

# 小半径双曲线变截面浅埋高围岩隧道施工技术应用

董尚书

中铁六局集团北京铁路建设有限公司

**摘要:**新建九景衢铁路四标段昌江隧道为“S”曲线隧道,全长530m。全隧浅埋偏压且断面变化多且频繁;隧道曲线较多,弯曲半径较小;洞口浅埋段岩体破碎,易坍塌。针对施工风险等级,施工中在入洞口处理、S型曲线台车布置等方面采取了较灵活的办法。本文结合新建九景衢四标段昌江隧道的施工情况对小半径双曲线变截面浅埋高围岩隧道施工技术具体应用进行简要的介绍,是笔者在施工中一些个人的理解和认识,供大家参考。

**关键词:**小半径;双曲线;变截面;浅埋;施工技术应用  
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2020.11.122

## 一、工程概况

### (一) 工程概况

昌江隧道全长530m铁路双线隧道,满足大型机械养护条件,隧道内线间距为4.4~5.309m。隧道内铺设砟轨道,直线地段轨道结构高度为766mm。隧道IV级围岩40m,V级围岩490m。隧道进出口采用单压式明洞门,位于4.2%的下坡。隧道洞内设置双侧水沟与中心矩形盖板水沟、双侧电缆槽;隧道内共设综合洞室1处,洞室内预留余长电缆腔等设施,设通信过轨;接触网、电力、通信设接地装置;隧道内设置固定电力照明。

### (二) 工程重难点

1. 施工工期紧、难度大;
2. 围岩级别高、埋深浅(0~38m),风险等级高,洞口浅埋段岩体破碎,易坍塌,隧道施工中采用的开挖方式多,且各个开挖方式之间交错进行;
3. 隧道为曲线隧道,隧道截面加宽地段多,加宽类型多,施工成本高,二衬施工难度大,进度慢。

## 二、总体施工方案

昌江隧道为双线隧道,隧道采用进出口双向掘进,按照围岩级别不同,主要采用明挖法、四步CD法、三台阶法、三台阶临时仰拱法四种开挖方式,双线隧道内空间相对富余,采用挖掘机、装载机配合自卸车运出渣,渣土运至昌江隧道弃土场,开挖采用凿岩台架进行凿岩作业,湿喷机喷射混凝土支护,采用液压衬砌台车二衬施工,钻爆采用非电毫秒雷管弱爆破,采用轴流风机压入式通风,混凝土在洞外搅拌站集中拌制,罐车运输,泵送浇筑,机械振捣。

### (一) 施工流程

施工准备→进洞口处理→洞顶截水沟→明暗直立开挖面→边仰坡防护→暗洞段长管棚→超前地质预报→暗洞开挖→初次支护→仰拱开挖及浇筑砼→铺设防水板→拱墙二次衬砌→隧道附属工程

### (二) 施工安全步距

根据当时铁建设[2010]120号文规定,隧道IV、V级围岩封闭位置距离掌子面不大于35m;IV级围岩二衬距离掌子面不大于90m,V级围岩不大于70m。施工中按照铁建设[2010]120号文以及设计图纸说明的步距进行施工。

### (三) 进尺控制

隧道围岩级别高,为防止坍塌事故发生,施工过程中进尺控制在一榀工字钢架宽度(0.6~1.0m)。

## 三、小半径双曲线变截面浅埋高围岩隧道施工技术适用范围

不同地形和地质条件下,结合围岩、支护的变形监测,对围岩状况进行分析,及时修正开挖、支护参数,充分利用和选

择“四步CD、三台阶临时仰拱、三台阶”等工艺,进出口洞口浅埋偏压,岩性较软,节理裂隙发育采用单压式明洞法开挖;对于浅埋,全~强风化地段,岩体破碎,浸水易软化地段采用四步CD法;弱风化,岩体较稳定,节理较发育,无地下水地段采用三台阶临时仰拱法或三台阶法。

## 四、小半径双曲线变截面浅埋高围岩隧道施工技术应用

### (一) 施工流程

施工前先对场地进行清理和平整,完成生活区、生产区布置。组织学习、审核施工图纸和实施性施工组织设计,制定安全保证措施,编制应急预案,进行技术、安全交底。

#### (1) 截水天沟、边仰坡防护

按设计要求测量放样边仰坡及2顶截排水沟,排查影响安全的岩堆及孤石予以清除或及时防护。边仰坡按永久坡率采用人工配合挖掘机由上而下分层开挖,每层高度2~3m,及时喷锚支护;截水天沟分段开挖分段浇筑,弃渣运至弃渣场。

#### (2) 超前支护

隧道明暗分界处设置导向墙,导向墙采用C20混凝土,截面尺寸为1\*1m,导向墙基础设置在基岩中,导向墙内设2根I18工字钢架,钢架外缘设 $\phi 140$ 壁厚5mm导向钢管,钢管与钢架焊接。设计大管棚的倾角1~3°,但在施工过程中考虑因钻具漂移、钻头钻杆下垂引起的钻孔偏差以及隧道纵坡的影响,一般调到4~6°。钻孔先从两侧开始,对称向拱顶钻孔顶管,使下部注浆体有力地支托其上部钻进和顶管。待成孔后认真进行清孔,经检查合格后,利用机械顶进预制好的钢管,人工配合接管,使两节钢管联接成一体。最后进行注浆,水灰比为1:1(重量比),压力0.5~2.0MPa全孔一次性注浆。

### (二) 超前地质预报

本隧道采用的超前地质预报方法如下:

1. 地质素描每30m一次,地质条件变化时每循环一次。
2. 可能存在断层等长距离弹性波反射法探测,每100m一次。
3. 物探异常地段中距离超前钻孔1孔探测。
4. 加深炮孔1孔贯通。

### (三) 洞身开挖

#### (1) 机械配合人工开挖

隧道埋土深度小于8m地段,为了稳定工作面,防止出现坍塌冒顶现象,采用人工配合机械方式进行开挖掘进。结合设计加固方式采取超前大管棚、超前锚杆、超前小管棚、超前预注浆等辅助施工措施进行超前加固,及时完成的临时支撑墙,确保现场施工安全。

#### (2) 爆破开挖

根据超前预报围岩的实际情况设计合适的钻爆方案,根据开挖方法,确定每开挖循环进尺,炮眼深度,确定使用直眼掏槽或斜眼掏槽,开挖周边眼与辅助眼间距、布设方法选择合理,确定周边眼、辅助眼、掏槽眼、底板眼的装药方法、装药量,爆破的先后顺序,雷管的段别,炮眼间的起爆网络,引爆雷管使用电雷管。在开挖过程中,根据爆破效果和围岩的监测数据,不断修正爆破参数。主要光爆参数如下表:

| 岩石类别 | 周边眼间距 E (cm) | 周边眼抵抗线 W (cm) | 相对距离E/W  | 装药集中度q (kg/m) |
|------|--------------|---------------|----------|---------------|
| 硬岩   | 40~50        | 50~60         | 0.8~0.85 | 0.15~0.25     |
| 软质岩  | 35~45        | 45~60         | 0.75~0.8 | 0.07~0.12     |

#### (3) 掏槽方式

采用斜眼掏槽。

(4) 装药结构及堵塞方式

周边眼装药采用小直径药卷间隔装药结构；其他眼均采用连续装药结构。所有装药炮眼用炮泥堵塞，周边眼堵塞长度不小于30cm。

(5) 爆破效果监测及爆破设计优化

爆破效果检查项目主要有：断面周边超欠挖检查；开挖轮廓圆顺度，开挖面平整检查；爆破进尺是否达到爆破设计要求；爆出石渣块是否适合装渣要求；炮眼痕迹保率，并在开挖轮廓面上均匀分布；两次爆破衔接台阶不大于10cm。

爆破设计优化：每次爆破后检查爆破效果，分析原因及时修正爆破参数，提高爆破效果，改善技术经济指标。根据岩层节理裂隙发育、岩性软硬情况，修正眼距，用药量，特别是周边眼；根据爆破后石渣的块度大小修正装药参数；根据开挖面凹凸情况修正钻眼深度，使爆破眼底基本落在同一断面上。

(6) 炮眼深度

根据隧道断面尺寸及施工经验确定采用三级复式楔形掏槽，掏槽眼深度分别为1.6m、3.02m、4.41m，掏槽眼布置在断面中下部。

周边眼：按要求采用弱爆破，周边眼间距为50cm，深度3.5m，采用间隔装药，结构见下图

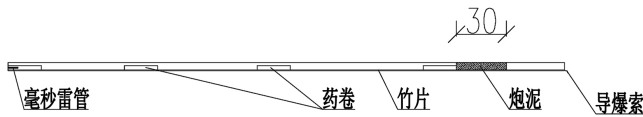


图3 间隔装药结构

掏槽眼：间距取1.0m，深度分别为1.6m、3.02m、4.41m，连续装药。

辅助眼：间距取1.0m，深度3.5m~3.7m，连续装药。

内圈眼：间距取1.0m，深度3.5m，连续装药。

底板眼：间距取0.7m，深度3.7m，连续装药。

(四) 开挖方式转换

根据围岩的软弱状况和隧道断面，结合工期、专业要求及设计情况，按照“统筹规划、均衡生产、平行施工、立体展开”的原则，以少扰动为宗旨，把开挖对围岩的损伤程度控制在最小限度，最大限度的发挥围岩的自稳能力，选择明挖法、三台阶法、三台阶临时仰拱法、四步CD法等开挖方法，期间进

行了12次开挖方式的转换，确保隧道的施工和隧道主体安全。

(1) 明挖开挖

针对隧道进出口均为单压式明洞门，进口风化层较厚，浅埋段等地表水易汇集，岩体风化破碎，为防止垮塌采用明挖法挖至埋深8米位置，施作偏压挡墙及边坡防护，按设计坡率逐层开挖逐层喷锚防护。

(2) 四步CD转三台阶或三台阶临时仰拱

隧道明暗分界处施作导向墙及超前支护，采用四步CD法开挖进洞至Vb级围岩处转三台阶或三台阶临时仰拱开挖。

1. 确定开挖方式转换里程界面，先行施作超前支护，四步CD的中隔壁临时支护停止施作，钢架（或临时钢架）应设锁脚钢管，且必须对锁脚钢管进行注浆，以确保钢架基础稳定。

2. 按三台阶工序开挖上台阶，小型挖机配合从隧洞两侧沿轮廓弧线向中心开挖；及时施作导坑周围初期支护、钻设系统锚杆施作横向临时支撑；

3. 上台阶每循环开挖支护进尺V级围岩不大于1榀钢架间距，IV级围岩不大于2榀钢架间距，上台阶长度不得大于15m，掌子面稳定性较差时，可预留核心土保证掌子面的稳定，核心土长度宜3~5m。

4. 在滞后上台阶一定距离后，弱爆破开挖②部；边墙每循环开挖支护进尺不得大于2榀钢架距离，中台阶长度不得大于15m。

5. 在滞后中台阶一定距离后，弱爆破开挖③部，施作钢架锁脚锚杆完成后拆除仰拱6~8m范围内临时中隔壁钢架，开始开挖仰拱，仰拱每循环开挖进尺不得大于3m。浇筑该段内仰拱及填充。

6. 接长中隔壁临时钢架，使得钢架底支撑于仰拱填充顶面。待初期支护收敛后，逐段拆除临时钢架，利用衬砌模板台车一次性浇筑二次衬砌。隧道开挖后初期支护应及时施作并封闭成环，IV、V级围岩封闭位置距离掌子面不得大于35m。

(3) 三台阶或三台阶临时仰拱转四步CD

1. 确定开挖方式转换里程界面，先行施作超前支护，钢架（或临时钢架）应设锁脚钢管，且必须对锁脚钢管进行注浆，以确保钢架基础稳定。

2. 按四步CD的工序分台阶开挖①、②部，逐步施作导坑周围的主体结构的初期支护和中隔壁临时支护，架立隧道钢架和接长临时钢架，钻设系统锚杆；同时①部掌子面及时喷射混凝土封闭，台阶底部架设临时钢架及时喷射混凝土封闭，并设锁

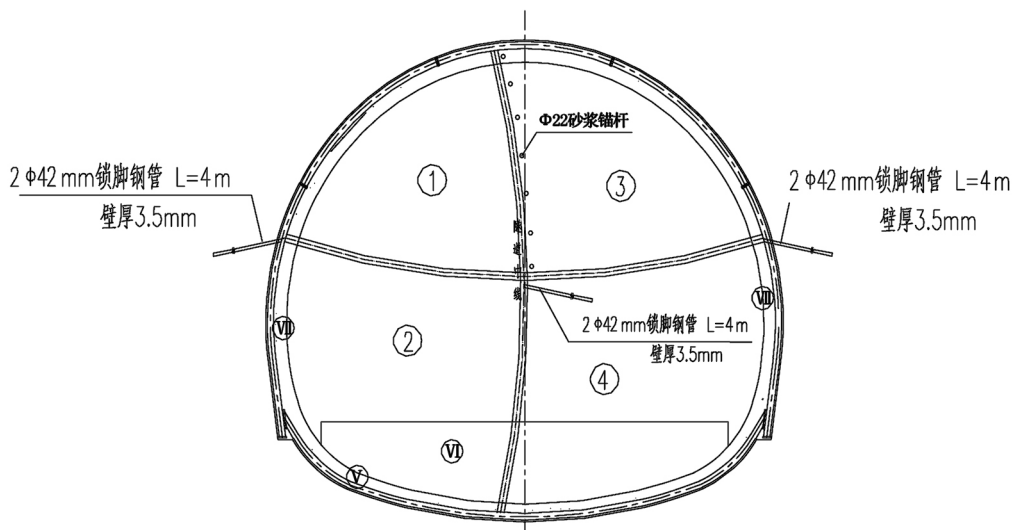


图4 四步CD法施工断面图

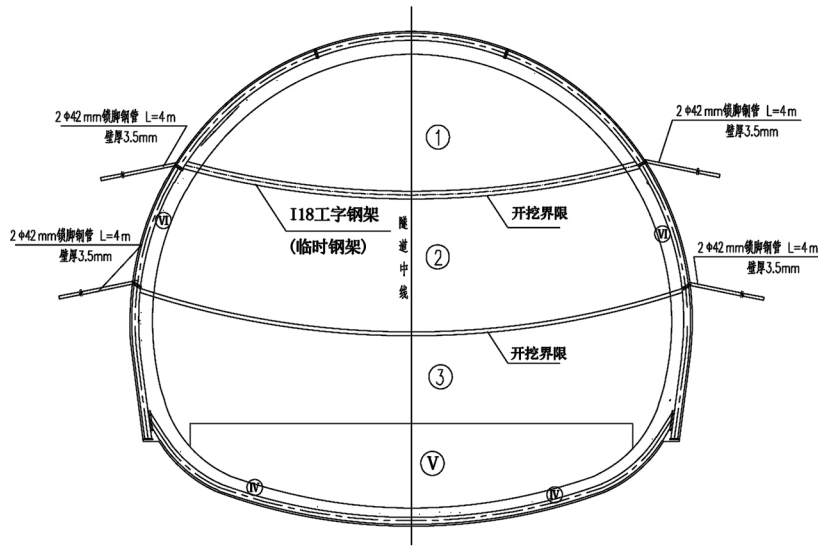


图5 三台阶临时仰拱法施工断面图

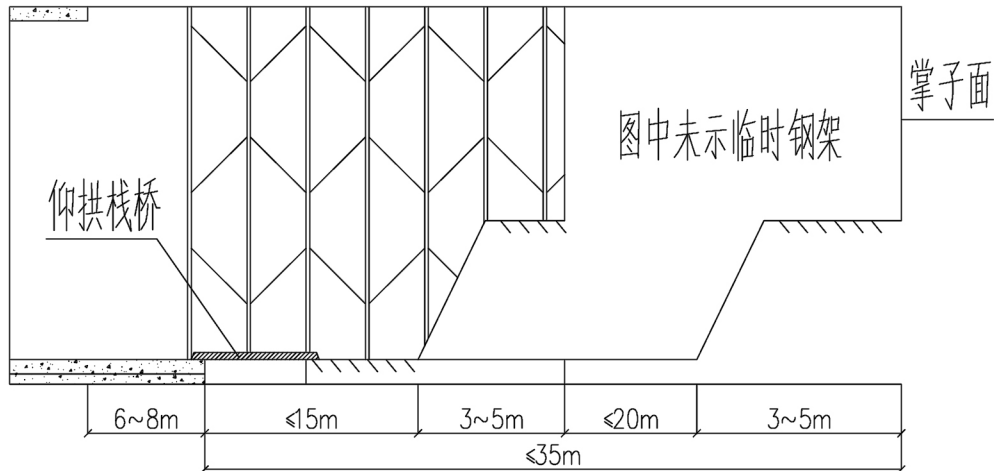


图6 开挖断面图

脚钢管。③分台阶开挖③、④部。除中隔壁部分临时钢架已施工完毕外，其余步骤参见第一步工序。

3. 拆开挖尾部靠近二次衬砌仰拱6~8m范围内临时中隔壁钢架，浇筑该段仰拱及填充。随后接长中隔壁临时钢架，使得钢架底支撑于仰拱填充顶部。

4. 上述步骤逐步循环。并根据监控量测结果分析，待初期支护收敛后，逐段拆除临时钢架，利用衬砌模板台车一次性浇筑二次衬砌。

(五) 初期支护

初期支护施工工序为：超前支护措施（超前管棚、超前小导管）→开挖后初喷4cm厚混凝土→系统支护（锚杆、钢筋网、型钢钢架或格栅钢架）→复喷混凝土至设计厚度。

(六) 仰拱开挖及浇筑

(1) 仰拱开挖

施工前应测量放样，仰拱基坑开挖长度软弱围岩段不得大于3m，开挖宜采用机械开挖，硬质岩可采用弱爆破，避免对初期支护结构造成破坏，及时清理隧底的浮渣、杂物，若渗水较多时，采取截堵或引排措施，应立即进行仰拱初期支护及仰拱二次衬砌施工。

(2) 仰拱浇筑

采用24m仰拱栈桥减少其与出碴运输的干扰，施工前应将隧底虚碴、杂物、泥浆等清理干净，超挖部分采用同等级砼回填。仰拱、仰拱填充采用分开浇注，且仰拱初支、仰拱、仰拱填充之间错茬30cm以上，可以避免仰拱与仰拱填充通缝渗水。混凝土采用溜槽自中间向两侧对称浇筑，用插入式振捣器振捣密实。待仰拱砼终凝后进行仰拱填充施工，其工序同上。

(3) 拱墙及二衬施工

拱墙衬砌根据量测情况在围岩及初期支护变形基本稳定后进行，并对其变形缝及施工缝进行有效处置，拱墙采用模板台车衬砌，每环在拱顶预留压浆管和排气管，保证拱顶混凝土与围岩密贴。

结合九景衢铁路工程整体铺架工期节点要求，考虑到本为小半径双曲线隧道，加宽值多且变化频繁，避免二衬接茬错台过大，制作定型可调断面台车，长度定为8m来完成二衬的浇筑，当台车完成一种加宽值的暗洞二衬段，将台车退出洞外，将其断面变更加宽值；通过各台车之间有序的衔接，最终高效的完成了所有二衬的浇筑。

二衬的台车定位前再次检查防水板、钢筋安装质量，预

(下转第361页)

表 东北某市城乡结合部水系治理项目水体污染物丰水期削减量核算对比表

| 序号 | 工程名称              | 项目      | 现状入河污染物 (t/a) |       | 工程削减负荷 (t/a) |       | 工程实施后入河污染物 (t/a) |       |
|----|-------------------|---------|---------------|-------|--------------|-------|------------------|-------|
|    |                   |         | COD           | 氨氮    | COD          | 氨氮    | COD              | 氨氮    |
| 1  | 截污纳管              | 排污口     | 85.07         | 2.48  | 85.07        | 2.48  | 0                | 0     |
| 2  | 植草沟、生态池塘、干<br>厕设施 | 降雨径流    | 69.39         | 13.88 | 34.70        | 2.78  | 34.70            | 11.10 |
| 3  |                   | 人、畜排放废物 | 51.32         | 3.50  | 25.66        | 0.70  | 25.66            | 2.80  |
| 4  | 原位处理设施            | 牲畜排放废水  | 25.28         | 4.77  | 19.16        | 4.53  | 6.12             | 0.24  |
| 5  | 卫生集中清运            | 存量垃圾    | 68.25         | 8.91  | 68.25        | 8.91  | 0                | 0     |
| 6  |                   | 生活垃圾    | 81.81         | 10.69 | 81.81        | 10.69 | 0                | 0     |
| 7  | 初期雨水处理            | 初期雨水    | 61            | 12.28 | 42.98        | 1.23  | 18.02            | 11.05 |
| 8  | 清淤                | 淤泥      | 2.214         | 0.367 | 2.214        | 0.367 | 0                | 0     |
|    | 合计                |         | 444.34        | 56.88 | 359.84       | 31.68 | 84.50            | 25.19 |

位处理、干封式农村厕所、河道清淤疏浚及岸边垃圾清除等；生态修复主要采用了岸带修复与景观提升、生态塘及一体化太阳能解层曝气增氧等。另外根据需要增设移动式旁路处理设备，作为局部突发水污染应急处理措施。

### 三、不同工程措施对污染负荷的削减对比分析

根据项目流域水环境现状调查，引起水质黑臭的指标主要包括透明度、溶解氧含量、氧化还原电位、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)等，其中氨氮浓度是黑臭水体治理效果的定量指标，可以通过具体的计算办法定量分析。其他三项指标主要以现场查看或检测值来获取。对污染物削减预测与消减量分析计算是判断工程措施效果的关键。本次项目治理汇水范围内水污染源有除了工农业生活、生产设施各种排污口，还有初期雨水、降雨(农田)径流、城乡生活污水、生活垃圾和人畜排放废物等。一般来说，丰水期雨水较为充沛，随雨水径流携带的污染物种类也较多，含量也相对较高，入河的污染物的量也较大，属于最不利的情况；枯水期，除了排污口等污染源排放的污染物的量一般不能大量的入河，入河的污染物的量相对丰水期来说也较少。本项目COD和氨氮污染量丰水期全年占比80%以上，所以现状污染物入河量、不同工程措施削减负荷、工程实施后入河污染物的量一般按最不利的情况进行分析计算。具体见下表。

从以上对比分析可以看出，不同措施对污染负荷的削减差异较大，其中截污纳管、河道清淤和垃圾集中清运措施最为彻底；原位处理设施消减在80%以上，效果也非常明显；植草沟、生态池塘、干厕设施等消减负荷在50%左右；作为黑臭水体关键指标氨氮的消减主要应控制初期雨水、畜禽养殖等排放的废水、沿岸生活垃圾、城乡降雨径流尤其是农田径流等。

### 四、小结

城乡结合部黑臭水体治理是一个系统工程：在对各种污染源认真排查、识别和必要分析计算基础上，采用多种工程措施与生态措施相结合，消除每一个污染源，通过截污、清淤疏浚、垃圾有序管理、生态修复等措施，彻底消除黑臭；同时还要城乡管理多部门联动、持之以恒，建立有效的河道综合管理制度，堵住污染源头，不让黑臭现象出现反弹，特别是各种生产废水和生活污水的达标处理最为关键。

### 参考文献

- [1]何其活. 浅谈黑臭水体综合治理技术的应用[J]. 建材与装饰, 2016(53).
- [2]张延明. 黑臭水体综合治理工程技术应用[J]. 甘肃科技, 2017(17).

(上接第142页)

埋管、件是否遗漏并安装牢固，然后对台车打磨涂刷脱模油，定位时与上组衬砌搭接长度控制在10cm左右；止水带施工时，要与衬砌端头模板正交，确保位置准确、牢固可靠；混凝土浇筑要分层分窗浇筑，泵送混凝土入仓自下而上，从已浇筑段接头处向未浇筑方向，分层对称浇灌，边墙部位采用插入式振捣和附着式振捣器振捣，拱部采用附着式振捣器振捣，严禁重复开启混凝土已初凝部位的附着式振捣器；随着浇筑持续进行，当混凝土表层的离析水、稀浆自排气管中流出时(以泵压≤0.5Mpa为宜)停止浇筑混凝土，并将挡板孔堵死。二衬砼拆模养护达到设计强度时，进行填充注浆，浆液采用1:1水泥浆液，回填注浆压力：0.05~0.1MP。

### 五、结束语

本工程的经济效益主要表现在不良地质条件下针对不同围岩级别及地层地质条件，选用合适的开挖施工技术，各道工序衔接有序，有效降低安全风险保障了施工质量及工期目标，得到了业主、设计、监理单位的一致认可，在同类工程施工中，具有广泛的应用价值和借鉴意义。

### 参考文献

- [1]于文金. 软弱围岩隧道施工质量控制分析[J]. 四川建筑, 2010(01)
- [2]毕树琦. 软弱围岩隧道施工技术研究[J]. 科技创新与应用, 2014(10)