

路堑边坡爆破开挖方法的探讨

彭泽波¹, 吴 毅²

(1. 中铁十六局集团路桥工程有限公司, 北京 101500; 2. 浙江文华建设监理公司, 浙江 杭州 311100)

摘 要 :从路基施工规范出发,以满足铁路、公路路堑边坡施工质量要求为基础,最大限度地减少采用光面爆破法所增的工程量,针对一般路基施工条件给出了边坡开挖的实用爆破方法和技术参数,并从技术、施工等方面分析了采用实用光面和实用预裂爆破法的可行性、必要性和合理性。

关键词 :路堑边坡;爆破开挖;光面爆破;预裂爆破;实用光面和预裂爆破

中图分类号 :U416.1+13 **文献标识码** :A **文章编号** :1672-7428(2006)03-0057-05

Discussion on Blasting Excavation Method of Cut Slope/PENG Ze-bo¹, WU Yi²(1. Road and Bridge Limited Company under 16th Railway Bureau, Beijing 101500, China; 2. Wenhua Supervision Company of Zhejiang, Hangzhou Zhejiang 311100, China)

Abstract :Following the specification of road foundation construction, the practical blasting method for slope excavation was given out under the general road foundation construction conditions, to meet the quality requirements of cut slope construction along the rail and high way, and to reduce the work increment brought by trim blasting method. The possibility, necessity and reasonableness of using trim blasting and presplit blasting were analyzed on technological and engineering views.

Key words :cut slope; blasting excavation; trim blasting; presplit blasting; practical trim and presplit blasting

1 问题的提出

光面和预裂爆破方法经过 40 多年的发展,已成为当今世界进行周边开挖爆破的一种先进可靠和比较成熟的技术,在国内外均得到广泛应用。但是,根据笔者近些年来在铁路和公路路堑开挖工程中的实践认为,由于施工建设单位往往采用规范中推荐的建立在纯爆破技术观点上的光面爆破方法和设计参数进行路堑边坡开挖,未能考虑路堑边坡开挖的特点和具体条件下施工质量的不同要求,一味追求边坡开挖高质量,致使施工成本成倍增长,生产效率迅速下降,从而严重阻碍了该技术在这一领域的推广应用。

我们知道,路堑开挖具有线长、点多、方量分散等特点,所以其单位挖方量中包含的边坡比矿山、建筑等露天开挖作业高得多,如果完全借用它们提出的布孔方法、施工工艺和爆破参数进行路堑边坡开挖,必定大大增加工程的钻孔数量,同时对钻孔质量、装药结构、施工机具和火工器材都提出了更高的要求,致使路堑开挖作业时间和费用也大大增加。目前施工规范中推荐的光面爆破方法和设计参数均是纯爆破技术观点出发建立的,以能够达到理想施工质量为依据,刻意追求坡面的光滑度和半孔率,没有考虑路堑边坡开挖的特点和具体条件下施工质

量分级的可能性以及由此带来的巨大经济效益。采用光面和预裂爆破技术进行路堑边坡开挖,虽可获得较高的边坡质量,但施工成本将成倍增长,生产进度迅速下降,这对我们这些施工建设单位是极不合算的。而使用一般钻孔爆破法施工,边坡质量尽管差一些,但因其对边坡的损伤只限于浅层,不会影响边坡的整体稳定性,后期人工清坡也可使边坡质量基本达到规范要求。因此,笔者认为在路堑边坡开挖中使用光面和预裂爆破技术是得不偿失的。

综上所述,不难看出,要使光面和预裂爆破技术在路堑边坡开挖中得到实际推广应用,除了要修订或重新制定某些规定条款外,最重要的是要依据路堑边坡开挖特点、不同线路等级、岩体状态、质量标准等确定实用的光面和预裂爆破方法,本文所介绍的正是笔者对这一实用方法探讨的体会和结果。为了加以区别,文中将建立在纯爆破技术观点上的已经比较成熟的光面和预裂爆破法称为“精确光面和精确预裂爆破法”,而将本文所述的方法称为“实用光面和预裂爆破法”,简称“实用光爆”。

2 岩体状态的分类

按照当前路堑开挖工程岩石划分的一般作法,

收稿日期 2005-12-19

作者简介 :彭泽波(1971-)男(苗族),贵州天柱人,中铁十六局集团路桥工程有限公司工程师,水文地质与工程地质专业,从事线路、桥梁、隧道施工技术工作,内蒙古自治区准格尔旗苏计沟昌弘建安公司转中铁十六局集团城东项目部(010300),13634779578, zjcxpbz@sina.com;吴毅(1971-)男(汉族),贵州遵义人,浙江文华建设监理公司工程师,水文地质与工程地质专业,从事建设监理工作,浙江省杭州市。

首先以强度指标为依据 ,将岩石分成坚石、次坚石和软石 3 大类。鉴于岩体节理裂缝和构成状态对光面和预裂爆破参数大小的确定有很大影响 ,故针对每一类岩石 ,又依据其完整程度分成 4 个级别 ,分别为 :

- (1)完整岩体 称为Ⅰ级岩体。
- (2)相对完整岩体 称为Ⅱ级岩体。
- (3)相对破碎岩体 称为Ⅲ级岩体。
- (4)破碎岩体 称为Ⅳ级岩体。

由此 ,岩石被划分为 3 类 4 级共 12 种状态。理论分析和工程实践均表明 ,Ⅳ级岩体无法形成整体坡面 ,采用光面和预裂爆破技术开挖与一般钻孔爆破开挖其结果无大区别。故在本文的讨论中只针对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级岩体 ,即 9 种岩体状态展开。

3 边坡质量等级的划分

3.1 划分指标

由于钻孔爆破引起的边坡损害一般是浅层破

坏 ,而边坡稳定与否是质量要求的根本。所以 ,在判定边坡质量及其等级划分时 ,除了半孔率和凸凹不平度之外 ,还应引入表征因爆破造成坡面损害程度的参量。这里以爆破引起的坡面的裂缝大小作为其限定指标。

3.2 质量等级

针对路堑边坡现行质量要求和不同的线路等级及地段 ,应初步将边坡开挖分成 A、B、C 三个质量等级 ,如表 1。其中 A 级坡面与精确光爆的效果要求一致 ,是由于引入了岩体条件才使其参数大小和技术指标量化值略区别于精确爆破 ,该坡面质量较好 ,适用于站场、隧道出入口及高速铁、公路的路堑边坡开挖。B 级坡面的质量等级也不低 ,适用于一般铁路路堑边坡和高等级公路等。C 级坡面的质量等级低 ,一般山区公路、地区公路和铁路专用线(使用不够频繁)等的路堑边坡均可以采用。无论上述哪个质量等级 ,其路堑边坡的整体稳定性都是有保证的 ,即不会因爆破造成边坡的失稳。

表 1 路堑边坡质量等级表

等级	边坡外观	半孔率/%			凸凹不平度 /cm	坡面裂缝大小/mm		
		Ⅰ级岩体	Ⅱ级岩体	Ⅲ级岩体		宽度	深度	最大长度
A 级坡面	坡面光滑整齐 ,半孔保留自上而下贯通	≥90	≥80	≥70	≤±25	≤1.0	≤30	≤500
B 级坡面	坡面整齐 ,半孔保留大多连续 ,部分出现断点	70~80	60~80	40~70	25~50	1.0~3.0	30~60	500~1000
C 级坡面	坡面大致整齐 ,半孔保留时有时无 ,断断续续	40~70	30~60	10~40	50~80	3.0~5.0	60~100	1000~2000

注 :表中 C 级坡面爆破后个别地方需少量人工清坡。

4 布孔方法和装药结构

4.1 布孔方法

如图 1、图 2 所示 ,路堑开挖光面和预裂爆破孔(即周边孔)的基本布孔形式有 2 种。第一种布孔方式针对自上而下的路堑开挖形式 ,它又可分为 2 种情况 :一是边坡在一个固定的高度范围内留有碎落台 ,此时每次爆破梯段高度最好与碎落台高度相同 ,周边孔则完全沿坡面布置(见图 1a) ;二是采用一坡到底的边坡 ,除第一层梯段周边孔完全沿坡面布置外 ,第二层及以下梯段的周边孔孔口要外移(见图 1b) ,外移量 b_1 的大小受钻机的控制 ,通常 ,对钻孔直径 $\leq 150\text{ mm}$ 的路堑开挖常用钻机 ,外移量 $b_1 \leq 25\text{ cm}$,但其孔底却要落在边坡上。第二种布孔方法对应于沿线路方向水平推进的路堑开挖形式 ,它的孔口沿坡面线布置 ,孔底向坡里内张(见图 2) ,内张量 $b_2 \leq 20\text{ cm}$,内张角 θ 则受孔深和 b_2 的双重制约 ,计算公式为 :

万方数据
$$\theta = \arcsin(b_2 / L) \tag{ 1 }$$

式中 L ——炮孔深度。

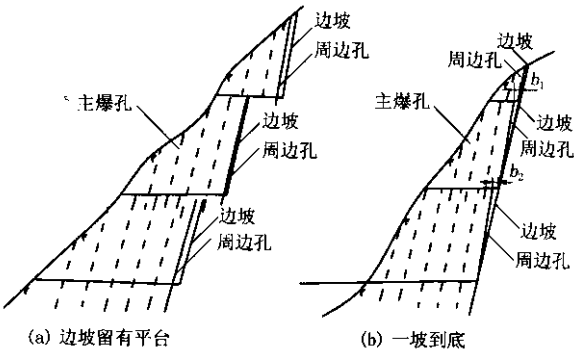


图 1 自上而下分层开挖的周边孔布置

另外 ,这种情况周边孔基本是水平并相互平行布置 ,只有对 C 级坡面可允许周边孔略向下倾 ,但相互之间的平行仍要保持。

4.2 装药结构

根据目前火工器材产品现状和铁、公路路堑爆破开挖炮孔直径大多在 150 mm 以下的具体情况 ,比较实用的装药结构有以下 3 种(见图 3)。

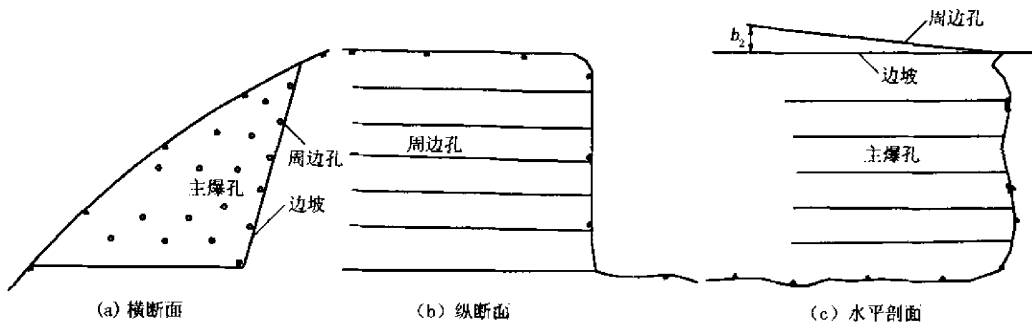


图 2 水平纵向推进周边孔布置

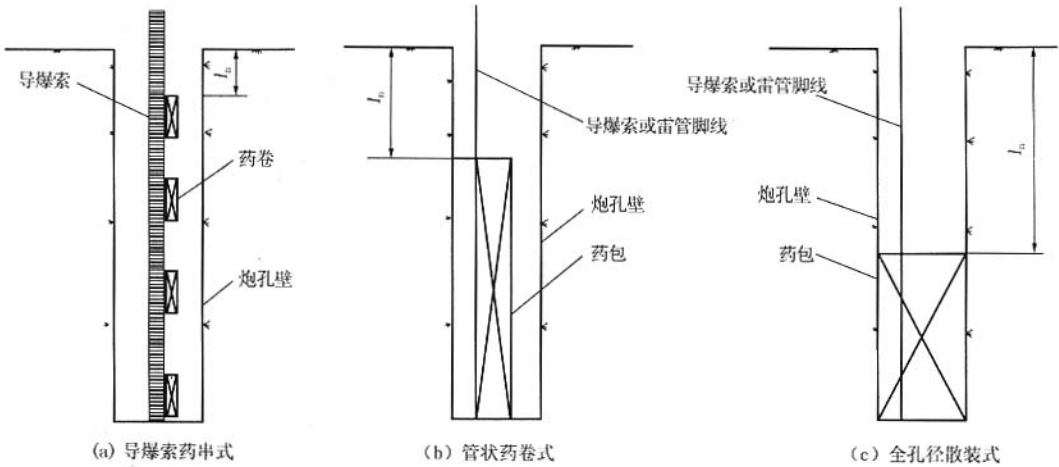


图 3 光面或预裂爆破孔的 3 种实用装药结构

第一种为导爆索药串式。将一定长度和直径的药卷按某种固定间隔绑在导爆索上形成药串,由导爆索起爆这些药卷。

第二种为管状药卷式。它用一个小于炮孔直径的塑料软管或纸管装药形成在孔内装药长度上的连接径向不耦合布药,由导爆索或雷管起爆均可。

第三种为全孔径散装式。它是将硝铵或铵油炸药以松散形式直接灌入孔内,上口不封,利用导爆索或电雷管实施起爆。该法极为简单,但对炮孔的破坏较大,只有在坚石、次坚石的Ⅰ级岩体中实施 C 级边坡开挖时才能使用,而且炮孔直径 $\geq 75\text{ mm}$ 。

上述 3 种装药结构均以空气堵塞为好,上口不装药长度 l_n (即空气堵塞段长度)对 3 种装药是不同的,其中导爆索药串式的 l_n 最小,而全孔径散装式的 l_n 最大。

5 爆破参数

光面和预裂爆破的主要技术参数有孔间距 a ,线装药密度 ρ ,不耦合系数 K 和抵抗线 W (对光面爆破)对实用光爆而言,确定这些参数的思路是:借助精确光爆的理论和参数计算公式或经验数值,以

岩体条件和质量等级对其主要参数——孔间距进行修正,同时转换其他参数的计算,最终获得实用光爆下的参数确定。

设 a_0 、 ρ_0 、 K_0 和 W_0 为精确光爆下的主要参数,其大小依表 2 选取或用经验公式(2)、(3)、(4)计算,则可建立实用光爆的参数计算公式。

$$a_0 = 16d \text{ (预裂爆破)} \tag{2}$$

$$a_0 = (12.5 - d/50)d \text{ (光面爆破)} \tag{3}$$

$$W_0 = (1.25 \sim 5.0)a_0 \tag{4}$$

5.1 孔间距 a

影响孔间距的主要参数有炮孔直径、岩石力学特性和施于孔壁的爆轰压,且爆轰压的大小在装药直径相同时取决于使用的炸药种类,故要在这几方面对精确光爆的 a_0 进行修正。另外,岩体状态和质量分级的引入还要求修正时,应考虑这 2 个方面的情况,从而得到实用光爆的孔间距计算公式为:

$$a = k_1 k_2 k_3 k_4 a_0 \tag{5}$$

式中 k_1 ——边坡质量分级修正系数,见表 3; k_2 ——岩体状态修正系数,见表 4; k_3 ——炮孔直径修正系数,见表 5; k_4 ——使用炸药修正系数,使用 2 号岩石硝铵炸药时 $k_4 = 1.0$,使用铵油炸药时 $k_4 = 0.95$ 。

表 2 精确光爆的技术参数表

炮孔直径	线装药密度	光面爆破		预裂爆破	不耦合 系数 K_0
d/mm	$\rho_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	a_0/mm	W_0/mm	a_0/mm	
37	0.12	600	900	300~500	2.2
44	0.17	600	900	300~500	2.6
50	0.25	800	1100	450~700	2.3
62	0.35	1000	1500	550~800	2.8
75	0.50	1200	1600	600~900	3.0
87	0.70	1400	1900	700~1000	3.5
100	0.90	1600	2100	800~1200	3.4
125	1.40	2000	2700	1000~1500	3.1
150	2.00	2400	3200	1200~1800	3.0
200	3.00	3200	4000	1500~2100	3.8

表 3 边坡质量分级修正系数表

边坡质量等级	A	B	C
k_1	1.2	1.5	1.8

表 4 岩体状态修正系数表

岩体 状态	坚石			次坚石			软石		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
k_2	1.30	1.15	1.00	1.25	1.00	0.80	1.10	0.80	0.60

表 5 炮孔直径修正系数表

d/mm	k_3	d/mm	k_3
37	1.05	87	0.85
44	1.00	100	0.93
50	0.95	125	0.80
62	0.90	150	0.78
75	0.87		

5.2 线装药密度 q

按照炮孔间距离与线装药密度保持同步变化的原理 则有：

$$q/q_0 = a/a_0$$
$$q = q_0 a/a_0$$

将(5)式代入 即得：

$$q = k_1 k_2 k_3 k_4 q_0 \tag{6}$$

5.3 耦合系数 K

分别 3 种不同的装药结构 ,其 K 值也不一样 , 具体是：

炮孔体积 $V_n = (\pi/4) d^2 L$
药包体积 $V_c = Lq/\rho_1$
药包直径 $d_c = \sqrt{4q/(\pi\rho_1)}$

式中 : L ——炮孔深度 ; d ——炮孔直径 ; ρ_1 ——装药密度。

(1)导爆索药串式装药为体积不耦合 ,其系数为：

$$K_0 = (\pi\rho_1)/(4q_0) \cdot d^2 \quad K = (q_0/q) K_0 \tag{7}$$

(2)管状药卷式装药为径向不耦合 ,其系数为：

$$K_0 = \sqrt{\pi\rho_1/(4q_0)} \cdot d \quad K = \sqrt{q_0/q} \cdot K_0 \tag{8}$$

(3)全孔径散装式装药的径向不耦合系数为 1 (即处于耦和状态) ,体积不耦合系数则是：

$$K = L/(L - l_n) \tag{9}$$

5.4 抵抗线 W

抵抗线的大小主要取决于孔间距。另外 ,岩体状态对其也有影响 ,它的经验计算式为：

$$W = ma \tag{10}$$

式中 m ——药包密集系数 ,列于表 6。

表 6 药包密集系数表

岩体 状态	坚石			次坚石			软石		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
m	1.25	1.27	1.30	1.25	1.30	1.35	1.28	1.31	1.36

5.5 空气堵塞段长度 l_n

它的大小相对 3 种装药结构是不同的 ,其经验计算式如下。

(1)导爆索药串式

$$l_n = (8 \sim 12) d \tag{11}$$

(2)管状药卷式

$$l_n = [1 - 4K^2 q/(\pi d^2 \rho_1)] L \tag{12}$$

$$10d \leq l_n \leq 25d \tag{13}$$

式中 K ——径角不耦合系数 ,设定确定。

使用时首先用(12)式计算 ,而后用(13)式校核 ,若(12)式计算值满足(13)式则可行 ,否则应重新调整设计参数或改变装药结构。

(3)全孔径散装式

$$l_n = [1 - 4q/(\pi d^2 \rho_1)] L \tag{14}$$

$$20d \leq l_n \leq 35d \tag{15}$$

式(14)计算值必须满足(15)式的要求 ,否则应调整设计参数或改变装药结构。

5.6 光面爆破孔间距和抵抗线的限定条件

$$a \leq 32d \tag{16}$$

$$W \leq 40d \tag{17}$$

若(5)、(10)两式计算值超出了(16)、(17)式的限定范围 ,则实用参数大小从(16)、(17)式的等号计算量为准 ,同时 ,还应对其线装药密度作适当调整。

6 工程实例

2002 年 12 月 ~ 2004 年 3 月 ,中铁十六局集团路桥工程有限公司在赣龙铁路(福建省境内)多段深路堑开挖中(全段路堑累计总长约 3.2 km ,路堑最大挖深 32.7 m ,爆破石方总量为 120 多万立方

米。路堑岩石为变质砂岩,弱风化,属Ⅱ级次坚石)根据施工机具和边坡质量要求,采用实用光爆方法进行边坡开挖,依据本工程的岩石状态和所用钻孔直径,按不同边坡质量等级和上述方法确定爆破参数,节省费用达 100 多万元,取得了较好的爆破效果和明显的经济效益。

7 结语

在探讨路堑边坡开挖形成实用方法——实用光爆技术的过程中,笔者有如下体会:

(1)精确光爆技术难以在路堑开挖中推广的主要原因是该技术没有考虑到路堑边坡开挖的特点和路基设计与施工规范有关内容的不够完善。

(2)实施岩石分类和质量分级并以此为基础确定爆破参数是改善路堑边坡开挖质量、推广光面和

预裂爆破技术的一条有效途径。

(3)文中所述爆破参数的确定方法及其实用参数表是以精确光爆技术为基础,结合岩体状态和质量分级,采用经验方法加以修正得到的,尽管它还比较粗糙,但目前却是实用的。

(4)实行路堑边坡的质量分级,不仅可以满足线路不同等级的技术要求,而且会为路基工程带来巨大的经济效益。

总之,随着光爆技术的不断发展和完善,这一技术必将在路堑边坡开挖中得到广泛应用。

参考文献:

- [1] 王文龙. 钻眼爆破[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992.
- [2] 张天锡. 光面爆破技术[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1994.

英国钻探协会国际地质装备展览及学术会议简介

由英国钻探协会(BDA)赞助、英国采矿与交通有限公司(Mining Communication Limited)及国际地质钻探杂志(Geodrilling International)联合举办的 2006 年国际地质钻探设备及技术展览与学术交流会议(GeoDrilling Show 2006)将于 2006 年 6 月 21~22 日在位于英国的诺丁翰(Nottingham)、德比(Derby)和雷西特(Leicestre)三个城市之间的多宁顿科技园(Donington Park)展览中心举行。

笔者有机会参加了 2005 年 5 月 18~19 日在上述地点举行的展览与学术交流会议,现就上次展览会印象及 2006 年展览及学术交流会议情况向同行提供一点参考信息。

英国已经有 15 年之多了没有举办过这样大型的钻探设备展览及学术交流会议,GeoDrilling Show 2005 是在英国钻探设备、钻探器具及地质钻探工程市场复苏及发展的情况下举行的。通过参观和实地考察,笔者感觉英国国际地质设备及技术展览会是目前世界上专业性最强的展览会,承办者 GeoDrilling International(国际地质钻探)也是目前世界上唯一最专业钻探技术杂志。2005 年的展览会有近 70 家钻探设备及器具制造商参加了展览会,绝大多数是英国公司,但也有象加拿大 Boart Longyear 公司、瑞典 Atlas Copco 公司、美国、意大利、比利时、法国等国际大公司参展。展会上所展出的产品涵盖了岩土钻掘技术领域各个方面,从大型钻机到钻孔测斜仪器及钻进施工泥浆材料,应有尽有,所有产品都与岩土钻进施工有关。本次展览会上展出了全液压轻便取样钻机、遥控式工程勘察取样钻机、水文水井钻机等钻掘设备的最大特点就是全部液压化,钻机采用各种装载形式,操作和行走非常方便和灵活,以方便各种条件下施工。参展的所有设备及器具首先在外观上给人们留下了美观和精细的感觉。有许多家参展公司在现场同用户签订了销售合同,如著名的 Dando 公司在现场就销售了 5 台全液压车装钻机。通过参观和考察,对国外一些新的钻探设备、钻探技术的发展有了新的、更深刻的了解,增加了知识,开阔了视野,收获较多。对于我国从事岩土钻掘技术研究的机构及技术人员、设备及器具生产厂家、工程施工承包商等,参加这样非常全面的展览及学术交流专业会议无疑是非常有意义的。

GeoDrilling Show 2005 不仅展出了地质钻探产品,还举行了学术研讨会,邀请了钻探届的知名人士、钻探技术专家、厂商、钻探施工公司的总裁或技术负责人就钻探技术的发展、新型设备及施工技术、施工环境保护、行业标准的制定及规范等作了相应的学术报告。通过对

2005 年参展商及参观者的调查,认为本次展览及学术活动非常好的达 27%,认为好的占 57%,认为一般的占 16%,所有意见反馈者都对 2005 年的展览会表示了不同程度的赞同和欢迎,认为应该继续举办,并打算再次参加这样的展览及学术交流会议。因此,根据反馈的结果及参展商和参观者的意见,组委会决定在 2006 年继续举办同样的展览会。根据组委会发布的消息,GeoDrilling Show 2006 在组织形式上同以往相同,但将比上届规模更大、内容更多。

BDA 是一个非政府行业协会,它除了负责组织行业的学术活动及年会外,还负责技术人员的培训、行业标准的制定、证书或资质的认证、产品信息的发布等活动。据 GeoDrilling Show 2006 组委会发布的消息,2006 年的展览及学术交流会议,除了保持去年的展览及交流内容外,2006 年将扩大展览范围及内容,扩大内容的重点是非开挖施工设备与技术、桩基施工领域的设备及技术等。GeoDrilling Show 2006 发布的信息,计划展览的主要内容包括如下:

1. 基础地热资源的勘探开发(Geothermal Energy);
2. 山地调查(Site Investigation);
3. 非开挖工程技术(Trenchless Construction);
4. 工程地质勘察钻探(Foundation Drilling);
5. 基础设施钻进(Infrastructural Drilling);
6. 地质找矿钻探(Exploration Drilling);
7. 采石工程钻进技术(Quarry Drilling);
8. 爆破孔钻进(Blasthole Drilling);
9. 定向钻进技术(Directional Drilling);
10. 桩基施工技术(Piling);
11. 大坝及道路修建工程设备及技术(Dam and Road Construction);
12. 水井钻探(Waterwells Drilling);
13. 近海及水下作业工程设备及技术(Offshore/Sub Sea Work);
14. 地下公共设施工程技术(Uilities Construction);
15. 环境调查钻探(Environmental Drilling)。

从所列计划展览的专题及内容看,将 2005 年的“地下工程修复技术(Ground Remediation)”及“隧道工程施工技术(Tunneling)”专题的内容合并到非开挖及地下公共设施工程专题里,但总的展览内容比去年有较大的增加。

(张永勤 供稿)