

岩基独立基础联合开挖施工技术分析与应用

张允基

(中交一航局第二工程有限公司)

摘要:为解决岩石地基独立基础开挖施工中岩体结构易受损、坑壁稳定性差及传统爆破技术成本高、效率低等问题,以董家口沉箱预制场项目为背景,采用定位松动爆破与液压胀裂联合开挖技术方法,通过精准控制爆破参数实现岩体定向破碎,结合液压胀裂技术保护周边岩体地质原始状态,在确保基坑成形精度的同时最大限度发挥岩体力学特性。工程实践成果显示,开挖成本显著降低,施工效率大幅提高,基础的稳定性有效增强。联合工法能有效平衡爆破效率与岩体保护的双重需求,具有重要的经济效益和工程应用价值,其“控爆-胀裂”协同作用机制可为同类岩基工程提供技术示范。

关键词:岩石地基;独立基础;爆破;开挖;液压胀裂

0 引言

岩土工程领域中,爆破技术作为传统开挖方法已发展成熟。传统爆破在均质岩层中效率显著,但对复杂地质适应性较差^[1]。胡国飞等^[2]发现松动爆破易造成保留岩体隐性损伤,陈俊桦等^[3]据此建立了考虑岩体完整性的爆破损伤模型,为控制爆破影响范围提供了理论依据。与此同时,液压胀裂技术因其环保特性受到关注,张权^[4]研究表明新型液压胀裂器可在花岗岩中产生 180 MPa 瞬时压力,形成 2~3 cm 定向裂隙,证实了其在完整岩体中的定向裂缝扩展特性。

然而,单一技术在精度、效率、经济、环保等方面存在诸多不足,针对单一技术的局限性,联合施工技术逐渐兴起。国内在“爆破-机械”联合工艺方面已有实践,但缺乏控爆与胀裂的能量耦合理论研究。“爆破-破碎锤”联合工艺未解决机械臂作业范围限制的问题^[1]。国外相关研究较少,加拿大提出的“预裂爆破+机械破碎”工艺在硬岩隧道中效果显著,澳大利亚研发的“爆破-高压水射流系统”则面临成本问题。目前,定位爆破与液压胀裂联合技术的研究仍显不足,该技术在國內已具备一定基础,但需进一步完善体系;国外虽研究较少,随着环保和效率要求的提升,其发展潜力值得关注。

本文以董家口沉箱预制场项目为基础,研究在岩石地质条件下实现基坑的精准掏挖成形,同时确保基坑成形后基础周边岩体结构的完整性,

最大限度地保留坑壁及周边岩体地质条件的原始状态,从而充分发挥岩体本身的力学性能,保障基础的稳定性。聚焦其基础施工环节,对定位爆破与液压胀裂联合技术深入分析,并系统总结相关技术要点,旨在为类似工程提供技术参考,推动岩石独立基础施工向更加科学、高效的方向发展。

1 工程概况

董家口沉箱预制场项目的办公楼和生产车间工程位于青岛市黄岛区琅琊镇胡家村东南。本工程建筑面积 17 208.21 m²,包括 9 层(局部 10 层)办公楼 1 栋,建筑高度为 38.60 m,建筑面积 6 919.75 m²,占地面积 793.07 m²;8 层(局部 9 层)生产车间一栋,建筑高度为 32.10 m,建筑面积 10 288.46 m²,占地面积 2 135.46 m²。主要结构类型为钢筋混凝土框架结构。基础类型为柱下独立基础。本工程±0.00 相当于绝对标高 20.30 m,室内外高差为 0.30 m 或 0.15 m。本工程基础持力层为第③层中风化花岗岩,地基承载力特征值 $f_{ak} = 1\ 200\text{ kPa}$,并且其岩体呈现出较为完整的状态,岩层整体的稳定性也相对较高。

基于本工程地质情况,经过深入研究与分析,创新性地提出了定位爆破与液压胀裂联合开挖施工技术。

2 技术原理

定位爆破技术通过精确计算和布药,能够在指定位置实现可控爆破,初步破碎岩石,为后续

液压胀裂创造有利条件。液压胀裂则利用高压液体的强大压力,沿预设方向进一步裂解岩石,实现精细化破碎。

局部定位爆破联合液压胀裂开挖技术的核心原理如下:首先在岩石基础内部特定区域实施局部定向爆破,清理完爆破产生的碎石后形成中空区域^[1],这一中空区域便是保障后续液压胀裂顺利进行的作业空间;当岩基内部特定区域形成中空状态且验收合格后,开始沿基坑边线布置胀裂孔,随后实施液压胀裂,这一操作过程会在基坑边线位置产生顺直连续裂缝,将基础内部与基坑四周边线外部岩石有效分离。该方法不仅避免了超挖现象,还显著提高了基坑尺寸精度和表面平整度,可直接进入下一道工序,大幅提升了施工效率和质量。

3 施工方法

结合以往工程实践经验,并基于对本工程实际条件的综合分析,决定采用局部定位爆破与液压胀裂相结合的方式对岩基进行破碎开挖,该方法涵盖松动爆破、液压胀裂及破碎开挖等关键工艺。基于上述方法,编制专项施工方案,明确各项工艺的施工流程与质量控制标准,确保整体工程质量达到预期,为后续工序提供坚实基础。

3.1 松动爆破

局部定位爆破采用松动爆破方法,通过精确控制装药量和爆破参数,使岩石产生裂缝和松动,岩基内部形成漏斗状的倒锥形破碎区域,此区域内部岩石已充分裂碎,导致岩石呈现疏松且膨胀的状态,但此过程中产生的抛掷作用较其他爆破形式有所减弱,形成的爆堆可通过人工或机械方式进行挖掘和运输。根据对岩石破碎疏松程度的不同要求,合理选择爆破类型,可有效控制岩石破碎效果,满足工程实际需求。松动爆破根据爆破作用指数 n (即松动爆破漏斗半径 r 与最小抵抗线 W 的比值) 可分为 3 种类型: 1) 标准松动爆破 ($n=0.75$); 2) 加强松动爆破 ($0.75 < n < 1.0$); 3) 减弱松动爆破 ($n < 0.75$)。

3.1.1 松动爆破漏斗半径

由于不同地区地质条件差异显著,尤其是山地区域的岩石地带,岩石特性及风化程度变化多样,同一区域内不同位置的地质条件也可能存在较大差异。以往的施工实践表明,依据基础几何尺寸和岩石类别确定最优装药量是松动爆破技术

的关键,以确保爆破效果既能满足开挖要求,又能最大限度地减少对周围岩体的扰动。因此,在基坑开挖施工前,需在现场开展松动爆破漏斗试验^[2],通过试验测量数据核算装药系数,从而科学合理地确定装药量。

1) 在岩基独立基础开始施工前,需在附近区域进行爆破漏斗试验,以获取相关参数并验证爆破效果。通过试验数据,结合基础的设计尺寸和岩石特性,推算出基础的半径,进而确定松动爆破漏斗半径 r ,如图 1 所示。

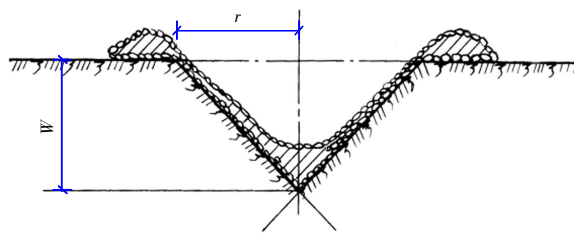


图 1 松动爆破漏斗半径示意图

2) 松动爆破的装药量是控制其作用效果的主要参数,计算公式为:

$$Q=0.33KW^3e \quad (1)$$

式中: Q 为药包装药量, kg; K 为爆破耗药系数, 见表 1; W 为药包埋置中心到基础自由面的垂直距离, 即最小抵抗线, 等于药包的埋深, m; e 为炸药换算系数, 以中硬岩炸药为标准。

表 1 各类岩土炸药爆破耗药系数 K 值

岩土名称	坚实系数 f	爆破耗药系数 K
坚土、夹砾(砂)土、破碎页岩	1~4	1.0~1.2
泥灰岩、板岩	4~6	1.2~1.3
砂岩、砾岩	7~10	1.3~1.6
白云岩、石灰岩	11~15	1.5~1.7
流纹岩、花岗岩、片麻岩	16~20	1.6~1.8
玄武岩、石英岩、辉绿岩	20~25	1.7~2.0

3) 松动爆破漏斗半径的控制是基础开挖精度的关键,需小于基础的设计半径(如果基础为方形或矩形,则以短边长计算半径),取值为基础半径的 60%,基础立柱的基坑爆破漏斗半径计算公式为:

$$r=D/2 \times 60\% \quad (2)$$

式中: D 为基础直径(方形或矩形基础则为短边长), m。

在爆破设计中,最小抵抗线是装药埋置深度的计算基础,其公式为:

$$H=W=1.33r \quad (3)$$

式中： H 为药包埋深，等于最小抵抗线， m 。

3.1.2 松动爆破施工工艺

1) 爆破自由面控制

分坑后以每个基础的中心为圆心，按式(2)计算得到的半径，采用切凿结合的方式开挖深 0.2 m 的圆形浅坑，做好圆周切割线，此操作用来控制爆破的自由面，防止爆破面过大。随后使用凿岩机在圆坑中心钻凿一个深度为 H 、直径为 30 mm 的炮孔^[3]。

2) 预裂孔布置

在施工进程中，一旦遭遇坚硬岩石的地质状况，需沿着半径为 r 的圆周线垂直钻凿 $12\sim 16$ 个预裂孔(如图 2 所示)。预裂孔的深度需控制在 350 mm 左右。设置预裂孔的目的在于，当中心炮孔装填炸药并实施爆破时，限制因震裂而对坑壁的破坏范围，从而切实保障基础坑壁按照设计要求不受到破坏。

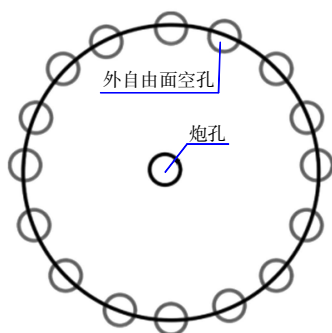


图 2 预裂孔示意图

3) 装药与爆破

将经计算确定的炸药量装入基坑中心的炮孔中实施爆破。然后清除碎岩及坑壁因爆破产生的裂隙岩石。随后继续钻孔并重复爆破，直至达到设计所需深度。

3.2 液压胀裂

3.2.1 胀裂孔钻孔

在液压胀裂施工前，需进行全面的施工准备。首先清理施工现场，去除杂草、垃圾及其他障碍物，确保场地平整并压实，以便钻机平稳放置。同时设置排水设施，防止积水影响钻孔精度。依据设计图纸，使用高精度测量仪器(如全站仪)精确测定胀裂孔位置，并进行多次复核，确保孔位偏差控制在允许范围内。设备方面，选择适合岩石特性的钻孔设备(如潜孔钻机、回转钻机)，并准备充足的配套材料，包括钻头、钻杆、空压机、除尘设备等。

钻机就位后，通过吊车等设备将其平稳移至标记孔位，调整钻杆中心与孔位中心重合，并使用水平仪和垂球确保钻机的水平度和垂直度。随后对钻机进行调试，检查旋转、推进、提升等系统的运行情况，确保设备处于最佳状态。

钻孔作业从开孔开始，采用低转速和小钻压缓慢钻进，形成稳定的起始孔，深度控制在 $10\sim 20\text{ cm}$ 。随后根据岩石硬度调整钻进参数：硬岩采用低转速、高钻压，软岩则控制钻进速度以防塌孔。钻进过程中，合理控制气流压力和流量，确保有效冷却和排屑。钻孔深度通过测量钻杆长度或钻机自带装置实时监控，接近设计深度时放慢速度，确保精度。

钻孔完成后，需使用测量仪器检查孔位偏差，确保横向偏差不超过 $\pm 5\text{ cm}$ 。采用孔径规测量孔径，并复核孔深，确保其符合设计要求。通过内窥镜等工具检查孔壁质量，确保其光滑、垂直且无塌孔、缩径等缺陷。若发现问题，需采取修复措施。

清孔作业采用高压空气配合除尘设备清除孔内残留物，确保孔内清洁。完成清孔后，对设备进行清理和保养，拆除连接部件并妥善存放或转移。同时清理施工现场，恢复场地原貌。胀裂孔钻孔示意图如图 3 所示。



图 3 胀裂孔钻孔示意图

3.2.2 液压胀裂施工

在胀裂孔钻孔施工完成后，随即进入液压胀裂设备的安装与调试阶段。首先将液压胀裂机精准定位并安放于预先确定的施工位置，随后利用高精度测量仪器对设备进行精确调整，确保胀裂机机体与胀裂孔轴线保持严格的垂直度，从而保证胀裂过程中作用力的均匀分布与稳定传递，为后续施工质量提供可靠保障。在设备安装与调试工作全部完成并确认达到最佳运行状态后，正式启动同步液压胀裂工序。在统一指令的协调下，多台液压胀裂机同时施加高强度液压作用于胀裂孔周围的岩体，通过液压能的集中释放，实现

对岩石的高效破碎与分离^[4]。

随着液压胀裂工序的持续推进,沿基础边线逐渐形成一条连续且规则的裂缝(如图4所示),这一裂缝将基础内部岩体与外部原始岩层清晰地分隔。该裂缝的形成不仅为后续施工提供了明确的作业边界,还在机械开挖过程中发挥了重要的保护作用,有效避免了外部原始岩层因开挖作业而受到扰动或破坏,从而最大限度地维持了岩体的整体稳定性与结构完整性。与此同时,基础内部岩体在液压胀裂力的持续作用下,其内部结构发生显著变化,形成了纵横交错的裂缝网络,导致岩石的力学强度大幅降低,岩体破碎程度显著提高,为后续破碎作业创造了有利条件。

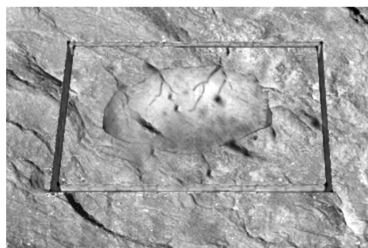


图4 胀裂裂缝示意图

这一系列施工工序的实施,为后续使用液压破碎锤进行高效岩石破碎作业奠定了坚实基础。液压胀裂技术的应用不仅显著提升了岩石破碎的效率,还大幅降低了施工难度,减少了机械设备的损耗,同时有效控制了施工过程中的安全风险。通过液压胀裂与机械破碎的有机结合,实现了岩石开挖的高效化、精准化与安全化,为工程的整体推进提供了强有力的技术支持,充分体现了现代施工技术的先进性与科学性。

3.3 机械破碎开挖

胀裂裂缝形成后,需对机械操作人员进行详细的技术交底,明确施工技术要求和注意事项。施工过程中,采用液压破碎锤对胀裂裂缝内的岩石进行破碎,同时配备反铲挖掘机协同作业,负责清理和运输基础内已破碎的岩石。施工中应严格控制作业范围,确保裂缝外侧岩层不受扰动,以保持外部岩层的结构完整性和稳定性。

破碎与清运作业完成后,基础基坑的尺寸误差须严格控制在10 cm以内,以满足工程设计精度和质量要求。该施工方法不仅显著提升了作业效率,还有效保证了基坑的几何精度,为后续施工创造了良好的条件。

4 施工效果

工程实践结果表明,在董家口沉箱预制场项目实施的岩基独立基础联合开挖技术科学组合多种施工工艺,在保护岩体结构、提升效率、降低成本等方面具有显著优势。

该技术采用控制爆破与液压胀裂相结合的施工方法,通过精准控制爆破参数和装药量,配合液压胀裂剂的缓慢膨胀作用,有效降低了施工震动对岩体的扰动,使岩体完整性保持率达到95%以上,为基础提供了可靠的承载力保障。在施工效率方面,通过爆破预裂与机械破碎的协同作业,使坚硬岩层的开挖效率较传统方法提升40%以上,整体工期缩短30%。经济效益分析显示,该技术不仅可减少岩体修复成本约25%,还能通过优化资源配置降低整体施工成本15%~20%。经现场实测验证,采用该技术施工的基础平整度偏差可控制在5 cm以内,基础沉降量减少30%,显著提升了工程质量和结构耐久性。该技术特别适用于地基承载力特征值较高、岩体较为完整且整体稳定性良好的岩石基础条件,为这类地质条件下的基础施工提供了切实可行的技术解决方案。

5 结语

本研究通过董家口沉箱预制场项目的工程实践,验证了定位爆破与液压胀裂联合开挖技术在岩基独立基础施工中的显著优势。该技术的成功应用,为解决岩石地基独立基础施工中的技术难题提供了有效方案。通过合理控制爆破参数与液压胀裂工艺的有机结合,实现了对坚硬岩基础的高效开挖。其“控爆-胀裂”的协同作用机制,为类似地质条件下的岩基工程施工提供了切实可行的技术方案。实践表明,该技术不仅能够保证施工质量,还能有效控制工程成本,对于提升岩石地基基础施工水平,促进工程建设的高质量发展具有积极的实践意义。

参考文献:

- [1] 《建筑施工手册》(第五版)编委会. 建筑施工手册[M]. 5版. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2] 胡国飞,余自强. 浅析岩石基础开挖松动爆破施工方法[J]. 江西电力,2007(3):45-47.
- [3] 陈俊桦,张家生,李新平. 考虑岩体完整程度的岩石爆破损伤模型及应用[J]. 岩土工程学报,2016,38(5):857-866.
- [4] 张权. 瞬时胀裂定向破岩原理及应用研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2023.