

大型地下洞室初支完成洞段塌方处理施工技术研究

黄 欧

(中国安能集团第三工程局有限公司,四川 成都 611135)

摘 要:大型地下洞室中下层开挖时其上半洞已初支完成,与上半洞开挖过程中的塌方相比此时的洞室塌方规模更大,上部空腔会更高,且其塌方体系由大量的块石堆积而成,块石之间的空腔大、上部钢支撑亦混杂在塌方体中,不适用常规的小导管注浆、管棚等支护手段。以西藏旁多水利枢纽泄洪洞中层开挖时其已开挖支护完成的上半洞发生塌方的处理为例,介绍了按照分段处置、加强支护、先清后填、确保安全施工的原则顺利完成塌方段处理施工、确保施工安全的过程。

关键词:旁多水利枢纽;大型洞室;先清后填;分段处置;塌方;施工技术

中图分类号:TV741 **文献标志码:** B **文章编号:**1001-2184(2024)增 2-0086-04

Research on Construction Technology of Cave-in Treatment of Large Underground Cavern after Initial Support

HUANG Ou

(China Anneng Group Third Engineering Bureau Co. ,Ltd. ,Chengdu Sichuan 611135)

Abstract: When the middle and lower layers of a large underground cavern are excavated, the upper half of the cavern has been initially completed. Compared with the cave-in during the excavation of the upper half of the cavern, the cave-in at this time is larger in scale and the upper cavity will be higher and the cave-in system is formed by the accumulation of a large number of blocks of stones. The cavities between the blocks are large, and the upper steel supports are also mixed in the cave-in, conventional supporting means such as small conduit grouting and pipe shed are not applicable. Taking the treatment of cave-in in the upper half of the cave-in hole which has been excavated and supported during the middle level excavation of the spillway tunnel in Pangduo Water Conservancy Project in Xizang Province as an example, the treatment and construction of the cave-in section are successfully completed according to the principles of section disposal, strengthening support, clearing first and filling later, ensuring safe construction.

Key words: Pangduo Water Conservancy Project; Large cavern; First clean and then fill; Segmented disposal; Cave-in; Construction technology

1 概 述

大型地下洞室在公路与铁路工程、矿山巷道、水利水电工程中应用广泛,其地下洞室的施工直接受到工程地质、水文地质和施工条件的制约,往往成为整个工程的控制性节点。根据洞室功能需要,其洞室断面一般较大,按照洞室断面面积划分可以分为小断面($< 20\text{ m}^2$)、中断面($20 \sim 35\text{ m}^2$)、大断面($35 \sim 120\text{ m}^2$)、特大断面($> 120\text{ m}^2$)。断面面积越大,围岩的自稳性能越差,在施工中越容易发生围岩失稳问题。为了确保洞室开挖过程中的安全,在大型地下洞室开挖施工过程中

中加强支护是确保洞室稳定的必要手段。

西藏旁多水利枢纽泄洪洞全长 867.5 m,其中洞身段长 748.9 m,底坡坡度为 3%,由进口控制段、反弧段、洞身段以及出口段等组成。隧洞以Ⅱ、Ⅲ类围岩为主,桩号 0+054~0+221 段为Ⅳ类围岩,亦为闪长玢岩与花岗岩接触部位,发育顺洞向与横洞向陡倾角节理及倾向洞外的缓倾角节理,易构成不利组合体,且其节理面充填泥质,岩体完整性差,有断层通过,易产生片帮及塌方。Ⅳ类围岩的开挖断面为 $12.24\text{ m} \times 13.62\text{ m}$,采用钢支撑和挂网喷锚支护,长 5.9 m 的锚杆为 $\Phi 25$ 砂浆锚杆,间排距为 1.5 m,梅花形布置,钢筋网采

收稿日期:2024-03-01

用 $\Phi 6$ 钢筋, 间排距为 20 cm; C25 喷射混凝土厚 12 cm, 钢支撑采用 I22 工字钢, $\Phi 25$ 螺纹钢筋连接, 布置锁脚锚杆锁定, 完成架立后用喷射混凝土回填至齐平。该段隧洞上半洞按照设计支护方案完成了开挖与支护, 但在进行中下层开挖时遇到气温回升导致岩体裂隙中的冰冻体融化, 围岩受冻融致使其稳定性降低, 导致已初支完成的洞段塌方^[1]。

大型地下洞室中下层开挖时其上半洞已初支完成, 与上半洞开挖过程中的塌方相比, 此时的洞室塌方规模更大, 上部空腔会更高, 其塌方体由大量块石堆积而成, 块石之间的空腔大, 上部钢支撑亦混杂在塌方体中, 此时的塌方不适用常规的小导管注浆、管棚等支护手段。若采用管棚方式进行处理, 因块体空隙较大很难灌浆密实, 不易形成整体受力; 又因塌方长度较长, 管棚前端无着力点, 发挥不了管棚的支护作用; 又因塌方体中含有损坏的钢支撑, 对管棚施工具有较大的制约作用。为此, 项目部经研究决定采用分段处置、先清后填的施工方法对塌方段进行处置^[2]。

2 处置方案特点

针对地下洞室中下层开挖过程中发生的塌方采用分段处置、加强支护、先清后填、确保安全的施工方法对已完成支护洞段塌方进行处置的效果较好, 所取得施工经验中的主要特点为^[3-4]:

(1) 分段处置。对塌方洞段的处理采用分段处置的方式, 按照清除一段、封闭一段、支护一段和回填一段的施工顺序对塌方段进行处置, 强调的是支护的及时性。

(2) 加强支护。在塌方开始的位置、在原有钢支撑的基础上将两榀钢支撑中间再增加一榀钢支撑, 使钢支撑的间距从 1 m 加密至 0.5 m, 并适当增加连接筋和锚杆的数量以增加其安全性。顶拱采用自密实混凝土回填并需填满整个塌方空腔。

(3) 先清后填。塌方体主要由大小不一的石块构成, 其稳定性差, 空隙大, 必须对其进行逐段清除, 再通过架设模板(其中在设计开挖断面内采用砂袋码砌回填)、采用自密实混凝土回填清理后的空腔。混凝土的首次回填厚度为 2 m 左右, 以对周边岩壁起到一定的稳定作用。待回填混凝土具备一定强度后, 按照设计断面清除下部砂袋后架立钢支撑, 钢支撑按原有的设计参数进行加密,

在完成 3~5 m 塌方段的处置后进行塌方空腔的二次混凝土回填^[5-6]。

(4) 确保安全。采用该工法进行的塌方处置施工是在中层开挖过程中进行, 其上部边顶拱发生坍塌, 且先期实施的钢支撑失效导致其处理难度加大。因此, 加强对围岩稳定变形的观测、逐步推进处理、确保处理过程的安全是施工过程中首要关注的问题。

3 处置方案的实施

3.1 对不稳定洞段实施加强支护

地下洞室开挖的有限空间作业决定了对塌方的规模及其发展规律掌握的有限性。为防止已发生的塌方继续扩大影响, 对塌方影响段进行加强支护非常必要。项目部主要对塌方影响范围内的不稳定洞段采取工字钢加密、增设锚杆和灌浆的方式进行加强支护, 以确保该洞段的稳定, 待完成加强支护后再考虑对掌子面塌渣进行处理, 同时对该洞段的稳定情况进行现场安全监测。

(1) 加密原有钢支撑。在原有钢支撑的基础上、在每两榀钢支撑之间增加了 1 榀 I22 钢支撑和 $\Phi 28$ 锁脚锚杆, 锚杆长度为 5.1 m, 间距 1 m, 将其外露部分做成“L”型并与钢支撑焊牢。钢支撑间采用 $\Phi 28$ 螺纹钢连接, 间距 1 m, 同时采用挂网喷射混凝土, 钢筋网为 $\Phi 8@20$ cm, C25 喷射混凝土厚 25 cm。钢拱架在加工场分段制作, 在其端头焊接用于螺栓连接的连接板, 其尺寸为 20 cm $\times$ 24 cm $\times$ 10 mm, 设置 4 个螺栓连接孔。将运至现场的钢拱架先采用螺栓连接, 再对连接板进行焊接以确保连接效果。将拱架底端尽量落在现有的开挖底板上; 对附近有块石堆积的部位采用人工配合反铲清理拱架端部基础的方式, 以减少其对塌方体的扰动。对局部清理塌方体可能造成较大扰动的部位通过锚杆束(3 根 $\Phi 25$, $L=5.1$ m)实施加强锁脚的方式, 以避免钢支撑端部在塌方体上造成缺陷。加密钢支撑的情况见图 1。

(2) 实施灌浆。为加强围岩的整体性, 采用固结灌浆的方法对塌方影响段的围岩进行加固。灌浆在喷射混凝土达到 70% 的强度后进行, 灌浆的水灰比为 0.8:1~1:1, 灌浆压力为 0.1~0.3 MPa, 孔间距为 2 m $\times$ 2 m, 梅花形布置。灌浆时需要注意观察岩体的变形情况, 控制好灌浆压力以保证灌浆效果。

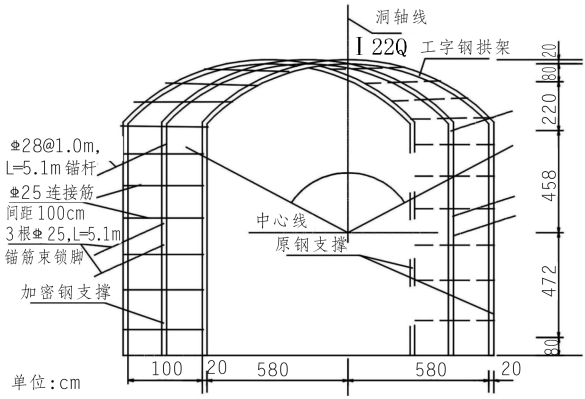


图 1 加密钢支撑示意图

(3)随机设置临时排水孔($\Phi 50$, $L=4\text{ m}$),用于排除围岩的渗水。

3.2 修建施工平台

所修建的施工平台既可以作为塌方处理的施工场地,亦对塌方体起到反压作用。施工平台采用洞外弃渣场的碎石料进行回填,其填筑长度为 40 m,填筑高度为距离顶拱 5 m 左右的位置。该施工平台主要用于前期塌方段端头的加固施工,以及后期反铲开挖的操作平台,同时其也是一种安全措施。处理塌方的施工平台剖面见图 2。

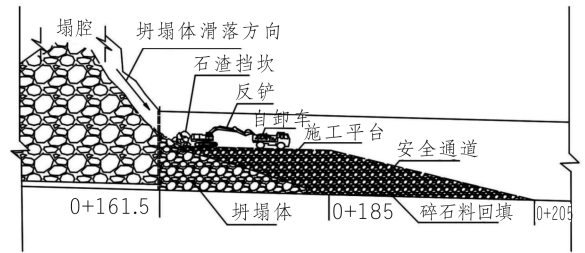


图 2 处理塌方的施工平台剖面图

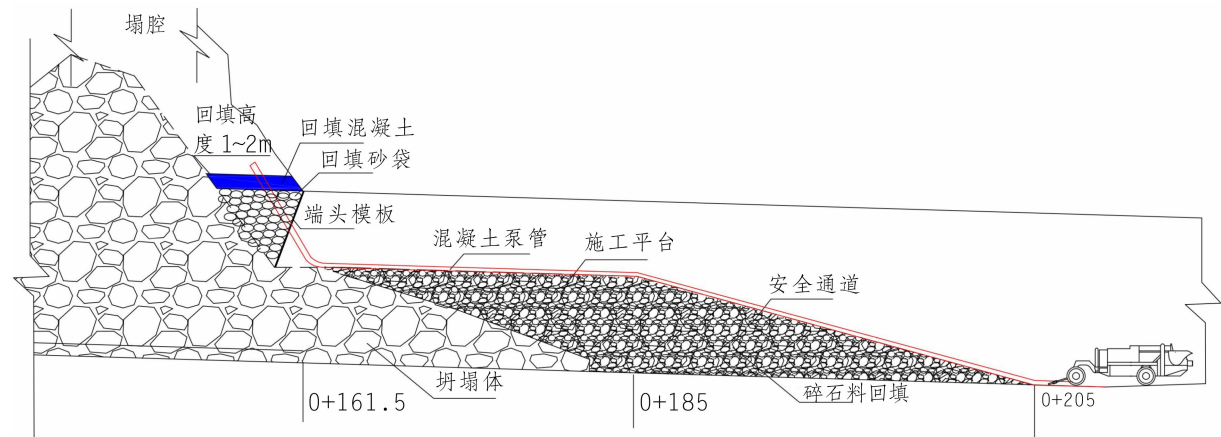


图 3 塌方空腔首次回填混凝土剖面图

3.3 上部塌方体的开挖

上部塌方体的清除采用自上而下的方式进行。清理时,利用前期填筑的施工平台、在反铲前部用石渣设置挡渣坎,采用少量多次的方法逐一进行清理;遇到大块石时,采用破碎锤将其解小。待塌方体清除露出塌腔后,对其周边的塌腔高度、围岩稳定情况进行观察和监测,若围岩稳定,则采用喷射 5 cm 厚的素混凝土进行封闭;若围岩不稳定,则在采用素混凝土封闭的同时采取适当的措施进行支护,以确保在塌腔围岩稳定的情况下稳步向前推进。

3.4 端头空腔的首次回填

在完成一段塌方体清除、待塌方空腔外露 1~2 m 后对塌方空腔进行回填。先将设计开挖断面内的空腔采用砂袋码砌,以便在后期架立拱架时清除。在砂袋顶部按照拱架架立断面设置模板,然后采用模板对端头实施封闭。塌方空腔首次回填混凝土的剖面见图 3。架立模板时一定要提前预埋塌方空腔二次回填的泵管,每隔 4~5 m 设置进入孔,以便在后期检查混凝土是否充填整个空腔;对于进入孔则在最后进行封堵处理。空腔一次回填的高度应超过顶拱高度 1~2 m,回填混凝土采用泵送自密实混凝土至填满整个空腔。下部空腔采用码砌砂袋作为顶拱混凝土支撑的情况见图 4。

3.5 针对塌方洞段进行的支护

端头混凝土回填施工完成后,对开挖断面内的砂袋进行清除后按照 50 cm 的间距安装 22 号工字钢拱架、打锚杆($\Phi 28@1\text{ m}$, $L=4\text{ m}$)、挂钢筋网($\Phi 8@20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$)、喷混凝土至设计厚

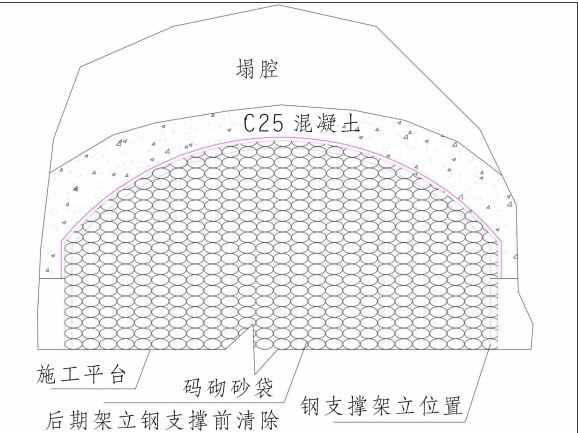


图 4 下部空腔采用码砌砂袋作为顶拱混凝土支撑示意图

度;钢拱架间采用 $\Phi 28@1\text{ m}$ 纵向钢筋连接;每榀钢支撑单侧施设 2 根 $\Phi 48, L=5.1\text{ m}$ 的注浆管棚兼做锁脚,要求钢拱架锁脚锚杆与围岩锁定牢固;注浆水灰比为 $0.5:1\sim 1:1$,灌浆压力为 $0.3\sim 0.5\text{ MPa}$,注浆后内插 $\Phi 28$ 钢筋并密实灌注水泥砂浆(或锚固剂)。塌方段支护示意情况见图 5。

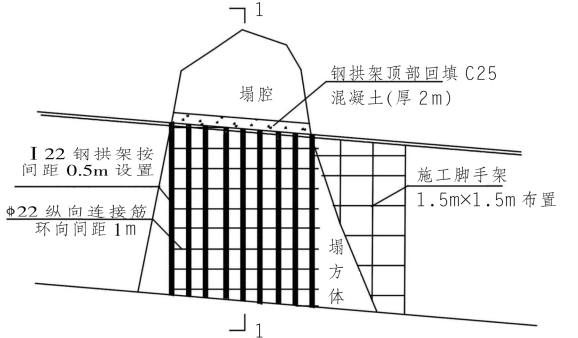


图 5 塌方段支护示意图

若拱架两侧边墙的坍塌厚度小于 50 cm ,则直接喷射 C20 混凝土进行回填;若厚度大于 50 cm ,则采取 C25 混凝土回填。塌方段支护情况见图 6。

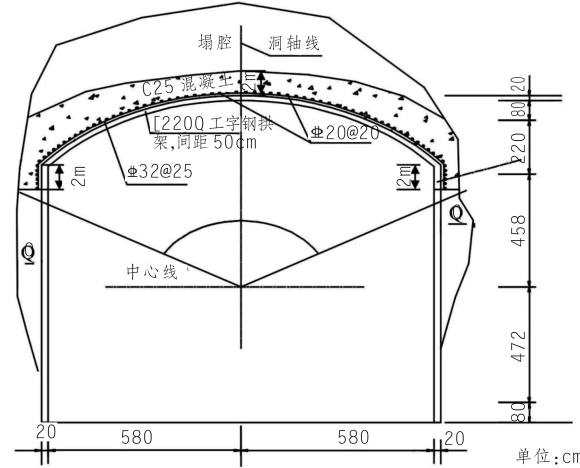


图 6 塌方段支护示意图

3.6 对塌方空腔实施二次混凝土回填

拱架支护向前掘进 5 m 左右时对上部空腔进行二次混凝土回填,回填混凝土利用一次回填中预埋的泵管作为混凝土入仓的通道,通过预设的进入检查孔进行检查以确保混凝土充满整个塌方空腔。回填混凝土采用 C25 自密实混凝土,通过泵送入仓。塌腔泵送混凝土回填情况见图 7。

3.7 中下层塌方体的清理及支护

在完成上层支护和贯通后,对中下层塌方体进行清理与支护。中下层的支护包括塌方体清理和拱架接续、喷射混凝土或混凝土回填等施工内

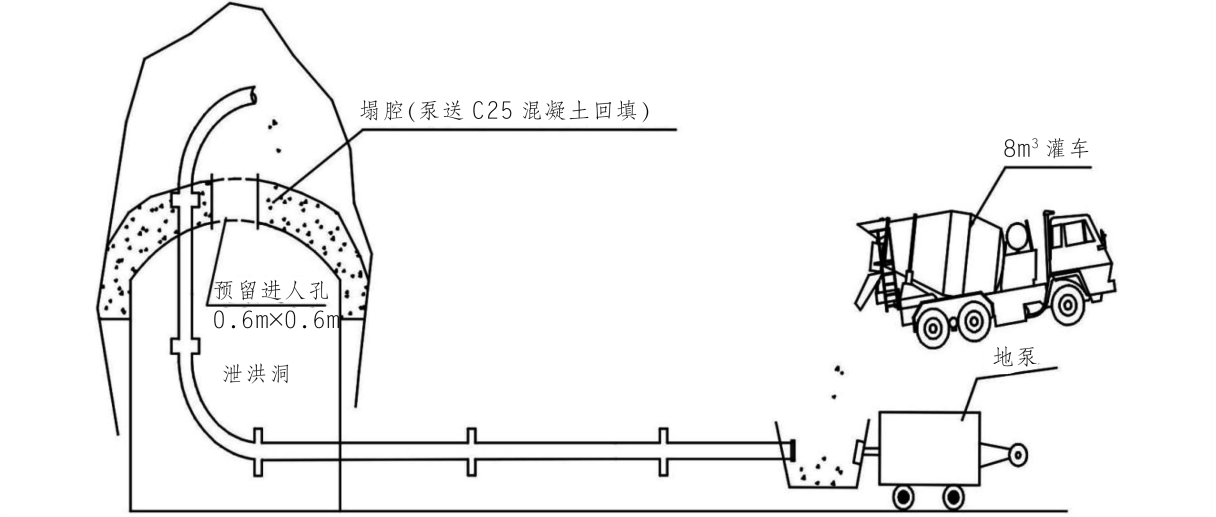


图 7 塌腔泵送混凝土回填示意图

(下转第 123 页)

信号的相位差,可以判断动不平衡故障的类型和严重程度。例如,如果两个测点之间的相位差接近 180°,则其可能是因转子质量分布不均引起的动不平衡故障。

4.2 动不平衡故障的排除措施

(1)调整机组参数。根据诊断结果,可以对机组的参数进行调整以消除或减轻动不平衡故障造成的影响。例如,可以通过调整转子的质量分布或改变机组负荷等方法进行故障排除。(2)更换损坏部件。如果动不平衡故障是由于某个部件损坏引起的,则需要及时更换该部件。例如,如果转子绕组短路导致电磁不平衡力增大,此时即需要更换新的转子绕组。(3)平衡校正。对于机械不平衡力引起的动不平衡故障,可以采用平衡校正的方法消除不平衡力。常用的平衡校正方法包括静平衡校正和动平衡校正^[5]。静平衡校正主要适用于转速较低的机组,而动平衡校正则适用于转速较高的机组。(4)加强维护和保养。定期对机组进行维护和保养也是预防动不平衡故障的重要措施之一。例如,定期清理机组内部的杂物和污垢,检查并紧固各部件的连接件等均可以减少机组运行过程中产生的不平衡力。

5 结 语

综上所述,水轮发电机组作为水电站的核心,

(上接第 89 页)

容。中下层支护采用分段循环进行,先清除塌方体,然后接续拱架进行锁脚锚杆和连接筋的施工。完成后,当拱架两侧边墙的坍塌厚度小于 50 cm 时,直接喷射 C20 混凝土进行回填;若厚度大于 50 cm,则采用 C25 混凝土进行回填。

4 结 语

西藏旁多水利枢纽泄洪洞中下层开挖过程中其上半洞已初支完成,在中层开挖至桩号 0+221 时已完成初支的上半洞发生塌方,其与上半洞开挖过程中的塌方相比,洞室塌方的规模更大,上部空腔更高,该塌方体由大量的块石堆积而成,块石之间的空腔大,上部钢支撑亦混杂在塌方体中,故不适用常规的小导管注浆、管棚等支护手段。项目部通过采取分段处置、加强支护、先清后填、确保安全施工的方式,逐段处理并进行支护,顺利地

其稳定运行对电力供应至关重要。动不平衡通常源于机械、电磁和水力不平衡力,如转子质量不均、电气部件故障和水流条件变化等。该故障不仅加剧了机组振动,加速了部件磨损,降低了机组稳定性,还将影响机组运行效率和设备寿命,增加运维成本。因此,为了确保水轮发电机组的稳定运行,必需严格控制机组质量,定期维护检查并引入先进的故障诊断技术。只有深入了解动不平衡成因并采取相应的措施进行处理,才能保障机组的长期稳定运行,为电力供应保驾护航。

参考文献:

[1] 朱辉辉,张永刚.绝对相位法在高转速逆时针旋转的水轮发电机动不平衡问题分析[J].云南电力技术,2023,51(2):49-51.
[2] 尹永珍,万鹏,王建兰,等.大型水轮发电机组动不平衡诊断与实践[J].水电与新能源,2015,22(11):16-20.
[3] 范春生.现代水轮发电机组动平衡故障诊断与实践[J].人民长江,2011,42(21):85-89.
[4] 祝庭达.浅析水轮发电机组动不平衡的原因及危害[J].中国新通信,2020,22(2):235.
[5] 王超杰,翟建平.配重技术用于处理水轮发电机组动不平衡实践[J].水电与新能源,2016,23(6):26-28.

作者简介:

王 谦(1985-),男,重庆丰都人,工程师,从事水电站机组试验工作。

(编辑:李燕辉)

完成了塌方段的处理,为类似工程积累了经验。

参考文献:

[1] 周春清,周志东,金连军.西藏旁多水电站泄洪洞塌方处理施工技术[J].四川水力发电,2015,34(4):12-14.
[2] 胡勇,帅莉群,任志民.梨园水电站 4 号引水道下弯及斜井段塌方处理[J].云南水力发电,2013,29(6):142-145.
[3] 魏永华.复杂地质条件下特大断面隧洞开挖施工技术探讨[J].贵州水力发电,2008,23(1):40-43.
[4] 徐同良.山岭隧道穿越既有洞室小角度交叉口施工技术[J].水利建设与管理,2021,41(11):41-46.
[5] 陈敏,刘振峰.高海拔严寒地区长大隧道断层破碎带塌方处理[J].建筑技术开发,2022,49(8):101-103.
[6] 刘畅,蔡斌,张罗彬.大岗山水电站地下厂房特大塌方及加固处理[J].云南水力发电,2012,28(增刊 1):26-30,33.

作者简介:

黄 欧(1987-),男,四川温江人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理。

(编辑:李燕辉)