

蔡家村隧洞不良地质洞段一期支护收敛变形原因分析与处理措施

吴其文 阮斌 丁大聪

长江勘测规划设计研究有限责任公司 湖北 武汉 430014

摘要: 本文对蔡家村隧洞不良地质洞段不同围岩水文地质条件与收敛变形机理逐一进行统计分析,通过加强支护、加强型钢锁脚、加固围岩、渗水集中引排、加快跟进衬砌综合治理措施,有效控制了收敛变形发展,施工经验值得借鉴。

关键词: 蔡家村隧洞;不良地质洞段;一期支护;收敛变形分析;处理措施

1 水文地质条件

蔡家村隧洞全长23.434 km,进口底板高程1911.861m,出口底板高程1907.173m,隧洞设计流量 $95\text{m}^3/\text{s}$,底坡 $i=1/5000$,断面型式为马蹄形洞型,净空断面尺寸 $8.12\text{m}\times 8.78\text{m}$ (宽 \times 高),衬砌厚 $0.3\text{m}\sim 0.7\text{m}$ 。

蔡家村隧洞沿线通过地段属于构造侵蚀溶蚀中山地貌,地形起伏大,地势总体北、北西低,南、南东高,沿线地面高程 $1929\text{m}\sim 2615\text{m}$,隧洞埋深一般 $200\text{m}\sim 500\text{m}$,最大埋深约 696m 。隧洞穿过地层为震旦系与前震旦系昆阳群,岩性以砂岩为主,有少量板岩和白云岩。

隧洞中后段(7+020~23+434)沿线穿越褶皱构造共计2条,分别为五朵朵向斜和大竹箐向斜。沿线穿越区域性断裂(I级结构面)2条,分别为小仓~银厂箐断裂(F24)和蔡家村断裂(F25)。穿越II级~III级断层12条,其中破碎带宽度 $5\text{m}\sim 10\text{m}$ 之间的II级断层有7条;破碎带宽度 $0.5\text{m}\sim 5\text{m}$ 之间的III级断层有5条,断层走向以SN向为主,倾角以中等~陡为主。

隧洞中后段(7+020~23+434)跨越红河水系绿汁江流域和金沙江水系普渡河流域,通过地段山脊雄厚,地表水和地下水丰富,较大规模的冲沟河流均常年有水。沿线地表通过的主要河流有龙闸坝河、大竹箐和清水河,分布的水库、坝塘主要有龙闸坝水库、东方红水库、拖担水库并分布有9处泉点。地下水类型以基岩裂隙水和岩溶水为主。除进出口外,其余均位于地下水位线以下,隧洞地下水水头一般 $100\text{m}\sim 400\text{m}$,最大 490m 。沿线通过的板岩、砂岩、白云岩节理裂隙发育,一般弱透水,局部或断层破碎带达中等~强透水^[1]。

2 围岩收敛变形典型洞段与原因分析

2.1 蔡家村3#支洞上游8+585~8+510段

开挖揭露地层为下元古界昆阳群鹅头厂组(Pt1e)深灰、灰色、灰黑色薄层状炭质板岩,位于 500m 宽小仓-银厂箐I级断裂带,主要组成物质为片状岩、碎裂岩及糜棱岩,挤压揉皱及碳化现象明显,岩体遇水后极易软化。隧洞埋深 $160\sim 200\text{m}$,地下水位 $156\sim 166\text{m}$,顶拱滴、渗水,渗水量约 $1000\text{m}^3/\text{d}$,隧洞综合防治措施类别为A1,围岩类别为极不稳定的V特类。

该洞段岩石饱和抗压强度 15MPa ,外水压力 0.64MPa ,强度应力比 0.53 。该洞段开挖支护10天后变形加剧,最大侵线 47cm 。

原因分析:地下水流掏蚀裂隙充填物架空岩体,以及岩体遇水软化破碎,随时间延长围岩松弛破坏范围加大,一期支护系统受力逐渐增加,最终造成失稳性收敛破坏。

2.2 蔡家村4#支洞上游12+595~12+540段

开挖揭露地层为震旦系下统澄江组第三段(Zac3)紫红色泥质粉砂岩夹薄层状粉砂质泥岩(较软岩夹软岩),围岩较破碎,岩体呈碎裂状夹碎屑状结构,泥岩遇水后极易软化。隧洞埋深 $476\sim 575\text{m}$,地下水位 $396\sim 413\text{m}$,洞身有线状流水,渗水量约 $1000\text{m}^3/\text{d}$,围岩类别为极不稳定的V类。

该洞段岩石饱和抗压强度 20MPa ,外水压力 2.03MPa ,强度应力比 0.43 。该洞段开挖支护8天后顶拱左侧至下部围岩整体产生向内滑移,并向掌子面延伸,最大位移速率 $7.8\text{cm}/\text{d}$,最大侵线 69.56cm ,顶拱左侧一期支护型钢沿洞轴线方向呈线性剪断破坏。

原因分析:顶拱左侧岩体与右侧岩体之间存在宽大结构面,受开挖卸荷、水流冲蚀结构面充填物与爆破震动影响,以及左侧岩体破碎,在重力、爆破震动及地应力共同作用下造成左侧破碎岩块沿构造面向洞内整体滑

移剪切破坏。

2.3 蔡家村4#支洞下游13+049.9~13+197.9段

开挖揭露地层为震旦系下统澄江组第三段(Zac3)紫红色泥质粉砂岩夹薄层状粉砂质泥岩、浅灰色凝灰岩(较软岩夹软岩,有侵入岩),围岩节理裂隙发育,岩体极破碎,呈碎块状~碎屑状结构,泥岩遇水后极易软化,凝灰岩遇水易膨胀,顶拱围岩极不稳定^[2]。左边墙发育宽约2mⅢ级断层,与洞轴线小角度相交,主要由片状岩、糜棱岩组成,胶结差。隧洞埋深344~389m,地下水位296~328m,洞身线状流水,局部顶拱淋雨状,渗水量约2000m³/d,围岩类别为极不稳定的V类。

该洞段岩石饱和抗压强度15MPa,外水压力0.94MPa,强度应力比0.39。该洞段开挖支护后整个断面即收缩变形,最大变形速率10cm/d,最大变形67.7cm。

原因分析:围岩极破碎,呈碎块状~碎屑状结构,自稳性差;泥岩遇水后软化,凝灰岩遇水易膨胀,在应力作用下产生塑性变形。围岩岩性极差,泥岩遇水软化、凝灰岩膨胀变形是产生失稳性收敛破坏的根本原因。

2.4 蔡家村5#支洞下游16+790~16+837.9段

开挖揭露地层为震旦系下统澄江组第二段(Zac2)紫红、灰紫色中厚层状砂岩、泥质粉砂岩夹薄层状粉砂质泥岩,围岩节理裂隙发育,岩体完整性差~较破碎,有20~30cm宽4级结构面、层间挤压带穿过。隧洞埋深232~238m,地下水位168~175m,掌子面潮湿,滴渗水,围岩类别为不稳定的Ⅳ类。

该洞段岩石饱和抗压强度40MPa,外水压力0.53MPa,强度应力比2.73。开挖支护后拱腰至顶拱发生收缩变形,最大变形36cm,顶拱受压后沿水流向产生贯通性裂缝,已喷混凝土松动脱落。

原因分析:本洞段位于向斜侧部,围岩挤压破碎与不利结构面组合产生松动岩块,随地下水淘蚀逐渐失稳,在重力作用下造成支护体系失稳破坏。

2.5 蔡家村6#支洞上游19+906.4~19+826.4段

开挖揭露地层为震旦系下统澄江组第一段(Zac1)紫红色薄层状石英砂岩夹粉砂质泥岩、青灰色凝灰岩,围岩呈碎裂结构,节理裂隙发育,局部为节理密集带,岩体破碎。隧洞埋深639~643m,地下水位373~377m,淋雨状渗水,围岩类别为极不稳定的V类。

该洞段岩石饱和抗压强度35MPa,外水压力1.12MPa,强度应力比0.7。开挖支护后拱腰至顶拱发生收敛变形,最大变形48cm,后期变形呈增大趋势,其中拱肩变形最大,挤压后沿水流向产生贯通性裂缝。局部顶拱钢支撑产生弯折变形破坏。

原因分析:本洞段地应力大,碎裂结构围岩破碎且夹软岩,受地应力及地下水淘蚀岩块松动失稳,随时间延长松动圈进一步扩大,造成支护体系失稳破坏。

2.6 蔡家村6#支洞下游21+135~21+220段

开挖揭露地层为震旦系下统澄江组第二段(Zac2)紫红色、暗红色互层状粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,以较软岩为主,位于FV-9Ⅰ级断层及影响带。围岩呈碎块状结构,受断层影响,节理裂隙极发育,泥岩遇水易软化。隧洞埋深340~352m,地下水位268~275m,洞身线状流水,围岩类别为极不稳定的V类。

该洞段岩石饱和抗压强度10MPa,外水压力1.09MPa,强度应力比0.19。开挖支护后边墙产生鼓肚子变形,最大变形34cm,边墙钢支撑向内侧产生塑性变形破坏。

原因分析:该洞段埋深较大,围岩强度低,岩体破碎,因边墙支护强度不足,随时间延长最终导致软岩塑性变形挤压破坏。

2.7 蔡家村6#支洞下游21+695~21+760.5段

开挖揭露地层为震旦系下统澄江组第一段(Zac1)灰紫色、紫红色石英砂岩夹粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,节理裂隙发育,岩体较破碎;其中21+703.5发育宽约3mⅢ级断层,胶结差。隧洞埋深396.4m,地下水位199.4m,洞段潮湿,顶拱滴渗水,开挖后局部发展为淋雨状,围岩类别为V类。

该洞段岩石饱和抗压强度25MPa,外水压力0.58MPa,强度应力比0.71。开挖支护后拱腰至顶拱发生收敛变形,最大变形33.9cm,后期变形呈增大趋势,局部顶拱已喷混凝土开裂破坏^[3]。

原因分析:围岩较破碎且夹软岩,地下水冲蚀后岩块松动失稳,随时间延长松动圈进一步扩大,造成支护体系失稳破坏。

3 处理措施

从提前采取工程措施防范地质风险、加快隧洞开挖施工进度、有效节约工程建设投资等设计理念考虑,隧洞开挖过程已采取物探、钻探、渗水引排、超前支护、一期加强支护等工程措施,但依然无法抑制塌方、涌突水、涌水突泥、收敛侵占结构等地质灾害发生。说明在对隧洞开挖水文地质情况研判、采取措施与实际的契合度以及开挖支护施工方法的先进性、合理性方面,我们依然存在不足。本工程随隧洞开挖支护发生明显收敛变形后,工程参建四方高度重视,现场共同分析研究明确处理措施,主要治理措施为:

(1)小导管径向钻孔灌浆固结加固围岩(ϕ 42

钢花管，孔深4.5~6m，间排距1.5~3m，水灰比1:1~0.6:1），改善松动圈围岩受力条件，形成环向封闭持力圈。

（2）视收敛变形严重程度，系统性加深打设多排型钢拱架锁脚锚杆（可采用锚杆、小锚管，变形严重存在重大安全隐患时可采用锚筋桩、大锚管，孔深为松弛圈厚+3m，锚筋桩、大锚管孔深一般为9~15m），限制型钢拱架支护系统收敛发展并加固围岩。

（3）如收敛变形极大，随时存在坍塌风险，采取内壁增设副拱方式加强临时支撑，强力控制收敛发展；同时视情况对已开挖支护洞段中下部进行石渣回填临时处理，以减小临空面，抑制边墙变形发展，改善支护体系受力条件。

（4）支护体系与围岩加固处理完毕，应及时施打系统排水孔集中引排围岩渗水，以降低围岩渗水压力，改善地下水渗流条件。

（5）经加固处理围岩变形稳定后，采取逐榀拆除方式安全换拱（局部侵线局部换拱，整体侵线整体换拱），尽快跟进衬砌混凝土施工。

（6）修正调整掌子面围岩开挖支护方式，如施打超前排水孔集中排水卸压、调整超前支护参数、多台阶预留核心土短进尺开挖、适当放大开挖断面预留变形量、调整型钢与系统锚杆设计参数、加深加强型钢锁脚、径向固结灌浆、施工系统排水孔等，视情况及时跟进底板开挖与垫层混凝土施工封闭成环有利整体受力等措施。

4 处理效果

变形处理过程视现场实际情况与处理效果适时优化调整技术参数与施工方案，处理过程以确保施工安全为前提，生产副经理、技术人员全程旁站指导，确保变形处理安全正常推进。

根据实际处理情况统计，施工现场技术措施得当，资源投入充分，施工组织有力，经抢险性及时处理后，支护系统安全稳定，无不利收敛变形及较大塌方发生。及时跟进衬砌底板混凝土施工后，从根本上保障了施工安全。

5 经验总结

5.1 地下暗挖施工时，在围岩破碎密集带、地质构造带（断层、大断裂、挤压变形、背斜、向斜等），对于

较软~坚硬围岩，破碎岩体节理裂隙、空隙、构造面经常被细小颗粒充填，或围岩含软弱夹层，或构造破碎带长期被地下水侵蚀充填大量碎屑物质，以上部位围岩自身稳定性极差，开挖时需要采取针对性加强支护措施方能安全通过。当遇地下水时，随开挖卸压形成水流通道，冲刷细小充填物，造成破碎岩块架空失稳，且随时间延长架空范围逐渐扩大，作用于支护系统上压应力亦逐渐增加，如不及时处理，除产生严重收敛变形外，最终可能导致较大塌方地质灾害^[4]。

5.2 对于深埋软岩破碎带（埋深250m以上，强度应力比较小），一般透水性较差，渗水量较小，但随开挖卸荷，围岩塑性变形随时间延长逐渐增加，应力逐渐增大，最终可能导致支护型钢拱架严重变形后呈扭曲状破坏。

5.3 当洞挖遇顺洞轴线较长陡角结构面（有大量碎屑物质充填），在水流淘蚀与爆破振动作用下，容易造成破碎岩体沿结构面滑移并对支护钢拱架造成剪断破坏。

5.4 以上洞挖围岩与支护体系收敛与破坏形式，需要不断总结经验教训，开挖后视围岩水文地质情况及时采取加强支护措施与围岩加固处理措施，或根据一期支护体系收敛变形情况采取针对性紧急处理措施，防止收敛变形侵占衬砌结构断面或发生较大塌方等地质灾害。

5.5 地下暗挖各种地质灾害频繁发生，说明围岩水文地质情况极为复杂，既定处理措施往往难以适应现场实际地质情况，如何不断总结提高不同围岩水文地质情况研判能力水平并制定合理有效处理措施，如何正确处理措施、工期、投资、安全之间的对立统一关系，仍需工程参建各方持续不懈地努力总结提高。

参考文献

- [1]赵继焘.中小断面引水隧洞不良地质洞段施工处理措施[J].农业科技与信息,2021(3):125-126.DOI:10.3969/j.issn.1003-6997.2021.03.053.
- [2]李瑞.新疆某隧洞不良地质洞段支护及地质缺陷处理措施研究[J].东北水利水电,2022,40(5):4-7.
- [3]邓跃东.不良地质洞段输水隧洞塌方处理及后续施工方案[J].山西水利科技,2017(01):40-42.
- [4]扎西顿珠.水利工程隧洞施工技术及管理措施分析[J].中国高新技术企业,2017(08):119-120.