

昆仑山隧道施工技术

杨晓春

(中铁五局集团一公司 长沙 410017)

摘 要 介绍昆仑山隧道的开挖、支护、低温早强耐久混凝土、防排水及隔热保温、施工机械化配套等方面的内容。

关键词 高原冻土 铁路隧道 施工

1 工程概况

昆仑山隧道全长 1 686 m,地处青藏铁路第 5 标段,是青藏铁路的重点控制工程,也是世界高原冻土第一长隧道,海拔 4 800 m。洞身为三叠系板岩夹片岩,围岩以Ⅳ级为主,还分布Ⅵ级与Ⅴ级。由于此隧道位于 $D_6 - F_1$ 和 $D_6 - F_2$ 压性断层之间隆起盘中,故围岩比较破碎,节理发育,层理明显,正常涌水量 $222.55 \text{ m}^3/\text{d}$,最大涌水量 $445.10 \text{ m}^3/\text{d}$ 。隧道位于多年冻土区,多年冻土厚度大于 100 m。为了满足青藏铁路工期的要求,设置了 1#、2#、3#、4# 工作面,施工管段划分如图 1 所示。

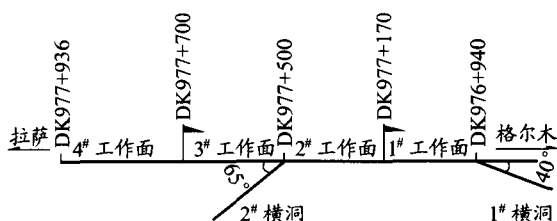


图 1 昆仑山隧道平面布置

本隧道采用简易台车全断面开挖(针对Ⅵ级围岩采用小导管支护,正台阶短开挖,弱爆破,强支护,同时预留核心土),喷射混凝土作初期支护,一次模筑混凝土,钢格栅支护,液压衬砌模板台车,泵送混凝土施工二次衬砌。1#、2#、3# 工作面采用梭矿-电瓶车运输,4# 工作面采用无轨运输。

昆仑山隧道自然条件独特,高原缺氧、低气压、

大风速、强辐射、多地震。一年内冻结期长达 7~8 个月,年平均气温 -7°C , 冬季最低气温 -37°C , 这些不良的气候条件给隧道施工带来很大困难和一些新课题,仅铁道部的科研课题就有 7 个之多,因此该隧道技术含量相当高,施工难度大。笔者参加了此隧道的施工,下面就其施工技术作一阐述,供同行探讨。

2 隧道开挖技术

现以Ⅳ级围岩全断面开挖为例,介绍一下本隧道的爆破设计。根据高原冻土地区的特点设计,采用直眼掏槽,辅助眼加大单耗,周边眼采用光爆,在实际施工中可对爆破参数进行调整,以达到最佳效果。

用 $\varnothing 32 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ (250 g) 和 $\varnothing 25 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ (150 g) 的 EL 系列乳化炸药,1 至 15 段非电毫秒雷管奇数段,8 段非电毫秒雷管,工业纸壳火雷管。

(1) 周边眼间距 50 cm,最小抵抗线 70 cm,装药集中度 0.27 kg/m 。

(2) 开挖进尺 3 m。钻眼深度:掏槽眼 3.5 m,底板眼 3.4 m,周边眼 3.2 m。

(3) 采用直眼中空掏槽,空眼 3 个,直径 45 mm,掏槽眼底部 30% 长度加强装药,孔口 20% 长度减弱装药。

(4) 周边眼采用空气间隔装药,其余炮眼采用连续装药,堵塞长度 0.3~0.5 m。

3 隧道支护技术

隧道开挖后由于各种施工机械、人的活动,洞内

收稿日期:2003-04-23

温度一般超过 5℃,一旦洞内温度升高后,冻土解冻,原来稳定的岩体便会由于冰融化成水,水的活动便会造成热融滑塌。而原设计的初期支护方式为“系统锚杆+钢格栅+一次衬砌”,这种设计存在不合理的地方,首先,它要求一次衬砌必须紧跟掌子面且必须及时施作,以封闭围岩,方可抑制热融滑塌,但一次衬砌施作以及钢格栅架设的时间长,根本满足不了初期支护所要求的及时性;其次,一次衬砌紧跟掌子面,工作面无法拉开,只能形成单一工序作业,远远不能满足青藏铁路的工期要求,故我们采用了“超前小导管预注浆(或超前锚杆)+喷射混凝土系统锚杆+钢筋网+钢格栅+一次衬砌”的复合支护体系,具体的施工步骤为:超前小导管注浆(或超前锚杆)→开挖→出渣→施作系统锚杆,挂钢筋网,复喷厚 3~5 cm 的混凝土。

在高冰冻土隧道中,国内外许多专家认为由于喷射混凝土与高冰冻土的粘结强度不够,故他们对喷射混凝土的可行性持怀疑态度,但我们经过数百次试验,调整了喷射混凝土配合比和工艺参数,选定了适当的外加剂,成功地解决了在高冰冻土隧道中进行喷射混凝土施工的技术难题。正由于喷射混凝土及时封闭了围岩,防止围岩的热融滑塌,保证了施工安全,这样一次衬砌工作面与开挖面的距离也可以延长到 40~50 m,可进行平行作业,加快了施工进度。因此昆仑山隧道在 2002 年 5~9 月的施工中连续创高产。喷射混凝土是本技术的关键,其它工艺与平原地区隧道区别不大。此隧道采用了干喷与湿喷,但湿喷效果明显,故以下择湿喷介绍。

(1) 配合比设计

经过数次试验确定其配合比为水泥:砂子:石子:防冻剂:速凝剂 = 1:2.01:1.34:0.018:0.039,水灰比为 0.47。

(2) 材料

水泥用祁连山水泥(32.5R),砂子用三岔河中砂,石子用西大滩瓜米石,防冻剂用 HS-1 防冻剂,速凝剂用液体速凝剂。

(3) 施工机械

铁科院西南分院研制的 TK-961 活塞式湿喷机 1 台,强制式混凝土搅拌机 1 台,22 m³ 空压机 1 台,12 t 电瓶车 1 台,JCGY6 型混凝土运输车 1 台,简易喷射平台 1 台。

(4) 温度控制

由于在高原地区作业,因此必须用地炉加热装置对材料进行预热和保温。水泥和石子以及防冻剂保证在正温以上,砂子温度必须 $\geq 10^{\circ}\text{C}$,水的温度控制在 50~70℃之间,出搅拌机时混凝土的温度控制在 20℃以上,进喷射机时混凝土的温度控制在 10℃以上。

(5) 效果

经试验,喷射混凝土与冻土的抗拔粘结强度为 1.45~1.63 MPa,因此喷混凝土与岩面的粘结强度能满足要求,试验平均抗压强度为 33.2 MPa,大于设计值 32.4 MPa,且测量结果显示,位移时间曲线未出现反常现象,喷射混凝土未出现严重掉块现象。喷射混凝土不仅封闭了围岩的裂隙,而且有效阻止了冰融速度,取得了良好的效果。通过复合支护的施作,保证了隧道施工的安全,拉开了开挖掌子面与一次衬砌的距离,可进行平行作业,保证了工期。

4 隧道低温早强耐久混凝土技术

无论在国内还是国外的严寒及多年冻土地区,隧道内较为普遍地发生衬砌冻胀开裂、破碎、剥落等病害,严重威胁行车安全、降低隧道使用寿命。而青藏铁路工期紧,如果因为低温原因,衬砌台车迟迟不能拆模,不仅影响进度,而且影响质量(混凝土不能早强被冻伤),故低温早强混凝土技术就显得尤为重要。为了保证混凝土浇筑后在周围介质为负温条件下强度等级及抗冻融指标达到规范及设计要求,且保证混凝土浇筑时所使用的化水热量最小以使混凝土水化升温时周围冻土结板不产生破坏,我们通过数百次试验,适当调整了混凝土配合比,选定了合适的外加剂,采取了保温及养护措施,成功地解决了在高原冻土隧道中应用低温早强耐久混凝土技术难题。

(1) 配合比设计

配合比是根据混凝土设计强度和耐久、耐腐蚀要求,以及原材料检验结果和混凝土施工性能要求确定,同时还考虑混凝土在硬化过程中放出热量对冻土的影响。在冻土隧道中,为了满足混凝土不受冻害,应将配合比中的用水量降至最低限度。根据以上原则,经过理论计算和现场试配,确定 C30 混凝土理论配合比为:水泥:石子:砂:外加剂 = 1:1.479:2.517:0.111,水灰比为 0.40。

(2)材料

水泥用普硅水泥(32.5R),砂子用三岔河中砂,石子用西大滩碎石,最大粒径40 mm,复合型防冻剂用DZ-2低温早强耐腐蚀混凝土防冻剂。

(3)防寒保温措施

用地炉加热砂石料,用水箱加热水,水泥和外加剂置于暖棚中预热,混凝土搅拌站设在保温大棚内。

用保温材料包裹运输罐车、混凝土输送泵及输送管道,保证混凝土入模温度达到5℃以上。

掺用DZ-2型外加剂,使混凝土达到速凝、防冻、早强的效果。

在隧道洞口设棉门帘,门帘设滑轮,保证随开随关、机械通行。

(4)混凝土养护

本隧道采用保温蓄热养护工艺,通过加热骨料和水,用保温材料包裹运输罐车及混凝土输送泵,从而有效地使混凝土在温度降到0℃时达到或超过抗冻临界强度。经取样检查,混凝土未遭受冻害,且试件强度能满足设计要求,混凝土内实外美。

5 隧道防排水及隔热保温层技术

高原寒冷地区,由于气候寒冷,气温低,故防寒保温、防冻融、防冻胀是修建隧道要解决的主要技术问题,嫩林线西罗奇二号隧道,牙林线岭顶隧道由于防排水及隔热保温层技术处理不妥,造成衬砌混凝土冻胀开裂、酥碎、剥落、挂冰、侧冰及线路多水、积水、线冰等病害,严重威胁行车安全,降低隧道使用寿命。

冻土隧道防排水应遵循“防、排、截、堵,多道防线,综合处理”的原则,考虑到环保要求,以防堵为主,排截为辅。其整体结构如图2所示。

5.1 排水

在一衬混凝土与防水板之间设 $\varnothing 50$ mm环向软式透水管(间距为5~10 m),用三通管与墙脚 $\varnothing 100$ mm PVC纵向盲沟相连, $\varnothing 100$ mm PVC纵向盲沟用三通管与 $\varnothing 50$ mm PVC泄水管相连,这样衬砌混凝土背后的水便可及时排入洞内的保温水沟内。

5.2 堵水

在初期支护中系统径向锚杆采用中空锚杆,使用NZ130A型锚杆专用注浆泵对围岩注浆,形成阻截活水的第二道屏障。

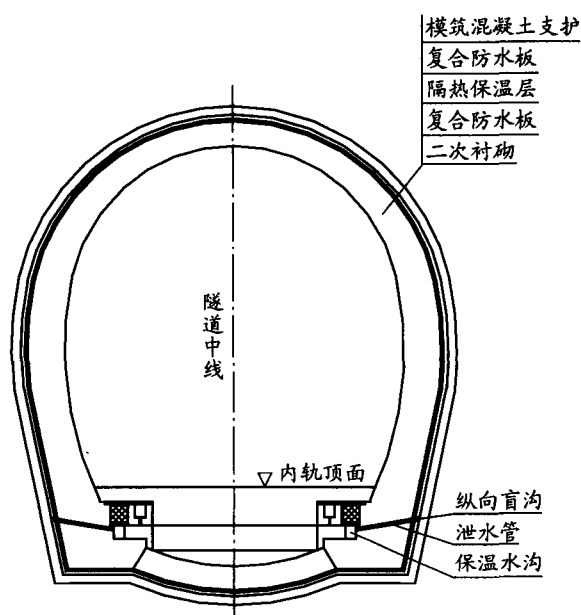


图2 隧道防排水、隔热保温层结构

5.3 防水与隔热保温层

在一次衬砌与二次衬砌之间设防水与隔热保温层,结构形式为复合式防水板+保温板+复合式防水板,沿隧道全断面铺设,使得隧道主受力结构二次模筑衬砌完全与地层隔离。施工工艺如下:

(1)搭设防水板及隔热保温层的作业平台。

(2)清理一衬混凝土支护表面。

(3)在一次衬砌混凝土表面均匀涂刷OP型树脂胶,待胶风干至不沾手时(约3~4 min),拉直第一层防水板,用小滚筒缓慢推压防水板,使它与混凝土表面粘结牢固、平整。下一环与上一环焊接的搭接长度不小于10 cm,接缝用土工膜TH-5型焊接机热焊。防水板破损处、漏焊处使用DSH-2型焊枪补焊、找平。

(4)在第一层防水板上涂刷OP型树脂胶,待胶风干至不粘手时,将PV聚氨酯板(规格为2.0 m×0.5 m×0.05 m)平整粘贴在第一层防水板上,轻压保温板使粘贴牢固,在粘贴下一块保温板时,在已粘贴的保温板的侧边和待粘保温板侧边涂抹TN-1型聚氨酯粘结剂厚1~2 mm,待风干至不粘手时(3~4 min),粘贴轻压。

(5)在保温板上均匀涂刷OP型树脂胶,待胶风干至不粘手时,拉直第二层防水板,用小滚筒缓慢推压,使之与保温层粘结牢固、平整,接缝处理同第一层防水板。

风火山隧道厚层地下冰地段施工技术

刘万奇

(中铁二十局集团第三工程有限公司 陕西咸阳 712000)

摘 要 介绍青藏铁路风火山隧道厚层地下冰地段施工技术,包括明洞开挖,隧道暖季施工,有轨运输,喷混凝土,全断面铺设隔热保温板技术。

关键词 冻土隧道 厚层地下冰 施工

1 工程概况

风火山隧道全长 1 338 m, 轨面高程 4 905 m, 山顶海拔 4 996 m, 隧道最大埋深约 100 m, 最浅覆盖层仅 8 m, 年平均气温 -6.11°C , 极端最高气温 23.2°C 。该隧道位于青藏铁路格拉段, 是世界上

海拔最高的多年冻土隧道。隧道地质构造特殊, 主要为含土冰层、饱冰冻土、富冰冻土、厚层地下冰, 泥岩、砂岩、泥砂岩互层及不可预见的灾害性地质。开工以来, 经过不断实践探索, 在含土冰层、饱冰冻土、富冰冻土等施工方面已获得突破性进展。如何顺利安全通过厚层地下冰, 是摆在施工单位面前的难题。

收稿日期: 2003-06-10

防水板的质量控制是本技术的关键, 因此必须建立健全的检查体系。首先, 检查防水板是否被刺破、有孔洞; 其次, 用带气压表的打气筒检查焊缝质量, 将双缝之间的空隙的两端密封, 打气加压至 100 kPa, 保持 3 min 气压不下降即可认为质量合格。因为所使用的胶水具有易燃性与低毒性, 故必须加强通风与防火, 以保障施工安全。

6 施工机械配套

青藏铁路高原缺氧的恶劣条件大大制约了人的工作能力, 因此我们应尽量使用机械作业。在高原缺氧、低温、低压的环境下, 我们既要考虑机械的工作效率较平原地区明显下降, 又要从施工成本角度考虑设备配置的富余系数不宜过大(关键设备的备用系数一般为 1.44)。现以昆仑山隧道 2[#]施工作业面为例阐述一下此问题。

(1) 开挖机械 用自制轨行式简易开挖台车, 分上、中、下三层平台平行作业, 用 15 台国产 YT28 型风钻同时作业, 3 台 20 m³ 空压机供风, 全断面钻眼时间一般在 4 h 左右(进尺 3 m)。

(2) 装渣机械 用 2 台 WZ160 型立爪装渣机装渣, 该装渣机具有挖掘和扒渣的双重功能, 活动范围大。施工中每装一梭矿约 5~10 min。全断面开挖时, 在掌子面铺设双轨道, 2 台立爪交替作业。

(3) 运输机械 由 5 台 12 t 电瓶车牵引 5 台 8 m³ 梭矿出渣, 运输轨道为 24 kg/m 钢轨, 轨距 76 cm。用 2 台 12 t 电瓶车牵引 2 台 JCGY6 型混凝土罐车运送混凝土。

(4) 衬砌机械 一次衬砌简易台车 1 台; 二次衬砌液压式整体性钢模台车 1 台; HBT60A 高原型三一混凝土输送泵 2 台; 2 台 HPD800A 搅拌机形成的搅拌站 1 座; 40B 装载机 1 辆(用于上料); JCGY6 型混凝土输送车 2 台。

(5) 主要喷浆机械 PZ-5-1 型混凝土喷射机 1 台, TK-961 活塞式湿喷机 1 台。

(6) 发电机械 高原型发电机组 400 kW 1 台, 300 kW 2 台。

本隧道的机械配置十分合理, 充分发挥了机械的作用, 因此我公司在施工中连续创造了月成洞超百米的高原冻土隧道施工的好成绩。