

大断面浅埋富水黄土隧道快速施工技术研究

郝建硕

中铁十二局集团第二工程有限公司

摘要：大断面浅埋富水黄土隧道在实际施工作业期间围岩渗水量过高现象时有发生，具有较为显著的流塑性，进而让坍塌掉块以及围岩变形等问题发生的可能性急剧上升。为有效保证并适时强化大断面浅埋富水黄土隧道施工质量和整体稳定性和安全性，实现对浅埋大断面富水黄土隧道变形问题发生的可能性进行有效控制，基于此，本文就浅埋黄土隧道的特点以及大断面浅埋富水黄土隧道施工控制措施进行必要分析，同时结合相关实例，针对基于三台阶四步开挖施工技术的具体作业开展深入探讨，以供参考。

关键词：大断面浅埋富水黄土隧道；三台阶四步开挖法；隧道施工控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.22.019

引言

在可持续发展理念的全面落实与深入推广的影响和带动下，黄土铁路隧道工程规模以及数量日益提升。黄土作为一种不良地质体，其中整体的稳定性和密实度较为薄弱，整体结构较为疏松且具有较为显著的垂直节理发育特点。除此之外，其整体强度与水具有紧密联系，在水的作用下其整体强度将急剧下降，会对其工程性质造成严重影响和干扰，进而让大规模变形以及塌方等问题发生的可能性急剧上升，由此可见，针对大断面浅埋富水黄土隧道施工控制措施以及有关的三台阶四步开挖施工技术开展深入探究十分必要。

一、浅埋黄土隧道特点

浅埋地层土体中节理构成的软弱面极易对地表结构造成影响和干扰，致使裂缝问题发生的可能性急剧上升，在开展隧道开挖作业期间，围岩松弛范围扩大，致使地表环向及纵向的裂缝难以得到有效控制，且地表纵向裂缝的发展具有一定时空规律，在开挖过程中，地表裂缝具有缓—急—缓的时间不均匀性，随着埋深的减小，纵向裂缝的发展速度越快。

二、大断面浅埋富水黄土隧道施工控制措施

（一）隧道支护结构

在开展正式隧道开挖作业前应进一步提升对预支护结构构建工作的关注力度和重视程度，有效保证预支护结构施工成效和质量，并在完成开挖作业后立即构建初期支护予以辅助和支撑，加快封闭成环进程^[1]。除此之外，在实际施工作业期间，唯有有效保证上一台阶喷射混凝土整体强度达到70%以上后方可进行后续台阶开挖工作，并针对安全距离进行科学设定和全面管控，以加

快封闭成环工作进程。另外，在实际作业中也需格外注意的是，仰拱位置与掌子面二者间的距离应严格控制在35米范围内，而二衬与掌子面间距应有效维持在70米以内。

其一，就导管超前支护系统来说，可针对掌子面前部区域合理增设规格为 $\phi 42$ 毫米且整体长度为5米的双层超前小导管，其中需要格外注意的是，环向间距应严格控制控制在0.3米，并结合作业需求和相关标准可将外插脚科学设定为 15° 以及 40° ，同时借助交错形式进行布置，除此之外，以3米为单元沿纵向进行设置，并且纵向搭接距离应严格控制控制在1米以内。

其二，就初期支护系统来说，初期支护主要以锚网喷与钢拱架相结合的形式，在开展隧道开挖作业过程中，首先针对围岩断层合理借助并规范喷射5公分厚C25混凝土，以此让该区域整体稳定性和强度得到适时强化；然后施工边墙 $\phi 22$ 毫米药包锚杆、钢拱架以及双层A8钢筋网。其中需要格外注意的是，锚杆长度应结合施工状况和作业需求合理设定为5米，环纵向间距应严格控制控制在1.2米 \times 1米，锚杆尾端可合理借助钢板垫且其规格为150mm \times 150mm \times 6mm，钢筋网格间距应有效维持在20cm \times 20cm。

钢拱架整体以I 25a型钢作为依据和主体，并针对环形拱采用分段拼装施工形式，将整体合理划分成3部分并形成4个对称拱脚，以此让隧道顶部出现薄弱面问题的可能性得到极大降低。与此同时，钢架与锚杆头以焊接的形式进行有效衔接，并针对钢架基脚位置合理增设I 32槽钢板予以配合，以此让基底整体承载能力以及承载面积得到适时强化，其中需要格外注意的是，在开展实际安装工作前，应针对各节钢架底脚存在的杂物等进行全面清除，以此让拱脚着力面积得到进一步扩展。

其三，就仰拱及二次衬砌施工来说，仰拱作业可积极借助并规范应用C35钢筋混凝土进行现浇作业，其厚度需控制在70公分，可与开挖工作面一同施工并与拱墙形成闭环。而二次衬砌作业的开展，则以60公分厚C35钢筋混凝土作为雏形和支撑，以模筑形式实现，同时以围岩变形监测具体情况以及相关数据作为依据和参考，滞后仰拱近24米的位置进行施工作业。另外，在开展二衬回填注浆作业过程中，可合理借助纵向预贴注浆管道技术进行，完成二衬施工并间隔2h后方可进行注浆作业，其中需要格外注意的是，注浆作业压力应严格控制控制在0.2MPa以下，以实现拱顶空洞裂缝进行有效控制。

（二）隧道防排水措施

1. 隧道施工前准备工作

在开展正式施工作业前，需针对隧道外侧浅埋段上方位置，以“疏、堵、排”理念和原则作为依据和参考开展隧道地表防排水工作^[2]。首先，针对隧道施工影响范围内存在的地表裂缝、坑穴以及水井等进行详细了解和全面掌握，并结合具体状况和作业需求科学借助三七灰土进行回填，并凭借对水泥浆灌浆封闭以及回填反压等手段的合理利用和规范操作以实现地表水下渗通道进行有效封堵。其次，增设地表降水井，利用抽排水方式，以实现隧道施工范围内的洞内承压水进行合理清除。

2. 隧道开挖阶段

在开展隧道上台阶开挖作业过程中，可针对所预留的核心土合理增设纵横向排水沟予以辅助和配合，以实现掌子面存在的渗水以及拱脚区域存在的积水等，于隧道中部集水坑进行集中化管理并得到有效排除，有效保证洞内排水的稳定性和持续性，从而为拱脚结构强度以及完整性和可靠性提供必要支持和有力保障。在实际工作中需要格外注意的是，以隧道方向作为参考，以50米作为单元进行科学设计，同时加之相关可行且有效的防渗漏措施予以辅助和支撑。

(三) 隧道二次衬砌阶段

在开展隧道二次衬砌施工作业前，应结合工程状况以及施工需求合理增设横向和纵向渗水盲管，同时以初期支护断面作为依据和雏形，科学铺设一层防水板和土工布，将隧道渗水集中引排至隧道边沟和中心水沟，除此之外，针对施工缝部分来说，可积极借助并规范应用专用止水带和遇水膨胀防水材料进行优化处理，并以模注形式作为支撑开展二衬施工作业，以此为隧道顶部整体密实度、稳定性以及安全性提供强有力保障。

三、实例分析

(一) 工程概况

本文就以某隧道建设项目为例，该工程作为某铁路重点控制性工程，并位于第四系中更新统坡洪积层老黄土层中整体围岩性能和具体状况能够充分满足V级规范要求 and 标准。洞顶覆盖层控制在55米—67米范围内，且整体高程可维持在1055米—1380米，该隧道工程黄土段落整体长度1720米。在实际施工作业期间，针对黄土段落范围区域以三台阶四步开挖施工技术完成施工建设工作。本隧道初期支护结构为35公分的C25喷混凝土，同时合理借助并规范应用 $\phi 89$ 中管棚提供超前预支护，I 25a型钢钢架全环支护，各钢架彼此间的距离应严格控制控制在60公分左右。

(二) 地表降水措施

DK210+640~DK212+360地表降水采用管井降水，双外排交错布置，降水井距离结构外侧边线5m，降水井伸入结构底以下含水层厚+2m ($\geq 5m$)，降水井单侧纵向井

间距为20m，左右侧交错布置。降水井井径 $\Phi 705mm$ ，通长下入内径300mm，壁厚5cm的水泥砾石滤水管，滤水管外包2层300g/m 无纺布，滤水管底部设置沉砂段1m。设置滤水管段井管与孔壁回填3~7mm砂卵石进行过滤，临近地面3m范围内回填粘土回填夯实，以隔绝上层滞水流入井内。

(三) 基于三台阶四步开挖施工技术的具体作业

1. 施工准备

其一，对3个台阶的开挖高度进行科学设定和进一步明确。上台阶开挖高度应严格控制在隧道开挖跨度的0.3倍左右，而中、下台阶的开挖高度应有效维持在隧道中开挖高度（未将仰拱高度算在其中）减去上台阶开挖高度的1/2。针对本工程现场实际状况以及具体作业需求展开深入分析和全面考量，最终将上台阶高度设定为3.99米，中台阶高度有效维持在3.20米，而下台阶高度确定为3.36米。

其二，结合实际状况和作业需求对各台阶开挖长度进行合理设计和适时调整。在开展隧道开挖作业期间存在的不稳定因素具有一定多样性和多元性，例如上、中、下断面以及仰拱长度以及台阶高度等参数的设定均与隧道施工的安全性、稳定性以及施工质量具有紧密联系。结合实际工作状态来看，横断面上断面闭合围岩整体结构具有一定稳定性和牢固性，但是以纵断面角度为出发点来看，隧道闭合需要上、中、下断面支护以及仰拱支护等作业得以高质量完成方能实现，具体情况如图1所示。所以，在实际工作中在针对开挖横断面的稳定性和牢固性进行判断和评估的同时，也应从整体角度出发针对开挖后的纵断面的稳定性和可靠性进行全面分析和深入考量，换言之，在开展具体开挖作业期间，也应进一步提升对隧道开挖纵断面结构形式探究工作的关注力度和重视程度。

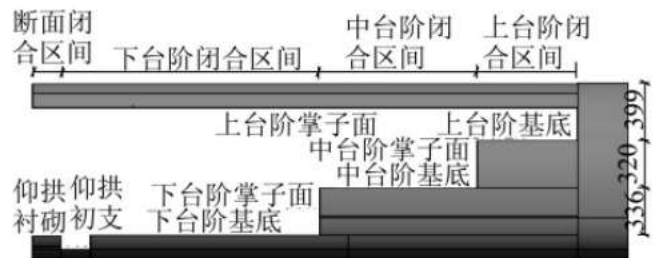


图1 开挖纵断面 (单位: cm)

以沉降观测数据作为依据和参考可以得出，上台阶开挖完成后稳定期约为2天，而中、下台阶完成开挖作业后的稳定期维持在3天左右。充分结合日进尺量，最终将各层上、中、下台阶的长度设定为6米、11米、18米。

2. 第一步、第二步开挖施工

其一，在开展隧道挖掘作业期间，采取上、中、

下3层台阶同时开展开挖作业的施工形式，其中中、下台阶同时采取交错作业形式。具体来说，在实际作业过程中，上台开挖2榀钢架（作业尺寸控制在 2×0.6 米），针对中台阶右侧开挖3榀钢架（作业尺寸控制在 3×0.6 米），下台阶左侧开挖3榀钢架（开挖规格控制在 3×0.6 米）。然后以上述作业流程和施工参数作为依据和参考，开展下一循环作业。

其二，上台阶扒渣。在高效、高质完成钻爆作业后，需将上台阶存在的残渣等杂物归置于中、下层台阶，并以此构建缓坡，以此为装载机将预制钢拱架以及钢筋原片等材料运输至上层台阶提供有力支持和极大便利。在凭借对挖掘机的合理选取和规范操作完成上台阶工作面清洁工作后，方可继续开展后期作业。

其三，就上台阶支护安装工作来说，在完成扒渣作业后可结合实际作业需求和施工状况，针对上台阶合理增设并科学安装初期支护，期间借助挖掘机和装载机分别开展中台阶和下台阶出渣作业，以此实现上、中、下共同开展各自工作。

在完成上台阶初期支护安装工作后，需将其与风管水管进行有效衔接，并开展系统锚杆、锁脚锚管以及超前小导管施工。在高质、高效完成中、下层台阶出渣作业后，相关作业人员可按照“先中层后下层”的顺序开展中、下层立架工作。

其四，上层台阶喷锚。上层台阶作业期间，在保证超前小导管、系统锚杆以及锁脚锚管等支护工作成效和作业质量的基础上，凭借对喷锚机械手的合理利用和规范操作开展上层台阶喷锚作业。与此同时，中层台阶支架支护作业已完成，则要求上层台阶相关工作人员按照施工设计和作业流程开展中层台阶系统锚杆以及锁脚锚杆施工作业，而中层的立架工人则投入到下台阶立架工作中，以此种作业流程和施工形式作为依据和参考完成整体喷锚作业。期间需要格外注意的内容如下。

首先，就超前支护方面来说，针对拱部以及边墙区域合理增设长度控制在2.5米、 $\phi 42\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 、以无缝钢管作为核心和主体的注浆小导管，各导管彼此间的距离应严格控制在0.4米，同时外插脚有效维持在 $1^\circ \sim 5^\circ$ ，搭接长度科学设定为1.7米。与此同时，合理借助1:1水泥浆进行压注作业，其中注浆压力应严格控制在1.0~1.8MPa范围内。

其次，就初期支护作业来说，在实际工作中以I 25a型钢作为依据和支撑，采取分段作业开展全环钢架制作，加之间距为0.6米，其长度L严格控制在1.3米， ϕ 设定为25mm的螺纹钢筋予以辅助和配合，实现与钢筋进行有机结合，二者间距离合理保持在1米，且整体采取交叉形式进行布置。以分段作业形式作为支撑和依据制成的拱以及墙钢架，应有效保证二者间的一致性

和契合度，并确保二者衔接的稳定性、牢固性和整体强度，同时进一步提升对纵向连接钢筋焊接工作的关注力度和重视程度，以此为初支成环打下坚实基础。除此之外，在开展拱、墙区域作业过程中，可积极选用 $\phi 8\text{mm}$ 的钢筋进行作业，并将各钢筋彼此间的距离严格控制在 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 。

另外，就系统锚杆方面来说，拱环节可以4m、 $\phi 22\text{m}$ 的组合中空锚杆作为支撑，边墙采用长4m、 $\phi 22\text{mm}$ 药包锚杆，并将其间距严格控制在 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ （环 \times 纵），压注1:1水泥浆，注浆压力应有效维持在1.0~1.8MPa范围内。全环喷射厚度为28cm的C25混凝土。与此同时，结合实际状况和作业需求针对每个钢架接头位置合理增设2根长6.0m、 $\phi 50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的注浆锁脚锚管，锁脚锚管必须及时打设，立即压注1:1水泥浆，注浆压力应严格控制在1.0~1.8MPa，并有效保障其与钢架焊接的稳定性、牢固性以及作业质量，必要时可适当加焊钢筋头或扁钢。

结束语

总而言之，伴随我国社会经济和科学技术的持续高效发展与创新，我国高速铁路领域发展脚步以及技术水平得到进一步提升，从而推进大断面富水黄土隧道逐渐向规模化以及规范化方向转变，同时相关设计以及施工技术也将作出适时调整和科学创新。针对隧道施工各流程以及各环节展开深入分析和全面整理，在施工工艺的辅助和支撑下工程施工工期将得到有效控制，并让施工整体安全性、稳定性和高效性得到强有力保障的同时，也让施工成本实现最大化利用。除此之外，也可借助相关措施对进行施工工艺在后期开挖以及支护拆除等方面存在一定不足进行优化和解决，以此让隧道工程整体稳定性和强度得到进一步强化。

参考文献

- [1] 张双茁. 浅埋黄土隧道塌方破坏模式及处置技术[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2024, 41(01): 62-71.
- [2] 曹小平, 张云鹏, 韦志凯, . 浅埋偏压小净距黄土隧道施工过程围岩压力分析[J]. 地下空间与工程学报, 2023, 19(05): 1422-1432+1443.
- [3] 赵二朋. 黄土地层浅埋暗挖地铁隧道施工引起地表沉降预测[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(09): 132-134.
- [4] 胡小强, 唐浩. 黄土隧道浅埋段监控量测及稳定性判别方法及应用[J]. 福建交通科技, 2023, (03): 33-35.
- [5] 韩冬, 苏三庆. 黄土地层浅埋暗挖地铁隧道施工引起地表沉降预测[J]. 城市道桥与防洪, 2022, (11): 168-170+177+21.