

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.04.005

工业炸药成品装车位的隔爆设计^{*}

岳纪炜 陈 玉 侯斯婕 乔枫革
中国兵器工业规划研究院(北京,100053)

[摘 要] 对于一些工业炸药生产线老厂区,由于厂区内建设用地紧张、内部距离受限等原因,无法在原有生产线基础上单独设置成品中转站台或成品中转库时,需要找到一种可靠措施,在保证转运车辆中工业炸药与生产工房内存药不相互殉爆的前提下实现工房土堤外装车。通过某公司的隔爆墙设计实例得出,采用两层钢砼墙板中间夹砂的组合隔爆墙替代防护土堤,占地面积小,能够起到抗爆、防殉爆效果,可以有效阻止生产工房或成品装车位有一方爆炸时导致另一方主体结构遭受严重破坏,是解决工业炸药生产企业老厂区工业炸药生产线防护土堤外装车的有效途径之一。

[关键词] 隔爆墙;殉爆;钢砼墙;防护土堤;工业炸药生产线

[分类号] TQ560.8;X932

Explosion-interrupted Design for Product Loading Unit of Industrial Explosives

YUE Jiwei, CHEN Yu, HOU Sijie, QIAO Fengge
Planning and Research Institute, Norinco Group (Beijing, 100053)

[ABSTRACT] In some industrial explosives production lines, due to reasons, such as the limitation of old factory construction landing and the internal distance, the finished transit station or store cannot be set separately based on the original production line. In this case, it needs to find a reliable measure to ensure that industrial explosives could be loaded outside protective earth mound for the workshop building, which should be under the premise of no interaction between loaded explosives in the transportation truck and explosives in the workshop building. In this article, explosion-interrupted wall was designed in a factory to conclude that combined explosion-interrupted wall with two side R. C. (reinforced concrete) slabs filled with sand is a better choice to replace protection earth embankment. It would occupy less area and has better explosion-interrupted performance and sympathetic detonation prevention performance, which indicates it could prevent workshop building or production loading place from suffering serious structure damage caused by explosion of the other side. It is one of efficient solutions to explosion-interrupted design for the loading place in old factory.

[KEYWORDS] explosion-interrupted wall; sympathetic detonation; R. C. (reinforced concrete) wall; protection earth mound; production line of industrial explosives

引言

目前,国内部分民爆生产企业里,老的工业炸药生产线成品装车位设置在生产工房土堤内,仍采用人工输送的方法将整箱或整袋成品及时运送至成品运输车上进行转运。这种装车位的设置存在着土堤内总药量超量、人员超员等安全隐患。另有部分生产线在防护土堤外生产区交通干道装车,一些转运车车载量较大(5.0~9.9 t),装车位无具体的定量

规定,导致装车环节易出现危险源地点不确定、管理混乱等安全问题。随着行业发展和技术进步,从业人员的安全意识不断提高,对成品装车位的设置提出了更高的要求,特别是工信部安[2012]301号文件《关于提升工业炸药生产线本质安全生产水平的指导意见》的出台,对工业炸药生产线转运装车位的设置提出明确要求:新建生产线成品转运装车位与其邻近建筑物之间应满足内部最小安全距离要求;现有生产线设在防护土堤外的炸药成品转运装车位应采取可靠措施,保证车辆中炸药与邻近工房

^{*} 收稿日期:2017-03-13
作者简介:岳纪炜(1981-),女,硕士,高级工程师,主要从事民爆工程设计。E-mail:yjw2009@163.com
通信作者:乔枫革(1958-),男,博士,研究员级高工,主要从事民爆工程设计。E-mail:fg_qiao@aliyun.com

内的存药不相互殉爆。因此,近年来,新建生产线工程设计时,一般单设成品中转站台或成品中转库,且按照民爆规范^[1]要求,满足与邻近建筑物的内部最小允许距离要求。但对于一些老厂区现有的工业炸药生产线,往往由于生产区内建设用地紧张、内部距离受限等原因,无法在原有生产线基础上单独设置成品中转站台或成品中转库,为此急需找到一种解决方案,在保证车辆中炸药与生产工房内存药不相互殉爆的前提下实现工房土堤外装车。

国内外大量爆炸试验研究已经证实,民用爆炸物品发生殉爆的因素主要有空气冲击波、爆轰产物流和高速破片的撞击作用,而防护屏障对阻挡屏障内爆炸所产生的冲击波和飞散物能起到显著作用,是世界各国公认的有效防护设施^[2-5]。在工程设计中,为使实际生产时转运装车的炸药与装药包装环节的炸药不发生互相殉爆,通常选用防护土堤或钢筋混凝土隔爆墙两种形式作为防护屏障。

1 防殉爆距离的计算

以某公司乳化炸药生产线为例开展本次研究。该公司乳化炸药生产线制药工房与装药包装工房采用分建方式。其中,装药包装工房危险等级为 1.1 级,计算药量为 2.5 t。原成品装车位设置在装药包装工房土堤内,采用手推车将成品由工房内转运至运输车上,装药包装工房土堤平面情况如图 1 所示。

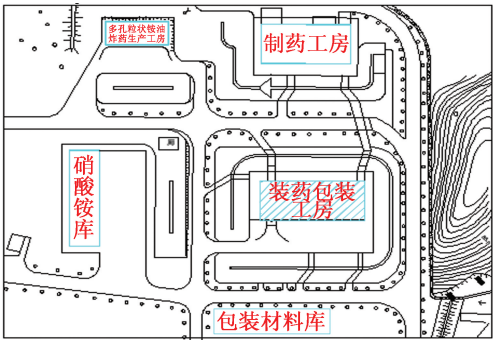


图 1 装药包装工房土堤防护现状图

Fig. 1 Drawing of existing protection earth mound for charging and packing factory building

本研究中,装车站台作为装药包装工房的附属装车位,按照装车站台与装药包装工房总药量不超过 2.5 t 计算。根据实际情况,生产线正常生产时,装药包装工房在线药量为 0.8 t;因此,装车站台处待转运的成品总量不应超过 1.7 t。

为解决装车站台处的存药与装药包装工房的存

药互不相殉爆的问题,参考 TNT 药堆间最小不殉爆距离公式^[5]:

$$R=0.7W^{\frac{1}{3}}。 \tag{1}$$

式中: R 为最小不殉爆距离,m; W 为主爆药量,kg。

按照 TNT 考虑,当装药包装工房药量为主爆药量时,装药包装工房外墙与装车站台药堆间最小不殉爆距离约为 6.5 m;当装车站台药量为主爆药量时,装药包装工房外墙与装车站台药堆间最小不殉爆距离约为 8.4 m。考虑到乳化炸药的 TNT 当量系数仅为 0.76,相同状态下,等量的 TNT 爆炸产生的冲击波超压大于乳化炸药,其产生的爆炸能量和破坏作用大于乳化炸药;因此,同样的主爆药状态下,当装车站台 1.7 t 乳化炸药为主爆药量时,装药包装工房外墙与装车站台药堆间最小不殉爆距离应小于计算值 8.4 m。本方案中,将装车位爆心设置在距离装药包装工房外墙 8.4 m 外,采用皮带运输方式将炸药成品由装药包装工房运送至成品装车位^[6],成品箱体规格为每箱 24 kg 乳化炸药,控制成品运输皮带上箱体间隔为 4.5 m 以上,可保证箱体之间不殉爆、装车站台药堆和装药包装工房药堆不殉爆。

2 防护形式的选择

2.1 防护土堤

防护土堤是目前工业炸药生产工房普遍采用的防护屏障方式。它可以影响爆炸冲击波传播,减弱冲击波对周围目标的破坏作用,也可以有效拦截低角度爆炸破片对周围目标的冲击作用。当工业炸药转运车辆停放位置位于防护土堤有效保护范围内,即防护土堤背爆面两倍防护土堤高度范围以内时,可避免其被殉爆^[7-9]。实际应用中,因防护土堤造价相对低廉且施工周期短等特点,一般多作为装车站台与生产工房间隔爆措施的首选方案。在相对理想状态下,以防护土堤作为生产工房与新增装车站台间隔爆措施的设计可参照图 2^[10-11]。

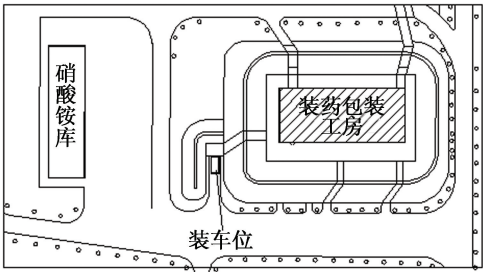


图 2 装车位土堤防护示意图

Fig. 2 Sketch of protection earth mound for loading place

但由于土堤的平面形式对土堤底宽有下限要求,即至少需要达到土堤高度的1.5倍,而土堤高度又取决于被保护建筑物的檐口高度或药面高度;因此,在实际应用中,会受生产区地形影响或受生产工房周边现状所限,没有足够的空间修建防护土堤。

2.2 隔爆墙

根据该公司乳化炸药生产线装药包装工房总图布置实际情况,受厂区其他建筑物和道路现状限制,将成品装车位移至工房土堤外后,在装车位外侧再设置土堤防护将占用现有厂区主干道,且根据内部距离反算出的中转站台药量很小,不能满足生产过程中成品转运要求。鉴于隔爆墙占地面积小、能够达到抗爆、防殉爆效果等特点,尝试设置隔爆墙。

根据民爆规范^[1]要求,该装药包装工房在有防护土堤有效防护的前提下,与位于其西南方向的硝酸铵库距离不应小于54 m,实测现场距离为65 m;因此,成品装车位只能利用这11 m范围进行布置(图3)。该范围除需考虑隔爆墙布置位置外,还需要根据运输车辆停放时炸药成品爆心与建筑物相对位置关系,反复计算隔爆墙的高度,继而调整车厢停放点的标高、隔爆墙厚度和装卸站台宽度。

确定上述装车位置和隔爆墙的各项参数后,着手考虑装车位的对外防护问题。为最大限度地保证安全,同时减少工程对厂区现有路网的破坏,方案中采取的措施是将平行于硝酸铵库前墙的“南-北”走向防护土堤向南延伸7.3 m,且使土堤顶高度高于成品运输车辆的车厢顶面1 m,以确保装车位与硝酸铵库之间形成有效防护。具体见图3、图4。

确定装车位后,根据载药车厢最不利点与装药包装工房山墙的外侧屋檐连线确定隔爆墙的高度,见图5。

以上方案,首先要确保将装车位与装药包装工房作为一个整体考虑时,其与周边建筑物之间的防护条件及该防护条件下的实际距离能够满足民爆规范的相应要求;其次是装卸站台与装药包装工房的

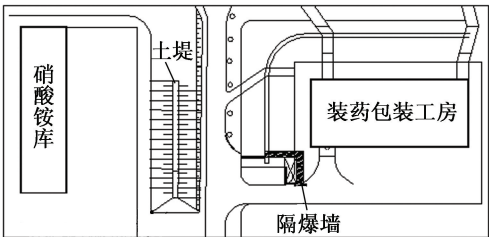


图3 装药包装工房新增隔爆墙示意图

Fig. 3 Sketch of new explosion-interrupted wall for charging and packing factory building

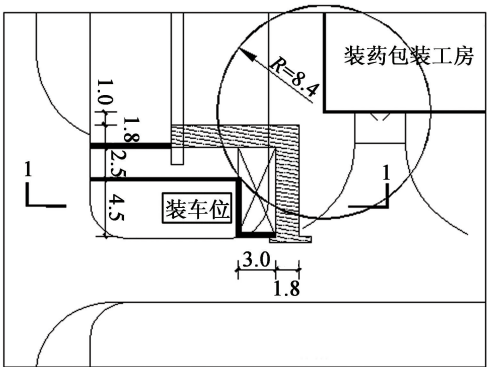


图4 隔爆墙平面示意图(单位:m)

Fig. 4 Plan of explosion-interrupted wall

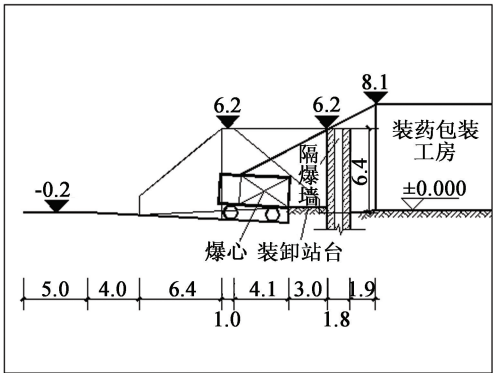


图5 隔爆墙1-1剖面示意图(单位:m)

Fig. 5 Section 1-1 of explosion-interrupted wall

相对位置要大于计算出的两者之间的最小殉爆距离。在受现状条件局限、不能设置土堤隔爆防护的情况下,该隔爆墙方案既能满足行业现行各规范、规章、技术的要求,又便于企业实际操作和日常应用。

3 隔爆墙结构方案

在隔爆墙防护方案中,拟采用隔爆墙代替防护土堤:一是保证装药包装工房和成品装车位有一方爆炸时,不会引起另一方殉爆;二是改变冲击波传播方向,保证装药包装工房或成品装车位有一方爆炸时,不会导致另一方主体结构遭受严重破坏;三是在有限可利用空间内减少防护设施占地面积。

隔爆墙结构计算按塑性理论设计,根据生产过程中发生事故频率极低和只可一次性使用的条件,取允许延性比 $\mu=20$,三级设防。分以下3种方案进行研究^[12-14]。

1) 方案Ⅰ:按带顶盖抗爆间室计算。

计算条件:此方案采用的是按顶部覆土有盖三墙间室模型进行计算。成品运输车上乳化炸药存量

按 1 700 kg 考虑,混凝土采用 C40 级,钢筋采用 HRB400 级。顶板覆土 500 mm 厚,墙厚取 1 000 mm 试算,墙体高度与周边防护土堤同高 7 900 mm。按照场地条件隔爆墙布置成“U”形,爆心位置见图 6。

用 HRB400 级。内墙、外墙均取 600 mm 厚试算;砂层可吸收并削弱冲击波能量,且增加墙体质量,使墙体自振频率降低,减少冲击波对结构的破坏影响。为达到上述目的,砂层厚度应取钢砼墙厚的两倍或更厚,但因场地条件限制,夹砂层只能与钢砼墙同厚度,取 600 mm 厚。按照场地条件,隔爆墙布置成“L”形,爆心位置见图 7。

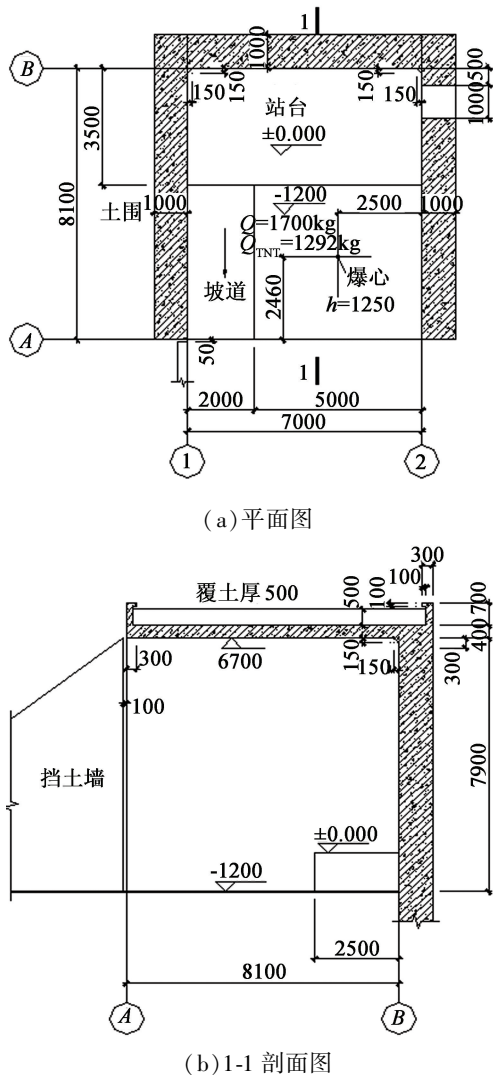


图 6 带顶盖抗爆间室式隔爆墙设计图
(单位:mm)

Fig. 1 Design drawing of blast resistant cubicle with ceiling type

计算过程:设计药量 $W_0 = 1\,700 \times 0.9 = 1\,292$ kg;其中,0.9 为乳化炸药的 TNT 当量折减系数。以计算墙 1 为例,计算得出弯矩 $M_x = 7\,045.5$ kN/m,墙 1 超筋。此种方案不可行。

2) 方案 II:按单层隔爆墙计算。

常见的无顶盖单层隔爆墙形式上较方案 I 更为不利,因此从结构概念上可否定此方案的可行性。

3) 方案 III:按组合隔爆墙计算。

计算条件:此方案采用的是两层钢砼墙板中间夹砂的组合隔爆墙,无顶盖。成品运输车上乳化炸药存量按 1 700 kg 考虑,混凝土采用 C35 级,钢筋采

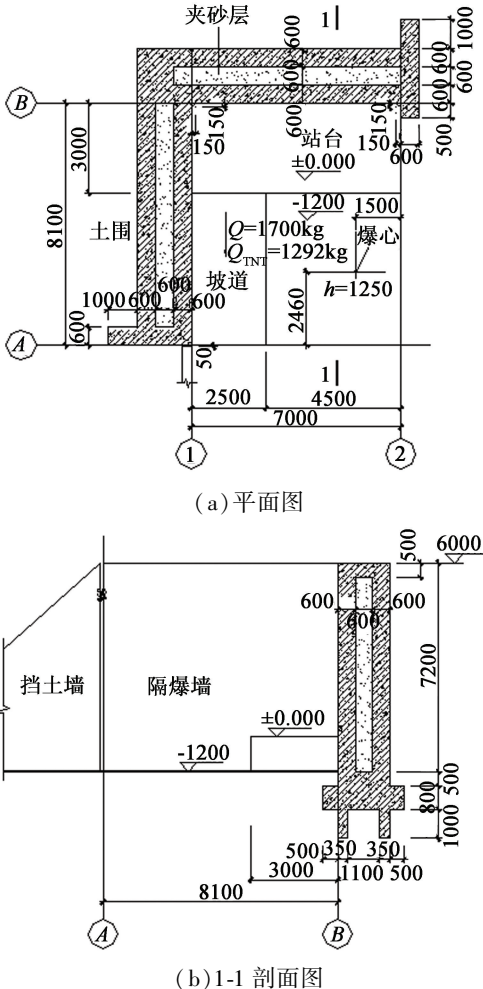


图 7 组合隔爆墙设计图(单位:mm)
Fig. 7 Design drawing of combined explosion-interrupted walls

计算过程:设计药量 $W_0 = 1\,700 \times 0.9 = 1\,292$ kg;其中,0.9 为乳化炸药的 TNT 当量折减系数。计算得出,内墙跨中及支座最大弯矩均为 $M_x = M_{x0} = 649$ kN/m;而外墙跨中及支座最大弯矩均为 $M_x = M_{x0} = 525$ kN/m。内墙、外墙配筋均较为合理。

4 结 论

综上所述,采用两层钢砼墙板中间夹砂的组合隔爆墙替代防护土堤,可以有效阻止生产工房或成品装车位有一方爆炸时导致另一方主体结构遭受严

重破坏,能够起到隔爆、防殉爆作用,可以作为解决工业炸药生产企业老厂区单独设置成品中转站困难时所采取的可靠措施,来保证成品转运车辆中炸药与生产工房内存药不相互殉爆的前提下实现工房土堤外装车。该隔爆墙设计方案已应用在民爆生产企业乳化炸药生产线上,并已通过安全评价和行业主管部门的验收。今后的推广,可根据本文中的原理计算隔爆墙墙板和夹砂层的厚度及墙板配筋。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.民用爆破器材工程设计安全规范:GB50089—2007[S].北京:中国计划出版社,2007.
Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Safety code for design of engineering of civil explosives materials: GB50089—2007 [S]. Beijing: China Planning Press,2007.

[2] 北京工业学院八系《爆炸及其作用》编写组.爆炸及其作用[M].北京:国防工业出版社,1979.

[3] 何源,何勇,潘绪超,等.含能破片冲击引爆屏蔽炸药研究[J].南京理工大学学报,2011,35(2):187-193.
HE Y,HE Y,PAN X C,et al. Initiation of shielded high explosive impacted by energetic fragment[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology,2011,35(2):187-193.

[4] 美国国防部(DOD).火炸药和弹药安全标准:DOD6055.9—STD[S].美国:美国国防部,2004.
DOD .The safety standards of fire explosives and ammunition;DOD6055.9—STD[S]. USA;DOD,2004.

[5] 王泽溥,郑志良.爆炸及其防护[M].北京:兵器工业出版社,2008.

[6] 何荣,陈嘉陵.包装工房炸药装车问题的探讨[J].爆破器材,2008,37(3):19-21.
HE R,CHEN J L. The study of problem for entrucking explosive in packing building [J]. Explosive Materials, 2008,37(3):19-21.

[7] 张国顺,王泽溥.火炸药及其制品燃烧爆炸事故及其预防措施[M].北京:兵器工业出版社,2009.

[8] 董文学,李素灵,白春光,等.乳化炸药生产工房计算药量探讨[C]//中国爆破器材行业协会.乳化炸药安全技术交流会资料汇编.北京,2013:367-372.

[9] 韩瑞,高晓莉,张志山,等.乳化炸药生产线工程设计中安全技术问题的探讨[C]//中国爆破器材行业协会.乳化炸药安全技术交流会资料汇编.北京,2013:

231-238.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.化工企业总图运输设计规范:GB50489—2009[S].北京:中国计划出版社,2009.
Ministry Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of general plot plan and transportation of chemical industrial enterprises:GB50489—2009 [S]. Beijing: China Planning Press,2009.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.工业企业总平面设计规范:GB50198—2012[S].北京:中国计划出版社,2012.
Ministry Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of general layout of industrial enterprises: GB50198—2012 [S]. Beijing: China Planning Press,2012.

[12] 胡宏伟,冯海云,肖川,等.基于顶盖举起试验的炸药内爆炸性能评估[J].火炸药学报,2016,39(3):53-57.
HU H W,FENG H Y,XIAO C,et al. Evaluation of the internal blast performance of explosives based on roof lift test[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2016,39(3):53-57.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.混凝土结构设计规范:GB50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
Ministry Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of concrete structures: GB50010—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2015.

[14] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.抗爆间室设计规范:GB50907—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
Ministry Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of blast resistant chamber structures: GB 50907—2013 [S]. Beijing: China Planning Press,2013.