دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده صنعتی و معدنی زرند
بخش مهندسی معدن

اصول استخراج

Principal of exploitation

ارایه دهنده: دکتر غلامرضا سعیدی

Stage (Project Name)	Procedure	Time	Cost/Unit Cost
Precursors to Mining			
1. Prospecting (Mineral deposit)	Search for ore a. Prospecting methods Direct: physical, geologic Indirect: geophysical, geochemical b. Locate favorable loci (maps, literature, old mines) c. Air: aerial photography, airborne geophysics, satellite d. Surface: ground geophysics, geology e. Spot anomaly, analyze, evaluate	1–3 yr	$0.1–5 million or 2–50¢/ton (1.8–45¢/tonne)
2. Exploration (Ore body)	Defining extent and value of ore (examination/evaluation a. Sample (drilling or excavation), assay, test b. Estimate tonnage and grade c. Valuate deposit (Hoskold formula or discount method): present value = income − cost Feasibility study: make decision to abandon or develop	2–5 yr	$0.5–10 million or 10¢–$1/ton (9¢–90¢/tonne)

4

مراحل معدنکاری

- پی جویی (Prospecting)
- اکتشاف (Exploration)
- آماده سازی (Development)
- استخراج (Exploitation)
- بازسازی (Reclamation)

3

Mining Proper			
3. Development (Prospect)	Opening up ore deposit for production a. Acquire mining rights (purchase or lease), if not done in stage 2 b. File environmental impact statement, technology assessment, permit c. Construct access roads, transport system d. Locate surface plant, construct facilities e. Excavate deposit (strip or sink shaft)	2–5 yr	$10–250 million or 25¢–$5/ton (23¢–$4.50/ tonne)
4. Exploitation (Mine)	Large-scale production of ore a. Factors in choice of method: geologic, geographic, economic, environmental, societal, safety b. Types of mining methods Surface: open pit, open cast, etc. Underground: room and pillar, block caving, etc. c. Monitor costs and economic payback (3–10 yr)	10–30 yr	$5–50 million/yr or $2–100/ton ($1.80–90/tonne)

5

Post-mining			
5. Reclamation (Real estate)	Restoration of site a. Removal of plant and buildings b. Reclamation of waste and tailings dumps c. Monitoring of discharges	1 – 10 yr	$1 – 20 million $0.20 – 4.00 ton ($0.22 – 4.40 tonne)

6

۱- پی جویی

- اولین مرحله قبل از معدن کاری است که دنبال ماده معدنی می گردیم.
- ماده معدنی هنوز به عنوان کانسار کانی (Mineral deposit) است.
- مدت زمان این مرحله ۱ تا ۳ سال طول می کشد.
- هزینه این مرحله ۰/۱ تا ۵ میلیون دلار است.
- این مرحله شامل موارد زیر است:

a) روش های پی جویی

مستقیم: شامل فیزیکی و زمین شناسی

غیر مستقیم: شامل ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی

7

b) ابزار مناسب تعیین محل (نقشه ها، مراجع و منابع علمی، معادن قدیمی)

c) روش های هوایی: شامل عکسبرداری هوایی، ژئوفیزیک هوابردی، ماهواره

d) روش های سطحی: شامل ژئوفیزیک سطح زمین، زمین شناسی

e) کشف آنومالی، آنالیز، ارزیابی

8

۲- اکتشاف

• در این مرحله اندازه و ارزش کانسار کانی تا حد امکان به طور دقیق تعیین می شود.
•روش های به کار گرفته شده در این مرحله دقیق تر از مرحله پی جویی است.
دراین مرحله اندازه و ارزش کانسار با استفاده از روش های زیر تعیین می شود:
•نمونه برداری(توسط حفاری) (Sample)، عیار سنجی (Assay)، انجام آزمایشات
•تخمین تناژ و عیار
•ارزیابی کانسار با استفاده از رابطه زیر:
Present value=income-cost
هزینه–درآمد=سود

آخرین مرحله از اکتشاف مطالعات امکان سنجی(Feasibility study) است. یعنی گرفتن تصمیم در مورد تعطیل کردن یا آماده سازی معدن

•زمان لازم برای انجام این مرحله ۲–۵ سال است.
•هزینه لازم برای انجام این مرحله ۱ –۱۵ میلیون دلار است.

10

۳–آماده سازی

•در این مرحله کانسار برای استخراج باز می شود.
دسترسی به کانسار به روش های زیر امکان پذیر است:
۱– از طریق روباره برداری
۲– از طریق حفر فضاهایی از سطح زمین به کانسارهای واقع در نقاط عمیق تر
موارد مورد نیاز جهت انجام این مرحله:
۱– اخذ مجوز معدن کاری (خرید یا اجاره (Lease)) اگر در مرحله اکتشاف انجام نگرفته باشد.
۲– بررسی ملاحظات زیست محیطی، بررسی فنی و اخذ مجوز

11

۳– ساختن راههای دسترسی، بررسی سیستم حمل و نقل
٤– جایابی تاسیسات سطحی و احداث آنها
۵– دسترسی به کانسار از طریق روباره برداری یا حفر تونل یا چاه

• هزینه این مرحله ۱۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار
•مدت زمان لازم برای این مرحله ۲–۵ سال است

12

٤- استخراج

• در این مرحله استخراج از کانسار در مقیاس بزرگ (Large-Scale production of ore) شروع می شود.

این مرحله شامل موارد زیر است:

a) بررسی فاکتورهای موثر در انتخاب روش استخراج شامل: فاکتورهای زمین شناسی، جغرافیایی، اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی و ایمنی

b) انتخاب روش استخراج شامل: معدن کاری سطحی (Surface mining) یا معدن کاری زیرزمینی (Underground mining)

c) کنترل هزینه ها و تعیین دوره بازگشت سرمایه

- زمان لازم برای این مرحله ۱۰-۳۰ سال است
- هزینه لازم برای این مرحله ۵-۷۵ میلیون دلار بر سال است.

٥- بازسازی(Reclamation or real estate)

• آخرین مرحله معدنکاری است که شامل: بستن معدن (Mine colure)، حذف ساختمانها و کارخانه (Removal of plant and building)، بازسازی دمپهای باطله (Reclamation of waste and tailings dumps)مسطح کردن سطح زمین (Recontouring)، کاشتن درخت و گیاه مجدد (Revegitating) و برگرداندن وضعیت آبها و زمین به حالت اولیه(Restoring the water and land values)

•بهترین زمان شروع برای برنامه ریزی بازسازی معدن قبل از ایجاد اولین حفاری در معدن است.

•زمان لازم برای این مرحله ۱-۱۰ سال و هزینه ۱-۲۰میلیون دلار است.

طبقه بندی روش های استخراج

•عده ای از مولفان روش های استخراج را با توجه به نوع ماده معدنی فلزی و غیرفلزی تقسیم کرده اند.

•عده ای عمق نسبی را معیار قرار داده اند.

•عده ای دیگر اندازه و شکل ذخیره مثل رگه ای و توده ای بودن را معیار قرار داده اند.

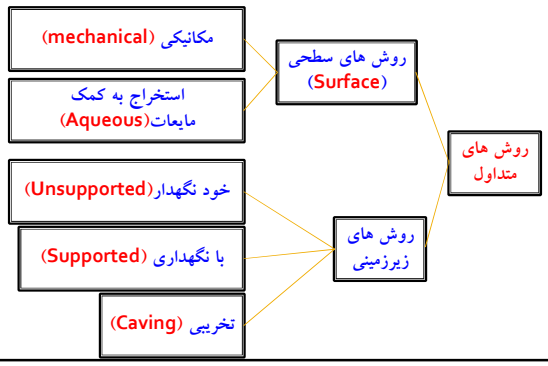
•معمولی ترین طبقه بندی توسط هارتمن (Hartman) ارائه شده است.

TABLE 3.1 Classification of Mining Methods

Acceptance/Locale	Class	Subclass	Method*	Commodities	Relative Cost
Traditional					
Surface	Mechanical	—	* Open pit mining	Metal, nonmetal	10%
			Quarrying	Nonmetal	100
			* Open cast mining	Coal, nonmetal	10
			Auger mining	Coal	5
	Aqueous	Placer	Hydraulicking	Metal, nonmetal	5
			Dredging	Metal, nonmetal	<5
		Solution	Borehole mining	Nonmetal	5
			Leaching	Metal	5
Underground	Unsupported	—	* Room and pillar mining	Coal, nonmetal	30
			* Stope and pillar mining	Metal, nonmetal	30
			Shrinkage stoping	Metal, nonmetal	50
			* Sublevel stoping	Metal, nonmetal	40
	Supported	—	Cut and fill stoping	Metal	60
			Stull stoping	Metal	70
			Square set stoping	Metal	100
	Caving	—	* Longwall mining	Coal	20
			Sublevel caving	Metal	50
			* Block caving	Metal	20
Novel	—	—	Rapid excavation	Noncoal (hard rock)	
			Automation, robotics	All	
			Hydraulic mining	Coal, soft rock	
			Underground gasification	Coal	
			Underground retorting	Hydrocarbons	
			Ocean mining	Metal	
			Nuclear mining	Noncoal	
			Extraterrestrial mining	Metal, nonmetal	

*Asterisks indicate the most important and commonly used methods.

روش های استخراج متداول



17

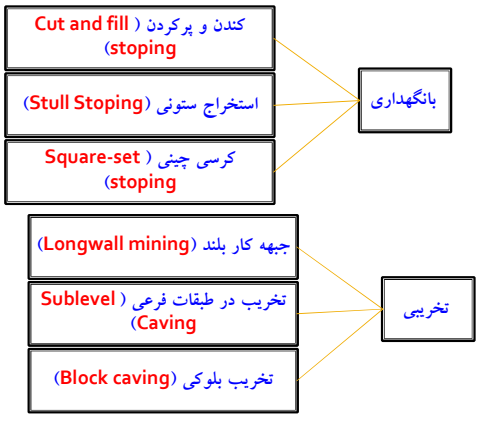
روش های مکانیکی

- استخراج روباز (Open pit mining)
- استخراج سنگ های ساختمانی (Quarrying)
- روش نواری (Open cast)
- روش کنتوری و آگر (Auger mining)

روش های استخراج به کمک مایعات

- شامل هیدرولیکی(Hydraulicing) و لایه روبی (Dredging)
- انحلالی (Solution): شامل استخراج گمانه ای (Borehole mining) و لیچینگ (Leaching)

18



19

20

روش های نوین

- حفر سریع (Rapid excavation)
- اتوماسیون با رباتها (Automation, robotics)
- روش های هیدرولیکی (Hydraulic mining)
- گاززدایی زیرزمینی (Underground gasification)
- معدن کاری اقیانوسی (Ocean mining)

21

روش استخراجی مسطحی

- این روش برای ذخائر لایه ای از جمله زغال که در منطقه کم ارتفاع و مسطح قرار گرفته باشد کاربرد دارد.
- این روش به دلیل ضخامت کم باطله و موقعیت توپوگرافی، کلیه زغالسنگ قابل استخراج خواهد بود.

روش استخراجی کنتوری

- این روش برای لایه های زغالی که در منطقه کوهستانی و مرتفع قرار گرفته باشد کاربرد دارد.
- در این روش ضخامت باطله روی زغالسنگ به حدی خواهد رسید که امکان استخراج همه زغال سنگ وجود ندارد.

22

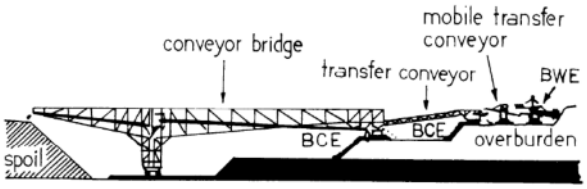


Fig. 13.3.13. Overburden bridge for BWE.

24

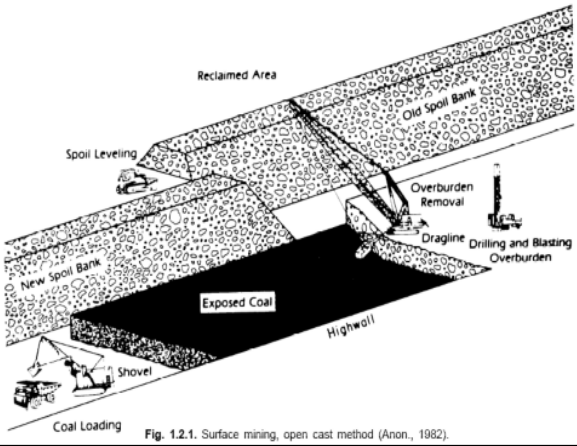


Fig. 1.2.1. Surface mining, open cast method (Anon., 1982).

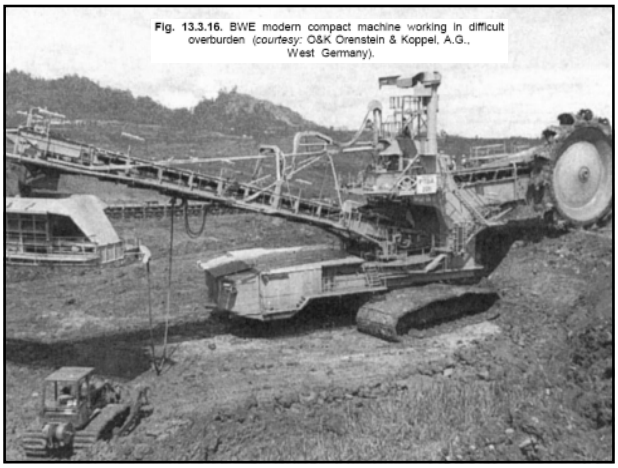
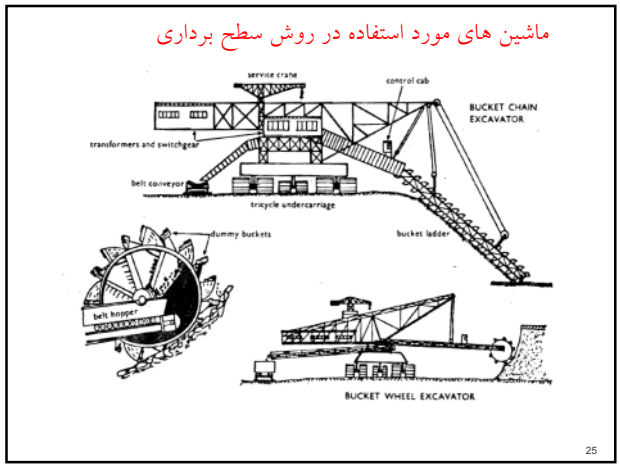
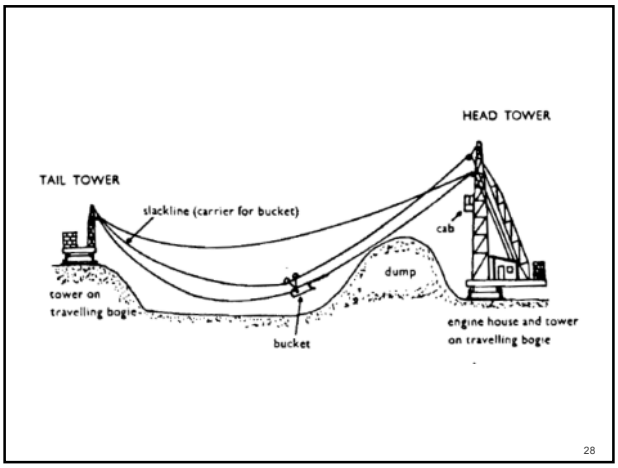
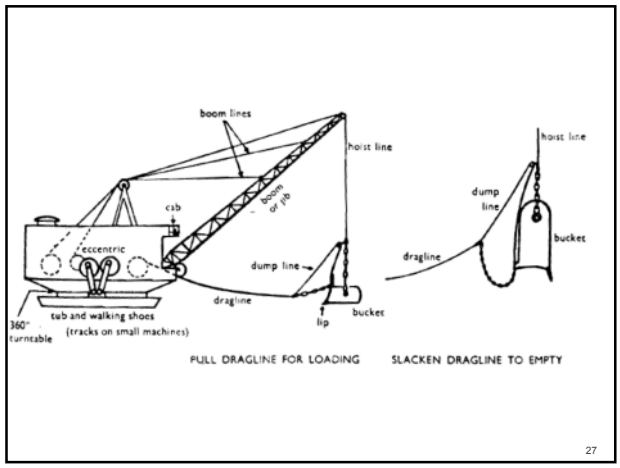


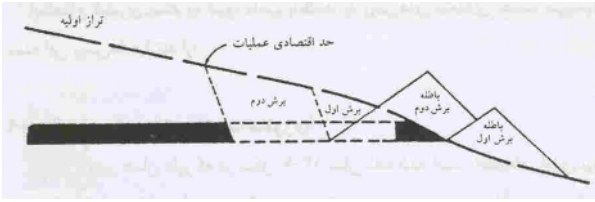
Fig. 13.3.16. BWE modern compact machine working in difficult overburden (*courtesy*: O&K Orenstein & Koppel, A.G., West Germany).

ماشین های مورد استفاده در روش سطح برداری

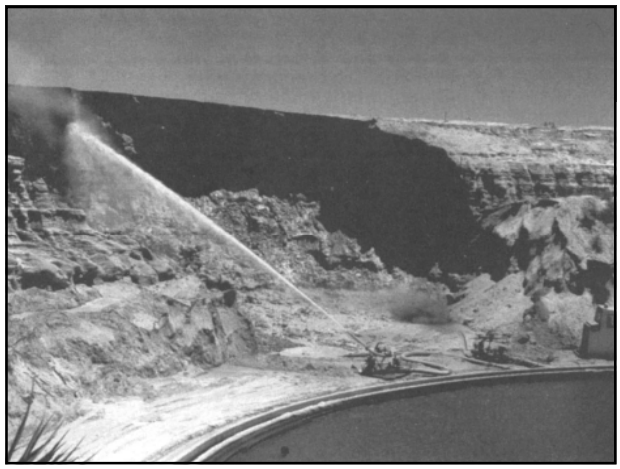








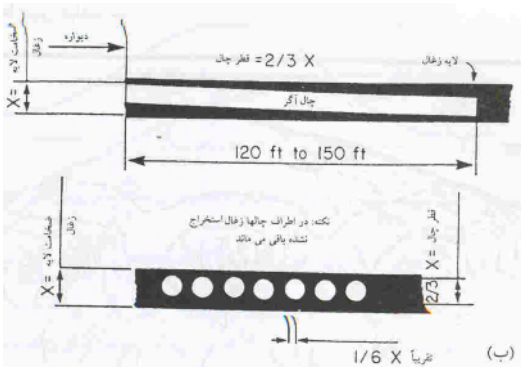
30



روش استخراج کواری

- این روش برای استخراج سنگ های ساختمانی از جمله مرمر، مرمریت، گرانیت و غیره کاربرد دارد.
- در این روش از مواد منفجره برای ایجاد سطح آزاد (Free face) استفاده می شود نه برای خرد کردن سنگ (Fragmentation).
- در بعضی شرایط از سیم برش برای استخراج استفاده می شود.

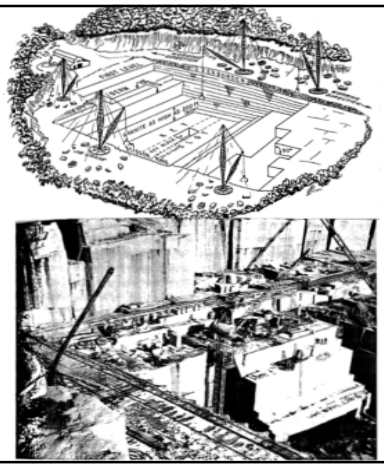
32



31

درج و روش هیدرولیکی

- روش درج بیشتر برای ذخائر آبرفتی (Alluvial deposits) کاربرد دارد.
- در روش درج با استفاده از لایه روب برای استخراج برخی فلزات گرانبها مثل طلا و نقره از کف رودخانه یا دریا استفاده می شود
- در روش هیدرولیکی با استفاده فشار آب برای استخراج برخی مواد نرم مثل زغالسنگ استفاده می شود.



33

مراحل استخراج در روش های سطحی

۱- آماده سازی سطح زمین (Preparing the surface)

۲- حفاری بر روی باطله یا ماده معدنی

۳- انفجار باطله یا ماده معدنی

٤- بارگیری باطله یا ماده معدنی

٥- حمل باطله یا ماده معدنی

٦- بازسازی معدن

35

حفاری و انفجار بر روی باطله یا ماده معدنی

- حفر چال ها معمولاً به کمک حفاری چرخشی (Rotary drills) و بعضاً در چال های با قطر کم از حفاری ضربه ای (Percussive drills) استفاده می شود. سنگ شکن اولیه معدن یکی از عوامل مهم در انتخاب ماشین حفاری، آرایش چال ها و نحوهٔ انفجار است.
- پس از حفر چال ها عملیات انفجار صورت می گیرد. نوع مواد منفجره و میزان مصرف، بستگی به جنس سنگ و میزان خردشدگی لازمه دارد.
- انفجار باید به گونه ای باشد که از انفجار ثانویه (Secondary blasting) استفاده نشود و دارای مینیمم پرتاب سنگ (Fly rock) باشد.
- غالباً در معادن سطحی از آنفو به دلائل ایمنی بالا، ارزانی و خردشدگی بهتر در انفجار استفاده می شود.

بارگیری و حمل باطله یا ماده معدنی

- باطله ها و مواد معدنی در روش سطح برداری غالباً به کمک لودر، شاول، اسکریپر، دراگلین انتقال داده می شود.
- در روش روباز معمولاً از شاول یا لودر یا ترکیبی از این دو استفاده می شود.
- حمل مواد در معادن سطحی به کمک کامیون، نوار نقاله (Belt conveyor)، نقاله هوایی (Ropeway) و ریل (Rail) انجام می گیرد.

37

روش استخراج روباز

تعاریف واژهای مورد استفاده در روش روباز:

پله (Bench): در روش روباز استخراج به کمک ایجاد پله انجام می گیرد.

دامنه پله (Bench face): سطحی که لبه پله (Bench crest) را به پای پله (Bench toe) وصل می کند.

ارتفاع پله (Bench height): فاصله عمودی بین لبه پله تا پای پله را ارتفاع پله می نامند. این فاصله بستگی ماشین حفاری، بارگیری و قوانین ایمنی موجود در معدن دارد.

عرض پله (Bench width):فاصله افقی بین پای پله یک پله تا لبه پله پایینی

38

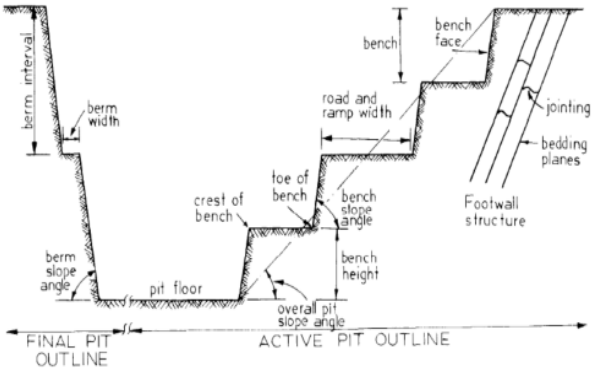
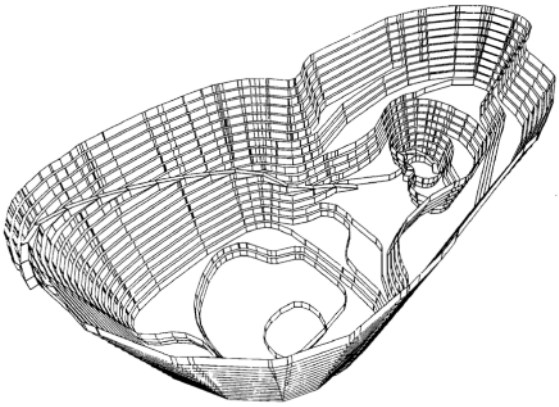
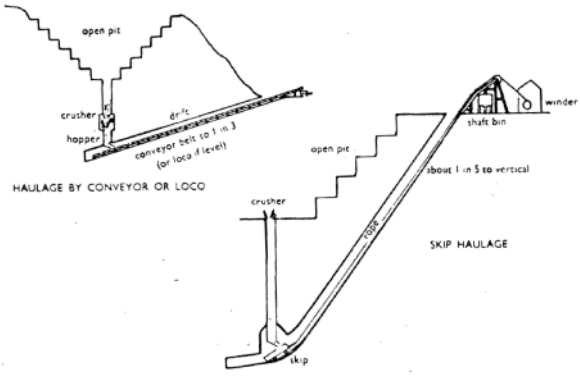


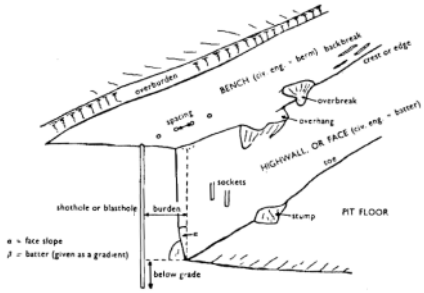
Fig. 13.1.1.2. Section through an open pit in an idealized tabular ore body.



39



42



41

عرض پله بستگی به پهنای ماشین آلات حفاری، بارگیری و حمل دارد

شیب پله (Bench slope): زاویه ای است که بین دامنه پله و افق بر حسب درجه

شیب نهایی معدن (Overal pit slope angle): زاویه بین خط واصل لبه بالاترین پله و پای پایین ترین پله با خط افق

پله ایمنی (Berm): به منظور افزایش پایدار شیب و ایمنی در معدن پله های ایمنی در دیواره معدن ایجاد می شوند شیب و عرض این پله ها به شرایط ژئوتکنیکی معدن دارد.

دیواره بالایی (Hanging wall) و دیواره پایینی (Foot wall): در معادن روباز سنگ های بالای ماده معدنی دیواره بالایی یا کمربالا و سنگ های زیرین را دیواره

پوشان سنگ (Over burden): به باطله های روی ماده معدنی که بایستی برداشته شوند تا به ماده معدنی دسترسی حاصل شود پوشان سنگ می نامند.

عیار (grad): مقدار فلز موجود در ماده معدنی

ماده معدنی (Ore body): به توده سنگ حاوی کانی که از نظر عیار و تناژ در وضعیتی باشد که استخراج آن مقرون به صرفه باشد.

44

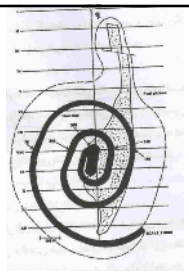
رمپ (Ramp)

- پله ها در معادن روباز به صورت حلزونی (Spiral system) یا زیگزاگی (Zig-Zag) به هم مرتبط می شوند.
- انتخاب هر یک از این دو روش بستگی به عوامل زیر دارد:

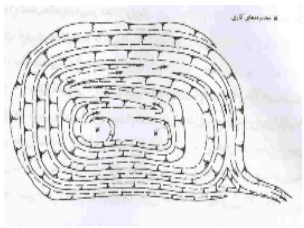
a) عمق معدن: با عمیق تر شدن معدن، در روش حلزونی فاصله افزایش می یابد لذا روش زیگ زاگی مناسب تر است.

b) از آن جا که کمر پایین ماده معدنی سخت تر است نسبت به کمربالا، لذا جاده بایستی در کمرپایین ایجاد شود در نتیجه جاده زیگزاگی مناسب تر است

c) در معادن با شیب زیاد عرض پله های و عرض جاده بایستی کم باشد از آن جا که جاده های زیگزاگی در سر پیچ نیاز به عرض زیاد هستند لذا مناسب نیستند.

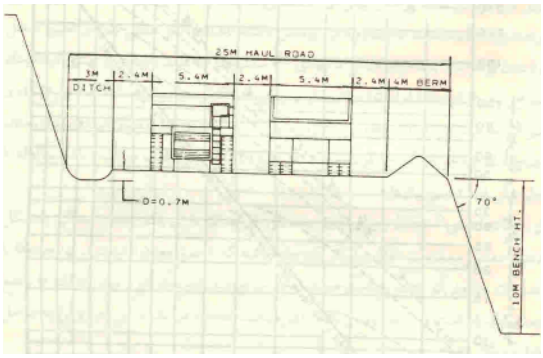


حلزونی (Spiral system)



زیگزاگی (Zig-Zag)

- شیب جاده معدن بین ۸ تا ۱۲ درصد می باشد.
- عرض جاده ها بستگی به عرض کامیون های مورد استفاده در معدن دارد. عرض بهینه جاده ها ۳/۵ برابر عرض کامیون است. این مقدار در سر پیچ قدری زیادتر است.
- در صورتی که جاده دارای آبرو (Ditch) و دیواره اطمینان (Berm) باشد این فاصله حدوداً ٤/٥ برابر عرض کامیون است.



نسبت باطله برداری به ماده معدنی متوسط یا سرجمع (Average or Overall stripping ratio)

•نسبت باطله برداری متوسط یا سرجمع بیانگر نسبت میزان کل باطله برداری از پیت به میزان کل ماده معدنی قابل استخراج :

$$OSR \text{ or } ASR = \frac{W}{O}$$

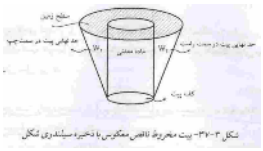
W: مقدار باطله

O: مقدار ماده معدنی

مثال: چنانچه فرض شود در کل عمر معدن به ازاء ۵ میلیون تن کانسنگ ۱۰ میلیون تن باطله برداشت شده است. نسبت باطله برداری متوسط عبارت است از:

$$OSR = \frac{W}{O} = \frac{10}{5} = \frac{2}{1} = 2:1$$

در صورتی که ماده معدنی را به صورت استوانه ای شکل و شکل پیت را به صورت مخروط ناقص (Inverse truncated cone) فرض کنیم در این صورت نسبت باطله برداری عبارت است از:



$$OSR = \frac{V_p - V_o}{V_o}$$

V_p: حجم پیت

V_o: حجم ماده معدنی

$$V_O = \pi r^2 h$$

h: ارتفاع ماده معدنی

r: شعاع ذخیره سیلندری

$$V_p = V_{LC} - V_{SC}$$

V_{LC}: حجم مخروط بزرگ

V_{SC}: حجم مخروط کوچک

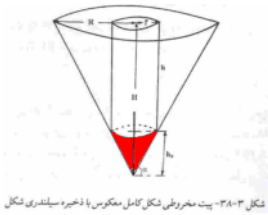
$$V_{LC} = \frac{1}{3}\pi R^2 H$$

H: ارتفاع مخروط کامل شده

R: شعاع پیت

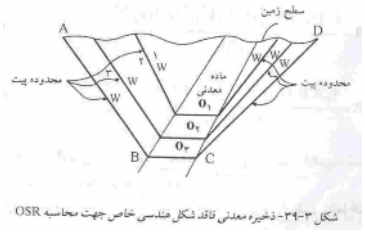
$$V_{SC} = \frac{1}{3}\pi r^2 h_a$$

h_a: ارتفاع مخروط اضافه شده



$$OSR = \frac{V_p - V_o}{V_o} \Rightarrow OSR = \frac{[\frac{1}{3}\pi R^2 H - \frac{1}{3}\pi r^2 h_a] - \pi r^2 h}{\pi r^2 h}$$

در صورتی که ماده معدنی از شکل خاصی تبعیت نکند می توان با بلوک بندی ذخیره و اندازه گیری تناژ آنها OSR را به صورت زیر محاسبه کرد:



$$OSR = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{O_1 + O_2 + O_3}$$

روش های نسبت باطله برداری به ماده معدنی

چهار نوع نسبت باطله برداری به ماده معدنی ممکن است در طراحی معادن برنامه ریزی شود که عبارتند از:

۱- روش نزولی نسبت باطله برداری به ماده معدنی (Declining stripping ratio)

۲- روش صعودی نسبت باطله برداری به ماده معدنی (Increasing stripping ratio)

۳- نسبت باطله برداری به ماده معدنی ثابت (Constant stripping ratio)

٤- روش فازبندی (Phased stripping ratio)

53

روش نزولی نسبت باطله برداری به ماده معدنی

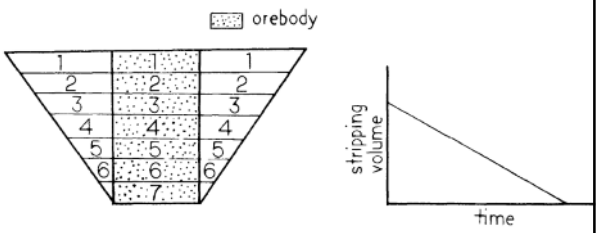


Fig. 13.1.1.5. Declining stripping ratio method.

54

- در این روش کلیه ماده معدنی مربوط به هر پله قبل از استخراج پله بعدی استخراج می شود. باطله های هر پله تا حد نهایی معدن برداشت می شوند.

مزایای این روش:

۱- فضای کافی جهت ماشین آلات ۲- ایمنی بالا ۳- هزینه های استخراج در سال های آخر کم

معایب روش:

۱- هزینه و زمان باطله برداری در سالهای اولیه زیاد است.

۲- حجم سرمایه گذاری اولیه بالاست به همین دلیل صاحبان معدن کمتر بدان علاقه نشان می دهند.

55

روش صعودی نسبت باطله برداری به ماده معدنی

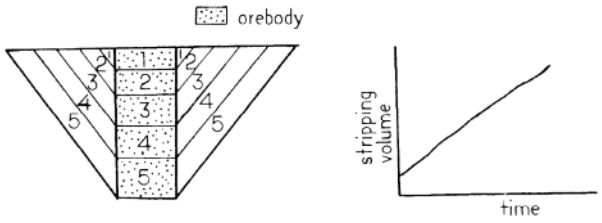


Fig. 13.1.1.6. Increasing stripping ratio method.

56

در این روش باطله برداری در حدی انجام می گیرد که نیاز است تا به ماده معدنی دسترسی حاصل شود.

مزایای این روش عبارت است از:

۱- به ماشین آلات کمتری در سال های اول نیاز است

۲- سرمایه گذاری اولیه کمتری در سال های اول نیاز است

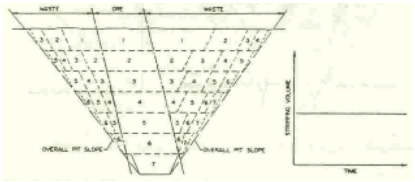
۳- به علت دسترسی سریع به ماده معدنی درآمد معدن در سال های اول زیاد است. بنابراین به علت برگشت سریع سرمایه اولیه معدن این روش مورد علاقه صاحبان معدن است.

معایب روش عبارت است از:

۱- غیرتکنیکی بودن روش

۲- بعلت کوچک بودن فضای عملیاتی امکان حادثه زیاد است و دسترسی به تولید مورد نیاز به علت کوچک بودن فضا از دیگر دشواری های روش

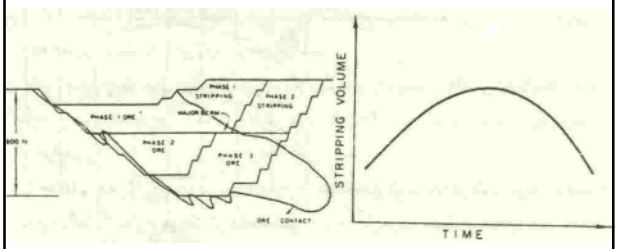
روش نسبت ثابت باطله برداری به ماده معدنی



- در این روش میزان باطله برداری در مدت عملیات (عمر معدن) ثابت و بر اساس نسبت کلی انجام می گیرد. از محسنات این روش آن است که دو حالت افراط و تفریط روش های قبلی را ندارد.
- در این روش تجهیزات و تعداد ماشین آلات و تعداد پرسنل نسبتاً در مدت استخراج ثابت خواهند بود.

58

روش فازبندی



59

- بهترین حالت برای روش روباز روش فازبندی است، بنحوی که میزان باطله برداری در سال های اولیه کم و با افزایش زمان تا میانه عمر معدن افزایش و سپس با نزدیک شدن به انتهای عملیات حجم باطله برداری مجدداً کاهش می یابد.

مزایای روش:

۱- در کوتاه مدت می توان به سود بیشتری دسترسی پیدا نمود

۲- تعداد پرسنل و تجهیزات مورد نیاز معدن بتدریج تامین می شوند و با نزدیک شدن به آخر عمر معدن به تدریج کاهش می یابند.

۳- عملیات استخراج ماده معدنی و باطله برداری همزمان و بطور مجزا می تواند انجام گیرد و این امر انعطاف پذیری برنامه ریزی را افزایش خواهد داد.

60

عملیات معدن کاری زیرزمینی

عملیات معدن کاری به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- عملیات تولیدی (Production Operation)

۲- عملیات جنبی (Auxiliary operation)

عملیات تولیدی شامل فعالیت هایی که به طور مستقیم با چرخه اصلی تولید ماده معدنی نقش داشته باشد.

production cycle=drill+blast+load+haul

باربری + بارگیری + آتشباری + چالزنی= چرخه تولید

61

عملیات جنبی

- عملیاتی هستند که مستقیماً در تولید نقش ندارند تنها به چرخه تولید کمک می کنند.
- این عملیات شامل:

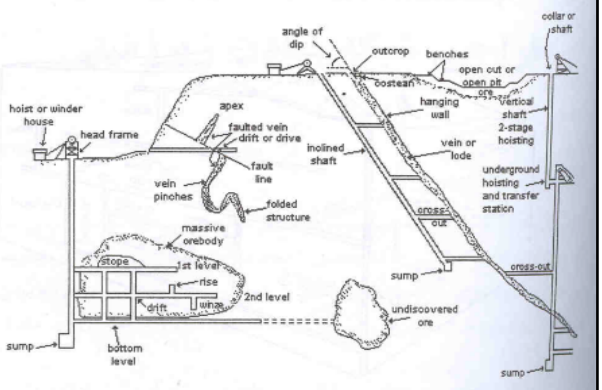
تامین نگهداری سقف (Support)، تهویه (Ventilation)، برق (Power Supply)، آبکشی (Pumping)، تعمیر و نگهداری (Maintenance)، روشنایی (lighting)، مخابرات (Communications)، هوای فشرده (compressed air)، کنترل نشست زمین (Subsidence) و ...

62

آماده سازی

- برای دسترسی به ماده معدنی فضاهای در ماده معدنی ایجاد می شود که به مجموعه آنها آماده سازی یا تجهیز معدن اطلاق می شود.
- اولین مرحله از آماده سازی بازکردن معدن (Opening) است.
- بازکنندهای اصلی معدن تونل، چاه شیبدار، چاه قائم و رمپ هستند.

63

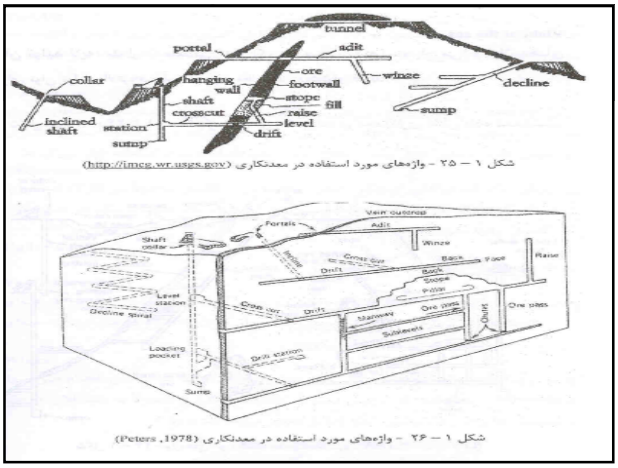


شکل ۱ – ۲۴ - واژه‌های مورد استفاده در معدنکاری (Lewis, Clark, 1964)

عوامل موثر بر جانمایی فضاهای آماده سازی

- طول بازکننده ها کمترین مقدار را داشته باشد.
- دهانه در مسیر سیلاب نباشد.
- فضای کافی در جلوی بازکننده وجود داشته باشد.
- سهولت در خدمات رسانی و حمل و نقل
- توجه به پتانسیل ریزش سنگ و یا سقوط بهمن

66



شکل ۱ – ۲۵ – واژه‌های مورد استفاده در معدنکاری (http://imcg.wr.usgs.gov)

شکل ۱ – ۲۶ – واژه‌های مورد استفاده در معدنکاری (Peters ,1978)

باز کردن کانسار توسط چاه قائم

- چاه قائم برای کانسارهای بزرگ، عمیق، با نرخ تولید بالا به کار برده می شود.
- از نظر ایمنی برای هر معدن دو چاه(یکی ورود هوای تمیز و دیگری خروج هوای کثیف) در نظر گرفته می شود.
- مهمترین عوامل موثر در انتخاب محل چاه:

۱- اصل تعادل ممان ذخایر

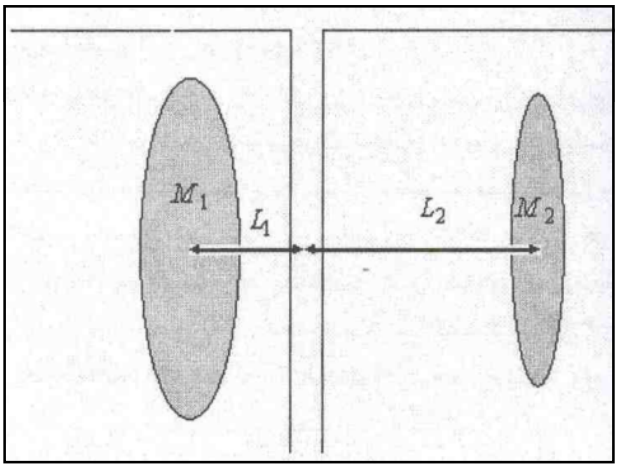
$$M_1L_1 = M_2L_2 \Rightarrow \frac{M_1}{M_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

براساس این اصل چاه بایستی نزدیک ذخیره بزرگتر باشد

$$\frac{M_1 + M_2}{M_2} = \frac{L_1 + L_2}{L_1}$$

$$\Rightarrow \frac{M_1 + M_2}{M_2} = \frac{L}{L_1}$$

67



۲- رعایت حریم چاه

•مقدار ماده معدنی که به عنوان حریم حفاظتی چاه و تاسیسات سر چاه جایگزاری می شود حریم چاه می نامند.

•حریم چاه مخروطی فرض می شود که زاویه مخروط به جنس سنگ بستگی دارد.

•در سنگ های سخت زاویه این مخروط بیشتر است نسبت به سنگ های نرم

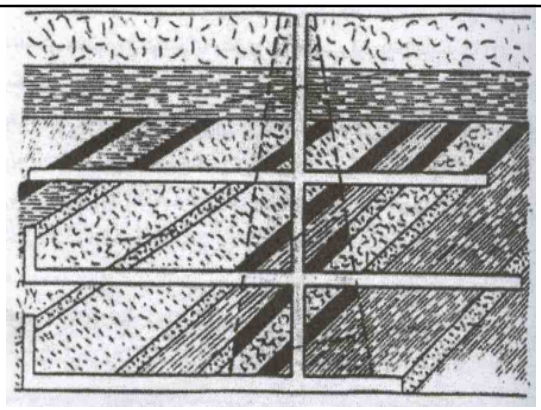
•هر چقدر چاه عمیق تر باشد حریم چاه بیشتر خواهد بود.

•حفر چاه باید در خارج محدوده نشست ناشی از معدن کاری قرار گیرد.

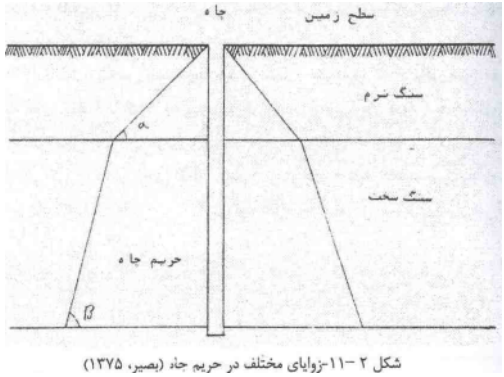
•اگر کانسار دارای حالت طاقدیس و یا ناودیس باشد به دلیل کاهش فشار و ضایعات کمتر ماده معدنی، چاه در طاقدیس ایجاد می شود.

•بهتر است چاه در کمر پایین ماده معدنی ایجاد شود. تا تحت تاثیر نشست ها و حرکات معدن کاری قرار نگیرد.

69

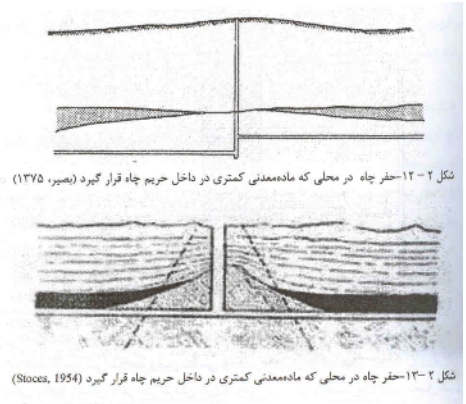


70



شکل ۲ –۱۱-زوایای مختلف در حریم جاه (بصیر، ۱۳۷۵)

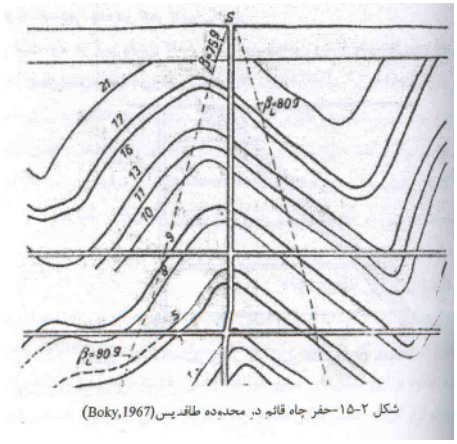
71



شکل ۲ – ۱۲-حفر چاه در محلی که ماده‌معدنی کمتری در داخل حریم چاه قرار گیرد (بصیر، ۱۳۷۵)

شکل ۲ –۱۳-حفر چاه در محلی که ماده‌معدنی کمتری در داخل حریم چاه قرار گیرد (Stoces, 1954)

72

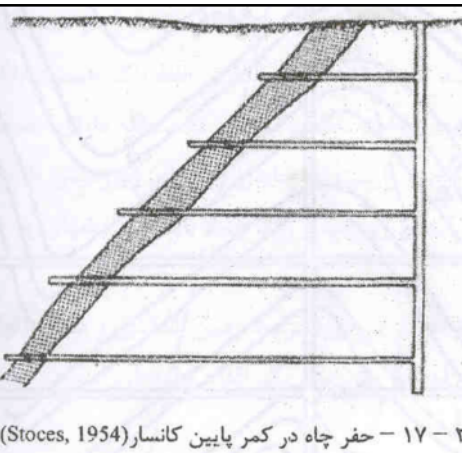


شکل ۲-۱۴-حفر چاه در خارج محدوده نشست(Stout, 1980)

73

شکل ۲-۱۵-حفر چاه قائم در محدوده طاقدیس(Boky,1967)

74



شکل ۲ – ۱۷ – حفر چاه در کمر پایین کانسار(Stoces, 1954)

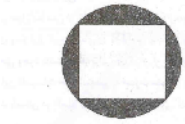
شکل ۲ – ۱۶-حفر چاه قائم در محدوده ناودیس(Boky,1967)

75

شکل مقطع چاه

- شکل مقطع چاه دایره، مستطیل، مربع، ذوزنقه، بیضی، هشت ضلعی است. ولی بیشتر از مقاطع دایره و مستطیل و مربع استفاده می شود.
- سطوح مستطیلی، سهولت نگهداری آن با چوب از امتیازات آن است
- سطح مفید قابل استفاده در مقاطع مربعی بیشتر از مقاطع دایره ای است. اگر شعاع دایره را R بنامیم این سطح تقریباً ۳۰٪ است:

$$\pi R^2 - (R\sqrt{2})^2 = 1.1R^2 \qquad \frac{1.1R^2}{\pi R^2} \cong 30\%$$



شکل ۲-۱۸-سطح بدون استفاده از یک چاه با سطح مقطع دایره‌ای

77

مزایای سطوح دایره ای نسبت به مستطیلی

- پخش یکنواخت فشار اطراف چاه دایره ای
- کاهش هزینه آتشکاری مقطع دایره ای نسبت به مستطیلی
- مقاومت کمتر در مقابل عبور هوا
- مقاومت بیشتر وسایل نگهداری اطراف چاه
- نسبت محیط به سطح کمتر، در نتیجه هزینه نگهداری کمتری نیاز دارد
- در زمین های سست و آبدار مقطع دایره ای مناسب تر است. در مواردی که سنگ پایدار است (معادن فلزی) مقطع چهارگوش مناسب است

78

عوامل موثر بر تعیین سطح مقطع چاه

۱- اندازه تجهیزات بالابر و تعداد آنها

۲- فاصله بین قفس یا اسکیپ با پوشش

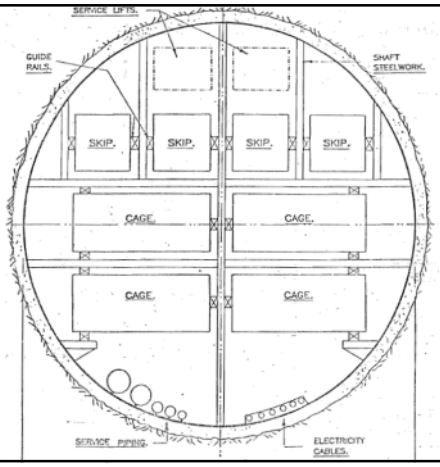
۳- فاصله ۲۰۰ میلیمتر بین دو قفس یا اسکیپ یا قفس با اسکیپ

٤- سطح لازم برای تجهیزات نصب شده در چاه از قبیل لوله های مختلف آب، هوا و کابل های مختلف

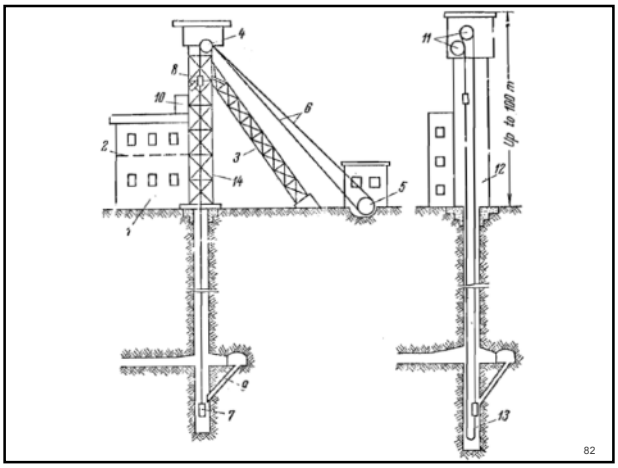
۵-فضای لازم برای نصب نردبان جهت عبور و مرور افراد

٦- سطح مقطع مفید لازم برای عبور هوا

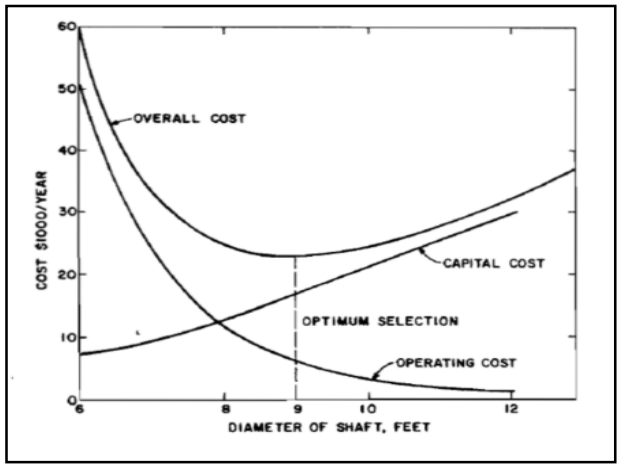
79

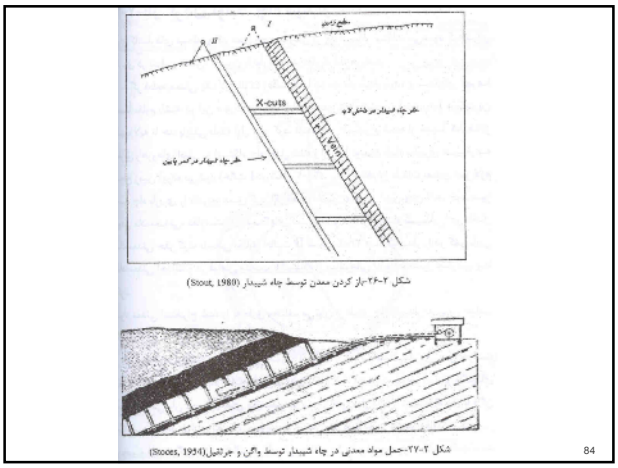


80



82





شکل ۲-۲۶-باز کردن معدن توسط چاه شیبدار (Stout, 1980)

شکل ۲-۲۷-حمل مواد معدنی در چاه شیبدار توسط واگن و چرخ‌الیل (Stoces, 1954)

84

بازکردن توسط چاه شیبدار

- برای کانسارهای مسطح و کم عمق نظیر زغال استفاده می شود.
- اگر بنا به دلایلی همچون آبدار بودن لایه، خودسوز بودن و مقاومت کم سنگ های کمربالا نتوان چاه شیبدار را در داخل ماده معدنی ایجاد کرد باید در کمرپایین ایجاد شود و از طریق میان بر به ماده معدنی وصل شود.
- حفر چاه شیبدار در لایه، منظم بودن لایه را می طلبد.
- مواد معدنی به طرق زیر به بیرون از معدن انتقال داده می شوند:

۱- واگن: شیب کم

۲-اسکیپ: در شیب ٤٠ تا٤٥ درجه

۳- نوار نقاله: ۱۸تا۲۲ درجه

٤- وسایل چرخ لاستیکی:کمتر از ۱۰ درجه

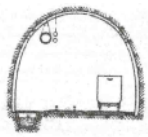
83

بازکردن توسط تونل

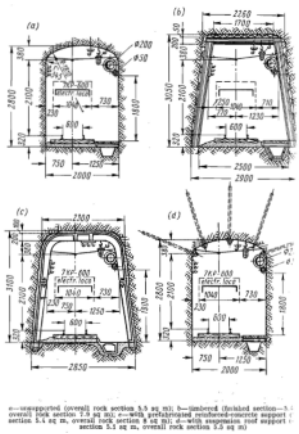
- تونل یک دهانه یا دو دهانه وقتی بکار می رود که کانسار دارای رخنمون باشد و در منطقه کوهستانی قرار گرفته باشد.
- تونل می تواند عمود بر لایه، در امتداد لایه و یا به شکل شیب دار نسبت به امتداد حفر شود.

مهمترین پارامترهای که در مورد تونل می توان مدنظر قرار داد عبارتند از:

انتخاب محل- شیب - شکل مقطع- اندازه سطح-روش حفر- نگهداری



85



86

انتخاب محل حفر

۱- از نظر اقتصادی بایستی کوتاه ترین فاصله را با راهروهای آماده سازی داشته باشد

۲- زمین شناسی منطقه بایستی مورد توجه قرار گیرد

۳- نقطه شروع بایستی تا حد امکان پایین انتخاب شود تا ماده معدنی بیشتری را استخراج کرد

٤- محوطه کافی برای احداث ساختمانها و تاسیسات

٥- دهانه تونل بالاتر از آخرین حد سیلابها باشد.

- شیب تونل ها به واسطه خروج آب و واگن های پر تحت نیروی وزن ۳ تا ۵ در هزار انتخاب می شود.

87

- شکل مقطع تونل به صورت مربع، مستطیل، ذوزنقه، دایره، و قوسی و ...

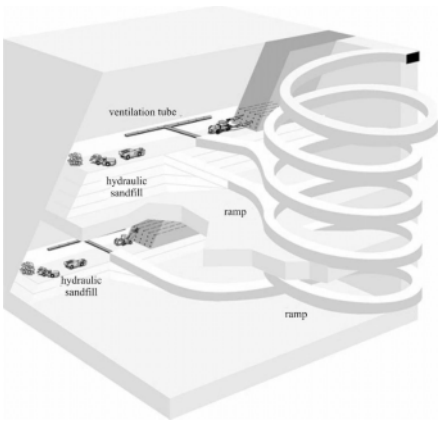
مزایای تونل های افقی نسبت به چاه:	معایب تونل های افقی نسبت به چاه:
▪کمتر بودن هزینه حفر (یک چهارم چاه)	▪طول تونل برای رسیدن به ماده معدنی زیادتر است
▪تجهیزات و خدمات ساده تر از چاه	▪قابل استفاده در مناطق کوهستانی
▪سرعت حفر زیادتر	▪هزینه نگهداری زیاد
▪افقی بودن مسیر حمل و نقل	▪برای دسترسی به کانسارهای عمیق باید از روش های دیگر استفاده کرد
▪باربری پیوسته	
▪آبکشی تحت نیروی ثقل	

88

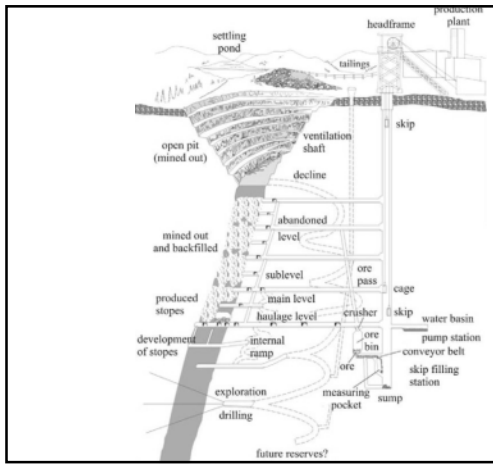
بازکردن توسط رمپ

- رمپ گالری شیبداری است در کمرپایین ماده معدنی که حمل و نقل در آن به وسیله کامیون انجام می شود.
- از رمپ بیشتر برای معدنی که روش استخراج آنها ترکیب روباز و زیرزمینی است استفاده می شود.
- رمپ به دو صورت مارپیچی و زیگزاگی ایجاد می شود.
- از مزیت های رمپ این است که می توان مواد استخراجی را تا محل تخلیه باطله یا کارخانه فرآوری انتقال داد. از معایب آن استهلاک زیاد کامیون ها است.

89



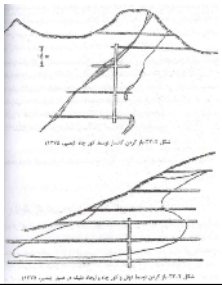
90



91

بازکردن از طریق چاه کور

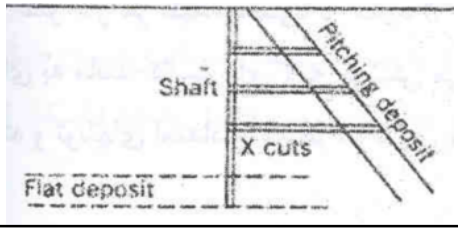
در صورتی که سطح زمین مقدار زیادی باطله پوشانده باشد برای برقراری ارتباط با کانسار از راه حل مرکب تونل–چاه کور استفاده می شود.



92

بازکردن کانسارهای لایه ای

- بازکردن این کانسارها بستگی به شیب لایه، عمق و توپوگرافی سطح دارد.
- اگر منطقه کوهستانی باشد بهترین راه تونل است.
- برای کانسارهای عمیق افقی و کانسارهای قائم یا پرشیب از چاه قائم استفاده می شود. این روش دارای تولید و عمر زیاد است.

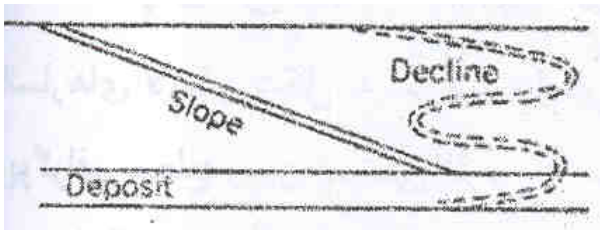


93

- از چاه شیبدار برای کانسارهای با شیب متوسط (۳۰ تا ۷۰ درجه) استفاده می شود. این روش دارای عمر کم تا متوسط است. این روش دارای آماده سازی افقی کم و در حین آماده سازی تولید کم وجود دارد.

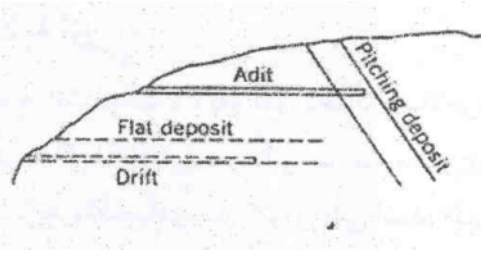
94

- از تونل شیبدار برای باربری متوسط از نوار نقاله (شیب حدود ۲۰ درجه) یا کامیون (شیب کمتر از ۱۲ درجه) استفاده می شود. این روش برای کانسارهای افقی کم عمق مناسب است و دارای تولید متوسط تا بالا و عمر زیاد می باشد.



95

- تونل موازی یا داخل لایه با باربری توسط نوار نقاله، کامیون و قطار استفاده می شود. این روش برای کانسارهای کم عمق دارای رخنمون افقی و یا پر شیب مورد استفاده قرار می گیرد.این روش دارای تولید و عمر زیاد می باشد.



96

مقایسه روش های مختلف بازکردن

فاکتور مورد مقایسه	چاه قائم	چاه شیبدار	رمپ
قدمت	قديمي ترين	جديد	جديدترين
سرمايه	زياد	متوسط	كم
شيب	90 درجه	20 تا 22	1:9
عمق	زياد	200 تا 350متر	200 تا 350متر
توليد	زياد	متوسط	زياد
عمر	زياد	كم	كم
وسيله حمل و نقل	اسكيپ و قفس	اسكيپ و قفس و نوار نقاله	كاميون
مصرف سيم بكسل	كم	خيلي زياد	-
هزينه پيشروي	پرهزينه	كم هزينه	كم هزينه
كنترل پيشروي	نسبتاً آسان	كمي مشكل	خيلي مشكل
نصب وسايل نگهداري	مشكل و وقت گير	آسان و سريع	آسان و سريع

97

فاکتور مورد مقایسه	چاه قائم	چاه شیبدار	رمپ
وضعيت تهويه	عالي	عالي	خوب
تعميرات	مشكل	آسان	خيلي آسان
سرعت حمل	خيلي بالا	كند	متوسط
احتمال تصادفات	خيلي كم	متوسط	زياد
تاسيسات مورد استفاده	بسيار پيچيده	پيچيده	ساده
فاصله حفر از كمرپايين	15 تا 30متر	15 تا 30متر	15 تا 30متر
حجم كانسار	زياد	كم	زياد

98