

矿区及建筑基坑 疏干手册

[苏]И.К.斯坦琴科 主编 胡丹九 译

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本手册叙述了矿井和露天建设及开采期间岩石疏干有关的各种问题。介绍了巷道、露天、建筑基坑、坑内和坑外矸石堆疏干方式、阶段和系统。描述了疏水设施和设备的结构、钻进设备、排水设备。讨论了环境保护等问题。

本手册由30多位疏干专业的学者和工程师编写，经全苏疏干托拉斯评定。本手册是苏联30多年来矿区及建筑基坑疏干实践的全面最新总结。

本手册供矿业和建筑业工程技术人员使用。

责任编辑：马 淑 敏

И.К.Станченко
СПРАВОЧНИК ПО ОСУШЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД
Москва "Недра" 1984

*
矿 区 及 建 筑 基 坑 疏 干 手 册

〔苏〕И.К.斯坦琴科 主编

胡 丹 九 译

*
煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平里北街21号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*
开本787×1092mm^{1/32} 印张14^{5/8}

字数322 千字 印数1—1,400

1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷

ISBN 7-5020-0436-X/TD·396

书号 3217

定价 6.00元

译 者 的 话

各种露天矿或矿井的建设与开采、水工构筑物和隧道的建筑实践表明，在很多情况下，地下水会使采掘与施工复杂化。地下水会使露天边坡、基坑、地下巷道与构筑物的稳定性降低，导致变形；采掘、施工与运输设备效率大幅度降低；有时使生产停顿；使凿岩爆破工作复杂；在某些情况下，矿产水分增多，以致难于处理。为消除地下水的消极影响，通用的方法是，对矿区、基坑与工业广场正确地、有计划地进行疏干。为了引水、抽排与疏导地下水，要广泛采取多种措施与方式，采用多种机械设备，进行大量工程。

开发水文地质与工程地质条件复杂的矿床，建设水工与运输构筑物的经验表明，现代的降低水位工艺与设备能有效地防止地下水的危害，并保证在水文地质条件复杂的地区安全采掘与建筑。

苏联在这方面已经积累了30多年的知识与经验，曾在大量出版物与著作中介绍过。本译文是苏联出版的第一本矿区疏干专门手册，是一本综合性、系统性著作，在介绍疏干新技术与工艺，提高施工技术水平，减少降低水位费用等方面，都将起积极作用。

根据我国的科学技术发展的具体情况，考虑到我国的矿区及建筑基坑疏干的实际需要，译者对原著进行了节译，删去了原著中第1章、第2章、第18章、第19章、第24章以及33个插图。

目 录

译者的话

第 1 章 固体矿产地疏干与开采地质现象	1
1.1 固体矿床开发时地下水的意义与矿床疏干	1
1.2 矿床开采形成的开采地质现象	3
1.3 矿区疏干要求	8
第 2 章 建筑基坑、井田及露天矿田疏干方式	11
2.1 防止地下水涌入井坑的方式和设备一般特征	11
2.2 建筑基坑、井田及露天矿田疏干方式	17
2.3 疏干方式选择因素	21
2.4 疏干阶段	21
2.5 适用于井田及露天矿田疏干的矿产地水文地质分类	22
第 3 章 地下巷道、露天及建筑基坑疏干系统	29
3.1 总则	29
3.2 井筒开凿疏干系统	37
3.3 井田及露天矿田疏干系统	48
第 4 章 疏水系统设计水文地质计算	62
4.1 总则 疏水系统水文地质计算任务与方法	62
4.2 巷道涌水量的确定	63
4.3 在均质含水层中单孔及相互干扰孔计算	68
4.4 多层状含水层中降低水位孔水文地质计算方法	79
4.5 在均质和多层状含水层中钻孔不完整性计算	90
4.6 裂隙岩层中降低水位孔水文地质计算特点	96
第 5 章 矿区疏干渗流模拟试验	129

5.1	总则	129
5.2	构制渗透模型基本原则	132
5.3	用模拟数学模型求解正演和反演渗流问题	132
5.4	渗流过程数字模拟方法	136
第 6 章	疏干地区水文地质观测	139
6.1	井田、露天矿田或基坑的水文地质与 工程地质调查	139
6.2	地表水动态观测	140
6.3	地下水动态观测	141
6.4	露天(基坑)、井筒和地下巷道直接观测	143
6.5	水体环境保护观测	144
第 7 章	工业广场疏水	146
7.1	概述	146
7.2	工业广场预防潜水充水方式	151
第 8 章	疏水设施结构和计算 钻孔启用试验	180
8.1	疏水设施类型和用途	180
8.2	疏水钻孔结构的选择与计算	184
8.3	疏水设施加固	187
8.4	疏水设施进水部分	189
8.5	钻孔启用试验	196
8.6	厂房及工业广场水平疏水系统的结构和计算	198
第 9 章	疏水设施效率提高方式和设备	211
9.1	影响疏水设施效率的主要因素	211
9.2	疏水设施淤化的水力预测	212
9.3	强化取水方法	213
9.4	疏水设施中防止沉淀措施	243
第 10 章	矸石堆疏干	247
10.1	概述	247
10.2	预防坑内矸石堆充水	249

10.3	坑外矸石堆防护	257
第11章	反渗透帷幕	259
11.1	概述	259
11.2	防阻地下水流入矿区的反渗透帷幕基本布置型式	260
11.3	反渗透帷幕类型和构筑方式	260
11.4	槽沟式反渗透帷幕构筑设备	262
11.5	槽沟式反渗透帷幕填充料	270
11.6	反渗透帷幕水文地质计算	272
11.7	采用反渗透帷幕条件下的疏干计算	280
11.8	反渗透帷幕应用实例	285
第12章	岩石疏干用孔内抽水设备及其它工具	287
12.1	概述	287
12.2	冲洗钻孔设备	287
12.3	潜水泵	296
12.4	离心式深井泵	300
12.5	深孔真空降低水位用针状过滤设备	302
12.6	井下工作面降低水位用针状过滤设备	325
12.7	岩石疏干设备操作主要说明	327
12.8	其它国家生产的降低水位设备概况	335
第13章	露天矿排水 疏出水排放和排水设备	344
13.1	露天明沟排水能力计算	345
13.2	露天排水卧式沉砂池计算	350
13.3	排水道水力学计算	351
13.4	抽水设备	359
第14章	钻进降低水位孔用钻探设备及 主要钻进工艺	361
14.1	引言	361
14.2	地面反作用涡轮钻进装置	361
14.3	直径小于1m的钻孔钻进设备	366

14.4	钻进方式和岩石切削工具	372
14.5	钻进工艺	375
14.6	洗孔方式及冲洗液	376
14.7	地下巷道疏水孔施工技术与工艺	379
14.8	露天边帮水平疏水孔施工技术与工艺	385
第15章	矿产地精查阶段论证疏干设计的水文地质勘查	392
15.1	水文地质勘查主要任务	392
15.2	勘查内容及一般程序	392
15.3	矿产地水文地质结构研究	396
15.4	试验测定的主要渗透参数	401
15.5	水文地质试验种类与方法	404
15.6	用长期动态观测研究水位动态、含水层补给与排泄条件	411
第16章	矿区疏干设计	419
16.1	总则	419
16.2	矿区疏干方式和系统的合理选择与论证	421
16.3	水文地质计算	426
16.4	疏干系统最优化	427
16.5	地下水合理利用	432
16.6	矿区疏干引起的岩石沉陷预测	433
第17章	岩石疏干技术经济指标	435
17.1	排出水量	435
17.2	疏水构筑物技术经济指标	436
17.3	疏干工程造价	439
第18章	矿区开发与疏干期间地下水保护	441
18.1	矿山工程对环境的影响	441
18.2	地下水污染扩展过程预测	442
18.3	地下水在裂隙-孔隙介质中渗透时天然净化	443

18.4	物质迁移参数确定方法	445
18.5	研究地下水保护问题的水文地球物理勘探	446
18.6	相对纯洁疏出水与矿坑水的质量评价	448
18.7	相对纯洁疏出水及矿坑水的合理利用	449
18.8	疏出水和矿坑水的排放	451
18.9	矿区水资源保护方法	454

第1章 固体矿产地疏干 与开采地质现象

1.1 固体矿床开发时地下水的意义与矿床疏干

开发矿床，修建水工构筑物和隧道，地下水起巨大作用。地下水是一种消极的自然因素，阻碍开采和运输设备协调工作，使采掘与施工复杂化。

地下水一般会导致形成有害的开采地质现象，使矿石与矸石水分增多。开采地质现象能使开采与运输停顿，或难于施工，要增加倒堆费用，使矿产开采不合理，同时松散的充水岩石难于倒堆，在行驶设备部件下部，这些岩石会因触变而液化。矿石水分增多，明显地降低生产效率，矿石和矸石运输困难，或加大运输费用，尤其是在冬季，还难于分选，降低高炉、电站效率。要开发充水矿产地，必须在井田或露天矿田布置大量的疏干工程。及时疏干矿井或露天岩石，可以防止形成有害的开采地质现象，提高采掘机械与运输工具效率，把商品矿石水分降低到要求的标准，保证采掘企业正常地、有利地生产。许多充水矿产地开发经验表明，疏干工程是一项很复杂、很繁重的工序。疏干应在建矿与采掘前预先进行，使采掘工作面处于干燥状态。

疏干，或称降低水位，是一项复杂的工程，要求具备专门的知识与训练。露天矿田、井田、基坑的疏干系统应与所采用的采掘方法、建筑方法密切联系，保证采掘、运输设备

在正常与安全条件下工作，井巷稳定，矿产水分减少。疏干系统应是最佳的，要根据经济核算从多个可能方案中选取；通过分析首期降低水位工程的效果，修改原先的设计。制定疏干措施的依据是：计划疏干岩体的渗流计算及可靠的原始渗流参数。要采用新式高效疏水设备。降低水位应预先考虑地下水保护问题，要防止地下水枯竭与污染，合理利用疏出的水。

在最近20~25年，降低水位技术与工艺有很大的发展。为设计降低水位系统，广泛采用了现代水文地质计算方法，利用了模拟模型与数学模型；采用了反循环钻进降低水位孔方法，这种方法效率高，能保证最大限度地抽取需疏干含水层的水；采用了可靠的潜水电泵；发展了井下疏水孔仰向钻进技术与工艺，其深度可达150m；发展了露天渗透边坡横向疏水孔钻进技术与工艺，等等。

为了防阻地下水流入基坑，开始采用了反渗透帷幕。此外，防阻地下水流入矿井或基坑，有时要采用耗费昂贵、施工繁重的方法；由于疏干效果不好，出现事故，产量遭受损失。因为某些原因，降低水位技术落后于现代技术水平。有些矿修建疏干系统的基建费用占矿山总投资20%，达3~4千万卢布。疏干费用达矿产成本的10~15%。

今后矿山采掘工业与建设的发展，与下述因素有关：要开发水文地质条件更复杂的新矿床；随着露天的延深，要把露天开采转变为井工开采。在这些条件下，岩体疏干问题更具重大意义，矿床开采的可能性取决于能否有效地解决这一课题。

疏干基建费用比重，很大程度上取决于矿区水文地质研究程度，所采用的疏干方式与工艺。因此，在矿区所有开发

阶段：勘探、设计、建矿与开采期间，都要高质量地研究矿床水文地质条件。同时应遵循连续性、适应性和反馈等原则。采用上述原则，就有可能根据建矿与开采阶段收集的巷道充水条件、开采时伴生的开采地质现象等实际资料，及时修正勘探阶段获得的矿床水文地质条件方面的初步认识。

1.2 矿床开采形成的开采地质现象

露天和井工开采矿床会破坏岩体的自然环境，导致形成某种开采地质现象，使采掘困难。开采地质现象最主要的特征是，这些现象不仅与天然地质条件有联系，还与开采因素有关。

表1.1列出了矿床开采形成的主要开采地质现象及其形成因素。

岩层移动——在采矿影响下，岩体平衡状态破坏，岩石产生位移与变形。如果岩石断裂与破坏，与岩体分开成为多个岩块，这种岩层移动称为冒落或崩落。

塌落——岩石或矿层局部向巷道下沉，并与岩体分开。塌穹是指由于塌落在巷道顶部形成天然穹拱。

冲击地压——巷道中大量岩石瞬时毁灭性喷出，并伴随有特别尖锐的声音和周围岩体震动。冲击地压的形成原因是，弹性变形的位能瞬时转变为动能。

煤和瓦斯突出——巷道附近饱和瓦斯的煤层的应力状态迅速变化而形成的一种动力现象，它伴随有煤层部分或全部破坏，瓦斯猛烈泄出，形成悬浮在瓦斯中的煤流。

岩石胀鼓——巷道底板或两帮岩石缓慢膨胀。

流砂——在一定的水动压力条件下疏松砂类岩石形成大的移动(流动)。可区分出真流砂(含有亲水胶体的砂)和假

矿床开采形成的主要开采地质现象及其形成因素 表1.1

岩石特征	开采地质现象	形成因素
井 工 开 采		
坚硬、中硬岩和风化程度不等的结晶岩	断裂、塌落、塌穹、冒落 煤和瓦斯突出、冲击地压、崩出 粘土从冒落带挤入巷道 地下水突出，同时携出粘土 岩溶活化 冻结岩层融化后变形(永久冻土带) 岩层移动	岩体中有片理、层理、破碎带、揉皱带、裂隙，大爆破 矿山压力大，岩体应力状态变化迅速 大气降水聚集在冒落带，由于开采深度大，静压水头也大 存在大构造裂隙、断层、破碎带及充填有次生疏松物质的大岩溶孔洞 由于侵蚀基准面变化，岩石淋溶加强 温度动态变化 回采时岩石平衡状态破坏
砂质粘土类岩石	粘土层减压压实及地表下沉 地下水突出 潜蚀 出现流砂 胀鼓，膨胀后隆起 冻结岩层融化后变形(永久冻土带) 岩层移动	降低水位过程中含水层静水压降低 存在断层和大构造裂隙、破碎带和大岩溶孔洞，矿井附近有淹没巷道 地下水水头梯度超过临界值 含有亲水胶体，水动压梯度大 岩石附加浸湿后疏松 温度动态变化 回采时岩石平衡状态破坏
露 天 开 采		
坚硬、中硬岩、风化程度不等的结晶岩	滑坡	有方向不利的(倾向采空区)削弱面，岩石裂隙强烈发育，大规模爆破产生动荷载，地下水壅高及薄弱带粘土类岩石疏松

续表

岩石特征	开采地质现象	形成因素
坚硬、中硬岩、风化程度不等的结晶岩	形成开裂、塌落、崩塌	岩体中存在片理、层理、断层，这些薄弱面倾向开采方向，大规模爆破
	形成冒落带 泻流	矿产井工开采影响露天矿坑下水平 岩石天然裂隙强烈发育，大规模爆破和来往车辆形成动荷载，台阶边坡没有清理
	露天突水	露天附近有大岩溶孔洞、淹没巷道、地表水体及河流、构造断裂
	冻结岩层融化后变形(永久冻土带) 岩溶活化	温度动态变化 侵蚀基准面变化导致岩石淋溶
砂类、粘土类和砂质粘土类岩石	崩落 泻流	边坡角过大，有削弱面 下列风化营力作用：水、风、温度动态、日照；裂隙发育（粘土岩）
	沉陷 侵蚀性冲刷	多孔隙崩解类岩石被水饱和 台阶及露天矿坑附近的暴雨及没有疏导的地表径流
	机械潜蚀、滑溜、渗透冲蚀	流向矿坑的渗流作用
	液化	岩石过度浸湿，爆破和运输的动力荷载
	漫流 滑坡	边坡渗出的地下水作用 边坡基底有塑性粘土层，层间有弱接触面；底帮有承压水和粘土层，切割这些层的接触面，粘土层充水；基岩斜坡的覆盖层表面没有布设排泄雨水和融雪水的沟渠；渗水层和崩解层滑溜，冲蚀时边坡“刨刮”
	冻结岩层融化时变形（永冻带）	温度动态变化

续表

岩石特征	开采地质现象	形成因素
矸石	沉陷 滑溜 滑坡	松散矸石浸湿 粉粒岩石和粘土岩石饱含雨水和融雪水 矸石堆岩石软弱，岩石附加浸湿，特别是在矸石堆基底；基底岩石软弱并充水；基底岩石倾斜，成层状

流砂（不含胶体颗粒的砂）两类。前者在极小的水头梯度条件下便可变成流动状态，其流动性质稳定；后者要在水头梯度很大的情况下才成为流动状态，其中的水易于排出，在水排出以后便不具流动性质。

潜蚀——地下水把岩石中的细小颗粒以机械方式携出。机械潜蚀的指标是临界冲刷速度。

地下水突出——地下水从构造裂隙、断裂、破碎带、裂隙强烈发育带、岩溶孔洞以及顶部水体突然集中涌入巷道，其流量有可能使采区或整个矿井（露天）淹没。

岩溶活化——在巷道经常排水影响下可溶岩石的淋溶作用加强。

膨胀后隆起——粘土岩石减荷后孔隙度增大。

岩石冻结与融化变形——在地温因素影响下岩石的形态、体积和力学性质产生变化。

滑坡——在重力影响下岩石沿露天边坡滑移。

崩塌——由于倾斜及对下部台阶冲击，在边坡或露天矿帮的台阶出现的一种崩落现象，一般是突然形成，并伴随有断开的岩体倾覆及破碎。

泻流——岩石物理风化及破碎产物沿露天边坡突然移动。

边坡侵蚀——大气降水或工程用水，以及流进露天的地下水长期流动致使露天帮的边坡岩石遭受破坏。

崩落——岩石出露后脱离岩体的现象。

开裂——由于成组钻孔爆破，在上部台阶平盘平行钻孔排列线形成的张开裂隙。在清理采掘物时，这种裂隙促使台阶上部岩石突然滑动。

滑溜——薄层疏松岩石，因被融雪水、雨水或潜水过渡饱和，沿台阶边坡溜动。

漫流——泡软的土（粘土）沿水平表面成薄层散开流动的性质。

液化——细分散触变土，在机械作用下，例如振动，从凝胶状态转变成溶胶或悬浮液的能力。

渗透冲蚀——在台阶边坡基底，地下水从天然裂隙发育的弱胶结砂岩中携出砂粒的作用。这种冲蚀会在台阶平盘及地面形成一些长的地下管道和塌陷漏斗。

断口——在巷道揭穿的岩石中，由于岩体应力状态变化和凿岩爆破形成的裂隙。

沉陷——大孔隙岩石，在附加浸湿作用下没有在其上增加外部荷载而形成的变形。

研石堆岩石沉陷——由于浸湿和物体的附加外部荷重，上覆岩石的压实。

粘土层减压压实——静水压降低和孔隙水压出流入砂层后，粘土岩石的压实。粘土层减压压实会使地面下沉。

1.3 矿区疏干要求

开采充水矿床时，采掘区段疏干的必要性，或者说技术与经济合理性，取决于下列自然因素和开采技术因素的组合：地质结构、工程地质与水文地质条件；矿床开拓方法与工艺过程、开采方法；矿井、露天建设期限和矿床全面回采期限。其中起决定作用的是工程地质和水文地质条件。

在坚硬和稳定岩石中，即或涌水量大，如米尔加利姆萨伊矿井，涌水量 $2.0 \sim 2.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{h}$ ，排水费用大，在大多数情况下仍采用水泵设备安置在巷道中的地下排水方法掘凿巷道。如果涌水量很大，使采掘困难，就要采用疏干或其它特殊方法。

在疏松、不稳定、充水岩石中掘凿巷道，即或涌水量小 ($5 \sim 10 \text{m}^3/\text{h}$)，例如莫斯科近郊煤田某些矿井、尼尔波尔锰矿井，不采用疏干措施或其它特殊方式是不可能的，虽然这样会使矿井建设费用昂贵，投产日期延迟。

当采用露天方式开采，矿产地充水量也会给煤和金属矿区建设与开采造成大的困难。

前节介绍了露天开采形成的最典型开采地质现象。类似现象也在井工开采时形成。

充水矿床的开采方法也起大的作用。采用井工开采，有时不必全部疏干矿体顶部所有岩层；而用露天开采，就必须疏干开采层上部所有岩层，这决定了采掘工艺过程。

开发巨型矿床，其疏干方式独特。

矿井排水和从疏水系统抽水形成的地下水位降低，不仅出现在矿区范围内，而且扩展到矿区以外较远的距离，降落漏斗半径常达几十千米。

在类似的条件下，从疏干角度看，最有效的方式是同时开发整个矿区。但是，由于许多原因局限，这样开发可能比逐步开发困难。

另一方面，降落漏斗大范围扩展会导致含水层枯竭，影响居民区和工业企业饮用水及工程用水水源。应在设计中最合理地解决这一问题。

在一些情况下，当矿床邻近地表水体或巷道涌水量很大，可采用反渗透帷幕。

研究与观测（尤其是一些国家实践）表明，在很多情况下，采用反渗透帷幕防护巷道，阻隔地下水、河水和河床下的水流，在经济上是合理的，技术上是可能的。

井工或露天开采时，为制止巷道突水和突砂，并进行封堵，要耗费大量时间与资金。救灾工作包括：排水，清除巷道淤泥、淤砂，修复支护，使排水系统、挖泥机、运输线路、输电网路等正常运转。

疏干应满足下述要求：

在井下巷道与露天矿坑形成安全采掘条件，有利于施工的环境，能使用高效采掘机械和提高工人劳动生产率；

预防矿井巷道出现各种灾害性事故，如淹井、崩塌、突泥砂、破坏排水系统；

预防设备堵塞、被水淹没和侵蚀；

保护矿产，即矿产免受矿床充水损失；保护自然和环境。

井工开采矿床时，疏干应能：

及时降低地下水位或疏干使巷道充水的含水层，截断流进冒落带的地下水。

露天开采矿床时，疏干应能：