

二零二二年七月二十八日
香港体育馆Mirror演唱会事故
调查报告

康乐及文化事务署
二零二二年十一月

目录

I. 引言	第 3 页
II. Mirror 演唱会事故	第 5 页
III. 调查 Mirror 演唱会事故的工作小组	第 7 页
IV. 工作小组调查结果	第 8 页
A) 技术调查结果	第 9 页
B) 事故原因	第 17 页
V. 加强措施	第 20 页

I. 引言

香港体育馆为多用途室内场馆，由康乐及文化事务署（康文署）拥有。香港体育馆原本是为举办体育赛事而设计，因此场内并无任何为表演而设的固定舞台、设备及相关装置。该场地是康文署唯一设有超过一万个座位的室内场地，因此一直用作举办大型体育赛事、盛大的娱乐表演以至流行音乐会等各类活动。虽然租用人每次均须自设装置，但可弹性设计舞台和安排座位，达致最佳表演效果。

2. 由于舞台的设计和安装由租用人自行决定，租用人有责任确保各项装置安全稳固。租用人须确保其本人、其雇员、代理人、赞助人、合办人、承办商、分判商及获准进入租用场地的所有其他人士遵守所有适用法例及「租用条款」。这项规定已在「租用条款」中清楚订明，而租用人签署覆实订租表格时亦已同意遵守有关规定。为了提供保障，确保装置安全，凡是搭建、安装、使用索具装配或悬挂任何搭建物及／或设备，租用人均须聘请经署方核准的合资格专业人士加以监督，并须按香港体育馆的「租用条款」规定，在工程完成后聘请认可人士确认各项装置均属安全稳固。一般而言，认可人士指注册专业人士，而租用人实际上亦一直有聘请注册专业人士确认各项装置安全稳固。上述做法与不少工程项目（例如楼宇建造及基建项目）及其他活动场地的做法一致，即租用人／承办商须确保建筑工程及安装工作均由若干注册专业人士妥为检查和证明。这个做法已清楚界定各方权责，政府会向租用人／承办商／分判商／注册专业人士问责。就香港体育馆的租用安排而言，康文署会检视认可人士签署的报告，确认报告涵盖租用人使用场地的建议安排中臚列的建议舞台装置／安装项目（及其数量），然后才会容许活动继续进行。这个既有的租用机制自香港体育馆于一九

八三年启用以来已沿用接近40年，业界一直遵守，行之有效。

II. Mirror演唱会事故

3. 「MIRROR.WE.ARE Live Concert 2022」（下称「Mirror 演唱会」）原定于二零二二年七月二十五日至八月六日在香港体育馆举行，合共演出12场。香港体育馆的租用人为大国文化制作有限公司。演唱会由该公司及觅一有限公司合办，由艺能工程有限公司出任工程方面的制作总承办商，并由协兴隆舞台制作有限公司出任机械装置（包括LED屏幕）分判商。至于场地检验报告，则由联和专业服务有限公司负责认证。

4. 康文署在演唱会举行前已收到租用者按「租用条款」的要求而提交的一套表格、证书、许可证及设计图则。

5. 制作总承办商艺能工程有限公司聘请了联和专业服务有限公司检验场地和发出检验报告，确认所有装置均处于良好操作状况。康文署经检视检验报告，确认报告涵盖租用人在使用场地的建议安排中列出的建议舞台装置／安装项目（及其数量）后，才容许演唱会进行。

6. 二零二二年七月二十八日约22时35分，第四场Mirror演唱会发生意外，一个巨型的LED屏幕在表演期间堕下，击中两名舞蹈员，其中一人伤势严重，目前仍然留医。

7. 堕下的LED屏幕为主舞台上悬吊着的六块LED屏幕其中一块。根据这些屏幕的设计，每块屏幕均从绞车系统悬吊下来。绞车系统装在副架上，而备有马达控制的旋转系统则装在母桁架上。该母桁架安装在香港体育馆的馆顶桁架上。按照LED屏幕悬吊系统的安装方式，该等屏幕可以透过预设程控器升高、降下和旋转，藉以在表演期间增添视觉效

果。LED幕墙（可移动），亦即出事的一块LED屏幕，胪列在检验报告中，并由认可人士认证为「处于良好操作状况」。该认可人士为联和专业服务有限公司的注册专业人士。

8. 根据观众拍摄的影片，各LED屏幕在意外发生前一刻正在缓缓升起，然后涉事的一块LED屏幕其中一边的悬吊钢索突然断裂。该屏幕虽然仍然被另外一条悬吊钢索悬吊着，但开始下坠，并围绕这条悬吊钢索于屏幕的安装位置向下摆动。当屏幕的摆动角度达到约45度时，剩下的悬挂点亦告失效。屏幕因惯性力继续摆动，同时向地面下坠，其中一角首先击中舞台，其后整块侧向倒下，最后平躺在舞台上。下坠的屏幕伤及舞台上两名舞蹈员。

III. 调查Mirror演唱会事故的工作小组（工作小组）

9. 意外发生后，政府立即指示演唱会暂停举行，直至舞台装置证实安全为止，并要求在确定再无被堕下对象击中的风险之前，暂停所有在舞台各悬吊装置底下进行的工作。由于香港体育馆由康文署拥有，政府宣布由康文署成立工作小组，调查意外成因及制订建议，以免日后再有同类事故发生。除工作小组外，香港警务处和劳工处亦分别调查事故中是否有人涉及刑事责任和违反《职业安全及健康条例》。其后，Mirror演唱会主办机构宣布取消余下八场原定于七月二十九日至八月六日举行的演唱会。

10. 工作小组由康文署助理署长领导，成员包括康文署、劳工处和机电工程署（机电署）的代表，以及一名由香港工程师学会机械、轮机、造船及化工分部提名的专家。为加快调查，康文署聘请一名在调查结构及机械装置相关事故方面具备丰富知识及经验的专家顾问，协助进行调查工作。工作小组成员名单见附件。工作小组的职权范围如下：

(a) 调查和找出意外成因；以及

(b) 制订建议，防止同类事件再次发生。

11. 工作小组在二零二二年八月至十一月期间召开了九次会议，研究和讨论就堕下的LED屏幕、舞台设备和相关装置多次进行现场视察及实验室检验后取得的结果，以及LED屏幕的钢索及吊环螺栓的质量及拉力，以找出事故成因及制订建议措施，防止同类事故再次发生。

IV. 工作小组调查结果

12. 工作小组已完成意外原因的调查工作，详见下文第13至22段。扼要而言，调查结果显示，悬吊钢索断裂，肇因是当中钢丝产生了快速的金属疲劳迹象，以致钢索的状况迅速衰坏。金属疲劳之所以出现，有四大原因并存，包括所安装的钢索状况不理想；负荷数据有问题，以致悬吊钢索的安全系数不足；装置设计考虑不周；以及LED屏幕的悬吊系统组装不理想。

13. 政府基于工作小组的调查结果，认为租用人及 / 或其承办商和分判商并未完全遵照香港体育馆「租用条款」的部分规定，即：

- (a) 「租用条款」第15(b)(2)款规定，租用人须提交有关使用租用场地的建议安排的准确详情，当中须包括显示用索具装配或悬挂在场馆楼顶屋架的任何搭建物或器材的位置和重量的图则。

租用人及 / 或其承办商所提交有关LED屏幕等器材的重量数据有欠准确，结果夸大了悬吊LED屏幕的钢索的安全系数，我们认为租用人并未遵照第15(b)(2)款的规定。

- (b) 第16(d)款则规定，在搭建、安装、用索具装配及 / 或悬挂任何搭建物或器材的工程完成后，须由租用人聘请合适的合资格专业人士，以书面向康文署证实所搭建、安装、用索具装配及 / 或悬挂搭建物或器材的工程是由熟练人员妥当进行；达到业内人士认可的标准；并且安全稳固，兼且每项用索具装配

或悬挂的装置均由该合资格专业人士（包括但不限于由其委聘的认可人士）检查妥当。

调查结果显示，绞车系统的护绳器并非妥当组装，LED屏幕堕下更足证有关装置并非「安全稳固」，可见有关人士可能并无在场妥善监督。我们认为租用人并未遵照第16(d)款的规定。

康文署已将有关结果转交警方再作调查。

A) 技术调查结果

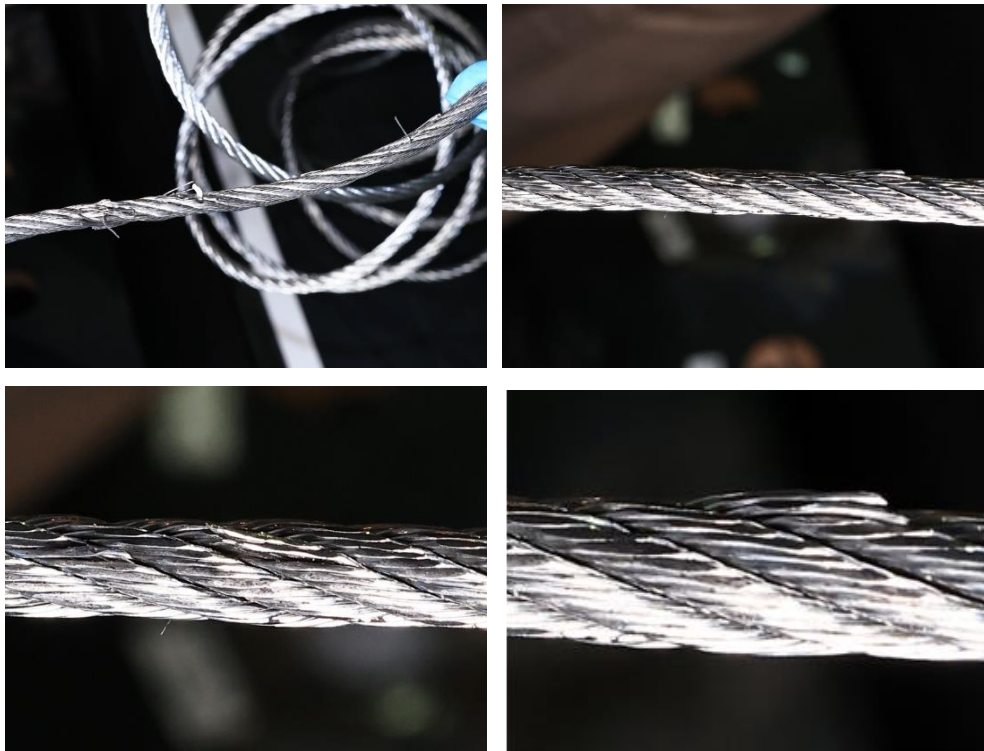
14. 经调查发现，原有两条钢索悬吊LED屏幕，其中一条断裂，因而酿成意外。该两条钢索悬挂于内置凹槽卷筒的绞车系统，并藉两个绕线排索导向轮有序地依次置放于绞车系统卷筒上的凹槽内。



15. 有关悬吊钢索断裂，肇因是当中部分钢丝在非常短的使用周期内产生了快速的金属疲劳迹象（即技术上所指的低周期疲劳），以致钢索的状况迅速衰坏，亦即是说，悬吊钢索使用周期虽短，但金属仍迅速产生疲劳裂纹，在使用短时间后便告断裂。本事故的悬吊钢索在短时间内产生快速的金属疲劳而失效，是由于有以下这些能减弱悬吊钢索的抗疲劳能力的原因存在而导致的：

15.1 钢索状况不理想

- (a) 断裂的悬吊钢索是以六组缆股绕着纤维缆芯所制成，而缆股各由19条钢丝编织而成，并以右交互捻构成（即属6x19缆芯结构，一般称为6x19 FC钢索）；其标称直径为5毫米；
- (b) 经使用双目显微镜检验断裂缆身，发现有多条钢丝断裂，以致其断口及短截纤维从钢索突出；



- (c) 为了识别这些钢丝的损坏模式，调查时利用了扫描电子显微镜检验从断裂钢索截取的七条有断口的短钢丝（包括一条的断口是有拉伸过载特征的，而其余的断口则呈现相对平坦的断面）。调查所见，除了其中一条钢丝呈延性过载而产生的杯锥断口以及在扫描电子显微镜下发现的韧性凹坑特征（均为因超负荷造成钢线拉伸变形继而断裂所造成的现象）外，其余六条钢丝相对平坦的断裂表面在扫描电子显微镜下均发现有疲劳条纹的痕迹。调查结果确定钢索的部份钢丝在一定程度上产生了疲劳裂缝导致其承载能力衰退，悬吊钢索最终因其余的钢丝无法承受使用中产生的应力而断裂，即失效模式为金属疲劳；以及
- (d) 调查过程亦为未曾承受LED屏幕负荷的一段钢索（取自系于LED屏幕构架断开的吊环螺栓的悬吊钢索索夹外回绕端的多余部分）按照BS EN12385-1标准进行拉力测试。测试结果显示，钢索的抗断强度约为1 100公斤力，比市面常见且构造相若钢索的最低抗断强度要低。

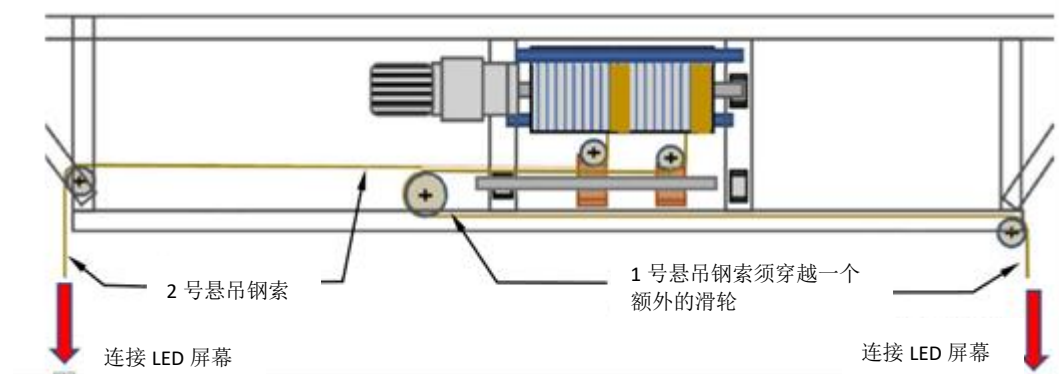
15.2 负荷数据有问题，以致悬吊钢索的安全系数不足

工作小组将LED屏幕移离舞台时为屏幕称重。六块屏幕的个别重量介乎490至530公斤（所有量度结果四舍五入至最接近的十公斤数），而堕下的屏幕则重520公斤。根据对LED屏幕的悬吊系统中未承受任何服务负载的多余长度的悬吊钢索的拉力测试结果，并假设两条悬吊钢索平均分担负载的话，安装的悬吊钢索的安全系数约为4.2。行业中根据国际 / 国家标准针对安装

在表演舞台上的悬挂系统普遍采用的安全系数是8至10。降低的安全系数意味着钢索更容易发生疲劳失效，因为涉事装置的实际重量与钢索抗断强度之间的比例有所增加，钢索的抗疲劳能力随之大减。

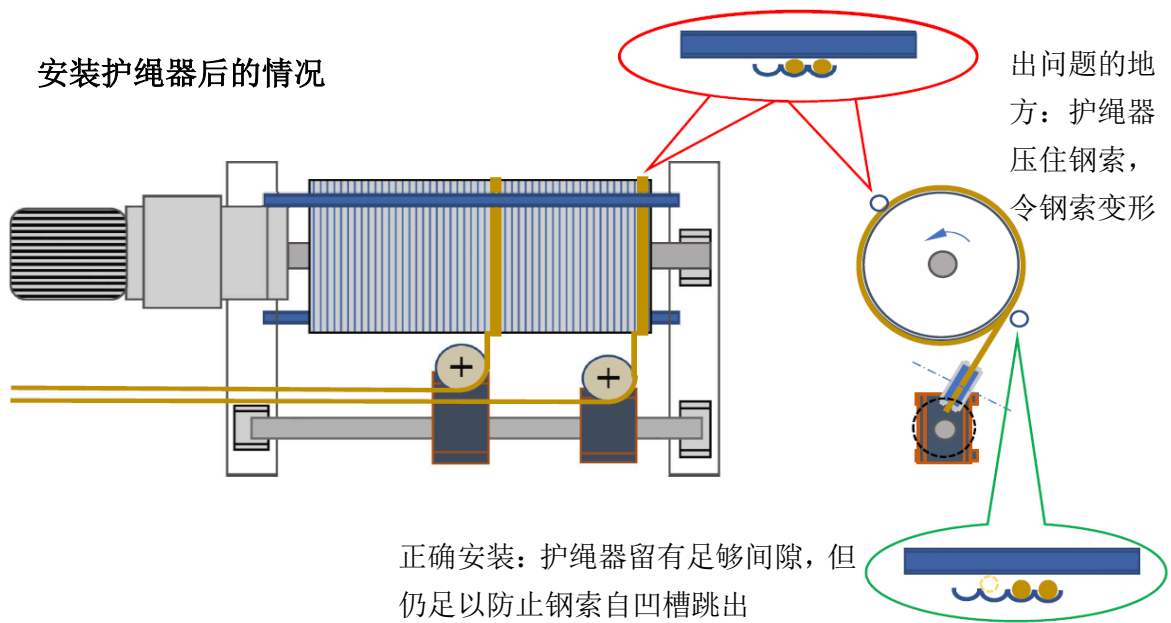
15.3 绞车系统损及钢索

- (a) 悬吊LED屏幕的绞车装有交流伺服电动机，输出轴以行星减速机接驳至绞车的凹槽卷筒，卷筒内放置一对悬吊钢索，用以升起每个LED屏幕。根据绞车的设计，两条悬吊钢索其中一条须穿越一个额外的滑轮，再180度转向，令两条钢索均可在一对绕线排索导向轮引导下盘绕在带凹槽的卷筒上。两个绕线排索导向轮受蜗杆带动而往相同方向转动，而蜗杆则由连接绞车发动机的驱动链带动。

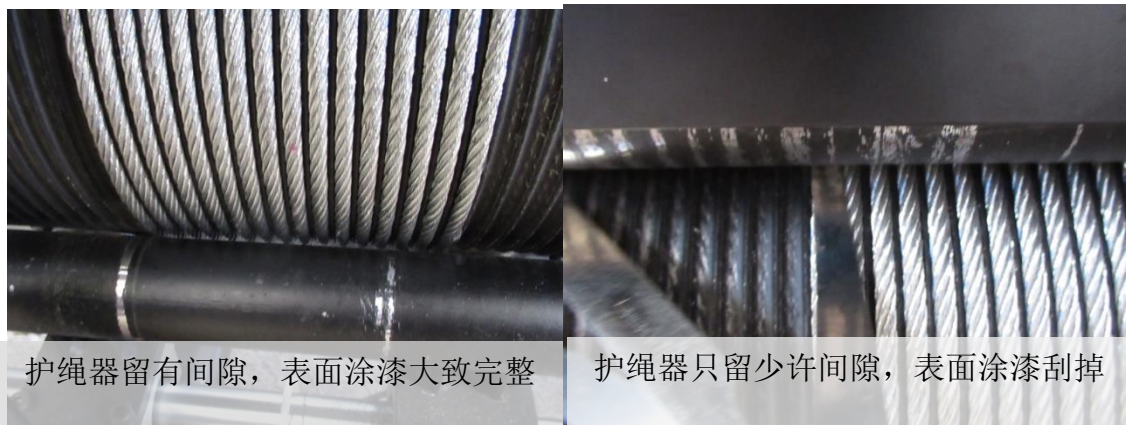


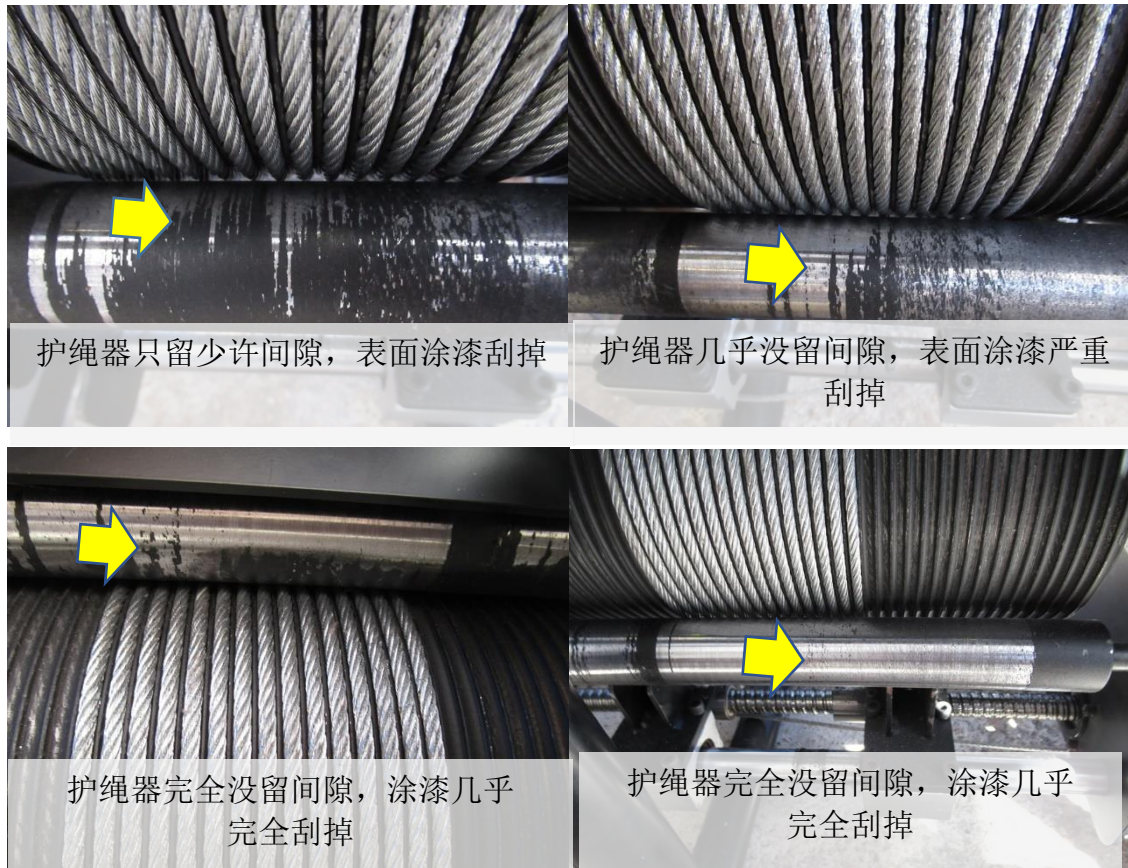
- (b) 绞车卷筒的对角位置装有一对护绳器，两者横跨卷筒表面，以防钢索在收放时自卷筒的凹槽跳出。护绳器由转轴制成，按其制造方式，如非过于牢固地扭紧在绞车构架上，应可灵活转动。
- (c) 调查发现，几乎所有护绳器都过于牢固地扭紧在绞车构架上而不能灵活转动，但只要将护绳器两端的螺栓稍微扭松，护绳器即可灵活转动。因此，护绳

器不但在绞车绕线排索时有碍钢索顺畅滑动，以致钢索承受额外负荷和应力，亦使钢索表面饱受磨损并挤压当中个别的钢丝，并令绳股排序失衡。凡此种种，均大大损及钢索的结构完整程度，以致钢索频现塑性变形，令钢索的承载负荷能力有所减弱，加上悬吊钢索所受负荷增加，以致其抗疲劳能力大打折扣。



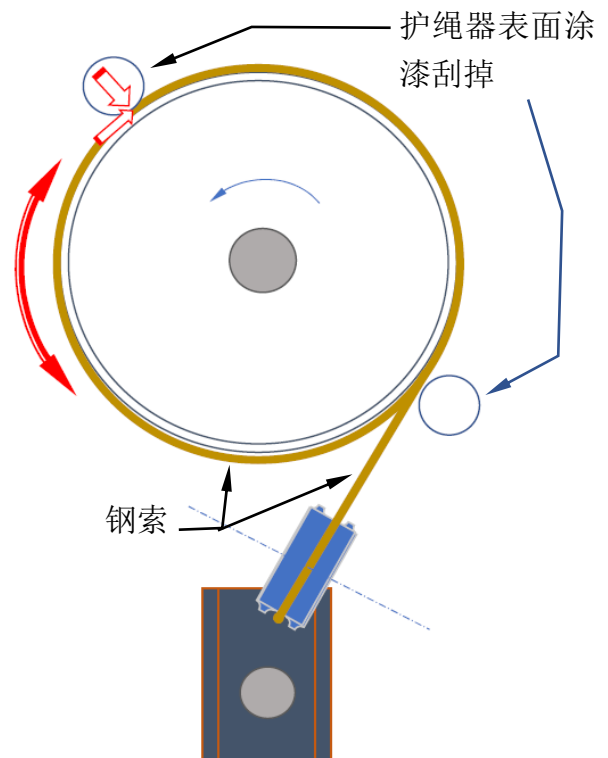
(d) 护绳器上油漆涂层的磨损程度能显示出其磨损程度。悬吊堕下的LED屏幕的绞车，其护绳器的表面涂漆脱落，情况颇为严重，其中一个护绳器的涂漆更几乎全部脱落。



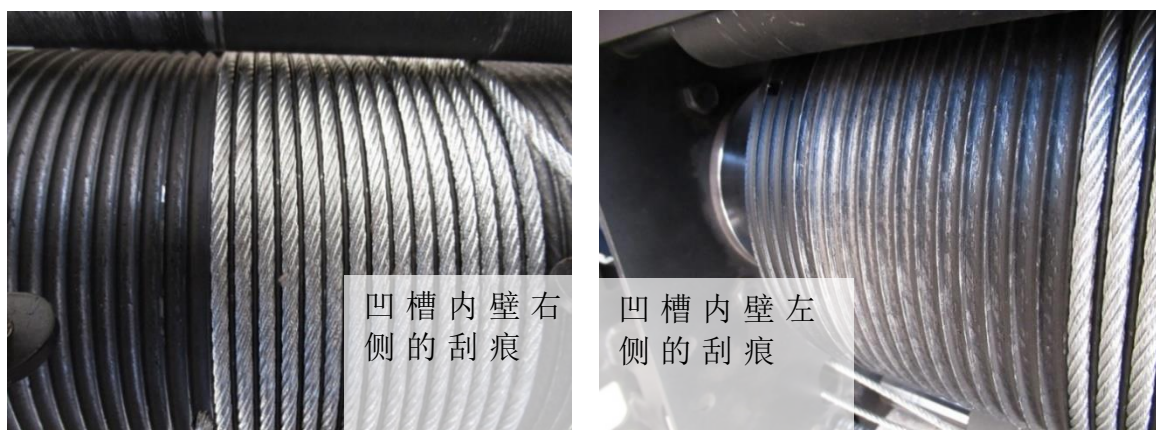


(e) 下图扼要说明护绳器对钢索的各项影响。

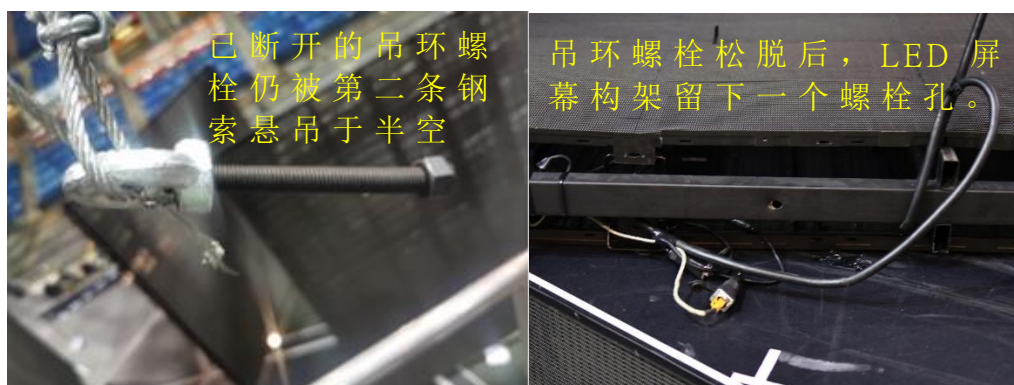
- i. 护绳器压住钢索，会令钢索变形，绳股亦会排序失衡。
- ii. 钢索在拉过护绳器时出现严重磨损和挤压，其间磨出来的粉末变成磨擦物，令钢索进一步加快磨损。
- iii. 护绳器阻碍钢索移动，引致钢索承受额外的应力。



- (f) 在部分绞车上多条相连凹槽的边缘及内壁上发现刮过的痕迹。绞车的绕线排索导向轮有些错位，以致钢索扭结，因而再损及钢索，结果悬吊钢索所受应力更大，抗疲劳强度由是再打折扣。

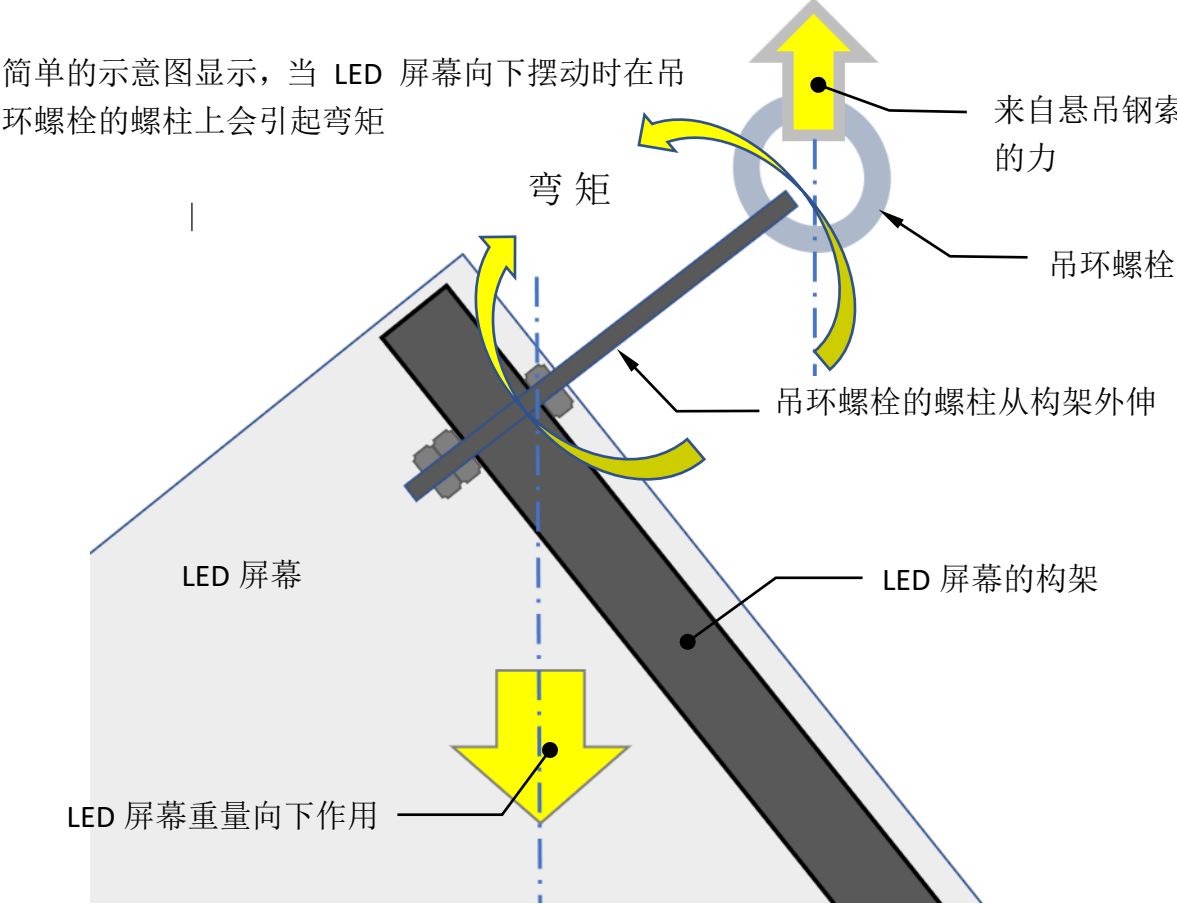


16. 调查亦发现，在一条悬吊钢索断裂后，LED屏幕仍由另一条钢索悬吊，但当中用以栓紧LED屏幕构架的吊环螺栓断开。



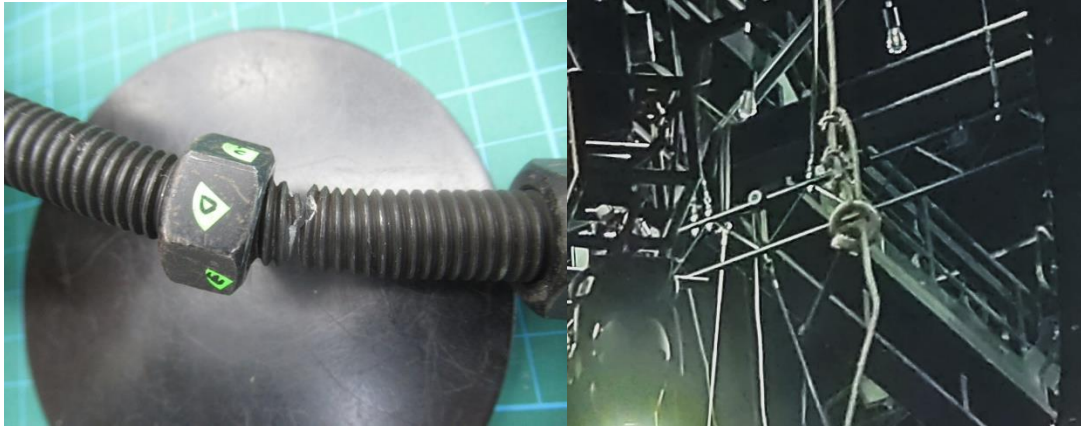
16.1 吊环螺栓是将一个M14号尺寸的吊环焊连在一个M12号尺寸的螺柱所制成，用以连接悬吊钢索，但并无装上套筒螺丝扣来方便水平调较，以致依赖调较吊环螺栓的螺柱位置为LED屏幕调较水平后，导致或有颇长部分的螺柱自构架上伸出。在吊环螺栓上下两端分别用了一个及两个螺帽，将吊环螺栓扭紧固定在LED屏幕构架上的螺栓孔，结合位未发现

有使用任何垫圈帮助分散负载并防止螺栓松动，但发现在LED屏幕构架底部的螺栓孔四周焊接了一块加固板。吊环螺栓是靠构架上及下相连的螺帽固定，而最下方者则属锁定螺帽，以防下方螺帽松脱。然而，若果有任何的原因导致悬吊钢索出现钢索扭结的情况，以上述方法固定的吊环螺栓便很容易因钢索产生反扭结作用而松脱；当中若锁定螺帽没有完全扭紧，则情况尤甚。



16.2 调查小组亦挑选了三个吊环螺栓的螺柱样本（包括堕下LED屏幕的断裂悬吊钢索所系的吊环螺栓）强度进行测试。这些螺柱的抗拉强度分别为840兆帕斯卡、865兆帕斯卡及846兆帕斯卡，显示这些螺柱有相当可能是8.8级强度（8.8级M12尺寸的螺栓 / 螺柱的最低抗拉强度要求为830兆帕斯卡）。这些螺柱断开的模式并无发现异常情况。

16.3 当一条悬吊钢索断裂后，LED屏幕会摆动，而当屏幕摆动到大概45度角时会对吊环螺栓的螺柱施以极大弯矩，产生的拉伸应力超出了螺柱的抗拉强度，导致吊环螺栓断开。



B) 事故原因

17. 简而言之，租用人虽已提交香港体育馆「租用条款」所规定的证明文件，当中内容亦由认可人士予以核实，惟租用人及 / 或其承办商和分判商并未完全遵照香港体育馆「租用条款」的规定。Mirror演唱会事故的主因是LED屏幕的安装工程未符安全标准，而引致这情况的原因包括所安装的钢索状况不理想；负荷数据有问题，以致悬吊钢索的安全系数不足；装置设计考虑不周；以及LED屏幕的悬吊系统组装不理想。所得证据显示，原有两条钢索悬吊LED屏幕，其中一条未能承受约260公斤力的负荷，即LED屏幕的一半重量，以致屏幕因自身重量而堕下。在这条悬吊钢索断裂后，另一条钢索虽系上LED屏幕构架，但所用吊环螺栓同告断开，遂令LED屏幕堕下。

18. 现场的LED屏幕悬吊系统的安全系数约为4.2，即钢索的抗断强度比事故发生时悬吊钢索所承受的载荷强约4.2倍。然而，由于悬吊钢索的部分钢丝因金属疲劳而逐渐失效，

从而大大降低了钢索的承载能力，令悬吊钢索无法承受载荷。

19. 这次事故的证据显示，多个可缩短钢索疲劳寿命的因素俱在。所用钢索状况不理想；当中有部分虽未承受固有装置的负荷，却遍布损坏痕迹。事实上，钢索实际所受负荷高于260公斤力，原因是护绳器未能转动及钢索扭结，因而造成阻力，令钢索百上加斤；加上当钢索在滑轮系统不断滑动时，形成弯矩，以致应力上升。上述问题在绞车卷筒排索时尽皆浮现（即应力及应力幅值增加）。此外，钢索因护绳器在使用时未能转动而再受挤压，造成钢丝磨损、变形、受压，以至绳股排序失衡，因而再损及钢索。

20. 至于吊环螺栓，拉力测试结果显示，当LED屏幕沿螺柱方向往上吊起时，所用吊环螺栓理应可支承LED屏幕的重量。不过，吊环螺栓安装在LED屏幕构架时，并无装上套筒螺丝扣来方便水平调较，以致为LED屏幕调较水平后，或有很长部分的螺柱自构架上伸出。简单弯矩分析结果显示，由于螺柱有很长部分（140毫米）自LED屏幕构架外伸，若仅靠一个悬吊点吊起LED屏幕，会对吊环螺栓造成颇大弯矩。当LED屏幕单凭一个吊环螺栓吊起，并与水平面形成约45度角时，吊环螺栓承受了远超其拉力的弯矩应力。因此，在意外发生时，另一条悬吊钢索所系上的吊环螺栓断开，以致LED屏幕堕下。

21. 有关负荷表错报了LED屏幕重量（将「500公斤力」错报为「500磅力」）。假设原来设计方案以500磅力（相等于227公斤力）为基础制订，则安全系数水平介乎8至10，已符合常用国际／国家标准，适用于有表演者身处下方的悬吊系统。不过，由于LED屏幕的实际重量为520公斤力，安全系数亦随之大减至4.2；即使严禁有人在悬吊物下方停留，有

关安全系数仍未达悬吊系统在此情况下会采用的一般水平。

22. 这次意外的另一大肇因是绞车系统的造工 / 装工质素有问题。而安装在绞车系统的护绳器的位置和运作，以及绕线排索导向轮的准绳度亦导致事故的发生。

V. 加强措施

23. 由二零二二年八月二日起，康文署在Mirror演唱会事故调查工作完成前，在辖下表演场地对租用人施加三项短期措施，分别为：

- (a) 要求租用人重新检视舞台设计和由租用人加设的机械装置，确保安全无虞，以保障所有工作人员、表演者及在场人士；
- (b) 暂停使用悬吊于高空用作摆动或旋转或乘载人员的机械装置；以及
- (c) 每日必须由康文署同意的合资格人士检查(a)项所述的机械装置，确保操作安全。

24. 确保舞台装置结构完整并保障表演者和观众安全的责任在租用人。租用人必须继续确保其本人及其聘用的所有人，包括代理人、承办商、分包商等表现良好，保障表演者及观众安全。康文署会咨询业界，进一步修订「租用条款」以加强机制，提升场地日后举行表演活动的安全水平，并确保租用人已履行「租用条款」订明的责任。

25. 工作小组已研究事故原因并建议一系列加强措施，使「租用条款」更加严谨，从而确保表演活动安全，并防止日后发生同类事件。工作小组制定有关建议时，已考虑表演业界相关持份者的意见。

26. 现将所建议的加强措施胪列如下：

(a) 于验证机制中订明负责人员角色

租用人应于验证机制中清楚订明和阐明由租用人聘请的各方所担当的角色及职责，以确保使用场地的建议妥为拟备和执行。合资格专业人士应在初期审核舞台设计和定期视察舞台。舞台装置及运作的检查和视察工作应每日进行，以确保安全。

(b) 负荷验证

租用人须确保加设的相关搭建物及器材设备的重量准确无误，并由租用人聘请的注册专业人士妥为核实。该（等）专业人士须确保该等对象的重量准确，并为所有需要移动或升降的机械装置进行验证负荷测试。相关证明文件须提交予康文署。

(c) 质量证明

租用人须向康文署提交钢索的质量检测证书，作为质量证明，并须为所有起重装置和器材设备备妥检测证书。至于租用人自备的厂制器材设备，则须有列明符合国际安全标准的产品目录，以供租用人聘请的注册专业人士核实。

(d) 审核

康文署会研究可否引入具相关专业知识的第三方独立审核人员，视乎需要进行审核工作，检查租用人所进行的工程和所安装的装置。

(e) 彩排安排

租用人应在首场演出前提早彩排，以减低舞台上发生意外的机会，并向工作人员及表演者讲解有关舞台装置及机关的细节。

(f) 违规处理及弥偿

康文署会引入妥善机制，以处理违反康文署场地「租用条款」的情况。如租用人严重或屡次违反「租用条款」，康文署可对其采取行动及 / 或施加罚则。如有涉及公众安全、人命伤亡或任何违法行为的严重违规情况，康文署可取消有关租订，租用人日后申请租订康文署场地时，其优先次序或会受到影响。违规处理机制的具体方案会于考虑业界持份者的意见后再作修订。有关机制旨在确保租用人遵从「租用条款」的规定，并履行「租用条款」订明的责任。其他加强措施包括增加在「租用条款」中须要购买公众法律责任保险的金额。

27. 所有康文署辖下表演场地的租用人如加设复杂的悬挂系统及机械装置，上述措施便会适用。康文署会在未来数月与表演业界商讨实施细则，然后才在辖下场地正式实行新的加强措施，并会在一年后与表演业界检讨措施的成效，然后修订「租用条款」正式落实措施。在康文署最终落实新的加强措施之前，租用人租用康文署场地时，须继续遵从二零二二年八月二日实施的三项短期措施（见上文第23段），或采取获康文署批准并足以保障表演者、舞台工作人员及观众安全的其他措施。

28. 康文署属场馆拥有方，已就租用人有否遵守「租用条款」的规定完成调查工作。由于未能排除事故可能涉及人为过失，或「欺诈」及容许「自建筑物掉下物体」等违反香港法例的情况，康文署已将事故转交警方作进一步调查。警方及劳工处现正以相关条例所赋予的权力各自调查事故。康文署或会视乎有关部门的调查结果，提出更多建议，加强保障康文署场地使用者的安全。

- 完 -

康乐及文化事务署
二零二二年十一月

工作小组成员名单

主席：

康乐及文化事务署助理署长（图书馆及发展）李子俊先生

成员：

康乐及文化事务署

总经理（文化事务合约组）林敏姬女士

技术总监（表演场馆）李永昌先生

高级经理（九龙东）邓慧恩女士

劳工处

副总职业安全主任黎伟强先生

机电工程署

总机电工程师（一般法例）1 刘力基工程师

总工程师（市政工程）周树文工程师（至二零二二年十月十六日）

署理总工程师（市政工程）潘星裕工程师（二零二二年十月十七日起）

香港工程师学会机械、轮机、造船及化工分部代表

司徒家成工程师

秘书：

康乐及文化事务署高级行政主任（职系管理）梁佩仪女士

列席者：

林超雄博士（专家顾问）