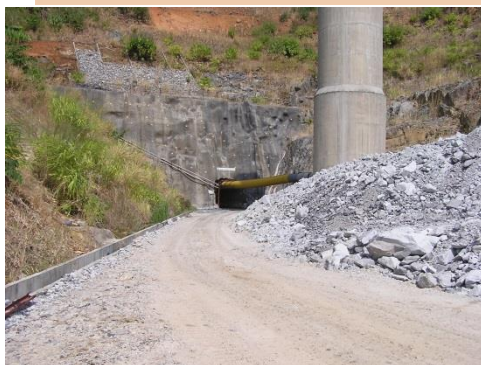
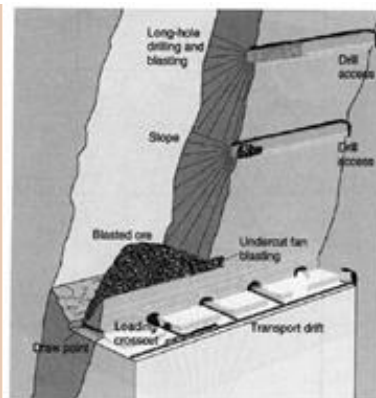
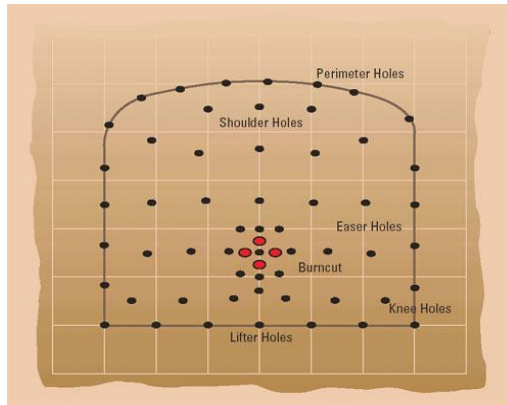


การใช้วัตถุระเบิดในงานใต้ดิน



ไพรัตน์ เจริญกิจ

กลุ่มวิชาการเหมืองแร่ สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

ธันวาคม 2557

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	1
คำนำ	1
บทที่ 1 ประเภทของอุโมงค์	3
บทที่ 2 การออกแบบการเจาะอุโมงค์	6
2.1 การเจาะระเบิดอุโมงค์เต็มหน้า	6
2.2 การเจาะระเบิดอุโมงค์โดยเจาะระเบิดอุโมงค์เล็กนำ	27
บทที่ 3 การเจาะอุโมงค์แนวดิ่ง	29
บทที่ 4 การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแร่ในเหมืองใต้ดิน	31
4.1 การเจาะระเบิดสั้น	31
4.2 การเจาะระเบิดยาว	38
บทที่ 5 การใช้วัตถุระเบิดในงานอื่นๆ	46
5.1 การระเบิดข่อยหินก้อนใหญ่	46
5.2 การเจาะระเบิดเพื่อขุดร่อง	47
5.3 การระเบิดหินได้น้ำ	50
5.4 การใช้วัตถุระเบิดในงานสำรวจแหล่งแร่	54
5.5 การเจาะระเบิดแบบ Coyote Blasting	56
ภาคผนวก	57
การทำเหมืองใต้ดินและการประยุกต์การใช้งาน (Underground Mining Methods and Applications)	
เอกสารอ้างอิง	73

คู่มือการใช้วัตถุระเบิดในงานใต้ดิน (Under Drilling and Blasting)

บทคัดย่อ

หนังสือคู่มือการใช้วัตถุระเบิดในงานใต้ดิน เล่มนี้ แบ่งการเจาะระเบิดอุโมงค์ออกเป็นสองส่วน ใหญ่ ๆ คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการเจาะอุโมงค์ที่ใช้ได้ทั้งในงานเหมืองแร่ และงานโยธา เป็นการเจาะอุโมงค์ในแนวราบและการเจาะอุโมงค์ในแนวตั้ง

ส่วนที่ 2 เป็นการเจาะอุโมงค์เพื่อระเบิดผลิตแร่ ซึ่งมีวิธีออกแบบการเจาะอุโมงค์แตกต่างไปจากการเจาะอุโมงค์ที่ใช้ในงานโยธา การเจาะอุโมงค์เพื่อระเบิดผลิตแร่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การเจาะระเบิดแบบรูระเบิดสั้น (Short hole blasting) และการเจาะระเบิดแบบรูระเบิดยาว (Long hole blasting) การเจาะรูระเบิดแบบรูสั้น เป็นการเจาะระเบิดหินออกในลักษณะเป็นแผ่น ๆ ในแนวนอน ส่วนการเจาะระเบิดแบบรูระเบิดยาว เป็นการเจาะระเบิดหินออกในลักษณะเป็นแผ่น ๆ ในแนวตั้ง รูระเบิดในแต่ละรูอาจยาวมากถึง 100 เมตร

นอกจากเรื่องการเจาะระเบิดอุโมงค์แล้ว ยังได้กล่าวถึงวิธีการระเบิดที่นอกเหนือไปจากการระเบิดในงานเหมืองแร่ทั่วไปได้แก่ การระเบิดย่อยหินก้อนใหญ่ (Secondary Blasting) การเจาะระเบิดเพื่อขุดร่อง (Trenching) การระเบิดหินใต้น้ำ (Under Water Blasting) การใช้วัตถุระเบิดในงานสำรวจแหล่งแร่ (Seismic Exploration) และการเจาะระเบิดแบบ Coyote Blasting ซึ่งการระเบิดแต่ละแบบมีรูปแบบการออกแบบที่แตกต่างกัน และมีรูปแบบการทำงานแตกต่างไปจากการเจาะระเบิดในงานเหมืองแร่ทั่ว ๆ ไป

ภาคผนวกได้แนบข้อมูลโดยสังเขปเรื่องวิธีการทำเหมืองใต้ดินและการประยุกต์การใช้งาน (Underground Mining Methods and Applications) เพื่อประกอบความเข้าใจเรื่องการเจาะอุโมงค์เพื่อระเบิดผลิตแร่ เนื่องจากได้มีการกล่าวถึงวิธีการทำเหมืองใต้ดินแบบต่าง ๆ ไว้ในแต่ละแบบของการเจาะอุโมงค์เพื่อระเบิดผลิตแร่

คำนำ

การเจาะระเบิดอุโมงค์เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ แม้มีตำรามากมายเขียนไว้ แต่บางครั้งก็ไม่สามารถนำมาไปงานได้ เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องปรับเปลี่ยนให้เข้ากับลักษณะทางธรณีวิทยาของหิน รูปแบบวิธีการเจาะระเบิด ชนิดและขนาดของวัตถุระเบิดที่ใช้ บางครั้งถ้าอัดระเบิดแน่นเกินไปก็จะระเบิดไม่ออก หรือถ้าใช้วัตถุระเบิดผิดประเภท หรือผิดขนาดก็จะระเบิดไม่ออกเช่นกัน โดยเฉพาะในการเจาะอุโมงค์ในแนวนอนที่ใช้ในงานโยธา เช่น การทำอุโมงค์รถยนต์ หรือรถไฟ

หนังสือคู่มือการใช้วัตถุระเบิดในงานใต้ดินเล่มนี้ เขียนขึ้นจากข้อมูลในตำราหลายเล่ม บวกกับประสบการณ์ที่เคยทำงานด้านการเจาะอุโมงค์มาก่อน ทั้งเคยเจาะอุโมงค์ด้วยตนเอง เป็นที่ปรึกษาให้ผู้อื่น เคยผ่านการศึกษาคู่มือและดูงานการเจาะอุโมงค์มาทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส เยอรมนี และออสเตรีย จึงได้คัดเลือกข้อมูลมาแต่เฉพาะวิธีการเจาะอุโมงค์ที่เห็นว่าการได้ เหมาะสำหรับการใช้เป็นตำราความรู้พื้นฐานในการเจาะอุโมงค์โดยทั่วไป ทั้งในงานเหมืองแร่ และงานโยธา

บทนำ

การใช้วัตถุระเบิดในงานขุดอุโมงค์แนวราบเกิดขึ้นครั้งแรกในศตวรรษที่ 17 มนุษย์ใช้ดินดำในการระเบิดเพื่อสร้างอุโมงค์ในเมือง Saxony ประเทศเยอรมนี การสร้างอุโมงค์เป็นกิจกรรมทางด้านวิศวกรรมชนิดแรกๆ กิจกรรมหนึ่งของมนุษย์ เชื่อกันว่าในยุคหินมนุษย์สร้างอุโมงค์แนวตั้งและแนวราบเพื่อค้นหาหินแข็งโดยใช้หินเครื่องมือทำจากหิน (Flint) และเขากวางเป็นเครื่องมือสำหรับขุดอุโมงค์

บทที่ 1 ประเภทของอุโมงค์ -การออกแบบรูเจาะระเบิดสำหรับงานอุโมงค์เป็นการออกแบบสำหรับการทำเหมืองใต้ดิน หรือสำหรับงานโยธา อุโมงค์สามารถแบ่งตามลักษณะการวางตัว ได้ 3 รูปแบบดังนี้

อุโมงค์ในแนวตั้ง หรือ ลาดเอียงเป็นมุมชัน

- Shaft (ปล่องขนาดใหญ่) เป็นการเจาะอุโมงค์ลงไปใต้ดิน เพื่อการขนส่งแร่ คน หรือวัสดุ โดยใช้ กว๊าน (Skip Hoist) สำหรับการขนส่ง

- Raise คือการเจาะอุโมงค์ขึ้น และ Winze คือการเจาะอุโมงค์ลง เป็นการเจาะอุโมงค์ตามสายแร่ หรืออุโมงค์ตัดขวาง ขึ้นหรือลงเป็นงานที่ทำคู่กับการสร้างชุดค้ำยัน

อุโมงค์ในแนวลาดเอียง

- Ramp (อุโมงค์โค้ง ลาดขึ้นหรือลง) เพื่อการขนส่งแร่ คน หรือวัสดุ โดยใช้รถบรรทุก สำหรับการขนส่ง

- Inclined Shaft (อุโมงค์ลาดเอียงขนาดใหญ่) เป็นการเจาะอุโมงค์ลงไปใต้ดินในแนวเอียงลงไปหาบริเวณที่เป็นแร่ เพื่อการขนส่งแร่ คน หรือวัสดุ โดยใช้กว๊าน (Skip Hoist) หรือรถบรรทุก สำหรับการขนส่ง

อุโมงค์ในแนวราบ

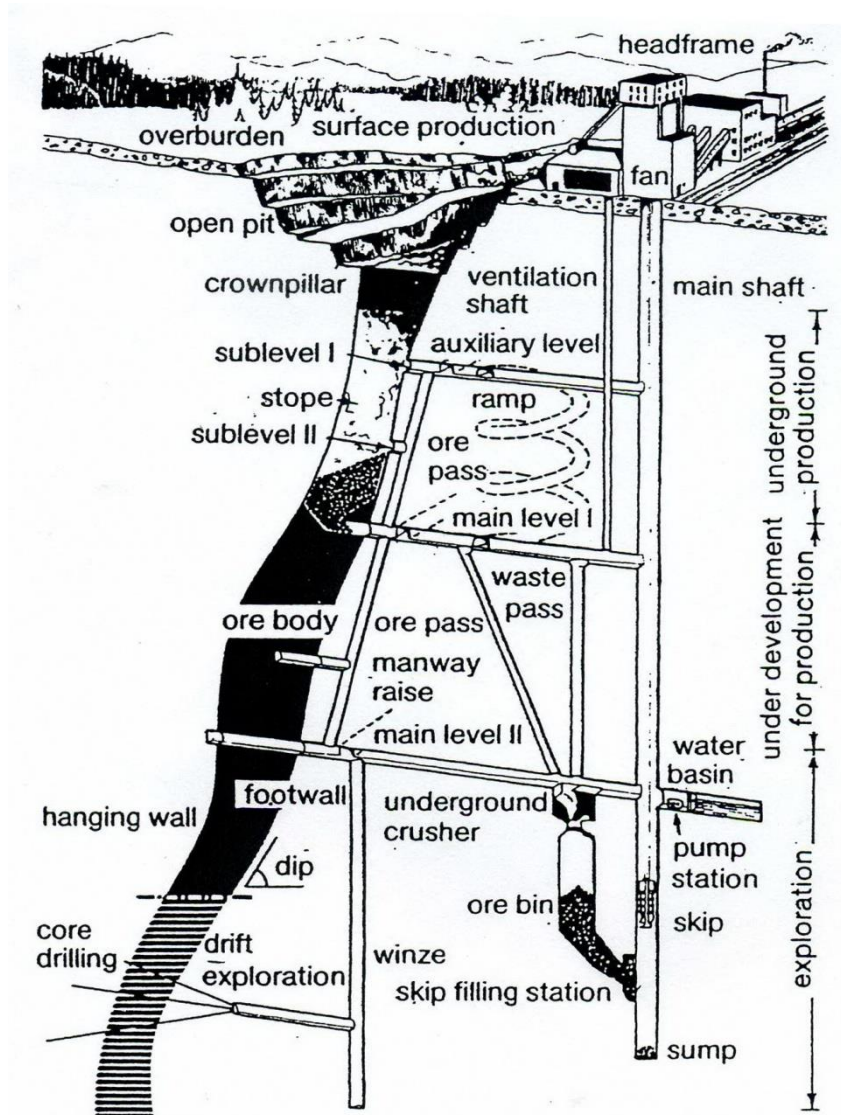
- Tunnel (มักเป็นอุโมงค์ขนาดใหญ่) ใช้เป็นอุโมงค์ขนส่งหลัก

- Drift หรือ Drive หรืออุโมงค์ ตามสายแร่ และ พัฒนาหน้างานเป็นการเจาะอุโมงค์ตามสายแร่เพื่อเปิดเอาแร่ ออก แต่ยังไม่มีการผลิตโดยการเจาะอุโมงค์แบบตัดขวาง

- Adit หรืออุโมงค์ปลายเปิดด้านเดียว เป็นการเจาะอุโมงค์ขนาด 2-3 เมตรเข้าหาสายแร่ในแนวราบหรือเอียงประมาณ 1-2 องศาในระดับใกล้เคียงกับทางเข้า เพื่อการสำรวจแร่ ระบายน้ำออกจากสายแร่ หรือจุดประสงค์อื่น

- Crosscut การเจาะอุโมงค์ตัดขวางตั้งฉากกับอุโมงค์ Drift หรือ Drive เป็นการเจาะอุโมงค์จากปล่องหรือเจาะเข้าหาสายแร่ในแนวระดับ เพื่อตรวจสอบสายแร่ที่อยู่บริเวณรอยเลื่อนของหิน (Fault) ที่ทำให้สายแร่เลื่อนตัวออกจากแนวเดิม

อุโมงค์ในลักษณะต่างๆ ข้างต้นนี้ มีจุดประสงค์ต่างกัน เช่น Shaft ใช้เป็นอุโมงค์ขนส่งหลัก (คนและแร่) รวมถึงการเป็นเส้นทางหลัก (Main Access) เข้าสู่แหล่งแร่ Raise และ Winze ใช้เป็นอุโมงค์วางระบบท่อน้ำ ท่อสายไฟ ท่อระบายอากาศ หรือ ดัดแปลงเป็น Ore chute เป็นต้น (รูปที่ 1.1)



รูปที่ 1. แสดงอุโมงค์แบบต่าง ๆ ในงานเหมืองใต้ดิน

อุโมงค์เพื่อการผลิตแร่ (Stope) ได้แก่บริเวณที่มีการเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแร่จากสายแร่ ซึ่งมีการเจาะระเบิดเพื่อการผลิต 3 ลักษณะคือการเจาะระเบิดออกด้านหน้า (Brest Stopping) การเจาะระเบิดแร่จากพื้น (Underhand Stopping) และการเจาะระเบิดแร่จากเพดาน (Overhand Stopping)

การเจาะปล่องระบายอากาศและอุโมงค์ผันน้ำ (Ventilation Shaft and Drainage Tunnel) การเจาะปล่องระบายอากาศเพื่อให้เกิดการระบายอากาศโดยการนำอากาศดีเข้ามา และนำอากาศเสียจากควันทิษ ผุ่นและก๊าซพิษออกไปจากบริเวณหน้าเหมือง โดยอาศัยความแตกต่างของความกดดันอากาศที่หน้าเหมืองกับอากาศที่ความกดดันของบรรยากาศตามธรรมชาติ หรืออาจใช้พัดลมเป่าอากาศเข้าสู่บริเวณหน้าเหมือง นอกจากนี้แล้วการระบายอากาศในบางเหมืองยังเป็นการช่วยลดอุณหภูมิที่หน้าเหมืองได้ด้วยในกรณีที่หินและแร่มีอุณหภูมิสูง

การเจาะอุโมงค์ผิวน้ำมักใช้ในกรณีที่มีน้ำที่หน้างานมากเนื่องจากโครงสร้างของหินมีรอยแตกร้าวมาก ทำให้น้ำท่วมอุโมงค์ การระบายน้ำออกจากอุโมงค์ยังเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังอุโมงค์อีกด้วย

การเจาะอุโมงค์แนวราบ (Tunnels) อุโมงค์แนวตั้งหรือแนวเอียง (Shaft or raise) ในงานเหมืองแร่ใช้สำหรับการเข้าสู่แหล่งแร่ เพื่อใช้ขนส่งคนหรือแร่ ใช้เป็นช่องทางระบายอากาศเป็นต้น ในงานโยธา อุโมงค์แนวราบใช้สำหรับสร้างเส้นทางรถยนต์ หรือรถไฟ อุโมงค์ส่งน้ำในงานเขื่อน อุโมงค์สำหรับเก็บของเสียเช่นขยะทั้งขยะมีพิษ และไม่มีพิษ อุโมงค์สำหรับกักเก็บสินค้าต่าง ๆ เช่นน้ำมันดิบ เป็นต้น

อุโมงค์แนวราบมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันเช่นเป็นวงกลม รูปเกือกม้า สีเหลี่ยมจัตุรัส สีเหลี่ยมผืนผ้า แต่รูปร่างที่นิยมกันมากที่สุดในการเจาะอุโมงค์แนวราบคือรูปเกือกม้า เนื่องจากผนังโค้งของอุโมงค์มักจะมีเสถียรภาพมากที่สุด ผนังอุโมงค์ที่เป็นแนวราบให้พื้นที่ที่กว้างสำหรับเคลื่อนย้ายเครื่องจักรอุปกรณ์ และขุดเจาะได้ง่ายกว่า

วงรอบของการเจาะระเบิดอุโมงค์ประกอบด้วย การเจาะรูระเบิด (Drilling) การอัดและการจุดระเบิด (Blasting) การระบายอากาศ (Ventilation) เพื่อให้ฝุ่นควันออกจากพื้นที่ การขุดตักและขนหินที่ได้ออกจากอุโมงค์ (Mucking) และการค้ำยันอุโมงค์ (Supporting)

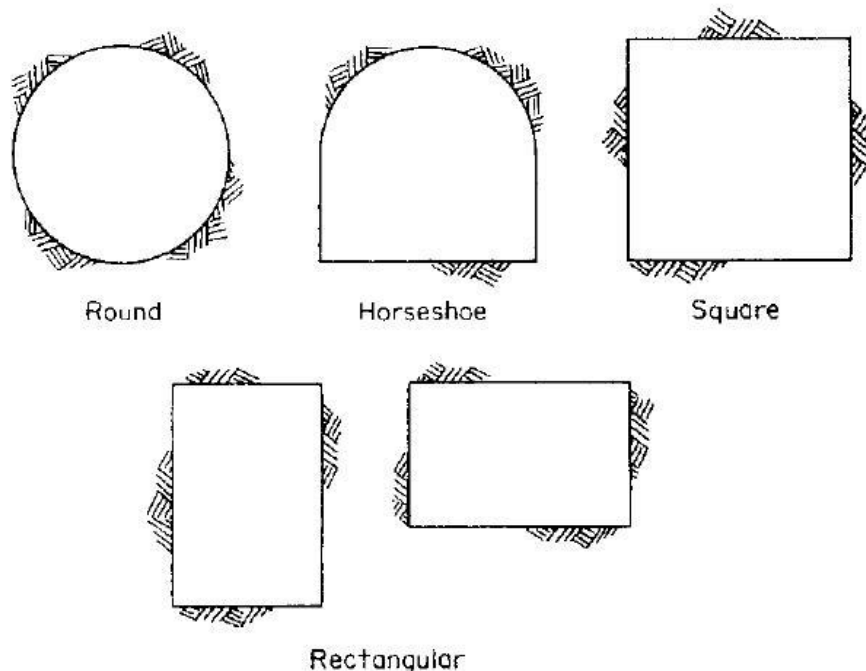


Fig. 12.1 Tunnel shapes.

รูปที่ 1.1 อุโมงค์รูปร่างต่างๆ

คุณสมบัติของหินมีอิทธิพลมากสำหรับการออกแบบการเจาะอุโมงค์ มนุษย์ไม่อาจเลือกคุณสมบัติของหินที่จะทำการเจาะอุโมงค์ได้ แต่สามารถศึกษาและแยกแยะคุณสมบัติของหิน การเจาะอุโมงค์ในงานเหมืองแร่และงานโยธา การศึกษาคุณลักษณะของหินอย่างละเอียดมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การเก็บตัวอย่างหินโผล่ (Outcrop) การทำ Seismic และการเจาะสำรวจเพื่อเก็บแท่งตัวอย่างหิน (core) มาตรวจสอบคุณสมบัติทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพ ชนิดและโครงสร้างของหิน ข้อมูลที่ได้เหล่านี้ทำให้สามารถตัดสินใจเลือกเครื่องเจาะระเบิดได้อย่างถูกต้อง เช่นหากพบว่าเป็นหินแข็งมากเช่นหินฮอร์นเฟลส์ (Hornfels) หรือหินควอร์ตไซต์ (Quartzite) อาจต้องซื้อเครื่องเจาะไฮดรอลิกจัมโบชนิดความเร็วสูง (High Speed Hydraulic Jumbo Drill) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงเจาะระเบิดได้เร็ว มาใช้เพื่อให้สามารถเจาะและระเบิดอุโมงค์ไปได้เร็ว ส่วนการเลือกใช้วัตถุระเบิด การเลือกใช้ระเบิดชนิดอีมัลชัน (Emulsion Explosive) ที่พลังในการระเบิดสูงกว่า ANFO ที่บรรจุด้วยเครื่องอัดลม จะทำให้ผลของการระเบิดที่ได้ดีกว่า และป้องกันการระเบิดไม่ออกได้ดีกว่า

บทที่ 2 การออกแบบการเจาะอุโมงค์

การเจาะอุโมงค์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกรณีหลักๆ คืออุโมงค์ที่มีหน้าอิสระเพียงหน้าเดียวหรือการระเบิดอุโมงค์แบบเต็มหน้ากับอุโมงค์ที่ทำเป็นหลายชั้นหรือการเจาะอุโมงค์แบบใช้อุโมงค์เล็กนำหน้าไปก่อนและมีหน้าอิสระหลายหน้า

อุโมงค์ที่มีหน้าอิสระเพียงหน้าเดียวเป็นการเดินอุโมงค์ไปข้างหน้า ในแนวนอน แนวเอียง และแนวตั้ง มักเป็นอุโมงค์ขนาดเล็กและขนาดกลาง มีพื้นที่หน้าตัดระหว่าง 4 -60 ตารางเมตร

อุโมงค์ที่มีหน้าอิสระหลายหน้า เป็นการผสมกันระหว่างการออกแบบการเจาะระเบิดในงานใต้ดินและการเจาะระเบิดในงานพื้นผิวดิน โดยส่วนที่เดินหน้าไปก่อนจะออกแบบเป็นการเจาะระเบิดในงานใต้ดิน แต่ส่วนที่ตามหลังไปจะออกแบบการเจาะระเบิดเช่นเดียวกับงานระเบิดบนพื้นผิวดิน (Benching)

2.1 การ เจาะระเบิดอุโมงค์เต็มหน้า (Full-face Blasting Method)

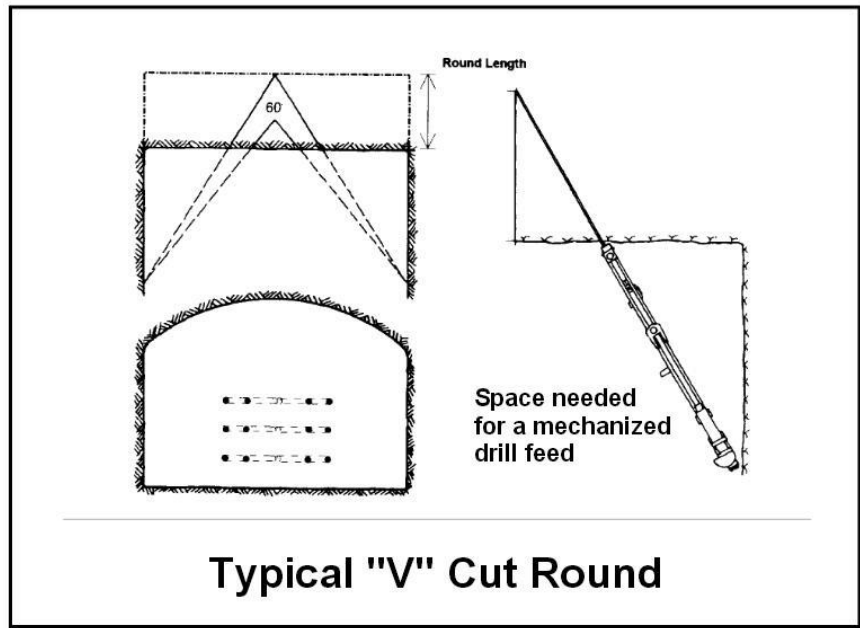
เป็นการเจาะและระเบิดเดินหน้าอุโมงค์ไปพร้อมกันทุกจุด โดยการเจาะระเบิดทำมุมต่างๆ กันกับหน้าอุโมงค์ แต่การเจาะอุโมงค์มีความแตกต่างการเจาะอุโมงค์ในเหมืองเปิดเนื่องจากการเจาะระเบิดในเหมืองเปิด หน้างานมีหน้าอิสระให้หินแตกออกได้ 2-3 ทิศทางส่วนการเจาะอุโมงค์มีหน้าอิสระทางด้านหน้าด้านเดียว ดังนั้นในการเริ่มออกแบบช่องเปิดสำหรับงานเจาะอุโมงค์เป็นสำคัญที่สุดในงานระเบิดอุโมงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหน้าอิสระให้มากพอที่จะทำให้หินแตกออกได้อย่างมีประสิทธิภาพการสร้างหน้าอิสระหรือช่องว่างขึ้นมาเพื่อให้หินได้มีช่องที่จะแตกตัวออกไปได้ช่องว่างที่สร้างขึ้นนี้มี

รูปแบบต่างๆ เช่นเป็นรูเจาะที่ไม่มีการอัดระเบิด หรือการเจาะเป็นรูปตัว V (V-cut) หรือการเจาะเป็นรูปพัด (Fan cut) เป็นต้น

การเจาะอุโมงค์แนวราบจะมีวงรอบการทำงานได้แก่การเจาะระเบิด การอัดและการจุกระเบิด การระบายอากาศ การขุดตักและการขนหินที่ได้ออกจากอุโมงค์ ปัจจัยต่างๆได้แก่วิธีการและรูปแบบการเจาะระเบิด จำนวนระเบิดที่ต้องเจาะในแต่ละรอบ ขนาดของเครื่องจักรขุดและขนหิน และความลึกที่ได้ในแต่ละวงรอบของการทำงานมีอิทธิพลต่อความเร็วในการเดินหน้าอุโมงค์ นอกจากนี้ขนาดของอุโมงค์ยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกเครื่องมือเครื่องจักร และเลือกความลึกที่จะเจาะได้แต่ละวงรอบวิธีการเจาะอุโมงค์ที่ใช้กันทั่วไปคือการเจาะระเบิดเป็นรูปตัว V เรียกว่า V-cut และการเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์ เรียกว่า Burn cut ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของวิธีการเจาะระเบิดเหล่านี้ได้แก่ลักษณะของหิน เครื่องเจาะระเบิดที่ใช้และสภาพการทำงานในแต่ละที่

การเจาะระเบิดเป็นมุมทแยง (Angle cuts)

การเจาะระเบิดเป็นรูปตัว V หรือเป็นรูปลิ้มเพื่อให้เกิดการระเบิดหินบริเวณส่วนกลางออกเป็นรูปลิ้มเพื่อให้มีหน้าอิสระเกิดขึ้นตรงกลางก่อนหิน ที่อยู่โดยรอบจะมีช่องว่างให้แตกออกมาแทนที่บริเวณลิ้มที่แตกออกไปก่อนแล้วได้ หากเปรียบเทียบกับวิธีการเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์การเจาะแบบลิ้มจะใช้จำนวนระเบิดน้อยกว่า และใช้วัตถุระเบิดน้อยกว่า หินที่ได้จากการระเบิดจะก้อนโตกว่า ก้อนตัวต่ำกว่าและกระเด็นไปไกลกว่า ความลึกของการเจาะอุโมงค์แบบมุมทแยงจำกัดอยู่ที่ไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของอุโมงค์ ผลการระเบิดจะเกิดได้ดีเมื่อมุมทแยงมากกว่า 60 องศาจากแนวนานกับแนวอุโมงค์หากมุมทแยงน้อยเกินไปเช่นน้อยกว่า 60 องศา จำเป็นต้องใช้มุมทแยงสองชั้นเรียกว่าการเจาะแบบ Baby-V หรือ Double-V (รูปที่ 2.1.2 V-cut with Baby V)



รูปที่ 2.1.1 V-cut with Baby V

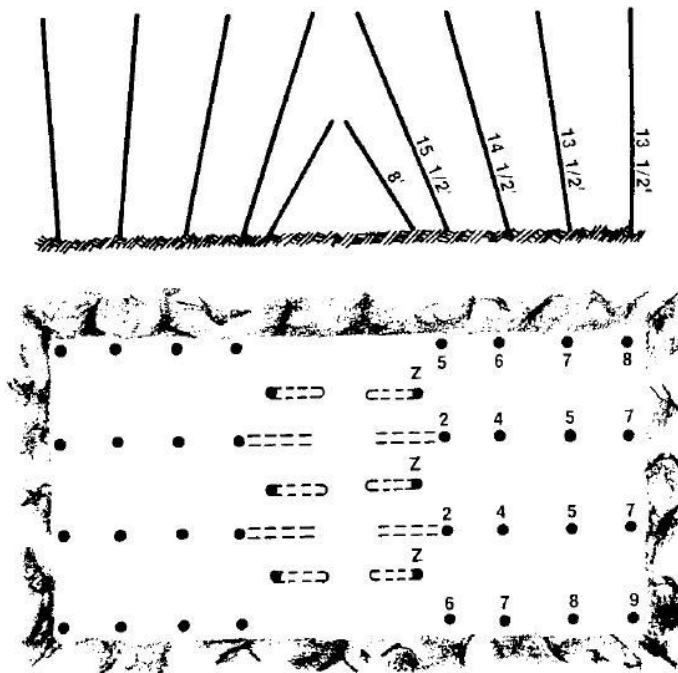


Figure 15.17 Millisecond Delay V Cut with Baby V

รูปที่ 2.1.2 V-cut with Baby V

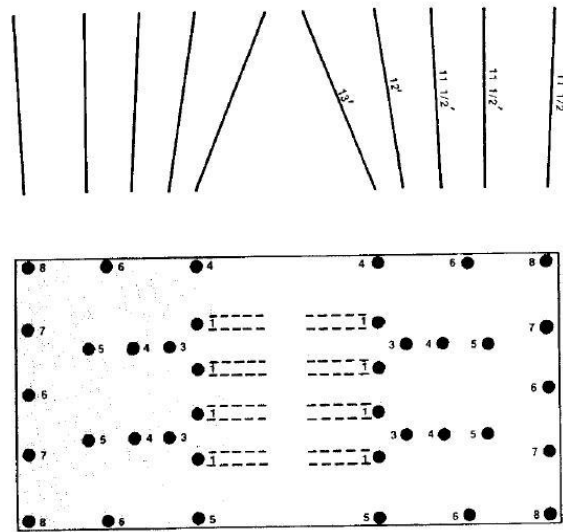
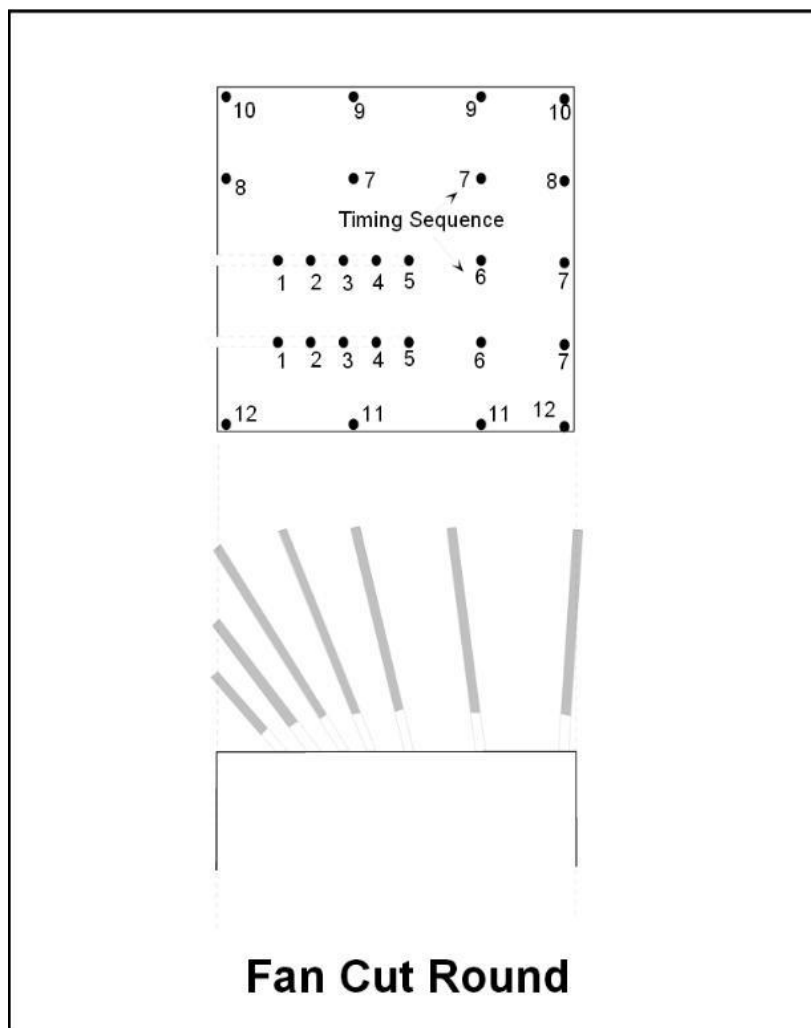


Figure 15.16. Room-and-Pillar Millisecond Delay V Cut Round.

รูปที่ 2.1..3 V-cut

การเจาะระเบิดเป็นรูปพัด (Fan cut)

เป็นการเจาะระเบิดเป็นมุมทแยงและระเบิดหินออกเป็นรูปลิ้ม คล้ายกับการเจาะระเบิดเป็นรูปตัว V แต่จะเปิดลิ้มออกบริเวณผนังด้านหนึ่งด้านใด ของอุโมงค์แทนการเปิดออกที่บริเวณส่วนกลางของอุโมงค์ การเจาะอุโมงค์แบบนี้ใช้จำนวนระเบิดน้อยกว่าการเจาะระเบิดขนานกันแนวอุโมงค์เช่นเดียวกัน แต่ความลึกที่ได้ในการระเบิดแต่ละรอบก็น้อยกว่าการเจาะระเบิดขนานกันแนวอุโมงค์เช่นเดียวกัน เนื่องจากระเบิดเจาะทำมุมกันแนวของการเดินอุโมงค์



รูปที่ 2.1.4 Fan cut

การเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอูโมงค์ (Burn cut)

ปัจจุบันการเจาะอูโมงค์แนวนอน มักใช้การเจาะรูระเบิดในแนวขนานกับแนวอูโมงค์แทนการเจาะรูระเบิดเป็นมุมทแยง แม้ว่าการเจาะรูระเบิดแบบนี้จะต้องเจาะรูระเบิดจำนวนมากว่า การเจาะแบบมุมทแยงมุม และต้องใช้วัตถุระเบิดปริมาณมากกว่า แต่สามารถได้ความลึกของการเจาะอูโมงค์มากที่สุด ของการระเบิดแต่ละรอบ และการที่สามารถเดินหน้าอูโมงค์ไปได้มากที่สุดของแต่ละรอบของการระเบิดนี้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเจาะระเบิดโดยรวมถูกที่สุดด้วย การเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอูโมงค์นี้เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์มีตำรามากมายเขียนไว้แต่บางครั้งไม่สามารถนำมาใช้ได้กับการทำงานในแต่ละกรณี

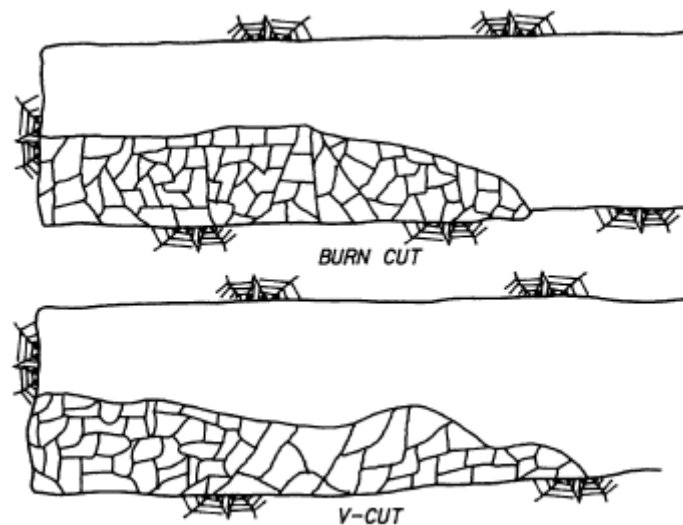
ข้อดีของการเจาะอูโมงค์แบบเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอูโมงค์

- ความลึกของอูโมงค์ที่ได้ของการระเบิดแต่ละรอบไม่ได้ขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของอูโมงค์หรือพื้นที่ในการทำงานและมุมของการเจาะรูระเบิด

- ความลึกของอุโมงค์ที่ได้จากการระเบิดแต่ละรอบ จากการเจาะระเบิดแบบขนานกับแนวอุโมงค์อาจจะได้ความลึกมากแม้เป็นการระเบิดในหินแข็ง
- เจาะระเบิดง่ายเพราะเจาะขนานกันทุกรู
- หินไม่กระเด็นไปไกลแต่แตกละเอียดดีกว่าง่ายต่อการขุดขน
- กองหินที่ได้ระเบิดสูงเหมาะกับการเขียนที่แตกร้าวและการเจาะรูเพื่อทำ rock bolt เสริมความแข็งแรงของผนังอุโมงค์
- ความลึกของการเจาะระเบิดมากน้อยตามความพอใจ

ข้อเสียของการเจาะอุโมงค์แบบเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์

- ในกรณีที่ต้องเจาะรูขนาดใหญ่และไม่อัตรระเบิดทำให้ต้องการเครื่องเจาะระเบิดเฉพาะทาง
- ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน (Explosive Factor) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเจาะแบบทแยงมุม
- การเจาะระเบิดต้องการความแม่นยำมากกว่าการเจาะแบบทแยงมุม



รูปที่ 2.1.5 แสดงลักษณะกองหินที่เกิดจากการเจาะระเบิดแบบ Burn cut และ V-cut

ระเบิดเปิดหน้า (Burn cut)

การเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์จะมีการเจาะรูที่ไม่มีการอัตรระเบิดไว้ หนึ่งรูหรือหลายรู เพื่อให้มีช่องว่างหรือหน้าอิสระให้หินที่แตกตัวออกมาจากรูที่อัตรระเบิดได้ รูที่ไม่อัตรระเบิดนี้ จะเป็นรูขนาดเท่ากันหรือใหญ่กว่ารูที่อัตรระเบิดก็ได้ แต่ปกติจะเจาะให้มีขนาดใหญ่กว่ารูที่อัตรระเบิด ความแม่นยำของการแนวรูทั้งรูที่อัตรระเบิด และรูที่ไม่อัตรระเบิดเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การเจาะระเบิดอุโมงค์โดยวิธีประสบผลสำเร็จ ได้หรือไม่ ปกติจะใช้เครื่องมือช่วยในการเล็งแนวรูเจาะเช่นการใช้แม่แบบ (Template or

Tamping pole) วางขนานกับก้านเจาะขณะทำการเจาะรูปที่ 2.1.5 แสดงตัวอย่างของการเจาะระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์ การเจาะอุโมงค์วิธีนี้แต่เดิมเหมาะกับการเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กที่มีพื้นที่การทำงานจำกัด

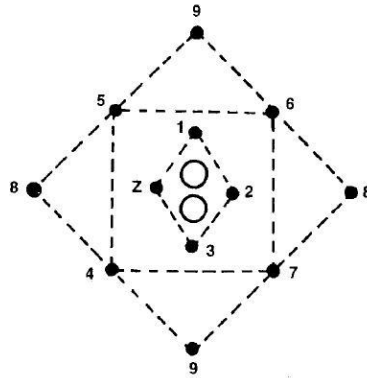


Figure 15.10. An Example of a Burn Cut Using Two Large Empty Holes.

รูปที่ 2.1.5 Burn cut

กรณีที่มีการเจาะรูวางที่ไม่อัดระเบิดเพียงรูเดียว รูระเบิดที่อยู่ใกล้รูที่ไม่อัดระเบิดจะมีระยะห่างออกไป (Burden) ประมาณ 0.7 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูวาง (Swedish Blasting Technique) (ตารางที่ 2.1)

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

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะ Burden เมื่อเจาะรูวางขนาดต่างๆ

หากรูวางมี 2 รูใกล้กัน ต้องเจาะห่างออกไปประมาณ 0.7×2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูวาง ตารางที่ 2.1.1 แสดงburden 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

ตารางที่ 2.1.1 แสดงค่า burden ของรูระเบิดเมื่อใช้รูว่างที่ไม่อัดระเบิดและรูระเบิดขนาดต่างๆ (Swedish Blasting Technique)

การประเมิน Burden ในการเจาะระเบิดในหินแข็ง อาจประเมิน Burden ตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูระเบิดโดยกำหนดให้ Burden มีหน่วยเป็นฟุต เท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูระเบิดมีหน่วยเป็นนิ้ว 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 นิ้วควรใช้ ระยะ Burden 2.1 นิ้ว (0.5 เมตร) และใช้ Spacing 2.9 นิ้ว (0.73 เมตร) สำหรับหินที่มีโครงสร้างอ่อนอาจใช้ค่า Burden และ spacing มากกว่า ข้างต้นเล็กน้อย ประมาณ 1.2 เท่าของหินแข็ง

จำนวนรูระเบิดที่ต้องเจาะทั้งหมดในการเจาะระเบิดแบบเต็มหน้า ขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ ทั้งนี้ หากมีการเจาะเพื่อทำผนังอุโมงค์ให้เรียบ จำนวนรูระเบิดจะมากขึ้นเล็กน้อยในรูปที่ 2.1.6 อุโมงค์ขนาดเล็ก 44 ตารางฟุต (4 ตารางเมตร) ใช้รูระเบิดขนาด 1.75 นิ้ว (44 mm.) ต้องเจาะรูระเบิด ระหว่าง 25-35 ขึ้นกับชนิดของหินเป็นต้น

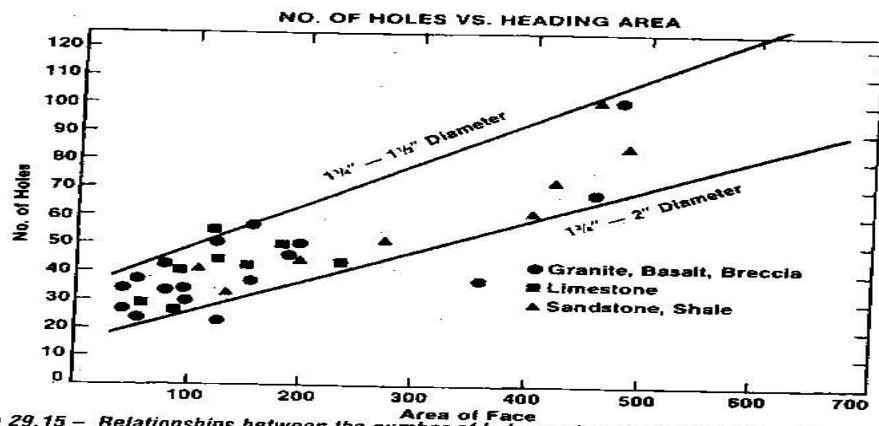


Figure 29.15 – Relationships between the number of holes and cross-sectional tunnel area.

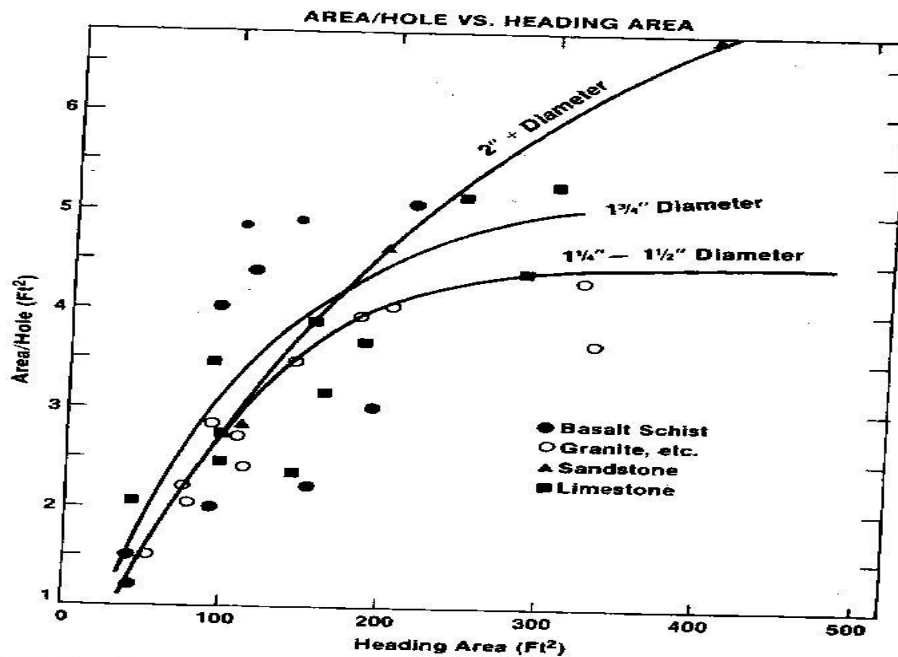


Figure 29.16 – Relationship between the hole diameters and cross-sectional tunnel area.

รูปที่ 2.1.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดระเบิด จำนวนระเบิด กับพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์

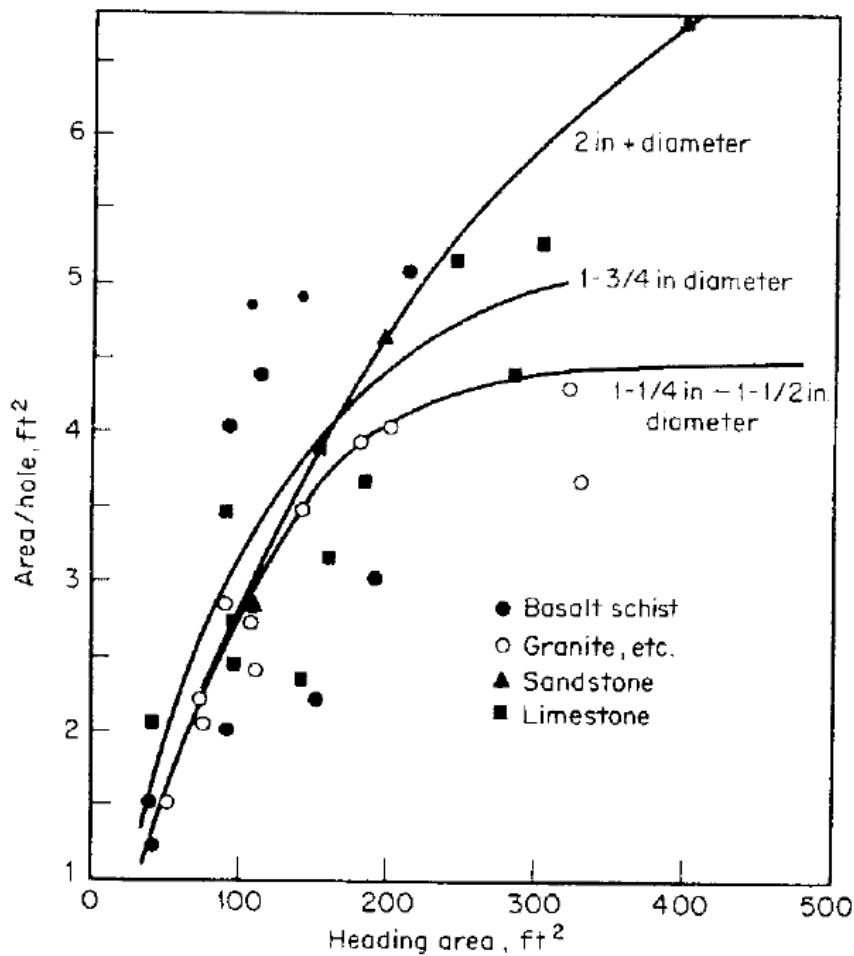


Fig. 12.11 Relationship between the hole diameters and cross-sectional tunnel area. (E. I. du Pont de Nemours and Co., Inc.)

รูปที่ 2.1.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูระเบิดกับพื้นที่หน้าตัดอุโมงค์

รูปแบบการเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์ มีหลายอย่างขึ้นกับ ตำแหน่งจำนวนของรูวางที่ไม่อัดระเบิดโดยทั่วไปยิ่งมีรูวางมากขึ้นมักจะทำให้ได้ความลึกของการเจาะอุโมงค์ในแต่ละรอบมากขึ้น รูปที่ 2.1.8 แสดงความลึกของอุโมงค์ในแต่ละรอบการระเบิดที่ได้ตามขนาดของรูวางโดยจำกัดอยู่กับการเดินหน้าอุโมงค์เกิดขึ้นทุก 3 ฟุตต่อทุก 1 นิ้วของรูที่ไม่อัดระเบิด

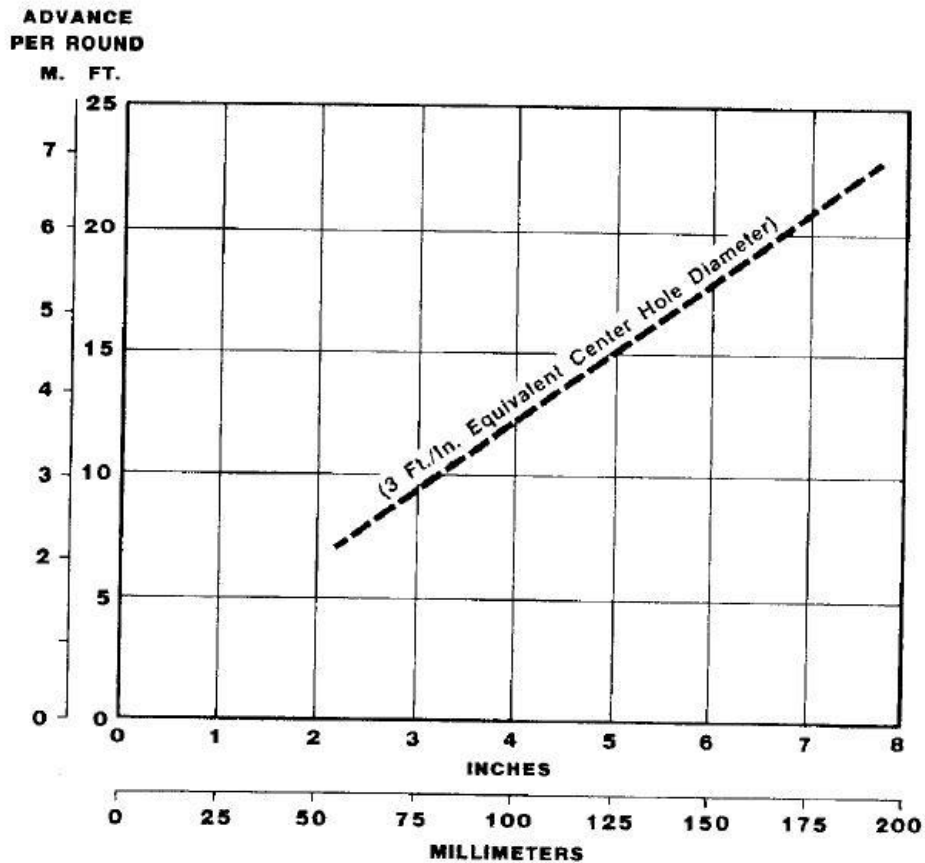


Figure 15.11. Practical Advance per Round for Parallel Burn Cuts (Langefor's Chart).

รูปที่ 2.1.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูระเบิด และระยะที่เดินหน้าอุโมงค์ไปได้แต่ละรอบของการระเบิด

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการวางแผนการเจาะรูที่ไม่อัดระเบิดหรือรูว่าง ก็คือเรื่องการแตกตัวของหินที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นตามลักษณะของหินแต่ละชนิด รูปที่ 2.1.9 แสดงผลที่เกิดขึ้นจากการวางรูระเบิดห่างจากรูว่างในระยะต่างๆ กันโดยทั่วไปหินที่มีโครงสร้างอ่อนและมีรพูนมากจะแตกได้ไม่ตลอดรู และระเบิดได้ยากกว่าหินแข็งและเปราะ เพื่อให้ผลการระเบิดเป็นที่น่าสนใจช่องว่างที่เกิดจากรูว่างควรมีไว้สำหรับการบวมตัว (Swell) ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 60 หากเป็นไปได้ถึง 100 % ได้ก็ยิ่งดี

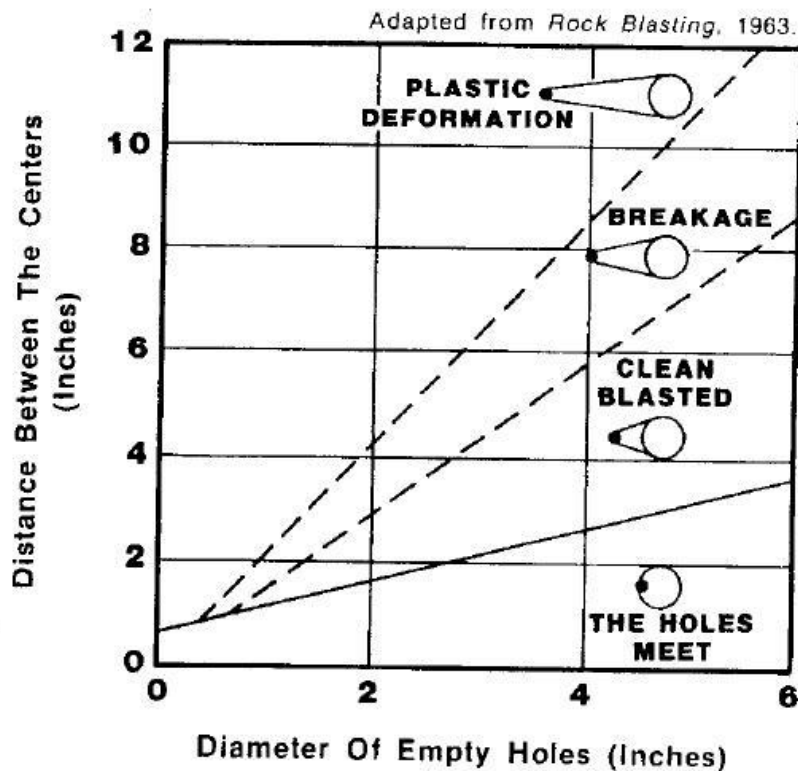


Figure 15.12. Principles of Round Design.

รูปที่ 2.1.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูว่างกับรูที่อัดระเบิดโดยรอบ

ระบบการถ่วงเวลาของเชื้อปะทุที่ใช้ต้องพิจารณาจากรูปแบบของรูระเบิดและรูว่าง ความแม่นยำของรูระเบิด และชนิดของหิน โดยพิจารณาถึงระยะเวลาในการถ่วงเวลาที่เหมาะสมและไม่ไปทำให้รูระเบิดที่เหลือด้าน (Freeze) การป้องกันระเบิดไม่ออก ของรูระเบิดในการเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์ควรพิจารณาดังนี้

- ใช้รูระเบิดที่ไม่อัดระเบิดให้มากจนแน่ใจว่า หินที่ระเบิดออกมาจากรูที่อัดระเบิด มีพื้นที่มากพอที่จะแตกตัวออกมาได้
- อัดระเบิดให้ตลอดรูทุกระยะเว้นไว้ด้านนอกไม่เกิน 1-2 นิ้ว
- ใช้ระเบิดเล็กกว่ารูระเบิด เพื่อลดปริมาณวัตถุระเบิดต่อความลึกของรูระเบิด และป้องกันการถูกอัดตัวของหินในรูระเบิดแรกๆ
- เปลี่ยนรูปแบบการเจาะรูที่ไม่อัดระเบิด
- เปลี่ยนการถ่วงเวลาของเชื้อปะทุให้นานขึ้นจนแน่ใจว่ามีระยะการถ่วงเวลาที่เหมาะสม

การเจาะระเบิดเปิดหน้า (Burn cut) ในการเจาะระเบิดแบบระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือระเบิดออกเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม (Box-cut) E กับ F ในรูปที่ 2.1.10 กับระเบิดออกเป็นแนวเส้นตรง (Line cut) A B C และ D ในรูปที่ 2.1.10 การระเบิดออกเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมมักใช้กับระเบิดขนาด 3 นิ้วขึ้นไปซึ่งใช้เครื่องเจาะระเบิดแบบจัมโบ้ (Jumbo Drill) ส่วนการระเบิดเป็นเส้นตรงมักใช้กับระเบิดขนาดเล็ก (1.5-2.0 นิ้ว) ที่ใช้เครื่องเจาะระเบิดติดขาหยั่ง (Jack leg drill)

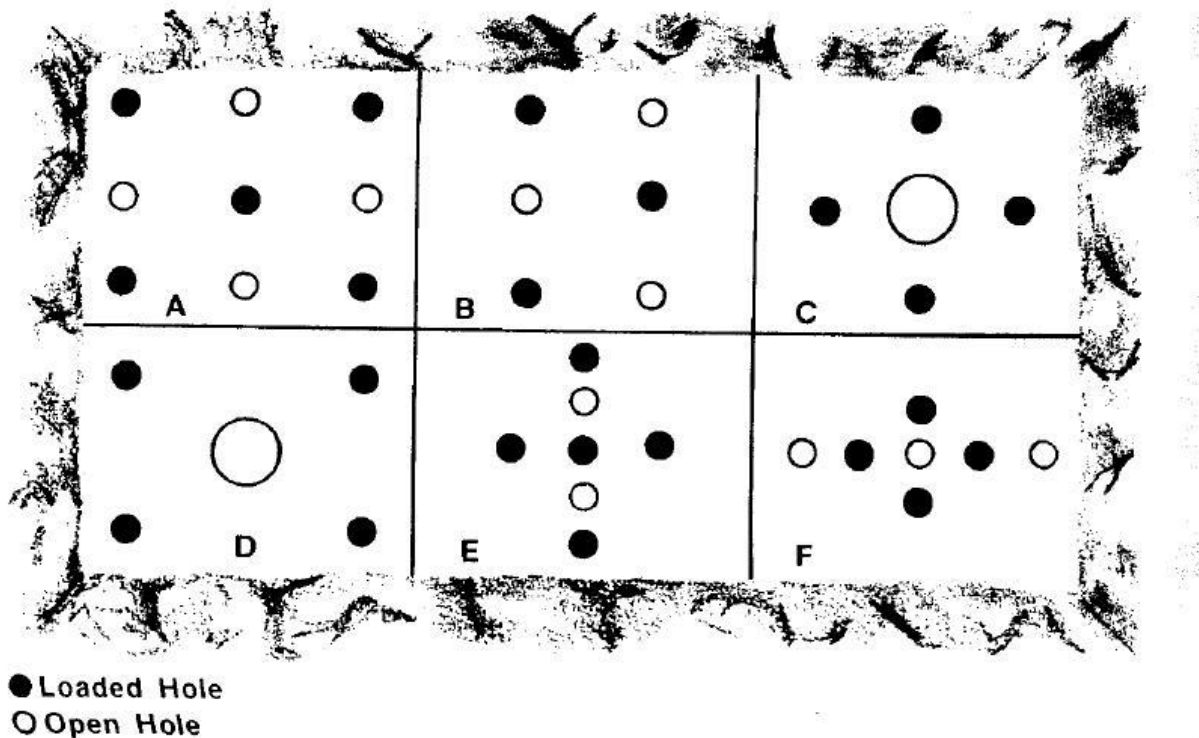
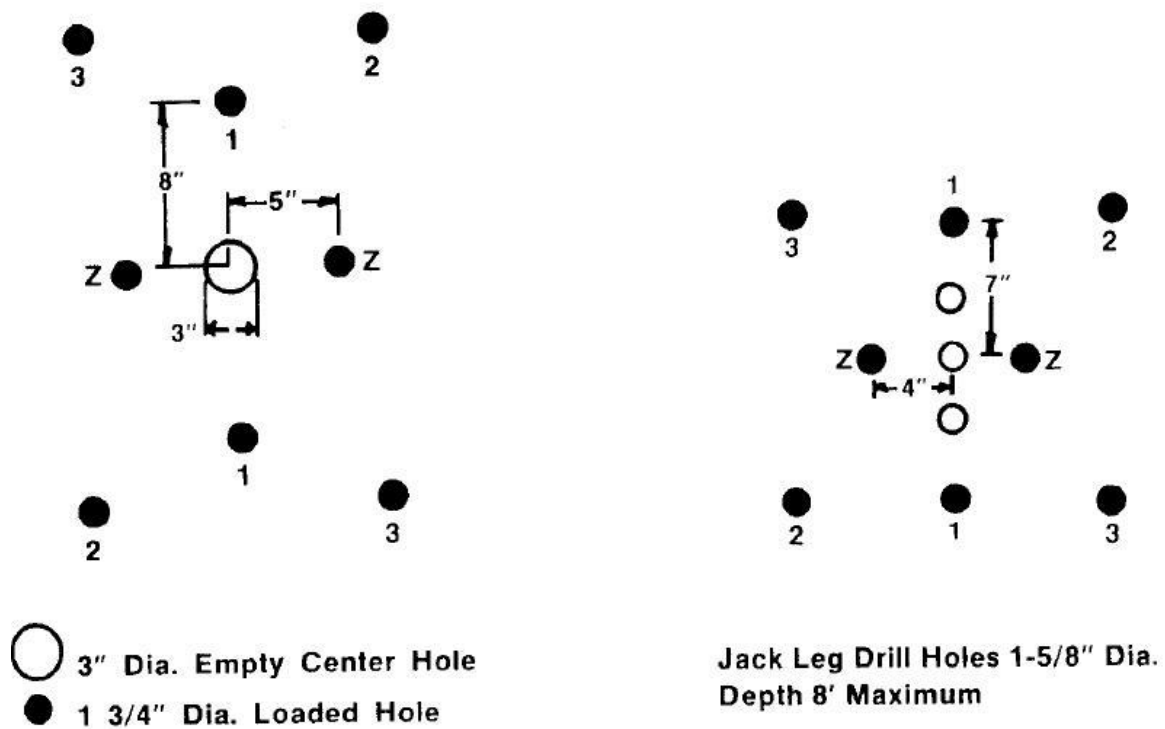


Figure 15.13. Burn Cuts. E, F—line cuts; A, B, C, D—box cuts

รูปที่ 2.1.10 ภาพแสดงการเจาะระเบิดเปิดหน้ารูปแบบต่างๆแบบเป็นกล่อง (Box) และเป็นเส้นตรง

การอัดระเบิดในระเบิดเปิดหน้า (Burn cut) ต้องคำนึงถึงการควบคุมความสั่นสะเทือน ขนาดระเบิด ลักษณะธรณีวิทยาของหิน ระบบจุดระเบิด ชนิดของวัตถุระเบิดที่ใช้ และการปิดปากระเบิดเป็นต้น

การใช้วัตถุระเบิดบางชนิดเช่น water gel หรือ Emulsion Explosive เป็นวัตถุระเบิดหลักเมื่อเกิดการระเบิดของระเบิดรูแรกๆ แรงอัดจากการระเบิดอาจไปอัดกระแทกระเบิดในรูถัด มาจนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤติ (Critical Diameter) หรือมีความหนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นวิกฤติ (Critical Density) ของวัตถุระเบิดชนิดนั้นที่เรียกว่า Dead Pressing ก็จะทำให้ระเบิดด้าน หรือระเบิดไม่ออกทั้งหมด เพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ควรออกแบบให้ระเบิดที่ระเบิดแรกสุดระเบิดพร้อมกันสัก 2-3 รู ก่อนแล้วให้รูหลังๆค่อยระเบิดตามมาดังใน รูปที่ 2.1.11 รู Z ที่อยู่ใกล้รูว่างมากที่สุดจะระเบิดพร้อมกัน



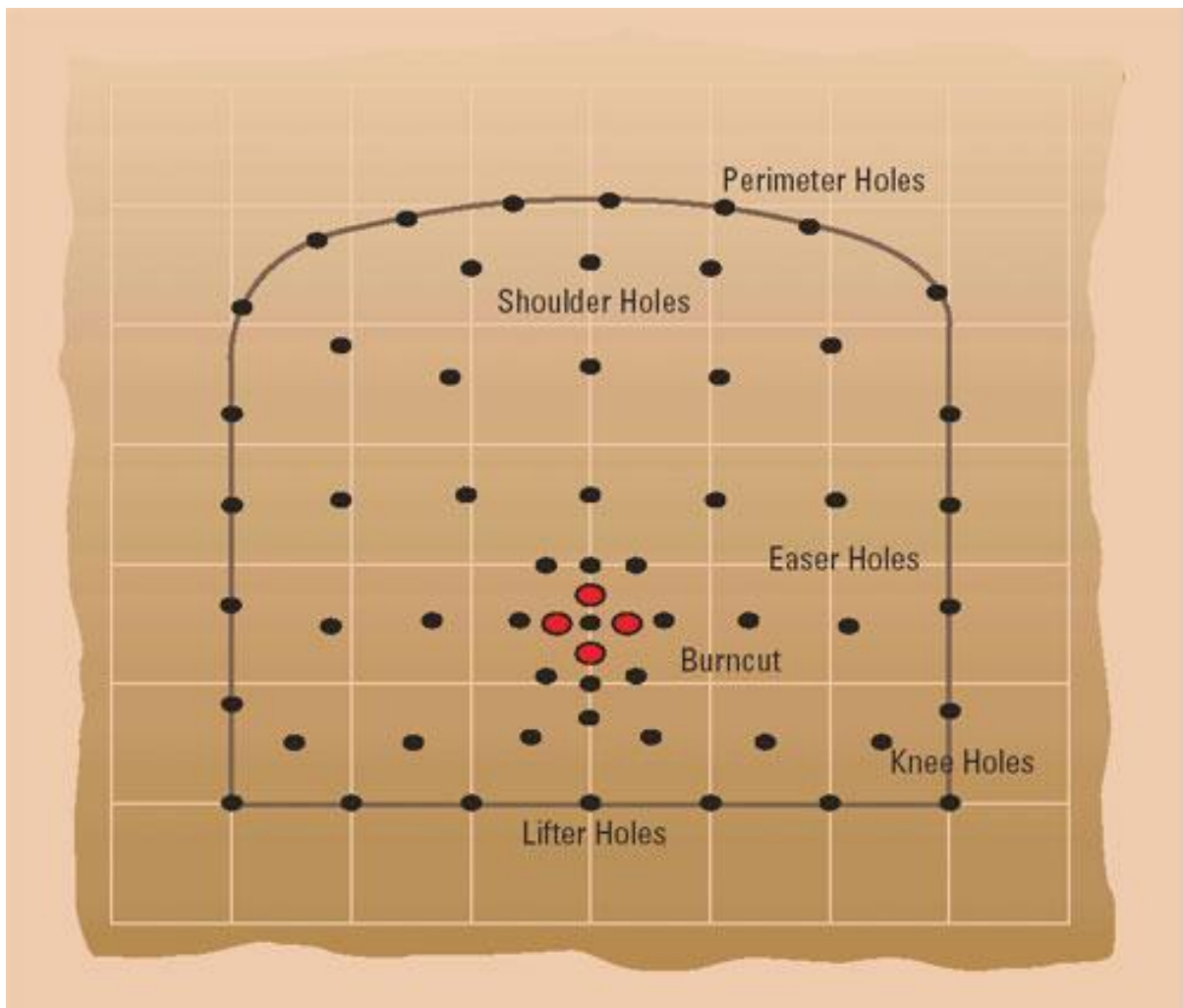
รูปที่ 2.1.11 ภาพแสดงการเจาะรูระเบิดเปิดหน้ารูปแบบต่างๆแบบเป็นกล่อง (Box) และเป็นเส้นตรง
ขนาดของวัตถุระเบิดที่ใช้ ควรเลือกแท่งดินระเบิดให้มีขนาดเล็กกว่ารูระเบิดพอสมควรจะป้องกันปัญหา
ระเบิดไม่ออก (Dead Pressing) ได้ ตาราง 2.1.2 แสดงขนาดแท่งระเบิดกับขนาดรูระเบิดที่เหมาะสม

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

ตาราง 2.1.2 แสดงขนาดแท่งระเบิดกับขนาดรูระเบิดที่เหมาะสม

บางครั้งพบว่าการเจาะและการอัดระเบิด ทำอย่างถูกต้องแม่นยำแต่กลับระเบิดไม่ออกจากการค้นหา
สาเหตุจึงพบว่าลักษณะธรณีโครงสร้างของหินเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน หรืออาจเกิดการ
ระเบิดของรูระเบิดก่อนไปจุดช่องระเบิดอื่น (Freezing the burn) ไม่ให้ระเบิดออกได้ การระเบิดรอบนั้นก็

ไม่ออกทั้งหมด สาเหตุเหล่านี้อาจป้องกันได้ด้วยการวางแนวรูระเบิดและรูวางให้แน่นหนา เพิ่มรูวางให้มากขึ้นจนแน่ใจว่ามีช่องว่างมากพอให้หินสามารถระเบิดออกได้ (รูป2.1.13)



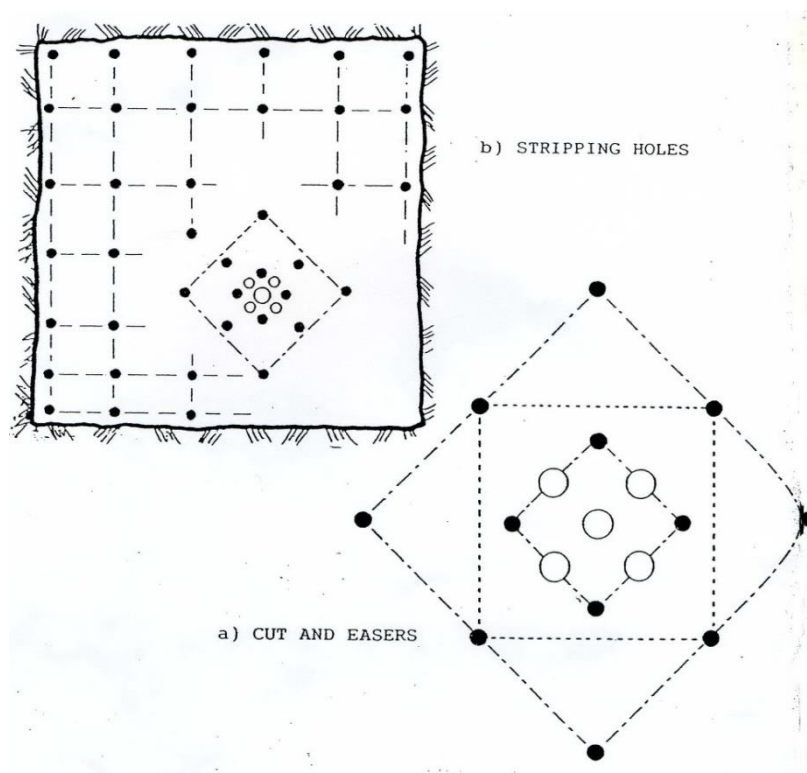
รูป2.1.13 แสดงการเจาะรูระเบิดที่ไม่อัดระเบิดให้มีช่องว่างมากพอเพื่อให้แน่ใจว่าการระเบิดจะได้ผลดี และป้องกันระเบิดไม่ออก(Freezing burn)



รูป 2.1.14 แสดงการเจาะรูระเบิดขนานกับแนวอุโมงค์ (Burn cut) ในการเจาะอุโมงค์ผันน้ำโครงการก่อสร้างเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำ คลองทุ่งเพล อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี

รูระเบิดถัดจากรูระเบิดเปิดหน้า (Easers holes)

คือรูระเบิดที่อยู่ รอบๆ รูระเบิดเปิดหน้า (Burn cut) มีหน้าที่ช่วยระเบิดหิน ออกจากบริเวณรูระเบิดเปิดหน้า เพื่อให้มีช่องว่างมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้การระเบิดของรูระเบิดในลำดับถัดไประเบิดออก รูระเบิดรอบๆ รูระเบิดเปิดหน้านี้ อาจจะเอียงเข้าหา รู Burn cut เล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่าหินจากการระเบิดจะถูกผลักกระเด็น ออกมาได้เหมาะสม แต่จะต้องระวังไม่ให้ปลายรูระเบิดเหล่านี้ออกไปทะลุรูระเบิดเปิดหน้าได้ นอกจากนี้ถ้าระยะใกล้กันเกินไป อาจทำให้เกิดระเบิดด้านจาก Dead Press ได้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุระเบิดที่ใช้ ระยะหน้าระเบิด Burden ของรู Easer ต้องสอดคล้องกับสภาพหินหรือแร่ ที่หน้างาน โดยปกติจะมีระยะโดยประมาณอยู่ในช่วงระหว่างระยะห่างบริเวณรูระเบิดเปิดหน้าถึงระยะห่างของรูระเบิดอื่นๆ (Stripping holes)



รูป 2.1.15 แสดง cut hole easers hole และ stripping hole

Perimeter Holes (รูระเบิดที่ขอบอุโมงค์)

รูระเบิดที่ขอบอุโมงค์ หรือ Perimeter Holes หมายถึง รูระเบิดบริเวณพื้นอุโมงค์ หรือ Lifters รูระเบิดบริเวณผนังด้านข้างของอุโมงค์ หรือ Wall Holes และรูที่บริเวณเพดานอุโมงค์ หรือ Back Holes

การอัดระเบิดในรูระเบิดทั่วไปและการอัดระเบิดรอบนอกสุดเพื่อให้ผนังอุโมงค์เรียบ (Blast hole and perimeter load)

การอัดระเบิดในอุโมงค์รถยนต์ อุโมงค์รถไฟหรืออุโมงค์ขนส่งในงานเหมืองแร่จะมีการอัดระเบิดรูระเบิดที่ขอบอุโมงค์โดยจำกัดปริมาณวัตถุระเบิดเพื่อให้ได้ผนังอุโมงค์เรียบ และป้องกันการแตกร้าวของหินหลังแนวรูระเบิดทำให้ผนังอุโมงค์มีเสถียรภาพมากขึ้น เรียกการอัดระเบิดแบบนี้ว่าการระเบิดแบบ Smooth Blasting หรือ Smoothwall Blasting โดยอัดระเบิดในรูที่ติดกับผนังอุโมงค์ด้วยวิธีที่เรียกว่า Decoupling คือใช้แท่งดินระเบิดขนาดเล็กกว่ารูระเบิดประมาณ $1/3$ เท่าของรูระเบิดหรืออาจใช้สายชนวนระเบิดขนาดใหญ่ตั้งแต่ 500 เกรนต่อเมตรขึ้นไป (รูปที่ 2.1.16) การคำนวณปริมาณวัตถุระเบิดต่อความลึก 1 เมตรของรูระเบิดคำนวณได้จากสมการ

ปริมาณวัตถุระเบิดต่อความยาว 1 เมตร (Load Factor) = $\{(22/7) [(CD)^{2/4}] \times d\} / 1000$ กิโลกรัมต่อเมตร

CD = charge diameter (millimeter)

d = ความหนาแน่นของวัตถุระเบิด (explosive density) หน่วยเป็นกรัมต่อซีซี

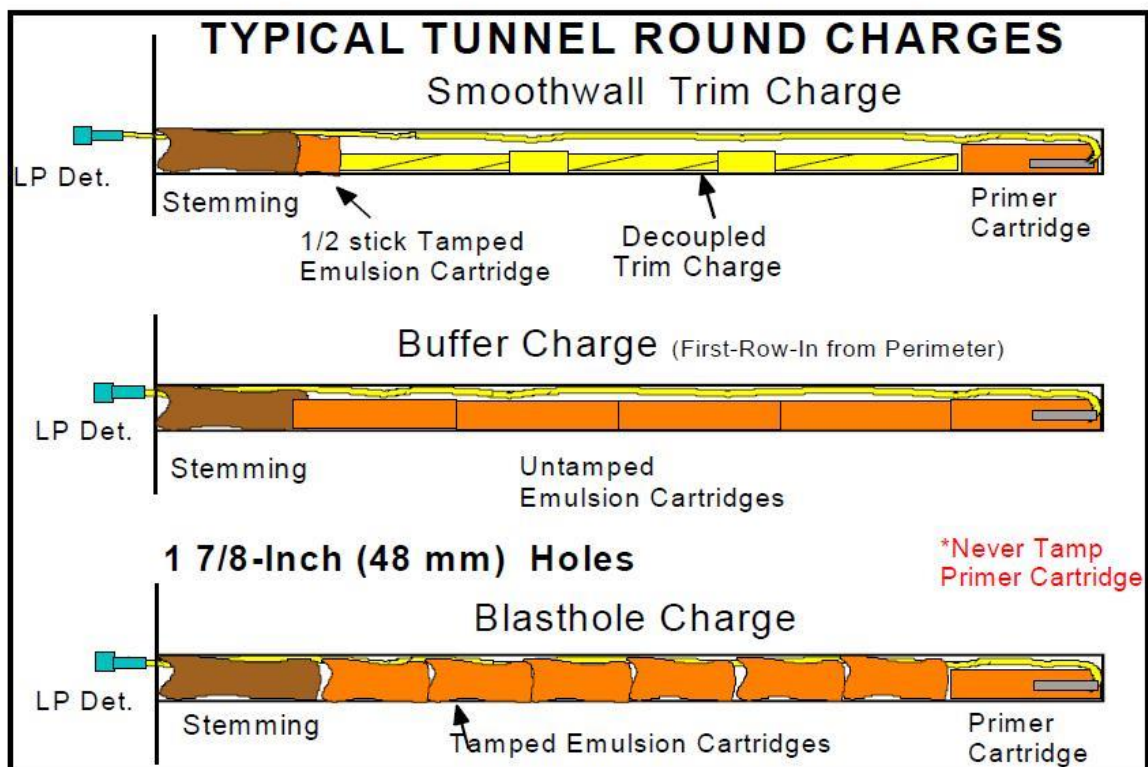
ตัวอย่างแท่งระเบิดมีความหนาแน่น 1.1 กรัมต่อซีซี ขนาด 2 นิ้ว (50.8 มิลลิเมตร) ปริมาณวัตถุระเบิดต่อความยาว 1 เมตร

(Load Factor) = $(3.14 \times [(50.8)^{2/4}] \times 1.1) / 1000 = 2.23$ กิโลกรัมต่อเมตร

การคำนวณปริมาณวัตถุระเบิดต่อความยาว 1 เมตร (Load Factor) ในกรณีใช้สายชนวนระเบิดอัดในรูระเบิด

น้ำหนักวัตถุระเบิด/รู = น้ำหนักวัตถุระเบิด(กรัม/เมตร หรือ เกรนต่อเมตร) $\times$ ความยาวของรูระเบิด / 1000 กรัมต่อกิโลกรัม

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



รูปที่ 2.1.16 แสดงการอัดระเบิดของรูระเบิดในตำแหน่งต่างๆ ในการเจาะอุโมงค์เพื่อให้ได้ผนังอุโมงค์เรียบ

รูระเบิดที่บริเวณผนัง (Wall Holes) และ รูระเบิดที่เพดานอุโมงค์ (Back Holes) จะเจาะเอียงออกจากแนวของอุโมงค์เล็กน้อย เนื่องจากต้องให้พื้นที่กับอุปกรณ์การเจาะรูระเบิด ดังนั้นจึงต้องควบคุมแนวเจาะอย่างระมัดระวัง เพื่อให้อุโมงค์มีขนาดรูปร่างเหมาะสม

รูระเบิดที่พื้นอุโมงค์ (Lifters)

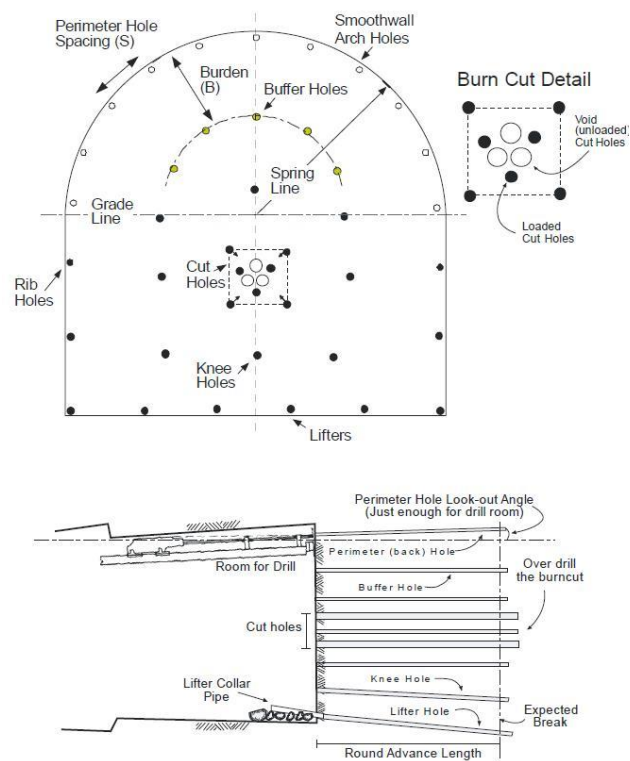
เป็นรูระเบิดที่อยู่บริเวณพื้นอุโมงค์ จะเจาะในลักษณะเอียงกุดต่ำกว่าพื้นอุโมงค์เล็กน้อย เนื่องจากต้องให้พื้นที่แก่อุปกรณ์เจาะและเพื่อให้พื้นอุโมงค์ได้ระดับ และความลาดชันที่ถูกต้อง รูพื้นที่เจาะตรงมุมพื้นจะกุดต่ำและถ่างออกเล็กน้อยเพื่อให้พื้นที่แก่อุปกรณ์เจาะ

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

เนื่องจากรูระเบิดที่พื้นจะเป็นรูที่เจาะกุดต่ำกว่าพื้น ดังนั้นต้องระวังความหนาที่ปลายรู (Toe Burden) อย่าให้หนาเกินไป นอกจากนี้ระยะระหว่างรูระเบิดมักจะถูกกำหนดโดยความกว้างของหน้าอุโมงค์ ดังนั้น จึงควรเจาะรูระเบิดที่พื้นให้มากขึ้นขึ้นแทนที่การขยายระยะ Spacing ให้ห่างออกไปเพราะอาจทำให้พื้นอุโมงค์ไม่เรียบ

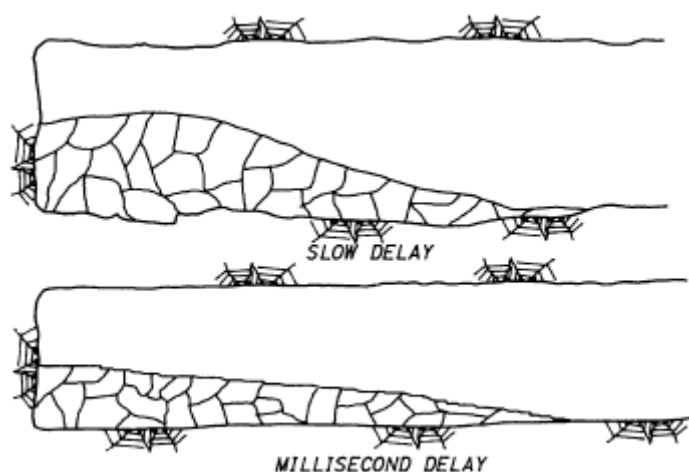


รูปที่ 2.1.17 อุโมงค์รถยนต์ปรากฏเป็นรูปเปลือกหอยพัด(Scalloping effect) ที่ผนังอุโมงค์เนื่องจากการเจาะระเบิดเพื่อการทำผนังอุโมงค์เรียบ (Smoothwal Blasting)



รูปที่ 2.1.18 แสดงการเจาะระเบิดที่พื้นอุโมงค์และที่ผนังอุโมงค์

การจุดระเบิดของแก๊ปที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์มีสองประเภทด้วยกันคือ ที่เป็นระบบเร็วแบบ millisecond เช่นเดียวกับที่ใช้ในเหมืองเปิด กับที่เป็นแบบถ่วงเวลาแบบช้า (Slow delay) เป็นครึ่งวินาที (Half second delay) การเลือกใช้แก๊ปทั้งสองชนิด ขึ้นกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ ความต้องการลักษณะการแตกของหินและลักษณะกองหินที่ต้องการ การใช้การถ่วงเวลาแบบช้า จะได้กองหินก้อนโตกว่าและตกได้ยากกว่าการถ่วงเวลาสั้นๆ การเจาะอุโมงค์ที่หน้าแคบๆ และเจาะรูระเบิดขนานกันทุกรู อาจจำเป็นต้องใช้การถ่วงเวลาแบบช้า เพื่อให้แน่ใจได้ว่าหินจะมีเวลานานพอที่จะกระเด็นออกมาจากรูระเบิด ก่อนที่รูระเบิดถัดไปจะระเบิดตามๆกันมา ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้การถ่วงเวลาที่อยู่กึ่งกลางระหว่างแบบช้ากับแบบเร็ว เช่นเลือกแก๊ปแบบ millisecond ที่มีเบอร์ต่างกันมาก เช่นมีระยะการถ่วงเวลาต่างกัน ตั้งแต่ 100-250 millisecond เป็นต้น รูปที่ 2.1.19 แสดงลักษณะกองหินที่ได้จากการใช้การถ่วงเวลาแบบช้าและแบบเร็ว



รูปที่ 2.1.19 แสดงให้ลักษณะกองหินที่ได้จากการใช้การถ่วงเวลาแบบช้าและแบบเร็ว

ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน (Powder factor)

เช่นเดียวกับการระเบิดในงานผิวดิน การระเบิดในงานใต้ดินมีปริมาณการใช้ปริมาณระเบิดต่อปริมาณหินแตกต่างกันระหว่าง 0.75-5.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับวิธีการเจาะรูระเบิดชนิดของหินและขนาดของอุโมงค์ การเจาะรูระเบิดขนานกันทุกรูจะใช้วัตถุระเบิดมากกว่าการเจาะรูระเบิดแบบทแยง หินแข็งจะใช้วัตถุระเบิดมากกว่าหินเนื้ออ่อน ยิ่งอุโมงค์มีขนาดใหญ่มากขึ้นปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหินจะยิ่งใกล้เคียงกับการระเบิดในงานผิวดินมากขึ้น

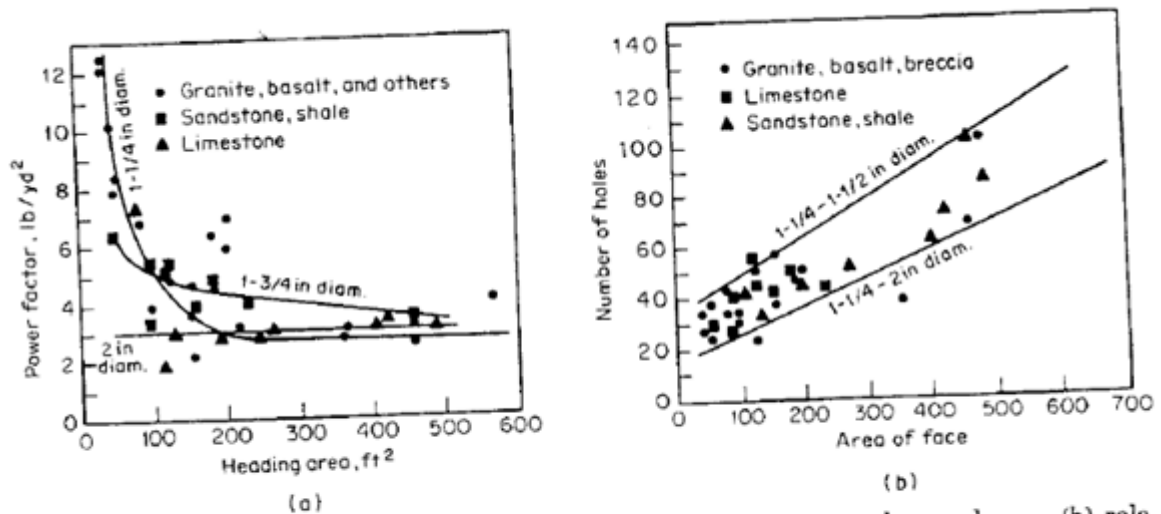
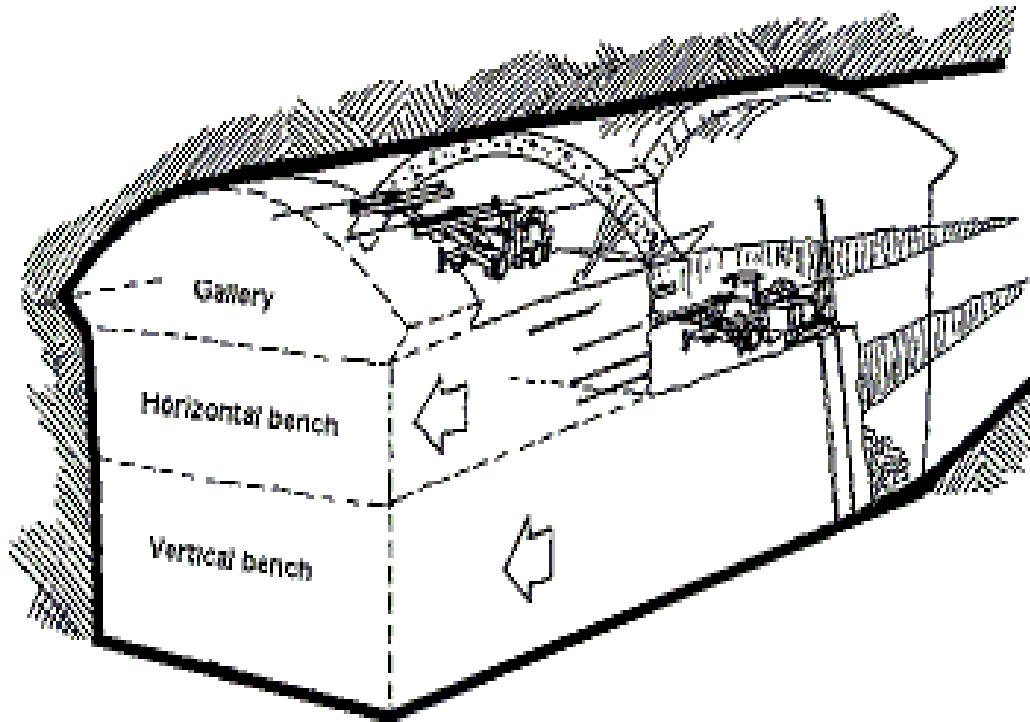


Fig. 12.13 (a) Relationship between powder factor and cross-sectional tunnel area; (b) relationship between number of holes and cross-sectional area. (E. I. du Pont de Nemours and Co., Inc.)

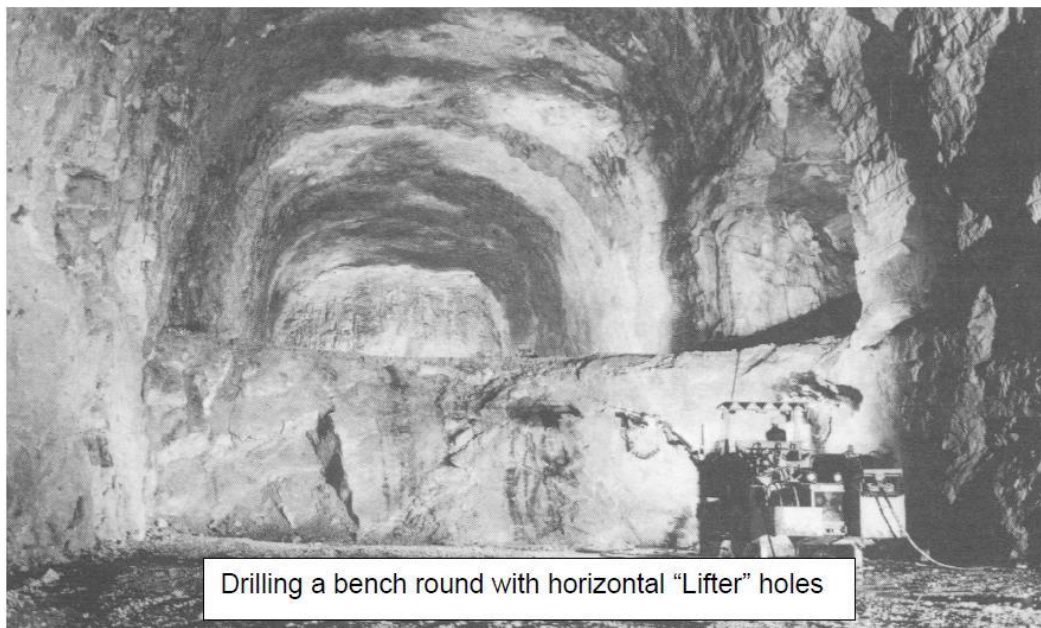
รูปที่ 2.1.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุระเบิดต่อปริมาณหินที่ได้ และพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์

2.2 การเจาะระเบิดอุโมงค์โดยเจาะระเบิดอุโมงค์เล็กหน้า (Advanced Heading with Enlarged Blasting)

อุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่อาจใช้วิธีเจาะระเบิดอุโมงค์เต็มหน้า (Full-face Blasting) หรือใช้วิธีเจาะระเบิดอุโมงค์เล็กหน้าไปก่อน แล้วค่อยเจาะระเบิดขยายภายหลังให้เต็มหน้าอุโมงค์ (Advanced Heading and Enlarged Blasting) ทั้งนี้ตำแหน่งของอุโมงค์เล็กที่เจาะระเบิดนำไปก่อนอาจอยู่ในตำแหน่งตอนบน ตอนกลาง หรือ ตอนล่างของอุโมงค์ก็ได้ แต่มักทำบริเวณตอนบนเพื่อค้ำยันผนังอุโมงค์ไว้ก่อน หลังจากเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กนำไปแล้ว ก็จะทำการระเบิดขยายอุโมงค์ให้เต็มหน้า อาจใช้วิธีระเบิดออกในแนวราบ (Horizontal Stripping) หรือ วิธีระเบิดแบบขั้นบันไดในแนวดิ่ง (Benching) ก็ได้



รูปที่ 2.2.1 แสดงการเจาะระเบิดอุโมงค์ขนาดใหญ่โดยเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กนำไปก่อน



รูปที่ 2.2.2 แสดงการเจาะระเบิดอุโมงค์ขนาดใหญ่โดยเจาะอุโมงค์ขนาดเล็กนำไปก่อน

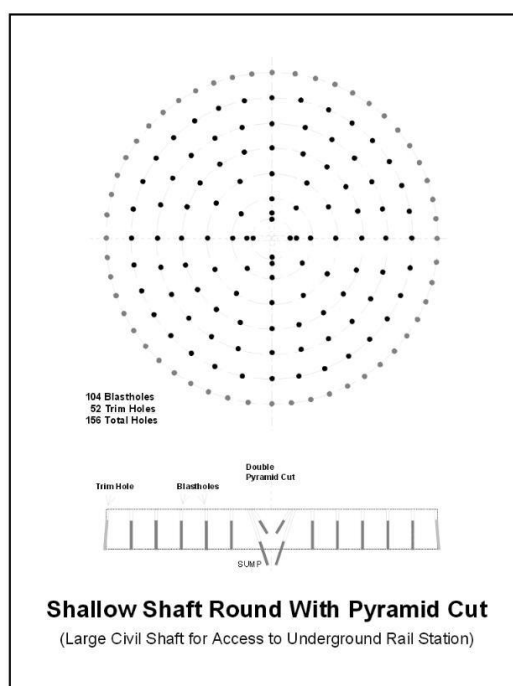
ตำแหน่งของอุโมงค์เล็ก ที่นิยมในการระเบิดนำไปก่อนคือบริเวณตอนบน เพื่อเป็นการเปิดพื้นที่ให้สามารถค้ำยันส่วนของเพดานไว้ก่อน ปกติการเจาะระเบิดอุโมงค์เล็กตอนบนจะเปิดตลอดความกว้างของอุโมงค์ และมีความสูงประมาณ $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของความสูงของอุโมงค์ การระเบิดอุโมงค์เล็กตอนบนนี้ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการระเบิดอุโมงค์แบบเต็มหน้า (Full Face)

จังหวะการเดินอุโมงค์เล็กและการระเบิดขยายอุโมงค์ให้เต็มหน้านั้น อาจทำการระเบิดอุโมงค์เล็กตอนบนจนสุดอุโมงค์ จึงค่อยระเบิดขยายอุโมงค์แบบ Benching หรือ อีกทางเลือกหนึ่งคือ ระเบิดอุโมงค์เล็กนำหน้าไปสักสองสามรอบ (Rounds) แล้วค่อยจัดให้มีการเจาะระเบิดทั้งสองทำไปพร้อมๆ กัน

วิธีการเจาะอุโมงค์โดยเจาะอุโมงค์เล็กนำไปก่อนนี้เหมาะกับการเจาะอุโมงค์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 10 เมตร ทั้งนี้สามารถใช้เครื่องเจาะ Jumbo Drill ที่ใช้เจาะอุโมงค์เล็กนั้น เจาะขยาย Benching หรือ Horizontal Stripping ให้เต็มหน้าอุโมงค์ โดยใช้เครื่องเจาะตัวเดียวกัน

3 การเจาะอุโมงค์แนวตั้ง (Shaft sinking)

การเจาะเป็นรูปพีระมิด(Pyramid Cut) เป็นการเจาะระเบิดอุโมงค์แนวตั้งที่นิยมมากที่สุด โดยเจาะรูระเบิดเป็นรูปพีระมิด บริเวณตรงกลางของอุโมงค์เพื่อเปิดช่องว่างให้หินที่อยู่รอบนอกเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ได้ปกติจะเจาะรูระเบิดเป็นมุมเอียงเข้าหากันเป็นรูปกรวยประมาณ 5-8 รูส่วนรูที่เหลือเป็นรูระเบิดในแนวตั้งรูระเบิดที่เจาะเป็นมุมทแยงมุมนี้จะเจาะเอียงจากแนวตั้งประมาณ 30 องศาและเจาะลึกกว่ารูอื่นๆด้านนอกเล็กน้อย ในหินที่แข็งมาก ๆ จะมีการระเบิดเปิดหินบริเวณตรงกลางของอุโมงค์ออกก่อน เพื่อให้การแตกของรูระเบิดรอบนอกได้ผลดียิ่งขึ้น (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 แสดงการเจาะอุโมงค์ตั้งแบบ พีระมิด (Pyramid cut)

การเจาะอุโมงค์แนวตั้งแบบ(Burn Cut)

การเจาะอุโมงค์แนวตั้งบางแห่งได้ใช้วิธีการออกแบบรูระเบิดแบบขนานกันทุกรู (Burn Cut) มาใช้แต่ไม่ค่อยแพร่หลายเหมือนการเจาะระเบิดแบบรุตแยงเนื่องจากความลึกที่ได้จากการระเบิดแต่ละรอบไม่มากเท่าการเจาะระเบิดแบบทแยง (รูปที่ 3.2)

การเจาะอุโมงค์แนวตั้งแบบมี 2 ระดับ (Sump Cut or Benching)

เป็นการเจาะอุโมงค์แนวตั้งที่เป็นอุโมงค์สี่เหลี่ยมโดยใช้แรงงานคน เจาะระเบิดด้วยเครื่องเจาะ Jack Hammer ระเบิดและขนหินขึ้นมาโดยแรงงานคนเป็นหลัก จะเจาะระเบิดอุโมงค์ออกเป็น 2 ส่วนมีส่วนที่นำหน้าไปก่อนครึ่งหนึ่งเพื่อให้มีน้ำไปขังอยู่ส่วนล่างที่เป็นSump ทำให้สะดวกในการเจาะและอัดระเบิดในอุโมงค์ส่วนบน (รูปที่ 3.2)

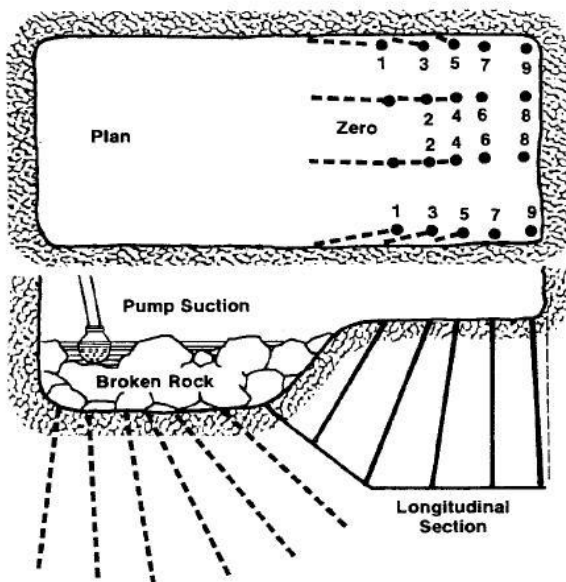


Figure 20-K. Benching illustrated above is a most efficient shaft sinking method.

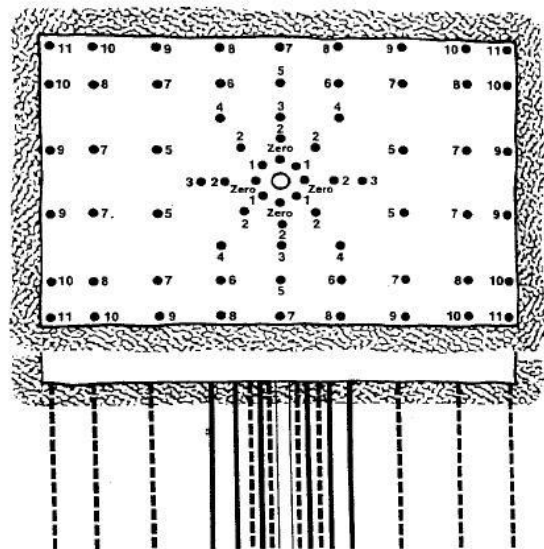


Figure 20-L. Typical pattern with large-diameter calyx drill hole offering relief.

รูปที่ 3.2 การเจาะอุโมงค์แนวตั้งโดยวิธี Benching และ Burn cut

บทที่ 4. การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแร่ในเหมืองใต้ดิน (Production Blast)

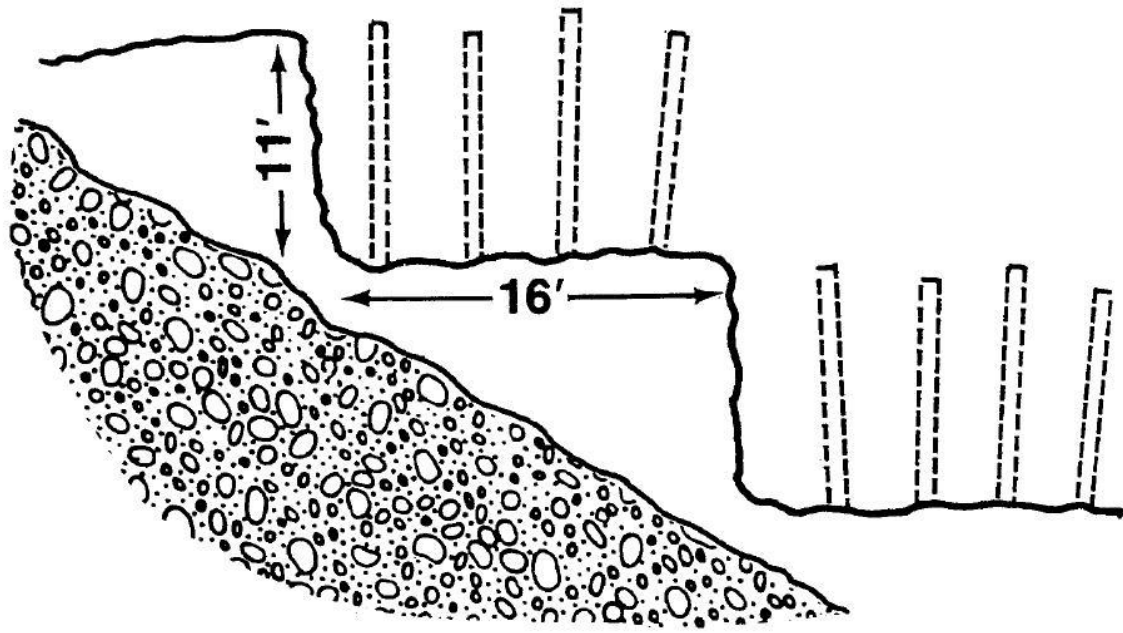
การเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในเหมืองอุโมงค์มีลักษณะแตกต่างไปจากการเดินอุโมงค์ทั่วไปเนื่องจากการทำงานมักมีพื้นที่กว้างกว่าและสามารถเลือกรูปแบบการเจาะอุโมงค์ได้หลากหลายมากกว่า การทำงานมีลักษณะคล้ายกับการเจาะอุโมงค์ขนาดใหญ่เพียงแต่ปรับเปลี่ยนรูปแบบการเจาะระเบิดให้เหมาะสมกับวิธีการทำเหมืองใต้ดินวิธีต่างๆ โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

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

4.1 การเจาะระเบิดสั้น (Shot-hole Production Blasts)

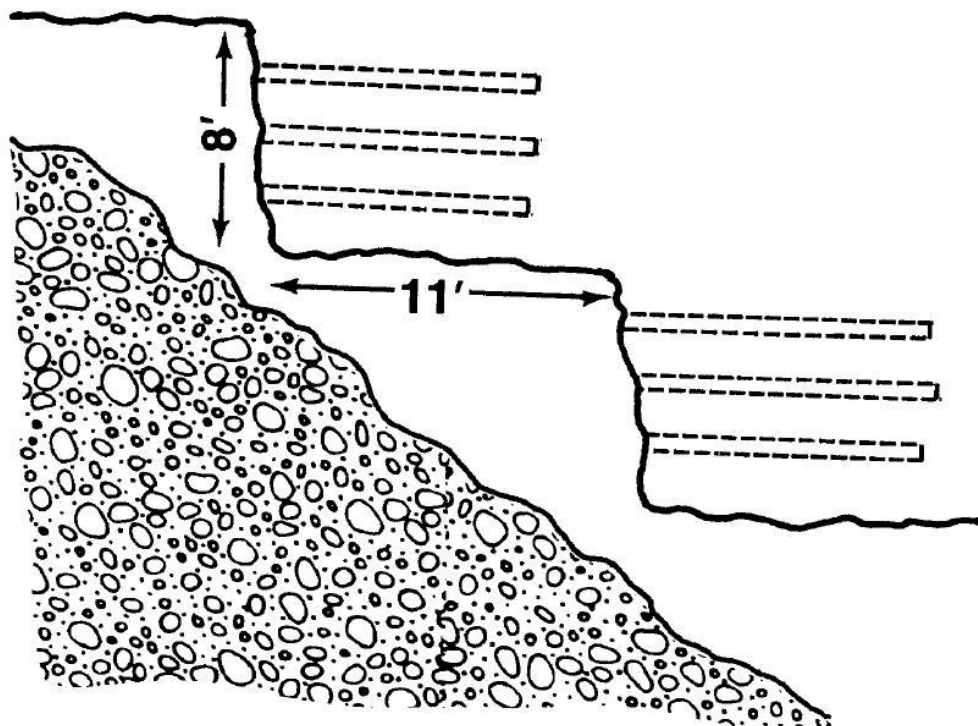
ในการเจาะระเบิดเพื่อการผลิตในเหมืองอุโมงค์ (Stope Blasts) เป็นการเจาะระเบิดในแหล่งแร่แบบสายแร่ที่วางตัวในแนวตั้งหรือเอียงมากๆ โดยเจาะระเบิดจากล่างขึ้นบน เมื่อระเบิดแล้วแร่จะตกลงไปกองตามแรงโน้มถ่วงของโลก และการเจาะระเบิดในแหล่งแร่ที่วางตัวในแนวนอนซึ่งมีการทำเหมืองโดยวิธีการทำเหมืองแบบ Room and Pillar ซึ่งมีการระเบิดเพื่อการผลิตแบบระเบิดกำแพง

การระเบิดแบบเจาะระเบิดสั้นๆนี้ใช้กับการระเบิดเพื่อการผลิตในเหมืองใต้ดินแบบ 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 ฟุต การทำงานแบบเจาะระเบิดจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Overhand Stoping) คนงานมักยืนเจาะระเบิดบนกองหินที่ได้จากการระเบิดครั้งก่อนเมื่อมีการขุดขนแร่ที่ระเบิดได้ออกไปแล้วบางส่วน การเจาะระเบิดมีทั้งเจาะขึ้นและเจาะแนวนอนขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้างาน



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

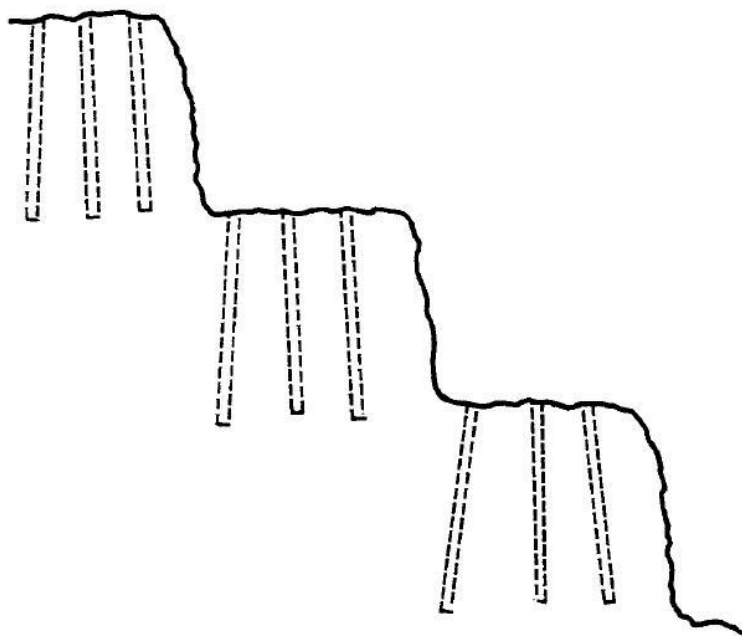
รูปที่ 4.1 การเจาะระเบิดรูสนับแบบเจาะขึ้น



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

รูปที่ 4.2 การเจาะระเบิดรูสนับแบบเจาะในแนวราบ

การทำงานแบบเจาะระเบิดจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง (Underhand Stopping) มักเป็นการทำงานแบบชั้นบันไดระเบิดเป็นแนวตั้งหรือเอียงเล็กน้อย



Underhand stoping in which the ore is blasted from above by means of vertical boreholes.

รูปที่ 4.3 การเจาะระเบิดรูสั้นแบบเจาะลงเป็นชั้นบันได

การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแบบเจาะอุโมงค์เต็มหน้าและการเจาะระเบิดแบบเจาะตบ
(Production Heading and Slab Rounds)

แหล่งแร่ที่วางตัวในแนวราบทั้งแร่โลหะและแร่โลหะเช่น แร่ เงิน ทอง ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ยูเรเนียม หินปูน เกลือหิน ฟอสเฟต ยิบซัมและถ่านหิน มีการทำเหมืองใต้ดินแบบ Room and Pillar หากสายแร่ กว้างน้อยกว่า 30 ฟุตมักเจาะระเบิดเพื่อผลิตแบบอุโมงค์เต็มหน้าโดยเจาะแบบ ทแยงมุมแบบ V-cut หรือ Fan Cut หาก การระเบิดอุโมงค์ในหินเนื้ออ่อนบางชนิดเช่นถ่านหินหรือเกลือหินจะใช้การเลื่อยหรือ เครื่องจักรช่วยในการเปิดช่องว่างให้มีหน้าอิสระเหมาะสมแก่การระเบิด (Machine cut) หรือ Kerf ขุดร่องเป็นคลองเลื่อย(Sawed kerf) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ด้านล่าง เพื่อเปิดเป็นช่องเปิดด้านบนหรือ ด้านล่างของอุโมงค์ เพื่อเปิดเป็นหน้าอิสระแทนการเจาะรู การใช้เลื่อยเปิดช่องลักษณะนี้ได้ประโยชน์อีก อย่างหนึ่งคือทำให้ได้ผนังอุโมงค์เรียบ การเจาะอุโมงค์ลักษณะนี้ต้องการออกแบบระยะ Burden โดยเฉพาะในรูแรกๆให้พอดีเนื่องจากหากแคบหรือกว้างเกินไปจะทำให้ระเบิดไม่ออก และส่งผลให้รู้ถัด

มาระเบิดไม่ออกไปด้วย กรณีที่ พื้นที่ในห้องกว้างๆ มักจะทำการเปิดช่องอุโมงค์เดินหน้าและเปิดช่องขนาน (Slapping) หลายช่องควบคู่กันไปเพื่อประหยัดการใช้วัตถุระเบิดและทำให้หินแตกละเอียดขึ้น

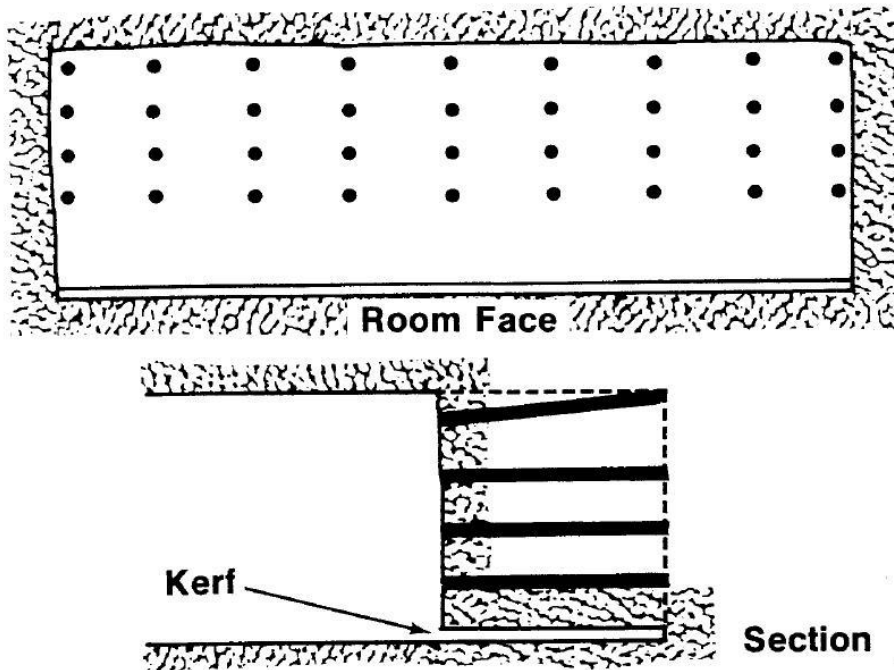


Figure 16-P. An example of a machine cut round used in production blasting of potash.

รูปที่ 4.4 การเจาะระเบิดรูสั้นแบบใช้เครื่องตัดช่วยเปิดช่อง (Machine cut)

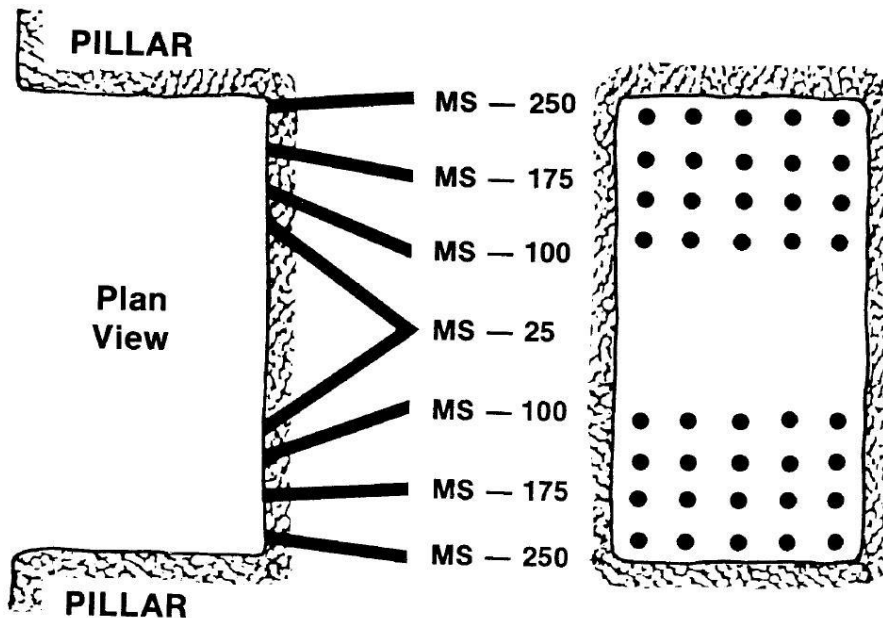
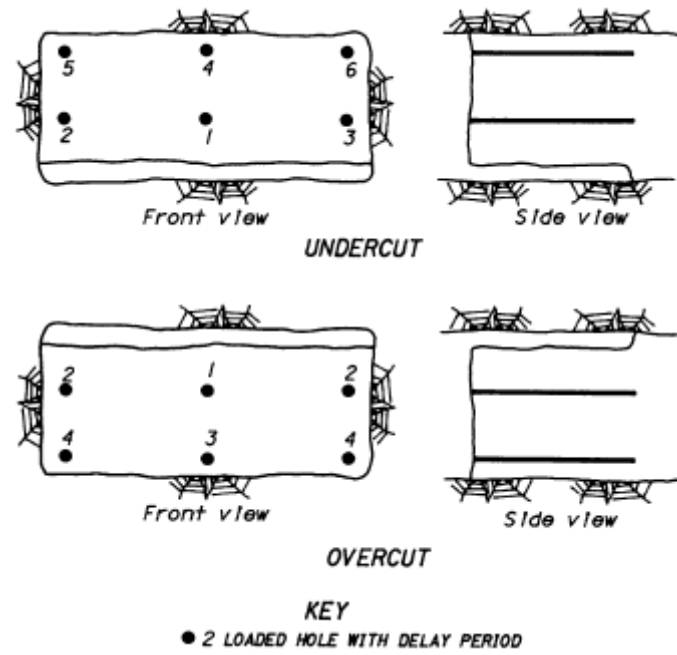


Figure 16-O. An example of a V cut round used in the production blasting of limestone.

รูปที่ 4.5 การเจาะระเบิดรูสั้นเป็นรูปตัววี



รูปที่ 4.6 แสดงการระเบิดอุโมงค์ในหินเนื้ออ่อนที่มีการเจาะร่องเพื่อเปิดเป็นหน้าอิสระ

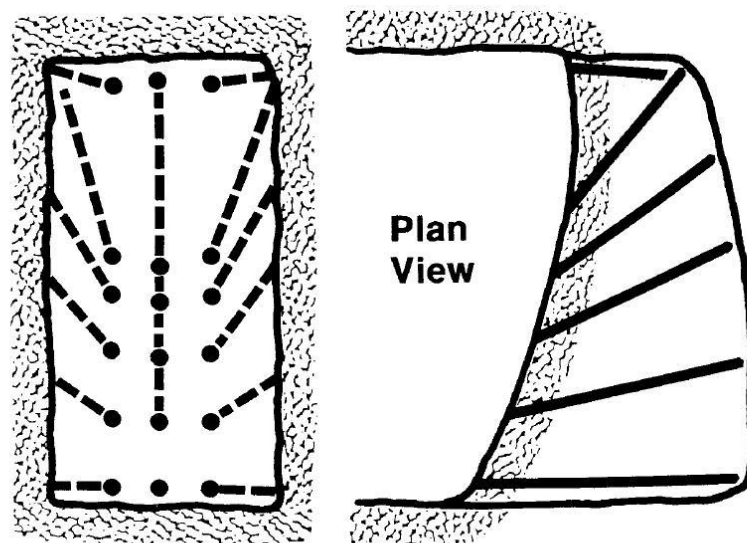


Figure 16-Q. An example of a fan cut round used in the production blasting of gypsum.

รูปที่ 4.7 การเจาะระเบิดรูสั้นเป็นรูปพัด

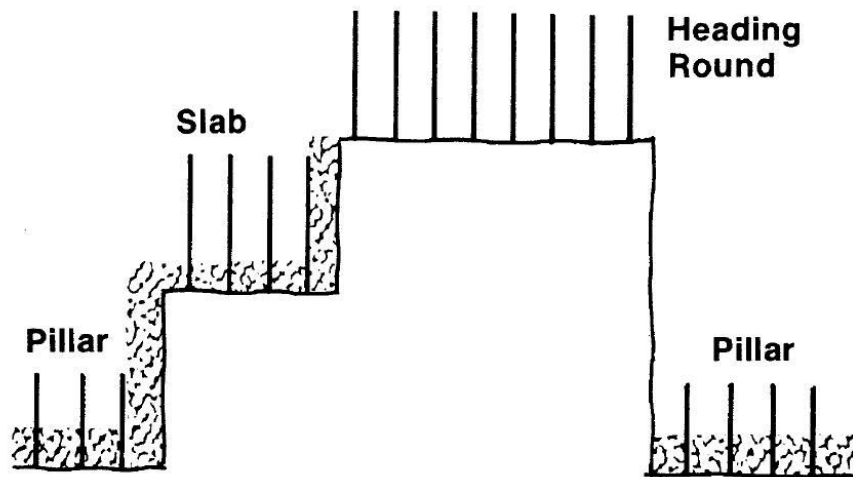


Figure 16-R. Slabbing to open heading reduces powder factor and improves fragmentation.

รูปที่ 4.8 การเจาะระเบิดรูสั้นแบบตบออกด้านข้าง (Slab Round)

การระเบิดแบบตบออกด้านข้าง (Slab Round) ยังใช้สำหรับขยายห้องในการทำเหมืองแบบ Room and Pillar และหากเห็นว่าผนังอุโมงค์ไม่พังกี้อาจระเบิดเอาเสาค้ำยัน (Pillar) ออกจนหมดก็ได้ (รูปที่ 4.10)

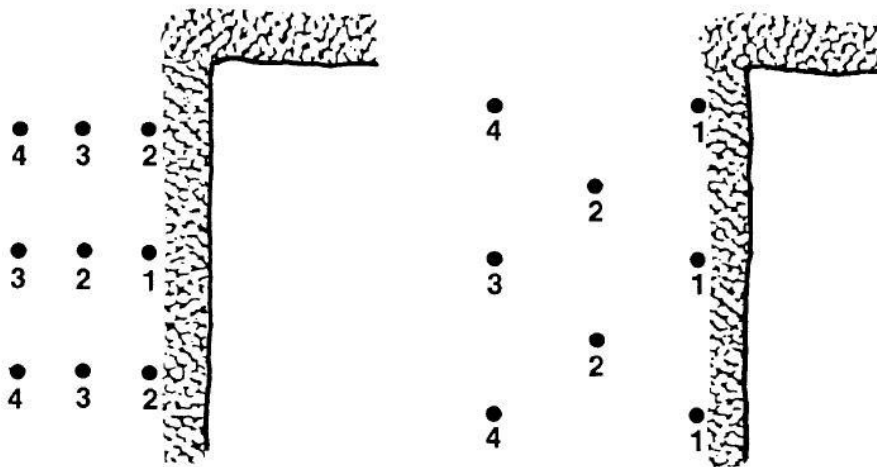


Figure 16-S. Same slab rounds (as Figure 16-R) used in "retreat" to recover minerals.

รูปที่ 4.9 การเจาะระเบิดรูสั้นแบบตบออกด้านข้าง (Slab Round)

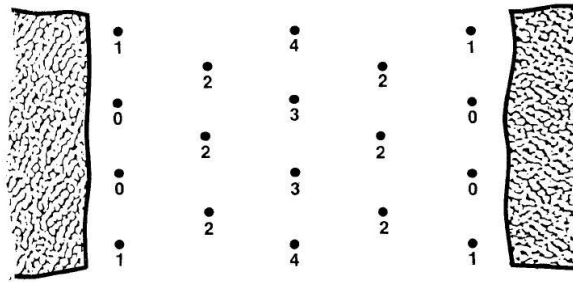


Figure 16-T. Where roof control is no problem, this setup removes pillar completely.

รูปที่ 4.10 การเจาะระเบิดรูสั้นระเบิดเอาเสาค้ำยัน (pillar) ออกจนหมด

Standard Blasting Round

คือการระเบิดเพื่อการผลิตที่ใช้กันทั่วไปในการทำเหมืองแร่ใต้ดินโดยวิธี Shrinkage Stopping แบบ Cut and Fill Stopping แบบ Square set และแบบ Top slice แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่การเจาะระเบิดแบบ Breast Stopping และ Overhand Stopping ทั้งสองวิธีใช้รูระเบิดขนาด 1.25-1 ½ นิ้วเจาะและอัดระเบิดด้วย วัตถุระเบิดชนิดแห้งหรือ ANFO ที่ใช้ลมหัด

Breast Stopping เป็นการเจาะรูระเบิดในแนวนอนความถี่ระยะ ยาว 6-12 ฟุต ตามความกว้างของอุโมงค์ เจาะระเบิดไปเรื่อยจนสุดแนวช่องเปิดของการทำเหมืองแบบ Cut and Fill Stopping (รูปที่ 4.11)

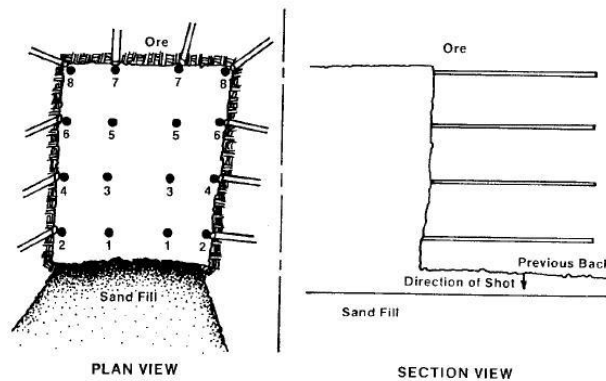


Figure 15.24. Typical Cut-and-Fill Breast Stope Round.

รูปที่ 4.11 การเจาะระเบิดรูสั้นแบบมาตรฐานที่ใช้ในเหมือง cut and fill stope

4.2 การเจาะระเบิดยาว (Long-hole Production Blasts)

การพัฒนาเครื่องเจาะระเบิดโดยเฉพาะเครื่องเจาะระเบิดแบบ DTH และ Rotary Drilling ทำให้สามารถเจาะระเบิดได้ลึกๆและมีความแม่นยำสูงทำการเจาะระเบิดในลักษณะเจาะขึ้น (Raising) มีเส้นผ่าศูนย์กลางระเบิด ระหว่าง 2.0-6 ½ นิ้วเจาะได้ลึกกว่า 250 ฟุต ทำให้การทำเหมืองใต้ดินได้พัฒนาไปมาก การทำเหมืองใต้ดินหลายแบบมีการใช้การเจาะระเบิดแบบรูยาวๆได้ ระเบิดขนาด โตกว่า 3.5 นิ้วมักใช้เครื่องเจาะระเบิด Down the Hole Drill แทนเครื่องเจาะ Top Hammer ความความยาวของระเบิดตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระเบิดมักเป็นไปตามขนาดระเบิดดังนี้

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระเบิด (นิ้ว)	ความยาวของระเบิดมากที่สุด(ฟุต)
6 ½	250-250
4 ½	75-100
2 ½	50

Vertical Crater Retreat (VCR)

เป็นวิธีการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในการทำเหมืองใต้ดิน ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Canadian Mining INCO ใช้สำหรับการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแร่ในแหล่งแร่ ที่เป็นสายแร่ที่วางตัวเป็นแนวตั้งหรือมีการเอียงตัว (Dip) เกือบเป็นแนวตั้ง ทั้งในสายแร่และหินข้างเคียง ซึ่งมักจะมีการทำเหมืองวิธีการ Shrinkage Stope หรือ Sublevel open stope การเจาะระเบิดแบบ Vertical Crater Retreat นี้ จะเจาะระเบิดเป็นรูปทรงกลมแทนการเจาะเป็นรูปทรงกระบอก เจาะระเบิดจากล่างขึ้นบนมีรูปร่างเป็นทรงกลมหัวแหลม (Spherical Shape) คล้ายหัวหอม ให้มีความยาวของระเบิดไม่เกิน 6 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ระเบิด มักใช้ระเบิดขนาด 6.0- 6 ½ นิ้ว และใช้เครื่องเจาะ Down The Hole Drill ในการเจาะรู VCR ที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์ตั้ง (Shaft) โดยการเจาะระเบิดจากล่างขึ้นบนเรียกว่าชื่อทางเทคนิคว่า Drop Raise เป็นการเจาะระเบิดปล่อยเจาะขึ้น (Raise) ที่มีการสร้างหัวปล่อง (Crater) ขึ้นโดยใช้ระเบิดขนาด 6 ½ นิ้วเป็นรูกลวงสุด ตามด้วยอนุกรมของระเบิด 4 รูรอบๆที่ระเบิดให้ปล่อง มีขนาด 4-5 ฟุต และระเบิดที่เหลือรอบๆระเบิดให้ปล่องมีขนาดกว้างประมาณ 10 x 10 ฟุต (รูปที่ 4.11)

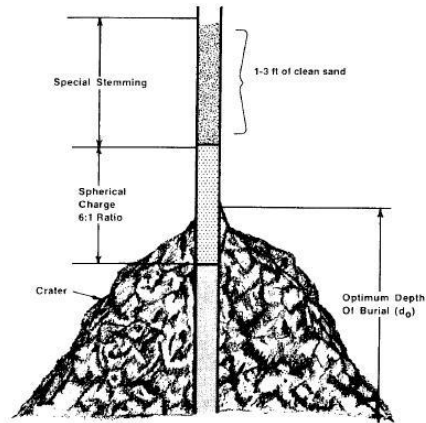


Figure 15.22. Typical Crater From Indicated Charge Placement.

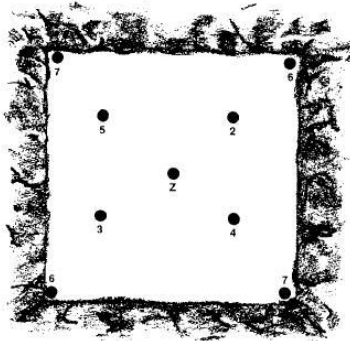


Figure 15.23. Vertical Crater Retreat (VCR); Drop Raise Pattern; Millisecond Delay; 6 1/2-in. Diameter Holes.

รูปที่ 4.11 การเจาะอุโมงค์ขึ้น แบบ VCR Drop Raise

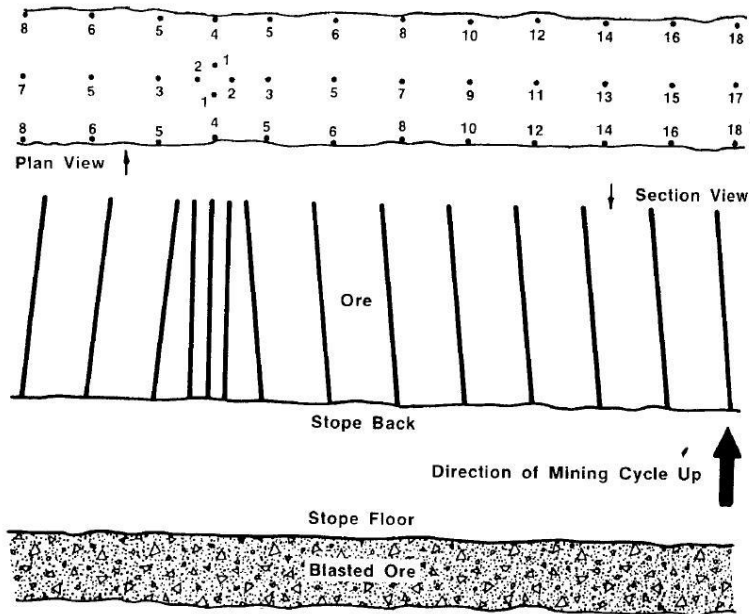


Figure 15.25. Typical Shrinkage Stope.

รูปที่ 4.13 แสดงวิธีการเจาะอุโมงค์แบบ Vertical Crater Retreat Method in Shrinkage Stope Mining

Vertical Crater Retreat (VCR) ยังสามารถนำมาดัดแปลงใช้ได้กับการทำเหมืองใต้ดินแบบ Open Stope โดยการเจาะระเบิดเป็นรูป ทรงกลมคล้ายหัวหอกเมื่อระเบิดแล้วจะจะแตกแระออกไปส่วนหนึ่ง

และเว้นแรมที่ระเบิดแล้วไว้ส่วนหนึ่งเพื่อให้สามารถไปยื่นเจาะระเบิดได้ เมื่อเจาะระเบิดแรมจากด้านล่าง Under cut ไปจนถึงจุดที่สามารถเจาะระเบิดแรมจากด้านบน (Over cut) จากอีกระดับ Level หนึ่งได้แล้ว ก็จะใช้การเจาะระเบิดรูยาวในการเจาะระเบิดเพื่อผลิตแรมแทน การเจาะระเบิดแบบรูยาวอาจใช้การเจาะรูปแบบขนานกันหรือเจาะเป็นรูปวงแหวน (Ring Cut) ก็ได้ ลำดับการทำงานของการพัฒนา VCR stope คือ

- เจาะอุโมงค์สำหรับขนส่งแรมและสร้างช่องนำแรมออกจากด้านล่างของสายแร่ตลอดแนวสายแร่
- เจาะระเบิดระเบิดแรมจากด้านล่างระบายแรมออกบางส่วนแล้วขึ้นไปยื่นเจาะระเบิดบนแรมที่ระเบิดแล้วจากครั้งก่อน
- เมื่อระเบิดแรมไปจนถึงจุดที่สามารถเจาะระเบิดได้จากระดับบนจึงเจาะระเบิดจากระดับบน

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

การเจาะระเบิดจากด้านบน(Over cut) นิยมใช้เครื่องเจาะ Down the Hole Drill (DTH) หรือบางครั้งอาจเรียกว่า In the Hole Drill (ITH) หรือเครื่องเจาะชนิด Rotary Drill ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูระเบิดระหว่าง 140-205 มิลลิเมตร(5 ½- 8.0 นิ้ว) เจาะระเบิดในแนวตั้งขนานกันทุกรู จนสามารถระเบิดแรมทั้งหมดให้แตกออกไปกองอยู่ในระดับล่างได้ในคราวเดียว กรณีใช้ระเบิดขนาด 165 มิลลิเมตร(6 ½ นิ้ว) จะใช้ Burden และ Spacing ประมาณ 4x4 เมตร วัตถุระเบิดหลักที่ใช้ในการเจาะระเบิดโดยวิธีนี้มักใช้ ANFO ที่อัดด้วยเครื่องอัดระเบิดที่ใช้ลมอัดเนื่องจากเป็นวัตถุระเบิดที่มีราคาถูกที่สุด ทั้งนี้อาจใช้ ANFO ร่วมกับ Emulsion Explosive ได้ตามความเหมาะสม (รูปที่ 4.14-1.15)

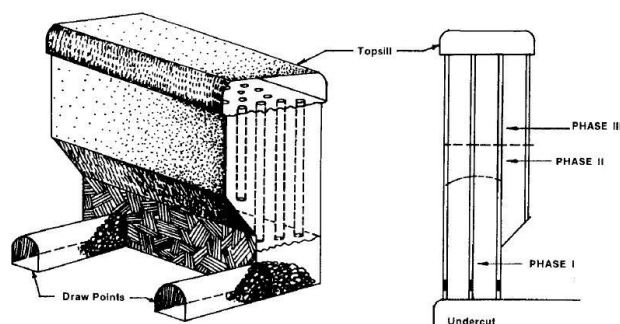


Figure 15.26. Vertical Crater Retreat.

รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการเจาะอุโมงค์ VCR ในอุโมงค์เปิด

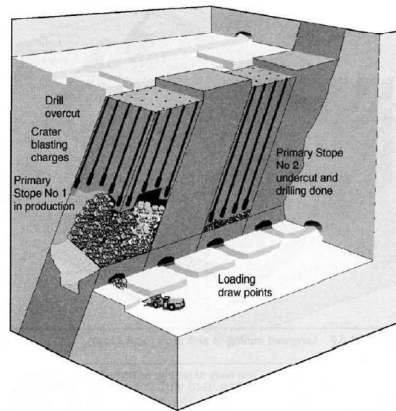


FIGURE 1.14 VCR mining, primary stopes

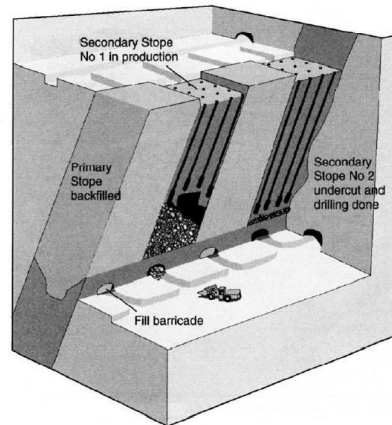


FIGURE 1.16 VCR mining, recovery of secondary stopes

รูปที่ 4.15 แสดงวิธีการเจาะอุโมงค์ VCR ในอุโมงค์เปิด

Vertical Crater Retreat Method in Open Stope Mining

การเจาะระเบิดรูยาวในการผลิตแร่ในเหมืองใต้ดินแบบ Sublevel Stoping ใช้วิธีการเจาะรูระเบิดขนานกันหรือเจาะเป็นรูปวงแหวน โดยใช้เครื่องเจาะระเบิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 นิ้วเจาะผ่านแร่ในแร่ระดับที่อยู่ห่างกันระหว่าง 60-100 ฟุตในแหล่งแร่ที่วางตัวชันมาก ๆ มักนิยมใช้การเจาะรูขนานกันส่วนการเจาะรูเป็นรูปวงแหวนใช้กับแหล่งแร่มวลใหญ่ (Massive ore body) การอัดระเบิดรูยาวในลักษณะนี้มักบรรจุ Primer ไว้หลายจุดและใช้การถ่วงเวลาเดียวกันเพื่อป้องกันการตัดขาดของแท่งระเบิดตลอดรูระเบิดยาวๆ เหล่านั้น (รูปที่ 4.16-4.17)

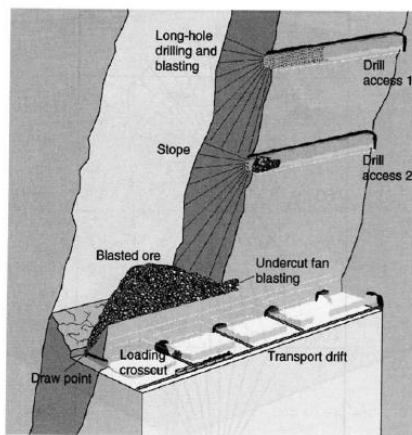


FIGURE 1.9 Sublevel open stoping

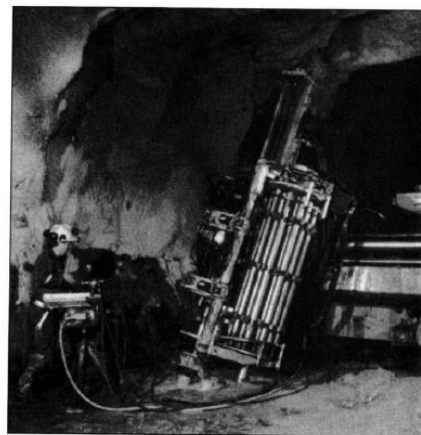


FIGURE 1.10 Longhole rig with slide positioning, remote control, and tube carousel, Williams gold, Canada

รูปที่ 4.16 การเจาะระเบิดรูยาวในเหมืองแบบ Sub-level (Long-hole Production Blasts in Sublevel Stope)

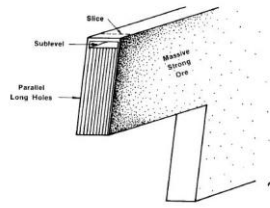


Figure 13.27: Parallel Long Holes to Open Sublevel Stope.

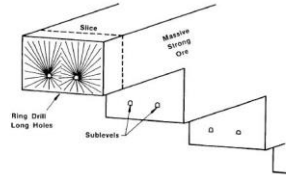


Figure 13.28: Ring Drill Pattern on Open Sublevel Stope.

รูปที่ 4.17 การเจาะระเบิดรูยาวในเหมืองแบบ Sub-level (Long-hole Production Blasts in Sublevel Stope)

Bighole open Stopping เป็นการทำให้เหมืองใต้ดินเช่นเดียวกับ กับวิธี Sublevel Stope แต่ใช้ระเบิดขนาดใหญ่กว่าคือมีขนาดระหว่าง 140-165 มิลลิเมตร (5 1/6 1/2 นิ้ว) ซึ่งนิยมใช้เครื่องเจาะ Down the Hole Drill สำหรับเจาะระเบิดรูระเบิดบางรูอาจยาวมากถึง 100 เมตรโดยอาจใช้เครื่องเจาะชนิด Top hammer ช่วยเจาะเสริม (Double length) รูปแบบการเจาะระเบิดคล้ายกับการทำเหมืองแบบ Sublevel Stope การใช้ระเบิดขนาด 140 มิลลิเมตรจะระเบิดแผ่นแร่หนา 4 เมตรและมีระยะ spacing ที่ปลายสุดของระเบิด 6 เมตร ข้อได้เปรียบของการทำเหมืองแบบ Bighole open Stopping ที่เหนือกว่าคือ Sublevel Stope คือสามารถขยาย sublevel ในแนวตั้งจาก 40 เมตรของ Sublevel Stope เป็น 60 เมตรใน Bighole open Stopping ได้ แต่ต้องระวังเรื่องความเสียหายของโครงสร้างหินจากการระเบิดวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสำหรับการใช้กับหินที่มีโครงสร้างไม่ค่อยแข็งแรงมาก ทั้งในโครงสร้างของสายแร่ (Ore body) และ หินข้างเคียง (Host rock) (รูปที่ 4.18)

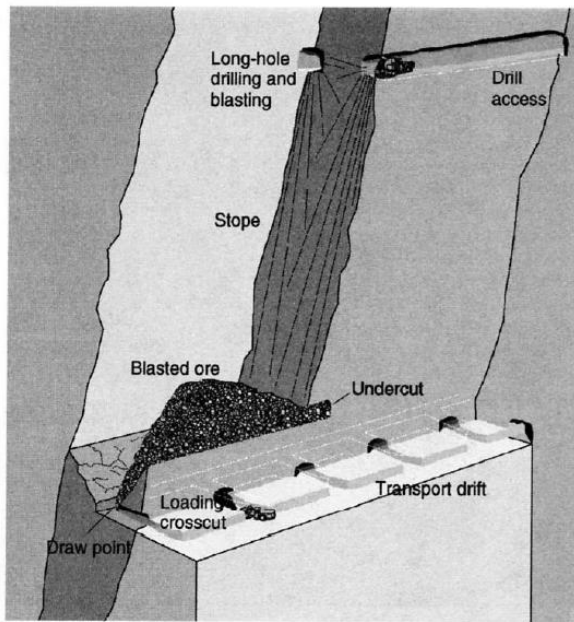


FIGURE 1.11 Bighole open stoping

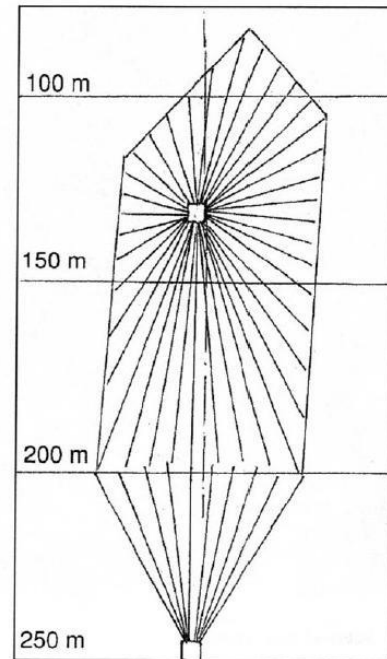


FIGURE 1.12 Bighole sample pattern, Mount Charlotte, Australia

1.3.6 Bighole Stoping

รูปที่ 4.18 การเจาะระเบิดแบบยาวในการทำเหมืองใต้ดินแบบ Bighole Stoping



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

รูปที่ 4.18 เครื่องเจาะ Down the Hole Drill ใช้เจาะระเบิดในการทำเหมืองใต้ดินแบบ Bighole Stoping

นอกจากนี้การเจาะระเบิดแบบรูลยาวเพื่อการผลิตแร่ในการทำเหมืองใต้ดินที่มีการเจาะระเบิดเป็นรูวงแหวนยังใช้กับการเจาะระเบิดที่เป็นการเจาะระเบิดจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Under cut) ในเหมืองใต้ดินแบบอื่นๆ เช่น แบบ Sublevel caving และ Block caving เป็นต้น (รูปที่ 4.19-4.20)

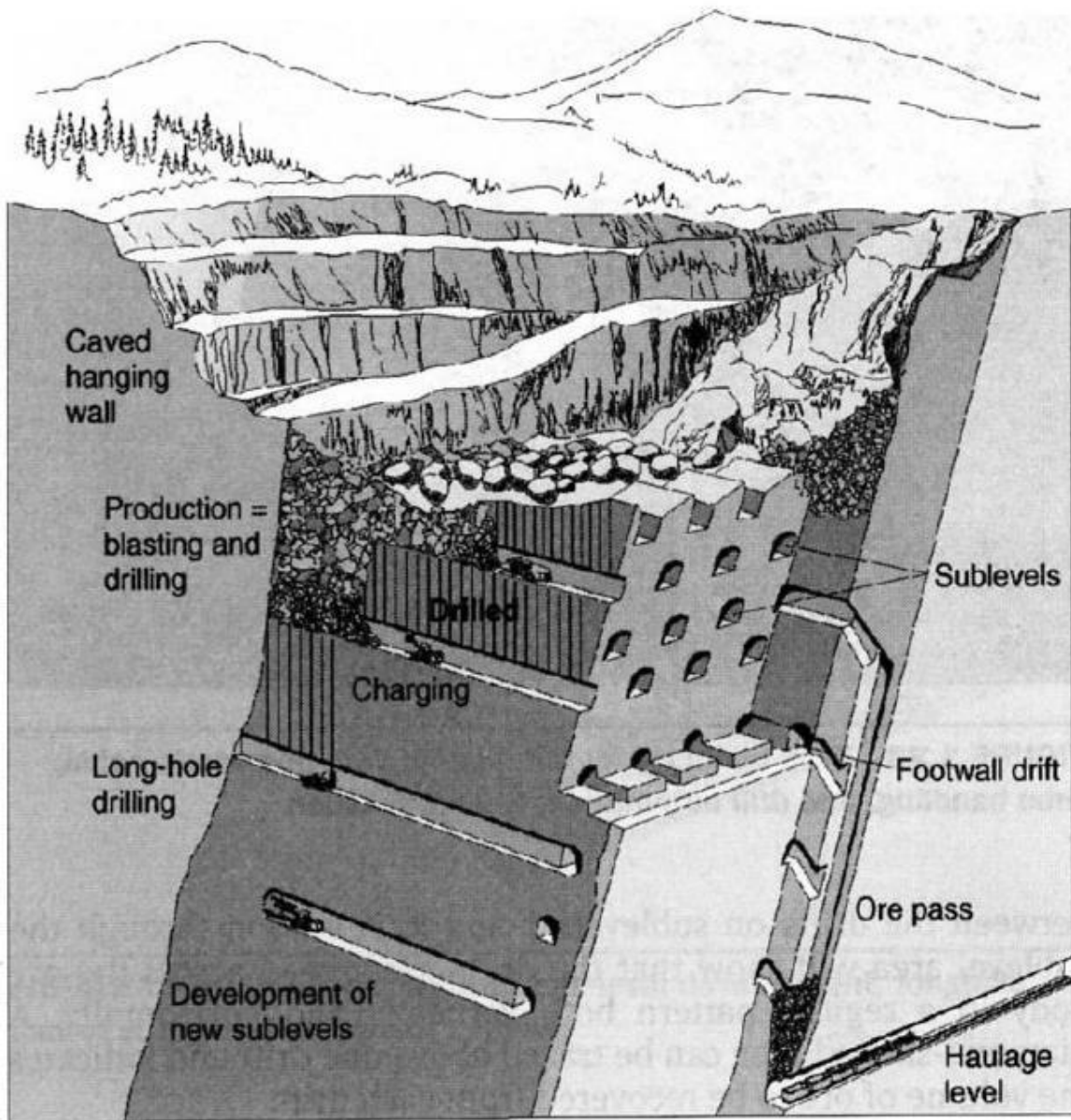


FIGURE 1.22 Mining by sublevel caving

รูปที่ 4.19 การเจาะระเบิดรูลยาวในการทำเหมืองแบบ Sublevel caving

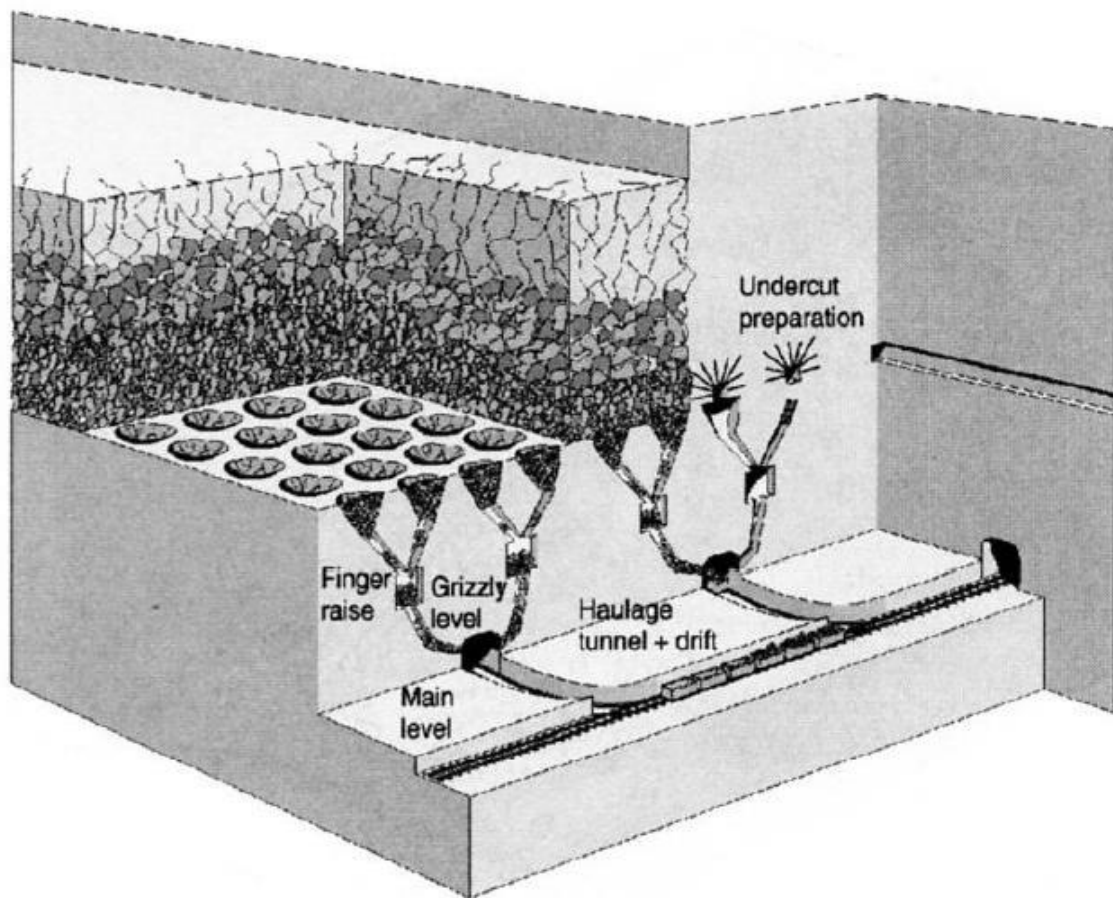


FIGURE 1.24 Block caving with finger raises, grizzly treatment and chute loading

รูปที่ 4.20 การเจาะระเบิดรูลยาวในการทำเหมืองแบบ Block caving

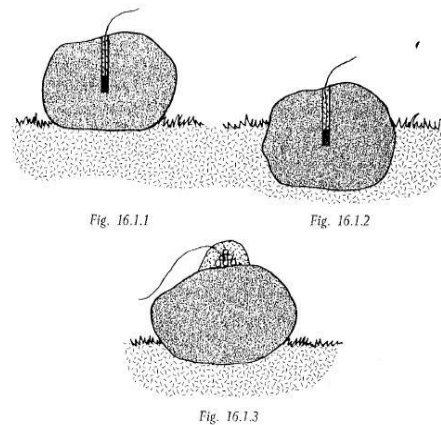
5. การใช้วัตถุระเบิดในงานอื่นๆ

5.1 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 ใช้ดินเหนียวปิดทับแล้วจุดระเบิดให้หินแตกออกเป็นก้อนเล็กลงวิธีการนี้ไม่ควรทำใกล้แหล่งชุมชน เพราะจะเกิดเสียง และ Air Blast ได้ง่าย (รูปที่ 5.1)

ปัจจุบันการทำเหมืองแร่ในประเทศไทยมักไม่อนุญาตให้ทำการระเบิดย่อยหินก้อนใหญ่โดยเฉพาะเหมืองแร่ที่อยู่ใกล้ชุมชน เพื่อป้องกันผลกระทบด้านเสียงและ Air Blast



รูปที่ 5.1 การระเบิดย่อยหินก้อนโต (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

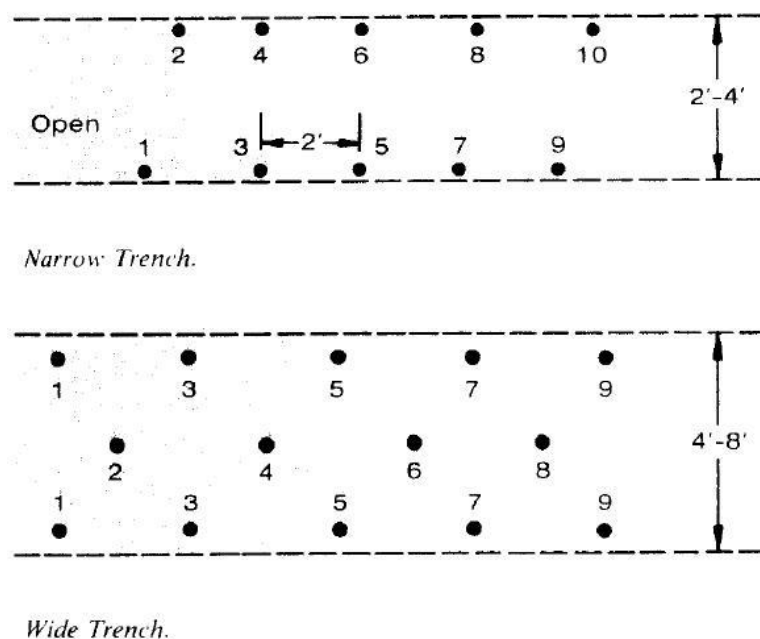
The table is calculated for a specific charge of 0.1 kg/m³ (see Fig. 16.1.1).

ตารางที่ 5.1 แสดงแนวทางการเจาะและการอัดระเบิดย่อยหินก้อนโต

5.2 การเจาะระเบิดเพื่อขุดร่อง (Trenching)

การระเบิดขุดร่องใช้ในงานขุดร่องสำหรับการวางท่อเช่นท่อขนส่งแก๊ส หรือน้ำมันดิบ ในพื้นที่ในเมืองการขุดร่องเพื่อวางท่อส่งน้ำ ท่อน้ำทิ้ง สายไฟฟ้า และสาธารณูปโภคอื่นๆ การเจาะระเบิดขุดร่องคือการระเบิดหินไปตามแนวความยาวของร่องแคบๆมากกว่าไปในแนวกว้างปกติความกว้างของร่องจะไม่เกิน 16 ฟุต(3 เมตร) การระเบิดขุดร่องเป็นการระเบิดเบนช์ชนิดหนึ่ง (Bench Blasting) แต่เป็นเบนช์ที่ความกว้างของเบนช์แคบเมื่อเปรียบเทียบกับความสูง ปริมาณวัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน (Powder factor) ของการระเบิดขุดร่องจึงมากกว่าการเจาะระเบิดเบนช์ทั่วไป ปริมาณวัตถุระเบิดต่อปริมาณหินจะมีค่าระหว่าง 3-6 ปอนด์ต่อลูกบาศก์หลา (1-2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ขึ้นอยู่กับชนิดของหินและขนาดความกว้างและความลึกของร่อง ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดลดลงเมื่อขนาดของร่องใหญ่ขึ้น ระเบิดที่ใช้สำหรับเจาะระเบิดขุดร่องมักใช้ระเบิดขนาด 1 ½- 3 ½ นิ้ว การระเบิดขุดร่องที่มีขนาดเล็กกว่า 2.4 เมตรปกติจะใช้รถเจาะดินตะขาบติดหัวเจาะ Top hammer ขนาดระเบิด 32-45 มิลลิเมตรแต่หากร่องกว้างกว่า 2.4 เมตรมักใช้ระเบิดขนาด 50 มิลลิเมตรขึ้นไป การขุดร่องขนาดเล็กขนาดเล็กกว่า 0.6 เมตรมักใช้เครื่องเจาะระเบิดขนาดเล็กเจาะรูใกล้ๆกันเพื่อให้หินแตกละเอียดได้ดี (รูปที่ 5.2.1)

ระเบิดที่ใช้ในการขุดร่องมักเจาะเป็นแถวไม่เยื้องกันที่ระยะ Spacing เท่าๆกันเจาะให้เอียงประมาณ 2:1-3:1 เจาะให้ลึกกว่าความลึกของร่องที่ต้องการประมาณ 10 % หรือไม่น้อยกว่า 0.2 เมตร ระยะ spacing ขึ้นกับชนิดของหิน วัตถุระเบิดที่ใช้ และขนาดของร่อง การจุดระเบิดใช้การถ่วงเวลาที่ทำให้หินแตกออกไปในทิศทางเดียวกัน กรณีที่เจาะระเบิดในแนวตั้งจะเจาะ Sub-drill ประมาณ 25 % ของระดับความลึกของร่องที่ต้องการ



รูปที่ 5.2.1 การเจาะระเบิดขุดร่อง

การเจาะระเบิดชุดร่องจะได้ผลดีขึ้นเมื่อมีการขุดหินที่ระเบิดหนก่อนออกเพื่อเปิดหน้าอิสระให้หินเคลื่อนตัวตามกันไปตามหน้าอิสระที่มีหากเป็นการระเบิดใกล้แหล่งชุมชนไม่ควรใช้สายชนวนระเบิดทำการจุดระเบิด ในอดีตมักใช้แก๊สไฟฟ้าที่มีอุปกรณ์ถ่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Sequential Blasting Machine) หากเป็นพื้นที่เสี่ยงควรมีการปิดคลุม ด้วย วัสดุป้องกันหินปลิวกระเด็นเช่น Blast Mats เพื่อป้องกันหินปลิวไปทำอันตรายแก่ชุมชนได้ กรณีใช้ Blast Mat ไม่ควรใช้การถ่วงเวลานานๆ (Long Period delay) เช่น half second delay เนื่องจากขณะระเบิดอุปกรณ์ปกปิดอาจยกตัวขึ้นและหินมีโอกาสปลิวไปถูกชุมชนได้ ปัจจุบัน นิยมใช้ Non-electric Detonator ในการจุดระเบิด (รูปที่ 5.2.2)

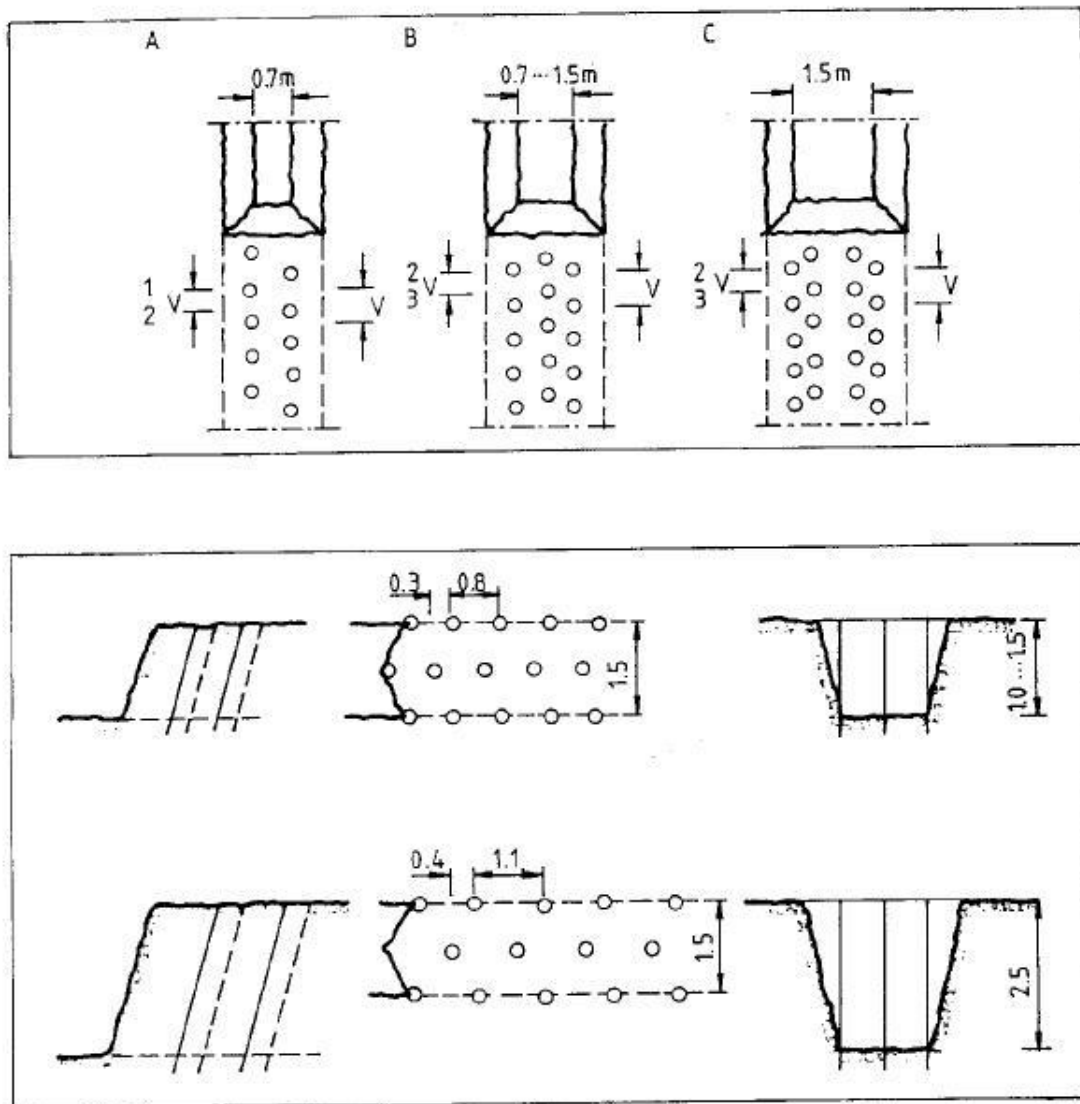


Figure 65. Hole placement for trenching.

รูปที่ 5.2.2 การเจาะระเบิดชุดร่อง

การอัดระเบิด หากมีการเจาะระเบิด 3 แถวจะอัดระเบิดรูกลางสุดมากกว่ารูด้านข้างประมาณ 20 – 30 % เพื่อให้ได้ผนังร่องเรียบ

Table 33. Trench blasting with ϕ 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 ϕ 50 mm and ϕ 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)	
		ϕ 50 mm (m)	ϕ 62 mm (m)	ϕ 50 mm B = 1.1 m B = 1.5 m	ϕ 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

ตารางที่ 5.2 แสดงแนวทางในการออกแบบ Pattern ของการเจาะระเบิดชุดร่อง

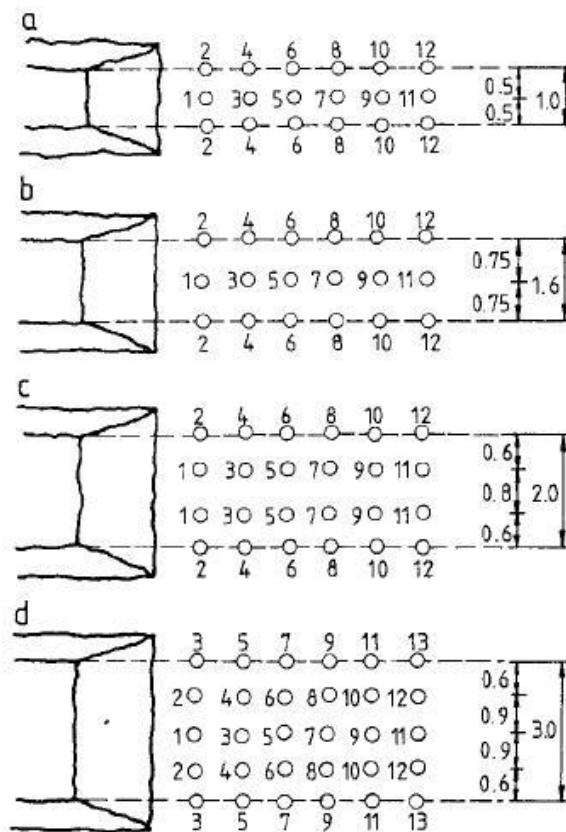


Figure 66. Smooth blasting for trench contours and initiation sequence in trench blasting.

รูปที่ 5.2.3 แสดงอนุกรมการจุดระเบิดการเจาะระเบิดชุดร่อง

5.3 การระเบิดหินใต้น้ำ (Under Water Blasting)

การระเบิดหินใต้น้ำอาจเป็นการขุดลอกหินเพื่อให้ร่องน้ำลึกขึ้น การขุดลอกคลองเพื่อให้เรือผ่านไปได้สะดวก เพื่อการวางท่อและเพื่อวัตถุประสงค์อื่น มีทั้งเป็นการระเบิดหินใต้น้ำจืดและใต้ทะเล การระเบิดหินใต้น้ำต้องทำด้วยความระมัดระวังมากกว่าการระเบิดหินบนบกทั่วไป เนื่องจากมีน้ำปิดคลุมบริเวณที่จะทำการเจาะระเบิดหินอยู่ การเจาะระเบิดหินใต้น้ำต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้แก่

- เครื่องเจาะระเบิดและอุปกรณ์การอัดระเบิดที่อาจแตกต่างไปจากการเจาะระเบิดบนดิน
- เลือกใช้วัตถุระเบิดที่กันน้ำได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงภายใต้แรงดันน้ำ
- ระบบการจุดระเบิดที่เชื่อถือได้
- การป้องกันความสั่นสะเทือนจากการระเบิด โดยเลือกใช้วัตถุระเบิดที่เหมาะสมและมีระบบการถ่วงเวลาในการจุดระเบิดที่สามารถป้องกันความสั่นสะเทือนได้ดี

ความสั่นสะเทือนจากการระเบิดหินใต้น้ำมักเกิดขึ้น มากกว่าการระเบิดหินบนบกเนื่องจาก เป็นการระเบิดภายใต้แรงดันน้ำซึ่งจะทำให้ความอัดแน่นของวัตถุระเบิด (Degree of Confinement) มี

มากกว่าจากการก่อกวนของน้ำด้านบน ทำให้การแพร่กระจายของความสั่นสะเทือนรอบๆการระเบิดจะแพร่กระจายได้มากกว่า

ในบริเวณที่ความสั่นสะเทือนจากการระเบิดอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างหรือเครื่องจักร เครื่องมือที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ต้องระมัดระวังให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด โดยการเจาะระเบิดครั้งละน้อยๆ และให้มีการถ่วงเวลาเป็นระยะเวลานั้นๆ

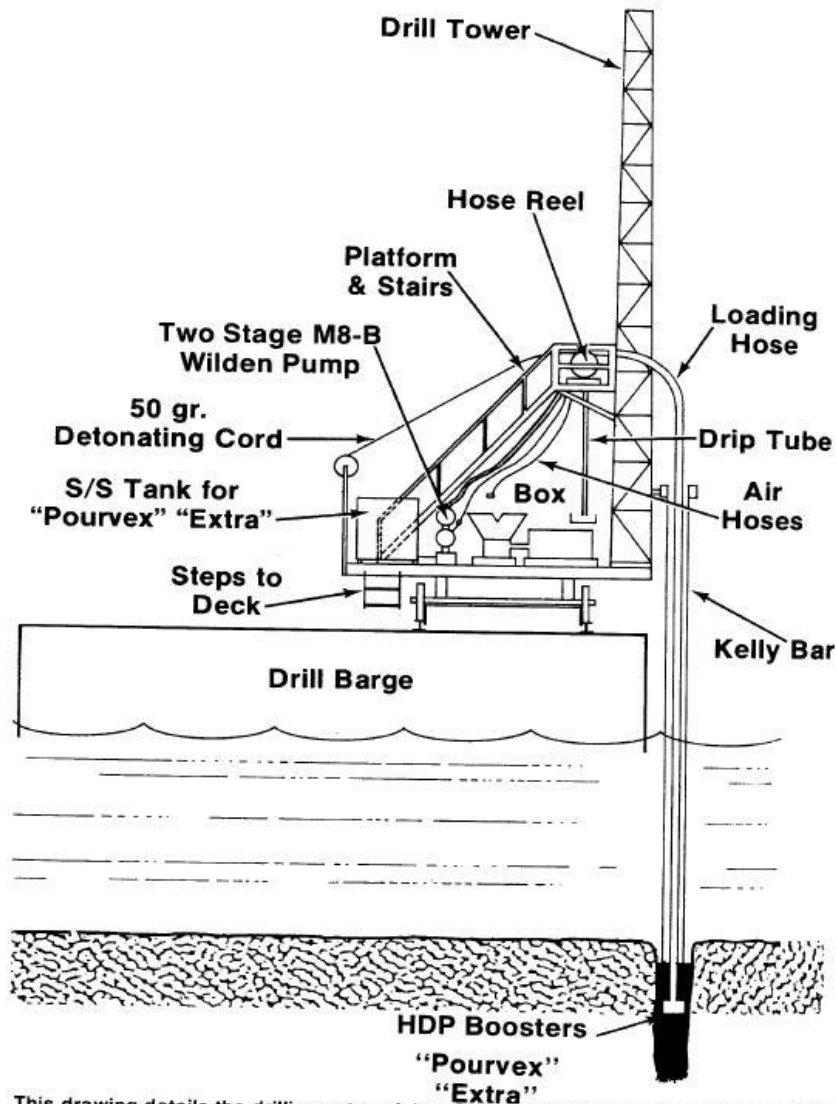
วิธีการหลักๆในการระเบิดหินได้น้ำมีสองประเภทคือการเจาะและการระเบิด (Drilling and Blasting) และการระเบิดที่ผิวดินใต้น้ำ (Dobying Method) การเลือกใช้วิธีการใดขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ สภาพการเจาะระเบิดได้หรือไม่ มีเครื่องมือเจาะระเบิดหรือไม่ กระแสน้ำและความลึก ขนาดของงานที่ต้องการระเบิดออก และปัจจัยอื่นๆ หากเป็นงานขนาดเล็กและไม่ลึกมากนักอาจใช้นักประดาน้ำ ดำน้ำลงไปเจาะระเบิดด้วยเครื่องเจาะ Jack hammer อัดระเบิดด้วยแก๊สไฟฟ้าและวัตถุระเบิดที่กันน้ำได้ดีเช่น Blasting Gelatin หากงานจำนวนมากและสามารถวางแผนเจาะได้ก็วางแผนเจาะระเบิด หรือหากสามารถสูบน้ำออกหรือทำเครื่องกันน้ำไว้แล้วเจาะระเบิดแบบแห้งเช่นเดียวกับการทำตอมหุ้มสะพานการทำงานก็จะง่ายขึ้น

การเจาะและการอัดระเบิดใต้น้ำมักใช้เครื่องเจาะระเบิดหลายๆเครื่องวางอยู่บนแท่นเจาะหรือเรือบาร์จ (Barge) ที่ใช้สมอหรือเสายึดเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของแท่น เครื่องเจาะที่ใช้อาจเป็นเครื่องเจาะ Top hammer Drill เครื่องเจาะ Down the Hole Drill หรือ Rotary Drill ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระเบิดระหว่าง 3 1/2-6 นิ้ว ขณะเจาะระเบิดต้องมีการใส่ท่อ (Sand pipe or Casing Tube) เพื่อป้องกันวัสดุบริเวณใกล้เคียงไปอุดในรูระเบิด

รูปแบบการเจาะระเบิดคล้ายกับการเจาะระเบิดหินบนดินแต่ระยะ Burden และ Spacing จะน้อยกว่าเล็กน้อย น้ำลึกมากขึ้นปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหิน ต้องมากขึ้นเช่นในหินไม่แข็งมากและน้ำลึกไม่เกิน 10 ฟุต อาจใช้วัตถุระเบิดเพียง 2-3 ปอนด์ต่อลูกบาศก์หลา (0.7-1.0 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ในน้ำลึกมากขึ้นและหินแข็งขึ้นอาจต้องใช้วัตถุระเบิดมากถึง 6 ปอนด์ต่อลูกบาศก์หลา (2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) วัตถุระเบิดที่ใช้มีทั้งแบบแท่งและที่เป็น Bulk Explosive ตัวอย่างเช่นน้ำลึก 15 เมตรรูระเบิด ขนาด 51 มิลลิเมตร ลึก 7.4 เมตร ระเบิดได้หินลึก 6 เมตร Burden and Spacing 1.4 เมตรอัดระเบิด 18 กิโลกรัมคิดเป็น Explosive Factor 1.53 kg/ m³ เป็นต้น

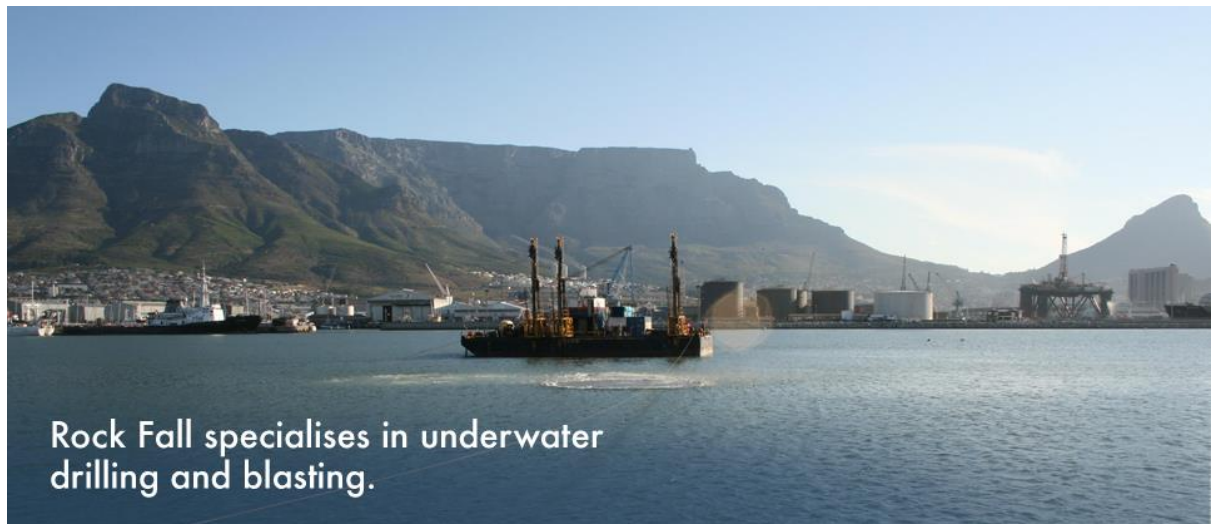
(Dobying Method) คือการนำระเบิดไปแปะไว้กับหิน โดยไม่ต้องเจาะระเบิดใช้สำหรับในกรณีที่ต้องการให้มีการนำหินออกเพียงบางๆ ในกรณีที่น้ำลึกมากจนเจาะระเบิดไม่ได้ หรือกระแสน้ำเชี่ยว หรือพื้นที่ห่างไกลไม่สามารถนำเครื่องเจาะระเบิดเข้าไปได้ การระเบิดปะการังหรือการระเบิดเศษหินที่ปิดจุดสำคัญเช่นทางเดินเรือทะเล โดยทั่วไปการระเบิดแบบนี้จะเปิดหินออกได้ไม่เกิน 3 ฟุต ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาณหินในการระเบิดวิธีนี้จะสูงกว่าวิธีการเจาะและอัดระเบิด ไม่น้อยกว่า 3 เท่าตัว ประสิทธิภาพของการระเบิดขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ระเบิดไปแปะอยู่กับหินหากมีทรายหรือดินเหนียวก้นอยู่ก็จะทำให้หินไม่ค่อยแตก

การระเบิดแบบแฉะโดยไม่ต้องเจาะรูระเบิดนี้หากทำในน้ำตื้นจะได้ผลไม่ค่อยดีและมีโอกาสเกิดผลกระทบด้านเสียงและ Air Blast การระเบิดจะได้ผลดีมากขึ้นเมื่อน้ำลึกมากขึ้นเนื่องจาก Degree of confinement เพิ่มขึ้นรูปแบบการวางระเบิดขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ โดยให้เริ่มจากระยะใกล้ๆ กันก่อน หากได้ผลดีค่อยขยายระยะขึ้นเช่นที่น้ำลึก 20 ฟุตให้ใช้ดินระเบิด 50 ปอนด์ทุกๆ ระยะ 6 ฟุต ควรใช้วัสดุปิดทับระเบิดเพื่อเพิ่มแรงระเบิด ให้ไปทำให้หินแตกให้มากขึ้นการจุดระเบิดใช้การจุดพร้อมกันทั้งหมดโดยไม่ต้องมีการถ่วงเวลา



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.

รูปที่ 5.3 แท่นเจาะระเบิดใต้น้ำ



รูปที่ 5.3.1 แท่นเจาะระเบิดใต้น้ำ

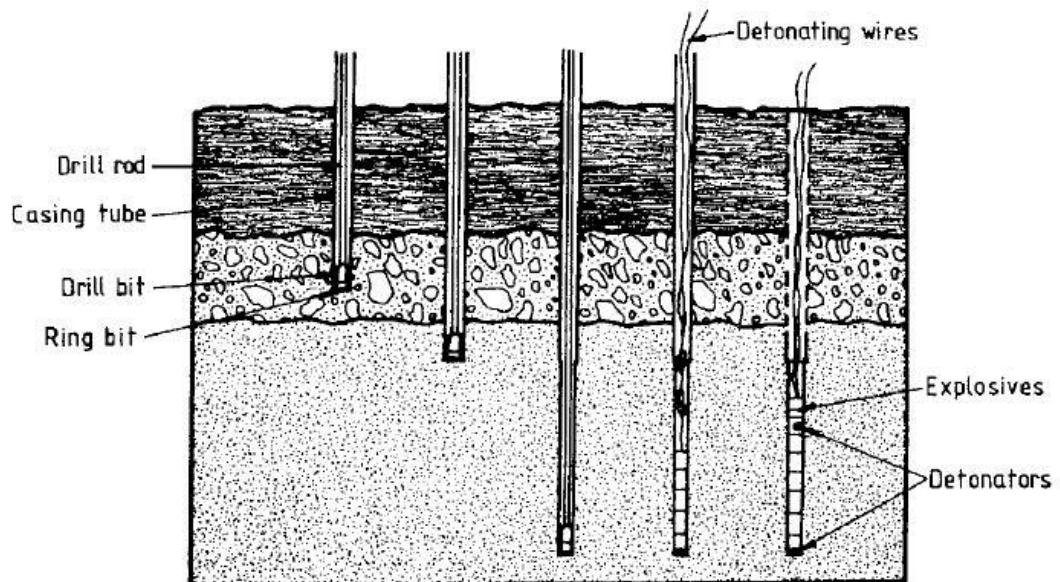


Figure 72. Overburden method (OD) for submarine drilling and blasting.

รูปที่ 5.3.2 การเจาะระเบิดใต้น้ำ

Drill hole diam. mm	Bench height m	Hole depth m	Water depth m	Burden m	Hole spacing m	Charge kg	Charge kg/m	Theoretically necessary kg/m ³
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

ตารางที่ 5.3.1 แสดงแนวทางรูปแบบการเจาะระเบิดหินได้น้ำ

5.4 การใช้วัตถุระเบิดในงานสำรวจแหล่งแร่ (Seismic Exploration)

การสำรวจแร่โดยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ ในการสำรวจแหล่งแร่โดยเฉพาะแหล่งน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ อาจใช้หลักการด้านแรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็ก การนำไฟฟ้าและการทำ Seismic วิธีการเหล่านี้การทำ Seismic เป็นวิธีการเดียวที่มีการใช้วัตถุระเบิดช่วย

การทำ Seismic ทำโดยการสร้างคลื่นเสียงหรือสัญญาณความสั่นสะเทือนที่บริเวณใกล้กับผิวโลก สัญญาณเหล่านั้นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกันลึกลงไปใต้ผิวโลกและสะท้อนกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณในลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถทำแผนที่ลักษณะธรณีโครงสร้างใต้ผิวโลก และทำนายแนวโน้มของตำแหน่งของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นน้ำมัน ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติได้ การสำรวจรายละเอียดโดยการเจาะสำรวจ จะทำในบริเวณที่มีแนวโน้มว่าจะมีแหล่งแร่เหล่านั้น

ลักษณะของคลื่นที่ใช้ในการทำ Seismic ที่ดีต้องเป็นคลื่นที่มีความคมชัด มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อเสียงต่ำคือมีเสียงดังไม่มากแต่ให้สัญญาณได้ดี มีระยะเวลาสั้นๆและสะท้อนกลับได้ดี คลื่นการระเบิดเป็นคลื่นที่มีพลังงานสูง เกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆเป็นคลื่นในอุดมคติสำหรับการทำ Seismic

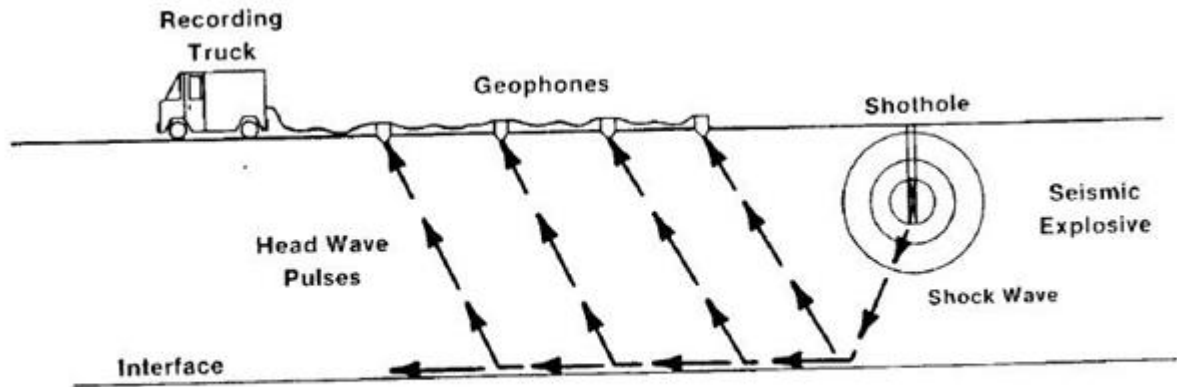


Figure 16.1. Simplified Seismic Setup.

รูปที่ 5.4 แสดงการเจาะระเบิดเพื่อการทำ Seismic

เมื่อเลือกจุดรับสัญญาณได้แล้วจะทำการเจาะรูระเบิดลึกประมาณ 20-400 ฟุตแล้วอัดระเบิดด้วยวัตถุระเบิดแรงสูงจำพวก Blasting Gelatin ที่มีความเร็วในการระเบิดมากกว่า 6,000 เมตรต่อวินาที และจุดระเบิดด้วยแก๊สไฟฟ้า

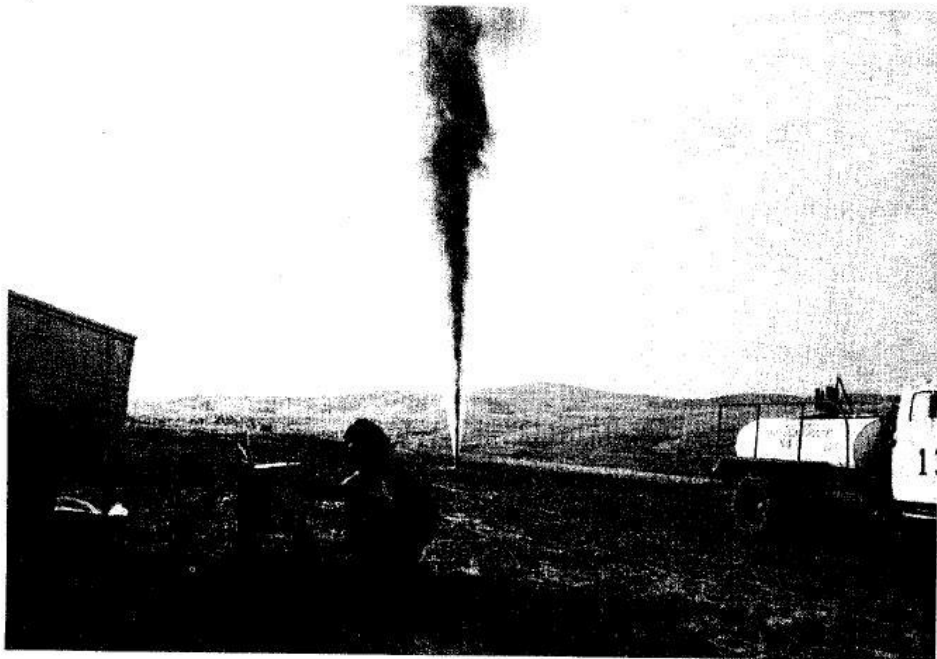
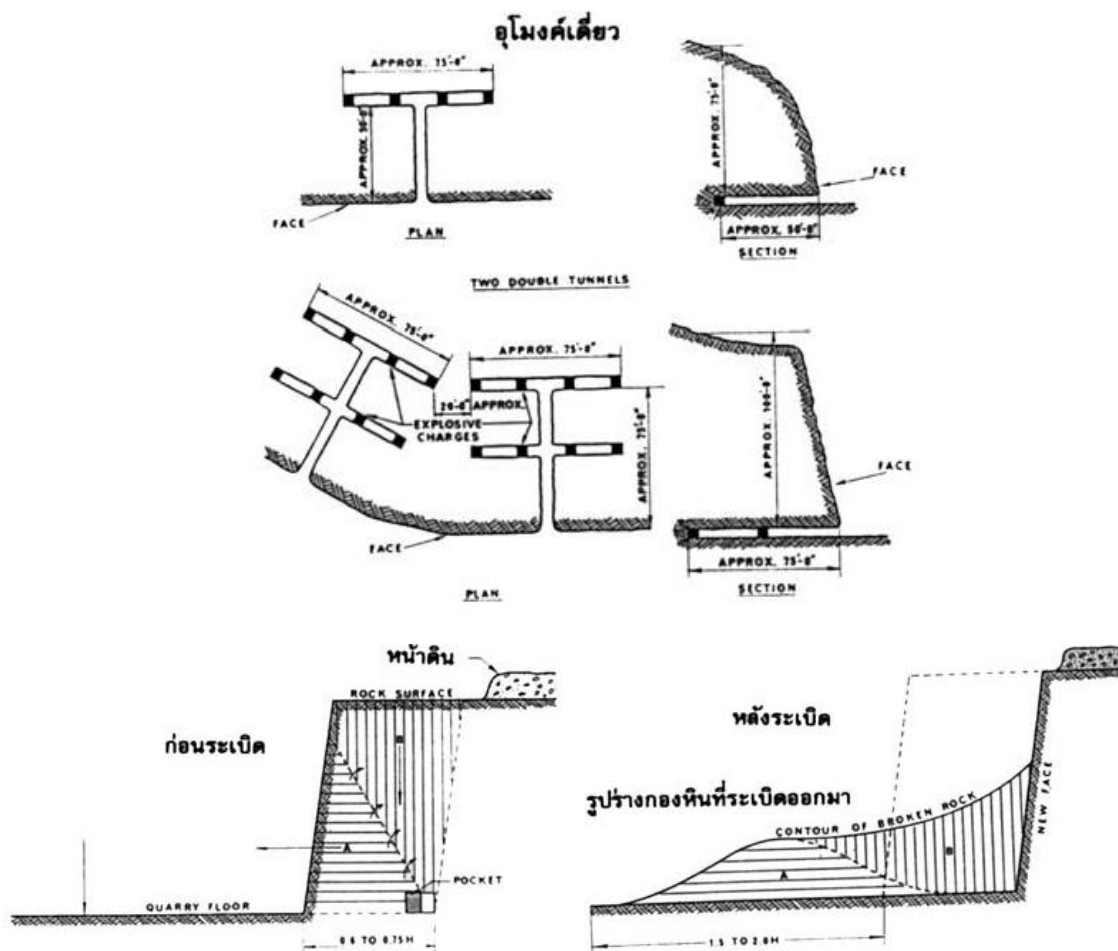


Figure 16.2. Shothole Fires for Seismic Instrumentation in Central Oregon.

รูปที่ 5.4.1 แสดงการระเบิดเพื่อการทำ Seismic

5.5 การเจาะระเบิดแบบ Coyote Blasting

Coyote Blasting คือวิธีที่ใช้การเจาะอุโมงค์ แล้วอัดระเบิดจำนวนมากในอุโมงค์แทนการเจาะรู และอัดระเบิดในรูระเบิดทั่วไป การเจาะอุโมงค์อาจมีการขยายอุโมงค์ด้านในให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถบรรจุวัตถุระเบิดจำนวนมากได้ตามต้องการ หน้าอิสระอาจเป็นยอดเขาหรือหน้าลาดชันของเนินเขา การจูดระเบิดมักใช้สายชนวนระเบิดและแก๊ปหนึ่งดอก(รูปที่ 5.5) การระเบิดโดยวิธีนี้ที่รู้จักกันดีคือการระเบิดหินโสโครกที่เรียกว่า Ripple Rock ซึ่ง เป็นอันตรายต่อเรือเดินทะเลบนช่องแคบเซมัว (Seymour Narrow) ห่างจากเมือง Vancouver รัฐ British Columbia ประเทศแคนาดาไปประมาณ 110 กิโลเมตร เมื่อวันที่ 5 เมษายน ปี 1958 ซึ่งได้ทำการระเบิดหินจำนวน 365,000 ตันในคราวเดียว โดยใช้ระเบิดแรงสูงจำนวน 1,378 ตัน ปัจจุบันการระเบิดวิธีนี้ไม่ค่อยมีการทำกันเนื่องจากไม่มีความปลอดภัยและประเมินความเสี่ยงของผลกระทบจากการระเบิดได้ยาก แต่มีรายงานยังมีการใช้กันอยู่ที่ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และ การระเบิดหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่แขวงคำม่วนประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ก็ใช้การระเบิดหินวิธีนี้



รูปที่ 5.5 Coyote Blasting

ภาคผนวก

การทำเหมืองใต้ดินและการประยุกต์การใช้งาน (Underground Mining Methods and Applications)

แบ่งออกเป็น 4 วิธีใหญ่ๆ ที่สำคัญคือ

1. การทำเหมืองที่ไม่ต้องมีการค้ำยัน (Self Supported Opening)

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

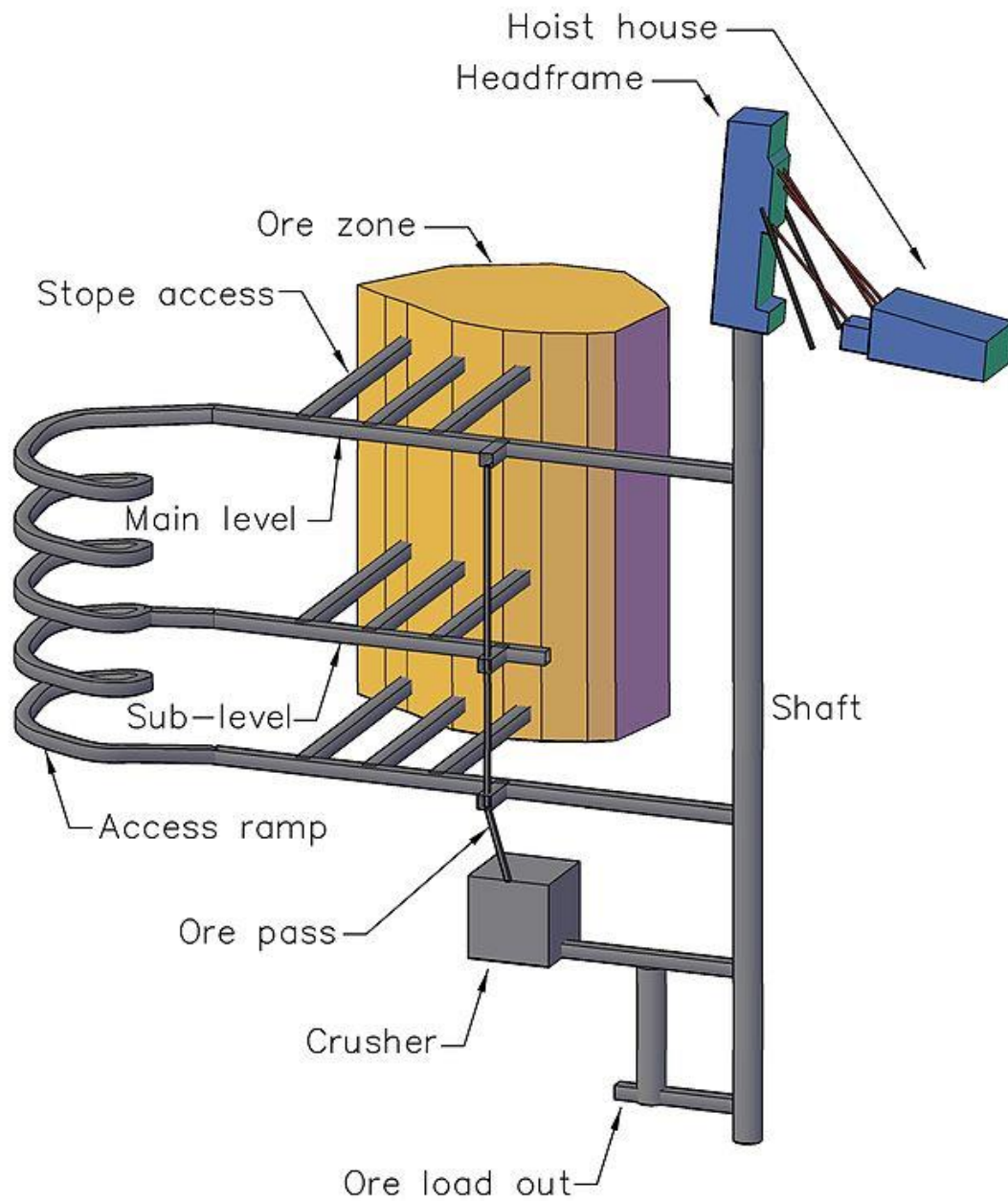
2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

- Cut and Fill Stopping
- Square Set and Fill Stopping
- Long Wall and Shot Wall Mining
- การทำเหมืองปล่องหรือเหมืองเจาะงัน (Gophering Hole)

3. Caving Mining

- Sublevel Caving
- Block and Panel Caving

4. การทำเหมืองละลายแร่ (Solution Mining)



ภาพ 3 มิติจำลองวิธีการทำเหมืองใต้ดิน

การทำเหมืองใต้ดินมักแบ่งแยกออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆคือขั้นตอนการพัฒนาหน้าเหมือง กับขั้นตอนการผลิตแร่ ขั้นตอนการพัฒนาหน้าได้แก่การช่องทางลำเลียงแร่ อุโมงค์แนวนอน แนวตั้ง (Shaft) วินช์ (winze) อุโมงค์ตามสายแร่ (Drifting) อุโมงค์ตั้งฉากกับอุโมงค์ตามสายแร่ (Crosscut) และอุโมงค์เจาะขึ้น (Raise) เป็นต้น ในขั้นตอนการผลิตแร่มักเรียกกันกว้างๆว่า Stopping กับ Caving วิธีการในการผลิตแร่

ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของสายแร่และหินข้างเคียงเป็นสำคัญ ทั้งนี้แต่ละวิธีต้องมีความปลอดภัยในการทำงานและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่จะผลิตแร่ออกมาขายได้อย่างมีกำไร

1. การทำเหมืองที่ไม่ต้องมีการค้ำยัน (Self Supported Opening)

การทำเหมืองที่ไม่ต้องมีการค้ำยัน (Self-Supported Opening)

Open Stopping หรือการทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่ง เป็นการทำเหมืองใต้ดินที่ปล่อยให้โครงสร้างของหินที่มีความแข็งแรงมาก ค้ำยันตัวเองโดยไม่ต้องมีการค้ำยันอุโมงค์ หรืออาจใช้อุปกรณ์ค้ำยันบ้างเพียงเล็กน้อยในบริเวณที่โครงสร้างของหินไม่ค่อยแข็งแรง การทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่งต้องระมัดระวังอย่าให้มีขนาดอุโมงค์กว้างมากเนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการพังทลายได้โดยง่าย

การทำเหมืองในสายแร่เล็กและแคบ (Vein Mining)

สายแร่ขนาดเล็กและแคบเช่นसानแร่ทองคำที่อยู่ในแร่ควอตซ์ อาจมาความกว้างเพียงครึ่งเมตรแต่มีความสมบูรณ์ของทองคำมากถึง 20 กรัมต่ตันจะมีการทำเหมืองโดยเจาะระเบิดเอาเฉพาะสายแร่และทั้ง หินข้างเคียงทั้งในส่วนที่เป็น Hanging wall และ Footwall เอาไว้โดยไม่ต้องค้ำยันได้มีการผลิตเครื่องเจาะระเบิดและเครื่องจักรสำหรับขุดขนแร่ในสายแร่แคบๆขนาดเล็กกว่า 2 เมตรเหล่านี้ขึ้นมาเช่นเครื่องเจาะระเบิดที่ใช้สำหรับเจาะระเบิดในสายแร่แคบโดยเฉพาะ เครื่องเจาะระเบิดแบบรูลยาวสำหรับสายแร่ขนาดเล็ก LHD ขนาด ฟุงกี 2 ลูกบาศก์เมตรที่ทำงานได้ในสายแร่ขนาดกว้าง 2 เมตร หรืออาจใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียวสำหรับในแหล่งแร่เกรดสูงขนาดแคบๆโดยเข้าไปเจาะระเบิดและขนแร่ออกโดยใช้แรงงานคนและอุปกรณ์ขนแร่ที่เข็นออกมาได้ด้วยคนงาน

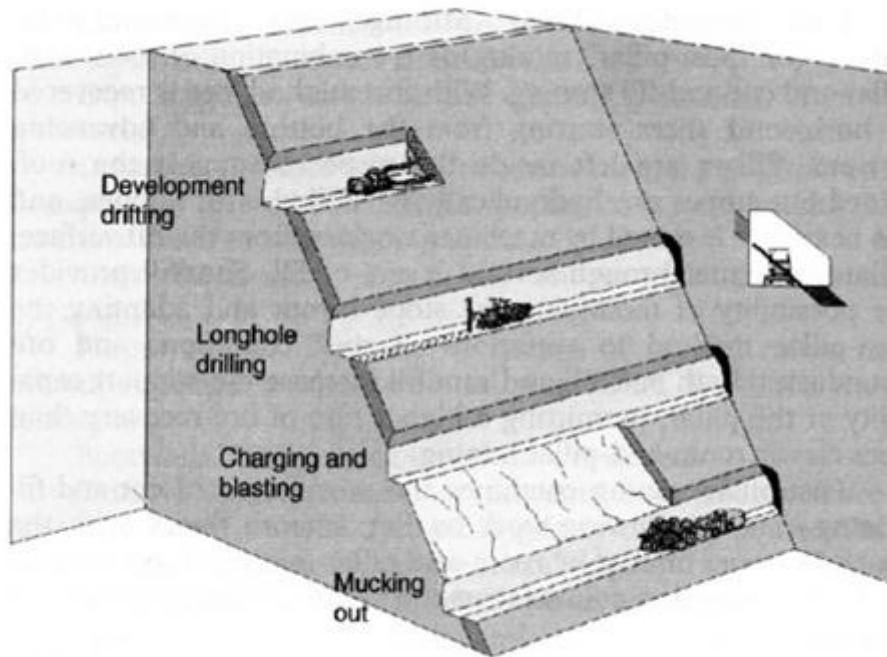


FIGURE 1.5 Mining a narrow vein with steep dip



FIGURE 1.6 Small size drill jumbo, Dome mine, Canada

การทำเหมืองแบบช่องว่างและมีเสา (Room and Pillar)

มักใช้ผลิตแร่ที่มีความสมบูรณ์ต่ำหรือแร่ที่มีราคาถูกที่สายแร่วางตัวอยู่ในแนวนอนหรือค่อนข้างเป็นแนวนอนวิธีการที่พื้นฐานที่สุดคือการเดินหน้าอุโมงค์การผลิตที่ความสูงและความกว้างของอุโมงค์ใน

ระดับหนึ่งที่ไม่ต้องมีการค้ำยันอุโมงค์แล้วไปเชื่อมต่อกับอุโมงค์ผลิตอีกอุโมงค์หนึ่งโดยตัดกันเป็นมุมฉาก ส่วนที่เหลืออยู่ก็จะกลายเป็นเสาค้ำยันอุโมงค์ไปในตัว ขนาดของช่องว่างและเสาค้ำยันขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ของโครงการด้านผลตอบแทนการลงทุน มูลค่าแร่ที่เหลือไว้ค้ำยันมีมูลค่าน้อยกว่าการใช้วัสดุอื่นมาค้ำยันแทน หากพบว่าการค้ำยันสามารถลดปริมาณเสาลงได้ได้อย่างคุ้มค่าเช่นการใช้ Roof bolt หรือเสาที่ทำจากไม้หรือเหล็กก็จะเอาแร่ออกโดยใช้เสาหรือการค้ำยันวิธีอื่นแทน หรือหากพบว่าการเอาส่วนที่ค้ำยันออกทั้งหมดแล้วผนังเพดานยังไม่พังลงมาก็อาจเอาเสาออกทั้งหมดก็ได้ รูปด้านล่างแสดงการทำเหมืองใต้ดินแบบช่องว่างและเสา ชนิดเสาค้ำยัน ปกติและเสาค้ำยันแบบสุ่ม

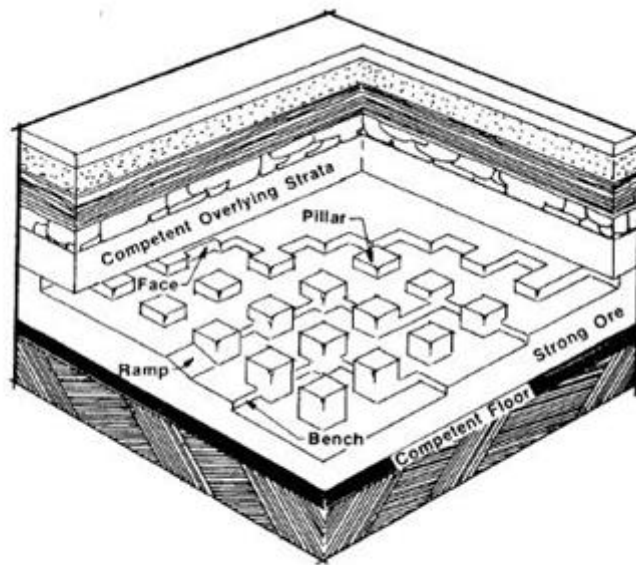


Figure 15.1. Room-and-Pillar Method with Regular Pillars.

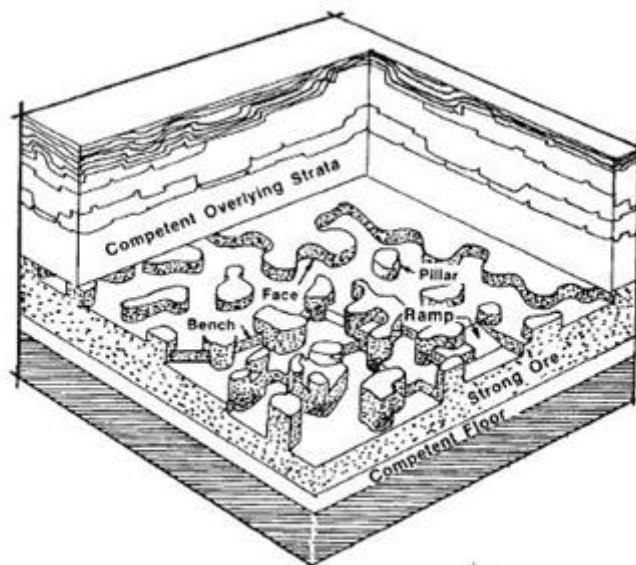


Figure 15.2. Room-and-Pillar Method with Random Pillars.

Shrinkage Stope

เป็นการทำเหมืองใต้ดินในสายแร่ที่มีความลาดชันมากโดยการเจาะระเบิดแร่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ในลักษณะคล้ายแร่ถูกระเบิดออกเป็นแผ่นๆในแนวราบ แร่ที่ระเบิดแล้วจะถูกลำเลียงออกไปบางส่วนและเว้นไว้สำหรับค้ำยันอุโมงค์และเป็นพื้นที่สำหรับการยื่นเจาะระเบิดในรอบถัดไป จนเมื่อถึงระดับที่ระเบิดแร่ออกหมดแล้วจึงระบายแร่ทั้งหมดออกได้ ช่องว่างที่เกิดขึ้นอาจมีการเติมกลับด้วยหางแร่ผสมซีเมนต์หรืออาจเว้นว่างไว้เฉยๆก็ได้

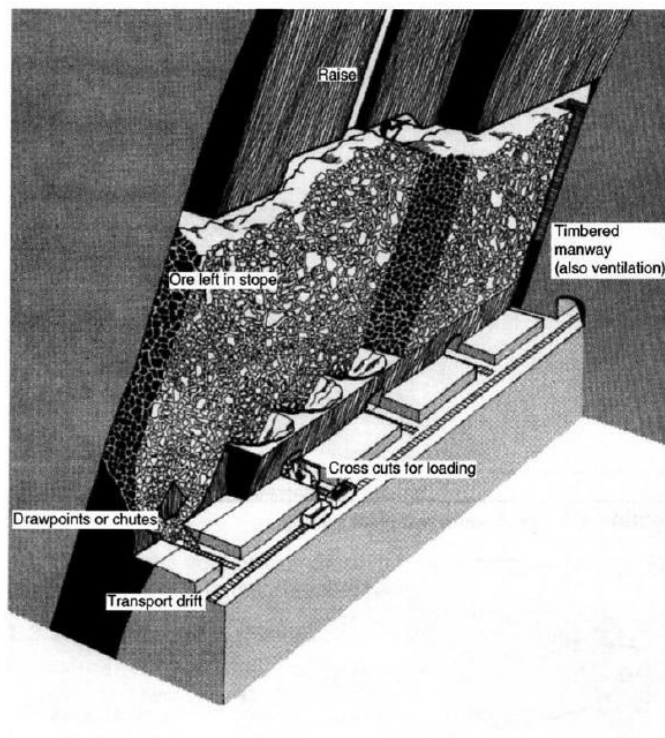


FIGURE 1.8 Shrinkage stoping with cross-cut loading

การเจาะระเบิดเพื่อการผลิตแร่ในการทำเหมืองแบบ Shrinkage Stope อาจใช้ระเบิดรูสั้นทำการระเบิดในลักษณะคล้ายแร่ถูกระเบิดออกเป็นแผ่นๆในแนวราบ หรือการใช้ระเบิดแบบรูยาวโดยวิธี Vertical Crater Retreat (VCR) แล้วแต่สภาพของสายแร่และหินข้างเคียง ข้อเสียของการทำเหมืองแบบนี้ก็คือต้องใช้แรงงานคนเป็นหลักและต้องเว้นแร่ที่ระเบิดแล้วไว้ใน Stope เป็นเวลานาน สายแร่และหินข้างเคียงต้องมีความแข็งแรงพอที่จะมีเสถียรภาพโดยไม่ต้องมีการค้ำยัน และหินข้างเคียงด้านล่างสายแร่ (Foot wall) ต้องมีความลาดเอียงมากพอที่จะทำให้แร่ที่ระเบิดแล้วไหลลงมาเองได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง แต่มีข้อดีคือใช้เครื่องจักรเครื่องมือน้อยทำให้มีเงินลงทุนต่ำ

การทำเหมืองใต้ดินแบบ Sub-level Stopping

เป็นการทำเหมืองใต้ดินในสายแร่ที่วางตัวในแนวดิ่งหรือแนวเอียงมากๆ เช่นเดียวกับสายแร่ที่มีการทำเหมืองโดยวิธี Shrinkage stope และ Cut and Fill สายแร่และหินข้างเคียงต้องมีความแข็งแรงดีมากและไม่พังทลายได้ง่ายขณะมีการทำเหมืองโดยไม่ต้องมีการค้ำยัน Foot wall ต้องมีความลาดเอียงมากกว่า Angle of Repose และสายแร่ต้องมีขอบเขตค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยปกติจะมีการค้ำยันหลังจากมีการขุดแร่ออกจาก Stope หมดแล้ว การเปิด Stope ของการทำเหมืองวิธีนี้จะใหญ่มากโดยเฉพาะในแนวดิ่ง จะ มักมีการเว้นเสาค้ำยันแนวนอนระหว่าง Stope เอาไว้จนกว่าจะระเบิดและขนแร่ใน Stope อกหมดแล้วจึงระเบิดส่วนที่ค้ำยันออกเพื่อนำแร่ในส่วนที่เป็นเสาค้ำยันออกมาที่หลัง โดยใช้สารเดิมทำจากซี่แร่และดินทรายทำนองเดียวกันกับการทำเหมืองโดยวิธี Cut and Fill ขนาดของ Stope ของการทำเหมืองวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของสายแร่และหินข้างเคียงคนทำเหมืองมักจะเปิด Stope ให้ใหญ่ที่สุดเท่าที่โครงสร้างของหินที่สามารถค้ำยันตัวเองได้จะเอื้ออำนวย Sub-level Stopping มักใช้เครื่องเจาะระเบิดขนาดไม่เกิน 4 ½ นิ้วซึ่งตามปกติแต่ละ Sub-level จะห่างกันไม่เกิน 40 เมตร หากมีการใช้ระเบิดขนาดใหญ่คือ เส้นผ่าศูนย์กลางระเบิดขนาด 5 ½ - 6 ½ นิ้วเรียกการทำเหมืองแบบนี้ว่า Big Hole Stopping ซึ่งจะมี Sub-level ห่างกันได้ถึง 60 เมตร และระเบิดแต่ละรูอาจมีความยาวถึง 100 เมตรซึ่งมักใช้เครื่องเจาะ Down the Hole Drill ในการเจาะระเบิด แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงโครงสร้างที่อาจแตกร้าวเสียหายของสายแร่และหินข้างเคียงเป็นปัจจัยสำคัญในการเปิด Stope ขนาดใหญ่เหล่านี้

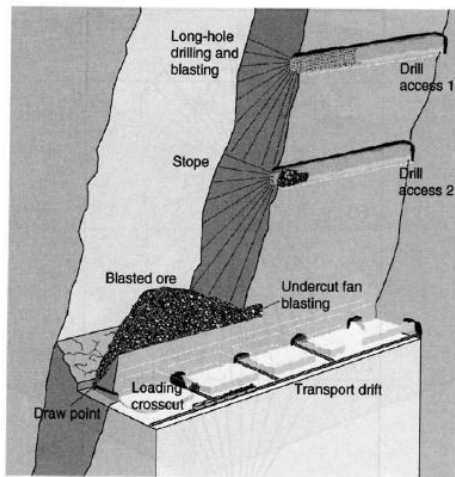


FIGURE 1.9 Sublevel open stopping

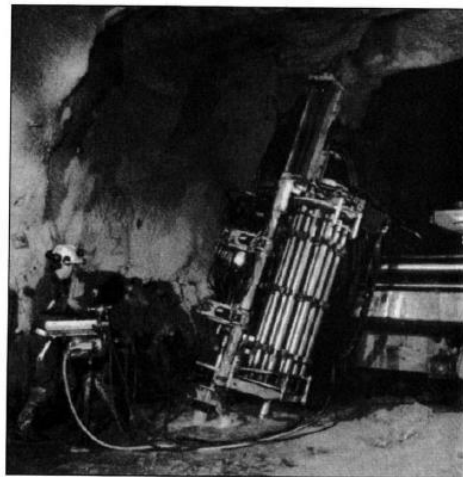
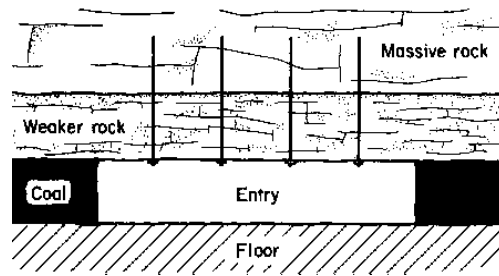


FIGURE 1.10 Longhole rig with slide positioning, remote control, and tube carousel, Williams gold, Canada

Stulled Stoping

เป็นการทำเหมืองที่คล้ายกับการทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่งแต่เป็นอุโมงค์เปิดโล่งในสายแร่ขนาดเล็ก แคบๆ ที่มีผนังเพดานของสายแร่ไม่ค่อยแข็งแรง จึงต้องมีการค้ำยันเฉพาะบริเวณที่ไม่ค่อยแข็งแรงด้วย วัสดุต่างๆ ไว้ตลอดเวลา



การค้ำยันผนังอุโมงค์ด้วย Roof Bolt หรือ Rock Bolt

2. การทำเหมืองที่ต้องมีการค้ำยัน (Supported Opening)

การทำเหมืองใต้ดินโดยวิธี ตัดและเติม (Cut –and- Fill Stoping)

เป็นวิธีทำเหมืองใต้ดินในสายแร่ที่มีลักษณะเดียวกับที่ใช้วิธีการทำเหมืองแบบ Shrinkage Stope และมีการผลิตแร่คล้ายกันเพียงแต่การทำเหมืองแบบ Cut and Fill เมื่อระเบิดแร่แล้วจะมีการขนแร่ออกทั้งหมดแล้วเติมเศษแร่หรือดินทรายผสมซีเมนต์เข้าไปแทนเพื่อใช้เป็นพื้นที่ยื่นเจาะระเบิดในรอบถัดไป ดินทรายผสมซีเมนต์นี้หน้าที่เป็นวัสดุค้ำยันอุโมงค์ไปด้วย

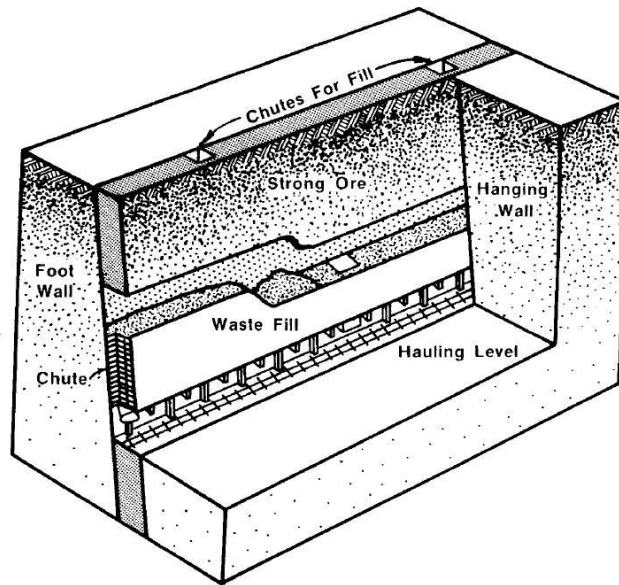


Figure 15.5. Cut-and-Fill Mining Method.

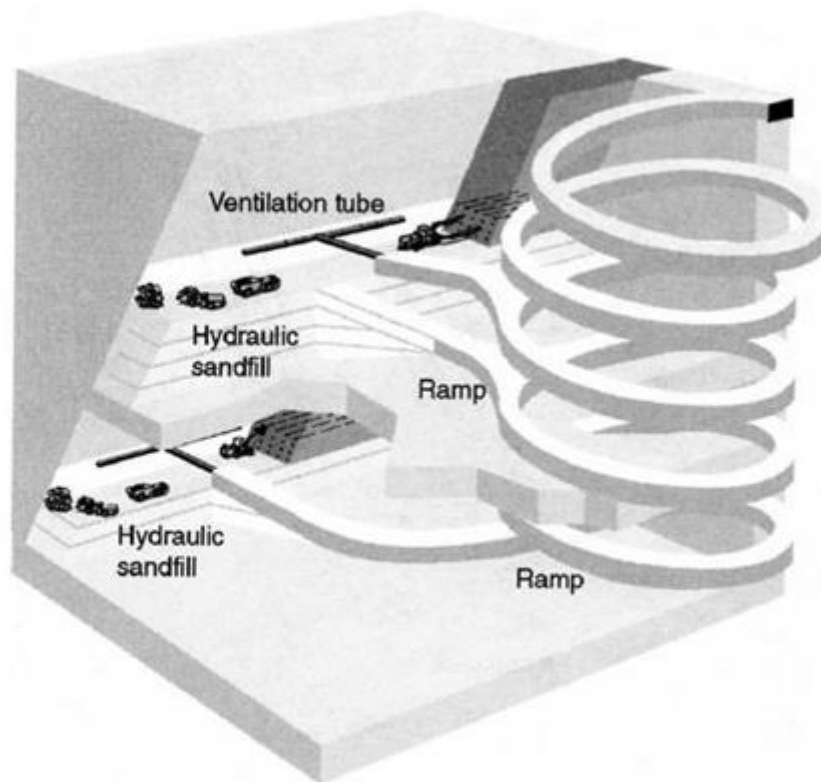


FIGURE 1.17 Mining with cut and fill

FIGURE 1.17 Mining with cut and fill

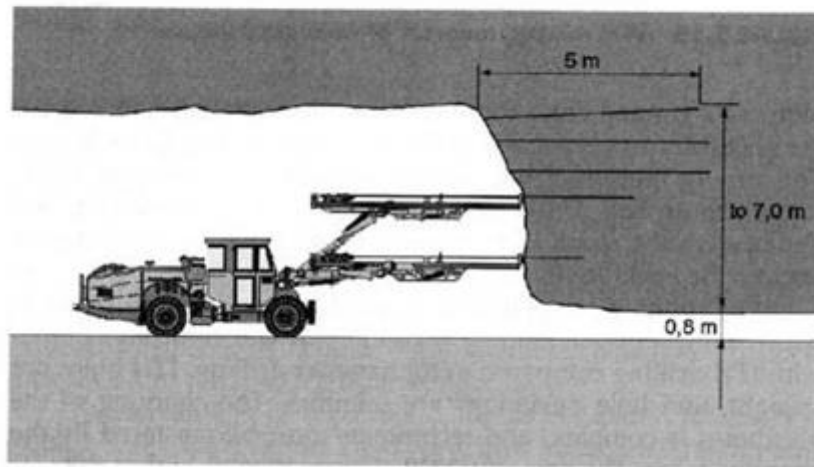


FIGURE 1.18 Face drilling in cut-and-fill stope

การทำเหมืองใต้ดินแบบ Cut and Fill สามารถดัดแปลงใช้กับสายแร่ที่มีขอบเขตไม่ชัดเจนได้ดีกว่าการทำเหมืองแบบ Sub-level Stoping เป็นการทำเหมืองแบบเลือกจุดผลิตแร่ (Selective Mining) ได้ดีกว่าสามารถเลือกทำแร่บริเวณที่มีความสมบูรณ์สูงโดยเว้นแร่ที่มี grade ต่ำไว้ได้ ขั้นตอนการทำงานในการทำเหมืองใต้ดินแบบ Cut and Fill ได้แก่

- การทำอุโมงค์ขนส่งแนวขนานตลอด Foot wall ของสายแร่ตามระดับหลัก (Main Level) ต่างๆ พร้อมทำจุดระบายแร่ออก (Chute)
- เจาะ Undercut ในพื้นที่ Stope เพื่อระบายน้ำออก
- ทำ Ramp เป็นรูปโค้งที่บริเวณ Foot wall เพื่อเจาะ Drive เข้าหา Undercut
- เจาะ Raise เชื่อมต่อไปยังระดับหลักด้านบนเพื่อการระบายอากาศและเป็นช่องทางสำหรับการเติม วัสดุ Fill เมื่อนำแร่ที่ระเบิดแล้วออกไปหมดแล้ว

สารที่ใช้เติม (Filling Material) มักเป็นหางแร่จากโรงแต่งแร่หรือมูลดินทรายขนาดเล็กละเอียด ที่มีปริมาณ ของแข็งประมาณ 60-70 % solid ผสมด้วยซีเมนต์ 5-10 % บริเวณผิวหน้าสุดของสารเติมที่ต้องการผิวหน้าแข็งมากขึ้นจะมีการเพิ่มซีเมนต์เข้าไปมากขึ้น จนถึงประมาณ 15 % เพื่อความปลอดภัยในการทำงานอาจใช้แผ่นเหล็กหรือแผ่นไม้ปูทับผิวหน้าวัสดุเติมที่ปูนั้งแล้วอีกก็ได้

Square Set and Fill Stopping

ใช้กับการทำเหมืองในแหล่งแร่ที่มีเปลือกดินหรือหินข้างเคียงไม่แข็งแรง วัสดุจำพวกดินและหินสามารถร่วงลงมาได้โดยง่ายจึงจำเป็นต้องมีการค้ำยันตลอดเวลา โดยใช้ชุดไม้หรือเหล็ก (Timber Set) ต่อเป็นคอกเป็นชุดๆต่อเนื่องกันไป แล้วอาจนำมูลดินทรายจากการทำเหมืองมากมชุดกล่งที่เปิดแร่ออกไปแล้ว

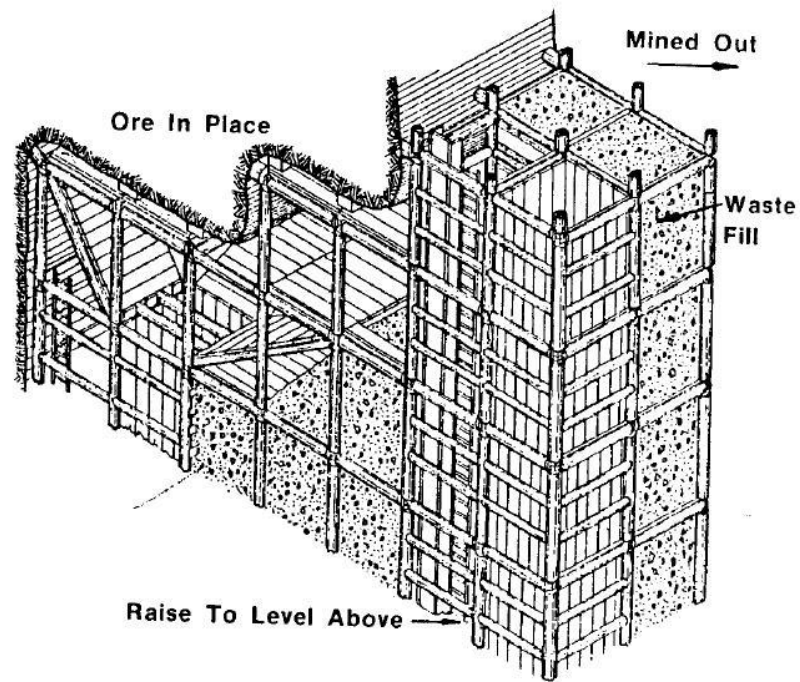
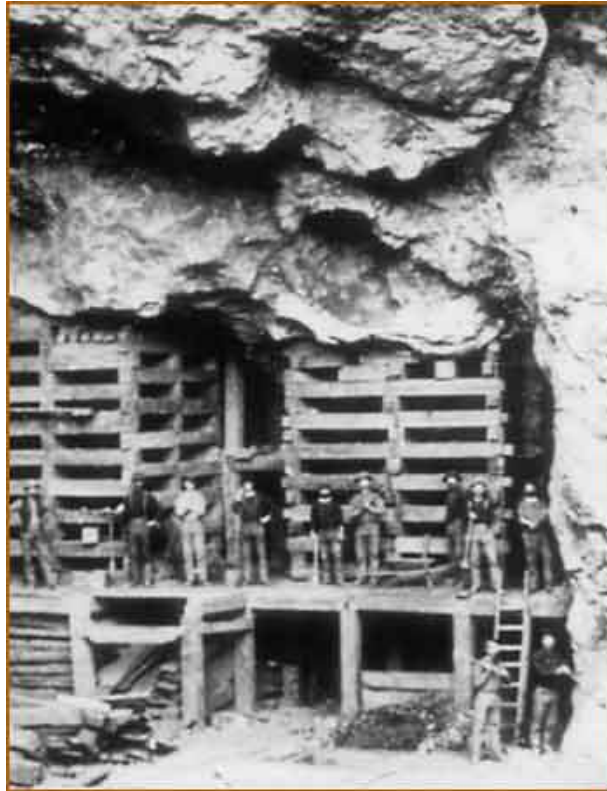


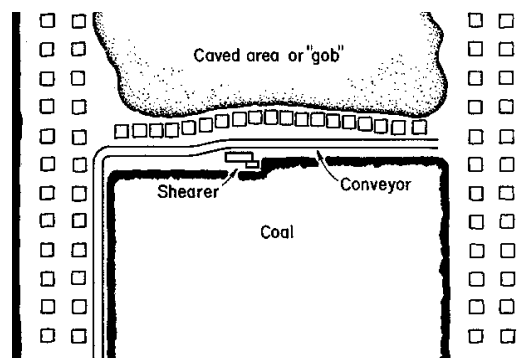
Figure 15.7. Square-Set Stope.



Square Set and Fill Stopping

Long Wall and Shot Wall Mining

เป็นวิธีการทำเหมืองที่เหมาะสมสำหรับการทำเหมืองในสายแร่ที่ค่อนข้างราบและแบน ชั้นแร่และหินผนังไม่ค่อยมีความแข็งแรงและพังลงมาได้ง่าย เช่นถ่านหิน ย่อมให้พื้นผิวดินด้านบนมีการหลุดตัวลงมาได้ จะทำการเดินอุโมงค์คู่ขนานกันหลาย ๆ อุโมงค์ แล้วใช้เครื่องขุดตัดแร่แบบต่อเนื่องขุดตัดแร่ตามแนวยาวของชั้นแร่ตัดขวางกับอุโมงค์คู่ขนานแบบเดินถอยหลัง โดยใช้ค้ำยันไฮดรอลิกค้ำยันบริเวณหน้างาน เมื่อขุดแร่ออกแล้วจะถอดค้ำยันออกตามหน้างานมาเรื่อยๆปล่อยให้ดินหรือหินถล่มลงมาได้หลังจากถอดเครื่องค้ำยันออก ดินทรายและ แร่ที่ขุดตัดแล้วจะถูกลำเลียงออกโดยใช้สายพานลำเลียง



ภาพมองจากด้านบนของ Long Wall Mining

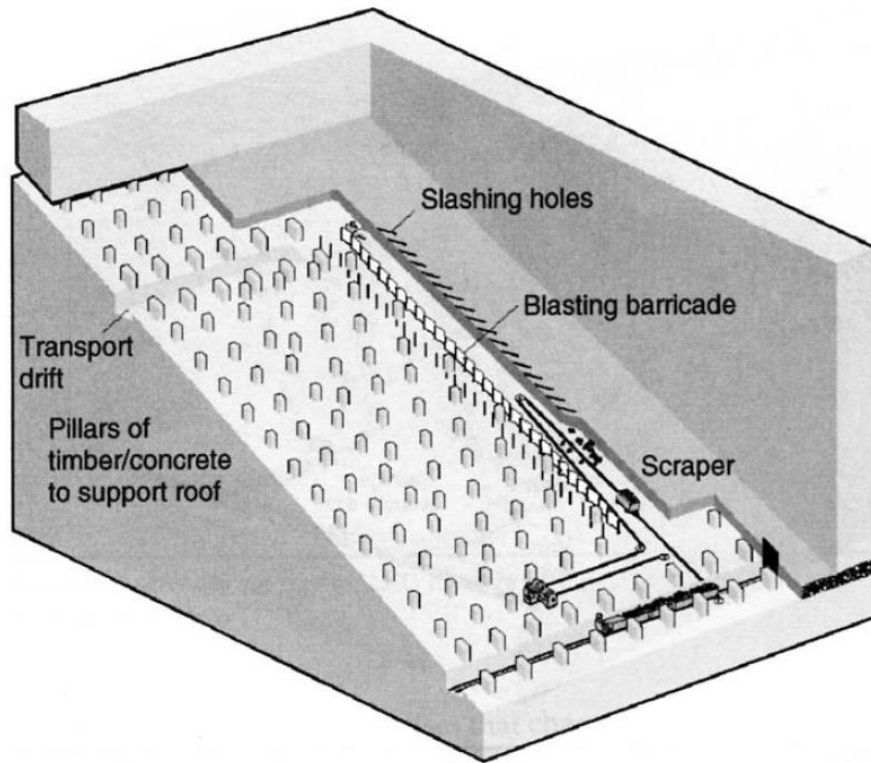


FIGURE 1.20 Longwall mining in gold reef

การทำเหมืองปล่องหรือเหมืองเจาะงัน (Gophering Hole) เป็นการทำเหมืองใต้ดินในสายแร่เล็กและแคบ คล้ายกับการทำเหมืองอุโมงค์แบบเปิดโล่งแต่อาจมีการค้ำยันเฉพาะบริเวณที่ไม่ค่อยแข็งแรง ด้วยไม้หรือเหล็ก เท่าที่จะหามาได้



เหมืองปล่องหรือเหมืองเจาะงัน

3.Caving Ming

แร่ที่สามารถใช้วิธีการทำเหมืองวิธีนี้ได้ต้องเป็นสายแร่ที่วางตัวในแนวตั้งขนาดใหญ่ แร่และหินข้างเคียงต้องมีความแข็งแรงพอที่จะไม่พังลงมาขณะที่มีการสร้าง Drift ในระดับต่างๆ ส่วนที่เป็น Hanging Wall ต้องสามารถแตกทะลุพังลงมาได้หลังจากการระเบิดแล้ว พื้นดินด้านบนที่เป็นส่วนของการทำเหมืองบนดินต้องสามารถยุบตัวไปรวมกับแร่ที่ผลิตโดยการการทำเหมืองใต้ดินได้

การทำเหมืองใต้ดินวิธีนี้คล้ายกับวิธีการทำเหมืองแบบ Sublevel Stopping ต่างกันที่เจาะระเบิดผลิตแร่ใน Level บนสุดก่อนแล้วให้แร่ไปกองรวมกันที่ Level ถัดลงไป การทำเหมืองวิธีนี้ใช้รวมกับการทำเหมืองบนดินเมื่อเจาะระเบิด Level บนสุดแล้วแร่ที่อยู่บริเวณผิวดินจะถูกระเบิดไปรวมกับแร่ที่ได้จากการทำเหมืองใต้ดิน การเจาะระเบิดจากล่างขึ้นบนโดยใช้รูระเบิดยาวเจาะระเบิดขนานกันหรือเจาะเป็นรูปพัดในแนวตั้งระเบิดแร่ออกมาเป็นแผ่นๆ ตั้งในรูปด้านล่าง

อันตรายจากการทำเหมืองวิธีนี้คือขณะทำการผลิตแร่อาจเกิดช่องว่างในหิน (Sink hole) และอาจเกิดพังทลายของหินจำนวนมากในเวลาเดียวกันจนอาจเป็นอันตรายกับคนงานหรือเครื่องจักรที่ใช้ในการทำเหมืองได้

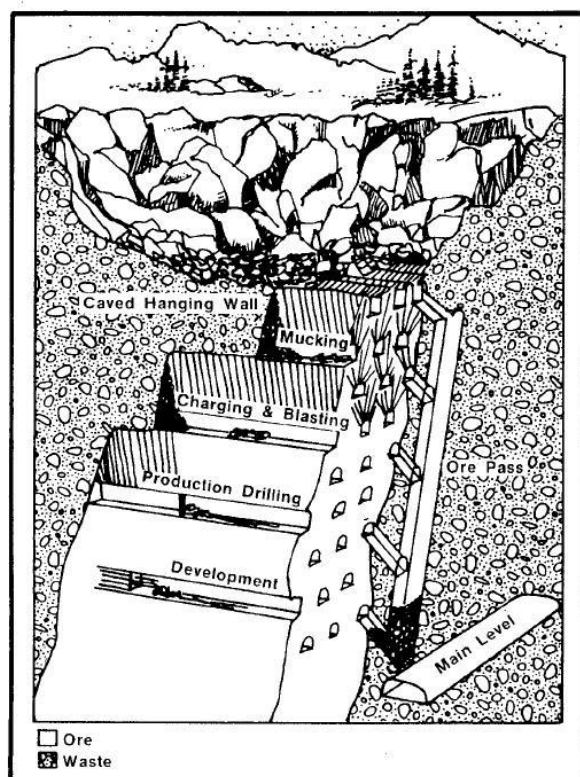


Figure 15.8. Typical Sublevel Caving Operation.

การทำเหมืองใต้ดินโดยวิธี **Block Caving**

เป็นวิธีการทำเหมืองใต้ดินที่ใช้การแตกของหินร่วมกับแรงโน้มถ่วงของโลก Block หมายถึงรูปแบบการทำเหมืองที่แบ่งแร่ออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนมีพื้นที่หลายพันตารางเมตร การสร้างถ้ำ (Caving) ทำโดยการสร้าง Undercut ใต้แร่ทำการระเบิดแร่ออกเป็นแผ่นๆ ในแนวตั้งโดยใช้การเจาะรูระเบิดรูยาวเป็นรูปพัดเมื่อเกิดช่องว่างมากๆ จนแร่ที่อยู่ด้านบนแตกร้าวมากๆ ก็จะพังลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก Block Caving เป็นการทำเหมืองใต้ดินที่ใช้กับแหล่งแร่ขนาดใหญ่ที่มีความสมบูรณ์ต่ำลักษณะของแร่ (Ore body) ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- มีขนาดใหญ่ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน
- มวลหินต้องสามารถแตกเป็นก้อนเล็กๆ ในลักษณะที่ควบคุมได้
- ต้องยอมให้พื้นดินด้านบนยุบตัวลงมาได้

เนื่องจากการทำเหมืองใต้ดินวิธีนี้มีคุณสมบัติเฉพาะตน ของการทำเหมืองที่ไม่เหมือนกับการทำเหมืองใต้ดินวิธีอื่นจึงจำกัดใช้ได้กับแหล่งแร่เพียงบางชนิดเท่านั้นเช่น แหล่งแร่เหล็ก แหล่งแร่ทองแดง ความสมบูรณ์ต่ำ แหล่งแร่โมลิบดีนัม และแหล่งแร่เพชรในแท่งหินคิมเบอร์ไลต์ (Diamond-bearing Kimberlite Pipe) ขั้นตอนการทำเหมืองแบบ Block Caving เริ่มจากการเดินอุโมงค์ขนส่ง (Loading and Transporting Drift) การเจาะช่องผ่านแร่ (Ore Pass) เจาะอุโมงค์ขึ้นทั้ง 4 ด้านเป็นรูปกล่อง (Corner Raise) ทำ Grizzly Drifts แล้วทำอุโมงค์ส่งแร่ (Transfer Drifts) เชื่อมมายังอุโมงค์ขนส่ง การทำเหมืองมีการแบ่งเป็นบล็อกๆ เพื่อให้แต่ละบล็อกพังลงมาโดยการเจาะอุโมงค์ในแนวระดับ (Caving Drifts) ต่อเชื่อมจากอุโมงค์ขึ้นไปโดยรอบทั้ง สี่ด้าน ทำเป็นชั้นๆ จนถึงสุดความหนาของแร่ จากนั้นจึงเดินอุโมงค์ตัดฐาน (Undercut) เพื่อให้บล็อกพังลงมาตามธรรมชาติโดยไม่ต้องเจาะระเบิด

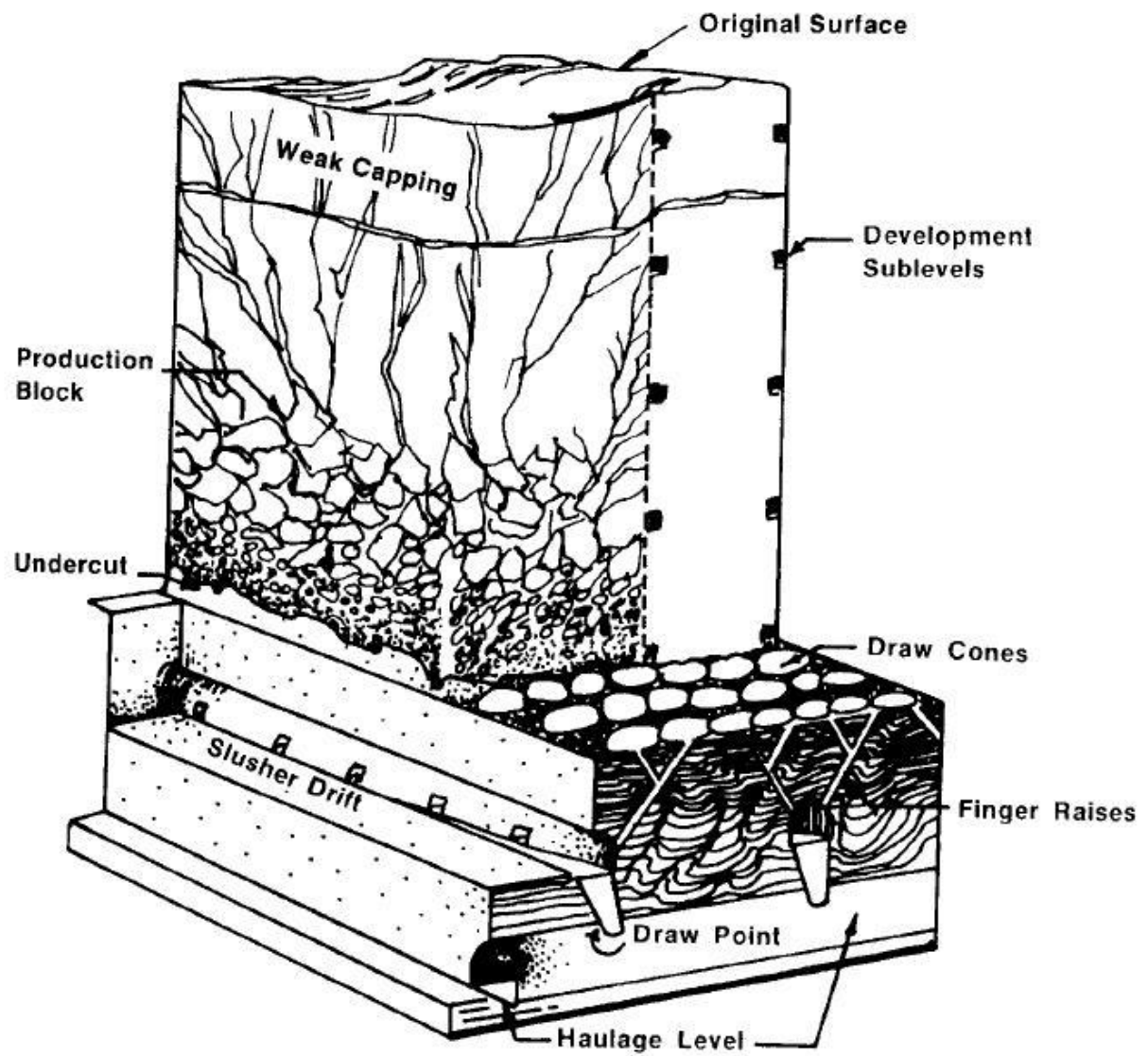


Figure 15.9. Block Caving.

เอกสารอ้างอิง

Atlas Powder Company, Field Technical Poeration, Dallas, Texas, USA “Explosive and Rock Blasting” 1987, pp. 662

E.I. du Pont de Nemours & Co (Inc.), ExpolsiveProductions Division, Sales Development Section,

Wilmington, Delaware 19898, “Blasters’ Handbook” 1980, pp. 494.

Bauer, A. and Crosby, W.A., “Blasting”: Surface Mining 2nd edition, 1990, pp. 540-581.

International Society of Explosive Engineers (ISEE), Blaster’ Handbook 17th Edition Publish 1998, pp743.

B.A. Kennedy,Editor, Surface Mining 2nd Edition 1990,pp 540-583.

Gary B. Hemphill, McGraw-Hill, Blasting Operation, 1981, pp 251.

R. Gustafsson, Swedish Blasting Technique, 1973, pp 328.

Calvin J. Konya , Edward J. Walter , Surface Blast Design, 1990, pp.534.

Tamrock, Handbook on Surface Drilling and Blasting, 1984,pp301