

文章编号: 1006—2106(2009)01—0086—06

高压富水地层超深埋特长隧道施工技术研究^{*}

卿三惠^{**} 杨家松 黄世红

(中铁二局股份有限公司, 成都 610032)

摘要: 研究目的: 我国修建的锦屏隧道全长 17.5 km, 具有洞身埋深大(2 375 m)、断层、褶皱、可溶岩发育, 独头掘进无轨运输距离长(9 800 m)、施工工期紧(50个月)等特点。迫切需要解决出现高压涌水及跨岩爆地质灾害、威胁隧道施工安全的问题。

研究结果: 通过流体力学模拟试验, 采取择机封堵、超前帷幕注浆、径向封堵灌浆、摸袋和索囊封堵灌浆等技术, 有效封堵了高压大流量地下水; 通过离散单元法数值模拟试验, 采取超前应力解除、控制爆破及水胀式锚杆、挂网、钢筋拱肋、喷超细沸石粉添加剂混凝土等岩爆预防措施, 有效防治了岩爆灾害; 通过气体力学模拟试验, 研究了大功率射流风机及射流巷道式通风技术, 解决了独头掘进超长距离的无轨运输施工通风技术难题, 创造了独头掘进 9 800 m 无轨运输的世界记录; 通过综合超前地质预报、岩爆与富水段喷射混凝土、特长隧道快速施工及监测等技术的深入研究, 提高了超前地质预报的准确率(85%以上)及施工效果。锦屏隧道的成功修建, 总结了一套高压富水地层超深埋特长隧道综合施工技术及工艺, 推进了我国隧道施工技术的发展。

关键词: 超深埋特长隧道; 高压涌水; 岩爆; 防治; 施工通风; 快速掘进

中图分类号: U45 **文献标识码:** A

Research on the Construction Technology for Deep-buried Long Tunnel in High-pressure and Water-rich Stratum

QING San-hui, YANG Jia-song, HUANG Shi-hong

(China Railway Erju Co. Ltd. Chengdu, Sichuan 610032, China)

Abstract: Research purposes: Jinping Tunnel, the total length of 17.5 km, locates in fault fracture and karst development area, with deep buried depth of 2 375 m and blind heading with long distance trackless transport of 9 800 m, and the time limit for construction of it is 50 months, so it is urgently necessary to do the researches on how to prevent the geological disaster of high-pressured water bursting and the other disasters caused by rock blasting for the purpose of guaranteeing the construction safety.

Research results: Based on the hydrodynamic simulation test, much high-pressured ground water is plugged effectively by taking the measures of selective plugging, curtain grouting in advance, vertical grouting, plugging and grouting-plugging with gunny bags and string bags. Based on numerical simulation test with discrete element method, rock blasting disaster is prevented by taking the measures of relaxing stress in advance, controlling blast and using expansion anchor bolt mesh and steel arch rib and spraying the concrete with thin zeolite powder additive. Based on the aerodynamic simulation test, large powerful jet fan and jet gallery ventilation technology are developed, which settled the technical problem of the ventilation for the construction of blind heading with long distance trackless transport and created the world record of blind heading with trackless transport of 9 800 m. After doing the research on integrated

^{*} 收稿日期: 2008—10—09

^{**} 作者简介: 卿三惠, 1956年出生, 男, 教授级高级工程师, 中铁二局股份有限公司总工程师。

geological forecast in advance and the technologies of shot— concrete in rock blast and water— rich section fast construction and supervision of long tunnel the geological forecast accuracy is increased to above 85% and construction efficiency is improved much. The successful construction of Jinping Tunnel brings out a set of comprehensive construction technology for deep— buried long tunnels in high— pressure and water— rich stratum and promotes the development of tunnel construction technology in China.

Key words: deep— buried long tunnel; high— pressured water bursting; rock blast control and treatment; construction ventilation; fast shielding

我国修建的四川锦屏电站枢纽交通洞(简称锦屏隧道)全长 17.5 km。设计隧道由 2 个平行的线间距为 35m 的单车洞(A、B 洞)组成;隧道纵断面为人字坡,最大纵坡 2.5%,最小纵坡 0.12%;隧道净空断面 34~55 m²;隧道洞身每隔 500~600 m 设置一个横通道。隧道施工分东、西两端掘进,其中西端 9 800 m 由中铁二局承建,东端 7 700 m 由中铁十四局承建。

如图 1 锦屏隧道位于雅砻江峡谷山区,地形地质条件复杂。隧道埋深大于 1 500 m 的洞段(12.8 km)占隧道全长的 73%,最大埋深 2 375 m;隧道洞身受 NW、SE 向地质构造作用强烈,形成了 NE 向展布的紧密线状褶皱和多条主干断裂;隧道主要穿越三叠系(T)地层,中部以大理岩为主,两端以绿泥片岩、砂板岩为主。

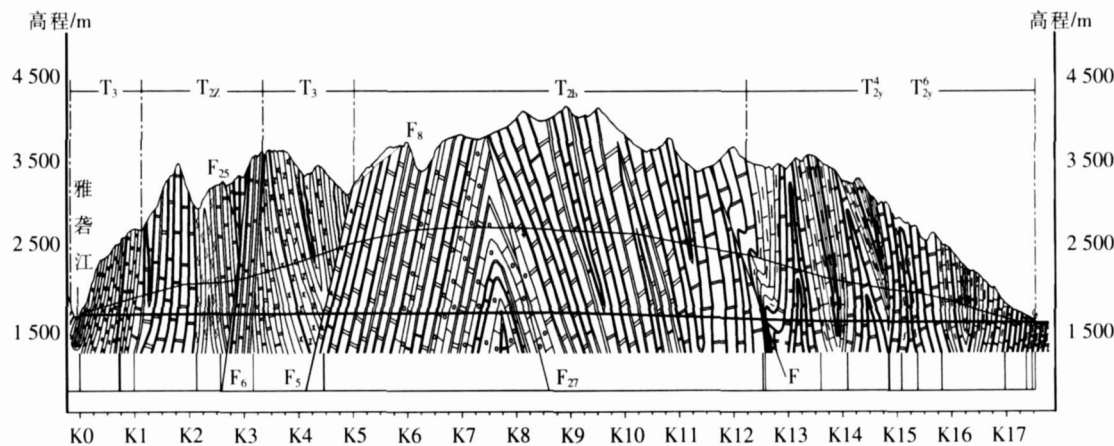


图 1 锦屏隧道地质纵断面示意图

锦屏隧道具有洞身埋深大(最大埋深 2 375 m)、断层、褶皱、可溶岩发育,独头掘进无轨运输距离长(9 800 m)、施工工期紧(50 个月)等特点,最突出的工程地质问题是高压大流量($P=4\sim 10\text{ MPa}$, $Q=51\sim 63\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)涌(突)水及高地应力($\sigma=44\sim 70\text{ MPa}$)产生的强岩爆灾害,严重威胁隧道施工安全。如何解决高压涌水处治、岩爆防治、施工通风、快速掘进等技术难题,是锦屏隧道建设成败的关键。

针对上述关键技术难题,在隧道修建过程中,中铁二局股份有限公司与北方交通大学隧道与地下工程研究所联合开展了科技攻关,优质、高效、安全地完成了隧道施工任务。

1 主要研究内容及技术路线

1.1 研究内容

- (1)隧道综合超前地质预报技术;
- (2)高压大流量地下水处治技术;

- (3)高地应力条件下岩爆防治技术;
- (4)独头掘进 9 800 m 无轨运输施工通风技术;
- (5)岩爆与富水洞段喷射混凝土技术;
- (6)特长隧道快速施工技术;
- (7)特长隧道施工监测技术。

1.2 技术路线

在广泛调研基础上,采用理论分析、室内实验、数值仿真模拟、现场试验与监测等手段,开展本课题研究,并结合现场推广应用与验证,形成一套高压富水地层超深埋特长隧道综合施工技术及工艺。

2 施工方案、方法与设备选型配套

2.1 施工方案

先探后掘,钻爆法施工,无轨运输。

2.2 施工方法

锦屏隧道具有独头掘进长、安全威胁大、开挖断面较小、工期压力大等特点,采用的施工方法对施工设备

的选型配套有其独特的技术要求。

2 2 1 爆破开挖

采用三臂液压台车钻孔,直眼掏槽,非电微差起爆。

2 2 2 出渣运输

采用挖掘机找顶、正装侧卸的装载机装渣,大吨位自卸汽车运输。

2 2 3 喷锚作业

喷射混凝土使用机械手作业;砂浆锚杆使用液压台车钻孔,低水灰比砂浆泵灌注。

2 2 4 衬砌混凝土

采用 9 m 自制液压台车,混凝土泵送入模,插入式捣固器捣固施工;水沟混凝土采用小块钢模板施工;路面混凝土采用人工摊铺,振捣梁捣固施工;混凝土圬工均使用 9 m³ 的罐车,自洞外拌合站运输至工作面。

2 2 5 施工通风

采用大功率风机射流巷道式通风方式。

2 2 6 隧道超前地质预报

使用 TSP203 雷达、探孔、地质分析等作为主要预报手段。

2 2 7 地下水处治

贯彻“以堵为主、限量排放”原则,采用超前预注浆、径向封堵灌浆、岩溶洞穴特殊灌浆等综合方法处治。

2 2 8 岩爆防治

采取超前应力解除、超前支护、控制爆破等措施防治岩爆。

2 3 施工组织

以掘进为龙头,系统支护紧跟,A B线换边或水路绕排,车辆绕行通过施工后部各工序。排水沟、路面、衬砌、地下水处治等随掌子面掘进,滞后适当距离跟进。

3 关键技术及研究成果

3 1 隧道综合超前地质预报技术

锦屏隧道大部分通过高压、富水、坚硬的大理岩地层,大规模岩溶涌(突水)及岩爆灾害具有突发性、随机性等特点,施工安全风险极大,必须开展施工超前地质预报,制定针对性的施工方案(预案),确保隧道施工安全。

项目研究中,先后采用 TSP203、陆地声纳、表面雷达、孔内雷达、瞬变电磁、电法、红外线、声波 CT8种物探方法进行对比分析,构建了“以 TSP 雷达等物探为主,结合钻探与地质分析的基本预报体系(简称地一物一钻)”,将长距离(100~150 m)预报、中远距离(50~

60 m)预报、短距离(20~30 m)预报三者有机统一起来,坚持不间断的连续跟踪预报制度,提高了超前地质预报的准确率。特别是首次采用结合 TSP 超前探孔的孔内雷达方法,实现了对掌子面前方一定范围内的含水地层和不良地质体的预报,避免了预报盲区。同时因孔内雷达测试不受掌子面周围环境的干扰,使预报地下水的准确率达到 85%以上。

3 2 高压大流量地下水处治技术

锦屏隧道水压高、流量大,突(涌)水洞段多。根据开挖揭露 A B洞 8 000 m 范围统计,A洞富水段累计长 3 530 m,B洞富水段累计长 3 519 m,分别约占开挖段的 44%。地下水压力 $P=4\sim 10\text{ MPa}$;钻孔水射程 $L=45\sim 50\text{ m}$;流量 $Q=(51\sim 63)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。如何对地下水实施有效封堵,加快处理速度,是确保施工安全和工期的关键问题之一。

项目研究中,地下水处治贯彻“以堵为主,限量排放”原则,通过流体力学模拟试验与分析,采取“择机封堵、超前帷幕注浆、径向灌浆、摸袋和索囊封堵灌浆”等技术,有效地解决了高压大流量地下水的封堵问题。

3 2 1 择机封堵

根据超前预报成果分析,在确保施工安全前提下,先揭露出地下水,当掌子面掘进超前出水点(段)一段距离后,再对地下水进行系统处治。

3 2 2 超前预注浆

高压大流量地下水的超前灌浆,在灌浆材料、工艺上基本与普通超前帷幕灌浆相同,其创新点在于灌浆压力控制和孔口管的设计。当静水压力低于 2 MPa 时,灌浆压力取 2~3 倍的静水压力;当静水压力为 2~5 MPa 之间时,灌浆压力可灵活选取,但不宜超过 7 MPa。当静水压力高于 5 MPa 时,灌浆压力取静水压力加 2~3 MPa。

3 2 3 径向封堵灌浆

高压大流量地下水被揭露后的封堵灌浆不同于超前预注浆,必须分两步完成。即先实施局部封堵灌浆,然后再实施系统的高压固结灌浆。

3 2 3 1 局部封堵灌浆

以普通水泥砂浆为主,辅以微纤维、麻丝等惰性材料。浆液采用 1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1 的 4 个比级;灌浆压力为动水压的 2~3 倍。孔深 4.5~8 m 保证 3 m 的浅层临时封堵厚度。

3 2 3 2 高压固结灌浆

以水泥砂浆为主,采用 2:1、1:1、0.8:1、0.5:1 的 4 个比级,首段灌浆压力为水压力加 1.5 MPa 或渗水压力的 2~3 倍,其后各段灌浆压力 5~8 MPa 固结

厚度 6 m(与外水压力有关)。

3.2.3.3 钻灌设备

使用地质钻、电钻钻孔, 灌浆使用普通灌浆泵和砂浆泵等设备。

3.2.3.4 孔口管

使用 $\phi 127 \sim \phi 40$ 无缝地质钢管制作, 孔口管长度 1.0~3.0 m 不等; 对出水量和压力较大的孔, 采用孔口专用封水装置, 长度 3~5 m 不等。

3.2.4 模袋与索囊封堵灌浆

在串珠状溶蚀孔洞、溶蚀管道以及溶洞群等较大规模的岩溶地质环境, 使用模袋、索囊技术, 提高地下水的封堵处理速度和质量。

模袋与索囊是由特殊的纺织材料织成, 织物的强度高, 灌注时具有一定的渗水性而不漏水泥。

模袋有其独特的优点: (1) 灌注成型, 施工简便、速度快, 且耐高速水流 (15 m/s), 在高速水流下, 保证水泥不分散, 不被冲走。(2) 具有一定的透水性, 水泥浆经模袋析水后, 硬化速度加快, 固化强度提高。

索囊与模袋类似, 是微缩版的模袋, 主要针对溶蚀裂隙、溶蚀宽缝、串珠状溶蚀孔洞等小型的漏水体系使用。但需注意: 定制的模袋要适合溶洞或管道体积; 减压分流孔要截断前方突涌水点; 注意灌浆先后顺序及模袋闭浆。

3.3 高地应力条件下岩爆防治技术

锦屏隧道平均埋深大于 1 500 m 洞段占全隧道长度的 73.1%, 大于 2 000 m 的洞段超过 3 000 m, 最大埋深 2 375 m。实测埋深 1 350 m 处最大主应力 44.2 MPa, 最大埋深 2 375 m 处最大主应力 70.1 MPa。围岩强度与应力比 (R_c/σ_{max}) 为 1~3。根据《工程岩体分类标准》^[1] 评估基准判别 $R_c/\sigma_{max} < 4$ 时为极高地应力水平, 具备发生强岩爆的条件。

经统计分析, 各级岩爆分别占岩爆洞段的比例为: 弱岩爆 19.7%、中等岩爆 57.4%、强岩爆占 17.0%、极强岩爆 5.8%。强到极强岩爆的破坏方式表现为岩石表层的箔板状弹射, 往深部发展为板块状爆裂、劈裂崩落, 单块厚 0.1~0.8 m 不等, 最大达 0.8 m \times 1.5 m \times 3.2 m, 多呈板块状、弯曲鼓胀、楔形爆裂。爆坑深一般 1~3 m, 最深达 5 m。

由于中—强—极强岩爆洞段约占隧道总长的 80%, 如何保证隧道快速安全掘进, 兑现工期目标, 是需要解决的关键问题之二。

项目研究中, 为协调解决施工安全与进度的矛盾, 寻求一种安全、快速处理岩爆的新方法, 通过离散单元法数值模拟的理论分析和现场试验, 采取如下措施防治岩爆灾害。

3.3.1 构建了“超前应力解除 (超前钻孔法)、控制爆破及以水胀式锚杆、挂网、钢筋拱肋、喷超细沸石粉添加剂混凝土为主的支护系统取代传统的砂浆锚杆 (或机械胀壳中空锚杆)、挂网、型钢拱架、模筑混凝土支护”的岩爆预防体系, 有效控制了岩爆灾害。

3.3.2 当掌子面掘进超前 2 倍洞径时, 滞后的支护系统必须同步紧跟; 当岩爆强度较高时, 完成临时支护后, 同步完成系统支护。

3.3.3 掌子面正前方是岩爆危险或灾害最严重的部位, 除对其进行及时喷护和锚杆加固外, 还实施了 9 孔和 14 孔超前应力解除爆破工艺, 效果良好。

3.4 独头掘进 9 800 m 无轨运输施工通风技术

锦屏山绵延数百千米, 隧道近东西向横穿锦屏山脉, 且埋深大, 无条件修建竖井、斜井等辅助坑道。同时, 受高压地下水的影响, 无条件实施有轨运输。因此, 锦屏隧道不得不设计为上下行单线隧道、相互构成平行导洞的无轨运输方案。然而, 如何解决隧道独头掘进 9 800 m 无轨运输的施工通风, 是需要解决的关键问题之三。

现行《铁路隧道施工规范》^[2] 规定: “单线隧道长度在 1 000 m 以下时宜采用无轨运输, 长度大于 1 500 m 时宜采用有轨运输。洞口设置主扇压入式巷道通风”。本项目研究中, 打破了传统的在洞口设置主扇压入式通风机的巷道通风方式, 引入公路运营射流通风理念, 取消在洞口附近设置风洞与风门。通过气体力学模拟试验分析计算, 研究了大功率射流风机及射流巷道式通风技术, 成功地解决了独头掘进长距离的通风技术难题, 创造了独头掘进 9 800 m 无轨运输施工通风的世界新记录, 突破了无轨运输施工特长隧道的禁区。根据现场分阶段测试结果统计和理论分析, 取得以下研究成果:

3.4.1 特长隧道无轨运输需风量, 按内燃设备的总功率和每千瓦消耗风量的乘积计算, 不符合实际, 大大偏于保守。

3.4.2 经过理论计算分析和 9 800 m 各阶段通风成果的统计分析表明, 射流风机数量可近似用通风阻力和射流风机升压直接估算, 与实际吻合性较好。

3.4.3 射流风机选型与布置

(1) 宜选用节能型的大功率风机, 出口平均风速要大;

(2) 射流风机应按照“进风洞少、排风洞多”的原则进行布置, 原则上分散布置有利于改善通风质量;

(3) 射流风机设置在横通道的下风方向且离横通道中线 5~10 m 处;

(4) 在需开启的横通道部位必须布置一台风机,

以平衡横通道与主洞风压。

隧道施工过程中,经西昌环保局多次检测,各项指标均达到《铁路隧道施工规范》^[2]与《公路隧道施工技术规范》^[3]规定的主要环卫标准(粉尘、CO、NO_x、H₂S)限值要求(表 1)。直观感觉是隧道内工作人员的鼻孔无黑色污染物。

表 1 隧道主要环卫指标

隧道环卫指标	环卫指标标准限值	A、B线实测结果
粉尘	10 mg/m ³	1.213~3.043 mg/m ³
CO	爆破作业面 0.5 h内 100 mg/m ³	掌子面处 28~77 mg/m ³
NO _x	5 mg/m ³	1.274~2.388 mg/m ³
H ₂ S	6 ppm	无

3.5 岩爆及富水洞段混凝土喷射技术

锦屏隧道富水洞段约占隧道全长的 44%,洞身又以锚喷支护为主,同时受工期的限制,在富水洞段不可能做到完全进行灌浆封堵后再喷射混凝土。因此,研究线状或滴状水洞段的喷射混凝土施工工艺,是确保施工进度、质量的关键。

岩爆区的喷混凝土要快凝、早强、一次喷射厚度大、强度高,在富水洞段还要有较高的抗渗性能和粘结力。因此,寻求一种特殊的外加材料掺入到普通混凝土中,按常规施工工艺就能完全达到安全快速喷射的目的。通过大量试验研究,以 SiO₂ 和 Al₂O₃ 为主的超细沸石粉(粒径为 0.327 μm 小于微硅粉粒径(1 μm 占 80%)),远小于普通水泥粒径 80 μm),能同时具备这些特殊性要求。研究成果如下:

3.5.1 喷射混凝土水胶比为 0.45~0.5 时,超细沸石粉以水泥重量的 5%~10% 掺入,速凝剂掺量达到水泥重量的 6%~8% 时,喷射混凝土质量最佳。

3.5.2 岩爆区喷射混凝土,外掺钢纤维掺量 40~60 kg/m³;富水洞段喷射混凝土,外掺微纤维掺量 0.9 kg/m³。

3.5.3 岩爆区的喷护工艺与普通喷混凝土相同。富水区必须结合辅助的引排措施,自下而上从水量小的部位开始向出水量大的部位进行喷护作业。

3.5.4 以锚喷支护为主的富水区段,采用锚杆与辅助排水措施,是保证喷混凝土后支护结构不被高压水击穿的必要措施。

3.6 特长隧道快速施工技术

锦屏隧道段工期 50 个月,月进度要求近 200 m 的掘进指标,除要着力解决地下水处治、高地应力岩爆防治和施工通风三大难题外,还要研究适应坚硬难爆大理岩洞段的设备配套、爆破技术、强富水区开挖和后部混凝土工序的施工组织等相关问题。隧道总体安排贯

彻“以掘进为龙头,后部工序协调推进”的总体思路,采取下列措施有效地解决了后部工序之间的矛盾,确保了施工进度。

3.6.1 采用小断面中孔大直径直眼分段掏槽爆破技术,提高了坚硬难爆大理岩的爆破循环进尺,平均炮孔利用率达到 93% 以上。

3.6.2 强富水区开挖,采用减压分流、特殊装药结构分次爆破,保证了施工安全。

3.6.3 使用进口设备与国产设备相结的设备配套模式,解决了隧道的快速施工。

3.6.4 充分利用无轨运输射流巷道式通风的特点,有效地解决了施工排水与系统支护、水沟和路面施工、二次衬砌、灌浆堵水等多工序施工组织间的矛盾,实现了 50 个月建成隧道的工期目标。统计分析数据表明:在 8 000 m 前洞段,实现双洞月均进尺 193 m 进入 8 000 m 后埋深较大洞段,实现双洞月均进尺 186 m 的开挖指标。2004 年创造了双洞月掘进 334 m 的最好成绩,2006 年进入富水区埋深较大洞段,写下台车月凿进双洞 305 m 的较好成绩。

3.7 特长隧道安全监测技术

锦屏隧道采用动态设计、动态施工方法,以喷锚支护为主,研究施工通风、高压大流量地下水和超深埋高地应力岩爆的隧道施工风险监测技术,是确保施工安全、结构安全的关键。

项目研究中,通过气(流)体力学数值模拟分析,为施工通风、地下水径向封堵灌浆提供了理论依据;通过离散单元法数值模拟分析,为岩爆防治、难爆的大理岩分段掏槽爆破设计和不连续介质围岩稳定性判断等提供了理论支持。

对围岩变形观测,主要以收敛点为主,结合采用锚杆应力计、多点位移计、巴塞特测斜仪。充分利用四种方法反映围岩变形的优点,相互验证分析,提高了对围岩稳定性的判别。

为满足快速施工的要求,隧道支护分两阶段进行。即初期采用随机锚杆加喷 5 cm 后的 C30 钢纤维混凝土支护;后期完成设计余下的系统锚杆和喷混凝土。而先期的喷射混凝土和滞后的系统支护,都依据监测成果来确定。

4 取得的主要施工经验

4.1 超前地质预报纳入合同管理,是推行超前地质预报,规避复杂地质隧道施工安全风险的有效制度。

4.2 特长隧道采用钻爆法的无轨运输模式,有利于实现快速机械化施工。

4.3 “择机封堵”地下水,实施径向灌浆,对提高施工

进度有利。

4.4 在双洞互为平导情况下, 特长隧道无轨运输的射流巷道式通风, 具有“可换边组织后部工序施工及施工揭露出高压地下水时, 改变施工方法和施工组织灵活, 可在短时间内恢复运输”等优点。

4.5 采用超细沸石粉为主的特殊添加剂材料, 能大大改善喷混凝土的质量。在渗滴或线状水情况下, 结合采取排水管、锚杆与钢筋网, 完全能解决富水区喷射混凝土工艺; 在岩爆洞段能实现安全、快速喷护, 有利于施工安全。

4.6 中孔大直径直眼分段掏槽爆破, 能有效解决均质大理岩的爆破技术难题。

4.7 锚杆应力计介于多点位移计和收敛点之间, 施工观测宜多采用锚杆应力计; 巴塞特倾斜仪对围岩表面变形观测灵敏度较高, 可推广使用。

4.8 计算气(流)体力学分析对施工通风、地下水径向封堵有理论指导意义; 离散单元法数值模拟对岩爆防治、爆破设计和不连续介质围岩稳定性判断等有理论指导意义。

4.9 低污染设备或带净化装置的内燃设备, 有利于施工通风; 潮湿环境控制隧道成型不宜使用全电脑台车, 宜使用半电脑台车, 同时有利于保证测量人员的安全; 机械喷射台车对提高湿喷混凝土质量、确保施工安全有可靠保证。

4.10 锦屏隧道施工中, 将结合隧道研究的科技成果直接转化为生产力, 并积极推广应用以下“四新技术”, 对控制隧道施工安全、质量、进度等发挥了重要作用。

4.10.1 新技术

隧道施工地质超前预报技术; 高压大流量地下水超前灌浆技术与被揭露富水区钻孔灌浆技术; 岩爆安全快速处理技术; 岩爆区与富水洞段湿喷混凝土技术; 中孔大直径直眼分段掏槽爆破技术; 无风门射流巷道式通风技术; 巴塞特倾斜仪, 多点位移计, 锚杆应力计与收敛点综合观测围岩变形技术等。

4.10.2 新材料

HD-2 特殊外掺材料(超细沸石粉)、微硅粉、微纤维和膜袋等新材料。

4.10.3 新工艺

电脑台车全自动钻孔工艺; 低水灰比($W/C < 0.35$)砂浆锚杆灌注工艺; 水胀式锚杆与挂网结合钢筋拱肋与超细沸石粉混凝土的安全快速支护工艺; 超

前探孔结合孔内雷达预报地下水工艺; 高压大流量地下水处治的封堵工艺; 利用膜袋与索囊封堵管道与溶洞涌水工艺; 岩爆区与富水段湿喷混凝土工艺等。

4.10.4 新设备

电脑台车、机械喷射手、30 MPa 高压灌浆系统、钻孔雷达、TSP203 预报系统、电法、大功率射流风机等。

5 结论

(1) 本项目研究采用超前地质预报、理论分析、室内实验、数值仿真模拟、现场试验、监控量测等手段, 解决了“高压涌水处治、岩爆防治、施工通风、快速掘进”等关键技术难题。

(2) 通过流体力学模拟试验分析, 采取“择机封堵、超前帷幕注浆、径向灌浆、摸袋和索囊封堵灌浆”等技术, 有效封堵了高压大流量地下水。

(3) 通过离散单元法数值模拟试验分析, 采取“超前应力解除、控制爆破、水胀式锚杆、挂网、钢筋拱肋、喷超细沸石粉添加剂混凝土为主”的岩爆预防体系, 有效防治了岩爆灾害。

(4) 通过气体力学模拟试验分析, 研究了大功率射流风机及射流巷道式通风技术, 解决了独头掘进长距离无轨运输的施工通风技术难题, 突破了无轨运输施工特长隧道的禁区, 创造了独头掘进 9 800 m 无轨运输的世界记录。

(5) 通过 8 种物探方法的超前地质预报综合分析, 构建了地—物—钻的基本预报体系, 采用结合 TSP 超前探孔的孔内雷达方法, 提高了预报地下水的准确率达 85% 以上。

(6) 通过岩爆与富水段喷射混凝土、特长隧道快速施工与监测技术的深入研究, 提高了隧道施工的效果。

(7) 上述研究成果在隧道施工中直接转化为生产力, 结合“四新技术”的应用, 有效控制了隧道施工安全、质量、工期目标的实现。

(8) 锦屏隧道的成功修建, 总结形成了一套高压富水地层超深埋特长隧道综合施工技术与工艺, 推进了我国隧道施工技术的发展。

参考文献:

- [1] GB/50218—94 工程岩体分类标准[S].
- [2] TB 10204—2002 铁路隧道施工规范[S].
- [3] JTJ 042—94 公路隧道施工技术规范[S].