

基于双重预顶撑的 PBA 法密贴下穿既有车站施工技术

刘佳杰¹, 冀大亨², 马海燕², 高 琨²

(1. 北京市政路桥股份有限公司, 北京 100161; 2. 北京城乡建设集团有限责任公司, 北京 100067)

摘要: 为了有效解决密贴下穿既有车站施工中既有车站结构受扰及沉降控制难题, 本文通过针对基于双重预顶撑的 PBA 法展开系统研究, 重点分析其在初期支护中增设千斤顶和丝杠构建双重预顶撑体系实施路径及作用机制。结果表明: 相较于传统暗挖工艺, 基于双重预顶撑的 PBA 施工技术能够显著降低施工对既有车站的扰动影响, 有效控制沉降变形, 并为施工全过程的安全可控提供了关键保障; 同时, 该技术通过双重预顶撑体系的应用, 进一步提升了暗挖结构的整体稳定性。本文成果可为类似复杂工程实践提供借鉴与参考。

关键词: PBA 施工技术; 双重预顶撑; 密贴下穿; 既有车站; 沉降控制

中图分类号: U231.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2026)02-0066-07

doi:10.13402/j.gcjs.2026.02.021

Construction technology of PBA method for closely under-crossing existing stations based on dual pre-support system

LIU Jiajie¹, JI Daheng², MA Haiyan², GAO Kun²

(1. Beijing Municipal Road and Bridge Group Co., Ltd., Beijing 100161, China;

2. Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100067, China)

Abstract: In order to effectively solve the problems of structural disturbance and settlement control in the existing stations during the construction of closely under-crossing the existing station, the PBA method based on a dual pre-support system is systematically studied to focus on analyzing the implementation approach and mechanism of adding jacks and screw rods in the initial support to form the dual pre-support system. Results indicate that, compared with traditional concealed excavation techniques, the PBA construction technology based on the dual pre-support system can significantly reduce disturbance impacts on the existing station, effectively control settlement deformation, and provide crucial assurance for safety and controllability throughout the construction process. In the mean time, through the application of the dual pre-support system the technology can further improve the overall stability of the concealed excavation structure. The findings of this paper can provide reference and guidance for similar complex engineering practices.

Key words: PBA construction technology; dual pre-support; closely under-crossing; existing station; settlement control

城市轨道交通建设中, 为缓解日益增加的交通运输压力^[1], 通过充分利用地下空间, 地铁已成为城市交通系统的重要组成部分。PBA 施工技术具有对周围环境及既有结构影响小、受力体系转化简单、施工质量高等特点^[2], 被广泛应用于地铁施工中。其基本原理是利用柱、梁及拱形成稳定

的支护结构^[3], 其中: 柱为主要支撑结构, 梁用于连接排柱以提高结构横向刚度, 拱则用于分配荷载。在暗挖车站中, PBA 施工技术可有效降低施工过程中的风险和对周围环境的影响^[4], 并提升施工安全性^[5]。目前, 相关技术人员已从施工技术、结构特点及受力特性等方面, 对 PBA 施工

收稿日期: 2025-03-05

作者简介: 刘佳杰(1988—), 男, 正高级工程师, 从事施工技术、项目管理及科技创新等工作。

技术进行了深入讨论和研究。如: 秦春日^[6]重点分析了 PBA 施工技术实施过程中初期支护结构自身风险及周围环境影响风险, 并针对具体风险内容提出了相应应对措施; 苏志刚^[7]通过数值模拟揭示了 PBA 法施工过程中地层沉降规律, 发现地层沉降量随施工进度推进而增大, 且随与车站中心距离的增加而减小; 朱文忠^[8]讨论了 PBA 法中导洞不同开挖顺序对地表沉降的影响, 结果发现先开挖上导洞再开挖下导洞的地表沉降值最小; 商学旋等^[9]研究了上下部导洞同时开挖、错距进行的 PBA 施工技术, 发现该方法在满足地层沉降要求的前提下, 可有效加快施工进度并提高施工效率。

进一步讨论发现, 新建车站密贴下穿既有车站的场景对 PBA 施工技术的应用提出了更高要求。在保证既有车站正常运行的前提下, 新建地铁车站密贴下穿既有车站的施工技术已成为相关技术人员的重要研究内容^[10-11]。现有研究中: 白守兴^[12]基于北京地铁 3 号线新建车站密贴下穿 2 号线既有车站工程, 总结了 PBA 施工关键技术(主要包括深孔注浆加固土体、丝杠支顶施作、分布对称台阶法同步施工等), 指出该施工技术可减少土体和既有车站的扰动, 实现既有车站结构沉降变形的主动控制; 杨宇杰等^[13]依托成都地铁 8 号线新建车站换乘通道密贴下穿 1 号线既有车站工程, 通过数值模拟分析了不同开挖顺序下 PBA 施工技术对既有车站底板、换乘通道初期支护及围岩土层的受力影响; 王庆敏等^[14]基于北京地铁 6 号线新建车站密贴下穿 1 号线既有车站工程, 提出 PBA 工法联合微变形控制

技术, 该技术可有效控制既有车站结构及轨道结构沉降值, 减少拱顶及拱肩沉降, 降低初期支护的位移和应力; 崔广^[15]依托北京地铁 16 号线新建车站密贴下穿 10 号线既有车站工程, 研究了 PBA 施工技术结合千斤顶顶升的方法对既有车站沉降的控制效果, 发现千斤顶可通过位移补偿减缓既有车站沉降速度; 田江涛等^[16]基于有限元分析软件 GTS - NX 研究发现, 在密贴下穿既有站 PBA 施工技术中, 导洞开挖阶段及二次衬砌扣拱阶段对既有车站结构的影响最为显著。

通过文献检索发现, 尽管相关技术人员已针对 PBA 施工技术在密贴下穿既有车站中的应用进行了广泛研究, 但针对双重预顶撑技术在 PBA 法中的应用, 尤其是在密贴下穿既有车站施工中的具体应用, 仍存在一定研究空白。因此, 本文通过结合具体工程案例, 深入探讨基于双重预顶撑的 PBA 法在密贴下穿既有车站中的应用技术, 重点总结该技术的工序及主要施工内容, 以期类似工况的密贴下穿既有结构施工提供参考。

1 工程概况

北京轨道交通 13 号线扩能提升工程新建回龙观东大街站位于 8 号线既有车站下侧, 新建车站共设 3 层, 自上而下依次为站厅层、设备层及站台轨道层。其中, 新建站厅层与既有站厅层连通, 站台轨道层采用暗挖法密贴下穿既有车站。暗挖段长度为 28.5 m、宽度为 23.0 m、高度为 7.8 m, 如图 1 所示。

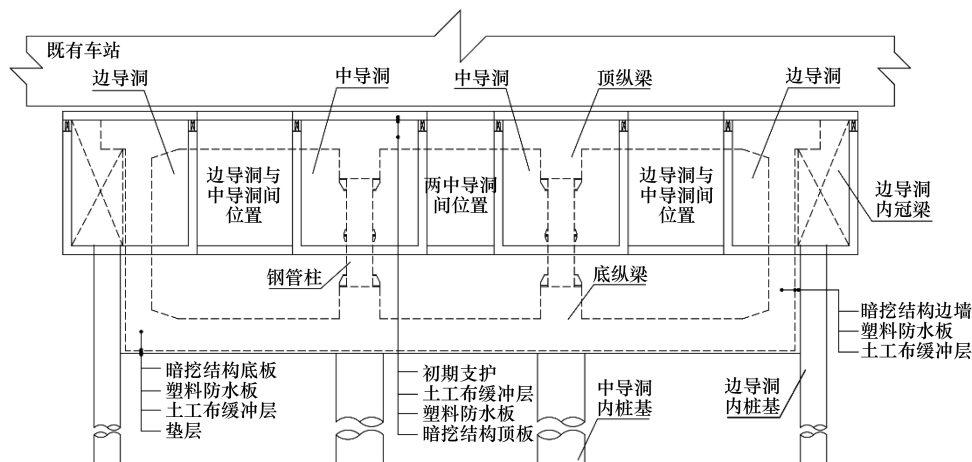


图 1 导洞及暗挖结构截面

密贴下穿区域主体结构顶板厚度及边墙厚度均为 0.9 m；顶纵梁高度为 2.0 m、宽度为 1.4 m；底板厚度为 1.1 m，底纵梁高度为 2.0 m、宽度为 2.0 m。主体结构采用 C40 混凝土浇筑，防水层采用 2 mm 厚 ECB 塑料防水板，缓冲层采用土工布铺设。暗挖结构包含边导洞内桩基、中导洞内桩基及钢管柱等构件，具体参数如表 1 所示。

2 基于双重预顶撑的 PBA 施工技术

鉴于密贴下穿结构跨度大、对沉降控制要求高的特点，该暗挖段采用 PBA 施工技术。暗挖段共设置 4 个导洞(图 1)，包括两个边导洞及两个中导洞。为确保达到沉降控制要求，施工过程中在初期支护中增设千斤顶(图 2)，用于预顶撑既有车站，控制其沉降。暗挖过程中，根据既有车站的沉降变形情况，适时对千斤顶实施加压顶撑。

每次顶撑后，均再次对初支背后进行回填补偿注浆，以填充支顶后初支结构与既有车站结构之间的空隙。

为进一步强化对既有车站沉降的控制，在边导洞内增设丝杠(图 3)，用于顶撑边导洞，并在边导洞冠梁施工前及过程中提供持续支撑；同理，在中导洞内的初期支护与钢管柱之间也增设丝杠(图 4)，既用于支撑中导洞，也能为中导洞顶板及顶纵梁施工前及过程中提供可靠支撑。

3 主要施工过程

基于双重预顶撑的 PBA 施工技术主要工序如图 5 所示。暗挖段施工前，应按设计要求将地下水位降低至结构底板下 1 m。暗挖段采用全断面深孔注浆法进行加固。

表 1 边导洞内桩基、中导洞内桩基及钢管柱参数

项目	直径/m	长度/m	间距/m	混凝土等级	单导洞内数量/根	总数量/根
边导洞内桩基	1.0	12.0	1.4	C30	19	38
中导洞内桩基	2.0	30.0	5.0	C35	4	8
钢管柱	0.9	8.6	5.0	C50 微膨胀	4	8

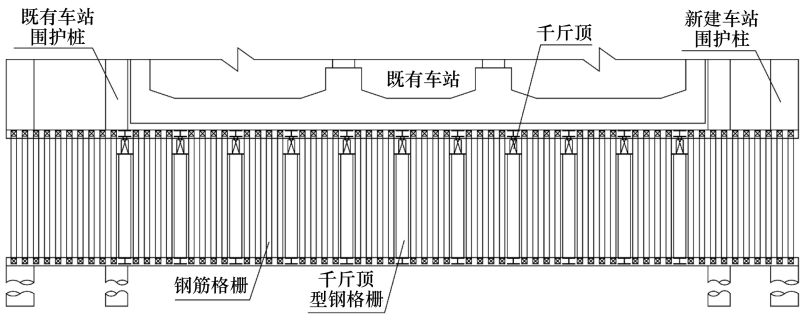


图 2 边导洞及中导洞初期支护纵断面布置

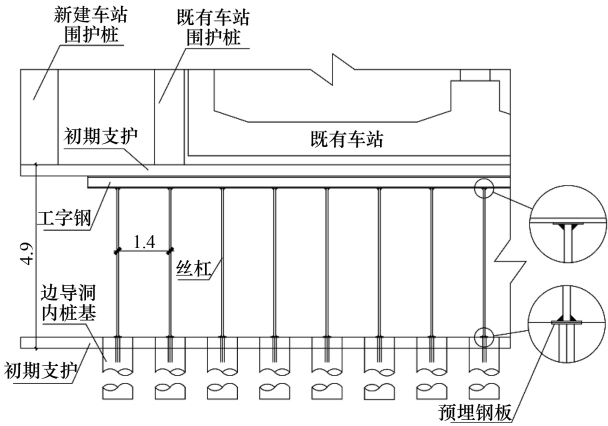


图 3 边导洞内丝杠纵断面布置 m

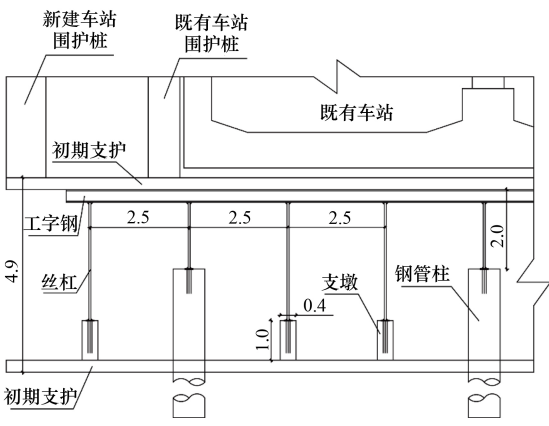


图 4 中导洞内丝杠纵断面布置 m

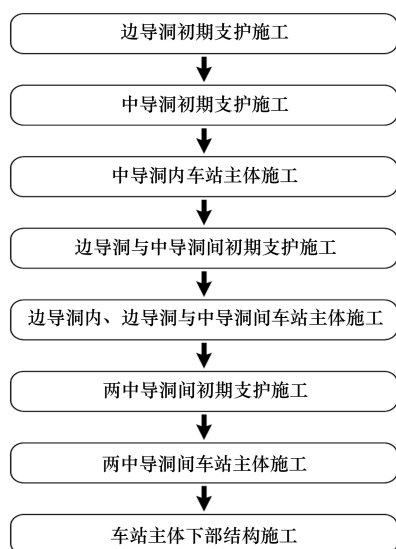


图 5 基于双重预顶撑的 PBA 施工技术工序

3.1 土体开挖

在基于双重预顶撑的 PBA 施工中, 土体开挖均采用预留核心土台阶法。核心土尺寸根据开挖断面大小确定, 一般距拱顶高度 1.0 ~ 1.5 m, 两侧距边墙 0.8 m; 预留核心土须为未经扰动的原状土, 需设置合理坡度, 严禁出现反坡, 长度控制在 1.5 ~ 2.0 m。减压槽高度为 0.5 ~ 0.6 m, 纵向长度为 0.5 ~ 1.0 m。拱脚处按设计要求设置锁脚锚管并注浆加固。两导洞同时对称开挖。为减小地面及管线构筑物沉降变形, 需严格控制开挖轮廓, 尽量减少超挖, 严禁欠挖。开挖轮廓需在施工过程中通过施工监测动态调整。

3.2 初期支护施工

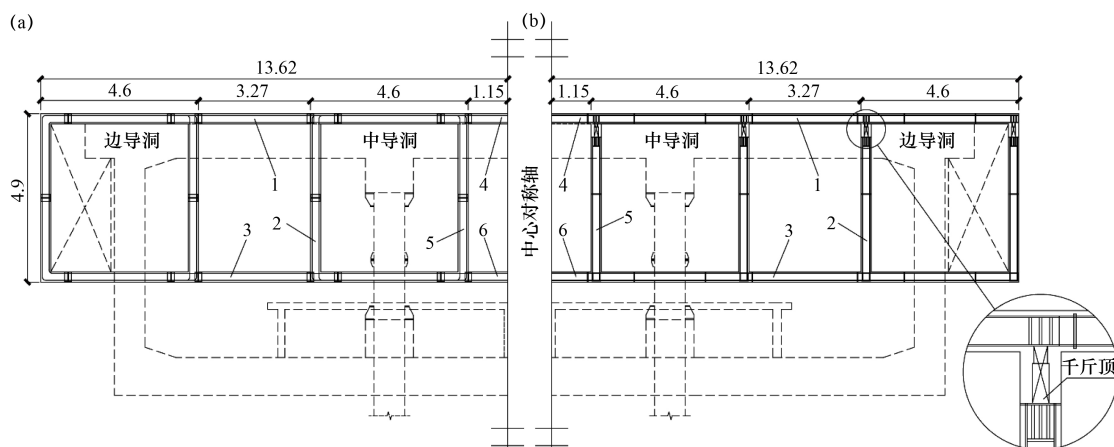
初期支护结构包括钢筋格栅和千斤顶型钢格栅(图 6)。土体开挖至既有车站下侧前, 初期支护采用钢筋格栅; 开挖至既有车站下侧时, 设置千斤顶型钢格栅; 之后每间隔 4 榀钢筋格栅增设 1 榀千斤顶型钢格栅, 直至初期支护开挖面超出既有车站范围; 随后恢复采用钢筋格栅作为初期支护直至暗挖结束。钢筋格栅中心线间距为 0.4 m, 千斤顶型钢格栅间距为 2 m。

3.2.1 钢筋格栅安装

待开挖轮廓修正合格后, 及时进行格栅钢架架立。格栅钢架运至现场后, 先将单元格栅拼接成型, 再分类堆码并挂牌标识。安设前, 需进行断面尺寸检查并处理欠挖部分; 同时清理格栅拱脚或墙脚部位的松碴, 铺设钢板或木板, 防止钢架下沉或失稳。

3.2.2 千斤顶型钢格栅安装

千斤顶型钢格栅采用 H270 mm × 440 mm 双轴对称焊接 H 型钢制作, 翼缘和腹板厚度均为 12 mm。除顶部型钢外, 其他部位型钢内外侧均设置纵向连接筋, 并与相邻格栅主筋可靠焊接。最大顶力为 150 t, 顶进行程不小于 100 mm 的千斤顶设置于侧壁型钢上, 其顶部增设水平型钢, 用于顶升支撑既有结构。待千斤顶前后各 3 榀格栅完成喷混凝土并达到设计强度后, 结合既有结构沉降情况实施千斤顶主动支顶。两个边导洞及两个中导洞中,



(a) 钢筋格栅初期支护; (b) 千斤顶型钢格栅初期支护

1—边导洞与中导洞间顶部初期支护; 2—边导洞与中导洞间隔壁初期支护; 3—边导洞与中导洞间底部初期支护;
4—两中导洞间顶部初期支护; 5—两中导洞间隔壁初期支护; 6—两中导洞间底部初期支护。

图 6 钢筋格栅及千斤顶型钢格栅初期支护截面

每个含千斤顶型钢的断面共配备 8 个千斤顶。其中, 设置在中隔壁初期支护上的千斤顶无需喷射混凝土封闭, 可在施工结构顶板前随中隔壁同步拆除。

3.2.3 网片绑扎及喷射混凝土

初期支护安装完成后, 初期支护层间满铺 $\phi 6 @ 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 钢筋网片, 搭接长度不小于一个网格间距。喷射混凝土采用分层作业, 单次喷射厚度结合喷射部位调整, 最大不超过 100 mm。每次喷射完成后, 及时检查厚度, 若不满足设计要求, 需补喷至设计厚度。喷射混凝土终凝 2 h 后, 应每隔 4~8 h 喷水养护 1 次, 养护时间不少于 7 d。

3.2.4 初期支护背后注浆

初期支护施工后, 应及时对其背后进行回填注浆, 注浆采用 1:1 水泥浆。注浆孔沿拱顶及边墙布置, 环向间距拱顶为 2.0 m、边墙为 2.0 m, 纵向间距为 3.0 m, 注浆孔呈梅花型布置, 注浆压力控制在 0.3~0.5 MPa。初支背后注浆分两次进行: 第一次距开挖面 3~5 m, 采用低压注浆, 以浆液从开挖面溢出作为结束标准; 第二次距开挖面 8~10 m, 采用饱压注浆, 注浆压力为 0.5 MPa。注浆过程中, 需密切关注压力与流量的变化, 做好注浆记录。

3.3 桩基及钢管柱施工

3.3.1 桩基施工

桩基采用间隔两根桩基的跳孔法施工, 已成桩混凝土达到设计强度后, 方可施工相邻桩基。钢筋笼分节制作, 每节长度为 2.4 m, 采用一级接头连接。

3.3.2 钢管柱施工

一个中导洞内布置 4 根钢管柱, 与桩基位置对应。安装时, 钢管柱分 4 节制作, 首节长度为 2.0 m, 其余各节长度均为 2.2 m。钢管及其相关结构(连接法兰、梁柱节点抗剪牛腿、加强环、栓钉、内衬环、封顶环等)均应由具有专业技术资质的合格厂家加工, 出厂时需提供合格证明书及质检报告单。钢管吊装时需控制荷载作用下的变形, 吊点位置应根据钢管自身承载力及稳定性验算确定, 必要时采取加固措施。焊缝质量应符合《钢

结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020) 中一级质量标准的要求。钢管柱内钢筋笼安装方法与桩基内钢筋笼安装方法基本一致。钢筋笼安装完成后, 复核其与钢管柱的相对标高后, 将二者连接固定, 再进行混凝土浇筑。

3.4 防水施工

不同导洞或部位暗挖结构施工前, 应完成防水层施工。因中导洞内丝杠预顶位置与暗挖结构顶纵梁重合, 且丝杠将浇筑于顶纵梁内, 中导洞丝杠安装前, 需先行完成中导洞顶板防水施工。土工布铺设应遵循的要求: 首先铺设土工布, 相邻土工布搭接宽度不小于 10 cm; 固定土工布的铁钉应设于搭接处, 单排设置, 间距为 0.5~1.0 m; 同时在土工布边缘位置增设一纵排铁钉, 间距为 1~2 m。垫层与围护结构交接处, 侧墙土工布应搭接于底板预留土工布上, 并用单排铁钉固定(间距为 0.5~1.0 m)。土工布铺设完成后, 铺设塑料防水板。防水板铺设时应避免拉得过紧或出现明显鼓包, 确保与基面凹凸一致、自然平整且密贴。两幅防水板搭接宽度不小于 100 mm, 搭接处宜采用双焊缝, 单条焊缝有效焊接宽度不小于 10 mm, 焊接需严密, 不得焊焦、焊穿; 搭接部位防水层叠合层数不应超过 3 层。防水板铺设完毕需全面检查表面, 发现破损应及时补焊, 补丁边缘应剪成圆角。补丁需满焊, 并采用塑料焊条补强焊缝, 确保无翘边、空鼓。

3.5 丝杠安装

边导洞桩基混凝土浇筑完成后, 凿除桩头顶部浮浆至设计标高, 随即安装丝杠底部预埋钢板。预埋钢板尺寸为 200 mm $\times$ 200 mm $\times$ 10 mm(长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 底部焊接锚筋。边导洞桩基施工完成后, 应及时安装丝杠, 丝杠间距为 1.4 m, 与边导洞桩基间距一致。丝杠需定制加工, 直径为 100 mm, 由两根拼接而成, 接头上下端车丝并匹配定制套筒连接; 连接套筒中部对向开设直径为 30 mm 的圆孔, 供后续拧紧操作使用。丝杠上部设置通长工字钢纵梁, 安装时需将丝杠与纵梁焊接成整体。中导洞内丝杠间距为 2.5 m, 钢管柱顶对应位置均设置丝杠; 钢管柱间丝杠对应位置需设置 C30 素混凝土支墩, 尺寸为 0.4 m $\times$ 0.4 m $\times$ 1.0 m(长 $\times$ 宽 $\times$

高)。丝杠底部预埋件浇筑于钢管混凝土顶面; 钢管柱间丝杠底部预埋件则浇筑于对应支墩顶面。丝杠上部设置通长工字钢纵梁, 安装时需将丝杠与纵梁焊接成整体。边导洞及中导洞内丝杠安装后, 顶紧轴力应控制在 $0.4 \sim 4.0 \text{ kN}$ (含两端)。采用间隔布置轴力计的监测方式。施工过程中若轴力低于设计值, 需及时人工拧紧; 垂直度控制标准为不大于 $1/100$, 安装时需用全站仪校核位置并调整。

3.6 边导洞内冠梁施工

边导洞丝杠安装调试完成后, 应进行冠梁施工。边导洞冠梁如图 7 所示, 需按照设计要求完成钢筋绑扎、模板支立、混凝土浇筑等工序。施工过程中应注意保护好已安装的丝杠及工字钢纵梁, 确保其与冠梁结合紧密。边导洞内设置的丝杠及工字钢纵梁应浇筑于冠梁内。

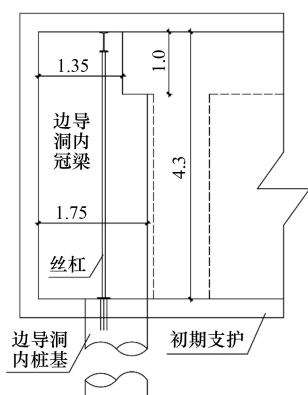


图 7 边导洞内冠梁横截面示意

m

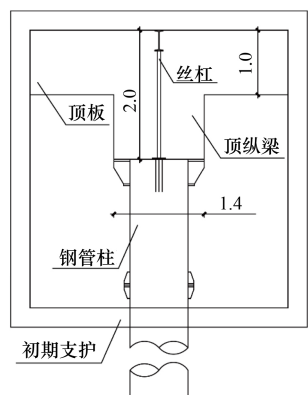


图 8 中导洞内顶纵梁及顶板截面示意

m

3.7 中隔壁初期支护拆除

边导洞-中导洞间或两中导洞间初期支护施工完成后, 需结合监测数据反馈拆除中隔壁初期支护。拆除过程中, 应分段实施边导洞-中导洞

间中隔壁初期支护拆除, 单段长度控制在 6 m 。中隔壁初期支护拆除前需设置试验段, 并加强顶部初期支护沉降监测; 拆除期间监测频率为 3 次/d , 拆除完毕后调整为 2 次/d ; 若监测数据出现明显变化或突变, 应及时采取应对措施。需确保边导洞与中导洞的中隔壁初期支护对称拆除。拆除中导洞中隔壁初期支护时, 需同步做好预留防水层的保护。

3.8 顶纵梁及顶板施工

中导洞顶纵梁和顶板同步浇筑, 采用木模板及扣件式钢管支撑体系。顶纵梁及顶板钢筋绑扎按设计要求施工, 随后进行混凝土浇筑, 单段浇筑长度为 $6 \sim 8 \text{ m}$, 沿纵向分段实施。模板拼装时需在接缝处黏贴密封胶条, 防止漏浆。堵头模板采用 15 mm 厚竹胶板拼装, 外侧采用直径为 32 mm 的钢筋与上下水平筋点焊固定, 钢筋间距为 30 cm 。设置在钢管柱顶部的丝杠应全部浇筑于中导洞顶纵梁内; 钢管柱间支墩上的丝杠, 其顶纵梁底面高程范围内的部分应浇筑于顶纵梁内。待顶纵梁及顶板达到设计强度后, 切除未浇筑于顶纵梁内的丝杠。边导洞边墙及顶板、边导洞-中导洞间顶板、两中导洞间顶板施工, 需配合中隔壁初期支护分段跳段拆除, 拆除一段中隔壁后, 及时施工对应位置的边导洞边墙及顶板、边导洞-中导洞间顶板或两中导洞间顶板。为防止混凝土收缩导致初期支护与暗挖主体结构间出现空隙, 顶纵梁及顶板浇筑完成后需进行回填注浆。注浆期间应安排专人巡视既有线区域。回填注浆管采用直径为 20 mm 的钢管, 环向间距为 3 m 、纵向间距为 5 m , 呈梅花型布置。待混凝土强度达到设计强度 75% 后, 进行压浆处理。注浆终压为 0.2 MPa , 稳压 2 min 后停止, 施工中严格控制注浆压力和注浆量, 确保回填密实性。

3.9 下部结构施工

3.9.1 底部初期支护破除及土体开挖

纵向分段破除底部初期支护, 单段长度为 $6 \sim 8 \text{ m}$; 每段破除时, 应由中间向边导洞方向逐步推进。底部初期支护破除过程中, 需加强结构顶板及边墙的沉降监测, 若出现异常应立即暂停破除, 采取有效措施并确认安全后方可继续施工。完成

底板初期支护破除的施工段后,应及时进行土方开挖,将基底标高开挖至设计要求。土体开挖需分层实施,单层开挖深度不大于 2 m。开挖至设计标高前 200 mm 时,应预留土体采用人工清底。

3.9.2 边导洞内桩基挂网喷射混凝土

随着下部土方开挖推进,与开挖区域相对应的边导洞内桩基应及时完成挂钢筋网并喷射混凝土封闭开挖面。施工前,首先将 M16 膨胀螺栓固定于边导洞内桩基上,随后利用螺栓挂设钢筋网片(网片为 6@150 mm×150 mm 钢筋网片,单层铺设,搭接 1 个网格间距),并与膨胀螺栓初步焊接固定。桩间喷射 C25 混凝土,厚度为 100 mm。

4 结 语

本文以北京轨道交通 13 号线扩能提升工程中回龙观东大街站密贴下穿既有车站为案例,详细探讨了基于双重预顶撑的 PBA 施工技术的应用。该技术通过在初期支护中增设千斤顶和丝杠,构建双重预顶撑支护结构,有效控制了既有车站的沉降变形,保障了施工期间既有车站的正常运行。

施工中,初期支护采用钢筋格栅与千斤顶型钢格栅结合的方式。千斤顶型钢格栅于开挖至既有车站下侧时设置,用于预顶撑既有车站结构、控制沉降;每次顶撑后及时实施初期支护背后回填注浆,填充初期支护结构与既有车站间的空隙,确保填充密实性。边导洞与中导洞内增设丝杠作为辅助支撑。边导洞丝杠用于支撑边导洞冠梁施工前的边导洞结构,中导洞丝杠则用于支撑钢管柱和顶纵梁施工前的结构。丝杠的安装和顶紧力控制采用轴力计监测,确保支撑力的均匀分布和结构的稳定性;施工过程中丝杠与工字钢纵梁焊接成整体,进一步增强结构的整体性和稳定性。

基于双重预顶撑的 PBA 施工技术成功实现了对既有车站沉降的有效控制,保障了施工安全和既有车站正常运营。

参考文献:

[1] 张志伟. 地铁车站下穿既有车站施工技术[J]. 建筑

技术,2023,54(8):908-910.

- [2] 许明杨,王海涛,田江涛,等. 地铁车站密贴下穿施工地面及既有车站沉降规律研究[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(10):75-80.
- [3] 俞辉. 富水砂卵石地层地铁车站 PBA 暗挖施工技术[J]. 中国高新科技,2024(4):87-89.
- [4] 刘健. PBA 暗挖车站方案优化研究[J]. 运输经理世界,2024(19):19-21.
- [5] 邱术来,杨公标. 洞桩法施工地铁车站地层变形特征研究[J]. 市政技术,2021,39(6):100-105;165.
- [6] 秦春日. 基于 8 导洞 PBA 工法的地铁站主体结构施工技术[J]. 建筑机械,2024(11):144-149.
- [7] 苏志刚. PBA 法地铁车站全过程沉降规律及控制优化研究[J]. 施工技术(中英文),2024,53(8):48-53;65.
- [8] 朱文忠. 黄土地层洞桩法地铁车站施工关键技术研究[J]. 铁道建筑技术,2024(10):209-213.
- [9] 商学旋,徐岩军,黄开雷,等. 黄土地区 PBA 法暗挖车站快速施工关键技术研究[J]. 施工技术(中英文),2024,53(1):80-86.
- [10] 王力功. 新建地铁密贴下穿既有车站暗挖段施工技术研究[J]. 铁道建筑技术,2022(3):129-134;170.
- [11] 张志伟,尤强,许明杨,等. 地铁施工中车站之间密贴下穿风险及控制措施[J]. 工程建设,2022,54(8):57-61;72.
- [12] 白守兴. 新建地铁密贴下穿既有地铁结构施工关键技术研究[J]. 建筑技术,2024,55(8):925-928.
- [13] 杨宇杰,江永旺,牛晓宇,等. 密贴下穿地铁车站的新建通道开挖方法对比分析[J]. 铁道建筑,2022,62(1):107-110.
- [14] 王庆敏,王海涛,许明杨,等. 密贴下穿既有车站微变形控制技术影响规律研究[J]. 山西建筑,2024,50(19):1-5.
- [15] 崔广. 新建车站下穿既有车站交接段千斤顶顶升控制技术研究[J]. 科学技术创新,2024(8):160-163.
- [16] 田江涛,王子杰. 新建车站采用 PBA 法密贴下穿既有车站施工时对既有车站结构变形的影响规律[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(6):196-201;206.