

# 地下铁道 SCB 法扩挖双层车站结构与施工方案研究

张明聚 刘义

(北京工业大学 城市与工程安全减灾省部共建教育部重点实验室 北京 100124)

**摘要:** 为了统筹地铁区间隧道和车站施工,减少盾构施工中的非推进作业,提出在区间盾构隧道基础上扩挖双层地铁车站的结构施作方案,即 SCB 法,主要包括盾构隧道、横通道及框支结构等施作过程。以北京地铁实际工程为背景,对该工法的施工特点及结构特性进行了分析,对车站行车隧道几何关系、盾构衬砌的分块设计及基坑支护等关键技术进行了研究,并将其施工工期及造价与原工程施工方案进行了对比分析。研究表明,采用 SCB 法修建的车站结构及施工方案可行,并可减少投入盾构机数量,提高盾构机的使用效率,有显著的工期优势与经济效益。

**关键词:** 地下铁道; 盾构隧道; 地铁车站; SCB 工法

**中文分类号:** U455.42; U231+.4

## A Research on the Double-storey Station Structure and its Construction Scheme with SCB Method for Subway

ZHANG Mingju LIU Yi

(The Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** In order to plan the subway station structure construction and the interval tunnel construction as a whole and reduce non-promoting operation of the shield machine, an innovative subway station structure and its construction scheme named as SCB method, including several construction processes such as shield tunnels, cross-channel, braced-frame and etc., was developed based on the interval shield tunneling. Taking a practical engineering of Beijing Subway as the background, the construction features and the structure characteristics with SCB method, were analyzed; several key techniques, such as the geometrical relationship between the running tunnel and the station structure, the segment design of the shield tunnel lining and the retaining structure of the foundation pit, were researched and developed; and the construction period and cost with SCB method was compared with that by the original construction scheme. The study shows that the station structure and construction scheme with SCB method will be feasible, the number of the shield machine to be equipped will be decreased and the service efficiency of the shield machine will be increased, and the structure and construction scheme with SCB method will have significant advantages in the construction period and cost.

**Key words:** subway; shield tunnels; subway station; SCB

地下铁道盾构法施工中的非推进作业主要集中在盾构过站施工当中,主要包括盾构始发井及接收井施工、盾构机的下井组装、解体、吊入吊出、转场、掉头、拖拉过站等。这些非推进作业不仅大大减少并降低了盾构机的使用寿命和使用效率,也使车站施工和区间施工在施工速度和施工组织协调上产生了矛盾,进而对施工工期及经济效益产生影响。根据文[1],

每台盾构机的非推进作业时间(不包括盾构机在隧道内窝工时间)约占总施工推进作业时间的 52.7%;盾构始发井、接收井、掉头井的施工及盾构机的解体、吊出、转场等所造成的额外施工费用,使工程成本每 km 较盾构机正常推进的费用增加高达 10%左右;盾构机的拖拉过站涉及到加深加宽车站所带来的额外费用,每 km 增加 6%~8%。因此,如何有效的减少

收稿日期:

基金项目:北京市自然科学基金项目/北京市教育委员会科技计划重点项目(编号:KZ201410005007);国家自然科学基金重点项目(51538001)

作者简介:张明聚(1962-),男,教授,博士生导师,主要从事城市地下工程方面的教学、科研和技术开发。E-mail:

zhangmj@bjut.edu.cn

盾构法施工中的非推进作业,是盾构法施工中亟待解决的问题。

发达国家在修建地铁过程中,对盾构扩挖地铁车站问题已有较为广泛的研究和应用。前苏联巴维列茨克车站<sup>[2]</sup>是一种在大直径盾构隧道基础上结合半盾构法修建的地铁车站,其开挖而成的车站又称为眼镜型车站,是一种典型的岛式车站。日本的国会议事堂前站、营团9号线新御茶水站和大阪市营2号线阿倍野站等是采用大直径盾构与Kanzashi梁相结合的方法修建而成的地铁车站<sup>[3]</sup>。日本营团5号线的木场镇站<sup>[1]</sup>和英国伦敦地铁车站<sup>[4-5]</sup>采用了盾构法与横通道法结合修建而成。俄罗斯圣彼得堡车站<sup>[6]</sup>采用了“闭式车站”的结构模式,其车站盾构隧道与区间盾构隧道具有相同的断面形式,行车隧道与中央集散厅之间以连续开洞的隔墙隔开。

近些年,随着我国地铁建设的发展,也进行了相关研究和应用。漆泰岳,刘江峰,吴占瑞等<sup>[7-8]</sup>对广东地铁6号线东门口站大直径盾构通过后扩挖地铁车站时的地表沉降及对邻近建筑的影响进行了研究。丁德云,鲁卫东,杨秀仁<sup>[9]</sup>等对北京地铁14号线高家园站大直径盾构隧道基础上扩挖地铁车站时的结构的力学性能进行了研究。贺少辉,刘军,王芳<sup>[10]</sup>等对北京地铁14号线将台站采用PBA工法扩挖盾构隧道修建地铁车站的风险辨识与控制进行了研究。刘维宁,路美丽,张新金等<sup>[11]</sup>针对国内盾构施工和车站施工工期矛盾的问题,提出了盾构法与浅埋暗挖法结合修建地铁车站的新方案,并通过1:10大比尺模型试验对车站的开挖和支护进行了试验研究。孙长军,张顶立,郑昊<sup>[12]</sup>等对采用PBA工法扩挖盾构隧道修建地铁车站中的关键技术进行了研究,并分析了其工法特点。孙长军,张顶立,郑昊等<sup>[13]</sup>通过数值模拟和现场实际监测的方法对扩挖车站的受力转换及施工关键技术进行了研究并提出了扩挖施工的关键技术。汪波,李兆平,汪挺<sup>[14]</sup>等以北京地铁14号线盾构扩挖地铁车站作为工程背景,讨论了大直径盾构穿越车站的方案和技术措施,并创造了用于对扩挖阶段的盾构隧道管片进行拆除的方法,对盾构隧道内的临时支撑设置进行了优化。王文军,朱久川,李爱民<sup>[15]</sup>等以北京地铁14号线试验段车站建设为背景,对盾构扩挖修建车站的方案设计和型式进行了分析研究。

综上可看出,盾构扩挖地铁车站的研究应用工作主要集中于大直径盾构施工与其它工法相结合扩挖盾构隧道形成单层地铁车站的模式,对于在地铁区间单洞单线隧道基础上扩挖地铁车站的施工实例还不为多见,而尤其扩挖形成双层地铁车站的结构形式和

施工方案至今尚无实际成功案例可供参考。本文依据已建成的北京地铁10号线二期第08合同段的设计、施工资料进行方案研究,提出了在地铁区间单洞单线盾构隧道基础上扩挖双层地铁车站的结构和施工方法,主要包括盾构隧道、横通道及框支结构等施作过程,简称SCB(Shield tunnel, Cross-channel, Braced-frame)法,以期为统筹地铁区间隧道和车站施工提供借鉴及参考。

## 1 工程背景

### 1.1 车站及区间隧道概况

北京地铁10号线二期第08合同段工程位于北京市丰台区,包括草桥站~玉泉营站(现名纪家庙站)区间、玉泉营站~樊家村站(现名首经贸站)区间和樊家村站~丰台站等3个区间段及玉泉营站和樊家村站2个车站。其中,草桥站~玉泉营站盾构区间段右线长1333.24m,左线1333.883m,玉泉营站~樊家村站盾构区间段长957.621m,樊家村站~丰台站盾构段右线长828.189m,左线长843.592m。盾构管片内径为5400mm,单层衬砌,衬砌厚度300mm,宽度1200mm。盾构穿越马草河、京开高速、京九铁路和京沪高铁等重要建筑物,施工变形沉降控制要求极其严格。

### 1.2 岩土工程条件

本段线路隧道底板标高约为25.0~30.0m之间,隧顶覆土约9.0~13m之间,如图1所示。区间隧道主要穿越砂砾石地层。地下水分布在第⑤层卵石中,静止水位埋深约24.70~26.60m,地下水位标高16.52~16.55m,在线路底板以下。地基持力层主要为卵石、漂石④层。本段场地地层以砂砾石为主,卵石地层中分布有漂石,漂石一般粒径20~200mm,土层主要物理力学参数如表1所示

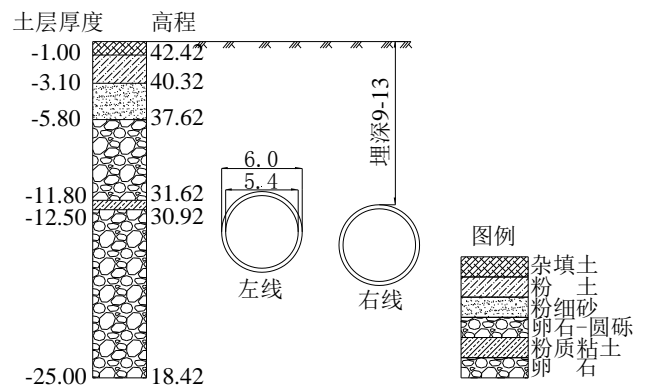


图1 区间隧道地质剖面图(单位:m)

Fig.1 Geological profile and layout of the interval tunnels

(Units: m)

### 1.3 原施工方案

盾构所经过的2个车站玉泉营站站和樊家村站采用明挖法施工,车站结构形式皆为地下2层,岛式站台。樊家村站位于首经贸北路与芳菲路十字路口,

沿首经贸北路东西向布置,玉泉营站两侧高层林立,多为住宅小区,该区间地下管线非常复杂。规划的纪家庙2号路尚未形成,线路上方多为1~3层砖房。

表1 土层物理力学参数  
Tab.1 Physical and mechanics parameters of the soil strata

土层	厚度 / m	重度 / kN/m <sup>3</sup>	黏聚力 / kPa	内摩擦角 / °	体积模量 / MPa	剪切模量 / MPa
人工填土	1.0	16.5	0.0	9.0	151.5	78.1
粉土	4.8	19.5	28.0	24.1	181.2	98.4
圆砾	6.0	20.5	0.0	35.0	288.5	181.5
粉土	0.7	19.5	28.0	24.1	181.2	98.4
卵石	37.5	21.5	0.0	45.0	327.4	225.4

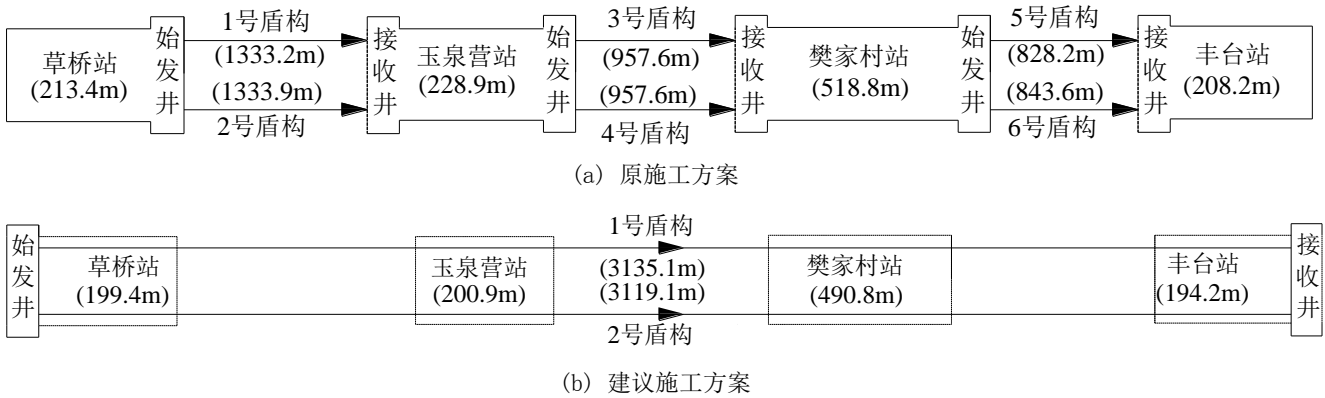


图2 地铁车站及区间隧道施工方案

Fig.2 Construction plans for the subway stations and the interval tunnels

为了加快施工进度,原方案3个区间段共使用6台盾构同时平行掘进,如图2(a)所示(图中括号内数据为沿车辆行进方向的车站长度及区间盾构掘进长度,接收井及始发井沿车辆行进方向长度取平均值14m)。这种施工方式使得盾构设备的利用效率大大降低,施工中的非推进作业如盾构井开挖、盾构设备吊入吊出转场施工等过多使得施工工期和工程造价大大增加,且明挖法施工对周围环境要求很高。

### 1.4 建议施工方案

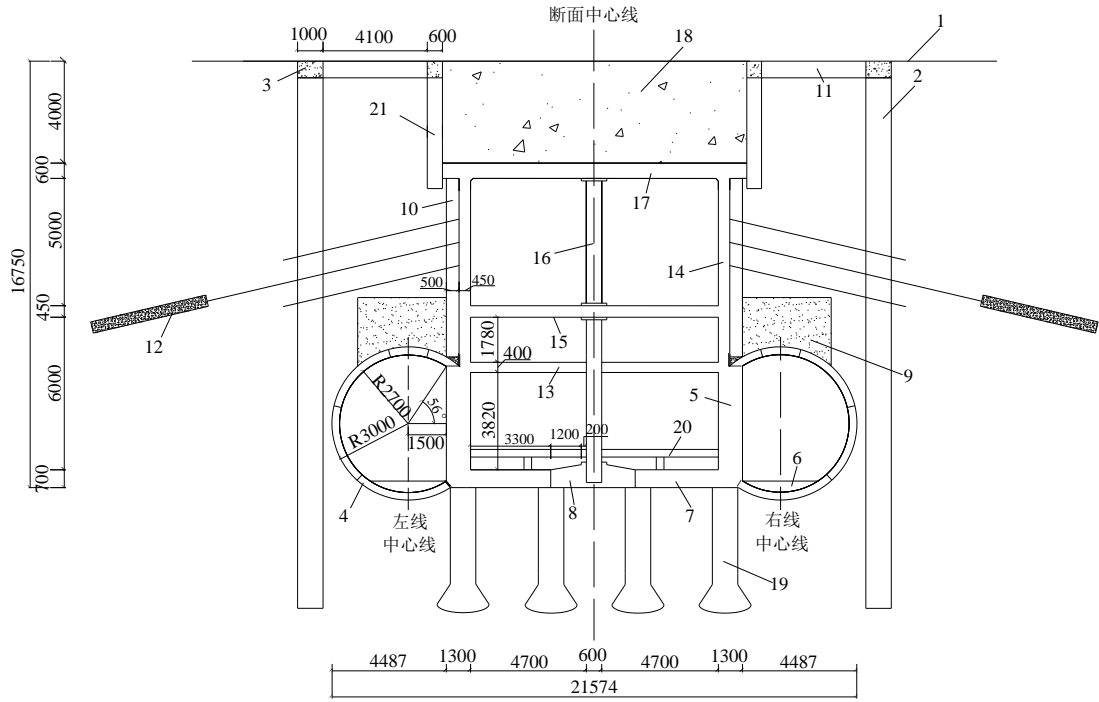
为了提高盾构设备的利用效率,减少盾构法施工中的非推进作业,降低对周围环境的影响,本文依据原方案设计施工资料,提出假设的改进建议方案,其施作思路为采用盾构机连续长距离贯通车站行车隧道和区间隧道后,再在需要设置车站的位置进行车站主体的施工,如图2(b)所示。主要施作过程为在车站行车隧道之间开挖横通道进行墙柱、中柱基础和部分底板结构的施工,再在此基础上进行车站主体施工,形成一种框支结构的车站结构形式。所涉及到的

施作过程主要包括盾构隧道(Shield tunnel)、横通道(Cross-channel)和框支结构施工(Braced-frame)等,故简称为SCB法。

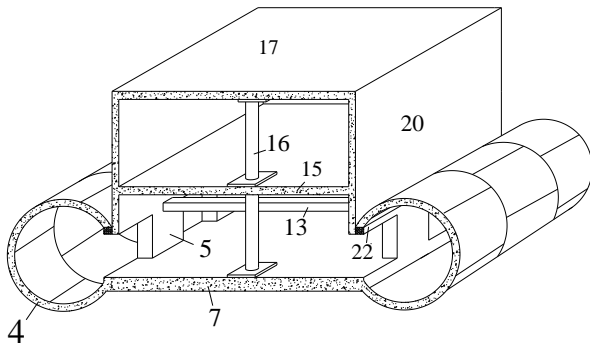
## 2 SCB法车站结构形式及施工方法

### 2.1 SCB车站结构形式

本文以樊家村站为设计背景,采用SCB法进行主体结构车站的施工筹划。樊家村站为换乘车站,根据地铁车站建筑及结构功能布置设计要求及盾构扩挖地铁车站的设计理念及思想,双层车站具有交通组织好,管理及设备用房面积大等优点。因此,扩挖车站的结构形式为地下2层、岛式站台,一柱两跨式结构,站台宽10m,站楼层净高6m,站厅层净高5m,车站埋深4m,盾构区间内径5.3m,外径6m,顶板最薄处0.6m,底板最薄处0.7m,墙柱高4.5m。盾构衬砌分为6块,车站区间采用通缝拼装方式,施工期间拆除2个标准块。车站剖面及其三维立体结构图如图3(a)、(b)所示。



(a) 剖面图



(b) 三维立体图

1—路面，2—边桩，3—冠梁，4—盾构管片，5—墙柱，6—仰拱，7—底板，8—中立柱基础，9—注浆加固土层，10—基坑围护桩，11—连梁，12—锚杆，13—横向支撑梁，14—侧墙，15—中板，16—中立柱，17—顶板，18—回填料，19—抗拔桩，20—站台板，21—短围护桩。

图3 框支墙柱式双层地铁车站

Fig.3 The double-storey braced-frame station structure

## 2.2 SCB 法施工方案及安全性分析

### 2.2.1 SCB 法施工方案

本文拟采用 SCB 法与盖挖逆作法相结合对地铁车站进行扩挖修建，如图 4 所示，其具体施工步骤如下：

(1) 盾构过站后，在盾构隧道外侧拟构筑车站范围内施作外围护边桩结构（如图 4 (a)）。

(2) 在管片内部架设门型内支撑，单位内支撑

宽度为半个管片环宽，相邻支撑间以纵向支撑杆件连接（如图 5 (b)）；隔段拆除对应开口处管片，在开口处向中间土体注浆加固，加固范围为横通道开挖轮廓线外 1m，通过管片预留螺栓孔将连接钢板与开口处管片连接（如图 4 (b)）。

(3) 对对应开口处的土体进行小断面横通道开挖，在横通道端头处设置节点施工工作室，并打设抗拔桩（如图 4 (c)）。

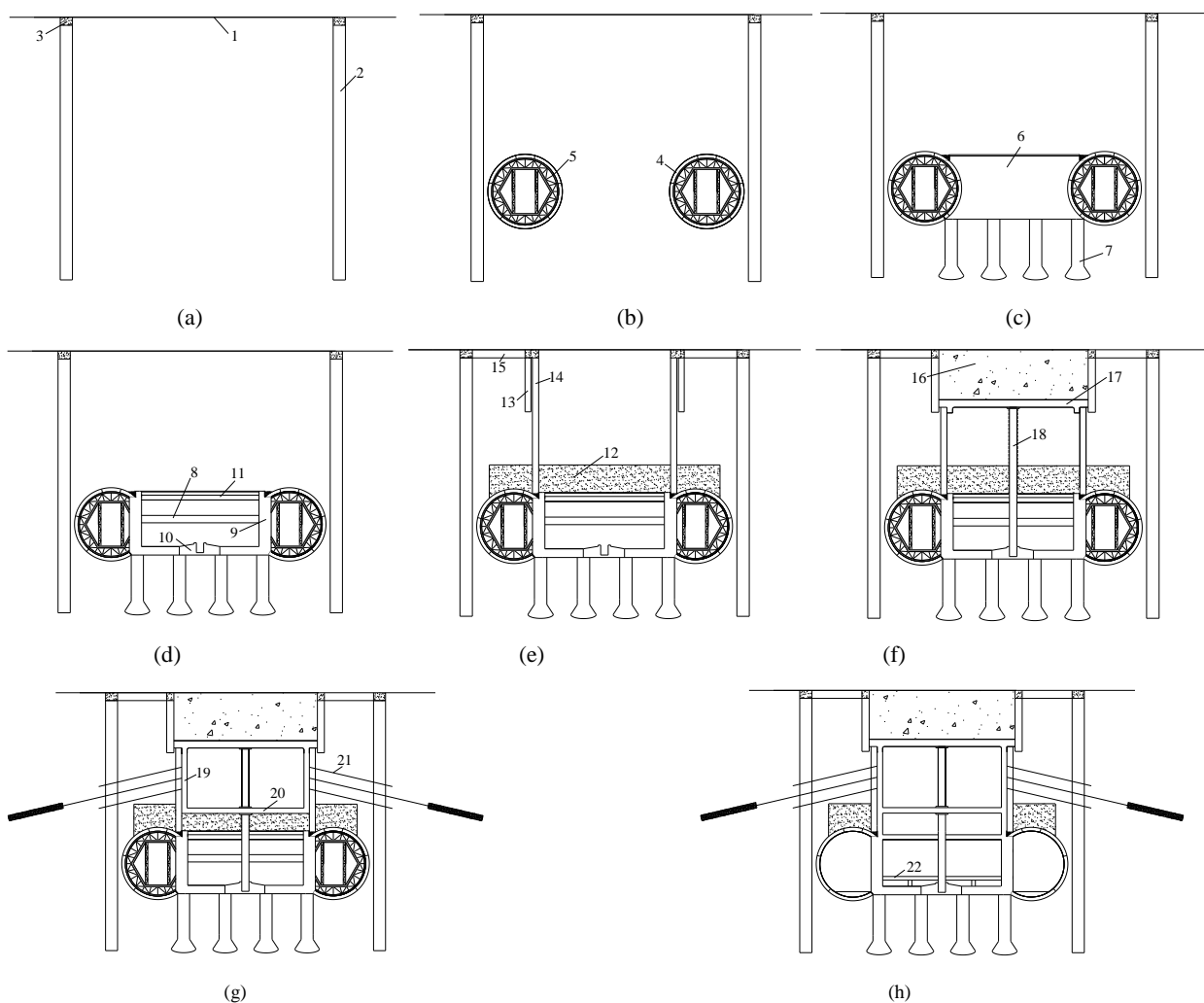
(4) 在横通道内分段施工车站底板、墙柱、墙柱节点、中立柱基础及横向支撑梁，并在墙柱间架设临时钢支撑（如图 4 (d)）。

(5) 对横通道上方土体进行注浆加固，打设基坑开挖围护桩及小短墙，外围护边桩结构与基坑开挖围护结构之间架设连梁进行连接，开挖过程中，以土钉—锚杆复合支护技术对基坑边坡进行支护（如图 4 (e)）。

(6) 开挖土体至顶板处，构筑主体结构中立柱及顶板，回填顶板上部土体（如图 4 (f)）。

(7) 利用出入口或风道位置，破桩开马头门对站厅层进行开挖，边开挖边支护，构筑主体结构中板，站厅层侧墙（如图 4 (g)）。

(8) 对站厅层剩余土体进行开挖，拆除剩余部分管片并施作墙柱与管片间连接节点，浇筑墙柱间连梁，完成整个底板浇筑。拆除管片内支撑结构及墙柱间临时钢支撑，施工仰拱，构筑站台板及防水结构，完成主体结构施工（如图 4 (h)）。



1—路面，2—边桩，3—冠梁，4—盾构管片，5—管片内支撑，6—横通道，7—抗拔桩，8—临时横支撑，9—墙柱，10—中柱基础，11—横向支撑梁，12—注浆加固土层，13—短围护桩，14—基坑围护桩，15—连梁，16—回填土，17—顶板，18—中柱，19—侧墙，20—中板，21—锚杆，22—站台板

图4 SCB法扩挖地铁车站施工步骤

Fig.4 Construction sequence diagram of the subway station with SCB method

### 2.2.2 SCB法施工安全性分析

本方案采用两种支护体系以提高施工过程中的安全性，即管片内支撑支护体系和基坑边坡支护体系。

1) 管片内支撑支护体系：盾构管片的受力形式为绕隧道轴线方向的环向受力和沿隧道轴线方向的纵向受力。管片拆除前在管片内部架设门型内支撑对管片进行支护以抵抗管片拆除后非封闭环的环向受力，并在相邻支撑间架设纵向连接杆件以提高内支撑的稳定性，并抵抗非封闭环的纵向受力。门型内支撑的拆除时机为车站施工完成以后，避免了因车站施工对管片环造成较大扰动。另外在墙柱施工完成后，要在墙柱间架设临时钢支撑以提高墙柱的稳定性，临时钢支撑的拆除时机为中柱施工之前；

2) 基坑边坡支护体系：为提高基坑开挖过程中边坡的稳定性，本方案采用双排桩加土钉-锚杆支护体系对其进行支护，双排桩间采用连梁连接，在基坑

开挖过程中采用土钉-锚杆复合支护技术进行边坡支护，开挖完成后在内层桩脚位置架设锁脚支撑以提高桩体的稳定性。施工方案采用了盾构法结合盖挖逆作法做地铁车站的施工方式，以先行施工车站的顶板和中板作为基坑边坡的横向受力体系也是为了提高其安全稳定性。

### 2.3 SCB法扩挖地铁车站施工特点及优势

1) 延长盾构掘进距离。盾构机一次性连续掘进距离大大加长，减少了盾构井的设置数量，可缩短施工工期，提高盾构的利用效率。

2) 区间车站统筹规划，易于车站站位选择。采用盾构机连续长距离贯通车站行车隧道和区间隧道后，再进行车站主体结构的施工，站位选择时不受盾构机吊进吊出作业的限制。

3) 车站结构受力简单明确，传力合理。在盾构设备通过车站区间后，在管片内支撑体系支护下进行

管片的拆除, 然后进行隧道间横通道的开挖, 并及时施作底板、墙柱及支撑横梁, 形成封闭的受力体系, 使得管片的环向受力转换为整体的受力, 最终形成一种类似于框支结构体系, 受力明确, 转换合理, 便于施工。

4) 屏蔽门系统生根, 安全性高。墙柱设置于站台边缘, 屏蔽门系统可安装于墙柱及墙柱间梁上, 提高了其安全性能及使用性能。

5) 施工工法简单多样, 可灵活取用。SCB 法的核心工法在于下部管片拆除、横通道开挖及墙柱、支撑梁、相关节点等的施工, 而上部土体的开挖可结合浅埋暗挖法、PBA 工法、明挖法等相关工法, 依据环境条件及岩土条件进行灵活选取。

### 3 关键技术问题研究

#### 3.1 站台层净高问题

SCB 法修建地铁车站时, 要破除管片构筑墙柱, 墙柱间架设横向支撑梁以抵抗管片的横向荷载, 即横向支撑梁的底部至站台板装饰面的高度至少要有 3m 的距离<sup>[16]</sup>, 因此, 墙柱顶部至站台板装饰面的高度限制了站台层的净空高度, 如图 5 所示。

根据地铁限界标准<sup>[17]</sup>中 B 型车限界要求, B 型车车辆限界为 1489mm, 站台边缘距线路中心线距离 = 车辆限界 + 10mm 安全间隙, 即站台边缘距线路中心线距离约为 1500mm, 由管片及墙柱间的几何关系知, 墙柱高度约为 4500mm。

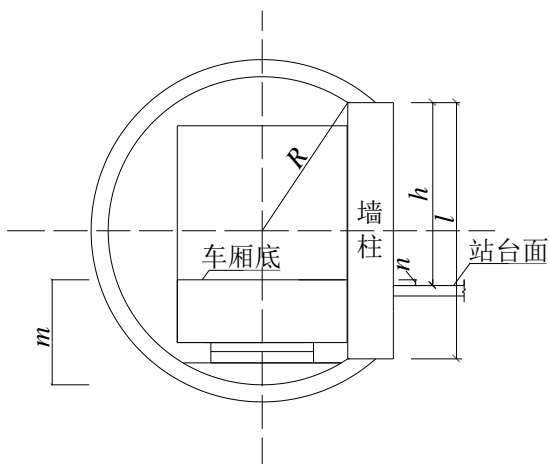


图 5 车站行车隧道几何关系 (单位: mm)

Fig.5 Geometrical relationship of the running tunnel in station (unit: mm)

如图 5 所示, 墙柱顶至站台板装饰面高度为:

$$h = l / 2 - m + n + R \quad (1)$$

其中:  $h$  ——墙柱顶部至站台板装饰面高度;  
 $l$  ——墙柱高度, 取 4.5m;

$m$  ——车厢内地板面至隧道底部距离, 根据地铁限界标准<sup>[17]</sup>B 型区间圆形隧道建筑限界要求, 取为 1.84m;

$n$  ——车厢内地板面至站台板装饰面高度, 根据地铁限界标准<sup>[17]</sup>, 取 0.05m;

$R$  ——管片半径, 取 2.7m。

根据式 (1), 得墙柱顶部至站台板装饰面高度为 3.165m, 可以满足规范要求<sup>[16]</sup>。

#### 3.2 盾构衬砌分块设计

本文对扩挖车站区间的盾构隧道衬砌进行了重新分块设计, 如图 6 所示:

盾构衬砌采用预制装配式钢筋混凝土管片, 内径 5.4m, 外径 6m, 环宽 1.2m, 厚度 0.3m, 共分 6 块, 1 个封顶块 (K 块, 中心角 22.5°)、2 块邻接块 (B 块, 中心角 67.5°)、3 个标准块 (1 块 A1 块, 中心角 90°; 2 块 A2 块, 中心角 56.25°)。为了与区间隧道良好衔接, 纵向相邻螺栓间布置角度与区间隧道相同。车站区间内盾构管片采用通缝连接, 关键块偏于车站外侧布置, 管片拆除施工中只将 2 个 A2 块拆除即可, 降低了拆除的难度, 也减少了管片拆除过程中对邻接管片的扰动。在施做管片与主体结构接头时, 可利用 B1 块和 A1 块端头部螺栓孔将钢板

与管片进行连接, 或在端头部预埋接驳装置连接钢筋将管片与主体结构进行连接。

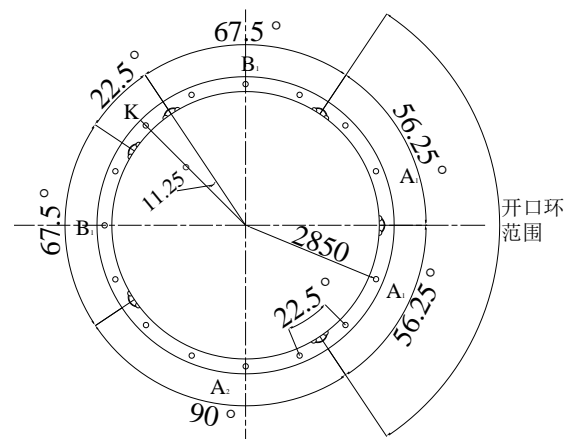


图 6 盾构隧道衬砌分块设计 (单位: mm)

Fig.6 Segment design of the shield tunnel lining (unit: mm)

#### 3.3 基坑支护技术

基坑开挖围护桩灌注过程中, 土体内部的盾构管片使桩体难以进入基坑底部, 形成一种类似于深基坑工程中的“吊脚桩”的结构。

本方案所采取的施工措施为采用双层排桩进行支护, 其中, 外层边桩主要用来抵挡开挖范围以外的附加土压力和水压力, 并可防止车站整体结构向中心方向倾斜; 内层基坑开挖围护桩用于抵挡围护桩与边

桩之间土体,使其难以形成主动土压力以保证基坑的顺利安全开挖。两排桩之间以连梁连接,可采用土钉—锚杆复合支护技术对基坑边坡进行支护,其具体的施工措施如下:

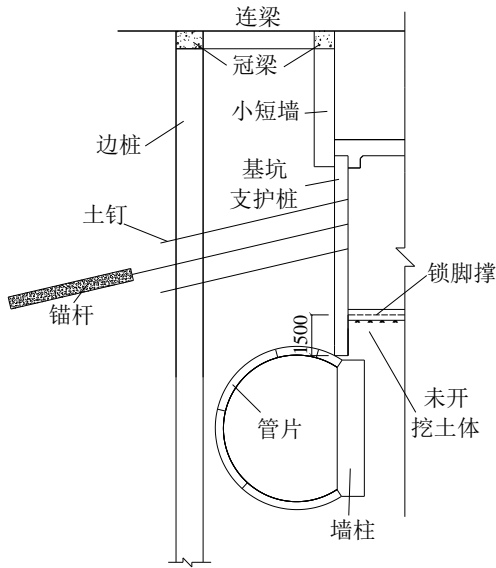


图7 基坑支护构造示意(单位: mm)

Fig.7 Retaining structure of the foundation pit (unit: mm)

- 1) 灌注桩体前,先对横通道上部土体进行注浆加固,为防止打设桩体过程中对盾构管片造成较大扰动,在距离管片 0.4m 处即停止向下施工;
- 2) 采用盖挖法施工时及时对顶板上方土体进行夯实回填;
- 3) 土钉、锚杆最短长度应延伸到边桩以外地区;
- 4) 在距离桩脚以上 1~1.5m 处架设预应力锁脚支撑压住桩脚以代替锁脚锚杆对吊脚桩起到锁脚的作用。具体施工构造如图 8 所示。

## 4 工期及造价分析

### 4.1 施工工期评价

根据原方案,本标段每个区间段投入 2 台盾构,共 6 台盾构,施工起止时间为自 2009 年 4 月至 2012 年 10 月,共约 42 个月。

SCB 法工期计算:草桥站至玉泉营站区间右线长 1333.24m,左线长 1333.883m,玉泉营站至樊家村站区间长 957.621m,樊家村站至丰台站区间右线长 828.189m,左线长 843.592m。本工程左线里程为 3135.096m,右线里程为 3119.05m,因此,按 SCB 施工方案可只投入 2 台盾构设备。该工程实际平均推进速度为 12 环/d,每环 1.2m,即 14.4m/d。因此,建议方案施工工期为 217d。盾构通过后,车站施工可同时开工,一个车站工期约为 24 个月,盾构始发准备时间约 2 个月,施工期间盾构需进行两次检修,每次检修时间约 1.5 个月,因此其施工总工期约为

36.2 月。

比实际施工节省 5.8 个月,由于车站施工可在盾构推过后即可进行,且不会由于车站施工而造成工期延误,其施工工期还可缩短。

### 4.2 经济效益评价

SCB 法扩挖修筑地铁车站,对其经济效益的评价主要有两个方面,即车站施工造价和区间施工造价。

#### 4.2.1 车站施工造价分析

根据现场实际调研,与常规车站施工相比,SCB 法车站施工其增加的分项工程主要有横通道的施工、车站区间盾构施工、车站开挖外围护桩体和管片支撑费用等。其中,横通道费用主要为支护费用,根据本工程造价统计分析,净高 4.8m,净宽 3m 的直墙拱形横通道其每延米支护费用约为 11000 元/m;车站开挖外围护桩为  $\phi 1000@800$  钻孔咬合桩,每方造价约 1300 元;管片支撑可重复使用,其每延米造价约 4239 元;车站行车区间施工中,盾构法施工和暗挖法施工其每延米施工造价大体相当。而减少的分项工程主要有由于盾构区间作为行车车道,车站主体的整体开挖宽度降低而减少的土方开挖量、减少的主体结构施工等,其中土方开挖按 27 元/方计算;由于车站整体结构宽度的减少,车站顶板、中板、底板等的横向尺寸也会相应减少,主体结构混凝土施工及人工费按市场价格 420 元/方计。草桥站、玉泉营站和丰台站为标准车站,车站平均长度为 198m,宽 22.9m,樊家村站为换乘车站,车站配有地下商业建筑,车站总长为 490.8m。车站行车区间施工中,每节车厢对应开挖三条横通道,以便于中柱基础施工。

根据本工程造价统计分析,草桥站、玉泉营站、丰台站 4 个车站施工费用分析如表 2 所示。

表2 车站施工费用汇总

Tab.2 Station construction cost

编号	增加项目	减少项目	单价	数量	合计(万元)
1	横通道		11000 元/m	1136.3m	1249.9
2	管片支撑		4239 元/m	981.6m	416.1
3	围护桩		1300 元/m <sup>3</sup>	2169.6 m	282
4		土方开挖	27 元/m <sup>3</sup>	104140.8 m <sup>3</sup>	-281.2
5		主体结构	420 元/m <sup>3</sup>	12496.8 m <sup>3</sup>	-524.8
6	总计(万元)				1142

#### 4.2.2 区间施工造价分析

本标段区间全部采用盾构法施工,在现行施工标准下,SCB 法与现有盾构法施工造价相比较,主要有以下几个方面<sup>[19]</sup>:

- 1) 盾构机相关费用,包括其折旧费、修理费用

等，本文以工作量法计算其折旧费用。

其折旧费公式为：

$$F = Y \times (1 - c) \times I / L$$

$$I = 1 + 1/2 \times i \times (m + 1) \quad (2)$$

其中：F为盾构机台班折旧费；Y为盾构机价格，取4500万元；c为残值率，取5%<sup>[20]</sup>；I为时间价值系数；L盾构机在使用寿命内的平均推进长度，取为9km；i为年利率，按目前银行贷款利息年利率为4.5%；m为使用年限，考虑任务的不饱满因素，目前国内地下工程盾构机的使用年限可按7年计算，SCB法盾构可一次推进其使用寿命长度，使用年限按2年计算。

则按式(2)计算，实际施工方案盾构机每米平均折旧费用为5605元。

新的筹划方案盾构机每米平均折旧费用为5082.5。

新的筹划方案相较于原方案，每米折旧费用节省522.5元，全线4219.9m共节省折旧费用220.5万元。

由于新方案减少了盾构机的使用数量和盾构机的转场施工及拆装组卸等非推进作业，因此，盾构机的大修费和经常修理费也会减少。

2)盾构机掘进费用，盾构掘进包括负环段、进出洞段、正常段及出渣等。实际工程出入洞共12次，共掘进3135.1m，则平均一次出入洞单线掘进长度为522.5m。SCB法出入洞4次，共掘进4219.9m，平均一次出入洞单线掘进2110m。盾构机采用海瑞克S399型圆形盾构，直径6m，负环段掘进14m，出洞段40m，进洞段31m，两种施工方案一次出入洞单线正常掘进分别为437.5m和2025m，计算其每米差值掘进费用<sup>[21]</sup>如表3所示。

表3 隧道每米掘进费用差值表

编号	项目	差值(m)	单价(元)	合计(元)
1	负环段	-0.0202	5376.7	108.6
2	出洞段	-0.0576	5017.9	289.0
3	进洞段	-0.0446	4049.4	180.6
4	正常段	0.1224	3541.2	433.4
5	总差额			144.8

其中，差值为当两种方案中平均一次出入洞单线掘进单位长度时各施工段长度的差值，SCB法相比较于原方案施工长度减少时取负值，反之取正。

3)非推进作业费用。本标段工程非推进作业主要包括6个盾构井，对盾构进行12次拆装组卸，由于有6台盾构机同时施工，本标段没有盾构的转场和拖拉过站施工。在SCB施工中只需进行4次拆卸，设置2个盾构井。其中，单个盾构井施工约需350万元，盾构机整体拆除吊装一次约33万元，车架安装拆除一次约2万元。

综合以上3部分，区间施工造价如表4所示。

表4 区间施工减少费用汇总  
Tab.4 Interval Construction Cost

编号	项目	单价	数量	费用(万元)
1	盾构机费用	522.5元/m	4219.9m	220.5
2	掘进费用	144.8元/m	4219.9m	61.1
3	拆装组卸	33万元	8次	264
4	盾构井	350万元	4个	1400
5	车架拆装	2万元	8次	16
6	合计(万元)			1961.6

### (3) SCB法经济效益评价

结合以上车站施工造价和区间施工造价，SCB法与实际工程相对比，总共节省费用819.6万元。

可见，SCB法虽在车站施工当中所需费用较高，但区间施工所需费用可大大减少，大大降低了其综合使用费用。

经过以上比较可知，基于SCB法的施工方案减少了盾构机的使用数量，提高了盾构机的使用效率，有着显著的工期优势与经济优势，且当线路越长时，其优势越明显。

## 5 结论

(1)以实际工程为背景，提出了在盾构隧道基础上扩挖双层车站的结构及施作方法，即SCB法，施工的步序主要包括盾构隧道、横通道及框支结构等。采用该工法可统筹地铁区间隧道和车站施工，减少盾构施工中的非推进作业，提高盾构设备的利用效率，而且地铁车站站位选择时不受盾构机吊进吊出作业的限制，有利于确定车站的合理站位。

(2)采用SCB法修建的车站站台净高满足规范的要求；通过对盾构衬砌的合理分块设计，可减少管片拆除过程中对邻接管片的扰动；给出了基坑支护的构造措施，以保证基坑稳定。

(3)工期和造价分析表明，采用SCB工法的施工方案减少了盾构机的使用数量，提高了盾构机的使用效率，有着显著的工期优势与经济效益，而且当线路越长时，其优势越明显。

## 参考文献

- [1]张新金. 盾构法与浅埋暗挖法结合建造地铁车站关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.  
ZHANG Xin-jin. Key technologies of metro stations construction using shield method combined underground excavation method [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [2]C.H.纳乌莫夫, 著. 地下铁道[M]. 潘昌实, 译. 唐山铁道学



院, 1959.

[3]北京交通大学盾构车站课题研究组. 盾构法与浅埋暗挖法结合建造地铁车站技术. 国内外现状调查报告[R]. 北京: 北京交通大学, 2005.

[4]J.T.Edwards. Civil Engineering for underground Rail Transport [M]. Botterworths, 1990.

[5]施仲衡, 张弥, 王新杰, 沈子钧编. 地下铁道的设计与施工[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.

[6]张新金, 刘维宁, 路美丽, 等. 北京地铁盾构法施工问题及解决方案[J]. 土木工程学报, 2008, 41(10): 93-99.

ZHANG Xin-jin, LIU Wei-ning, LU Mei-li, etc. Problems and solutions of shield tunneling for Beijing metro [J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(10) : 93-99. (in Chinese)

[7]刘江峰. 盾构扩挖修建地铁车站引起地层移动规律研究[D]. 四川: 西南交通大学, 2010.

LIU Jiang-feng. Research on the ground movement law due to metro station driven with enlarging shield tunnels [D]. Sichuan: Southwest Jiaotong University, 2010.

[8]吴占瑞. 盾构扩挖修建地铁车站对临近建筑物影响研究[D]. 四川: 西南交通大学, 2009.

WU Zhan-rui. Research of effect to the adjacent structure on the metro station driven with enlarging shield tunnels [D]. Sichuan: Southwest Jiaotong University, 2009.

[9]丁德云, 鲁卫东, 杨秀仁, 等. 大直径盾构隧道扩挖地铁车站的力学性能研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(S2): 281-287.

DING De-yun, Lu Wei-dong, Yang Xiu-ren, etc. Study of mechanical performance of metro station constructed by enlarging large diameter shield tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(S2): 281-287.

[10]王芳. PBA 法扩挖大直径盾构隧道修建地铁车站风险辨识与控制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.

WANG Fang. Risk identification and control of metro stations constructions using PBA based expending large diameter shield tunnel [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013. (in Chinese)

[11]刘维宁, 路美丽, 张新金, 李兆平. 盾构法和浅埋暗挖法结合建造地铁车站的模型试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(8): 1629-1639.

LIU Wei-ning, Lu Mei-li, Zhang Xin-jin, etc. Model test on metro station constructed by combination of shield method and shallow-buried tunneling method [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28 ( 8 ) :1629 — 1639. (in Chinese)

[12]孙长军, 张顶立, 郑昊, 汪乐. PBA 大直径盾构隧道扩挖车站施工的关键技术[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(1): 21-27.

SUN Chang-jun, Zhang Ding-li, Zhang Hao, Wang Le. Study of key techniques of metro stations construction using PBA based enlarging large diameter shield tunnel [J]. Journal of Beijing Jiaotong University.

[13]孙长军, 张顶立, 郑昊, 汪乐. 大盾构扩挖车站受力转换及施工关键技术研究[J]. 土木工程学报, 2015, 48(S1): 293-296.

SUN Chang-jun, Zhang Ding-li, Zhang Hao, Wang Le. Study of key construction technique and mechanical performance of metro station constructed by enlarging large diameter shield tunnel [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(S1): 293-296.

[14]汪波, 李兆平, 汪挺, 郑昊. 基于大直径盾构隧道扩挖地铁车站关键技术研究[J]. 土木工程学报, 2015, 48(S1): 373-377.

WANG Bo, Li Zhao-ping, Wang Ting, Zheng Hao. A study of key construction technology on metro station constructed by enlarging large diameter shield tunnel [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(S1): 373-377.

[15]王文军, 朱久川, 李爱民, 曾德光. 大直径盾构扩挖地铁车站型式的选择[J]. 铁道建筑技术, 2013,(8): 31-34.

WANG Wen-jun, Zhu Jiu-chuan, Li Ai-min, Zeng De-guang. Selection of Station Type for Metro Station Expansion with Large-diameter Shield [J]. Railway Construction Technology, 2013, (8): 31-34.

[16]中华人民共和国国家标准. 地铁设计规范[S]. 2013.

[17]中华人民共和国行业标准. 地铁限界标准[S]. 2003.

[18]陈志伟. 基坑围护结构吊脚桩施工处理实例[J]. 广东土木与建筑, 2005, (6):5-6.

CHEN Zhi-wei. The construction of suspending pile at foundation pit [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2005, (6): 5-6.

[19]禹化才. 隧道盾构法施工成本价格分析[J]. 铁路工程造价管理, 2003, (4): 8-10.

Yu hua-cai. Cost price analysis of shield tunneling [J]. Railway Engineering Cost Management, 2003, (4): 8-10.

[20]中华人民共和国建设部. 全国统一施工机械台班费用编制规则[S]. 2001.

[21]中华人民共和国建设部. 全国统一市政工程预算定额[S]. 1999.