

# 饱和性黄土单线铁路隧道施工工法

(TGJGF-03·04-30)

中铁十四局集团有限公司

## 一、前言

我单位承建的宝兰二线新松树湾隧道地处富水饱和性黄土地层。在该隧道的施工中,我们分析了饱和性黄土地质对洞室开挖控制的影响因素,掌握了隧道土体变形破坏的基本规律,确定科学合理的施工方法和先进技术的应用,寻求出适合富水黄土质隧道的合理开挖方式、开挖顺序和支护形式,从而保证了隧道施工安全,为富水土质隧道的修建积累了经验,为同类地下工程施工提供了技术参考。针对该隧道研究开发的《富含水黄土质隧道综合施工技术》分别获得了中铁十四局集团科技进步特等奖和中国铁道建筑总公司二等奖,该隧道《加强防水板施工工艺控制,预防新松树湾隧道渗漏病害》QC小组分别获得了铁道部、山东省“优秀质量管理小组”称号,该隧道被业主兰州铁路局评为“优质示范工程”,施工现场被评为“安全文明标准化工地”,隧道被中铁十四局集团评为了优质工程,正申报铁道部优质工程。在取得上述成果的基础上,我们对该隧道的施工技术进行了总结,形成本工法。

## 二、工法特点

1. 能有效地保证饱和性黄土地层洞室开挖的安全。
2. 技术先进、可行,工序紧凑,施工组织简便。
3. 施工快速,掘进速度可达140m/月,为同类地质条件隧道施工的先进水平。
4. 经济性良好,通过配套技术措施的合理采用和先进控制技术的保障可实现良好的经济性,保证工程项目效益。
5. 适用性强,可灵活应用于不同地质情况的纯土质类隧道。

## 三、适用范围

本工法适用于含水量较大的黄土地质洞室开挖,也可为其它类型软土地下工程借鉴。

## 四、工艺原理

采用数值仿真技术模拟整个隧道的施工过程,预测各个施工阶段的隧道变形、支护结构内力等,为及时采取相应的补救措施提供技术保证。掘进方案以正三台阶为基本开挖方法,通过预留核心土、仰拱紧跟、施工用水控制及三维数值模拟计算、适当加大预留沉降量、根据黄土蠕变特性合理地把握初期支护、二次衬砌施工时机等技术措施,应用管棚技术和双液小导管超前支护技术、土层锚杆施工技术、悬吊法无钉孔铺设防水板技术、仰拱防干扰平台技术、潮(干)喷施工工艺、整体钢模台车衬砌工艺、新奥法施工量测新技术、三维仿真技术等,确保工程施工的安全、经济。

## 五、施工工艺

饱和性黄土质地层,地下水含量丰富,属典型的特殊地质和最软弱围岩地质铁路隧道。单线铁路隧道开挖跨度较小(一般 $\neq 8.5\text{m}$ ),更适合于正三短台阶先拱后墙法开挖并进行初期支护。施工平行作业线流程见图1。

### (一)开挖

#### 1. 地表处理

黄土溶洞与陷穴、直切冲沟等地质病害在黄土地区较为常见,极大程度影响隧道安全掘进,施工前应首先做好地表的察勘和异常情况的处理,常用的处理方法有:

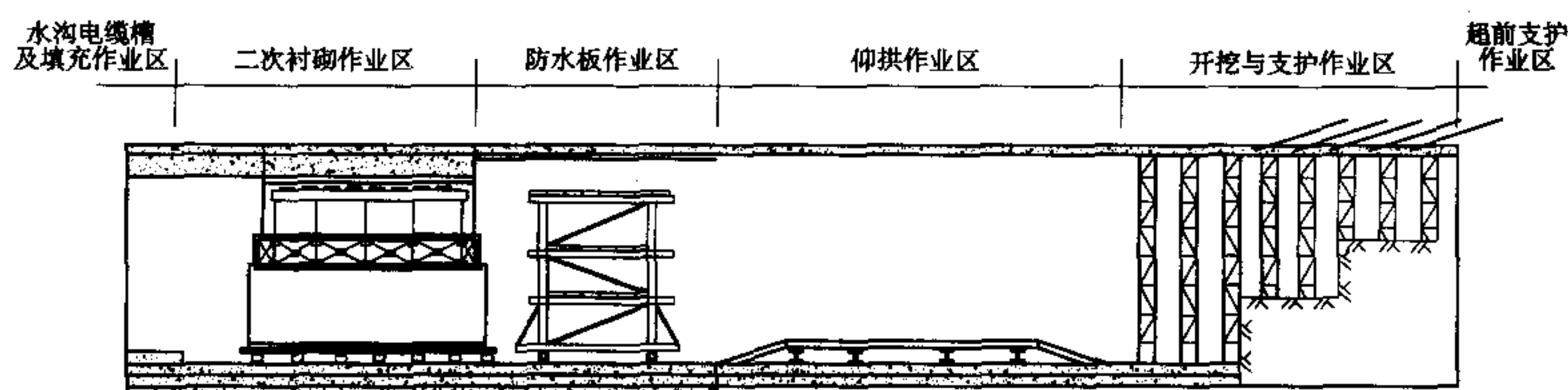


图1 新松树湾隧道平行作业线流程

- (1) 完善地表排水系统,把地表水疏引至不影响隧道施工安全的地方。
- (2) 浅埋段地表采取防渗透封闭措施,并集中地表水,统一排放。
- (3) 对隧道上部的冲沟沟底进行封堵硬化,防止流水下渗,对陷穴、溶洞进行密实回填和封口处理,对隧道上方的居民蓄水窖、水井等进行改建或防渗处理。
- (4) 对隧道施工影响范围内产生安全隐患的建筑物进行拆移或重点监控保护。
- (5) 加强地表沉降、开裂、附近水井水位变化等情况的观测,发现异常,及时采取措施处理。

## 2. 洞口仰坡支护与进洞

进口段一般存在浅埋、滑坡堆积、偏压等不良地质情况,应首先进行卸载、锚喷仰坡防护、管棚或小导管超前支护,然后采用先拱后墙分部施工进洞方案。具体做法是:

(1) 根据设计的仰坡边线位置,由上而下逐层开挖隧道洞门的仰坡至拱顶位置,坡度不小于1:1.5,刷坡后,采用干法打设 $\phi 42$ 钢管或 $\phi 22$ 钢筋锚,挂设钢筋网,喷混凝土防护,并挖砌好排水沟,疏导水流。若洞口位于滑坡堆积体地质或泉眼密布、土体呈软~流塑状极软弱泥状,则应采取深孔注浆或设抗滑桩等加固措施,以确保进洞安全。

(2) 进洞施工实施套拱方案,即拱部先进洞,进洞前先进拱部注浆并用双排(或多排) $\phi 100$ 小管棚超前支护,布置形式与密度设置应根据洞口仰坡土质软弱情况确定,管棚长视进口坡体土质稳定情况确定,新松树湾隧道为6m。在管棚支护下进行上弧导环形开挖,预留核心土以稳定掌子面,每次进尺30cm,快速支立P43旧轨钢架,按3根/m布置,与管棚钢管焊联。当有局部或少量掉土、流泥时,可插入木板挡护。支护进尺一定距离(一般不超过80cm)后,立即立模灌注混凝土形成混凝土套拱,套拱伸出仰坡30~50cm。套拱进尺长1.2m。

(3) 上弧导开挖进尺4m,最大不大于6m,支护每循环进尺控制在80cm,下部剩余土方采用大型机械双侧交错开挖,要注意的是一侧支护完毕后再开挖另一侧。支立钢架后及时在其节点处各施作4根 $\phi 22$ 锁脚锚杆(长5m,径向或偏角 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ),其尾端及在边墙打入的径向锚杆与钢架焊联。每侧开挖完后迅速挂设钢筋网、喷射混凝土,开挖进尺控制在80cm内。暗洞开挖4m后(最大不超过6m)即进行洞身衬砌,及早形成洞口安全段。

## 3. 洞身开挖及支护

### (1) 洞身开挖

①按照“管超前、少扰动、严注浆、短进尺、严治水、强支护、紧封闭、勤量测”的原则进行施工,根据新奥法原理制定技术方案和组织施工。开挖顺序为:上弧导及支护→Ⅱ台阶中部拉槽→Ⅱ台阶马口交错开挖及支护→Ⅲ台阶中部拉槽→Ⅲ台阶马口交错开挖及支护,见图2。

②为确保隧道开挖轮廓符合设计,对于黄土围岩应做好预留量,拱部沉降不稳,一般预留25cm,边墙则每侧预留15cm。模板台车加大轮廓5cm,以防跑模侵限。

③坚持小进尺原则,台阶长度控制在6~8m,每次开挖进尺要按刚架的分布距离进行控制,一般不要超过80cm,且必须及时进行支护作业。下台阶要紧接上台阶施工,尽量缩短其间隔时间。上台阶开挖前先施作超前导管(Ⅰ类围岩)或超前锚杆(Ⅱ类围岩)对围岩进行预加固,为开挖提供牢固的棚状支护结构,然后进行分台阶开挖。上台阶宜采用人工风镐环形开挖留核心土,以增强开挖后的土体自稳能力。上



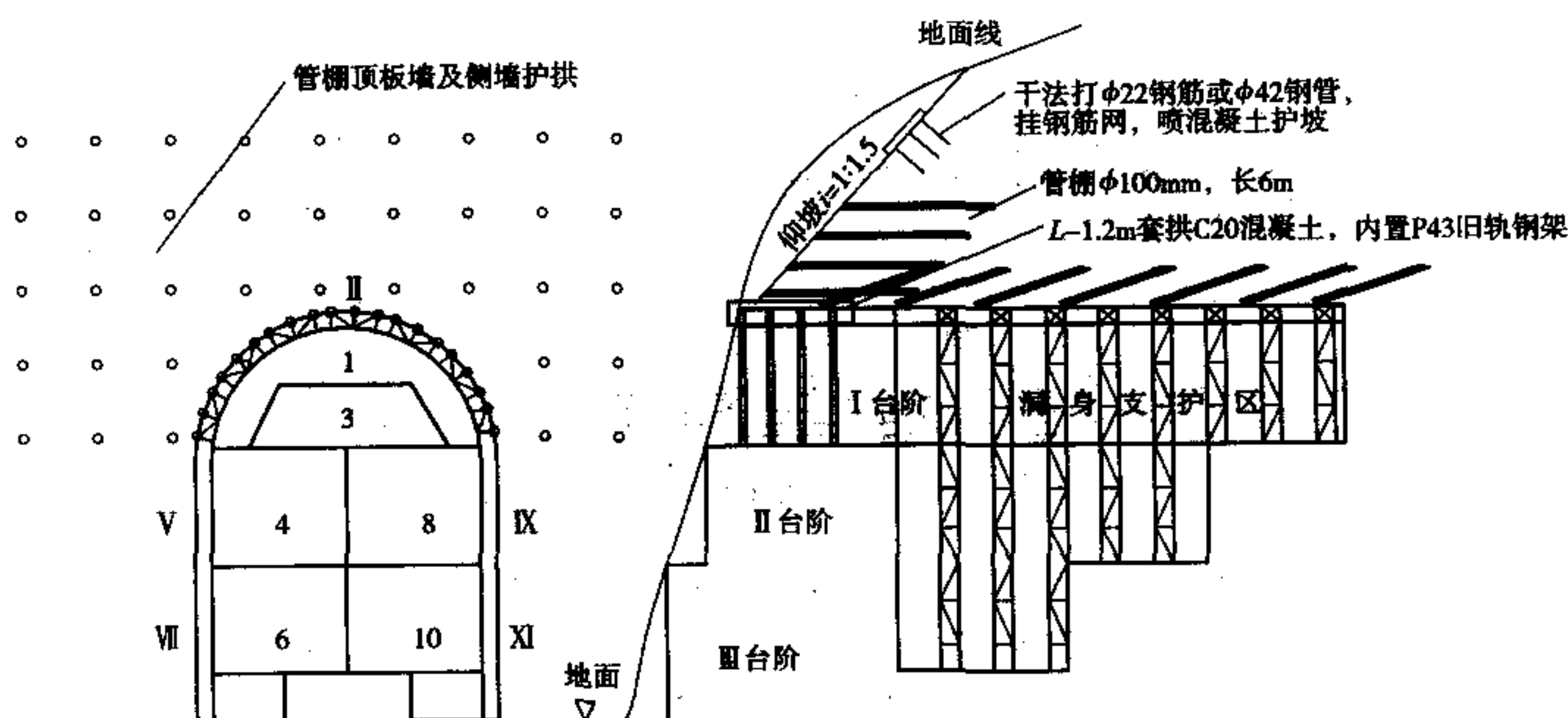


图2 洞口仰坡支护与进洞

台阶开挖完后,迅速初喷混凝土封闭岩面,型钢支撑的施作及与管棚的焊接和锚杆施工要紧跟进行。

④中、下台阶的中部拉槽采用机械放坡开挖,严禁两边侧超挖。上台阶初期支护基底保护襟边不得小于80cm,若土体稳定性恶化,则应适当放大,控制在3~5m。边墙两侧台阶采用人工风镐交错开挖,不得使上部结构同时悬空,每次开挖进尺为一榀型钢支撑间距(不大于100cm),然后立即将拱部型钢接长,局部打锚杆、挂钢筋网,及时进行喷射混凝土支护。

⑤马口开挖要保证上面初期支护向前不小于5m,其布置和长度应结合地质情况、收敛变形值分析等因素进行设计,并严格掌握。马口开挖采取跳槽法进行,左右错开,至少保证3榀刚架错开距离(不小于2m),严禁对开马口,以避免掉拱事故。开挖利用风镐人工进行,严禁超挖。若片帮严重,可由上而下小步距分部开挖,随挖随护,及时打锚杆和喷壁面混凝土,封闭保护。每次马口开挖宽度一般控制在1~3榀刚架范围内( $\leq 2.5$ m)。回头马口必须待相邻边墙初期支护稳定后进行施工。

⑥施工时要特别注意拱脚与墙脚处断面,如超挖过大或片帮过多,应采用浆砌片石回填,严禁片石干码。如发现该处承载力不够,应立即加设锚杆或其他措施进行加固。下台阶边墙初期支护接续到底后,在墙脚处提前施作部分仰拱,及早部分封闭,以限制其横向位移和下沉,并为仰拱防干扰提供支撑,先行施作的部分仰拱可在其上采用钢支撑供运输车辆通过,以节省工序时间和免除干扰。

⑦锚杆一般采用干打锚杆、砂浆锚杆、自进式锚杆、长锚杆等形式,根据具体情况选择使用,长度根据量测的围岩松动圈范围确定。打设系统锚杆前应首先喷设厚5cm混凝土进行壁面封闭保护。土体围岩一般情况建议用干法施工,可利用风锤干打 $\phi 22$ 螺纹钢筋,根据围岩内部应变量测情况,锚杆长度要保证深入松动圈后稳岩层0.5m以上。新松树湾隧道开挖后围岩松动面位于围岩开挖面约3m处,因此锚杆长度采用3.5m。系统锚杆打入土体后具有“串葫芦”效应,故能增强土体整体性,提高围岩自承能力。其抗拔力在土体围岩地质较好的情况下能满足安全要求,且施工快速,无污染。若土体软化严重,则应当采用注浆或砂浆锚杆。锁脚锚杆也可按上述方法施工,但应注意与刚架焊接要牢固,保证数量,倾角控制要准确。实践结果表明,土体锚杆施工宜选用干法作业工艺,而在饱和土应用自进式锚杆和注浆锚杆效果更好。

⑧加强超前地质预报工作,如钻长超前地质探孔,及时进行围岩内部应力、位移等监测,提前分析总结指导施工意见,使技术措施紧跟或超前于地质变化,确保施工安全。

⑨土质隧道开挖后收敛变形量大,要采取可靠措施予以防范:一是要加大开挖轮廓的预留量;二是做好收敛变形的施工监测,及时为施工提供可靠数据;三是做好初期支护,确保初期支护设计结构合理且强度达标;四是科学合理把握各工序施工时机,如开挖顺序、支护时间、二衬施作时机等。这些措施主要依赖新奥法施工的认真监控量测来实现,切实为隧道施工提供科学、准确、可靠的指导意见。

⑩采用杆式多点位移计进行位移量测,并进行围岩内部应力的量测,准确掌握土质围岩松动破坏区(即松动圈)的范围、规模。以此确定支护方案和支护参数。本工法要求系统锚杆要加长,超出松动面不

小于0.5m,超前锚杆加长的同时要加大倾斜角度,以保证加固范围,固结围岩,避免小塌方引致的大塌方事故和片帮。顶部系统锚杆建议采用自进式锚杆,以减小对土质围岩的扰动。

①施工中发现不安全因素应暂停开挖,加强临时支护,以便安排适应性的工序。

## (2) 初期支护

① I类围岩初期支护形式为锚喷、网喷支护和超前支护,全断面含仰拱喷层厚20cm,拱墙挂网并设超前小导管预注双液浆,拱墙采用自进式D30系统锚杆(长1~3m),全断面采用每2m设3榀型钢钢架。

② II类围岩初期支护形式见表1。

表1 II类围岩初期支护形式

φ22 砂浆锚杆(系统锚杆)			钢筋网		钢架		φ22 超前锚杆		
位置	长度/m	间距/cm	位置	间距/cm	位置	间距/cm	位置	长度/m	环向间距/cm
拱墙	3	100×100	拱墙	20×20	拱墙 仰拱	100	拱墙	4	30

③富含水纯土质软弱围岩隧道的支护方法,按照新奥法原理设计锚、网、喷支护、刚架全断面封闭,自进式注浆锚杆、双液小导管超前支护及流塑段管棚和预注浆加固,总之应采取一切可利用手段保证掘进安全。

④初期支护紧跟开挖施工,使围岩与锚喷支护及早共同作用,不产生松弛。

⑤支护与开挖同步施工,分台阶支立和下落初期支护。刚架节点分3层设置,横向联结点分别位于拱脚、边墙中部及底脚,与仰拱刚架联结要及时、牢固。每台阶刚架落基点基底要密实,承载力不够要及时加固,若悬空脱离,要塞填木板挤实挤紧。下台阶施工时,上台阶初期支护保护襟边不小于80cm(拉中槽时预留),机械施工严禁超挖。

⑥钢筋网挂设应在刚架临空侧,以保证与壁面足够空隙。其搭接长度不应小于10cm,与锚杆或刚架点焊要牢固。

⑦做好喷前壁面检查,清除欠挖部位及松动部位,特别是边帮胀松部位。

⑧喷射混凝土选用潮喷工艺,要严格按照其技术法则进行,保证拌合料质量,确保强度。喷射机压力以不大于0.2MPa为宜,应分层喷射,以保证足够密实度,每层厚度控制在8cm以内,分层间隔时间与水泥品种、速凝剂掺量、施工温度、水灰比大小等有关,一般掺速凝剂情况下15min左右,不宜过短。喷射混凝土保证设计厚度,避免厚度不足造成初期支护支撑力量削弱。

⑨超前支护严格按设计参数和工艺施作,杆件数量、仰角、搭接长度一定要准确,注浆质量要可靠,以保证超前支护效果。

⑩制定严密的检验制度,确保支护设计参数和施作质量,要经常检查,及时修补空鼓、剥落部分,应急技术措施要及时跟上,彻底消除安全隐患。

## (3) 避车洞开挖

避车洞开挖施工一般在其位置两侧二次衬砌完成后进行,小避车洞人工风镐进行,大避车洞或会车洞应遵循正洞开挖与支护方案进行。入洞时,边缘应先弯制支立2~3榀刚架,间距不宜大于30cm,与正洞环向刚架焊联牢固后再向内开挖,可分两台阶或全断面一次开挖,进尺仍坚持“短”的原则,锚杆支护或超前支护与正洞相同。应注意的是正洞掘进不预留避车洞位置,正常施作,待开挖避车洞时再割断和凿除边墙初期支护。

## (4) 仰拱施工

①仰拱开挖认真贯彻新奥法施工“紧封闭”的原则,紧跟掌子面进行,以保证初期支护闭合成环,减小水平收敛及沉降幅度。拱部及两侧边墙初期支护下落至底脚并达到设计强度后立即开挖,快速施工,一气呵成。

②为避免隧道底部受挤压隆起,在仰拱部位开挖后要及时施作临时仰拱(采用便于拆卸的钢木支撑结构)以减少水平收敛挤压;若基底较为软弱,则采用向下注浆、打设锚杆或采取预留核心土环形开挖等



措施来防止基底隆起。

③在初期支护前,为防止边墙向内位移,宜加设临时型钢横梁顶紧。对于单线铁路隧道,根据跨度情况可一次挖成一个循环段,每循环段应控制在6m以内。若地质流塑软化严重,应加固基底,进尺宜短,以2~3榀刚架为一循环段。

④仰拱中间大部分土体采用机械开挖,严禁超挖,墙脚处以人工风镐开挖,开挖完毕立即灌注仰拱早强混凝土,以便及早形成受力环。

⑤由于单线隧道断面狭窄,造成仰拱紧跟或超前施工与开挖出渣运输相互干扰严重,为解决这一问题,我局开发了“仰拱防干扰平台”技术,收到了良好的效果。

⑥仰拱内型钢或格栅钢架要及早采用挖槽逐根连接方式与边墙钢架焊连或法兰连接,避免大面积扰动地基。

#### (5) 临时防排水

洞内开挖作业受水的侵害主要为围岩渗透水、注浆作业用水、喷射混凝土用水、衬砌时清洗管道和模板的用水等,防排措施为:

①洞外排水,隧道进洞前在地表处理时建立完善的地表排水系统,做好地表水防渗工作。

②临时排水与仰拱施工和铺底填充相互照应,仰拱施工完后及时进行填充,两侧及早形成排水沟,上坡施工时可自行将水排出洞外,下坡时应采取反坡排水沟措施。

③未施作仰拱和填充段,可采用移动式防渗漏水槽或水管引流至排水沟内,也可于工作面挖防渗漏集水井,统一将施工废水和围岩渗水泵抽至排水沟内。对于暴露的软弱地基,可铺设临时防水板或喷一层混凝土进行封闭,避免水下渗浸泡地基。为避免机械车辆来回碾压扰动原地基,机械车辆通过时应铺木板、竹排,或搭设便桥。

④如作业面涌水,埋设导水管进行疏导,大的涌水应采取预加固措施,进行有效的封堵和疏导。滴水或渗透水小水流采取塞麻筋或竹片引流,大水流可于初期支护背后埋设盲管引流。排水应一次排至临时排水系统内,避免水浸泡土体。

⑤尽最大可能避免施工用水对土体的侵害,清洗混凝土输送管道和模板的废水直接引排至排水系统,或用防渗漏车运至洞外。所有输水管道必须封闭,防渗、防漏。

#### (6) 装渣与运输

出渣运输可选用无轨方式,装渣采用短臂挖掘机或40B侧翻装载机,大型自卸车运渣。当属于长大隧道或特长大隧道时可选用有轨运输方式。

①根据隧道长短、断面大小、施工方法、机具设备等确定装渣运输方案,优化工序衔接,缩短工作时间,减少干扰,与开挖作业效率相匹配。

②隧内会车每300m就大避车洞位置设回车点1处,大大提高工作效率。

③洞内照明要充分,运输道路及时紧跟仰拱硬化,勤清理杂物与废水,保证道路畅通。机械车辆启动要鸣笛,运输车辆严禁超载,洞内慢速行驶,保证机械设备运转良好。

④及时通风,减小灰尘、废气污染。

⑤严格遵守机械车辆安全操作规程,文明操作驾驶,机械回转提前疏散施工人员,做好线、管路和其他机具材料的防护和躲避,以免受到伤害。

#### (7) 施工过程控制监测

在隧道施工过程中,通过土工试验、隧道变形的现场监控量测、三维有限元仿真计算等手段,对隧道的变形规律进行系统研究,将获得的成果用于指导隧道施工,以保证隧道施工安全和工程质量。

①三维有限元仿真与变形预测 施工前采用三维数值模拟技术,进行回归分析,利用现代计算机技术,建立开挖与变形动态模型,预测各个施工阶段的隧道变形、支护结构内力,推算最优施工参数,为及时采取相应的工程措施提供技术保证,还可有选择地利用量测数据采用一种基于支持向量机制的隧道变形预测智能新方法对隧道开挖变形预测进行应用研究,为指导隧道安全施工、完善技术措施和工程设计提供参考依据。

②围岩物理力学性质测试 试验所用土样均取自隧道刚刚开挖出来的原状土,内容主要包括容重、比重、含水量、饱和度、粒径组成、渗透系数、压缩系数、无侧限抗压强度及弹性模量、黏聚力及内摩擦系数、膨胀量与膨胀力等参数的测定和分析,掌握围岩实际土体的真实状态。

③围岩变形监测量测 包括内空收敛的测试和围岩内部位移测试。

④应力应变测试监测 内容包括初期支护与围岩之间径向接触压力、初期支护喷射混凝土的内部应变、衬砌与初期支护间的径向接触压力、衬砌混凝土的内部应变等。

#### (8) 开挖施工控制注意事项

①地质勘测要详细、全面,钻孔个数满足施工需要,必要时可在施工前或施工中补测,以加强超前地质预报技术在指导开挖施工中的应用。

②雨季施工应加强支护。对收敛及应力、应变,量测频率应加大,观测时间延长(一般12~15d)。

③此类围岩地质隧道建议加强初期支护安全储备,采用型钢刚架,发挥其刚度大、强度生效迅速的特点优势,尽量不用格栅刚架。

④提高对水浸危害严重性的认识,尽可能多制定应急技术措施。

#### (9) 施工通风、防尘

隧道供风按在各种不同情况下最大需风量进行计算,应保证每人供应新鲜空气不少于 $3\text{m}^3/\text{min}$ 。通风设备的备用数量一般为计算能力的50%。

土质隧道不宜采用水幕降尘或洒水降尘,应加强通风,勤通风,确保通风运转良好。施工人员佩带防尘面罩,用于自身防护。喷射混凝土时,施工粉尘集中,可使用吸集器。

#### (二) 结构防排水系统施工

结构防排水系统施工主要包括软式透水盲管的布设、防水板施工、衬砌施工缝止水条、排水沟等。

##### 1. 软式透水盲管的布设

分散单个漏水点采用直径50mm的软式透水盲管,大股水采用钢管引排,大面积渗透采用大幅复合防水板引排。盲管布设要整齐、紧凑、牢固,避免人为歪斜和下弯、扭结、挤死等现象。软管之间联接采用塑料两通或三通。

##### 2. 防水板施工

选用无钉孔铺设防水板施工技术。主要工作流程为:铺设台车就位→初期支护面检查与修饰→投设挂钉→悬挂防水板→爬焊防水板→充气检验与衬前检查→修补缺陷→合格后进入下道工序。

(1)焊接质量是防水板防水效果好坏的关键指标,应采用双焊带焊接(见图3),充气检查压力不得小于0.1MPa。

(2)吊带绑扎应紧密,绑扎处尽可能使土工布与环钉密贴,以保证环钉与吊带共同均匀受力。

(3)初期支护渗漏水严重,应注意防水板后渗透水的排出,以防出现水囊造成衬砌厚度不够,将防水板焊缝挤开,造成衬砌渗水。容易出现的水囊部位为拱部及轨面以下两侧衬砌施工接缝处,在这些部位应提前加密吊带,增强受力安全储备。

(4)防水板铺设后,衬砌应紧跟,不要超过3d,防水板暴露时间过长会造成吊带强度降低和增加防水板防护工作量,也不利于对初期支护的观测。

(5)初期支护及其背后的内部位移及压力测试导线应通过排水软管由水沟底接出,禁止在防水板上打孔。

(6)避车洞轮廓线与防水板接触处防水难度大,焊缝多,施工时应加强焊缝质量的检查,可在避车洞轮廓线与防水板接触处加设二道透水软管以利及时排水。

##### 3. 施工缝止水条及水沟施工

衬砌施工缝止水条采用矩形膨胀型橡胶止水条,施工时嵌入缝中。仰拱填充完毕在水沟处形成水沟底部流水槽,其上采用先浇注边墙混凝土,再浇注水沟混凝土,盖板采用预制安装。

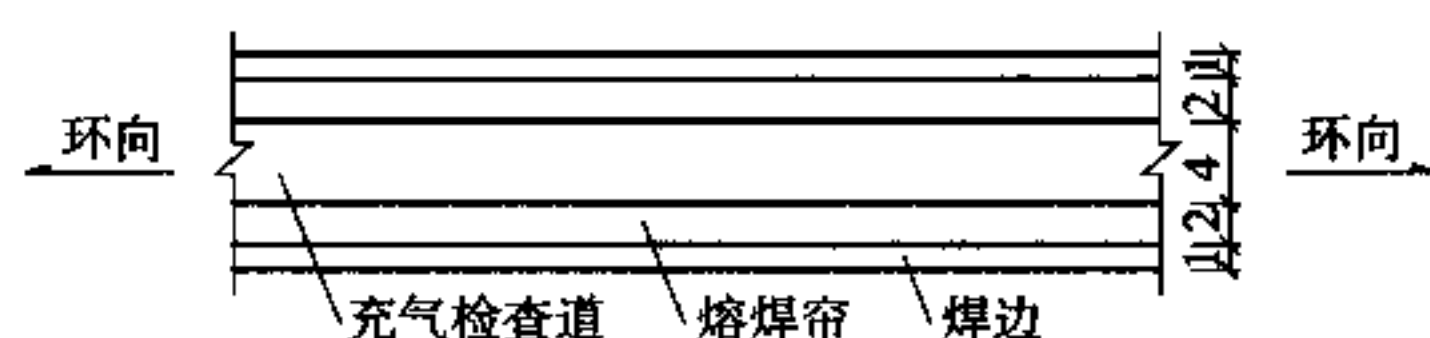


图3 防水板双带焊接(单位:cm)



### (三) 二次衬砌施工

二次衬砌施工选用整体钢模台车全断面衬砌工艺,大型拌合站生产混凝土,混凝土输送车运输,泵送机入仓,边墙采用插入式震动器捣固,顶部采用附着式震动器振实。

对于富含水黄土质围岩,要根据其特性和量测结论把握合理的二次衬砌施工时机。二次衬砌应紧跟,距离掌子面距离应控制在 50~60m 以内,最大不超过 80m,尽量缩短初期支护暴露时间,必要时可隔段进行二衬。一般富含水纯黄土地质条件下的初期支护 7~15d 即趋于稳定,二衬应在初期支护完成后 15~20d 内完成,最晚不要超过 25d。值得注意的是此类围岩收敛稳定一段时间后仍可能发生一定的收敛变形,这是因为开挖后,土体内水丰富,松动区渗透系数增大,地下水重新渗集,应力二次重新分布,当初期支护支承能力已不能承受时,甚至会发生大的突变破坏,因此在初期支护第一次趋于稳定后要尽快进行二衬。

### (四) 施工供风、供电、供水

隧道施工供风、供电、供水组织应科学合理,既满足施工需要,又节约,制定方案前应根据隧道工程情况进行细致的计算。

## 六、机具设备(见表 2)

表 2 机具设备

序号	设备名称	规格	单位	数量	主要用途	备注
1	短臂挖掘机	PC-60 型	台	1	中槽等部位挖土	
2	侧翻装载机	ZL50C 型	台	1	装渣	
3	自卸汽车	东风 10t	辆	6	运渣及料具倒运	
4	拌合站	高架式 4500L	座	1	拌制混凝土	
5	拌合机	JS350 型	台	2	拌制混凝土或砂浆	备用
6	混凝土输送泵	HB-60 型	台	2	泵送混凝土	
7	变压器	500kVA	台	1	调节电压	
8	发电机	200kW	台	1	提供电源	备用
9	钢筋加工机械		套	4	制作钢筋	
10	型钢冷弯机	自制	台	2	弯制型钢刚架	
11	电焊机	135-300 型	台	4	焊接金属	
12	空压机	15m <sup>3</sup> /min	组	1	提供高压风	
13	通风机	88-1 型	台	2	洞内通风	1 台备用
14	干喷机	转体式	台	3	潮喷混凝土	
15	污水泵	LS618-18	台	6	排除施工废水和渗水	
16	整体钢模台车	全液压	台	2	二次衬砌	
17	防水板台车	简易	台	1	挂设防水板及敷设盲管	
18	自行爬焊机	可控温	台	6	防水板焊接	2 台备用
19	仰拱防干扰平台	自制	台	2	仰拱施工	
20	混凝土输送泵车	HDJ5250 型	台	3	运输混凝土	
21	风镐		台	12	洞内人工开挖	
22	风动凿岩机	YZ-28 型	台	8	围岩钻眼	
23	单液注浆泵	HFV-2D 型	台	2	砂浆锚杆施工	
24	管棚钻机	金星 9000 型	台	1	管棚施工	
25	双液调速注浆泵	2TGZ120/150	台	1/1	小导管施工	

## 七、劳动组织(见表 3)

## 八、质量控制措施

1. 建立健全质量保证体系,推行 ISO9000 标准,进行工程全面质量管理。完善内部承包责任制,制定质量奖惩办法,将工程质量与个人利益挂钩。

2. 制订创优规划,确保工程质量达到建设单位工程质量标准要求,并根据创优规划,认真组织落实各项措施。

3. 在全体工作人员中,不断进行质量教育,建立工程质量终身责任制。对关键工艺、工序实行技术人员跟班作业,指导、监督质量保证措施的实施。

表3 劳动组织

序号	专业分工	人数	主要职责
1	现场保证(勤杂班)	12	施工用水、用电,高压风供应,洞内通风,道路与现场清理,洞内清洁,保卫值勤等
2	开挖与支护班	75	开挖作业、支护作业、构件制作等
3	出渣运输班	10	装渣,运输,弃渣场平整
4	仰拱铺底班	12	仰拱铺底和洞内水沟施工
5	防水板施工班	8	防水板敷设
6	二次衬砌班	15	二次衬砌灌注,台车移位与养护
7	混凝土和砂浆供应班	40	混凝土和砂浆拌制、运输供应,拌合站维修
8	修理班	8	机具设备和各种器具的维护、修理
9	其他	10	

说明:此表劳动力配置,考虑了三班制、工序间调配等部分因素,合计190人。

4. 严格执行“三检制”,把好原材料进场关、检验关、使用关,不合格材料不准进场。

5. 注重“四新”的应用。实施严格、全面的施工监测,实施动态施工控制和管理。

### 九、安全措施

1. 建立健全安全管理机构和安全工作规章制度。成立强有力的领导班子,建立健全安全保证体系,领导挂帅,全员参加,安全长具体负责,组织实施对该项目的安全管理,保证工程安全贯穿施工全过程。

2. 加强安全生产教育,提高全员安全意识,明确技术标准和控制措施。

3. 建立安全岗位责任制,逐级签订安全生产包保责任状,明确分工,责任到人。

4. 每一工序开工前,做出详细的施工方案和实施措施,报有关部门审批。在进行技术交底的同时还要进行详细的安全施工交底。

5. 抓好现场管理,搞好文明施工,经常保持现场管线整齐,加强用电管理,达到灯明、路平、无积水。易燃、易爆物品仓库要设专人防守,危险区要设有栏杆和标志,备齐消防器材,并能防盗。生活区、拌合站、加工场,要符合防洪要求

6. 坚持经常和定期安全检查制度,及时发现事故隐患,堵塞事故漏洞,结合安全事故的规律和季节特点,重点防范,并实行奖惩制度。

7. 应用先进技术,开展科技攻关与技术创新活动,是实现软弱、复杂地质条件隧道施工优质、高效、安全施工的先决条件。

8. 做好方案论证,认真对围岩性质进行分析,明确工程地质特点,找准影响因素,制定具有针对性的技术措施,强调抓好落实和方案的科学优化。

9. 强化监测,把现场量测数据和得出的结论与工程实际密切联系起来,使之切实起到指导施工的目的,同时以此为先决条件,做好技术优化。

10. 施工前精心策划,充分领会新奥法原理,利用先进技术对围岩开挖变形情况作出具有指导意义的预测,做好预警方案,准备好相应的机具设备和材料。

### 十、经济指标分析

本工法施工快速、安全可靠,技术先进可行,应用在单线铁路隧道的经济概略指标约为3.2~3.6万元/延长m(I类围岩/II类围岩),对于同类围岩地质隧道,经济性能良好,同时施工速度提高20%以上,按同等条件施工,可节约成本1200~1600元/延长m,工程项目效益显著,具有很好的推广前景和应用价值。

### 十一、工程实例

新松树湾隧道为增建宝(鸡)兰(州)二线的右绕单线电气化铁路隧道,地处甘肃省陇西县境内,全长1726m,该隧道地质为I、II类围岩,地质特征为富含水黄土质,地层较单一,为上更新统冲积黏质黄土和中、下更新统冲洪积杂色砂黏土(Q1~2),地层土质较匀,具有II级自重湿陷性,土体内含有盐碱成份,地下水丰富,主要为上层滞水及裂隙水和囊状水,具有侵蚀性。地层内土体属强崩解性和弱膨胀性。土层内土体天然含水量24%~31%,饱和度100%,液限28.0%~30.4%,塑限16.6%~19.2%,多为可塑状(局



部为软塑~流塑状),自然承载力 100~150kPa,土层内不规则层理发达,富含裂隙水,土体渗透系数达到了  $3.98 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ,隧内渗透水量 22~28m<sup>3</sup>/d。土体的稳定性极差,开挖后自稳能力极弱,属于铁路隧道中最软弱、稳定性最差的不良地层,施工难度很大。该隧道全长采用曲墙有仰拱衬砌断面,采用模筑混凝土整体衬砌和复合衬砌,混凝土中掺 WQ 防腐剂。洞内两侧设普通高式水沟排水,拱墙设 EVA 防水板,内衬土工布,拱墙设  $\phi 50$  环向和  $\phi 100$  纵向软式透水管。

新松树湾隧道于 2000 年 12 月 5 日开工,至 2001 年 12 月 25 日贯通,较计划工期缩短了 63d,历时近 13 个月,单工作面平均月成洞 83m,最高月进度 140m,为国内同类地质围岩隧道施工先进水平,2002 年 7 月通过兰州铁路局验收,并投入运营,至今使用情况良好,未发现任何质量不良现象,结构无一处渗漏水点,竣工二年来未发现渗漏水等任何质量异常情况,真正做到了“不渗不漏”,质量评定优良。该隧道施工全过程未发生一起安全事故,取得了很好社会效益和经济效益。

执笔:刘全清