

探讨在城市主干道上采用大矩形断面超浅埋暗挖四导洞施工技术

周雄凯

武汉光谷建设投资有限公司，武汉，430000；

摘要：城市地下通道越来越多地采用浅埋暗挖施工，本文结合工程实例，详细介绍了武汉市某地下通道工程，在城市主干道且地下管线复杂的情况下，采用大矩形断面超浅埋暗挖四导洞施工技术，确保通道顺利完工；同时，也重点介绍大矩形断面超浅埋暗挖的主要施工工艺，并详细阐述了施工难点、对策及关键技术，为其它同类工程提供可参考的施工经验。

关键词：超浅埋开挖；大矩形断面；超前加固；四导洞；城市主干道

DOI:10.69979/3029-2727.24.03.013

1 工程概况

1.1 工程简介与背景

某地下通道位于城市主干道，从高架桥桥墩之间穿过，是武汉车流、人流最繁忙路段之一，地下管线分布密集，种类繁多。

本工程在道路中央设置一个施工竖井，主通道总长66.42m，暗挖通道长度分别为30.45m、34.73m，采用平顶直墙的矩形截面，设计开挖尺寸为7.7×5.7m，净尺寸为6.0×3.8m，埋深8.78~9.01m。

1.2 工程地质与水文条件

本场地相对比较平坦，场地地貌单元属剥蚀堆积垄岗区，现状道路两侧均埋设有地下管网，且较多较复杂。

地下水主要为上部滞水和基岩裂隙水两种类型。上层滞水静止水位在地面下1.30~3.50m之间；基岩裂隙水主要为岩溶裂隙水，水位在地面下约15.0m，水位变化幅度在3.0m~5.0m之间。岩溶裂隙水对地下通道影响较大。同时，周围管线存在的滞水可能渗漏，尤其是雨污水管线对工程的影响不可忽略。

2 主要施工工艺

2.1 竖井施工

本工程道路中间设一个施工竖井，开挖尺寸为9.9×8.4m，开挖深度为12.34m。竖井支护主要由锁口圈梁、超前注浆导管、格栅钢架、横向钢管支撑、C20喷射混凝土等组成联合支护体系，采用倒挂井壁法施工。

竖井开挖采用“竖向分层，横向分块，由上到下”的施工原则进行作业。土方开挖分层分幅开挖，每幅深度为0.75m。

2.2 超前大管棚

竖井施工到马头门处，在井壁上放出主通道开挖外轮廓线的位置，并安装大管棚定位管，采用Φ180×8钢管，长0.5m，环向间距0.3m，安装位置与超前大管棚一致。

竖井施工完成后进行超前大管棚施工，大管棚采用Φ159×8无缝钢管制作，管上设置注浆孔，孔径10~16mm，孔间距0.2m，梅花形布置。奇数孔首根4.0m，偶数孔首根6.0m，其余的均为4.0m，以避免钢管接头在同一断面上。

为保证成孔质量，钻孔间隔进行，先钻奇数孔，后钻偶数孔。成孔后立即清孔下管，以免坍孔造成洞内堵塞而无法顺利安装。大管棚打设完成后，对定位管与管棚之间的空隙进行封堵，并安装管棚注浆阀门。孔内注浆采用隔孔注浆的方式进行，注浆采用1:0.4~0.8水泥、水玻璃浆液，注浆压力0.4~0.8Mpa，持压15min后停止注浆。

2.3 超前小导管

超前小导管兼注浆管采用Φ42×3.5无缝钢管，长2.5m，间距0.3m（顶部、边墙、中隔墙布置），每榀钢格栅布设，外插角8°~25°，纵向相邻两排锚管的水平搭接长度不小于1.0m，沿开挖轮廓线从钢格栅腹部穿过。注浆采用1:0.4~0.8水泥、水玻璃浆液，注浆压力0.4~0.8Mpa，注浆顺序一般由上而下，采用隔孔注浆方式进行。

2.4 通道开挖

通道开挖分成上下左右四个导洞，每个导洞分上部、下部台阶进行人工开挖，导洞之间断面错开2~3m。每次开挖进尺为一个钢格栅间距即0.5m，开挖要尽量一次到位，禁止存在钢架就位过程中欠挖的情况。开挖轮廓线应该综合分析施工误差、预留变形、超挖等因素，并保

证轮廓线的平直、圆顺合格，能够防止出现应力集中的问题。开挖后立即初喷混凝土，再完成超前小导管、初期支护、回填注浆管的施工。

2.5 初期支护

初期支护由格栅钢架、连接筋、钢筋网及C20喷射混凝土组成。钢格栅采用I20a工字钢、 $\phi 25$ 、 $\phi 14$ 制作，主筋为4根 $\phi 25$ ，连接方式采用 $\phi 14$ “8”字节均匀布置，格栅间采用钢板连接。

另外通道底部设置锁脚锚管与格栅钢架焊接固定，为结构提供竖向支撑，从而组合成为稳定的结构，避免初期支护钢架悬空，以此减少结构的整体沉降。锁脚锚管采用 $\Phi 42 \times 3.5$ 无缝钢管， $L=2.5\text{m}$ ，每榀设置12根。

2.6 回填注浆

初期支护完成后必须及时对顶部、边墙与底板进行回填注浆加固，减小地面沉降。回填注浆管顶部、边墙与底板长度均为0.8m，间距1.50m，梅花形布置。回填注浆采用0.5~1:1纯水泥浆，注浆压力0.4~0.8Mpa，按照注浆量与注浆压力进行双控。

2.7 二次衬砌

二衬衬砌施工前首先需拆除影响施工的钢格栅结构，其余临时结构、混凝土均保留。拆除工作也不可一次性完成，而是采用分段拆除分段施工原则，每次拆除长度为6m，在二衬衬砌混凝土强度达到一定强度后再进行下一段的拆除工作。

二衬衬砌采用钢筋骨架、组合钢模板、满堂脚手架组合支撑体系，泵送浇筑商品混凝土。浇筑混凝土过程中，通过提前预埋的钢管当做观察管，观察管同时兼做混凝土浇筑过程中的出气孔及回填注浆管，在观察管口有混凝土浆液溢出，可判断出顶部混凝土填充充实，从而停止混凝土浇筑。

混凝土浇注后凝固过程存在一定的体积收缩，混凝土达到设计强度后再通过顶板预留的观察管兼回填注浆管注入水泥砂浆进行回填注浆，保证二次衬砌的密实性。

3 施工难点及对策

本地下通道工程如何在施工期间保证安全至关重要，难点分析如下：

(1) 因客观原因无法选择受力合理的卵形截面而采用矩形截面，矩形顶部的结构形式和承载能力不如拱形结构，从而通道的施工技术要求明显高于常见的拱形通道。

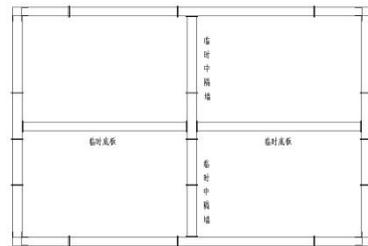
(2) 地下通道的结构覆跨比 H/D 小于0.6，属于超浅埋暗挖，通道上方覆土浅，土体稳定性低，对通道结构受力不利，施工难度增加。

(3) 通道开挖断面尺寸过大，且通道上部车流量

大，交通繁重，荷载较大，对通道超前加固、开挖、支护施工要求极高，尤其是初期支护过程如何控制地面沉降变成难题。

为解决上述技术难点，在一般的浅埋暗挖施工技术的“管超前、严注浆、短进尺、强支护、早封闭、勤量测、速反馈、控沉降”二十四字方针的基础上，结合本工程实际情况做出了技术改进，形成了大矩形断面超浅埋暗挖四导洞施工技术。

在“交叉中隔墙法(CRD工法)”基础上，总结了适合大矩形断面开挖的方法，即将大矩形断面分为四个相对独立的矩形导洞，每个导洞采用“上下台阶法”进行开挖支护作业，各自封闭成环，再通过“田”字的格栅钢架结合为整体，几乎承担通道施工关键期的全部荷载。



支护结构示意图



通道贯通现场实景图

4 关键施工技术

4.1 超前加固

超前加固采用超前大管棚和超前小导管进行注浆提前加固土层。

大管棚采用 $\Phi 159 \times 8$ 无缝钢管，直径大、刚度大，同时又是密排布置的，在钢管内部注浆液体固化强度达到要求后，大管棚两端支撑可以起到简支梁作用，由于这一结构的支撑作用，限制了围岩应力的释放，确保通道开挖引起的变形量在可控范围内。在通道开挖前，还需沿通道顶部、中隔墙、边墙周边打设 $\phi 42$ 、长2.0m的超前小导管并注浆预加固地层，进一步保证通道工作面的稳定性。

为控制超前加固质量，超前注浆液采用水泥、水玻璃双液。注浆过程中，严格控制注浆压力，最高压力值应严格控制在允许范围内，注浆过程稳压，防止出现结构变形、串浆的异常现象，并保证浆液的渗透范围，一般要求单管注浆能扩散到管周0.5~1.0m。超前注浆使得大管棚、小导管与周围的土体形成一个整体，极大地

增强了土层的自稳能力，并提高了大管棚的承载力。

4.2 马头门破除与加固

马头门即竖井与通道交叉处，是明挖与暗挖施工的结合部位，结构受力十分复杂，马头门施工时要在明挖竖井壁上破洞开挖出通道轮廓，割除该处钢架支护，由于破坏了整个竖井中的结构受力使洞口处出现应力重新分布，若处理不当容易发生坍塌事故。

为此，超前加固达到一定强度后，再进行马头门破除与加强处理，增加1榀钢格栅钢支撑，并排架立三榀钢格栅钢架对马头门进行加固处理。

4.3 通道开挖及支护要点

短开挖：缩短开挖进尺，减小通道开挖对土体扰动的范围，地表沉降出现异常时，往往与通道开挖进尺过大有直接关系。因此，左右、上下导洞间开挖时错开合理的间距。每个导洞的循环开挖进尺控制在0.5m，掌子面分块错位，控制各台阶每次开挖长度。

强支护：通道早期施工时的全部荷载基本由初期支护承担，因此初期支护的强度显得尤为关键与重要。初期支护由I20a工字钢组成格栅钢架，纵向通过钢筋、钢筋网片连接，并采用喷射混凝土填充密实。喷射混凝土厚度要合理，太厚不利于混凝土材料力学性能的发，应在混凝土接近无弯矩状态，支护结构性能较好。

早封闭：从通道开挖的时间效应上来讲，通道施工期间风险主要产生在掌子面开挖暴露的时间。由于覆盖土浅，开挖后如不及时封闭，极易发生围岩失稳而造成通道坍塌。因此，通道循环开挖到位后及时采用喷射混凝土封闭掌子面，同时，尽快完成初期支护成环受力工作，让初期支护形成封闭体系，形成完整的受力体系。

因此，通道施工必须严格控制每循环的开挖进尺，及时安装钢格栅钢架，尽早形成封闭支护体系，使土体在来不及产生过大的应力释放和变形的条件下及时完成初期支护，以此达到控制沉降的目的。

4.4 监控量测

施工过程的监控量测与反馈非常重要，需对地表下沉、拱顶下沉、周边收敛、钢格栅等稳定状态进行监测，为调整开挖、支护参数提供依据，是确保施工安全、指导施工程序、便于施工管理的重要手段。

顶部下沉及周边收敛量测。顶部下沉及周边收敛量测应在同一断面进行，采用相同的量测频率，如果位移出现异常现象，应加大量测频率。量测间距按照5.0m控制。

地表下沉、邻近建筑物沉降以及邻近地下市政管线变形监测。地表下沉量测在通道开挖轮廓线外进行，其测点的布置与周边收敛测量的测点在同一断面内，地表下沉量测在通道开挖前布点测量，直到初期支护结构封

闭，下沉基本停止时为止。

邻近建筑物沉降与变形以及邻近地下市政管线的变形监测在施工前进行原始记录测量，施工中加强观测邻近建筑及管线沉降、位移情况。

在监测过程中，若发现净空位移量过大或收敛速度无稳定趋势时，需采取补强措施：注浆加固土体、减少开挖进尺、加长加密锚杆等。

结语

随着我国城市地下空间的继续发展，必然还会遇到越来越多的超浅埋暗挖大矩形断面地下通道施工技术难题，考虑到目前城市超浅埋暗挖大断面矩形地下通道工程实例相对较少。因此，及时研究总结城市超浅埋暗挖大断面矩形地下通道的关键施工技术显得很有必要和意义重大，尤其是超浅埋暗挖技术难度非一般浅埋暗挖技术所能比拟，若施工控制不当，将导致地面塌陷、地下管线断裂，严重时甚至危及车辆和行人安全。

本文通过对传统CRD法施工技术进行优化和改进，总结出更适应在城市施工的大矩形断面超浅埋暗挖四导洞施工技术，有效地保证了施工的安全和质量，产生了良好的社会效益和经济效益。该项技术主要包含超前加固、大矩形分解为四导洞独立实施、通道开挖、初期支护、监控量测等一系列关键技术。

城市主干道大矩形断面超浅埋暗挖四导洞施工技术主要技术特点如下：

(1) 解决了由于平顶无法成拱，围岩自承能力很差的施工难题。

(2) 能够减少旧城区改造工程中地下管线的迁改工程量，避免了迁改施工而造成工期延长，也节省大量迁改费用。

(3) 满足了施工期间交通不间断通行的需求，通过关键技术措施，尤其是超前加固的作用，减小了通道上覆的土压力，稳定了围岩，从而避免了土体塌方，即便有一定程度沉降的产生，也不会发生灾难性事故。

(4) 施工期间地面沉降较小，对周边环境的影响小。

采用该技术在城市改造工程复杂管线环境中修建大矩形断面超浅埋暗挖高安全风险通道的实施具有广泛的推广应用前景，希望能够为同类型的工程施工提供一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 王梦恕. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 人民交通出版社. 2010-5
- [2] 王梦恕. 隧道工程浅埋暗挖法施工要点[J]. 隧道建设. 2006
- [3] 周顺华. 软弱地层浅埋暗挖施工中管棚法的棚架原理[J]. 岩石力学与工程学报. 2005