石特性分析与开发利用	82
3.2 特殊地下高新技术研发示范基地、实训基地	89
3.3 特殊地下空间工业博物馆	91
3.4 特殊地下空间地下疗养院	94
3.5 特殊地下空间战略能源与资源储备	97
3.6 地下矿井水库抽水蓄能发电系统	103
3.6.1 地下矿井水库抽水蓄能发电系统的建设意义	103
3.6.2 抽水蓄能发电技术发展现状	106
3.6.3 地下及废弃矿井抽水蓄能发电现状	110
3.6.4 竖井式蓄能电站	113
3.6.5 建设地下矿井水库抽水蓄能发电系统的关键问题	116
3.7 地下数据分析与控制中心	118
3.8 特殊地下空间生活与工业废料的安全封存	124
3.8.1 特殊地下空间废料的安全封存方法	125
3.8.2 特殊地下空间废料的安全封存技术	127
3.9 井下智能停车库系统	130
参考文献	133
第4章 特殊地下空间利用原则与设计理念	136
4.1 特殊地下空间开发利用的基本原则	136
4.1.1 地面资源与地下空间协同开发利用原则	137
4.1.2 工业遗产保护与空间创新利用和开发协调发展原则	137
4.1.3 特殊地下空间同步构建自循环生态圈原则	137
4.1.4 特殊地下空间系统化立体开发原则	138
4.1.5 特殊地下空间服务于国家战略安全原则	138
4.1.6 特殊地下空间可持续发展原则	138
4.2 特殊地下空间开发利用的设计理念	139
4.2.1 特殊地下空间开发利用本质安全的设计理念	139
4.2.2 以人为本的和谐、文明的设计理念	140
4.2.3 特殊地下空间开发利用的弹性化的设计理念	140
4.2.4 资源开发与特殊地下空间利用协同的设计理念	141

第 5 章 特殊地下空间开发利用关键技术	143
5.1 特殊地下空间建设关键技术	143
5.1.1 特殊地下空间内外部环境安全性检测关键技术	143
5.1.2 特殊地下空间多途径再利用建设关键技术	144
5.1.3 地下空间综合环境要素控制技术	148
5.2 特殊地下空间利用运行管理技术	148
5.2.1 建立特殊地下空间基础地质大数据	148
5.2.2 供电管理技术	149
5.2.3 通风管理技术	150
5.2.4 运输管理技术	150
5.2.5 排水管理技术	150
5.2.6 通信管理技术	150
5.2.7 环境保护管理技术	150
5.3 特殊地下空间利用安全保障关键技术	151
5.3.1 特殊地下空间灾害事故分类	151
5.3.2 特殊地下空间灾变及稳定性动态监测预警平台	152
5.3.3 特殊地下空间安全屋建设	154
5.3.4 特殊地下空间抗震	156
5.3.5 特殊地下空间安全风险评估及应急预警管理机制	160
参考文献	162
第 6 章 特殊地下空间前沿科学探索构想	164
6.1 地下资源利用探索构想	164
6.1.1 矿产资源再利用探索构想	164
6.1.2 水资源再利用探索构想	166
6.1.3 可再生能源储存探索构想	167
6.1.4 地热资源利用探索构想	167
6.2 太空科学模拟探索构想	168
6.2.1 星体环境模拟探索构想	168
6.2.2 宇航员心理试验探索构想	169
6.2.3 太空自生存环境构建探索构想	169
6.3 大科学实验系统探索构想	171

6.3.1	微重力科学实验探索构想	171
6.3.2	现代提升科学试验探索构想	172
6.3.3	弹射火箭发射试验探索构想	176
6.3.4	深地物质科学研究探索构想	176
6.3.5	现代化地下数据储存探索构想	177
6.3.6	现代破岩技术实验探索构想	178
6.3.7	风洞科学试验探索构想	179
6.3.8	现代生物科学实验探索构想	179
6.3.9	深地空间科学观测探索构想	180
6.4	特殊地下空间医学科学探索构想	181
6.4.1	地下医学科学实验探索构想	181
6.4.2	地下医学的研究方向	182
6.5	特殊地下空间心理学科学探索构想	184
6.5.1	光环境与行为心理健康科学探索构想	184
6.5.2	声环境与行为心理健康科学探索构想	184
6.5.3	热环境与行为心理健康科学探索构想	185
6.5.4	空气环境与行为心理健康科学探索构想	186
6.5.5	心理环境与行为心理健康科学探索构想	186
6.5.6	其他科学探索构想	187
6.6	特殊地下空间农业发展探索构想	187
6.6.1	特殊地下空间农业利用现状	187
6.6.2	地下农业生产要素评价	188
6.6.3	地下种植、养殖关键技术探索构想	189
6.6.4	地下智慧农业生产系统探索构想	190
6.6.5	地下农业生态系统共性科学问题探究	190
6.7	特殊地下空间生态城市探索构想	191
6.7.1	地下生态城市示范区	192
6.7.2	地下生态景观	193
6.7.3	地下井筒式停车库	194
6.7.4	矿井抽水蓄能发电设施	195
6.7.5	地下医学和地下疗养院	196
6.7.6	地下农业种植区	197

参考文献	198
第 7 章 特殊地下空间立体多元协同开发利用构想	200
7.1 地面地下一体化空间开发利用构想	200
7.1.1 地面地下一体化科学开发思路	200
7.1.2 地下空间利用与地面建筑一体化构想	202
7.1.3 地下智能停车场(库)与地面空间一体化构想	202
7.1.4 地下空间利用和绿地生态一体化构想	202
7.1.5 地下空间利用与交通一体化构想	202
7.1.6 地下空间利用与商业街区一体化构想	203
7.2 资源型城市转型发展空间综合利用构想	203
7.2.1 空间功能利用构想	203
7.2.2 资源利用构想	204
7.3 矿区特色小镇发展建设构想	205
参考文献	208
第 8 章 京西关停矿井开发利用规划案例	209
8.1 京西矿区关停矿井地面地下空间基本情况	209
8.1.1 京西矿区关停矿井现状和可利用空间	211
8.1.2 京西矿区关停矿井开发利用内外部优势条件	216
8.2 京西矿区关停矿井开发利用规划	224
8.2.1 京西矿区关停矿井开发利用总体目标	224
8.2.2 京西矿区关停矿井开发利用基本原则与技术路线	226
8.2.3 京西矿区关停矿井开发利用工程	229
8.3 《国家灾害预控与应急处置技术研发实训基地(Ⅰ期)建设 方案》	242
8.3.1 研发实训基地(Ⅰ期)功能定位	242
8.3.2 研发实训基地(Ⅰ期)建设内容与布局	243
8.3.3 典型灾害预控与应急处置技术科研平台建设	245
8.3.4 应急管理与安全监管干部实训系统建设	265
8.3.5 应急管理与安全监管实习实践体系建设	270
8.3.6 工程进展	276
参考文献	279

第 1 章 特殊地下空间开发利用现状分析

世界上有数量庞大的关停、废弃矿井，包括煤矿、金属非金属矿、盐矿等，对这些废弃矿井的特殊地下空间加以综合利用，既能避免现有地下空间的浪费，又能节省构建地下空间的建设费用。本章将简要综述特殊地下空间国内外开发利用现状，从煤矿、金属非金属矿、盐矿三个方面分别总结资源开采后特殊地下空间综合利用情况，并进一步阐述了特殊地下空间的功能定位和综合利用发展趋势。

1.1 国外特殊地下空间开发利用现状分析

1.1.1 煤矿地下空间开发利用现状

早在 20 世纪中期，国外就开始探索煤矿地下空间开发利用，发展了多种再利用途径，典型案例主要集中在德国、芬兰、荷兰、美国等国家(谢和平等，2017a)。

1. 工业旅游景区

德国鲁尔矿区曾是欧洲最大的工业区，为第二次世界大战后联邦德国的“经济奇迹”做出巨大贡献。20 世纪中期，鲁尔区的经济持续衰退，大批煤钢企业相继破产，更面临严重的人口外迁和环境污染问题。为实现转型发展，鲁尔区对具备一定价值的废弃工业场地和设施采取的是工业遗产保护和再利用的策略，其目的在于保护和传承该地区繁荣时期的工业文化，同时以工业遗产带动旅游资源开发，将工业遗产保护和再利用作为鲁尔区转型的一个方面。

鲁尔区系统地制定了自称“工业文化之路”的区域性旅游规划。例如，针对工业区典型的埃森煤矿，政府并没有拆除占地广阔的厂房

和煤矿设备，而是买下全部的工矿设备，使煤矿工业区的结构完整地保留下来，将原来的煤铁工厂变身为煤矿博物馆、展览馆、工业设计园等（图 1-1、图 1-2），2001 年埃森煤矿被联合国教育、科学及文化组织列为世界文化遗产之一。



图 1-1 原锅炉房改造的博物馆外观



图 1-2 煤矿炼焦厂改造的小餐厅内景

除鲁尔区外，德国下西里西亚上劳西茨县从邻近地区的河流里抽水注入废矿坑，把废矿区变成一个总面积约 70km^2 的湖泊群，并开发形成以生态和工业文化为主题的旅游景点。芬兰奥陶克恩普市利用废弃矿井建立了地下矿井博物馆和地下儿童乐园，实地表演采矿作业，展示采矿器具。

2. 地热发电站

荷兰海尔伦市面对几处大型煤矿关闭后形成的若干塌陷区问题，提出了充分开发利用废弃矿井地热资源的构想，计划投资 5 处废弃矿井通道，深度为 $250\sim 700\text{m}$ ，用于建设新型地热发电站。当地政府与韦勒住房协会合作，历时两年建成了第一座地热发电站，并于 2008 年 10 月正式投入运行。

这座新型发电站利用废弃矿井通道从地下 800m 深处泵出热水，产生蒸汽，推动涡轮机转动使发电机产生电能。此外，发电站还用新建管

道把热水输往附近 300 多处民宅、商店、图书馆和大型办公楼以调节室温，待水冷却后再输回矿井深处以循环加热(图 1-3)。

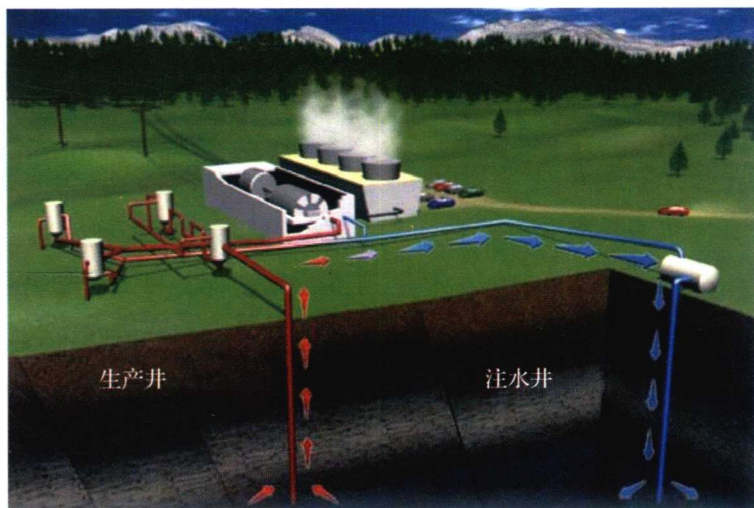


图 1-3 地热开发利用示意图

据研究人员估算,这座新型地热发电站与传统火力发电站相比, CO_2 排放量可以减少 55%。研究人员正在加紧开发碳捕获及储存技术,希望能把该发电站排放的 CO_2 加工成液态,并泵入其他废旧矿井封存,以实现 CO_2 零排放。随着这座新型发电站的落成,不仅当地居民可以享受到价格适中的能源供应,而且当地的环境污染也得到了显著改善。

3. 地下抽水蓄能发电站

国外在地下抽水蓄能发电站的研究上已经有一些项目处于计划阶段,其中德国鲁尔区对即将废弃的一处煤矿进行了建造半地下抽水蓄能发电站的可行性研究,研究中计划利用其中一个深度为 971~1008m,储水量为 $450000 \sim 750000 \text{m}^3$ 的巷道,建立一个功率为 300MW 的抽水蓄能发电站。

1.1.2 金属非金属矿地下空间开发利用现状

随着矿山资源的开发利用,金属非金属矿山形成了大量闲置的地下

空间(采空区、硐室、巷道等)。如果维护保养不及时或一旦闭坑,受技术、安全、经济等因素的影响,这些地下空间再利用的效率和可能性极低,造成地下空间的浪费。将金属非金属矿山地下空间因地制宜地加以改造利用,是目前许多矿业大国进行地下空间开发利用和推进矿域经济可持续发展的重要途径。

随着社会经济的发展,矿山地下空间开发利用将社会效益、经济效益、环境效益高度统一,需求日益强烈。由于金属非金属矿山地下空间密闭程度高、屏蔽性好、环境稳定、岩体强度高、存在势差及具备良好的工程基础,多年来矿业发达国家对地下空间开发利用进行了长期有效的探索应用,如改造为博物馆、展览馆,进行旅游开发,储存液体燃料、武器、农副产品,堆存工业废料,建造研究中心、档案馆,培植养殖等。

1. 博物馆、地下旅游和文娱活动

结合金属非金属矿山自身资源开发的历史和特点,可以将金属非金属矿山地下空间打造成矿山博物馆和文教科普场景,也可以将其建设文娱或专用展览馆,进行旅游开发和文化教育。南非约翰内斯堡的黄金矿城,游客可搭乘缆车深入地下 220m 的矿坑,参观并亲身体会昔日黄金开采的经历,同时也可以观赏原始部落的舞蹈表演和铸金过程;英国诺福克地区著名的格兰姆斯格雷福斯燧石矿,集游览、考古与资源开发于一体为世人所知;英国康沃尔郡利用废旧黏土大矿坑建造了世界上最大的植物温室展览馆,种植来自世界各地不同气候条件下的数万种植物(郑敏和赵军伟,2003)。

2. 工业垃圾及生活垃圾填埋

将矿山自产或附近城市的废料、生活垃圾、工业废渣等埋藏到井下,既能处理采空区,保护采空区上部的地表环境,又能节省大量土地,在节约耕地、保护环境和控制采空区安全风险、高效利用地下空间等方面具有现实而重大的意义。部分井下废弃空间经过加固处理,防水、防火