

采矿工程手册

美国采矿工程师协会 A.B.卡明斯 I.A.吉文
冶金工业出版社

- 1 法规、地质及岩体工程
- 2 采矿方法与地下开采
- 3 岩层控制、地下运输、提升及通风
- 4 露天开采、环境保护及地表运输
- 5 特殊采矿方法
- 6 测量、动力、维修、供应及选矿
- 7 系统工程、矿山管理及咨询

内 容 提 要

《采矿工程手册》是根据1973年美国采矿工程协会编辑出版的《Mining Engineering Handbook》一书翻译的。中文译本分七个分册陆续出版。本册为第四分册——露天开采、环境保护及地表运输。

本书共有三章，内容包括：露天开采方法及设备；地表运输和储场；矿山环境保护的规划与设计。

本书可供从事矿山工作的工程技术人员及大专院校师生参考。

采 矿 工 程 手 册

第四分册

露天开采、环境保护及地表运输

美国采矿工程师协会 A.B. 卡明斯
I.A. 吉文

《采矿工程手册》翻译组 译

常林彝 审校

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 13 1/4 字数 352 千字

1981年6月第一版 1981年6月第一次印刷

印数 00,001~4,500 册

统一书号：15062·3682 定价 1.70 元

目 录

第十七章 露天开采方法及设备	1
17-1 露天开采的现状和远景	1
17-2 露天矿和采石场的规划和工程设计	9
17-3 挖掘与装载	46
17-4 生产方法和经济	99
17-5 露天采煤	184
17-6 砂矿开采	224
17-7 北极的开采问题	256
第十八章 地表运输和储场	261
18-1 铁路	261
18-2 汽车运输	282
18-3 皮带运输机	306
18-4 矿浆管道	327
18-5 其他系统	339
18-6 转运站和储场	358
第十九章 矿山环境保护的规划与设计	384
19-1 环境问题及其尺度	384
19-2 环境保护成本分析	385
19-3 矿区环保的预先规划	388
19-4 资源勘探与回收时的环境保护	389
19-5 开采后的采区复田	398
19-6 援助计划	405
19-7 采矿、土地保护和法律	408

第十七章 露天开采方法及设备

责任编辑 E.P.弗莱德

17-1 露天开采的现状和远景

P.T.奥尔斯曼和P.F.约普斯

17-1-1 现状

露天开采的历史，实际上就是煤、铜、铁、铝等矿石的开采史，也是金、锡等砂矿床和粘土、石膏、磷酸岩、砂、卵石、料石的开采史。表17-1是1969年全世界和美国的金属原矿、非金属原矿和原煤的生产量估算数字，表中相应列出露天开采的估算产量。在100亿吨的开采总量中，有2/3是用露天方法采出的，其中露天采出的煤约占1/3，金属矿石占57%，粘土、料石、砂和卵石几乎占100%。

表 17-1 1969年全世界和美国的金属原矿、非金属原矿和原煤的露天开采产量^①（百万短吨）

	全 世 界			美 国			总量中美国占全世界的百分率，%
	总 量	露天开采	%	总量	露天开采	%	
金属矿石	2100	1200	57	540	455	84	26
非金属矿石 ^②	1500	1200	80	220	181	82	15
粘土、料石、砂和卵石	3300	3300	100	1861	1820	98	56
煤	3200	1100	34	582	202	35	18
总量和百分数	10000	6800	68	3203	2658	83	32

① 数字取自美国矿业局。全世界产量一栏中，金属矿石、非金属矿石和煤产量的基本数据不够精确，因为缺乏某些共产主义国家的数字，但这些估算数字还是可信的。粘土、料石、砂和卵石一栏的某些统计数，也缺乏许多国家及很多共产主义国家的数字。然而，从总体上说，本表还是说明了露天开采在世界上的重要地位。

② 表示扣除粘土、料石、砂和卵石。

美国露天开采的生产大致和全世界一样，唯独一项例外，即：美国有90%左右的铜矿石和铁矿石是由露天矿采出，而其它国家的露天开采铜矿石仅占1/2左右。加拿大的阿萨巴沙沥青砂矿床的露天开采，更是现代独一无二的大型工程。

露天采煤时要剥离大量废石，露天开采金属矿石时剥离量也不少，但非金属露天矿和采石场的剥采比一般较小。假如用美国露天开采的剥采比来计算全世界的生产量，那么估计全世界每年相应要用露天方法采出300亿吨以上的废石，即总量达400亿短吨的矿岩。这个数据不一定确实，因为美国以外的废石剥离量是推断的。但它还是表示了值得注意的露天开采量的规模。

1970年美国金属原矿、非金属原矿和原煤开采总量中，有83%是从露天矿采出，其中金属矿石占85%、非金属矿石占96%、原煤占40%。在露天矿采出的金属矿石中，90%是铜、铁矿，而露采的非金属矿石中98%是粘土、磷盐岩、砂、卵石和料石。连同煤在内，它们共占美国1970年矿物和固体燃料露采总量的96%。由于这种产量上的优势，对这些矿产品的技术经济现状、发展趋向和未来远景的分析，也几乎适用于整个露天采掘工业的各个部门。至于世界各国的锡、金、重矿砂的砂矿床开采，拟从全世界角度单独阐述，因为在露天开采方法中挖掘船工艺独树一帜，而且其挖掘数量是巨大的，但缺乏具体资料。

17-1-2 产量、质量和生产率的发展趋向

一些因素清楚地反映了露天开采的技术经济发展趋向，其中有：产量不断增加、开采重点从地下转向露天、某些原矿的品位和质量下降、以及绝大部分的劳动生产率都得到提高。产量的不断增加，是由于人口的增长和单位人口消耗量的增加，从而要求有更多的矿产品。幸好，即使矿床的品位质量不断下降，但由于露天开采技术迅速改善，生产率还是有所提高。这种变化，使得许多过去被认为没有经济价值而又埋藏较浅的矿床，在高品位富矿资源不能满足日益增长需要的时刻而能够投入生产。

下述关于发展趋向的分析，是根据1935年到1970年，亦即露天开采发生重大变化的时代而作出的。

1969年，全世界矿物和燃料的产值约合900亿美元，其中美国占1/3左右：矿物燃料203亿美元、非金属矿物57亿美元、金属矿物38亿美元。美国对矿产品的消费超过了生产，除了煤、石料和铜精矿等矿产品外，其余矿产品只进口不出口。近二十年来，美国国内矿产品产值约增长50%（以固定的美元币值计）。今后二十年，其需要量还会加速增长，但产量的增长可能更快。

各种矿产品产量的增长是不均衡的。通过对主要矿产品进行分别研究，并特别注意露天开采的状况，就能更好地了解其发展趋向。

铜 图17-1表示美国1935~1970年期间，铜矿石的露天开采在产量的百分数和劳动生产率方面的发展趋势。在此期间，原矿年产量从3800万吨增长到2.6亿吨，铜金属年产量则增加三倍，这说明所有矿山矿石的品位在下降，从原来每吨原矿可回收30磅铜金属下降到12磅。露天采出的原矿数量从总量的60%增加到90%，而露天采矿回收的铜金属量从总量的45%左右增加到84%。在1960~1970年期间，露天开采的原矿品位（以回收的金属量计）大约从15磅/吨下降到不到12磅/吨。在上述数据中，不包括附带回收的金、银、钼在内。1970年这些副产品的价值，大约相当于每吨原矿多增加1磅铜。近年来由于铜沥滤法产量增加，也使这些统计对比结果受到干扰。

从第二次世界大战前到现在，露天开采的劳动生产率从5吨/人·小时铜原矿增加到8.4吨，即增加68%；而每人每小时生产的铜金属（磅）却仅增加46%，这也证实品位降低了。

铁矿石 图17-1表示美国铁矿石露天采出量占其产量的百分数及劳动生产率的发展趋向，它也与上述铜矿石的情况相似。现在的铁原矿产量较战前增长了四倍。虽然铁金属在战时和战后的产量都有增加，但以后增长减缓，这显然说明铁矿石质量不断恶化，含铁量从45%逐步下降到33%。在1935~1970年期间，露天

采出的原矿从总量的60%左右增至94%。整个采矿工业（露天及地下）采掘铁矿石的劳动生产率，大约从1.5长吨/人·小时增至4.9长吨/人·小时，增长两倍多；而以铁含量表示的劳动生产率则从0.65长吨/人·小时增至1.6长吨/人·小时。上述数字是指全员劳动生产率，包括露天开采、地下开采、机修车间和加工工厂所用的劳力在内。

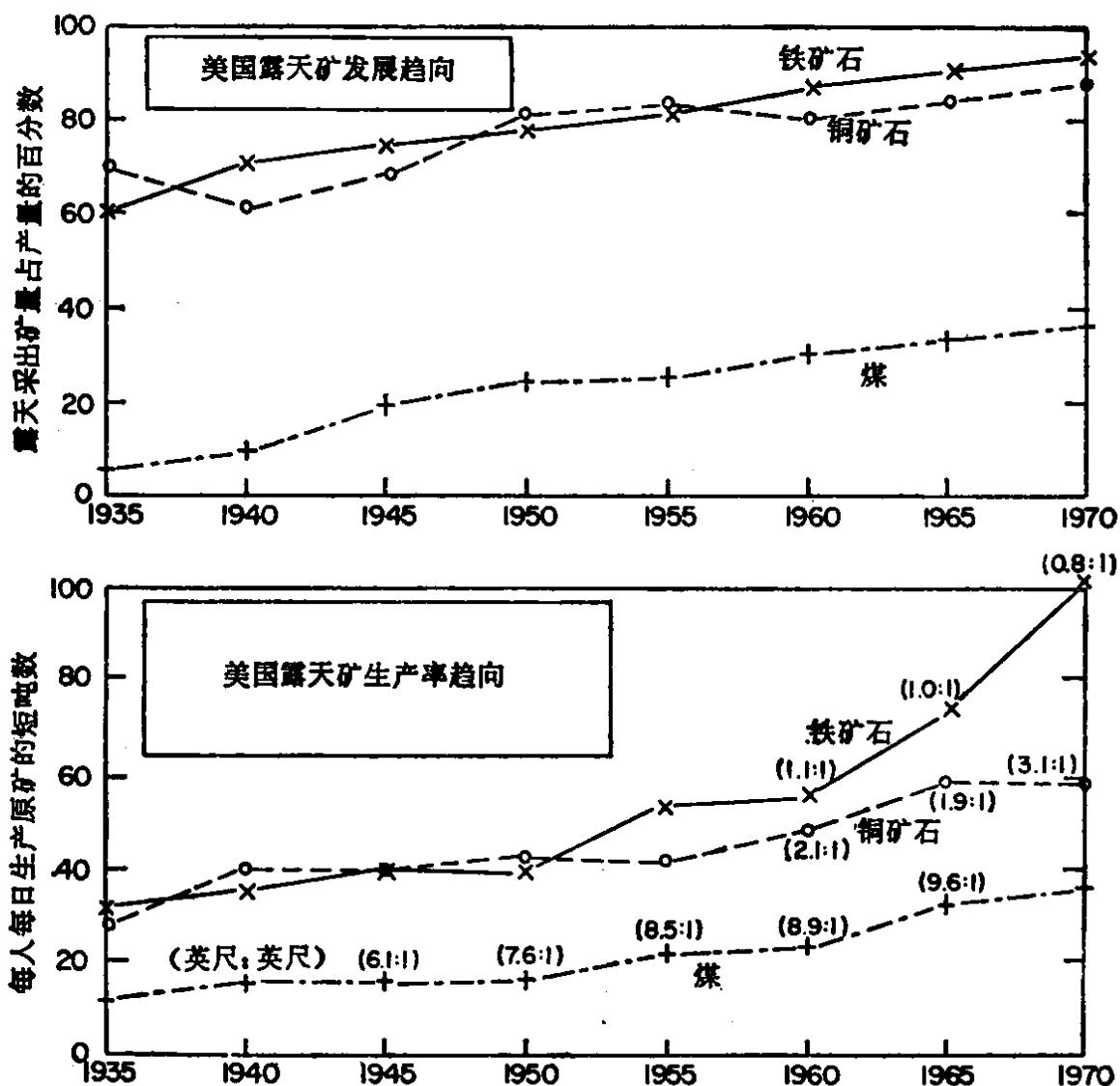


图 17-1 美国从地下开采转为露天开采及其生产率发展趋势 (美国矿业局数据)

数字不包括剥离量，但剥采比却随时间而增加。括号内数字为剥采比，吨/吨；但煤是覆盖层厚度与煤层厚度之比，英尺/英尺

分析这些数据表明，原来主要是开采直接运走的富矿，现在转为提供高炉精料，这样作几乎都有利可图；它也表明加工技术

的改进，是促使大规模开采低品位地表矿床的重要因素。

烟煤和褐煤 图17-1也列举有关煤的发展趋向数字，其情况类似于铜、铁矿石。烟煤和褐煤的产量，从1930年初的四亿吨增至四十年代中期的六亿吨，1965年下降到战前水平，1970年再次上升到六亿吨水平。在开采总量中，露采的比重从1936年的6%左右增至1970年的40%。对于所有的煤矿，劳动生产率从低于5吨/人·日增加到19吨/人·日左右。对于露天采煤，生产率则从15吨/人·日增至近36吨/人·日。主要的变化发生在过去13年期间，在这期间劳动生产率从16吨/人·日左右增至36吨/人·日。所有这些数据都是指商品煤，单就采煤而言其劳动生产率更高。

美国烟煤的总产量中，有3%左右是用螺旋钻孔机开采的。1952年第一次统计时，生产率是20吨/人·日，六十年代增至40吨/人·日，1970年又下降到34吨/人·日。

非金属矿物 采石场的料石和粘土年产量从三十年代的1.3亿吨/年增至最近的9亿吨/年。在同一时期内，砂和卵石的年产量从1.8亿吨增至9.4亿吨。部分数据表明，采石场开采料石的劳动生产率从1935年的1吨/人·小时左右增至1970年的5吨/人·小时左右，在同一时期内开采砂和卵石的生产率从3吨/人·小时提高到10吨/人·小时。

17-1-3 露天开采的远景

露天开采优于地下开采，一般表现在回采率、品级管理、经济性、作业灵活性、安全性和工作条件几方面。然而，不少矿床由于太小、形状不规则以及埋藏太深，不能经济合理地使用露天开采方法。此外，即使露天矿底部还有较深的矿化带，但由于覆盖层的剥离量急剧增加，超出经济合理范围，迫使停止开采或从露天转入地下。

许多权威认为，未来的条件会使从地下开采转向露天开采的趋势发生逆转——从露天开采逐步返回到地下开采。公众对环境保护的日益关心，在某种程度上会增加露天开采的费用。法律可

表 17-2 1970年露天矿和地下矿的商品开采量 (千短吨)

商 品	露 天 开 采			地 下 开 采			开 采 总 量		
	原 矿	废 石	总 量	原 矿	废 石	总 量	原 矿	废 石	总 量
金 属									
铝矾土	3144①	5417①	8561①	W	W	W	3144	5417	8561
铜	232558	606321	838879	27390	883	28273	259948	607204	867152
金:									
脉 金	1946	8342	10306	2175	280	2455	4139	8622	12761
砂 金	1504	895	2399				1504	895	2399
铁矿石	221187	206451	427638	14794	2234	17028	235981	208685	444666
铅	6	5	11	10816	803	11619	10822	808	11680
汞	269	1773	2042	173	24	197	442	1797	2239
钨	5360	48533	53893	16701	107	16808	22061	48640	70701
镍	1138	600	1738				1138	600	1738
银	25	135	160	737	190	927	762	325	1087
钛铁矿	23698	2946	26644				23698	2946	26644
钨	20		20	711	14	725	731	14	745
铀	2746	84750	87496	3643	1061	4704	6389	85811	92200
锌	379	244	623	9629	1650	11279	10008	1894	11902
其它②	4513	2047	6560	16	7	23	4529	2054	6583
金属小计	499000	968000	1467000	87000	7000	94000	586000	975000	1561000

续表 17-2

商 品	露 天 开 采			地 下 开 采			开 采 总 量		
	原 矿	废 石	总 量	原 矿	废 石	总 量	原 矿	废 石	总 量
	块 料	5400 ^e	1900 ^e	7300 ^e	32		32	5432	1900
硫：(Frasch)	7932		7932				7932		7932
滑石、皂石和叶蜡石	565	981	1546	463	16	479	1028	997	2025
蛭 石	1445	4108	5553				1445	4108	5553
其 它 ^④	2078	1753	3831	72		72	2150	1753	3903
非金属小计	2011000	431000	2442000	80000	4000	84000	2091000	435000	2526000
金属、非金属合计	2510000	1399000	3909000	167000	11000	178000	2677000	1410000	4087000
煤 ^⑤ ：									
烟煤和褐煤	244000	6300000	6554000	349000		349000	603000	6544000	7147000
无烟煤	5000	100000	105000	2000		2000	7000	100000	107000
煤小计	247000	6400000	6647000	351000		351000	610000	6644000	7254000
全部矿产品总计	2757000	7799000	10556000	518000	11000	529000	3287000	8054000	11341000

美国矿业局资料：

e—估计数。

① 包括地下开采，美国矿业局不许开发表。

② 铋、铍、镁、锰、铂族金属、稀土金属和钒。

③ 刚玉、石榴石和硅藻土。

④ 细晶石、石墨、绿色颜料和泥灰岩、氧化铁颜料(原生)、蓝晶石、锂矿物、菱镁矿、橄榄石、黄铁矿和硅灰石。

⑤ 废石量按下列剥采比计算：烟煤和褐煤26：1吨/吨，无烟煤20：1吨/吨。

能禁止露天开采在城市附近进行。然而，为了充分回收矿石（涉及矿物资源保护）和控制地面陷落，却会提出一系列技术经济课题，从而难以考虑采用地下开采的方法。随着地质和地球物理技术的改善，会发现一些埋藏深度超过露天开采经济合理范围的深矿床，这也许是倾向采用地下开采的最大推动力。

但是，除非地下开采的劳动生产率比过去提高得更快，否则上述这种逆转将是很缓慢的。今天，露天开采的劳动生产率很高，在小型的铁矿和有色矿中为100吨/工·班，在大型煤矿和工业矿物开采中达500吨/工·班（指废石和矿石的总量）。对比之下，地下开采仅达10~60吨/工·班，只有露天开采的1/10左右。

表17-3清楚地表示了露天开采和地下开采生产率的差距，表中数据取自1967年为美国矿业局准备的一份报告。因此，在金属矿中剥采比可达5:1，而煤矿则高，达60:1，这是不足为奇的。

表 17-3 每立方码开采物（废石和矿石）的平均开采费用

矿 物	每立方码开采费用，美元	
	露 天 开 采	地 下 开 采
金 属 矿	0.88	4.34
非 金 属 矿	1.94	6.78
煤	0.15	4.00

资料来源：工程研究公司为美国矿业局编写的报告中的表C-4。。

17-2 露天矿和采石场的规划和工程设计

17-2-1 强化露天开采的措施和途径

S. D. 迈克尔森和 R. E. 巴克利

影响露天开采效率的因素很多，其中主要有：

1. 人的因素，良好的管理、监督和操作人员的使用和保有额；
2. 矿山的地理位置和地形条件；
3. 气候条件；
4. 矿体的基本性质；
5. 设备的选择与使用；
6. 所采用的开采措施。

矿岩的基本性质 在设计新矿山或扩建现有矿山时，首要任务是确定开采规模和开采对象的性质，这包括测定矿石和废石的松散体重、原岩体重或重量。矿石和废石的硬度、原岩体重(以吨/立方码表示)和松散体重(以磅/立方英尺作单位)，对正确选择设备来说，是其中最重要的因素。此外，还要确定矿岩的含水率、强度和承载性能。根据这些数据，就可以定出露天矿的最终边坡角和工作帮坡面角。合理地设计露天矿边坡，能减小剥采比、增大矿石经济开采量，从而增加露采矿量和开采年限。

减少废石剥离量，会直接和明显地影响露天矿的效率，相应地也能减少设备及机修设施的投资和职工人数。

矿山的服役年限较长将会影响到设备的选择。对于服役年限长、日产量大的矿山，宜使用大型高效率开采设备。

露天矿的稳定性与最终沟线系统的位置和坡度，对整个露天矿效率有很大的影响。应当使露天矿的工作帮坡面角(它通常小于最终边坡角)保持安全允许的最大角度，以便提高露天矿效率和降低生产费用。在使用大型设备时，这一点尤为重要。

管理措施和设备选择 设备初选时，要考虑一些因素，其中首先是废石的类型和剥离量。如果废石量很大而且是松散的或松软的，可选用铲运机—皮带运输机系统或用松土机。如果剥离量较小或剥离物需要穿孔爆破，最经济的方法通常是汽车—机械铲或汽车—前端式装载机系统。当剥离量很小时，设备可兼作剥离和采矿。

另一个重要因素，是矿石的品级管理要求。品位均匀的矿床

比起品位变化的矿床来说，其生产效率高而且费用低。

选择开采设备除了上述因素外，还要考虑下列基本因素：

1. 企业服务年限；
2. 计划日产量；
3. 剥采比；
4. 有效的资金；
5. 运输距离；
6. 台阶高度；
7. 有效的工作面面积；
8. 有效的道路宽度；
9. 气候条件。

选用尽可能大的机械铲，其优点主要有：

1. 每吨矿岩的生产费用较低；
2. 每班工作的机械铲台数较少；
3. 投资费用一般也较小；
4. 工作面数目较少，因而公路维修量也少。

主要的缺点是：不便进行配矿或品级管理，进入粗碎机的块度较大。

为了充分发挥汽车—机械铲的效率或生产率，需要使汽车与机械铲、运输距离及运输坡度相匹配。不同类型和大小的汽车，要针对各种机械铲装载每吨矿岩的总循环时间和总费用进行比较。为了使机械铲和汽车的大小配套，还必须注意机械铲装满汽车额定载重量所需的满斗数。

如果机械铲满斗装载不能恰好把汽车装满，那么要装满汽车机械铲效率就要降低；假若汽车未满载就驶离机械铲，那么汽车的效率就受到影响。这时，机械铲采用较大铲斗或在汽车上添加侧板，方能使两种设备都发挥最大的效率。

选择穿孔设备时，最重要的因素是矿岩硬度和日产量，前者决定了穿孔方法和钻头，后者影响钻机大小和动力类型。柴油作动力的钻机易于移动，机动灵活。电动钻机的维修费用较低，但

需要额外的人力来管理电缆。

所有高效率的露天矿，都具有良好的爆破技术。作为提高爆破效果的新方法，是用地震法确定各种矿岩的爆破性。为了改善矿岩的破碎效果，其它考虑的因素是：炮孔尺寸、炸药类型及炮孔网度。采用散装炸药可以更安全地搬运大量的炸药，而且由于炸药成本低廉、劳动力消耗少而使总的费用降低。

机械铲规格愈大，爆破的规模也要增大，以便有足够的爆堆供高效率挖掘。

轮胎费用大约占汽车运输总费用的19%。为了尽量降低轮胎费用，必须使轮胎的尺寸和层数适应于每种汽车的规格和工作条件。选定了效能最高而又最经济的设备后，还需要在采矿实践中进行检验。

公路结构合理和养护得当，也能提高露天矿的效率。公路的设计要恰当，特别要注意坡度和曲率。某些地方宜采用挖方取得的石料和胶结物筑路。路面也应当留有超车宽度，以使最慢的汽车不致影响整个车队。

在露天矿工长、机械铲、汽车、维修人员和机械铲、废石场清扫设备之间实行无线电通讯，将能提高开采效率。

熟练的管理人员能经常使其设备和人力发挥最大效能，从而使工作保持有效而顺利地进行。

精确的作业记录也很必要，据此可确定原有设备的更换和补充，并及时对采掘作业进行调整。

对于同样的作业，经常可选用不同的设备类型、尺寸和工作方法，但最终应根据安全、高产量和经济的原则进行选择。

影响露天矿效率的最后一个很重要因素，是矿山的工长。为了安全而又经济的作业，矿山工长和他的下属人员必须有良好的工作关系。为此，要把工长和他的伙伴编组在一起，共同出勤和轮休。

17-2-2 露天矿规划和设计

M. T. 帕纳和R. K. 戴维

露天矿规划和开采工作的各个方面密切相关。在编制生产露天矿的开采计划时，要考虑很多反映着特定矿体的特征和环境的因素。因此，在这里只能概要地予以介绍，以便给设计工程师指出露天矿设计的常用方法。本节所介绍的，主要是关于露天铜矿的设计，但其设计方法在大多数情况下也适应于其他任何类型的金属矿或非金属矿。

矿山长远规划 露天矿设计的第一步，是拟订长远的开采规划，有时它也就是开采终了的平面图。矿山长远开采规划要达到两个主要目的：一，确定矿山的矿石储量；二，确定矿体的范围及露天矿的最终几何尺寸。

实际上，为了反映经济情况变化的影响，以及由于对矿体了解的加深和开采工艺的改善，矿山长远开采规划常常要随时间而变动。因此，每隔一定时间就要对它进行修改，以便达到预期的目的。当用人工来修改时，这常常要占用大批的熟练人员。然而，这个问题经常用计算机解决，这样工程师能更快地把开采规划修订出来，并能在修改规划时，把更多的可变因素考虑进去。

为了达到编制矿山长远规划的目的，要求满足下列条件：

1. 在垂直剖面图和水平剖面图上表示矿体的特征(如品位、地质构造和地层等),编制矿化模型。
2. 确定露天矿设计的基本要素,如经济指标、物理参数及法律规定等。
3. 确定所采用的露天矿设计技术。

编制矿化模型——露天矿设计的第一步，是根据钻探结果和地表测绘结果编制矿化模型。实质上它是一个反映了矿体矿化程度、地形和地质形态的完整模型。

为了得到一个有代表性的模型，钻探结果和其它取样资料应

该详尽而又精确，足以划分各种矿岩及与露天矿规划有关的地质特征。编制矿化模型常用的基本钻探资料，包括矿物分析、地层划分、地质构造及矿化类型。此外，还要有冶炼试验报表。至于其它一些专门的地质特征或冶炼特征，则取决于所设计矿体的具体需要。

钻探结果中的矿物分析数据，可能要经过折减计算才能用作矿山规划的基础资料。需否折算以及折算程度，则取决于矿体的物理特征和所采用的取样技术。通常，折算范围(可靠系数)是5~10%，它取决于两种分析结果之差，即预告的矿物分析结果与同一物质在特定生产期间内“开采后”的矿物分析结果之差^[2]。

对勘探钻孔数据作过记录后，应按今后开采的台阶高度为间距，把矿物分析资料汇总在一起。汇总后的钻孔数据，便可用来编绘水平剖面图和垂直剖面图。垂直剖面图使矿体形象化，可初步确定露天矿最终境界，而水平剖面图则用于对所定境界进行评价。

为了简化水平剖面图的编绘，最好将每一水平再划分成一系列块段或形状规则的小单元体。把与矿山规划有关的一些物理特征(如品位、岩石类型和冶炼性能)标注到每一块段上^[2,3,4]。块段的高度就等于所选用的台阶高度，块段的宽度则取决于：

1. 矿体总的几何形态。
2. 反映在模型中的地质构造尺寸和形状。
3. 按矿化模型编制的开采规划的时间间隔。
4. 取样密度和间距。

钻孔数据的汇总和块段尺寸的选择完毕后，编绘水平剖面图的下一步，就是往各块段标注矿物分析值。

最常用的品位推测方法是最近点原则或渐变原则。最近点原则是往矿化模型上的每一块段标注距离最近的试样的数值。若有两个或更多的试样与块段中心等距离，则把这些试样的平均值标注于该块段。这一方法实质上也就是多边形矿体储量计算方法所用的原则^[6,7]。