地铁换乘站站位选定中的深基坑工程问题

王元湘　胡建忠
（北京市城建设计研究院，北京，100037）

提　要　文章结合上海地铁 5 号线人民广场站站位选定中遇到的深基坑工程问题，探讨了在已运营地铁车站的近旁进行超接近施工时的位移估算方法及应采取的工程措施。

一　前　言

根据规划，地铁 5 号线将在人民广场站与已运营的 1 号线和 2 号线实现换乘。5 号线车站将建在 1 号线人民广场站的东侧沿西藏中路南北向布置，与 1 号线车站平行等高，并与 2 号线车站呈 L 型在区间相交。在 1 号线车站的南端预留有与 5 号线联络的渡线；5 号线还将在人民广场站附近设置一条存车线。车站埋置于淤泥质土层中，采用地下连续墙支护。

本文讨论 5 号线人民广场站站位选定中遇到的深基坑工程问题，即在已运营的地铁车站的近旁进行超接近施工时的位移控制。

二　地铁 5 号线人民广场站站位

1. 两种基本选择(图 1)

(1)紧贴布置— 两座车站相邻的侧墙紧贴。由于受 1、5 号线之间的预留联络渡线的影响，两线相邻正线的线间距须拉开到 11.3m；利用其间的下层空间布置存车线，上层空间为扩大的站厅层。为一双层四跨结构。

(2)分开布置— 两座车站相邻的侧墙分开，其间力求保留较厚的土体。由于受车站北端既有地铁 2 号线区间盾构隧道和南端预留的 1、5 号线联络渡线的控制，两站相邻连续墙之间的距离只能拉开到 4~16m；因此，在相当长的范围内，5 号线车站拉开的距离尚不足以保证其开挖时对 1 号线车站没有影响。车站为一双层三跨结构，1、5 号线车站站厅层之间用通道连接。存车线设在车站南端，与区间左线一同明挖。

2. 结构断面形式

(1)可有四种考虑（图 2）。除(二)为分开布置，其余均用于紧贴布置。

(2)第三种形式由于须另外修建存车线，与(一)比较没有优势。

(3)第四种形式问题较多，不应采用：

- 严重削弱 1 号线车站东侧连续墙的竖向承载能力，且难以提供可靠补偿；

- 5 号线车站连续墙下沉时也可能带动 1 号线车站连续墙下沉；
- 5 号线车站连续墙成槽时，泥浆会从 1 号线车站连续墙的接头处逸出，污染 1 号线车站；
- 与(一)比较须增加一面地下墙，投资增大。

3. 站位方案比选

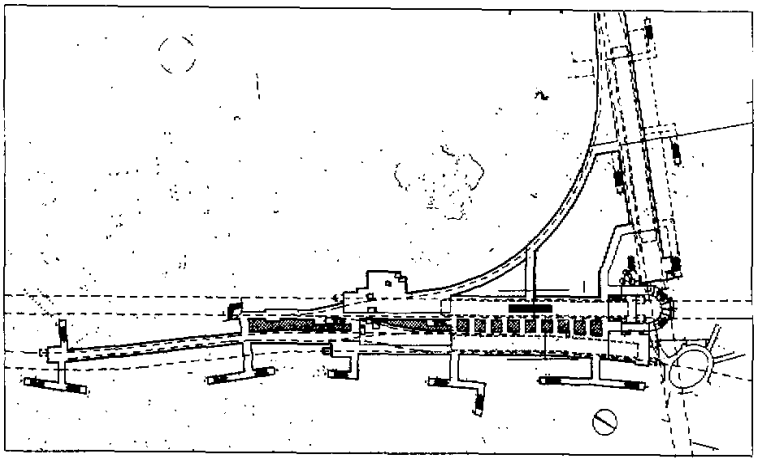


图 1　人民广场站总平面图



图 2　人民广场站结构断面方案示意图

方案(一)虽然施工难度大，但优点突出：

(1)线路布置紧凑，充分利用开挖空间设置存车线，增加站厅层面积；

(2)存车线可为 5 号线和 1 号线共用；

(3)减少施工对西藏中路和人民广场的干扰；

(4)车站规模小、长度短，节约投资。

方案(二)综合效益较差，由于两座车站拉开的距离有限，夹于其间的薄层土体即使进行加固，仍会给车站的受力和变形带来许多不确定因素。综合以上分析，推荐方案(一)。

三　紧贴布置方案控制位移的技术措施

1. 5 号线车站开挖需解决的关键技术问题：对已运营地铁车站的位移控制和保护

在已建地铁车站的附近从事工程活动，必将引起车站结构的位移反应。反应的大小与隧道所处地层关系密切。对埋置于高灵敏度、具有明显流变效应的饱和淤泥质土层中的车站，尤其敏感。必须考虑由于在 1 号线车站的近旁进行大范围的深基坑开挖以及两座车站不同步实施引发的各种问题：

(1)1 号线车站东侧连续墙与土层之间摩擦力减少引起结构下沉和倾斜；

(2)1 号线车站两侧土压力失去平衡引起结构侧移；

(3)两座车站之间的差异沉降。

2. 位移控制的必要性

为了确保 1 号线的安全运营和车站建成后两站的正常使用，地铁公司规定，施工引起既有车站的绝对沉降量和水平位移量不得大于 20mm。过大的变形会带来以下问题：

(1)结构的某些部位由于应力增量过大出现裂缝；

(2)超出轨道结构适应变形的能力以后，会危及行车安全；

(3)如果不同步施工的两个结构差异沉降过大，不仅引起接头部位渗漏水，还会造成乘客使用不便。

3. 1 号线车站位移估算

(1)方法简介

根据紧贴布置方案两座车站可以直接传力的特点，选用荷载-结构模型，用增量法计算了 5 号线车站基坑用常规方法开挖时在 1 号线车站中引起的影响。假定沿基坑深度方向设 3 层临时钢支撑。作用在侧墙上的初始侧土压力为静止土压力。为了模拟基坑两侧结构不对称（西侧为 1 号线的双层车站，东侧为 5 号线车站的地下墙）对侧向土压力的调整作用，除按常规方法在坑底设置土弹簧外，在墙背（1 号线车站的西墙和 5 号线车站的东墙）沿墙高也设置土弹簧。墙背土压力随开挖过程变化,但不小于主动土压力。计算中考虑了 1 号线车站东侧地下墙由于土体被挖除造成的墙土间摩擦力的损失。由于地层软弱，不计底板与土层间的摩擦力。

(2)主要计算结果

①随着 5 号线车站基坑的开挖，1 号线车站出现朝向基坑一侧的侧移和倾斜，最大水平位移和最大沉降均发生在与 5 号线共用的连续墙上，数值分别为 14.3mm（第三步）和 12.1mm（第四步），5 号线车站东侧连续墙的计算最大水平位移为 35mm（第四步），约为 1 号线车站最大水平位移的 2.5 倍。图 3 为第三次开挖完成后结构的变形图。

②开挖在 1 号线车站东、西两面每米宽的连续墙中最大正弯矩的增量分别为 655kN.m 和 893kN.m；在中楼板和底板中出现的最大轴向拉力增量分别为 160kN 和 565kN。

(3)几点看法

①根据上海地区的工程经验，当采用预加轴力和坑内降水等常规方法施工时，实侧墙体最大水平位移约为弹性地基梁法计算值的 2~2.5 倍。据此推算，5 号线车站开挖引起 1 号线车站的最大水平位移可能达 30~40mm；其实际沉降量也可能超过 20mm。因此，仅用常规的施工方法不能满足对 1 号线车站变形的控制要求。

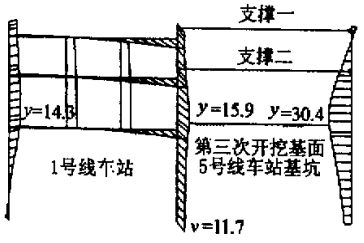
②开挖将使 1 号线车站结构的原有内力状态发生较大改变，如墙体弯矩增大、水平构件轴向压力减少等。

③对变形的控制值，应分别从确保轨道结构的正常使用和车站结构的强度两方面考

虑，选择其中的较小者。

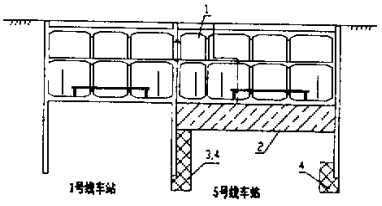
4. 控制 1 号线车站变形的技术措施

见表 1。归结起来就是：通过结构措施、地层加固(图 4)和时空效应的综合利用和施工监控，把由于超接近施工引起 1 号线车站结构工作状态的改变限制在最小的时空范围内，尽可能使其保持原有的对称、平衡的受力特征，以达到严格控制变形和确保运营安全的目的。



y：水平位移(mm)　v：垂直位移(mm)

图 3　第三次开挖结构变形图



1-坑顶以上土体加固　　2-坑底加固

3-墙侧加固　　4-墙趾加固

图 4　地层加固示意图

四　结束语

超接近施工的关键是对既有结构物的位移控制。为此需根据具体的施工过程，分析、研究可能造成既有结构物受力状态改变的各种因素，结合工程经验采取相应对策。

超接近施工中的位移预测是位移控制中的重要环节。本文介绍了用荷载－结构模型分析超接近施工对既有结构物影响的方法。

表 1　紧贴布置方案控制 1 号线车站结构变形的技术措施

顺号	技术措施	目　　的	备　　注
1	5 号线车站坑底土体加固	(1) 增大 1 号线车站连续墙与土层之间的摩擦力。 (2) 在坑底预设一道水平横撑，保证侧土压力的传递，减小结构侧移。	
2	5 号线车站坑底以上土体加固	(1) 增大土体刚度，藉以限制在每一步开挖中横撑设置前结构的侧移量； (2) 改善坑内土体质量，保证分段施工时坑内纵向土坡的稳定，减少土体的暴露范围。	技术设计阶段根据加固目的及土层特性等，选择合适的加固方法及加固材料，提出加固体的力学指标要求及加固范围等；开挖前对加固质量及加固范围进行严格检查。
3	1 号线车站连续墙侧面及墙趾土体加固	(1) 增大 1 号线车站连续墙与土层之间的摩擦力。 (2) 增大 1 号线车站连续墙墙趾处的地基承载力。	
4	5 号线车站内衬与 1 号线车站连续墙做成重合式结构	将 5 号线车站结构的自重和荷载直接传递到地基上，使 1 号线车站连续墙的轴向力保持不变。	在连续墙与内衬之间喷涂或敷设与传力要求相适应的材料。
5	基坑开挖时空效应的综合利用	减少淤泥质地层流变效应引起的结构侧移。	(1) 分段、分层、分步、限时开挖和支撑。 (2) 分段施作结构，限时完成垫层和底板。
6	临时横撑应具有足够的强度和刚度，并在横撑的活接头处安装油压千斤顶	控制结构侧移。	临时横撑不少于 4 层。以往多是在对墙体施加完预顶力后即拆除千斤顶，本工程为有效控制 1 号线车站的侧移，在基坑开挖过程中，各层支撑处的千斤顶均应保留，最后与横撑一并拆除。
7	施工监控	(1) 结构变形的定量控制。 (2) 确定是否需要采取应急措施，确保施工和运营安全。	(1)根据轨道结构和车站结构承受变形的能力确定变形的控制值及施工中的警戒值。 (2)通过结构分析并结合工程经验确定采取各项措施后 1 号线车站可能产生的变形值，将其限定在控制值之内。