

桂柳高速公路边坡预应力锚索加固方案设计

谭彬建¹, 俞 敏¹, 息 颢², 黄定平³

(1. 广西桂林水文工程地质勘察院, 广西 桂林 541002; 2. 广西地矿建设工程有限公司, 广西 南宁 530023; 3. 永福县国土局, 广西 永福 541800)

摘 要: 本设计为桂柳高速公路 K444 + 710 ~ 822 上行线边坡预应力锚索加固方案设计。通过对不稳定边坡区的地貌及岩性、地质构造特征、气候及水文地质条件以及边坡变形破坏形成机制分析, 简单的进行边坡加固方案论证并提出最佳的加固方案, 对该方案进行详细设计。经过多个雨季的考验, 证明所提出的加固方案科学可行。

关键词: 边坡加固; 预应力锚索; 桂柳高速公路

中图分类号: U418.5⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)05-0073-05

Design of Pre-stressed Anchor Cable Reinforcement for Side Slope of Guilin - Liuzhou Highway/TAN Bin-jian¹, YU Min¹, XI Yang², HUANG Ding-ping³ (1. Guangxi Guilin Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Prospecting, Guilin Guangxi 541002, China; 2. Guangxi Geo-construction Engineering Co., Ltd., Nanning Guangxi 530023, China; 3. Bureau of Land and Resources of Yongfu, Yongfu Guangxi 541800, China)

Abstract: The paper introduced the design of pre-stressed anchor cable reinforcement for K444 + 710 ~ 822 upline side slope of Guilin-Liuzhou highway. The design scheme demonstration was made on the basis of the analysis on landform and lithology, geological structure characteristics, climate and hydrogeology conditions and formation mechanism of slop deformation destruction, the best reinforcement plan was presented. It has been proved in several raining seasons that the plan was feasible.

Key words: side slope reinforcement; pre-stressed anchor cable; Guilin - Liuzhou Highway

由于广西地貌特征较特殊, 桂柳高速公路大部分路段不得不穿越低山丘陵地带。深挖方和高填方路基极常见, 形成许多大小不一的人工高边坡。

桂柳高速公路建成使用几年后, 由于边坡复杂、特殊的工程地质条件加上气候等外界因素的影响, 常发生边坡失稳等地质灾害现象, 对高速公路正常营运和行车安全构成极大威胁。

1 工程地质条件与环境条件

1.1 地貌及岩性

桂柳高速公路 K444 + 712 ~ 822 上行线路段边坡原始地貌为构造剥蚀低山丘陵, 山高坡陡, 自然坡度 25° ~ 45°, 高差 30 ~ 120 m。

边坡属岩质边坡, 坡顶为坡残积碎石土覆盖。边坡出露地层为泥盆系上统郁江组上段(D2y2), 岩性主要为泥质细砂岩、泥质粉砂岩及泥岩(夹层)组成, 泥质粉砂岩、泥质细砂岩厚度 10 ~ 50 cm, 泥岩厚度 2 ~ 10 cm, 其组合厚度 12 ~ 60 cm。就岩性而言, 泥岩较泥质细砂、粉砂岩对边坡稳定性的影响较大, 由于边坡泥岩多以薄层状软弱夹层形态(厚 2 ~

10 cm)产出于泥质细砂、粉砂岩层之间, 形成软硬相间的地层组合, 在一定的坡型条件下, 边坡岩体更易沿泥岩这一软弱层产生破坏。

1.2 气候、水文地质条件

该路段边坡处于区域地下水位之上, 受区域地下水的影响不大, 但边坡内松散的含碎石粉质粘土和中 ~ 强风化泥质细砂岩、粉砂岩中孔隙、裂隙较发育, 具中等透水性; 泥岩虽然裂隙发育, 但多被充填, 呈弱透水性, 为相对隔水层, 由于坡顶截排地表水的天沟损坏失效, 水流较易渗入裂隙发育的泥质粉砂、细砂岩中, 向下渗透流动, 受弱透水层泥岩阻隔时, 形成上层滞水, 部分地下水沿裂隙向深部渗透, 部分沿泥岩层面排出。

根据对边坡变形破坏与降雨量关系的调查分析, 降雨量相对集中的时段, 边坡变形破坏发生和发展的可能性越大; 而降雨量较小的时段, 边坡变形破坏发生和发展的可能性则相对较小。

1.3 边坡变形破坏形成机制分析

该路段边坡变形破坏形成机制主要是受岩层层面控制的平面型破坏, 结合野外调查及锚索孔资料,

收稿日期: 2010-01-12; 修回日期: 2010-04-11

作者简介: 谭彬建(1971-), 男(汉族), 广西桂林人, 广西桂林水文工程地质勘察院工程师, 水工环专业, 从事工程勘察、地质灾害勘查治理设计工作, 广西桂林市铁西一里 8 号, tanbinjian@163.com。

边坡变形破坏为滑移~弯曲型。其形成机制主要是中厚层泥质粉细砂岩夹薄层泥岩岩体沿其泥岩与粉砂、细砂岩层面向下滑动,由于下部受阻,在顺滑移方向的压应力作用下发生纵弯曲变形,首先是在弯曲部位出现顺层拉裂面,局部地段岩石被压碎,坡面轻微隆起,岩体出现松动,并伴随着降水渗入,引起一系列的不良作用(见图1)。

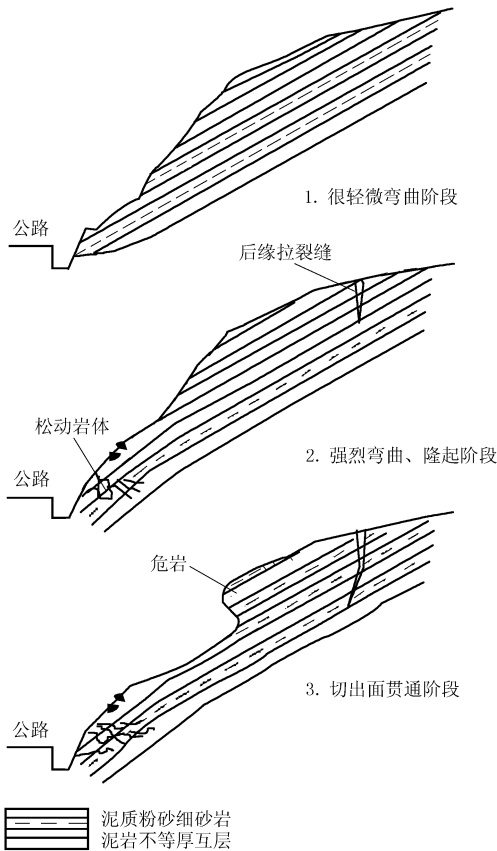


图1 K444 + 710 ~ 822 上行线滑坡过程示意图

2 边坡加固方案分析

K444 + 710 ~ 822 上行线边坡危岩有以下特点:

(1)危岩体高悬,一般的支挡措施难以凑效。该边坡高度大(36 ~ 45 m),坡度陡(53° ~ 65°),滑动面埋藏深(6 ~ 12 m),采用一般的支挡结构(重力式挡土墙、托盘式挡土墙、悬臂式挡土墙、抗滑桩等)难以治理。

(2)下方有公路等构筑物,一般爆破不能保证已有构筑物的安全,而控制爆破也存在对边坡的防护问题,且费用较高。

鉴于以上分析,采用预应力锚索技术加固危岩不失为一种便捷而安全的措施,辅助以锚杆、嵌补支顶、挂网、施打泄水孔和修复天沟等措施进行综合加固治理。

3 滑坡剩余推力计算

为给设计加固工程提供定量数据,在滑坡形成机制分析、岩体结构面抗剪强度参数确定后,选择K444 + 740、K444 + 783.5、K444 + 801 三条平行剖面进行剩余推力计算。计算公式如下:

$$E_i = F_{si}W_i\sin\alpha_i + \psi E_{i-1} - W_i\cos\alpha_i\tan\varphi_i - C_iL_i$$

按有关经验,工程安全等级为一级的边坡稳定性系数应大于1.25,而计算的各断面稳定性系数均小于1.25,所以K444 + 710 ~ 822 边坡稳定程度低,特别是雨季时处于不稳定状态,需加固处理以确保安全。

其作用于滑块的基本力系见图2,由类似工程经验值及上述计算公式,各断面滑体剩余下滑力结果见表1。

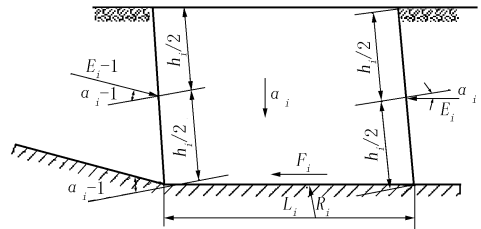


图2 作用于滑块的基本力系

表1 滑坡稳定性计算结果一览表

剖面编号	饱和容重 /(kN·m ⁻³)	粘聚力 c/kPa	内摩擦 角φ/°	稳定性 系数	剩余下滑力 /(kN·m ⁻¹)
K444 + 740	24.8	24	36	1.10	326
K444 + 783.5	24.8	24	36	1.03	460
K444 + 801	24.8	24	36	1.12	360

4 锚索设计

4.1 锚固类型的选择

根据野外查明的边坡工程地质条件、边坡变形破坏特征和稳定性计算结果,结合邻近工程的设计、试验和施工经验,该边坡采用锚孔为圆柱状,结构受力形式为拉-压混合型。

4.2 锚索抗拔力、倾角及锚固力的确定

根据边坡岩性及滑坡现状、滑坡剩余推力值、施工条件,选择抗拔力为500 kN、便于施工的小吨位锚索,按3.5 m × 8 m或3.5 m × 10 m(宽 × 高)等间距布置,目的是使之在整个坡面以及其上部危岩体形成一个均匀受压面。

4.2.1 锚索抗拔力的确定

锚索提供的抗拔力为:

$$P_{抗} = P_n\tan\varphi + P_t = P\sin\alpha\tan\varphi + P\cos\alpha \quad (1)$$

若滑裂面的倾角为θ,则θ = α ± β,将式(1)取α

的一阶导数,并令其等于 0,锚索可获得最大抗滑力 $P_{\text{抗max}}$:

$$P_{\text{抗max}} = P / \cos \varphi \quad (2)$$

由式(2)可知,理论上 500 kN 级锚索可获得大于 500 kN 的抗滑力。

4.2.2 锚索倾角的确定

从经济性角度上对钻孔倾角的选择作详细介绍。设锚索孔口至滑裂面垂直距离为 H ,则索长(不计锚固段长度) $L = H / \sin \alpha$ 。令 $\alpha = 36^\circ$,对 500 kN 级锚索可获得最大抗滑力为 618 kN, $L = 1.7H$,即锚索长度为垂直滑面距离的 1.7 倍。同样情况下,垂直于滑裂面布置锚索最短,其抗滑力为:

$$P_{\text{抗}} = P \tan \varphi = 500 \tan \varphi \tan 36^\circ = 363 \text{ kN} \quad (3)$$

由此,当 $\alpha = \varphi$ 时,可获得最大抗滑力,但锚索过长; $\alpha = 90^\circ$ 时,锚索最短,但抗滑力最小。因此必然存在一个最优锚索与滑裂面夹角,可使锚索不至太长,又可获得满意抗滑力,该角度为(参见图 3):

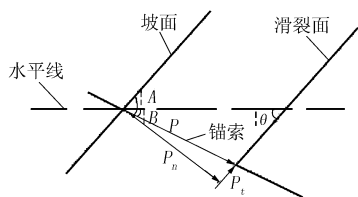


图3 锚索倾角计算图

$$\alpha_{\text{优}} = 45^\circ + \varphi/2 = 45^\circ + 36^\circ/2 = 63^\circ \quad (4)$$

由此可得最佳的锚索倾角为:

$$\beta = \theta - \alpha_{\text{优}} \quad (5)$$

K444 + 710 ~ 822 上边坡滑面平均倾角为 41° ,可算出最经济锚索倾角 $\beta = -22^\circ$ 。

根据上述可确定锚索倾角 $\beta = -20^\circ \sim -25^\circ$,实际采用时应结合具体地形来作适当调整。

将 $\alpha = 63^\circ$ 代入(2)式,得 $P_{\text{抗}} = 551 \text{ kN}$ 。

4.2.3 锚索锚固力的确定

以 K444 + 783.5 断面为例,其剩余下滑力(锚索纵向间距为 3.5 m) $T = 460 \times 3.5 = 1610 \text{ kN}$,平均锚固角 $\alpha = 63^\circ$,滑面综合内摩擦角 $\varphi = 36^\circ$,荷载安全系数 $K_0 = 1.2$,所需锚固力为:

$$Q_m = \frac{k_0 T}{\sin \alpha \tan \varphi + \cos \alpha} = 1754 \text{ kN} \quad (6)$$

该断面共布置 5 根 500 kN 锚索,可提供锚固力 2500 kN,大于 1754 kN,满足要求。

根据表 1 中的剩余下滑力值,用上述公式可算出:

K444 + 740 断面,锚固力为 1243 kN,应布置 3

根 500 kN 锚索,可提供 1500 kN 的锚固力,满足要求;

K444 + 801 断面,锚固力为 1373 kN,应布置 4 根 500 kN 锚索,可提供 2000 kN 的锚固力,满足要求。

根据以上设计,在 112 m 宽、36 ~ 45 m 高范围内共布置 3 ~ 5 排预应力锚索,确定共布置 121 根预应力锚索,具体布置见图 4。

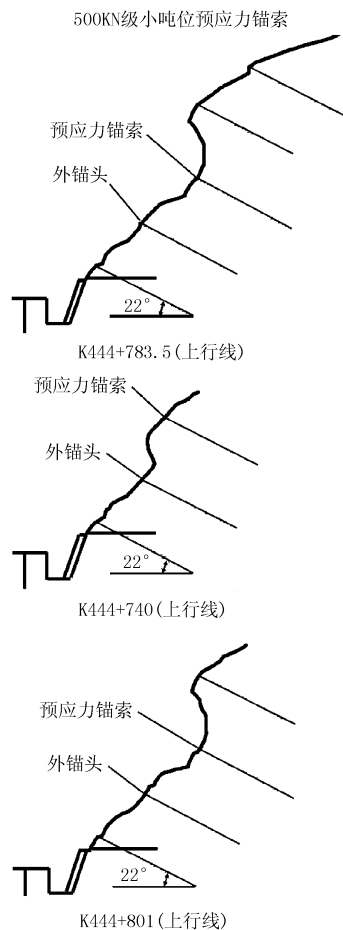


图4 横断面设计示意图

4.3 锚索体材料及截面确定

锚索(杆)的拉杆应采用高强度材料,如钢绞线、高强度钢丝或高强度精轧螺纹钢筋等。在本边坡锚固工程中均采用高强度低松弛预应力钢绞线。

4.3.1 锚索设计的轴向拉应力确定

锚索的设计轴向拉应力以下式计算:

$$\delta_K = K_{\text{设}} F_{\text{ptk}} \quad (7)$$

由于国内锚索设计和施工规范尚未正式颁布,因而安全系数取值常采用工程类比法。K444 边坡锚固工程采用 $K_{\text{设}} = 0.5 \sim 0.6$,安全储备较高。

4.3.2 锚索体截面积及钢绞线根数的确定

锚索体截面积采用下式计算:

$$A_t = S_f P / F_{ptk} \quad (8)$$

计算锚索体材料的总截面积:

$$A_t = S_f P / F_{ptk} = 2.0 \times 500000 / 1860 = 538 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

钢绞线根数:

$$n = A_t / A = 538 / 140 = 3.8 \text{ 根} \quad (10)$$

即该锚索应使用 4 根钢绞线。

4.4 锚索注浆体与地层之间粘结长度的确定

锚索锚固段浆体与地层界面间的粘结力受诸多因素制约,包括岩石的强度、浆体类型和强度、锚索类型、锚固段结构形式及施工工艺等,锚固段长度的确定按下式计算:

$$L_{m1} = S_f P / (\pi D C_1) \quad (11)$$

根据类似工程的试验结果及施工经验,其水泥砂浆与孔壁设计粘结强度取值 $C = 0.6 \text{ MPa}$,安全系数 $S_f = 3.0$,计算得锚固浆体与地层之间粘结长度 $L_{m1} = 6.1 \sim 6.7 \text{ m}$ 。

4.5 锚索锚固浆体与锚索体之间的粘结长度计算

锚固浆体的浆液及灌注质量,直接影响锚索的锚固能力及耐久性,按握裹作用计算锚固段长度采用下式:

$$L_{m2} = S_f P / (n \pi d c_2) \quad (12)$$

计算得 $L_{m2} = 5.2 \text{ m}$ 。

4.6 锚固段、张拉段长度及锚固深度的确定

4.6.1 锚固段长度

锚固段最佳长度与粘结力分布范围、地层类型及锚索预应力设计值有关。在确定锚索锚固段长度时,应具体分析锚固段所处地层情况,为安全起见,都要对锚索结合长度和握裹长度分别计算,设计时实际锚固段长度应取较大值。因 $L_{m1} (6.1 \sim 6.7 \text{ m}) > L_{m2} (5.2 \text{ m})$,所以锚固段长度取 L_{m1} 。

锚固段置于最深层滑动面之下,其孔壁岩性为中~微风化泥质细、粉砂岩夹薄层泥岩,是良好的锚固基础,为防止弱风化泥岩夹层受水软化形成新的滑面,以及局部由节理切割的岩体承受拉力后松动,锚固段实际设计长度为 10.0 m 。

4.6.2 张拉段长度

锚索张拉段长度根据锚索与滑移面、边坡面交点距离确定,其考虑因素包括:(1)按前述的最经济倾角算法计算;(2)为保证被锚固地层的稳定性、锚固段的可靠性,防止锚固段顶端出现严重张拉区;(3)自由段底端一般要超过破裂面 1.0 m 且自由段长度不宜小于 5.0 m 。K444 边坡加固工程滑动面埋深 $6 \sim 12 \text{ m}$,张拉自由段长度 $7.3 \sim 16.3 \text{ m}$,满足

要求。

4.6.3 锚固深度

锚固深度是指稳定地层表面至锚固段中点的地层厚度,计算公式为:

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 S_f P}{r \pi \tan^2 \varphi'}} \quad (13)$$

该边坡主要软弱结构面地层埋深 ($12.3 \sim 21.3 \text{ m}$) 均大于计算的锚固深度 ($h = 9.6 \text{ m}$)。

4.7 锚索型式和防腐措施的确定

4.7.1 锚索型式

工程采用拉-压混合结构类型锚索,每束锚索由 4 根 $\varnothing 15.24 \text{ mm}$ 钢绞线制成。锚固段内剥去 PE 套管保护层,并擦净油脂,自由段保留 PE 套管保护层,钢绞线间用波纹管制成的支承架固定,以使锚索体居中,并使各股钢绞线相互分离,底端用钢板和挤压套“握裹”钢绞线,形成 P 型内锚具,焊接锥形导向帽,以方便锚索推送到位。

外锚头由十字形槽钢承台、锚具、承压板构成。

4.7.2 承台

承台是按锚具的集中荷载均匀地传到岩石面的构件,其底面积大小主要取决于锚索设计锚固力和地基容许承载力 $[\delta_0]$,采用下式计算:

$$F = KP / [\delta_0] \quad (15)$$

计算得 $F = 0.5 \text{ m}^2$,而采用的承台底面积 $S = 1.2 \times 0.25 + 0.95 \times 0.25 = 0.54 \text{ m}^2$, $S > F$,满足要求。

十字形承台为一较复杂的结构体系,应考虑十字交叉梁与岩体的共同作用。本工程采用了简化方法,分析方法的关键在于如何进行交叉点处荷载的分配,一旦确定荷载的分配值,交叉型承台分别按纵、横两个方向的梁计算。按照上述方法进行荷载分配后,可分别按纵、横两个方向对槽钢强度进行验算,但这样计算,在交叉点处基底重叠部分面积重复计算了一次,结果使地基反力减少,致使计算结果偏于不安全,故在节点荷载分配后还需进行调整。

5 锚固效果与社会效益评估

K444 + 710 ~ 822 上行线边坡锚固工程于 2000 年 5 月 9 日全部竣工。到目前为止,经历了多个雨季的考验。通过设置监测点对坡面裂隙及挡土墙裂隙进行观察、监测,均无发展趋势;对各锚索承台控制点监测结果分析说明,其变形位移量较少。预应力观测表明,其赋存的预应力除随气候条件改变而变化外,没有预应力持续损失现象,说明锚索已发挥

加固作用。边坡加固后的效果见图 5。



图 5 边坡加固效果

K444 + 710 ~ 822 上行线边坡加固工程中采用预应力锚索、普通锚杆,结合挂网、排水等综合整治措施(见图 5),不仅结构合理,工程造价较低,与环境协调,而且施工速度快,不影响公路运营。其技术成果可以推广到区内外类似地区,也可提供给高速公路和重点工程项目选线(址)设计和建设中的高(超高)边坡加固治理工程参考之用。施工中所采用的技术方法、施工工艺和组织管理经验也有一定的借鉴价值。

6 结语

该边坡加固工程采用了拉-压混合型锚索,该锚索在拉力型锚索的基础上增加了内锚板,很大程度上改变了锚索的受力条件,改变了锚索工作状态,增加了锚索的安全度。该边坡加固工程证明,预应力锚索治理高陡边坡,充分利用了锚固技术灵活多样的特点,且针对性强,工程造价低廉,施工速度快,干扰少,适应性广,是一项值得大力推广的边坡加固治理措施。

参考文献:

- [1] 俞敏,等. 桂柳高速公路 K420 ~ 450 路段地质灾害勘察及预应力锚索锚固体系试验研究[R]. 2001.
- [2] 李传珠,等. 预应力锚索抗滑桩锚索锚固力形成机理及锚索设计拉力的确定[A]. 一九八七年全国滑坡学术讨论会滑坡论文选集[C]. 成都:四川科学技术出版社,1996.
- [3] 华代清. 漫湾水电站边坡预应力锚索加固设计的几个问题[A]. 岩土锚固工程技术[C]. 北京:人民交通出版社,1996.
- [4] 冯学知,李恒宝. 超深预应力锚索在三峡库区滑坡治理工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10).
- [5] 俞敏,李旺珍,胡华敏,等. 预应力锚索在公路高陡边坡加固整治工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(8).

阿特拉斯·科普柯建筑与矿山技术部 2010 世博主题客户活动

本刊讯 2010 年 5 月 7 日,精雕细琢 穿越未来 共创美好生活——阿特拉斯·科普柯建筑与矿山技术部 2010 世博主题客户活动在上海盛大开幕。阿特拉斯·科普柯建筑与矿山技术部总裁/阿特拉斯·科普柯集团高级执行副总裁 Bjorn Rosengren、阿特拉斯·科普柯建筑与矿山技术部大中华区客户中心总经理文扬之,以及 660 多名来自全国各地的客户和阿特拉斯·科普柯公司员工出席了此次盛会,并于 5 月 8 日参观了上海世博园瑞典展馆 VIP 区。

“欢迎光临阿特拉斯·科普柯建筑与矿山技术部主办的世博主题客户活动”,Bjorn Rosengren 先生的致辞拉开了此次活动的序幕,“中国曾一次又一次地让世界为之震惊,从解决世界人口最大国的温饱问题,到面临自然灾害前快速而有效的救援行动,再到组织令人无可超越的奥运会。最为重要的是,中国社会经济正在以惊人的速度发展着。今天,中国组织的世博会再次让世界惊叹。”

阿特拉斯·科普柯集团非常荣幸成为瑞典馆的官方合作伙伴。借助这次机会与在中国的合作伙伴一起分享和体验这次盛会。2010 年上海世博会的瑞典展馆包含瑞典展厅、VIP 区域及其他设施。展馆总面积 3000 m²,毗邻其他北欧国家一起设立在世博会的欧洲版块中。瑞典这次参加上海世博会的主题是:创意之光。其世博会的参展重点——可持续发展,创新和交流与阿特拉斯·科普柯的核心价值——互动、承诺、创新及品牌承诺——致力于可持续的生产力不谋而合。致力于可持续的生产力,意味着所从事的每件事情必须确保在负责的使用各类资源,如人力资源、自然资源及财务资源后获得可靠并持久的效果。

Bjorn Rosengren 先生说,“随着世界的重心向东方转移,阿特拉斯·科普柯集团决定把建筑与矿山技术部的全球总部搬到中国。这样就可以贴近我们最重要的客户市场,能够更好地了解,预测并满足客户的需求。置身其中体验高速发展的经济,这种诱惑无人可挡!”

随后,建筑与矿山技术部的八位经理分别介绍了各部门的产品和服务,并组织了多种产品介绍活动。如 ROC T15 轮式轻型爆破孔

钻机发布会,走向未来——露天爆破钻孔设计竞赛,地下岩石开挖设备新产品介绍会,通过创新与本土化生产提高客户满意度,新的机遇——轻型产品技术交流会,液压破碎锤在矿山领域的应用,可持续性的钻孔——新概念及新产品,岩心钻探工具的选择与应用。

Bjorn Rosengren 总裁、文扬之的总经理等多位高层领导与专业媒体代表面对面进行亲切对话,解读了阿特拉斯·科普柯与上海世博会、可持续的生产力、绿色环保、产品的本土化、公司的组织架构、全球及中国的市场竞争等问题,并回答了记者的提问。

同期举办的还有阿特拉斯·科普柯与华润水泥、鞍山钢铁集团、中冶集团武汉勘察研究院和四川省地质矿产勘查开发局的签字仪式,来自全国各地的十多家专业媒体见证了签字仪式的盛大时刻。这些合同的签订,对中国地质勘探事业的发展、对中国铁矿开采事业的可持续性发展、对矿山机械在中国水泥行业的持续发展等起到良好的推动作用。

最后,阿特拉斯·科普柯建筑与矿山技术部与中国水泥协会之间关于助推中国水泥矿山转变增长模式的对话使本次阿特拉斯·科普柯 2010 世博主题客户活动完美落幕。双方就中国水泥产业的良性发展及节能减排等方面进行的紧密协作进行了充分交流。

