

浅埋暗挖地下框架结构多导洞施工工法

(TGJGF-03·04-33)

中铁十六局集团有限公司

一、前言

浅埋暗挖多导洞施工法是解决埋深较浅、跨度较大结构的一种有效途径。北京城市铁路东直门车站地下方厅是目前国内最大的平顶方厅结构,我们在施工时采取将整体结构分解成11个导洞分块施工,最后形成整体,保证了工期和质量,取得了明显的社会效益和经济效益,在此基础上总结形成本工法,可供以后大断面地下结构施工借鉴与参考。本项目开发的《浅埋暗挖大断面地下方厅多导洞施工技术》成果分别获2002年度集团公司科技进步二等奖、2003年度中国铁道建筑总公司科技进步二等奖。

二、工法特点

1. 将地下大跨度平顶方厅矩形框架结构化为小,分解成多导洞分块施工,最后形成整体。
2. 有效地解决了地质条件恶劣、围岩土体松散自稳能力差和易坍塌的难题。
3. 地下施工基本不影响地上交通和市民的正常生活。
4. 施工工序复杂,转换频繁,必须合理安排各工序,做好受力转换,确保结构的受力平衡。
5. 二次衬砌采用分段跳格法施工,施工缝较多,须处理好施工缝部位的防水,保证混凝土的防水效果是关键。

三、适用范围

本工法适用于围岩土体松散、自稳能力差的较大跨度框架结构地下工程。

四、施工工艺

以北京地铁东直门站地下方厅为例介绍。

(一) 工艺方法及施工顺序

按照“管超前、严注浆、强支护、短进尺、早成环、环套环、勤量测”的施工方法,将地下大跨度平顶方厅矩形框架结构分为11个导洞(见图1),按台阶法开挖,利用中隔墙有效控制地层沉降,保证施工安全。地下方厅的土方和材料运输任务主要由施工竖井和4#风道承担。每个导洞按上中下台阶顺序进行开挖,3#、4#导洞跳格开挖。换乘通道中洞在距开口4.8m时逐步挑高进入3#-5导洞施工,2#导洞开口部位的临时梁柱完成后,开口施工2#横通道,2#横通道施工完成后,施工相应部位的临时梁柱进入3#、4#11个导洞的施工。施工顺序为:先施工3#导洞,后施工4#导洞。其中3#-6导洞从4#风道开辟工作面,3#导洞初期支护完成后即施工相应部位的二衬梁柱,每段施工长度为6m,二衬梁柱完成后分段跳格施工其余部位的二次衬砌,最后形成方厅框架结构主体。

(二) 施工要点

1. 土方开挖

开挖采用上中下台阶顺序施工,台阶长度控制在3~5m。

由于地下方厅围岩土体松散,稳定性差,因此,将导洞由原设计的两步开挖改为三步开挖,即由上、下

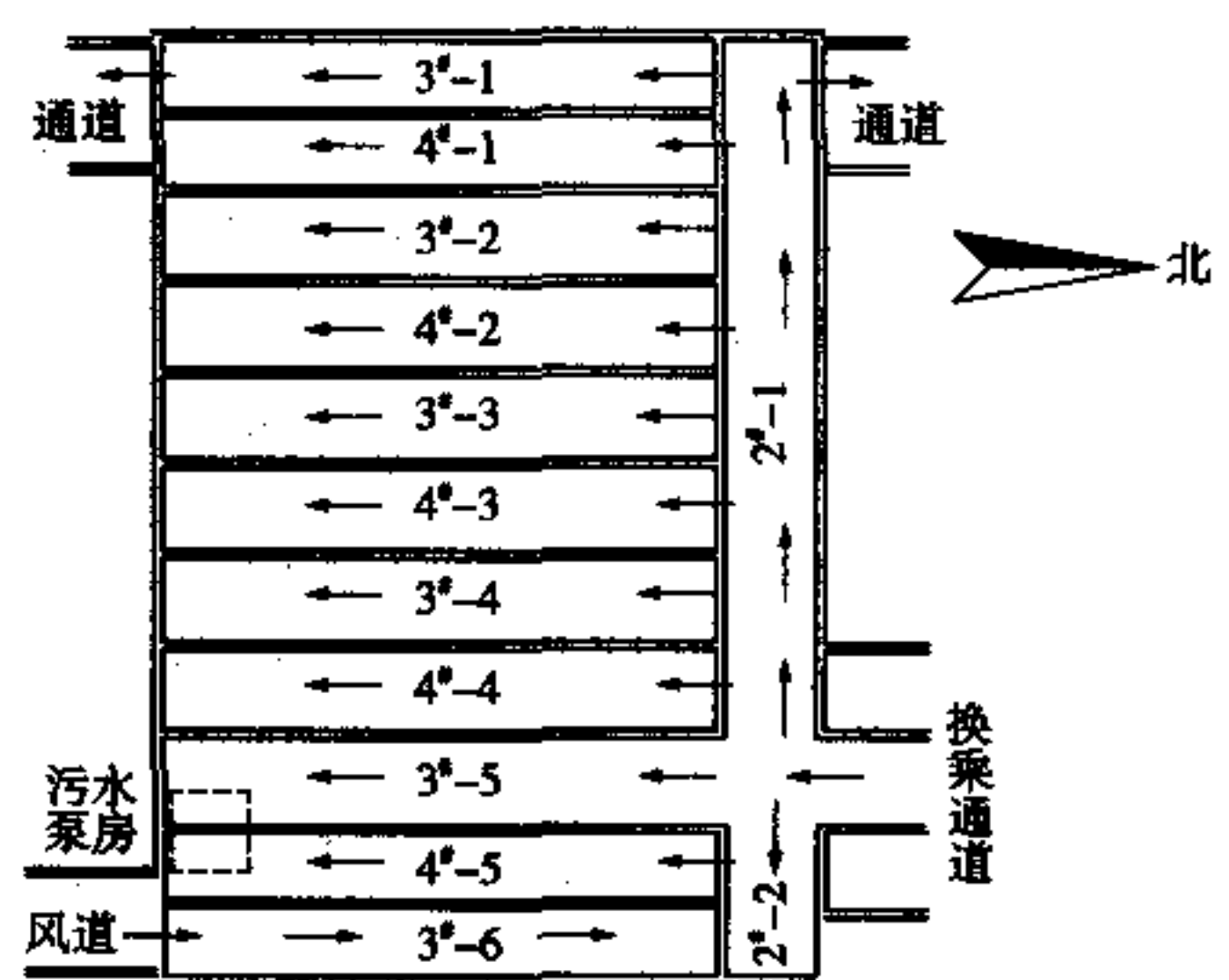


图1 地下方厅施工顺序

台阶改为上、中、下三个台阶,中层板临时支撑设在中台阶(详见图2),台阶长度控制在3~5m,开挖步长0.5m,人工使用风镐开挖,手推车运输。为了防止顶部、边墙和掌子面坍塌及地表沉降,在顶部和边墙打设超前注浆小导管,形成超前管棚,小导管采用 $\phi 42$ 注浆花管,长3.0m,前后搭接不少于1.0m,间距30cm。每一循环都要对工作面施做 $\phi 6@150 \times 150$ 钢筋网喷厚8cm混凝土。在上中台阶拱脚打设锁脚锚杆,每榀格栅每侧各打设一根,采用 $\phi 42$ 钢筋,长3m;在掌子面打设注浆小导管,用以预先加固土体,采用 $\phi 42$ 钢管,长3m,间距 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$,纵向不搭接。土层加固均采用水泥水玻璃双液浆,配合比根据现场试验修正,一般注浆压力初压为0.3MPa,终压为0.6MPa。

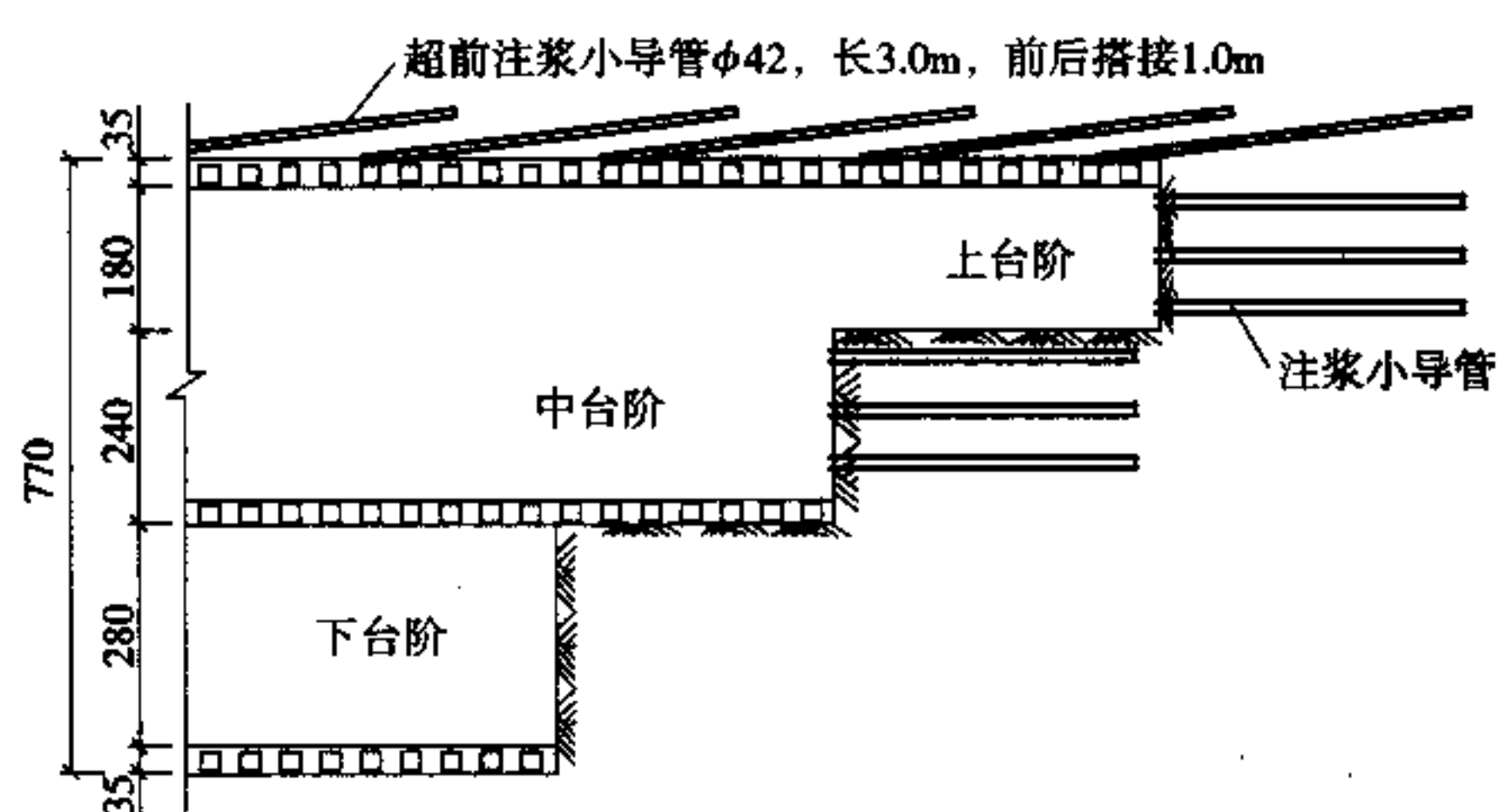


图2 导洞开挖纵断面(单位:cm)

2. 小导管超前注浆加固地层

采用小导管超前支护预加固地层技术,通过注浆固结土体,使小导管周围土体固结成一拱形承载壳,在小导管及承载壳的棚架作用下有效地控制住了拱顶及边墙的坍塌,开挖下部土体既安全又稳妥。

3. 格栅架设

隧道洞室开挖成形后,为防止开挖面暴露时间过长,引起坍塌,应立即进行格栅挂网喷射混凝土施工。格栅为矩形断面,由4根 $\phi 28$ 或 $\phi 25$ 主筋组成,辅筋采用 $\phi 12$ 螺纹钢,格栅间距@500,内外两侧布设 $\phi 16@1000$ 纵向连接筋。格栅内、外两侧布设 $\phi 6@150 \times 150$ 钢筋网片,且钢筋网片间预留搭接量,以增强喷射混凝土的整体性。

4. 喷射混凝土施工

(1) 混凝土的拌制

搅拌混合料采用强制式搅拌机,搅拌时间不小于2min。原材料的称量允许误差为:水泥、速凝剂 $\pm 1\%$,砂石 $\pm 3\%$ 。拌合好的混合料运输时间不得超过2h,随拌随用,剩余的混合料不得再次使用。

(2) 混凝土喷射

喷射混凝土采用众鑫牌PZ-5B喷射机潮喷工艺,人工掌握喷头直接喷射混凝土。喷射操作顺序为:先注水,后送风,然后进料。喷射机要连续上料,保持机筒内料满,料斗口要设一活动筛网,以避免超大骨料进入机内。

喷射混凝土作业应分段分片进行。喷射作业自下而上,先喷格栅钢架与拱壁间隙部分,后喷相邻两钢格栅之间的部分。喷射混凝土的分层厚度根据喷射部位和设计厚度而定,拱部宜为5~6cm,边墙为7~10cm,后喷层应在先喷层凝固后进行,受喷面应用风水冲洗干净。喷射混凝土喷头应垂直于受喷面,喷头距受喷面距离以0.6~1.2m为宜。

(3) 养护

喷射混凝土2h后开始洒水养护,养护时间不少于14d,保证喷混凝土正常达到足够的强度。

5. 防水层施工

(1) 铺设PE泡沫缓冲层

用垫圈将PE板固定在初衬基面上,PE板间搭接宽度不小于5cm。搭接缝用热焊机焊接,一般顶部、侧墙间距为0.5m,底板间距为1.0~1.5m,呈梅花形布置。

(2) ECB防水卷材的铺设

ECB防水卷材铺设与PE泡沫缓冲层的铺设顺序一致,即先侧边墙后底板,两侧墙角处各留50cm搭接预留量。避免侧墙与底板连接处防水层有焊缝,用热焊机将ECB防水卷材焊在PE塑料圆垫片上,位置要对准,避免用力过大,以免破坏防水板。焊接ECB防水卷材接缝时,焊机的温度和速度必须根据当时的通道条件,经充气试验合格后确定。卷材用热焊机自动焊接后,用空气加压至0.1MPa保持1~2min不漏

气为合格。

(3)特殊部位防水层施工

在本工程施工过程中,为确保马头门开口处的防水质量,采用铺设双层 ECB 卷材和 PE 泡沫衬垫,并用厚 1.5mm 铁皮予以保护,以防止初支破除时损坏防水层。阴角部位施作防水层时,先用防水砂浆将其抹成圆弧状,以防防水板铺设时吊空,阳角部位的初支修整成圆弧状或削除尖角圆顺过渡,以防尖角刺破防水板。

(4)施工缝和变形缝的防水施工

在施工缝中部设遇水膨胀橡胶条,安装前,先用高压风吹干净基面,用氯胶式湿固性环氧树脂均匀地涂刷在槽口基面上,风干后立即粘贴橡胶止水条。浇注施工缝处混凝土时,要加强振捣,但不得直接振捣橡胶止水条。

地下方厅与换乘通道、4[#]风道、南北联络通道连接部位各设一道变形缝,用橡胶止水带封堵,做法是在混凝土结构变形缝处,沿结构厚度的中心线将止水带的两翼分别埋入结构中,圆环中心对准变形缝中点。

在顶底板水平安装止水带时要将其盘成盆式,以避免止水带下的气体在混凝土浇捣时无法逸出,形成空隙。止水带设置时不可翻转,扭曲,如发现破损立即更换。在混凝土浇注前应避免止水带被污物 and 水泥砂浆污损,表面有杂物须清理干净,以免混凝土与其咬合不紧密形成渗水通道。接触止水带的混凝土不应出现粗集料集中和漏振现象。橡胶止水带应就位准确,安装牢固,以细铁丝悬吊在钢筋上固定位置,模板的端板应做成厢形。在浇注一侧混凝土时保护橡胶止水带的另一侧翼不受到破坏,止水带的端头离周围钢筋的距离不小于 2cm,纵向固定间距不大于 25cm。

6. 二次衬砌施工

混凝土采用商品混凝土,运输采用混凝土运输车。二衬钢筋施工采用地面下料加工成半成品,地下现场绑扎成型。主筋连接采用冷挤压连接。

二次衬砌施工顺序为:先施工地下方厅 3[#]-5 底梁、柱,再施工顶梁;施工地下方厅 3[#]-4 底梁、柱,再施工顶梁;6m 跳格施作 3[#]-5, 3[#]-4 中间顶板;依次循环施作其他梁柱,并将梁柱间顶板连为一体;柱 B1~柱 B4、柱 E1~柱 E4 之间顶梁、顶板混凝土浇注完毕,施作墙、底板混凝土,开辟运输通道后施作 3[#]-1、3[#]-2 间、2[#]导洞二衬混凝土(见图 3)。

二衬混凝土采用分段跳格法施工,每段长度 6m 左右。底板和边墙混凝土采用分层浇注,按照浇注时形成的自然斜面逐层循序推进,一次到顶。混凝土用插入式震动棒振实,必须保证有足够数量的震动棒备用。

顶板混凝土的灌注采用加强封堵板泵送挤压混凝土施工工艺,选择具有足够强度的顶板模板支撑体系,以保证在一定压力下模板支撑拱架不至于失稳。设计具有能承受一定挤压的挡头模板,利用结构纵向钢筋作为拉杆加固挡头板,钢筋与模板体连接采用倒楔形螺杆锚固结构。

在拱顶最高位置贴近初期支护表面处布设二次衬砌混凝土后补偿注浆管,一通过注浆孔检查混凝土灌满程度,同时待混凝土达到一定强度后注浆,以补偿混凝土因收缩或未灌满而造成的顶板空隙。

7. 监控量测

(1)监测项目

监测项目主要有净空水平收敛量测、拱顶下沉量及底板隆起量测、衬砌及钢筋应力量测、压力

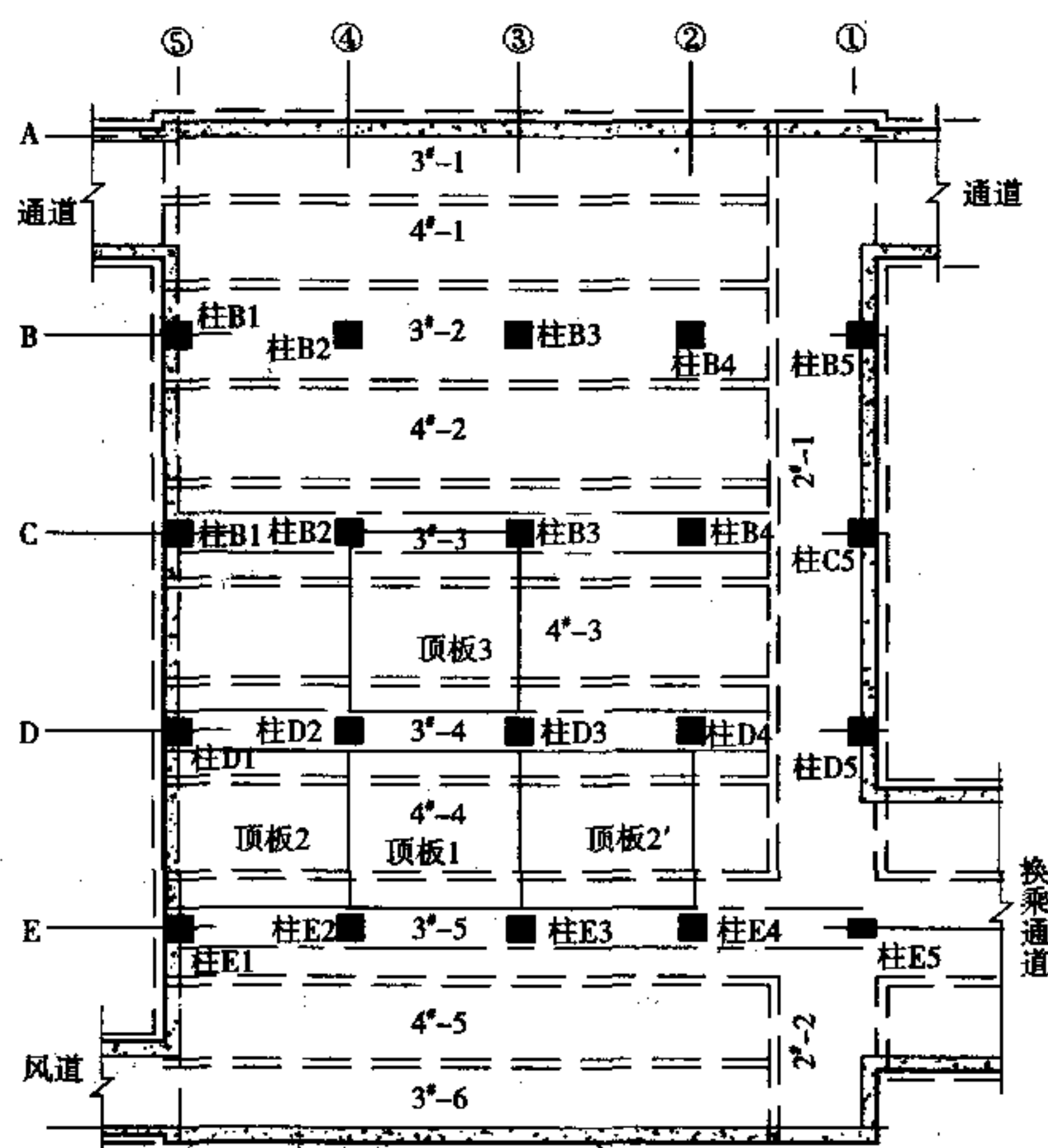


图 3 二衬施工

量测、地表沉降量测、洞内观测。

(2) 监测点布置(见图 4、图 5)

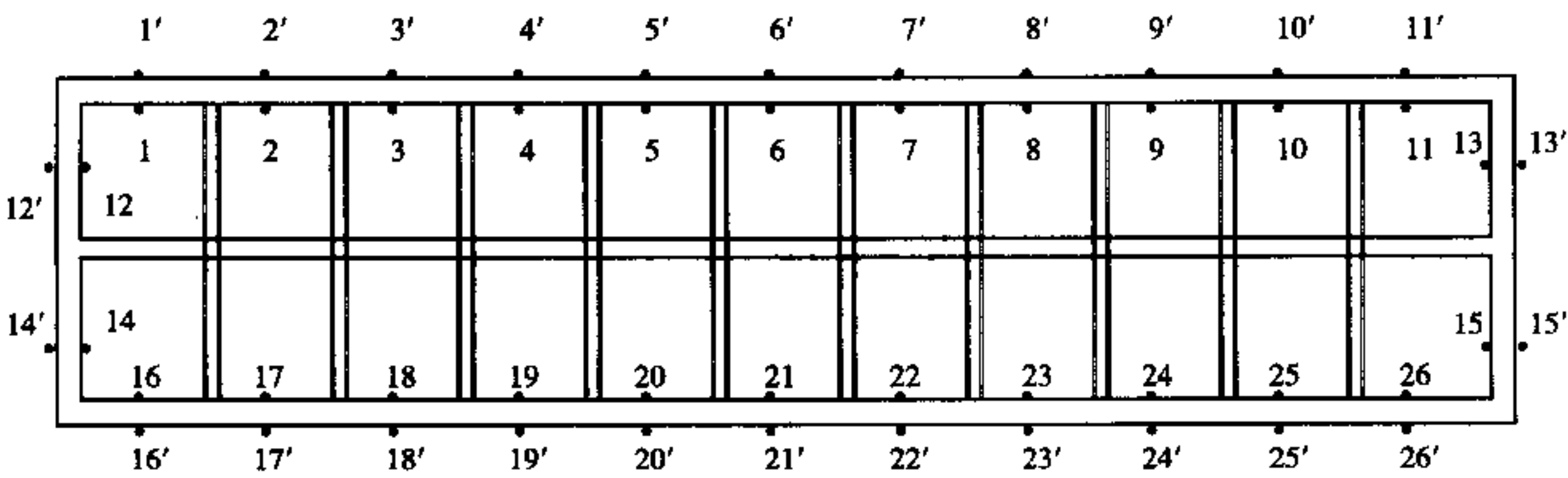


图 4 方厅初期支护结构横断面测点布置

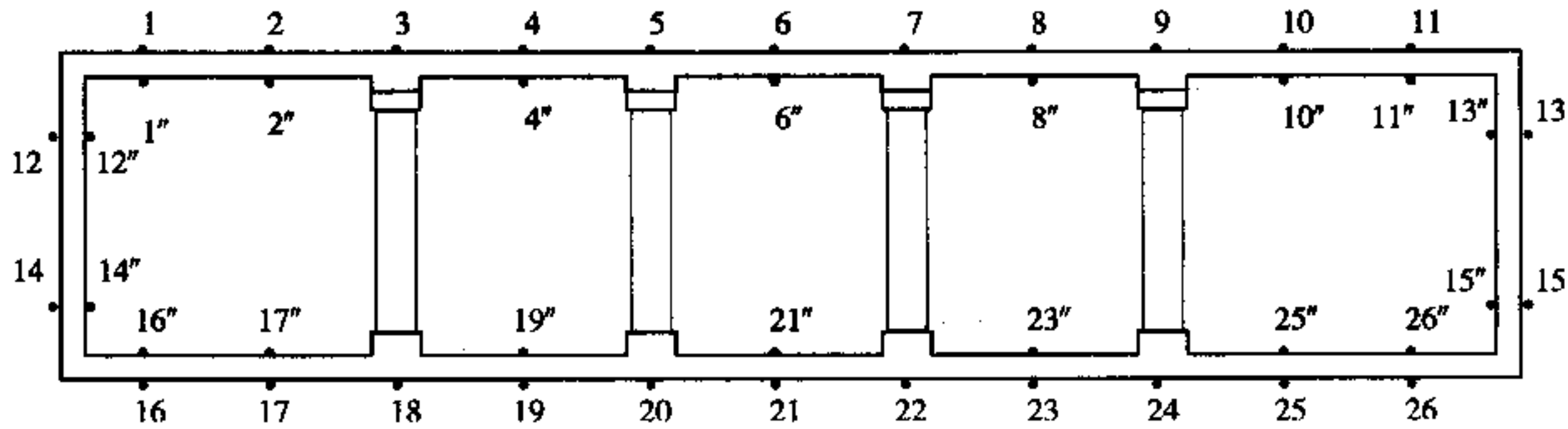


图 5 方厅二次衬砌结构横断面测点布置

(3) 监测方法

由于地下方厅地面为东直门交通枢纽,针对混凝土路面强度大,即使拱顶沉降大,也不一定反映到混凝土路面的这一特点,我们采取钻孔设置沉降钢筋的方法予以监测。

五、机具设备(见表 1)

表 1 机具设备

序号	机具名称	规格型号	单位	数量	用途
1	混凝土搅拌机	JW350	台	2	拌制喷射混凝土料
2	空气压缩机	20m ³ /min	台	2	供风
3	风镐	G10	台	10	破除中隔壁
4	混凝土喷射机	TK961	台	4	喷射混凝土
5	注浆泵	BW-250	台	2	注浆
6	混凝土输送泵	HBT60	台	1	灌注混凝土
7	电葫芦	100kN	台	2	垂直提升
8	钢筋调直机	GF4-14	台	2	加工钢筋
9	钢筋弯曲机	GW40-1	台	2	加工钢筋
10	钢筋切断机	GJ5-40	台	2	加工钢筋
11	电焊机	AG-300	台	6	焊接钢筋
12	装载机	ZL40	台	1	装渣
13	自卸汽车	17.5t	辆	2	运渣
14	变压器	400kW	台	1	供电
15	轴流风机	28kW	台	2	通风

六、劳动组织(见表 2)

七、质量控制

1. 支护施工严格按照《地下铁道工程施工及验收规范》(GB50299—1999)、《地下铁道、轻轨交通工程测量规范》(GB50308—1999)、《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB50086—2001)的有关规定进行。临时支护喷射混凝土的等级不应低于设计要求,采用预埋钢筋头、设置量测标志控制喷射混凝土厚度。格栅支撑是柔性结构,除了严格按设计下料、组焊和安装外,必须用混凝土将其喷射密实,现场用肉眼或锤击办法进行检查,发现空鼓不实之处,应凿开补喷。

表2 劳动组织

序号	作业工班	工作内容	人数		
			技术人员	技工	普工
1	技术组	综合技术管理	4		
2	开挖工班	工作面开挖、出渣	1	20	25
3	支护工班	打小导管、注浆、喷射混凝土	2	12	10
4	钢筋工班	钢筋加工	1	8	12
5	测量工班	施工放线、量测监控	1	3	
6	试验工班	材料试件检验	1	2	
7	其他	开空压机、通风机、供电、供水等	1	3	6
合计			11	48	53

2. 灌注混凝土执行《地下铁道施工及验收规范》(GB50299—1999)、《轻轨交通工程测量规范》(GB50308—1999)、《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204—2002)、《砌体工程施工质量验收规范》(GB50203—2002)的有关规定,认真控制配合比,严格控制钢拱架模板加工质量,保证衬砌混凝土强度和外观质量。

3. 现场进行地质和支护状况观察、周边位移量测、拱顶下沉量测,地表下沉量测等项目,及时掌握围岩和支护动态,判断支护的可靠性,以保证施工安全和围岩稳定。

八、安全措施

除遵照有关规范、标准进行施工外,还应采取以下措施:

1. 进行全员安全教育,针对工程特点、参照有关安全规则制订、落实安全规章制度。
2. 开挖的各分步在完成规定的进尺后,必须立即架设格栅喷射混凝土,以减少围岩的变形。
3. 各分步开挖必须在邻近作业面的初期支护有一定强度后实施,开挖台阶长度应以能尽快使初期支护闭合而不造成两部施工干扰为原则。
4. 加强对围岩和支护的动态监测,进行信息化管理,根据量测数据,分析、判断围岩和支护的稳定状态,科学组织施工,确保安全。

九、效益分析

1. 本工法技术可靠,分步跳格开挖减少了对围岩的扰动,充分发挥围岩自稳能力,施工安全稳妥,在北京城市铁路东直门车站地下方厅工程施工中,未发生坍塌、人员伤亡事故。
2. 通过优化施工程序、结构和临时支护刚度,能有效控制围岩变形和地表沉降,从而保证了地面建筑物和地下管线的安全。
3. 通过超前注浆支护和跳格开挖,使初期支护成型好,减少了超欠挖。
4. 地下方厅的顺利施工,未对市民的工作生活造成任何影响,为以后同类工程的施工提供了参考、积累了经验,用数据证明了施工工艺的可行性及科学性,是我公司施工水平的重要体现。
5. 地下方厅理想的防水效果,使防水维护问题一劳永逸地得到解决,节约了维护费用。本工法应用于生产后,使原来滞后一个月工期能够按时完成,并降低了造价 35 万元。

十、工程实例

北京城市铁路东直门车站地下方厅位于东直门立交桥下、城铁东直门车站的南端,北侧通过换乘通道南段与车站相连,西侧通过南北两条连接通道与环线地铁相连,南侧通过风道连接到风亭。地下方厅南北长 24m,东西长 35m,矩形框架结构,为目前国内最大的地下方厅工程,结构断面大,受力转换复杂,顶板覆土厚约 11m,地质条件较差,且地面为交通枢纽,地下管道众多。为了保证地面建筑物和地下管线的安全,设计要求地表沉降控制在 30mm 以内。

2001 年 12 月开始应用本工法施工,2002 年 6 月 20 日正洞初期支护全部完成,开挖过程中地表最大沉降为 18mm,二衬结束时地表累计沉降为 26mm,支护结构稳定。监测数据和施工效果表明,地层应力释放和重分布均匀平缓,支护体系内力转换过渡平稳,有效地控制了地层沉降,确保了施工安全。

执笔:马振江 胡方田