

隧道施工中人工爆破作业细节探讨

丁汉堃, 石磊, 季青, 贾景兴

(北京中科力爆炸技术工程有限公司, 北京 101318)

摘要:通过爆破实践,对隧道人工爆破作业中容易忽略但又时常发生的施工安全问题进行分析,制定可行的施工措施。以“安全统技术、技术保安全、双赢出效果”为主线,再次敲响爆炸物品同车运输危险等方面的安全警钟;在施工作业钻孔、装药和连线等方面,严格规范操作;针对光面爆破中存在的问题,制定了调整抵抗线和纠正导爆索连接方式等改进措施,改善了光面爆破效果。研究成果对爆破开凿隧道提供参考依据。

关键词:隧道人工爆破施工;顺管和反管装药;管道效应;导爆索连接

0 引言

随着铁路、公路、地铁建设需要,隧道工程也日益增多。作为隧道施工第一步的隧洞开凿,虽然有各种方法,但其中人工爆破施工法仍在广泛应用。爆破法与其他方法比较有其明显特点。爆破法适用于各种地质条件、各种断面形式以及各种开挖方法。

人工爆破施工是隧道工程中最复杂、最重要的一道工序。爆破效果直接影响工程质量与进度。因此,爆破全过程的规范操作尤显重要。

由于隧道工程所处环境艰苦,工期长且每天的工序重复且繁琐,作业人员难免在施工过程中产生烦躁情绪,以致发生粗化程序、忽略细节等不规范操作的情况。本文以“安全统技术、技术保安全、双赢出效果”为主线,针对隧道爆破人工作业时遇到的技术问题进行分析,从原理到措施为一线作业施工提供了具有可操作性的解决方案。

1 安全

1.1 炸药雷管禁止同车运输

炸药雷管绝对不能同车运送,即使是一条炸药、一发雷管也不行。爆破事故的发生大多数与不同爆炸物品同车运输有关。此条禁令虽然在“爆破安全规程”中有明确规定,但在实际爆破作业现场仍有发生。炸药雷管同车运输会酿成重大爆破安全事故,应严格禁止雷管炸药同车运输,若现场存在该错误行为的工作人员应受到严厉惩罚。

1.2 电焊机和抽水机

爆破作业上道工序立拱架用的电焊机放在台车上,在爆炸物品进入掌子面前应仔细检查电焊机电源开关是否关闭,电源线是否与配电箱断开并缠绕整齐。

遇到隧道地下水流出,爆炸物品进场前一定要将作业面附近的抽水机断电撤离。电焊机和抽水机的电压电流足可以引爆雷管,坚决不可以粗心大意。

1.3 炮棍

施工过程中常用塑料管充当炮棍,炮棍在使用过程中前端极易破裂,继续使用时,头部裂缝极易夹住导爆管,雷管从炸药中拉出,随着炮棍反复捣击摩擦,雷管存在可能爆炸的极大隐患。因此,装药前对炮棍要认真检查,将炮棍端头破损处去掉,用绝缘胶布缠好,避免因炮棍捣击引发意外。

1.4 渣土堆

掌子面的情况通常是爆后检查的重点,往往忽略对渣土堆的检查。越是不注意的地方就越可能出现差错。在渣土堆上时常能发现压扁不成形的炸药、断续的导爆索和导爆管等,如被无关人员捡去可能造成麻烦。因此,要经常派人对渣土堆进行仔细检查,收集残留物并及时处理。

1.5 掌子面塌方征兆

塌方一般发生在掌子面打孔或装药区域,前上方尚未支拱衬砌,塌方落石迅速,人员躲闪不及,极易造成伤害。对掌子面部位是否发生塌方的可能性与规律进行分析判断,是防止塌方、保证施工安全的重要措施。

(1) 岩层情况。沉积岩层呈软硬夹层状，层薄且裂缝多，并与洞中轴线呈垂直状态。掌子面岩体呈碎石堆积状。掌子面由岩石和土质混合组成。

(2) 爆破前后情况。掌子面未设置超前管架，且顶部超挖严重，时有落石。岩质松散，打孔时易发生卡钻现象，孔径自行扩大，装药时易发生卡孔、断接和无底洞等现象。边孔爆破不留孔壁痕迹或是严重的凹凸不齐。

(3) 掌子面及其附近现象。开挖后顶部未支护部位围岩掉块不断。掌子面突然涌水，或涌水压力增大。岩石张开裂隙明显增大（肉眼可见增大）。掌子面及其附近岩石出现岩粉，突现尘土飞扬。拱脚下沉显著增大，承载力不足，预兆可能塌方。

2 钻孔

实践表明，爆破施工中钻孔质量是关键。对作业面狭窄的隧道爆破施工的钻孔作业更显重要。在施工中力求做到炮孔布局合理，倾角准确，深度到位的技术要求。

隧道爆破采用多级复式楔形掏槽技术，其具有夹制小易成槽，利用率高进尺大，布局简洁打孔易掌握等特点，该技术被广泛应用于隧道开凿施工。

2.1 掏槽孔参数

掏槽孔参数如图 1 所示。图 1 中， H 为循环进尺， m ； α 为掏槽孔与工作面夹角， $(^\circ)$ ； l 为孔深， m ； B 为孔口距离， m ； b 为孔底距离， m ； l_1 为堵塞长度， m ； l_2 为装药长度， m 。

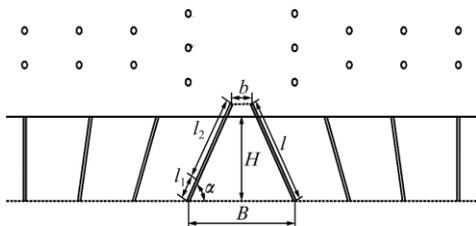


图 1 掏槽孔参数

2.2 钻孔施工

掏槽孔与掌子面夹角为 α ，造成其后的辅助孔具有不均匀抵抗线现象。因此钻孔时要将掏槽孔的孔底和孔口水平差值 $0.5B$ ($0.5B = \sqrt{l^2 - H^2}$) 融到各排辅助孔的间隔中，使得每一侧的各排炮孔倾斜角由 α 逐渐过渡到 90° ，做到各排炮孔的孔口和孔底的抵抗线都合理。避免局部炸不开或留坎。

钻孔的施工是利用全等三角形原理，如图 2 所示。选择钻杆长度 $l = H/\sin\alpha$ 。以进尺 H 设计预定线。

掏槽孔钻杆钻头端定位在布孔点，另一端与预定线相较于 A 点，以此开始掏槽孔作业。辅助孔从 A 点以孔间距 a 向左量度与预定线相交于 B 点，钻杆端由 B 点向右移 a_1 距离至 C 点，即为辅助孔钻孔起点。同理进行其余辅助孔钻孔，使增量合理分配到各排间隔中， $a_1, a_2, \dots, 0$ ，一直到打成垂直孔。

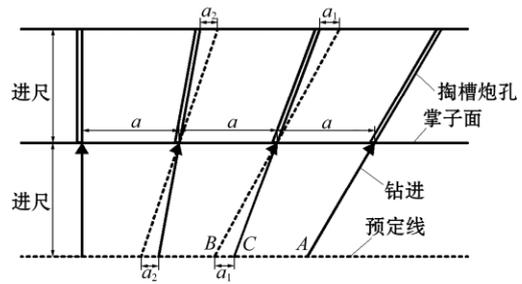


图 2 钻孔施工

3 装药

3.1 二架装药

二架装药主要问题是药包装后随手将导爆管下落到地面，与地面导爆管混在一起，尤其是在泥浆中，极易被踩踏，导致导爆管受损变形产生拒爆现象。因此强调在二架装药作业时，一定要将导爆管在二架上捋顺，待连线时一并放到地面。

3.2 底角孔

底角孔是指周边孔最下端左右对称的两个边角孔。底角孔的位置是支拱架的基点位置，非常重要。由于底角孔位于严重夹制区域，容易造成爆破不彻底，以致花费大量时间进行二次爆破或者机械锤击处理，大大延误了拱架作业。因此在装底角孔时要格外精心。一是要保证装药量充足，孔口留 $20\sim 30\text{ cm}$ 进行炮泥堵塞；二是装两发雷管，确保底角孔爆破充分；三是与底角孔相邻的周边孔、辅助孔和底孔也应如上装药，为其开创顺畅的临空面。

3.3 雷管方向

药包装到炮孔中，雷管聚能穴朝向孔底则称顺孔安装，雷管聚能穴朝向孔口则称反向安装。两种安装方式各有其特点。岩石碎裂成孔困难的炮孔易发生卡孔，宜采取顺管装药，在处理卡孔时雷管容易取出。在制做顺管药包时尽量将雷管从条药的一端深入到另一端，在后续装药时随即压实，以免连线时将雷管拉出。

3.4 药包位置

炮孔底部有时会出现残留炸药，发生这种情况

要从3个方面考虑产生原因。

(1) 炸药的爆轰长度受到小药卷直径的限制, 依据参考文献[1]显示, 药卷直径为32 mm的岩石硝铵炸药, 一发雷管只能引爆6~7根药卷, 最大传爆长度为1.5~2 m。

(2) 管道效应。小直径水平孔用小药卷形成的径向不耦合装药结构, 容易发生管道效应, 影响了炸药爆轰传播距离。

文献[3]显示, 塑料管和钢管里乳化炸药爆炸, 测得管道效应的传爆长度见表1。

表1 管道效应传爆长度

材质	药卷直径/mm	管道直径/mm	传爆长度/m
钢	25	35	0.686
钢	30	51	0.777
钢	25	76	1.631
塑料	25	51	1.131~1.372

(3) 钝化作用。由于炮孔位置、地质构造和岩性影响, 先爆孔挤压后爆孔, 光面炮孔有时被前段辅助孔爆破后挤压, 易造成孔内炸药钝化出现拒爆现象。

依据以上炸药残留原因分析, 改进了施工操作方法, 使得炸药残留现象大为改善。

(1) 在目前一个炮孔装一发雷管的前提下。将雷管装在装药长度中间偏底的位置。若孔内可以装两发雷管更好。

(2) 用塑料药卷装药时, 将药卷扎一小孔, 孔内压实, 流出炸药充实管道空隙, 消除管道效应, 纸质药卷容易装成耦合结构。

(3) 控制调整炮孔间距, 尤其是孔底位置间距过大或者过小。

4 连线

4.1 导爆管检查

对雷管底部导爆管的检查非常重要, 检查过程中时常发现导爆管内有气孔、结节或者折损等存在, 阻断了爆轰波正常传播造成哑炮, 遇到这种情况应剪掉或销毁处理。

4.2 遗漏雷管连接

在连接雷管时, 偶尔有遗漏雷管未连接, 这时要将已连接成“把”的导爆管束彻底解开, 将遗漏的雷管脚线并入其中重新缠绕胶布。不能未彻底解开“把”就隔着胶布将遗漏导爆管缠绕胶布。这

种操作在外观上很难发现, 完全是凭作业人员的责任心。在解胶布用刀挑割时, 千万注意不能割伤导爆管。

4.3 上道和下道

上道和下道同次作业时, 在分段连线时严格遵守上道掌子面先起爆, 下道后起爆的原则, 否则下道爆破振动飞石以及可能引发的上道落石将爆破网路砸断, 上道炮孔多, 网路复杂处理困难。

5 光面爆破

5.1 光面孔抵抗线

爆后检查有时发现存在光面孔零散破坏, 导爆索垂落, 炸药未爆现象。分析上述原因, 是因为光爆孔被前段辅助孔爆破拉坏所致, 一是采取了增加光爆孔和辅助孔距离改进措施, 也就是以 $W_{光} = (1.2 \sim 1.5) a_{光}$ 调整光爆孔的抵抗线 $W_{光}$ 。第二个改进措施就是光爆孔和前排辅助孔同段起爆。改进措施实施后改善了上述不良现象。

5.2 导爆索接法

光面爆破另一个问题是导爆索有间断未爆现象, 这和导爆索接法有关, 隧道爆破常用的3种导爆索接法介绍如下。

(1) 搭接。导爆索主线和各孔支线以进炮孔一个方向顺势连接, 雷管以聚能穴朝孔的方向即正向与导爆索连接, 在实际操作时要避免以下错误连接。如图3所示。图3(a)为正确连接方式, 图3(b)~(e)为错误连接方式。

(2) “一把抓”连接。将孔口导爆索若干条组成“把”再接上雷管, 扭紧成辫, 不能松散; 尾部在单条导爆索上接正向雷管。如果在“把”的中间位置安装雷管, 则不易贴实, 影响传爆, 如图4所示。

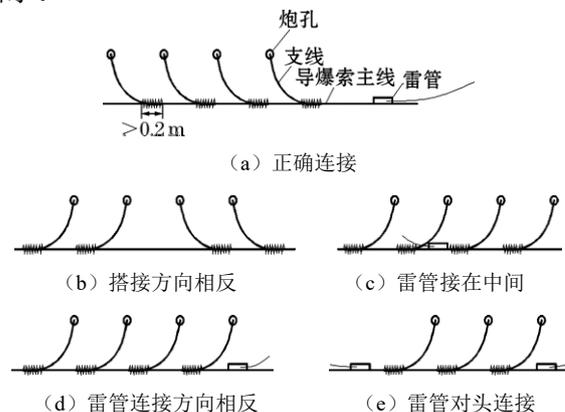


图3 导爆索搭接方式

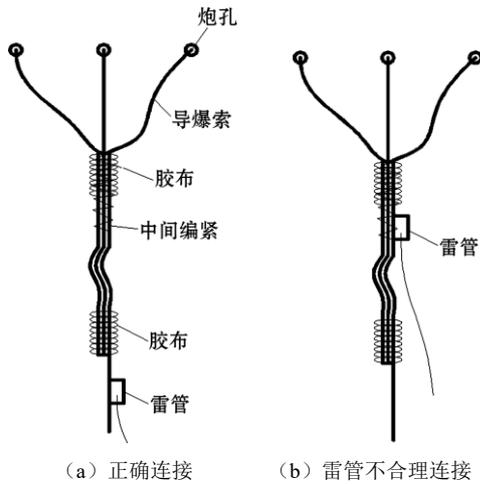


图4 导爆索“大把抓”连接方式

(3) 打结连接。主线导爆索与各孔支线导爆索打结相连，并在若干炮孔内放置起爆药包，孔内雷管做常规连接，如图5所示。

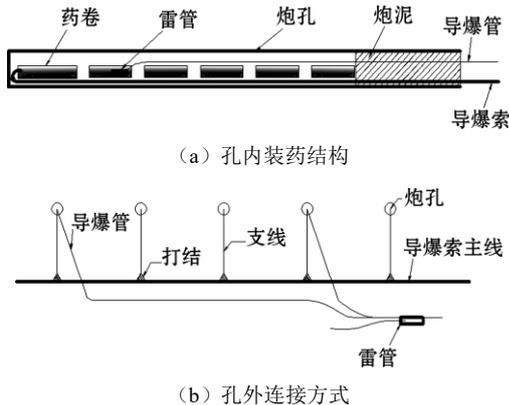


图5 导爆索打结连接方式

6 数码电子雷管的应用

数码电子雷管除具有其他雷管性能外，还独特具有以下两个特性。对起爆周密的受控性和对延长时间选择设定的灵活性。为爆破安全，优化爆破设计，精准爆破参数以及开拓爆破新技术等提供了有

利的技术支持。

数码电子雷管在爆破施工中，采用两种方法操作实施，即“先入孔后分段”和“先分段后入孔”。隧道爆破掌子面炮孔繁多，雷管段位繁多且每一循环布局不尽相同。采取“先分段后入孔”操作更能适应掌子面爆破网路这些特点。在各平台作业人员相对固定，对其分段的炮孔相对熟悉，对已经分段的雷管入孔操作更为顺手。实践证明，这种方法具有分段简明，装孔准确，程序操作快速等特点。

7 结论

本文以“细节决定成败”的理念出发，从安全、钻孔、装药、连线以及光面爆破方面，对隧道人工爆破施工出现的细节问题进行了综合分析，阐述了其中道理并制定了改进措施，既保证了爆破安全又改善了爆破质量。研究成果对爆破开凿隧道提供参考依据。

参考文献：

- [1] 汪旭光.爆破设计与施工[M].北京:北京冶金工业出版社,2013.
- [2] 丁汉堃,张阳,李超.留墙爆破中墙体厚度计算方法的探讨[J].采矿技术,2020,20(2):146-148.
- [3] 刘谦,Alam Baller.工业炸药管道效应的一般规律[J].山东矿业学院学报,1991(4):381-389.
- [4] 陈世海.现代钻孔理论与技术[M].煤炭工业出版社,1998.
- [5] 丁汉堃,西子阳,王彦军.露天浅孔爆破抵抗线计算方法的探讨及其应用[J].采矿技术,2020,20(05):164-166.
- [6] 王梦恕.中国隧道及地下工程修建技术[M].北京:人民交通出版社,2010.

(收稿日期:2021-11-18)

作者简介:丁汉堃(1946—),男,高级工程师,主要从事工程爆破技术与施工的应用研究,Email:1915311258@qq.com.

通信作者:石磊(1993—),男,工程师,从事工程爆破技术与施工方面的研究,Email:1915311258@qq.com.