

Underground Blasting

Phairat Charernkit

Mining Engineer

2106444 ENG EXP ROCK BLAST Engineering
Explosive and Rock Blasting

Department of Mining and Petroleum
Engineering Chulalongkorn University

1st Semester 2014

อุโมงค์สามารถแบ่งตามลักษณะการวางตัว ได้ 3 รูปแบบดังนี้

อุโมงค์ในแนวตั้ง หรือ ลาดเอียงเป็นมุมชัน

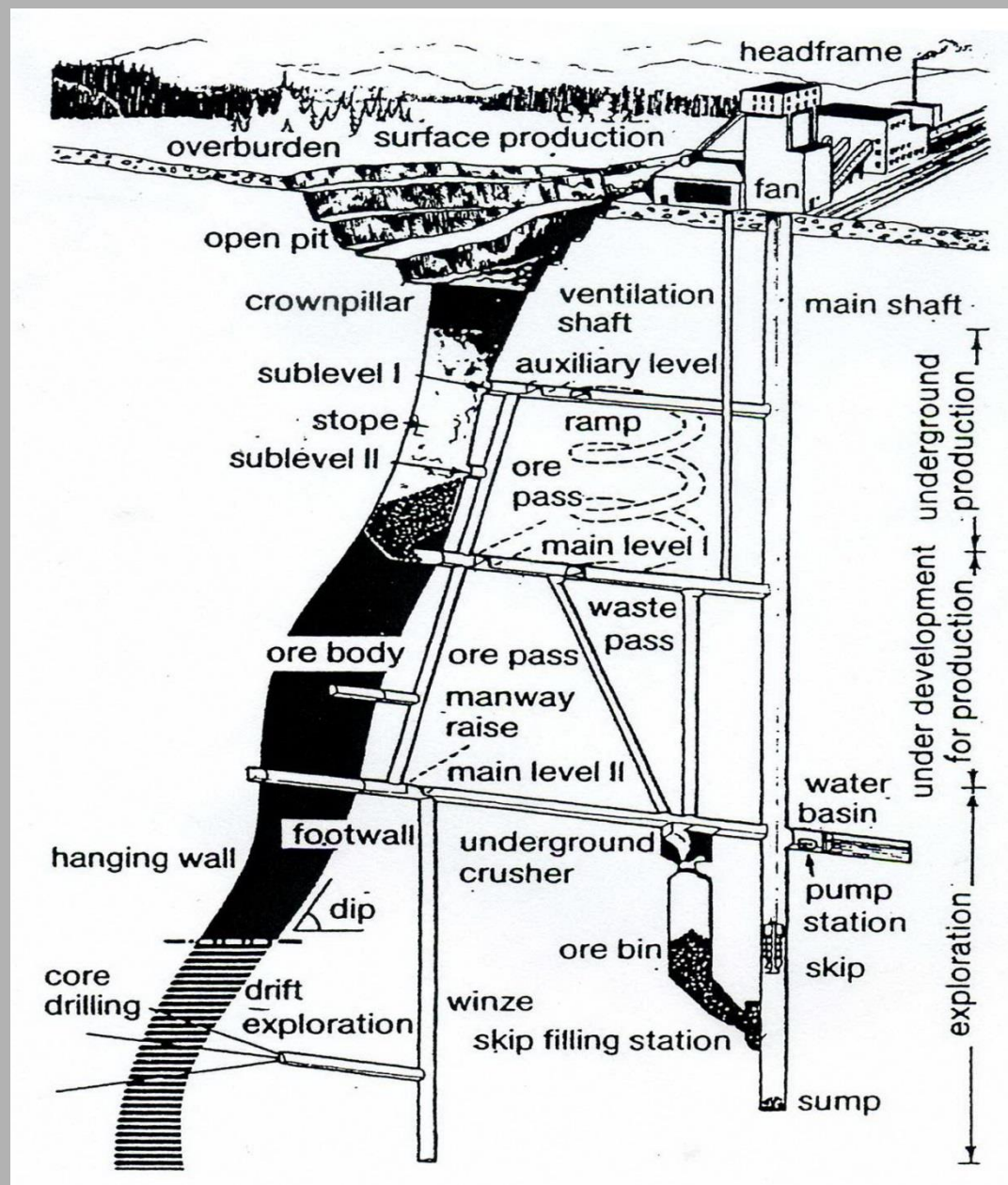
- **Shaft** (ปล่องขนาดใหญ่)
- **Raise** (อุโมงค์ขนาดเล็กในแนวตั้ง หรือ ลาดเอียงเป็นมุมชัน)
- **Winze** (ปล่องที่ลาดเอียงเป็นมุมชัน)

อุโมงค์ในแนวลาดเอียง

- **Ramp** (อุโมงค์โค้ง ลาดขึ้น/ลง)
- **Inclined Shaft** (อุโมงค์ลาดเอียงขนาดใหญ่)

อุโมงค์ในแนวราบ

- **Tunnel** (มักเป็นอุโมงค์ขนาดใหญ่)
- **Drift** หรือ **Drive** (อุโมงค์ ตามสายแร่ และ พัฒนาหน้างาน)
- **Adit** (อุโมงค์ปลายเปิดด้านเดียว)
- **Crosscut** (อุโมงค์ที่เจาะตั้งฉากกับอุโมงค์ **Drift** หรือ **Drive**)



ภาพแสดงอุโมงค์ชนิดต่างๆ

อุโมงค์แนวราบมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันเช่นเป็นวงกลม รูปเกือกม้า สี่เหลี่ยมจตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่รูปร่างที่นิยมกันมากที่สุดในการเจาะอุโมงค์แนวราบคือรูปเกือกม้าเนื่องจากผนังโค้งของอุโมงค์มักจะมีเสถียรภาพมากที่สุด พื้นที่อุโมงค์ที่เป็นแนวราบให้พื้นที่กว้างสำหรับเคลื่อนย้ายเครื่องจักรอุปกรณ์และขุดเจาะได้ง่ายกว่า

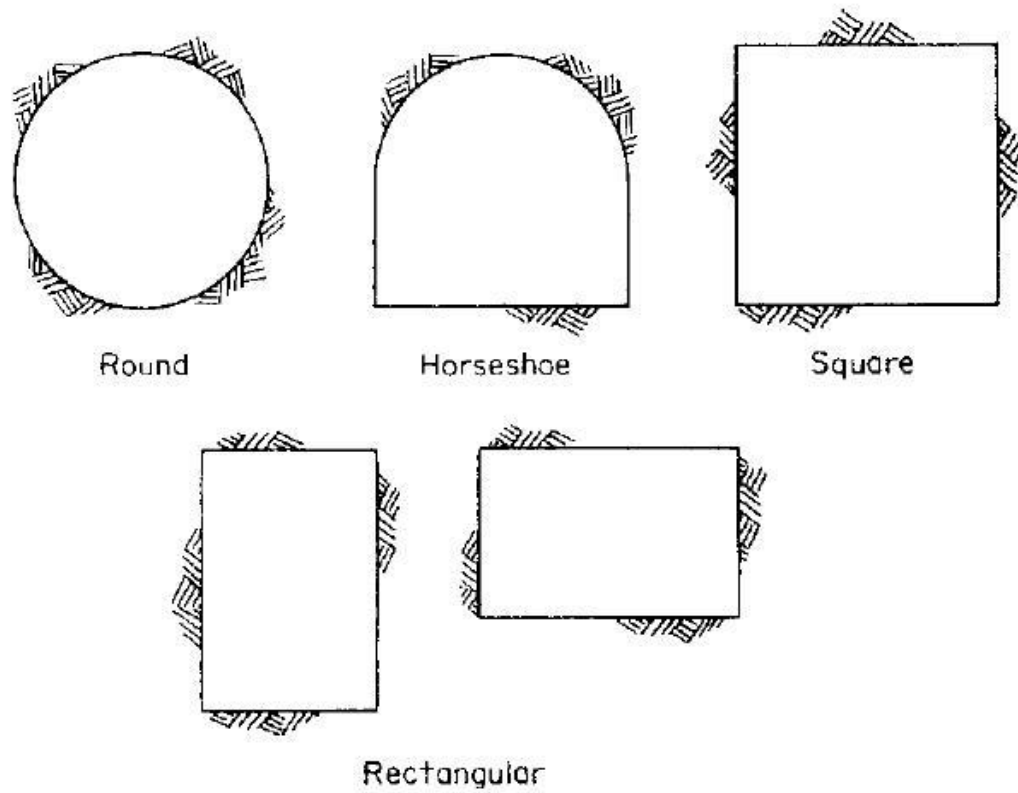


Fig. 12.1 Tunnel shapes.

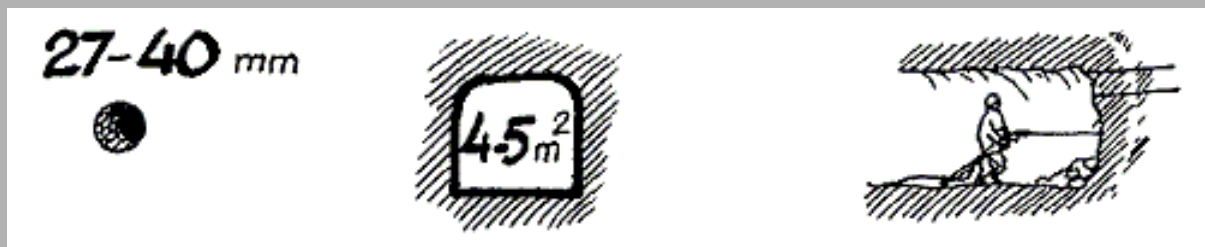
การเจาะอุโมงค์ **Tunneling**

อุโมงค์ขนาดเล็ก 4-20 M²

อุโมงค์ค้ำขนาดกลาง 20-60 M²

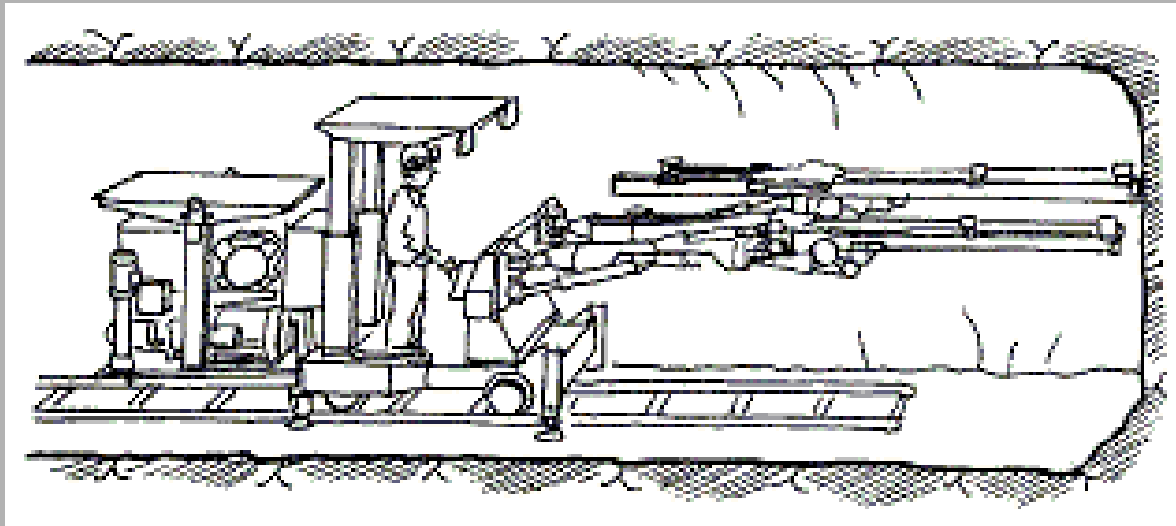
อุโมงค์ขนาดใหญ่ - โตกว่า 60 M²

อุโมงค์ขนาดเล็ก 4-20 M²

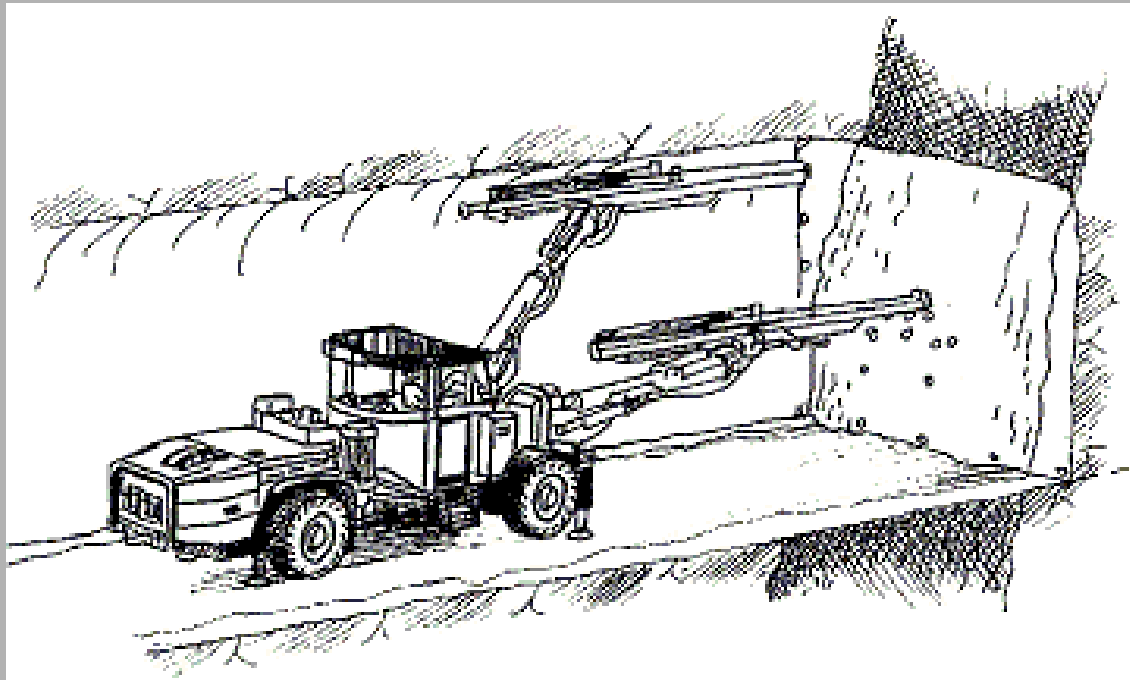


สำหรับระบายอากาศ วางท่อต่างๆ และเพื่อการทำเหมืองแร่ขนาดเล็กเป็นต้น

มักเจาะรูระเบิดในรูปแบบขนานกันทุกรู (a parallel hole cut pattern drilled : Burn cut)



เครื่องเจาะอาจวางบนรางรถไฟหรือเป็นแบบล้ออย่างมีหลายหัวเจาะ



เจาะระเบิดอุโมงค์เต็มหน้า (Full-face Blasting Method)

เป็นการเจาะและระเบิดดินหน้าอุโมงค์ไปพร้อมกันทุกจุดโดยการเจาะระเบิดทำมุมต่าง ๆ กันกับหน้าอุโมงค์ แต่การเจาะอุโมงค์มีความแตกต่างการเจาะอุโมงค์ในเหมืองเปิดเนื่องจากการเจาะระเบิดในเหมืองเปิดหน้างานมากมีน้ำอิสระให้หินแตกออกได้ 2-3 ทิศทางส่วนการเจาะอุโมงค์มีน้ำอิสระทางด้านหน้าด้านเดียว ดังนั้นในการเจาะอุโมงค์จำเป็นต้องสร้างน้ำอิสระหรือช่องว่างขึ้นมาเพื่อให้หินได้มีช่องที่จะแตกตัวออกไปได้ช่องว่างที่สร้างขึ้นนี้มีรูปแบบต่าง ๆ เช่นเป็นรูเจาะที่ไม่มีการอัดระเบิด หรือการเจาะเป็นรูปตัว v (V-cut) หรือการเจาะเป็นรูปพัด (Fan cut) เป็นต้น

การเจาะรูระเบิดเป็นมุมทแยง (Angle cuts)

- การเจาะรูระเบิดเป็นรูปตัว V (V-cut)
- การเจาะรูระเบิดเป็นรูปพัด (Fan cut)

การเจาะรูระเบิดเป็นรูปตัว V (V-cut)

- เจาะรูระเบิดเป็นรูปตัว V หรือเป็นรูปลิ้มเพื่อให้เกิดการระเบิด หินบริเวณส่วนกลางออกเป็นรูปลิ้มเพื่อให้มีหน้าอิสระเกิดขึ้นตรงกลางก่อนหินที่อยู่โดยรอบจะมีช่องว่างให้แตกออกมาแทนที่บริเวณลิ้มที่แตกออกไปก่อนแล้วได้
- จำนวนรูระเบิดน้อยกว่าเจาะรูระเบิดขนานกัน
- ใช้ระเบิดน้อยกว่า หินกระเด็นไกล
- มุมทแยงต้องมากกว่า 60 องศา
- เดินหน้าอุโมงค์ได้ไม่เกิน ครึ่งหนึ่งของความกว้าง
- มักใช้ในการเจาะเพื่อผลิตแร่ในเหมืองใต้ดิน
- มุมทแยงสองชั้นเรียกว่าการเจาะแบบ **Baby-V** หรือ **Double-V**

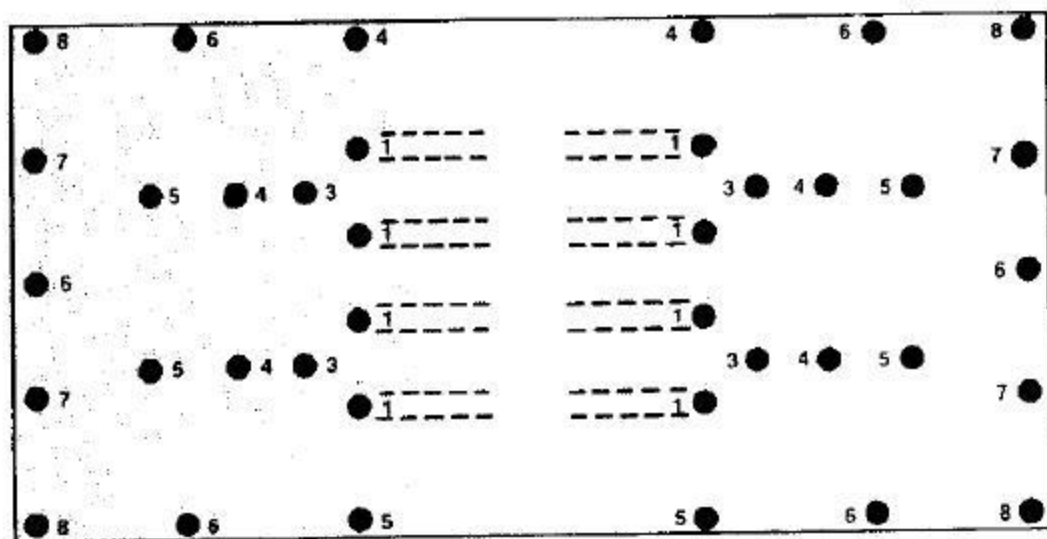
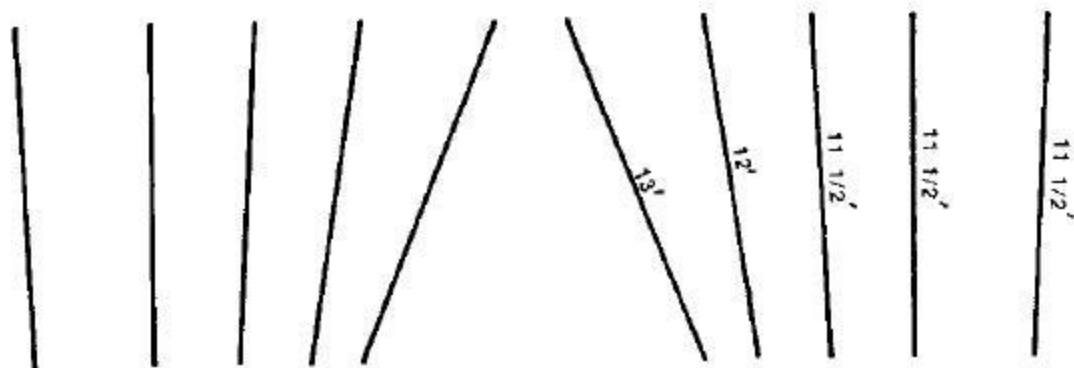


Figure 15.16. Room-and-Pillar Millisecond Delay V Cut Round.

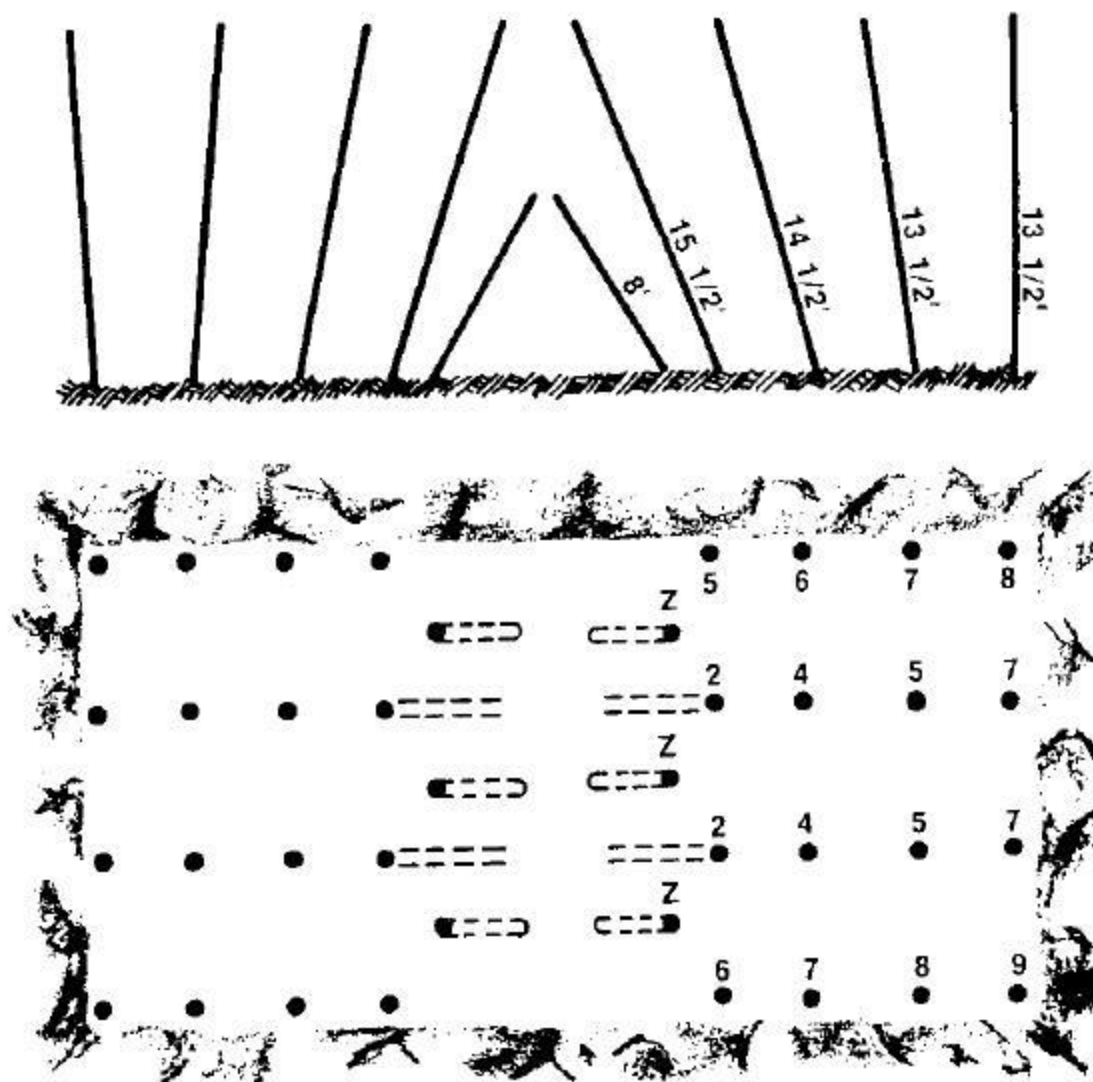
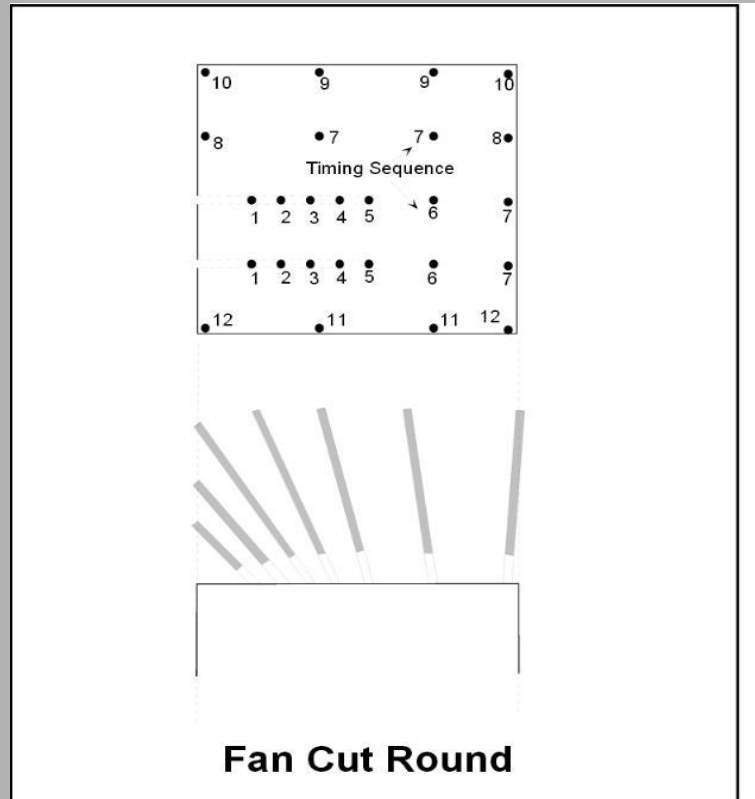


FIGURE 15.17 Millisecond Delay V Cut with Baby V

การเจาะรูระเบิดเป็นรูปพัด (Fan cut)

เป็นการเจาะรูระเบิดเป็นมุมทแยงและระเบิดหินออกเป็นรูปลิ้มคล้ายกับการเจาะรูระเบิดเป็นรูปตัว V แต่จะเปิดลิ้มออกบริเวณผนังด้านหนึ่งด้านในของอุโมงค์แทนการเปิดออกที่บริเวณส่วนกลางของอุโมงค์ การเจาะอุโมงค์แบบนี้ใช้จำนวนรูระเบิดน้อยกว่าการเจาะรูระเบิดขนานกันแนวอุโมงค์เช่นเดียวกัน



การเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์ (Burn cut)

- ปัจจุบันการเจาะอุโมงค์มักใช้การเจาะรูระเบิดในแนวขนานกับแนวอุโมงค์แทนการเจาะรูระเบิดเป็นมุมทแยง แม้ว่าการเจาะรูระเบิดแบบนี้จะต้องเจาะรูระเบิดจำนวนมากกว่า การเจาะแบบมุมทแยงมุมและต้องใช้วัตถุระเบิดปริมาณมากกว่าแต่สามารถได้ความลึกของการเจาะอุโมงค์มากที่สุดของการระเบิดแต่ละรอบ และการที่สามารถเดินหน้าอุโมงค์ไปได้มากที่สุดของแต่ละรอบของการระเบิดนี้ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจาะระเบิดโดยรวมถูกที่สุดด้วย

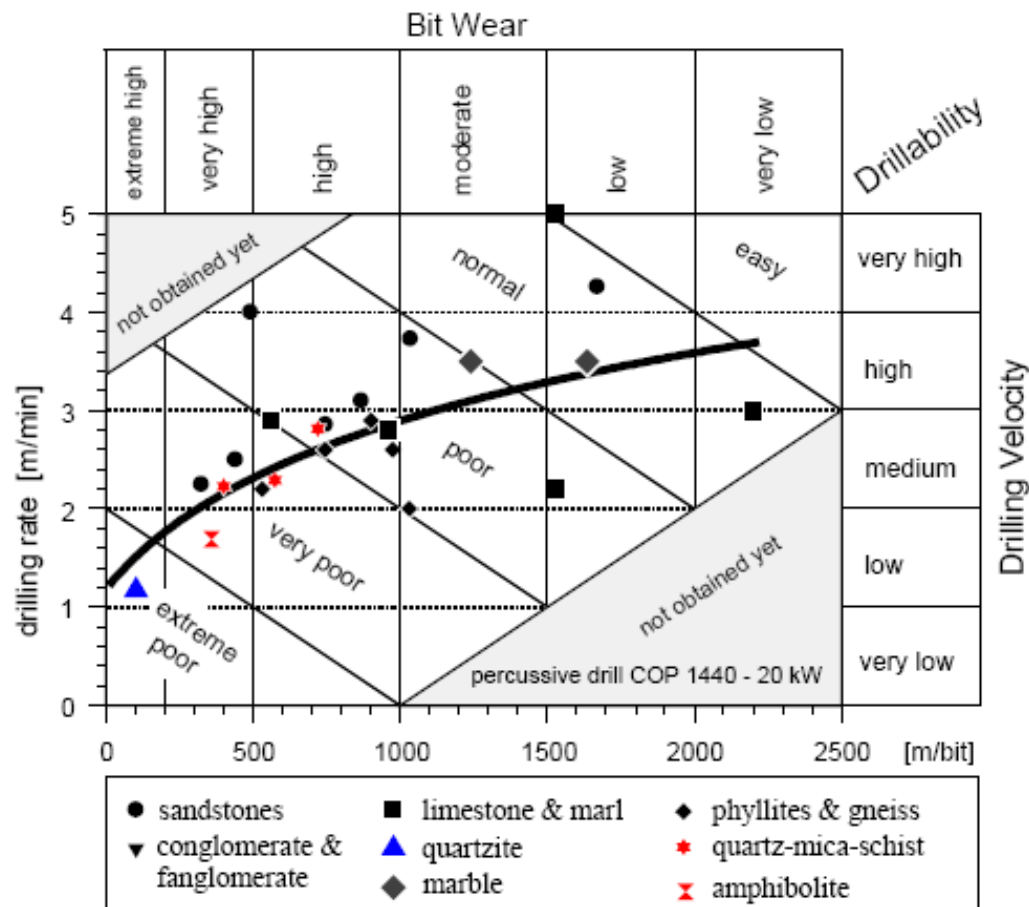
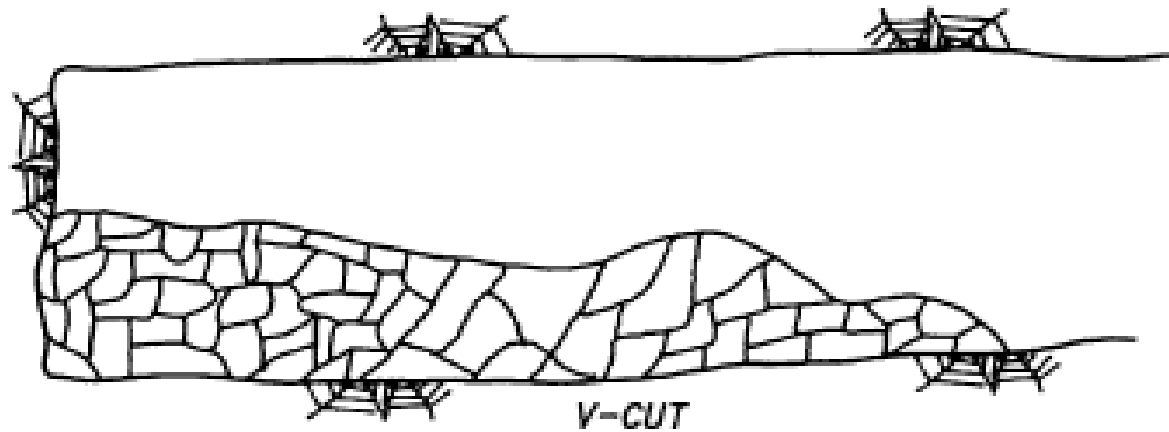
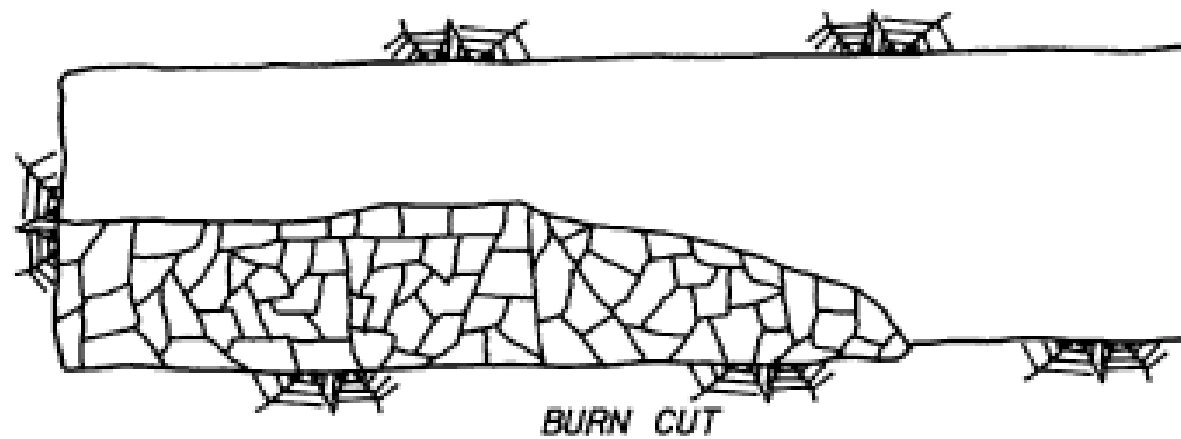


Fig. 5: Classification diagram enclosing 25 case studies of different rock types or homogeneous areas derived from 9 tunnel projects (Atlas Copco COP 1440 20 kW percussive drill hammer).

ความเร็วในการเจาะระเบิดในหินชนิดต่าง ๆ

ข้อดีของการเจาะอุโมงค์แบบเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์

- ความลึกของอุโมงค์ที่ได้ของการระเบิดแต่ละรอบไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่ในการทำงานและมุมของการเจาะระเบิด
- ความลึกของอุโมงค์ที่ได้ของการระเบิดแต่ละรอบที่ได้จากการเจาะระเบิดแบบขนานกับแนวอุโมงค์อาจจะได้ความลึกมากแม้เป็นการระเบิดในหินแข็ง
- เจาะระเบิดง่ายเพราะเจาะขนานกันทุกรู
- หินไม่กระเด็นไปไกลแต่แตกละเอียดดีกว่าง่ายต่อการขุดขน
- กองหินที่ได้ระเบิดสูงเหมาะกับการเขี่ยหินที่แตกร้าวและการเจาะรูเพื่อทำ rock bolt เสริมความแข็งแรงของผนังอุโมงค์
- ความลึกของการเจาะระเบิดมากน้อยตามความพอใจ



ข้อเสียของการเจาะอุโมงค์แบบเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์

- อาจต้องเจาะรูขนาดใหญ่และไม่อัดระเบิด ทำให้ต้องใช้เครื่องเจาะระเบิดเป็นการเฉพาะ
- การเจาะระเบิดต้องการความแม่นยำมากกว่าการเจาะทแยง
- ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน (Explosive Factor) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเจาะแบบทแยงมุม

รูระเบิดเปิดหน้า (Burn cut)

จะมีการเจาะรูที่ไม่มีการอัดระเบิดไว้ หนึ่งรูหรือหลายรูเพื่อให้มีช่องว่างหรือหน้าอิสระให้หินที่แตกตัวออกมาจากรูที่อัดระเบิดได้รูที่ไม่อัดระเบิดนี้ จะเป็นรูขนาดเท่ากันหรือใหญ่กว่ารูที่อัดระเบิดก็ได้แต่ปกติจะเจาะให้มีขนาดใหญ่กว่ารูที่อัดระเบิด

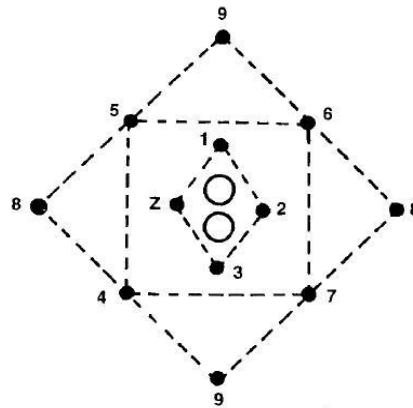


Figure 15.10. An Example of a Burn Cut Using Two Large Empty Holes.

กรณีที่มีการเจาะรูว่างที่ไม่อัดระเบิดเพียงรูเดียว รูระเบิดที่อยู่ใกล้รูที่ไม่อัดระเบิดจะมีระยะห่างออกไป(Burden) ประมาณ 0.7 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูว่าง

Large hole diameter	Small hole diameter	Burden	Centre-to-centre distance
mm	mm	mm	mm
57	32	40	85
76	32	53	107
76	45	53	113
2 × 57	32	80	125
2 × 57	45	80	131

หากรูว่างมี 2 รูใกล้กัน ต้องเจาะห่างออกไปประมาณ 0.7 x 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูว่างตารางด้านล่างแสดง burden ของการเจาะอุโมงค์แบบขนานกับแนวอุโมงค์

Large hole diameter	Small hole diameter	Burden	Centre-to-centre distance
mm	mm	mm	mm
2 × 76	32	106	160
2 × 76	45	106	167
100	45	70	143
100	51	70	146
125	51	88	176

กรณีที่น่าใจว่ามีรูว่างหรือรูที่เจาะไว้โดยไม่อัดระเบิดจำนวนมากพอแล้ว การประเมิน **Burden** ในการเจาะระเบิดในหินแข็ง อาจประเมิน **Burden** ตามขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางรูระเบิดโดยกำหนดให้ **Burden** มีหน่วยเป็นฟุต เท่ากับขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางรูระเบิดมีหน่วยเป็นนิ้ว เช่นรูระเบิด 1.5 นิ้ว (38 mm) ก็ให้ใช้ **Burden 1.5 ฟุต (McGraw-Hill 1981)** และให้ใช้ค่า **Spacing** เท่ากับ 1.4 เท่า ของ **Burden** เช่นหากใช้รูระเบิดขนาด 1.75 นิ้ว ควรใช้ ระยะ **Burden 21 นิ้ว (0.5 เมตร)** และใช้ **Spacing 29 นิ้ว (0.73 เมตร)** สำหรับหินที่มีโครงสร้างอ่อนอาจใช้ค่า **Burden** และ **spacing** มากกว่าข้างต้นเล็กน้อย ประมาณ 1.2 เท่าของหินแข็ง

ความลึกของอุโมงค์ที่ในแต่ละรอบการระเบิดตามขนาดของรูว่าง

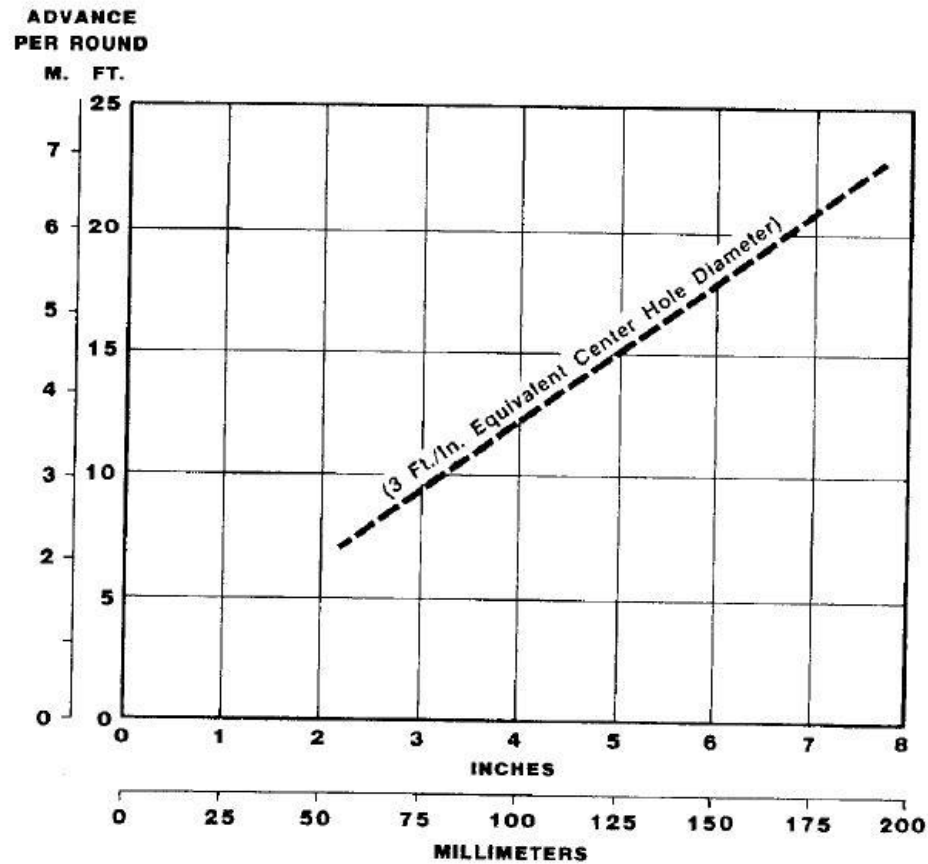


Figure 15.11. Practical Advance per Round for Parallel Burn Cuts (Langefor's Chart).

การวางรูระเบิดห่างจากรูว่างในระยะต่าง ๆ กันหินที่มีโครงสร้างอ่อนและมีรูลึกมากจะแตกได้ตลอดรูระเบิดได้ยากกว่าหินแข็งและเปราะเพื่อให้ผลการระเบิดเป็นที่น่าพอใจช่องว่างที่เกิดจากรูว่างควรมีไว้สำหรับการบวมตัว (Swell) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

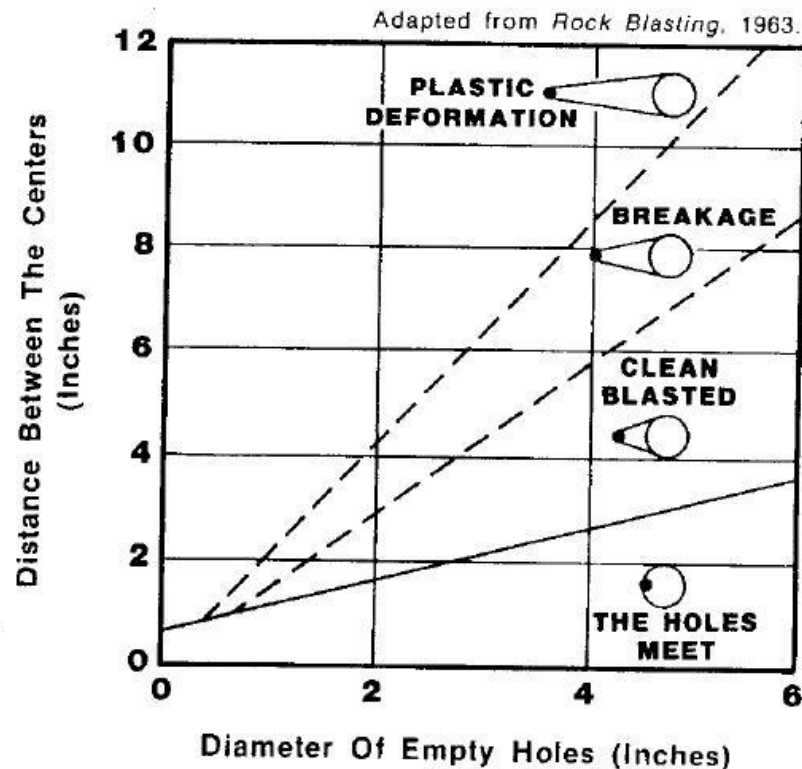


Figure 15.12. Principles of Round Design.

ในการเจาะรูระเบิดขนานกันทุกรูการถ่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมในการ
ระเบิดเปิดหน้าอาจทำให้รูที่อยู่ใกล้กันด้าน **(Freeze)** และระเบิด
ไม่ออกทั้งหมดมีวิธีป้องกันคือ

- ใช้รูระเบิดว่างหรือรูที่ไม่อัดระเบิดให้มากพอจนแน่ใจว่าหินที่ระเบิดออกมา
จากรูที่อัดระเบิดมีพื้นที่มากพอที่จะแตกตัวออกมาได้

- อัดระเบิดให้ตลอดทุกรูควรเว้นไว้ไม่เกิน 1-2 นิ้ว

- ใช้ระเบิดเล็กกว่ารูระเบิดเพื่อลดปริมาณวัตถุระเบิดต่อความลึกของรูระเบิด

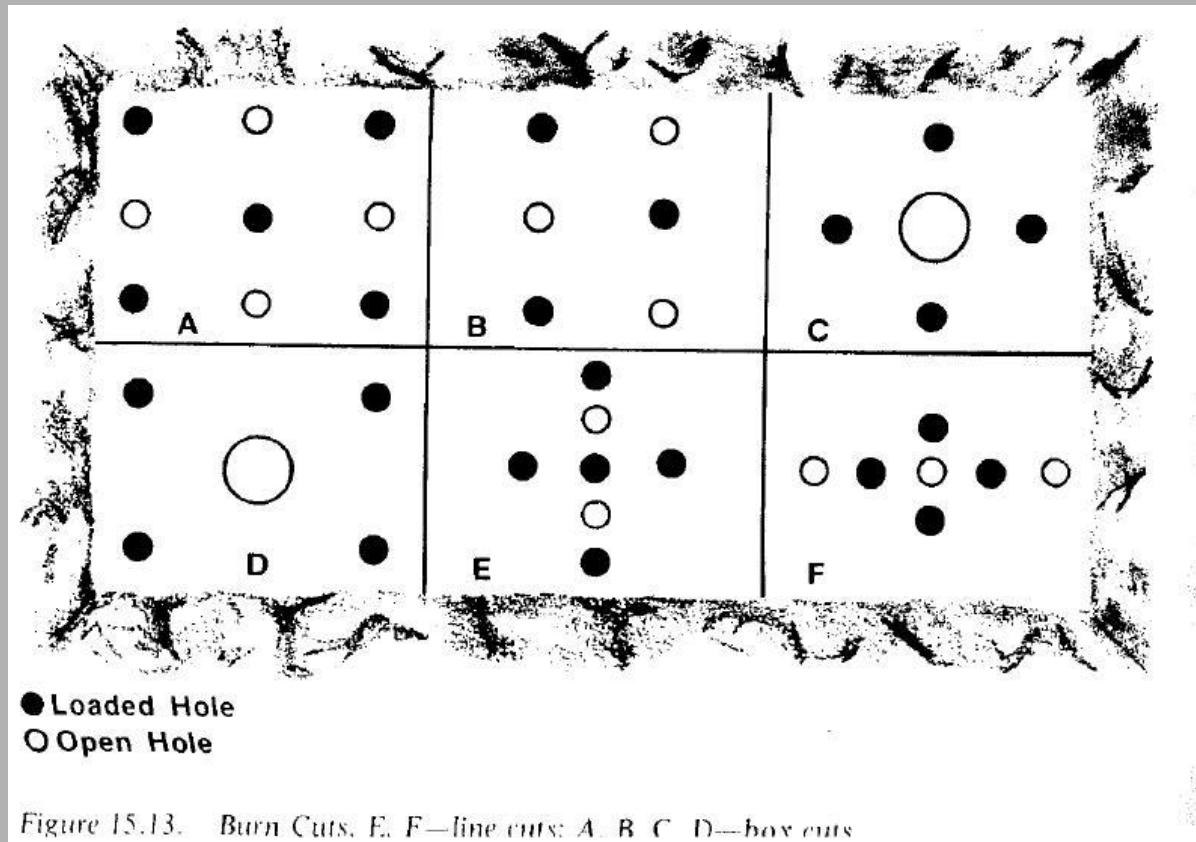
และป้องกันการถูกอัดตัว

- เปลี่ยนรูปแบบการเจาะรูที่ไม่อัดระเบิด

- เปลี่ยนการถ่วงเวลาของเชื้อปะทุจนแน่ใจว่ามีระยะการถ่วงเวลาที่เหมาะสม

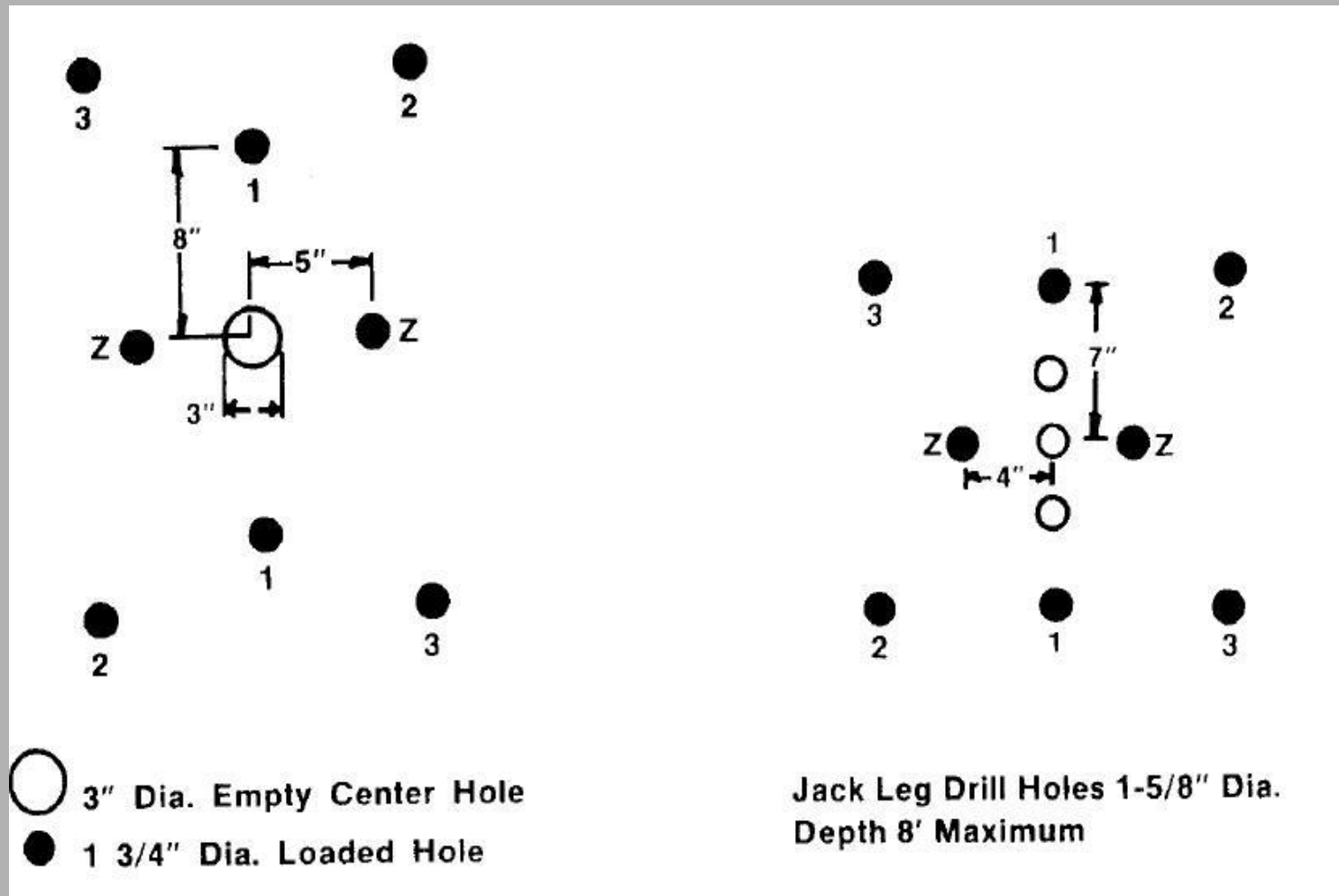
- ให้มีการระเบิดพร้อมกันใน 2-3 รูแรกสุด

การเจาะรูระเบิดเปิดหน้า (Burn cut) ในการเจาะแบบรูระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือระเบิดออกเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม (Box-cut) E กับ F ในรูปข้างล่าง กับระเบิดออกเป็นแนวเส้นตรง (Line cut) A B C และ D ในรูปข้างล่างการระเบิดออกเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมมักใช้กับรูระเบิดขนาด 3 นิ้วขึ้นไปซึ่งใช้เครื่องเจาะรูระเบิดแบบจัมโบ้ (Jumbo Drill) ส่วนการระเบิดเป็นเส้นตรงมักใช้กับรูระเบิดขนาดเล็ก (1.5-2.0 นิ้ว) ที่ใช้เครื่องเจาะรูระเบิดตีตขาหยั่ง (Jack leg drill)



การอัดระเบิดในรูระเบิดเปิดหน้า(Burn cut) ต้องคำนึงถึงการควบคุมความ
สันสะท้อน ขนาดรูระเบิด ลักษณะธรณีวิทยาของหิน ระบบจุดระเบิด ชนิดของวัตถุ
ระเบิดที่ใช้ และการปิดปากรูระเบิดเป็นต้น

การใช้วัตถุระเบิดบางชนิดเช่น water gel หรือ Emulsion Explosive เป็นวัตถุ
ระเบิดหลักเมื่อเกิดการระเบิดของรูระเบิดหนึ่งแรงอัดจากการระเบิดอาจไปอัด
กระแทกระเบิดในรูถัดมาจนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤติ
(Critical Diameter) หรือมีความหนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นวิกฤต (Critical
Density) ของวัตถุระเบิดชนิดนั้นที่เรียกว่า Dead Pressing จะทำให้ระเบิดด้าน เพื่อ
ป้องกันปัญหาเหล่านี้ควรออกแบบให้รูระเบิดที่ระเบิดแรกสุดระเบิดพร้อมกันสัก 2 รู
ก่อนแล้วให้รูหลังๆค่อยระเบิดตามมาดังในรูปด้านล่าง รู Z ที่อยู่ใกล้รูว่างมากที่สุดจะ
ระเบิดพร้อมกัน



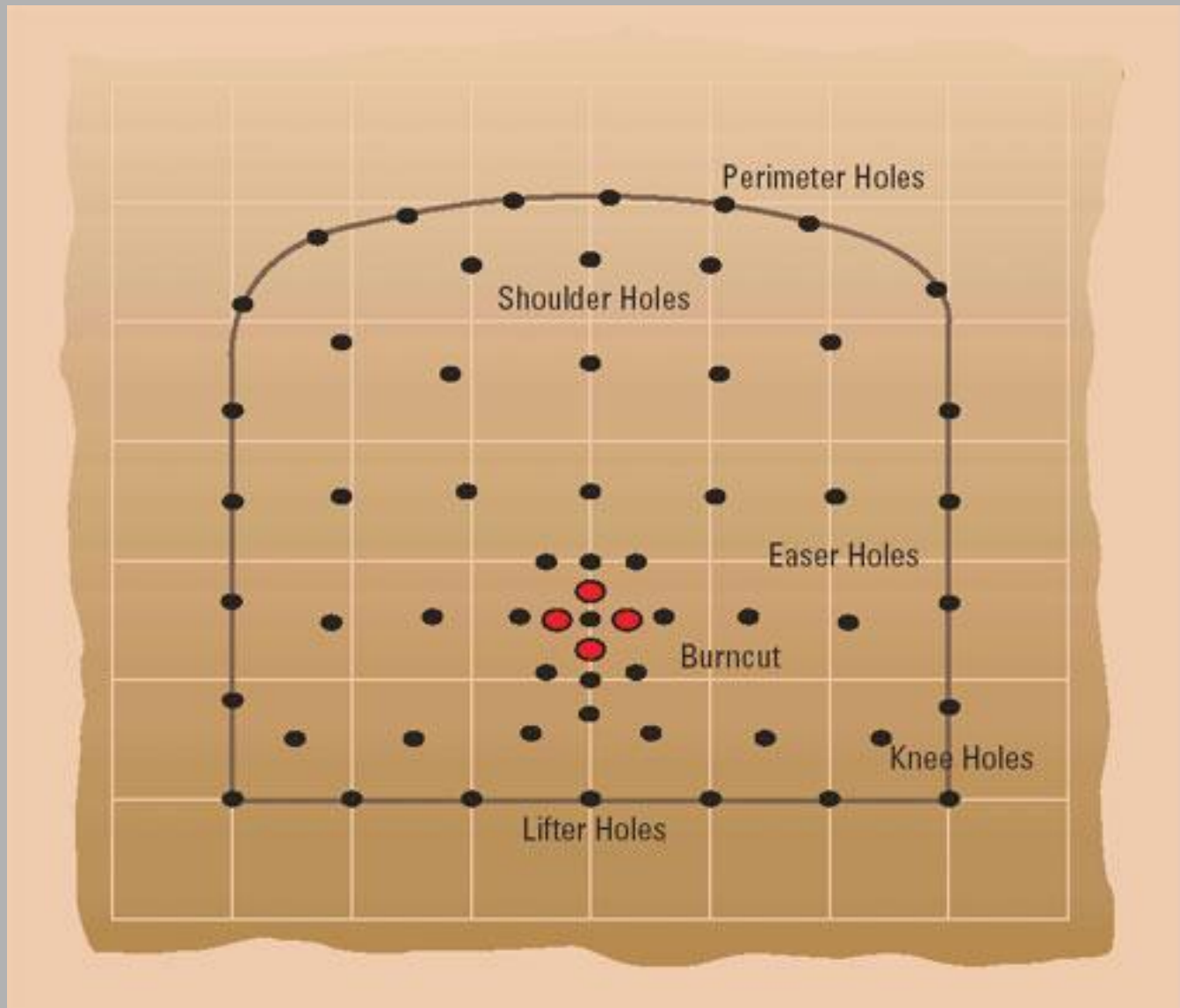
การออกแบบอนุกรมการเจาะระเบิดเพื่อป้องกันปัญหา

Dead Pressing

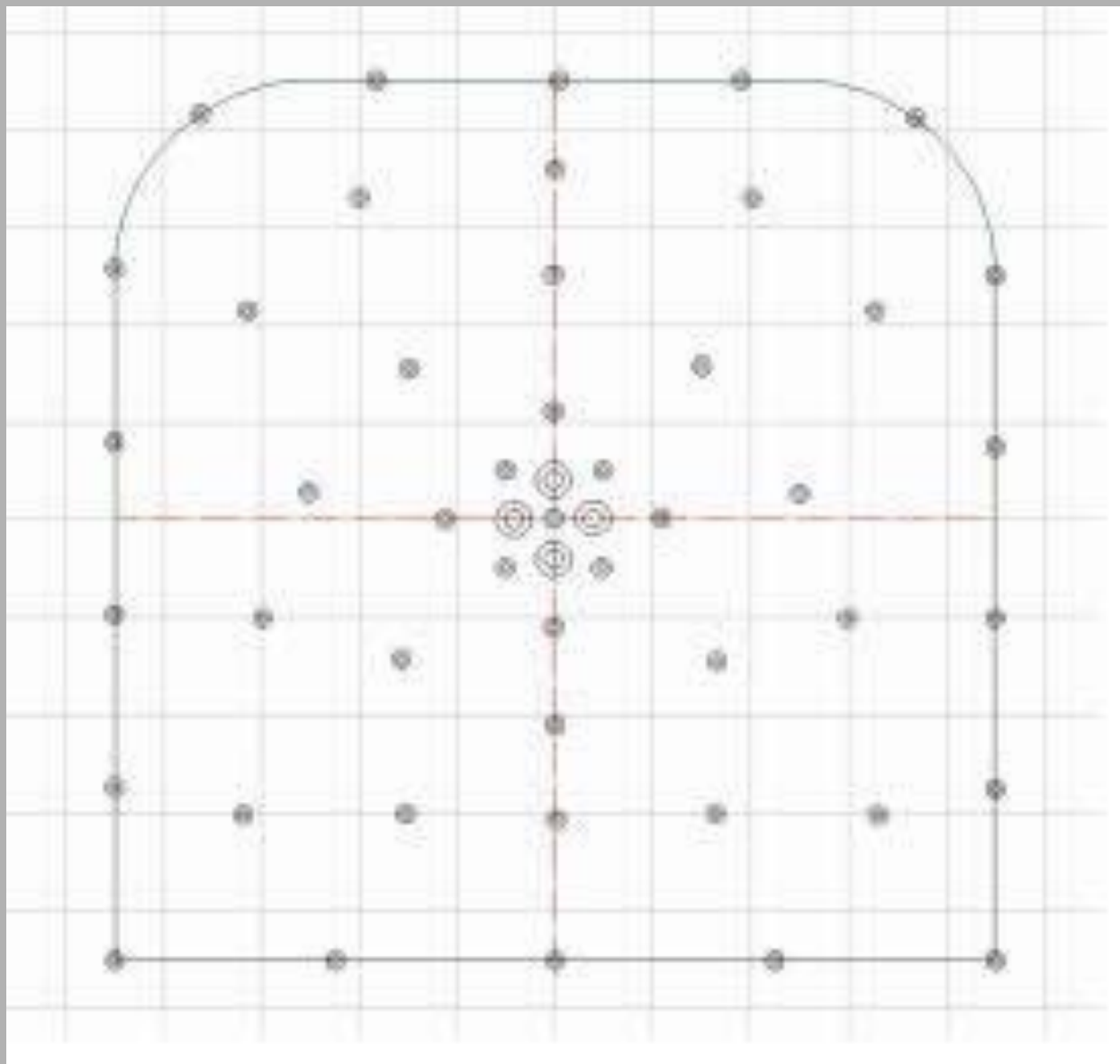
ขนาดของวัตถุระเบิดที่ใช้ ควรเลือกแท่งระเบิดให้มีขนาดเล็กกว่ารูระเบิดพอสมควรจะสามารถป้องกันปัญหา Dead Pressing ได้ ตารางข้างล่างนี้แสดงขนาดแท่งระเบิดกับขนาดรูระเบิดที่เหมาะสม

RECOMMENDED EXPLOSIVE CARTRIDGE DIAMETER			
Hole Diameter		Cartridge Diameter	
(mm)	(in)	(mm)	(in)
38	1 1/2	29	1 1/8
41	1 5/8	29 or 32	1 1/8 or 1 1/4
44	1 3/4	32	1 1/4
48	1 7/8	38	1 1/2
51	2	38	1 1/2
57	2 1/4	44	1 3/4
64	1 1/2	51	2

เพื่อให้
แน่ใจว่า
การระเบิด
จะได้ผลดี
ต้องเจาะรู
ว่างให้มาก
พอ



Design of under ground blast hole



แสดงภาพจำลองการเจาะรูระเบิดอุโมงค์ขนาดกว้าง 3 เมตรสูง 3.5 เมตร





เครื่องเจาะยี่ห้อ
Atlas Copco ติดตั้ง
 หัวเจาะรุ่น **COP
 1440**



อุปกรณ์ชุดขนหิน

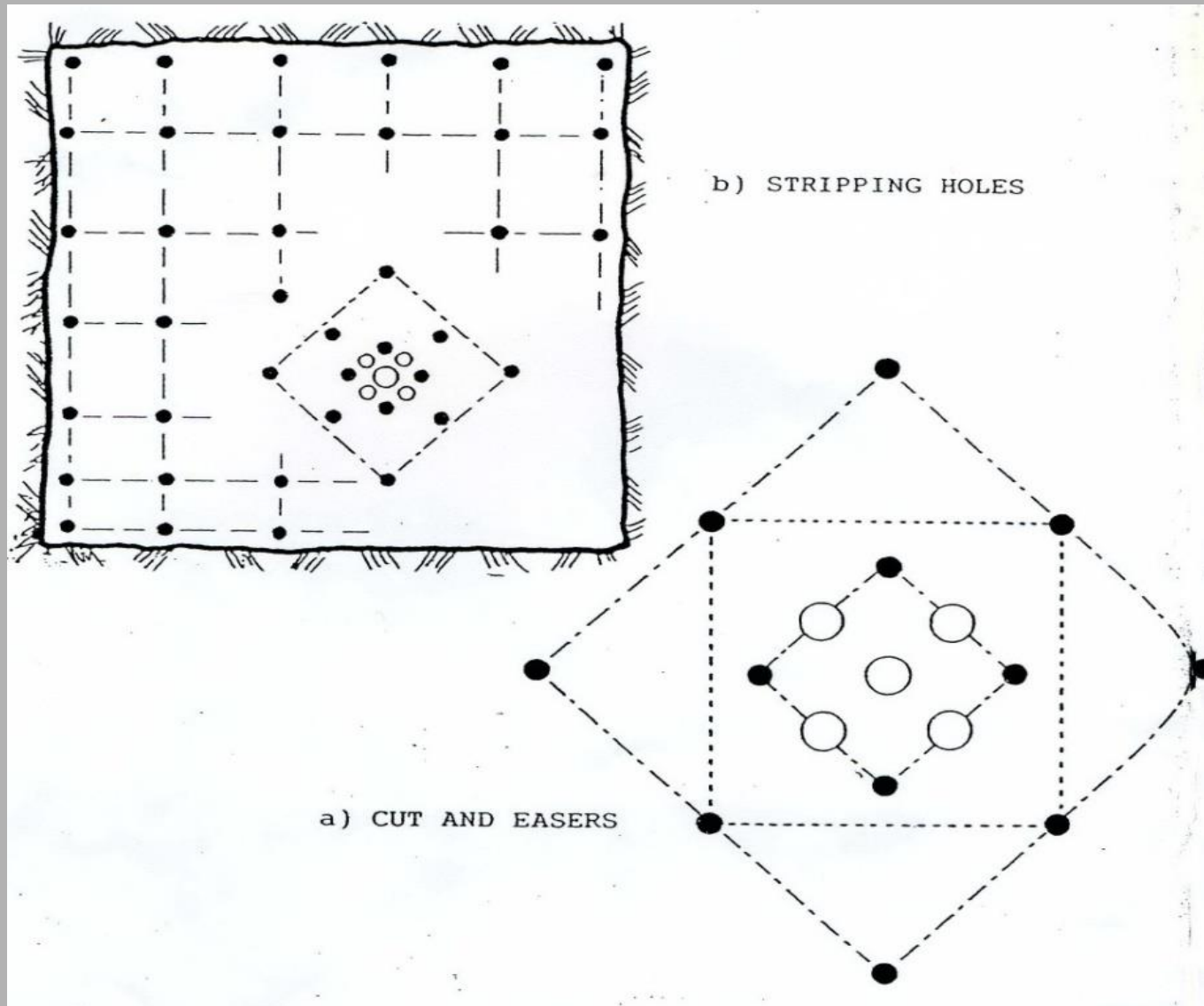


สภาพปากอุโมงค์และภายใน
อุโมงค์



รูระเบิดถัดจากรูระเบิดเปิดหน้า (Easers holes)

- คือรูระเบิดที่อยู่ รอบๆ รูรูระเบิดเปิดหน้า (Burn cut) มีหน้าที่ช่วยระเบิดหิน ออกจากบริเวณรูระเบิดเปิดหน้า เพื่อให้มีช่องว่างมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อการระเบิดของรูระเบิดในลำดับถัดไประเบิดออก
- รูระเบิดรอบๆรูระเบิดเปิดหน้านี้ อาจจะเอียงเล็กน้อยเข้าหา Burn cut เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าหินจากการระเบิดจะถูกผลักกระเด็น ออกมาได้เหมาะสม แต่จะต้องระวังไม่ให้ปลายรูระเบิดเหล่านี้อะทะรูรูระเบิดเปิดหน้าได้ นอกจากนี้ถ้าระยะใกล้กันเกินไป อาจทำให้เกิดระเบิดด้านจาก Dead Press ได้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุระเบิดที่ใช้ ระยะหน้าระเบิด (Burden ของรู Easer ต้องสอดคล้องกับสภาพหิน/ แร่ ที่หน้างาน โดยปกติจะมีระยะโดยประมาณอยู่ในช่วงระหว่างระยะห่างบริเวณรูระเบิดเปิดหน้าถึงระยะห่างของรูระเบิดอื่นๆ (Stripping holes)



ภาพแสดง cut holes easer holes และ Stripping Hole

Perimeter Holes (รูระเบิดที่ขอบอุโมงค์)

- หมายถึง รูระเบิดบริเวณพื้นอุโมงค์ หรือ **Lifters** รูระเบิดบริเวณผนังด้านข้างของอุโมงค์ หรือ **Wall Holes** และรูที่บริเวณเพดานอุโมงค์ หรือ **Back Holes**

-รูระเบิดที่พื้นอุโมงค์ (**Lifters**)

เป็นรูระเบิดที่อยู่บริเวณพื้นอุโมงค์ จะเจาะในลักษณะเอียงกดต่ำกว่าพื้นอุโมงค์เล็กน้อย เนื่องจากต้องให้พื้นที่แก่อุปกรณ์เจาะและเพื่อให้พื้นอุโมงค์ได้ระดับ และความลาดชันที่ถูกต้อง รูพื้นที่เจาะตรงมุมพื้นจะกดต่ำและถ่างออกเล็กน้อยเพื่อให้พื้นที่แก่อุปกรณ์เจาะ

ปกติรูระเบิดที่พื้นอุโมงค์จะเป็นรูระเบิดที่เจาะในช่วงแรกของการเจาะ และ มักใส่ท่อพลาสติก (**Lifter Pipes**) อุดปากรูไว้ เพื่อป้องกันเศษหินจากการเจาะอุโมงค์ ส่วนบนหล่นลงไปกลบปากรู เนื่องจากรูระเบิดที่พื้นเป็นรูที่จะต้องระเบิดหิน ให้แตกออกจากส่วนพื้นของอุโมงค์ ซึ่งมักมีกองหินที่แตกจากการระเบิดครั้งก่อนหน้าทับอยู่ ดังนั้นจึงควรลดระยะหน้าระเบิด (**Burden**) ลงมาซึ่งปกติจะมีค่าร้อยละ 75 ถึง 90 ของหน้าระเบิดอื่น (**Stripping Holes**)

เนื่องจากรูระเบิดที่พื้นจะเป็นรูที่เจาะกตต่ำกว่าพื้น ดังนั้นต้องระวังความหนาที่ปลายรู (**Toe Burden**) อย่าให้หนาเกินไป นอกจากนี้ระยะระหว่างรูระเบิดมักจะถูกกำหนดโดยความกว้างของหน้าอุโมงค์ ดังนั้น จึงควรเจาะรูระเบิดที่พื้นให้มากขึ้นขึ้นแทนที่การขยายระยะ Spacing ให้ห่างออกไปเพราะอาจทำให้พื้นอุโมงค์ไม่เรียบ

การอัดระเบิดในรูระเบิดและการอัดระเบิดรอบนอกสุดเพื่อให้ผนังอุโมงค์เรียบ (Blast hole and perimeter load)

การอัดระเบิดในอุโมงค์รถยนต์ อุโมงค์รถไฟหรืออุโมงค์ขนส่งในงานเหมืองแร่มักจะมี การอัดระเบิดรูระเบิดที่ขอบอุโมงค์โดยจำกัดปริมาณวัตถุระเบิดเพื่อให้ได้ผนังอุโมงค์ เรียบและป้องกันการแตกร้าวของหินหลังแนวรูระเบิดทำให้ผนังอุโมงค์มีเสถียรภาพ มากขึ้น เรียกการอัดระเบิดแบบนี้ว่าการระเบิดแบบ Smooth Blasting หรือ Smothwall Blasting โดยอัดระเบิดในรูที่ติดกับผนังอุโมงค์ด้วยวิธีที่เรียกว่า Decoupling คือใช้แท่ง ดินระเบิดขนาดเล็กกว่ารูระเบิดประมาณ 1-3 เท่าหรืออาจใช้สายชนวนระเบิดขนาด ใหญ่ตั้งแต่ 500 เกรนต่อเมตรขึ้นไป

**การคำนวณปริมาณวัตถุระเบิดต่อความลึก1 เมตร ของรูระเบิดคำนวณได้
จากสมการ**

**ปริมาณวัตถุระเบิดต่อความยาว1เมตร (Load Factor) = $\{(22/7) [(CD)^{2/4}] \times d\} / 1000$
กิโลกรัมต่อเมตร CD = charge diameter (millimeter) d = ความหนาแน่นของวัตถุระเบิด
(explosive density) หน่วยเป็นกรัมต่อซีซี**

**ตัวอย่างแท่งระเบิดมีความหนาแน่น 1.1 กรัมต่อซีซีขนาด 2 นิ้ว (50.8 มิลลิเมตร) ปริมาณวัตถุ
ระเบิดต่อความยาว1เมตร = $(3.14 \times [(50.8)^{2/4}] \times 1.1) / 1000 = 2.23$ กิโลกรัมต่อเมตร**

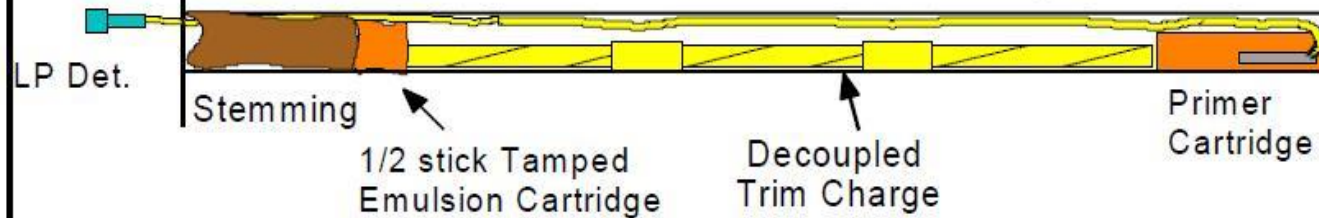
**การคำนวณปริมาณวัตถุระเบิดต่อความยาว1เมตร (Load Factor) ในกรณีใช้สายชนวนระเบิดอัด
ในรูระเบิด**

**น้ำหนักวัตถุระเบิด/รู = น้ำหนักวัตถุระเบิด(กรัม/เมตร หรือเกรนต่อเมตร) x ความยาวของรู
ระเบิด /1000 กรัมต่อกิโลกรัม**

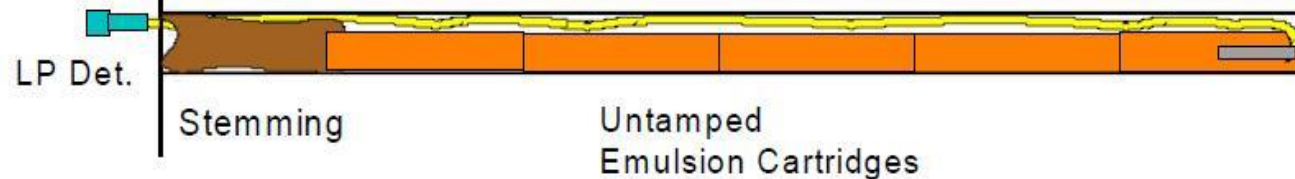
1เกรน= 0.065 กรัม หรือ 65 มิลลิกรัม หรือ 15 เกรน = 1 กรัม

TYPICAL TUNNEL ROUND CHARGES

Smoothwall Trim Charge

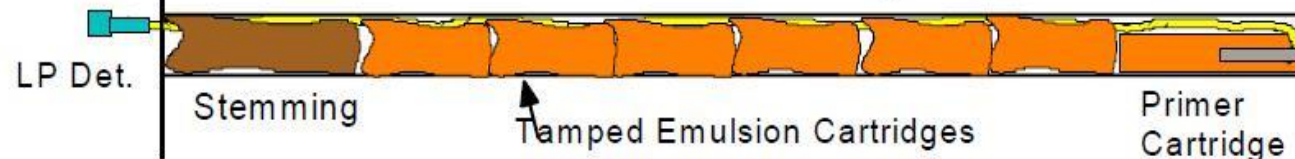


Buffer Charge (First-Row-In from Perimeter)

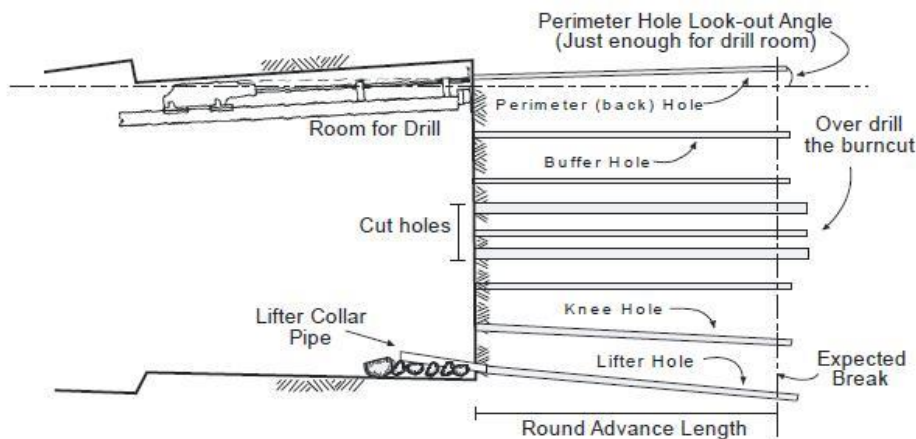
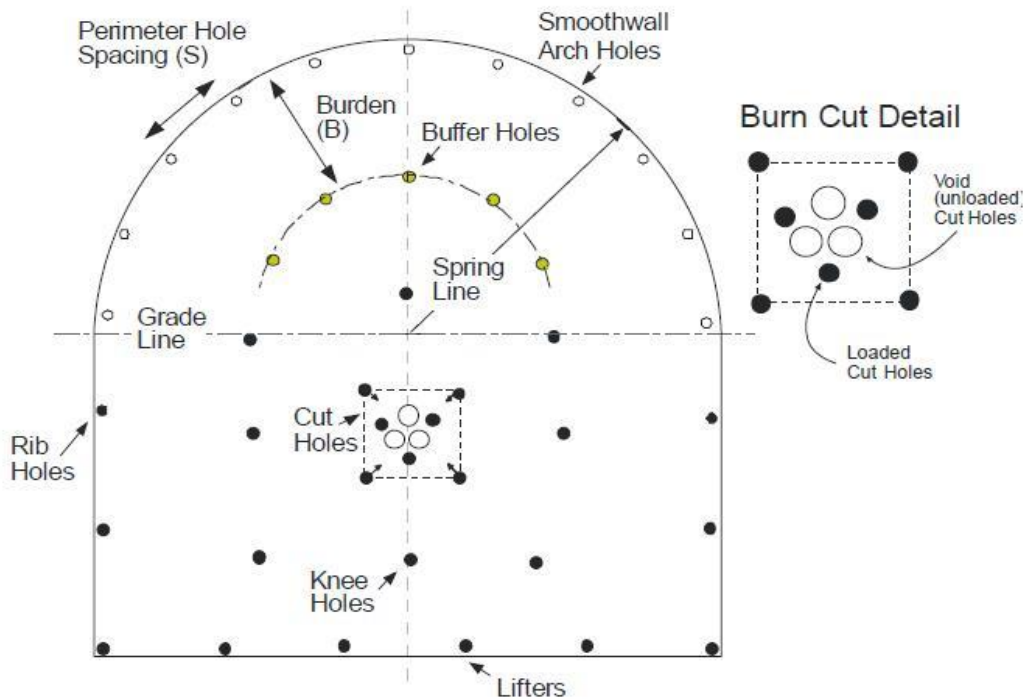


1 7/8-Inch (48 mm) Holes

Blasthole Charge



***Never Tamp
Primer Cartridge**



รูระเบิดที่บริเวณผนัง
(**Wall Holes**)

และ รูระเบิดที่เพดาน

อุโมงค์ (**Back Holes**) จะเจาะ

เฉียงออกจากแนวของ

อุโมงค์เล็กน้อย

เนื่องจากต้องให้พื้นที่

กับอุปกรณ์การเจาะรู

ระเบิด ดังนั้นจึงต้อง

ควบคุมแนวเจาะอย่าง

ระมัดระวัง เพื่อให้

อุโมงค์มีขนาดรูปร่าง

เหมาะสม



อุโมงค์รถยนต์ปรากฏเป็นรูปเปลือกหอยพัด(**Scalloping effect**) ที่ผนังอุโมงค์เนื่องจากการเจาะระเบิดเพื่อการทำผนังอุโมงค์เรียบ (Smooth wall Blasting)

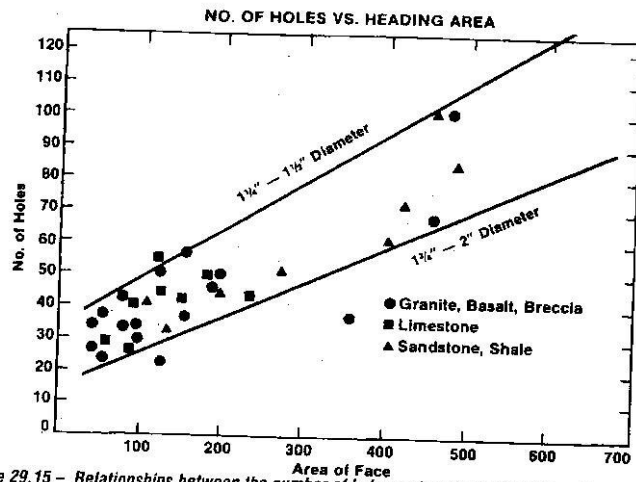


Figure 29.15 – Relationships between the number of holes and cross-sectional tunnel area.

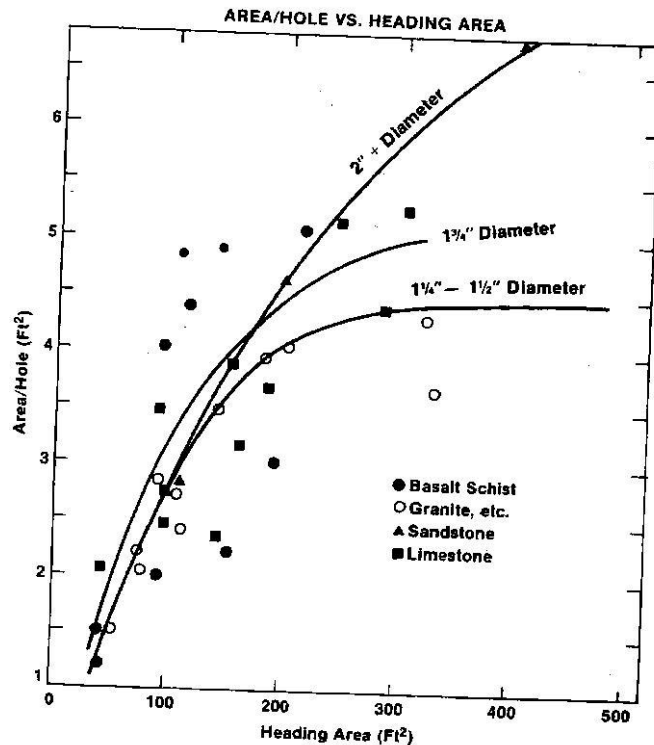


Figure 29.16 – Relationship between the hole diameters and cross-sectional tunnel area.

จำนวนรูระเบิดที่ต้องเจาะทั้งหมด
ในการเจาะระเบิดแบบเต็มหน้า
ขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์
ทั้งนี้หากมีการเจาะเพื่อทำผนัง
อุโมงค์ให้เรียบจำนวนรูระเบิดจะ
มากขึ้นเล็กน้อยในรูปด้านซ้าย
อุโมงค์ขนาดเล็ก 44 ตารางฟุต
(4ตารางเมตร)ใช้รูระเบิดขนาด
1.75 นิ้ว (44 mm.) ต้องเจาะรู
ระเบิด ระหว่าง 25-35 ขึ้นกับชนิด
ของหินเป็นต้น

ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน

การระเบิดในงานใต้ดินมีปริมาณการใช้ปริมาณระเบิดต่อปริมาณหินแตกต่างกันระหว่าง 0.75-5.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับวิธีการเจาะรูระเบิดชนิดของหินและขนาดของอุโมงค์ การเจาะรูระเบิดขนาดกันทุกระจะใช้วัตถุระเบิดมากกว่าการเจาะรูระเบิดแบบทแยง หินแข็งจะใช้วัตถุระเบิดมากกว่าหินเนื้ออ่อน ยิ่งอุโมงค์มีขนาดใหญ่มากขึ้นปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหินจะยิ่งใกล้เคียงกับการระเบิดในงานผิวดินมากขึ้น

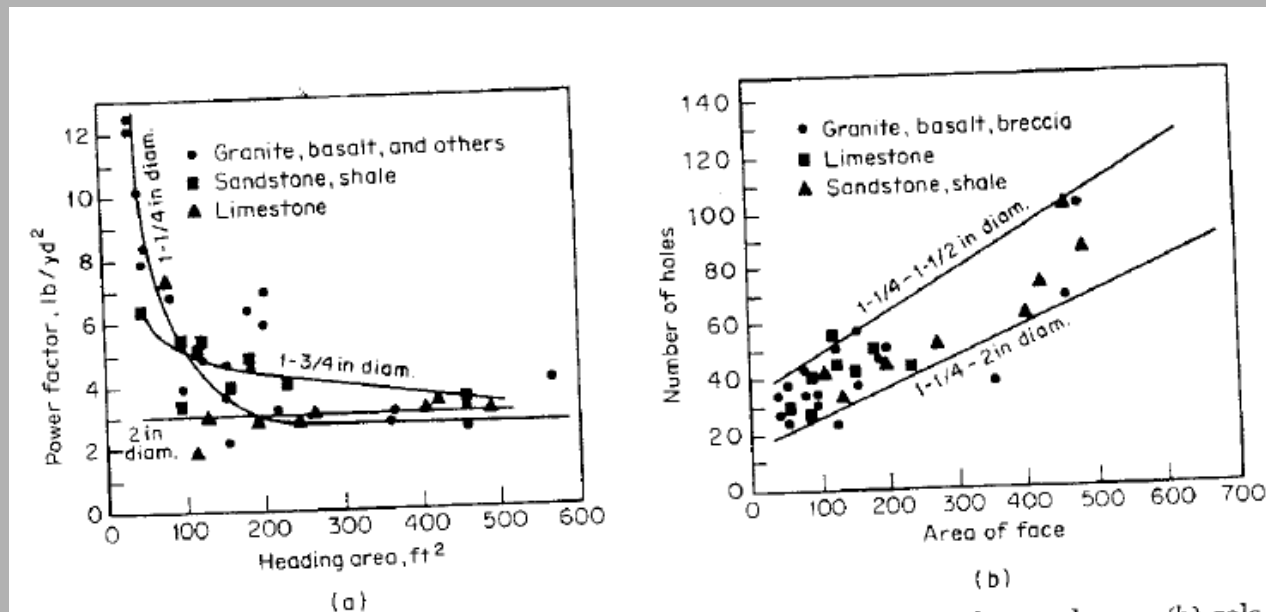
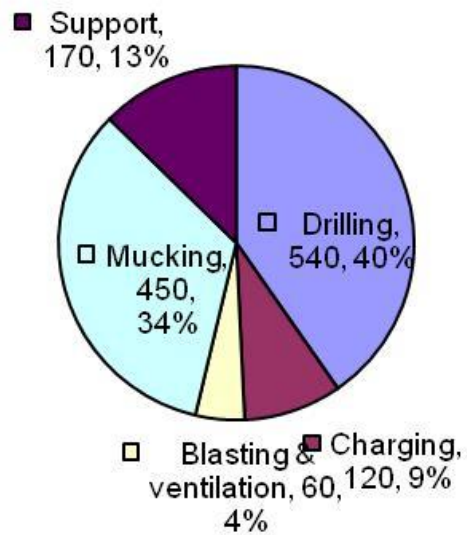
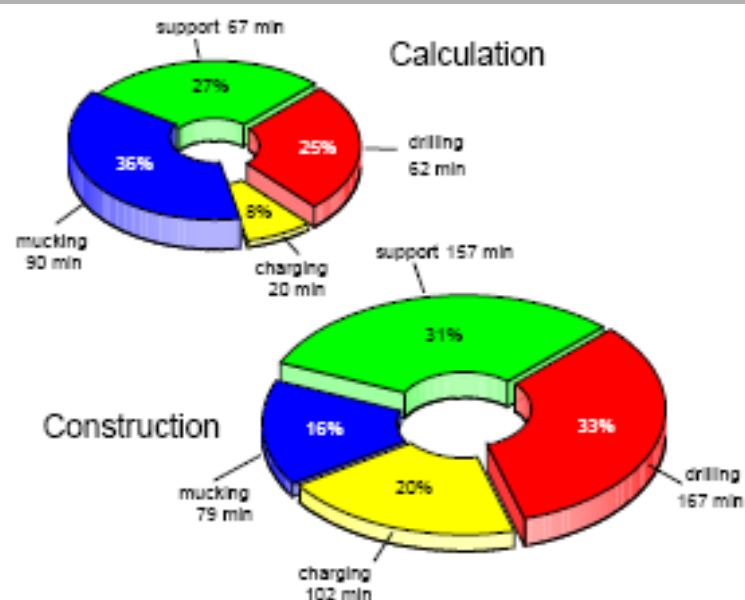


Fig. 12.13 (a) Relationship between powder factor and cross-sectional tunnel area; (b) relationship between number of holes and cross-sectional area. (E. I. du Pont de Nemours and Co., Inc.)



ตัวอย่างวงรอบของการเจาะอุโมงค์



Comparison:	Calculation	Construction
drilling rate	2.5 m/min	1.3 m/min
net drilling time	60 sec	121 sec
round length	4.2 h	8.4 h
heading performance	13.3 m/day	7.6 m/day

Fig. 1: Working cycle in the Altenberg Tunnel in calculation and final construction. Effects of increased drilling time on the performance of the tunnel heading.

อุโมงค์ขนาดเล็ก

ขนาดรูเจาะมักไม่เกิน 48 มม. และเจาะลึกรูลำนไม่เกิน 3.30 ม.

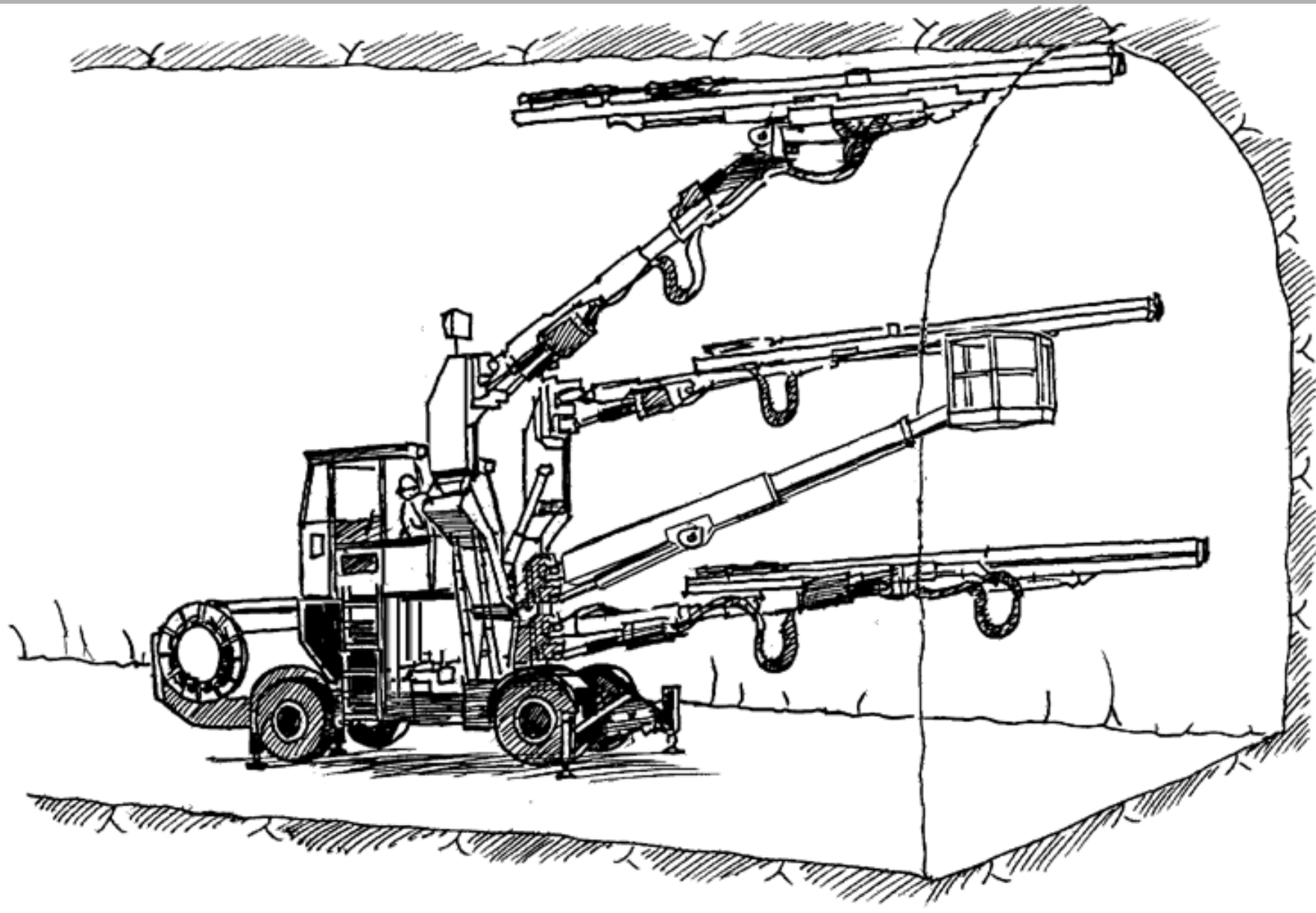
- การใช้รูเจาะขนาดใหญ่มักไม่เกิน 76 มม.

วัตถุระเบิดที่ใช้: ไคนาไมต์, วัตถุระเบิดชนิดหนืดชนิดแท่ง

(emulsion explosives or slurry explosives in cartridges) + แอนโฟ

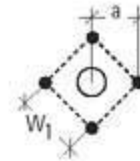
(ANFO)

เชื้อปะทุ: ไฟฟ้า หรือชนิดที่จุดระเบิดโดยไม่ใช้ไฟฟ้า (Non-electric detonators)



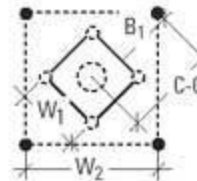
1st square: $a = 1.5\phi$
 $W_1 = a\sqrt{2}$

ϕ mm =	76	89	102	127	154
a mm =	110	130	150	190	230
W_1 mm =	150	180	210	270	320



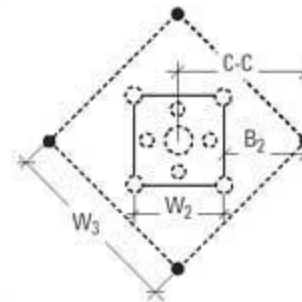
2nd square: $B_1 = W_1$
 $C-C = 1.5W_1$
 $W_2 = 1.5W_1\sqrt{2}$

ϕ mm =	76	89	102	127	154
W_1 =	150	180	210	270	320
C-C =	225	270	310	400	480
W_2 mm =	320	380	440	560	670



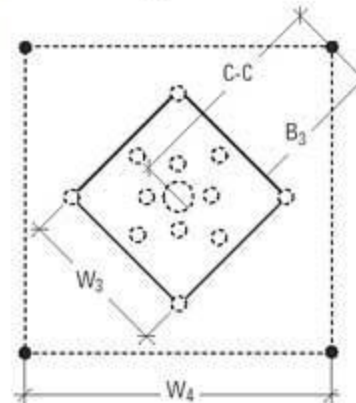
3rd square: $B_2 = W_2$
 $C-C = 1.5W_2$
 $W_3 = 1.5W_2\sqrt{2}$

ϕ mm =	76	89	102	127	154
W_2 mm =	320	380	440	560	670
C-C =	480	570	660	840	1000
W_3 mm =	670	800	930	1180	1400

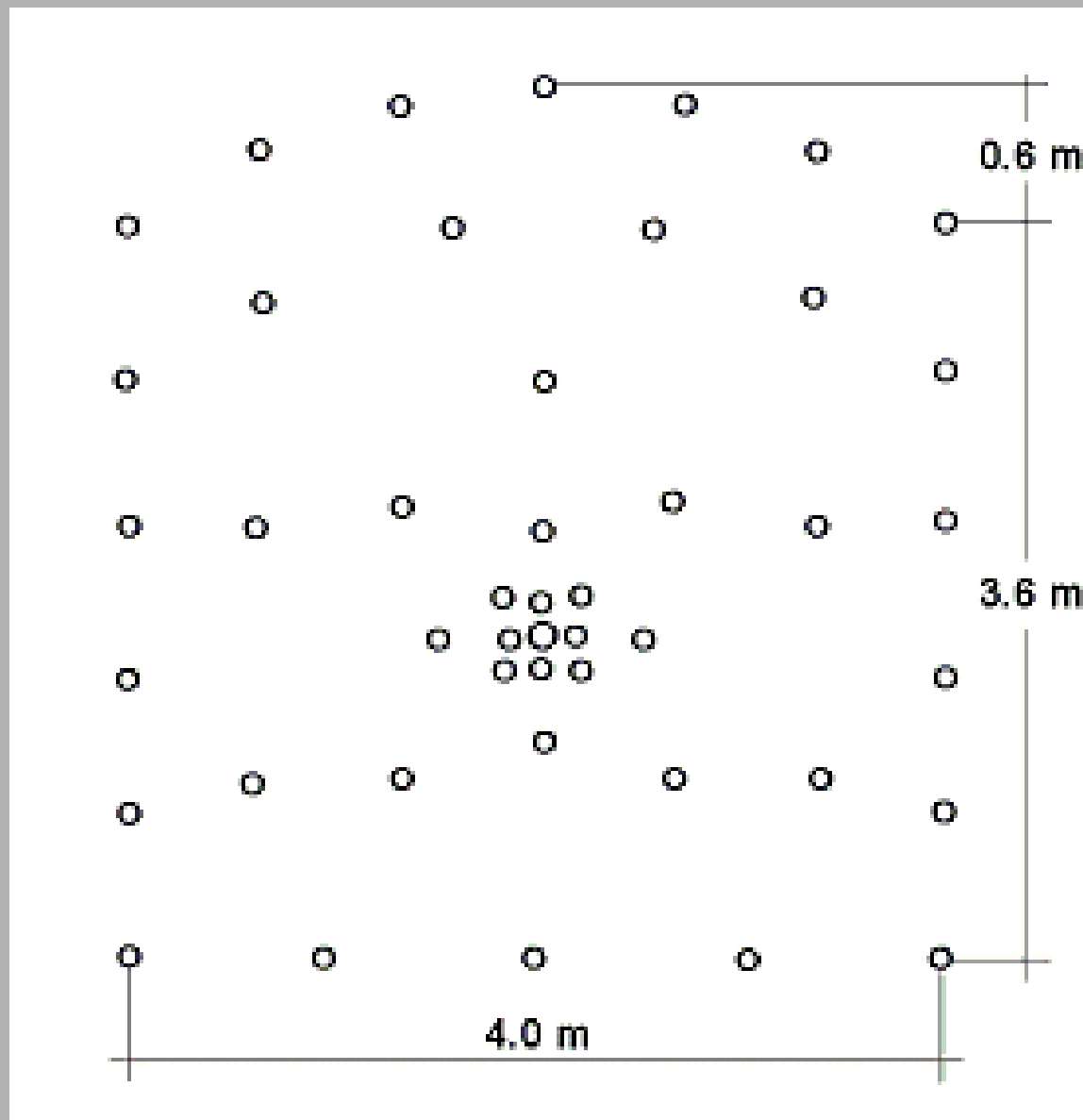


4th square: $B_3 = W_3$
 $C-C = 1.5W_3$
 $W_4 = 1.5W_3\sqrt{2}$

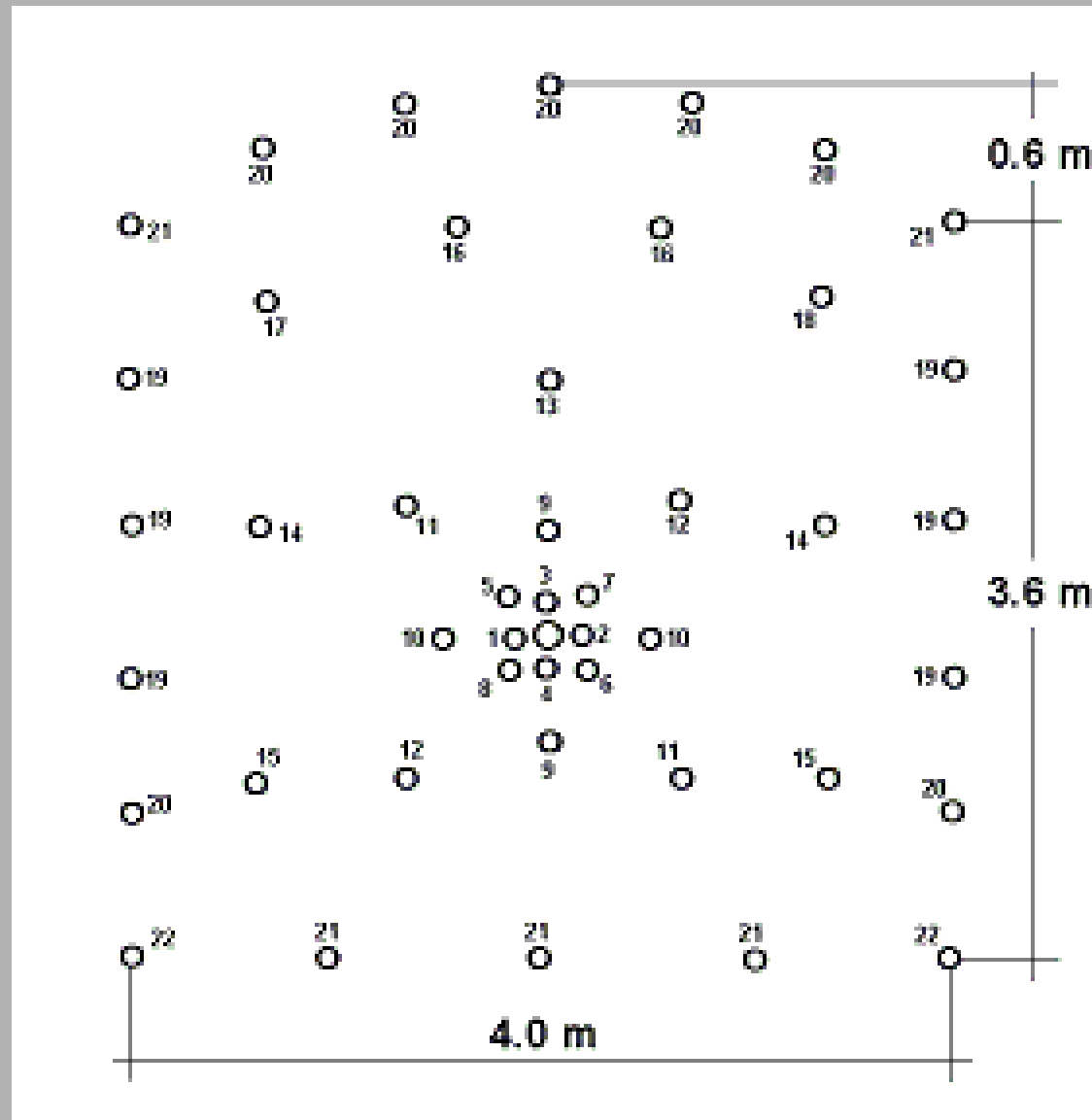
ϕ mm =	76	89	102	127
W_3 mm =	670	800	930	1180
C-C =	1000	1200	1400	1750
W_4 mm =	1400	1700	1980	2400



Design of under ground blast hole

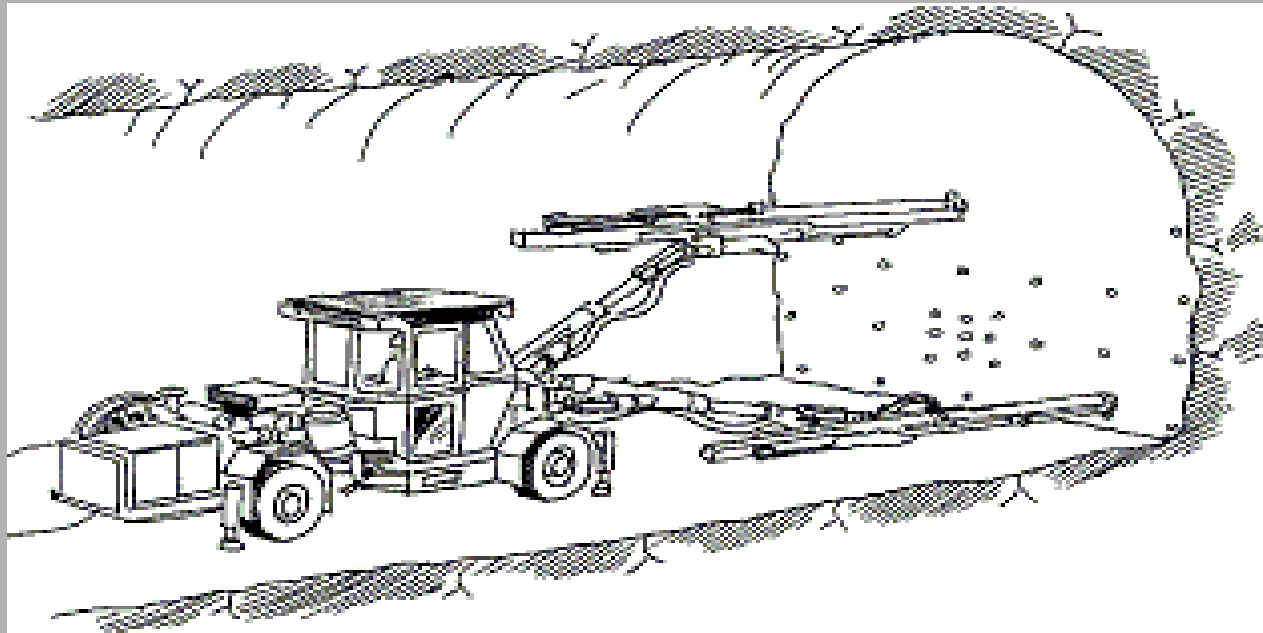
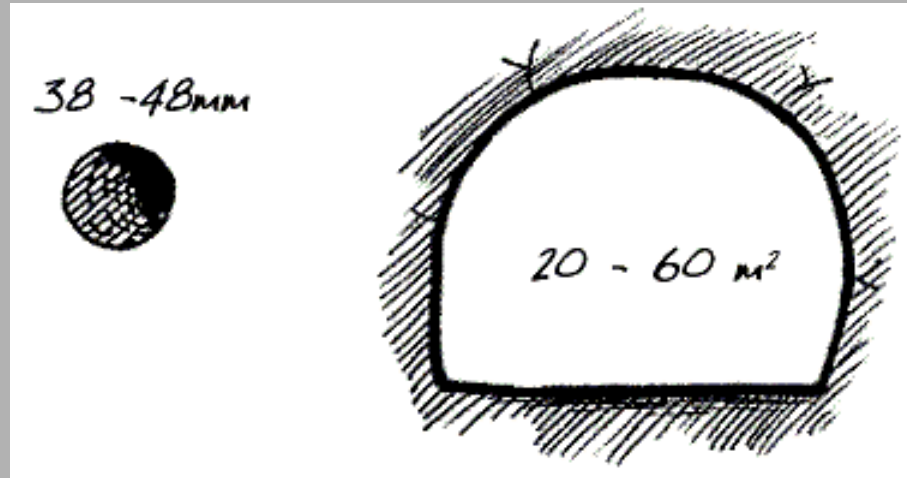


Drilling pattern



Firing sequence

อุโมงค์ขนาดกลางมักใช้เป็นอุโมงค์ในโรงไฟฟ้าพลังน้ำ อุโมงค์
รถยนต์อุโมงค์รถไฟเป็นต้น



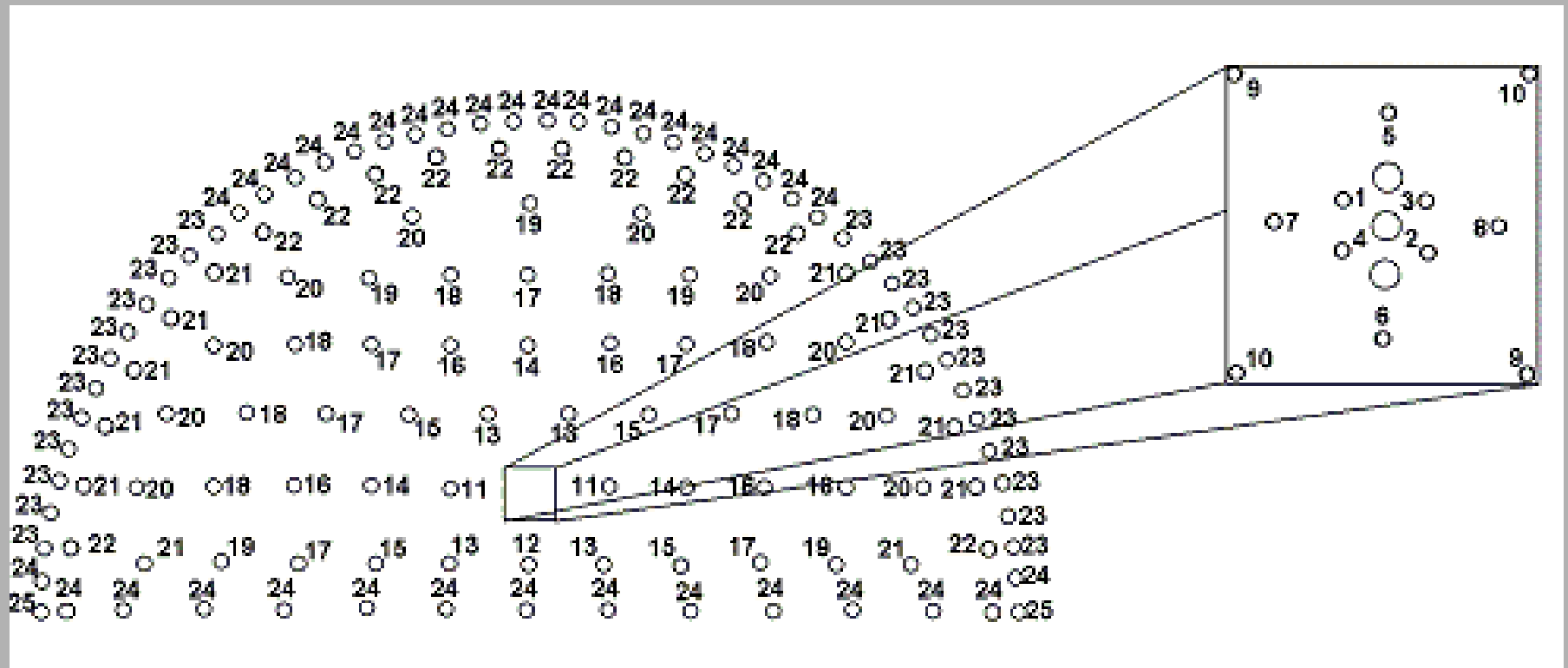
รูระเบิดนิยมเจาะขนานกันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ **48 มม.**
เจาะลึกไม่เกิน **5.2 เมตร**

นิยมเจาะรูโตขนาด **89 มม** จำนวน 2 รูไว้ตรงกลาง พื้นที่หน้าตัด
59 ตารางเมตร เจาะรูระเบิดทั้งสิ้นจำนวน **82 รู**

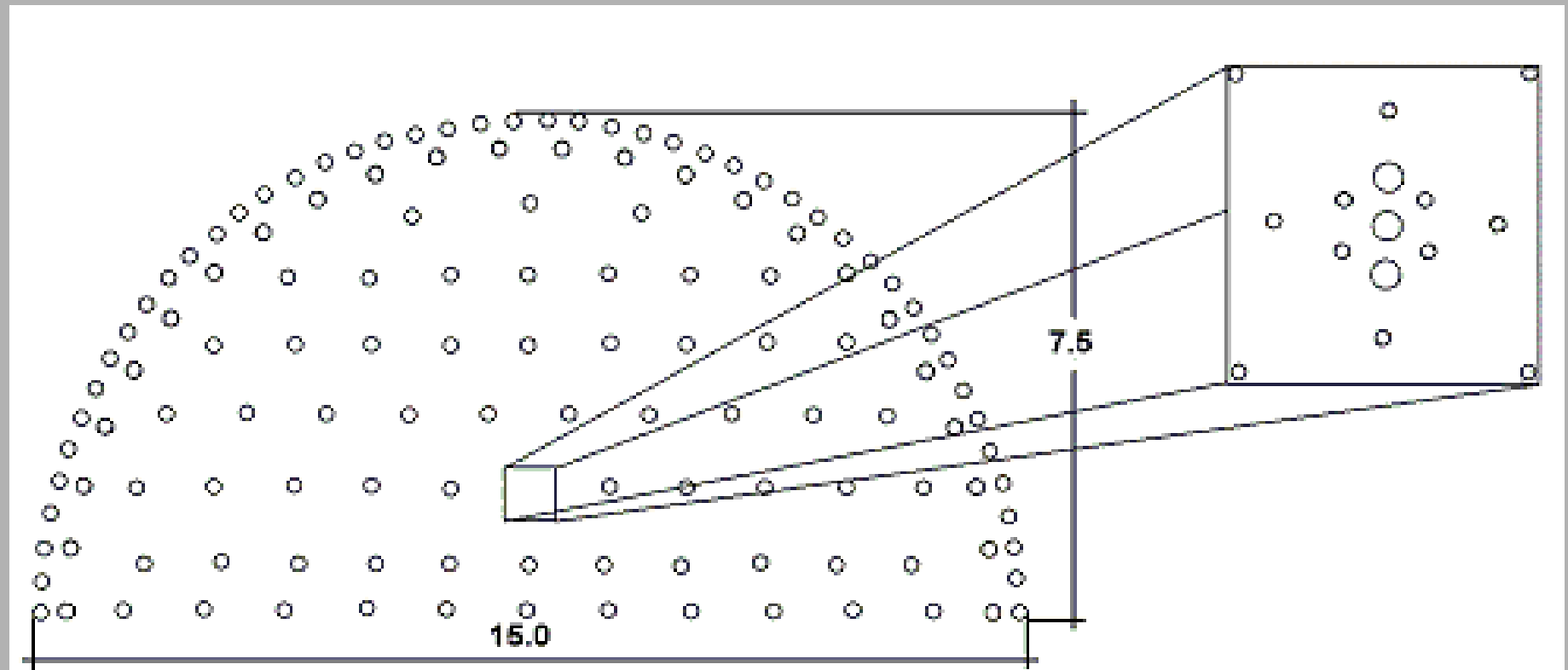
วัตถุระเบิดที่ใช้: **ANFO**, วัตถุระเบิดชนิดหนืดชนิดแห้ง หรือ
ชนิดที่ใช้เครื่องปั๊มอัดระเบิดได้

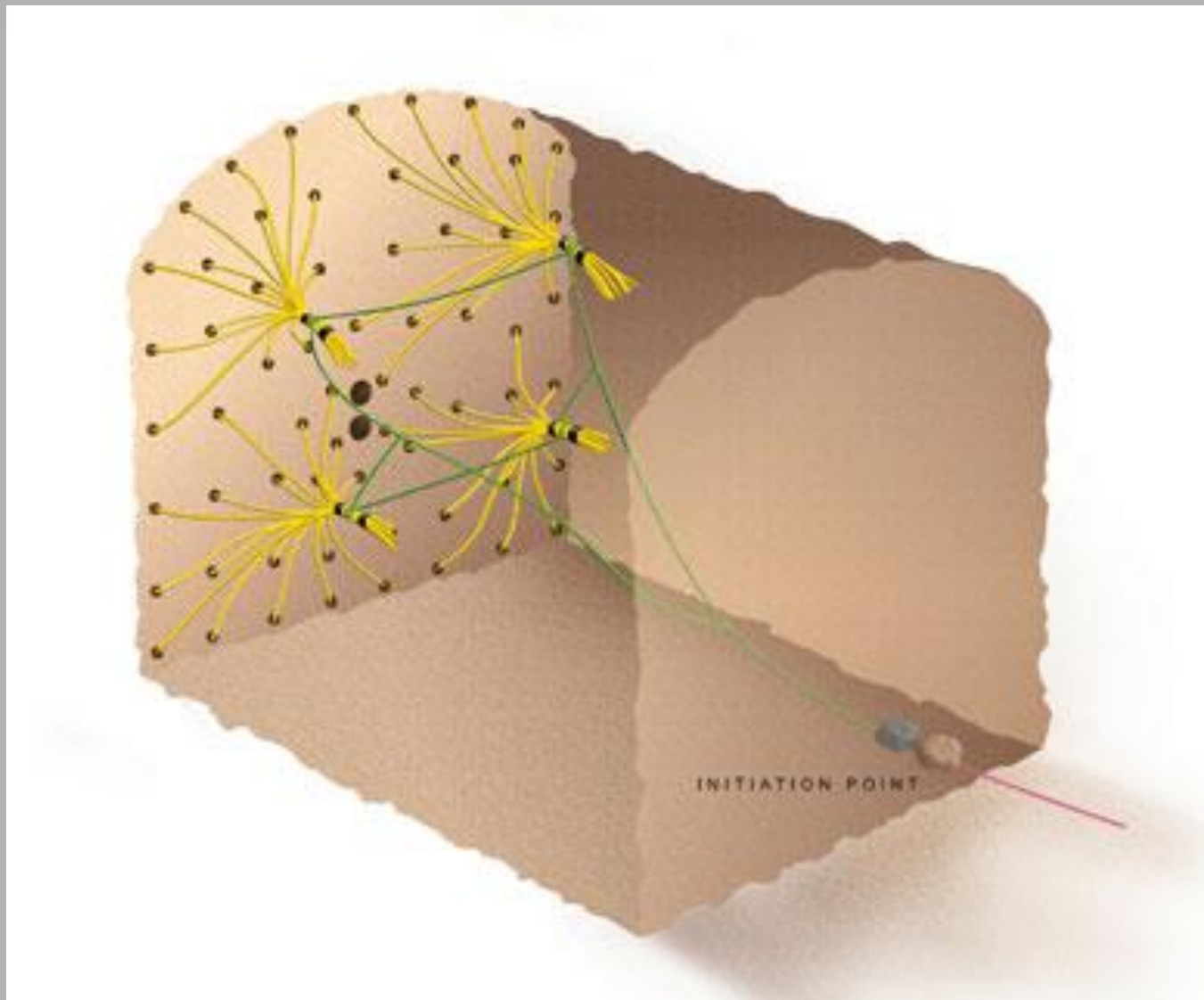
เชื้อปะทุ : ไฟฟ้า หรือชนิดจุดระเบิดโดยไม่ใช้ไฟฟ้า (**non-
electric detonators**) และสายชนวนระเบิดขนาด **40 –
80 กรัมต่อเมตร**

Firing sequence



Drilling pattern





Initiation Systems :using non-electric detonators

Large tunnels are blasted for road and railroad construction, hydroelectric power stations, top headings for underground storage caverns etc.

Large hole diameter is suggested to 89 mm with 3 large holes in the cut.

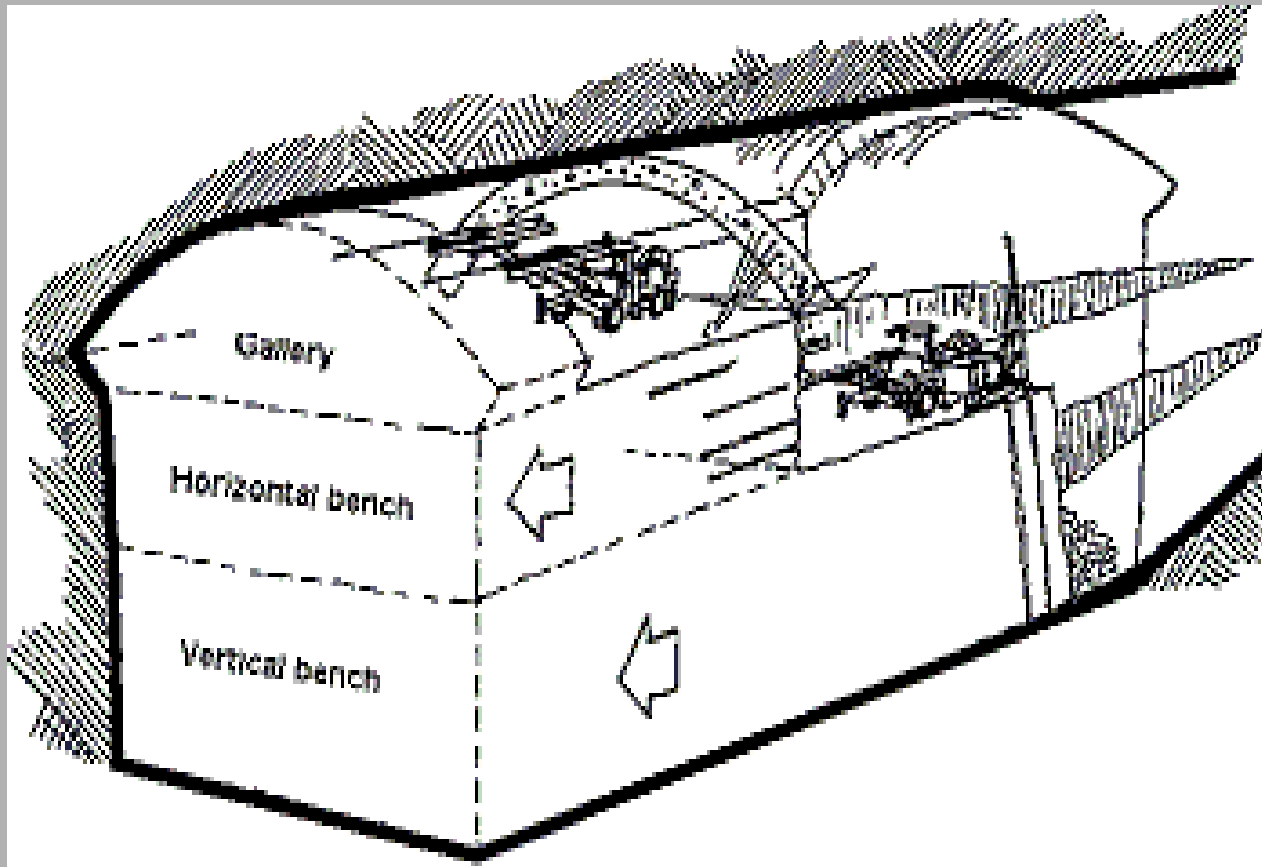
Suitable explosives: ANFO ,emulsion explosives or pumpable emulsion explosives

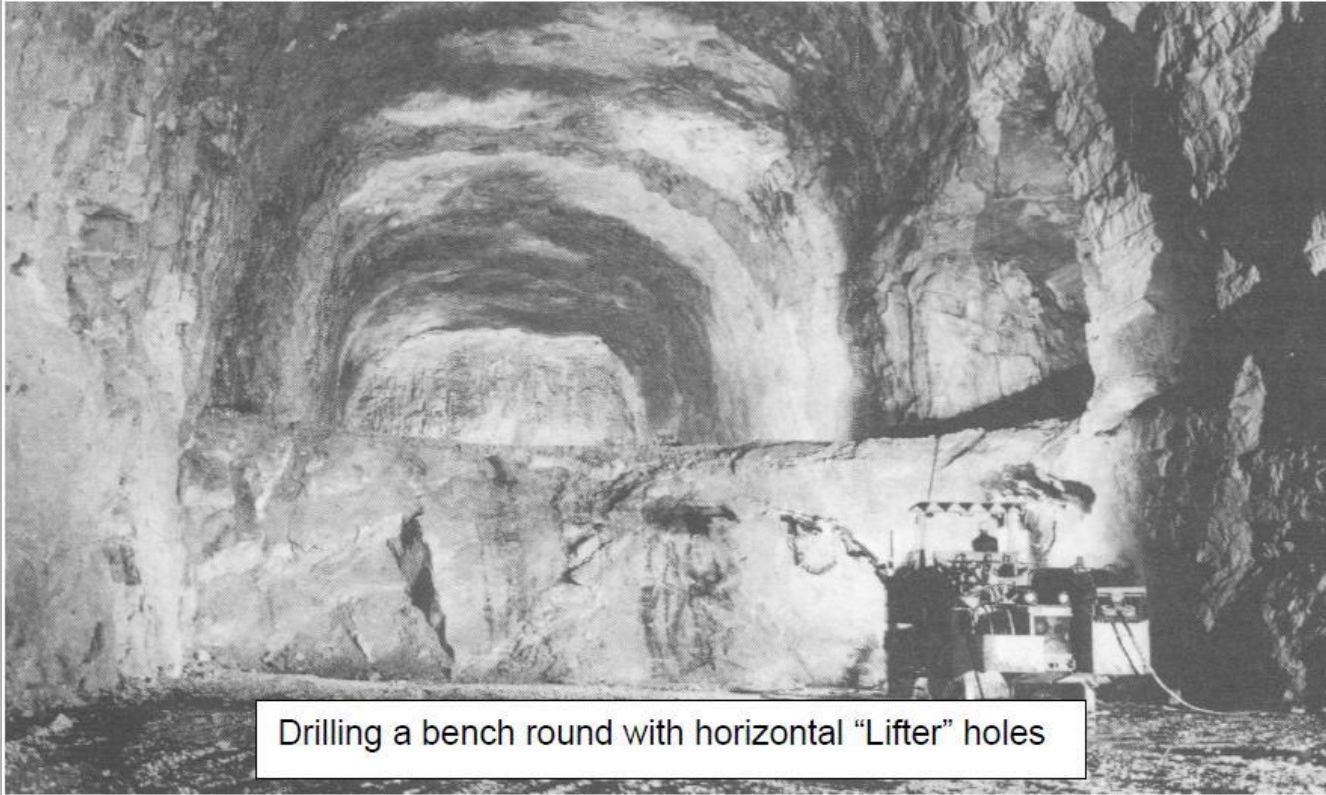
Initiation Systems :electric detonators, non-electric detonators, 40 – 80 gr/m detonating cord.

การเจาะระเบิดอุโมงค์โดยเจาะระเบิดอุโมงค์เล็กนำ (Advanced Heading with Enlarged Blasting)

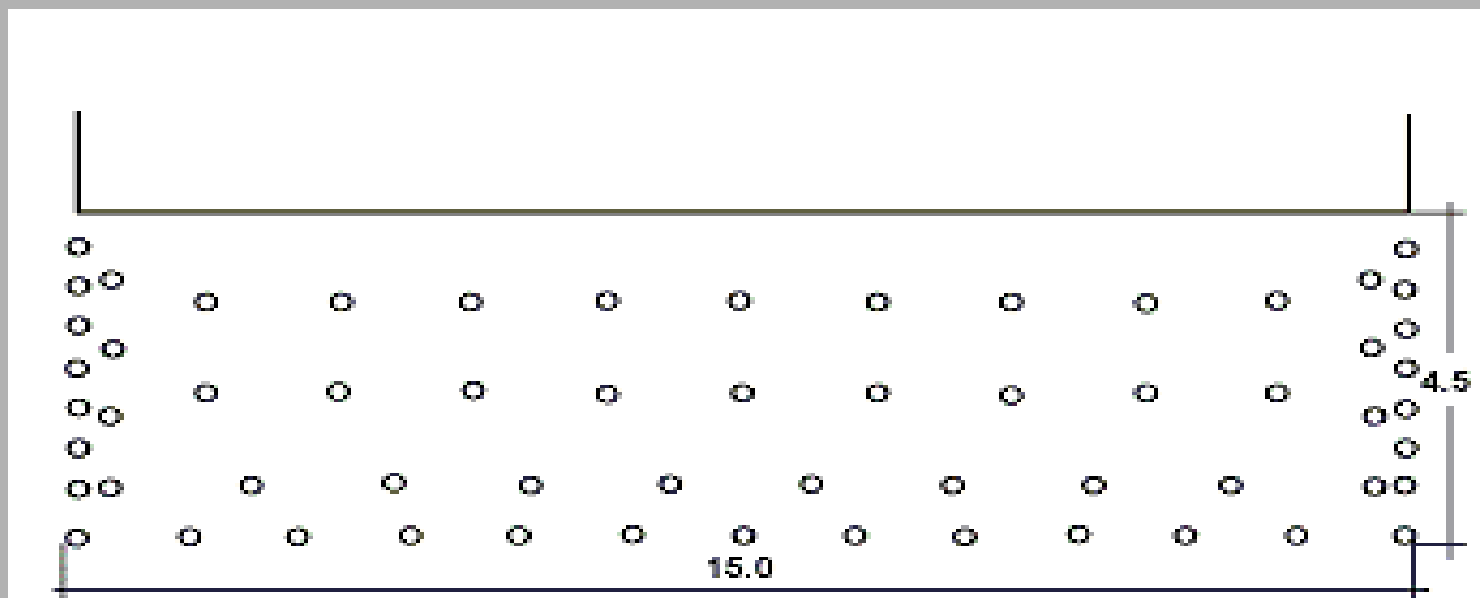
- เหมาะกับการเจาะอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 10 เมตร ตำแหน่งของอุโมงค์เล็กที่จะระเบิดนำไปก่อนอาจอยู่ในตำแหน่งตอนบน ตอนกลาง หรือ ตอนล่างของอุโมงค์ก็ได้
- แต่นิยมการระเบิดนำไปก่อนคือบริเวณตอนบน เพื่อเป็นการเปิดพื้นที่ให้สามารถค้ำยัน ส่วนของเพดานไว้ก่อน หลังจากเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กนำไปแล้ว การระเบิดขยายอุโมงค์ให้เต็มหน้า อาจใช้วิธีระเบิดออกในแนวนราบ (Horizontal Stripping) หรือ วิธีระเบิดแบบ ขึ้นบันไดในแนวดิ่ง (Benching)
- ใช้เครื่องเจาะอุโมงค์ตัวเดียวกัน

กรณีทีหลังคาอุโมงค์เป็นรูปโค้งมนจะทำการระเบิดส่วนโค้งมนก่อนตามด้วยการระเบิดฐานและรูต้งจนได้ความสูงของอุโมงค์ ตามที่ออกแบบไว้ ดังรูป

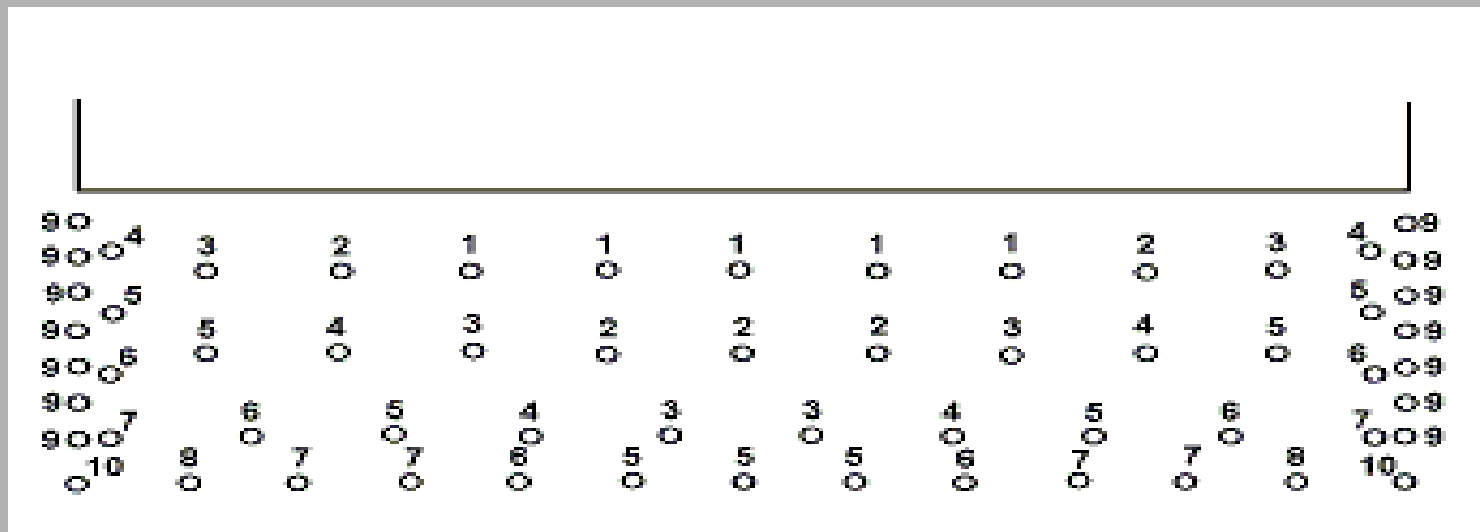


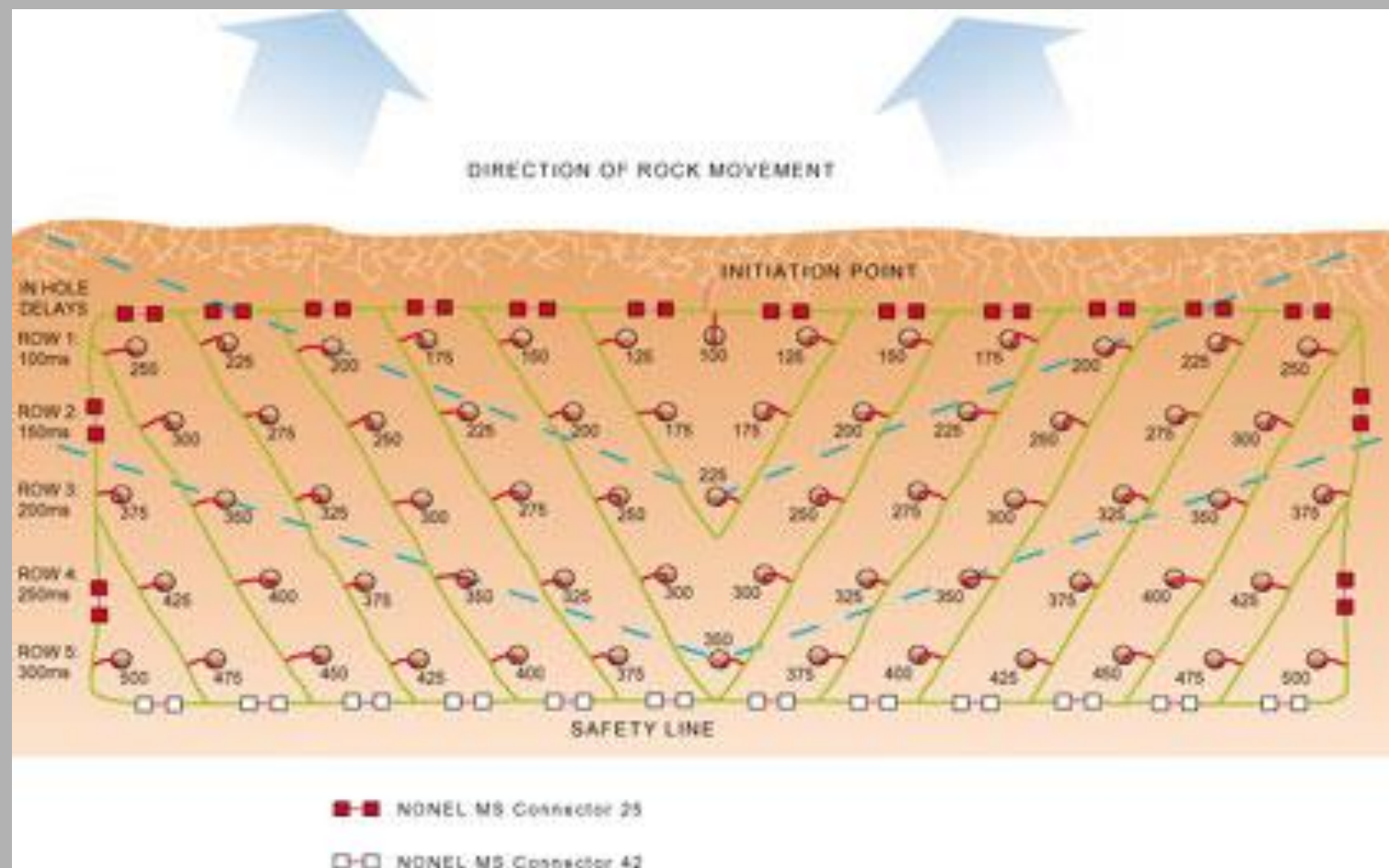


Drilling a bench round with horizontal "Lifter" holes



Horizontal bench-Drilling pattern and Firing sequence





Initiation Systems :using non-electric
detonators and 80 gr/m detonating cord.

การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแร่ในเหมืองใต้ดิน (Production Blast)

การเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในเหมืองอุโมงค์มีลักษณะแตกต่างไปจากการเดินอุโมงค์ทั่วไป เนื่องจากการทำงานมักมีพื้นที่กว้างกว่าและสามารถเลือกรูปแบบการเจาะอุโมงค์ได้หลากหลายมากกว่า การทำงานมีลักษณะคล้ายกับการเจาะอุโมงค์ขนาดใหญ่เพียงแต่ปรับเปลี่ยนรูปแบบการเจาะระเบิดให้เหมาะสมกับวิธีการทำเหมืองใต้ดินวิธีต่างๆ โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆได้แก่

1. แบบการเจาะระเบิดสั้นๆ (Shot-hole Production Blasts) เช่นการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในสโตป (Stope Blast) และการเดินหน้างานการผลิตและการระเบิดออกเป็นแผ่นกว้างๆในการทำเหมืองแบบห้องและเสา (Production heading and slab shot round-room and pillar mining)
2. แบบการเจาะระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts) เช่นการเจาะระเบิดเป็นรูปพัดหรือรูปวงแหวน การเจาะระเบิดแบบขั้วบันไดและการระเบิดเอาเสาค้ำยันออกเป็นต้น

แบบการเจาะระเบิดสั้นๆ (Shot-hole Production Blasts)

ใช้ในการเจาะระเบิดเพื่อการผลิตในเหมืองอุโมงค์ (Stope Blasts) เป็นการเจาะระเบิดในแหล่งแร่แบบสายแร่ที่วางตัวในแนวตั้งหรือเอียงมากๆ โดยเจาะระเบิดจากล่างขึ้นบน เมื่อระเบิดแร่แล้วแร่จะตกลงไปกองตามแรงโน้มถ่วงของโลก และการเจาะระเบิดในแหล่งแร่ที่วางตัวในแนวนอนซึ่งมีการทำเหมืองโดยวิธีการทำเหมืองแบบ Room and Pillar ซึ่งมีการระเบิดเพื่อการผลิตแบบระเบิดกำแพง

- การระเบิดเพื่อการผลิตในเหมืองใต้ดินแบบ Cut and Fill Stoping แบบ Shrinkage Stoping หรือแบบ square set ซึ่งเป็นการระเบิดที่เรียกว่า short-slab rounds ซึ่งการทำงานมีทั้งแบบเจาะระเบิดแบบจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Overhand Stoping) และแบบจากด้านบนลงล่าง (Underhand Stoping) ความกว้างของหน้างานและความลึกของการระเบิดที่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างการวางตัวของสายแร่และหินข้างเคียงโดยทั่วไปสายแร่จะกว้างระหว่าง 6-50 ฟุต การเดินหน้าอุโมงค์ครั้งหนึ่งจะได้ตั้งแต่ 4-30 ฟุตและความสูงที่เจาะระเบิดได้ระหว่าง 8-12 ฟุตการทำงานแบบเจาะระเบิดจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Overhand Stoping) คนงานมักยืนเจาะระเบิดบนกองหินที่ได้จากการระเบิดครั้งก่อนเมื่อมีการขุดขนแร่ที่ระเบิดได้ออกไปแล้วบางส่วน

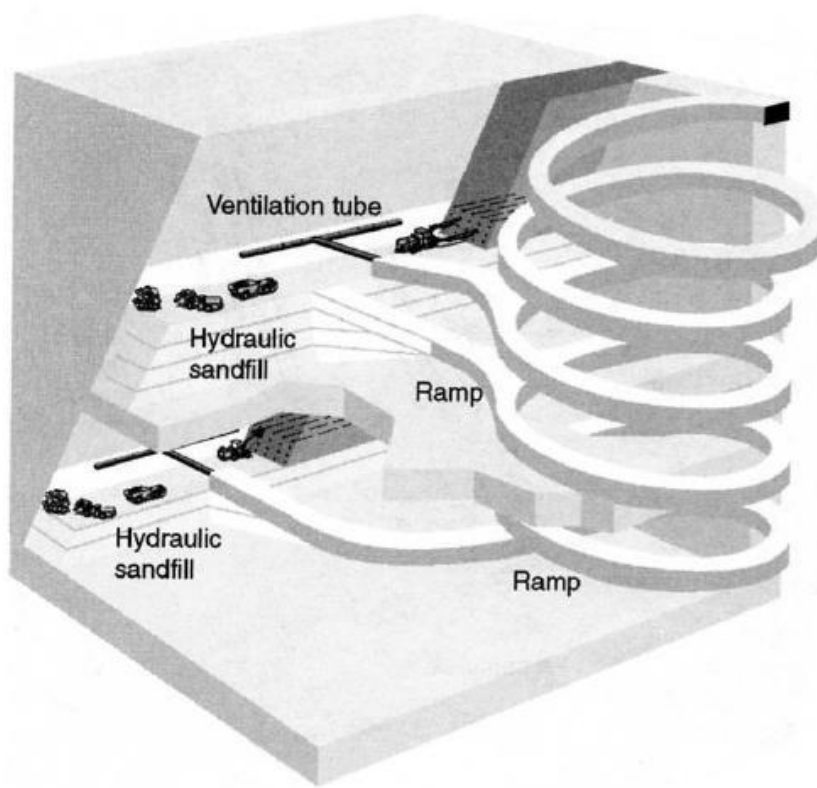


FIGURE 1.17 Mining with cut and fill

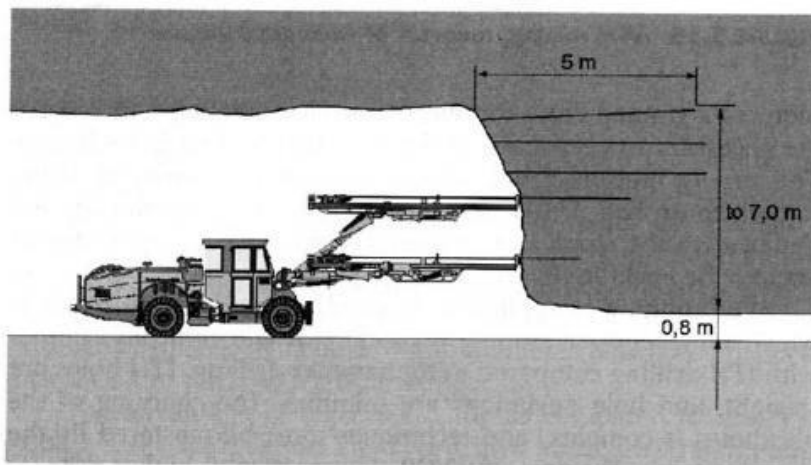
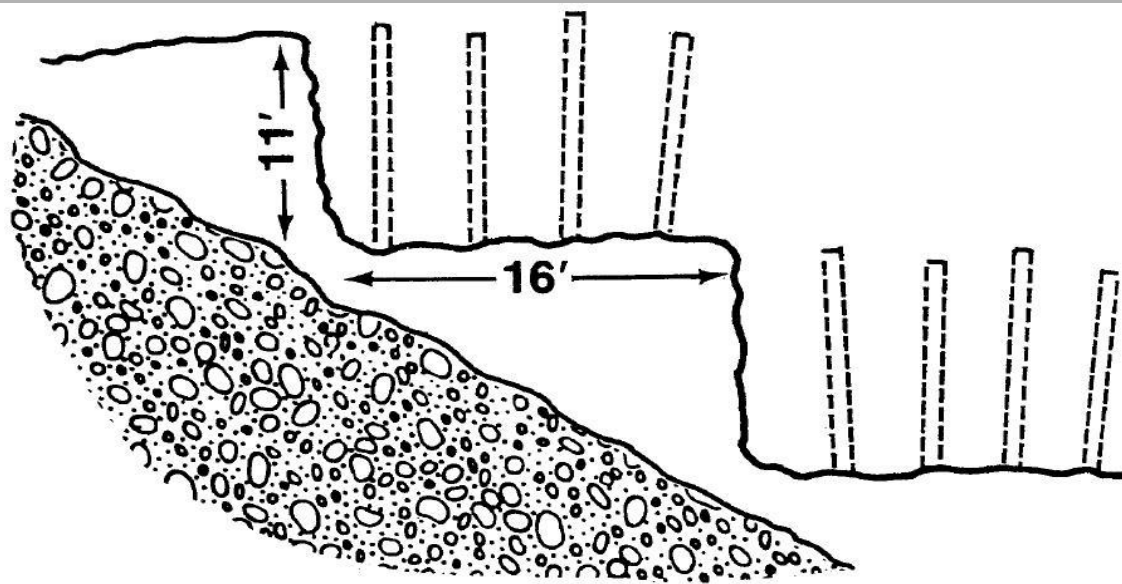
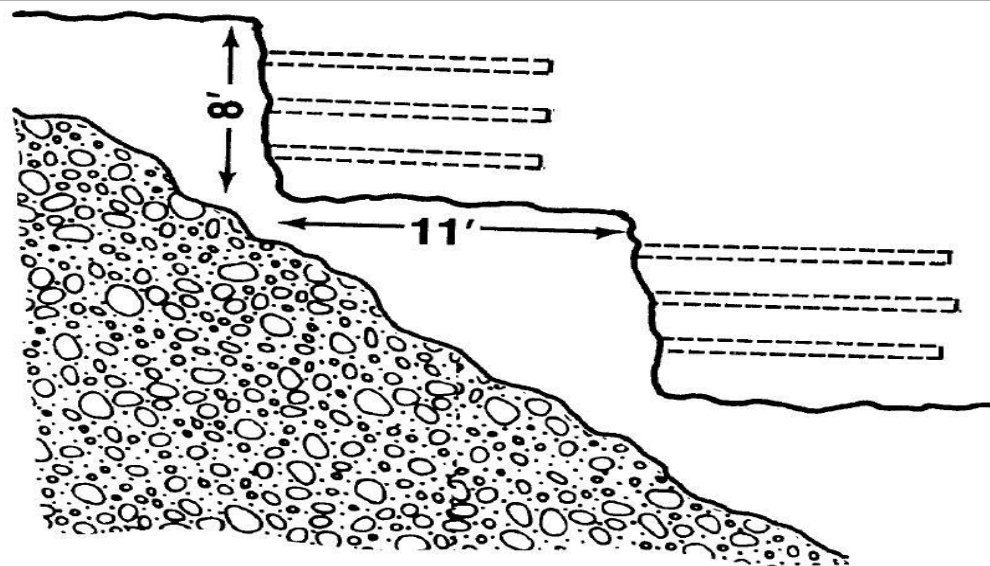


FIGURE 1.18 Face drilling in cut-and-fill stope

การเจาะระเบิดแบบรู
สั้นๆ (Shot-hole
Production Blasts)
ในการเจาะระเบิดเพื่อ
ผลิตแร่ในการทำ
เหมืองใต้ดินแบบ Cut
and Fill Stopping

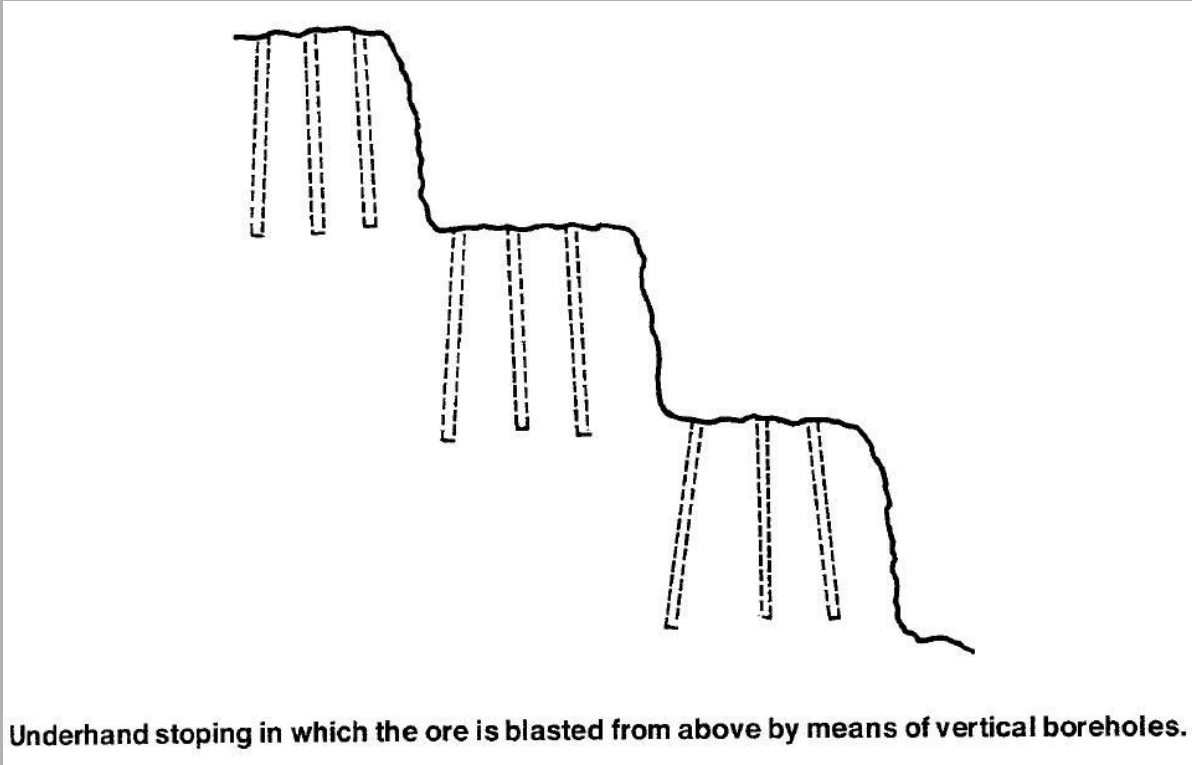


Overhand stoping in which the ore is blasted from below by means of vertical boreholes.



Overhand stoping in which the ore is blasted from below utilizing horizontal boreholes.

การทำงานแบบเจาะระเบิดจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง (Underhand Stoping) มักเป็นการทำงานแบบขั้นบันไดระเบิดเป็นแนวตั้งหรือเอียงเล็กน้อย



การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแบบเจาะอุโมงค์เต็มหน้าและการเจาะระเบิดแบบตบ (Production Heading and Slab Rounds)

แหล่งแร่ที่วางตัวในแนวราบทั้งแร่โลหะและแร่โลหะเช่น แร่ เงิน ทอง ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ยูเรเนียม หินปูน เหล็ก หิน ฟอสเฟต ยิบซัมและถ่านหิน มีการทำเหมืองใต้ดินแบบ **Room and Pillar** หากสายแร่กว้างน้อยกว่า 30 ฟุตมักเจาะระเบิดเพื่อผลิตแบบเจาะอุโมงค์เต็มหน้าโดยเจาะแบบ ทแยงมุมแบบ **V-cut** หรือ **Fan Cut** หากเป็นแร่เนื้ออ่อนเช่น ถ่านหินหรือเหล็กอาจใช้เครื่องจักรช่วยในการเปิดช่องว่างให้มีหน้าอิสระเหมาะแก่การระเบิด (**Machine cut**) หรือ **Kerf**

กรณีที่ พื้นที่ในห้องกว้างๆมักจะใช้การเปิดช่องอุโมงค์เดินหน้าและเปิดช่องขนาน (**Slapping**) หลายช่องควบคู่กันไปเพื่อประหยัดการใช้วัสดุระเบิดและทำให้หินแตกละเอียดดีขึ้น

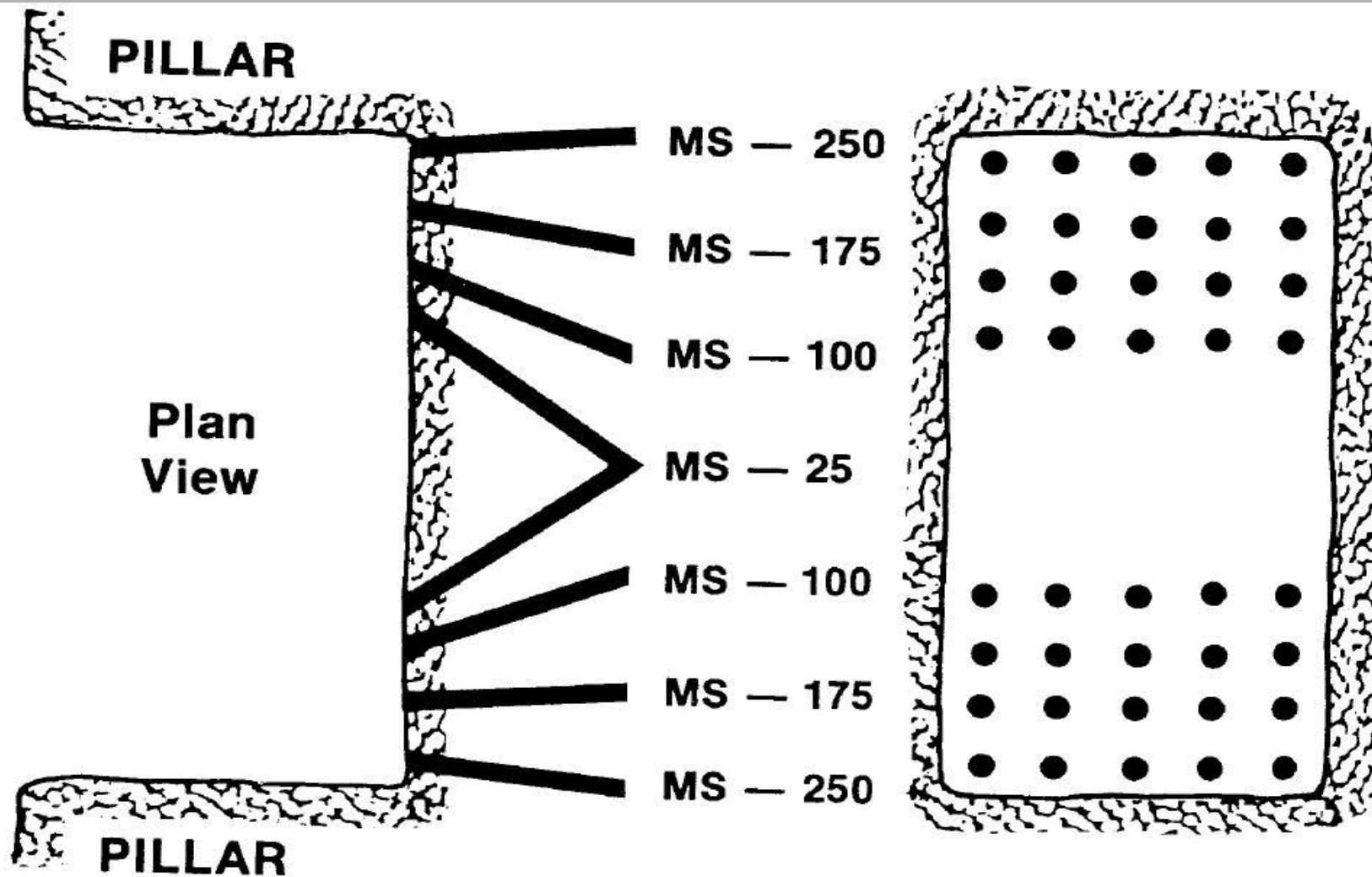


Figure 16-O. An example of a V cut round used in the production blasting of limestone.

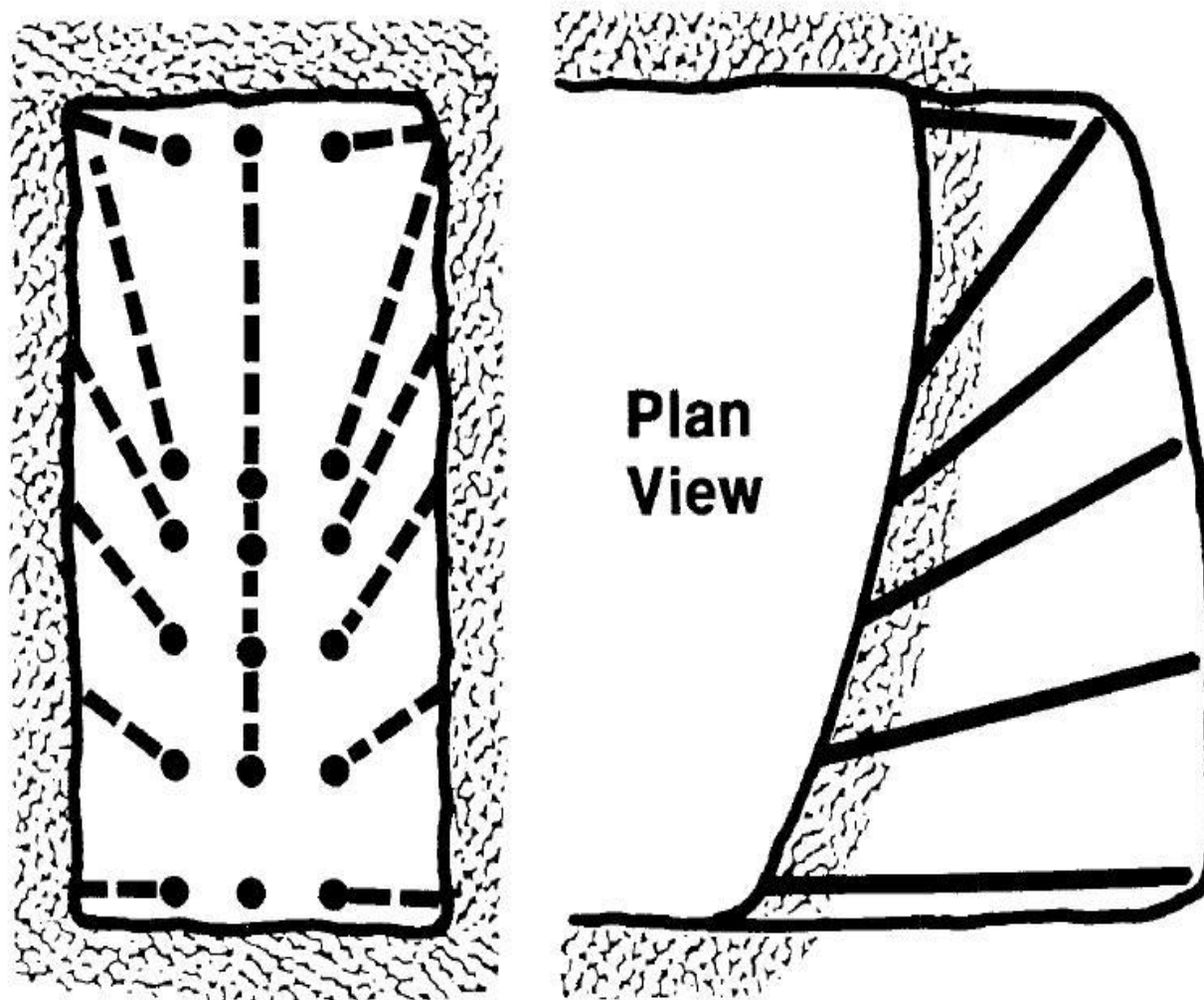


Figure 16-Q. An example of a fan cut round used in the production blasting of gypsum.

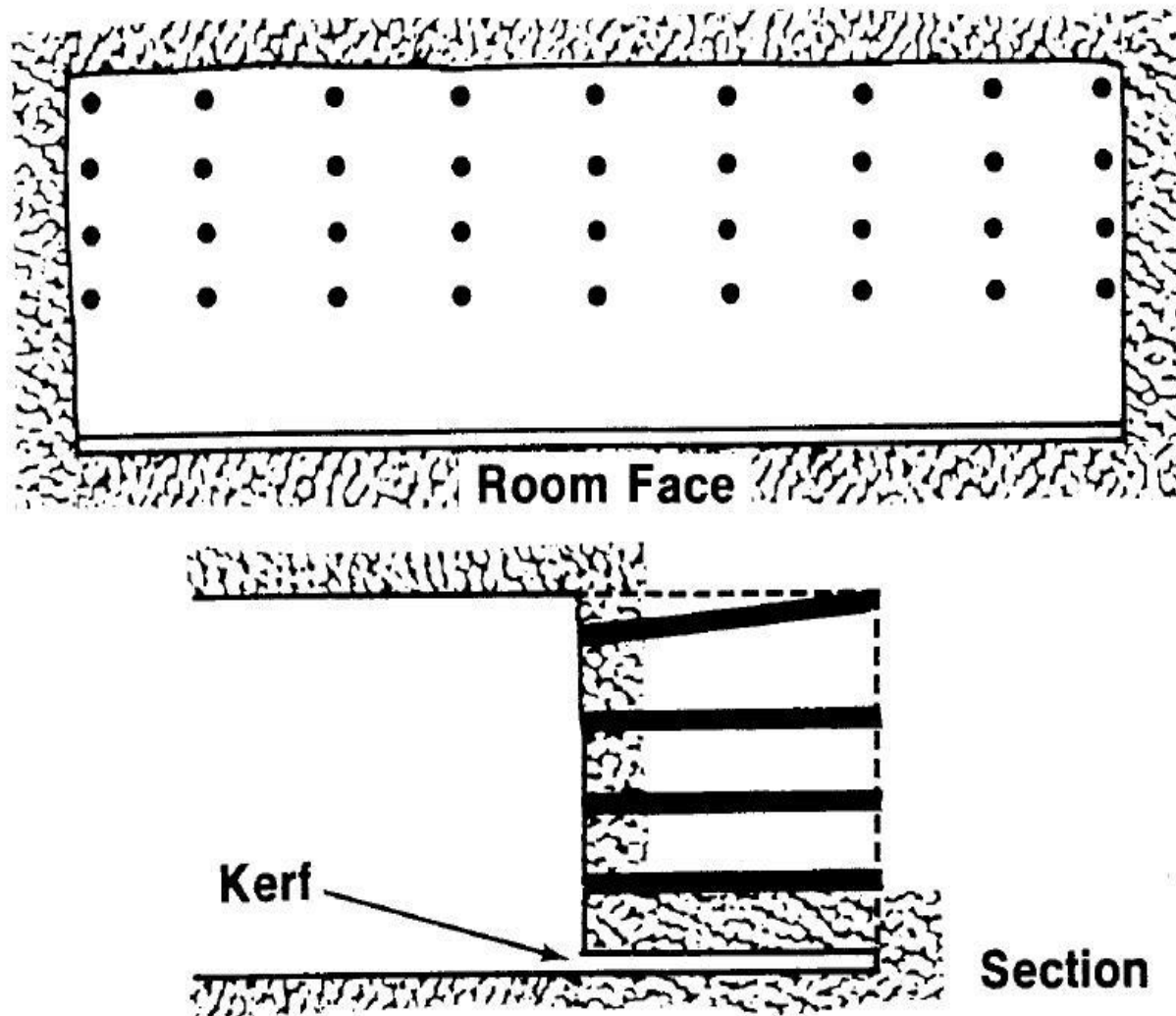
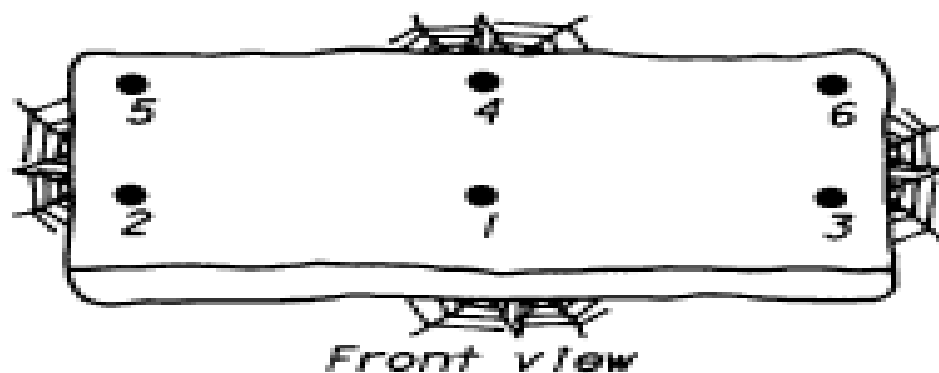
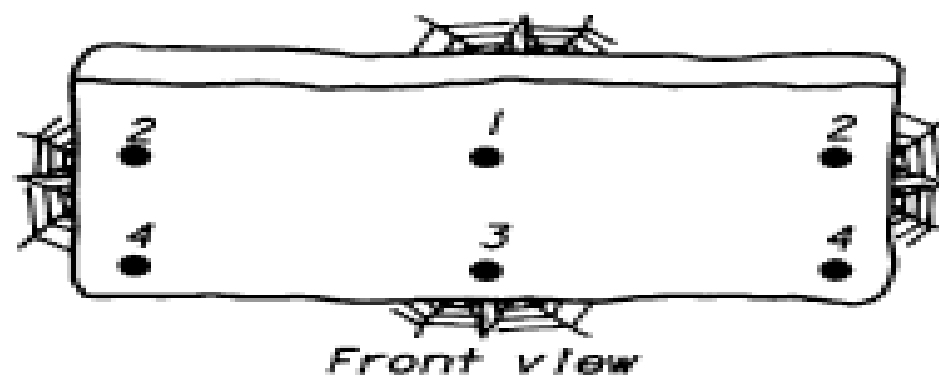
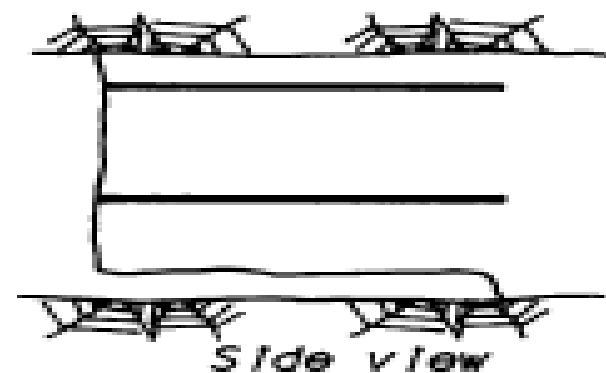


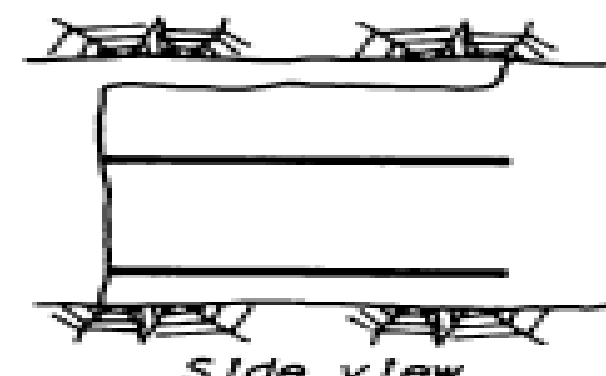
Figure 16-P. An example of a machine cut round used in production blasting of potash.



UNDERCUT



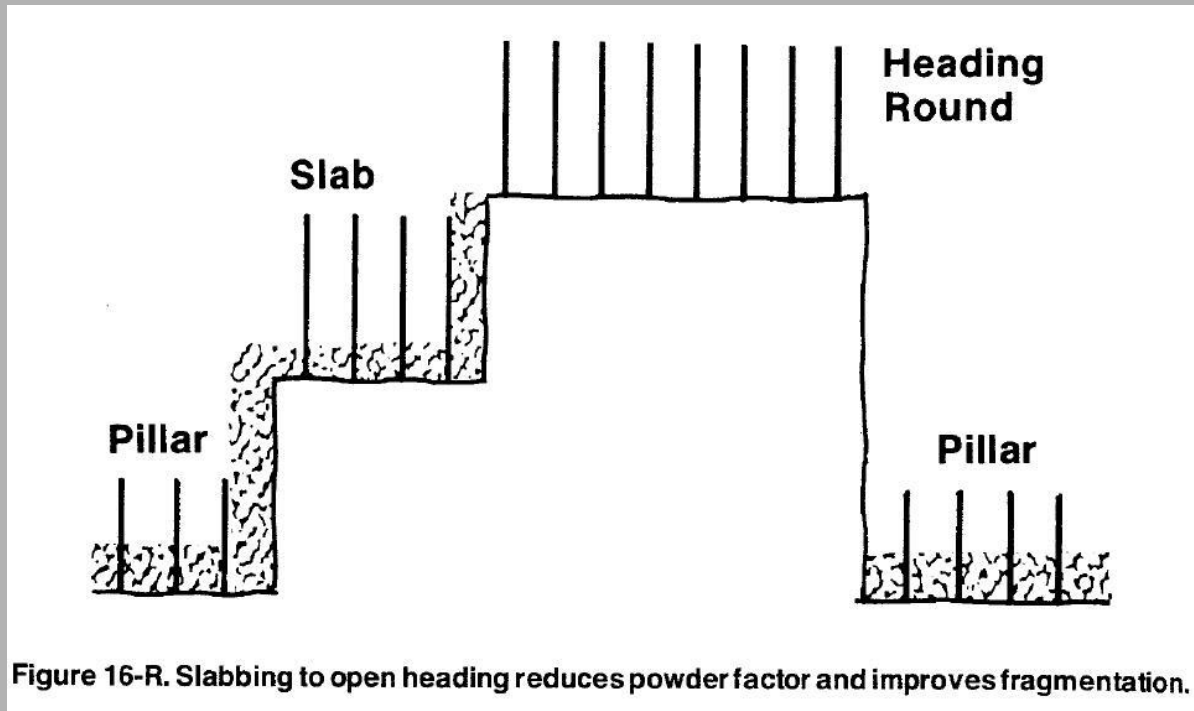
OVERCUT



KEY

● 2 LOADED HOLE WITH DELAY PERIOD

การระเบิดแบบตบออกด้านข้าง (**Slab Round**) ยังใช้สำหรับขยายห้องในการทำเหมืองแบบ **Room and Pillar** และหากเห็นว่าผนังอุโมงค์ไม่พังก็อาจระเบิดเอาเสาค้ำยัน (**Pillar**) ออกจนหมดก็ได้



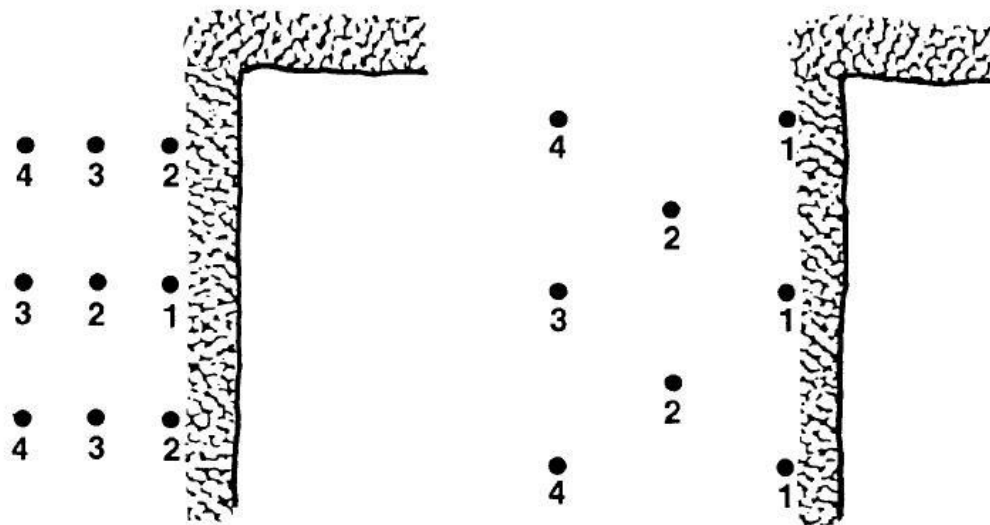


Figure 16-S. Same slab rounds (as Figure 16-R) used in “retreat” to recover minerals.

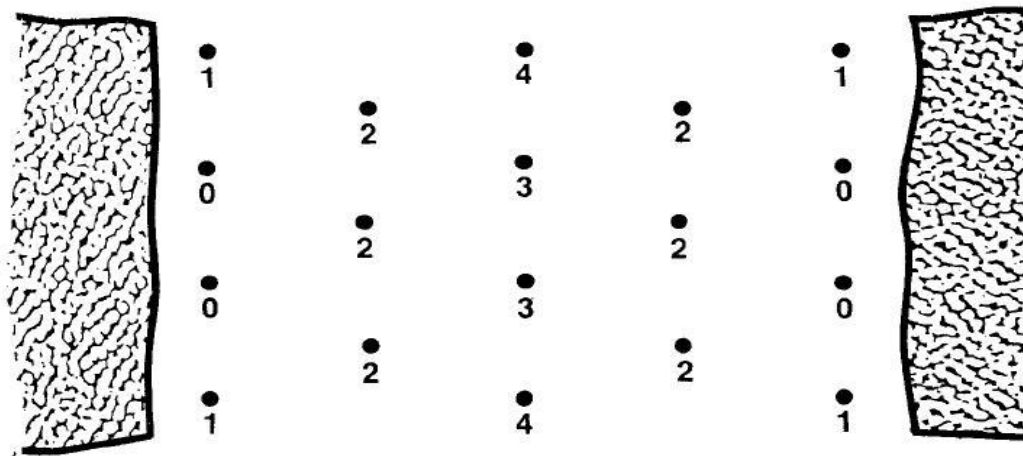


Figure 16-T. Where roof control is no problem, this setup removes pillar completely.

การเจาะระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

การเจาะระเบิดรูยาวในการผลิตแร่ในเหมืองใต้ดินแบบ Sublevel Stoping ใช้วิธีการเจาะระเบิดขนานกันหรือเจาะเป็นรูปวงแหวนโดยใช้เครื่องเจาะระเบิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 นิ้วเจาะผ่านแร่ในแร่ระดับที่อยู่ห่างกันระหว่าง 60-100 ฟุตในแหล่งแร่ที่วางตัวชันมากๆ มักนิยมใช้การเจาะรูขนานกันส่วนการเจาะรูเป็นรูปวงแหวนใช้กับแหล่งแร่มวลใหญ่ (Massive ore body) การอัดระเบิดรูยาวในลักษณะนี้มักบรรจุ Primer ไว้หลายๆ จุดและใช้การถ่วงเวลาเดียวกันเพื่อป้องกันการตัดขาดของแท่งระเบิดตลอดรูระเบิดยาวๆ เหล่านั้น

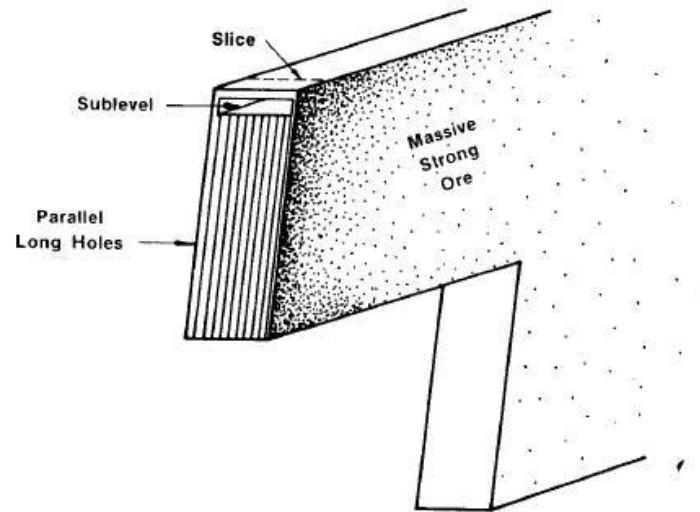


Figure 15.27. Parallel Long Holes to Open Sublevel Stope.

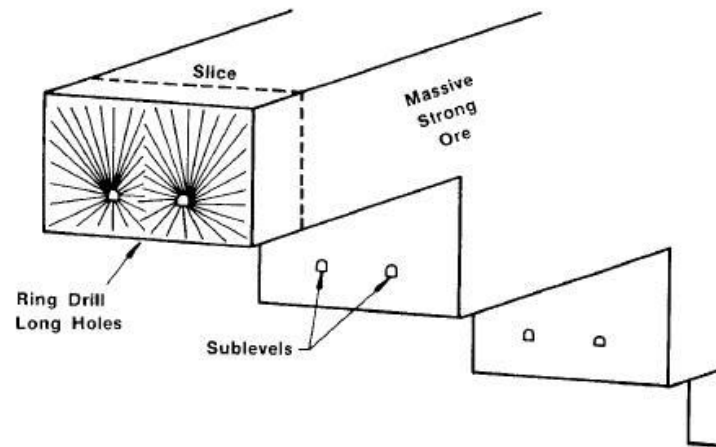


Figure 15.28. Ring Drill Pattern to Open Sublevel Stope.

Long-hole Production Blasts in Sublevel Stope

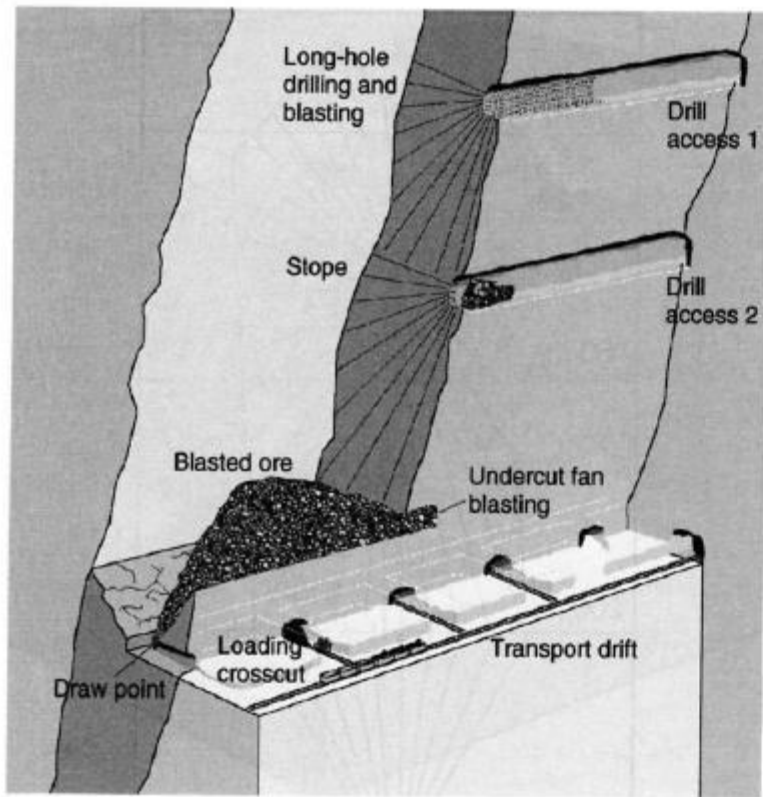


FIGURE 1.9 Sublevel open stoping

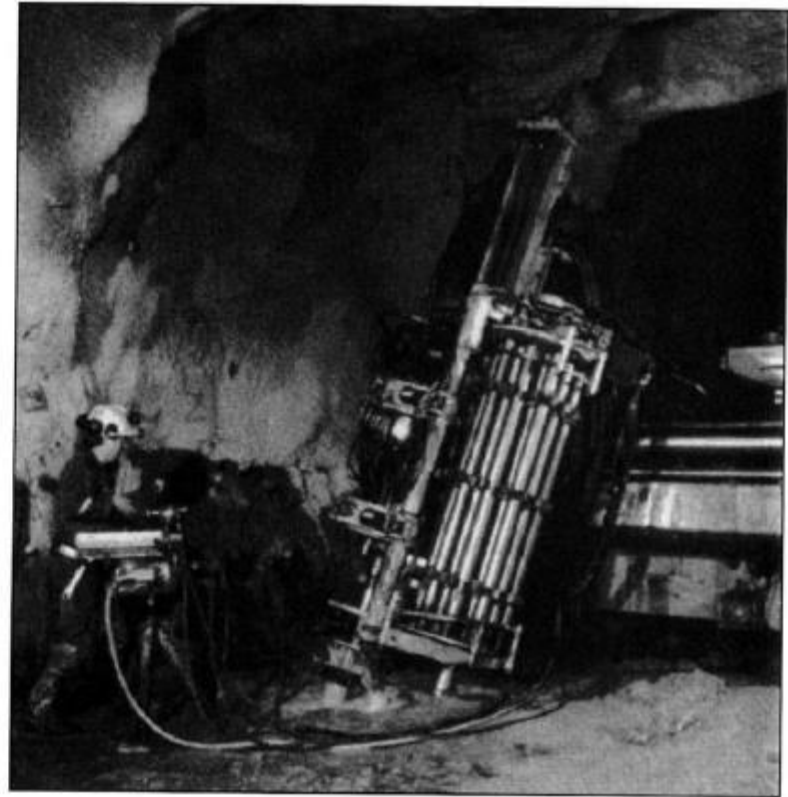


FIGURE 1.10 Longhole rig with slide positioning, remote control, and tube carousel, Williams gold, Canada

การเจาะระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

- Bighole open Stoping เป็นการทำให้เหมือนใต้ดินเช่นเดียวกับ กับวิธี Sublevel Stope แต่ใช้รูระเบิดขนาดใหญ่กว่าคือมีขนาดระหว่าง 140-165 มิลลิเมตร (5 ½ 6 ½ นิ้ว) ซึ่งนิยมใช้เครื่องเจาะ Down the Hole Drill สำหรับเจาะรูระเบิดรูระเบิดบางรูอาจยาวมากถึง 100 เมตร
- การเจาะระเบิดคล้ายกับการทำเหมืองแบบ Sublevel Stope การใช้รูระเบิดขนาด 140 มิลลิเมตรจะระเบิดแผ่นแร่หนา 4 เมตรและมีระยะ spacing ที่ปลายสุดของรูระเบิด 6 เมตร ข้อได้เปรียบของการทำเหมืองแบบ Bighole open Stoping ที่เหนือกว่าคือ Sublevel Stope คือสามารถขยาย sublevel ในแนวตั้งจาก 40 เมตรของ Sublevel Stope เป็น 60 เมตรใน Bighole open Stoping ได้ แต่ต้องระวังเรื่องความเสียหายของโครงสร้างหินจากการระเบิดวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสำหรับการใช้กับหินที่มีโครงสร้างไม่ค่อยแข็งแรงมาก ทั้งในโครงสร้างของสายแร่ (Ore body) และ หินข้างเคียง (Host rock)

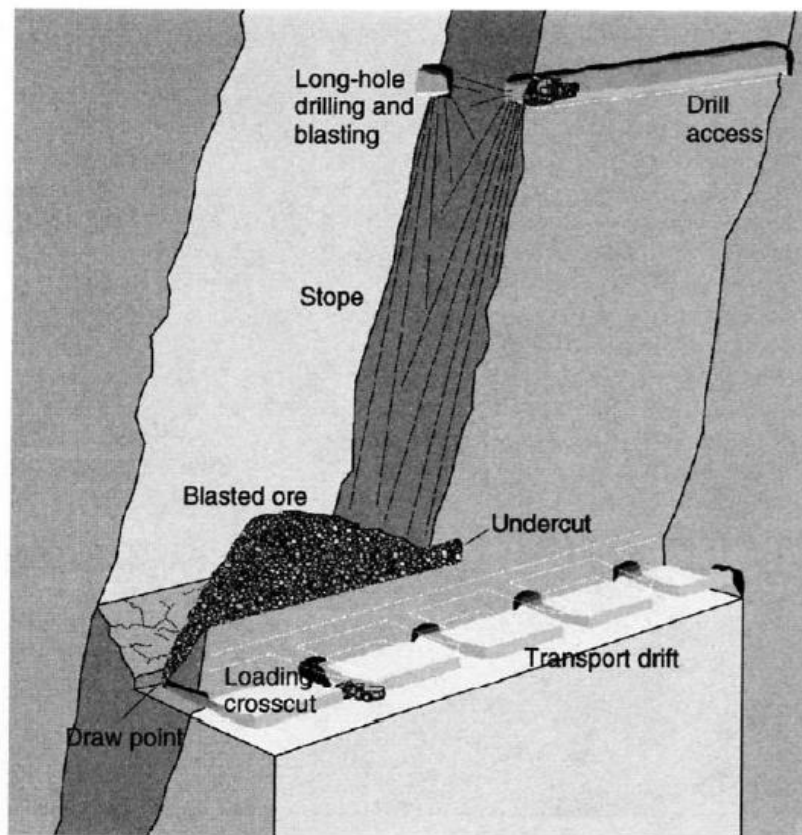


FIGURE 1.11 Bighole open stoping

1.3.6 Bighole Stoping

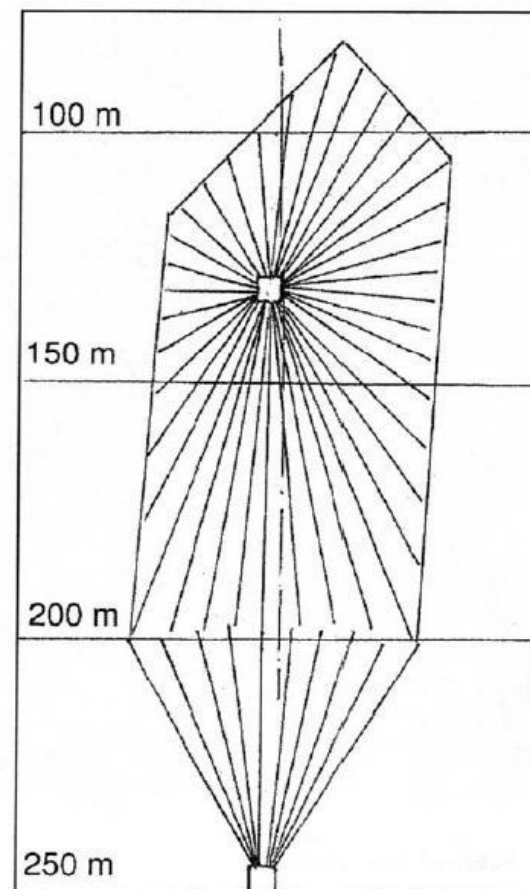


FIGURE 1.12 Bighole sample pattern, Mount Charlotte, Australia



FIGURE 1.15 ITH drilling, 165 mm blast holes, INCO, Canada

การเจาะระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

- Vertical Crater Retreat

- เป็นวิธีการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในการทำเหมืองใต้ดินที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Canadian Mining INCO ใช้สำหรับการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในแหล่งแร่ที่เป็นสายแร่ที่วางตัวเป็นแนวตั้งหรือมีการเอียงตัว (Dip) เกือบเป็นแนวตั้ง ทั้งในสายแร่และหินข้างเคียง ซึ่งมักจะมีการทำเหมืองวิธีการ Shrinkage Stope

การเจาะระเบิดเป็นรูป ทรงกลมคล้ายหัวหอม ใช้ระเบิดขนาด 6 นิ้ว ความลึกของรูระเบิดไม่เกิน 6 เท่าของขนาดรูระเบิด เมื่อระเบิดแร่แล้วจะตัดแร่ออกไปส่วนหนึ่งและเว้นแร่ที่ระเบิดแล้วไว้ส่วนหนึ่งเพื่อให้สามารถไปยื่นเจาะระเบิดได้ เมื่อเจาะระเบิดแร่จากด้านล่าง (Under cut) ไปจนถึงจุดที่สามารถเจาะระเบิดแร่จากด้านบน (Over cut) จากอีกระดับ Level หนึ่งได้ ก็จะใช้การเจาะระเบิดรูยาวในการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่แทน การเจาะระเบิดแบบรูยาวอาจใช้การเจาะรูแบบขนานกันหรือเจาะเป็นรูปวงแหวน (Ring Cut) ก็ได้

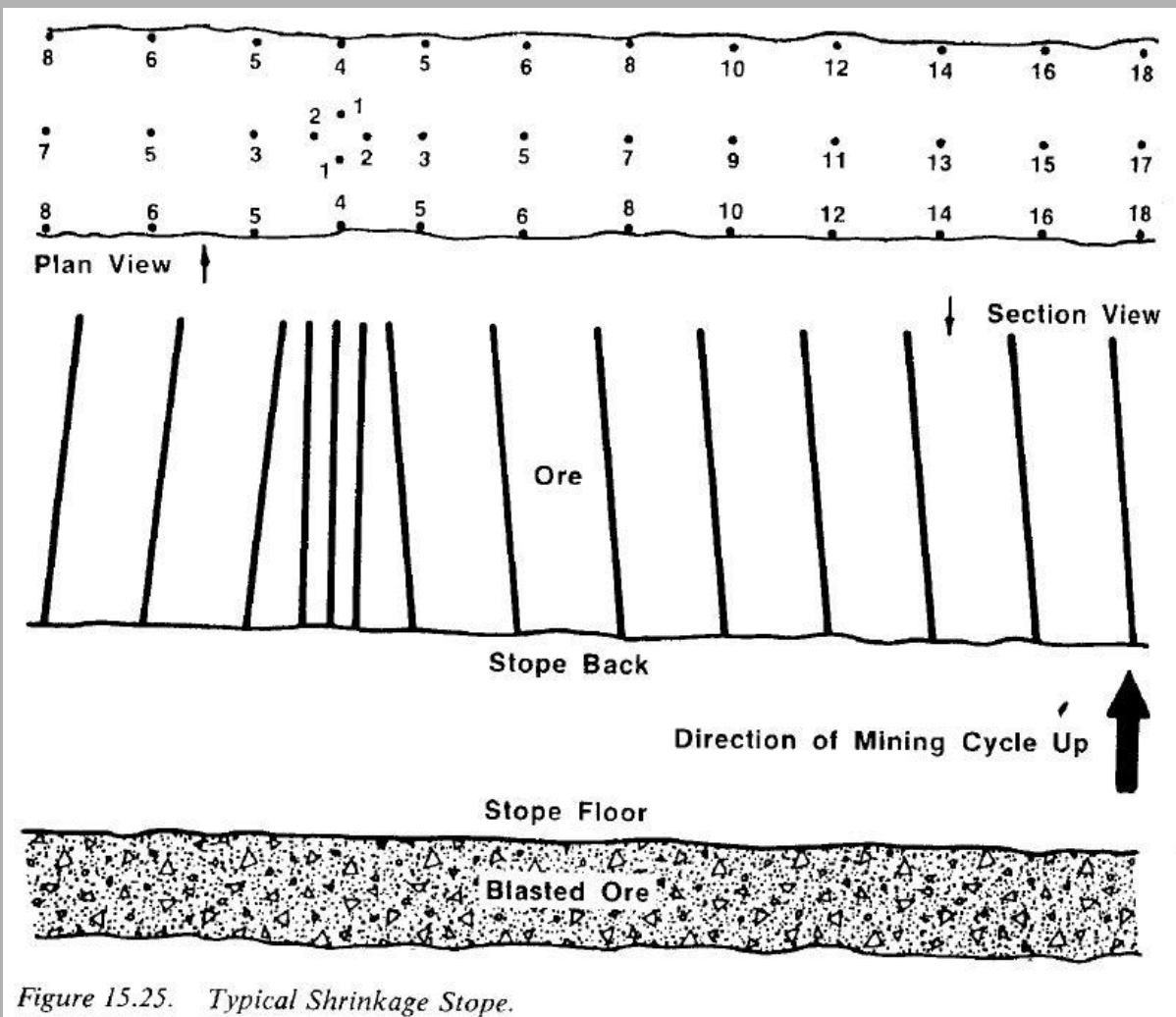


Figure 15.25. Typical Shrinkage Stope.

Vertical Crater Retreat Method in Shrinkage Stope Mining

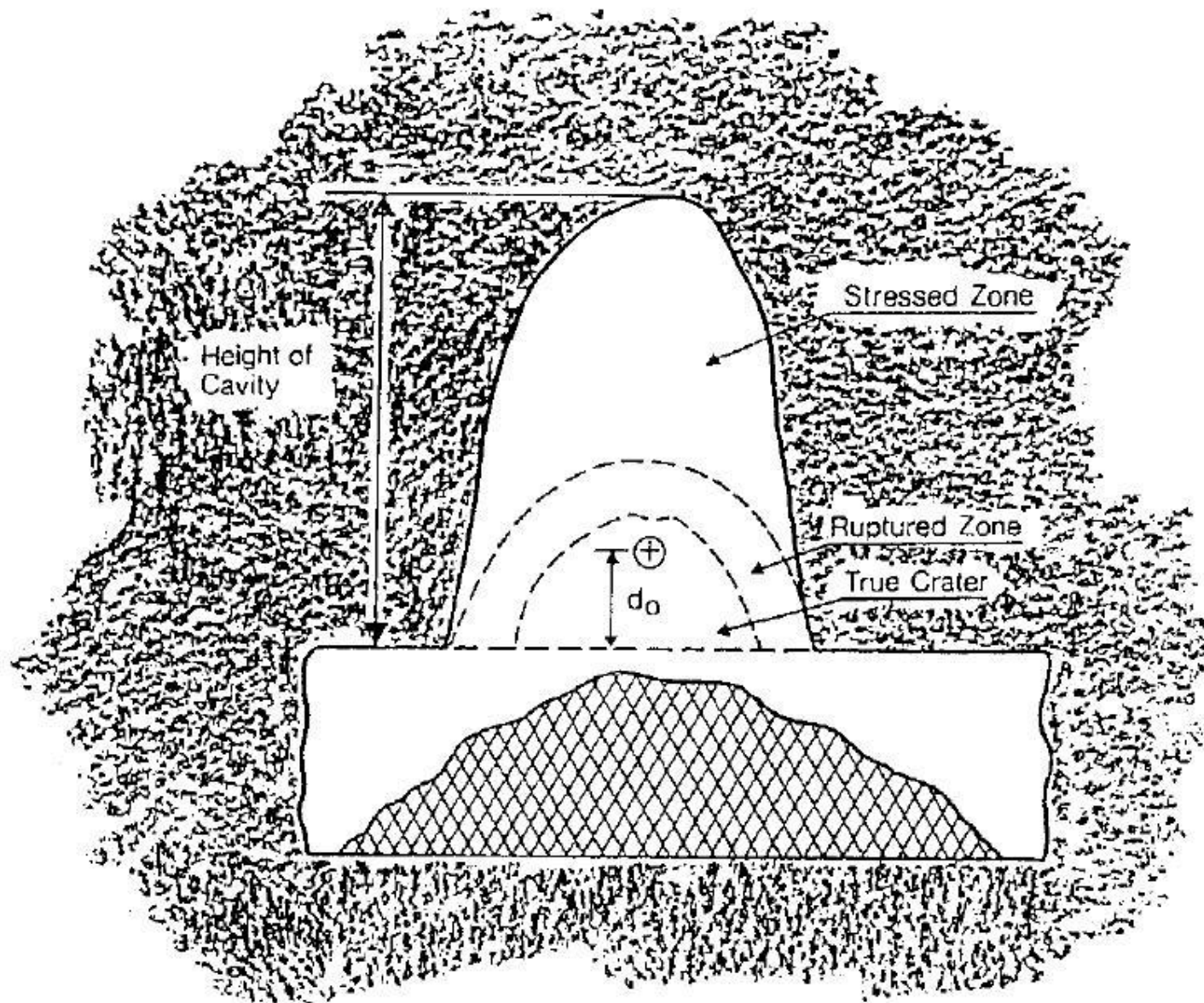


Figure 11.7. Principle for the VCR blasting method [from Lang, 1981a].

การเจาะรูระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

- Vertical Crater Retreat

- **VCR** ที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์ตื้น (**Shaft**) โดยการเจาะระเบิดจากล่างขึ้นบนเรียกว่าชื่อทางเทคนิคว่า **Drop Raise** เป็นการเจาะระเบิดปล่องเจาะขึ้น (**Raise**) ที่มีการสร้างหัวปล่อง (**Crater**) ขึ้นโดยใช้รูระเบิดขนาด $6\frac{1}{2}$ นิ้วเป็นศูนย์กลางสุด ตามด้วยอนุกรมของรูระเบิด 4 รูรอบๆ ที่ระเบิดให้ปล่อง มีขนาด 4-5 ฟุต และรูระเบิดที่เหลือรอบๆ ระเบิดให้ปล่องมีขนาดกว้างประมาณ 10×10 ฟุต

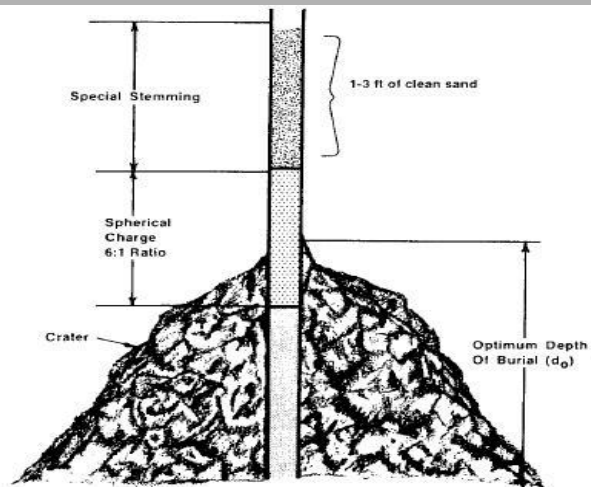


Figure 15.22. Typical Crater From Indicated Charge Placement.

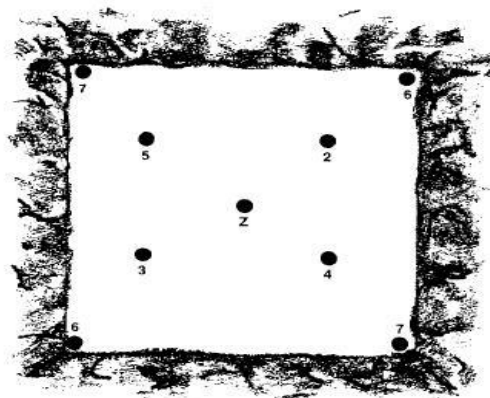


Figure 15.23. Vertical Crater Retreat (VCR): Drop Raise Pattern; Millisecond Delay; $6\frac{1}{2}$ -in. Diameter Holes.

การเจาะรูระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

- Vertical Crater Retreat

- สามารถนำมาดัดแปลงใช้ได้กับการทำเหมืองใต้ดินแบบ **Open Stope** ลำดับการทำงานของการพัฒนา **VCR stope** คือ
 - เจาะอุโมงค์สำหรับขนส่งแร่และสร้างช่องนำแร่ออกทางด้านล่างของสายแร่ตลอดแนวสายแร่
 - เจาะระเบิดระเบิดแร่จากด้านล่างระบายแร่ออกบางส่วนแล้วขึ้นไปยืนเจาะรูระเบิดบนแร่ที่ระเบิดแล้วจากครั้งก่อน
 - เมื่อระเบิดแร่ไปจนถึงจุดที่สามารถเจาะรูระเบิดได้จากระดับบนจึงเจาะรูระเบิดจากระดับบน

การเจาะระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

- Vertical Crater Retreat

-การเจาะระเบิดจากด้านล่าง (Under cut) อาจใช้ระเบิดเจาะขึ้นเป็นแนวตั้งจากล่างขึ้นบนให้มีรูปร่างของการเจาะระเบิดเป็นรูปหัวหอม (Spherical explosive charge) โดยความลึกของระเบิดไม่เกิน 6 เท่าของขนาดระเบิด หรืออาจใช้การเจาะระเบิดในแนวนอนเพื่อเปิดช่องว่างให้มีพื้นที่มากพอที่จะเจาะระเบิดจากด้านบนแล้วระเบิดหินออกมากองในระดับล่างได้

การเจาะระเบิดจากด้านบน (**Over cut**) นิยมใช้เครื่องเจาะ **Down the Hole Drill (DTH)** หรือบางครั้งอาจเรียกว่า **In the Hole Drill (ITH)** หรือเครื่องเจาะชนิด **Rotary Drill** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระเบิดระหว่าง 140-205 มิลลิเมตร (5 1/2 - 8.0 นิ้ว) เจาะระเบิดในแนวตั้งขนานกันทุกรู จนสามารถระเบิดแร่ทั้งหมดให้แตกออกไปกองอยู่ในระดับล่างได้ในคราวเดียว กรณีใช้ระเบิดขนาด 165 มิลลิเมตร (6 1/2 นิ้ว) จะใช้ **Burden** และ **Spacing** ประมาณ 4x4 เมตร วัสดุระเบิดหลักที่ใช้ในการเจาะระเบิดโดยวิธีนี้มักใช้ **ANFO** ที่อัดด้วยเครื่องอัดระเบิดที่ใช้ลมอัดเนื่องจากเป็นวัสดุระเบิดที่มีราคาถูกที่สุด ทั้งนี้อาจใช้ **ANFO** ร่วมกับ **Emulsion Explosive** ได้ตามความเหมาะสม

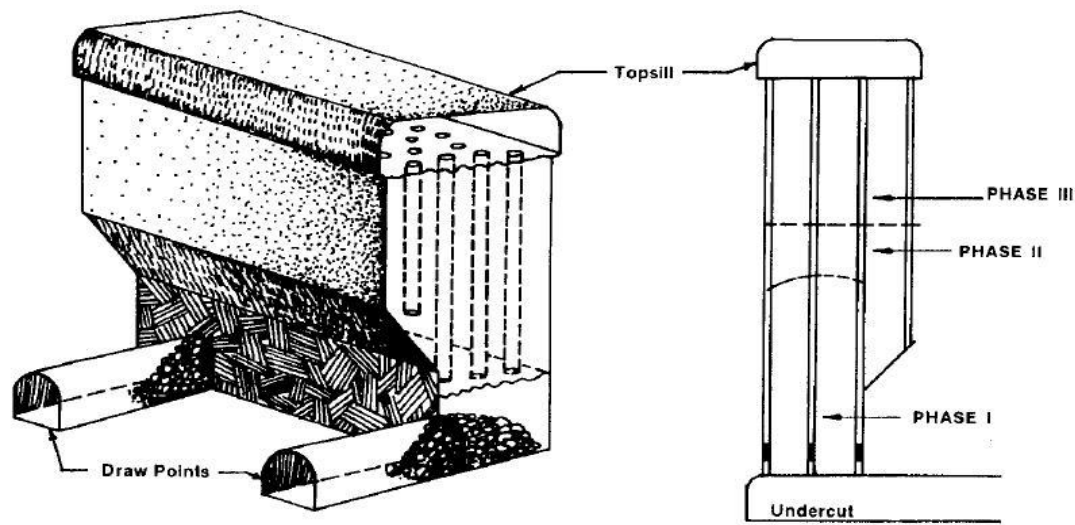


Figure 15.26. Vertical Crater Retreat.

Underground Mining Methods and Applications

9

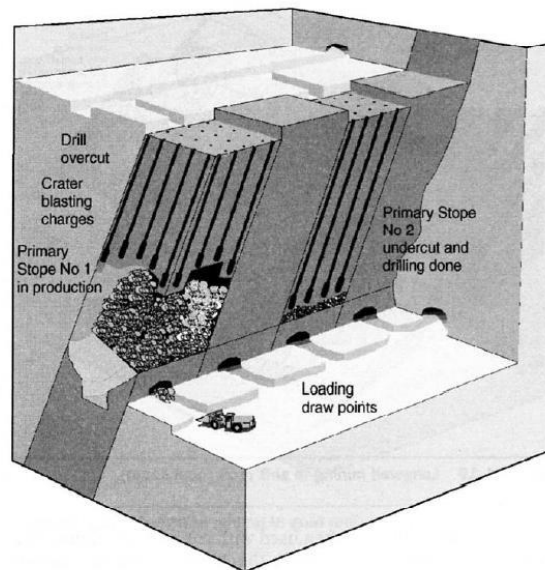


FIGURE 1.14 VCR mining, primary stopes

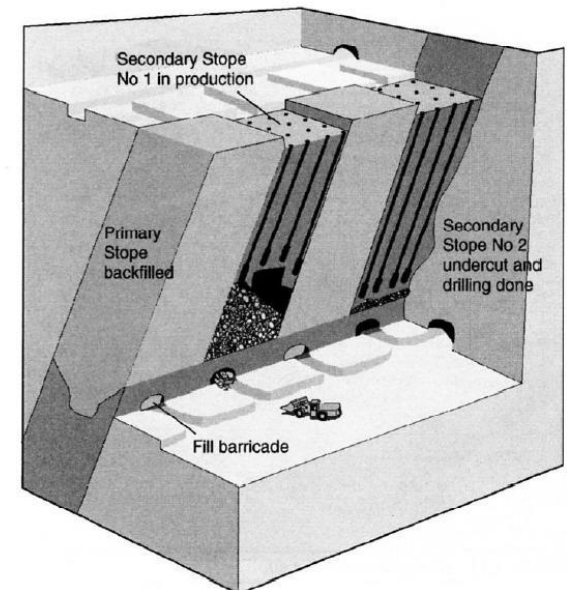


FIGURE 1.16 VCR mining, recovery of secondary stopes

การเจาะระเบิดยาวๆ (Long-hole Production Blasts)

การใช้ในงานเหมืองใต้ดินชนิดอื่นๆ

-การเจาะระเบิดแบบรูกยาวเพื่อการผลิตแร่ในการทำเหมืองใต้ดินที่มีการเจาะระเบิดเป็นรูปวงแหวนยังใช้กับการเจาะระเบิดที่เป็นการเจาะระเบิดจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Under cut) ในเหมืองใต้ดินแบบอื่นๆ เช่น แบบ Sublevel caving และ Block caving เป็นต้น

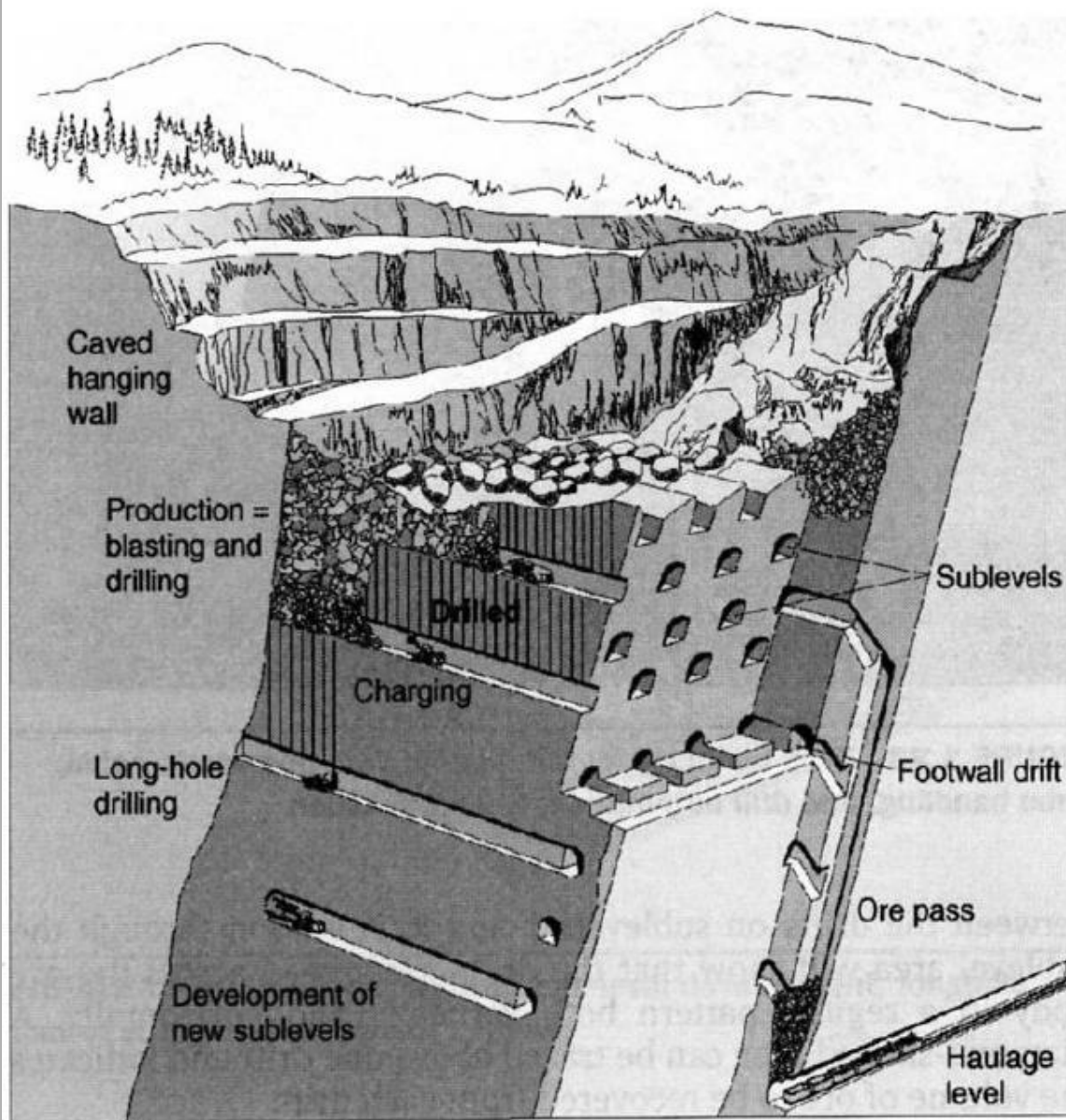


FIGURE 1.22 Mining by sublevel caving

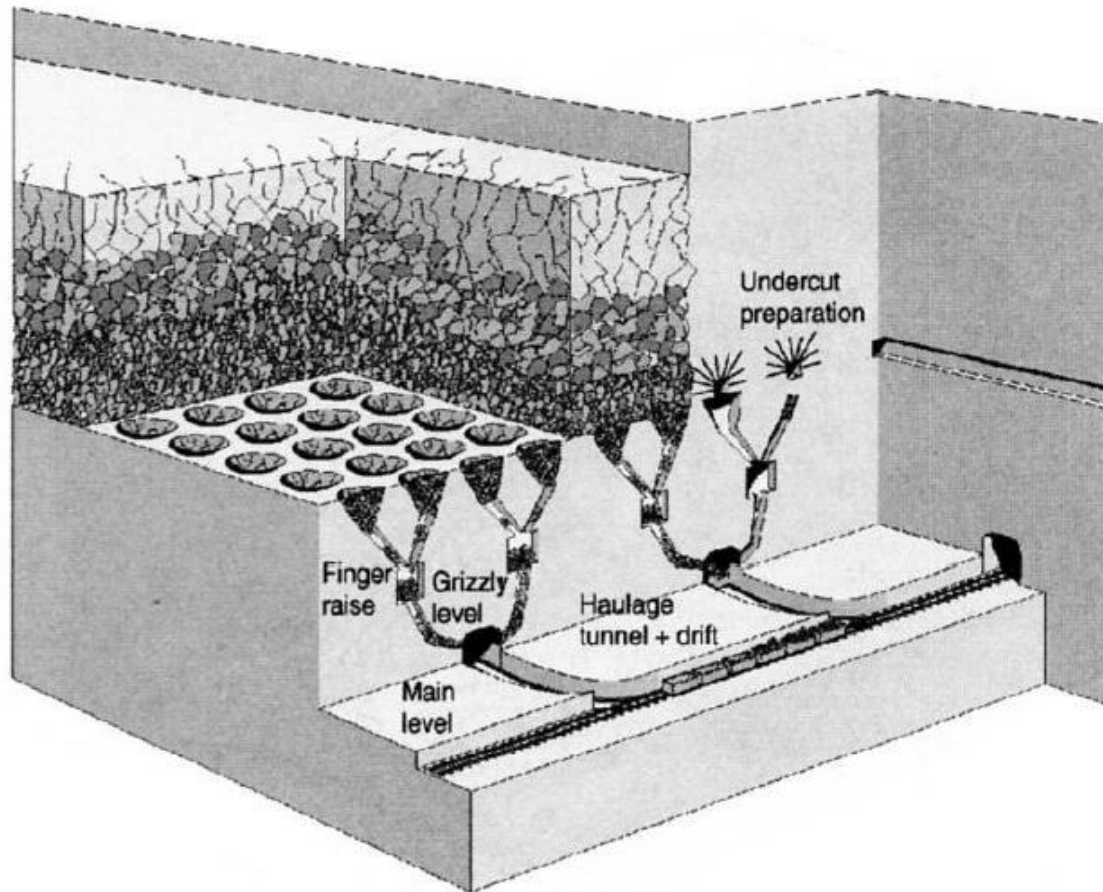


FIGURE 1.24 Block caving with finger raises, grizzly treatment and chute loading

การทำเหมืองใต้ดินและการประยุกต์การใช้งาน (Underground Mining Methods and Applications)

แบ่งออกเป็น 4 วิธีใหญ่ ๆ ที่สำคัญคือ

1. การทำเหมืองที่ไม่ต้องมีการค้ำยัน (Self Supported Opening)

- Open Stopping
- Room and Pillar Mining
- Sublevel Stopping
- Shrinkage Stopping
- Stull Stopping

การทำเหมืองใต้ดินและการประยุกต์การใช้งาน (Underground Mining Methods and Applications)

2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

- Cut and Fill Stoping**

- Square Set and Fill Stoping**

- Long Wall and Shot Wall Mining**

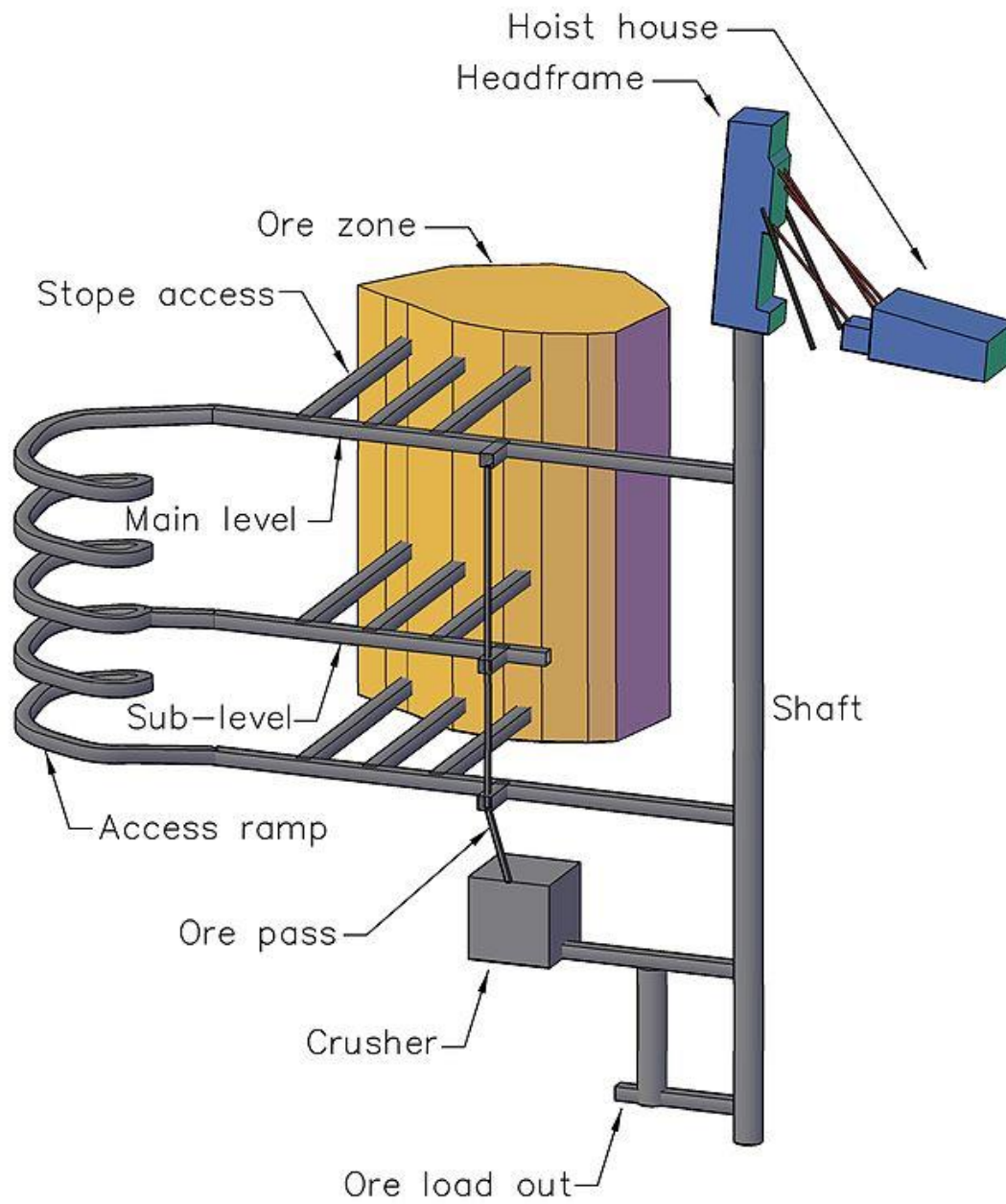
- การทำเหมืองปล่องหรือเหมืองเจาะงัน (Gophering Hole)**

3. Caving Mining

- Sublevel Caving**

- Block and Panel Caving**

4. การทำเหมืองละลายแร่ (Solution Mining)



Open Stopping

หรือการทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่ง เป็นการทำเหมืองใต้ดินที่ปล่อยให้โครงสร้างของหินที่มีความแข็งแรงมาก ค้ำยันตัวเองโดยไม่ต้องมีการค้ำยันอุโมงค์ หรืออาจใช้อุปกรณ์ค้ำยันบ้างเพียงเล็กน้อย ในบริเวณที่โครงสร้างของหินไม่ค้ำยันแข็งแรง การทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่งต้องระมัดระวังอย่าให้มีขนาดอุโมงค์กว้างมาก เนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการพังทลายได้โดยง่าย

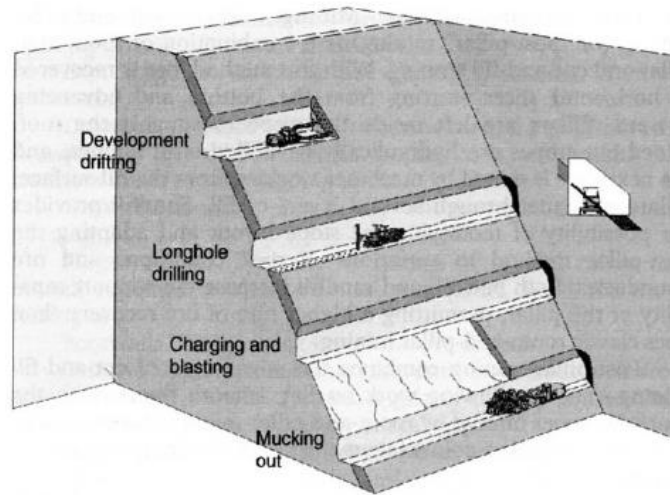


FIGURE 1.5 Mining a narrow vein with steep dip



FIGURE 1.6 Small size drill jumbo, Dome mine, Canada

การทำเหมืองแบบช่องว่างและมีเสา (Room and Pillar)

เป็นการทำเหมืองในชั้นแร่ที่ค่อนข้างวางตัวในแนวราบคือมีความลาดเอียงไม่เกิน 30 องศาและที่มีความหนาค่อนข้างมากเช่นตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป เช่นถ่านหิน ก๊าซหิน ยิปซัม มีการขุดแร่ออกประมาณ 30-60 % ของชั้นแร่ส่วนที่เหลือจะถูกทิ้งไว้เป็นเสา (Pillar) เพื่อการค้ำยันอุโมงค์ ในบางครั้งอาจต้องมีการค้ำยันด้วยอุปกรณ์ค้ำยันเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงของอุโมงค์หากไม่แน่ใจว่าเสาค้ำยันอุโมงค์ตามธรรมชาติไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ

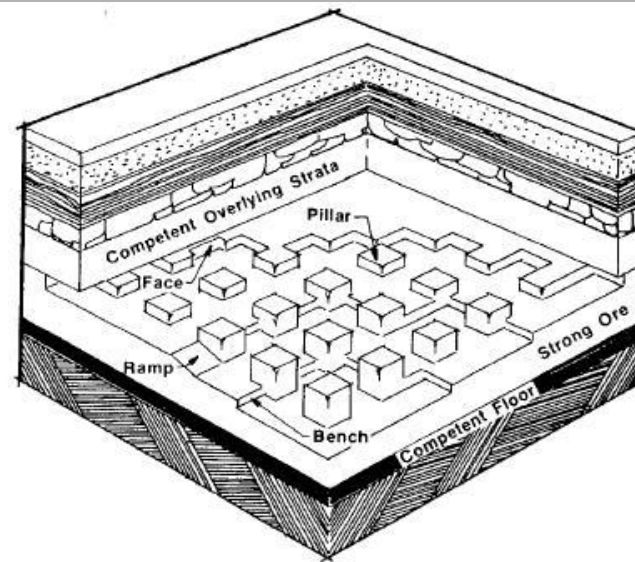


Figure 15.1. Room-and-Pillar Method with Regular Pillars.

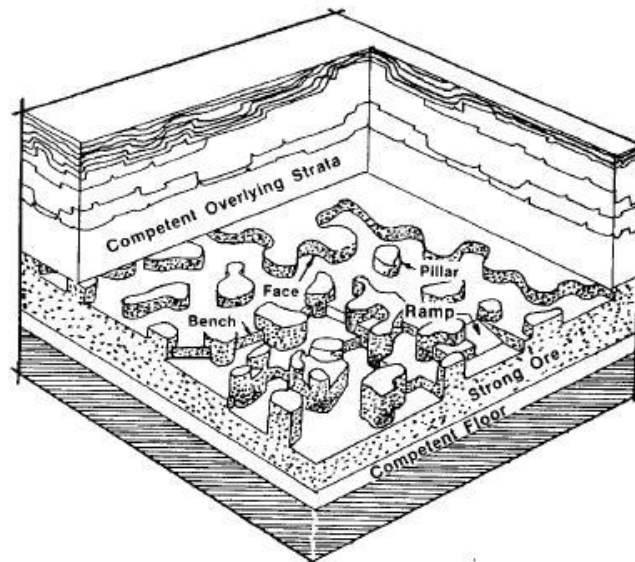


Figure 15.2. Room-and-Pillar Method with Random Pillars.

Shrinkage Stope

เป็นการทำเหมืองใต้ดินในสายแร่ที่มีความลาดชันมากโดยการเจาะระเบิดแร่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ในลักษณะคล้ายแร่ถูกระเบิดออกเป็นแผ่นๆในแนวราบ แร่ที่ระเบิดแล้วจะถูกลำเลียงออกไปบางส่วนและเว้นไว้สำหรับค้ำยันอุโมงค์และเป็นพื้นที่สำหรับการยื่นเจาะรูระเบิดในรอบถัดไป จนเมื่อถึงระดับที่ระเบิดแร่ออกหมดแล้วจึงระบายแร่ทั้งหมดออกได้ ช่องว่างที่เกิดขึ้นอาจมีการเติมกลับด้วยหางแร่ผสมซีเมนต์หรืออาจเว้นว่างไว้เฉยๆก็ได้

Shrinkage Stope

การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแร่ในการทำเหมืองแบบ **Shrinkage Stope** อาจใช้รูระเบิดรูสั้นทำการระเบิดในลักษณะคล้ายแร่ถูกระเบิดออกเป็นแผ่น ๆ ในแนวราบ หรือการใช้รูระเบิดแบบรูลายาวโดยวิธี **Vertical Crater Retreat (VCR)** แล้วแต่สภาพของสายแร่และหินข้างเคียง ข้อเสียของการทำเหมืองแบบนี้ก็คือต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักและต้องเว้นแร่ที่ระเบิดแล้วไว้ใน **Stope** เป็นเวลานาน สายแร่และหินข้างเคียงต้องมีความแข็งแรงพอที่จะมีเสถียรภาพโดยไม่ต้องมีการค้ำยัน และหินข้างเคียงด้านล่างสายแร่ (**Foot wall**) ต้องมีความลาดเอียงมากพอที่จะทำให้แร่ที่ระเบิดแล้วไหลลงมาเองได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง แต่มีข้อดีคือใช้เครื่องจักรเครื่องมือ น้อยทำให้มีเงินลงทุนต่ำ

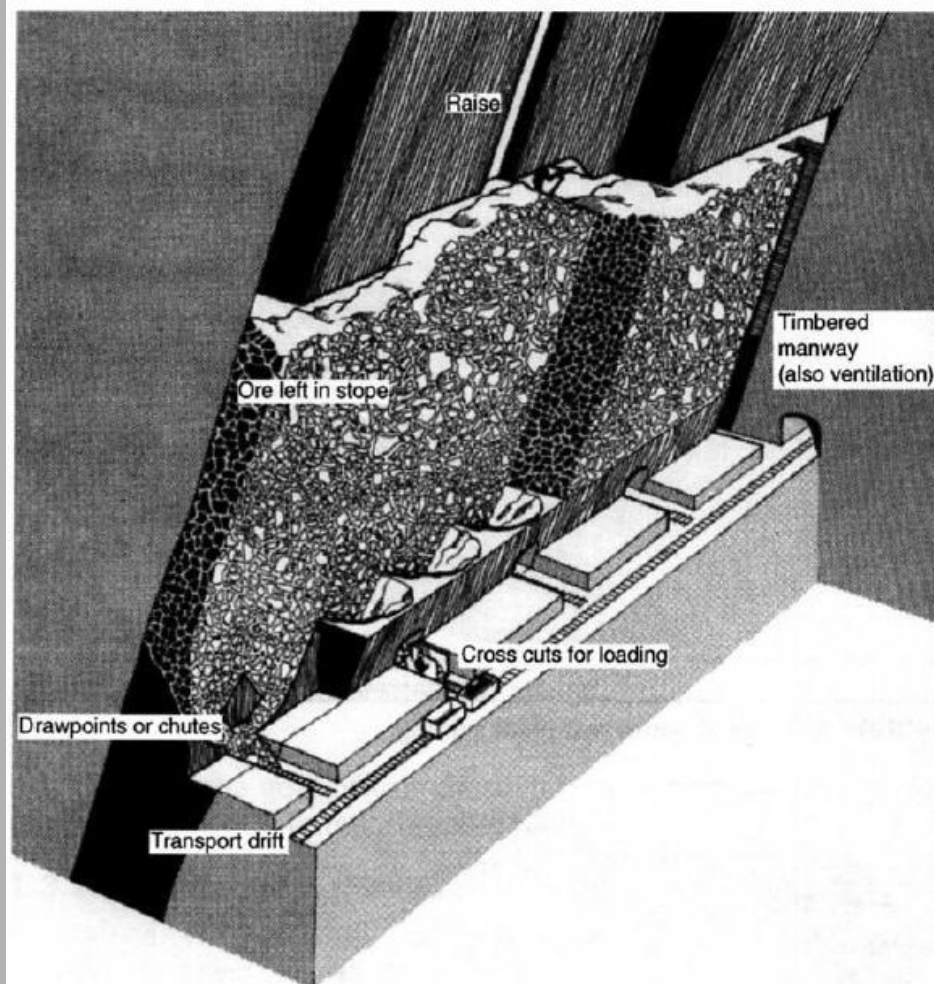


FIGURE 1.8 Shrinkage stoping with cross-cut loading

การทำเหมืองใต้ดินแบบ **Sub-level Stoping**

เป็นการทำเหมืองในสายแร่ขนาดใหญ่ที่วางตัวค่อนข้างชัน หรือวางตัวในแนวตั้ง มีขอบเขตของสายแร่ค่อนข้างชัดเจนแน่นอน มีผนังเพดาน (**Hanging Wall**) และผนังพื้น (**Foot Wall**) ที่มั่นคงแข็งแรงการทำเหมืองจะทำการเจาะระเบิดแร่ออกเป็นบล็อก ๆ มีขนาดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับช่องว่างที่เปิดแร่ออกแล้วสามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ต้องมีการค้ำยัน การเดินอุโมงค์จะเดินพร้อม ๆ กันครั้งละ 2-3 ระดับย่อยโดยการเจาะอุโมงค์ขึ้นทางด้านใต้ (**Under cut**) โดยทำการระเบิดชั้นล่างก่อนแล้วจึงระเบิดชั้นบนและระบายแร่ออกทางช่องทิ้งแร่ทั้งสองด้านของอุโมงค์ย่อย

การทำเหมืองใต้ดินแบบ **Sub-level Stoping**

การเจาะระเบิดมักใช้เครื่องเจาะระเบิดขนาดไม่เกิน $4\frac{1}{2}$ นิ้วเจาะระเบิดแบบรูลยาว (**Long hole drill**) ระเบิดแร่ออกมาเป็นแผ่น ๆ ในแนวตั้ง ซึ่งตามปกติแต่ละ **Sub-level** จะห่างกันไม่เกิน **40** เมตร หากมีการใช้ระเบิดขนาดใหญ่คือ เส้นผ่าศูนย์กลางระเบิดขนาด $5\frac{1}{2}$ - $6\frac{1}{2}$ นิ้วเรียกการทำเหมืองแบบนี้ว่า **Big Hole Stoping** ซึ่งจะมี **Sub-level** ห่างกันได้ถึง **60** เมตร และระเบิดแต่ละรูอาจมีความยาวถึง **100** เมตรซึ่งมักใช้เครื่องเจาะ **Down the Hole Drill** ในการเจาะระเบิด แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงโครงสร้างที่อาจแตกร้าวเสียหายของสายแร่และหินข้างเคียงเป็นปัจจัยสำคัญในการเปิด **Stope** ขนาดใหญ่เหล่านี้

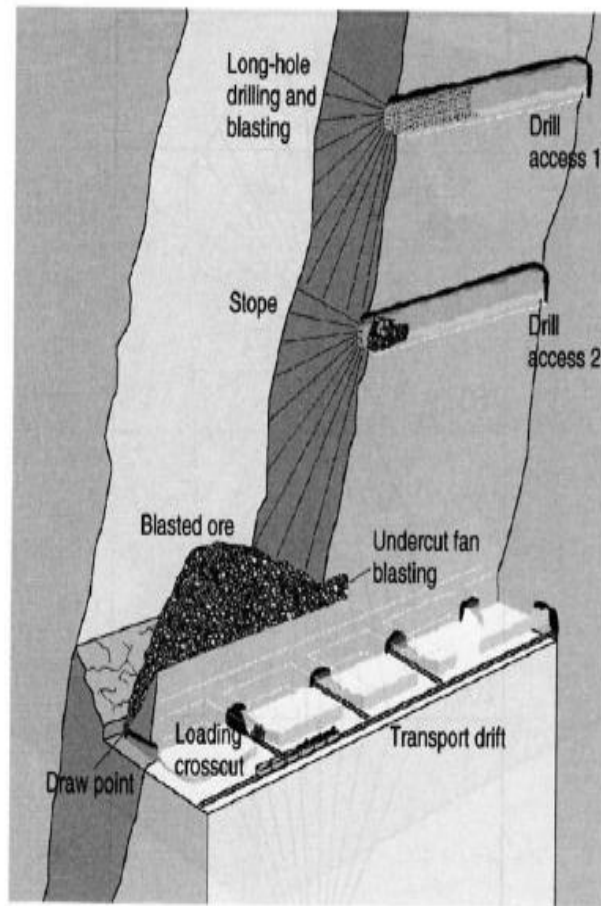


FIGURE 1.9 Sublevel open stoping

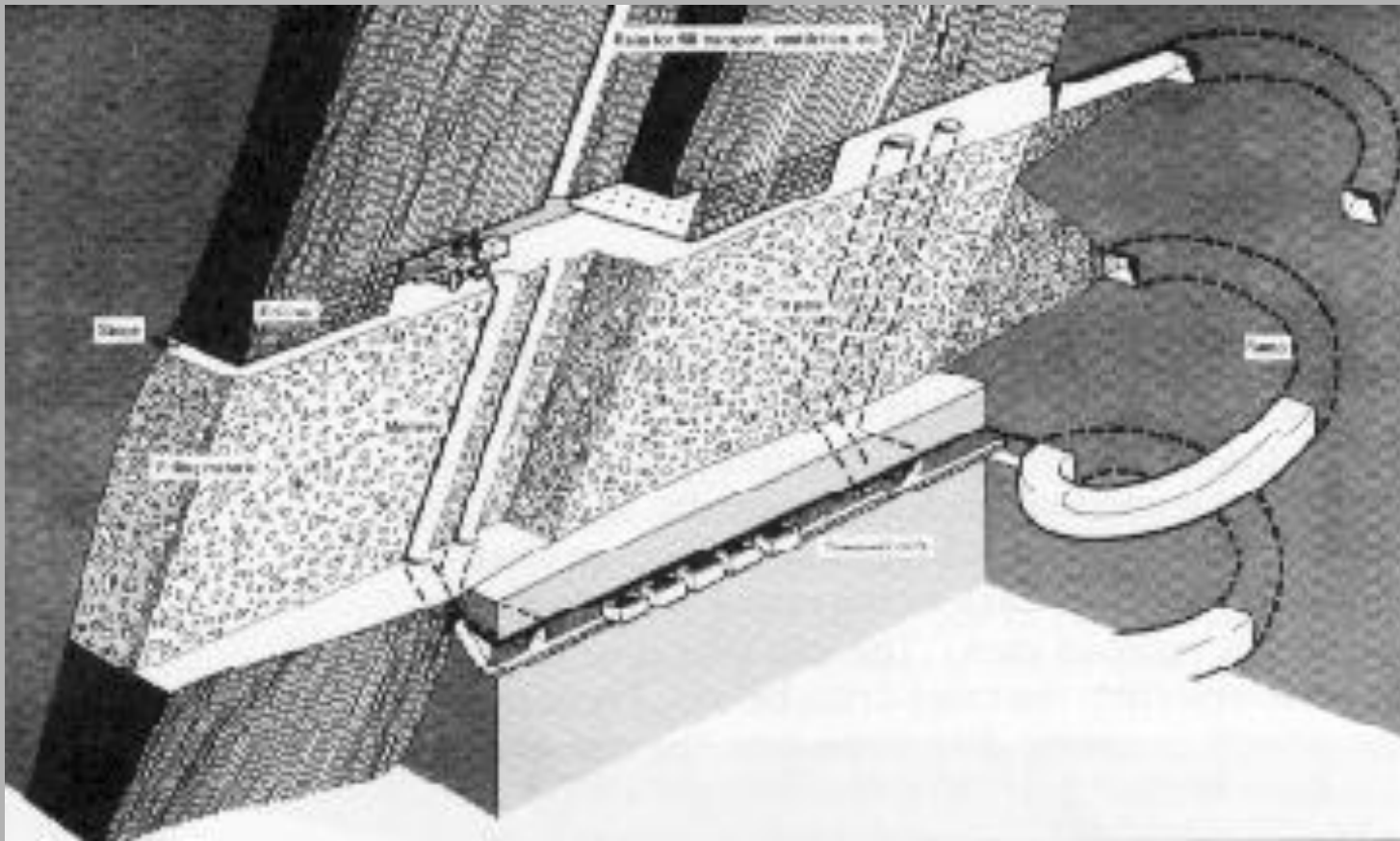


FIGURE 1.10 Longhole rig with slide positioning, remote control, and tube carousel, Williams gold, Canada

2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

Cut and Fill Stoping

เป็นการทำเหมืองใต้ดินในสายแร่ที่แบนและแคบมีความกว้าง ความเอียง และความแข็งแรงของบริเวณที่เป็นแร่และหินข้างเคียง ไม่สม่ำเสมอ (Tabular and irregular) ชื่อของวิธีการทำเหมืองได้มาจากวิธีการปฏิบัติงาน คือขุดแร่ออกไปแล้วมีการถมกลับในพื้นที่นั้นด้วยวัสดุอื่น ลักษณะการทำงานคล้ายกับ Shrinkage Stoping แต่มีการค้ำยันผนังอุโมงค์โดยวัสดุถมกลับ (Filling material) การขุดชั้นแร่ทำเป็นระดับย่อยๆ หลายๆ ระดับในลักษณะของการเดินอุโมงค์ย่อยในแนวนอนเข้าหาสายแร่ พัฒนาการเดินหน้างาน จากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน หลังจากอุโมงค์ในระดับต่ำกว่าได้มีการขุดหรือเจาะระเบิดจนแร่ออกไป และถมกลับด้วยวัสดุอื่นแล้ว จึงมีการยื่นทำงานซ้ำกันเหมือนเดิมบนวัสดุที่ถมกลับในหน้างานระดับที่ต่ำกว่า วัสดุที่ใช้ถมกลับมักใช้ หางแร่จากโรงแต่งแร่ ในรูปของทรายปนน้ำ (Slurry or Tailing) คลุกปนกับซีเมนต์ประมาณ 5 – 10 % เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของวัสดุ



Cut and Fill Stopping

2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

Square Set and Fill Stoping

เป็นการทำเหมืองใต้ดินใช้กับการทำเหมืองในแหล่งแร่ที่มีเปลือกดินไม่แข็งแรง วัสดุจำพวกดินและหินสามารถร่วงลงมาได้โดยง่ายจึงจำเป็นต้องมีการค้ำยันตลอดเวลา โดยใช้ชุดไม้หรือเหล็ก (Timber Set) ต่อเป็นคอกเป็นชุดๆ ต่อเนื่องกันไป แล้วอาจนำมูลดินทรายจากการทำเหมืองมาถมชุดกล่องที่เปิดแร่ออกไปแล้ว

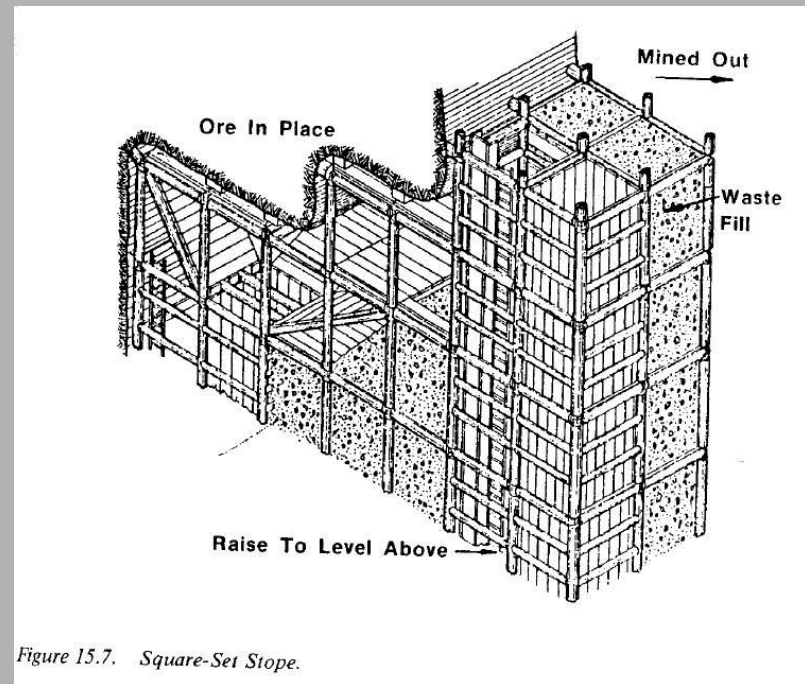
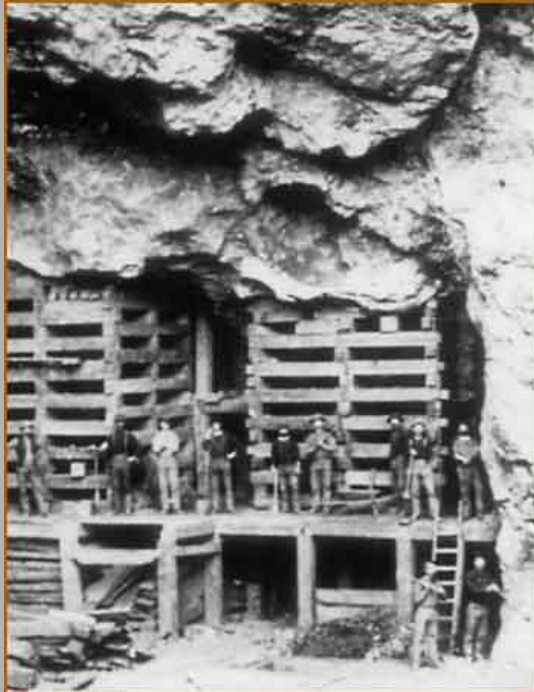


Figure 15.7. Square-Set Stope.

2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening) Long Wall and Shot Wall Mining

เป็นวิธีการทำเหมืองที่เหมาะสมสำหรับการทำเหมืองในสายแร่ที่ค่อนข้างราบและแบน ชั้นแร่และหินผนังไม่ค่อยมีความแข็งแรงและพังลงมาได้ง่าย เช่นถ่านหิน ยอมให้พื้นผิวดินด้านบนมีการทรุดตัวลงมาได้ จะทำการเดินอุโมงค์คู่ขนานกันหลาย ๆ อุโมงค์ แล้วใช้เครื่องขุดตัดแร่แบบต่อเนื่องขุดตัดแร่ตามแนวยาวของชั้นแร่ ตัดขวางกับอุโมงค์คู่ขนานแบบเดินถอยหลัง โดยใช้ค้ำยันไฮดรอลิกค้ำยันบริเวณหน้างาน เมื่อขุดแร่ออกแล้วจะถอดค้ำยันออกตามหน้างานมาเรื่อย ๆ ปล่อยให้ดินหรือหินถล่มลงมาได้หลังจากถอดเครื่องค้ำยันออก ดินทรายและ แร่ที่ขุดตัดแล้วจะถูกลำเลียงออกโดยการใส่สายพานลำเลียง

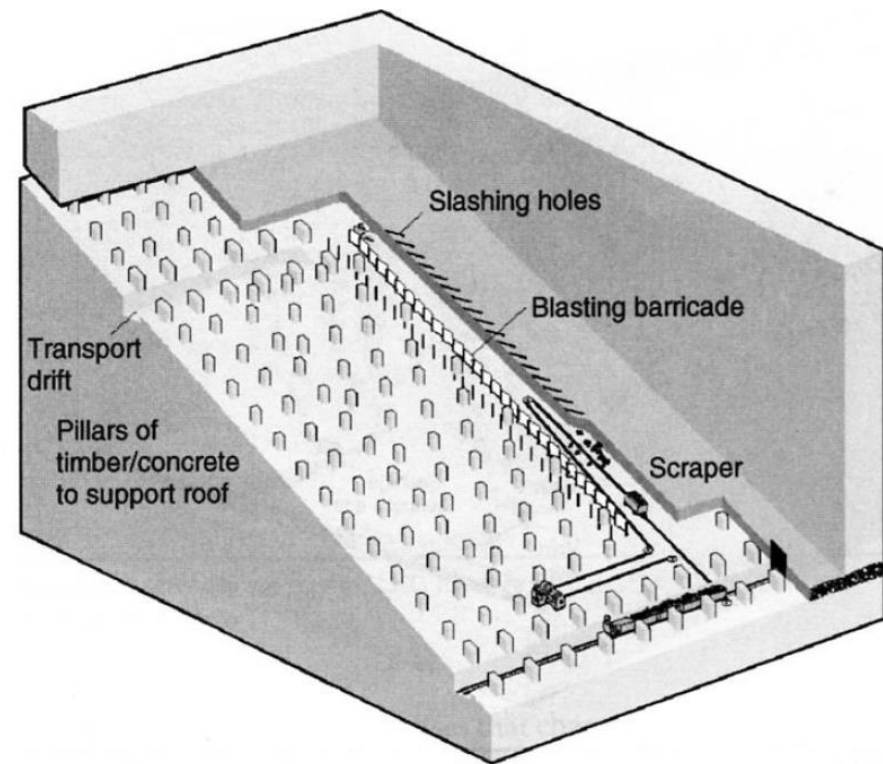
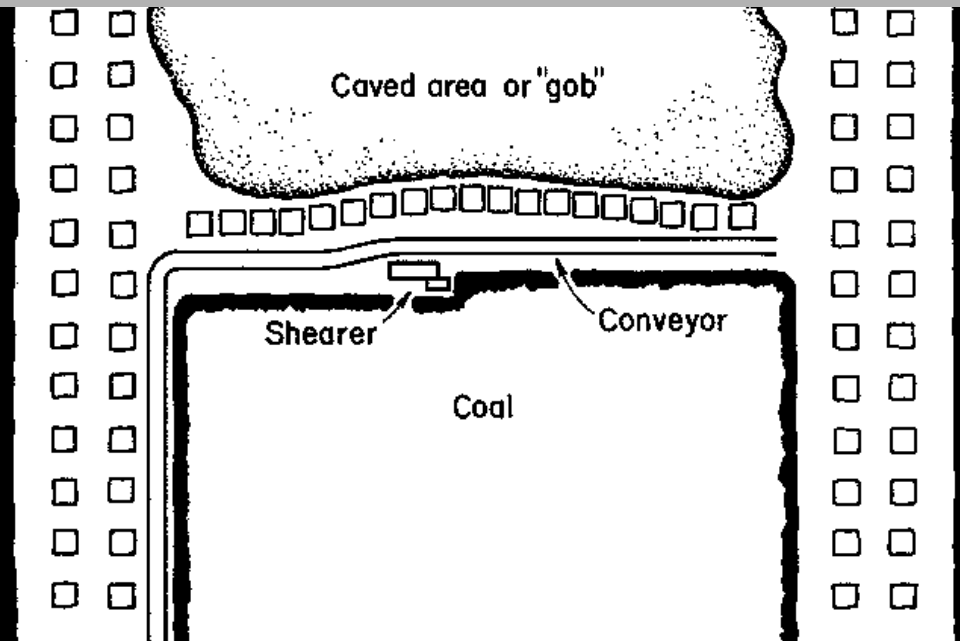


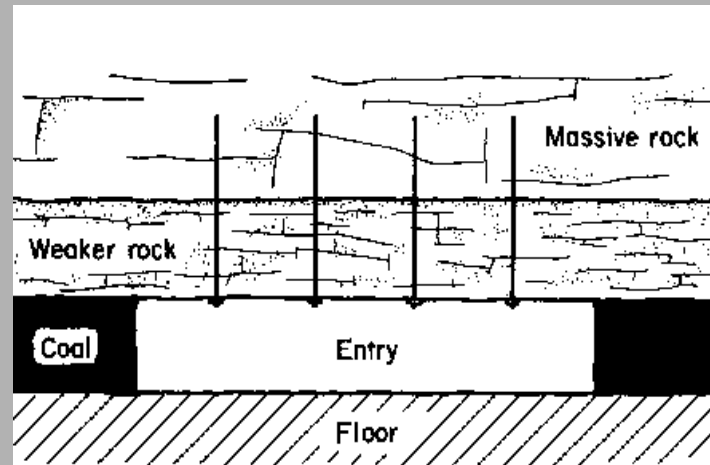
FIGURE 1.20 Longwall mining in gold reef

Longwall mining

2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

Stulled Stoping

เป็นการทำเหมืองที่คล้ายกับการทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่งแต่เป็นอุโมงค์เปิดโล่งในสายแร่ขนาดเล็ก แคบ ๆ ที่มีผนังเพดานของสายแร่ไม่ค้ำยันแข็งแรง จึงต้องมีการค้ำยันเฉพาะบริเวณที่ไม่ค้ำยันแข็งแรงด้วยวัสดุต่าง ๆ ไม้ตลอดเวลา



2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

การทำเหมืองปล่องหรือเหมืองเจาะงัน (Gophering Hole)

เป็นการทำเหมืองใต้ดินในสายแร่เล็กและแคบ คล้ายกับการทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิด โลงแต่อาจมีการค้ำยันเฉพาะบริเวณที่ไม่ค่อยแข็งแรง ด้วยไม้หรือเหล็ก เท่าที่จะหามาได้



3.Caving Ming

Sublevel Caving

เป็นการทำเหมืองในแหล่งแร่ที่มีความหนาและมีมุมเอียง (**Dip**) มากชั้นแร่และผนังเพดานไม่มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถพังลงมาได้โดยง่าย แร่มีราคาต่ำหรือมีความสมบูรณ์ ต่ำแต่ สามารถแต่งแร่ได้ง่าย และยินยอมให้พื้นดินเหนือบริเวณแหล่งแร่ยุบตัวลงได้ การทำเหมืองเริ่มจากการเจาะอุโมงค์ย่อยในแนวนอน (**Sublevel**) หลายๆ ระดับเข้าหาแหล่งแร่แล้วเดินอุโมงค์ตามสายแร่แต่ละระดับโดยการทำเหมืองแบบถอยหลังให้อุโมงค์ชั้นบนสุดเดินหน้าไปก่อนอุโมงค์ชั้นที่ต่ำกว่าถ้าสายแร่มีความกว้างเพียงพอมักจะเดินอุโมงค์ตามสายแร่ทำมุมตั้งฉากกับแนวสายแร่ (**Strike**) จากนั้นจึงเดินอุโมงค์ตัดขวางหลาย ๆ อุโมงค์ขนานกันตามแนวสายแร่ในการเดินอุโมงค์ชั้นย่อยแต่ละชั้น กรณีที่สายแร่แคบมักเดินอุโมงค์ตามแนวของสายแร่

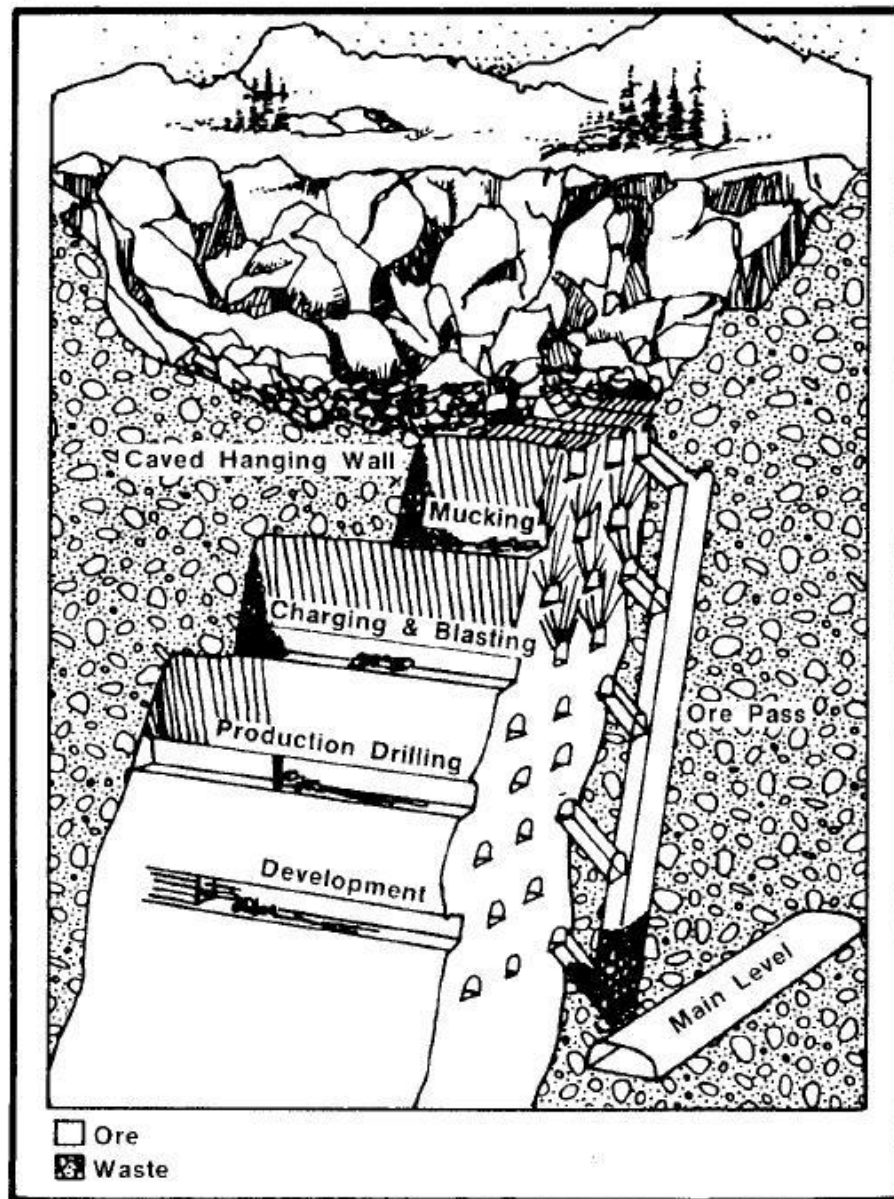


Figure 15.8. Typical Sublevel Caving Operation.

3.Caving Ming

-Block and Panel Caving

-เหมาะสำหรับการทำเหมืองในแหล่งแร่ขนาดใหญ่มาก ที่มีมุมลาดเอียงของสายแร่ค่อนข้างชัน และมีราคาต่ำหรือมีเปอร์เซ็นต์แร่ต่ำ โดยยอมให้พื้นผิวดินทรุดตัวลงมาภายหลังจากการทำเหมืองได้ การทำเหมืองเริ่มจากการเดินอุโมงค์ขนส่ง (Loading and Transporting Drift) การเจาะช่องผ่านแร่ (Ore Pass) เจาะอุโมงค์ขึ้นทั้ง 4 ด้านเป็นรูปกล่อง (Corner Raise) ทำGrizzly Drifts แล้วทำอุโมงค์ส่งแร่ (Transfer Drifts) เชื่อมมายังอุโมงค์ขนส่ง การทำเหมืองมีการแบ่งเป็นบล็อกๆเพื่อให้แต่ละบล็อกพังลงมาโดยการเจาะอุโมงค์ในแนวระดับ (Caving Drifts) ต่อเชื่อมจากอุโมงค์ขึ้นไปโดยรอบทั้ง สี่ด้าน ทำเป็นชั้นๆจนสิ้นสุดความหนาของแร่ จากนั้นจึงเดินอุโมงค์ตัดฐาน (Undercut) เพื่อให้บล็อกพังลงมา

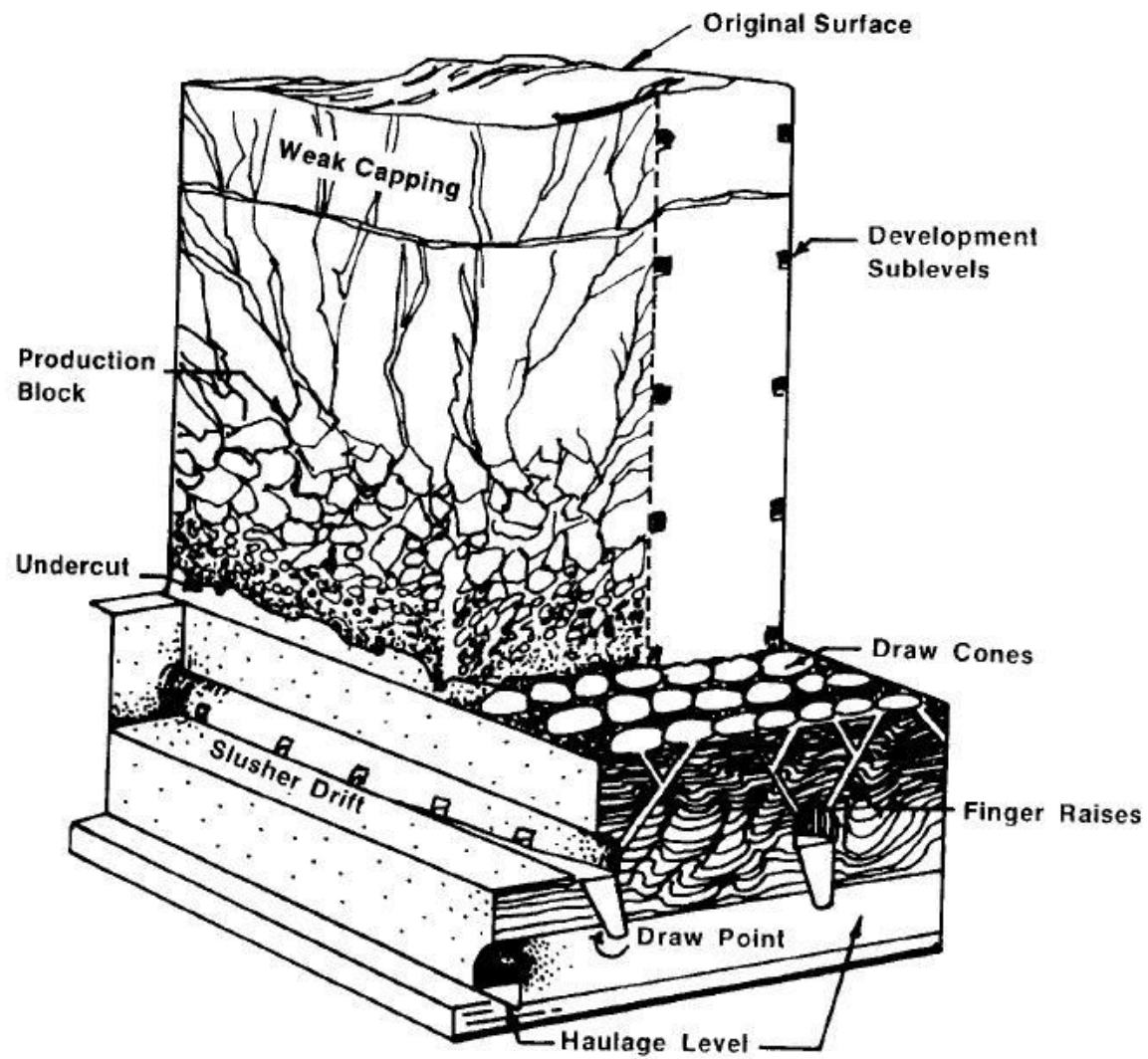
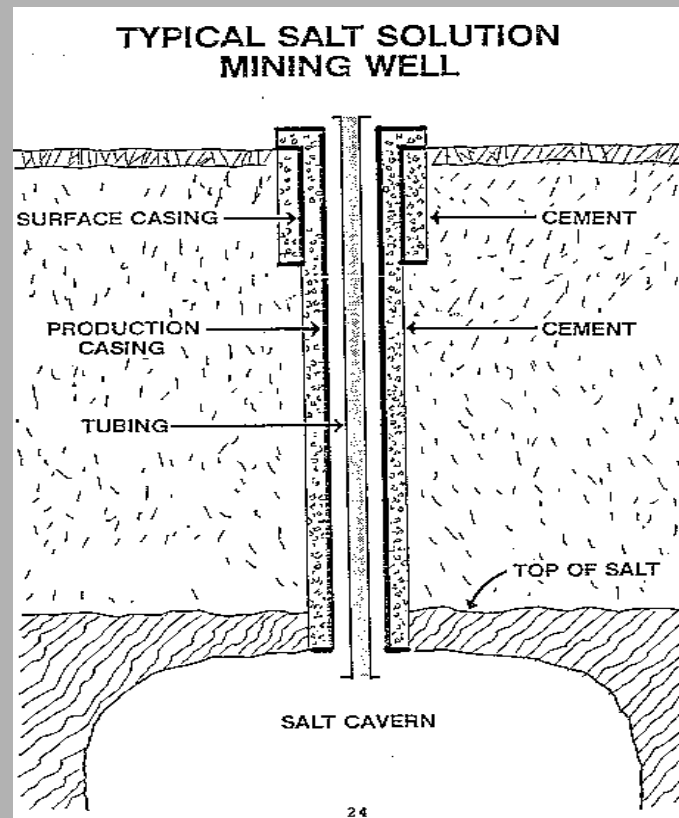


Figure 15.9. Block Caving.

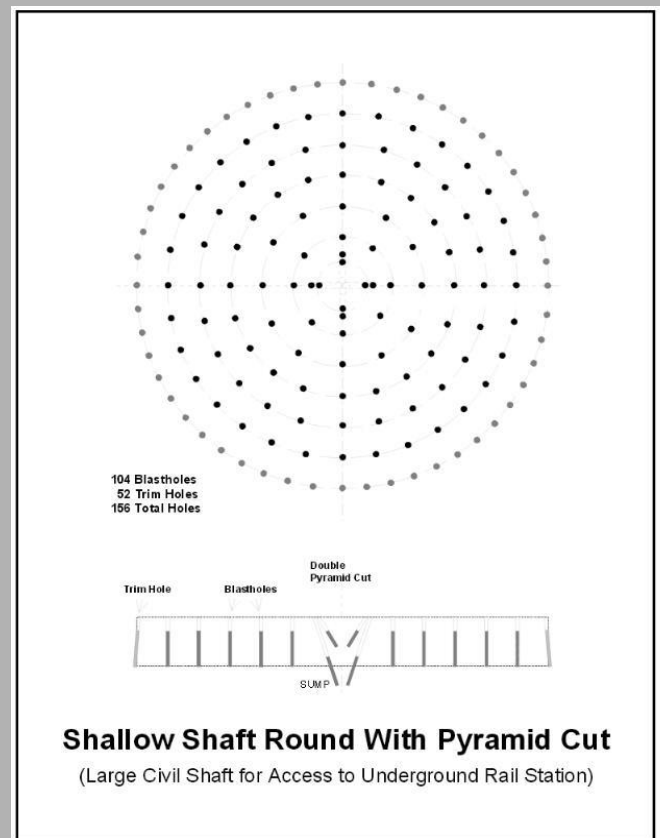
การทำเหมืองละลายแร่ (Solution Mining)

เป็นการทำเหมืองโดยการเจาะรูลงไปใต้ดินจนถึงชั้นแร่ แล้วสูบน้ำหรือน้ำร้อนลงไปละลายแร่ แล้วสูบแร่ที่ละลายน้ำขึ้นมาแต่งแยกแร่ด้านบน



การเจาะอุโมงค์แนวตั้ง (Shaft sinking)

นิยมเจาะแบบมุมทแยงเป็นรูปปรีสมิตตรงกลางของอุโมงค์เพื่อเปิดช่องว่างให้หินที่อยู่รอบนอกเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ได้ปกติจะเจาะรูระเบิดเป็นมุมเอียงเข้าหากันเป็นรูปกรวยประมาณ 5-8 รู ส่วนรูที่เหลือเป็นรูระเบิดในแนวตั้งรูระเบิดที่เจาะเป็นมุมทแยงมุมนี้จะเจาะเอียงจากแนวตั้งประมาณ 30 องศาและเจาะลึกกว่ารูอื่นๆ ด้านนอกเล็กน้อย



การเจาะอุโมงค์แนวตั้ง (Shaft sinking)

อุโมงค์สี่เหลี่ยมนิยมเจาะแบบ **Sump cut** หรือ **Benching** การเจาะแบบ **Burn Cut** ไม่ค่อยนิยมกันเนื่องจากความลึกที่ได้แต่ละรอบไม่ดีเท่าการเจาะรูปแบบมุมทแยง

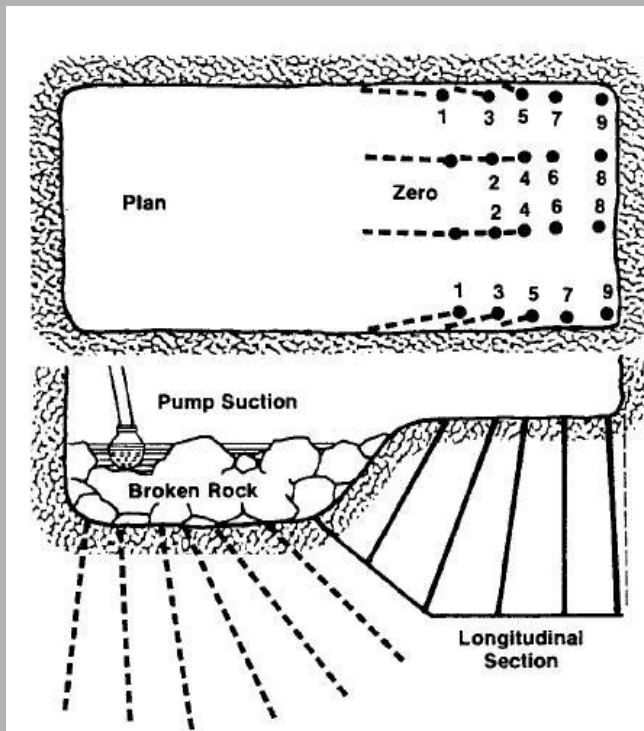


Figure 20-K. Benching illustrated above is a most efficient shaft sinking method.

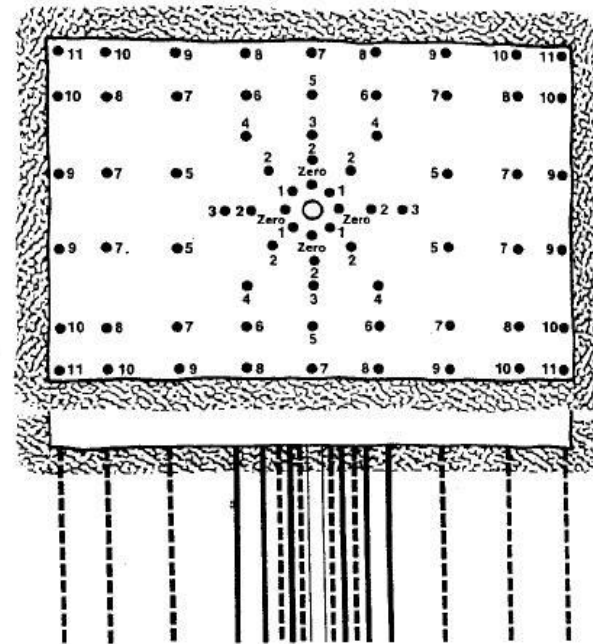
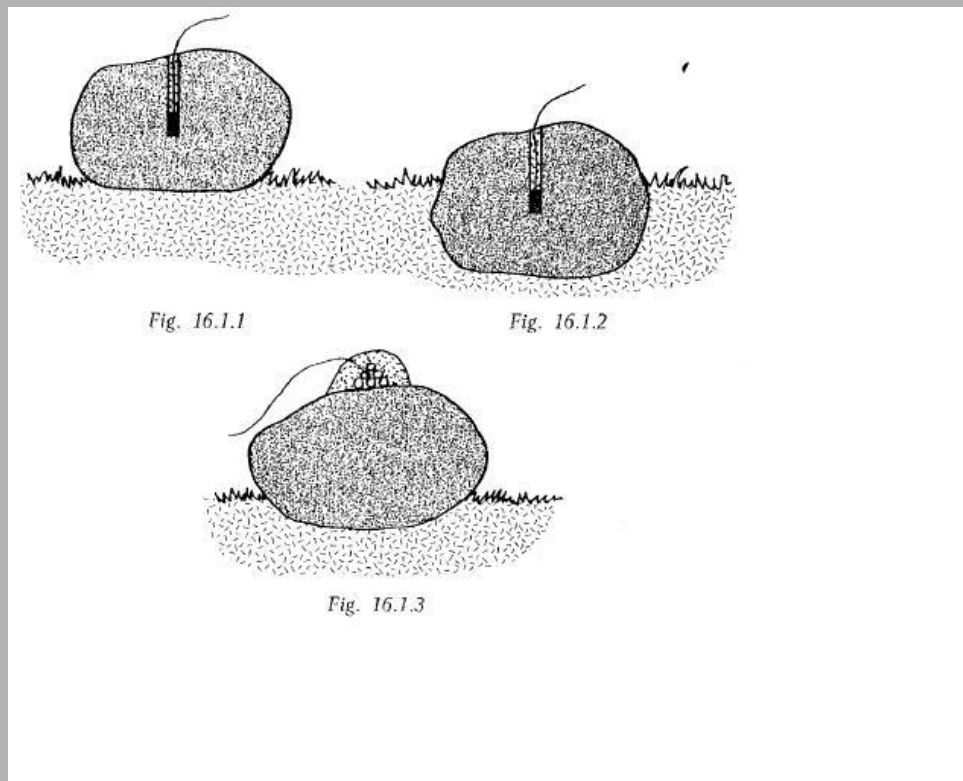


Figure 20-L. Typical pattern with large-diameter calyx drill hole offering relief.

การระเบิดย่อยหินก้อนใหญ่ (Secondary Blasting)

หินก้อนใหญ่จากการระเบิดหลักอาจมีขนาดระหว่าง 0.5-3 ลบ. เมตร มีความหนา 0.8-0.15 เมตร จะต้องเจาะรูระเบิดลึก 0.4-0.8 เมตร ใช้วัตถุระเบิด 1-2 รู ใช้ระเบิด 0.05-0.15 กก.ต่อรูหรือ ประมาณ 0.1 กก./ลบ.ม. ต้องระวังเรื่องเสียงและหินปลิวจากการระเบิด

Mud cap หรือ Concussion Shot ไม่ควรทำใกล้แหล่งชุมชน เพราะจะเกิดเสียง และ Air Blast ได้ง่าย



Secondary Blasting

ปัจจุบันการทำเหมืองแร่ในประเทศไทยมักไม่อนุญาตให้ทำการระเบิดย่อยหินก้อนใหญ่โดยเฉพาะเหมืองแร่ที่อยู่ใกล้ชุมชน เพื่อป้องกันผลกระทบด้านเสียงและ **Air Blast**

Trenching or Trench excavation

Trenches are excavated for installation of oil, water and sewage pipelines as well as for cables

Blasting of trenches differs from common bench blasting because the width of the blasting round is considerably smaller than its length.

Trench blasting is defined as rounds with a width of less than 4 m. A trench blast is more constricted than a normal open pit blast which results in higher explosives consumption per cubic meter of blasted rock

The diameter of the blast holes is normally smaller which provides better distribution of the explosive in the rock and avoids excessive over break outside the theoretical contour

As a rule of thumb, the hole diameter should be $1/60$ of the width of the trench, so if the width is 2.0 m the diameter of the hole should be 0.033 m or 33 mm

Traditional trench blasting ,the middle hole/holes are placed in front of the lateral holes. All holes are charged with the same amount of explosives

การเจาะระเบิดเพื่อขุดร่อง (Trenching)

การระเบิดขุดร่องใช้ในงานขุดร่องสำหรับการวางท่อเช่นท่อขนส่งแก๊ส หรือน้ำมันดิบ ในพื้นที่ในเมืองการขุดร่องเพื่อวางท่อส่งน้ำ ท่อน้ำทิ้ง สายไฟฟ้า และสาธารณูปโภคอื่นๆ

การระเบิดในเมืองควรวัสดุป้องกันหินปลิวกระเด็นเช่น **Blast Mats** เพื่อป้องกันหินปลิวไปทำอันตรายแก่ชุมชนได้ กรณีใช้ **Blast Mat** ไม่ควรใช้การถ่วงเวลานานๆ (**Long Period delay**) เช่น **half second delay** เนื่องจากขณะระเบิดอุปกรณ์ปกปิดอาจยกตัวขึ้นและหินมีโอกาsplิวไปถูกชุมชนได้

การเจาะระเบิดชุดร่องคือการระเบิดหินไปตามแนวความยาวของร่องแคบๆมากกว่าไปในแนวกว้างปกติความกว้างของร่องจะไม่เกิน 16 ฟุต(3 เมตร) ปริมาณวัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน (Powder facture) ของการระเบิดชุดร่องจึงมากกว่าการเจาะระเบิดBenchทั่วไป ปริมาณวัตถุระเบิดต่อปริมาณหินจะมีค่าระหว่าง 3-6 ปอนด์ต่อลูกบาศก์หลา (1-2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ขึ้นอยู่กับชนิดของหินและขนาดความกว้างและความลึกของร่อง รูระเบิดที่ใช้ ระหว่าง 1.5 -3 นิ้ว

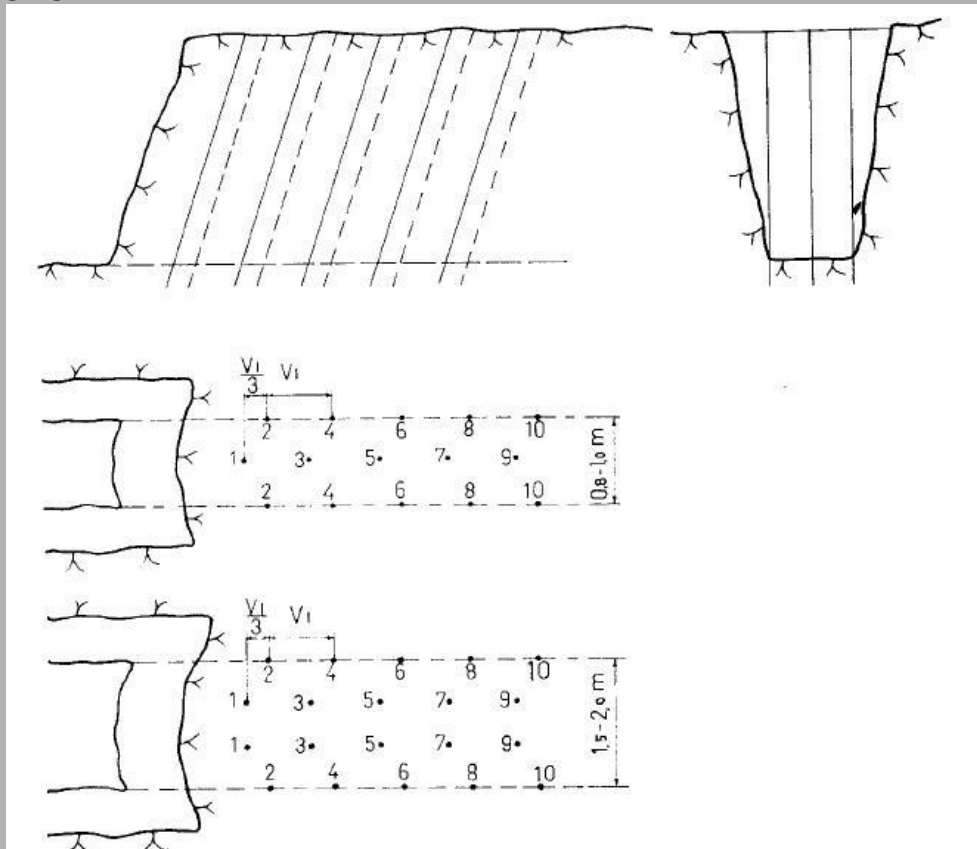


Fig. 7.1.1

การขุดร่องผนังเรียบ (Smooth wall trench blasting) รูระเบิดเจาะขนานกัน 3 แถว แถวกลางอัดระเบิดตามปกติ แต่อัดระเบิดแถวริมสุดให้น้อยกว่าปกติ ประมาณ ครึ่งหนึ่งถึง 2 ใน 3 ของแถวกลาง.

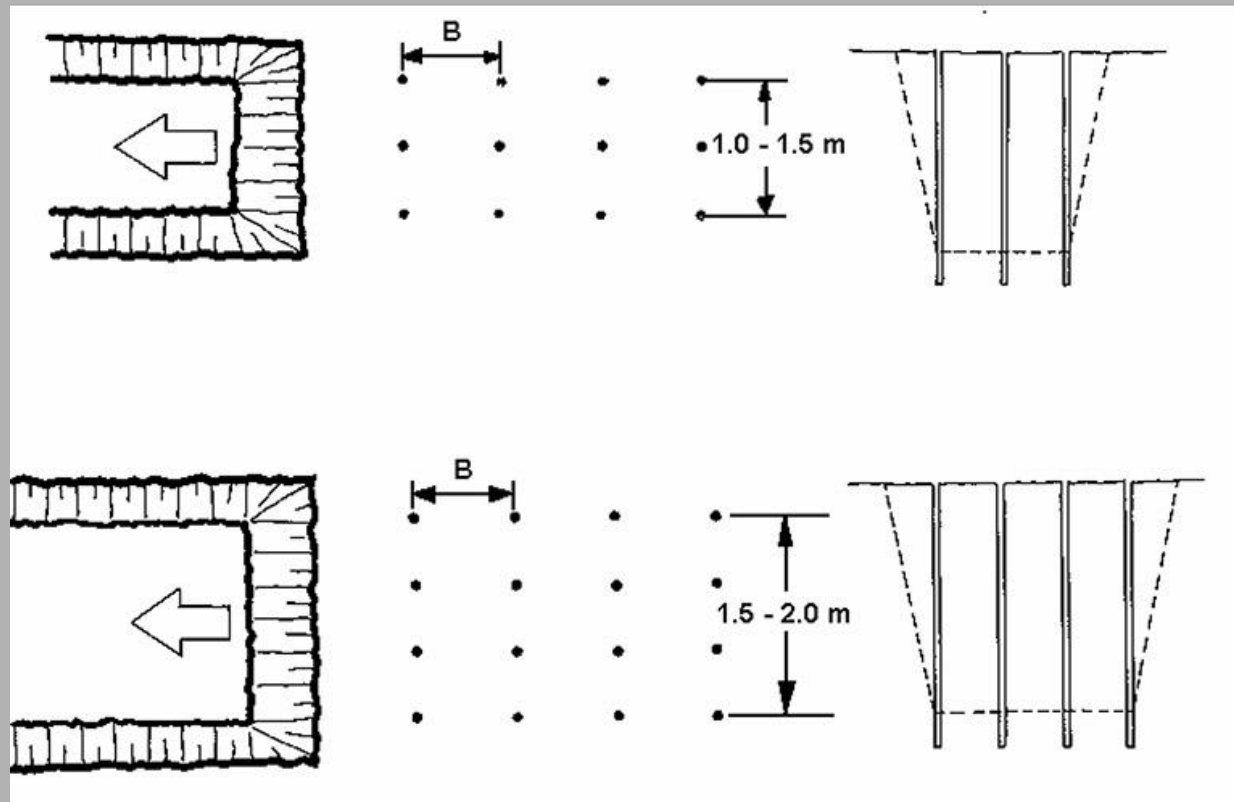


Table 33. Trench blasting with $\varnothing$ 32 mm holes and an inclination of 3:1. (B = trench bottom width).

Depth of trench K (m)	Depth of holes H (m)	Burden V (m)	Bottom charge per hole (kg)		Column charge per hole (at 0.25 kg/m) (kg)
			B = 0.7 or B = 1.0	B = 1.5 or B = 2.0	
0.3	0.5	0.4	0.05	0.05	—
0.6	0.8	0.6	0.10	0.10	—
0.9	1.1	0.8	0.12	0.20	0.08
1.2	1.4	0.8	0.15	0.25	0.15
1.5	1.8	0.8	0.20	0.30	0.25
1.8	2.1	0.8	0.25	0.35	0.30
2.4	2.7	0.8	0.30	0.40	0.40
3.0	3.5	0.8	0.40	0.55	0.60
3.6	4.2	0.8	0.50	0.70	0.70
4.2	4.8	0.7	0.60	0.90	0.80

Table 34. Trench blasting with $\varnothing$ 50 mm and $\varnothing$ 62 mm holes with an inclination of 3:1. (B = trench bottom width).

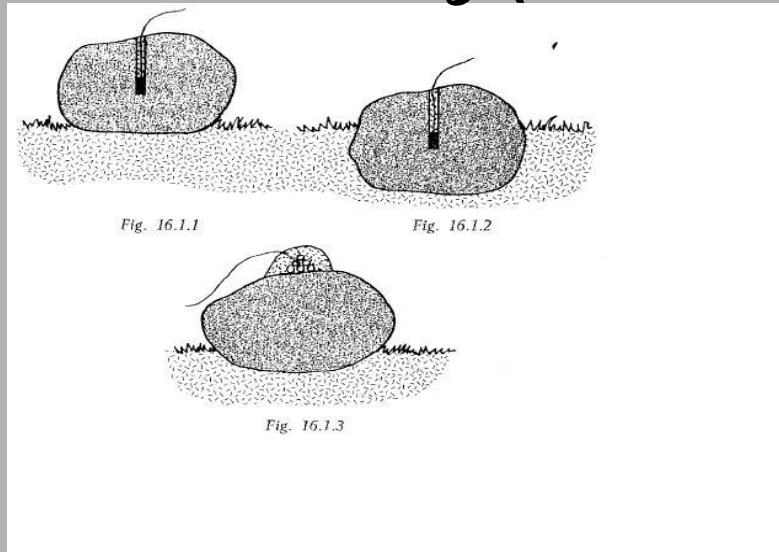
Depth of trench K (m)	Depth of holes H (m)	Burden V		Bottom charge per hole (kg)		Column charge (kg)	
		$\varnothing$ 50 mm (m)	$\varnothing$ 62 mm (m)	$\varnothing$ 50 mm B = 1.1 m B = 1.5 m	$\varnothing$ 62 mm B = 1.4 m B = 2.0 m	d = 50 mm	d = 62 mm
0.6	0.8	0.6	0.7	0.25	0.35	—	—
0.9	1.1	0.9	1.0	0.30	0.50	0.10	—
1.2	1.4	1.1	1.2	0.40	0.50	0.20	0.75
1.5	1.8	1.2	1.5	0.50	0.80	0.45	0.40
1.8	2.1	1.2	1.5	0.60	0.80	0.60	0.70
2.4	2.7	1.2	1.5	0.80	1.00	0.90	1.00
3.0	3.5	1.2	1.5	0.90	1.25	1.35	1.80
3.6	4.2	1.2	1.4	1.10	1.50	1.70	2.30
4.2	4.8	1.1	1.4	1.40	1.75	2.00	2.80
4.8	5.4	1.1	1.3	2.00	2.00	2.30	3.20

การระเบิดย่อยหินก้อนใหญ่ (Secondary Blasting)

หินก้อนใหญ่จากการระเบิดหลักอาจมีขนาดระหว่าง 0.5-3 ลบ. เมตร มีความหนา 0.8-1.5 เมตร จะต้องเจาะรูระเบิดลึก 0.4-0.8 เมตร ใช้วัตถุระเบิด 1-2 รู ใช้ระเบิด 0.05-0.15 กก.ต่อรูหรือประมาณ 0.1 กก./ลบ.ม. ต้องระวังเรื่องเสียง Air Blast และหินปลิวจากการระเบิด

Mud cap หรือ Concussion Shot คือการเอาระเบิดไปแปะไว้ในมุมใดมุมหนึ่งของหินโดยไม่ต้องเจาะรูระเบิด ใช้ดินเหนียวปิดทับแล้วจุดระเบิดให้หินแตกออกเป็นก้อนเล็กลงวิธีการนี้ไม่ควรทำใกล้แหล่งชุมชนเพราะจะเกิดเสียง และ Air Blast ได้ง่าย

การระเบิดย่อยหินก้อนใหญ่ (Secondary Blasting)



Drill hole charging can be carried out according to the table below:

Size of boulder m ³	Thickness m	Drilling depth m	Number of drill holes	Charge kg/hole
0.5	0.8	0.44	1	0.05
1.0	1.0	0.55	1	0.10
2.0	1.0	0.55	2	0.10
3.0	1.5	0.87	2	0.15

The table is calculated for a specific charge of 0.1 kg/m³ (see Fig. 16.1.1).

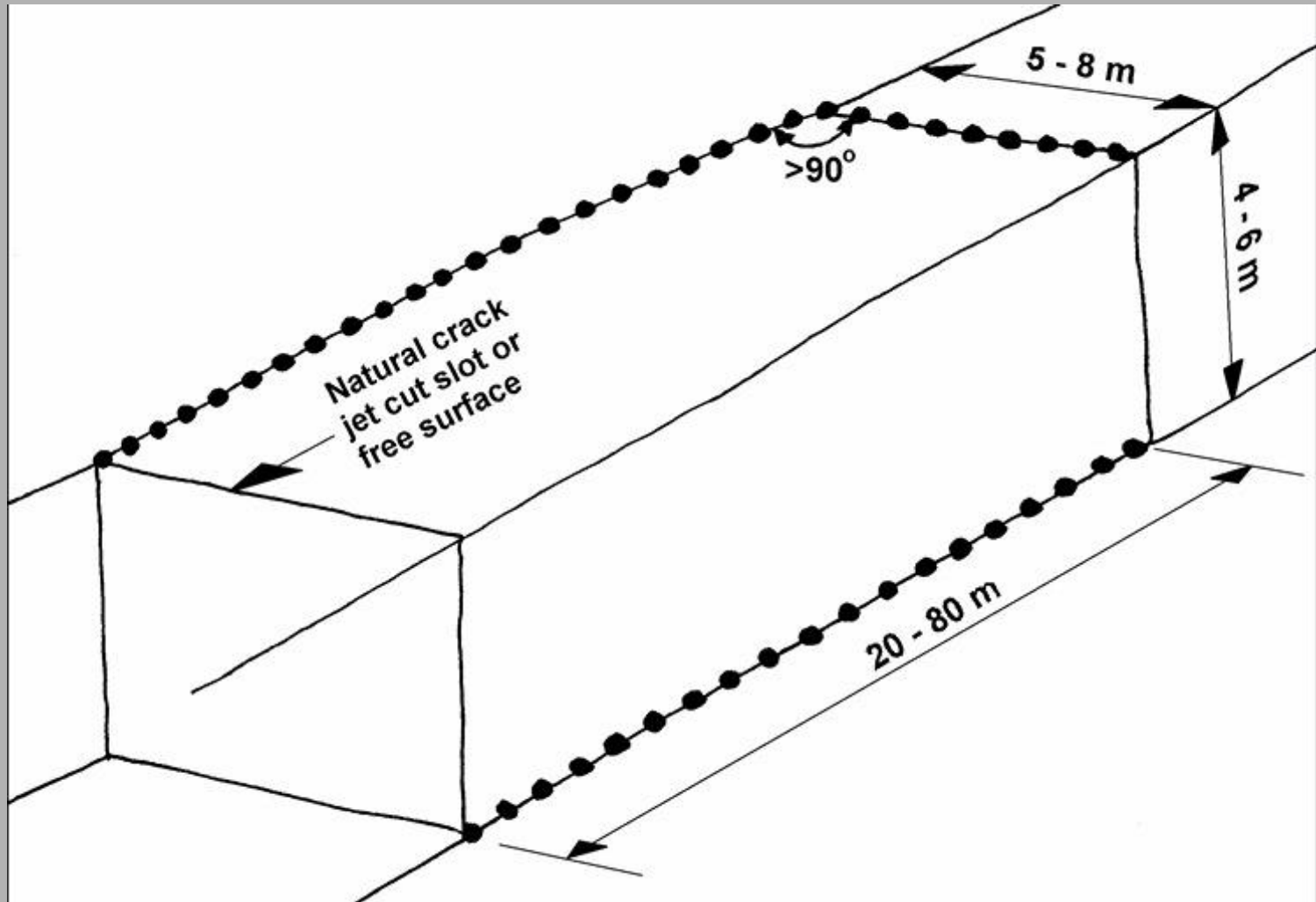
การระเบิดหินมิติ – เพื่อผลิตหินบล็อกที่จะนำไปตัดเป็นหินแผ่น เพื่อปูพื้นหรือผนังต่อไป เช่นหินอ่อน หินแกรนิตหินปูน เป็นต้น

การระเบิดเพื่อผลิตหินบล็อกขนาดใหญ่ครั้งหนึ่งอาจได้หินมาก ถึง 1,000 ลูกบาศก์เมตร

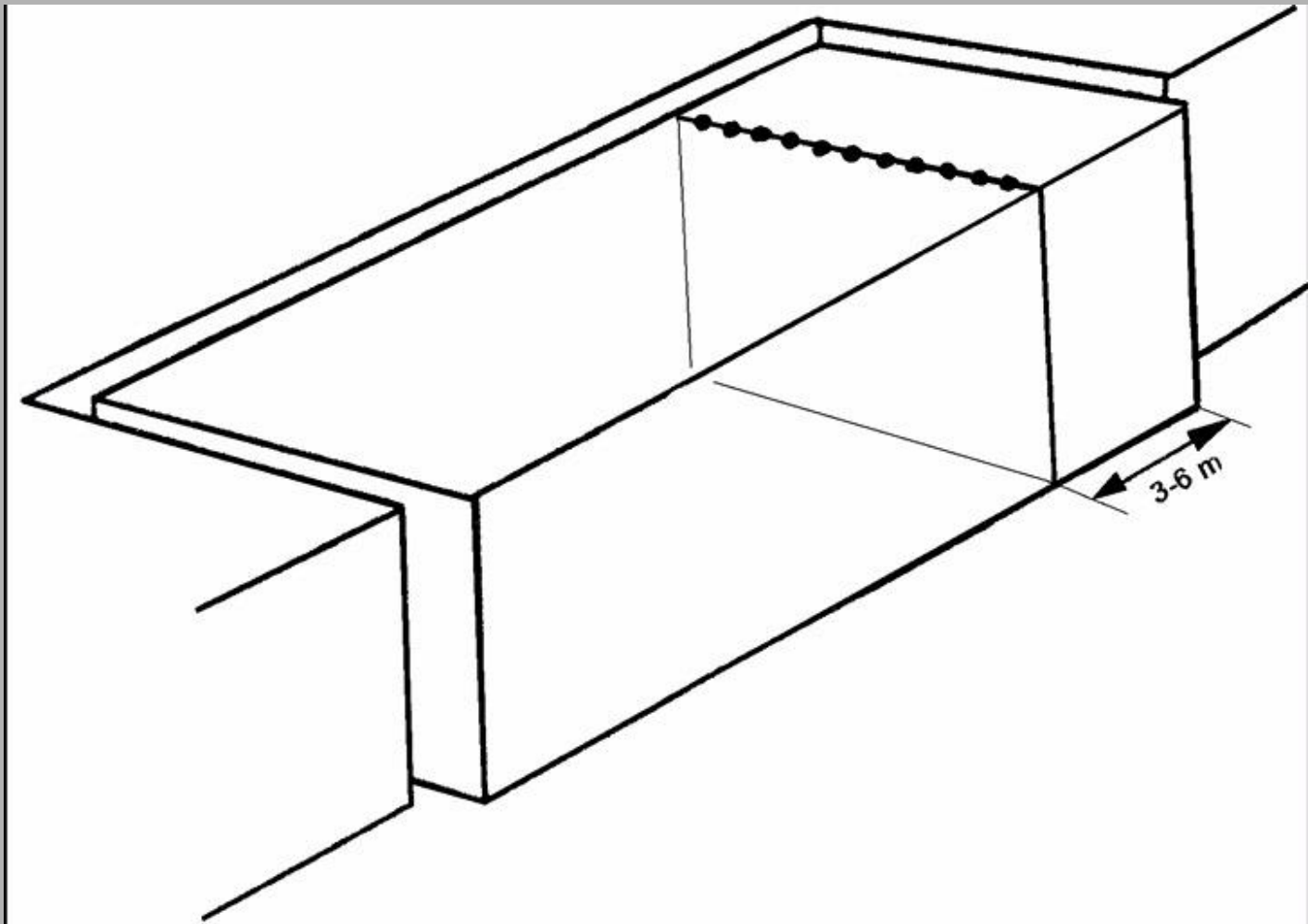
-มักใช้รูเจาะขนาด 32 ม.ม. เจาะในแนวตั้งห่างกันระหว่าง 15 - 40 ซม.และเจาะแนวนอนห่างกัน 20 - 50 ซม.

-ใช้ดินดำ (Black powder) เป็นวัตถุระเบิด ใช้เชื้อปะทุไฟฟ้าไม่มีการถ่วงเวลา หรืออาจใช้ร่วมกับสายชนวนระเบิดก็ได้

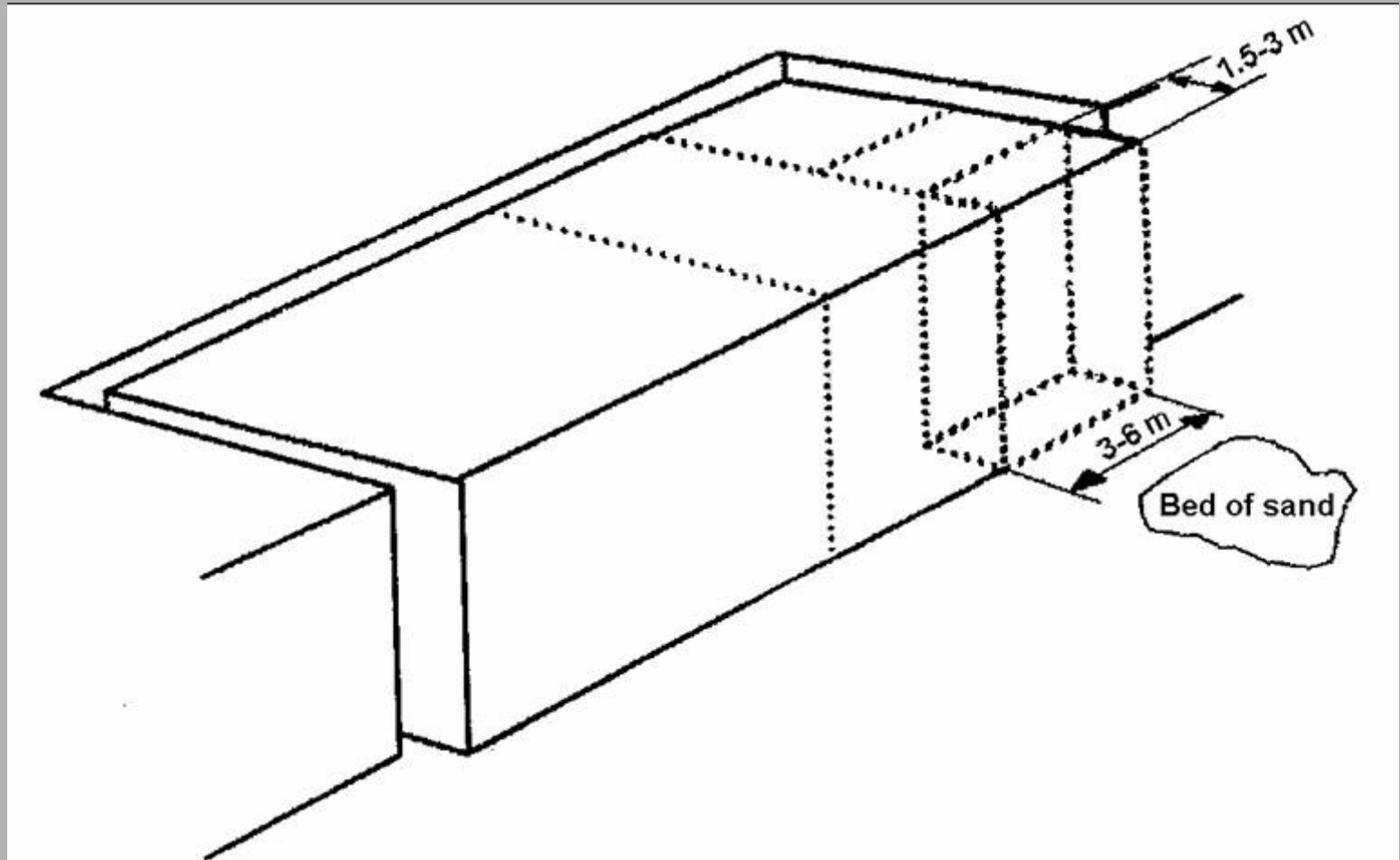
Primary blasting



Secondary blasting



Division



การระเบิดหินใต้น้ำ (Under Water Blasting)

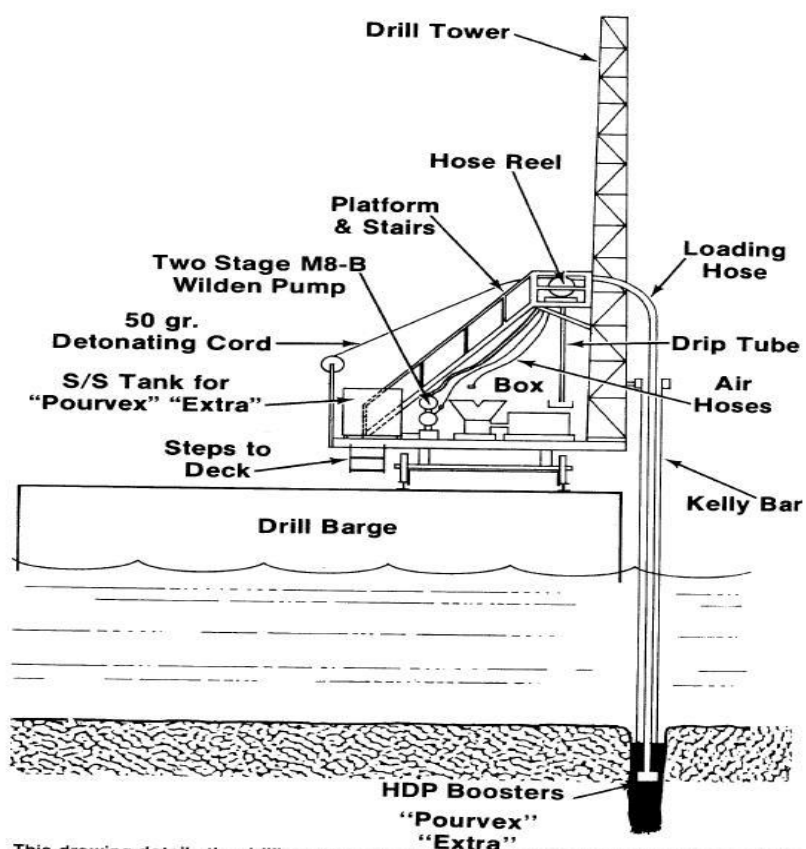
รูปแบบการเจาะระเบิดคล้ายกับการเจาะระเบิดหินบนดินแต่ระยะ Burden และ Spacing จะน้อยกว่ายิงน้ำลึกมากขึ้นปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหินต้องมากขึ้น เช่นในหินไม่แข็งมากและน้ำลึกไม่เกิน 10 ฟุต อาจใช้วัตถุระเบิดเพียง 2-3 ปอนด์ต่อลูกบาศก์หลา (0.7-1.0 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ในน้ำลึกมากขึ้นและหินแข็งขึ้นอาจต้องใช้วัตถุระเบิดมากถึง 6 ปอนด์ต่อลูกบาศก์หลา (2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) วัตถุระเบิดที่ใช้มีทั้งแบบแท่งและที่เป็น Bulk Explosive

(Dobying Method) คือการนำระเบิดไปแปะไว้กับหินโดยไม่ต้องเจาะระเบิดการระเบิดวิธีนี้จะสูงกว่าวิธีการเจาะและอัดระเบิดไม่น้อยกว่า 3 เท่าตัวหินจะแตกไม่เกิน 3 ฟุต น้ำยิ่งลึกการระเบิดยิ่งได้ผลดี

การระเบิดหินใต้น้ำ (Under Water Blasting)

วิธีการหลัก ๆ ในการระเบิดหินใต้น้ำมีสองประเภทคือการเจาะและการระเบิด (Drilling and Blasting) และการระเบิดที่ผิวน้ำ (Dobying Method)

การเจาะและการอัดระเบิดใต้น้ำมักใช้เครื่องเจาะรูละเอียดหลาย ๆ เครื่องวางอยู่บนแท่นเจาะหรือเรือบาร์จ (Barge) ที่ใช้สมอหรือสายยึดเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของแท่นเครื่องเจาะที่ใช้อาจเป็นเครื่องเจาะ Top hammer Drill เครื่องเจาะ Down the Hole Drill หรือ Rotary Drill ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูระเบิดระหว่าง 3 ½-6 นิ้ว ก็ได้ขณะเจาะรูละเอียดต้องมีการใส่ท่อ (Sand pipe or Casing Tube) เพื่อป้องกันวัสดุบริเวณใกล้เคียงไปอุดในรูระเบิด



This drawing details the drilling setup pictured on the previous page. Drilling costs in submarine blasting are naturally higher than land operations. But "Pourvex Extra", which can be pumped through the Kelly Bar or sand pipe, offers some unique advantages.

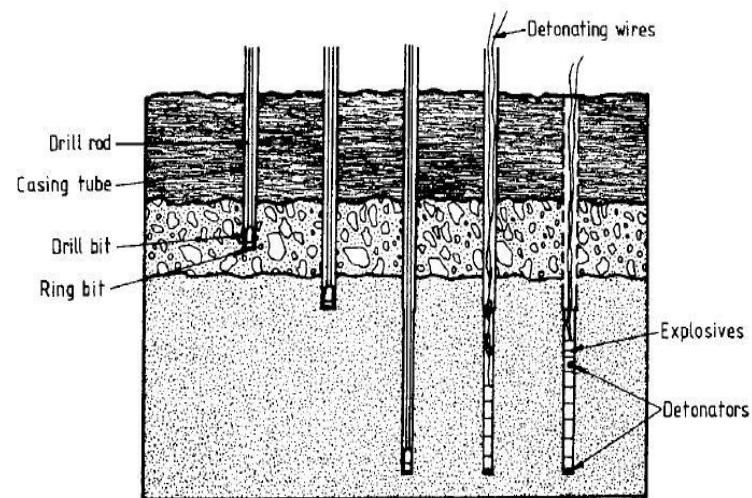


Figure 72. Overburden method (OD) for submarine drilling and blasting.



Rock Fall specialises in underwater drilling and blasting.

Drill hole diam. mm	Bench height m	Hole depth m	Water depth m	Burden m	Hole spacing m	Charge		Theoretically necessary kg/m ³
						kg	kg/m	
51	2.0	3.2	2.0—10.0	1.20	1.20	5.0	2.6 ¹⁾	1.16
	3.0	4.5	2.0—10.0	1.50	1.50	10.4	2.6	1.19
	5.0	6.5	2.0—10.0	1.45	1.45	15.6	2.6	1.25
	10.0	11.5	2.0—10.0	1.35	1.35	26.0	2.6	1.40
70	2.0	3.2	2.0—10.0	1.20	1.20	10.0	4.9 ²⁾	1.16
	3.0	4.5	2.0—10.0	1.50	1.50	19.0	4.9	1.19
	5.0	7.0	2.0—10.0	1.95	1.95	30.4	4.9	1.25
	10.0	11.9	2.0—10.0	1.85	1.85	55.4	4.9	1.40
	10.0	11.8	20.0	1.80	1.80	55.4	4.9	1.50
	15.0	16.7	20.0	1.70	1.70	78.9	4.9	1.65
100	2.0	3.2	5.0—10.0	1.20	1.20	16.0	6.4 ³⁾	1.16
	3.0	4.5	5.0—10.0	1.50	1.50	23.7	6.4	1.19
	5.0	7.3	5.0—10.0	2.25	2.25	42.2	6.4	1.25
	10.0	12.1	5.0—10.0	2.10	2.10	73.0	6.4	1.40
	15.0	17.0	5.0—10.0	2.00	2.00	103.7	6.4	1.55
	15.0	17.0	20.0	1.95	1.95	103.7	6.4	1.65
	20.0	21.9	25.0	1.85	1.85	136.3	6.4	1.85

ตัวอย่างรูปแบบการเจาะระเบิดใต้น้ำ

การใช้วัดถูระเบิดในงานสำรวจแหล่งแร่ (Seismic Exploration)

การทำ **Seismic** ทำโดยการใช้วัดถูระเบิดสร้างคลื่นเสียงหรือสัญญาณความสั่นสะเทือนที่บริเวณใกล้กับผิวโลก สัญญาณเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกันลึกลงไปใต้ผิวโลกและสะท้อนกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณในลักษณะที่ต่างกันทำให้สามารถทำแผนที่ลักษณะธรณีโครงสร้างใต้ผิวโลกและทำนายแนวโน้มของตำแหน่งของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นน้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติได้ การสำรวจรายละเอียดโดยการเจาะสำรวจจะทำในบริเวณที่มีแนวโน้มว่าจะมีแหล่งแร่เหล่านั้น

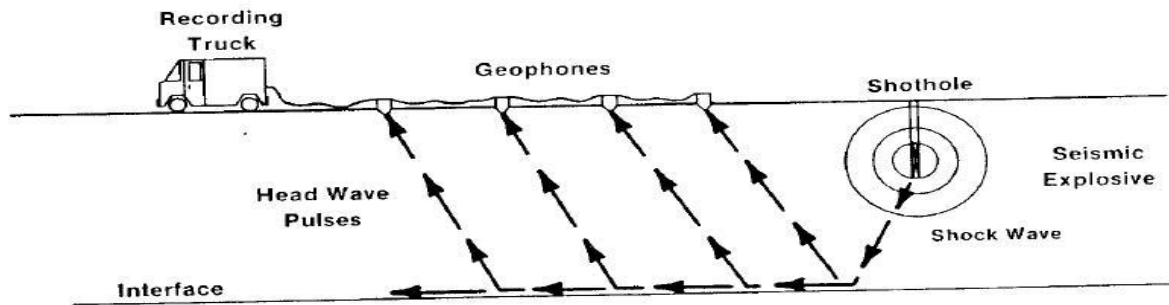


Figure 16.1. Simplified Seismic Setup.

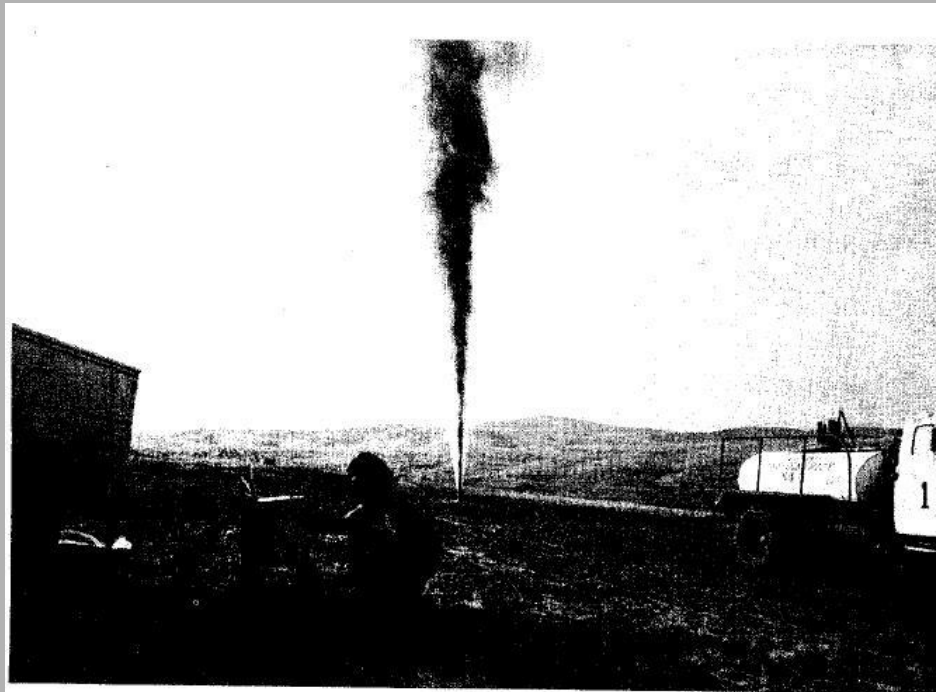
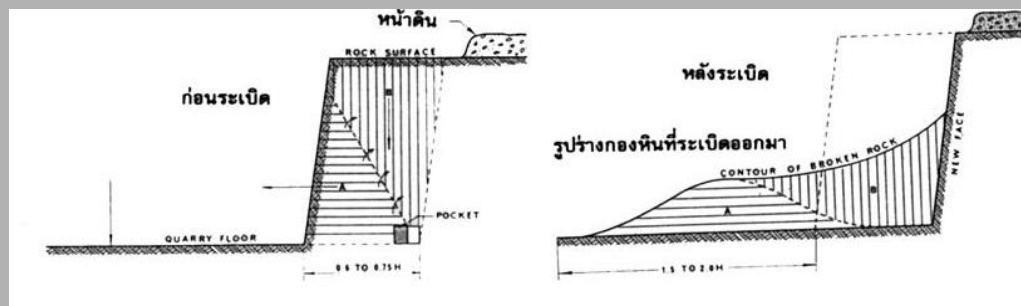
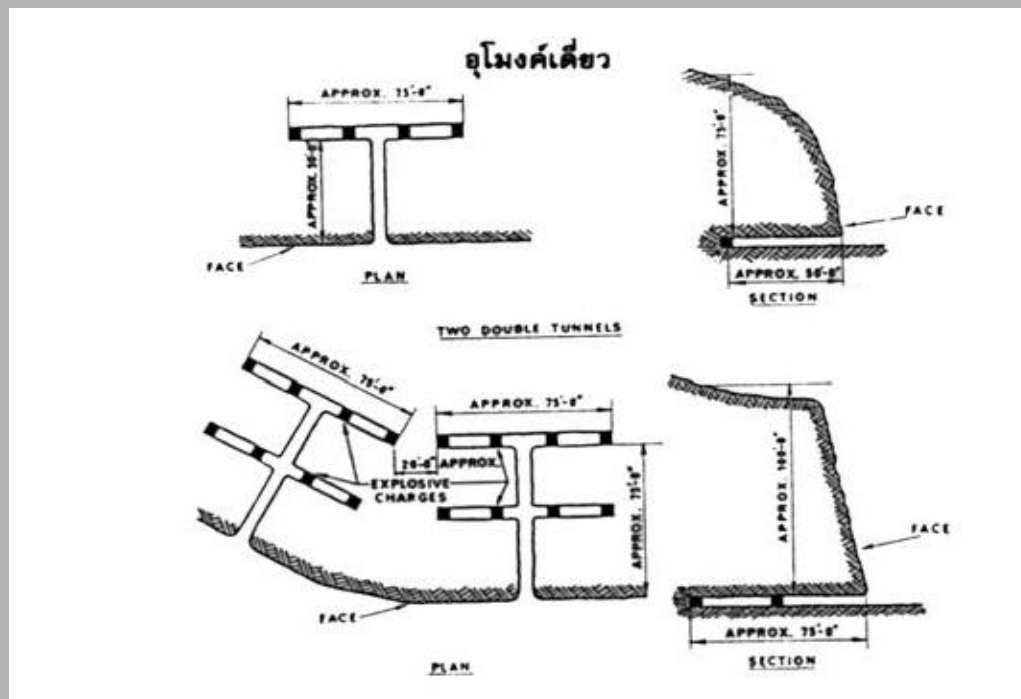


Figure 16.2. Shothole Fires for Seismic Instrumentation in Central Oregon.

Coyote Blasting

คือวิธีที่ใช้การเจาะอุโมงค์แล้วอัดระเบิดจำนวนมาก
ในอุโมงค์แทนการเจาะรู และอัดระเบิดในรูระเบิด
ทั่วไป การเจาะอุโมงค์อาจมีการขยายอุโมงค์ด้านให้
ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถบรรจุวัตถุระเบิดจำนวนมาก
ได้ตามต้องการ หน้าอิสระอาจเป็นยอดเขาหรือหน้า
ลาดชันของเนินเขา การจุดระเบิดมักใช้สายชนวน
ระเบิด



Coyote Blasting

การใช้วัตถุระเบิดในการเกษตรกรรม

การใช้ระเบิดชุดต่อไม้

ชุดหลุมลงไปใต้ต่อไม้แล้วใช้ **ANFO** ใส่ลงไปหลุม หากเป็นต่อไม้ขนาดใหญ่มีรากแก้วลึกอาจต้องชุดหลุมลึก 2-3 ฟุต จำนวน 2-3 หลุม การจุดระเบิดอาจใช้แท่งธรรมดาร่วมกับสายชนวนเวลาหรือใช้แท่งไฟฟ้าก็ได้ ใช้ดินระเบิดแรงสูงขนาดประมาณ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 1-2 นิ้วในการทำ **Primer** ร่วมกับแท่ง การปิดปากหลุมที่ดีจะช่วยให้ผลของการระเบิดดีขึ้น

ต่อไม้ขนาด 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ฟุต มักใช้ ANFO
ประมาณ 1 กิโลกรัม

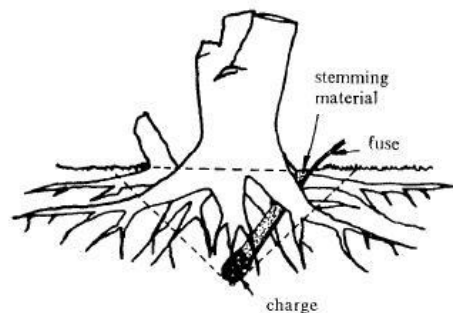


Fig. 76. Typical charge placement for small tree stumps.

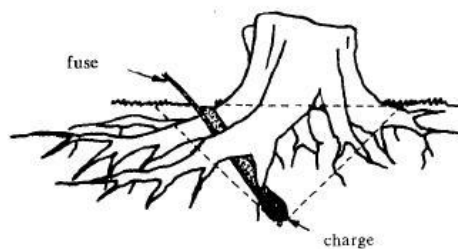


Fig. 77. Typical charge placement for tree stump with asymmetrical root pattern.

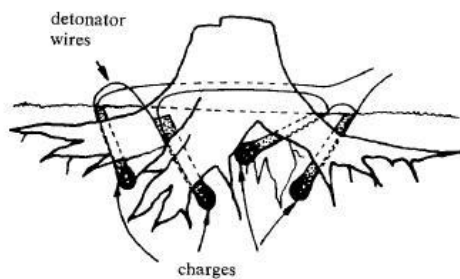


Fig. 78. Typical charge placement for large tree stumps with large lateral root system.

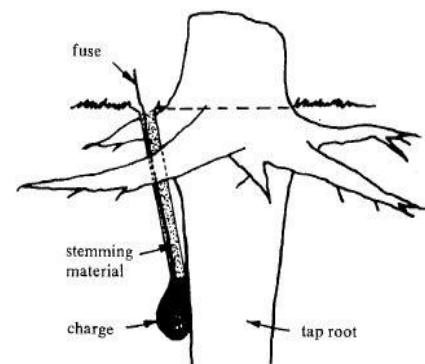


Fig. 79. Typical charge placement for tree stumps with large tap root.

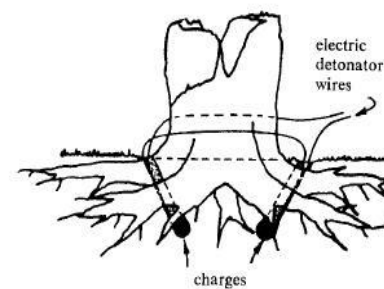


Fig. 80. Typical charge placement for hollow tree stumps.

การใช้วัตถุระเบิดในการเกษตรกรรม

การระเบิดหินก้อนใหญ่ในพื้นที่การเกษตร

หากมีเครื่องเจาะรูระเบิดการเจาะรูระเบิดแล้วอัดระเบิดในรูจะทำให้สามารถระเบิดหินก้อนโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแต่หากไม่มีเครื่องเจาะรูระเบิดก็อาจใช้การระเบิดแบบแปะ(Mud-capping) โดยไม่ต้องเจาะรูระเบิดเช่นเดียวกับการระเบิดย่อยหิน (Secondary Blasting) หรือขุดหลุมลงไปใต้หินแล้วอัดระเบิดข้างใต้หินก้อนโต (Snake Hole) การอัดระเบิดวิธีนี้จะทำเหมือนกับการอัดระเบิดตอไม้

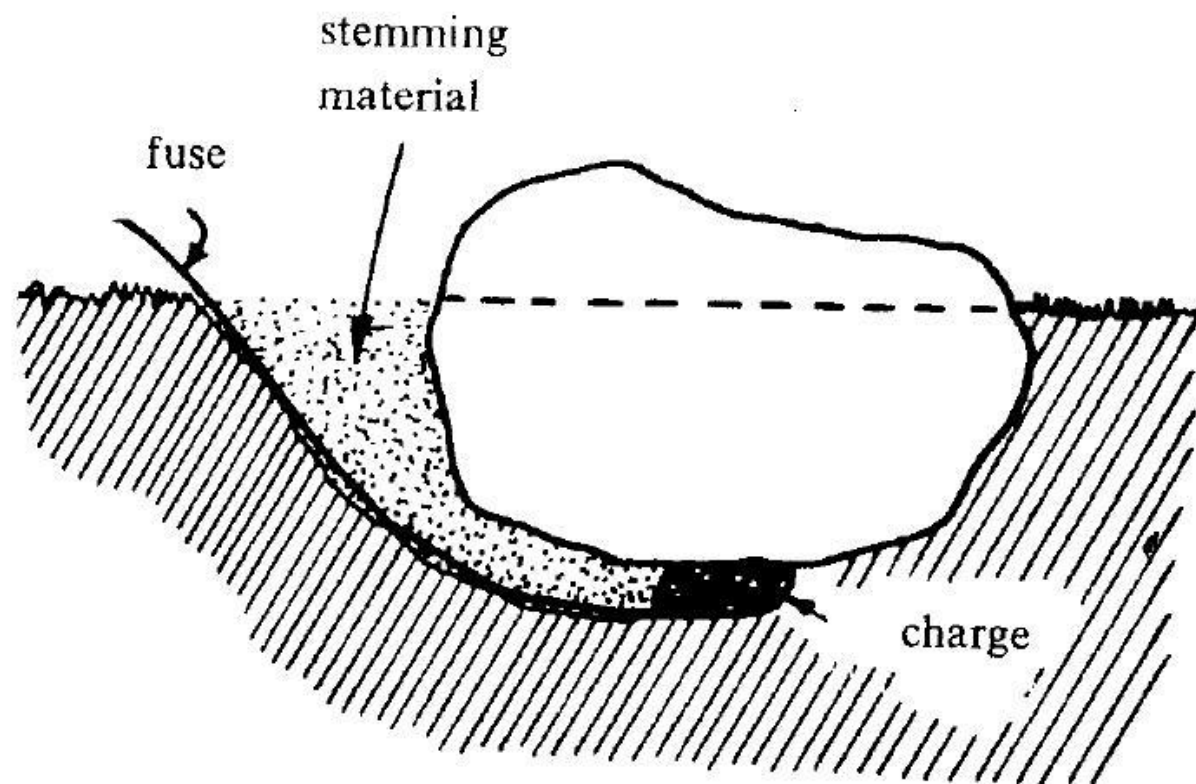


Fig. 82. Snakeholing a boulder.

การรื้อถอนอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

การใช้วัตุระเบิดในการรื้อถอนอาคารสิ่งปลูกสร้างเป็นวิธีการทางเลือกที่ทำกันมานานนับร้อยปีแล้ว เนื่องจางานรื้อถอนอาคาร หรือ สิ่งปลูกสร้าง โดยการรื้อถอนตามปกติต้องใช้เวลาาน ถ้าอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างนั้นอยู่ติดกับเส้นทางจราจร หรือที่สัญจร โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุจะมีมาก ดังนั้นเพื่อความรวดเร็ว การระเบิดรื้อถอนอาคารจึงเป็นที่นิยมกันแพร่หลายมากขึ้น ข้อดีของการระเบิดรื้อถอนสรุปได้ดังนี้

- มีความปลอดภัยกว่า เมื่ออยู่ใกล้เส้นทางสัญจร หรือเส้นทางจราจร
- เกิดความรำคาญในช่วงเวลาสั้น
- เกิดฝุ่นในช่วงเวลาสั้น
- ควบคุมงานและเวลาได้
- การขนย้ายซากทำได้ง่ายและเร็วกว่า

การรื้อถอนอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

การรื้อถอนอาคารโดยการระเบิดอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

- ส่วนสำคัญที่พยุงอาคารจะถูกทำลาย อาคารจะพังโดยน้ำหนักของมันเองเป็นส่วนใหญ่
- ต้องกระจายหรือแบ่งวัตถุระเบิดออกให้ทั่ว เพื่อให้เกิดการแตกหักแน่นอน
- ใช้การระเบิดเป็นจังหวะเพื่อให้อาคารล้มลงตามทิศที่ต้องการ

การรื้อถอนอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

ข้อที่ต้องระวัง

- ต้องมีที่ปกคลุมจุดที่ระเบิด ป้องกันหินปลิวหรือเศษไม้ปลิว
- ต้องวัดดูแรงสั่นสะเทือนที่อาคารรอบข้าง
- ใช้น้ำฉีดเป็นฝอยเพื่อลดฝุ่นที่จะฟุ้งกระจาย
- บริเวณรอบๆ ต้องปลอดภัยเช่นเดียวกับการระเบิดในเมือง
- ถ้ามีการใช้วัตถุระเบิดโดยไม่อัดลงรูเจาะจะต้องวัดแรงดันลมในบริเวณรอบข้างด้วย
- แบบรูระเบิด และตำแหน่งที่ใส่วัตถุระเบิดของแต่ละอาคารจะแตกต่างกันออกไปแรงกดลงเสาหรือกำแพงแบบเดียวกันอาจไม่เท่ากัน การออกแบบจึงต้องพิจารณาเป็นรายๆ ไป



smooth blasting

Smooth blasting was developed in Sweden during the 1950's and 60's. Closely spaced holes are drilled in the contour which are charged with small diameter light charges producing relatively low detonation velocity and low gas content

-Surface applications like road cuts, cuts for foundations etc

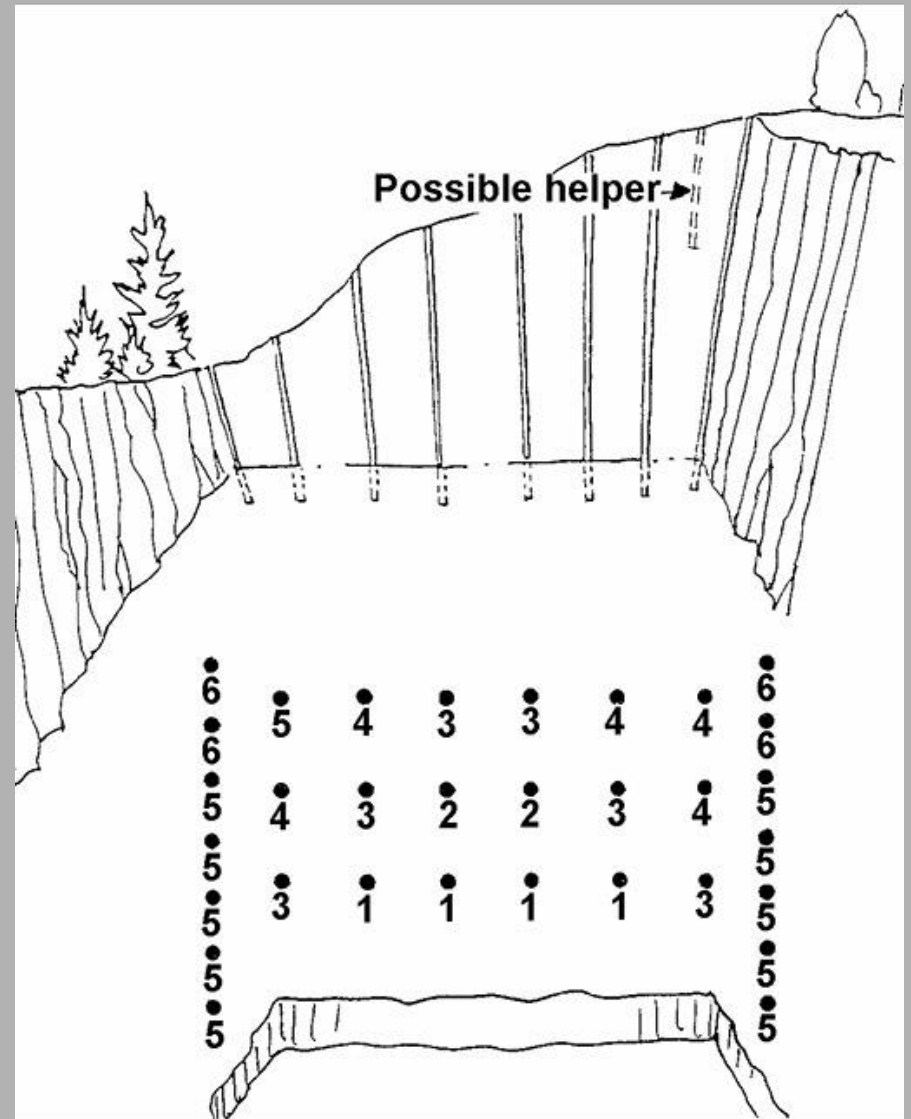
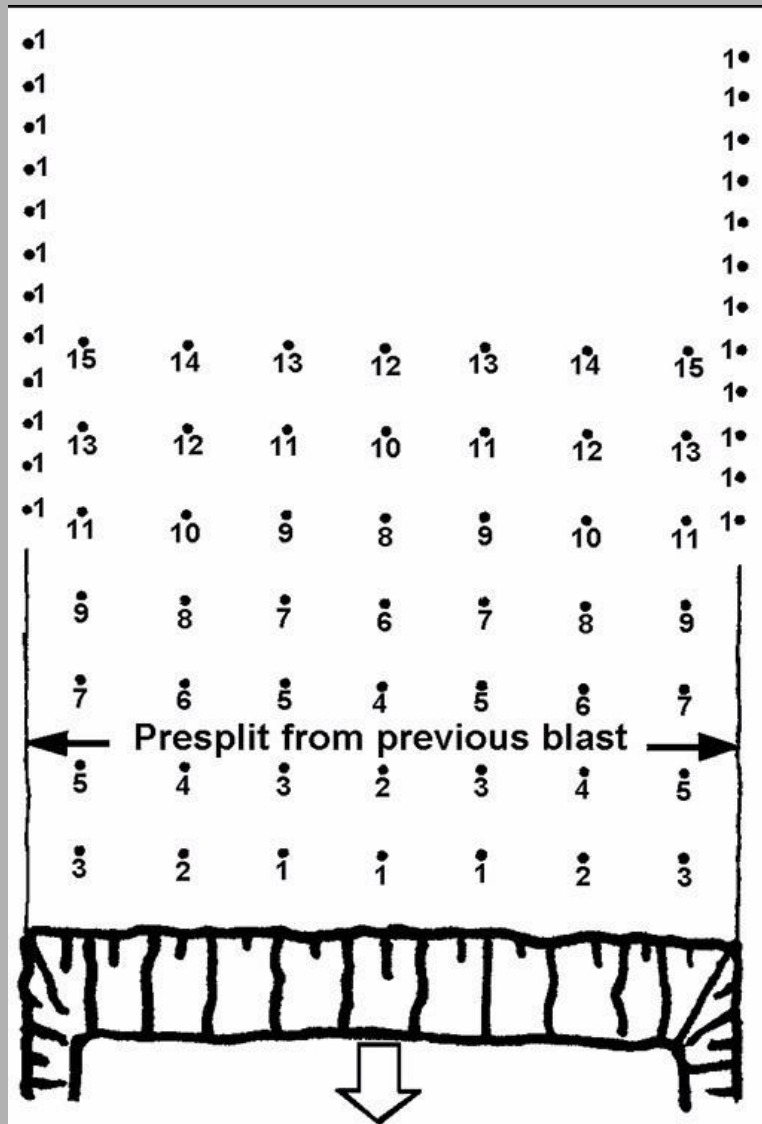
-Underground applications like tunneling, underground chambers etc.

Pre splitting

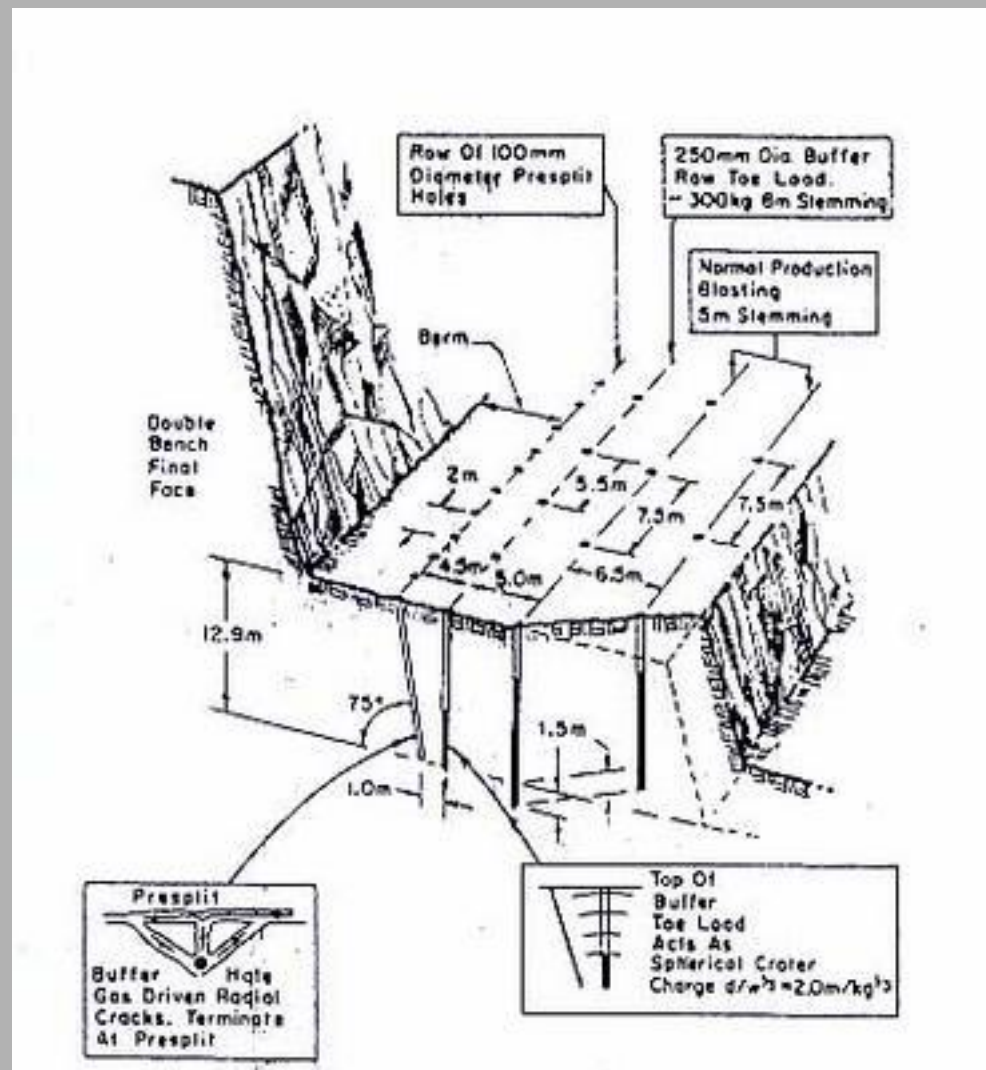
แนวความคิดเกี่ยวกับการระเบิดแบบนี้คือต้องทำให้หินที่ทำการระเบิดแยกตัวออกมาจากหินส่วนที่เหลือก่อนโดยการแฉะระบายสร้างรอยแตกเทียมขึ้นมาจากการระเบิดของแนวระเบิดที่เจาะถี่ๆและอัดระเบิดปริมาณน้อยๆและทำการจุดระเบิดก่อนการระเบิดมวลหินทั้งหมด

การระเบิดเพื่อสร้างรอยแตกเทียมขึ้นมานี้อาจทำการระเบิดพร้อมกับการระเบิดมวลหินทั้งหมดโดยใช้เชื้อปะทุที่ไม่มีการหน่วงเวลาหรือที่หน่วงเวลาสั้นที่สุด หรืออาจทำการระเบิดก่อนการระเบิดมวลหินทั้งหมดก็ได้

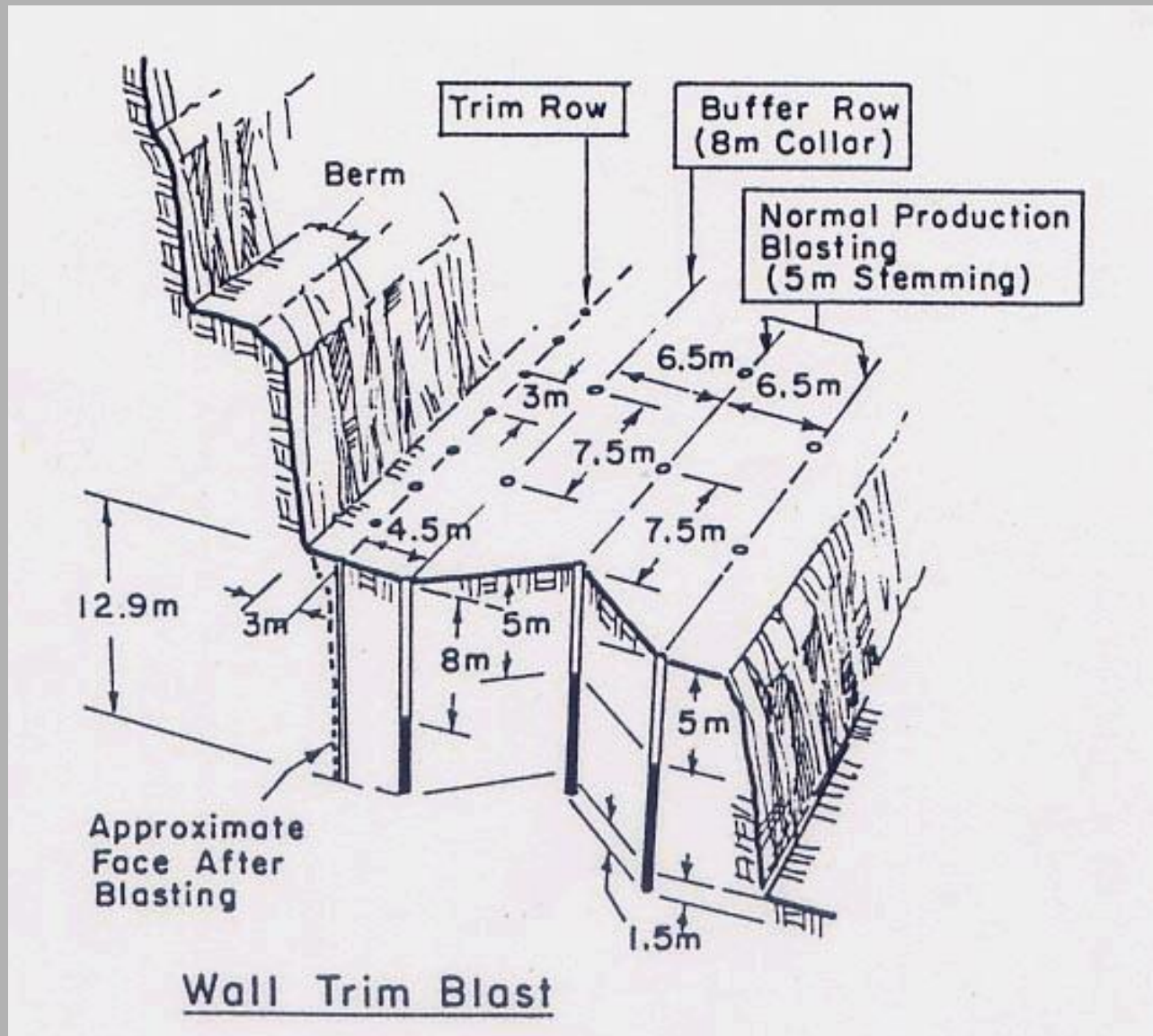
Pre-splitting in road construction



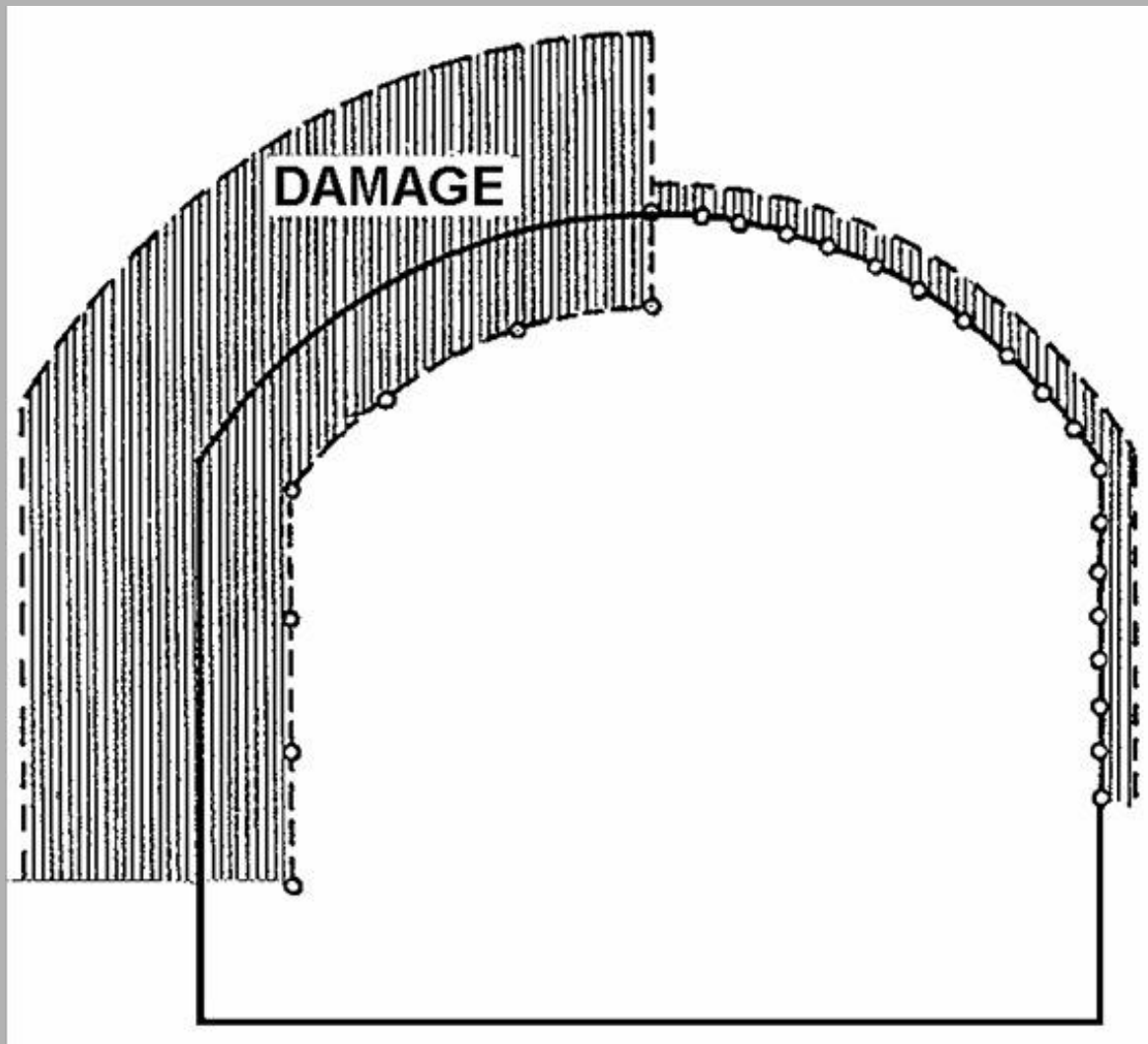




Pre splitting in mining work



Wall trim blast in mining work



**การระเบิดอุโมงค์ให้
ผนังเรียบ**