

四、盖挖法在浅埋地铁车站施工中的应用

(一)用盖挖法修建地铁车站的基本方法

第一步，施工车站两侧的边墙及支承中间立柱的带状基础，从地面向下钻孔，安装钢管柱。其中的带状基础是在矿山法开挖的隧道内用混凝土浇筑的。

第二步，挖除顶部土层，浇筑顶板。

第三、四、五步，回填顶部覆土，恢复永久路面，同时逐层挖除顶板以下土方，浇筑楼板。

第六步，挖除底层土方，浇筑底板。

中柱是结构封底前承受竖向荷载的主要受力构件，最大轴力可达 6000~8000KN。除用条基外，多数工程采用灌注桩基础。为提高其承载能力，有时需采用扩底柱。当车站宽度较窄时，也可不设中间柱。车站净宽 17.5m，中楼板以上的结构是在明挖的基坑中用顺作法修建的，中楼板以上用逆作法施工。

(二)盖挖法施工浅埋地铁车站的几个问题

盖挖法施工浅埋地铁车站时，在规划、设计和实施过程中需要解决的关键问题有： 施工期间地面交通的处置，侧壁支护， 中间竖向临时支撑系统， 土方挖运， 节点设计与施工， 模板技术， 中间桩与边墙的沉降控制，地面沉降控制， 混凝土施工缝处理， 防水技术， 施工过程结构体系受力转换与分析。

本文仅讨论 及 五个问题。

1、施工期间地面交通的处置

采用盖挖法施工时，施工期间地面交通的处置，可有以下基本选择： 临时断道或封闭部分宽度的路面； 分条施工临时路面或结构顶板； 夜间施工、白天恢复交通； 地面交通照常。以上选择的工程难度随对地面交通干扰的减少而增大，并对结构型式、工期、造价等产生重大影响，必须经过慎重比较后确定。实际工程中大多采用前两种方式。我国大陆已用逆作法施工的车站全部采用第一种方式，视地层条件和环境条件的不同，封路时间为 6~12 个月。台北地铁的盖挖车站大量采用了第二种方式，可以保证施工期间道路始终具备一定的通过能力，由于施工场地及临时出土口均设在顶板范围内，还减少了房屋拆迁量。

第三种方式一般可在盖挖顺作法中采用。该方案的特点是：结构顶板与路面结构合一，并采用装配配件，侧墙支护为分离式钻孔灌注桩，故而对地面交通处置的适应能力较强。

当需要限制施工占用道路宽度时，可分条施工顶板；若不允许白天占用道路，则可将地面作业安排在夜间。采用灌注桩支护，施工机具进出场较灵活，可以做到每晚成桩 1~2 根。

为了充分发挥盖挖法的特点，必须把尽可能减少施工对地面交通的干扰作为盖挖地铁车站总体设计的重要内容，减少破路、改移地下管线、施作侧壁支护、中间柱及顶板、回填及恢复路面等项作业占用道路的时间和空间。

2. 侧壁支护

现代盖挖车站侧壁支护的型式基本可分为两大类：一类是由灌注桩与内衬墙组成的桩墙结构，另一类是地下连续墙或地下连续墙与内衬组成的结构。在无水地层中，可选用分离式灌注桩。在保证桩间土稳定(必要时可施作喷层)的前提下，选择较大的桩径而采用较大的桩距总是经济的。人工挖孔桩可实现多工作面平行作业，有利于减少施工占路时间，尤其适用于基坑深度范围内为半岩半土地层或卵石含量高的地层。当有地下水时，可结合注浆形成止水帷幕或改用相互搭接的灌注桩。但在饱和软土或流砂地层中，从提高支护的强度、刚度、止水性和保护环境等方面考虑，尤其当挖深超过 10m 时，多采用地下连续墙。

侧壁支护与内衬墙之间的构造视传力方式的不同，分为两种基本型式：

分离式结构。当侧壁支护与内衬墙之间需敷设防水夹层时，为了保证防水效果，在支护与内衬墙之间、支护与楼板之间一般不用钢筋拉结。永安里等用灌注桩护壁的车站及台北地铁用连续墙支护的大多数车站均采用这一型式，但当水压力大时，内衬墙很厚，显得不够经济。若采用逆作法施工，为保证中楼板在施工过程中的强度和稳定，需在顶板和楼板间设置拉杆，图 14 示出了两种做法。

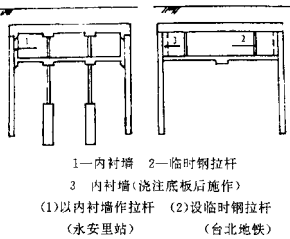


图 14 中楼板的支撑方案

复合式结构。需要通过对连续墙的凿毛、清洗，必要时在连续墙和内衬之间设置拉结钢筋以保证两者之间的剪力传递。但从上海地铁明挖车站的实践来看，内衬墙裂缝较多，可能与其收缩变形受到连续墙的约束及连续墙槽段之间的不均匀沉降等因素有关。

从控制施工引起的墙体水平位移来看，逆作法比顺作法有利。但当车站置于极其软弱的土层、且邻近地面建筑时，除以顶、楼板作为墙体的支撑外，还需设置一定数量的横撑，并对墙体施加不小于支撑设计轴力 70-80%的预应力。常熟路站与淮海大楼邻近的区段，同时在坑底还采用了地层加固措施。

我国大陆已施工的逆作车站的侧壁支护型式见表 10。

表 10 侧壁支护型式

站名	结构型式	侧壁支护	临时支撑
常熟路站	双层双跨	一字形地下连接墙、十字钢板接头、墙厚 0.8m	顶板以下 1 道、站厅层 1 道、站台层 2 道横撑
陕西南路站	双层三跨	一字形地下连接墙、十字钢板接头、墙厚 0.8m	顶板以下 1 道、站厅层 1 道、站台层 2 道横撑
黄陂路站	双层三跨	一字形地下连续墙，钢板接头、墙厚 0.8m	顶板以上 1 道、站厅层 2 道、站台层 1 道横撑
三山街站	双层三跨	一字形地下连续墙、圆形接头、墙厚 0.8m，预留 0.2m 厚内衬	站厅层 1 道、站台层 2 道横撑
永安里站	三层三跨	0.6m@1.0m 分离式钻孔桩+0.45m 厚内衬	站台层设锚杆 1 道
大北窑站	三层三跨	同三山街站，但地下连续墙厚 0.6m	
天安门东站	三层三跨	0.8m@2.0m 挖孔桩+0.5m 厚内衬	

3、中间竖向临时支撑系统

中间临时立柱是结构封底前承受竖向荷载的主要受力构件。在盖挖顺作车站中，至今仍多采用在永久柱两侧单独设置临时柱支撑路面的作法，而逆作地铁车站则多使临时柱和永久柱合一，以简化施工和降低造价。当需要严格限定封路时间或车站宽度较窄及设置中间临时竖向支撑很不经济时，可将车站设计为单跨结构。

采用临时柱与永久柱合一的方案时，需首先在永久柱的位置施工临时柱及其基础。这时，车站立柱的纵向间距是一个重要的设计参数，除考虑建筑效果外，还要结合地层条件通过技术经济及工期方面的比较后确定。为了顺利地将荷载传给地基，并把地基沉降控制在结构变形的允许范围内，必须合理选定竖向支撑及其下部结构的型式和施工方法。

施工阶段的临时柱通常采用钢管柱或 H 钢柱，后者还作为永久柱的劲性钢筋，钢管柱则直接作为永久柱或外包钢筋混凝土后成为永久柱。柱下基础可采用条基或桩基。条基是施作中柱前，在车站底部的暗挖小隧道内完成，最早见于慕尼黑地铁，天安门东站将其扩展到边桩之下，可较常规方法缩短桩长 3—7m，不仅避免了水下成孔的困难，而且缩短了施工占路时间。柱下基础采用最多的是灌注桩。其中扩底桩具有承载能力高，可提高施工效率和节约混凝土用量等优点，在国外已被广泛用于地铁工程。在上海淤泥质地层中，无论采用条基或灌注桩基础均有一定困难。由于单桩设计轴力高达 6000—8000KN，要示桩端贯入地表以下 60—80m 左右，施工质量难以控制，而采用钢管打入桩，不仅可减少桩长与桩径，而且解决了桩的沉降控制及立柱对中时需采取护壁措施，工人才能下到柱底的难题，省掉了清淤、桩底注浆、吊放钢筋笼及浇注水下混凝土等工序，缺点是用钢量大、废弃多且造价较高。为了提高承载能力，有时也采用异型桩。

我国大陆已施工的逆作车站采用的中间竖向临时支撑系统见表 11。

表 11 中间竖向临时支撑系统

站台	中间临时支撑柱		柱基础			
	间距(m)	型式、尺寸	型式	直径(m)	有效长(m)	持力层
常熟路站	4.2，单排	H 型钢、HD400×400×288	开口钢管打入桩	0.9	33	灰色粉细砂
陕西南路站	8.0，双排	H 型钢、HD400×400×347	开口钢管打入桩	0.9	42	灰色粉细砂
黄陂路站	8.2，双排	HD400×400×347	开口钢管打入桩	0.9	46	灰色粉细砂
三山街站	7.5，双排	400 钢管柱	开口钢管打入桩	0.9	26.2	泥质粉砂岩
永安里站	6.0，双排	600 钢管柱	钻孔灌注桩	1.5	13	第二圆砾层
大北窑站	7.5，双排	600 钢管柱	连续墙十字桩	3×3	10.2	第二圆砾层
天安门东站	6.6，双排	800 钢管柱	条基	3.7(宽)×2.0(高)		轻亚粘土

中间立柱一般在直径不小于 0.9m 的深孔内安装。我国大陆逆作车站中间立柱均采用两点定位法。即通过工人下至柱底对中后定位、并在地表设双经纬仪跟踪校正后固定。这时，灌注桩基础的柱下混凝土需分两次灌注。第一次浇至柱底附近，用人工凿除顶部劣质混凝土、待立柱就位后再进行二次浇注。国外也有只采用柱顶定位的(图 15)，可一次完成水下混凝土浇注。

4. 土方挖运

土方挖运是控制逆作车站施工进度关键工序，开挖方案还直接影响顶、楼板的模板型式及施工过程中对侧墙水平位移的控制。

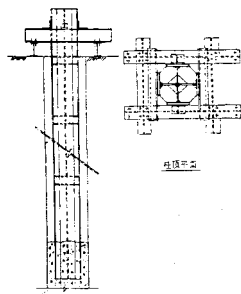


图 15 中间立柱的定位

选择土方挖运手段时，要考虑隧道内的支撑情况及地质条件等因素。上海三站洞内采用人工挖运，北京各站还配合使用了小型挖运机。

盖挖车站的土方，由明、暗挖两部组成，两部分的比列取决于土方开挖方案。在保证如期开通路面的前提下，虽然从改善施工条件和缩短总工期考虑，增加明挖土方量较为有利；但为了采用土模，大多数逆作车站都以顶板底面作为明、暗挖土方的分界线。上海各站由于地层软弱，认为难以利用土模，因此把明挖土方扩大到站厅层中部，随挖随架设顶部两层支撑，再立模浇注顶板。

三座车站中，采用了两种不同的模板系统。常熟路站和黄陂路站利用了板内劲性钢筋混凝土的骨架(工字钢横梁)作承重结构，下铺波形钢板作底模。陕西南路站为普通钢筋混凝土结构，把支承模板的工字钢梁设在结构板的下面。以便重复利用。实践表明两种方式都存在一些问题。前者工程费用高，且结构沿工字钢产生收缩裂缝。后者在逆作狭小的空间内，拆模相当困难，在同一工程中，模板难以倒用；由于侵占空间较多，还增加后续作业的困难。

分层暗挖土方时，为减少土坑暴露时间，充分利用土坡支撑效应、控制墙体的水平位移，土质差时采用了中心挖槽法，即挖出中间通道后再回头开挖两侧土坡，边挖边撑或施作底板垫层 (图 16)。

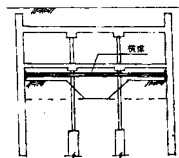


图 16 中心挖槽法开挖土方

顶部覆盖后，所有暗挖土方及材料均通过临时出土口运送。从加快施工进度和节约投资考虑，较好的方法是在边跨的顶、楼板上开口，天安门东站在大北窑站均采用这一方式。如果出土口必须设在道路之外，则尽可能利用车站出入口或风道，局部加深至底层。

盖挖法是在交通流量大的市区修建浅埋地铁车站的一种较好方法。埋置于较稳定地层中的一般双层车站，宜采用盖挖顺作法施工；为减少投入，应使临时构件标准化、批量生产。在地层条件差、挖深大、需要严格控制施工引起的地面沉降时，可采用逆作法施工。施工期间对地面交通的处置应优先采用短期封路或分条施工的作法，这有利于简化施工和降低造价，总工期亦可缩短。

(三)减少施工对地面交通干扰的主要措施

在交通繁忙的地段用盖挖法施工时，必须采取措施，尽可能减少对地面交通的干扰。其中破路、改移管线、施工边墙、中间桩及顶板、回填及恢复路面、出土进料等都可能对地面交通造成影响。关键是要控制进行这些作业时占道路的时间和宽度。可根据地面交通的承受能力分别采取夜间施工、短期断道或以分条施工维持地面交通等措施。为此，盖挖施工方案、结构型式和施工机具选择等，均应与这一总的要求相适应。以下是一些工程实例。

1.边墙的施工。在盖挖逆作法中，常把开挖基坑的挡墙作为主体结构的边墙或边墙的一部分加以利用，应根据工程地质条件和水文地质条件、使用要求、周围环境和施工条件等选用经济、安全的挡墙型式。目前大多采用地下连续墙或钻孔灌注桩与内墙组合。

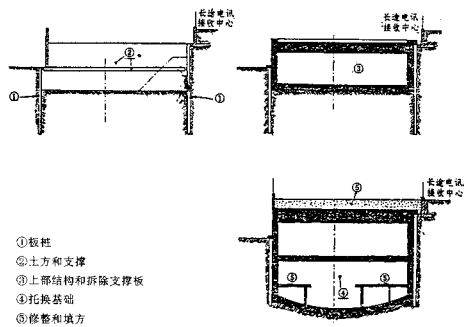


图 17 马塞地欠纳雄纳尔车站施工顺序图

据日本资料，施工连续墙时占用道路的最小宽度一般为 11m，采用灌注桩时可减少到 8.5m。

故在道路狭窄或交通拥挤的地段，地质条件适宜时多选用灌注桩作挡墙，并与内墙组合形成边墙受力结构。日本有的工程被严格限定在夜间施工，这时灌注桩方案更具优越性，不但施工机具的进出场比较灵活，而且成桩时间短，一般每晚可完成 1—2 根。日本东京都地铁某增设工程，采用 400- 500 的灌注桩作基坑支护，桩长 20—28m。由于是在交通量大的城市干线道路上施工，被限定在晚 8 时至早 6 时内作业，打桩机及履带式起重机白天在规定的场所待避，使用 1 台打桩机用半年时间完成 264 根桩。

2.为了缩短从破路、修建边墙及顶板到恢复路面所需的封闭道路时间，将结构顶面尽可能抬高使之接近地表，并采用预制构件代替现浇结构。如开罗地铁用逆作法施工的区间隧道和部分车站隧道，边墙采用预制壁板式地下连续墙，顶板由预制的钢筋混凝土梁板构件组成，从而加快了施工进度。

3.车站宽度较大的双跨或三跨结构，可将顶板分成左右两半分条施工，使得始终有车站宽度的一半仍能维持地面交通。西德和香港地铁车站的施工都采用过这种方案。图 18 为西德一座地铁车站采用逆作法施工的过程示意图，步骤如下：

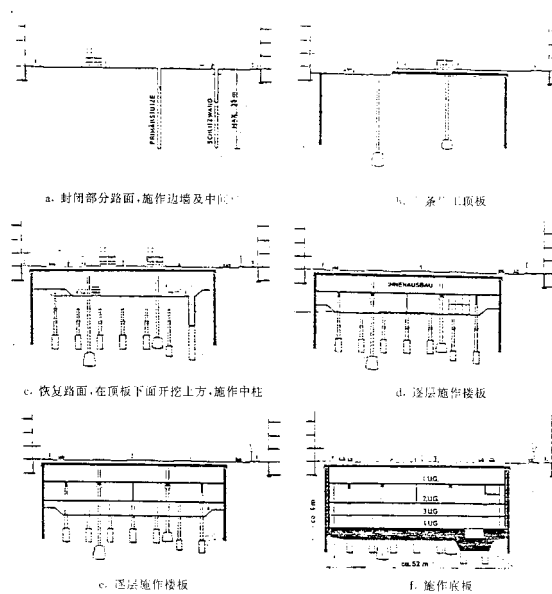


图 18 顶板分条施工的逆作法地铁车站

- (1)交替封闭部分路面，修建边墙及中间桩。
- (2)开挖车站宽度的一半至顶板底面，另一侧维持地面交通。
- (3)修建一侧的顶板，在其上预留接榫钢筋。
- (4)回填并恢复一侧的路面。
- (5)将地面交通转移至恢复路面的一侧。
- (6)接同样步骤施工另一侧的梁和顶板，回填并恢复路面。
- (7)在顶板的下面逐层开挖并浇筑结构。

4.与临时路面相结合，在临时路面之下进行逆作法施工。图 19 为日本京王线新新宿地下车站施工顺序图。该站为五层地下框架结构，基坑深 29m。首先用 H 型钢作成两侧的挡土结构，架设临时路面之后挖土，在地表以下 12m 处施工地下连续墙。用逆作法修建下部的三层结构后再自下而上浇筑上部的两层结构。由于临时路面系统可在夜间施工，随挖随铺，并把占用道路时间最长的连续墙作业和浇筑顶盖的作业转移至路面以下，整个施工对地面交通的影响较小。

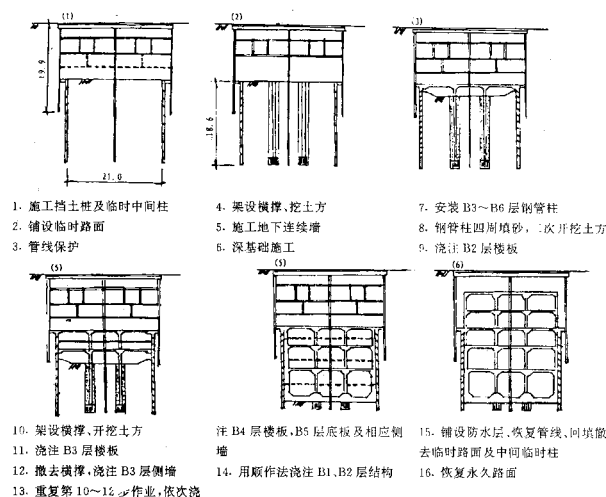


图 19 日本新宿地猴车站施工顺序图

5.为把施工对地面交通的干扰减至最低限度,比利时安特卫普地铁采用了横向顶管法修筑“管状顶板”。图 20 为某座车站的断面图。首先用暗挖法施工车站两侧的纵向坑道,从一侧的坑道内向另一侧依次顶入直径 1.5m、厚 50mm 的石棉水泥管,管子间隙为 100—200mm。管子推进就位后向间隙中压入水泥浆并在管子内放入钢筋笼,压入流体混凝土后,成排的圆形钢筋混凝土梁就构成了车站的顶板,然后在背板和钢支撑的支护下施工上层边墙,开挖上层土方后用连续墙法修建地下水位以下的边墙,继续向下开挖,用逆作法修建结构。

6.近十年来,奥地利和西德发展了一种盖挖与新奥法相结合的施工技术。先在带自然边坡或有挡墙保护的基坑中修建支承在土层上的平顶或拱形盖板,然后回填,同时在顶盖下面进行隧道施工(见图 21)。此法的最大优点是由于减少了开挖基坑用的支护结构,不仅缩短丁封闭路面的时间,且降低了造价。

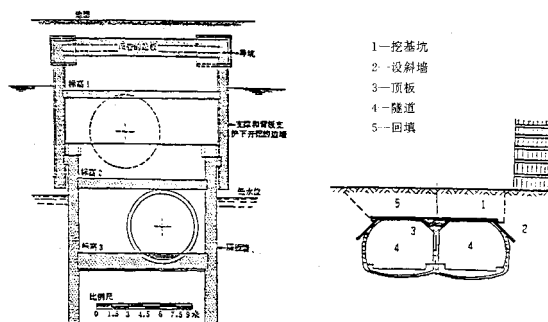


图 20 用顶管法施工地铁车站顶板 图 21 盖挖法与新奥法相结合

7.地下管线的处置:车站范围内与线路走向平行的管线,一般可采用临时改移、悬吊或分条施工时,在已施工好的顶盖范围内埋设等方法处理。横穿地铁的管线,当允许短期断道时,也可进行改移;当为分条施工时,为保证施工期间管线的正常使用,改移管线将导致地面交通多次改线。较好的方法是让管线横穿挡土结构就地悬吊。为此,在管线范围内可采用高压旋喷桩代替传统的连续墙等支护结构。旋喷施工时,只需在土层中钻一个孔径 50 或 300mm 的小孔,便可在其中喷射成直径 0.4—4m 的固结体,因此即使是管线之间的空隙很小,也能在管线的下面及其周围形成一定直径的加固土柱。图 22 为日本东京都北总线栗山明挖地下车站横穿管线范围内的挡墙布置图。该站在与县级道路交叉的部位有多条上、下水管道及煤气管道横穿,在挡墙外侧还有一闸阀门室。一般地段采用水泥土搅拌桩(SWW 桩)作挡土结构,在横穿管线范围内改为旋喷桩,为增大其强度,在旋喷桩的空隙中尽可能地布置了单根的 BH 桩。

8、出土进料:顶盖完成后,可利用车站一侧的出入口和风道等作为土方、材料及设施的临时出入口。这时土方挖运往往成为控制工程进度的关键工序。当道路较宽、施工期间允许占用部分道路时,多在顶板上每隔一定距离设置临时孔口作出土进料之用。

(四)应用范围的拓宽

盖挖法经过二十多年的发展和完善,它的应和范围正在不断拓宽。图 23 示出了波士顿中心干线上采用盖挖法将地面高架线改为地下隧道的成功实例。逆作法还被公认为是人类向更深层的地下空间发展时所能采用的基本施工方法。

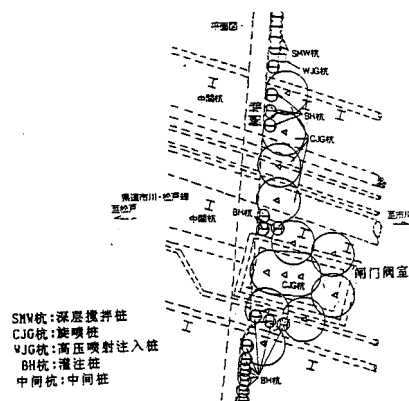


图 22 横穿管线处的临时挡墙平面布置图

上海地铁三车站，采用逆作法施工的结构方案。由于基坑邻近地面建筑物且地层软弱。除利用顶板和楼板作为基坑开挖过程中连续墙的支撑外，还沿基坑深度方向设置了三道临时横撑，并在坑底采取了地基加固措施。竖向支撑采用永久柱与临时柱合一的方式，施工阶段为宽翼缘工字钢，外包钢筋混凝土成为矩形断面，柱基础为 900 的钢管打入桩，深约 60m。顶板用工字钢做模板支承和劲性钢筋，中楼板的 H 型钢，兼有横向支撑、施工平台和楼板劲性钢筋的三重功能。预计 1992 年 2 月开工，1993 年年底完成土建工程，道路全封闭时间为 11 个月。

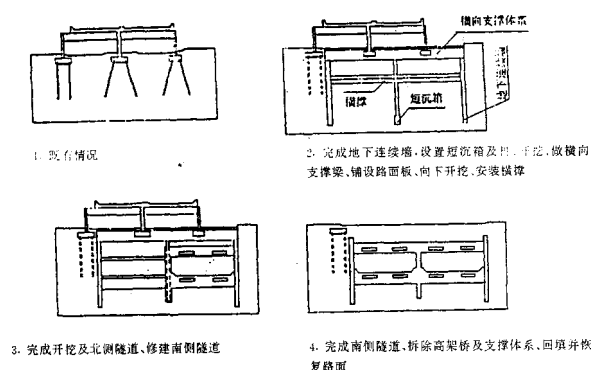


图 23 地面高架线改为地下线的施工程序

八十年代以来，盖挖逆作法已相继在国内一些地下商业街、高层建筑的地下室以及其它地下工程的施工中使用过，它们的成功经验同样可作为地铁施工的借鉴。

上海基础公司科研楼地下室采用逆作法施工，该楼是一座地上五层、地下二层的办公楼，地下室采用 600mm 厚的连续墙作为承重围护边墙，底板纵向中轴线上均匀布置的 9 根 900 深 26~28m 的钻孔灌注桩作为中间支撑柱(400 钢管)的基础。做好地下室顶板后即同时进行地上楼层和地下室的作业，由地下连续墙和 9 根灌注桩共同承受上部楼层和地下室的施工荷载。值得注意的是，当开挖到基坑底尚未封底时(上部吊装到第三层)，实测连续墙下沉 5mm，中间支撑柱上升 10mm，因此采用逆作法施工时，竖向支撑系统的升沉问题必须引起注意。

北京焦化厂第二翻车机室是一个地上一层、地下三层的工业建筑，其平面尺寸为 24×15m，埋置于含水的粘土地层中，围护结构为 600mm 厚的地下连续墙，基坑最大挖深达 19.3m，采用逆作法施工。基坑开挖时，以各层的纵梁和楼板为连续墙的水平支撑，虽层间净高达 7.85m，也未设置任何临时支撑。