

地铁隧道盾构管片破损掉块现象的多因素成因及针对性治理

● 李 坤



[摘要] 在城市轨道交通蓬勃发展的当下,地铁隧道盾构施工日益增多,管片破损掉块问题凸显,亟待深入探究与解决。本文深入探讨了地铁隧道盾构管片破损掉块现象,详细分析了地质条件、施工工艺、管片质量及外部荷载等多方面成因,并提出针对性措施,旨在为地铁隧道运营维护提供有效技术参考,保障隧道结构安全稳定,减少管片破损掉块带来的安全隐患与经济损失。

[关键词] 地铁隧道;盾构管片;破损掉块;成因分析;治理措施

在城市地铁建设飞速发展的背景下,盾构法施工以其效率高,安全性好而得到广泛运用。但是盾构管片破损掉块事故频繁发生,不仅会影响隧道结构耐久性与稳定性,而且会诱发渗漏水等系列问题,危及地铁运营安全。因此,对其产生原因进行深入研究,提出行之有效的措施是非常有实际意义的。

地铁隧道盾构管片破损掉块现象的多因素成因

(一)地质条件因素

不同地质构造及地层特性会对盾构管片产生迥异的力学环境及潜在风险。硬岩地层岩石强度高、硬度大,给盾构机掘进带来了极大的挑战。盾构机需要施加很大的推力和扭矩来克服岩石阻力,从而使刀盘在切削岩石过程中产生剧烈的振动。该振动经盾构机机械结构会传递到已经拼装好的管片。当管片处于高频振动状态时,其内部混凝土结构和钢筋间的粘结力会被减弱并逐渐产生细小裂缝。在掘进作业连续进行过程中,裂缝也在不断地扩展和延伸,最后造成管片断裂和掉块。以花岗岩地层为例,单轴抗压强度可超过 100MPa,盾构机掘进过程中的强烈震动容易导致管片结构损坏。

(二)施工工艺因素

施工工艺是盾构管片受力情况的直接影响因素,其合理性及精准性对于管片受力情况及长期稳定性起着决定作用。盾构机掘进参数设置直接关系着管片受到荷载的大小和变化规律。掘进速度过快是经常遇到的问题,这时盾构机刀盘对土的切削频率大大增加,土来不及完全反应且不能调整应

力状态进而对管片产生很大瞬时压力。同时掘进速度过快常常会造成同步注浆量难以达到要求,使得管片后间隙得不到及时充填,地层沉降增大。管片受到不均匀沉降引起的附加应力影响,易发生断裂。以砂质土层为例,若掘进速度超过合理区间,就会在短期内诱发大幅度地面沉降,管片也会跟着开裂乃至碎裂。

盾构机推力控制不到位,可能对管片造成严重伤害。推力过大时,管片在轴向上受到过高压力,有可能超过混凝土抗压强度及钢筋承载能力而导致管片压溃或钢筋发生屈服变形。推力方向不合理,如水平或者垂直偏差大,都将导致管片在侧向或倾斜方向上产生分力而触发管片位移、倾斜变形,因而在管片的薄弱处出现裂缝,逐渐破损。刀盘转速与扭矩设定也是重点,不同层位需准确配合。在硬岩地层中,如果刀盘的转速过低或扭矩不够,刀具难以切削,刀盘就会发生剧烈振动,传递到管片上,造成管片的疲劳损伤;但在软土地层中,过高的刀盘转速会过多地扰动土体,导致土体稳定性下降,给管片带来较大的侧向压力及不均匀荷载。

(三)运营阶段因素

地铁隧道运营阶段,造成盾构管片断裂和掉块的因素众多。一是地铁列车震动传导的原因。地铁列车高速运行时会发生连续而有规律的震动。该震动经轨道传到隧道管片结构。管片在频繁的振动作用下,其内部的应力分布不断发生变化,容易导致材料疲劳。特别是管片连接点处,本来紧密配合的螺栓连接由于受到震动可能会逐渐松脱,使管片间的整体性遭到破坏,进而诱发管片局部开裂,随着时间

继续发展最后造成破损掉块。

二是地下水环境变化。运营过程中,地铁隧道附近地下水文条件会由于很多因素而发生变化,如附近工程施工造成地下水位的波动,地质灾害造成地下水渗流路径的改变等。管片在长期干湿交替的环境下,或受地下水冲刷作用,混凝土内部化学成分逐渐溶蚀,强度及耐久性大幅度降低。与此同时,地下水压力作用还会挤压管片。当管片上已存在细微裂缝或者薄弱处时,该压力就有可能推动裂缝继续延伸,从而加快管片破损。

三是隧道在运行过程中温度的变化。地铁隧道内部受列车运行和设备散热的影响,温度存在不同程度的波动。尤其当夏季高温和冬季低温季节交替时,管片将发生较大温度变化。这种热胀冷缩效应将在管片内形成温度应力,温度应力大于管片材料抗拉或抗压极限时就会导致管片开裂,进而导致其破损掉块。并且,部分通风不畅的隧道区间内温度变化较为急剧,管片损坏风险随之增大。另外,管片长期荷载累积效应随运营年限增长而逐渐明显,某些细微破坏在连续荷载作用下会继续劣化,最终造成运营阶段管片破损掉块,危及地铁隧道运营安全。

Q 地铁隧道盾构管片破损掉块现象的针对性治理

(一)地质条件的对策

在不同地质条件下,科学合理地采取应对措施对确保盾构管片的稳定性具有重要意义。硬岩地层条件下首要任务就是对盾构机刀具配置及掘进参数进行优化。可以选择具有高耐磨性和出色切削性能的刀具组合。例如结合盘形滚刀和撕裂刀,根据岩石的硬度、强度和节理特性,合理调整刀盘的转速、推力和掘进速度。结合现场试验与数值模拟确定了最优掘进参数组合,以减少刀盘在切削岩石过程中引起的振动幅度及对管片的影响。例如,在花岗岩地层中开挖,可以适当减缓开挖速度、增大刀盘转速、使用较低的推力等措施,使得刀具能更加顺利地切割岩石,以缓解管片振动破坏。

运营阶段应重点强化管片结构维护,控制振动和环境因素。管片的养护方式很多,如裂缝修补、表面防护等。管片开裂后,可以使用环氧树脂灌浆料进行修复,恢复管片整体性和强度,以有效阻止裂缝的继续扩大。同时做好表面防护处理,如喷涂防腐涂层或者防护砂浆以提高管片抗外界侵蚀能力,以免长期风化和化学侵蚀造成管片材质老化。考虑到列车振动的作用,可以在管片和道床间设置弹性减震垫以有效吸收列车运行时引起的震动能量并降低震动带来的管片结构疲劳损伤,减少其内部应力变化和潜在破坏的风险。针对环境温度和湿度的变化情况,可设置智能温湿度调节系统对隧道内部环境参数进行实时监控和调整,降低管

片由温度和湿度波动而引起的热胀冷缩应力。在优化隧道通风设计的前提下,可以保证空气流通顺畅,避免管片因局部温度和湿度不正常而损坏,并有效控制运营环境给管片结构稳定性带来的不利影响。

(二)施工工艺的改进措施

施工工艺的完善对防止盾构管片破损掉块具有重要意义,需多方面进行精细化管理与优化。一是科学合理地设置盾构机掘进参数,这就需要考虑地质条件、管片设计参数、盾构机的性能等诸多因素。开挖之前,可根据详细的地质勘察报告及现场试验,确定不同层段合理开挖速度区间、推力限制值及刀盘转速与扭矩最优匹配值。如通过黏土层后,可根据黏土层塑性指数和含水量等参数设置一个比较小的掘进速度来减少对土的干扰;同时基于管片抗压强度与盾构机推进力曲线来确定安全推力范围,以避免管片受压过大。在掘进过程中,还可利用先进的传感器技术,实时监测盾构机的各项参数和管片的受力状态,并根据监测结果及时调整掘进参数,确保管片始终处于安全受力范围内。

二是严格规范隧道结构病害的检测流程。建立完整的病害检测操作规范和数据评估标准,并加强对检测人员的培训和评估。在探测范围内,可严格遵守有关规范要求,保证隧道管片各部分的准确检查。例如,在裂缝的检测过程中,应当使用高精度的无损检测设备,如超声波探伤仪和激光扫描仪等,以对管片的表面和内部进行精细扫描。对于病害数据的整理和分析,要使用专业数据分析软件对其进行整理,这可以清晰展现和精确评价病害的严重程度和发展趋势。同时在检查过程中要确保数据真实可靠,对各种病害信息进行真实记录,并采取双人复核的机制来保证数据的准确性,以此为后续治理提供可靠的依据,从而对隧道结构病害情况有一个全面准确的把握,增强病害处理的针对性和效果。

(三)注重管片维护

地铁隧道后期运营时,重视管片养护对防治盾构管片破损掉块具有重要意义。一是制订定期巡检制度,为管片维护工作提供依据。专业维护团队要按固定周期对隧道内部管片做全面详细检查。检查包括管片外观完整,有无新裂缝、剥落和掉块。对检测出的微小裂缝应及时标记,记录裂缝的位置、长度及宽度。利用尖端的无损检测手段,如超声波探测和红外线热成像技术,可以对管片的内部构造进行深入探查,其目的是确认是否有潜在的更大损伤或更多瑕疵存在。通过发射与接收超声波信号进行分析,可以判断管片内混凝土的密实程度、钢筋锈蚀程度及有无分层。

二是重视管片清洗。隧道中的灰尘、油污等污染物都会吸附到管片上,既影响美观又会加快腐蚀破坏管片。定期用高压隧道清洗车清洗,可以有效去除上面的污染物,使

管片表面洁净干燥。同时,清洗时可对管片表面涂层状况做进一步检查,如发现涂层脱落或严重磨损,要及时修复或重涂。如某些沿海城市地铁隧道,因空气含盐量大,管片表面涂层易被腐蚀,需经常检查维修才能保障涂层的保护效果。

三是开展及时且专业的管片修复工作。巡检中发现管片有破损和掉块后,要针对破损程度及种类来采取相应的修补措施。对细小裂缝可通过环氧树脂灌浆修补,先对裂缝进行清洗,再灌注环氧树脂浆液使之渗入裂缝内,最后,待浆液凝固后可对裂缝进行有效充填,并恢复管片整体性及强度。对大面积破损掉块需使用混凝土修补材料。首先凿开破损处,待清洗干净后,装上模板,浇注出与原管片同等或较高强度级别的混凝土,并认真维护,以保证修复处混凝土的强度及质量。修复全过程应严格执行有关施工规范及标准,确保修复效果的可靠耐久。

(四)应对荷载问题

地铁隧道运营过程中,各种荷载问题的合理处理是避免盾构管片断裂和掉块现象发生的关键环节。

列车运行荷载是地铁隧道管片主要受到的动荷载。在地铁客流量越来越大、列车运行间隔越来越密集的情况下,列车运行荷载对管片产生的作用越来越明显。针对这一荷载问题,一方面应加强轨道的养护与维修,定期对轨道平整度及轨距进行检测,对轨道变形及破坏情况进行及时维修,保证列车运行顺畅,降低轨道不平顺引起附加冲击力向管片传递。如利用先进的轨道检测车定期进行轨道检测,这可以迅速、准确地检测出轨道上存在的病害,以便及时开展维修作业等。另一方面,在管片和轨道间安装弹性减震装置。例如,设置橡胶减震垫和弹簧减震器,这类减震装置能有效吸收并缓冲列车运行过程中的震动及冲击力,减少管片受到的动荷载峰值。根据实地监测的数据,安装弹性减震设备之后,管片经受的动态应力荷载可以减少20%~30%。

除列车运行荷载之外,隧道周边土体中压力变化也是重要荷载因素。运营期间,如果在隧道保护区附近有工程施工导致地下水位变化,隧道周边土体应力状态也有可能发生变化,进而引起管片侧向压力的增减。针对这一现状,有

必要构建一套完整的土体监测系统。将土体压力传感器,孔隙水压力传感器及其他监测仪器布设于隧道周边土体内,能够对土体压力及地下水位变化进行实时监测。当监测土体压力出现异常变化后,需要及时采取相应措施加以治理。例如,若发现土体侧向压力加大,有挤压破坏管片的可能,则可以通过土体加固,如注浆加固和锚杆支护来加强土体强度及稳定性以降低管片所受压力。同时对地下水位变化应及时采取降水或止水措施来防止水压力改变而造成管片不均匀受力。某地铁隧道运营期间,附近基坑开挖引起土体侧向压力升高,经及时注浆对土体进行加固处理,成功避免管片因受压过大而破损掉块。

Q 结束语

地铁隧道盾构管片出现破损掉块,是诸多因素综合影响的结果。通过深入分析地质条件、施工工艺、管片质量及外部荷载,并采取相关针对性的处理措施,能有效降低管片破损掉块现象,确保地铁隧道结构安全与运营安全。在今后地铁的施工及运营期间,需要不断总结经验教训,并对相关的技术及管理措施进行不断改进,从而满足日益发展的城市地铁需要。

图 参考文献

- [1]刘德亮.地铁隧道盾构施工的沉降监测研究[J].居舍,2022(21):94-97.
- [2]龚文棋.城市轨道交通隧道盾构施工关键技术研究[J].运输经理世界,2022(17):7-10.
- [3]臧马立.地铁隧道盾构掘进施工关键技术[J].四川水泥,2022(06):236-238.
- [4]李颜.地铁区间隧道盾构施工对地层变形及地表沉降的影响研究[D].淮南:安徽理工大学,2022.
- [5]周高峰,朱东峰,姜怀祖.双线地铁盾构隧道下穿既有河道施工对地层变形的影响分析[J].四川建筑,2020,40(04):115-118.

作者简介:

李坤(1985—),男,汉族,山东菏泽人,本科,工程师,大连地铁运营有限公司,研究方向:城市运营地铁轨道、隧道专业技术。