

一、概 述

鉴于盖挖法(特别盖挖逆作法)在城市地下结构施工中的诸多优越性,国外自五十年代末开始将此法用于地下结构施工中并逐渐推广,盖挖逆作法现已成为地下浅埋多层结构的主要施工方法;并已成为当今世界各国在交通繁忙的城市中心地区修建地铁车站的一种有效方法。盖挖逆作法几年前首先在我国高层建筑地下多层结构、地下商业街中尝试采用,它们的成功施工在国内掀起了研究、应用盖挖法的高潮,盖挖逆作法因其独特的优越性已经进入北京、上海的地铁工程施工中。可以认为盖挖逆作法是在松散土层中修建地下多层建筑物的好方法,也是人类向地下更深层发展时所能采用的最基本施工方法。

浅埋地下结构采用盖挖逆作,属分层开挖、分层施工结构。在施工过程中,结构的型式和承受的荷载总是在不断变化中,结构受力分析必须考虑这些特点,以使结构设计更经济、合理,这已成为推广盖挖逆作施工技术迫切需要解决的问题。

自 1992 年起,我国有七座盖挖地铁车站相继开工(表 1)。其中建成和基本建成的有上海地铁淮海路下面的三座车站和北京地铁的永安里站。

表 1 我国已开工的盖挖地铁车站

地铁线名	站 名	结 构 型 式	开 工 日 期	恢复路面 日 期	主体完 成日期	设计单位	施 工 单 位
上海地铁 1 号线	常熟路站	双层双跨	92.2.10	92.12.28	93.9.27	北京城建设计院	上海五建、上海基础公司
	陕西南路站	双层三跨	92.2.10	92.12.28	93.10	北京城建设计院	上海二建、上海机施公司
	黄陂路站	双层三跨	92.2.10	92.12.28	93.8	上海隧道设计院	上海隧道工程公司
南京地铁	三山街站	双层三跨	92.3	92.12	未施工	北京城建设计院	南京三建、上海基础公司
北京地铁 复八线	永安里站	三层三跨	92.7	93.10	95.3.26	北京城建设计院	北京市政三公司
	大北窑站	三层三跨	94.4	未恢复	未完成	北京城建设计院	北京城建三公司
	天安门东站	三层三跨	93.12	94.4.29	未完成	铁道部隧道设计院	铁道部隧道工程局

(一)地铁施工方法的发展

五十年代以前,隧道暗挖施工技术尚不发达,明挖法一直是地铁工程中采用最多的一种施工方法。传统的明挖法施工顺序是“先挖后盖”,即自上而下开挖基坑,再自下而上浇筑结构,回填并恢复路面。由于对城市交通及居民生活干扰较大,在市区这种施工方法往往不易被人们接受。后来有些工程在支护基坑的工字钢桩上,架设钢梁,铺设钢制的临时路面维持地面交通,在路面下开挖基坑,修筑结构。这种“盖挖顺作法”至今仍被许多工程采用,缺点是用钢量大,从施工开始到恢复永久路面的间隔时间较长。五十年代末,在意大利米兰地铁施工中首次成功地使用了“盖挖逆作法”。该法的施工程序是:先修筑结构边墙,再在边墙上修筑结构顶板回填和恢复路面的同时,在顶板和边墙的保护下开挖土方并修建结构底板。由于这种方法既保留了明挖法的优点,又能减少施工对地面交通的干扰,后来在欧洲和日本得到迅速推广。

二十多年来,随着隧道施工技术的发展,各种施工方法在地铁工程中的应用情况也在发生变化。从表 1 及表 2 可看出:进入八十年代后,区间隧道暗挖施工的比例迅速增长,并已占据主导地位;在车站隧道的施工中,明挖法仍居优势,盖挖法有很大发展,暗挖法虽在个别城市中有所增加,但从总体看用得不多。施工方法的这种变化,主要有以下几方面的原因:

- 1、地铁线路大多在市区内通过,采用暗挖法或盖挖法施工对环境影响较小,尤其是对地面交通的干扰,可减少到最低限度。
- 2、新奥法的出现,为地铁隧道的暗挖施工开辟了新的前景。这种方法尤其适用于小断面隧道的施工,容易控制开挖引起的地面沉降,因而在地铁区间隧道中得到广泛应用。不仅用于坚硬岩层,也可用于第三纪和第四纪中的大部分土层,可采用排水、冻结、注浆或与压缩空气相结合用于含水地层中。最近的统计数字表明,随着支护系统的改进和施工技术的日益完善,明挖区间隧道在造价方面的优势也在消失。图 1 是慕尼黑地铁区间隧道不同施工方法的费用比较。
- 3、由于使用了各种先进的闭胸式机械化盾构,加之施工水平、压浆技术和防水技术的提高,使得在非常松软的饱和含水地层中也能够安全地修建区间隧道,并可把盾构推进引起的地面沉降控制在较小的范围内。

但是，为什么暗挖技术在车站隧道的施工中难以推广呢?除了由于车站隧道开挖断面大、施工技术复杂、安全性差以及造价、工期、受地层条件的限制等多方面的原因之外，更重要的应从功能上进行分析：

第一、为了最大限度地发挥地铁的使用效益，近代地铁多趋向於浅埋。为了确保暗挖隧道安全施工所必须的覆土厚度，避免因埋深过浅需要加固地层而导致造价大量增加，暗挖车站站台顶面标高一般比明挖车站降低 5~8m，不仅给乘客使用造成永久性的不便，而且要加大车站能耗，增加运营费用。

第二、暗挖车站的平面布局和纵断面受施工方法极大的制约，在出入口设置和设备用房布置等方面都不如明挖车站灵活，而有利于客流集散和运营管理。

第三、现代城市的发展要求考虑对地面及地下空间的综合开发。在很多情况下，地铁车站不再是一个单纯的交通性建筑物，常常集地下街、人行过街道或地下车库于一体；一些具有综合功能的车站，层数一般为 3~4 层，多者达 5~6 层，总宽度达 30—50m，如此宽而深的地下工程用暗挖法施工是难以实现的。

鉴于；功能方面的要求对能否充分发挥兴建地铁的社会效益和经济效益起决定作用，而地铁施工期间对地面交通的干扰只是一种短期效应，所以浅埋地铁车站仍多采用敞口明挖法施工；在交通繁忙的地段修建车站，尤其是修建综合功能要求的车站时则采用盖挖法施工。暗挖车站目前仅用于因线路埋深过大或房屋拆迁过多，采用明挖法施工非常不经济的某些地铁中间站。

(二)浅埋地铁车站各种施工方法的比较

地铁车站的施工方法，对结构型式、建筑布局、线路埋深、城市地下空间的综合利用、工期、造价及周围环境等有重大影响，直接关系到车站使用 功能及其服务质量。用什么方法修建地铁车站，尤其是第 4 纪地层中的浅埋地铁车站，一直是人们关注的焦点。地铁车站施工的基本方法，有明挖法、盖挖法、矿山法和盾构法等。视功要求，明挖、盖挖法施工浅埋地铁车站可采用单层或多层结构，矿山法施工的地铁车站可采用单层或双层结构，盾构法施工的地铁站目前则只有单层结构。盖挖法是在明挖法基础上发展起来的一种施工方法，突破了“先挖后盖”的模式代之以“先盖后挖”，即先以临时路面或结构顶板维持地面交通再向下施工。它在一这程度上缓解了地铁施工对城市交通的干扰。近二十年来，在浅埋地铁车站施工中，明挖法仍居优势，盖挖法有很大发展，暗挖法虽在个别城市中有所增加，但从总体看仍用得不多(表 4)。

表 2 慕尼黑地铁施工方法统计

线 别	施 工 年 代	车站(座)					区间(km)				
		明挖	盖挖	矿山法	盾构法	地面站	明挖	盖挖	矿山法	盾构法	地面线
3 / 6	1965——1974	15	1		1	3	9.8	0.1		5, 4	3.7
8 / 1	1971——1979	10	5	1	1	1	8.5	1.4	4.2	1.1	0.8
1 / 6	1978——1982	4	2				1.2	0.6	4.2		
5 / 9	1977——1987	5	7	4			4	1.9	7.1	1.0	
3S	1988——1989	3	5				2.3	1.6	4.1		
合 计		7	0	5	2	4	25.8	5.6	19.6	7.5	4.5
(%)		55	9	7	3	4	41	9	31	12	7

表 3 国内外地铁施工方法统计表

地铁 名称	施 工 年 代	车站(座)					区间隧道(km)				
		明挖	盖挖	矿山法	盾构法	地面站	明挖	盖挖	矿山法	盾构法	地面线
上海	1987—1985	8	3			1	0, 7			9.3	1.0
仙台	1981—985	12				4	2.5		3.3	3.5	2.2

*公园前车站局部采用了盖挖逆作法施工

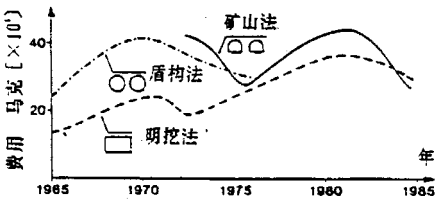


图 1 两座单线隧道造价的变化情况

我国几座城市的地铁在规划、设计阶段，都曾对地铁车站的施工方法进行过比选，主要结果归纳于表 5，从中可

看出暗挖法在浅埋地铁车站施工中难以推广的原因，除了由于车站断面大、施工技术复杂、安全性差以及造价、工期等因素外，更重要的应从功能上进行分析。暗挖法施工地铁车站的功能方面存在的主孽问题有：

表 4 我国大陆地铁车站施工方法统计(座)

地铁线名	施工年代	明挖法	盖挖法	矿山法	盾构法	高架站	地面站
上海 1 号线	1987 ~ 1994	8	3				2
北京复八线	1989 ~	2	3	4			3
广州 1 号线	1994 ~	13 [#]	1				2

表 5 车站施工方法比较

施工方法	明挖法	盖挖法		矿 I 法		盾构法
		顺作	逆作			
结构型式	双层双跨或三跨			单层双跨或三跨	双层双跨或三跨	单层三跨
适用城市	北京、上海、广州			北京、广州		北京、上海、 广州
站台面深度(m)	h	H		h ~ +(3)	h+(5 ~ 8)	h+(3 ~ 5)
施工周期(年)	2	2—2.5		2.5	3	3
对地面交通影响	2 年	0.5 ~ 1 年		少有影响		端头井施工 有影响
站厅层面积(m ³)	4000-5000	4000-5000		1000	4000-5000	1000
施工难度	易	较易	较难	难		难
房屋管线拆迁量	大	大		小		较小
土建造价	1	1.1-1.2	1.2-1.5	1.5 ~ 2.0		1.8 ~ 2.0
使用效果	好	好		差	较好	差

(1)为了充分发挥地铁的使用效果，近代地铁车站多趋向于浅埋。但暗挖法施工地铁车站因埋深较大(目的是为避免埋深过浅时需加固地层)而导致造价大量增加，其站台顶面标高一般比明挖法、盖挖法施工的车站要深 3 ~ 8m，这不仅给乘客使用造成永久不便，而且增加自动扶梯费用和车站能耗。据广州地铁 1 号线可行性研究资料⁽¹⁾，对一般中等规模的车站埋深增加 6m，仅自动扶梯一项的设备和运营费就增加约 1900 万元(1991 年价格)

(2)暗挖法施工的地铁车站的平面布局受施工方法极大的制约，在出入口设置及设备用房布置等方面不如明挖车站灵活，而且还不利于客流集散运营管理。表 6 是明挖、盖挖车站与单层暗挖车站的比较。矿山法车站如采用明挖车站的模式(如西单车站，双层结构、所有设备用房置于车站主体内)，虽然多少克服了暗挖车站功能方面的缺欠，但土建造价的增加却是一般城市难以承受的。另外，天安门东站就三层盖挖车站和双层矿山法车站比较的结果是：前者站台面标高可抬高约 4m，建筑面积增加近 5100m²，而建设投资可省 18%。

(3)现代城市的发展要求考虑对地面和地下空间的综合开发。在很多的情况下，地铁车站已不再是单纯的交通建筑物。一些具有综合功能的车站，体型复杂，少则 3—4 层，多则 5—6 层，总宽可达 30—50m。已投入运营的上海地铁徐家汇车站就是一例。该站全长 606m，地下 3 层，与城市下立交公路隧道合建，是集地铁车站、地下商城(建筑面积达 26000m²)、人行过街道(车站范围内的 14 个出入口组成了 8 条过街道)及市政工程于一体的大型公共建筑，做到了统一规划、统一设计、统一施工。如此庞然大物，采用暗挖法施工目前难以实现。

盖挖车站最大的特点是，它既保留了明挖车站功能方面的长处和工期、造价方面的优势，同时又兼有暗挖车站施工受外界气候影响小、对地面交通干扰少的优点。鉴于功能要求、造价和工期等对能否发挥兴建地铁的社会效益和经济效益起决定作用，而施工期间对地面交通的干扰只是一种短期效应，所以浅埋地铁车站仍多采用敞口明挖法施工；在交通繁忙的地段修车站、尤其是修建有综合功能要求的车站时则采用盖挖法施工；暗挖法目前仅用于施工不允许干扰地面交通或因地面拆迁采用明挖法施工非常不经济时的某些地铁中间站。

表 6 车站使用效果比较

	明挖、盖挖车站	单层暗挖车站
客流组织及集散能力	1. 双层车站人行楼梯和自动扶梯沿站台纵向多组排列，站台上客流分布均匀，加之埋深浅，能迅速疏导进出站的人流；发生灾害时，乘客疏散最快。 2. 出入口根据需要，布置灵活，能很好地吸引地面客流。	1. 岛式站台时难以像明挖车站那样灵活布置出口且数量有限。乘客一般从车站两端进入站台，站台上人流分布不均匀，加之埋深增大，客流组织及集散能力均不如明挖车站。 2. 改用侧式站台虽可改善入口设置条件，但车站使用不如岛式站台方便。
设备用房布置	集中设在车站内，布置紧凑、合理，. 管线顺畅、相互干扰少	大部分用房需布置在车站主体以外的设备隧道或地面，设备和管线引入车站时交叉较多
运营管理	车站内各部门集中管理，便于直接联系，能及时处理各种意外情况	管理分散
综合开发	1. 出入口可与过街道结合 2. 多层车站地下空间可开发利用	出入口与过街道不便结合，可利用的空间太少

(三)逆作法的适用条件

1.下列情况的浅埋地铁车站可考虑采用逆作法施工：

- (1)在城市中心的商业区或车流量大的地段；
- (2)当车站两侧有重要建筑物需要保护时；
- (3)为避免施工多次破路和改移管线，结合城市道路改造的预埋工程。

2.施工的边界条件(地面交通的处置要求、总工期要求和车站顶部永久路面的恢复时间、地面沉降控制要求等)对逆作车站的结构型式、实施方案、工程难度和造价等有重大影响，必须根据车站的具体条件慎重确定。关键是地面交通的处置要求和道路封闭时间的确定。对于地层软弱、周围建筑物密集、地下管线较多的情况，封路时间宜按 10～12 个月考虑；地质条件较好时可定为 6 个月左右。如在车站施工的全过程允许占用部分面积的道路作业，将能提高功效和降低工程造价。

3.在交通繁忙的地段用逆作法施工，必须采取措施，尽可能减少破路、改移管线、施工边墙、中间桩、柱及顶板、回填及恢复路面、出土进料等项作业占用道路的时间和空间。为此，逆作施工方案、结构型式和施工机具选择等，均应与这一总的要求相适应，并要做好开工前的准备及建设资金的落实等。如果延误了恢复路面的时间，逆作法就失去意义，变成一种浪费。

4.中间竖向支撑系统是逆作车站的关键受力部件，必须满足强度、刚度和稳定性要求。应优先考虑永久柱与临时柱合一的方案，并在施工中严格控制中间柱的定位精度。设计和施工应采取措施，把边墙和中间桩的沉降控制在上部结构受力的允许范围内

5.确保不同步施工的各构件之间的连接达到预期的受力状态，是逆作车站设计和施工的重要课题，主要取决于节点构造的科学性、可操作性以及施工质量和施工精度。

6.逆作车站结构与相同支护条件下的明挖结构比较，其受力有以下特点：

(1)连续墙：在与楼板的结合部出现控制截面设计的负弯矩；明挖施工时，在开挖过程中，基坑深度范围内墙身几乎全部为正弯矩。

(2)顶、楼板：最不利受力状态出现在底层土方开挖到设计深度、尚未施作底板前；明挖结构则出现在封顶后的使用阶段。

(3)底板；在无水地层中车站结构的底板受力较小；当地下水位较高时，底板由水浮力控制设计。

7.逆作车站结构柱的纵向间距宜取 5～6m，明挖结构可取 7～8m。

二、盖挖法的特点

盖挖法除施工程序与一般明挖方法不同外，还具有以下特点：

1、在交通繁忙的城市中心地区用盖挖法修建地铁车站时，其结构型式、支护方案及施工方法等，在很大程度上取决于施工期间对地面交通的处置要求，并将对工程的实施难度、工期和造价等产生直接影响。

2、盖挖法比一般的敞口明挖法施工难度大、技术要求高。主要表现在：

- (1)对竖向支撑系统(边墙及中间柱)的沉降量控制严格；
- (2)中间柱的安装就位困难，施工精度要求高；

(3)为了保证不同时期施工的构件相互之间的连接能够达到预期的设计状态，必须把各种施工误差控制在较小的范围之内，并有可靠的连接构造措施。

(4)暗挖土方及其出土往往是控制工程进度的关键工序等。

3、盖挖法施工的结构主要受力构件，常兼有临时结构和永久结构的双重功能。例如，挡墙既是施工期间基坑的支护又是框架结构的边墙；中间柱施工期间起支撑顶板的作用，使用期间又是框架的结构柱。这不仅简化了施工程序，也可降低工程造价。由于在整个施工过程中，结构型式和受力状态都在不断变化，其受力远比顺作法施工的结构复杂。尤其是在软弱土层中的逆作法工程，必须慎重研究施工过程中竖向支撑结构可能产生的沉降量、其对上部结构受力造成的不利影响及相应采取的措施等。此外，构件之间相互连接的质量对结构强度和刚度的影响很大。

4、由于盖挖逆作法是自上而下分层修建的，先修好的框架结构的水平构件(顶板及楼板)就成为基坑内的横撑，除在非常软弱的地层中，一般情况下不需再设置临时水平支撑系统，不仅可节约大量钢材，也为机械化作业提供了方便。

5、盖挖逆作法施工时的地下作业，是在顶板和边墙的保护下进行的，施工安全可靠，不受外界气象条件的影响。

6、由于是自上而下分层修建，可以采用土模技术，省去大量模板及临时支架，既降低了工程造价，又可缩短工期。

7、对于某些可以分期修建的工程采用逆作法施工时，地下一层建好后即可投入使用，既减少了早期的工程投资，又能及早发挥投资效益。

8、盖挖法是在松散土层中修建地下多层建筑物的最好方法，也被认为是人类向地下更深层化发展时所能采用的最基本施工方法。普通明挖法如基坑开挖过深，支护就会有困难，用暗挖法修建地下多层结构亦难以实现。盖挖法只要将边墙修至一定深度，就要自上而下逐层开挖，逐层建成。在施工过程中，以刚度很大的顶板和各层楼板代替横撑，对控制墙体变形和地面沉降也很有利，因此可以在离建筑物较近之处施工。

三、关键技术问题

(一)结构型式

盖挖逆作地铁车站的结构型式，在很大程度上取决于施工期间对地面交通的处置要求。结合北京城区修建地铁的具体条件，可有以下几种基本选择：

1、以临时路面维持地面交通的方案

结构型式见图 2

首先施工两侧边桩，并在永久柱部位施工中间临时柱及其下部基础，架设临时路面的纵横梁及临时路面板，然后在临时路面之下采用顺作法或逆作法施工。临时路面的施工可分条进行或在夜间作业，以维持白天的地面交通。

2、以结构顶板维持地面交通的方案

在明挖的基坑中修好顶板，回填顶部覆土恢复路面后即转入地下作业。图 3 为西单地铁车站的建议方案。该方案的特点是：

(1)由于地下水位在底板以下约 6m，采用分离式的钻孔灌注桩作基坑开挖的支护。不仅施工占有道路的宽度比采用连续墙时减少 2—2.5m，而且机动性强、成桩快、勿需配置泥浆处理设备。

(2)路面结构与顶板合一，做成三层结构，上层空间作为过街道并可供城市开发用。

(3)顶板采用装配式构件。

以上措施有利于加快顶盖的施作，缩短施工占用道路的时间。当需要限制施工占用道路的宽度时，可分条施工顶板，若施工不允许白天占用路面，则可：阵地面作业安排在夜间进行。

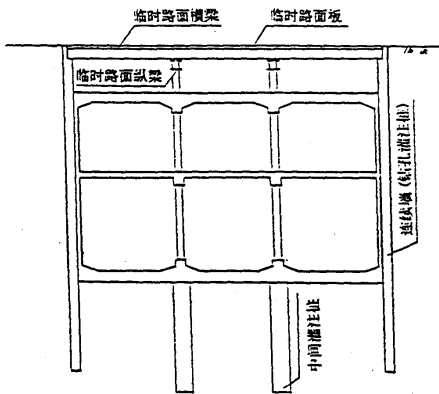


图 2 用临时路面维持地面交通修建的地欠车站

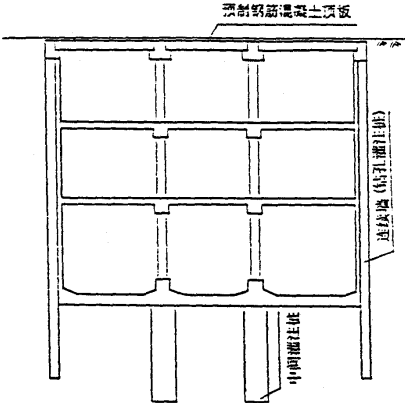


图 3 用结构顶板维持地面交通修建的地铁车站

3、半明半暗方案结构型式见图 4。

该方案施工时，首先用矿山法修建两个旁侧隧道，开挖跨度为 8~9m，然后修建中间梁柱，最后用盖挖法完成中间的站厅层和站台层结构。矿山法隧道可用一般的管棚法或中壁开挖法施工。中间用盖挖法施工的部分，由于基坑深度仅 7~8m，可大大减少支护桩的作业量；地质条件较好时，甚至可以放坡开挖或采用喷锚护坡。施工占用道路的宽度和时间均大为减少。车站的建筑效果也别具一格。

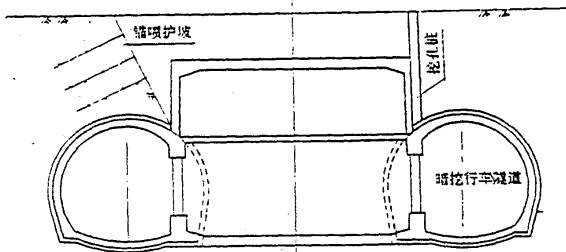


图 4 用半明半暗法修建的地铁车站

4、顶板采用顶管法修建的方案

若施工任何时间都不允许占用路面，则可采用顶管法修建顶板，见图 5。
其施工顺序是：

- (1)在顶板与边墙和中柱的连接处，用矿山法沿车站纵向修建了 3 个断面尺寸约为 3X3m 的隧道。
- (2)在两侧的隧道内，用人工挖孔桩修建挡墙，在中间隧道内用人工挖孑 L 方法修建车站的立柱。
- (3)从两侧小隧道内向中间依次顶入直径 2m 左右的钢筋混凝土管，管子间的空隙控制在 100—200mm，管子就位后向间隙中压入水泥浆，并浇注管内的钢筋混凝土及顶纵梁，形成顶板。
- (4)在顶板保护下按常规的逆作法施工楼板和底板。

以上 4 个方案，由于施工期间对地面交通的影响程度不同和施工方法的不同，施工难度、造价和工期等也有较大差异，但从车站功能方面看，都保持了明挖车站方便乘客，出入口布置灵活、设备用房布置紧凑、管理方便和地下空间利用较充分等优点。有关各方案的进一步比较见表 7。

当在有水地层中采用灌注桩作支护时，需要解决基坑开挖过程中的止水问题，视不同的地层条件及地层的含水情况，一般可采取以下措施：

- a、用连续的排桩代替分离式桩。
- b、在两排灌注桩之间，加一根止水用的旋喷桩或砂浆桩，以形成排桩结构。
- c、向两排灌注桩之间的地层压浆以形成止水帷幕。
- d、用地下连续墙取代灌注桩。

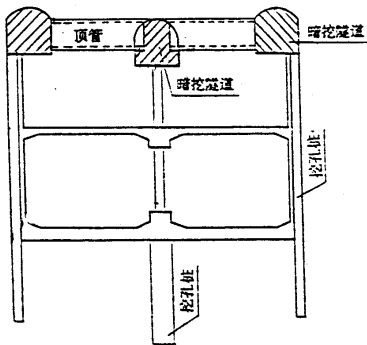


图 5 用顶管法修建的地铁车站

(二)结构受力分析

1、结构的受力和变形特点

盖挖逆作法修建的地铁车站结构，其受力和变形有以下特点：

- (1)盖挖逆作法地铁车站是一个分步施工的过程。施工阶段的临时结构和永久结构合一。结构的某些构件，从施工开始即受力。结构型式、支承条件和受载情况随开挖过程不断变化。荷载效应具有继承性，即这一施工过程在结构中产生的内力和变形，是前一个施工过程的继续；使用阶段的受力状态是施工阶段受力状态的继续。
- (2)地层特性对结构受力的影响比顺作法更为明显。地层不仅对结构施加荷载，同时也参与结构内力和变形的分配。

地层受载较大的某些部分在受力过程中常注入塑性状态。

(3)边墙作为挡土结构主要承受横向荷载，同时也承受水平构件传来的竖向荷载，中柱主要承受竖向荷载。施工过程中，竖向荷载在中、边桩之间分配，结构封底后，竖向荷载在中、边桩和底板间分配。

表 7 盖挖法施工的地铁车站结构型式比较

结构方案	优 点	缺 点	造价比	工期	适用条件
以临时路面维持地面交通的方案	1、施工方法简单、成熟 2、造价较低，总工期短 3、地面作业时间短，铺设临时路面后，即转入地下作业，如需要，大部分地面作业也可在夜间进行，白天恢复地面交通	1、临时路面系统用钢量大。如顺作、横撑用钢量也较大 2、施工占用的路面宽度大，从施工开始到恢复永久路面所占时间长。3、作永久路面时须短期占用路面(可分条施工)	1.1-1.2 (顺作) 1.2-1.3 (逆作)	2 年	顶板覆土较厚且路面较宽时
以结构顶板维持地面交通的方案	1、施工方法简单、成熟 2、造价较低，总工期短 3、施工允许占用的路面总宽度受限制时，可分条施工顶板 4、若顶板抬高到地面附近，并采用装配式构件，则大部分地面作业也可在夜间进行，白天恢复地面交通	1、施工占用路面宽度大，地面作业时间较长 2、顶板分条施工时，地面交通需配合改线 3、若地面作业改在夜间进行总工期要延长至 2.5 年左右，作永久路面时仍需短期占用路面(可分条施工)	1.1-1.2 (逆作)	2 年	顶板覆土较薄且路面较宽时
半明半暗施工方案	1、施工时占用路面宽度小，一般为 10m 左右 2、地面作业时间较短，省去了中间桩的施工，且边桩、顶盖及永久路面的作业量小 3、若顶板抬高到地面附近，并采用装配式构件，则大部分地面作业也可在夜间进行，白天恢复地面交通	1、施工难度较大，总工期长 2、在相同的车站长度下，所提供的设备用房较少 3、造价较高 4、作永久路面时需短期占用路面	1.5	2.5 年	1、白天施工允许占用的路面宽度受到限制时 2、要求在很短的时间内恢复地面交通时
用顶管法修建结构顶板的方案	施工对地面交通无影响	1、施工条件差、难度大 2、工期长 3、造价高 4、在有水地层中难以施工	2.0	3 年	施工期间不允许占用道路时

注：造价均与相同支护条件下的敞口明挖的结构费用作比较。

(4)盖挖逆作法一般以钻孔灌注或地下连续墙作为基坑开挖的支护，成桩(墙)过程中对地层极少扰动，又以顶、楼板代替横撑，基坑开挖引起的墙体变形较小，与一般放坡开挖或用顺作法施工的地下结构相比，当地层较稳定时，施工期间作用在坑底以上墙面的土压力更接近于静止土压力。

(5)盖挖逆作的地铁车站通常埋置较浅，地面车辆荷载对结构受力有较大影响，不仅使隧道结构的受力具有一般公路桥梁的特点，而且车辆荷载在任何一个施工阶段都可能存在，也可能消失，车荷载作用的结构在不断变化。因此，车荷载对结构的作用不能“叠加”，只能“替代”。

(6)在基坑开挖和浇注结构过程中，由于垂直荷载的增加和土体卸载影响造的边墙和中间桩这间的相对升沉，是逆作施工遇到的特有问題。例如，在上海基础公司科研楼的施工中，地下室封底前实测到两侧地下墙的下沉值分别为 4mm 和 5mm，中间桩抬升 10mm，即中间桩和连续墙之间的相对升沉值为 14~15mm。施工期间中、边桩之间的相对升沉将会在顶、楼板等水平构件及立柱中产生较大的附加应力。

上述特点表明，传统的适用于放坡开挖的结构分析方法，即基本不考虑施工过程、结构完成后一次加载的计算模式，或虽然考虑施工阶段和荷载变化的影响、却忽略了结构受力继承性的分析方法都与结构实际的受力状态相距甚远。必须根据盖挖逆作法的施工工艺及结构受力特点，建立新的、能够反映结构实际受力状况的分析方法。

2、结构受力分析考虑的主要问题

在确定盖挖逆作地铁车站结构的受力分析方法时，考虑了以下基本要求：

(1)能恰当的模拟分步开挖过程及使用阶段不同的受力状况。根据施工过程荷载及结构的变化情况，可把盖挖逆作的车站结构的受力过程分解为若干个相对独立的步骤。分步原则是：结构组成、支撑情况有较大变化或结构受力情况

有很大改变时。

(2)能反映结构变形和应力状态的继承性。对于型式、刚度、支承条件和荷载作用不断变化的结构,采用叠加法计算内力和变形较简单。即对于每一个施工步骤或受力阶段,只计算由于荷载增量(或荷载变化)相应引起的结构内力和变形的增量,这一个施工步骤完成后结构的实际内力和变形,应是前面各施工步骤荷载增量引起的内力和变形的代数和。

(3)能反映地层与结构的相互作用及土体的非线性特性,反应基坑卸载对结构受力的影响。地层与结构的相互作用采用温克地基梁模型,用水平弹簧模拟地层对侧墙及中间桩水平位移的约束作用,用竖直弹簧模拟地层对底板、侧墙及中间桩端部垂直位移的约束作用,用切向弹簧模拟地层摩阻力对侧墙及中间桩垂直位移的约束作用。

3. 关于盖挖逆作地铁车站结构受力的几点看法

利用所编制的微机程序,对北京地质条件下盖挖逆作车站结构施工过程的受力进行计算。根据理论计算和室内 1/40 的有机模型试验,得出如下一看法;

(1)盖挖逆作地铁车站结构在施工过程中内力有较大变化,基坑开挖到底板底面尚未施作底板前结构内力最大。底板前结构内力最大。

(2)盖挖逆作的地铁车站结构,主要靠边桩和中桩承受竖向荷载,尤其中桩,是整个结构在施工阶段的主要受力构件,它的承载力必须严格保证。

(3)底板承受的地层反力一般较小,当其受力不为水反力或特殊荷载控制时,可采用比顺作法较薄的底板。

(4)地铁车站结构各部件之间的连续情况对结构受力影响很大,必须采用构造可靠、施工简便的连接方案。

(5)结构受力计算精度的提高,在于对地层特性、结构与地层的共同作用及构件连接状态的正确认识和施工过程的正确反映。

(6)对盖挖逆作法施工的地铁车站结构的中楼板强度必须充分注意。施工过程中边墙和中的不均匀升沉及可能承受的不对称荷载,将在楼板与边墙的连接部位产生较大应力,楼板厚度应较顺作法适当增加,且宜设置梗斜。

(三)竖向支撑系统

采用逆作法施工时,需要考虑结构底板完成前如何将作用在顶板和楼板上的荷载传给地基的问题。一般有以下两种做法:

1、利用基坑两侧的挡墙传递竖向力的方法,此时车站主体为一单跨结构,适用于车站宽度较窄时或设置临时中间支撑系统很不经济时。

2、设置中间临时竖向支撑系统,与基坑两侧的挡墙共同传递竖向力的方法。竖向临时支撑系统的设置也有两种方法。一是永久柱两侧单独设置临时柱,二是临时柱与永久柱合一。前者多见于早期用逆作法施工的地铁车站,随着施工技术水平的提高和施工机械的发展,现在大多采用后者,因为这有利于简化施工程序,减少投资。

当采用临时柱与永久柱合一的方案时,在施工结构顶板前,需首先在永久柱的位置修建临时柱及其基础。通常施工期间每根柱承受的荷载为 4000, d5000KN 或更大。为了把如此巨大的荷载顺利地传给地基,并把地基的沉降控制在结构变形允许的范围之内,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 型钢柱。H 型钢柱与楼板梁的连接较简单,并可做成宽度较窄的梁,但钢材需进口,并且在强度、稳定性及柱下基础的混凝土浇注等方面均不如钢管柱。

柱下基础可采用条基或桩基。采用条基时,首先用矿山法等暗挖方法,在车站底板下面,沿柱的纵向开挖一个小型隧道,在隧道内浇注底梁后再从地表往下钻孔,架设,陆时柱。这种做法造价一般较高。工程中经常采用的是灌注桩基础,它通常具有施工简便、工期短、造价较低等优点。

在临时竖向支撑系统的设置中需要解决以下几个关键技术问题:

1、中间立柱的定位精度

中间立柱的施工过程大致如下:

(1)柱下条基施工并预留与中间柱结合的杯口或柱下桩基成孔;

(2)将中间立柱吊放到设计位置;

(3)浇注杯口混凝土或柱下桩基混凝土,将中间柱固定于基础之上。

其间,中间立柱的准确就位是一项技术难度很大的工作。施工中由于以下几方面的原因,必然会出现立柱中心偏离设计位置的情况:

柱的中心定位误差;

柱身安放时不垂直;

浇注柱下基础或钢管柱内部混凝土时,因柱身固定不牢而移动。

这种偏心在空间三个方向均可能发生。图 6 示出了上海地铁 1 号线陕西南路车站中间 H 型钢柱承受不同偏心荷载时柱身最大应力的增大幅度。

从中可看出；偏心对 H 型钢柱的应力影响很大。2cra 的双向偏心时柱身的应力较相同轴力的中心受压状态增大 30% ~ 45%，4cra 的双向偏心时则增大 60 ~ 100%。过大的偏心不仅造成柱承载能力的明显下降，而且会给车站的装饰装修带来问题。所以施工中必须对中间立柱的定位精度严加控制，并在柱的设计中根据施工的允许偏差计入偏心的影响。一般都将中间立柱的允许偏心控制在 15—20mm 以内，同时要求把柱的斜度控制在 1 / 600 ~ 1 / 1000 的范围内。为了确保中间立柱定位的精度要求，施工时，应在地表柱的顶部设置定位及校正其垂直度的装置并尽可能通过下人或其它措施在柱的下部设法将其稳住，避免因浇注混凝土而使柱身位移。柱下基础混凝土浇注完成后，用砂填充钻孔与中间立柱之间的空隙，防止基坑开挖过程中柱身晃动。

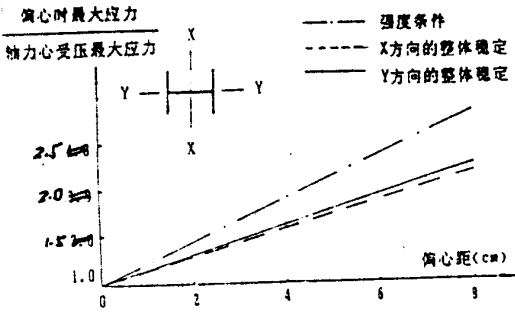


图 6 偏心对 H 型钢柱应力的影响

2、柱的型式及成桩工艺

桩的型式及成桩工艺与中间柱承受的荷载大小、施工设备的性能、工程地质及水文地质条件等因素有关。

目前北京地区大直径灌注桩施工主要有人挖和机钻两种，在个别工程中也有采用泥浆护壁冲孔桩的工程实例。由于人挖和冲孔方法受到的限制因素太多，因此目前大面积推广应用的是机钻技术，其主要设备是短螺旋钻机和泵吸反循环钻机，性能指标见表 8。

表 8 北京地区大直径灌注桩的成孔设备

设备名称	RTC—S	CM — 35	黄河钻机
钻进方式	短螺旋	短螺旋	泵吸反循环
钻孔深度	78m	28m	40m
钻孔直径	0.3-1.5m	0.8-1.2m	0.8-1.5m
扩底直径	4.5m		不能扩
备 注			泥浆护壁

这三种机具设备一般能满足北京地铁中间桩的成桩要求。此外，在众多的泥浆护壁成桩工艺中，泵吸反循环技术还在很大程度解决了桩尖沉渣问题。

从工程地质和水文地质条件看，北京地处永定河冲积扇，人工填土以下为很厚的第四系冲洪积层，由粘土、亚粘土、砂层及圆砾等地层组成。地下水位呈东高西低的趋向，在地表以下 3 ~ 20m 不等。当桩位于地下水位以上时，一般可采用干作业的钻孔灌注柱桩或人工挖孔柱；但在地下水位丰富或遇砂层、砂卵石地层时，都存在着成桩困难的问题，需采用泥浆护壁等措施，直接影响到桩的造价和施工效率。

近年来，在高层建筑深基础工程中发展了一种大直径扩底桩墩基础，无论现场原位静力试验和室内模型试验都证明，桩底扩头后对桩竖向承载能力的影响是显著的。

可以看到，钻孔直径 1m、扩底直径 2.6m 的灌注桩，在相同的入土条件下，其竖向承载能力比直径 1m 的直桩提高了 1 倍。因而扩底桩具有减少钻孔深度、提高施工效率和节约混凝土用量等优点。在某些情况下，采用扩底桩后还可避免桩身通过含水地层带来的施工困难。

扩底桩虽然在粘性土地层中已经有了成功的实践经验，但在砂层或砂砾石地层，尤其当地下水位丰富时，尚无工程实例。今后除应大力开展这方面的施工工艺实验研究外，作为解决问题的另一途径，可以结合地层情况，采用一些新型的桩头型式。我们在室内模型试验中，曾考虑了以下几种方案：

- (1)当桩底土质不适宜或根本不能形成桩的扩头时，改变桩头位置，将其置于较好的土层上，即所谓桩身中部扩头桩。
- (2)桩身和桩底同时扩大的多扩头桩。

(3)当遇松散土层做持力层时,采用压浆形成扩头,等。

可以看到,底部扩头桩对桩的竖向承载能力的提高效果最佳;多头桩并不可取,因为它的承载能力比中间扩头桩提高有限;中间扩头桩在地层条件合适时,有可能作为今后设计采用的一种桩头型式,但其成桩工艺尚待研究;通过压浆形成的水泥扩头桩的承载能力与直桩相比,提高不多,因此对桩底的压浆只能作为扩头施工时的一种护壁措施,但不能取代扩头。

当地层特别软弱时,由于扩头难以实现,只能采用直桩。有时,因成桩能力的限制,灌注桩难以满足设计要求的承载能力,不得不采取其它措施。例如上海地铁1号线常熟路车站为一双跨双层结构,柱纵向间距8.4m,施工期间每根柱承受的竖向荷载高达8500KN,为此需采用直径1.2m、长80m(有效长度66m)的钻孔灌注桩基础,无论在桩的直径和深度方面,上海均无先例,不得不将竖向临时支撑系统改为永久柱加临时柱方案,即沿纵梁方向,在两永久柱之间增设一根临时柱,将施工期间的竖向支撑间距减至4.2m,每根桩承受的荷载也相应减少到4500KN,采用直径0.9m的钢管打入桩作柱基,桩的有效长度减至33m。

3、桩基的竖向承载能力

鉴于支承中间立柱的桩基,在施工阶段即已承受相当大的竖向荷载,为了降低桩本身的设计和施工难度,节约工程投资,设计中一般的作法是:由中间桩和侧墙共同承担浇注结构底板前的全部竖向荷载,由底板承担结构封底后新增加的竖向荷载。因此,采用逆作法施工的地铁车站竖向支撑的下部结构,在功能上有其特殊性。就其本身而言,结构封底前它是一个临时结构,但其支撑的顶、楼板,却是永久结构,它们往往在施工阶段即已承受使用阶段的最大荷载。在这种情况下,竖向支撑系统下部结构承载能力标准应如何考虑?有两种不同的思路:

(1)认为桩基本身虽属临时结构,但为保证顶、楼板在整个受力阶段的安全,桩基的安全系数按永久结构选用,即 $K=2$,因此问题的实质是求桩基的极限承载能力。

(2)认为中间桩的承载能力,实质上是一个地基沉降的控制标准问题,取决于桩在竖向荷载作用下的允许沉降量。这个问题不仅涉及桩在竖向荷载作用下的沉降规律,而且与边墙(桩)在竖向荷载作用下的位移、桩墙之间的位移协调以及框架结构抵抗不均匀下沉的能力有关。但是,现有各种承载能力的计算公式,并没有与受载后桩本身的下沉量联系起来,因此问题的最终解决,应是在对桩现场原位静力试验的基础上,对以上各种因素进行综合优化的结果。一般来说,按这种思路设计时较为经济,而且结构的受力和变形状况也较为明确。

综上所述,用盖挖逆作法施工地铁车站时,在结构封底前,顶、楼板的竖向荷载都将通过边墙及中间桩传给地基,因此,中间竖向支撑系统在施工期间的承载能力及稳定性是关系工程成败的关键,设计和施工都必须高度重视。应优先考虑永久柱与临时柱结合的方案。并在施工中严格控制中间柱的就位精度。柱下基础采用灌注桩时,应优先采用扩底桩,不得已时可增加桩长,通过增大摩阻力来提高桩的承载力。桩的承载力标准宜按允许沉降控制。

(四)节点构造

采用逆作法施工的地下结构,其交汇于同一节点各构件,并非同步完成,因此,构件之间的相互连接能否真正反映结构预期的工作状态,就成为结构设计和施工中必须解决的又一关键技术问题。节点的构造型式及施工质量,对结构的强度和刚度有很大影响。

1、竖向外墙与框架水平构件的连接

当直接利用地下连续墙作为主体结构的侧墙时,需要解决顶、楼、底板等水平构件与先期修建的地下连续墙的连接问题。图7为两种典型的构造方案。

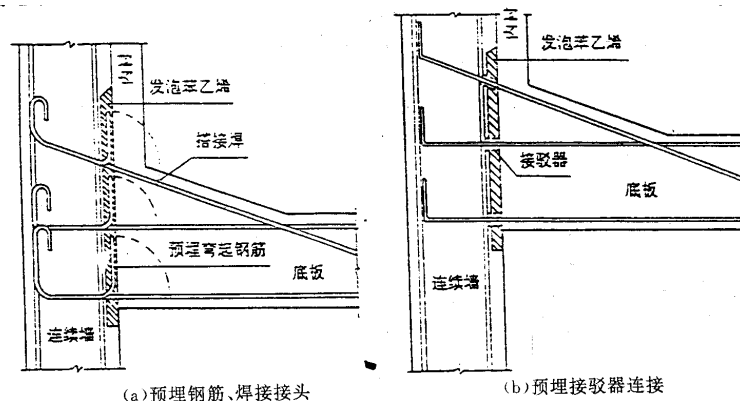


图7 连续墙与水平构件的连接

前者在连续墙内预埋弯起钢筋,将其板直与水平构件内外层的钢筋搭接(或焊接)、浇注混凝土后使水平构件与连续

墙连成一体，并通过在墙上预留的凹槽传递竖向剪力。为了防止钢筋弯折脆断，预埋钢筋必须采用韧性较好但强度较低的Ⅰ级钢，且直径不能太粗，板直后又常有硬弯，因此节点的抗弯能力难以保证。采用此种连接方式时，一般将连接节点视为铰结。后者是通过事先埋在连续墙内的钢筋连接器(接驳器)与水平构件的主筋连接。由于接驳器能可靠地传递拉力，因而此种节点可视为刚结。

图 8 为接驳器大样。接驳器实为一套管，两端内腔呈锥形，一端与连续墙内的锚固筋连接，预埋在墙内，另一端加保护帽后露在墙内预先设置的凹槽内。基坑开挖后，打开保护帽即能方便地将头部带有锥螺纹的水平筋旋入接驳器内，形成钢结接头。

2、钢管柱与梁的连接

在用逆作法修建的结构中，梁柱节点是一个关键部位。由于钢管混凝土柱已先期施工，楼板梁和底板梁钢筋无法穿过，为此，可在钢管柱两侧布置连续双梁，由双梁承受节点弯矩，剪力则由焊接在钢管上的环形牛腿传给钢管核心混凝土。

目前地面钢管混凝土框架结构中常用的梁柱节点构造型式，就剪力内部传递的方式而言有两大类。一类是在节点的钢管中设穿心钢板，将节点竖向剪力直接传给核心混凝土；另一类则无穿心钢板，节点竖向剪力仅通过钢管内壁与混凝土间的粘结力向核心混凝土传递。由于施工方面的原因，第一类节点无法在盖挖逆作的地铁车站结构内应用，第二类节点构造简单，便于混凝土浇注，但当剪力很大时界面的粘结力有时尚不足以保证剪力的完全传递。因此，必须结合地铁车站盖挖逆作法的施工特点，研制能承受较大剪力的新型节点。为此，设计了一种带环形隔板的节点，由环形隔板的局部承压力向核心混凝土传递剪力，并与无环形隔板的节点进行了室内模型对比试验。对每个试件都进行了两次试验。第一次试验只加剪力不加轴力。荷载加至钢管纵向应变接近比例极限时停止，然后卸载。第二次试验先加轴力 $N = 500\text{KN}$ ，然后分级施加剪力 Q ，直至试件破件。图 9 为两个试件第二次试验时柱端的剪力一位移曲线。

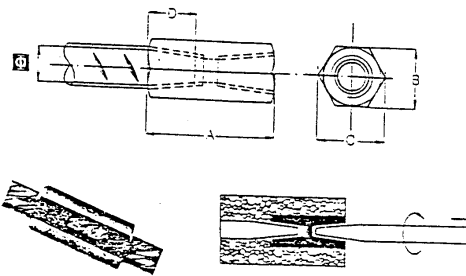


图 8 接驳器

当剪力到 700KN 时，无环形隔板的 J-1 试件的剪力一位移曲线开始下降，而有环形隔板的 J-2 试件的曲线仍持续上升，直到 960KN 时由于已达到短柱破坏强度而中止试验。试验表明，J-1 试件破坏的主要原因是由于在轴力与剪力的共同作用下，节点下柱局部强度降低所致；J-2 试件因有环形隔板，剪力内部传递较好，所以节点下柱强度没有受到影响，达到了钢管混凝土短柱的极限承载能力。

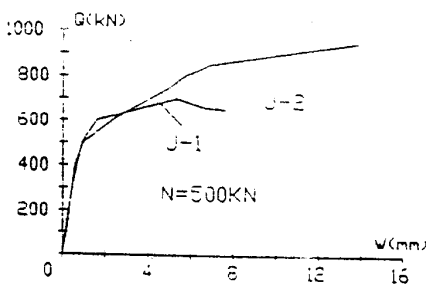


图 9 柱端剪力---位移曲线

根据室内模型试验结果，建议在盖挖逆作施工的地铁车站中，根据节点承受的剪力的大小分别选用无隔板的环形牛腿及有隔板的环形牛腿。当节点承受的剪力大于钢管和与核心混凝土的粘结摩擦力 Q_r 时，应选用有隔板的环形牛腿。 Q_r 由下式确定：

$$Q_r = D_0 H []$$

式中， D_0 钢管内径
 H ：节点上柱高度(层高)
[]：粘结摩擦强度的允许值。

图 10 为建议采用的梁柱节点构造方案。

在确定牛腿的尺寸时，应对节点的抗剪强度进行以下计算，并满足构造要求：

- (1)牛腿焊缝强度计算；
- (2)牛腿附近混凝土梁抗冲切计算；
- (3)环形牛腿对混凝土梁局部承压强度计算；
- (4)牛腿内隔板强度计算；
- (5)牛腿底部加强箍强度计算。

其中牛腿底部的环形加强箍，是为了保证节点在受力过程中钢管不致出现局部屈曲破坏而设置的。

3、中间立柱与桩基的连接

当中间柱采用灌注桩基础时，需将柱插入桩内，然后用混凝土浇成一体。图 11 为采用逆作法施工的上海基础公司科研楼地下室的钢管混凝土柱与灌注桩基础的连接方案。该工程处于软弱地基，钻孔桩施工时用泥浆护壁，通过临时设置在钢管柱内的导管进行混凝土浇注。节点设计和施工考虑了以下因素：

- (1)钢管柱插入混凝土内的深度：从钢管柱的锚固和传力要求考虑，宜采用较大的插入深度，但由于浇注混凝土的导管需放在钢管柱内，钢管柱底面以上的混凝土不可能翻上很高，插入深度取 1m。
- (2)混凝土顶面应超出底板底面一定高度，因为在泥浆条件下浇注混凝土时，其顶部混凝土的质量总是难以保证的。
- (3)为加强柱端部的锚固，并把柱荷载均匀地传给下部混凝土，在柱底部加焊了分布竖向钢筋。

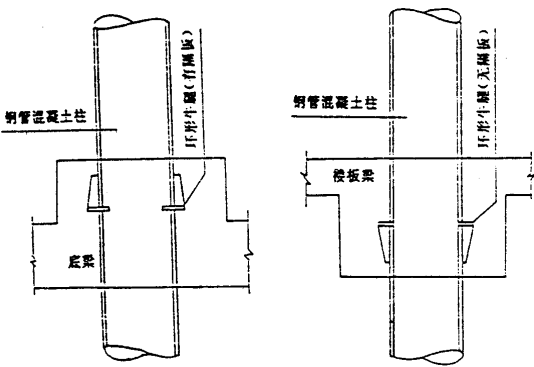


图 10 钢管混凝土柱节点构造方案

(五)混凝土的施工缝

1、逆作法混凝土施工缝存在的主要问题

采用逆作法施工时，主体结构侧墙和立柱的混凝土浇筑，一般和传统的自下而上浇筑的顺序不同，是在上部混凝土达到设计强度之后再接着往下浇筑的，由于混凝土的析水及自身下沉的影响，施工缝处不可避免地要出现 3 ~ 10mm 的缝隙，将对结构的强度、防水性和耐久性产生不良影响。

2、施工缝的施工方法及处理技术

针对逆作法混凝土施工缝存在的上述问题，对施工缝的施工方法进行了改进，如图 12 所示。

其中直接法为传统的施工方法；注入法是通过预先设置的注入孔向缝隙内注入水泥浆或 环氧树脂的一种施工方法；充填法是在下部混凝土浇注到适当高度、清除浮浆后再用无收缩混凝土或砂浆充填。下部混凝土的浇注高度，用混凝土充填时距施工缝约 1m，用砂浆填充时距施工缝约 0.3m。

下部混凝土的浇注，可采用图 13 所示的两种方法。为了保证施工缝部位良好的充填性，一般多在柱中设置 V 型、在墙中设置 V 型的倾斜施工缝。试验表明，从传力观点看，施工缝的倾斜角以 30o 以下为宜，并认为在 20o 左右是适当的。

3、施工缝的不同施工方法的效果比较

(1)施工缝的力学性能

日本曾就施工缝的不同处理方法对柱构件进行过施工缝传递上部 荷载的性能试验及弯剪破坏试验，得出以下 结论：

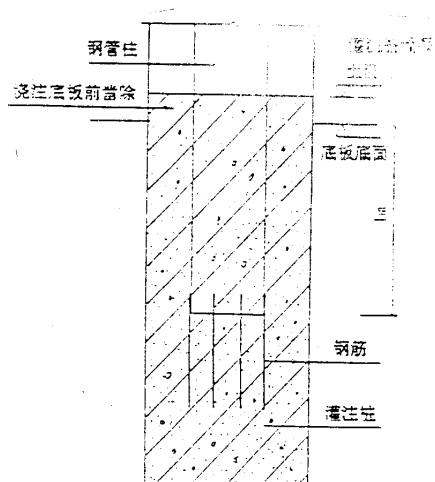


图 11 钢管混凝土柱与灌注桩的连接

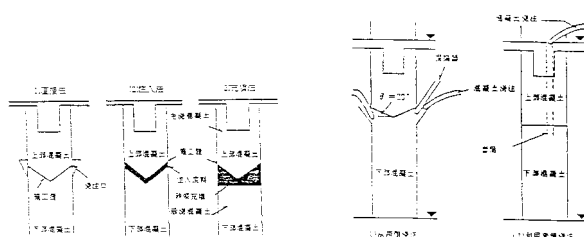


图 12 施工缝浇注混凝土的不同方法 图 13 下部混凝土的浇注

a.施工缝处钢筋所分担的上部荷载的比例比无施工缝的健全部位钢筋所分担的比例要大。

b.施工缝处钢筋所分担的荷载比例与施工缝的处理方法有关，具有整体浇注<注入法、充填法>直接法的倾向。直接法施工缝处钢筋分担的荷载约为整体浇注时的 5 倍，注入法和充填法施工缝处钢筋分担的荷载比整体浇注时增加约 10 ~ 30%。

c.从构件的弯剪破坏形态看，除直接法外，其它处理方法与整体浇注的破坏形态非常相似，随着外荷增加，构件端部先后出现弯曲裂缝和剪切裂缝，并由于裂缝的不断扩展而导致其最终的破坏；直接法在剪切裂缝出现前，施工缝附近就产生了滑移破坏。

以上试验结果证明，直接法的施工缝，其上下两部分混凝土的整体性很差，不能有效地传递上部荷载。

(2)施工缝的止水性能

表 9 示出了逆作法施工缝的处理方法与漏水之间的关系。由于直接法易于在施工缝处产生缝隙，在很小的水压下也会漏水。对于用无收缩水泥等注入的注入法，水压为 $20\text{N} / \text{cm}^2$ 时(相当 20m 的水头)，仅出现若干渗水，当水头压力超过 $25\text{N} / \text{cm}^2$ 时，发展为漏水。故当地下工程埋深大且水位较高时，必须在逆作法的施工缝处采取辅取的防水措施。

图 9 施工缝处理方法与漏水

水头压力($10\text{N} / \text{cm}^2$)	直接法	注入法
0.1	全面漏水	不漏水
0.3	--	不漏水
1.0	--	不漏水
2.0	--	施工缝处渗水
2.5	--	施工缝处漏水
3.0	--	--

(3)施工缝混凝土的耐久性

由于注入法的填充性能很好，其施工缝处混凝土的耐久性能比直接法和充填法都好。

4、通过对既有试验资料的分析，建议：

(1)逆作法混凝土施工缝的施工方法应尽可能采用注入法或充填法。

(2)柱设计时，必须充分考虑施工缝的缺欠对其承载能力的影响。当采用注入法或充填法处理施工缝时，混凝土的设计强度应作适当折减；当采用直接法时，必须设置劲性钢筋柱，并使其承担使用期间的全部荷载。

(3)下部混凝土的浇注，可采用图 13 所示的两种方法。在柱中设置 V 型、墙中设置 V 型施工缝，施工缝的倾角宜在 20° 左右。

(4)对于与土壤接触的侧墙，必须加强逆作法混凝土施工缝的防水处理。

(六)盖挖法施工的防水设计要点

1、概述

盖挖法是在城市交通繁忙的街道下修建地铁车站或地下隧道应用最为广泛的一种施工方法，它的边墙有两种形式：一种是地下连续墙挡土加内衬结构复合组成永久性承重侧墙；另一种是地下连续墙既是结构的永久性承重墙，又兼具防水、基坑支护的多重作用的侧墙(无内衬结构)。无论上述哪一种形式，对地下连续墙幅间接缝的水密性均要求较高，如何作好，尚是防水技术的难点。

2、设计要点

(1)车站除采用结构自防水外(抗渗标号 S8)，并应增设附加防水层组成双道防线。

(2)宜在结构顶、底板迎水面铺设外防水层。防水层的卷材层数及厚度按水文地质状况与工程防水要求选定。改性沥青卷材厚不小于 6mm；橡胶、塑料类卷材厚不小于 1.5mm。

(3)连续墙附加防水层

连续墙墙体段(幅间)接缝和墙体与结构板之间的接缝均是防水薄弱环节，应采取有效刚柔结合的加强防水措施。

在做防水层前应将连接部位疏松杂物等进行凿毛、凿除处理，并清洗干净。用掺膨胀剂的 1:2 砂浆嵌实找平后，再对连续墙接头部位两侧各 20cm 范围内喷或涂刷厚 1.5mm 的高弹性聚合物防水层，并抹防水砂浆进行保护。

地下连续墙不设内衬时，对连续墙表面的泥皮必须进行扒除和凿毛处理，在处理好的基层表面上再做抹面防水。

在丰富含水地层中，地下连续墙应组合成复合式衬砌以利设置夹层柔性防水层。

在同一工程的不同部位采用不同防水材料在施工基层表面相匹配，并使防水系统具有连续、整体水密件。