

Structure Design of Fire Helmet and Selection of Main Parts Materials and Processing Technology

Genbao Wen¹, Li Wen¹, Wen Shi²

¹AVIC Aerospace Lifesaving Equipment Co. Ltd., Xiangyang Hubei

²University of Sydney in Australia, Sydney, Australia

Email: 1024647478@qq.com

Received: Mar. 2nd, 2016; accepted: Mar. 17th, 2016; published: Mar. 21st, 2016

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Fire helmet with optimized structure design can protect firefighters from hurt even in the case of the helmet being stroked by heavy objects or punctured by blunt; fire helmet can prevent firefighters being burned by selecting material of main components; fire helmet can protect firefighters from hurt by heavy strike and blunt puncture through selecting main components processing and forming. This article will illustrate that the security performance of the fire helmet can only be fully ensured when fire helmet structure optimization and correct selection of components material and molding applications being considered comprehensively. In other word, security performance of the fire helmet can not be guaranteed if only one or few factors be considered.

Keywords

Fire Helmet, Bump, Blunt Puncture, Kevlar, Cushion

消防盔结构设计及主要零部件材料与加工工艺的选择

文根保¹, 文莉¹, 史文²

¹中航工业航宇救生装备有限公司, 湖北 襄阳

²澳大利亚悉尼大学, 澳大利亚 悉尼

Email: 1024647478@qq.com

收稿日期: 2016年3月2日; 录用日期: 2016年3月17日; 发布日期: 2016年3月21日

摘 要

消防盔通过结构的优化设计, 可以达到在重物撞击和钝器穿刺的情况下保护消防员头颅不受到伤害的目的; 可以通过消防盔主要零部件材料的选择, 达到防止消防员头颅不被烧伤的目的; 还可以通过主要零部件成型加工方法选取, 达到防止消防员在硬物撞击和钝器穿刺下的人身安全的目的。通过本文的论述充分说明了只有在全面地考虑消防盔结构优化设计、主要零部件材料正确选取和成型工艺的应用, 才能完全确保消防盔的安保性能, 而只是片面地考虑消防盔单方面因素, 是不能保证其安保性能的。

关键词

消防盔, 硬物撞击, 钝器穿刺, 凯芙拉, 缓冲垫

1. 引言

可以想象火灾的场景: 火场中火焰和浓烟冲天, 让人窒息和煎熬。墙倒屋塌, 使生命受到威胁。冬天火场的高压龙头喷水和火焰, 又是冰火两重天。还会存在着煤气罐、天然气的爆炸和电线、电器触电等状况。消防员为了抢救群众的生命和财产冲入火场, 随时都会有砖块和水泥板砸向他, 还可能有钢筋或梁柱刺向他, 更不用说烈火的熏烤和浓烟呛人。消防盔能够防止硬物的撞击和钝器的穿刺, 面罩可防脸部烧伤; 消防服和手套能防身体的灼伤; 供氧面罩能提供氧气避免吸入燃烧烟气; 消防鞋能防锐器划破和脚的烧灼。如此, 消防员头上戴的消防盔和身上穿的消防服及面部戴的供氧面罩, 这些装备就是他们的生命保护神。为了使进入火场受到煎熬的消防员能降低体温, 又开发出电子降温背心。本文重点介绍消防盔, 如何在硬物撞击和钝器的穿刺及高低温下实现安防功能的。

2. 消防盔技术要求

对消防盔而言, 如何才能使头盔能在 $-50^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 的火场中不被烤坏和不变形; 空中掉落的钢筋或梁柱扎到头盔上而不被刺透; 石块砸向头盔时能保消防员安然无恙。当然, 头盔上还需要能安装照明灯和通讯及摄像设备。这些技术要求, 在防穿刺和碰撞要求上可以参照防弹头盔。

头盔外壳防弹的原理: 材料是用凯夫拉布, 子弹或锐器刺向头盔时, 子弹在与复合材料作用过程中发生侵彻后表现出多种不同破坏形式, 如纤维拉伸断裂、界面的分层、纤维和树脂的脱粘及材料产生凹陷等。如此, 弹体动能在这些破坏中被逐渐地消耗, 从而达到了防弹的效果。新一代国产军用头盔—QGF02型芳纶头盔。该头盔是以我国自行研制开发的高强度合成凯芙拉纤维为主要材料, 性能优于美国的凯芙拉纤维。该型头盔用54式手枪51式标准弹以5米射距、420~450米/秒弹速垂直入射条件下, 抗弹率为100%。其V50值¹为630米/秒。防弹头盔还能防国产64式或77式7.62 mm手枪发射的64式7.62 mm手枪弹(铅芯)的穿透。消防盔是参照军盔和外盔及经公安部各种试验后确定头盔材料和厚度。

¹V50为某一种枪弹类型对试样形成穿透概率为50%的着靶速度, 用V50表示。

3. 消防盔的结构与防护功能

消防盔的功能为取决于消防盔结构组成、种各结构件材料和成型工艺方法的选取。

3.1. 消防盔的结构

消防盔结构，如图 1 所示，主要部件是由头盔主体(含头盔外壳的组装件) 1、面罩 2、软缓冲垫 5、硬缓冲垫 6、帽箍系统 7、悬挂系统 8 和披肩系统 9 等组成生命的盾牌。

3.2. 消防盔防护功能

消防盔防护功能包括有：防灼伤、钝器穿刺、硬物撞击、供氧和其它功能。

1) 防灼伤功能：由头盔主体(组装件) 1、面罩 2 和披肩系统 9 所形成的组合，可以完成防灼伤功能。头盔外壳、面罩 2 和披肩系统 9 是由耐高低温复合材料、塑料织物制成，可以有效防止高温对头颅的灼伤。

2) 防钝器穿刺功能：由头盔主体(组装件) 1、软缓冲垫 5、硬缓冲垫 6 所形成的组合，可以完成防钝器穿刺的功能，即头盔由头盔外壳→软质缓冲垫→硬质缓冲垫的三重防护穿刺的功能。

3) 防硬物撞击功能：由头盔主体(组装件) 1、软缓冲垫 5、硬缓冲垫 6、帽箍系统 7、悬挂系统 8 所形成的组合，可以完成防硬物撞击功能，即头盔由头盔外壳→缓冲垫→悬挂系统的碰撞，也就是从硬碰撞→软碰撞→弹性碰撞的过程。

4) 供氧功能：由供氧面罩和氧气瓶所形成的组合，可以完成防止吸入烟气免使人窒息的功能。

5) 其它功能：由头盔上照明灯可以照亮消防员可见到火场，通讯系统可以让消防员与火场指挥员进行通讯联系，甚至可以通过头盔上的摄像头将火场的视频传递给指挥部。

4. 消防盔主要零部件材料与加工工艺的选择

如图 2(a)所示，消防盔防灼烧和耐温度的性能，主要取决于头盔外壳 1 的增强材料和树脂添加剂。消防盔防碰撞和防钝器穿刺的性能，取决于头盔外壳的选材与成型工艺以及缓冲垫和悬挂系统的结构设计。

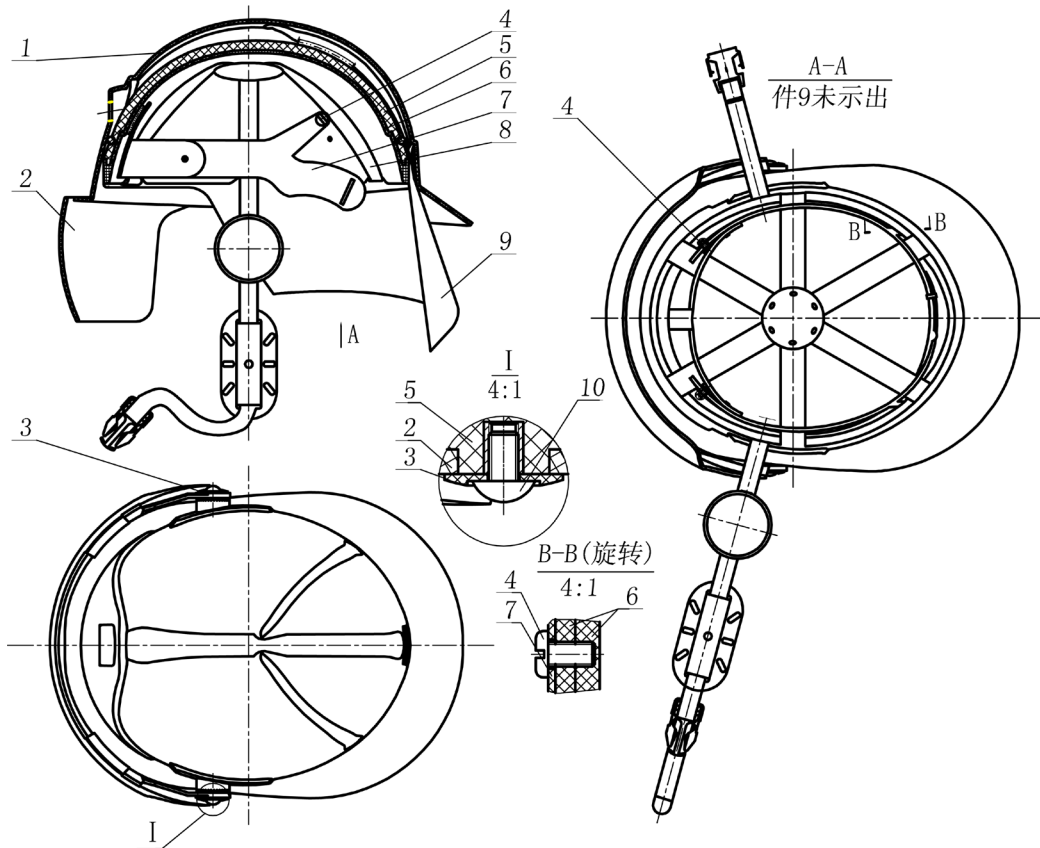
4.1. 防止人体灼伤零部件的材料与加工工艺的选择

头盔主体(组装件) 1、面罩 2 和披肩系统 9 是组成防止人体灼伤的零部件。

4.1.1. 头盔外壳防止人体灼伤的方法

头盔外壳，如图 2(a)所示。头盔外壳 1 是头盔主体(组装件)的基体件，其它的零部件都是安装或镶嵌在其上。头盔外壳的形状为橄榄球形，壁厚为 3 mm，要求壁厚均匀。

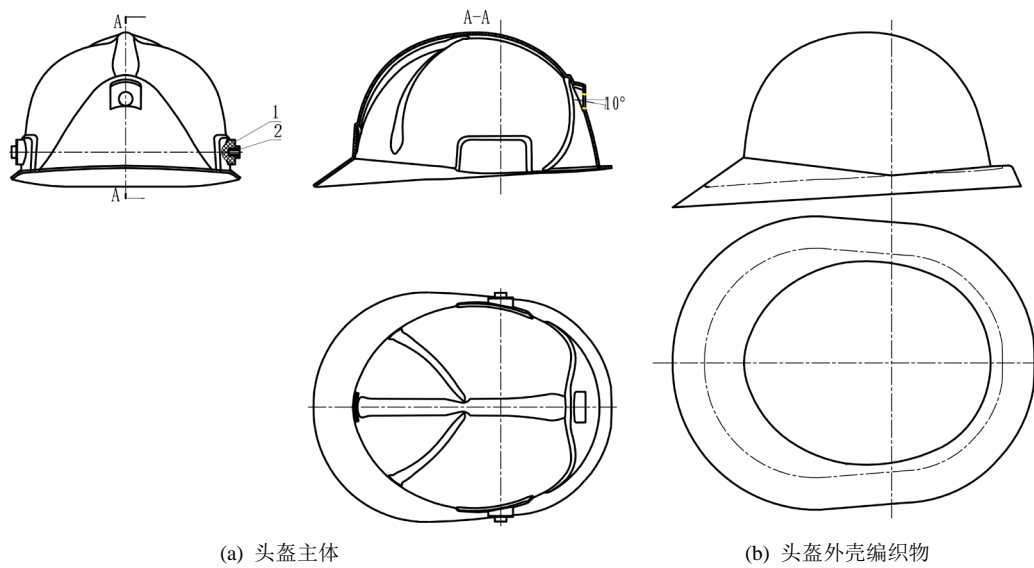
1) 头盔外壳材料的选取：凯芙拉纤维属芳族聚酰胺类有机纤维，这是继玻璃纤维、碳纤维、硼纤维之后被用作增强纤维。凯芙拉纤维抗张强度是一般有机纤维的 4 倍，其模量为涤纶的 9 倍。其强度是钢丝的 5~6 倍，模量为钢丝或玻璃纤维的 2~3 倍，韧性是钢丝的 2 倍，而重量仅为钢丝的 1/5 左右。在 560℃ 下不分解，不熔化。并具有良好的绝缘性和抗老化性能，具有很长的使用周期。由于凯芙拉纤维的比重小，它的比强度高于玻璃纤维、碳纤维和硼纤维。但压缩强度、剪切强度都较低，吸水性较高以及具有热稳定性，低侵蚀性、耐磨性。具有优良的比强度、比模量值、冲击、蠕变、耐疲劳、耐有机溶剂、耐酸、耐碱的侵蚀，以及良好的振动阻尼与介电性能。不燃烧、自熄性，而且发烟低，耐热性好，在 180℃ 可继续使用[1]。如此，凯芙拉能够经受住高温的烧烤，又能抵抗住低温的考验，还能经受得住重物的撞击和钝器的穿刺。还由于颈椎对承重和头颅转动的要求，头盔材料重量要轻。



1.头盔主体(含头盔外壳组装件); 2.面罩; 3.垫圈; 4.沉头螺钉; 5.软缓冲垫; 6.硬缓冲垫; 7.帽箍系统; 8.悬挂系统; 9.披肩系统; 10.十字槽螺钉。

Figure 1. Structure of the fire helmet

图 1. 消防盔结构



(a) 头盔主体

(b) 头盔外壳编织物

1.头盔外壳; 2.镶嵌螺母。

Figure 2. Helmet body and a helmet shell fabric

图 2. 头盔主体及头盔外壳编织物

2) 阻燃剂的选用: 除了增强材料采用凯芙拉纤维之外, 树脂中还必须增添阻燃剂, 使得头盔外壳不会受热燃烧和变形。

4.1.2. 头盔其它零部件防止人体灼伤的方法

消防头盔的零部件, 如帽箍系统 7、悬挂系统 8 和披肩系统 9 中的锦丝带纺织品及缝纫用线, 大多采用自熄阻燃纺织材料。

4.2. 头盔外壳防钝器穿刺的方法

所谓钝器穿刺是指细长的物体刺到头盔局部上, 会造成物体扎入头盔而使人脑被扎进外物。头盔防钝器穿刺方法是依靠头盔外壳 1、软质缓冲垫 5 和硬质缓冲垫 6 进行的, 如图 2(a)和图 3(a)、图 3(b)所示。

1) 消防头盔的结构: 头盔结构除了要确保人佩戴时舒适度之外, 还必须要确保头盔能防钝器穿刺和硬物撞击功能。头盔外壳在防锐器穿刺的过程中, 起到最主要的作用, 头盔中的泡沫衬垫起到次要作用。可以说没有外壳的阻挡作用, 头盔是无法实现防钝器穿刺的功能。

2) 防穿刺材料与作用: 采用的凯芙拉增强纤维, 由于其具有坚韧耐磨、刚柔相济的性能, 为刀枪不入的材料[1]。

3) 头盔外壳防钝器穿刺的作用: 用凯芙拉增强材料在锐器刺向头盔时, 锐器与复合材料在作用过程中发生侵入后表现出多种不同破坏形式, 如纤维拉伸断裂、界面的分层、纤维和树脂的脱粘及材料产生凹陷等。如此, 钝器动能在这些破坏中被逐渐地消耗, 从而达到了防穿刺的效果。

4) 软硬质缓冲垫防钝器穿刺的作用: 动能在穿刺外壳减小后, 在进入软质(聚氨酯泡沫)缓冲垫时, 由于其具有的黏性最终导致锐器的动能为零而不能被破坏, 最后使得锐器在接触硬质(聚丙烯 301)缓冲垫时被停止。这种钝器穿刺动能逐渐减小直至为零的过程, 是完全符合防钝器穿刺的有效方法。

5) 硬质缓冲垫和软质缓冲垫的加工: 硬质缓冲垫, 材料为聚丙烯 301, 为采用注射成型工艺加工[2]。软质缓冲垫成型加工是先将硬质缓冲垫放到发泡模中, 再将聚氨酯泡沫颗粒放进发泡模腔里, 通过烘箱加温发泡成型脱模后为缓冲垫组合。

4.3. 头盔外壳防硬物撞击的方法

所谓硬物撞击是指大体积物体砸在整体头盔上, 造成物体砸向头盔使人的头颅出现震荡现象。头盔外壳防硬物撞击的方法主要是依靠头盔外壳、帽箍系统和悬挂系统。成型工艺方法决定于头盔外壳的强度和刚度, 如果头盔外壳采用手工裱糊凯芙拉布, 用平面形状的纤维布去铺敷橄榄球形状的头盔外壳必定会产生皱折而影响制品壁厚。此时, 一般需要将纤维布剪开成若干个缺口再进行铺放和裱糊, 这样又会出现若干条搭接处。搭接处是强度和刚度最薄弱处, 如果钝器正好戳到该处就可以被戳穿。

4.3.1. 头盔外壳编织物与外壳壁厚

既然采用纤维布铺敷头盔外壳会产生皱折和搭接缺陷而影响其强度和刚度, 那么只能采用与头盔外壳形状相似的纤维编织物[3], 如图 2(b)所示。这样由于纤维编织物是连续整体的, 纤维编织物在编制过程中经纬线是均匀的, 而制品局部凹凸形状可以利用纤维的伸缩性达到头盔外壳成型的目的。如此, 头盔外壳成型时不会存在着皱折和搭接缺陷。由于纤维编织物厚度仅 0.23 mm, 加上树脂厚度也只能是 0.3 mm, 纤维编织物必须共有 10 层[4]。从最小的一层开始, 每增加一层纤维编织物其厚度应增加 0.3 mm。确定其壁厚的方法, 是通过钝器穿刺试验和参考了防弹头盔外壳的数据而确定。

4.3.2. 头盔外壳成型方工艺法

要使头盔外壳成型后无富胶、贫胶、气泡、分层等缺陷, 只能采用凸凹双模压模成型或 RTM 成型方

法。全国的消防员众多意味着消防盔产量大，RTM 成型方法能适应大批量生产。这样由于凸凹模之间为均匀 3 mm 的间隙，在低压作用下多余的树脂和模腔中的空气从排气孔排出，成型的头盔外壳能够实现两面光洁并没有上述的缺陷。

4.3.3. 帽箍系统和悬挂系统作用

硬物撞击人的头颅后，轻则出现脑震荡而昏迷或成植物人，重则颅骨破裂脑浆溢出而亡。

1) 帽箍系统 由前额和后脑勺帽箍及下颚帽箍组成。只要这两部分的帽箍能将消防员脑袋锁紧，在任何情况下消防盔不会从消防员的头颅上掉落从而起到保护头颅的作用[5]。

① 前额和后脑勺帽箍：如图 4(a)所示，通过调节右调节片 3 和左调节片 4 的位置，可将前额和后脑勺扣紧。

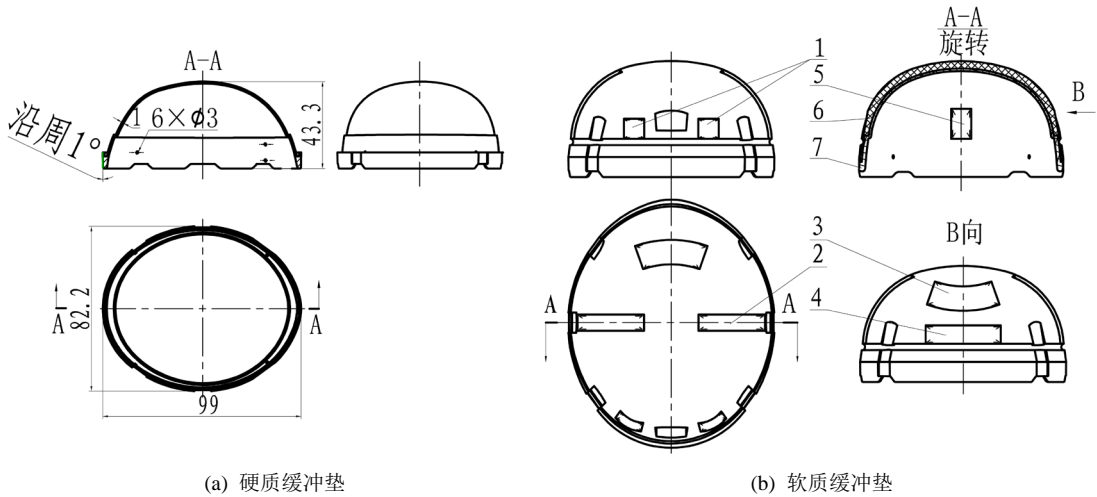
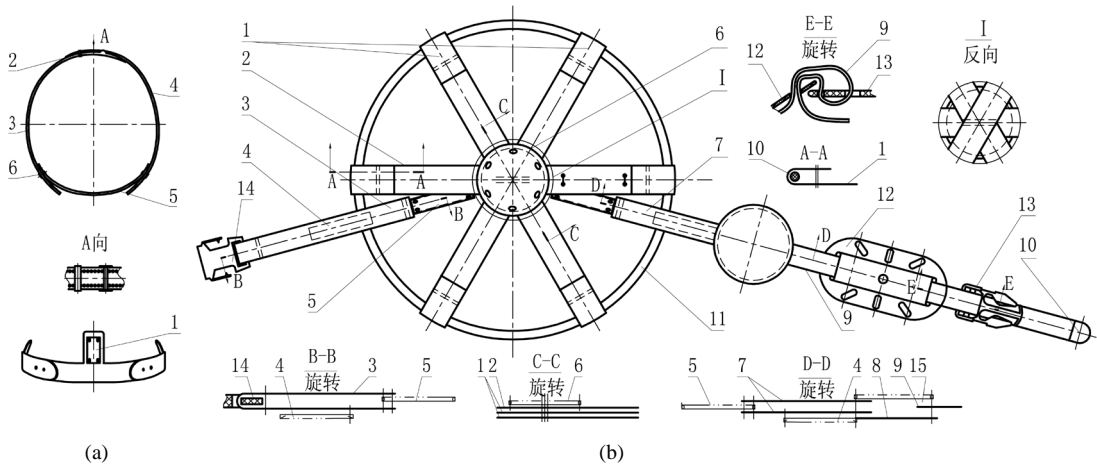


Figure 3. Hard soft cushion
图 3. 硬软质缓冲垫



图(a)帽箍系统：1.锦丝搭扣，2.卡箍，3.右调节片(阻燃涤丝带)，4.左调节片(阻燃涤丝带)，5.T型带，6.铆钉。图(b)悬挂系统：1.头顶带(一)，2.头顶带(二)，3.左调节带(阻燃涤丝带)，4.锦丝搭扣(一)，5.锦丝搭扣(二)，6.锦丝搭扣(三)，7.右调节带(阻燃涤丝带)，8.衬布(透气不透水布)，9.下颚带(阻燃涤丝带)，10.压片，11.支撑环(阻燃涤丝带)，12.托垫，13.卡扣，14.卡扣座，15.耳机用锦丝搭扣，辅助材料：所有纺织品都是用防灼锦丝线缝制。

Figure 4. The cap hoop and suspension system
图 4. 帽箍与悬挂系统

② 下颚帽箍：如图 4(b)所示，由锦丝搭扣(一) 4、锦丝搭扣(二) 5、右调节带 7、下颚带 9、压片 10、托垫 12、卡扣 13 和卡扣座 14 组成，这些外露的缝制品均为阻燃涤丝带并用防灼锦丝线缝制，以卡扣 13 和卡扣座 14 扣紧消防员的下颚。

2) 悬挂系统 如图 4(b)所示，主要由头顶带(一) 1、头顶带(二) 2、锦丝搭扣(三) 6 和支撑环 11 组成。当硬物砸向头盔时，先是与外壳发生硬性碰撞后使之变形而减少硬物动能。在撞击力作用下外壳与悬挂系统的空间被压缩发生弹性变形而吸收剩余动能，这便是以位能的变化而减少重物势能。同时，撞击通过外壳对缓冲垫传递，可将局部的动能转换成整个缓冲垫橄榄球面积所承受的动能，从而减少了单位面积的撞击动能数值。如此，不会造成大脑与颈椎所受到的撞击力会超过人所能承受的能力而保护了消防员的头颅和颈椎。

5. 结束语

消防头盔通过了合理的优化结构设计，又通过对主要零部件的材料和材质的选择以及成型工艺的制定。从而使得消防头盔具有防灼伤、防穿刺和防撞击等功能，加上照明、供氧、通讯和摄像等功能。许多火场实践已经充分证明了，这些措施使得该消防头盔成为最具现代化高科技重要的消防设备之一，也成为了消防员勇赴火场的保护神。

参考文献 (References)

- [1] 黄发荣, 焦扬声, 郑安呐. 塑料工业手册《不饱和聚酯树脂》[M]. 北京: 化工出版社, 2001.
- [2] 文根保, 陈小兵, 文莉, 史文. 现代注塑模结构设计实用技术[M]. 北京: 机械出版社, 2014.
- [3] 文根保, 文莉, 史文. 头盔外壳成型(裱糊)模的分析与设计[C]//中国工程塑料工业协会. 2010 年中国工程塑料复合材料技术研讨会(工程塑料应用). 泰安, 2010: 289-293.
- [4] 文根保, 文莉, 史文. 两侧带凸台头盔外壳成型钻模的设计与制造[J]. 模具技术, 2015(4): 61-63.
- [5] 文根保, 文莉, 史文. 第二代消防盔悬挂组件的设计[J]. 安防技术, 2013(1): 18-23.