

海洋公園氦氣球
事故調查報告

機電工程署
2012年8月30日

內容

	頁
摘要	3
A. 目的	4
B. 事故背景	4
C. 調查方向	6
D. 海洋公園氦氣球技術資料	6
E. 調查結果	10
F. 結論	14
G. 建議	14
附錄 1－快速放氣口及其操作	15

摘要

於 6 月 28 日，海洋公園內載有 7 名乘客及 1 名操作員的氦氣球於距離降落平台約 29 米外的花圃著陸，導致 6 人受傷。

機電工程署（機電署）對事故完成了調查，發現由於氣球的快速放氣口出現缺口，引致氦氣急劇洩漏。快速放氣口位於氣球頂部附近，作用是當氣球在地面遇到緊急情況時（例如遇上颶風）可迅速排出氣球內的氦氣，以免造成危險。

綜合檢查及拉力測試的結果，機電署相信氣球在操作時受到熱力和重複的機械運作影響，引致快速放氣口封條與氣囊的黏合力減弱，出現局部分離現象，直接削弱接縫的拉力強度。經過一段時間的運作後，封條的分離部份擴大，最終導致接縫出現缺口，洩漏氦氣，引致今次事故。園方在過往的定期檢查中，曾發現封條角位邊緣出現分離現象，並作出修補；但假若分離現象出現在封條內中央部分，則較難在定期檢查時發現。

為防止同類事故發生，機電署已要求園方與氦氣球生產商針對快速放氣口接縫共同訂立詳細的檢查方案。

海洋公園氦氣球 事故調查報告

A. 目的

1. 本報告闡述機電工程署（機電署）就 2012 年 6 月 28 日海洋公園氦氣球事故的調查結果。

B. 事故背景

2. 2012 年 6 月 28 日約下午 3 時 48 分，海洋公園內載有 7 名乘客及 1 名操作員（飛行員）的氦氣球，由離地 60 米的高度開始下降（以機動絞盤把繫留纜索收回）（見圖 1a 及 1b）。

3. 當氦氣球在離地約 20 米時，其下降速度增快，比機動絞盤以每秒 0.65 米收回繫留纜索的速度為高（見圖 1c）。氦氣球依靠氣球內剩餘氦氣提供的浮力，逐漸於距離降落平台約 29 米外的花圃著陸（見圖 1d）。

4. 吊籃內 4 名乘客和操作員受輕傷，另 1 名在吊籃著陸地點附近通道上的女士亦告頭部受傷。

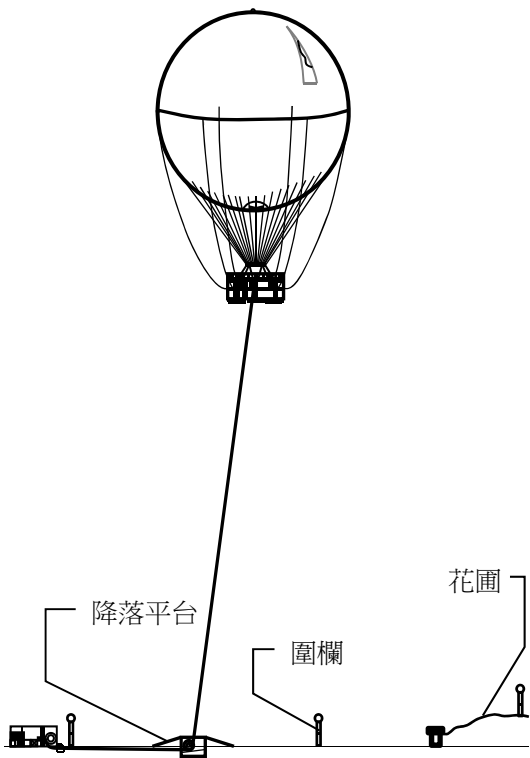


圖 1a - 氦氣球於離地 60 米

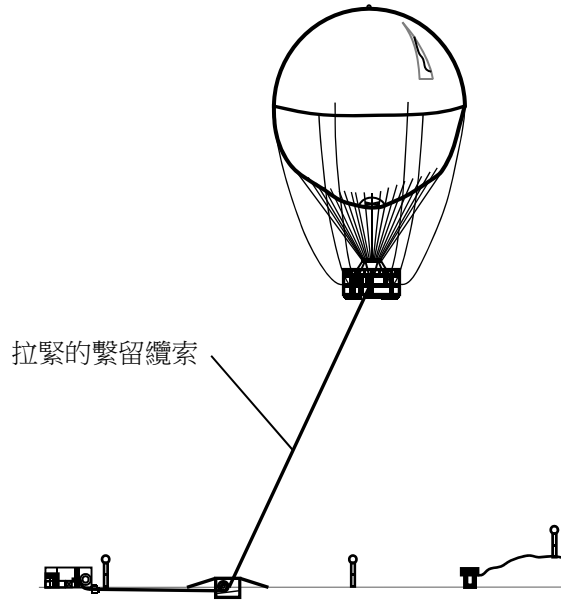


圖 1b - 氦氣球以每秒 0.6 米的速度下降

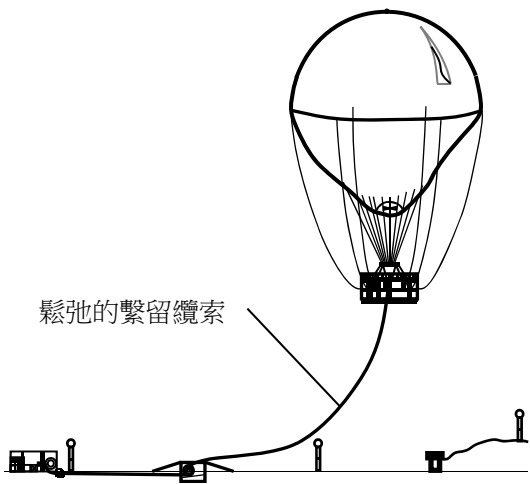


圖 1c - 氦氣球在離地約 20 米時下降速度加快

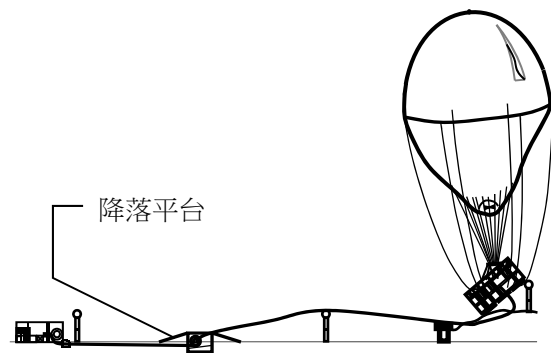


圖 1d - 氣球吊籃降落在花圃

C. 調查方向

5. 機電署展開調查，以確定事故成因及建議改善措施，防止類似事故再次發生。
6. 調查方向概述如下：
 - a. 檢視氦氣球組件；
 - b. 分析閉路電視錄像；
 - c. 通過獨立物料專家的協助，為球形氣囊及快速放氣口進行檢驗及化驗所測試；
 - d. 檢視和分析相關紀錄，特別是氦氣球的保養紀錄及操作紀錄；以及
 - e. 會見有關人士，並收集了他們的陳述紀錄。

D. 海洋公園氦氣球技術資料

7. 氦氣球主要由以下主要組件組成（見圖 2 及圖 3）：
 - a. 球形氣囊－球形氣囊的布料中層由兩邊均有塗料的防撕裂聚胺紡織基料製成。布料內層塗有防靜電橡膠膜，確保低氦氣穿透度；而外面則以氯磺化聚乙烯（Chlorosulfonated Polyethylene, CSP）橡膠覆蓋，以防止織物受紫外線輻射影響。球形氣囊直徑約 22.46 米，體積約 5 950 立方米，由一塊薄膜分為兩個室，分別是氦氣室及作調節用途的小氣囊。氦氣室體積約 4 300 立方米，為氣球及其載重提供浮力；氣囊充氣後形成球體。小氣囊作用是為氣囊內的氦氣加壓，並在強風下協助氣囊保持球狀。氦氣體積隨着不同氣溫及高度而轉變，小氣囊會因應這些變化而膨脹及收縮以作補足。為小氣囊充氣的風扇設在球形氣囊的底部。

- b. 強化繩網－強化繩網是由一系列相互連接的繩索編織成的菱形圖案繩網，尺寸覆蓋整個球形氣囊。強化繩網聚集球形氣囊內產生的浮力，其底部連接着一個負載環，以把浮力轉移到負載環。
- c. 負載環－負載環由不銹鋼管組成，用作接合系統的各主要組件。強化繩網把氣球產生的浮力轉移到負載環的頂部，氣球吊籃則懸掛在負載環的底部外圍，機動絞盤繫留纜索也繫於負載環的底部。
- d. 氣球吊籃－氣球吊籃由鋁合金焊製而成，籃內間隔成一條狹窄通道，闊道足夠供乘客經過，並可防止乘客聚集在吊籃的一邊。扶手兩旁及鋁架頂部設有圍網，既可保護乘客，也為乘客提供良好的景觀。
- e. 纜索及機動絞盤系統－繫留纜索繫於負載環底部內側。負載環底部及繫留纜索頂部裝有一個重力傳感器，用以量度繫留纜索承受的重力，有關數據會在控制板的讀數表顯示出來。繫留纜索的另一端與機動絞盤房連接，機動絞盤以每秒 0.8 米上升速度及每秒 0.65 米下降速度來控制氣球的高度。
- f. 快速放氣口－快速放氣口呈三角形，用作迅速排出氦氣球內的氦氣。快速放氣口由離氦氣球頂端約 4 米開始延伸至氦氣球中部，總長約 7 米(關於快速放氣口及其操作的詳細資料，請參閱附錄 1)。

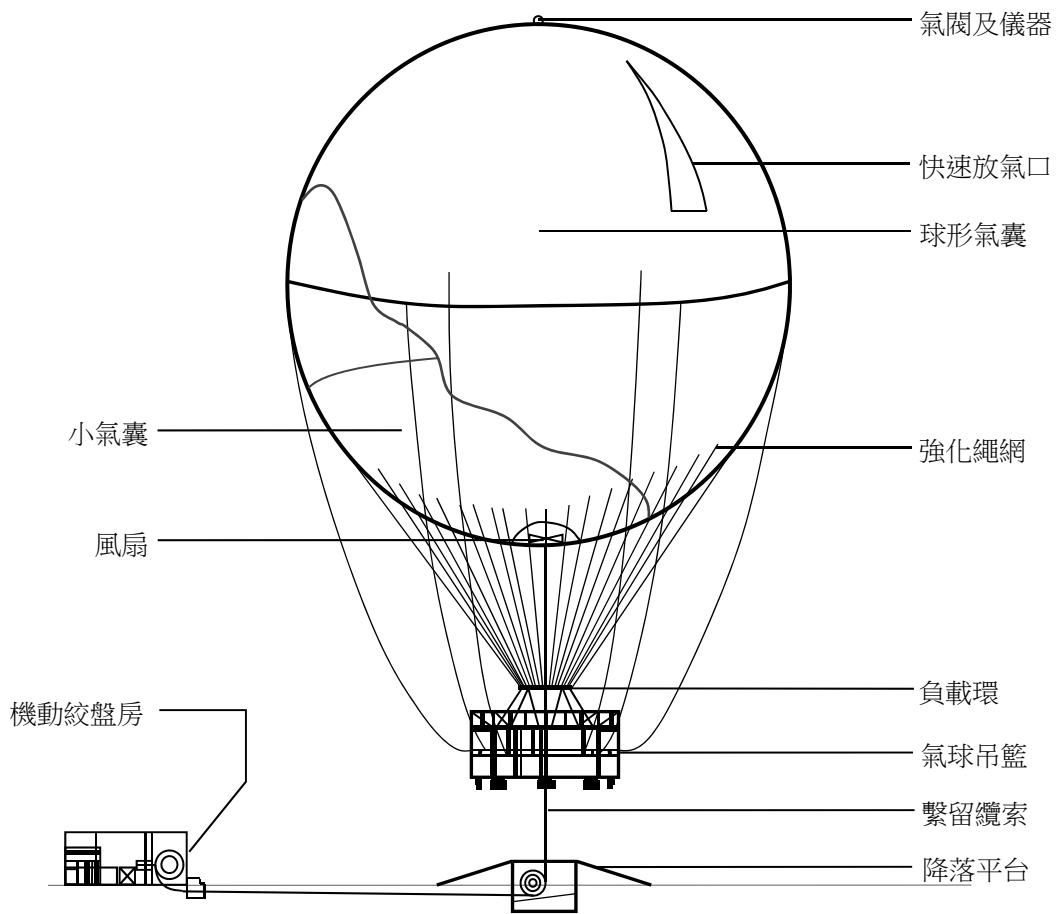


圖 2 - 氦氣球簡圖

8. 氦氣球最多可承載 30 人（包括 1 名操作員），每次可承載容量會因應風速變化而有所不同。為保持足夠浮力以抗衡風力的影響，氦氣球在高風速下會承載較少乘客。

9. 氦氣球可達到的最高位置取決於繫留纜索的長度。海洋公園內的氦氣球一般操作高度為 60 米。每一次升降時，載着操作員及乘客的氣球吊籃會被提升至離地 60 米的高度，停留約 1 分鐘後下降，返回降落平台。

10. 如預計會出現極高風速（每小時 110 公里或以上），或氦氣球在暴雨下劇烈移動（由於繫泊繩索斷裂或繫泊系統受破壞），便須拉下快速放氣口排出氦氣。此放氣程序必須在風力增強前完成，以避免球形氣囊受破壞。快速放氣口由快速放氣口繩索（即紅色操控繩）控制打開，操作員可拉下快速放氣口繩索來打開快速放氣口。



圖 3 – 氦氣球圖片

E. 調查結果

11. 根據從氣球上控制系統取得的操作紀錄，在約下午 3 時 48 分時，當氦氣球在離地 60 米時，氣球內的氣壓開始下降。顯示氦氣球於這個高度開始洩漏氦氣。
12. 在隨後的 20 秒內，氣球以每秒 0.6 米的正常速度下降。
13. 在離地約 20 米時，氣球的下降速度上升至每秒 1.2 米，顯示球形氣囊內剩餘氦氣所產生的浮力比整個設施的重量少，繫留纜索也開始鬆弛。
14. 由於風力影響，氣球被吹離降落平台，並在離平台約 29 米的花圃着陸。
15. 操作紀錄顯示，在事涉的升降過程，氣球在設計的操作環境（包括氣溫和氦氣壓力）下運作。在事涉的升降過程進行前及進行期間錄得的最高風速為每秒 8 米，是在許可操作的最大風速（即每秒 13 米）之內。
16. 此外，當日事發前已進行約 40 次升降，並沒有錄得顯著的氣壓下降，反映事發前並沒有明顯的氦氣洩漏。
17. 機電署在事故發生後，曾為繫留纜索及機動絞盤作出檢驗，並沒有發現異常情況。
18. 機電署亦在現場為球形氣囊作出檢驗。除了由海洋公園職員在事故後為即時釋放氣囊內的剩餘氦氣而造成的剝口外（可從切口的形狀分辨出來），快速放氣口是在球形氣囊上唯一明顯的開口。
19. 根據快速放氣口的設計，快速放氣口拉葉與球形氣囊的外圍是以封條所覆蓋及黏合。（關於快速放氣窗氣口及其操作的詳細資料，請參閱附錄 1）。
20. 快速放氣口拉葉的右邊緣與右邊的封條分離，並在右邊的接縫位置裂開（見圖 4），未能維持氣球在密封狀態。相信氦氣由這個缺口洩漏，導致氣球失去浮力。

21. 海洋公園氦氣球的球形氣囊和快速放氣口已運作超過 3 年。在球形氣囊調試期間，氣球進行了壓力測試以檢查有否氦氣洩漏，當時並無記錄異常情況。此外，除了保養人員為氣球作定期保養外，製造商會每年為氣球進行檢驗。在過往的檢驗中，並無發現及報告有異常情況（對上一次檢驗在 2012 年 2 月進行）。
22. 此型號氦氣球已得到法國民航局證明其適航性，其設計及規格亦取得機電署的批准。
23. 此外，快速放氣口是典型的氣球設計，用於緊急時為氣球放氣。過去至現在全球約有 40 個由同一製造商生產的同類型氣球運作，並沒有類似事故的記錄。
24. 拉力測試顯示氣球布料的強度足夠承受操作時產生的負荷，出廠時製造的封條接口亦有足夠強度。
25. 在檢驗快速放氣口的缺口後，發現快速放氣口拉葉的右邊緣跟接縫位置完全脫離（見圖 5b），而左邊則保持得比較完整。這顯示拉葉右邊緣的分離非因拉扯紅色操控繩而造成，因為當紅色操控繩被拉扯，拉葉的兩邊接縫位置都應同時被撕裂。這跟操作員的陳述記錄一致，即在事涉的升降過程進行時，並沒有人觸碰過紅色操控繩。因此，排除了人手操作快速放氣口為事故原因的可能性。
26. 快速放氣口接縫左邊封條基本上是完整，但封條有部份出現分離現象。



圖 4 - 右邊接縫位置受損 (由氣囊內部檢視，因此呈相反方向)



圖 5a - 於左封條邊緣出現分離部份 (藍圈示)



圖 5b - 於左封條內中央出現分離部份(紅圈示)
右邊封條與快速放氣口拉葉完全分離 (綠圈示)

27. 左邊封條內中央及邊緣部份也有出現分離現象（見圖 5a 及 5b）。估計於事故發生前，右邊封條也可能出現類似分離現象。

28. 快速放氣口接縫於操作時重複受到膨脹及收縮與熱力所影響¹，減弱快速放氣口封條與接縫的黏合力，出現局部分離的現象。

29. 經過一段時間的運作後，封條的分離部份有機會逐漸擴大（見圖 6）。

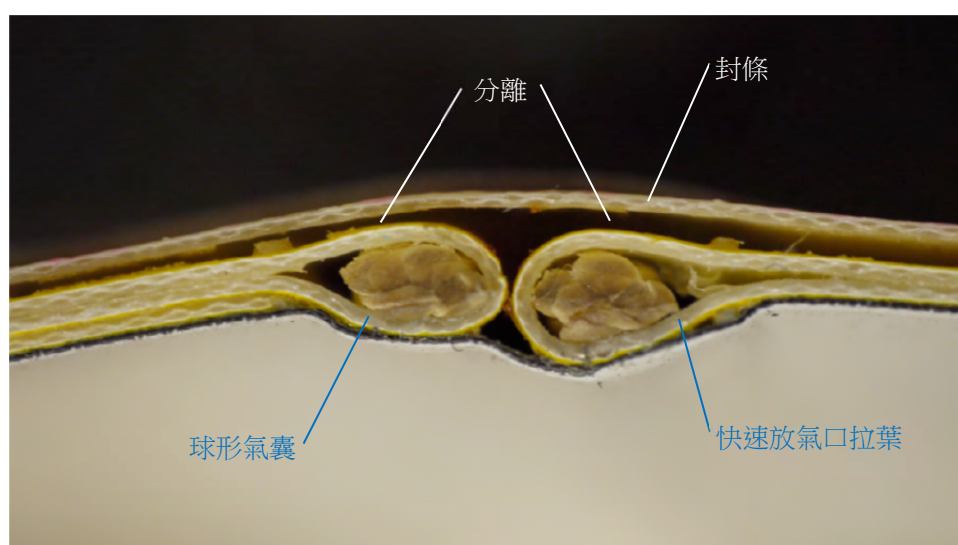


圖 6 – 封條下快速放氣口接縫分離部份的橫切面

30. 根據檢查及保養記錄，在過往的定期檢查中，曾發現封條角位邊緣出現分離現象，並已依照生產商指示作出修補。然而，當氣球處於充氣狀態時，出現於封條內的分離，尤其於中央部份，可能較難被發現。

¹ 根據操作紀錄，事發當日室外氣溫為攝氏 30 度，而氦氣的溫度可達至攝氏 59 度。此外，氦氣室的壓力會因操作時高度的轉變而改變。由於球形氣囊需承受的應力跟氣囊內的壓力成正比，因此，氣囊及快速放氣口接縫於操作時不斷受到膨脹及收縮的影響。

F. 結論

31. 綜合以上所述，2012年6月28日氦氣球洩漏氦氣是由於快速放氣口出現缺口而造成。

32. 氣球在運作時受到熱力及重複的機械運作（膨脹與收縮）影響，有可能使封條出現局部分離。快速放氣口出現缺口很可能歸因於封條出現局部分離。

33. 經過一段時間的運作後，封條的分離部份逐漸擴大，進一步削弱接縫的拉力強度，最終導致接縫形成缺口。

G. 建議

34. 綜合上述調查結果，報告建議海洋公園與氦氣球生產商，共同訂立一套針對檢查快速放氣口接縫的方案。

35. 在確定相關措施的成效後，機電署才考慮是否批准氦氣球運作。

機電工程署

2012年8月30日

附錄 1

快速放氣口及其操作

A1. 由於在場檢查時發現快速放氣口有部份接縫位置出現裂開情況，相信是導致事故的主因。因此，在以下段落會詳細列出快速放氣口的資料（見圖 A1）。

A2. 快速放氣口呈三角形，用作迅速排出氦氣球內的氦氣。快速放氣口由離氦氣球頂端約 4 米開始延伸至氦氣球中部，總長約 7 米。



圖 A1 – 快速放氣口圖片（快速放氣口接縫以虛線代表）

A3. 快速放氣口的活瓣部分稱為快速放氣口拉葉，其尺寸完全貼合快速放氣口的大小。快速放氣口接縫分別以與氣囊相同布料的封條（底部及兩邊共 3 條闊 100 毫米的封條及 1 條闊 200 毫米的封條於頂部）覆蓋及以特製膠水黏貼着（見圖 A2 及 A3a）。

A4. 根據製造商所提供的資料，於生產時，球形氣囊與快速放氣口拉葉對齊後再以 3 條闊 40 毫米的黏性膠貼固定，以方便特定黏合劑貼着封條（見圖 A2 及 A3b）。內部膠貼並非設計用來承受接縫的負荷。

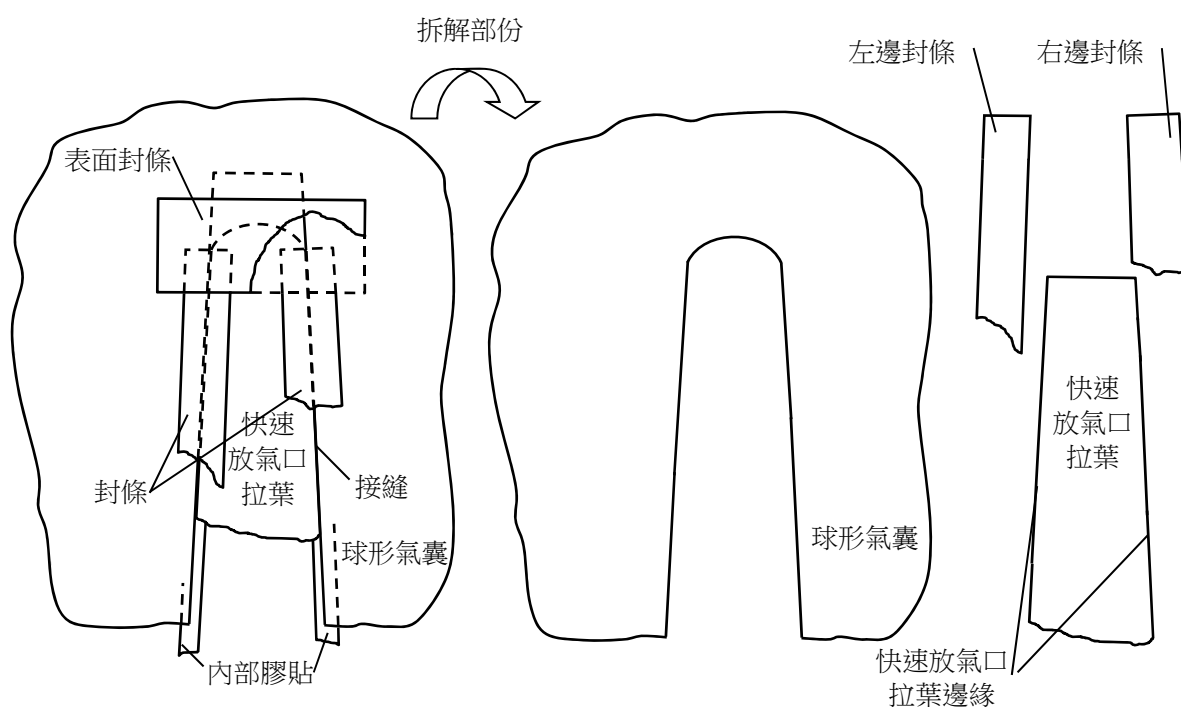


圖 A2 - 快速放氣口構造



圖 A3a – 封條相片

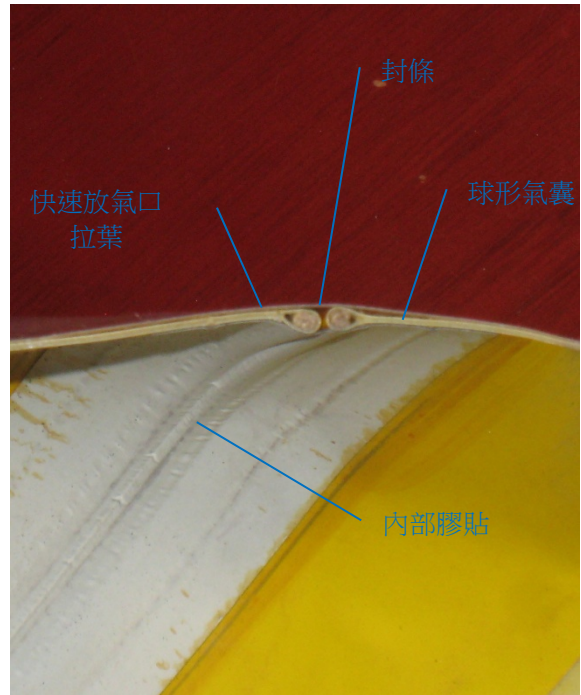


圖 A3b – 快速放氣口接縫的橫切面

A5. 快速放氣口拉葉頂端有一個縫着白色布帶的鋼圈，連接着一條紅色操控繩。鋼圈以內部膠貼固定在快速放氣口上，以防止快速放氣口被意外打開；同時確保能以 200 牛頓力 (N) 扯下操控繩來打開快速放氣口。

A6. 如預計高風速（每小時 110 公里或以上）或在暴雨下氦氣球產生了劇烈的移動（由於繫泊繩索斷裂或繫泊系統受破壞），必須拉下快速放氣口排出氦氣。此放氣程序必須在風力增加前完成，以避免球形氣囊遭受破壞。快速放氣口由一條快速放氣口繩索（紅色操控繩）控制打開，操作員可拉下快速放氣口繩索來打開快速放氣口。黏貼於鋼圈及快速放氣口拉葉背面的內部膠貼會先斷裂，其後拉葉兩側的內部膠貼亦會被扯破，拉葉隨之墜入氣球內部。