



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111894641 B

(45) 授权公告日 2022.02.11

(21) 申请号 202010796506.3

E21D 11/15 (2006.01)

(22) 申请日 2020.08.10

E21D 20/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

E21F 16/02 (2006.01)

申请公布号 CN 111894641 A

E21F 11/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.11.06

E21D 11/10 (2006.01)

(73) 专利权人 陕西省高速公路建设集团公司

E21D 11/18 (2006.01)

地址 710000 陕西省西安市雁塔区太白南路9号

E21D 11/08 (2006.01)

(72) 发明人 王学礼 林哲 赵正明 程坤

E01C 3/00 (2006.01)

胡光明 白茗文 马凯 陆纪川

G01C 5/00 (2006.01)

苏宁

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

(56) 对比文件

代理人 闵岳峰

CN 208456660 U, 2019.02.01

(51) Int.Cl.

KR 101262736 B1, 2013.05.09

E21D 19/04 (2006.01)

CN 102383806 A, 2012.03.21

E21F 13/00 (2006.01)

CN 110259456 A, 2019.09.20

(54) 发明名称

GB 1422207 A, 1976.01.21

一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺

CN 109026020 A, 2018.12.18

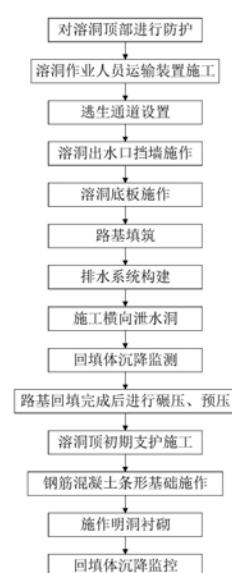
(57) 摘要

CN 110080779 A, 2019.08.02

审查员 何存芳

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

B  
CN 111894641 B  
本发明公开了一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,包括步骤:一:对溶洞顶部进行防护;二:溶洞作业人员运输装置施工;三:逃生通道设置;四:溶洞出水口挡墙施作;五:溶洞底板施作;六:路基填筑;七:排水系统构建;八:施工横向泄水洞,引排至与外界相通的泄水溶洞内;九:回填体沉降监测;十:路基回填完成后进行碾压、预压;十一:始溶洞顶初期支护施工;十二:钢筋混凝土条形基础施作;十三:施作明洞衬砌,溶洞顶部和衬砌外侧间填充轻质泡沫混凝土缓冲层;十四:回填体沉降监控。本发明能够系统性解决现有隧道穿越特大型溶洞施工工艺繁杂、施工时间长、对围岩施工扰动大、交叉施工、监控量测的技术问题。



1. 一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:对溶洞顶部进行防护,施工临时被动防护网;

步骤二:溶洞作业人员运输装置施工;包括:(1)加工运输舱;(2)施作可移动式多功能电梯悬臂基础;(3)悬臂吊立柱、悬臂安装;(4)多功能运输舱与电动升降葫芦、导轨连接,安装完毕后,调试、试车;

步骤三:逃生通道设置;

步骤四:溶洞出水口挡墙施作;包括:(1)清除溶洞底碎石土;(2)溶洞底出水口处设置钢筋混凝土挡墙,挡墙顶嵌入岩面;(3)挡墙设置泄水孔;

步骤五:溶洞底板施作;包括:(1)清除溶洞底碎石土;(2)在溶洞底板内设置一层钢筋网片;(3)溶洞底板设置锚杆;

步骤六:路基填筑;

步骤七:排水系统构建;包括:(1)溶洞空腔设置主要出水口处,溶洞进水口和出水口范围中央及四周环向共设置三道钢波纹管,与泄水洞通过设置三通井连接;(2)溶洞回填每隔10m设置三通井接HDPE管至溶洞回填顶面,外侧包裹土工布;(3)排水管周围采用人工码砌的方式填筑保护层;

步骤八:待路基回填至适当标高位置后,施工横向泄水洞,引排至与外界相通的泄水溶洞内;

步骤九:回填体沉降监测;

步骤十:路基回填完成后进行碾压、按照行明洞2倍荷载堆载预压,根据观测沉降数据适当确定预压荷载与时间;

步骤十一:搭设施工平台,拆除临时被动防护网,开始溶洞顶初期支护施工;

步骤十二:钢筋混凝土条形基础施作;

步骤十三:路基基础完成后施作明洞衬砌,溶洞顶部和衬砌外侧间填充轻质泡沫混凝土缓冲层;

步骤十四:回填体沉降监控。

2. 根据权利要求1所述的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,步骤一中,包括:(1)施作临时被动防护网;(2)在溶洞纵向两侧采用地锚连接;(3)锚杆尾端设置弯头与钢丝绳连接牢固,钢丝绳上设置防护网;(4)防护网上再铺设帆布以防止碎小落石。

3. 根据权利要求1所述的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,步骤三中,包括:(1)逃生管道设置在隧道右洞溶洞侧壁上,两侧各1道,由溶洞底部延伸至隧道洞室;(2)逃生管道与溶洞侧壁之间设置附墙架;(3)逃生管道的管节间采用直径大于逃生管道的套管连接;(4)逃生管道的管口加临时封盖;(5)逃生管道内预留工作绳,应急安全工具箱,溶洞底部及逃生舱应同时放置应急食物箱和救护箱。

4. 根据权利要求1所述的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,步骤六中,填筑时采用边施工挡墙边进行路基回填,回填材料采用卵石、块石或级配碎石。

5. 根据权利要求1所述的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,步骤九中,每回填10米呈矩形阵列预埋10~14个电阻式位移传感器,对回填体变形进

行监测。

6. 根据权利要求1所述的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,步骤十一中,包括:(1)初喷混凝土封闭开挖面;2)早强砂浆锚杆施工,在相邻拱架间梅花形布置,尾端设置锚垫板和螺母;(3)测定钢拱架位置,并架立钢拱架,分层分段进行喷射砼;(4)铺设钢筋网,再次喷射混凝土固定;(4)安装钢筋纵联,质量检验合格后,进行锚杆固定、锁脚锚管施工;(5)湿喷法再次喷射混凝土;(6)在溶洞顶、侧壁设置主动防护网。

7. 根据权利要求1所述的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,其特征在于,步骤十四中,包括:设置下沉降观测边桩,沉降观测中桩,采用S1型水准仪和因瓦水准尺采集数据;根据位移观测点和位移传感器收集数据,利用Abaqus建立回填体仿真模型开发APDL程序语言持续分析其应力应变集中、释放规律,实现路基持续监测,准确预测发现、处理路基病害问题。

## 一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺

### 技术领域

[0001] 本发明属于隧道施工技术领域,具体涉及一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺。

### 背景技术

[0002] 隧道穿越岩溶地区时,可能遭遇大型岩溶洞穴、暗河或管道流,此类地质对其围岩整体稳定性和应力分布与释放有着一定影响,为降低工程安全风险,减少不稳定因素,选择正确的溶洞围岩结构扰动小、施工快的工程方法尤为重要。

[0003] 通过查看相关文献及专利,发现长隧道掘进过程中直接穿越跨径34米,深38米以上的特大型有水空腔溶洞是很少见的,且溶洞顶高于隧道顶部存在空腔,现有的针对隧道穿越溶洞的处治多采用需打钻孔、支拆模板的桩基础或需临时支护的侧壁导洞法等方法,适用范围有限,存在施工难度大、工艺复杂、施工机械作业不便、工期长的不足之处,难以高效快速治理此类型特大溶洞。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种成本较低、环保安全的隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,避免了隧道内大型机械施工场景,能够系统性解决现有隧道穿越特大型溶洞施工工艺繁杂、施工时间长、对围岩施工扰动大、交叉施工、监控量测的技术问题。

[0005] 本发明采用如下技术方案来实现的:

[0006] 一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,包括以下步骤:

[0007] 步骤一:对溶洞顶部进行防护;

[0008] 步骤二:溶洞作业人员运输装置施工;包括:(1)加工运输舱;(2)施作可移动式多功能电梯悬臂基础;(3)悬臂吊立柱、悬臂安装;(4)多功能运输舱与电动升降葫芦、导轨连接,安装完毕后,调试、试车;

[0009] 步骤三:逃生通道设置;

[0010] 步骤四:溶洞出水口挡墙施作;包括:(1)清除溶洞底碎石土;(2)溶洞底出水口处设置钢筋混凝土挡墙,挡墙顶嵌入岩面;(3)挡墙设置泄水孔;

[0011] 步骤五:溶洞底板施作;包括:(1)清除溶洞底碎石土;(2)在溶洞底板内设置一层钢筋网片;(3)溶洞底板设置锚杆;

[0012] 步骤六:路基填筑;

[0013] 步骤七:排水系统构建;包括:(1)溶洞空腔设置主要出水口处,溶洞进水口和出水口范围中央及四周环向共设置三道钢波纹管与泄水洞通设置三通井连接;(2)溶洞回填每隔10m设置三通井接HDPE管至溶洞回填顶面,外侧包裹土工布;(3)排水管周围采用人工码砌的方式填筑保护层;

[0014] 步骤八:待路基回填至适当标高位置后,施工横向泄水洞,引排至与外界相通的泄水溶洞内;

- [0015] 步骤九:回填体沉降监测;
- [0016] 步骤十:路基回填完成后进行碾压、按照行明洞2倍荷载堆载预压,根据观测沉降数据适当确定预压荷载与时间;
- [0017] 步骤十一:搭设施工平台,拆除临时被动防护网,开始溶洞顶初期支护施工;
- [0018] 步骤十二:钢筋混凝土条形基础施作;
- [0019] 步骤十三:路基基础完成后施作明洞衬砌,溶洞顶部和衬砌外侧间填充轻质泡沫混凝土缓冲层;
- [0020] 步骤十四:回填体沉降监控。
- [0021] 本发明进一步的改进在于,步骤一中,包括:(1)施作临时被动防护网;(2)在溶洞纵向两侧采用地锚链接;(3)锚杆尾端设置弯头与钢丝绳连接牢固,钢丝绳上设置防护网;(4)防护网上再铺设帆布以防止碎小落石。
- [0022] 本发明进一步的改进在于,步骤三中,包括:(1)逃生管道设置在隧道右洞溶洞侧壁上,两侧各1道,由溶洞底部延伸至隧道洞室;(2)逃生管道与溶洞侧壁之间设置附墙架;(3)逃生管道的管节间采用直径大于逃生管道套管连接;(4)逃生管道的管口加临时封盖;(5)逃生管道内预留工作绳,应急安全工具箱,溶洞底部及逃生舱应同时放置应急食物箱和救护箱。
- [0023] 本发明进一步的改进在于,步骤六中,填筑时采用边施工挡墙边进行路基回填,回填材料采用卵石、块石或级配碎石。
- [0024] 本发明进一步的改进在于,步骤九中,每回填10米呈矩形阵列预埋10~14个电阻式位移传感器,对回填体变形进行监测。
- [0025] 本发明进一步的改进在于,步骤十一中,包括:(1)初喷混凝土封闭开挖面;2)早强砂浆锚杆施工,在相邻拱架间梅花形布置,尾端设置锚垫板和螺母;(3)测定钢拱架位置,并架立钢拱架,分层分段进行喷射砼;(4)铺设钢筋网,再次喷射混凝土固定;(4)安装钢筋纵联,质量检验合格后,进行锚杆固定、锁脚锚管施工;(5)湿喷法再次喷射混凝土;(6)在溶洞顶、侧壁设置主动防护网。
- [0026] 本发明进一步的改进在于,步骤十四中,包括:设置上沉降观测边桩,沉降观测中桩,采用S1型水准仪和因瓦水准尺采集数据;根据位移观测点和位移传感器收集数据,利用Abaqus建立回填体仿真模型开发APDL程序语言持续分析其应力应变集中、释放规律,实现路基持续监测,准确预测发现、处理路基病害问题。
- [0027] 本发明至少具有如下有益的技术效果:
- [0028] 本发明为针对长隧道穿越特大有水空腔溶洞成套处治方法,能够大幅度降低长隧道穿越特大型有水空腔溶洞的施工成本和工期,整体施工难度小,可控性强,安全系数高。防护措施效果明显,能够解决溶洞施工安全和工程后期安全问题;排水系统设计基本未改变原有地下水系,且对溶洞路基填筑影响小;条形基础在一定程度上降低了路基沉降带来的风险危害,路基沉降监测系统,可实现对路基沉降进行较好监测和预警。在工程建设时间紧任务重的背景下,对类似隧道穿越溶洞建设工程的实施有很高的参鉴价值。

## 附图说明

- [0029] 图1为本发明一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺的流程图。

## 具体实施方式

[0030] 以下结合附图和实施例对本发明做出进一步的说明。

[0031] 本发明提供的一种隧道穿越特大型有水空腔溶洞处治与施工工艺,包括以下步骤:

[0032] 步骤一:对溶洞顶部进行防护,防止洞顶落石对洞底施工作业人员产生安全威胁。(1)施作临时被动防护网,采用形似主动防护网的防护形式;(2)在溶洞纵向两侧采用地锚链接,地锚采用Φ22锚杆,每孔2根,每处5孔,锚杆埋置长度4.5米,锚杆顶采用C30钢筋混凝土封锚;(3)Φ22锚杆尾端设置弯头与钢丝绳连接牢固,钢丝绳上设置防护网(防护网包括钢丝绳网、格栅网、支撑绳和缝合绳,钢丝绳网和格栅网通过钢丝缝合绳或支撑绳固定,以此作为系统主要构成的柔性网);(4)防护网上再铺设帆布以防止碎小落石。

[0033] 步骤二:溶洞作业人员运输装置施工。(1)加工运输舱,舱体底板采用壁厚不小于6mm,边长2m的正方形钢板,侧板为壁厚不小于6mm的3块短边2m,长边2.2米的钢板,通过焊接连接在一起,顶板由两块壁厚不小于6mm,边长2m的钢板构成,两块钢板间以及与箱体的链接均采用焊接方式,舱顶侧面呈正三角形,提高舱顶稳定性,防止溶洞意外落石掉块引发安全事故;(2)施作可移动式多功能电梯悬臂基础。1)基坑开挖:距溶洞边4.0m,结构尺寸为2.0m\*2.0m\*1.6m;2)钢筋和预埋件安装。①在基槽垫层上弹出主筋间距进行绑扎,钢筋保护层满足施工规范,安装C30预制砼垫块,间隔适当距离进行布置。②钢筋的质量、规格、搭接位置、长度以及间距,严格按施工图和规范施工绑扎。③按照悬臂吊底盘结构尺寸及预埋件安装位置,在基坑内定点,将预埋件焊接于钢筋上,并固定牢靠,测定标高,保证标高一致,位置准确。3)砼浇筑。采用C30混凝土,浇捣基础,检查预埋件标高及位置,及时调整纠偏;(3)悬臂吊立柱、悬臂安装。利用汽车吊调整立柱、悬臂位置,立柱与基础通过加强螺栓固定牢固,悬臂与立柱通过锥形销固定,并用端盖将锥形销密封。(4)多功能运输舱与电动升降葫芦、导轨连接,安装完毕后,调试、试车。

[0034] 步骤三:逃生通道设置。(1)逃生管道设置在隧道右洞溶洞侧壁上,两侧各1道,由溶洞底部延伸至隧道洞室,逃生管道内焊接Φ25钢筋爬梯;(2)逃生管道与溶洞侧壁之间设置附墙架,每节管道设置2道附墙架,每个附墙架应在溶洞侧壁上采用4根Φ28锚杆连接;(3)逃生管道所用管材采用φ1000mm的无缝钢管,管节长度为6m,壁厚不小于10mm,管节间采用直径大于逃生管道10cm的套管连接;(4)逃生管道的管口加临时封盖,并易于打开和封闭;(5)逃生管道内预留工作绳,应急安全工具箱,溶洞底部及逃生舱应同时放置应急食物箱和救护箱。

[0035] 步骤四:溶洞出水口挡墙施作。(1)清除溶洞底碎石土;(2)溶洞底出水口处设置C30钢筋混凝土挡墙,挡墙顶应嵌入岩面,避免回填堵塞出水口;(3)施作C30混凝土挡墙基础前应先对基础破面表层松散岩体进行清除,在开挖的新鲜稳定基岩施作φ28早强砂浆锚杆,锚固端伸入基岩不小于200cm;(4)挡墙应分段砌筑,每段长度一般为10~15米,两段间设置伸缩缝,在地形、地质变化及墙高变化较大处,应设置沉降缝,缝宽2~3cm。(5)挡墙设置泄水孔,采用φ15cmPVC管,上下排交错布置,间距1.0米。

[0036] 步骤五:溶洞底板施作。(1)清除溶洞底碎石土;(2)按照最薄处设置约2m厚C25混凝土底板,保证溶洞底板安全,在溶洞底板内设置一层中16钢筋网片;(3)溶洞底板设置

φ28早强砂浆锚杆,伸入底板100cm,锚固端伸入基岩400cm,锚杆间距=200×200cm梅花形布置。

[0037] 步骤六:路基填筑。填筑时采用边施工挡墙边进行路基回填,回填材料采用卵石或块石(路面基础底0.4m以下范围)、级配碎石(路面基础底0.4m以内范围)。不同强度的石料,应分别采用不同的填筑层厚和压实控制标准。填石路堤压实质量标准用孔隙率作为控制标准。

[0038] 步骤七:排水系统构建。(1)溶洞空腔设置主要出水口处,溶洞进水口和出水口范围中央及四周环向共设置三道直径1.5m的钢波纹管与泄水洞通设置三通井连接,防止填筑时堵塞。波纹管管材用Q235B热轧钢板加工成型,表面为热浸镀锌,镀锌螺纹钢管一般每节管的长度为0.5~6m,管体接头采用卡箍连接(或两端焊接法兰盘),施工现场螺栓连接,波纹管拼接成型后内外喷涂乳化沥青两遍。(2)溶洞回填每隔10m设置三通井接1m管径HDPE管至溶洞回填顶面,外侧包裹土工布。管壁全长应设置泄水孔。HDPE管应设置在隧道外,避免对隧道造成影响。(3)排水管周围采用人工码砌的方式填筑保护层,防止排水管在石料填筑过程损坏。(4)填筑施工过程中,可根据试验确定工艺流程和工艺参数,控制压实过程质量及压实标准。

[0039] 步骤八:待路基回填至适当标高位置后,施工横向泄水洞,断面2m×3m,长度30m,引排至与外界相通的泄水溶洞内。泄水洞衬砌模筑衬砌采用组合模板人工立模施工,输送泵灌注,人工振捣。底板施工采用地泵浇筑,配合人工进行振捣找平。泄水洞拱顶、底板及拱墙均采用C30钢筋混凝土模筑衬砌,钢筋混凝土厚度35cm。泄水洞施工完成后安装钢网门,然后继续进行路基回填。

[0040] 步骤九:回填体沉降监测。每回填10米呈矩形阵列预埋10~14个电阻式位移传感器,对回填体变形进行监测。

[0041] 步骤十:路基回填完成后进行碾压、按照明洞2倍荷载堆载预压,根据观测沉降数据适当确定预压荷载与时间。

[0042] 步骤十一:搭设施工平台,拆除临时被动防护网,开始溶洞顶初期支护施工。对溶洞部分段落采用机械开挖或者弱爆破方式进行扩挖,根据围岩级别确定初期支护参数。初期支护:(1)初喷混凝土封闭开挖面;(2)Φ22早强砂浆锚杆施工,在相邻拱架间梅花形布置,尾端设置锚垫板和螺母;(3)测定钢拱架位置,并架立钢拱架,分层分段进行喷射砼;(4)铺设钢筋网,再次喷射混凝土固定;(5)安装钢筋纵联,质量检验合格后,进行锚杆固定、锁脚锚管施工;(6)在溶洞顶、侧壁设置SNS主动防护网。

[0043] 步骤十二:溶洞内填筑高度达40m,工后沉降存在较大的不确定性,为防止基础不均匀沉降带来的隧道衬砌裂缝,因此本次设计明洞衬砌不设仰拱,基础改为1.0m厚C30钢筋混凝土条形基础。二衬拱墙两侧正下方施作俩道条形钢筋混凝土条形基础,宽298mm,厚100mm,采用C30混凝土,每6m设置变形缝,降低路基沉降对二衬结构的影响,缝宽2cm。

[0044] 步骤十三:路基基础完成后施作明洞衬砌,溶洞顶部和衬砌外侧间填充轻质泡沫混凝土缓冲层。将水泥和粉煤灰,计量以后加入搅拌机,将百分之十发泡剂水溶液制成1mm左右微细均匀泡沫,且有弹性,不易破碎。然后将泡沫加入搅拌机;泡沫和水泥浆混合均匀,制成泡沫混凝土料浆,高压泵送至施工面。混凝土浇注后,自然养护3~7天。

[0045] 步骤十四:回填体沉降监控。设置上沉降观测边桩,沉降观测中桩,采用S1型水准

仪和因瓦水准尺采集数据。根据位移观测点和位移传感器收集数据,利用Abaqus建立回填体仿真模型开发APDL程序语言持续分析其应力应变集中、释放规律,实现路基持续监测,准确预测发现、处理路基病害问题。



图1