

# 深基坑工程结构类型与安全监测要素

车灿辉<sup>1,2</sup>, 刘实<sup>1,2</sup>, 刘静<sup>1,2</sup>

(1. 安徽省地矿局第一水文工程地质勘察院, 安徽蚌埠 233000; 2. 安徽水文地质工程地质公司南京分公司, 江苏南京 210019)

**摘要:**论述了几种主要支护结构的深基坑工程的监测方法和不同特点, 将基坑过程中不同施工阶段的风险分析、安全评估与信息化施工相结合。为岩土工程设计、基坑工程施工、土方开挖、基坑工程监测提出可供参考的工程实践经验与理论研究成果。

**关键词:**深基坑工程; 支护结构; 安全监测; 岩土工程设计

**中图分类号:** TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)04-0060-05

**Structural Types of Deep Foundation Pit and Safety Monitoring Elements/CHE Can-hui<sup>1,2</sup>, LIU Shi<sup>1,2</sup>, LIU Jing<sup>1,2</sup>**

(1. The First Institute of Hydrogeology and Engineering Geological Prospecting Anhui Geological Prospecting Bureau, Bengbu Anhui 233000, China; 2. Anhui Hydrogeology and Engineering Geology Corporation Nanjing Branch, Nanjing Jiangsu 210019, China)

**Abstract:** This paper discusses monitoring methods for deep foundation pit engineering with several supporting structures and different characteristics; combines risk analysis, safety assessment and information construction at different stages of foundation pit construction. Those are the practical experiences and theoretical research results provided to geotechnical engineering design, foundation pit construction, earth excavation and foundation pit monitoring.

**Key words:** deep foundation pit engineering; supporting structure; safety monitoring; geotechnical engineering design

## 0 引言

为了能针对不同结构型式的深基坑工程采取有针对性的监测方法, 能在不同施工阶段、不同工况条件下进行监测工作, 笔者根据多年来岩土工程测试的实践经验, 结合基坑支护设计理论进行探索, 提出基坑安全监测的原理与方法, 以指导具有高风险的深基坑工程安全施工。

## 1 排桩加混凝土内支撑体系挡土结构的监测

此类结构是目前我国深基坑支护工程采用较为广泛的结构形式。

它以排桩围护体作为挡土的竖向结构(图1), 在坑内布设内支撑体系作为水平受力结构, 形成受力明确、整体性好、刚度大、变形控制好的围护体系。它采用顺作法施工, 根据工程场地的土层结构、基桩挖深、周边环境特别是变形控制要求, 灵活调整围护桩的直径、纵向受力钢筋的配筋、砼标号、桩间距、桩长, 常采用大直径灌注桩型式, 以达到围护桩有满足设计要求的竖向刚度。在地下水控制设计上, 常在桩外侧迎土面设置隔水帷幕(亦称止水帷幕), 以阻隔地下水和保护桩间土。水平支撑常有角撑、对撑、

边排架等分离式构件组合形式, 也有圆形、椭圆形支撑等空间受力结构形式<sup>[1,7]</sup>。

对于排桩加支撑挡土结构的监测, 其监测的重点是: 基坑长边中点的变形监测, 包括围护桩顶水平位移、沉降、围护桩身内深层水平位移、桩后土层深层水平位移等内容的全面监测。选择在长边中点是因为该处是基坑长边效应的集中点, 也是基坑变形值最高点。在该部位集中布置多种监测点, 既可以了解桩顶水平位移, 又可以了解垂直沉降变形; 既可以了解桩身挠曲变形, 又可以了解桩后土体的不同深度范围的水平位移。几种监测结果要综合在一起, 共同分析才能得出变形的空间特征, 以做出支护结构是否满足设计要求和是否安全的判别。

支撑结构内力监测: 基坑外侧的侧向力、土压力由围护桩(墙)及支撑体系共同承担。当实际支撑轴力与支撑在结构体系平衡状态和弹性受力状态下所能承受的轴力(设计计算轴力)不一致时, 则可能发生支护结构体系的失稳。支撑轴力监测点布置原则是: 宜布置在支撑内力较大或在整个支撑体系中起控制作用的杆体上。如矩形基坑上边中部的对撑排架; 方形基坑角撑排架的最长边上; 监测的截面宜

收稿日期: 2012-11-02; 修回日期: 2013-02-24

作者简介: 车灿辉(1984-), 男(汉族), 江西金溪人, 安徽水文地质工程地质公司南京分公司工程师, 水文地质专业, 硕士, 从事水文地质工程地质工作, 江苏省南京市建邺区庐山路158号嘉业国际城3-2306, checanhui@126.com。

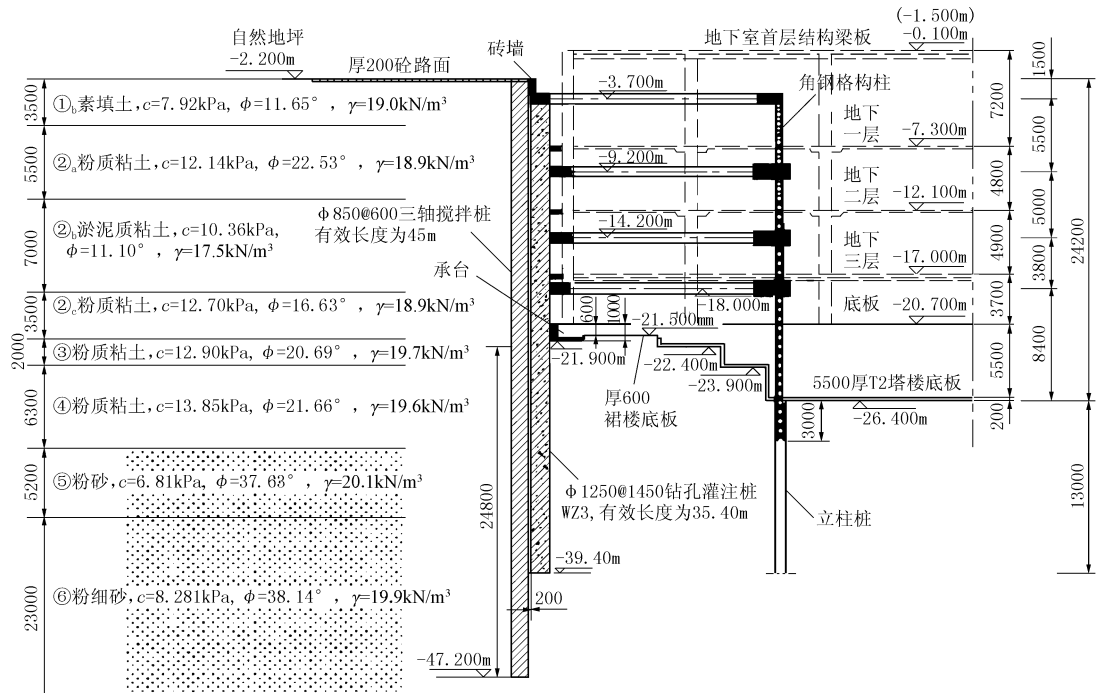


图1 排桩加砼内支撑体系挡土结构示意图

选择在两支点间 1/3 部位,并避开节点位置;环形支撑重点是内环受压构件;多层支撑结构体系的监测每层支撑的内力监测点不应少于 3 个且各层支撑的监测点宜上下对齐竖向在同一剖面上。

柱竖向位移监测:支柱是保证水平支撑体系保持平面受力的重要竖向支承系统,其不但要承受砼支撑的自重荷载,还有保证在竖向承载安全条件下的偏心受压承载力。在支撑跨度较大且支撑轴力较大时,支柱的沉降或隆起对支撑轴力的影响很大。有测试资料显示:支柱竖向位移 20 ~ 30 mm,支撑轴力会变化 50% ~ 100%,各立柱的竖向位移如不协调,差异变形会引起支撑体系各点在垂直面和平面方向产生差异变形和位移,最终引起支撑内产生较大的平面次应力,引起结构偏心受压失稳,甚至发生破坏。立柱监测的重点是:立柱受力较大的部位——多根支撑交汇处;变形较大部位——基坑形态不规则阳角部位支撑下的立柱;容易发生差异沉降的部位——纵向与横向支撑交汇处、大跨度角撑与边排架交汇处。在立柱和立柱桩设计时虽已充分考虑了支撑体系的竖向荷载,但对软土地质基坑开挖后引起的坑底土体隆起、软土蠕变、坑外沉降向坑内土体涌入上隆等变形造成的立柱桩上浮而引起立柱上抬,此种变形难以定量分析,须通过监测来监控支撑体系的变形与安全。

## 2 地下水位控制设计与水位监测

基坑工程的地下水控制是基坑岩土工程设计的关键,许多基坑出现险情均与基坑止水(降水)设计、施工监测有关。基坑开挖范围涉及到揭露了基坑周边的孔隙潜水含水层,地下水会向坑内侧向渗透流入,因此需进行坑周的隔水设计。在许多地区,基坑底部存在深部承压水含水层,其水头压力往往高出坑底数十米,而坑内开挖卸土至坑底后,自坑底承压水含水层顶板残面的土体厚度变薄,上覆土层的自重力在不足以压住下伏承压水含水层的水头压力时,坑底就会产生突涌而淹没基坑,因此需要布设坑内降压井来降低承压含水层水压。<sup>[1,2]</sup>

另外,为创造坑内干燥的无地下水施工环境以便于基坑土方开挖,在地下水开挖设计方面只要有地下水,均设计坑内降水井。此类降水井分 2 类,一类是有止水帷幕形成周边隔水条件下坑内在无侧向补给渗入时的坑内静储量地下水的疏干降水;另一类是承压水含水层厚度大、埋藏深,因经济和施工难度等因素隔水帷幕无法将承压水含水层截断封闭止水时,形成悬挂式半封闭止水帷幕,此时地下水降水采用的是所谓“止降结合”的综合措施。通过坑内降水,降低了坑内承压水水头压力,使基坑突涌稳定性处于安全状态,在降水过程,坑外地下水通过坑底未隔断的承压水含水层,沿止水帷幕绕流进入基坑或从坑底上涌进入坑内。

对不同含水层结构和不同地下水控制措施条件,基坑地下水水位监测应采取不同的有针对性的监控措施。

### 2.1 无隔水帷幕基坑敞开式降水的水位监测

当基坑地下水不丰富,或周边环境相对开阔,无重要建构筑物 and 地下管网或基坑开挖范围内有厚度大、强度高的超固结硬塑土“硬壳层”,或地下含水层渗透性差、水量小、厚度薄、埋深于局部含水层中

时,往往可以采取自然放坡的基坑支护结构型式,其地下水控制设计则采取坑内外大降水,即敞开式降水(如图2),在坑内布设管井或轻型井点;放坡的坡脚或马道上布设管井或轻型井点;或在坡顶坑外一定范围(基坑挖深1~2倍范围)布置降水井等。如杭州庆春路过江隧道江南出口基坑工程,因周边场地空旷、环境条件简单,采用大放坡开挖,其地下水控制则为敞开式降水。

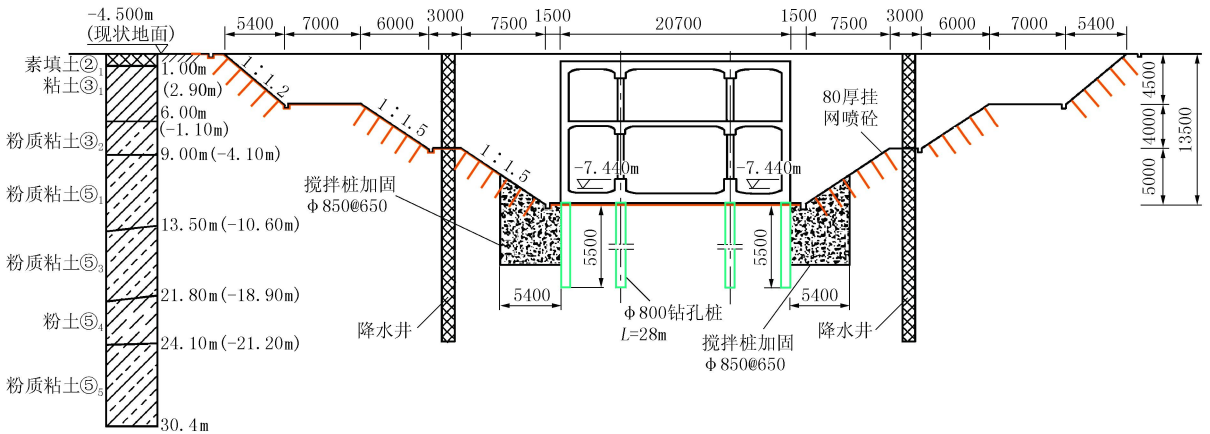


图2 敞开式疏干降水示意图

对于敞开型降水,工程上又称大降水的地下水水位监测,其监测重点是:一方面监测坑内地下水位是否已降至设计标高以满足坑内土方开挖和地下室施工的要求;另一方面要监控疏干区范围,坑外地下水位变化性质,防止降落漏斗的过度和失控扩大。因此,水位监测井要在坑外一定距离内有序布置。在有局部需要保护对象附近,应布置监测兼回灌井,通过监控水位变化,决定是否进行回灌。

### 2.2 封闭式止水帷幕基坑降水的水位监测

当基坑设置了止水帷幕,隔断了坑内外含水层之间水力联系时(止水帷幕进入坑底隔水底板),地下水降水仅仅是疏干降水(如图3)。降水一般在土方开挖前二周进行预降水,以尽量降低坑内土体的含水量5%~10%,提高土体强度,便于分层开挖和临时边坡坡体的稳定。

降水过程中监测工作的重点是:通过坑外所有观测井水位细微变化的监测,发现止水帷幕存在渗漏的隐患,在开挖前及时采取坑外注浆、施打高压旋喷桩等补救措施,将基坑可能发生渗漏灾害消灭于土方开挖之前。疏干降水期间,坑内地下水位观测井宜选择在坑中央或两相邻观测井的中间部位。坑外地下水位监测点应沿基坑周边、被保护对象与基坑之间布置,重要部位可沿其四周布置,回灌兼观测井应设置在被保护对象与基坑之间,井的间距宜为

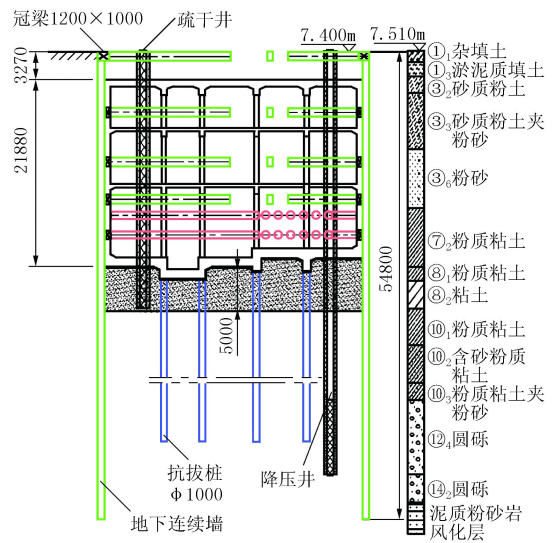


图3 全封闭型疏干降水示意图

20~50 m,井深须超过最低降深标高以下5 m;承压水观测井须将滤管埋设在所测承压含水层之中。

### 2.3 悬挂式止水帷幕基坑降水的水位监测

当含水层埋深大、厚度大,止水帷幕难以隔断含水层的侧向水力联系时,地下水的控制特别是承压水在坑底对基坑威胁时,地下水位的动态控制与监测十分重要,因隔水结构仅在含水层上局部范围形成,而基坑坑底无隔水底板,有如一无底的桶,地下水的通道在坑底隔水帷幕底端下仍然存在,整个基

坑底为地下水向上涌的通道(图 4)。该种基坑工程降水难度大且降水风险大,降水设计时需要保证足够的安全系数,通常取 1.5 以上。

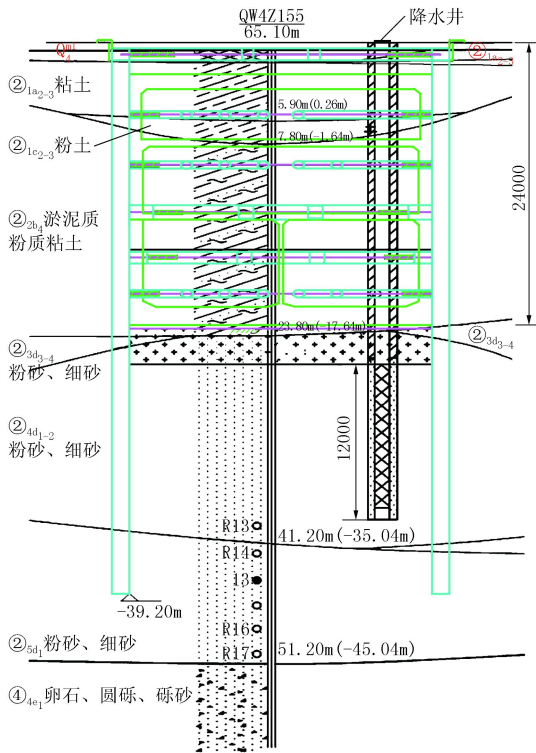


图 4 悬挂式降水示意图

这类止降结合的基坑工程降水,其监测重点是:基坑内、外的地下水位监测均非常重要,保持坑底承压水头始终低于安全水头限度内,避免过大的降低承压水头造成过多抽排地下水,在坑外形成大范围的降落漏斗;防止在降落漏斗地下水浸润线区域地面建筑物发生沉降和差异沉降变形,防止道路开裂、管线破裂渗漏,防止煤气管燃爆。坑外水位监测点除在基坑周边有序布设外,还应在被重点保护的对象适当增密并尽可能垂直基坑向外增加观测井。对重点保护对象处的观测井须按降压井相同的井结构来设计施工,以保证在坑外水位下降大时观测井可作为回灌井进行坑外回灌。

例如南京地铁 10 号线中间风井基坑工程周边环境复杂,对地面沉降控制要求高,且承压含水层厚度大,隔水帷幕无法隔断基坑内、外地下水水力联系,采取止降结合的地下水控制措施,同时在坑外布置回灌井,保证了基坑周边建(构)筑物和地下管线的安全,最大沉降变形控制在 3 mm 以内。

### 3 地下连续墙两墙合一结构的监测

现浇地下连续墙是采用原位连续成槽浇筑砼而

形成的深基坑钢筋砼围护墙。它具有整体性好、墙体刚度大、基坑开挖过程中变形小、基坑安全性高,墙身具有很好的抗渗能力,坑内降水对坑外影响小,可作为地下室外墙(两墙合一),可配合逆作法施工等优点。地下连续墙围护结构往往用于深大环境复杂、地下水丰富的基坑工程。在邻近地铁、重要构筑物、场地狭小、基坑挖深 > 30 m 时,更体现其优点,许多城市地铁车站、超深基坑、普通止水帷幕难以达到全封闭止水的大基坑常采用此结构。

地下连续墙厚度常设计为 0.8、1.0、1.2 m,嵌入土层深度在 40 ~ 60 m。如南京金融城嵌入在南京河西承压含水层之下的基岩中风化岩层中,深度近 60 m;又如天津津塔嵌入在第二承压水底板之下以实现对 a、b 二层承压水的全封闭,墙深近 46 m。

地下连续墙的墙身变形监测的重点是在较厚的墙体内要能精确地测定墙体正截面受弯、斜截面受剪、迎坑面和迎土面受压和受拉不同形式的变形和挠曲。因此,每一测点深层位移测斜管应在地下连续墙两侧纵向钢筋附近各布置 2 根,才能测出变形特征。目前各设计监测单位只在墙厚度中心线处布置一根测斜管,这反映不出墙体受力特点。

另外,在主支撑处结合支撑轴力点的布置,在墙体内进行深层水平位移监测,在立柱处进行立柱沉降监测。

地连墙在成槽施工过程中沟槽附近土体发生侧向变形,进而导致地表沉降,当连续墙周围有浅基础建筑物、地铁盾构隧道时,本来设计上作为保护周边环境的安全性好的地连墙却在施工期间就破坏了保护对象。因此,地连墙在施工时就应开始进行全过程的地表、建筑物、道路、地下管网、邻近地块的沉降变形监测。

### 4 水泥搅拌桩重力式围护墙的监测

水泥土重力式围护墙是以水泥等材料为固化剂,采用搅拌机械通过喷浆将水泥与搅拌切割松散的土体进行强制搅拌,形成连续搭接或套接的水泥土柱状加固体,该加固体所形成的挡土墙有同于传统挡土墙的设计原理,故称为基坑支护重力式挡土墙,以区别于边坡重力挡土结构。

水泥土挡土围护墙是无支撑自主式挡土结构,它具有一定的厚度和嵌固深度,依靠墙体自主、墙底摩阻力和墙前基坑开挖面以下的土体(被动区)的被动土压力来抵挡墙后的水土压力,以稳定墙体,满足围护墙体的整体稳定、抗拉稳定、抗滑稳定、抗倾

覆稳定和墙体自身的变形和破坏。

水泥土深层搅拌桩重力式挡土墙一般用于软土地基,基坑开挖深度 $<6.0\text{ m}$ 的基坑。因基坑挖深越大、面积越大,墙体侧向位移往往超过设计规范限定的位移值。

对水泥土重力式挡土墙基坑的监测重点是:在软土区大基坑长边的中点,该点往往是挡土围护墙变形最大的突破点,须作为重点监控部位。因水泥搅拌桩在淤泥质软土固结周期长,强度提高极缓慢,监测工作需强调土方开挖必须达到施工竣工后28天方可进行施工。此外,重力式挡土墙自身重力大,在软土区当下卧层均为软弱土层时,墙体会发生下沉和外倾同时发生情况,即地基稳定性和边坡稳定性均有问题时,除支护结构变形可达到数十厘米处,墙后地面会发生挖深2倍范围内大面积沉降,此范围内的道路、地下管网、建构筑物均会发生变形破坏,须进行重点监测,及时报警,必要时采取抢险应急措施甚至回填基坑进行加固补强。

## 5 结语

通过对深基坑工程排桩加砣内支撑体系挡土结构的监测、地下连续墙两墙合一挡土止水结构的变形监测重点的论述,通过对不同地质结构条件下基坑敞开式大降水、全封闭隔水帷幕疏干降水、悬挂式止水帷幕止降结合控制地下水的水位监测重点的阐述,通过对柔性易变形水泥搅拌桩重力式挡土结构变形监测控制要素的分析,可得出以下结论:

(1)监测工作是全过程三维空间的四度物理—力学场的变化监控,对基坑而言,要注意长边效应、软土变形的时间效应、支撑加折撑的应力施加和卸荷效应、桩土共同作用的空间效应等综合因素在不同工程条件下变形效应的表征。要具体分析结构受力特点和力传递途径与围护结构变形的关系,对每一期监测资料要进行数据分析,给出正确的判释,以指导信息化施工。

(2)地下水位的监控对渗漏进行预测,对降水疏干效果进行控制,最重要的是监测安全与承压水减压降水在悬挂式半封闭止水帷幕条件下安全水头的控制,切实做到科学降水合理降压,按需降水,避免降水造成周边环境的沉降变形。

(3)对水泥搅拌桩重力式挡土结构等柔性支护结构的变形监测要针对其置身于软土地基中地基土的压缩变形,刚体的转动变形,重力式墙体的倾覆变形引起墙体后较大范围的地面沉降变形和坑内软土隆起变形的综合效应,要防止该类结构的整体失稳破坏。

综上所述,基坑工程是一项复杂的系统工程,基坑安全监测是把握好基坑施工中完整准确贯彻岩土工程师的设计意图,以科学数据监督施工单位,防范各种结构变形失稳和地下水水患和降水引起的次生灾害,使得高危险性基坑顺利施工至地下室封顶回填,是化险为夷的监督者。监测者要熟知岩土工程、结构工程、水文地质工程等,多了解在此领域的交叉——环境岩土工程,使监测工作真正为信息时代做到信息化施工发挥重要作用。

## 参考文献:

- [1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 夏明耀,曾进伦. 地下工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [3] GB 50479-2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [4] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 曹友杰,贾述望,肖光庆. 郑州郑东新区某深基坑桩锚支护施工与监测[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):53-56.
- [6] 杜文宇,郭行. 某深基坑支护设计方案实施过程中的优化[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):67-70.
- [7] 张忠苗,赵玉勃,吴世明,等. 过江隧道深基坑中SMW工法加钢支撑围护结构现场监测分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(6):1270-1278.
- [8] 彭顺,断仲源,邓天旺. 紧邻地铁的深基坑支护施工技术[J]. 岩土工程技术,2008,22(1):36-40.

## 河南有色六队承担的煤下铝整装勘查项目取得重大进展

**本刊讯** 截至2013年3月底,河南有色六队煤下铝整装勘查项目共完成钻孔141个,进尺40716.87m。区内已基本确定的铝土矿资源储量约为16654万t,为特大型铝土矿床。

4月2日,国土资源报记者张金萍在河南省有色地矿局外宣办副主任叶晨,河南有色六队队长张银启,副队长黄志强等陪同下前往六队煤下铝整装勘查项目工作区参加了六队煤下铝项目工作例会以及为此专门组织相关人员召开的煤下铝项目座谈会,并对野外一线人

员进行了实地采访报道,全面了解煤下铝项目进展情况。

张队长介绍了目前关于实施煤下铝项目的有关要求,要求继续做到“高、大、快、优”。“高”——高度重视,预期目标高,综合研究高,质量标准高;“大”——获取最大限度的资源储量;“快”——加快进度、快速突破;“优”——提交优质报告。

(徐磊磊、张艳霞 供稿)