Jumbo de empuñar tipo Secoma.

perforación automática de galerías y técnica de sostenimiento suspendido

GEORGES VIÉ, ingeniero de minas

sinopsis

816 - 7

Se hace la descripción del funcionamiento de «jumbos» automáticos con mando electrónico, que efectúan todas las operaciones de perforación sin intervención de la mano de obra humana. Estos aparatos, recientemente adoptados en instalaciones hidroeléctricas y minas de hierro del E. de Francia, reportan grandes ventajas, acrecentándose su facilidad de maniobra para perforaciones y carga de escombros cuando no existen entibaciones ni puntales, es decir, cuando se emplea la técnica del sostenimiento suspendido mediante pernos, anclajes y resinas sintéticas.

La búsqueda de la mejora de los rendimientos en la excavación de galerías y en la perforación de canteras subterráneas ha conducido, desde hace una veintena de años, a la adopción de jumbos de perforación cuyos diversos tipos han sido construidos para poder realizar toda clase de secciones a excavar.

Estos jumbos llevan dos, tres o cuatro brazos, y a veces más, con potentes correderas que permiten grandes avances en la perforación, por rotación, de rocas de dureza débil o media.

La tendencia actual está marcada por la centralización de los mandos de los diversos brazos del jumbo, de forma que un solo hombre realice, por ejemplo, la perforación por medio de unas correderas que van aumentando de longitud según se va profundizando. Otras tendencias son: un mejor control de la precisión de la perforación, que los jumbos sean autónomos para sus propios desplazamientos en las galerías, utilizando, por ejemplo, motores Diesel en vez de eléctricos; en fin, la articulación del jumbo para facilitar estos desplazamientos en las curvas.

La velocidad instantánea de perforación, que era hace veinte años de 0,50 m/min ha ido aumentando sucesivamente hasta llegar a 18 m/min. Esta marca ha sido conseguida, por ejemplo, en las minas de hierro que extraen un mineral calcáreo (oolita liásica), por medio de una perforación rotativa de gran potencia.

Jumbo articulado Secoma con mando automático (minas de hierro de Lorena).

Foto: L. SCHMIDT

Esta ha podido aumentar gracias a la excelente calidad de los aceros utilizados y a la introducción de mandos hidráulicos para los movimientos de la máquina. Simultáneamente se han incrementado la fuerza del taladro (hasta 1.800 kp) y la velocidad de rotación de la cuchilla hasta 800 y 1.100 r.p.m. para un diámetro del orificio perforado de 40 a 65 milímetros.

Las profundidades de los orificios son generalmente de 3,60 a 4,50 m; pero pueden llegar hasta 5,50 y 7 m en ciertas clases de rocas, como son la sal gema y las sales de potasa.

Los taladros utilizados, que generalmente antes eran de acero de sección rómbica acanalada o de acero hexagonal de 22 mm de lado, tenían el inconveniente de que se calentaban demasiado cuando se les sometía a grandes tensiones, se les reemplaza actualmente por barras de acero redondo de $\varnothing$ 32 mm o barras hexagonales de 25 mm de lado.

En los terrenos calcáreos de mineral de hierro, el avance instantáneo es del orden de 6 a 8 m/min con $\varnothing$ 44 milímetros.

En un avance de perforación en seco, con $\varnothing$ 42 mm, se ha conseguido un avance de 3 m/min aproximadamente, y en un ensayo con inyección de agua ha permitido registrar un avance de 7 a 8 m/min, con un máximo de 10 m/minuto.

A veces se ha abandonado el método de inyección de agua, pues ésta se derramaba por el suelo de la cantera formándose un lodo que dificultaba la evolución de las máquinas en el frente de ataque.

Se ha adoptado una inyección de aire con agua, con una cantidad de agua por orificio de mina de medio litro.

El chorro de esta verdadera niebla de aire-agua reduce sensiblemente el desgaste de la cuchilla.

El aumento de las velocidades instantáneas de perforación, tiene como contrapartida la puesta en evidencia de numerosas pérdidas de tiempo durante los cambios de orificio de cada uno de los dos brazos de perforación.

**esquema de un JUMBO
automático articulado, SECOMA**

sección de ataque

esquema de giro

Por lo tanto, se ha estudiado limitar estos tiempos muertos automatizando enteramente la puesta en posición de la corredera, la perforación propiamente dicha y, en fin, la retirada de la perforadora, es decir, la marcha atrás del taladro.

Se ha llegado, pues, al jumbo «programado» que, mediante un mando electrónico, efectúa todas las operaciones sin necesidad de la intervención humana.

Los jumbos automáticos que se han adoptado ahora en la mayoría de las grandes minas de hierro del E. de Francia, pueden aportar grandes ventajas en la apertura de galerías de minas en roca cuando son muy largas, como ocurre en ciertas instalaciones hidroeléctricas.

Cuando el jumbo está bien nivelado y a la distancia correcta del frente de avance, la posición, la orientación y la profundidad de un orificio se hallan condicionadas por cinco parámetros del brazo:

- Alzamiento.
- Rotación del brazo.
- Longitud de flecha.
- Basculamiento.
- Orientación de la corredera.

anclaje para sellado con resina

procedimiento

cartucho de resina con funda de vidrio

Un potenciómetro está unido a cada uno de estos cinco movimientos, de manera que a la totalidad de la amplitud del movimiento corresponde la totalidad de la rotación del potenciómetro.

La programación se hace sobre una matriz, que tiene cinco enrejados divididos en tantas líneas como orificios a perforar y diez columnas.

El parámetro del movimiento se programa sobre una línea utilizando un sistema de señalización binaria: cada columna corresponde, respectivamente a las cifras 1, 2, 4, 8, 10, 20, 40, 80, 100 y 200.

Un orificio de la matriz marca la intersección de cada línea y de cada columna.

La programación está prácticamente realizada con fichas dispuestas en los orificios correspondientes.

Por ejemplo: si se desea programar un parámetro de 157° sobre la rotación de un brazo de perforación para uno de los orificios del esquema de tiro: se tiene: $157^\circ = 100 + 40 + 10 + 4 + 2 + 1$.

Si se trata del orificio número 3 de este esquema de perforación, la programación se hará sobre la rejilla del movimiento de rotación del brazo, en la intersección de la línea número 3 con las columnas 1, 2, 4, 10, 40 y 100.

Un cofrecito electrónico permite el reglaje y la transmisión de las órdenes y se tiene, para cada potenciómetro, un montaje en puente de Wheastone.

La orden se transmite a un dispositivo electrohidráulico de mando del distribuidor correspondiente.

Las órdenes son dadas simultáneamente a todas las electroválvulas, y los movimientos se producen siguiendo una sucesión impuesta por la disposición de los distribuidores hidráulicos.

Si se quiere modificar la programación de un esquema de perforación para adoptar otro diferente, se necesitan unas 2 horas para variar la programación sobre la matriz.

Ello supone que la sucesión de todos los movimientos deben ser estudiados minuciosamente.

Para un mismo esquema, los frentes de avance pueden presentar eventualmente una altura y una anchura variables, según sea la naturaleza de los terrenos y el perfil a excavar; se necesita, por lo tanto, poder «dilatar» ciertos parámetros homotéticamente.

La precisión de la perforación está subordinada naturalmente a la posición rigurosa del jumbo.

El jumbo automático no permite solamente la economía de un obrero de cada dos, sino la automática reducción de los tiempos muertos.

Así es que, el paso de la corredera de una posición de perforación a la siguiente no necesita más que de 6 a 12 segundos, según sea el caso.

La precisión de la perforación queda mejorada, y todos los fondos de los orificios perforados se sitúan en un mismo plano vertical.

En estas condiciones se pueden perforar treinta orificios de 3 m y de 44 mm de diámetro en 20 min. De estos 90 m perforados corresponden 45 m a cada uno de los brazos.

La potencia del taladro al comienzo de la perforación de un orificio se debe reducir necesariamente; para ello, el operador aprieta un botón con lo que consigue reducir la velocidad de rotación durante un instante muy corto; después, automáticamente, la potencia y la velocidad vuelven a sus valores normales, bajo el efecto de la regulación hidráulica.

Al cabo de una jornada de trabajo de 6 horas de duración en galería es posible realizar la perforación de nueve voladuras completas, desplazando la máquina rápidamente de una a otra.

En las minas de Lorena, en las que frecuentemente se encuentra un material duro, una cuchilla (durometal) perfora dos esquemas completos antes de que tenga que ser sustituida.

La tendencia es utilizar para las cuchillas carburos de wolframio, puesto que resultan mucho más duras y, por lo tanto, más resistentes al desgaste.

En las canteras subterráneas, como son las minas de hierro de Lorena, se utilizaba generalmente oxígeno líquido para las voladuras.

Se sabe que remojando simplemente en oxígeno líquido un cartucho absorbente (por ejemplo: serrín de madera y corcho molido) se transforma en explosivo.

La inmersión en oxígeno líquido, a -182°C , se debe prolongar durante 30 a 45 minutos.

El cebado se hace con dinamita colocada con anterioridad en el fondo de cada orificio.

El gran inconveniente de este tipo de explosivo es que entre el momento en que el primer cartucho absorbente se ha retirado de la cubeta de oxígeno líquido y la explosión no pueden transcurrir más de 8 min debido a la rapidez de la evaporación.

En menos de media hora los cartuchos ya no contienen el suficiente oxígeno para producir la explosión.

Las voladuras con oxígeno líquido pueden ser muy importantes con detonadores de tiempos especiales, insensibles al frío, a condición de respetar siempre el tiempo límite de 8 min, de forma que la colocación de los cartuchos se debe efectuar por un equipo numeroso de cuatro o cinco hombres.

La gran ventaja del oxígeno líquido es que resulta mucho más barato que cualquier otro explosivo, es decir, para fijar ideas algo menos de la mitad del de la dinamita.

Sin embargo, la mecanización cada vez más potente de las canteras, realizada por medio de máquinas de un precio de compra elevado, exige una rotación muy grande para ellos.

A fin de aumentar la rotación de la maquinaria, a veces se agrupan varias canteras por el final de minado de varios frentes. Pero con cartuchos de 1' (30,5 cm) de oxígeno líquido, sujetos al inconveniente de la rapidez de evaporación, es preciso realizar las voladuras durante los primeros 8 minutos.

Para remediar este inconveniente se tiende actualmente a sustituir el oxígeno líquido por una mezcla de nitrato de amonio y fuel-oil.

Aunque el precio sea algo mayor, tiene la ventaja de su facilidad de empleo y de su rapidez.

La colocación de la mezcla explosiva se efectúa por medio de aire comprimido producido por un inyector o por un compresor, o por una combinación de ambos.

La proyección por aire comprimido de la pasta de nitrato y fuel-oil asegura el llenado satisfactorio del orificio.

El cebado se realiza mediante un detonador introducido en un cartucho de dinamita colocado en el fondo del orificio.

La dinamita sirve para aumentar la velocidad de detonación de la mezcla de nitrato y fuel-oil.

Generalmente no atracan los orificios para ganar tiempo.

Todos los ensayos han mostrado que, observando ciertas precauciones como la puesta a tierra de los aparatos, el emplear semiconductores flexibles, etc., se evita la aparición de cargas electrostáticas que podrían hacer explotar prematuramente los detonadores.

La facilidad de maniobra de las máquinas de perforación y de carga de los escombros de las minas subterráneas es mayor si no existen ni entibaciones ni puntales. Por ello, para sostener el techo, se tiene el recurso, cuando la naturaleza del terreno lo permite, del sostenimiento suspendido (o empernado).

El empernado o anclaje tiene por efecto solidarizar con los bancos superiores los puestos al descubierto, es decir, en contacto con el aire y con la humedad de la galería y en el techo de la misma.

Se trata, pues, de una verdadera técnica de consolidación de los terrenos en general y de las excavaciones subterráneas en particular, cada vez más empleadas en las minas y en las obras públicas.

Desde hace tiempo se aplican diferentes tipos de anclaje: pernos de fijación en la roca por hendidura y esquina, pernos de concha de expansión, anclajes sellados al hormigón, y más recientemente, con la aparición de las resinas sintéticas, se sellan los pernos a la resina en el interior de los bancos del techo.

Jumbo de empinar Secoma.

El trabajo consiste esencialmente en introducir un cartucho de resina preparada en el fondo del orificio ascendente para la colocación del anclaje.

El tronco del perno, sobre el que se ejerce simultáneamente una fuerza y una rotación, rompe el cartucho y realiza la mezcla homogénea de los diferentes constituyentes. La mezcla se agrieta, después endurece por polimerización, asegurando el sellado definitivo.

Después de la apertura de un hueco (cámara o galería), una simple inyección de resina a los techos y a los paramentos aumenta considerablemente la cohesión de los terrenos, incluso los estratificados, transformándolos, por así decirlo, en losas de hormigón armado y evita su desconchamiento bajo la acción del aire y del agua.

Este dispositivo, colocado en el frente de vaciado, puede, según sea la naturaleza del terreno, constituir el armazón definitivo (placas apretadas contra el terreno por el espaldón de la extremidad del husillo) o permitir un aligeramiento del armazón principal.

En terrenos estratificados cuyas vetas tienen una pendiente de más de 20°, la inyección, uniéndolas, previene su despegue y su deslizamiento.

El procedimiento se aplica para realizar un empotramiento repartido como un empotramiento puntual.

A partir de la perforación, los anclajes, empotrados en la resina dentro de orificios bastante profundos, son suficientemente resistentes y seguros para ser utilizados como elementos de sostenimiento sujetos al terreno por tuercas y placas. Estos elementos pueden estar aislados o enlazados, constituyendo, en este caso, una losa cuadrada que puede ser sostenida eventualmente por sus extremos con puntales rígidos, deslizantes o compresibles. El enlace entre los anclajes se puede efectuar perpendicular o paralelamente al eje de la galería.

Cuando se quitan los puntales de las vetas contiguas a las cámaras o a las galerías, en los puntos en que existe una convergencia rápida de las paredes se debe intercalar entre la tuerca y el terreno una placa «auto-compensadora» para prevenir la rotura eventual del bulón si se produce un descenso brusco de la losa del techo (golpe de carga).

Los martillos clásicos utilizados para la perforación se pueden utilizar para hacer los orificios de anclaje y empotramiento, a condición de que tengan de 3 a 8 mm más de diámetro que el perno a empotrar y de perforar una profundidad igual a la longitud de la parte del perno a empotrar, incluso en el caso en que la excavación sea de dimensiones reducidas. En este caso se emplearán taladros alargados.

El cartucho de resina se puede presentar bajo la forma de un tubo de vidrio del diámetro apropiado para introducirlo en el orificio perforado. Los cartuchos de vidrio se presentan en todas las longitudes hasta 1,5 metros.

El vidrio tiene buenas cualidades para participar en el empotramiento.

La resina sintética líquida, al mezclarse con un cuerpo neutro, adquiere una consistencia más o menos grande y una mayor aceleración de endurecimiento.

Este acelerador o catalizador está encerrado en un tubo interior igualmente de vidrio, concéntrico con el tubo principal.

Tales tubos de vidrio, como tienen que ser cuidados bastante delicadamente en las minas subterráneas, se tiende actualmente a sustituirlos por una vaina plástica flexible de la misma longitud que la del orificio perforado y que contiene a la vez la resina sintética, el acelerador y el catalizador.

Cuando el orificio de empotramiento está perforado, un tubo de plástico rígido, de un diámetro superior al de la vaina de resina, sirve para introducirla dentro del tubo.

Se presenta delante del orificio ascendente el tubo de plástico rígido, dentro del cual se desplaza la vaina, y para introducirla se le empuja con un bastón.

Un pequeño anillo de espuma de polietileno evita que la vaina de resina se salga del orificio en que ha sido metida.

Se enfila, a continuación, el perno fileteado a la extremidad superior para producir el desgarramiento de la vaina plástica y asegurar la mezcla de los constituyentes, que son llamados a endurecer y sellar al perno.

La extremidad inferior del perno está igualmente fileteada y presenta la placa y la tuerca.

Al girar, la parte fileteada rompe el cartucho de resina. Cuando la vaina está totalmente desgarrada y la parte superior del perno toca el fondo del orificio perforado, deja de girar el perno y la tuerca comienza a apretarse contra él hasta que lo bloquea completamente. El empotramiento se ha realizado.

Los pernos de acero dulce, de una longitud de 1,75 m, por ejemplo, y de 20 mm de diámetro, tienen un límite elástico de 14 Mp y un límite de rotura de 17 megapondios.

La máquina de colocar los pernos se llama jumbo de empernar. Se compone de una perforadora rotativa para hacer los orificios, y de una torreta para la introducción, por rotación, del perno a empotrar.

La empernadora gira, por ejemplo, a 650 r.p.m. con una fuerza en la cuchilla de 350 kp para perforar. La vaina de resina está constituida por un tejido de Rilsan que presenta la ventaja de dejar pasar los gases menos que el estireno. Es interesante mencionar que la resistencia al esfuerzo cortante de la resina de empotramiento varía de 40 a 110 kp/cm².

La velocidad de rotación del perno, cuando se introduce en el orificio, es, por ejemplo, de 250 r.p.m., con una fuerza de 450 kp. Es necesario que esta velocidad sea pequeña para que se realice una buena mezcla de la resina y de su acelerador, una vez que el cartucho, desgarrado por la rotación del perno, se introduce detrás de ella.

La introducción total del perno se efectúa en 30 segundos.

En general, la tuerca que fija la placa de apoyo del perno se rompe bajo un esfuerzo de 30 kp · m, lo que corresponde a fuerza de tracción sobre el perno de 2 megapondios.

Cargadora Joy tipo 14 HR en cantera subterránea. Se aprecia claramente el sostenimiento suspendido (techo empernado).

Los jumbos de empernar, de los que se adjuntan varias fotografías, han sido estudiados especialmente para la colocación rápida de pernos suspendidos.

Con este jumbo, un solo obrero puede colocar de 60 a 80 pernos por jornada de trabajo; con dos obreros se ponen 140 pernos, habiéndose llegado a colocar 153 pernos por jornada de 6,30 horas.

En un frente de cantera de 5 m, por ejemplo, se ponen dos filas paralelas de 6 y 5 pernos, respectivamente, o sea, 11 pernos por voladura.

El jumbo se debe desplazar de una cantera a otra para que se le pueda sacar un rendimiento y realice los trabajos que se han indicado anteriormente (caso de explotación subterránea de las minas de hierro).

Un jumbo de empernar realiza 5 ó 6 canteras por jornada (de varias voladuras).

Un ejemplo práctico de empernamiento en canteras, en una obra pública, se tiene en la ejecución de la Central subterránea de Takamaka, en la isla de la Reunión.

Se escogió el empernamiento con resina. Se dosificó el endurecedor para obtener una polimerización rápida de la resina a fin de que la puesta en tensión de los pernos se obtuviera una hora solamente después de la ejecución de los orificios.

Los pernos se calcularon para resistir 5 Mp; después de comprobar en varios testigos empotrados que podían resistir 12 Mp inmediatamente después de que la resina sintética polimerizara.

La totalidad de la bóveda de la central subterránea fue empernada a razón de un perno por metro cuadrado; la longitud de éstos fue de 3 m, de los cuales por lo menos 1 m está empotrado al fondo del orificio.

Los «pies derechos», de roca de pequeña resistencia, fueron consolidados igualmente con placas elásticas sujetas con pernos y celosías. Los terrenos en los que había que realizar la excavación estaban constituidos por basaltos, conglomerados, y tufos volcánicos, más o menos alterados y sin demasiada cohesión.

En estas condiciones, las excavaciones se debieron realizar de forma que la onda de compresión resultante de la abertura de las galerías se dirigiera hacia el corazón del macizo rocoso, evitando, en lo posible, que esta onda se orientara hacia las zonas en que se realizaba la perforación.

Se desmontaron 13.600 m³ de roca y se colocaron 3.000 pernos, que totalizaron 10.500 m de orificios. Se necesitó colocar 2.500 m², como mínimo, de enrejado.

résumé ● summary ● zusammenfassung

La foration automatique des trous de mine et la technique du soutènement suspendu

Georges Vié, ingénieur des mines

Une description est faite du fonctionnement de jumbos «programmés» qui effectuent toutes les opérations de foration, sans intervention humaine, sous la seule commande électronique. Ces engins automatiques, récemment adoptés pour les aménagements hydro-électriques et grandes mines de fer de l'est de la France, apportent de gros avantages. La facilité de l'évolution des engins de foration et de chargement des déblais dans les chantiers souterrains est d'autant mieux assurée qu'il n'y a ni boisage ni étaçons, c'est-à-dire lorsque la technique du soutènement suspendu est appliquée au moyen de boulons, ancrages et résines synthétiques.

Automatic drilling of galleries and suspend support technology

Georges Vié, mining engineer

A description is given of the automatic, electronically controlled, operation of «jumbos», which carry out all drilling operations without human labour. This equipment, which has been recently adopted in the hydroelectric and iron mining projects in eastern France, is highly advantageous. Its ease of operation is especially significant in drilling operations where no internal supports or formwork is used, i.e., when the system adopted is that of internal support by means of anchorage bolts and synthetic resins.

Automatische Bohrung von Stollengängen. Technik der Hängenden Stützung

Georges Vié, Bergbauingenieur

Beschreibung der elektrisch betriebenen automatischen «Jumbos», welche ohne Eingriff von Menschenhand alle Durchbohrungsstufen durchführen. Diese Geräte —vor kurzem in Süd— Frankreich bei Wasserkraftanlagen und Eisenminen eingesetzt, weisen viele Vorteile auf. Ihre Handhabung bei Bohrungen und Schuttaufladung wird erheblich erleichtert, wenn weder Stauungen noch Grubenstempel bestehen. Die hängende Stützung erfolgt mit Hilfe von Bolzen, Verankerungen und Kunstharz.