

城市下穿隧道暗埋段施工技术研究

高 华

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

摘要:随着城市经济的高速发展,道路交通随之大规模发展,现有道路交通环境已无法满足城市发展的需求,辅以下穿隧道用来缓解交叉路口交通拥堵压力的设计方案比比皆是。以登封市少林大道下穿中岳庙隧道为例,论述了明挖法施工下穿隧道的分层分块原则、施工关键技术、质量控制要点等,所取得的经验可为同类工程的建设提供参考。

关键词:下穿隧道;分层分块;施工关键技术;质量控制要点;少林大道

中图分类号: TU94; TU93; TU94+1; [TU997]

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2023)03-0099-05

Study on Construction Technology of Buried Section of Urban Underpass Tunnel

GAO Hua

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: The city's road traffic flow grows significantly along with the development of economy, making it impossible for the current road traffic environment to keep up with the city's fast urbanization. There are numerous underpass tunnel design plan examples that reduce the burden of traffic congestion at intersections. This paper uses the Shaolin Avenue underpass tunnel through Zhongyue Temple as an example, and discusses the layering and blocking principle, key construction technologies, and quality control points of an underpass tunnel built using the open cut method, which could provide reference for similar projects.

Key words: underpass tunnel; layers and blocks; key construction technologies; key points of quality control; Shaolin Avenue

1 概 述

登封市少林大道下穿中岳庙隧道位于少林大道(阳城路-颍河路)段,按城市主干路标准设计,双向六车道,设计车速为 50 km/h,车道净高 ≥ 4.5 m。少林大道中岳庙隧道工程全长 1 025 m,

其中隧道暗埋段长 360 m,西引坡段长 355 m,东引坡段长 310 m。隧道暗埋段分两幅布置,采用矩形双孔钢筋混凝土结构,隧道暗埋段标准断面见图 1。阐述了该下穿隧道暗埋段采用的施工技术。

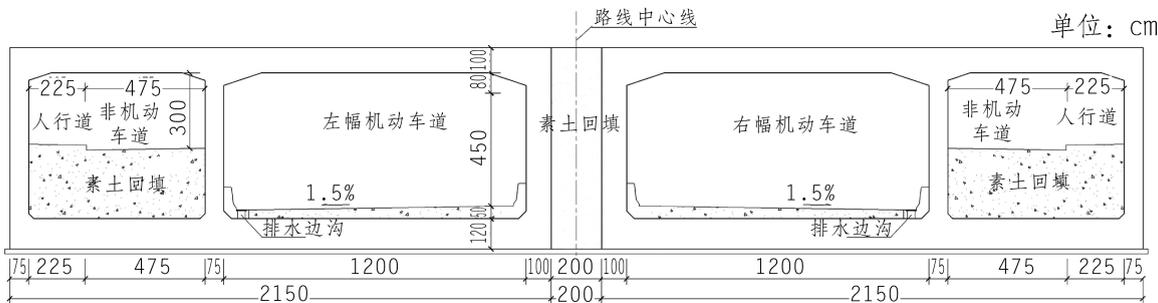


图 1 隧道暗埋段标准断面示意图

2 基坑开挖与支护

2.1 基坑排水

由现场查勘得知:该工程影响范围内无稳定

的地下水,但工程沿线在降雨后赋存有上层滞水。考虑到其对隧道暗挖段施工可能造成的影响,基坑开挖前,在开挖开口线外侧 0.5 m 以外设置了截水沟,以防止外来的地表水进入基坑,施工时基

底采取挖排水沟和集水井明排的方式用以消除其给工程带来的不利影响。

2.2 基坑开挖

基坑开挖采用挖掘机自隧道暗埋段中心位置分别向东、西两侧进行,采用台阶法两级放坡开挖,平台宽 2 m,坡率为 1:1.2。基坑开挖遵循阶梯状分层开挖的施工顺序,实施竖向分层、横向到边的开挖方法,边坡防护采取预留护坡、及时修

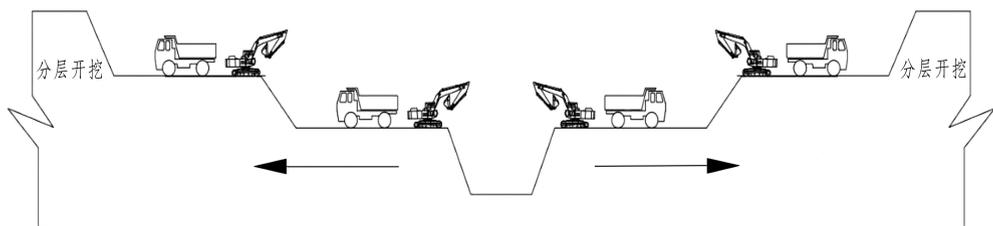


图2 基坑土方施工阶梯开挖示意图

2.3 基坑边坡的防护

基坑的支护形式采用两级放坡+挂网喷射厚度为 80 mm 的 C20 混凝土进行支护,基坑每层开挖完成并刷坡后,立即进行边坡的防护施工,坡面采用机械加人工铺设 $\Phi 6.5 \text{ mm} @ 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 双向钢筋网,网筋的搭接长度为 300 mm,铁丝的绑扎要求满绑,网筋搭接处绑 2 道扎丝,钢筋网片采用长度为 940 mm 的 $\Phi 14 \text{ mm}$ 螺纹钢固定,按间距 1 000 mm 梅花形布置。坡面设置直径为 8 cm 的 PVC 管、间距 4 m、梅花型布置的泄水孔,喷射混凝土前应将排水孔包裹封堵,待喷射混凝土完成后方可拆除。

混凝土喷射施工分片依次自下而上进行,喷头与坡面的距离宜控制在 0.6~1 m 范围内,射流方向垂直指向喷射面,对于钢筋部位应先喷钢筋后方,然后再喷钢筋前方,防止在钢筋背面出现空隙^[1]。为使边坡土层与喷射混凝土更好地结合,混凝土喷射前应先采用喷射机对边坡土层喷水进行湿润;喷射时在喷射混凝土中加入速凝剂以加快喷射混凝土的凝结时间。在钢筋网片的支撑钢筋上作标记用以控制喷射混凝土的厚度,喷射混凝土完成后 2 h 须洒水养护,养护时间不小于 14 d 且随时保持其表面湿润。

3 暗埋段隧道主体采用的施工技术

3.1 隧道主体结构施工流程

结合现场实际情况及隧道暗挖段箱涵施工方法制定了该暗挖段箱涵施工工艺流程,隧道主体

整、先挖先支的原则。

采用 PC220 反铲挖掘机分层开挖至基底预留 30 cm 由人工开挖,清底完成后进行地基的验收工作,主要检查基地的地质状况与设计阶段的地质勘察报告、施工图纸是否相符,地基承载力是否满足要求,基坑尺寸有无超挖或是否发生原状土存在较大扰动的现象。验收通过后进行下一道工序的施工。基坑土方施工阶梯开挖情况见图 2。

结构施工工艺流程见图 3。

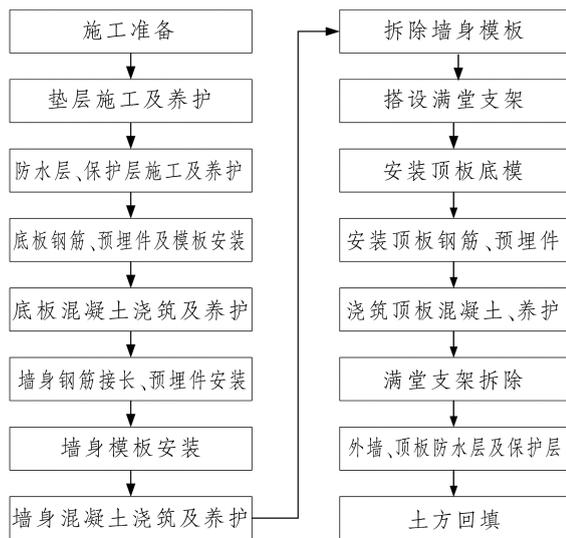


图3 隧道主体结构施工工艺流程图

3.2 隧道主体结构的分块分层设计

为适应地基变形、减小不均匀沉降和混凝土收缩裂缝,隧道暗埋段的中间部分沿纵向以 30 m 为一个标准段,结合出入口起坡点暗埋段两侧各设一个长度为 20 m 的非标准段,暗埋段结构共计有 26 个节段,相邻节段间设 20 mm 宽变形缝,整体结构为双箱室闭合框架结构,单幅宽度为 21.5 m,隧道两端为挡墙结构。

(1)分块设计。为有效提高施工工效,隧道暗埋段主体结构采用多段平行作业的方式,分 4 个循环完成主体施工。第一循环:AM05、AM07、

AM09 段平行施工；第二循环：AM03、AM06、AM08、AM11 段平行施工；第三循环：AM02、AM04、AM10、AM12 段平行施工；第四循环：AM01、AM13 段平行施工。暗挖段隧道分块浇筑情况见图 4。

(2) 分层设计。每段箱涵的主体结构分三次

AM01	AM02	AM03	AM04	AM05	AM06	AM07	AM08	AM09	AM10	AM11	AM12	AM13

图 4 暗挖段隧道分块浇筑示意图

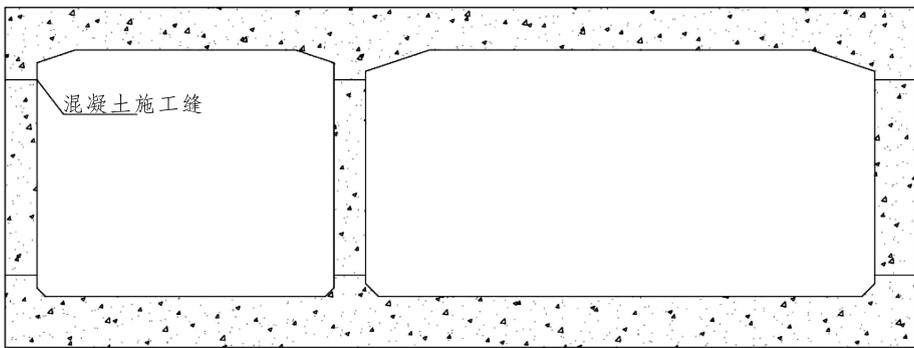


图 5 混凝土浇筑分层示意图

钢筋下料前，对钢筋的直径、级别及加工的数量逐一进行核对，待其无误后方可加工。加工成型的钢筋尺寸、直径、角度等各项指标均应符合设计及相关规范要求。钢筋安装时作好钢筋放样、定位工作并绑扎牢固。

3.4 箱涵满堂架施工

箱涵结构的净高为 5.8 m，内部模板支撑架采用盘扣式满堂架，侧墙外侧采用双排外架。钢管规格为直径 60 mm、厚 3.2 mm，满堂模架的步距为 1.5 m，间距为 0.9 m×1.2 m，在立杆下部 200 mm 处设置纵横扫地杆。

3.5 模板安装技术

箱涵模板安装前须提前对模板表面进行清理并涂沫脱模剂。安装时采用在基坑一侧布置的塔吊以及汽车吊吊装，现场人工配合安装，吊装时须由专人指挥。

(1) 底板侧模与内倒角模板的安装。底板侧面和内倒角均采用钢制定型模板，内模倒角由两块倒角模板组成。模板的制作面板采用 5 mm 厚的钢板制作，边框为 63 mm×8 mm 的钢板，肋板

浇筑成型。第一次施工箱涵底板，在箱涵倒角以上 20 cm 处设置施工缝。第二次施工边墙和中墙，在顶板倒角以下 20 cm 处设置施工缝，边墙和中墙施工均一次浇筑成型。第三次施工顶板。混凝土浇筑分层情况见图 5。

3.3 钢筋施工

为 63 mm×6 mm 的钢板，模板采用 $\Phi 16$ mm 三接头止水对拉螺栓加固。

(2) 中墙模板的安装。中墙模板采用 15 mm 厚的竹胶板，模板加固采用 $\Phi 16$ mm 对拉螺杆并通过蝴蝶扣与模板后面的纵、横钢管固定在一起。对对拉螺杆穿过混凝土的部位事先套上 PVC 管以便于拆除模板时拉杆的拆卸。

(3) 侧墙模板的安装。侧墙模板采用竹胶板，模板加固采用三接头止水对拉螺栓，在模板外立面安装竖向内龙骨、外龙骨，在侧墙内侧采用顶托与支架水平杆连接支撑模板，在侧墙外侧采用钢管脚手架配顶托斜撑至横向向外龙骨上支撑模板以防止模板发生变形。

(4) 顶板模板的安装。顶板底模采用 20 mm 厚双面覆膜竹胶板，竹胶板刚度应符合施工要求。顶托上布置 2 层分配梁，底层主分配梁采用 3 根直径 48 mm、厚 3.5 mm 的钢管，纵向布置；上层次分配梁采用 5 cm×10 cm 的枋木，横向布置，纵向中心间距为 15 cm。竹胶板四周粘贴双面胶，使板与板之间拼缝严密，确保不漏浆和错台。

3.6 混凝土浇筑施工

下穿隧道主体结构采用自防水 C25 混凝土。为补偿混凝土的收缩变形,提高其抗渗性能,主体结构均采用补偿收缩混凝土。施工中应重点控制混凝土浇筑的连续性及结构混凝土的密实性。

(1)混凝土浇筑。隧道主体工程混凝土采用混凝土泵车泵送入仓,混凝土泵车布置于隧道两侧施工便道,随浇筑部位变化而移动位置,隧道混凝土采用 8 m^3 和 14 m^3 专用罐车从拌合站运输至施工现场,泵车泵送入仓,每层混凝土的浇筑厚度为 $30\sim 50\text{ cm}$ 。为防止漏振和过振,每仓混凝土浇筑应连续进行,混凝土浇筑到顶面后应按照相关要求修整、抹平。

(2)混凝土养护。混凝土浇筑后应及时覆盖塑料薄膜进行保温保湿养护,混凝土中心温度与其表面温度的差值不应大于 25°C ;混凝土的表面温度与大气温度的差值不应大于 25°C ^[2],混凝土养护期间其表面要经常保持湿润状态。洒水养护的时间应不少于 14 d,每天洒水的次数视环境湿度与温度进行控制,以确保混凝土表面经常处于潮湿有水状态。

3.7 结构防水的施工

结构防水的施工质量是隧道暗挖段施工质量控制的关键工序之一,该工程的防水包括结构自防水、结构外防水及变形缝、施工缝防水三个方面。

(1)结构底板的施工。

①工艺流程。混凝土垫层→清理基层表面→涂刷水泥浆料(水泥:水=1:0.4)→铺贴防水卷材→封边→80 cm 宽防水卷材加强层。

②操作方法及施工要点。底板卷材的铺设要求将卷材空铺在垫层上,采用点固定,将卷材的自粘面朝上,高分子层面向下,阴阳角处应做成圆弧或 45° 坡角,在阴阳角等特殊部位应增做卷材加强层^[3],加强层宽度为 800 mm,底板卷材应向侧墙立铺至底板施工缝上沿 50 mm。

(2)变形缝的施工。

①工艺流程。底板变形缝:底板混凝土垫层施工→底板防水层→对变形缝位置尺寸进行放线→底板外贴式止水带固定→中埋式钢边橡胶止水带→低发聚乙烯闭孔泡沫板嵌缝→后浇混凝土施工→养护。

侧墙变形缝:外贴式橡胶止水带→中埋式钢边橡胶止水带→低发聚乙烯闭孔泡沫板嵌缝→混凝土→低模量聚硫密封胶封堵→接水盒。

顶板变形缝:中埋式钢边橡胶止水带固定→现浇防水混凝土结构顶板→底板外贴式止水带固定→聚硫密封胶灌实→10 cm 宽聚乙烯隔离膜→60 cm 宽防水卷材加强层→防水卷材→油毡隔离层→7 cm 厚 C20 细石混凝土→顶板底部不锈钢接水盒。

②操作方法及施工要点。变形缝均环向设置宽度为 350 mm 的中孔型中埋式钢边橡胶止水带,侧墙、底板和顶板设置宽度为 350 mm 的外贴式橡胶止水带。变形缝背水面止水带两侧填充高模量聚硫密封胶。变形缝迎水面应增设 60 cm 宽的防水卷材加强层。顶板和侧墙变形缝部位结构内表面预留 $3\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 的凹槽,设置 1.5 mm 厚的不锈钢接水盒^[4],接水盒的搭接采用焊接,安装完成后在其表面涂刷黑色防火漆。

(3)施工缝。

①工艺流程。镀锌钢板止水带安装→施工缝凿毛、清理干净→界面涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料($1.5\text{ kg}/\text{m}^2$)→混凝土浇筑→外墙防水层。

②操作方法及施工要点。水平纵向施工缝安装 30 cm 宽的镀锌钢板止水带;浇筑施工缝混凝土前应将施工缝表面凿毛并清理干净,涂刷 $1.5\text{ kg}/\text{m}^2$ 的水泥基渗透结晶型防水涂料并做好保护措施,防止污染,及时浇筑墙身混凝土。施工缝接缝处的迎水面除设置常规的防水层外,还需增设防水加强层。

(4)顶板施工。

①工艺流程。顶板混凝土基面检查、缺陷处理→卷材检查→每幅卷材铺设弹线→顶板抹浆→顶板铺设卷材→全面检查所铺设卷材的施工质量→涂刷水泥基防水涂料→施工油毡隔离层→验收→浇筑混凝土保护层。

②操作方法及施工要点。顶板防水层施工前,必须对混凝土表面进行缺陷处理,确保混凝土表面无污染、杂物、积水、气孔、混凝土鼓包、外漏钢筋头等情况,对抗洼部位可用 1:2.5 水泥砂浆进行找平压光,然后铺设 2 mm 厚耐根穿刺型强粘高分子防水卷材+1 mm 厚水泥基防水涂料,

再铺设油毡隔离层,待其干燥后浇筑 7 cm 厚的 C20 细石混凝土作为防水保护层。

4 关键工序质量控制要点

城市地下暗埋隧洞施工工序涉及基坑开挖与支护、混凝土施工、钢筋制安、模板与支架、防水工程、土方回填等,其主体结构混凝土的施工、结构防水的施工质量对隧洞运维及耐久性具有较大的影响,施工时对其必须加以重点管控。介绍了所采用的混凝土施工及防水施工质量控制要点。

4.1 混凝土施工质量控制要点

隧道混凝土工程出现的质量通病一般为表面损伤、缺棱掉角、内部缺陷及混凝土裂缝、接缝漏浆不密实、外观色泽不一等,因此,在施工过程中必须采取有效的预防措施,避免出现这些问题。

(1)混凝土作业前,对混凝土基面的粉尘、杂物用高压风或水彻底清除干净,防止混凝土与施工面结合不良。

(2)混凝土浇筑前,必须对振捣器具、混凝土泵车、抹面机等施工设备进行检查和试运转,并对易损机具在现场配置备用设备。

(3)掌握天气变化情况,每浇筑一段隧道箱涵混凝土时,应尽量避开下雨天气。混凝土浇筑时现场应预备塑料薄膜,以备雨水天气时覆盖混凝土,避免其对混凝土质量产生影响。

(4)在混凝土浇筑过程中,严格检查混凝土原材料且每班不应少于两次,如有变化,应及时调整混凝土的施工配合比,并在混凝土出机口以及浇筑地点每班测定坍落度的次数不少于两次,混凝土搅拌要均匀。

(5)混凝土拌合物运至浇筑地点后,应立即浇筑入仓。在浇筑过程中,如果发现混凝土离析、泌水等问题必须及时进行处理。

(6)每仓位混凝土浇筑开始后应连续施工,如必须间歇则应尽量减少间歇时间,并在下层混凝土初凝前覆盖上层混凝土并完成振捣作业。间歇的最长时间应由所用水泥品种、气温及混凝土凝结条件确定,如下层混凝土已初凝,则按照施工缝进行处理。

4.2 防水施工质量的控制要点

(1)严禁在雨天、五级及以上大风中进行防水卷材的施工,施工的环境温度不宜低于 -10°C 。施工过程中如遇下雨天气时,必须对已铺卷材做

好防雨遮盖措施。

(2)防水层施工过程中,混凝土基层表面应平整,其平整度偏差不得大 3 mm,不得有起皮、疏松、起砂现象。在施工防水卷材前,必须认真清扫基层,不得留有凹凸、粗砂或其它尖锐物;基面如有钢筋、铁管、铁丝等突出物时,应从根部割除并在割除部位用水泥砂浆覆盖处理以防其刺穿防水卷材。基层必须做到坚实、平整、干燥,所有结构顶面须按路面要求进行提浆、压光、抹面,其含水率宜小于 9%,经验收合格后方可铺设防水卷材。

(3)底板防水层铺设前,应彻底清扫垫层上的灰尘杂物。卷材铺设搭接完成且经验收合格后,将自粘层朝上,除掉卷材的隔离膜,浇筑防水保护层,立即进入下一道工序施工。

(4)防水卷材铺设时,为减少卷材接头,保证施工质量,首先应进行预铺,接头部位应错开 300 mm 左右,然后将卷材自然展开铺设,严禁扭曲、折叠和过度拉紧,必要时进行裁剪。相邻两幅卷材搭接时,应撕掉搭接缝范围内的隔离膜,其有效搭接宽度不少于 10 mm,卷材长边应采用自粘边搭接,短边采用胶粘带搭接,卷材端部搭接区应相互错开。

(5)基层与凸出构件的连接处及基层的阴角转角处均应做成 $25\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 的水泥砂浆倒角,阳角作成半径 $R=20\text{ mm}$ 的圆弧,结构转角及特殊地方要增设 1 层卷材加强层。在平面和立面转角处,防水卷材及止水带的接缝应留在平面上^[4],距立面的距离不应小于 100 mm。

(6)防水卷材要求采用满粘法施工。采用与材料配套的粘结剂或者带自粘粘结层的防水卷材。必须保证卷材和结构完全粘合,不得出现剥离、空鼓等现象。防水层出现破损时,应采用同材质的材料进行修补,将修补材料满粘在破损的部位,其四周距破损边缘的距离不小于 10 mm。

(7)侧墙卷材施工完成并经检测合格后,应及时将 50 mm 厚聚苯乙烯泡沫保护板以点粘方式固定在卷材外侧^[5],粘接点数为 6 点/ m^2 。

5 结 语

阐述了城市下穿隧道暗埋段采用的分段分幅开挖方式、分层分块的施工原则,详尽论述了隧道暗埋段采用的施工技术及关键工序质量控制要

(下转第 108 页)

免混凝土表面出现裂纹及强度降低。

(5)混凝土浇筑时应及时进行切缝,切缝宜在浇筑完成后 48 h 内完成,切缝混凝土的强度不小于 5 MPa,切缝按先诱导缝、后结构缝的顺序进行。

4 结 语

该项目研发出的桁架式开槽机采用切割的方式开挖沟槽,完美地解决了崩解岩边坡沟槽开挖成型困难、施工效率低的技术难题;简化了渠道衬砌机混凝土直接入仓的方式,以直卸式入仓替代传统的皮带机运输入仓,提高了混凝土运输设备的使用效率并解决了复杂结构边坡混凝土布料困难的施工难题,拓宽了渠道衬砌机的适用范围。随着 172 项重大水利工程持续推进以及加大水利工程投资建设的政策红利,该标段崩解岩边坡格构梁护坡施工技术成功应用,能够为后续类似

(上接第 85 页)

参考文献:

[1] 刘洋.人防地下室主要出入口防护设计要点研究[J]. 城市住宅,2021,28(3):118-120.

[2] 人民防空地下室设计规范,GB50038-2005[S].

[3] 谷盼盼.人防工程主体施工质量控制与研究[J]. 建筑技术开发,2020,49(13):134-136.

[4] 王爱华,骆晓.高层建筑地下室人防工程施工质量控制研究[J]. 散装水泥,2022,38(4):49-53.

[5] 谢莉.人防工程主体施工技术质量通病预防策略[J]. 建筑技术开发,2020,47(6):146-147.

(上接第 94 页)

参考文献:

[1] 周忠浩,熊建平.清远水泵水轮机蜗壳水压试验和保压浇筑技术特点[C].中国水力发电工程学会水力机械专业委员会等,第十九次中国水电设备学术讨论会论文集,2013 年 11 月 21-23 日,大连,中国.

[2] 吴海滨.官地水电站 3 号机蜗壳水压试验[J].四川水力发电,2012,31(5):19-21.

[3] 唐睿,郭华.蒲石河抽水蓄能电站蜗壳水压试验及保压浇筑

(上接第 103 页)

点以及隧道防水施工技术,旨在为同类工程的建设提供借鉴。

参考文献:

[1] 中冶交通工程技术有限公司.一种混凝土支护结构的施工方法:中国,200910242898.2[P].2009-12-16.

[2] 隧道工程防水技术规范,CECS 370:2014[S].

[3] 地下工程防水技术规范,GB 50108-2008[S].

工程项目提供宝贵经验。

参考文献:

[1] 李国维,赫新荣,李铭,王志勇,吴少甫,江永强,吴建涛,陈伟.引江济淮工程膨胀土下伏崩解岩边坡处治试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2022,53(1):52-54.

[2] 郝用兴,张明慧,马子领,马少丹,宋利辉.HJXK-1 型超长边坡渠道削坡开槽机的研制[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2015,36(5):84-88.

[3] 张跃松.南水北调渠道混凝土衬砌施工技术[J].华北水利水电学院学报,2010,31(5):20-21.

[4] 赵瑞君.水利工程渠道衬砌施工技术研究[J].建筑技术开发,2016,43(1):88-89.

[5] 张敬之.S211 鸭凤公路工程首件工程认可制实施分析[J].黑龙江交通科技,2019,42(9):236-237.

作者简介:

胡欣(1984-),男,湖北孝感人,分局副局长,高级工程师,双学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

[6] 谢丹.地下人防工程土建施工质量通病分析[J].工程技术研究,2019,42(18):1538-1540.

作者简介:

杨培青(1987-),男,河南兰考人,项目常务副经理,高级工程师,从事建筑工程建设项目技术与管理工作的;

李辉(1989-),男,河南商丘人,项目工程管理部副主任,工程师,硕士,从事建筑工程建设施工技术与管理工作的;

杨卫兵(1990-),男,山西晋中人,项目总工程师,工程师,学士,从事建筑工程建设施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

混凝土浅谈[J].水利水电工程,2013,32(增刊):87-89.

[4] 朱邦材,杨鸿,杨硕.高水头水轮机蜗壳水压试验的特点及工艺方法[J].大电机技术,1997,27(3):41-47.

[5] 水轮发电机组安装技术规范,GB/T 8564-2003[S].

作者简介:

蒋佳驰(1989-),男,四川广安人,项目部常务副经理,工程师,学士,从事机电设备安装技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

[4] 胡勇红.地铁渗漏与防水设计、施工的关系[J].中国建筑防水,2013,30(17):6-10.

[5] 姚孟成,常国朋.明挖隧道变形缝施工质量控制要点[J].中国高新科技,2020,27(24):36-37.

作者简介:

高华(1985-),男,甘肃天水人,华中分公司副总工程师兼项目管理中心主任,高级工程师,从事市政工程桥梁建设施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)