

八步 CRD 开挖法在城市地铁超高大断面隧道施工中的应用

王洪涛

中铁隆工程集团有限公司, 四川 成都 610045

摘 要 : 城市地铁超高大断面隧道八步 CRD 开挖法主要采用超前支护 (小导管 + 深孔注浆) 形式, 以锚、网喷支护为基础, 将超高大断面施工化成低小断面施工, 各个局部封闭成环的时间短、控制早期沉降的效果好、每个步序受力体系完整, 结构受力均匀、变形小。其最大优点是减小对周边构筑物的影响, 减小沉降, 同时避免了大量拆迁、改建工作。

关 键 词 : 八步 CRD 开挖法; 超高大断面隧道施工; 地铁; 隧道; 应用

Application of Eight-step CRD Excavation Method in The Construction of Ultra-High and Large Section Tunnel of Urban Subway

Wang Hongtao

China Railway Long Engineering Group Co., Ltd, Sichuan, Chengdu 610045

Abstract : Urban subway super large section tunnel eight-steps CRD excavation method mainly adopts advance support (small catheter + deep hole grouting) form, on the basis of the anchor and net spray support, ultra high large section construction into low section construction, each local closed ring time is short, the effect of control early settlement is good, each step sequence stress system complete, the structure force uniform, small deformation. The biggest advantage is to reduce the impact on the surrounding structures, reduce the settlement, and avoid a lot of demolition and reconstruction work.

Key words : eight-step CRD excavation method; ultra-high and large section tunnel construction; subway; tunnel; application

一、引言

随着城市地铁对使用功能需求的不断增加和建造技术的逐步成熟, 超高大隧道设计越来越被广泛采用, 比如双层或三层盖挖法地铁车站、活塞风道的通道等, 其工程特点是断面超大、高度超高, 埋深一般较浅, 地质围岩软弱, 对地表沉降要求高。此时, 采用 CD 法甚至六步 CRD 法施工, 仍不能保证围岩稳定隧道施工安全以及地表沉降要求。按照围岩稳定大化小的原则, 在六步 CRD 法的基础上, 变为八步 CRD 开挖, 确保隧道施工安全和地表沉降要求。

二、工程简介

(一) 地理位置

北京地铁 12 号线远大路站 2 号活塞风道 (以下简称 “风道”) 位于远大路与远大西路交叉口东南象限, 施工投射地面范围内交通十分繁忙, 周边用地主要为居住和商业, 均已实现规划, 北侧为远大路, 南侧为两层商业楼, 西侧为远大西路, 东侧为远大园 22 号院。

(二) 工程地质

风道拱顶位于圆砾卵石②5 地层, 结构主要穿越卵石⑤、粉质黏土⑥、细中砂⑥4、卵石⑦地层, 结构持力层位于卵石⑦地层。

(三) 设计概况

风道长度 30m, 结构开挖宽度均为 11.1m, 高度为 17.5m, 采用八步 CRD 法开挖, 设一道临时中隔壁, 三道临时仰拱, 分八个洞体开挖, 初支结构厚度为 0.35m, 临时仰拱及临时中隔壁厚度为 0.3m。两层钢筋混凝土结构。

三、八步 CRD 开挖法

(一) 工艺原理

八步 CRD 开挖法是将超高大断面隧道分块, 达到降低开挖跨度和开挖高度的效果, 进行分部开挖、分块成环、化大为小、步步封闭、环环相扣形成全断面初期支护封闭结构的施工方法。同时在施工中, 加强监控量测, 依靠量测数据进行支护施工。该工法的特点是安全性高、技术要求高但施工难度小、地层沉降量小, 适用于地质条件差、宽度大、安全要求高的城市超大隧道。

(二) 施工工艺流程

- (1) 马头门处采用深孔注浆或小导管注浆进行超前加固。
- (2) 马头门处超前加固完成后, 进行马头门破除, 施工风道。分为 8 洞室进行开挖和支护独立封闭成环 (设置临时仰拱), 顺序如图 1 所示。每个洞室采用台阶法预留核心土, 上下台阶拉开 3 ~ 5m, 顺序紧邻洞室间距为 10m。
- (3) 每个洞室土方开挖完成后及时架设钢格栅, 进行喷锚支

护。按要求搭设锁脚锚管并及时进行初期支护及背后注浆。

(4) 初支施工完成后待风道地表沉降、管线沉降、拱顶沉降、净空收敛等持续监测。

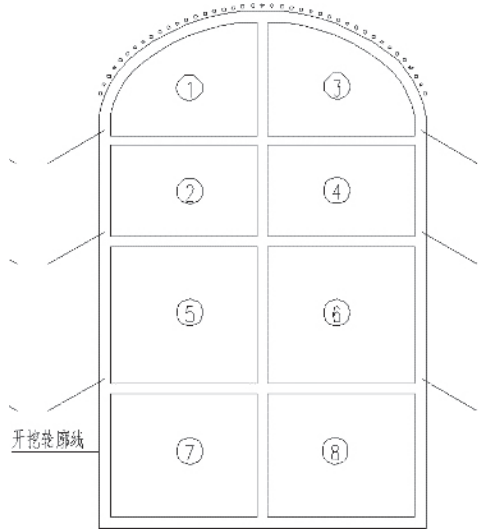
(5) 待监测数据稳定后，分段破除临时中隔壁进行换撑，剔除初支混凝土及格栅钢筋网，施作风道底板，每段破除长度不大于6m，施做防水保护层，施做防水进行底板钢筋绑扎，浇筑混凝土。

(6) 底板施工完成后进行侧墙及负二层顶板施工。搭设满堂红脚手架破除顶板范围内中隔壁混凝土，割除顶部中隔壁格栅钢筋，保留格栅钢筋不小于200mm锚入顶板内；4导洞直接破除临时仰拱，6导洞施工在第一层临时仰拱位置进行工字钢换撑，进行基面处理，防水施做，钢筋绑扎及混凝土浇筑。重复上述步骤施工负一层侧墙及拱顶混凝土结构。

（三）操作要点

1. 马头门加固

在竖井施作至马头门拱部时在井壁上方标出风道开挖外轮廓线的位置，并在拱部180°范围内施作双排DN25超前小导管，环向间距300mm、长度3.5m，小导管打设角度尽量与隧道中线保持平行，注水泥浆超前加固隧道拱部土体及洞口处地层。现场照片如图2。



>图1 风道开挖顺序图



>图2 马头门加固示意图

2. 马头门破除

(1) 风道1号洞室上台阶马头门施工

待风井开挖至1号洞室底板下1.5m后，临时封底，搭设脚手架至风道1号洞室处，沿风道拱部开挖轮廓线用风镐破除一条宽约0.6—0.8m的弧形凹槽，破除后割除原有格栅钢架，架立风道1号洞室上台阶首榀格栅钢架，通过L型连接筋将横通道初支钢筋与风道格栅钢架焊接牢固后挂钢筋网喷射混凝土封闭，封闭完成后进行上台阶周边土破除（预留核心土），上台阶进入隧道施工工序。

(2) 风道1号洞室下台阶马头门施工

风道1号洞室上台阶开挖3m后，临时封闭掌子面，开始破除风道1号洞室下台阶马头门，破除后割除原有格栅钢架，架立风道1号洞室下台阶首榀格栅钢架，通过L型连接筋将横通道初支钢筋与风道1号洞室格栅钢架焊接牢固后挂钢筋网喷射混凝土封闭，风道1号洞室隧道采用台阶法进行施工，上下台阶错开步距为3~5m。

(3) 风道1号洞室开挖完成10m后，继续开挖竖井，进行永久封底，再进行2号洞室马头门破除。2号洞室开挖完成10m后，进行风道3号、4号洞室马头门破除，同理进行5、6、7、8洞室马头门破除。

3. 土方开挖

风道开挖步序：

第一步：超前小导管预加固前方地层，采用台阶法预留核心土开挖1号洞室，循环开挖进尺0.5m，核心土预留尺寸根据每个洞室确定的开挖高度和格栅拱架架立所需操作空间确定，尽量保持较大尺寸；上下台阶掌子面拉开3~5m，按3.3.4要求及时展开初喷、格栅拱架架立、临时仰拱架立、挂设钢筋网及喷射混凝土等初期支护工作，要求打设锁脚锚管并及时进行初期支护背后注浆。1号导洞开挖现场照片见图3。

第二步：1号洞室超前大于10m时，继续开挖，按第一步所述开挖和支护3号洞室，如图4所示。

第三步：3号洞室超前大于10m时，继续开挖，按第一步所述开挖和支护2号洞室。

第四步：2号洞室超前大于10m时，继续开挖，按第一步所述



>图3 1号洞室开挖现场图

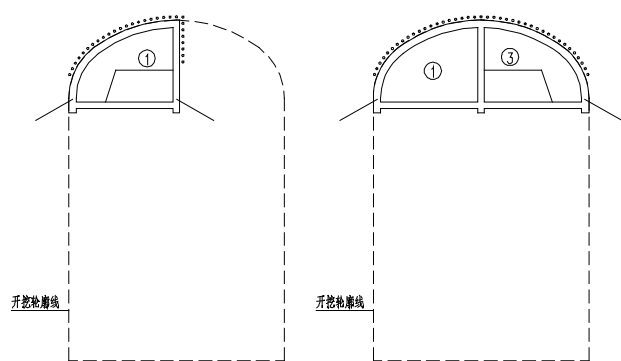
开挖和支护2号洞室，如图5所示。

第五至第八步：1号洞室开挖结束，且4号洞室超前大于5m后，2、3、4继续开挖，按第一步所述开挖和支护5号洞室。如此反复，按照5~8号洞室开挖支护顺序依次进行开挖和支护，5~8号洞室依次拉开5m，直至全部开挖结束，如图6所示。

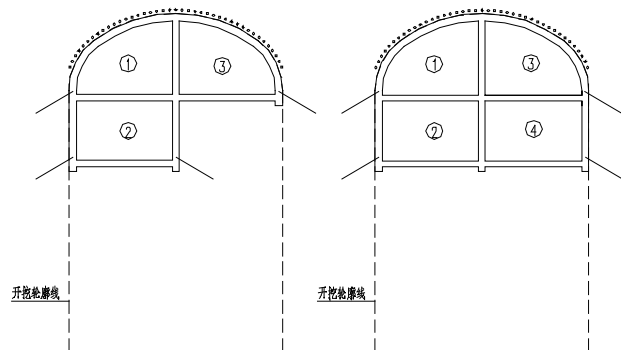
4. 初支施工

风道每个洞室每循环土方开挖完成净空检查合格后，开始架立钢格栅。架立时必须严格按照测量放线，先调标高后调中线。架立前应清除底脚下的虚碴及其它杂物，超挖部分用混凝土垫实，各节钢架间以螺栓连接拧紧。拱架架立完成之后，在每榀钢格栅拱架应立即打设2根锁脚锚管，锁脚管采用DN25×2.75钢管，长度2m，在拱脚以水平倾角30°向下台阶处每个节点打设2根，注浆浆液采用水泥浆，注浆压力0.3~0.5MPa。1号洞室格栅拱架安装见图7。

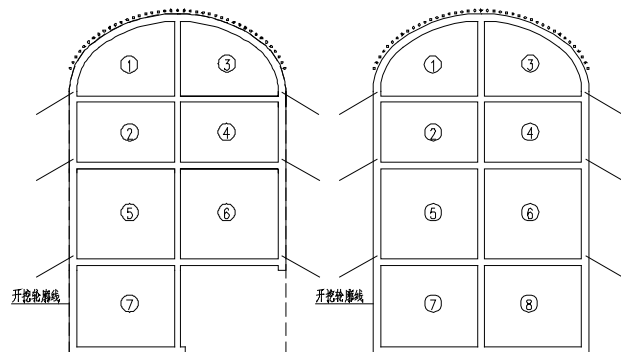
格栅拱架安装完成后焊接连接筋、挂网。格栅之间设Φ22纵



>图4 风道开挖示意图（第一、二步）



>图5 风道开挖示意图（第三、四步）



>图6 风道开挖示意图（第五至八步）



>图7 1号洞室格栅拱架安装现场图

向连接筋，环向间距1.0m，双层布置，并与已施作的连接筋焊接牢固，

搭接长度10d，确保拱架形成整体受力。钢筋网片采用HPB300Φ6钢筋、间距150×150mm，内外双层布设，钢筋网片搭接一个网格。

临时仰拱采用I22型钢，两端与格栅拱架底脚用钢板和螺栓连接，同步设置钢筋网片和连接筋等。钢格栅和临时仰拱经检查合格后及时喷射混凝土，完成后必须及时修整，表面应平整顺直、内实外光。

5. 监控量测

监控量测是保证隧道施工安全和地表沉降控制的重要工作，要将监控量测纳入施工工序管理。风道施工过程中，要对地表沉降、地下管线沉降、初支拱顶沉降、初支侧壁收敛等纳入监测范围，按要求频率开展监测，并将结果控制在规范内。待测量数据稳定后，可以施作风道二衬结构。

6. 中隔壁及临时仰拱拆除

二衬施作前，需要根据二衬结构区段划分分段拆除初支的中隔壁和临时仰拱。

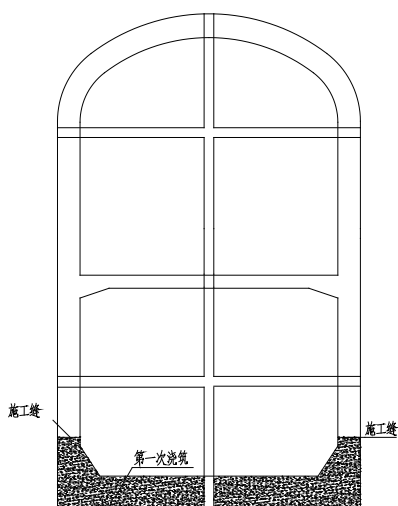
（1）施作风道底板。分段破除风道初支结构7号和8号洞室之间临时中隔壁混凝土，每次纵向破除长度6m。剔除初支混凝土及钢筋网，保留中隔壁格栅钢筋不小于200mm长在底板二衬内，施作底板防水层，浇筑底板二衬，预留边墙钢筋、防水板接头，绑扎钢筋浇筑底板混凝土。浇筑位置如图8所示。

（2）施作风道负二层侧墙及中板（底板混凝土达到设计强度后）。

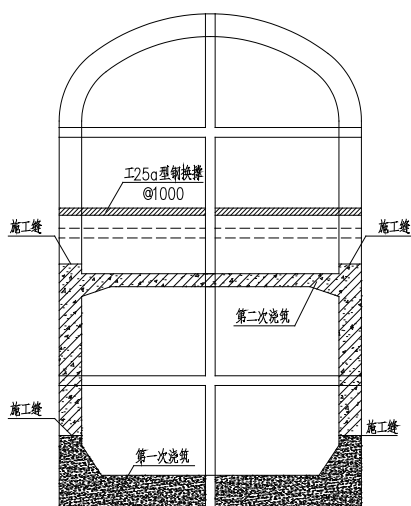
①破除施工前，先在第二道临时仰拱上0.8m处架设工22a的型钢进行换撑，纵向间隔1米布置，如图9所示。

②换撑施工完成后，破除第二道、第三道临时仰拱，每次纵向破除长度6m。先凿除初支混凝土，再割除钢筋，破除过程中加强监测，并做好试验段（“隔一拆一观察再全拆”法）。

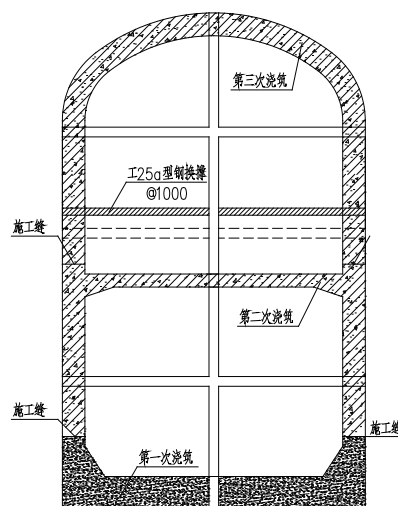
③分段破除风道初支结构⑤⑥洞室之间临时中隔壁混凝土，破除临时中隔壁时仅凿除混凝土，每次纵向破除长度6m，钢筋不应截断，中板钢筋绑扎时绕过临时中隔壁主筋。



>图8 底板浇筑位置图



>图9 负二层侧墙及中板浇筑位置图



>图10 负一层侧墙顶板浇筑位置图

④绑扎负二层侧墙及中板钢筋并浇筑混凝土。

(3) 施工风道负一层侧墙及顶板(负二层侧墙及中板混凝土达到设计强度后)。

①分段破除风道初支结构①③洞室之间顶板范围内临时中隔壁混凝土,割除中隔壁格栅钢筋,每次纵向割除长度6m,保留格栅钢筋不小于200mm 锚入顶板内。

②破除风道第一层临时仰拱,先凿除初支混凝土,再割除钢筋,每次纵向割除长度6m,破除过程中加强监测,并做好试验段(同前述),如图10所示;

③绑扎负一层侧墙及顶板钢筋并浇筑混凝土。

中隔壁拆除、临时仰拱拆除见图11、12



>图11 中隔壁拆除现场图

四、工程应用

八步CRD开挖法于2020年3月开始在北京地铁12号线远大路站2号活塞风道运用,至今工程已经施工结束。施工过程中累计沉降8mm,地表建构筑物及管线无开裂及损坏现象,解决大断面隧道开挖对周边地表、建构筑物及管线的沉降量,保证了隧道施工安全。

五、结语

八步CRD开挖法加快了地铁12号线远大路站的建设安全和建设进程,建设过程受到北京市质量监督机构、业主、设计院、监理单位的高度评价及广泛赞誉,同时为北京及其他城市地铁大断面城市隧道工程施工提供了参考和借鉴。



>图12 临时仰拱拆除现场图

参考文献:

- [1] 赵忠孝, 惠冰, 苏会锋, 唐志刚, 田道国, 张鹏飞. 浅埋小净距偏压隧道CRD法施工技术[J]. 山东交通科技, 2022(6): 46-49.
- [2] 张晓丽, 王梦恕, 张顶立. 减小浅埋暗挖法施工对建构筑物影响的措施[J]. 中国安全科学报, 2005, 15(11): 69-72
- [3] 祝洁洁. CRD法施工技术在大断面深竖井支护中的应用[J]. 建筑技术, 2020, 51(7): 862-863.
- [4] 杨子奇, 葛克水, 李皓. 北京地区浅埋隧道开挖引起地表沉降的研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(S1): 225-231
- [5] 李天华, 白文英, 孟效成. 浅埋暗挖法施工对临近管线影响的简化预测方法[J]. 中国市政工程, 2019(2): 76-79